

RONALDO GOULART MAGNO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA
PULVERIZAÇÃO E ATRAÇÃO DE GOTAS EM PLANTAS CÍTRICAS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

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

T

MI 98d
2008

Magno Júnior, Ronaldo Goulart, 1979-

Desenvolvimento de sistema eletrônico para pulverização
e atração de gotas em plantas cítricas / Ronaldo Goulart

Magno Júnior. – Viçosa, MG, 2008.

vii, 66f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Mauri Martins Teixeira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Equipamento de pulverização. 2. Eletrostática
(Agricultura). 3. Produtos químicos agrícolas - Aplicação.
4. Pulverização e polvilhação na agricultura. I. Universida-
de Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

RONALDO GOULART MAGNO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA PULVERIZAÇÃO
E ATRAÇÃO DE GOTAS EM PLANTAS CÍTRICAS**

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

APROVADA: 25 de fevereiro de 2008.



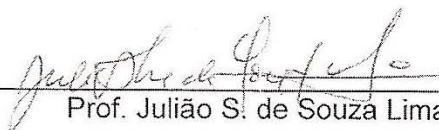
Prof. Paulo M. de Barros Monteiro
(Co-orientador)



Prof. Luciano Baião Vieira



Prof. Lino Roberto Ferreira



Prof. Julião S. de Souza Lima



Prof. Mauri Martins Teixeira
(Orientador)

DEDICO

Aos meus pais Ronaldo e Fátima,

Aos meus irmãos Paulo Fernando e Ana Carolina.

**À minha família amada, meu porto seguro,
À minha prima Fernanda (*in memoriam*)**

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus , nosso Pai de infinita Bondade, pelo dom da vida e por sempre se fazer presente em minha caminhada, e me amparar em todos os momentos.

Aos meu pais Ronaldo e Fátima, meus exemplos, pelo amor, pelo carinho, pela amizade e pelo constante apoio em todas as horas.

Aos meus irmãos Paulo Fernando e Ana Carolina, por sempre se fazerem presentes em todos os momentos.

À minha namorada Caroline de Carvalho Alvarenga, pelo apoio, pela amizade e pelo carinho em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela grande oportunidade oferecida para a realização do curso de Mestrado, principalmente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA).

Ao professor Dr. Mauri Martins Teixeira, pela orientação, amizade, confiança, pelos grandes ensinamentos, pelo apoio, pela paciência e pelas oportunidades durante o curso, em especial por todas as vezes que acreditou em meu trabalho, sempre me incentivando a crescer e a alcançar nossos objetivos.

Ao Professor Dr. Wellington Pereira Alencar de Carvalho, pelos constantes ensinamentos, pela amizade conquistada e pelo incessante incentivo, pelas oportunidades durante o tempo de graduação, oportunidades que sempre me incentivaram e muito contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo auxílio financeiro, através da bolsa de pesquisa durante o curso.

Aos Professores Haroldo Carlos Fernandes, Luciano Baião Vieira, Denílson Eduardo Rodrigues, Paulo Marcos de Barros Monteiro e Pedro Hurtado pelos ensinamentos, pelas sugestões e pela amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola Danilo, Vantuil, Geraldo e Marcelo, pelos serviços prestados e pela amizade durante o decorrer do curso.

Aos funcionários Edna, Renato, Marcus, D. Maria , Galinari, Juvercindo, José Mauro e Claudenilson, pela amizade, ajuda e dedicação.

À empresa HERBICAT, na pessoa do seu diretor Luis César Pio, pelos ensinamentos durante o tempo de estágio, e que muito contribuiu para a minha formação.

Aos meus amigos Walter Luiz Castro Mewes, Murilo Baesso, e Paula Rinaldi pela grande e sincera amizade conquistada no decorrer do curso, pelos auxílios, pelas sugestões, pelos ensinamentos , pela convivência e pelo companheirismo.

Aos meus amigos Renato, Francelino, Wagner, Marcos Vinicius, João Cleber, Geice, Danilo, Selma, Mário, Alisson, Gerson Inoue, Diogo, Gislaine, Fabiane, Fábio Lúcio, Enrique, Sérgio, Leonardo Rubim, Toninho e Amanda, pela amizade conquistada.

Aos meus amigos André Mesquita Rocha e Regiane Medice, pela amizade e pelo incentivo.

Aos meus colegas Álvaro Araújo e José Antônio (Belson) pelas grandes ajudas, sugestões e pelo auxílio na construção da fonte de alta tensão.

Aos meus amigos de República Manoel Eduardo e João Paulo, pela amizade e pelos bons momentos de convivência.

Aos meus tios e primos, sempre presentes, pelo incentivo nesta caminhada.

A todos os que fazem da Tecnologia de Aplicação o nosso grande instrumento de trabalho.

BIOGRAFIA

RONALDO GOULART MAGNO JÚNIOR, filho de Ronaldo Goulart Magno e Fátima das Dores Noronha Goulart, nasceu em Divinópolis, Estado de Minas Gerais, em 14 de dezembro de 1979.

Em 1999, concluiu o Ensino Médio e o curso Técnico em Eletromecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

Em 2001, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Lavras (UFLA), graduando-se em junho de 2006.

Em maio de 2006, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa- na área de Mecanização Agrícola e Tecnologia de Aplicação de Defensivos , submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2008.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
Introdução.....	5
Referências.....	9
DESENVOLVIMENTO DE UM PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO	10
Resumo.....	10
Abstract.....	11
1. Introdução.....	12
2. Revisão de Literatura.....	15
3. Material e métodos.....	18
3.1. Construção do pulverizador.....	18
3.2. Determinação do nível de carga gerada pelo pulverizador eletrostático.....	21
4. Resultados e discussão.....	25
5. Conclusões.....	30
6. Referências.....	31
DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ATRAÇÃO DE GOTAS DA PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA EM PLANTAS FRUTÍFERAS, VISANDO À SUA CERTIFICAÇÃO	33
Resumo.....	33
Abstract.....	34
1. Introdução.....	35
2. Revisão de Literatura.....	38
3. Material e métodos.....	42

3.1. Desenvolvimento de um dispositivo de captura das gotas da pulverização eletrostática.....	42
3.2. Avaliação do dispositivo de captura das gotas	44
3.3. Volume de aplicação.....	46
3.4. Delineamento experimental.....	47
3.5. Análise estatística.....	47
4. Resultados e discussão.....	48
4.1. Avaliação da densidade de gotas.....	50
4.2. Avaliação da cobertura.....	54
5. Conclusões.....	58
6. Referências	59

RESUMO

MAGNO JR., Ronaldo Goulart, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2008. **Desenvolvimento de sistema eletrônico para pulverização e atração de gotas em plantas cítricas.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Co-Orientadores: Haroldo Carlos Fernandes, Denílson Eduardo Rodrigues e Paulo Marcos de Barros Monteiro.

A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas em plantas arbóreas, frutíferas de modo geral, ainda é pouco pesquisada no Brasil. Diante das exigências do mercado internacional, a tecnologia de aplicação deve atender a alguns parâmetros que darão a credibilidade dos produtos brasileiros no mercado exterior, no que se refere à certificação e rastreabilidade. Com a globalização das boas práticas agrícolas, a Global Good Agricultural Practices (GLOBALGAP) passou a exigir mais critério dos produtores, dos pontos de vista social e sustentável. A certificação garante ao consumidor final que a produção foi de acordo com normas sustentáveis, ou seja, uso de insumos conforme as normas preestabelecidas, visando a um menor nível de resíduos nos produtos finais, principalmente nos de consumo *in natura*. Já a rastreabilidade permite ao consumidor conhecer todo o histórico e práticas de produção agrícola, permitindo, assim, saber quantas pulverizações foram realizadas, o tipo de defensivo e a dosagem e volume de calda usados. As pulverizações em plantas frutíferas são caracterizadas por alto volume de calda por hectare, aumentando o custo de produção, a contaminação dos trabalhadores e a contaminação ambiental. É um processo em que a eficiência da pulverização e a eficácia de controle das pragas e doenças estão ligadas diretamente ao tipo de pulverizador utilizado, sendo este o responsável pela deposição das gotas com princípio ativo no interior do dossel das plantas. Nesse tipo de pulverização, a maioria das gotas não penetra no dossel das plantas, devido ao impedimento das folhas externas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um pulverizador eletrostático e um dispositivo capaz de aumentar a penetração de gotas carregadas eletricamente no interior do dossel das plantas. No desenvolvimento do pulverizador eletrostático, foi usada como fonte de alta

tensão uma bobina de ignição automotiva, ligada a um circuito eletrônico, alimentado por 12 volts. Com a fonte de alta tensão instalada no pulverizador, foi possível obter nove correntes, com tensões variando de 4,2 a 12,8 kV, o que permitiu atingir valores de relação carga/massa de 0,3 mC kg⁻¹ a 4,1 mC kg⁻¹, em diferentes vazões. Para o desenvolvimento do dispositivo eletrônico de atração de gotas, foram distribuídos condutores metálicos no interior do dossel das plantas, com o propósito de atrair as gotas com cargas elétricas. Foram distribuídos cartões hidrossensíveis nos terços superiores, médios e inferiores, em três profundidades do dossel da planta e realizadas pulverizações com e sem carga e com a presença e ausência do dispositivo. A eficiência da pulverização eletrostática e do dispositivo foi baseada na densidade de gotas (gotas cm⁻²) e na cobertura (%). Em todas as condições estudadas, a maior densidade de gotas e a maior cobertura foram obtidas na parte externa do dossel.

ABSTRACT

MAGNO JR., Ronaldo Goulart, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2008. **Development of an electronic device for attraction drops of the electrostatic spraying in citric plants.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Co-Advisers: Haroldo Carlos Fernandes, Denílson Eduardo Rodrigues and Paulo Marcos de Barros Monteiro.

The technology of application of agricultural defensives in tree like plants and orchard plants in general way, still little is researched in Brazil. Ahead of requirements of the international market, the application technology must take care of some parameters that will give the credibility of the Brazilian products in the exterior market, as for the certification and traceability. With the globalization of good agricultural practices, Global Good Agricultural Practices (GLOBALGAP), demand it more criterion of the producers, of the social and sustainable points of view. The certification guarantees to the final consumer that the production was in accordance with sustainable norms, that is, use of pesticide, in accordance with preset norms, aiming to a lesser level of residues in the end items, mainly in the ones of consumption in natura. Already the traceability allows the consumer to know all the description and practical of production of the agriculturist, allowing, thus, to know how many sprayings had been carried through, the type of defensive and the dosage and volume of spray mixture used. The sprayings in fruitful plants are characterized by high volume of spray mixture for hectare, having increased the cost of production, the contamination of the workers and the ambient contamination. It is a process where the efficiency of the spraying and the effectiveness of control of the plagues and illnesses are on directly relation with the kind of spray used, being this the responsible one for the deposition of the drops, begin it a responsible for the asset in the interior of the canopy of plants. In this type of spraying, the majority of the drops does not penetrate in the canopy of the plants, had as impediment the external leaves. This work had as objective to develop an electrostatic spray and a device capable to increase the penetration of electrically loaded drops in the interior of the canopy of the plants. In the development of the

electrostatic spray, it used as high-voltage source, A bobbin of an automobile ignition system to an electronic circuit fed by a 12 volts battery. With the high-voltage source installed in the spray, it was possible to get eight chains, with tensions varying of 4,2 and 12,8 kV, what allowed to reach values of relation load/mass of 0,3 mC kg⁻¹ to 4,1 mc kg⁻¹, in different outflows. For the development of the electronic device of attraction of drops, they had been distributed conducting metallic in the interior of the canopy of the plants, with the intention to attract the drops with electric loads. Water sensitive cards in the thirds superior, average and inferior, in three different depths of the canopy of the plant and carried through sprayings with and without load, and with the presence and absence of the device had been distributed. The efficiency of the electrostatic spraying and the device was based on the density of drops (drops cm⁻²) and on the covering (%). In all the studied conditions, the biggest density of drops and the biggest covering had been gotten in the external part of the canopy.

