

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros**

**Rubén Darío Collantes Veliz**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Máquinas  
Agrícolas**

**Piracicaba**

**2007**

**Rubén Darío Collantes Veliz**  
**Engenheiro Agrícola**

**Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros**

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

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Máquinas  
Agrícolas**

**Piracicaba**

**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Collantes Veliz, Rubén Darío

Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros / Rubén Darío  
Collantes Veliz. - - Piracicaba, 2007.  
65 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Citricultura 2. Pesticidas – aplicações 3. Pulverizadores I. Título

CDD 634.3

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

**“Todo lo bueno siempre  
tiene algo de malo y todo lo malo siempre tiene algo de bueno”**

**(Anónimo Japonés)**

**“Tudo o que é bom sempre tem algo de ruim e  
tudo o que é ruim sempre tem algo de bom”**

**(Anônimo Japonês)**

**Aos meus pais Rubén e  
Arminda, aos meus irmãos Segundo, Oscar e Cesar**

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”** e ao **Departamento de Engenharia Rural** por terem me recebido no curso do Mestrado em Máquinas Agrícolas.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES** pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor **Dr. Casimiro Dias Gadanha Jr.** pela orientação e confiança depositada em mim para o desenvolvimento deste trabalho, pelos conselhos, pela amizade e convívio por todo este tempo.

Ao **Dr. Marcos Vilela** e ao **Centro Brasileiro de Bioaeronáutica** pelo apoio e valiosa contribuição para o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigado pela amizade e confiança.

Ao **Laboratório de Resíduos de Pesticidas, do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola**, da ESALQ, Piracicaba-SP.

Ao meu prezado amigo **Dr. Javier Vásquez Castro** pela grande amizade e pela valiosa contribuição profissional ao trabalho de dissertação desenvolvido.

Ao meu prezado amigo **Eng. Luis Nacarino Monzón**, pela valiosa contribuição na minha carreira profissional, pelas palavras de ânimo e força durante todo o tempo realizando o mestrado, sinceramente muito obrigado.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Rural **Dr. Tomaz Caetano, Dr. Marcos Milan, Dr. Walter Molina Jr. e Dr. José P. Molin** pelos conhecimentos transmitidos durante o desenvolvimento do mestrado.

Aos **Engenheiros Luis Valdiviezo A., Alfonso Baracco B., Raúl Castillo** e ao **Sr. Eduardo Carty** pela valiosa contribuição na minha carreira profissional e formação pessoal.

Aos meus colegas e amigos **Orlando Valverde, Ronald Chavez, Antonio Villanueva, Ernesto Cardenas, Julius Benavides, Ernesto Quequezana, José Luis Calderón, Janett De Tomas, Carlos Villon, César Rosadio e Erick Espinoza** da Universidade Nacional Agraria La Molina, pela grande amizade e palavras de ânimo.

Aos meus colegas e amigos **Cassiano, Léo, José Vitor, Marcos, Giuliano, Gustavo Faulin, Gustavo Fontana, Flávia, Vitória, Geraldo, Carlos Magno, Thiago, Fabrício, Rafael G., Alexandre, Paulo, Celso, Bruno, Rafael C., Heitor, Tatiana T., Luis Trevisan, Aline C. e**

**André Andrade** pela amizade, pelos bons momentos e convivência durante todo o tempo de desenvolvimento do mestrado.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural: **Áureo Oliveira, Juarez Amaral, Francisco de Oliveira, José Geraldo Gomes, José Ferreira de Oliveira (Juquita), e Luiz Alfonso da Costa**, pelo apoio nas atividades realizadas durante a pós-graduação.

Às secretárias do Departamento da Engenharia Rural, **Fernanda B. N. Silva e Davilmar Collevatti** pela agradável convivência.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	11
2.1 Revisão bibliográfica.....	11
2.1.1 Custos de produção e volumes de aplicação na citricultura.....	11
2.1.2 Tecnologia de aplicação na citricultura.....	12
2.1.3 Estudos sobre atomizadores rotativos .....	20
2.2.1 Sistema de aplicação com atomizadores rotativos .....	24
2.2.1.1 Medida da vazão dos atomizadores rotativos .....	26
2.2.2 Sistema de aplicação com bicos hidráulicos.....	26
2.2.2.1 Medida da vazão dos bicos hidráulicos .....	27
2.2.3 Velocidade de operação.....	28
2.2.4 Medida da velocidade e fluxo do ar gerado pelo pulverizador.....	28
2.2.5 Coleta de dados.....	29
2.2.6 Análise da Deposição .....	34
2.2.6.1 Placas de vidro.....	34
A. Procedimento Analítico .....	35
a. Preparação das soluções padrão.....	35
b. Fortificações .....	35
c. Extração .....	35
2.2.6.2 Folhas .....	36
A. Limites de quantificação de recuperação e descrição do método de análises de depósitos de Methidathion em amostras de folha .....	37
B. Procedimento Analítico .....	37
a. Preparação das soluções padrão.....	37
b. Validação do método analítico .....	37
c. Extração .....	37
d. Limpeza .....	38
e. Determinação quantitativa .....	38

2.2.7 Aparelhos, vidrarias e outros materiais .....	39
A. Aparelhos/Equipamentos .....	39
B. Solventes/Reagentes .....	39
2.2.8 Rotinas de cálculo.....	40
2.2.8.1 Determinação quantitativa de depósito nas placas de vidro .....	41
A. Área injetada.....	41
2.2.8.2 Determinação quantitativa de depósito nas folhas de citros.....	41
2.3 Resultados e Discussões .....	44
2.3.1 Volume de aplicação do atomizadores rotativos .....	44
2.3.2 Volume de aplicação dos bicos hidráulicos.....	44
2.3.3 Endoderiva.....	48
2.3.4 Exoderiva.....	49
2.3.5 Plantas.....	54
3 CONCLUSÕES .....	60
REFERÊNCIAS .....	61

## RESUMO

### **Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros**

O presente trabalho teve por objetivo avaliar e comparar dois sistemas de aplicação de agrotóxicos em citros visando à redução do volume de aplicação com base no estudo da quantidade de produto que permanece no alvo (deposição) e análise das gotas. Na citricultura utilizam-se altos volumes de aplicação (de 2000 a 5000 L.ha<sup>-1</sup>) para o controle de pragas e doenças incrementando os custos operacionais, por esse motivo, atualmente vem-se desenvolvendo diversos sistemas de aplicação com tecnologia sofisticada visando diminuir esses volumes para 200 ou 500 L.ha<sup>-1</sup> mas permitindo que a quantidade de produto depositado no alvo seja eficaz no controle de pragas e doenças.

Procuramos avaliar dois sistemas de aplicação de agrotóxicos com um pulverizador de jato transportado. Os sistemas de aplicação utilizaram os atomizadores rotativos de discos e os bicos hidráulicos para efeito comparativo do desempenho. Foi realizada uma pulverização em duas passadas para cada sistema sobre uma amostra de quatro árvores. Utilizaram-se papéis hidrosensíveis, folhas e placas de vidro para a coleta dos dados. Para a análise da gota utilizou-se o software de leitura visual e-Sprinkle e a análise de deposição foi realizada com cromatografia gasosa e cromatografia de permeação em gel. Concluiu-se que o sistema de aplicação com atomizadores rotativos mostrou resultados favoráveis de deposição quando comparado com o sistema de aplicação com bicos hidráulicos, uma vez que esses resultados não foram significativamente diferentes. O que resulta bastante importante é que o sistema de aplicação com atomizadores rotativos utilizou um quinto do volume de aplicação quando comparado ao sistema com bicos hidráulicos, pelo que se deve considerar de vital importância o aspecto econômico para trabalhos complementares.

Palavras-chave: Sistema de aplicação; Atomizadores rotativos; Bicos hidráulicos; Deposição

## ABSTRACT

### **Performance of two application systems of pesticides in citrus**

The aim of the work was to evaluate and compare two application spray systems of pesticides in citrus, aiming the reduction of the application volume rate in based in the amount of product that remains in the target (spray deposition) and distribution of the drops. Actually in the citrus orchard high application volumes rates for the pest control are used increasing the operational costs. The application system must be based in sophisticated technology to reduce the application volumes rates and also be efficient in the pest control. For such we evaluated two pesticides application systems with an air carrier sprayer. The application systems used were the rotary discs atomizers and the hydraulic nozzles, to compare the performance based in the applied volume rates, spray deposition and droplets distribution. A spraying run for each system was performed on a random sample of four trees for each system, water-sensitive papers, leaves and glass slides had been used for data collection. The water-sensitive papers were analyzed with visual imaging software (e-Sprinkle) and the spray deposition was analyzed with gas chromatography and gel permeation chromatography. The application system with rotary discs atomizers used reduced application volumes rates and had less deposit than hydraulic nozzles but did not significantly different. Those results were important because the application system with rotary discs atomizers only used fifth of the application volume rate compared with hydraulic nozzles, must be consider of vital importance the economical aspect to complementary works.

**Keywords:** Spray Application; Rotary Atomizers; Hydraulic Nozzles; Spray Deposition

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das culturas perenes de maior consumo de agrotóxicos é a laranja, sendo isto necessário para o controle de pragas e doenças. O consumo de agrotóxicos tem influência nos custos operacionais, por esse motivo o seu uso adequado e o conhecimento da tecnologia de aplicação é a preocupação cada vez mais constante dos produtores agrícolas que tem realçado a necessidade de procurar tecnologia sofisticada que permita a redução desses custos. Dessa forma o produtor precisa conhecer detalhadamente o seu custo de produção e estar apto para melhorar a eficiência da tecnologia de aplicação dos agrotóxicos.

Sendo que a laranja é uma das culturas mais importantes e representativas da citricultura brasileira cabe ressaltar que o Brasil é o principal produtor da produção atual mundial (104,51 milhões de toneladas equivalentes a 22 % da fruticultura global) com 18,69 milhões de toneladas, seguido pelos Estados Unidos, México, Índia e China (IBRAF, 2004). Segundo (NEVES; LOPES, 2005) o setor de agrotóxicos representa o maior faturamento dentro dos custos de produção para a citricultura brasileira chegando em 40 % de participação. Ao passo que a área cultivada de citros declinou de 1.029 mil hectares em 1999 para 823 mil hectares em 2003, as vendas de agrotóxicos para citricultura aumentaram 3,5 % de 1999 a 2003 (de US\$ 128,5 milhões para US\$ 133,1 milhões). Como reflexo desse processo, os gastos com agrotóxicos por hectare cultivado aumentaram expressivamente de US\$ 125.ha<sup>-1</sup> em 1999 para US\$ 162.ha<sup>-1</sup> em 2003. Isso mostra maior preocupação do produtor de citros para diminuir esses gastos.

O sistema de aplicação de agrotóxicos praticado é predominantemente de alto volume (de 2000 a 5000 L.ha<sup>-1</sup>), tendo como resultado, um consumo crescente de agrotóxico (3,2 kg.ha<sup>-1</sup>) e substanciais perdas por deriva que é consequência da aplicação. O controle de pragas e doenças está relacionado com a quantidade de produto sobre a superfície no alvo, distribuição das gotas e volume de pulverização; por tanto, a planta cítrica constitui-se um dos alvos mais difíceis de serem cobertos, devido às características e estrutura desta.

O objetivo do presente trabalho foi de avaliar a deposição e a deriva em dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros, utilizando atomizadores rotativos de discos e bicos hidráulicos de jato cônico vazio.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão bibliográfica**

#### **2.1.1 Custos de produção e volumes de aplicação na citricultura**

Os estudos recentes na citricultura evidenciam a importância do controle fitossanitário na diminuição dos gastos operacionais devido, à crescente participação dos agrotóxicos na composição dos custos, principalmente nos gastos com acaricidas. Quando se analisa os gastos e o consumo de ingrediente ativo por classe de agrotóxicos, verifica-se a forte participação dos acaricidas em relação às outras classes. O acaricida representa 53 % do consumo de agrotóxicos pela atividade citrícola, seguido pelos fungicidas, herbicidas e inseticidas (NEVES et al., 2004).

Rigolin e Tersi (1999) afirmaram que o controle de ácaros se apresenta com maior destaque nos custos de produção em pomares de laranja (40 % do custo total), tanto pela utilização de acaricidas de custo elevado como pelo baixo rendimento operacional determinado pela pulverização com altos volumes de calda como forma de garantir um bom desempenho dos produtos.

O trabalho publicado por (MATUO, 1990), demonstra através da fórmula de Courshee (1967), que o volume de calda e o tamanho de gotas são variáveis capazes de modificar a cobertura promovida pela pulverização. O volume de calda, apesar da grande influência sobre os custos, tem sido a variável mais utilizada pelo citricultor para garantir a qualidade de pulverização. Para conseguir melhores rendimentos operacionais, maior eficiência nas pulverizações e redução no consumo dos insumos, torna-se obrigatória a utilização da variável tamanho de gotas (RIGOLIN; TERSI, 1999).

Tachibana (2000) afirmou que o alto custo da operação aliada com a necessidade das empresas agrícolas reduzirem os gastos, abriu o mercado para pulverizadores de tecnologia sofisticada. Eles visam reduzir o volume de calda aplicado em até três vezes e a quantidade do produto ( $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em cerca de 20 % quando comparados com os equipamentos utilizados tradicionalmente.

Da Costa (2003) afirmou que em função dos hábitos da praga ou doença em se manter na parte mais interna da copa das plantas, seu tamanho diminuto, dos portes e formas variadas das copas, dos equipamentos utilizados, a pulverização é efetuada com elevados volumes de aplicação, na busca de um controle eficaz. A escassez de trabalhos que determinem critérios

suficientes para uma operação racional de aplicação de agrotóxicos e controle da praga ou doença contribui para um quadro controverso em que técnicos argumentam a favor do uso de altos volumes com o fim de manter a eficácia de controle. Ao mesmo tempo se buscam meios para tornar a atividade financeiramente mais econômica e menos impactante ao ambiente e à saúde dos operadores.

### **2.1.2 Tecnologia de aplicação na citricultura**

Hall (1981) com o objetivo de realizar uma análise do efeito do volume de aplicação e pressão de operação na deposição em pomares de maçãs, utilizou amostras de folhas e colocou placas de vidro em postes ou torres. Comparou os níveis de depósito de um alto volume de aplicação ( $3972 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) realizado com uma pistola de pulverização, com volumes de aplicação reduzidos: 718, 301, e  $167 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  realizado com um pulverizador de jato transportado FMC Modelo 3000 CP equipado com bicos hidráulicos, em diferentes cultivares de maçãs com alturas que variaram de 4,2 a 5,2 m. O autor observou que não houve significativa diferença de deposição para os volumes de aplicação de 301 e  $718 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mas foram superiores quando comparados ao volume de  $167 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  onde a deposição foi levemente menor. A pressão de trabalho de 690 kPa gerou altos depósitos nas folhas e placas de vidro quando comparado à pressão 2760 kPa, mas os depósitos nas placas de vidros foram significativamente superiores.

A influência da velocidade de operação, da pressão e do tipo de bicos sobre a distribuição dos depósitos da pulverização de um pulverizador FMC modelo 12-RC foram avaliados por (CARPENTER et al., 1983). As avaliações da deposição foram realizadas em postes com duas alturas onde foram colocados os coletores. Os resultados mostraram maior uniformidade a 0,31 m acima do nível do solo do que a 1,22 m. A 0,31 m de altura a uniformidade dos depósitos diminuiu com o aumento da velocidade operacional. Na altura de 1,22 m, não houve efeito da velocidade da operação sobre a uniformidade de deposição. Os autores quando utilizaram bicos de baixas vazões com velocidade de operação de  $0,89 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e pressões de 690 kPa a 2760 kPa à altura de 0,31 m, obtiveram os maiores depósitos com melhor uniformidade. A essa mesma altura a quantidade de depósito incrementou-se com o aumento da distância do pulverizador ao alvo.

Forshey et al. (1983) afirmou que em pomares o alvo é complexo em função das possíveis posições onde podem se instalar as pragas ou doenças que afetam a cultura. Estas podem estar na parte externa, média ou interna e em relação à altura, na parte alta, central ou baixa da planta.

Bukovac (1985) indicou algumas mudanças em técnicas de pulverização para citros. O desenho dos pomares possibilita um ótimo uso de pequenas plantas de alta densidade foliar, inclusive quando ocorrem mudanças na forma da planta como resultado de um novo material genético e das práticas culturais. Por esse motivo, os requisitos para uma maior precisão na predição da dosagem a aplicar no alvo incrementam-se, desde o tradicional alto para baixo volume de aplicação com o uso de atomizadores rotativos e de tela e bicos hidráulicos obrigando a uma adoção de programas de manejo integrado de pragas no tratamento de pomares.