INTRODUÇÃO

As pesquisas em tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas têm aumentado de forma significativa no Brasil e em todo o mundo. Os esforços vêm-se concentrando no desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas já existentes, por exemplo assistência de ar na barra de pulverização, indução de ar em pontas de pulverização, eletrificação de gotas e aplicação a taxas variadas. Todos esses estudos têm visado a um aumento na eficiência e eficácia dos defensivos, maior rendimento e capacidade operacional das máquinas, menor contaminação do operador, menor contaminação ambiental e menor nível de resíduos em alimentos consumidos *in natura*, visando à segurança alimentar.

A busca por padrões de segurança alimentar relacionados à ausência de resíduos de defensivos e pela sustentabilidade do agrossistema exige rápida mudança nas técnicas de controle de pragas e doenças, em especial na fruticultura brasileira. As exigências dos países importadores de frutas têm sido crescentes com relação à qualidade e com baixos níveis de resíduos de defensivos (CARVALHO, 2004).

Os Estados Unidos, o Japão e a União Européia estão entre os principais mercados consumidores de frutas que impõem barreiras quarentenárias e medidas de segurança, obrigando os países exportadores a aprimorarem suas técnicas de produção e controle fitossanitário (CARVALHO, 2000).

O potencial para exportação de frutas é de mais de US\$ 20 bilhões/ano, e, para ter acesso a esse mercado e não estar sujeito às barreiras não tarifárias, o Brasil precisa se adequar aos novos requisitos de qualidade e competitividade exigidos pela União Européia, Ásia e Mercosul (LOPES et al., 2001).

A rastreabilidade é um mecanismo que permite identificar a origem do produto desde o campo até o consumidor, tendo sido ou não transformado ou processado. É um conjunto de medidas que possibilitam controlar e monitorar todas as movimentações nas unidades de entrada e de saída, objetivando à produção de qualidade e com origem garantida (PALLET et al., 2003).

Quando um produto possui a rastreabilidade é possível, desse modo, identificar a região, o produtor ou até mesmo o talhão da propriedade que originou esse produto, podendo ser usado, por exemplo, para descobrir qual produtor não está respeitando o período de carência de uma pulverização.

O mercado mundial, quando realiza suas importações, além da qualidade externa das frutas, passa a exigir controle sobre todo o sistema de produção, incluindo a análise de resíduos nos frutos e os estudos sobre o impacto ambiental (FACHINELLO, 2001).

A tecnologia de aplicação de defensivos tem muito a contribuir com a importação de frutas brasileiras, pois usando tecnologia apropriada, em que se têm alta eficiência da pulverização e alta eficácia de controle da praga, pode-se respeitar com rigor o período de carência dos defensivos. Caso contrário, onde se usa tecnologia inapropriada para controlar determinada praga, a baixa eficiência da pulverização e, conseqüentemente, a baixa eficácia de controle pode resultar em não respeitar o período de carência de determinado defensivo, tendo a necessidade de aumentar o número de pulverizações em menor espaço de tempo, contribuindo, assim, para aumento nos níveis de resíduos.

A certificação EUREPGAP é um sistema de gestão da qualidade criado em 1997, por meio de uma iniciativa de 22 varejistas europeus, com a finalidade de assegurar alimentos seguros e sustentáveis para seus clientes, que preconizam a utilização de Boas Práticas Agrícolas (GAP), por meio de normas de certificação para frutas, verduras, grãos, café e animais (FONTES, 2007).

A Produção Integrada de Frutas (PIF) é um processo de produção de frutas alternativo ao modelo convencional adotado pelos produtores brasileiros ao longo dos últimos 30 anos, o que foi caracterizado pelo uso intensivo de defensivos, visando ao aumento da produtividade, mas com poucos reflexos na melhoria da qualidade (SOUZA et al., 2004).

É um processo de produção que tem como objetivo reduzir o uso de defensivos agrícolas, utilizando práticas de produção sustentáveis que reduzam o impacto ambiental e o gasto de energia e visam oferecer à sociedade frutas de qualidade.

No sistema de Produção Integrada de Frutas, o produtor deve obedecer a uma grade de defensivos, de acordo com a cultura, e também preencher o caderno de campo, destinado à anotação de todos os procedimentos realizados na lavoura, como número de pulverizações, produto pulverizado, período de carência e volume de calda utilizado, entre outros.

A deposição de defensivos nas plantas é influenciada pelas características de trabalho dos pulverizadores, condições meteorológicas (vento, temperatura, umidade relativa do ar), arquitetura da planta e características morfológicas das folhas (pilosidade, cerosidade etc.).

Para aumentar a deposição e diminuir as perdas, têm sido utilizadas alternativas como: alterações no volume de aplicação, produto, tipos de pontas, uso de adjuvantes e uso de sistema de pulverização com carga eletrostática, entre outros.

As aplicações de defensivos em plantas arbóreas são caracterizadas por altos volumes de calda, o que muitas vezes pode resultar em grandes perdas, como por exemplo, escoamento de calda para o solo e deriva. Essas perdas podem aumentar os custos de produção, diminuir a eficiência da pulverização e, conseqüentemente, diminuir também a eficácia de controle da praga.

A deriva ou o desvio da trajetória de gotas formadas durante a pulverização que não atingem o alvo constitui uma das principais causas de perdas de defensivos agrícolas, acarretando não só prejuízos financeiros, mas também ocasionando danos às lavouras próximas, ao meio ambiente e à saúde humana (COSTA, 2001).

Grande proporção das gotas é depositada nas folhas, mas isso não pressupõe o controle eficaz das pragas e doenças, devido à má distribuição dessas gotas, como na parte inferior das folhas. A pulverização eletrostática produz melhor deposição e pode oferecer controle mais efetivo que o convencional, com um baixo volume de calda (MATTHEWS, 1989).

Vários estudos têm demonstrado que o emprego de gotas menores proporciona melhores resultados no controle fitossanitário. No entanto, gotas muito pequenas, com pouca energia cinética, estão sujeitas a forças que desviam sua trajetória até o alvo, como a força de seu peso e a força do

vento. No intuito de minimizar essas forças externas a que estão sujeitas as gotas pequenas, é necessário que se adicione uma força extra, para que a resultante seja alterada.

Existe carência de informação a respeito da deposição de gotas com carga elétrica no interior do dossel das plantas, mas alguns trabalhos, como os de Calrton (1995) e de Derksen e Sanderson (1996), evidenciaram que, mesmo com o uso de cargas elétricas, a deposição no interior do dossel não aumenta proporcionalmente como o faz nas extremidades. Uma explicação possível para esse fenômeno seria o “efeito das Pontas”, que consiste no conceito de que as cargas livres de um corpo ficam concentradas nas extremidades.

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema eletrônico para pulverização e atração de gotas em plantas cítricas, visando aumentar a eficiência da pulverização.

REFERÊNCIAS

- CARLTON, J.B.; BOUSE, L.F.; KIRK, I.W. Electrostatic charging of aerial spray over cotton. **Transactions of the ASAE**, v.38, n. 6, p 1641-1645, 1995.
- CARVALHO, R. DA S.; NASCIMENTO, A. S.; MATRANGOLO, W. J. R. Controle Biológico de moscas-das-frutas. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (Eds.). **Moscas-das-frutas no Brasil: taxonomia, biologia, evolução e controle**. Ribeirão Preto, SP: Holos, 2000. 327 p.
- CARVALHO, R. DA S. **Monitoramento de parasitóides nativos e de tefritídeos antes da liberação de *diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) no Submédio São Francisco**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Fruticultura, 2004. 6 p. (Comunicado Técnico, 100).
- COSTA, A.G.F. **Métodos para estimar perdas em pulverizações de herbicidas em pré-emergência**. Botucatu, SP: UNESP, 2001. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- DERKSEN, R. C.; SANDERSON, J.P. Volume, speed, and distribution technique effects on poinsettia foliar deposits. **Transactions of the ASAE**, v.39, n. 1, p. 5-9, 1996.
- FACHINELLO, J.C. Avanços com a produção integrada de pêssego. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 213, p. 61-66, nov./dez. 2001.
- FONTES, J.R.M. Sistema EUREPGAP de certificação. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Certificação de café**. Viçosa, MG, 2007. p.99-116
- LOPES, P.R.C.; MOREIRA, A.N.; HAJI, F.N.P.; LOPES, L.M.M.; FREIRE, L.C.L. Produção integrada de manga. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 213, p. 67-71, 2001.
- MATTHEWS, G.A. Electrostatic spraying of pesticides: a review. **Crop Protection**, v. 8, p. 3-15, 1989.
- PALLET, D.; OLIVEIRA, I. J. de; BRABET, C.; IBA, S. K. **Um panorama da rastreabilidade dos produtos agropecuários do Brasil destinados à exportação: carnes, soja e frutas**. Piracicaba, SP: ESALQ-USP, 2003.
- SOUZA, C.A.F.; SILVA, J.A.A.; CARVALHO, J.E.B.; DONADIO, L.C.; SILVA, L.M.S.; LUCHETTI, M.A. **Normas Técnicas e Documentos de Acompanhamento da Produção integrada de Citros**. Brasília, DF, 2004, 74p.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM PULVERIZADOR ELETROSTÁTICO

A pulverização eletrostática consiste no carregamento das gotas com cargas elétricas, criando-se um campo elétrico capaz de aumentar a atração das gotas pelas plantas. Gotas carregadas eletricamente se depositam em lugares onde, sem carga elétrica, elas dificilmente se depositariam. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um pulverizador eletrostático costal, utilizando-se uma fonte de alta tensão de baixo custo. Utilizou-se uma bobina de ignição automotiva ligada a um circuito eletrônico alimentado por uma bateria de 12 volts. A fonte de alta tensão foi instalada na parte de trás do pulverizador e ligada a um anel de eletrificação indireta, que foi construído de cobre, com 0,10 m de diâmetro e 0,03 m de espessura. A medição da corrente contida no jato de gotas foi realizada usando-se uma Gaiola de Faraday aterrada, ligada a um microamperímetro. A fonte forneceu nove diferentes condições de trabalho, com tensões ajustáveis entre 4,2 e 12,8 kV, o que permitiu atingir valores de relação carga/massa de $0,3 \text{ mC kg}^{-1}$ a $4,1 \text{ mC kg}^{-1}$, trabalhando com vazão de 0,6; 1,5; e $1,9 \text{ Lmin}^{-1}$.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN ELECTROSTATIC SPRAYER

The electrostatic spraying consists of the shipment of the drops with electric loads, creating an electric field capable to increase the attraction of the drops for the plants. Loaded drops electrically are deposited in places where, without electric load, they hardly would be deposited. This work had as objective to develop an electrostatic spray system to be carried by a worker, using a high-voltage source of low cost. A bobbin of an automobile ignition system to an electronic circuit fed by a 12 volts battery. The high-voltage source was installed in the behind part of the spray system and it was linked to a ring of indirect electrification, that was constructed of copper, with 10 cm of diameter and 3 cm of thickness. The measurement of the chain contained in the spurt of drops was carried through using a cage of Faraday filled with earth and linked on a microampere meter. The source supplied nine different conditions of work, with adjustable tensions between 4,2 and 12,8 kV, what allowed to reach values of relation load/mass of 0,3 mC kg⁻¹ to 4,1 mc kg⁻¹, working with outflow of 0,6; 1,5; e 1,9 Lmin⁻¹

1. INTRODUÇÃO

A pulverização eletrostática consiste no carregamento das gotas com cargas positivas ou negativas, criando um campo elétrico e fazendo com que a gota não desvie de sua trajetória entre o pulverizador e o alvo, sendo atraída por ele (CHAIM, 2006).

É justamente na faixa de pequenas gotas que forças elétricas podem ser induzidas em grandeza suficiente para controlar seus movimentos, inclusive o movimento contra a gravidade, o que proporcionaria às gotas eletricamente carregadas a habilidade de se depositarem até mesmo na face inferior das folhas (CHAIM, 2004).

A deposição de gotas com cargas eletrostáticas pode ser até 70% superior à obtida com as gotas sem cargas, dependendo das características morfológicas do alvo e da própria intensidade de carga nas gotas (LAW; COOPER, 1988).

Segundo Soares (2001), pulverização eletrostática é tida como uma das mais eficientes, uma vez que possui vantagens sobre outras técnicas de pulverização e pode atingir o alvo por todos os lados, alcançando até 95% de eficiência de aplicação. Com o seu uso e proteção adequados, é um sistema extremamente seguro.

Para que um corpo fique eletricamente carregado, é necessário causar desequilíbrio entre os prótons e elétrons, adicionando ou retirando elétrons dele. O princípio da pulverização eletrostática se baseia em dois conceitos básicos. O primeiro é que cargas de mesmo sinal se repelem, e cargas de sinais opostos se atraem. O segundo conceito é o de que a carga de um corpo carregado induzirá uma carga igual e oposta em algum outro corpo condutor aterrado próximo.

Chaim (2006) e Matthews (1989) descreveram três processos utilizados na eletrificação de gotas: eletrificação por efeito-corona, eletrificação por indução direta e eletrificação por indução indireta. Os referidos autores afirmaram que a eficiência da pulverização eletrostática é diretamente relacionada ao processo utilizado para eletrificar as gotas.

Na eletrificação por efeito-corona, um eletrodo pontiagudo, submetido a tensões na ordem de 15 kV a 120 kV, ioniza o ar, e as cargas livres se chocam com as gotas produzidas pelo pulverizador, tornando-as eletricamente carregadas. Esse processo é adequado para eletrificar gotas com tamanhos inferiores a 20 micrômetros. Gotas de tamanhos maiores não adquirem cargas suficientes para aumentar a eficiência da deposição. Nesse processo de eletrificação, quando o eletrodo é carregado positivamente o líquido é atraído para o potencial da terra com cargas negativas e vice-versa (MATTHEWS, 1989).

No método de eletrificação direta, o líquido, ou bico, recebe a ação de uma alta tensão, que varia de 5kV a 40 kV, e um eletrodo aterrado em razão de promover um campo eletrostático. Esse método foi utilizado por Coffee (1981) e Chaim (1984) e tem a grande vantagem de poder utilizar caldas oleosas de baixa condutividade elétrica. Esse método foi utilizado nos pulverizadores eletrodinâmicos (Electrodyn).

Segundo Chaim (2006), nesse processo o líquido é submetido a intenso campo eletrostático que promove o aparecimento de cargas na sua superfície. A presença de cargas na superfície do líquido produz força que tem sentido oposto à força da tensão superficial. Quando a força devida às cargas é maior que a tensão superficial do líquido ocorre instabilidade hidrodinâmica na superfície, provocando o aparecimento de pequenas cristas, de onde são formadas as gotas.

Num bico de geometria cilíndrica, o campo eletrostático formado organiza-se em linhas de fluxo com simetria radial, promovendo o aparecimento de cristas que originam finos filamentos líquidos, num padrão de cone vazio. Na extremidade de cada filamento, as cargas acumulam-se com maior intensidade e, quando atingem nível crítico, o líquido se rompe em gotas. O tamanho das gotas depende, fundamentalmente, da tensão superficial, da intensidade do campo eletrostático e de determinadas características físicas do líquido. Dessa forma, somente líquidos com características especiais (caldas oleosas) conseguem ser pulverizados com esse processo.

No método de eletrificação indireta, o líquido é mantido aterrado, sem tensão. Nesse processo, as gotas adquirem a carga na presença de intenso

campo eletrostático, formado entre o eletrodo de indução (1 a 10 kV) e o jato de gotas. O eletrodo deve ser posicionado na região da borda do jorro onde as gotas se formam, em uma distância mínima suficiente para evitar centelhas de descarga entre o eletrodo e o líquido. A vantagem desse método é o fato de que o líquido contido no tanque e nas tubulações fica submetido à voltagem zero, e necessita-se de tensões relativamente baixas para eletrificação das gotas.

Como nesse método as gotas adquirem cargas de sinal oposto ao do eletrodo de indução e devido ao intenso campo eletrostático, elas são atraídas para o eletrodo de indução, molhando e causando escorrimento de calda. Com o molhamento do eletrodo de indução, a fonte de alta tensão entra em curto circuito, e o processo de eletrificação de gotas fica prejudicado.

Um sistema de eletrificação de gotas para pulverização aérea foi desenvolvido por Carlton (1999), usando o método de eletrificação indireta. Devido ao fato de o sistema entrar em operação somente quando a aeronave está em vôo, a intensidade e velocidade do vento impede que ocorra o molhamento do anel de indução, mantendo um bom funcionamento do sistema.

Chaim et al. (2002) desenvolveram um bico pneumático eletrostático, onde o próprio ar que fragmenta o líquido arrasta as gotas eletrificadas para longe da zona de influência do eletrodo de indução, garantindo, assim, o perfeito funcionamento do sistema.

Este trabalho teve como objetivo a construção de um pulverizador eletrostático, de eletrificação indireta, capaz de gerar nível de carga suficiente para aumento na eficiência da aplicação de defensivos em plantas cítricas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A eficiência de um pulverizador eletrostático está ligada diretamente à relação carga/massa (Q/M) que ele é capaz de produzir. Essa relação indica a quantidade de carga, em C, contida em uma massa conhecida, em kg.

A relação carga/massa é obtida pela divisão da corrente (μA) contida no jato de gotas, pela massa de líquido em kg.

A deposição de gotas com cargas eletrostáticas pode ser até 70% superior à obtida com as gotas sem cargas, dependendo das características morfológicas do alvo e da própria intensidade de carga nas gotas (LAW; COOPER, 1988).

Avaliando um sistema eletrostático em aplicação aérea e comparando volumes de 11,1 e 4,75 L ha⁻¹, Inculet e Fischer (1989) mostraram que as gotas com cargas eletrostáticas não promoveram incremento expressivo na deposição devido à baixa relação carga/massa, em torno de 0,3 mCKg⁻¹.

De acordo com Carlton et al. (1995), valores de relação carga/massa (Q/M) inferiores a 0,8 mCKg⁻¹ não promovem ganhos significativos na deposição das gotas sobre os alvos, e incrementos na relação Q/M são diretamente proporcionais à melhoria da eficiência.

Avaliando a deposição de defensivos com bocal eletrostático, Chaim et al. (2002) verificou que o aumento na tensão de indução aumenta a intensidade de carga das gotas até determinado limite, a partir do qual os incrementos de tensão são prejudiciais à eletrificação das partículas. Concluiu também que o aumento na carga das gotas aumenta significativamente a deposição da pulverização. Neste trabalho, usando uma tensão de 8 kV e uma vazão de 0,3 Lmin⁻¹, obteve-se uma carga máxima de 4,0 mC kg⁻¹.

Trabalhando no aperfeiçoamento de um bico de pulverização eletrostática, Chaim (1998) verificou que a técnica de aterramento do líquido afeta o nível de carga das gotas. Com essa técnica de aterramento do líquido, conseguiu-se alto nível de carga, 22 mC kg⁻¹, com tensões inferiores a 1.500 volts.

Avaliando um pulverizador manual eletrostático, de disco rotativo com assistência de ar, Gupta e Due (1996) concluíram que, quando a tensão foi mantida em 2,5 kV, a eficiência da deposição sem assistência de ar variou de 37 a 70%, sendo a deposição mais baixa quando o disco apresentava a rotação mais baixa. Com a assistência do ar, a eficiência da deposição ficou em torno de 40 a 97%, com maiores rotações no disco.

Adaptando um pulverizador costal motorizado para pulverização eletrostática, usando fonte de alta tensão alimentada pelo magneto do motor e ligada a um eletrodo localizado na ponta da lança do pulverizador, Brown et al. (1994) verificaram que com o uso de cargas eletrostáticas houve deposição de gotas a maiores distâncias do pulverizador, em torno de 14 m de distância.

Um pulverizador eletrohidrodinâmico foi desenvolvido por Coffee (1981) para aplicação de caldas oleosas, a baixo volume, em torno de 1 a 2 L ha⁻¹. A fonte de alta tensão gerava uma voltagem de 25kV e era alimentada por 9 volts.

Machowski e Balachardan (1997) desenvolveram um termonebulizador eletrostático para uso em casas de vegetação, em que a melhor relação carga/ massa foi obtida quando aplicou uma tensão de 2 kV, chegando a 0,3 mC kg⁻¹. Afirmaram também que sob condições operacionais favoráveis, como pressão do ar de 0,2-0,3 MPa, vazão de 50-150 mL min⁻¹ e tensão de 1 kV, alguns pulverizadores eletrostáticos são capazes de pulverizar gotas de 30 a 60 µm, com relação carga/massa de 8 a 9 mC kg⁻¹.

Um bocal eletrostático desenvolvido por Moon et al. (2003) foi alimentado por uma fonte de alta tensão pulsante, com 15 kV, e foi obtida uma relação carga/massa de 2,1 mC kg⁻¹, com corrente máxima de 27 µA e vazão de 0,75 L min⁻¹.

Desenvolvendo um sistema eletrostático bipolar de eletrificação indireta para aplicações aéreas, Carlton et al. (1995) obtiveram uma relação carga/massa de +- 2,64 mC kg⁻¹. Com esse nível de carga, a deposição na cultura do algodão foi aumentada em 4,3 vezes. O sistema era alimentado com uma tensão de 9,0 kV, com corrente de 600 µA .

Avaliando um pulverizador eletrostático pneumático, equipado com uma fonte de alta tensão pulsante, ajustável de 0 a 8 kV e alimentada por uma bateria de 12 V e 40 A, Kang et al. (2004) verificaram que a tensão mais eficiente no processo de eletrificação de gotas foi de 4 kV. Afirmaram que em tensões acima de 4,5 kV houve centelhamento entre o eletrodo e o bocal eletrostático.

Almekinders et al. (1992), avaliando um pulverizador eletrostático com tensão de 20 a 30 kV e vazão de 0 a 14 mL min⁻¹, obtiveram relação carga/ massa de 0,4 mC kg⁻¹ a 8 mC kg⁻¹, com tamanhos de gotas variando de 100 a 278 µm. Afirmaram também que a tensão mais estável foi a de 20 kV e que tensões acima de 30 kV ionizaram o ar próximo do jato de gotas, tornando o sistema instável.

Avaliando o efeito da tensão de indução sobre o jato de gotas do pulverizador, Maski (2005) obteve uma relação carga/massa de 18,5 mC kg⁻¹ e 7,5 mC kg⁻¹, usando tensão de indução de 7,5 e 4,0 kV, respectivamente, com uma vazão de 30 mL min⁻¹. Concluiu também que as propriedades do líquido, como densidade, tensão superficial, condutividade elétrica e constante dielétrica, afetam o processo de eletrificação das gotas.

Maski et al. (2004), avaliando parâmetros que influenciam a indução eletrostática, concluíram que as propriedades do líquido e o método de eletrificação podem afetar o processo de formação das gotas, a capacidade de eletrificar as gotas, a carga máxima que pode acumular numa gota, o nível de carga, a velocidade terminal, a eficácia biológica e a deposição no alvo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A construção do gerador de cargas eletrostáticas e o desenvolvimento do pulverizador foram realizados no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola e no Laboratório de Eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica e de Produção, ambos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os ensaios de campo foram realizados em um pomar de citros, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da UFV.

3.1 Construção do pulverizador eletrostático

Foi adaptado a um pulverizador pneumático costal motorizado, da marca Yannmar, com capacidade de 14 L, motor de 1,3 HP, uma fonte de alta tensão, geradora de cargas eletrostáticas, com tensão ajustável entre 4,0 e 12,8 kV e corrente elétrica de aproximadamente 40 μ A.

A fonte de alta tensão (Figura 1) foi composta de uma bobina automotiva de 12 volts, um circuito integrado modelo 555 (temporizador), um transistor modelo 2N3055, dois resistores, um potenciômetro para ajustar a variação de tensão, um capacitor eletrolítico, um capacitor de poliéster e dois diodos 1N4001. Essa fonte foi alimentada por uma bateria de 12 volts, adaptada ao pulverizador.