Van Ee et al. (1985) compararam a deposição e penetração no alvo de um pulverizador do tipo jato transportado e um do tipo cortina de ar. A melhor deposição do produto utilizando um traçador cúprico em plantas de laranja (altura superior a 3,6 m) foi com o volume de pulverização de 160 L.ha<sup>-1</sup> aplicado pelo pulverizador do tipo cortina de ar. A velocidade de operação foi de 1,33 m.s<sup>-1</sup> e a velocidade do ar do pulverizador foi de 17,78 m.s<sup>-1</sup>. Esse resultado foi melhor quando comparado com o pulverizador do tipo jato transportado que aplicou 2340 L.ha<sup>-1</sup>.

Travis et al. (1987) avaliaram a deposição e a distribuição de um macronutriente em macieiras pequenas e médias e como são afetados pela densidade foliar. Utilizaram um pulverizador de jato transportado com velocidade operação de 0,90 m.s<sup>-1</sup> e volume de aplicação de 617 L.ha<sup>-1</sup>. As mais altas deposições 12,1 e 16,1 µg.cm<sup>-2</sup> na superfície da folha apresentaram-se em plantas medianas e pequenas respectivamente com leve densidade foliar. As deposições nas plantas com moderada densidade foliar não foram significativamente diferentes, mas apresentaram-se variações nas plantas com alta densidade foliar. Os autores constataram que plantas de tamanho médio (4,1 m de altura) e pequeno (3,1 m de altura) com leve densidade foliar apresentaram as maiores deposições e uma melhor uniformidade na distribuição do produto.

Travis et al. (1987), estudaram o efeito da velocidade de operação, volume de aplicação e arranjo de bicos na deposição de agrotóxicos em macieiras da variedade “Golden Delicious” utilizando um pulverizador convencional de jato transportado FMC John Bean modelo E200. As velocidades e volumes testados foram respectivamente 0,67; 0,89; 1,11 e 1,33 m.s<sup>-1</sup> e 374, 617, 935 e 3742 L.ha<sup>-1</sup>. O arranjo de bicos foi testado como uma porcentagem do volume total aplicado na terça parte alta da planta e nos dois terços na parte média e baixa da planta. Nessas condições de trabalho os resultados de maior e menor variação na deposição foram obtidos com uma velocidade de 0,89 m.s<sup>-1</sup> e volume de aplicação de 617 L.ha<sup>-1</sup>, com arranjo de bicos de 66 %

da calda no terço superior e 34 % da calda nos dois terços inferiores para plantas consideradas de tamanho médio (4,1 m), e com arranjo 50 e 50 % nas plantas consideradas pequenas (3,1 m).

Salyani (1988) avaliou o efeito do tamanho de gotas na eficiência de deposição de um pulverizador de jato transportado em citros em função da distância ao alvo, velocidade de operação, superfície foliar e surfactantes, concluindo que o tamanho ótimo das gotas para uma pulverização em plantas cítricas deve estar entre 240 e 340  $\mu\text{m}$ .

Whitney e Salyani (1990) avaliaram as características da deposição e penetração de um pulverizador designado como convencional de jato transportado modelo FMC 9100 equipado com sete bicos hidráulicos, e um do tipo cortina de ar modelo AC CURTEC equipado com quatro ventiladores de fluxo cruzado com um atomizador rotativo para cada ventilador, ambos operando na velocidade de  $0,67 \text{ m.s}^{-1}$ , reguladas para aplicar  $233 \text{ L.ha}^{-1}$  e com fluxos de ar de 25 e  $14,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  em apenas um dos lados, respectivamente. A deposição com o pulverizador AC CURTEC foi significativamente menor do que o FMC 9100. Os coeficientes de variação dos depósitos foram de 105 e 110 % para AC CURTEC e FMC 9100 respectivamente.

Palladini (1990) avaliou o efeito dos mesmos parâmetros estudados por Carpenter et al. (1983) em macieiras sob diferentes alturas e posições, utilizando um pulverizador de jato transportado Arbus modelo 850. A melhor distribuição da pulverização foi obtida com um arranjo de bicos 50 e 50 %, aplicando um volume igual nas partes superior e inferior da planta, respectivamente. As maiores deposições foram obtidas nas velocidades de operação de  $0,83$  a  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  e na parte inferior das plantas. A utilização desse equipamento mostrou que a velocidade de deslocamento de  $0,70 \text{ m.s}^{-1}$  proporcionou melhor cobertura foliar.

Com a finalidade de encontrar alternativas de trabalho que tenham a mesma eficiência e menor custo que os métodos convencionais de pulverização em pomares de citros (JUSTE et al. 1990) avaliaram quatro equipamentos de aplicação de agrotóxicos (pistola manual, bicos oscilantes, pulverizador de jato transportado, e pulverizador de jato transportado de baixa pressão) através dos parâmetros: penetração da pulverização, tamanho de gotas, deposição e controle de pragas. Os volumes de aplicação utilizados pelos equipamentos variaram de 420 a  $5400 \text{ L.ha}^{-1}$  em função do tipo da máquina e da praga a ser controlada. Os autores detectaram que o escorrimento na árvore foi muito maior com os bicos osciladores (20,8 %) e para a pistola manual (9,1 %), enquanto para o pulverizador de jato transportado e para o pulverizador com baixa pressão as perdas foram as menores constatadas, 5,2 % e 1,5 %, respectivamente. Em

relação à profundidade de penetração todas as máquinas variaram entre a parte externa e interna da copa da planta, especialmente para os pulverizadores de jato transportado. Os bicos oscilantes obtiveram similar desempenho que as pistolas manuais e apresentou-se como alternativa na substituição ou método alternativo visando à redução dos custos. Para o controle de pragas, os pulverizadores de jato transportado convencionais e à baixa pressão obtiveram um controle superior a 95 % para pragas localizadas na parte externa da copa da planta, porém, quando o alvo é interno somente o pulverizador à baixa pressão obteve um desempenho razoável, com 75 % de controle. Para ambos os pulverizadores de jato transportado convencionais, os autores recomendaram aumentar o volume de fluxo de ar para obterem uma melhor penetração dentro da copa.

Para Boggio (1995), a velocidade de operação está relacionada com o tipo de equipamento e a região da planta que se deseja atingir (alvo). No caso dos equipamentos com pistolas manuais, se a velocidade de operação for elevada os operadores não conseguirão promover uma boa cobertura de pulverização na planta e se a velocidade for muito baixa, haverá sobreposição da aplicação causando perdas por deriva. Para os pulverizadores de jato transportado, a velocidade de operação tem maior importância, pois, quando houver necessidade de atingir o interior da copa, a velocidade deverá permitir que a cortina de ar consiga penetrar na planta. Caso deseje-se uma aplicação na parte externa da copa a velocidade pode ser maior.

Raetano (1996) avaliou o sistema de aplicação de bicos hidráulicos com os pulverizadores Arbus modelos 2000 Export e 2000/850. A melhor cobertura das folhas situadas na parte interna da copa foi obtida com uma pressão de 2070 kPa com 14 bicos de pulverização do tipo JA-2 no ramal superior e 21 no ramal inferior. Menores velocidades de operação de 1,0 e 1,41 m.s<sup>-1</sup> e pressão 2070 kPa proporcionaram maiores níveis de cobertura foliar. O arranjo de bicos (35 bicos JA-2) possibilitou a obtenção de maiores índices médios de penetração da pulverização na copa da árvore com menores volumes de aplicação, com menor velocidade de operação e maior pressão. O autor constatou uma relação diretamente proporcional entre o volume de calda aplicado e o nível de depósito nas folhas posicionadas externamente na copa que independentemente da altura, apresentaram depósitos superiores aos verificados na parte interna da copa.

Morgan (1981) concluiu que a deposição ideal do agrotóxico sobre as plantas seria, naturalmente, quando estiver em quantidades suficientes e uniformes em toda a copa. No entanto,

avaliações da deposição dos agrotóxicos têm mostrado que as partes internas e mais altas das plantas recebem quantidades insuficientes de produto, enquanto as partes externas e inferiores da árvore recebem as maiores quantidades.

A presença de depósitos, em quantidades duas vezes maiores na parte externa em relação ao interior da copa em citros, foi constatada por (MATUO, 1988) para aplicações convencionais com pistola de pulverização e com pulverizadores de jato transportado.

Raisilg e Felber (1991) avaliaram e compararam dois pulverizadores modelos Holder QU 41 com ventiladores de fluxo cruzado de vinte bicos hidráulicos de jato cônico vazio e Fisher Turbo Six de seis ventiladores de doze bicos hidráulicos de jato plano, no efeito da deposição sobre macieiras da variedade “Golden Delicious”. A velocidade operação foi de  $1,39 \text{ m.s}^{-1}$  com volumes de ar de  $1,11$  e  $1,33 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  respectivamente, a aplicação foi realizada em ambos lados da árvore com um volume de pulverização de  $330 \text{ L.ha}^{-1}$ . Os depósitos recuperados em folhas com o pulverizador Holder QU 41 foi de 53 % quando comparado com o pulverizador Fisher Turbo Six que foi de 46 %. A deposição não foi significativamente diferente para ambos os pulverizadores.

Whitney e Salyani (1989) avaliaram o efeito da velocidade de operação ( $0,44$ ;  $0,78$ ; e  $1,11 \text{ m.s}^{-1}$ ) com volumes de aplicação ( $1170$ ,  $2340$  e  $4680 \text{ L.ha}^{-1}$ ) e uma solução cúprica ( $4,4 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) em citros, aplicada com dois pulverizadores de jato transportado modelo FMC 987 que tem uma saída de ar retangular ( $33 \text{ cm}$  de comprimento e  $1,82 \text{ m}$  de altura) e Southwind modelo 836 também com saída de ar retangular ( $14 \text{ cm}$  de comprimento e  $1,40 \text{ m}$  de altura) e fluxos de ar de  $42$  e  $14 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  respectivamente. As amostras foram acessadas com 18 pontos localizados em um quadrante da planta com três alturas ( $1,5$ ;  $3,2$  e  $4,9 \text{ m}$ ), dois rádios (na parte externa e  $0,8 \text{ m}$  na parte interna) e três azimutes ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ). A deposição cúprica na parte inversa da folha não foi afetada pela velocidade de operação e o volume aplicado. Os três fatores (altura, rádio e azimute) tiveram significativo efeito. A deposição foi maior na parte média, externa e  $90^\circ$  de azimute da planta ( $3,2 \text{ m}$  e  $2,91 \mu\text{g.cm}^{-2}$ ) e menor na parte baixa, interna e  $0^\circ$  de azimute da planta ( $1,5 \text{ m}$  e  $2,57 \mu\text{g.cm}^{-2}$ ). A deposição na superfície da folha foi de significativo efeito para os três fatores. Para cada fator, os depósitos foram associados com o pulverizador Southwind modelo 836,  $2340 \text{ L.ha}^{-1}$ ,  $1,11 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $3,2 \text{ m}$  de altura da planta, na parte externa e  $90^\circ$  de azimute obtendo uma deposição de  $3,22 \mu\text{g.cm}^{-2}$ . A razão porque os depósitos foram maiores no pulverizador Southwind 836 deve-se que o pulverizador FMC 987 foi muito mais agressivo em movimentar as

folhas especialmente nas partes altas da planta. Isto foi provavelmente devido ao cambio do ciclo na direção do ar entrando na planta pelos osciladores no pulverizador FMC 987.

A necessidade de melhorar a deposição e penetração dos agrotóxicos, em pomares de citros levou alguns pesquisadores a estudar o efeito do ar oscilante nos pulverizadores de jato transportado. Entretanto, alguns citricultores da Flórida (EUA) têm questionado a melhoria da cobertura de pulverização utilizando o ar oscilante durante a aplicação. Baseando-se neste fato, (SALYANI; WHITNEY, 1990) avaliaram a deposição de uma solução cúprica (240 ppm de Cu) em citros utilizando um pulverizador de jato transportado, modelo FMC 9100, com placas oscilantes em um dos lados em funcionamento, e do outro placas imóveis e posicionadas paralelamente à direção do fluxo do ar. Os autores verificaram que o depósito foi em média 10,2 % maior na ausência de osciladores em relação à presença deles.

Hoffmann e Salyani (1996) avaliaram os efeitos da temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, direção do vento e índice de umidade das folhas (em função à temperatura e umidade relativa) durante um período de 24 horas na deposição em pomares de citros. Utilizaram diferentes volumes de aplicação (470, 1890 e 4700 L.ha<sup>-1</sup>). Foi encontrado um efeito significativo na deposição. Esta aumentou quando o volume pulverizado diminuiu e geralmente também decresce com amostras localizadas na parte alta e interna da planta. Os parâmetros meteorológicos não tiveram efeitos significativos na deposição, no entanto, as aplicações durante a noite (associadas com temperaturas baixas e umidades relativas altas) tiveram mais altas deposições do que as aplicações durante o dia (associadas com temperaturas altas e umidades relativas baixas). Em geral, o incremento de deposições para alto volume aplicado foi mitigado pelo índice de umidade das folhas.

Cunningham e Harden (1998) avaliaram a máxima retenção da pulverização e perdas por deriva em um pomar de laranjas utilizando diferentes volumes de aplicação e diferentes velocidades de operação. Eles utilizaram um pulverizador tipo torre com bicos de jato cônico vazio marca Albus para pulverizar 1000, 2000, 4000 e 8000 L.ha<sup>-1</sup> com velocidades de operação de 0,47 e 1,0 m.s<sup>-1</sup>. A pulverização retida pelas folhas incrementou-se quando aumenta-se o volume de aplicação, mas a porcentagem de retenção decresce quando é aplicado o volume de 2000 L.ha<sup>-1</sup> e as perdas pela deriva também aumentam. Os depósitos nas folhas da parte baixa da árvore foram maiores do que na parte média e decresceram na parte alta da árvore. Este tipo de comportamento provavelmente foi causado pelo fluxo do ar gerado pelo pulverizador, isto produz

desigual distribuição do fluxo na medida em que penetra na planta e as folhas não conseguem ser cobertas totalmente. A velocidade de operação  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$  não reduziu a pulverização retida na folha quando comparado à velocidade de  $0,47 \text{ m.s}^{-1}$ , mas reduziu a deriva quando é aplicado o volume de  $4000 \text{ L.ha}^{-1}$ . Eles concluíram que um volume de aplicação que não ultrapasse os  $2000 \text{ L.ha}^{-1}$  reduz as perdas na copa da planta e as perdas por deriva conseguindo maximizar a cobertura da pulverização nas folhas.

Visando a redução do custo de operação no controle de ácaros no pomar de laranjas (RIGOLIN; TERSI, 1999) utilizaram como estratégia a redução do tamanho da gota como forma de diminuir o volume de aplicação. Os autores adotaram como parâmetro a aplicação de herbicidas sistêmicos, na qual a utilização de gotas menores possibilitou redução do volume de aplicação, redução na dose do herbicida (maior eficiência com o aumento da concentração da calda) e aumento na autonomia dos equipamentos, proporcionando redução significativa tanto no custo operacional como nos insumos. Eles basearam-se na Fórmula de Courshee, modificando a variável diâmetro de gotas obtendo uma maior porcentagem de cobertura ideal para herbicidas sistêmicos. Ressalta, porém, a importância de conhecer as limitações dos equipamentos e as condições climáticas para posicionar a utilização dessa tecnologia nos diferentes pomares e alvos a serem atingidos na planta. Eles concluíram que o uso de pulverizadores de jato transportado se mostrou mais eficiente para pulverização de alvos externos (ácaro da ferrugem) nas plantas e apenas propiciaram uma boa cobertura interna mediante o uso de baixa velocidade de operação e altos volumes de aplicação. No controle de ácaro da leprose (alvo interno) em pomares de grande porte, muitas vezes torna-se necessário manter a pulverização com pistolas, apesar do alto custo operacional que elas representam.

Tachibana (2000) desenvolveu um modelo computacional para simular sistemas mecanizados utilizados na aplicação de agrotóxicos em laranja, visando à redução de custos. Através da análise determinou que o volume de aplicação, velocidade de operação, preços de aquisição das máquinas e do óleo diesel, são os que mais influenciam no custo operacional. Baseando-se em estudos sobre eficiência de pulverização com reduções de volumes de aplicação de 10 %, conclui que pode se obter uma redução nos gastos de 20 % a 25 %.