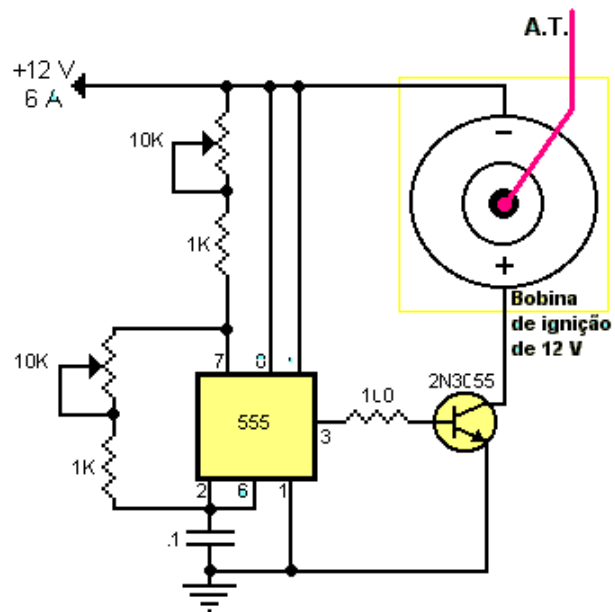


Figura 1 – Fonte de alta tensão adaptada ao pulverizador.

Foram realizadas nove marcações no potenciômetro, a fim de poder variar a tensão e corrente na fonte. Assim, cada marcação consistiu-se de um tratamento

Para medir a tensão da fonte, foi utilizada uma ponta de prova para alta tensão (Figura 2), com capacidade para 40 kV, acoplada a um multímetro digital. A corrente foi medida usando-se um microamperímetro. Para determinar a frequência de pulso e a forma de onda gerada pela fonte, foi usado um osciloscópio modelo OS 9030 .

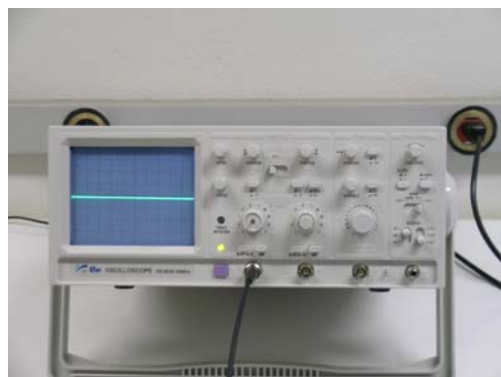


Figura 2 – Instrumentos utilizados no laboratório.

A fonte foi alojada em uma caixa metálica, a fim de evitar interferência nos componentes eletrônicos oriundos do ruído do motor de acionamento do pulverizador.

A caixa metálica, funcionando como gaiola de Faraday, foi fixada na parte traseira do pulverizador (Figura 3). A saída da fonte de alta tensão foi conectada ao anel eletrificador, por meio de cabos de alta isolamento, protegidos por mangueira, visando à maior segurança.



Figura 3 – Fonte de alta tensão adaptada na parte de trás do pulverizador.

Primeiramente, foi construído um anel de diâmetro ajustável, em alumínio. De posse desse anel com diâmetro ajustável, foram realizados testes com diversos diâmetros, para verificar qual o diâmetro adequado para que o jato de gotas não atingisse o anel, evitando, assim, escorrimento de líquido. Nesse teste visual, foi verificado que diâmetros inferiores a 0,10 m causariam escorrimento de líquido devido ao contato do jato de gotas com o anel de indução. Também, foram realizados testes para determinar a distância do anel de indução em relação à saída de líquido do pulverizador. A distância ideal foi de 0,05 m.

O anel definitivo (Figura 4) foi construído em cobre, com 0,10 m de diâmetro e 0,03 m de largura, e fixado na lança do pulverizador por um material isolante.

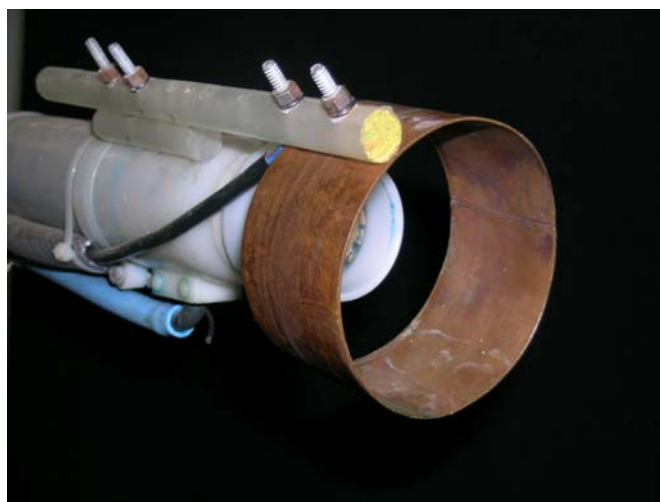


Figura 4 – Anel de cobre para indução indireta.

3.2 Determinação do nível de carga gerado pelo pulverizador eletrostático

A quantidade de carga do sistema foi determinada de acordo com o método usado por Chaim (1998) e Simmons e Lehtinen (1986), que consiste no uso de uma gaiola de tela metálica (gaiola de Faraday), isolada e posicionada a 0,05 m de distância do bocal do pulverizador (Figura 5). Segundo Simmons e Lehtinen (1986), esse método de determinação da relação carga/massa é o mais consistente, se comparado a outros.

A gaiola foi aterrada por meio de uma haste metálica de 1,0 m de comprimento, sendo conectado no meio do circuito um multímetro, com escala de 0 a 50 μA , com sensibilidade para 1 μA .

Foi medida, dessa forma, a descarga de eletricidade contida no jato de gotas. A relação carga/massa foi obtida pela relação entre a corrente elétrica (Coulomb/segundo) e a quantidade da massa de líquido pulverizada (kg/segundo).

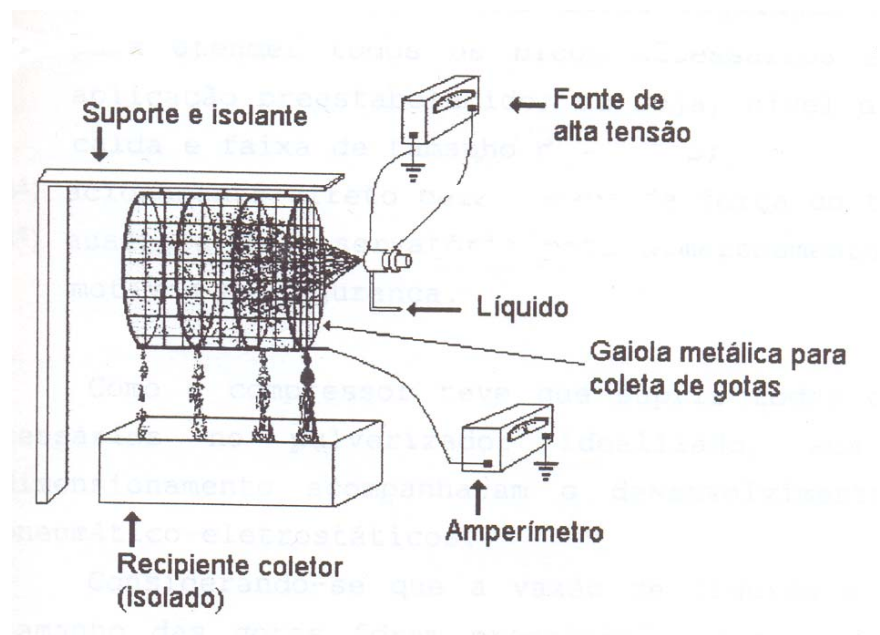


Figura 5 – Método de quantificação de carga gerada pelo pulverizador eletrostático.

Fonte: LARANJEIRO, 1998.

A força de atração, ou repulsão, exercida entre duas cargas elétricas concentradas em dois pontos distintos depende do meio em que se verifica o fenômeno e, em dado meio, é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Entretanto, a força F é expressa da seguinte maneira:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \quad \text{eq. 1}$$

em que:

F = força de Coulomb, N;

K = constante eletrostática, $9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$;

q1 e q2 = carga elétrica, Coulomb C; e

d = distância entre duas cargas, m.

Com os valores obtidos da equação 1 , determina-se o valor do campo elétrico, através da equação 2:

$$E = \frac{F}{q} \quad \text{eq. 2}$$

em que:

E = campo elétrico, N C^{-1} ;

F = força elétrica, N; e

q = carga elétrica, C.

A relação entre a carga eletrostática e a diferença de potencial é expressa pela seguinte equação:

$$Q = VC \quad \text{eq. 3}$$

em que:

Q = carga eletrostática no objeto, C;

V = diferença de potencial no sistema,V; e

C = capacitância, F.

Gotas menores são mais facilmente eletrificadas, pois atingem o Limite de Rayleigh com mais facilidade. A gota alcança esse limite quando ela acumula a máxima quantidade de carga possível.

O limite de Rayleigh é definido pela equação 4.

$$q = 8\pi\sqrt{\gamma\epsilon_0}r^3$$

eq. 4

em que:

q = carga na gota, C;

γ = tensão superficial, N m⁻¹;

ϵ = permissividade do líquido, C N⁻¹ m²; e

r = raio da gota, μ m.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fonte utilizada foi capaz de fornecer tensão e corrente necessária para eletrificação das gotas pulverizadas. Com a retificação da fonte de alta tensão, os níveis de corrente contidos no jato de pulverização foram muito baixos. Devido a esse fato, a fonte foi usada sem a retificação da onda, apenas com a polarização do sinal, feito por meio de diodos.

O fato de a onda retificada não ter eletrificado as gotas pode ser explicado baseando-se no conceito de Faraday, que diz que, para ter corrente elétrica gerada por força eletromotriz, é preciso que haja um campo eletromagnético variável no tempo.

As características da fonte medidas em laboratório e o valor da corrente em μA de acordo com a posição de regulação do cursor do potenciômetro são descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores de tensão, frequência e corrente da fonte de alta tensão

Tratamento	Tensão (kV)	Freq. (Hz)	Corrente (μA)
1	4,20 A	1562,50 A	10,00 A
2	6,03 B	1191,18 B	11,66 AB
3	8,00 C	842,90 C	14,33 BC
4	9,60 D	647,00 D	17,00 CD
5	10,13 D E	600,91 D E	20,33 D
6	10,93 E	543,47 DEF	24,00 E
7	12,00 F	476,19 EFG	28,00 F
8	12,26 F	416,64 FG	38,00 G
9	12,80 F	394,76 G	41,00 G

As médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando o Quadro 1, observou-se que, com o aumento na posição do potenciômetro (tratamento), conseqüentemente ocorre aumento nas tensões e correntes.

Embora as tensões nas posições de 7 a 9 são estatisticamente iguais, apenas as correntes nas posições 8 e 9 são estatisticamente iguais entre si.

A Figura 6 ilustra a elevação da corrente em função do incremento da tensão de indução. Observa-se, nessa figura, que houve aumento mais acentuado de corrente entre as tensões de 12,00 e 12,26 kV, sendo o pico em 12,8 kV.

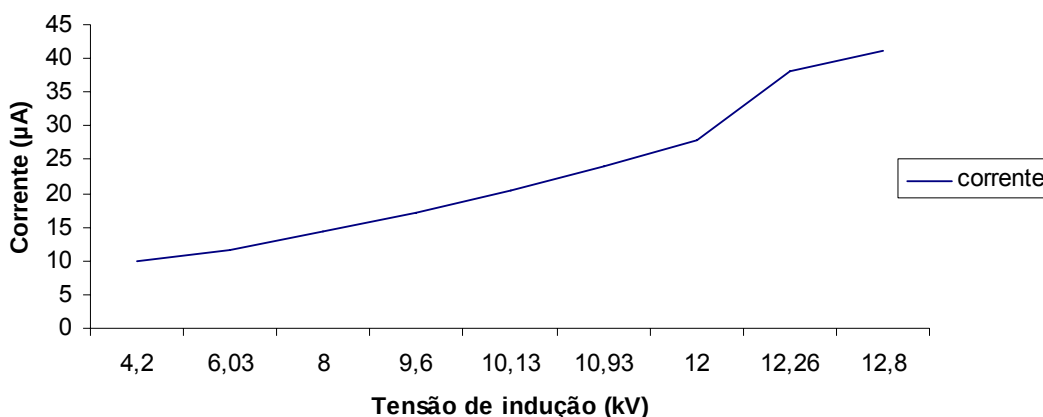


Figura 6 – Relação entre tensão de indução e corrente elétrica no jato de gotas.

O protótipo do pulverizador eletrostático desenvolvido forneceu relação carga/massa acima do nível mínimo citado por Carlton (1995), que é de $0,8 \text{ mC kg}^{-1}$

Nos ensaios de relação carga/massa, foram utilizadas as nove correntes disponíveis na fonte, além de três vazões : $0,6 \text{ Lmin}^{-1}$, $1,5$ e $1,9 \text{ Lmin}^{-1}$. Foram realizadas três repetições em cada situação.