Farooq e Salyani (2002) conduziram ensaios de campo com dois pulverizadores, para avaliar os efeitos de deposição e penetração de pulverização em citros com volume e fluxo de ar determinados. Utilizaram os modelos AC CURTEC de ventiladores de fluxo cruzado de ar com

atomizadores rotativos e a TITAN de ventiladores de fluxo de ar axial com bicos hidráulicos. Para ambos os pulverizadores, a deposição decresceu na parte interna da planta, e a penetração de pulverização foi melhorada com o incremento do volume aplicado. Com o pulverizador AC CURTEC a penetração de pulverização aumentou quando o volume aplicado foi de 250 a 980 L.ha<sup>-1</sup>, mas não quando se muda o volume de 980 a 1945 L.ha<sup>-1</sup>. Para o TITAN, o volume de aplicação 1875 L.ha<sup>-1</sup> deu melhor penetração que os 725 L.ha<sup>-1</sup>. O TITAN teve um significativo efeito na redução de deposição na parte interna da árvore. O fluxo de ar de 28 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> deu melhor deposição do que 37 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Cross et al. (2003) avaliaram o desempenho de um ventilador axial na deposição e perdas de pulverização em diferentes tamanhos de plantas de maçã variando o fluxo de ar volumétrico (de 11,3-padrão, 7,5 a 4,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Os resultados obtidos indicaram que reduzir o fluxo de ar volumétrico pode reduzir substancialmente a movimentação da pulverização sem afetar a variação dos depósitos em cada lado da folha, no entanto a quantidade acima da folha versus a parte inferior pode variar totalmente. Também concluíram que as reduções fazem que o volume pulverizado seja mais vulnerável ao vento e a densidade da planta que reduzem a penetração da pulverização. O fato é que não existiram significativas diferenças com os fluxos de ar volumétricos aplicados de 11,3 a 7,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> nos depósitos da pulverização, no entanto, existiu diferença com o fluxo de 4,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, onde a redução de 64 % comparado com o padrão foi mais variável.

Farooq e Salyani (2004) desenvolveram um modelo para estimar a deposição em citros de um pulverizador de tipo torre com ventiladores de fluxo cruzado e seis atomizadores rotativos (dois com cada ventilador) sob diferentes condições de aplicação. O modelo foi baseado no deslocamento da pulverização dentro da copa da planta. A sensibilidade do modelo foi avaliada para o volume de aplicação, densidade folhar, distância do pulverizador à planta, diâmetro da copa, altura da planta, fluxo de ar do pulverizador e velocidade de operação. A deposição se incrementou com o volume de aplicação, mas decresceu com a altura da planta e com a velocidade de operação. O diâmetro da planta não afetou à deposição. Na parte externa da copa da planta a deposição se incrementou com maior densidade folhar e com a distancia do pulverizador à planta, mas decresceu com o fluxo de ar menor.

Ramos et al. (2004) avaliaram o efeito do volume de aplicação aplicado com um pulverizador Arbus 2000/Valência equipado com defletor unilateral de tipo “camarão” e bicos

hidráulicos do tipo jato cônico vazio em um pomar de laranjas da variedade 'Natal' na região de Colômbia-SP. Foram avaliados seis volumes correspondentes a 200, 150, 100, 85, 70 e 50 % do volume padrão utilizado pelo produtor agrícola (28 L.planta<sup>-1</sup>). Eles constataram que os volumes utilizados não diferiram em resultado quando comparados com o volume padrão para o controle do ácaro da leprose até 50 dias após a pulverização.

Ramos et al. (2004) avaliaram o efeito do volume de aplicação sobre a deposição em folhas, galhos e frutos de citros. Para o ensaio utilizaram um pulverizador de jato transportado Arbus 2000/Valência equipado com defletor unilateral de tipo "camarão" e bicos hidráulicos do tipo jato cônico vazio, em um pomar de laranja da variedade 'Natal' na região de Colômbia-SP. Foram avaliados seis volumes correspondentes a 200, 150, 100, 85, 70 e 50 % do volume padrão utilizado pelo produtor agrícola (28 L.planta<sup>-1</sup>). Eles concluíram que o aumento do volume de aplicação aumentou a porcentagem da cobertura nas folhas, galhos e frutos, sendo mais evidente nos frutos. As porcentagens de cobertura nas folhas, galhos e frutos foram superiores no setor horizontal frontal e vertical inferior da planta. A deposição nos galhos foi significativamente maior que nas folhas e frutos. Apenas para o 50 % do volume aplicado a deposição foi significativamente menor que os demais, indicando que o volume de aplicação utilizado pelo produtor pode ser reduzido em até 30 % sem prejuízo na deposição nas folhas, galhos e frutos.

### **2.1.3 Estudos sobre atomizadores rotativos**

O atomizador rotativo de discos em sua forma mais simples é um disco plano, rotativo, sobre qual é lançado um determinado líquido, mas este dispositivo tem constantes melhorias em seu desenho. (WALTON; PREWETT, 1949) demonstraram que pulverizações com espectro homogêneo poderiam ser obtidas, quando um líquido era lançado de um disco rotativo. Pulverizações com discos rotativos foram realizadas anteriormente, porém sem nenhum critério dos parâmetros envolvidos na subdivisão do líquido, de modo a proporcionar um espectro de gotas homogêneo. Embora o potencial dos discos rotativos não esteja totalmente explorado, este talvez seja o dispositivo capaz de produzir gotas com o espectro mais uniforme.

Bals (1970) afirmou que o aumento na eficiência de aplicação e economia podem ser obtidos com aplicações em UBV (ultra baixo volume). O desenvolvimento de aplicações com atomizadores rotativos de discos podem produzir até 90 % do volume do líquido atomizado em

gotas de maior eficiência biológica, os atomizadores rotativos de tela são capazes de produzir até 70 % quando comparado com os bicos hidráulicos que produzem 44 %.

Bals (1970) também afirmou que um equipamento capaz de produzir gotas uniformes é vantajoso desde que se conheça o tamanho de ótimo efeito biológico, assim, poderemos reduzir tanto o volume de aplicação como a quantidade de ingrediente ativo. As experiências com pulverizações em UBV na aviação agrícola, com tamanhos de gotas uniformes, mostraram que a maior porcentagem do agrotóxico aplicado é captada pela superfície do alvo, que na pulverização convencional com bicos hidráulicos.

Monteiro (1970) desenvolveu equipamentos tratorizados para a aplicação de inseticidas em UBV (ultra baixo volume), e concluiu que é possível realizar aplicações empregando atomizadores rotativos elétricos com discos metálicos para a subdivisão do líquido, com rotações entre 9000 e 10000 rpm. Também afirmou que não houve variação da deposição das gotas em função da altura de aplicação.

Bals (1978) também indica que os atomizadores rotativos têm a vantagem de poder alterar a rotação dos discos e que podem gerar um espectro de gotas mais uniforme quando comparado com os bicos hidráulicos.

Bode et al. (1983) citado por Derksen e Bode (1986), confirmam a necessidade de controlar o tamanho da gota quando aplicando herbicida é a eliminação de gotas menores de 150  $\mu\text{m}$  que produzem deriva e as gotas maiores do que 300  $\mu\text{m}$ , fornecendo uma cobertura adequada pela utilização de baixos volumes de aplicação. O atomizador rotativo apresenta essas características e fornece uma cobertura igual do que o bico hidráulico com menor volume de aplicação e menor deriva.

Bouse e Carlton (1983) indicam que os atomizadores rotativos apresentam grandes vantagens para a aplicação de agrotóxicos utilizando óleo como veículo para reduzir a deriva e a evaporação. Existe uma maior uniformidade do tamanho das gotas, melhor penetração dentro da copa da planta, maior quantidade de agrotóxico no alvo, com menos deriva devido ao espectro de gotas gerado e menor custo de aplicação.

Derksen e Bode (1986) afirmaram que a escolha e uso de um sistema de aplicação com um determinado equipamento tem um efeito direto sobre a eficiência de aplicação. Os bicos hidráulicos têm sido utilizados por muitos anos e proveram um aceitável desempenho, embora os bicos hidráulicos produzam um espectro de gotas bastante desuniforme caracterizado pelos

diferentes tamanhos de gota. Os atomizadores rotativos têm demonstrado um significativo avanço na uniformidade do tamanho da gota aplicando baixos volumes de aplicação.

Derksen e Bode (1986) avaliaram atomizadores rotativos Micron Micromax e Spraying Systems Rotojet analisando os parâmetros de diâmetro mediano volumétrico (DMV), uniformidade da distribuição da pulverização e deriva, sob diferentes velocidades de operação e vazões utilizando água e óleo vegetal. Cada atomizador rotativo produz um tamanho de gota cuja uniformidade depende das condições de operação e do produto aplicado. Houve pouca diferença para a deriva entre o uso da água e óleo vegetal com baixas velocidades de rotação. Concluíram que a uniformidade das gotas é controlada melhor com o óleo e a maior uniformidade apresentou-se com o atomizador Rotojet a 4000 rpm e  $0,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Sander (1991) avaliou um pulverizador Rotary Cage Atomiser com atomizadores rotativos de discos e um cilindro de metal para quebrar o líquido comumente utilizado na aviação agrícola para aplicação em pomares e demonstrou que os volumes de aplicação foram inferiores em um 50 % que os utilizados pelos bicos hidráulicos.

#### **2.1.4 Teoria da gota**

Para se entender o processo de pulverização de um líquido é necessário o conhecimento das teorias de formação das gotas e de sua distribuição no ambiente. O conhecimento do tamanho das gotas produzidas e sua diversidade são muito importantes para se obter um alto grau de eficiência biológica das aplicações e reduzir a contaminação do ambiente. Uma vez subdividido um líquido através de um processo mecânico, as gotas e as neblinas produzidas são estudadas em diversos parâmetros os quais vamos somente ter em consideração diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude relativa (AR) e densidade de gotas (DG). O DMV é o tamanho da gota dentro do espectro da pulverização que divide o volume em duas partes iguais, uma metade do volume pulverizado com diâmetros maiores e a outra metade com diâmetros menores que o DMV. A variação entre os diâmetros das gotas de uma pulverização é denominada espectro de gotas. Se as gotas apresentarem uma diferença pequena entre os seus diâmetros, a pulverização terá um espectro de gotas homogêneo e se a diferença entre os diâmetros das gotas for grande o espectro será heterogêneo. A amplitude relativa é uma medida da uniformidade do espectro que é importante na eficiência das aplicações afetando a eficiência

biológica e as derivas das mesmas. A densidade de gotas é a quantidade de gotas por unidade de superfície e é considerada alta quando tiver uma quantidade maior do que 20 gotas por centímetro quadrado ou baixa quando a densidade for menor que 20 gotas por centímetro quadrado (MONTEIRO, 2006).

## 2.2 Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em um pomar de laranja da variedade ‘Valência’, na Fazenda Sertãozinho na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, as árvores foram plantadas com espaçamento de 6 m entre fileiras e 3,5 m entre elas, a altura média das plantas foi de 4 m. A avaliação dos sistemas de aplicação foi realizada em oito plantas (quatro para cada sistema), selecionadas com um padrão de copa mais semelhante e uniforme possível sem a presença de ervas daninhas, procurando-se dessa forma reduzir a interferência de fatores relacionados à desuniformidade das copas na análise dos resultados.

As aplicações foram realizadas com um pulverizador de tipo jato transportado Arbus 2000, com defletor unilateral de tipo “camarão”, ventilador de 850 mm de diâmetro, que segundo o fabricante gera uma velocidade do ar de  $32,78 \text{ m.s}^{-1}$  e um fluxo de ar  $0,21 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . O tanque é de 2000 L de capacidade, em fibra de vidro, a bomba modelo JP-150 de  $150 \text{ L.min}^{-1}$ , o comando convencional, o filtro é modelo FVS-200 e agitação da calda é feita mecanicamente.

O trator agrícola utilizado para o deslocamento do pulverizador foi Massey Ferguson modelo 5285, das seguintes características, motor Perkins modelo 4001 de 4 cilindros e cilindrada de  $4100 \text{ cm}^3$ , potência do motor na rotação nominal (2200 rpm) de 85 CV, potência máxima na TDP de 68 CV com rotação nominal no motor de 1900 rpm, para uma rotação nominal da TDP de 540 rpm, rodado traseiro de 18,4-30 R1 e dianteiro de 7.5-16F2.

Foram utilizados papéis hidrosensíveis de 76 mm x 26 mm para a análise da gota e placas de vidro de 10 x 5 cm ( $50 \text{ cm}^2$ ) e folhas para a análise da deposição.

Os equipamentos de mensuração utilizados durante o ensaio foram: cronômetro CASIO, multifunção, fundo escala  $1. 10 \text{ s}^{-1}$ , anemômetro Turbo Meter Electronic ( $0-44 \text{ m.s}^{-1}$ ), termohigrômetro Lutron HT-3004 (10% - 95%), balança eletrônica, provetas graduadas, trenas, cordas, copos e saquinhos de plástico, caixa de papelão, cliques, grampos, luvas de nitrila, canetas e estacas.

O software utilizado para a análise de gotas foi e-Sprinkle que faz uma análise digital da deposição das gotas. Utilizou-se um scanner simples e as imagens obtidas foram processadas num computador.

### 2.2.1 Sistema de aplicação com atomizadores rotativos

Foi montada num pulverizador uma estrutura de fibra de vidro com suportes onde foram instalados cinco atomizadores rotativos do modelo TT-88B. Segundo o fabricante, o atomizador rotativo apresenta as seguintes características: quatro discos de plástico com a periferia serrilhada, disco com diâmetro de 88 mm acionado por um motor elétrico, disco de orifício D-4, rotação de 2000 a 6000 rpm com um peso aproximado de 1670 g. A variação da rotação do atomizador rotativo é feita por um controlador eletrônico acionado pela bateria do trator. Foi utilizada a ultima posição do controlador conforme a recomendação do fabricante que produz um espectro de gotas médias. A Figura 1 mostra a estrutura montada de fibra de vidro para a instalação dos atomizadores rotativos de discos e a Figura 2 mostra o controlador da rotação dos discos dos atomizadores rotativos.



Figura 1 - Estrutura de fibra de vidro montada no pulverizador com os respectivos atomizadores rotativos



Figura 2 - Controlador de rotação dos discos dos atomizadores rotativos

### 2.2.1.1 Medida da vazão dos atomizadores rotativos

A medida da vazão foi realizada com o ventilador do pulverizador desligado para evitar problemas de vazamento e obter com precisão a medida. A pressão do sistema utilizado foi de 276 kPa e utilizou-se uma proveta de 2000 mL para cada um dos cinco atomizadores, o tempo utilizado foi de um minuto com três repetições cada uma. A Figura 3 mostra a medida da vazão dos atomizadores rotativos.



Figura 3 - Medida da vazão dos atomizadores rotativos com as provetas

### 2.2.2 Sistema de aplicação com bicos hidráulicos

Para a aplicação com bicos hidráulicos utilizou-se o bico de jato cônico vazio modelo AD3 e difusor AC 45 utilizado atualmente em citros segundo o fabricante. O ramal utilizado foi para 13 bicos, este critério foi decidido depois de observar o tamanho das plantas, já que utilizar maior número de bicos poderia causar perdas excessivas por deriva. A Figura 3 mostra o pulverizador com o defletor unilateral tipo “camarão” e os respectivos bicos hidráulicos utilizados no ensaio.



Figura 4 - Defletor unilateral tipo “camarão” do pulverizador e os bicos hidráulicos AD3, utilizou-se o ramal para 13 bicos

### 2.2.2.1 Medida da vazão dos bicos hidráulicos

A medida da vazão foi feita com o ventilador do pulverizador desligado para evitar problemas de vazamento e obter com precisão a medida. Instalou-se um manômetro na entrada do ramal de bicos para obter uma leitura da pressão mais precisa, a pressão do sistema recomendada pelo fabricante foi de 828 kPa e utilizou-se uma proveta de 2000 mL para cada bico hidráulico, o tempo utilizado foi de um minuto com três repetições cada uma. A Figura 5 mostra a medida da vazão dos bicos hidráulicos e o manômetro instalado na entrada do ramal para obter maior precisão do valor no sistema.



Figura 5 - Medida da vazão dos bicos hidráulicos e manômetro instalado na entrada do ramal

### 2.2.3 Velocidade de operação

Para determinar a velocidade de operação do trator agrícola no campo, mediu-se o tempo necessário para percorrer uma distância de 50 m. Foram feitas três repetições e calculada a média. Para o sistema de aplicação com atomizadores rotativos selecionou-se na caixa de mudanças de marchas do trator a 3ª baixa tartaruga e para os bicos hidráulicos a 2ª baixa tartaruga.

### 2.2.4 Medida da velocidade e fluxo do ar gerado pelo pulverizador

Segundo metodologia proposta por De Moor et al. (2000) para ambos os sistemas de aplicação a velocidade do vento de saída do pulverizador foi medida com um anemômetro colocado em ambos os lados de cada atomizador rotativo e de cada bico hidráulico (esquerda e direita), também foi medida a uma distância de 0,85; 1,15 e 1,45 m desde o centro do ventilador. Segundo metodologia proposta por Randall (1971) a medição do fluxo do ar pode ser estimado pela fórmula abaixo:

$$Cd = \left[ 3 \times 3,14 \times \left( \frac{d}{2} \right)^2 \times Va \right] \div 60 \quad (1)$$

em que:

**Cd** é o volume de ar deslocado ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

**d** é o diâmetro de entrada na turbina (m)

**Va** é a velocidade ar na entrada ( $m \cdot s^{-1}$ )

Nesta fórmula, observamos que a velocidade do ar tomada na entrada da turbina deve ser medida em pelo menos 5 pontos e tirada a média. Para este caso a medida da velocidade do ar foi realizada em 8 pontos. Também na fórmula temos um fator de multiplicação 3, pois o volume de ar arrastado na saída da turbina é 3 vezes maior que na entrada do ar. Durante os ensaios foi medida também a velocidade do vento no campo. A Figura 6 mostra a metodologia seguida para medir a velocidade de saída dos atomizadores rotativos. A Figura 7 mostra a disposição dos atomizadores rotativos e bicos hidráulicos no pulverizador.



Figura 6 - Medida da velocidade do ar gerado pelo ventilador do pulverizador quando instalado os atomizadores rotativos

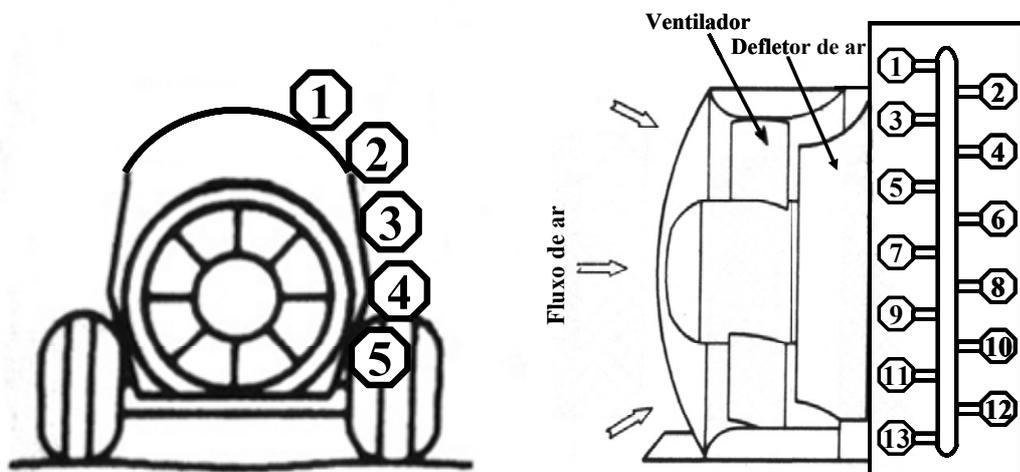


Figura 7 - Esquema da disposição dos atomizadores rotativos (5) e os bicos hidráulicos (13) no pulverizador na vista traseira e lateral respectivamente

### 2.2.5 Coleta de dados

Para análise da deriva de ambos os sistemas de aplicação, foi adaptada a metodologia proposta por (SALYANI; FAROOQ, 2004). Para o caso da endoderiva foram colocadas quatro

placas de vidro e quatro papéis sensíveis distribuídas na linha e na rua, embaixo da planta. A Figura 8 mostra como foram colocadas as amostras embaixo da planta.



Figura 8 - Papéis hidrosensíveis e placas de vidro colocados embaixo da planta

Para o caso da exoderiva foram instaladas sete torres de madeira entre as fileiras (quatro torres alinhadas na planta e três torres alinhadas entre plantas). Em cada torre foi instalado suportes de madeira para cinco posições com respeito ao solo 0,50; 2,0; 3,5; 5,0 e 5,50 m onde foi colocado um papel sensível e uma placa de vidro, contabilizando cinco placas de vidro e cinco papéis hidrosensíveis para cada torre. A Figura 9 mostra como foram colocadas as amostras nos suportes das torres de madeira e como as torres foram alinhadas na planta e entre plantas.



Figura 9 - Torres de madeira onde foram colocados os papéis hidrosensíveis e as placas de vidro

Para análise de gotas de ambos os sistemas de aplicação, foi adaptada a metodologia realizada por (DERKSEN; GRAY, 1995), eles utilizaram uma distribuição prática de papéis

hidrosensíveis na planta. Dividiram em três alturas: alta, média e baixa e em cada altura consideraram-se três profundidades: externa, média e interna e a planta foi dividida em duas áreas, na linha e na rua, criando assim 32 locais de coleta. Os papéis hidrosensíveis foram grampeados diretamente nas folhas e colocados tanto na periferia como no interior da planta, sempre buscando as áreas alvo e levando-se em consideração os pontos críticos de uma possível infestação. Após a aplicação os papéis foram colocados em copos plásticos e transportados para o laboratório. As gotas formadas no papel foram analisadas através do software e-Sprinkle. A Figura 9 mostra como foi dividida em três alturas e três profundidades a planta para realizar a distribuição das amostras e qual foi o deslocamento adotado de aplicação do pulverizador para ambos os sistemas de aplicação.

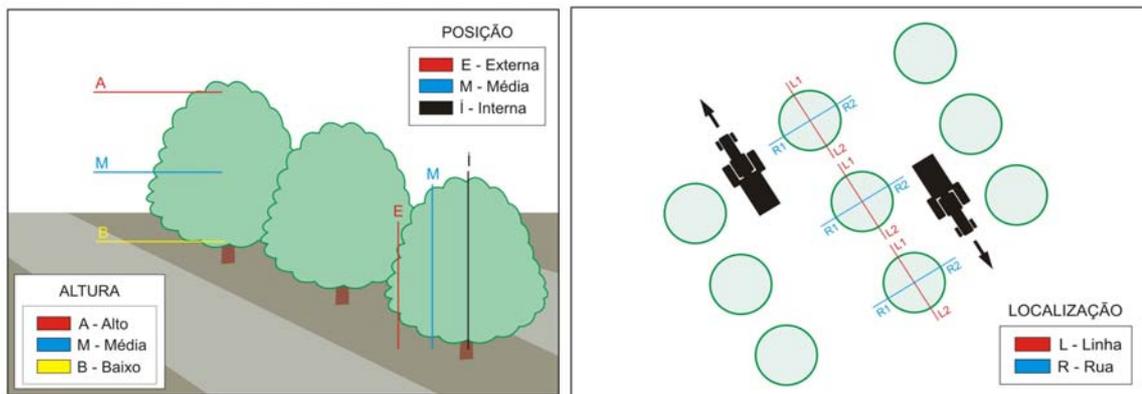


Figura 10 - Esquema da distribuição prática dos papéis hidrosensíveis na planta e deslocamento adotado para o pulverizador (1ª passada e 2ª passada)

Para a análise da deposição nas folhas de citros de ambos os sistemas foi estabelecido metodologia proposta por (HOFFMANN; SALYANI, 1996). Após a aplicação para ambos os sistemas foram retiradas da planta quatro folhas de cada local onde foi colocado o papel hidrosensível dando um total 32 amostras por cada planta. As folhas foram colocadas em sacos plásticos previamente identificadas segundo a localização e em seguida transportadas para o laboratório para serem guardadas na câmara fria com temperatura média de 18°C abaixo de zero. Das torres, após a aplicação da 1ª passada e 2ª passada para ambos os sistemas, as placas de vidro foram retiradas e colocadas em copos plásticos previamente identificados segundo a localização e em seguida transportados para o laboratório também para serem guardadas na câmara fria com temperatura média de 18°C abaixo zero.

Para a respectiva codificação das amostras coletadas na planta, utilizou-se um código de letras e números que identifica onde foram localizadas as amostras dependendo da altura, da profundidade e a área. Igualmente com as amostras localizadas embaixo da árvore e nas torres utilizou-se um código de números dependendo da posição ou altura onde se colocaram. As figuras 11, 12, 13 ilustram melhor o explicado anteriormente. A Figura 14 mostra a direção da pulverização na primeira e segunda passada para ambos os sistemas de aplicação.

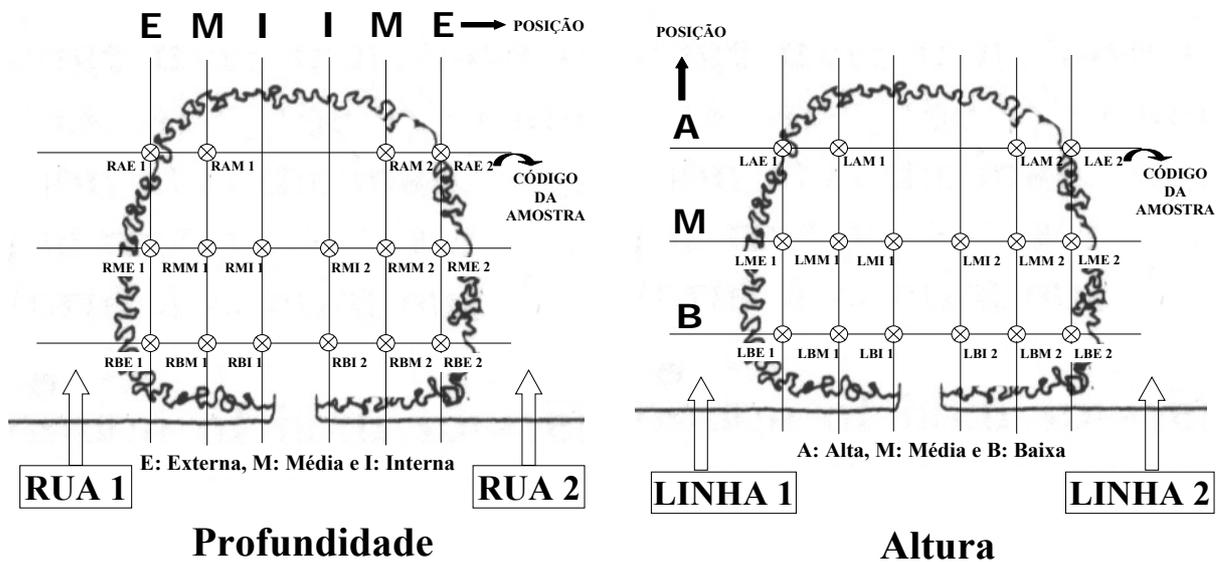


Figura 11 - Esquema de codificação das amostras (papéis hidrosensíveis e folhas) dependendo da localização profundidade, altura e área da planta (rua ou linha)

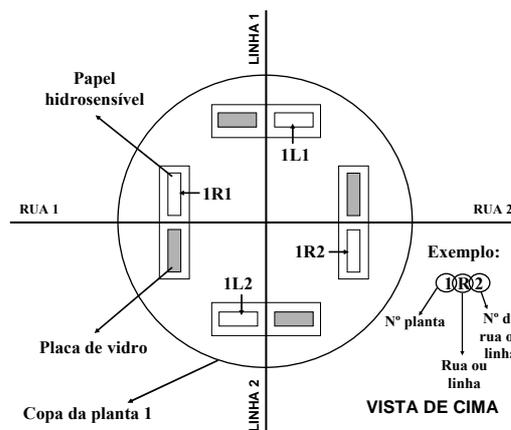


Figura 12 - Esquema de codificação das amostras (papéis hidrosensíveis e placas de vidro) embaixo da planta para análise da endoderiva

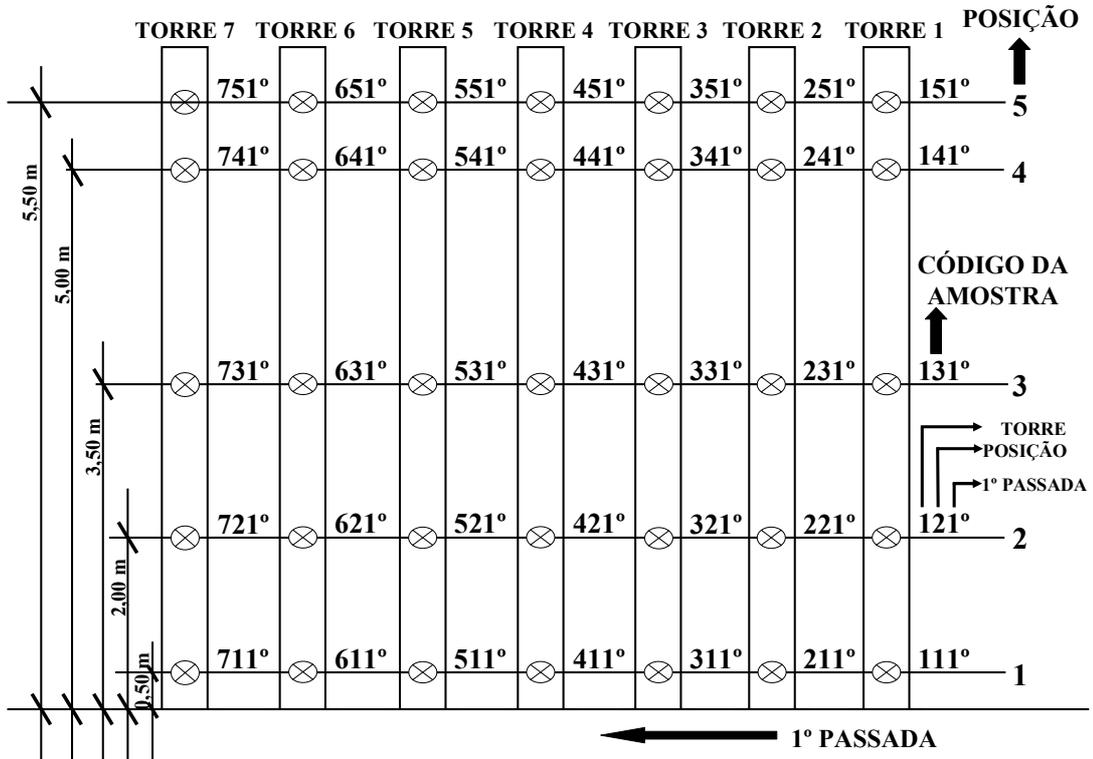


Figura 13 - Esquema de codificação das amostras (papéis hidrosensíveis e placas de vidro) nas torres para análise da exoderiva

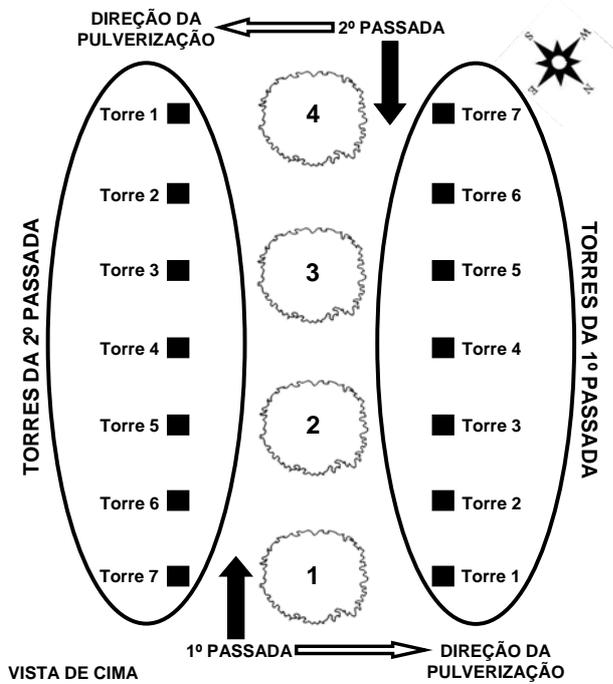


Figura 14 - Esquema das passadas de pulverização para ambos os sistemas de aplicação

### 2.2.6 Análise da Deposição

A análise da deposição que envolve Cromatografia gasosa, Cromatografia de permeação em gel, bem como os testes de validação do método de extração, através de fortificações e recuperações foram realizados no Laboratório de Resíduos de Pesticidas, do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, Piracicaba-SP.

Foram analisadas 172 placas de vidro, 256 amostras de folhas e foi realizado um estudo de fortificações, estes para comprovação da validade do método.

O produto utilizado para ambos os sistemas de aplicação foi SUPRACID 400CE ® da classe inseticida do grupo químico dos organofosforados e cujo tipo de formulação é concentrado emulsionável e indicado para o controle de pragas de citros como cochonilha parlatória, cochonilha pardinha, ortézia, escama farinha e pulgão preto. A composição do SUPRACID 400 CE ® é: 40% m/v (400/l) de 0,0 - dimetil fosforoditioato de S - 2,3 - dihidro -5 - metoxi - 2 - oxo 1,3,4 - tiadiazol - 3 - ilmetila; Methidathion: 60% m/v de adjuvantes. O critério utilizado para trabalhar com este produto baseou-se nas recomendações do pessoal do laboratório.

A figura



Figura 14 - Saquinhos e copos de plástico para colocar as folhas e as placas de vidro respectivamente após a aplicação

#### 2.2.6.1 Placas de vidro

Para a remoção do depósito utilizou-se a metodologia adaptada de (VÁSQUEZ-CASTRO et al., 2006). As placas de vidro possuem uma área de contato de 50 cm<sup>2</sup>.