No Quadro 2, apresentam-se os valores da relação carga/massa, nas diferentes vazões e diferentes correntes usadas no ensaio.

Quadro 2 – Relação carga/massa (mC kg^{-1}) em função da vazão e da corrente

Tratamento	Vazão (L min^{-1})		
	0,6	1,5	1,9
1	1,00	0,40	0,31
2	1,16	0,46	0,36
3	1,43	0,57	0,45
4	1,70	0,68	0,53
5	2,03	0,81	0,64
6	2,40	0,96	0,75
7	2,80	1,52	1,20
8	3,80	1,52	1,20
9	4,10	1,64	1,29

Conforme pode ser analisado no Quadro 2, com o aumento na vazão ocorre redução significativa na relação carga/massa. Esse resultado pode ser explicado pelo incremento da massa pulverizada por minuto e também pelo tamanho das gotas geradas nas diferentes vazões. Aumentado a vazão do pulverizador, há aumento no tamanho de gotas, visto que a quantidade de ar para fragmentar maior massa de líquidos permanece constante. Resultados semelhantes foram encontrados por Chaim et al.(2002) e por Brown et al. (1994).

A melhor relação Q/M foi verificada na maior corrente disponível na fonte e na vazão de $0,6 \text{ Lmin}^{-1}$, sendo significativamente diferente das vazões de 1,2 e $1,5 \text{ Lmin}^{-1}$. Portanto, com essa vazão a velocidade de deslocamento do pulverizador teria que ser muito baixa para atingir um volume usual em nível de campo, que está em torno de 28 L por planta de citros (RAMOS, 2007).

No Quadro 3, apresenta-se a média dos níveis de carga gerados nas diferentes vazões para a máxima corrente da fonte ($41 \mu\text{A}$).

Quadro 3 – Valores da relação carga/massa em função da vazão

Vazão (Lmin ⁻¹)	Médias (mC kg ⁻¹)
0,6	4,10 A
1,5	1,64 B
1,9	1,29 B

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando o Quadro 3, pode-se verificar que a relação carga/massa nas vazões de 1,5 e 1,9 Lmin⁻¹ foram estatisticamente iguais. Embora aparentemente a média da relação carga/massa na vazão de 1,9 Lmin⁻¹ fosse menor que a média de 1,5 Lmin⁻¹, estatisticamente não houve diferença entre os dois valores e sim diferença estatística somente na vazão de 0,6 Lmin⁻¹.

O nível de carga na vazão de 0,6 Lmin⁻¹ pode ser considerado muito bom, mas essa vazão não seria recomendada para pulverização em plantas arbóreas. Uma vazão dessa proporção poderia ser usada em casas de vegetação, onde há ausência de vento, podendo-se trabalhar com uma vazão muito baixa e, conseqüentemente, com tamanhos de gotas muito pequenos.

A Figura 7 ilustra o decréscimo da relação carga/massa em função do aumento da vazão do pulverizador. Esse decréscimo é devido ao aumento da massa de água, diminuindo, assim, a relação carga/massa. Resultados semelhantes foram obtidos por Chaim et al. (2002), com tensão de indução de 8 kV e vazão variando de 0,1 a 0,8 L m⁻¹; e por Brown et al. (1994), com vazões de 0,012; 0,019; e 0,021 L m⁻¹, ambos trabalhando com pulverizador eletrostático pneumático costal motorizado.

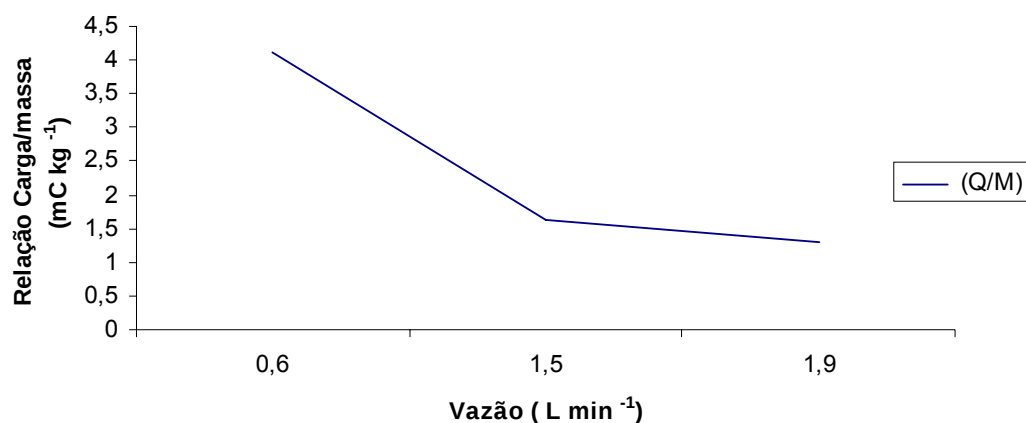


Figura 7 – Relação entre intensidade de carga e vazão, com tensão de 12,8 kV.

Mesmo com o uso da pulverização eletrostática, em que a força de atração entre a gota e o alvo pode ser aumentada em até 40 vezes (LAW, 2001), o uso de volumes muito baixos em pulverizadores pneumáticos, poderia causar menor cobertura, devido à deriva e evaporação, diminuindo a eficácia de controle e causando, conseqüentemente, resistência das pragas e doenças aos defensivos agrícolas.

5. CONCLUSÕES

- O pulverizador foi capaz de eletrificar as gotas pulverizadas.
- À medida que aumentou a vazão do pulverizador houve decréscimo na relação carga/massa.
- Os níveis de carga gerados pelo sistema eletrostático, na maior vazão e na maior tensão, foram superiores a $0,8 \text{ mC kg}^{-1}$.

6. REFERÊNCIAS

ALMEKINDERS, H.; OZKAN, H.E.; REICHARD, D.L.; CARPENTER, T. G.; BRAZEE, R. D. Spray deposit patterns of an electrostatic atomizer. **Transactions of the ASAE**, v. 35, n. 5, p.1361-1366, 1992.

BROWN, J. D.; DOBBINS, R.B.; INCULET, I.I. Portable electrostatic sprayer. **Industry Applications Society annual Metting, in Conference Record of the 1994 IEEE**. [S.l.: s.n.] 1994. p.1442-1444.

CARLTON, J.B.; BOUSE, L.F.; KIRK, I.W. Electrostatic charging of aerial spray over cotton. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 6, p. 1641-1645, 1995.

CARLTON, J.B. A technique to reduce chemical usage and concomitant drift from aerial sprayer. **Patente Number 5,975,425**, 1999. 14 p.

CHAIM, A. Aperfeiçoamento de bico de pulverização eletrostática para geração de gotas com alto nível de carga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 463-470, 1998.

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V. Eficiência de deposição de agrotóxicos, obtida com bocal eletrostático para pulverizador motorizado costal motorizado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 497-501, 2002.

CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**. Qualidade em tecnologia de aplicação. Botucatu, SP: UNESP, 2004. p. 85-92.

CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 18 p. (Documento 57)

COFFEE, R.A. Electrodynamic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 10, n. 7, p. 350-356, 1981.

GUPTA, C.P.; DUC, T.X. Deposition studies of a hand-held air-assisted electrostatic sprayer. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 5., p. 1633-1639, 1996.

INCULET, I.I.; FISCHER, J.K. Electrostatic aerial spraying. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 25, n. 3, p. 558-562, 1989.

KANG, T.G.; LEE, D.H.; LEE, C.S.; KIM, S.H.; LEE, G.I.; CHOI, W.K.; NO, S.Y. **Spray and deposition characteristics of electrostatic nozzles for orchard sprayers**. St. Joseph, Mich: ASAE, 2004. (Paper nº 041005).

LARANJEIRO, J.A. **Eficácia de um pulverizador pneumático-eletrostático na aplicação de *Bacillus Thuringiensis* em Florestas.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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

LAW, S.E.; COOPER, S.C. Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carrier sprayer. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 4, p. 984-989, 1988.

MACHOWSKI, W.; BALACHARDAN, W. Design of electrostatic fog generator using a reverse field modelling technique. In: **IEEE Industry Application Society Annual Meeting**. New Orleans, Louisiana, 1997. p. 5-9.

MASKI, D.; DIVAKER DURAIRAJ, C.; PUSHPA, T. Characterization of spray liquids for electrostatic charging. **Institution of Engineers (Índia), Journal-AG**, v. 85, p. 33-36, 2004.

MASKI, D. **Spray chargeability studies and data modeling using electrostatic spraying system for drift mitigation.** St. Joseph, Mich: ASAE, 2005. (Paper nº 051153).

MATTHEWS, G.A. Electrostatic spraying of pesticides: a review. **Crop Protection**, v. 8, p. 3-15, 1989.

MOON, J.D.; LEE, D.H.; KANG, T.G.; YON, K.S. A capacitive type of electrostatic spraying nozzle. **Journal of Electrostatics**, n. 57, p. 363-379, 2003.

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

SOARES, B. F. **Desempenho operacional de uma ponteira de pulverização eletrostática para o tratamento fitossanitário da cultura do algodoeiro (*Gossypium* sp).** Campinas, SP: UNICAMP, 2001. 90 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SIMMONS, H. C.; LEHTINEN, J.R. Characteristics of electrostatically charged air atomized spray for pesticide application. **Pesticide Formulation and Application Systems**, v. 7, p. 116-132, 1986.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO PARA ATRAÇÃO DE GOTAS DA PULVERIZAÇÃO ELETROSTÁTICA EM PLANTAS CÍTRICAS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um dispositivo para promover a atração de gotas carregadas eletricamente para o interior do dossel das plantas, visando reduzir o impacto ambiental causado pelos defensivos. Foram distribuídos condutores metálicos no interior do dossel das plantas, com o propósito de atrair as gotas com carga elétrica. Foram distribuídos cartões hidrossensíveis nos terços superiores, médios e inferiores, em três diferentes profundidades do dossel. As pulverizações foram realizadas com e sem carga, combinadas com a presença e ausência do dispositivo proposto. A eficiência da pulverização eletrostática e do dispositivo proposto foi baseada na densidade de gotas (gotas cm^{-2}) e na cobertura (%), nas diferentes regiões da planta. Em todas as condições estudadas, a maior densidade de gotas e a maior cobertura foram obtidas na parte externa do dossel.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC DEVICE FOR ATTRACTION DROPS OF THE ELECTROSTATIC SPRAYING IN CITRIC PLANTS

This work had as objective to develop a device to promote the attraction of electrically loaded drops to the interior of the canopy of plants. Had been distributed conducting metallic in the interior of the canopy of plants, with the intention to attract the drops with electric load. Water sensitive cards had been distributed in the superior, average and inferior third parts, in three different depths of the canopy. Sprayings with and without load had been carried through, combined with the presence and absence of the considered device. The efficiency of the electrostatic spraying and the considered device was based on the density of drops (drops cm⁻²) and on the covering (%), in the different regions of the plant. In all the studied conditions, the biggest density of drops and the biggest covering had been gotten in the external part of the canopy.

1. INTRODUÇÃO

O controle químico é um método muito eficiente para o combate em larga escala a pragas, doenças e plantas daninhas que atingem as culturas de interesse econômico. O desenvolvimento acelerado da agricultura brasileira requer um manejo eficiente dos modernos recursos de tratamento fitossanitário no emprego em larga escala de defensivos, equipamentos sofisticados e tecnologia de aplicação adequada.

A eficácia de um tratamento fitossanitário não está ligada somente ao produto que se usa, mas sim a qualidade da pulverização, que é influenciada por fatores, como o tipo de ponta de pulverização, a pressão de trabalho, o ângulo de pulverização, o volume de calda (MATTHWES, 2004).

Segundo Law (2001), 60 a 70% do volume dos defensivos usados não atinge o alvo. A porcentagem que não alcança o alvo vai para o solo ou evapora, o que contribui, de maneira significativa, para a contaminação ambiental. Esse mesmo autor afirmou que o maior benefício da pulverização eletrostática é a melhor deposição de produtos no dossel das plantas, o que não acontece nos sistemas convencionais de pulverização, usando-se a gravidade e inércia das gotas.