## **A. Procedimento Analítico**

### **a. Preparação das soluções padrão**

Inicialmente, foram preparadas soluções estoque de Methidathion em acetona. Por tanto, o padrão analítico do inseticida foi solubilizado no citado solvente, de modo a fornecer concentração exata de  $1 \text{ mg.mL}^{-1}$  (solução estoque). As soluções padrão para estudos de fortificação e injeções no sistema cromatográfico GC/MS foram preparadas a partir da solução estoque com diluições feitas, em ciclohexano / acetato de etila (1:1).

### **b. Fortificações**

Com o objetivo de validação do método analítico, foram realizados os estudos de fortificação e recuperação. As porcentagens de recuperação aceitáveis, para se considerar o método exequível, foram estabelecidas entre 70 e 120 %.

### **c. Extração**

- Colocar as amostras em bakere de 500 mL.
- Cobrir com papel alumínio para evitar a volatilização.
- Extrair em ultra-som por, aproximadamente 15 min.
- Retirar a placa de vidro e extrair uma alíquota de 40 mL e transferi-la para tubo de 50 mL do Turbo Vap II (a 40 °C).
- Evaporar o solvente até 1 mL.
- Colocar em vial de tampa azul para futura injeção no cromatógrafo Varian Star 3400X.
- Condições de operação de cromatógrafo:
  - Temperatura
    - injetor 220 °C (splitless);
    - coluna 120 °C por 1 min;
    - 280 °C (rampa de 30 °C por minuto), durante 5 min;
    - detector 300 °C
  - Fluxo de gases

He (arraste)	5 mL.min <sup>-1</sup>
N <sub>2</sub> (make up)	20 mL.min <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub>	3 mL.min <sup>-1</sup>
ar	60 mL.min <sup>-1</sup>

- Tempo de retenção  
8.26 minutos

### 2.2.6.2 Folhas

O método de análise de deposição nas folhas de citros foi adaptado de (ANDERSSON; PALSHEDEN, 1998) que consta da extração dos resíduos do inseticida com acetato de etila em presença de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Uma alíquota do extrato é concentrada por evaporação e os resíduos ressuspensos em uma mistura de acetato de etila/ciclohexano; a seguir procede-se a limpeza por técnica de cromatografia de permeação em gel (GPC), sendo a eluição procedida com a citada mistura. Após nova concentração, o extrato é ressuspendido na mesma mistura de ciclohexano/ acetato de etila; segue-se a determinação quantitativa, realizada por técnica de cromatografia em fase gasosa, usando-se cromatógrafo HP, modelo 6890, equipado com detector de captura de elétrons ( $\mu$  - ECD, Ni<sup>63</sup>).

As folhas foram cortadas com um furador de 25 mm de diâmetro, obtendo quatro amostras radiais para cada local que foi coletado da planta. O corte da folha foi realizado com o objetivo de evitar a contaminação da amostra no momento de realizar a extração do produto e facilitar em grande parte o processo.



Figura 15 - Placas de vidro colocadas nos bakers e folhas cortadas como amostras radiais para a análise de deposição

## **A. Limites de quantificação de recuperação e descrição do método de análises de depósitos de Methidathion em amostras de folha**

Para os estudos dos limites de quantificação e porcentagens de recuperação de Methidathion foram fortificadas amostras de folhas, de modo a se obter concentrações nos níveis:  $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Nos estudos todos os níveis de fortificação, para os substrato, foram feitos em triplicata. Foram fortificadas 10 amostras, a saber 3 níveis x 1 substrato x 3 repetições.

## **B. Procedimento Analítico**

### **a. Preparação das soluções padrão**

Inicialmente, foram preparadas soluções estoque de Methidathion em acetona. Para tanto, a padrão analítico do inseticida foi solubilizado no citado solvente, de modo a fornecer concentração exata de  $1 \text{ mg.mL}^{-1}$  (solução estoque). As soluções padrão para estudos de fortificação e injeções no sistema cromatográfico GC/MS foram preparadas a partir da solução estoque com diluições feitas, em ciclohexano / acetato de etila (1:1).

### **b. Validação do método analítico**

Com o objetivo de validação do método analítico, foram realizados os estudos de fortificação e recuperação, juntando-se  $2 \mu\text{L}$ ,  $20 \mu\text{L}$ ,  $200 \mu\text{L}$  para as concentrações mencionadas anteriormente, obtidas por diluições sucessivas, a partir das soluções estoques em sub-amostras de folha  $0,4 \text{ g}$  cada uma, sabidamente nunca anteriormente contaminados.

### **c. Extração**

- Pesar as amostras radiais de folhas de laranja.
- Colocar as amostras em tubo de centrífuga de  $50 \text{ mL}$ .
- Adicionar  $15 \text{ mL}$  de acetato de etila.
- Homogeneizar com auxílio de vortex por  $1 \text{ min}$ .
- Extrair em ultra-som por, aproximadamente,  $10 \text{ min}$ .

- Retirar uma alíquota de 12 mL e transferi-la para tubo de 15 mL do TurboVap I (a 37 °C).
- Adicionar 50µL de dodecano.
- Evaporar totalmente o solvente com auxílio de ar movente em banho - maria a 40 °C até secar.

#### **d. Limpeza**

- Ressuspender com 2 mL de ciclohexano/acetato de etila (1:1).
- Homogeneizar em vortex por 15 s e deixar em ultra-som por 1min.
- Filtrar o extrato em filtro de membrana Millipore de malha 0,2 µm (chupeta), com auxílio de uma seringa hipodérmica de 5 mL, e colocar em vials próprios para o cromatógrafo.
- Proceder a limpeza do extrato em cromatografia de permeação em gel, injetando-se 500 µL do extrato, usando-se com fase móvel uma mistura de ciclohexano/acetato de etila (1/1, v/v), em fluxo de 1 mL.min<sup>-1</sup>, desprezando-se as primeiras frações por 28 min, coletando as seguintes por 4 min.
- Transferir o extrato limpo para tubo de centrífuga de 15 mL.
- Adicionar 50 µL de dodecano.
- Evaporar totalmente o solvente no TurboVap II.

#### **e. Determinação quantitativa**

- Ressuspender o resíduo em 0,45 mL de ciclohexano/acetato de etila (1:1).
- Transferir os eluados com auxílio de pipetas de Pasteur para vials de 2mL de tampa preta para futura injeção no cromatógrafo HP modelo 6890.

- Condições de operação de cromatógrafo:

Cromatógrafo Gasoso HP (Agilent) GC 6890 plus, acoplado a um detector seletivo de massas (quadropolo) MSD série 5973, GC/MS. Software ChemStation, versão B.01.00, HP Injetor HP 7683 series.

Condições do equipamento:

- Temperatura

Injetor: 250 °C

Coluna: 100 °C, por 1 minuto;

280 °C (rampa 20 °C por min), durante 6 minutos;

Detector: 280 °C.

- Fluxo de gases

He: 1,0 mL/min;

Monitoramento dos íons: 85 e 145.

## 2.2.7 Aparelhos, vidrarias e outros materiais

### A. Aparelhos/Equipamentos

- agitador/homogenizador, modelo MS1-Minishaker;
- balança analítica, Metler, modelo H10;
- balança analítica, Sartorius, modelo Basic;
- bomba binária Gilson modelo 307;
- cromatógrafo líquido Gilson 231XL conectado a três colunas de Permeação em Gel de alta eficiência ligadas em série, no arranjo, coluna de 100 Å seguida de 2 de 50 Å, de 300 mm x 7,5 mm, coletor de frações Gilson modelo 206.
- cromatógrafo de gás, HP modelo 6890 equipado com detector de captura de elétrons ( $\mu$  - ECD,  $\text{Ni}^{63}$ ).
- cromatógrafo de gás, Varian , modelo Star 3400 X, equipado com coluna paropak e detector de ionização de chama, na temperatura de 90, 120, 200 para o injetor, coluna, detector, respectivamente; respiração determinada pela produção de  $\text{CO}_2$  através de um analisador de fluxo contínuo de gases marca Agri-Datalog;
- evaporador/concentrador TurboVap, Zymark, modelo TurboVap I e II;
- evaporador/concentrador TurboVap, Zymark, modelo LV;
- injetor/coletor de frações, Gilson modelo 206 para cromatografia de permeação em gel;
- ultra-som- ultra-som, Ultrasonic/Cleaner, modelo USC-1400, mini-som.

### B. Solventes/Reagentes

- acetato de etila, nanograde, Mallinckrodt;
- ciclohexano, PA-ACS, destilado com destilador de vidro;
- padrão analítico de Methidathion.

### C. Vidrarias e outros materiais

- bakers, 50, 100, 150 e 500 mL, Corning, Pyrex 1000;
- filtros de membrana millipore 0,2  $\mu$  (Millex FG);
- luvas de nitrila;
- pipetador automático, Brand, modelo Handy-Step; 0,5-50 mL;
- pipetas de Pasteur.
- pipetas volumétricas e graduadas, 1, 2, 3, 4, 5, 10 e 20 mL;
- provetas graduadas de 500 mL
- septos de borracha para fechamento dos vidros de 2 mL;
- seringas hipodérmicas plásticas, 5 mL, B-D;
- suportes de metal e de plástico para tubos de centrífuga;
- tubos de centrífuga de 50 mL;
- vials de vidro transparentes, 2 mL com tampa rosqueável para fracionamento em cromatografia de permeação em gel e para cromatógrafo a gás.

#### 2.2.8 Rotinas de cálculo

Para determinar o volume de aplicação para ambos os sistemas de aplicação, utilizou-se a fórmula indicada por (RAMOS; PIO, 2003) a seguir:

$$Q = \frac{600 \times q}{V \times e} \quad (2)$$

em que:

**Q** é volume de aplicação em L.ha<sup>-1</sup>

**q** é vazão coletada dos atomizadores rotativos ou bicos hidráulicos em L.min<sup>-1</sup>

**V** é velocidade de deslocamento do conjunto trator-pulverizador em km.h<sup>-1</sup>

**e** é o espaçamento em m

Segundo (RAMOS; PIO, 2003), para o cálculo da quantidade de produto comercial utiliza-se a fórmula a seguir:

$$P_c = \frac{D \times C_t}{Q} \quad (3)$$

em que:

**P<sub>c</sub>** é produto comercial em L

**D** é dosagem do produto em L.ha<sup>-1</sup>

**C<sub>t</sub>** é a capacidade do tanque em L

**Q** é o volume de aplicação em L.ha<sup>-1</sup>

### 2.2.8.1 Determinação quantitativa de depósito nas placas de vidro

Os valores e parâmetros utilizados nas avaliações dos depósitos nas amostras de campo foram calculados diretamente das respectivas curvas de calibração, construídas a partir da injeção dos analitos no sistema cromatográfico descrito, calculados como a seguir:

#### A. Área injetada

Utilizando regra de três simples, para uma área de 50 cm<sup>2</sup> (área da placa de vidro) corresponde um volume de 500 mL (volume do acetato de metila) que significa 500000 µL, então para 1 µL a área resultante por volume é de 0,0001 cm<sup>2</sup>.µL<sup>-1</sup>. Como a amostra é concentrada até 40 vezes a área resultante por volume seria de 0,004 cm<sup>2</sup>.µL<sup>-1</sup>. Esta área resultante vezes o volume injetado no cromatógrafo a gás Varian Star 3400 X de 2 µL (volume aceito pelo cromatógrafo) dá como resultado uma área injetada de 0,008 cm<sup>2</sup>. A massa padrão utilizada foi de 0,01ng.µL<sup>-1</sup> vezes 2 µL que resulta em 0,02 ng. Para a determinação quantitativa dos depósitos nas placas de vidro foi utilizada a fórmula a seguir:

$$\text{depósito na placa de vidro (ng / cm}^2\text{)} = \frac{\text{massa padrão (ng)} \times \text{altura do pico da amostra}}{\text{altura do pico no padrão} \times \text{área injetada (cm}^2\text{)}} \quad (4)$$

### 2.2.8.2 Determinação quantitativa de depósito nas folhas de citros

Os valores e parâmetros usados nas avaliações dos depósitos nas folhas de campo foram calculados diretamente das respectivas curvas de calibração, construídas a partir da injeção dos analitos no sistema cromatográfico descrito, calculados como a seguir:

$$\text{depósito na folha (ppm)} = \frac{\text{massa padrão (pg)} \times \text{altura do pico da amostra}}{\text{altura do pico no padrão} \times \text{massa injetada da amostra (mg)}} \quad (5)$$

## 2.2.9 Metodologia Estatística

### 2.2.9.1. Endoderiva

Para a análise dos dados referentes à endoderiva, foram calculadas as médias das quatro medidas realizadas sob cada planta, considerando assim, cada planta como uma parcela experimental.

Para comparar os dois sistemas de aplicação foi efetuado o teste t para comparação de médias considerando variâncias iguais, ou desiguais, conforme o caso. A avaliação da igualdade das variâncias foi realizada por meio do teste F (COSTA NETO, 1998). A análise estatística foi realizada através do procedimento de TTEST do SAS (1999).

### 2.2.9.2 Exoderiva

Para a análise dos dados referentes à exoderiva, cada torre foi considerada como uma parcela experimental, ao passo que as alturas foram consideradas com subparcelas experimentais. Foram calculadas as médias da primeira passada e da segunda passada para cada torre e para cada altura. A partir das médias foi realizada a análise de dados considerando o modelo do delineamento inteiramente ao acaso com tratamentos dispostos no esquema de parcela subdividida. O efeito do sistema de aplicação foi considerado como associado à parcela, enquanto o efeito de altura foi considerado como relacionado à subparcela. Além disso, como havia possibilidade da existência de heterogeneidade de variâncias relacionada aos sistemas de aplicação, foram ajustados dois modelos, um considerando homogeneidade de variâncias entre os sistemas de aplicação e o outro considerando heterogeneidade de variâncias. A escolha de um dos

dois modelos para finalização da análise foi baseada no Critério de Informação de Akaike (SAS, 1999). A análise foi realizada através do procedimento MIXED do SAS (1999).

### **2.2.9.3 Planta**

A avaliação dos sistemas de aplicação foi realizada em oito plantas de laranjeira (quatro para cada sistema), sendo realizadas avaliações da deposição nas folhas e a análise da gota em papéis hidrosensíveis, coletados em 32 locais em cada planta, relativos à três alturas, três profundidades e as quatro áreas da planta (duas áreas referentes à rua e duas referentes à linha). Observa-se que na parte alta das plantas somente foram coletadas amostras das profundidades externa e média, totalizando assim oito locais de avaliação para cada área das plantas. Cada planta foi considerada como uma parcela experimental, ao passo que os locais de avaliação foram considerados com subparcelas experimentais.

Para a análise dos dados referentes à deposição, foram calculadas as médias dos lados simétricos das plantas, isto é a média das duas áreas referentes à rua e das duas áreas referentes à linha, para cada combinação de altura e profundidade. A partir dessas médias foi realizada a análise de dados considerando o modelo do delineamento inteiramente ao acaso com tratamentos dispostos no esquema de parcela subdividida. O efeito dos sistemas de aplicação foi considerado como associado à parcela, enquanto o efeito dos locais de avaliação (combinação de altura, profundidade e área) foi considerado como relacionado à subparcela. O modelo para a análise dos dados contemplou o efeito principal dos quatro fatores (sistema de aplicação, altura, profundidade e área da planta) avaliados, bem como todas as possíveis interações entre eles. Além disso, como havia possibilidade da existência de heterogeneidade de variâncias relacionada aos sistemas de aplicação, foram ajustados dois modelos, um considerando homogeneidade de variâncias entre os sistemas de aplicação e o outro considerando heterogeneidade de variâncias. A escolha de um dos dois modelos para finalização da análise foi baseada no Critério de Informação de Akaike (SAS, 1999). A análise foi realizada através do procedimento MIXED do SAS (1999).

## 2.3 Resultados e Discussões

### 2.3.1 Volume de aplicação do atomizadores rotativos

A vazão média obtida para cada atomizador rotativo foi de  $2,15 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , por tanto a vazão total para os cinco atomizadores rotativos foi de  $10,75 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . A velocidade de operação do conjunto trator pulverizador foi de  $1,67 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Utilizou-se só um lado do pulverizador para a aplicação, pelo que o espaçamento foi à metade da distância entre plantas 3 m. Utilizando a fórmula 2 o volume de aplicação determinado foi de  $360 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Segundo o fabricante do inseticida a quantidade de produto comercial é  $0,125 \text{ L}/100 \text{ L}$ . Colocou-se no tanque do pulverizador uma quantidade de 500 L de água, por tanto a quantidade do produto utilizado foi de 0,625 L.

Neste caso a dosagem na aplicação com atomizadores rotativos com os valores do  $P_c$ : 0,625 L,  $C_t$ : 500 L e  $Q$ :  $360 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  foi de  $0,45 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Esta mesma dosagem também foi utilizada pelo sistema com os bicos hidráulicos no momento de realizar o cálculo da quantidade de produto comercial com o objetivo de não existir alteração nenhuma da dosagem para ambos os sistemas.

### 2.3.2 Volume de aplicação dos bicos hidráulicos

Segundo o fabricante do inseticida SUPRACID 400CE® a vazão em cobertura total das plantas em jato dirigido ao tronco, ramos primários e folhas em citros varia de 1500 a 2300  $\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Neste caso consideramos o valor de  $1500 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  devido à forma e estrutura da planta que foi de porte menor. A quantidade do produto comercial segundo a fórmula (3), para uma  $D$ :  $0,45 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $C_t$ : 500 L e  $Q$ :  $1500 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  foi de 0,15 L. Esse valor obtido foi utilizado no momento de realizar a preparação da calda.

A vazão média para cada bico hidráulico foi de  $1,7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , por tanto a vazão total para os treze bicos hidráulicos foi de  $22,1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . A velocidade de operação do conjunto trator-pulverizador teve que ser modificada para obter o valor do volume de aplicação  $1500 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Utilizando a fórmula (2) esse valor da velocidade de operação foi finalmente de  $0,83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Utilizou-se só um lado do pulverizador para a aplicação, pelo que o espaçamento foi à metade da distância entre plantas equivalente a 3 m.

A Tabela 1 mostra as variáveis consideradas durante o ensaio para ambos os sistemas de aplicação.

Tabela 1 - Variáveis consideradas durante os ensaios para ambos os sistemas de aplicação

<b>Modelos</b>	<b>Pressão (kPa)</b>	<b>Vazão (L.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>Velocidade (m.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volume de aplicação (L.ha<sup>-1</sup>)</b>
* TT-88A	276	10,75	1,66	360
** AD-3	828	22,10	0,83	1500

\* Atomizador rotativo, \*\* Bico hidráulico

A Tabela 2 mostra os valores dos parâmetros obtidos durante o ensaio para ambos os sistemas de aplicação.

Tabela 2 - Parâmetros obtidos para ambos os sistemas de aplicação e condições meteorológicas durante os ensaios

	<b>Atomizador rotativo</b>	<b>Bico hidráulico</b>
<b>Rotação nominal do motor (rpm)</b>	1900	1900
<b>Tomada de potência (rpm)</b>	540	540
<b>Temperatura (°C)</b>	30	28
<b>Umidade Relativa (%)</b>	60	55
<b>Distância ao alvo (m)</b>	1,2	1,2
<b>Fluxo do ar (m<sup>3</sup>.seg<sup>-1</sup>)</b>	29,26	29,3
<b>Velocidade do vento (m.seg<sup>-1</sup>)</b>	1,2	0,8
<b>Direção do vento</b>	SE290°NW	SE340°NW
<b>Data do ensaio</b>	27/4/2006	5/5/2006

Nas Figuras 16 e 17 foram expressadas as velocidades do ar de saída do pulverizador para ambos os sistemas de aplicação. Observe-se que essas velocidades não foram significativamente diferentes para ambos os sistemas.

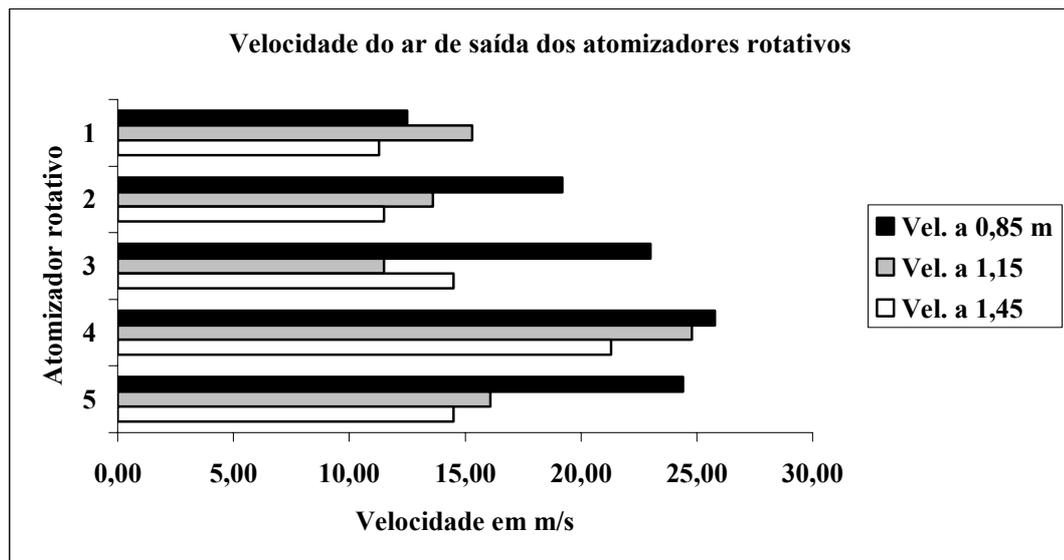
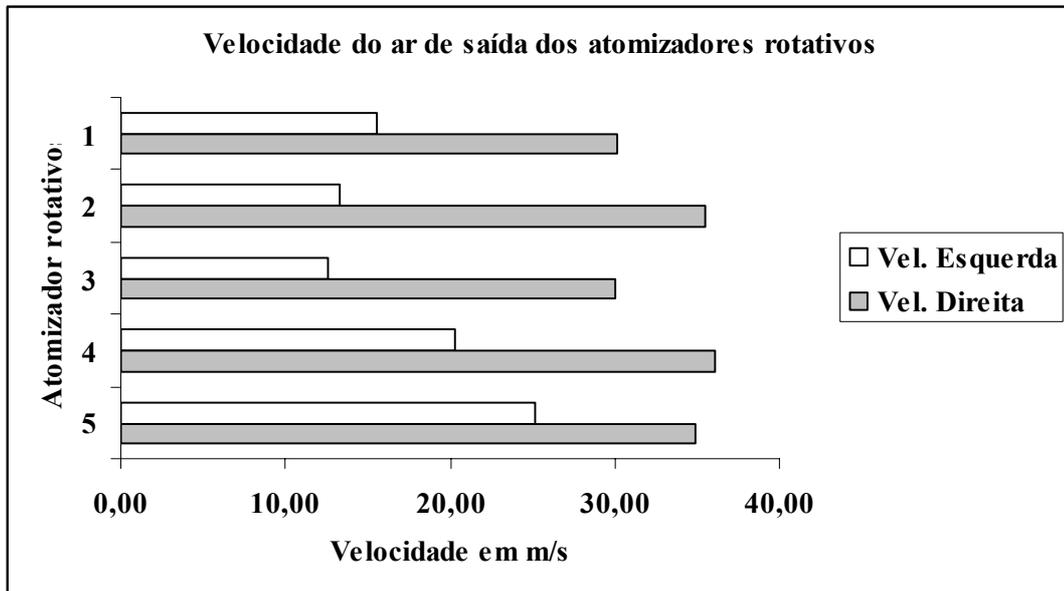


Figura 16 - Velocidades de saída do ar do sistema de aplicação com atomizadores rotativos. As medidas foram realizadas em ambos os lados de cada atomizador rotativo e a uma distância de 0,85; 1,15 e 1,45 m desde o centro do ventilador

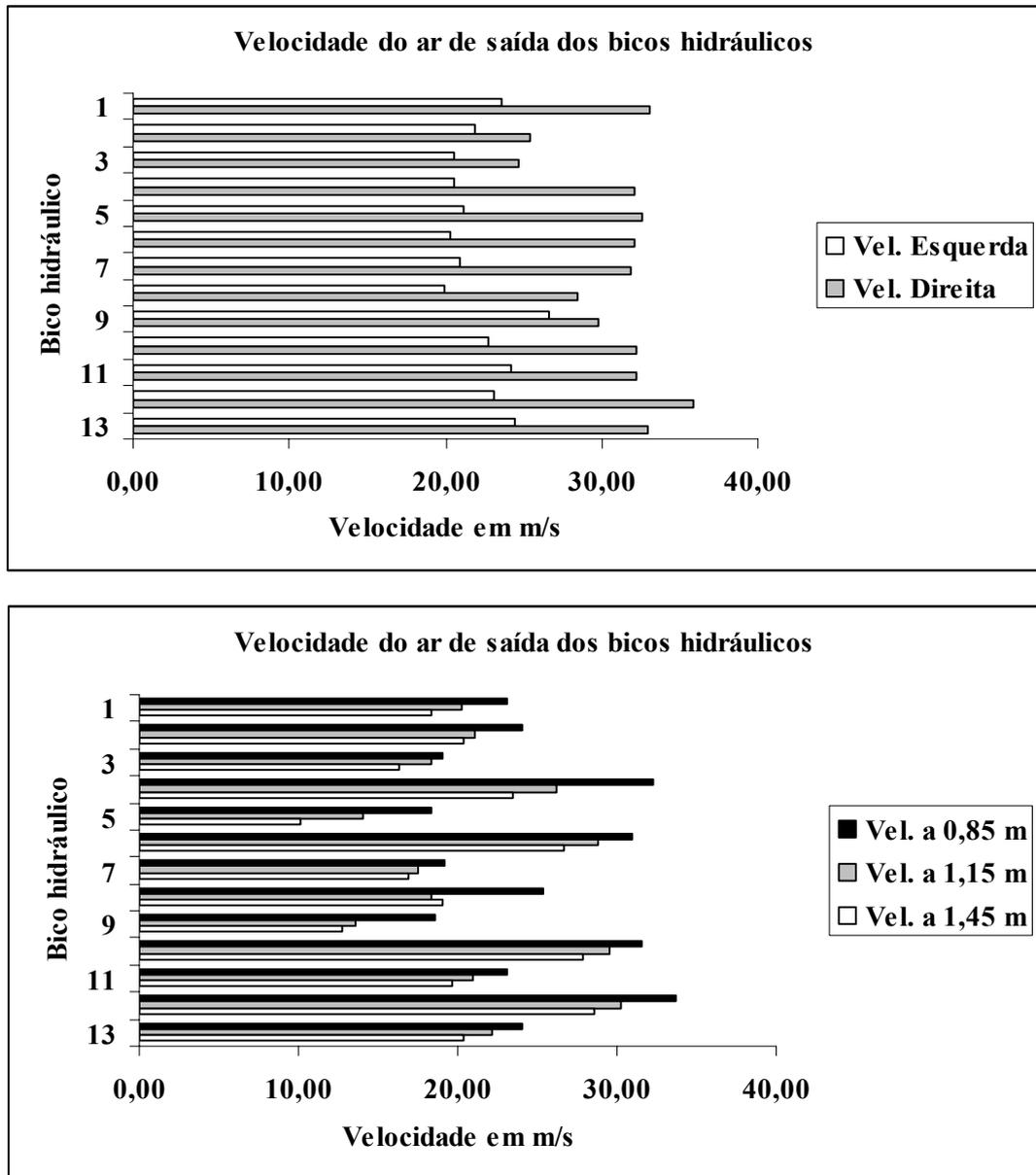


Figura 17 - Velocidades de saída do ar do sistema de aplicação com bicos hidráulicos. As medidas foram realizadas em ambos os lados de cada bico hidráulico e a uma distância de 0,85; 1,15 e 1,45 m desde o centro do ventilador

### 2.3.3 Endoderiva

A Tabela 3 mostra as médias e erros padrões das variáveis relacionadas à endoderiva, cujas medidas foram realizadas em placas de vidro e papéis hidrosensíveis. Para as três primeiras variáveis o teste F detectou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as variâncias dos dois sistemas de aplicação.

Tabela 3 - Médias e erros padrões das variáveis relacionadas à endoderiva em função do sistema de aplicação utilizado, e nível descritivo de probabilidade do teste t para comparação de médias com variâncias diferentes

Variáveis	Sistema de aplicação		Pr > t
	Bico Hidráulico	Atomizador Rotativo	
Depósito na placa de vidro ( $\text{ng.cm}^{-2}$ )	25,23±10,35	3,43± 0,76	0,1255
Diâmetro mediano volumétrico DMV ( $\mu\text{m}$ )	742,09±199,5	261,88±15,92	0,0948
Amplitude relativa	1,24± 0,03	1,75± 0,14	0,0300
Densidade de gota DG (Número de gotas. $\text{cm}^{-2}$ )	218,99±29,80	301,82±21,38	0,0647*

\* Teste t para comparação de médias com variâncias iguais.

Observa-se que apesar do sistema de aplicação com atomizadores rotativos apresentar médias de depósito na placa de vidro e de diâmetro mediano volumétrico muito inferior do que o sistema com bicos hidráulicos, essas médias não diferiram significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si. O que se nota claramente é que a variabilidade dessas duas medidas é maior com os bicos hidráulicos do que com os atomizadores rotativos, o que foi verificado através do teste F ( $p \leq 0,05$ ) para comparação de variâncias. Pelo observado na Tabela 3 o sistema de aplicação com atomizadores rotativos apresenta valores de depósito na placa de vidro e diâmetro mediano volumétrico menores do que o sistema com bicos hidráulicos. Esse resultado pode indicar que gotas menores estão originando menores depósitos por tanto as menores perdas por endoderiva (escorrimento) provocando uma contaminação ambiental 7,35 vezes menor do que os bicos hidráulicos. A variável densidade de gota indica para os atomizadores rotativos que apresenta maior número de gotas por unidade de área.

Para amplitude relativa e densidade de gota o sistema de aplicação com bicos hidráulicos apresentou as menores médias, contudo apenas houve diferenças significativas entre as médias dos dois sistemas de aplicação no caso da amplitude relativa.

### 2.3.4 Exoderiva

Na Tabela 4 são apresentados os níveis descritivos de probabilidade do teste F para as variáveis relacionadas à exoderiva. Note que a análise do depósito na placa de vidro foi realizada considerando variâncias diferentes entre os sistemas de aplicação, com base no valor do Critério de Informação de Akaike (AIC). Para as outras três variáveis não houve necessidade de realizar a análise considerando homogeneidade de variâncias.

Tabela 4 - Níveis descritivos de probabilidade do teste F, para as variáveis relacionadas com a exoderiva, medidas em placas de vidro e em papéis hidrosensíveis

<b>Causas de variação</b>	<b>Depósito na placa de vidro*</b>	<b>DMV**</b>	<b>Amplitude relativa**</b>	<b>Densidade de gota**</b>
<b>Torres na direção das plantas</b>				
Sistema de aplicação	0,0036	0,0007	0,0053	0,0012
Altura	<0,0001	0,0008	0,0002	<0,0001
Altura× Sist. de aplicação	<0,0001	0,0129	0,0002	0,0039
<b>Torres entre as plantas</b>				
Sistema de aplicação	0,0247	0,5888	0,1052	0,0187
Altura	0,0174	0,3137	0,0232	0,3658
Altura×Sist. de aplicação	0,0036	0,1178	0,0914	0,1218

\* Modelo com heterogeneidade de variâncias entre os sistemas de aplicação;

\*\* Modelo com homogeneidade de variâncias entre os sistemas de aplicação.