Quando se faz pulverização a campo, é comum que algumas áreas das plantas não recebam suficiente cobertura da calda. Nesse caso, as pragas podem selecionar essas áreas para caminhar e alimentar-se, tendo pouco ou nenhum contato com os produtos fitossanitários, que perderão sua atividade biológica com o passar do tempo (KONNO et al., 2001).

Em aplicação aérea de herbicida em arroz irrigado, Pessoa e Chaim (1999) verificaram que as perdas desse defensivo giravam em torno de 50%. Em tomate estaqueado, Chaim et al. (1999) observaram perdas extremamente elevadas de defensivos aplicados em três estádios da cultura.

Chaim (2006) concluiu que a contaminação do solo é 20 vezes menor com a pulverização eletrostática quando comparada com a aplicação convencional.

Em estudo sobre bocal eletrostático, que foi comparado com aplicação convencional em cultura de tomate, Chaim et al. (2002) mostraram que o pulverizador eletrostático pôde depositar até 70% do

defensivo aplicado, enquanto a pulverização convencional pode depositar somente 30% do defensivo aplicado. Esse estudo também apontou que a aplicação eletrostática possibilitou redução real na dose do produto aplicado sem perda da eficácia de controle e também sensível redução na contaminação por parte do aplicador.

Até então, a tecnologia de aplicação de defensivos em plantas frutíferas tem sido pouco pesquisado. Embora a pulverização desse tipo de cultura venha sendo realizada desde o início da década de 1940, com o aumento dos custos da pulverização, aumento no tamanho dos pomares e exigências de uma agricultura sustentável, a tecnologia de aplicação começou a ser alvo de mais estudos e pesquisas. Estudos desenvolvidos na Austrália indicaram que, melhorando as técnicas de aplicação em pomares, foi possível diminuir o volume de calda de 4.000 L ha⁻¹ para 200 L ha⁻¹, diminuindo também a dosagem do ingrediente ativo em até 25% sem reduzir a eficiência (JONES et al., 2000).

Ramos et al. (2004), avaliando o efeito de calda aplicada com pulverizador hidropneumático sobre o controle do ácaro da leprose em citros, verificaram que não houve diferença na população de ácaros em função do volume de calda usado, decorridos 50 dias após a pulverização. Os volumes de calda usados foram de 50, 70, 85, 100, 150 e 200% do volume-padrão utilizado pelo produtor, ou seja, de 28 L/planta. Este trabalho foi realizado em pomar de laranja Natal com 17 anos de idade, plantados no espaçamento 9 x 6, com altura média de copa de 4 m.

Já Ramos et al. (2007), ao avaliarem o efeito do volume de calda com turbo pulverizadores sobre a deposição e cobertura em folhas, ramos e frutos de citros, trabalhando com 50, 70, 85, 100, 150 e 200% do volume-padrão utilizado (28 L/planta), verificaram que o aumento do volume elevou a porcentagem de cobertura nas folhas, ramos e frutos, sendo mais evidentes em frutos. As porcentagens de cobertura nas folhas, ramos e frutos foram superiores no setor horizontal frontal e no setor vertical inferior; a deposição nos ramos foi significativamente maior que nas folhas e frutos. Concluíram, também, que apenas em 50% do volume aplicado a deposição foi significativamente menor que os demais, indicando que o volume-padrão

utilizado pode ser reduzido em até 30%, sem prejuízo na deposição sobre folhas, ramos e frutos.

Palladini e Souza (2004), avaliando a deposição em folhas de macieira com aplicações de diferentes volumes de calda (280, 380, 560 e 780 L ha⁻¹), verificaram que os depósitos tanto na região superior como na região inferior das plantas aumentaram com o incremento do volume de calda aplicado. Verificaram também que, dos quatro volumes aplicados, a deposição obtida apresentou dois grupos com comportamentos semelhantes de depósitos, um com volumes de 280 e 380 L ha⁻¹ e outro com volumes de 560 e 780 L ha⁻¹. Na parte superior da planta, a comparação entre os diferentes volumes de cada grupo mostrou que sempre o menor volume apresentou menor deposição.

Analizando a aplicação com pulverizadores hidropneumáticos em pomares de maçã, em três estádios de desenvolvimento da cultura, com o uso de quatro volumes de calda (300, 500, 700 e 1.000 L ha⁻¹), Balsari et al. (2002) avaliaram a deposição no alvo, cobertura, perdas por escorrimento e deriva. No primeiro período, quando o dossel estava pouco desenvolvido, o uso de volume reduzido (300 L ha⁻¹) apresentou melhor cobertura do alvo; no segundo período, quando o dossel estava mais desenvolvido e havia presença de frutos em desenvolvimento, a melhor cobertura do alvo foi obtida com 500 L ha⁻¹; já no terceiro período, quando o dossel estava mais desenvolvido e havia a presença de frutos já formados, a melhor cobertura das folhas foi com o volume de 1.000 L ha⁻¹, sendo a melhor cobertura dos frutos com volumes de 500 L ha⁻¹. As perdas por escorrimento variaram de 18 a 36%.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um dispositivo capaz de atrair as gotas geradas por pulverizador eletrostático, a fim de aumentar a penetração das gotas no interior do dossel das plantas e verificar a deposição de líquido em diferentes partes destas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Zheng et al. (2002) afirmaram que a pulverização eletrostática depende de algumas características, como a tensão superficial do líquido, o sistema de eletrificação de gotas, o campo eletrostático, a relação carga/massa e o tamanho e velocidade das gotas. Afirmaram também que a pulverização eletrostática pode proporcionar melhor distribuição das gotas na planta, melhor deposição, menor contaminação do ambiente, uso de volumes reduzidos de calda, menor custo no processo de pulverização e melhor eficácia de controle do tratamento, em comparação com pulverizadores convencionais.

Como o uso de fungicidas, herbicidas e inseticidas aumentou muito nos últimos anos, pesquisas sobre pulverização eletrostática têm visado à aplicação correta desses produtos, objetivando a uma aplicação mais econômica e com menor poluição ambiental.

Durante o processo de pulverização eletrostática é possível haver duas características do líquido que podem prejudicar esse processo, as quais são a tensão superficial do líquido e a dificuldade na quebra das gotas devido à viscosidade desse líquido (ZHENG et al., 2002).

Em um trabalho com o pulverizador Electrodyn aplicando em média 2 L ha^{-1} , Cartaxo et al. (2004) observaram que, com o uso deste tipo de equipamento, foi possível diminuir a quantidade de princípio ativo (Endossulfan) de 720 g ha^{-1} para $63,16 \text{ g de ingrediente ativo ha}^{-1}$, o que contribuiu para o menor volume de defensivo agrícola no ambiente e o menor custo de produção.

A vantagem do Electrodyn era de não possuir partes móveis e trabalhar bem com formulações oleosas, por causa da sua característica de atomização, eletrificação e menor evaporação das gotas. A sua desvantagem era a de não trabalhar bem com formulações aquosas, devido à dificuldade de eletrificação e à acentuada evaporação das gotas (COFFEE, 1981).

Em comparações realizadas em laboratório, entre pulverização eletrostática e pulverização hidráulica, Almekinders et al. (1992) afirmaram que a pulverização eletrostática tem potencial de eficiência de deposição

significativamente superior à pulverização hidráulica. Portanto, no que se refere ao controle de pragas no campo, experimentos apresentam resultados inconsistentes.

Já Derksen e Sanderson (1996), em trabalho com diversos pulverizadores pneumáticos, entre eles um eletrostático, em *Euphorbia pulcherrima* (bico-de-papagaio) em casa de vegetação, avaliando a deposição em diferentes partes da planta em função do volume de calda, concluíram que a maior deposição no interior do dossel da planta foi obtida com o volume de 1.896 L ha⁻¹. Nos pulverizadores eletrostáticos foram usadas vazões de 46,7 L ha⁻¹ e nos demais, vazões de 71,7, 934,6 e 1.869,2 L ha⁻¹. Também, concluíram que houve diferenças significativas entre os tratamentos, e em todos eles a deposição na parte inferior das folhas foi considerada baixa em relação à parte superior da folha.

O uso de pulverização eletrostática aérea no volume de 10 L ha⁻¹ e gotas com DMV na faixa de 132,68 µm permitiu a conclusão de que o uso desse sistema apresenta níveis de controle considerados adequados para pragas do algodoeiro e que é possível aumentar o controle dessas pragas, ajustando-se a relação carga/massa e a mistura de inseticidas (MONTEIRO et al., 2001).

Comparando dois sistemas de pulverização aérea no controle de plantas daninhas, sistema eletrostático aplicando 10 L ha⁻¹ e bicos hidráulicos aplicando 30 L ha⁻¹, Schoroder e Loeck (2006) verificaram que o sistema eletrostático, além de controlar com mais eficácia as plantas daninhas devido à atração das gotas pelas plantas, aumentou o rendimento operacional da aeronave em virtude da diminuição no volume de calda em três vezes.

Um protótipo de pulverizador eletrostático de disco rotativo foi testado na cultura do algodão, em vários estádios da cultura. Devido à combinação da rotação do disco com o sistema de eletrificação de gotas, houve maior eficiência na distribuição e cobertura na parte inferior das folhas. A deposição com o sistema eletrostático foi, em média, 2,6 vezes maior em relação à pulverização convencional com o algodão a 0,23 m de altura e 2,2 vezes maior com essa planta a 0,58 m de altura (COOPER et al., 1998).

Em um trabalho realizado para verificar os níveis de resíduo foliar de Captan em morango, foram pulverizados dois volumes de calda, sendo um baixo volume de 80 L ha⁻¹ com pulverizador eletrostático e 1.870 L ha⁻¹ com pulverizador convencional, sendo os níveis encontrados de 7,03 e 5,33 µg cm⁻², respectivamente. Os níveis de deposição do produto e o tempo de conservação pós-colheita, usando-se 2,24 kg com alto volume e 1,12 kg i.a.ha⁻¹, com o uso de baixo volume com pulverizador eletrostático, foram semelhantes, evidenciando, assim, a eficiência da pulverização eletrostática (GILES; BLEWET, 1991).

Avaliando a deposição em citros com diferentes pulverizadores, entre eles um eletrostático, Bayat et al. (1994) concluíram que os maiores depósitos foram obtidos no terço inferior das plantas, na parte externa do dossel.

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

Tabela 1 – Índices de volumes recomendados para diferentes volumes de pulverização

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

O volume freqüentemente usado nas regiões produtoras de citros, em plantas adultas, é de 28 L por planta, resultando em alto volume de aplicação por hectare (RAMOS et al., 2004).

Dependendo do alvo que se deseja atingir, na tentativa de um bom controle de ácaros, por exemplo, é usado um volume elevado, cuja calda é aplicada além do ponto de escoamento, em função das dificuldades em se cobrir adequadamente as plantas (FERREIRA, 2003).

A Tabela 2 indica a classificação de volumes de pulverização para plantas arbóreas, citada por Matthews (2002).

Tabela 2 – Classificação do volume de calda

Classificação do Volume	Volume (Lha ⁻¹)
Alto volume	> 1.000
Médio volume	500-1.000
Baixo volume	200-500
Muito baixo volume	50-200
Ultrabaixo volume	< 50

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em um pomar experimental de citros, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, no período de novembro a dezembro de 2007. Os espaçamentos das plantas eram de 6 m entre linhas e 4 m entre plantas. As plantas possuíam altura média de 2,8 m e diâmetro de copa médio de 2,6 m. As plantas estavam com presença de frutos de aproximadamente 0,03 m de diâmetro.

As pulverizações foram realizadas em 20 plantas, sendo cinco para cada condição. Foram selecionadas plantas com copas similares e uniformes, procurando-se, dessa forma, reduzir a interferência de fatores relacionados à desuniformidade de copas na análise dos resultados. As pulverizações foram realizadas a 2 m de distância das plantas, com movimentos alternados da lança do pulverizador, no sentido vertical.

3.1. Desenvolvimento de um dispositivo para a captura das gotas da pulverização eletrostática

Foram distribuídos condutores elétricos em toda a parte aérea da planta (Figura 3), e esses condutores foram aterrados sob a copa, por meio de hastes metálicas de 1,2 m, e fixados nas plantas e nas hastes, por meio de fita isolante, para manter um bom contato. As pulverizações foram realizadas com o sistema de carga eletrostática, com aterramento e sem aterramento, a fim de verificar a eficiência do sistema proposto. A sugestão de colocar os referidos condutores foi para aumentar a eficiência de deposição no interior do dossel, pois, além de diminuir o efeito das pontas, as gotas seriam atraídas para o condutor de cobre aterrado, e nesse processo de atração as gotas penetrariam no interior do dossel, aumentando, assim, a sua deposição.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1 – (a) Condutor metálico conectado à haste de aterramento, (b) haste aterrada ao solo e (c) e (d) condutores metálicos distribuídos no interior do dossel das plantas.

3.2. Avaliação da eficiência do dispositivo de captura das gotas

A eficiência do sistema de aterramento foi avaliada por meio da deposição de gotas e da cobertura da pulverização no dossel da planta.

Para a coleta das gotas foram usadas etiquetas de papel hidrossensível, nas medidas de 38 x 26 mm.

O fator de espalhamento das gotas foi determinado de acordo com a equação proposta por Chaim et al. (1999).

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

eq.1

em que:

F = fator de espalhamento; e

D = diâmetro-limite de cada classe de tamanho da mancha, (μm).

A distribuição das etiquetas hidrossensíveis foram realizadas de acordo com metodologia descrita por Derksen e Gray (1995) e adaptada por Veliz (2007). A planta foi dividida em três terços, sendo superior, médio e inferior, e em cada terço foi dividido em três profundidades diferentes, sendo externa (1), média (2) e interna (3). A distância média entre as profundidades foi de 0,3 m. Desse modo, a profundidade 1 ficou localizada na face externa do dossel da planta, a profundidade 2 ficou a 0,03 m de distância da face externa e a profundidade 3 ficou a 0,03 m da profundidade 2. A planta foi dividida em duas áreas na linha de plantio, e nessas áreas foi colocada uma etiqueta em cada ponto especificado (terço e profundidade). As etiquetas de papéis hidrossensíveis foram grampeadas diretamente nas folhas (Figura 2). Os valores analisados foram as médias das duas áreas da planta.



Figura 2 – Papel hidrossensível fixado na folha.

Imediatamente após a aplicação, as etiquetas foram coletadas e acondicionadas em sacos de papel, separadas de acordo com a posição na planta e levadas para o laboratório. Posteriormente, as etiquetas foram fotografadas com câmera digital Nikon Coolpix , 5,2 megapixels e analisadas com o uso do software Imagetool versão 3,0, conforme também realizado por Cunha (2003), Rodrigues (2005) e Ruas (2007).

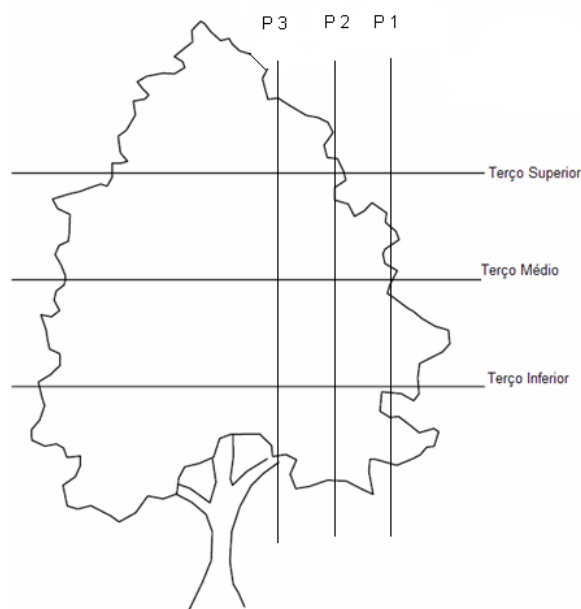


Figura 3 – Posições das etiquetas hidrossensíveis na planta.

A velocidade do vento foi medida por um anemômetro digital (Figura 5) e as condições operacionais do pulverizador eletrostático, monitoradas periodicamente, usando-se um multímetro equipado com ponta de prova de alta tensão.



Figura 4 – Anemômetro digital.

A velocidade do vento durante a realização do ensaio ficou entre $1,9$ e $2,5 \text{ m s}^{-1}$, temperatura entre 25° e 28° C e umidade relativa na faixa de 68%.

A avaliação da deposição nas folhas foi analisada a partir da porcentagem de cobertura, densidade de gotas (gotas cm^{-2}) e tamanho das gotas medidas com base no diâmetro da mediana volumétrica (DMV).

3.3. Volume de pulverização

Devido à limitação do protótipo do pulverizador eletrostático utilizado nos ensaios, como a baixa capacidade do depósito de líquido e a baixa vazão de líquidos, foi usado um volume de 458 L ha^{-1} , que segundo Matthwes (2002) se classifica como baixo volume.

A velocidade de deslocamento do pulverizador foi de $0,24 \text{ m s}^{-1}$ e a vazão do pulverizador, de $1,9 \text{ L min}^{-1}$. A pulverização foi realizada somente em um lado da planta, com o objetivo de eliminar interferências que

poderiam mascarar os resultados, visto que foi usado um pulverizador pneumático. Gotas pulverizadas no outro lado da planta poderiam se depositar nas etiquetas do lado avaliado, podendo, assim, mascarar os resultados.

3.4. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro combinações entre carga elétrica e sistema de aterramento, no delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Em cada unidade experimental foram analisados 18 pontos diferentes, num total de 360 unidades amostrais. Na Tabela 3 é apresentada a descrição das combinações.

Tabela 3 – Relação dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Descrição
CCCA	Com carga e com aterramento
SCCA	Sem carga e com aterramento
CCSA	Com carga e sem aterramento
SCSA	Sem carga e sem aterramento

3.5. Análise estatística

Os resultados do experimento foram submetidos às análises de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa computacional SAEG 9.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são apresentados os valores médios do Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV), Diâmetro da Mediana Numérica (DMN) e Coeficiente de Homogeneidade (CH), nas diferentes posições avaliadas.

Quadro 1 – Valores médios do DMV, DMN e CH nas diferentes posições na planta

Terço		DMV	DMN	CH
Superior	Profundidade 1	293,32	234,77	1,24
	Profundidade 2	185,01	169,03	1,09
	Profundidade 3	176,68	157,69	1,12
Médio	Profundidade 1	223,19	178,03	1,25
	Profundidade 2	198,36	167,71	1,18
	Profundidade 3	180,67	170,34	1,06
Inferior	Profundidade 1	232,80	193,37	1,20
	Profundidade 2	218,84	173,00	1,26
	Profundidade 3	189,33	170,34	1,11

A ausência de letras no interior da tabela indica que não houve diferença estatística entre os valores do DMV a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Legenda:

DMV : Diâmetro da Mediana Volumétrica;

DMN : Diâmetro da Mediana Numérica;

CH : Coeficiente de Homogeneidade .

Analisando o Quadro 1, verificou-se que não houve diferença estatística entre os valores do Diâmetro da Mediana Volumétrica (DMV). Nos três terços avaliados, os maiores valores de DMV foram encontrados na parte externa do dossel (profundidade 1), embora não tenha ocorrido diferença estatística.

Já os menores valores de DMV foram encontrados na profundidade 3. Embora sem diferenças estatísticas, esse resultado é explicado pelo fato de

gotas menores penetrarem com maior facilidade no interior do dossel das plantas.

Os valores do Diâmetro da Mediana Numérica (DMN) também seguiram as tendências dos valores do DMV.

O coeficiente de homogeneidade indica a uniformidade das gotas, e é calculado pela razão entre o Diâmetro da Mediana Volumétrica e o Diâmetro da Mediana Numérica. Quanto mais próximo de 1, maior será a uniformidade das gotas.

Os coeficientes de homogeneidade foram relativamente baixos, indicando, assim, boa uniformidade no tamanho de gotas. Embora valores de coeficiente de homogeneidade entre 1,09 e 1,26 não sejam comuns para pulverizadores pneumáticos, esse resultado pode ser explicado por eventuais falhas durante o processo de digitalização das imagens. Outra razão seria devida à dificuldade do software analisador de gotas em identificar gotas muito pequenas.

4.1. Avaliação da densidade de gotas

No Quadro 2, apresenta-se a análise de variância da densidade de gotas.

Quadro 2 – Quadro da análise de variância da densidade de gotas.

Causa de Variação	GL	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	3	42.658,70	14.219,56	1,09 ns
Resíduo	16	207.415,51	12.963,46	
Parcelas	19	250.074,22		
Terço	2	543,17	271,58	0,0467 ns
Trat. x terço	6	49.683,71	8.280,61	1,42 ns
Resíduo	32	186.073,15	5.814,78	
Subparcela	59	486.374,26		
Profundidade	2	106.034,54	53.017,27	13,40 **
Trat.* prof.	6	47.509,68	7.918,28	2,00 ns
Terço *prof.	4	11.106,03	2.776,50	0,70 ns
Trat.*terço*prof.	12	57.860,21	4.821,68	1,21 ns
Resíduo	96	379.786,83	3.956,11	
Subsubparcela	179	1088.671,58		

ns = não-significativo; ** = significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando o Quadro 2, verifica-se que não houve interação significativa entre os fatores avaliados (tratamento, terço e profundidade). A única diferença significativa foi encontrada somente nos níveis de profundidade. Já no Quadro 3 são apresentadas as médias de densidade de gotas, nas diferentes condições estudadas.

Quadro 3 – Médias da densidade de gotas nas diferentes condições

Tratamento	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
CCCA	146,76 A
SCSA	112,08 A
CCSA	142,46A
SCSA	116,13 A

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando o Quadro 3, observou-se que nas condições com carga elétrica na gota as médias das deposições foram superiores às condições sem carga elétrica. Mesmo com essa maior deposição, não houve diferença significativa quando se trabalhou com parcelas subdivididas.

A explicação para esse resultado é que, em se tratando de pulverização com pulverizador pneumático, a força aerodinâmica do vento pode ter sido maior que a força elétrica induzida na gota. Resultados semelhantes também foram encontrados por Chaim et al. (2002) e Law e Cooper (1988).

A força aerodinâmica do vento sendo maior que a força elétrica contida na gota pode fazer com que esta não seja atraída pela planta, indo se depositar em locais indesejáveis, fora do alvo.

Outra explicação para os resultados obtidos se refere ao tipo de pulverizador usado nos ensaios. Em se tratando de um pulverizador pneumático, as gotas são fragmentadas por uma forte corrente de ar, gerando gotas pequenas, com alta energia cinética.

As gotas geradas pelos pulverizadores pneumáticos, mesmo possuindo uma massa reduzida, possuem alta energia cinética, se se comparadas com gotas geradas por outro tipo de pulverizador, devido à velocidade com que elas são lançadas (velocidade do fluxo de ar).

No Quadro 4 são apresentadas as médias de deposição nos diferentes terços da planta.

Quadro 4 – Médias de deposição nos diferentes terços da planta

Terço	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
Superior	131,53 A
Médio	127,27 A
Inferior	129,98 A

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As médias dos diferentes terços da planta foram estatisticamente iguais entre si. Resultados semelhantes foram encontrados por Veliz (2007), trabalhando com bicos hidráulicos e atomizadores rotativos tratorizados na cultura dos citros.

Esses resultados foram diferentes dos encontrados por Hoffam e Salyani (1996) e por Bayat et al. (1994), em que os maiores depósitos foram encontrados na parte de baixo. Essa diferença nos resultados pode ser em função do volume de calda usado nos ensaios. Como se usou um baixo volume, a pulverização não chegou a ponto de escoamento, portanto não escoando calda para as partes inferiores das plantas.

O terço médio da planta é a região de maior diâmetro, quando a maioria das folhas já está adulta, dificultando, assim, a penetração das gotas.

Os valores das médias de deposição nas três diferentes profundidades são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Médias de densidade de gotas nas diferentes profundidades avaliadas

Profundidade	Densidade de Gotas (gotas cm ⁻²)
1	161,94 A
2	122,41 B
3	103,72 B

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando o Quadro 5, pode-se concluir que a deposição na parte externa das plantas (profundidade 1) foram estatisticamente diferentes das deposições nas profundidade 2 e 3. As maiores deposições foram na parte externa da planta, e as deposições nas profundidades 2 e 3 foram estatisticamente iguais entre si. Resultados semelhantes foram obtidos por Derksen e Sanderson (1996) e por Carlton (1995). Esse resultado deixa claro que, se o alvo que se deseja atingir estiver no interior do dossel das plantas, a deposição fica prejudicada em relação a um alvo na parte externa das plantas. Observou-se também a necessidade de melhorias no pulverizador eletrostático desenvolvido, como também melhoria no dispositivo proposto para a melhor atração das gotas para o interior do dossel.