No caso das variáveis medidas nas torres que estavam na direção das plantas, houve efeito significativo de todos os fatores avaliados ( $p \leq 0,05$ ), ao passo que para as medidas realizadas nas torres entre as plantas houve efeito significativo de todos os fatores para o depósito na placa de vidro, da altura para a amplitude relativa e do sistema de aplicação para a densidade de gota. Esse resultado indica que o efeito do sistema de aplicação depende da altura, e vice-versa,

para todas as variáveis medidas nas torres localizadas na direção das plantas e também para o depósito na placa de vidro, quando medido nas torres entre as plantas. Devido a esse fato optou-se por apresentar os dados médios das variáveis para a interação entre altura e sistema de aplicação apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Médias e erros padrões das variáveis relacionadas à exoderiva em função do sistema de aplicação utilizado e da localização das torres

Sistema de aplicação	Altura (m)				
	0,5	2,0	3,0	5,0	5,5
<b>TORRES NA DIREÇÃO DA PLANTA</b>					
<b>Depósito na placa de vidro (ng.cm<sup>-2</sup>)</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	0,374±1,426 <sup>b</sup>	0,000±1,426	0,350±1,426	0,510±1,426 <sup>b</sup>	0,040±1,426 <sup>b</sup>
<i>Bico Hidráulico*</i>	22,03±2,796 <sup>a</sup>	1,692±2,796	6,709±2,796	16,412±2,796 <sup>a</sup>	13,765±2,796 <sup>a</sup>
<b>Diâmetro Mediano Volumétrico DMV (µm)</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	174,90±73,93 <sup>b</sup>	85,10±73,93	129,73±73,93	155,20±73,93 <sup>b</sup>	166,69±73,93 <sup>b</sup>
<i>Bico Hidráulico*</i>	757,25±73,93 <sup>a</sup>	194,71±73,93	212,01±73,93	453,66±73,93 <sup>a</sup>	570,45±73,93 <sup>a</sup>
<b>Amplitude relativa</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	0,550±0,069 <sup>b</sup>	0,475±0,069 <sup>b</sup>	0,600±0,069	0,525±0,069	0,488±0,069
<i>Bico Hidráulico*</i>	1,200±0,069 <sup>a</sup>	0,700±0,069 <sup>a</sup>	0,475±0,069	0,688±0,069	0,600±0,069
<b>Densidade de gota (Número de gotas.cm<sup>-2</sup>)</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	56,65±16,72 <sup>b</sup>	7,90±16,72	42,75±16,72	42,45±16,72 <sup>b</sup>	25,45±16,72 <sup>b</sup>
<i>Bico Hidráulico*</i>	212,10±16,72 <sup>a</sup>	27,66±16,72	86,28±16,72	95,75±16,72 <sup>a</sup>	70,04±16,72 <sup>a</sup>
<b>TORRES ENTRE PLANTAS</b>					
<b>Depósito na placa de vidro (ng.cm<sup>-2</sup>)</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	0,338±3,125 <sup>b</sup>	1,097±3,467	0,307±3,125	0,080±3,125	0,266±3,125 <sup>b</sup>
<i>Bico Hidráulico*</i>	25,978±3,467 <sup>a</sup>	4,799±3,125	4,385±3,467	6,290±3,467	11,565±3,467 <sup>a</sup>
<b>Diâmetro Mediano Volumétrico DMV (µm)</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	164,6±281,9	219,3±281,9	87,5±281,9	145,8±281,9	162,8±281,9
<i>Bico Hidráulico</i>	1066,9±281,9	978,1±281,9	232,5±281,9	291,4±281,9	251,7±281,9
<b>Amplitude relativa</b>					
<i>Atomizador Rotativo*</i>	0,633±0,131	0,400±0,131	1,000±0,131	0,433±0,131	0,350±0,131
<i>Bico Hidráulico*</i>	1,050±0,131	0,567±0,131	0,683±0,131	0,767±0,131	0,617±0,131
<b>Densidade de gota (Número de gotas.cm<sup>-2</sup>)</b>					
<i>Atomizador Rotativo</i>	54,67±40,37 <sup>b</sup>	54,95±40,37	33,15±40,37	34,17±40,37 <sup>a</sup>	20,67±40,37 <sup>b</sup>
<i>Bico Hidráulico</i>	198,92±40,37 <sup>a</sup>	78,60±40,37	77,23±40,37	192,07±40,37 <sup>b</sup>	186,30±40,37 <sup>a</sup>

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste F (p≤0,05);

\* Houve efeito significativo de altura dentro do sistema de aplicação pelo teste F (p≤0,05).

Pelos resultados apresentados na Tabela 5 pode-se verificar que as diferenças entre os sistemas de aplicação apareceram mais nas extremidades das torres (0,5; 5,0 e 5,5 m), ao passo que nas alturas intermediárias (2,0 e 3,0 m) apenas houve diferença significativa entre os sistemas de aplicação no caso da amplitude relativa medida nas torres localizadas na direção das plantas. Em praticamente todos os casos em que houve efeito significativo do sistema de aplicação, o maior valor médio foi observado com bicos hidráulicos em comparação com os atomizadores rotativos.

Outro resultado importante a ser observado é que não houve efeito significativo da altura dentro do sistema de aplicação com atomizadores rotativos, exceto para amplitude relativa medida nas torres entre as plantas. No caso do sistema com bicos hidráulicos, observou-se efeito significativo para altura em todos os casos, exceto para diâmetro mediano volumétrico e densidade de gota, para as medidas realizadas nas torres entre as plantas. Esse resultado indica que o atomizador rotativo apresenta distribuição mais uniforme do produto a ser aplicado em comparação ao bico hidráulico.

Para ilustrar melhor o discutido anteriormente foram realizados os gráficos correspondentes a todas as variáveis apresentados nas Figuras 18 e 19.

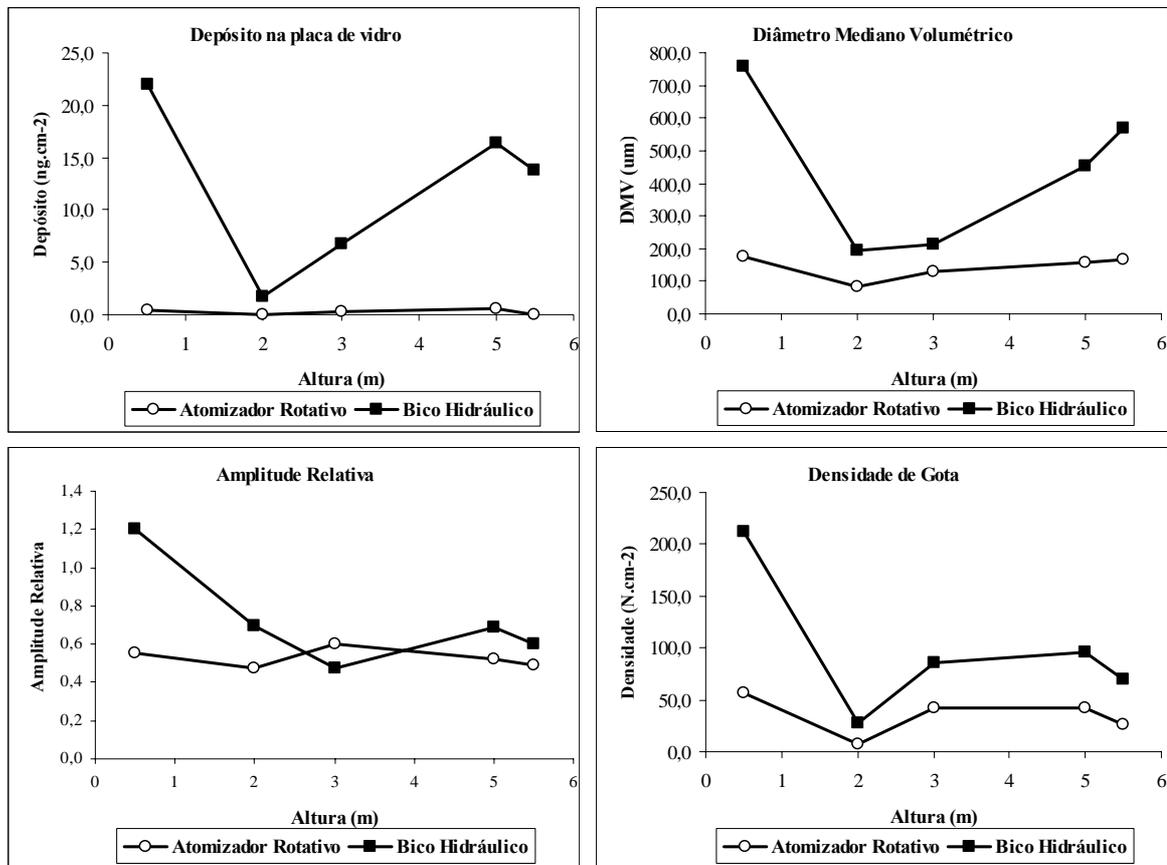


Figura 18 - Médias das variáveis relacionadas com a exoderiva em função da altura e do sistemas de aplicação, para torres localizadas na direção das plantas

Pelo observado na Figura 18 para as variáveis depósito na placa de vidro, diâmetro mediano volumétrico e densidade de gotas, ambos os sistemas apresentam o mesmo comportamento a medida que varia a altura nas torres localizadas na direção da planta. Para o caso do sistema de aplicação com atomizadores rotativos este comportamento é menos variável quando comparado ao sistema com bicos hidráulicos. Os maiores depósitos apresentaram-se nas alturas 0,5; 5,0 e 5,5 m para ambos os sistemas, isto devido à arquitetura de planta concordando com o trabalho desenvolvido por Cross et al. (2001) que obteve um comportamento similar utilizando pulverizador de jato transportando e equipado com bicos hidráulicos de jato cônico vazio. O trabalho desenvolvido por Salyani e Farooq (2004) também amostraram resultados similares de deposição na medida em que se incrementa a altura na torre.

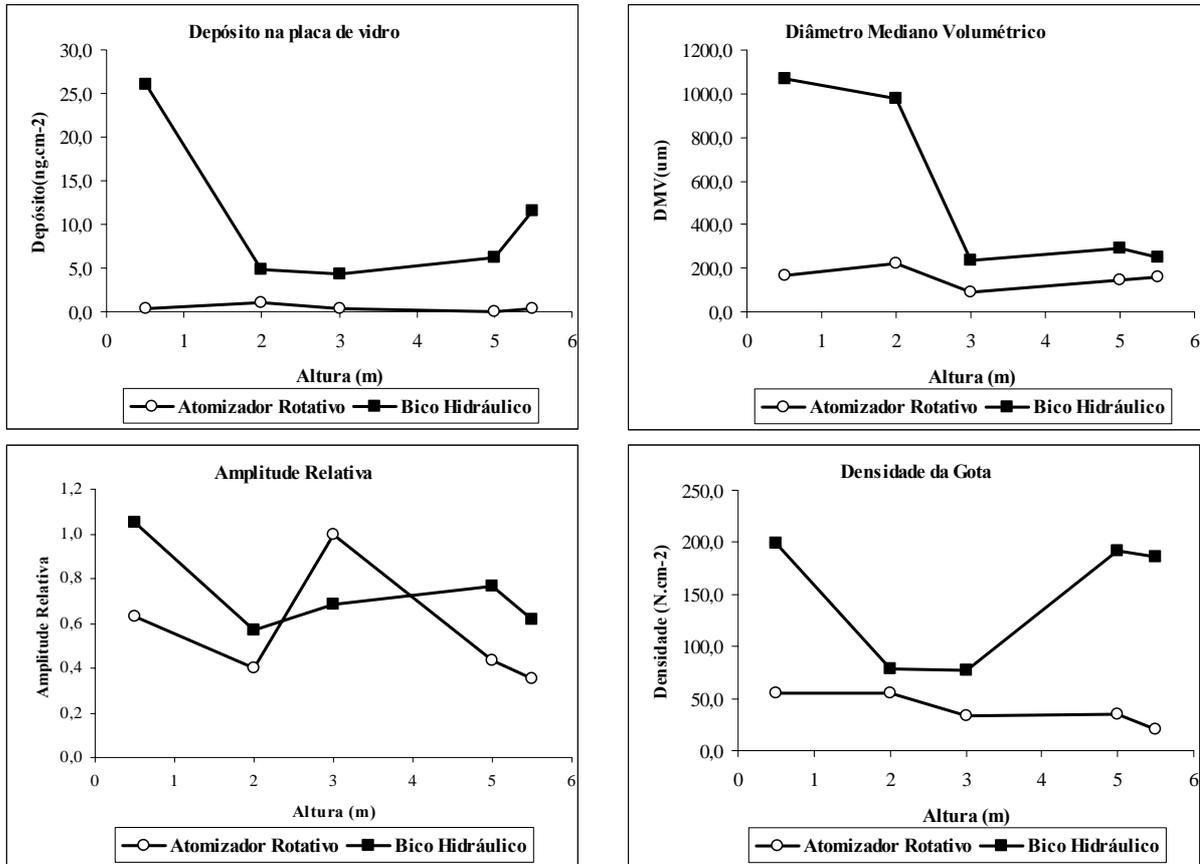


Figura 19 - Médias das variáveis relacionadas com a exoderiva em função da altura e do sistema de aplicação, para torres localizadas entre as plantas

Pelo observado na Figura 19 nas torres localizadas entre plantas as curvas apresentam o mesmo comportamento para ambos os sistemas, para as variáveis depósito na placa de vidro, diâmetro mediano volumétrico e densidade de gota. Igualmente para o sistema de aplicação com atomizadores rotativos o comportamento é menos variável quando comparado ao sistema com bicos hidráulicos. Os maiores depósitos também se apresentam nas alturas 0,5, 5,0 e 5,5 m. Essa diferença pôde ter acontecido pelo fluxo de ar gerado pelo pulverizador que segue o passo de menor resistência localizado embaixo e acima da planta.

### 2.3.5 Plantas

Na Tabela 6 são apresentados os níveis descritivos de probabilidade do teste F para as variáveis medidas nas folhas das plantas e em papéis hidrosensíveis. Note que as análises do

diâmetro mediano volumétrico e da amplitude relativa foram realizadas considerando variâncias diferentes entre os sistemas de aplicação, com base no valor do Critério de Informação de Akaike (AIC). Para as outras duas variáveis não houve necessidade de realizar a análise considerando homogeneidade de variâncias.

Tabela 6.- Níveis descritivos de probabilidade do teste F, para as avaliações realizadas nas folhas das plantas e em papéis hidrosensíveis

<b>Causas de variação</b>	<b>Deposição nas folhas**</b>	<b>DMV*</b>	<b>Amplitude relativa*</b>	<b>Densidade de gota**</b>
Sistema de aplicação	0,1743	<b>0,0500</b>	0,8513	0,5014
Área (Linha ou Rua)	<b>0,0282</b>	0,3151	<b>0,0001</b>	<b>0,0411</b>
Altura	<b>&lt;0,0001</b>	0,1293	<b>0,0049</b>	<b>0,0400</b>
Profundidade	<b>0,0008</b>	0,3064	0,3525	0,7725
Sistema de aplicação×Área	0,6281	0,7671	<b>0,0002</b>	0,0833
Sistema de aplicação×Altura	<b>0,0060</b>	0,1926	<b>0,0373</b>	0,4364
Sistema de aplicação×Profundidade	0,8777	0,2937	0,1240	0,2914
Área×Altura	<b>0,0215</b>	0,6704	0,2728	0,2229
Área×Profundidade	0,5400	0,6454	0,1124	0,8195
Altura×Profundidade	0,8288	0,9678	0,3455	0,7414
Sistema de aplicação×Área×Altura	0,3014	0,9193	0,4731	0,5962
Sist. de aplicação×Área×Profundidade	0,2793	0,9176	0,0748	0,0825
Sist. de aplicação×Altura ×Profundidade	0,5854	0,8346	0,1675	0,0779
Área×Altura×Profundidade	0,7685	0,8320	0,6312	0,2523
Sist. aplicação×Área×Alt.×Profundidade	0,3465	0,7919	0,6160	0,6620

\* Modelo com heterogeneidade de variâncias entre os sistemas de aplicação;

\*\* Modelo com homogeneidade de variâncias entre os sistemas de aplicação.

Verifica-se que o efeito principal do sistema de aplicação somente foi significativo para o caso do diâmetro mediano volumétrico, sendo que a média do sistema com bicos hidráulicos ( $679 \pm 144 \mu\text{m}$ ) foi superior à do sistema com atomizadores rotativos ( $278 \pm 80 \mu\text{m}$ ) indicado na Tabela 7 independentemente dos outros fatores avaliados.

A interação entre sistema de aplicação e área foi significativa ( $p < 0,05$ ) para amplitude relativa, ao passo que a interação entre sistema de aplicação e altura foi significativa para essa variável e também para deposição nas folhas. Esse resultado demonstra que os resultados do sistema de aplicação dependem da altura e da área da planta para essas duas variáveis.

Tabela 7 - Médias e erros padrões para as avaliações realizadas nas folhas das plantas e em papéis hidrosensíveis em função do sistema de aplicação utilizado e da área da planta

Sistema de aplicação	Área da planta		Média
	Linha	Rua	
<b>Deposição nas folhas (ppm)</b>			
Bico Hidráulico	2,102±0,421	2,697±0,421	2,400±0,388
Atomizador Rotativo	3,007±0,421	3,573±0,421	3,290±0,388
<b>Média</b>	2,555±0,298 <sup>b</sup>	3,135±0,298 <sup>a</sup>	
<b>Diâmetro Mediano Volumétrico DMV (µm)</b>			
Bico Hidráulico	585,03±164,89	772,80±164,89 <sup>A</sup>	678,92±144,02 <sup>A</sup>
Atomizador Rotativo	236,42±113,53	318,68±113,53 <sup>B</sup>	277,55±80,28 <sup>B</sup>
<b>Média</b>	410,73±100,10	545,74±100,10	
<b>Amplitude relativa</b>			
Bico Hidráulico	1,087±0,048 <sup>A</sup>	1,091±0,048 <sup>B</sup>	1,089±0,034
Atomizador Rotativo	0,907±0,077 <sup>bB</sup>	1,310±0,077 <sup>aA</sup>	1,109±0,069
<b>Média</b>	0,997±0,045 <sup>b</sup>	1,201±0,045 <sup>a</sup>	
<b>Densidade de gota (Número de gotas.cm<sup>-2</sup>)</b>			
Bico Hidráulico	178,84±15,95	184,52±15,95	181,68±12,37
Atomizador Rotativo	163,65±15,95	219,29±15,95	191,47±12,37
<b>Média</b>	171,24±11,28 <sup>b</sup>	201,90±11,28 <sup>a</sup>	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas ou por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

Observa-se na Tabela 7 que os depósitos apresentados na área da planta (rua e linha) no sistema de aplicação com atomizadores rotativos são ligeiramente maiores do que o sistema com bicos hidráulicos, mas não são significativamente diferentes. Esse resultado também demonstra que o sistema com atomizadores rotativos está deixando maiores depósitos nas folhas e

provocando menos deriva como observamos anteriormente. No caso do sistema com bicos hidráulicos a produção de gotas maiores está provocando maior endoderiva.

Observa-se, pela Tabela 8, que para a variável deposição nas folhas apenas houve diferença significativa entre os sistemas de aplicação na parte baixa da planta, sendo que nesta o atomizador rotativo apresentou a maior média. Apesar disso, ambos os sistemas apresentaram as maiores medias para essa variável na parte baixa da planta. Note-se também que os depósitos decrescem à medida que aumenta a altura da planta. Palladini (1990), Derksen e Gray (1995); Cunningham e Harden (1998) obtiveram resultados similares de deposição quando utilizaram um pulverizador de jato transportado e um pulverizador tipo torre respectivamente, os menores depósitos foram observados na parte alta da planta e os maiores na parte baixa.

No caso da amplitude relativa, nota-se pela Tabela 8, que não houve diferenças significativas entre os sistemas de aplicação quando comparados dentro de cada altura. Contudo, houve efeito da altura dentro do sistema de aplicação com os atomizadores rotativos e não no sistema com bicos hidráulicos, sendo que medida realizada na parte baixa da planta apresentou-se significativamente superior às outras duas medidas para o primeiro sistema.

Tabela 8 - Médias e erros padrões para as avaliações realizadas nas folhas das plantas e em papéis hidrosensíveis em função do sistema de aplicação utilizado e da altura

Sistema de aplicação	Altura			Média
	Baixa	Média	Alta	
<b>Deposição nas folhas (ppm)</b>				
Bico Hidráulico	3,807±0,428 <sup>aB</sup>	2,259±0,428 <sup>b</sup>	1,139±0,492 <sup>b</sup>	2,400±0,388
Atomizador Rotativo	5,466±0,428 <sup>aA</sup>	2,319±0,428 <sup>b</sup>	2,164±0,492 <sup>b</sup>	3,290±0,388
<b>Média</b>	4,636±0,303 <sup>a</sup>	2,289±0,303 <sup>b</sup>	1,652±0,348 <sup>b</sup>	
<b>Diâmetro Mediano Volumétrico DMV (µm)</b>				
Bico Hidráulico	920,54±169,37 <sup>A</sup>	467,05±169,37	665,94±207,55	678,92±144,02 <sup>A</sup>
Atomizador Rotativo	309,62±119,95 <sup>B</sup>	295,43±119,95	214,00±169,64	277,55±80,28 <sup>B</sup>
<b>Média</b>	615,08±103,77	381,24±103,77	439,97±134,03	
<b>Amplitude relativa</b>				
Bico Hidráulico	1,119±0,051	1,123±0,051	1,020±0,072	1,089±0,034
Atomizador Rotativo	1,265±0,079 <sup>a</sup>	1,004±0,079 <sup>b</sup>	1,051±0,094 <sup>b</sup>	1,109±0,069
<b>Média</b>	1,192±0,047 <sup>a</sup>	1,064±0,047 <sup>b</sup>	1,035±0,059 <sup>b</sup>	
<b>Densidade de gota (Número de gotas.cm<sup>-2</sup>)</b>				
Bico Hidráulico	207,24±16,67	179,31±16,67	155,20±22,45	181,68±12,37
Atomizador Rotativo	210,81±16,67	176,60±16,67	191,96±22,45	191,47±12,37
<b>Média</b>	209,03±11,79	177,96±11,79	173,58±15,87	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey-Kramer ( $p \leq 0,05$ );

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

O desdobramento da interação entre sistema de aplicação e área para amplitude relativa mostrou que o sistema com bicos hidráulicos obteve a maior média quando avaliado na linha e a menor média quando avaliado na rua. Esse desdobramento também mostrou que não houve diferença significativa entre linha e rua para o caso do sistema com bicos hidráulicos, enquanto para o sistema com atomizadores rotativos a média da linha foi inferior à média da rua.

Com relação ao efeito de profundidade, ele apenas foi significativo para a deposição de nas folhas, sendo que a medida realizada na parte externa da planta foi significativamente superior às outras duas medidas, independente do sistema indicado na Tabela 9. Estes resultados de presença de depósitos, em quantidades maiores na parte externa em relação à parte interna da

planta em citros, foi constatada por Matuo (1988) para aplicações convencionais com pistola e com pulverizadoras de jato transportado. Morgan (1981), Hoffmann e Salyani (1996) também observaram nos trabalhos desenvolvidos que os maiores depósitos são na parte baixa e externa quando comparados à parte alta e interna da planta.

Tabela 9 - Médias e erros padrões para as avaliações realizadas nas folhas das plantas e em papéis hidrosensíveis em função do sistema de aplicação utilizado e da profundidade

Sistema de aplicação	Profundidade			Média
	Externa	Média	Interna	
<b>Deposição nas folhas (ppm)</b>				
Bico Hidráulico	2,976±0,428	2,442±0,428	1,810±0,492	2,400±0,388
Atomizador Rotativo	3,829±0,428	3,137±0,428	2,760±0,492	3,290±0,388
<b>Média</b>	3,402±0,303 <sup>a</sup>	2,790±0,303 <sup>b</sup>	2,285±0,348 <sup>b</sup>	
<b>Diâmetro Mediano Volumétrico DMV (µm)</b>				
Bico Hidráulico	837,90±169,37 <sup>A</sup>	474,34±169,37	689,08±207,55	678,92±144,02 <sup>A</sup>
Atomizador Rotativo	305,89±119,95 <sup>B</sup>	300,65±119,95	232,75±169,64	277,55±80,28 <sup>B</sup>
<b>Média</b>	571,89±103,77	387,49±103,77	460,92±134,03	
<b>Amplitude relativa</b>				
Bico Hidráulico	1,094±0,051	1,079±0,051	1,073±0,072	1,089±0,034
Atomizador Rotativo	1,023±0,079	1,050±0,079	1,241±0,094	1,109±0,069
<b>Média</b>	1,058±0,047	1,065±0,047	1,157±0,059	
<b>Densidade de gota (Número de gotas.cm<sup>-2</sup>)</b>				
Bico Hidráulico	176,06±16,67	187,01±16,67	178,39±22,45	181,68±12,37
Atomizador Rotativo	205,05±16,67	172,48±16,67	193,48±22,45	191,47±12,37
<b>Média</b>	190,56±11,79	179,74±11,79	185,94±15,87	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey-Kramer ( $p \leq 0,05$ );

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem significativamente pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

### 3 CONCLUSÕES

- O sistema de aplicação com bicos hidráulicos apresentou depósitos maiores na endoderiva.
- A metodologia para estudar a endoderiva com os papéis hidrosensíveis mostrou-se inadequada porque não representa o comportamento individual das gotas, podendo ser utilizada apenas para análise qualitativa das perdas.
- A metodologia utilizando as placas de vidro mostrou-se adequada para o estudo quantitativo das perdas por endoderiva.
- O sistema de aplicação com os bicos hidráulicos apresentou depósitos maiores na exoderiva.
- A metodologia para estudar a exoderiva com os papéis hidrosensíveis e as placas de vidro mostrou-se adequada para medir o espectro de gotas e os depósitos respectivamente, podendo ser utilizada para análise qualitativa e quantitativa das perdas.
- Os depósitos nas alturas de 0,5 m ; 5,0 m e 5,5 m foram maiores para ambos os sistemas.
- O sistema de aplicação com os atomizadores rotativos apresentou depósito maior nas plantas, porém com diferenças não significativas quando comparado com os bicos hidráulicos.
- A metodologia utilizada para medir o espectro das gotas com os papéis hidrosensíveis e a deposição nas folhas mostrou-se adequada.
- O sistema de aplicação com atomizadores rotativos mostrou maior uniformidade de deposição na planta quando comparados com o sistema com os bicos hidráulicos.
- Análises de custos operacionais de aplicação de agrotóxicos em citros deverão ser conduzidas para estudar a viabilidade do sistema de aplicação com os atomizadores rotativos.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, A.; PALSHEDE, H. Multi-residue method for the analysis of. Pesticides in fruit and vegetables using acetate extraction, GPC clean up and GC determination. In: NATIONAL FOOD ADMINISTRATION. **Pesticide analytical in Sweden**. Uppsala, p. 9-41, 1998.
- AUGUSTO, F. **Cromatografia gasosa**. Disponível em: <<http://www.chemkeys.com>>. Acesso em 10 Maio 2006.
- BALS, E.J. Rotary atomization. **Agricultural Aviation**, La Haye, v. 12, p. 85-90, 1970.
- BALS, E.J. The reason for C.D.A. (controlled drop application). **Proceeding British Crop Production**, Weeds, v. 2, p. 659-666, 1978.
- BOGGIO, A.M. Aspectos gerais sobre aplicação e compatibilidade de defensivos em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 16, n. 2, p. 314-321, 1995.
- BOUSE, L.F.; CARLTON, J.B. Factors affecting size distributions of vegetable oil spray droplets, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n 3, p. 1605-1607, 1983.
- BUKOVAC, M.J. Spray Application technology: shortcomings and oportunities with especial reference to tree fruits. In: CONFERENCE BY AGRICUTURAL RESEARCH INSTITUTE, 1985, Bethesda. Proceedings...Bethesda, 1985. p. 25-38.
- CARPENTER, T.G.; REICHARD, D.L.; KHAN, A.S. Spray deposition from a Row-Crop airblast sprayer. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 2, p. 338-342, 1983.
- COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 264 p.
- CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY, R.A.; RICHARDSON, G.M. Spray deposits and losses in differents sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, Orlando, v. 20, p. 333-343, 2001.
- CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY, R.A.; RICHARDSON, G.M. Spray deposits and losses in differents sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate. **Crop Protection**, Orlando, v. 22, p. 381-394, 2003.
- CUNNINGHAM, G.P.; HARDEN, J. Reducing spray volumes applied to mature citrus trees. **Crop Protection**, Orlando, v. 17, n. 4, p 289-292, 1998.
- DA COSTA, M. F. **Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (G., 1939) em citros**. 2003. 64 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2003.

DE MOOR, A.; LANGENAKENS, J.; VEREECKE, E. Measurements of the air pattern and the vertical spray distribution as tools for the adjustment of orchard sprayers. In: CONFERENCE ON LIQUID ATOMIZATION AND SPRAY SYSTEMS, 8., 2000/Pasadena. **Proceedings...** 1 CD-ROM.

DERKSEN, R.C.; BODE, L.E. Droplet Size Comparisons from Rotary Atomizers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 5, p. 1204-1207, 1986.

DERKSEN, R.C.; GRAY, L.E. Deposition and air speed patterns of air-carrier apple orchard sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 1, p. 5-11, 1995.

FAROOQ, M.; SALYANI, M. Modeling of spray penetration and deposition on citrus tree canopies. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 47, n. 3, p. 619-627, 2004.

FAROOQ, M.; SALYANI, M. Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 45, n. 5, p. 1287-1293, 2002.

HALL, F.R. Influence of canopy geometry in spray deposition and IPM. **Hortscience**, Ohio, v. 26, n. 8, p. 1012 – 1017, 1991.

HALL, F.R.; REICHARD, D.L.; KRUEGER, H.R. Effects of spray volume and nozzle pressure on orchard spray deposits. **Journal of Economic Entomology**, London, v. 74, n. 4, p. 461-465, 1981.

HOFFMAN, 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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br>. Acesso em: 28 jul. 2006.

JUSTE, F.; SANCHEZ, S.; IBAÑEZ, R.; VAL, L.; GARCIA, C. Measurement of spray deposition and efficiency of pesticide application in citrus orchard. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v. 46, p 187-196, 1990.

MATUO, T. **Desenvolvimento de um pulverizador intermitente operado fotoelétricamente para tratamento de pomares de citros**. 1988. 167 p. Tese (Livre-Docência) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1988.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

MONTEIRO, M.V. **Estudo de un atomizador para trator**. 1970. 78 p. Tese (Doutorado em Ciências, Área de concentração: Medicina Veterinária e Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

MONTEIRO, M.V. **Compêndio de aviação agrícola**. Sorocaba,Cidade, 2006. 298 p.

MORGAN, N.G. Minimizing pesticide waste in orchard spraying. **Outlook on Agriculture**, London, v. 10, p. 342-344, 1981.

NEVES, E.M.; RODRIGUES, L.; GASTALDI, H.L.G. Defensivos agrícolas e custos na produção de citros. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 2, p. 127-131, jul./dez. 2004.

NEVES, M.F.; LOPES, F.F. (Org.) **Estratégias para a laranja no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2005. 225 p.

PALLADINI, L.A. **Efeito de condições operacionais de um turboatomizador na cobertura de folhas de citros**. 1990. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1990.

RAETANO, C. **Condições operacionais de turboatomizadores na distribuição e deposição da pulverização em citros**. 1996. 93 p. Tese (Doutorado em Ciências, Área de concentração: Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

RAISILG, U.; FELBER, H. Comparison of different mistblowers and volumes rates for orchard spraying. **Air Assisted Spraying in Crop Protection**, Swansea, v. 46, p. 185-196. 1991.

RANDALL, J.M. The relationships between air volume and pressure on spray distribution in fruit trees. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v. 16, n. 1, p. 1-31. 1971.

RAMOS HAMILTON, H.; PIO, L.C. Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM L., ZUPPI, M. DA CONCEIÇÃO, SANTIAGO, T (Ed.). O que engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários, Viçosa, 2003. 376 p.

RAMOS HAMILTON, H.; KIYOSHI, Y.; ILA CORRÊA, M.; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. C. Efeito do volume de calda aplicado com turbopulverizador sobre a deposição e cobertura em folhas, ramos, e frutos de citros. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004<sup>a</sup>. p. 144-147.

RAMOS HAMILTON H.; KIYOSHI, Y.; ILA CORRÊA, M.; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. C. Efeito do volume de calda aplicado com turbopulverizador sobre o controle do ácaro da leprose em citros. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004<sup>b</sup>, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2004. p. 140-143.

RIGOLIN, A.T.; TERSI, F.E.A. Redução nos custos de aplicação dos defensivos em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, n. 1, p. 93-106, 1999.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. Cary: SAS Institute Inc., 1999. 1 CD-ROM.

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.; FAROOQ, M. Drift potential of citrus of air-carrier sprayers. **Proceeding of Florida State Horticultural Society**, Florida, v. 111, p. 130-135, 2004.

SALYANI, M.; WHITNEY, J.D. Airblast sprayer oscillator performance in Florida citrus. **Proceeding of Florida State Horticultural Society**, Florida, v. 103, p. 22-25, 1990.

SANDER, T.P.Y. Development and evaluation of rotary cage atomiser conversion for orchard sprayer. **Air Assisted Spraying in Crop Protection**, Swansea, v. 46, p. 203-210, 1991.

TACHIBANA, A. **Um modelo para avaliar sistemas mecanizados para aplicação de defensivos em culturas perenes**. 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

TRAVIS, J.W.; SKROCH, W.A.; SUTTON, T.B. Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. **Plant Disease**, St. Paul, v. 71, n. 7, p. 613-615. 1987.

VAN EE, G.R.; LEDEBUHR, R.L.; POTTER, H.S. Air curtain sprayer increases spraying efficiency. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, v. 66, n. 7, p. 15-17, 1985.

VÁSQUEZ-CASTRO, J.A.; DE BAPTISTA, G.C.; GADANHA JR., C.D.; TREVIZAN, L.R.P. A new method to evaluate the performance of hydraulic nozzles used in stored grain protection trials. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PRODUCT PROTECTION, 9., 2006, Campinas. **Proceedings...** Campinas: Abrapós, 2006. 1 CD-ROM.

WHALTON, W.H.; PREWETT, W.C. The production of sprays and mists of uniform drop size by means of spinning disc type sprayers. **The Proceeding of the Physical Society**, London, v. 62, n. 6, p. 23-34, 1949.

WHITNEY, J.D.; SALYANI, M.; CHURCHILL, D.B.; KNAPP, J.L.; WHITESIDE, J.O.; LITTELL R.C. A Field investigation to examine the effects of sprayer type, ground speed, and volume rate on spray deposition in Florida citrus. **Journal Agricultural Engineer Research**, London, v. 42, p. 275-283, 1989.