4.2. Avaliação da cobertura

No Quadro 6, apresenta-se a análise de variância da cobertura de pulverização.

Quadro 6 – Análise de variância da cobertura da pulverização

Causa de Variação	GL	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	3	56,17	18,72	0,09 ns
Resíduo	16	3.053,99	190,87	
Parcelas	19	3.110,17		
Terço	2	109,34	54,67	1,35 ns
Trat. x terço	6	399,45	66,57	1,64 ns
Resíduo	32	1.292,21	40,38	
Subparcela	59	4.911,17		
Profundidade	2	3.319,37	1.659,68	62,20 **
Trat.* prof.	6	128,80	21,46	0,80 ns
Terço *prof.	4	53,99	13,49	0,50 ns
Trat.*terço*prof.	12	342,22	28,51	1,06 ns
Resíduo	96	2.561,49	26,68	
Subsubparcela	179	11.317,06		

ns = não-significativo; ** = significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analizando o Quadro 6, verifica-se que não houve interação significativa entre os fatores avaliados (tratamento, terço e profundidade) em nível de cobertura. A única diferença significativa da cobertura de pulverização foi encontrada somente nos níveis de profundidade.

Os valores das médias da cobertura são apresentados no Quadro 7.

Analizando o Quadro 7, observa-se que os valores médios de cobertura com sistema eletrostático foram superiores àqueles sem carga eletrostática, portanto não houve diferença estatística entre as condições avaliadas. O fato de não ter existido diferença significativa entre as condições estudadas é o mesmo discutido com relação à densidade de

gotas, ou seja, a força aerodinâmica do vento superior à força elétrica induzida na gota e o alto valor da energia cinética, devido à velocidade do vento na saída do pulverizador.

Quadro 7 – Valores das médias de cobertura nas diferentes condições de realização dos ensaios

Tratamento	Cobertura (%)
CCCA	11,38 A
SCSA	10,19 A
CCSA	11,68 A
SCSA	10,95 A

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Legenda:

CCCA= com carga e com aterramento

SCSA= sem carga e sem aterramento

CCSA= com carga e sem aterramento

SCSA= sem carga e sem aterramento

Resultados semelhantes, tanto em densidade de gotas quanto em cobertura, foram encontrados por Silva et al. (2000) e Silva et al. (1997), trabalhando na cultura do algodoeiro. Esses autores afirmaram, ainda, que houve maior depósito e maior cobertura com a pulverização eletrostática, mas as diferenças não foram significativas.

Os valores médios de cobertura nos diferentes terços da planta são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Valores médios da cobertura nos diferentes terços da planta

Terço	Cobertura (%)
Superior	12,12 A
Médio	10,28 A
Inferior	10,75 A

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando o Quadro 8, observa-se que não houve diferenças significativas entre os níveis de cobertura nos diferentes terços da planta. Observa-se também, ligeiro aumento na cobertura do terço superior da planta, que pode ser explicado pelo menor diâmetro desse terço em relação aos outros terços. Como não houve diferença entre as interações, as médias apresentadas são referentes às três profundidades estudadas. Com menor diâmetro do terço superior e folhas ainda jovens, a penetração de gotas pode ser facilitada com o uso de pulverizadores pneumáticos. Como foi usado baixo volume de pulverização, não houve escoamento de calda nos terços médios e inferiores.

Resultados semelhantes foram encontrados por Chaim et al. (2003) ao trabalharem com a cultura da maçã, avaliando duas calibrações diferentes do pulverizador. Em culturas de menor porte, como algodão e tomate, resultados semelhantes foram encontrados por Scramim et al. (2002) e por Chaim et al. (1999b).

Em trabalho semelhante, Bayat et al. (1994) obtiveram maior cobertura no terço inferior das plantas, pois usaram volumes em torno de 2.147 L ha^{-1} . A explicação para esse resultado é que, devido ao alto volume pulverizado por hectare, as gotas se coalescem, formando gotas maiores e iniciando o processo de escoamento. Com o aumento do processo de escoamento, aumenta também a cobertura nos terços inferiores.

Os valores das médias de cobertura, nas diferentes posições estudadas, são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Médias dos valores de cobertura nas diferentes profundidades estudadas

Profundidade	Cobertura (%)
1	16,74 A
2	10,05 B
3	6,36 C

As médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A cobertura na parte externa das plantas (profundidade 1) foi estatisticamente superior às demais profundidades. Tal fato se explica pela exposição direta da planta às gotas pulverizadas. A cobertura na profundidade 2 foi estatisticamente menor que na parte externa e maior que na profundidade 3. A explicação para esse resultado é a de que, para as gotas atingirem a profundidade 2, elas precisam passar primeiro pela profundidade 1. Na profundidade 1, elas podem ficar retidas, prejudicando, assim, a penetração de gotas no dossel das plantas. A explicação para a cobertura na profundidade 2, também é válida para a profundidade 3. Na profundidade 3, a cobertura foi a mais baixa, devido ao fato de grande parte das gotas se depositarem nas profundidades 1 e 2. Escola et al. (2006) chamaram a atenção para esse fato e afirmaram que, nesses tipos de pulverização, tal efeito deve ser levado em consideração, a fim de se obter a cobertura desejável no interior do dossel. Esse efeito é descrito, segundo Escola et al. (2006), como “efeito parede”.

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

5. CONCLUSÕES

- A deposição de gotas e a cobertura na parte externa do dossel (profundidade 1) foram superiores às das demais profundidades.
- Os valores da cobertura foram diferentes nos três níveis de profundidade estudados.
- O dispositivo proposto não influenciou a penetração de gotas no interior do dossel das plantas

6. REFERÊNCIAS

ALMEKINDERS, H.; OZKAN, H.E.; REICHARD, D.L.; CARPENTER, T. G.; BRAZEE, R. D. Spray deposit patterns of an electrostatic atomizer. **Transactions of the ASAE**, v. 35, n. 5, p.1361-1366, 1992.

BALSARI, P.; MARUCCO, P.; OGGERO, G. **Spray applications in italian apple orchards**: target coverage, ground losses and drift. St. Joseph, Mich.: ASAE,2002. (Paper nº 021002)

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

CARLTON, J. B.; BOUSE, L. F.; KIRK, I. W. Electrostatic charging of aerial spray over cotton. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 6, p. 1641-1645, 1995.

CARTAXO, W. V.; VALE JR., F. M.; PEREIRA, S. R. P.; FERREIRA FILHO, F. W.; OLIVEIRA, C. A. L. Viabilidade de controle do bicudo do algodoeiro, com uso da mistura do endosulfan + óleo de algodão, através do pulverizador electrodyn Adaptado, no município de Quixadá-CE, na safra 2004, In CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5.,2004, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, 2004. 5 p.

CHAIM, A.; CASTRO, V. L.; CORRALES, F.; GALVÃO, J.A.H.; CABRAL, O.M.R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999.

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

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L. Eficiência de deposição de agrotóxicos, obtida com bocal eletrostático para pulverizador motorizado costal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 497-501, 2002.

CHAIM, A.; BOTTON, M.; SCRAMIN, S.; PESSOA, M. C. P. Y.; SANHUEZA, R. M. V.; KOVALESKI, A. Deposição de agrotóxicos pulverizados na cultura da maçã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 889-892, 2003.

CHAIM, A. **Pulverização eletrostática**: principais processos utilizados para eletrificação de gotas. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 18 p. (Documento 57).

COFFEE, R.A. Electrodynamic crop spraying. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 10, n. 7, p. 350-356, 1981.

CUNHA, J.P.A.R. **Tecnologia de aplicacao de chlorotathalonil no controle de doenças no feijoeiro**. Viçosa, MG: UFV, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COOPER, J.F.; JONES, K.A.; MOAWAD, G. Low volume spraying on cotton: a comparison between spray distribution using charged and uncharged droplets applied by two spinning disc sprayers. **Crop Protection**, v. 17, n. 9, p.711-715, 1998.

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

DERKSEN, R. C.; SANDERSON, J.P. Volume, speed, And distribution techniqe effects on poinsettia foliar deposits. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 1, p. 5-9, 1996.

ESCOLA, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GARCIA, F.; ROSS E ,J.R.; GIL, E.; VAL, L. **Spray application volume in apple pear orchards in catalonia (spain) and variable rate technology for dose adjustment**. St. Joseph, Mich.: ASAE,2006. (Paper nº 061620).

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

GILES, D. K.; BLEWET, T.C. Effects of conventional and reduced-volume, charged spray application techniques on dislodgeable foliar of captan on strawberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 9, p. 1646-1651, 1991.

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

JONES, K.M.; BOUND, S.A.; OAKFORD, M.J. Spray application technology. **Plant Growth Regulation**, v. 31, n. 3, p. 173-181, 2000.

KONNO, R.H.; FRANCO, C.R.; OMOTO, C. Suscetibilidade de populações de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) a acaricidas organoestânicos em citros. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 4, p. 703-9, 2001.

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

LAW, S.E.; COOPER, S.C. Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carrier sprayer. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 4, p. 984-989, 1988.

MARTI, S.P.; POLO, J.R.R.; MOYA, E.G.; MONTEROLA, L.V.; ESCOLA, A. **Optimizing pesticide spray application in tree crops**. St. Joseph. Mich.: ASABE2006. (Paper nº 061128).

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. 2. ed. London: Longman, 2002. 405 p.

MATTHWES, G. A. How was the pesticide applied? **Crop Protection**. v. 23 n. 7, p. 651-653, 2004.

MONTEIRO, M.V.; CARVALHO, W.P.A.; BAESSO, R.N. avaliação da eficácia da pulverização eletrostática aérea no controle de pulgões (*aphis gossypii*), lagarta das maçãs (*Heliotis virescens*) e spodoptera (*Spodoptera frugiperda*) na cultura do algodão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 2001, **Resumos...** [S.l.: s.n.], 2001. 5 p.

PALLADINI, L.A.; SOUZA, R.T. Deposição em folhas de macieira com aplicação diferentes volumes de calda, In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 3., 2004. **Resumos...** [S.l.: s.n.], 2004, p. 100-103.

PESSOA, M.C.P.Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de uniformidade de gotas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 45-56, 1999.

RAMOS, H.H.; YANAI, K.; CORREA, I.M.; BASSANESSI, R. B.; GARCIA, L.C. Características da Pulverização e Citros em Função do Volume de Calda Aplicado com Turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 56-65, 2007a. Número especial.

RAMOS, H.H.; YANAI, K.; CORREA, I.M.; BASSANESSI, R. B.; GARCIA, L.C. Efeito do volume de caldo aplicado com turbopulverizador sobre o controle do ácaro da leprose em citros, In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO, 3., 2004. **Resumos... III**. [S.l.: s.n.], 2004. p. 140-144.

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

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

SCRAMINS, S.; CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L.; PAVAN, L.A.; ALVARENGA, N. Avaliação de bicos de pulverização de agrotóxicos na cultura do algodão. **Pesticidas revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, p. 43-50, 2002.

SCHRODER, E.P.; LOECK, A.E. Avaliação do sistema de pulverização eletrostática aérea na redução do volume de calda e dosagem do herbicida glifosate. **Revista Brasileira de Agrociencia**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 319-323, 2006.

SILVA, O.R.R.F.; CARVALHO, O.S.; MARQUES, L. Determinação das perdas por escoamento da pulverização eletrostática e convencional sobre o cultivo do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 123-130, 2000.

SILVA, O.R.R.F.; MARQUE, L.; CARVALHO, O.S.; VIEIRA, R.M. Avaliação do depósito de gotas obtidos através da pulverização eletrostática e da convencional sobre a cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 101-105, 1997.

VELIZ, R.D.C. **Avaliação de dois sistemas para aplicação de agrotóxicos em citros**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y. **Advances in pesticide electrostatic spraying in China**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2002. (Paper nº 021034).