

**CLEYTON BATISTA DE ALVARENGA**

**AUTOMATIZAÇÃO DE UM PULVERIZADOR HIDROPNEUMÁTICO VISANDO O  
CONTROLE DO ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DO DÉFICIT DE PRESSÃO  
DE VAPOR D'ÁGUA NO AR**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

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

T

A473a  
2012

Alvarenga, Cleyton Batista, 1981-  
Automatização de um pulverizador hidropneumático  
visando o controle do espectro de gotas em função do  
déficit de pressão de vapor d'água no ar / Cleyton Batista  
Alvarenga. – Viçosa, MG, 2012.  
vii, 119f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

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

1. Equipamento de pulverização - Automação.  
2. Pulverização. 3. Produtos químicos agrícolas - Aplicação.  
4. Evaporação. 5. Máquinas agrícolas. I. Universidade  
Federal de Viçosa. II. Título.

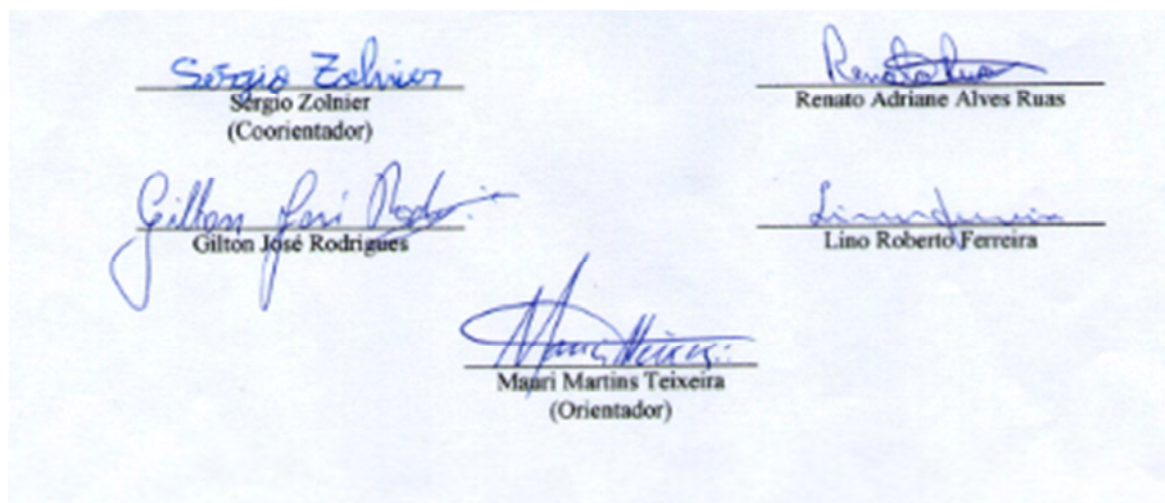
CDD 22. ed. 631.3

**CLEYTON BATISTA DE ALVARENGA**

**AUTOMATIZAÇÃO DE UM PULVERIZADOR HIDROPNEUMÁTICO VISANDO O  
CONTROLE DO ESPECTRO DE GOTAS EM FUNÇÃO DO DÉFICIT DE PRESSÃO  
DE VAPOR D'ÁGUA DO AR**

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

APROVADA: 23 de abril de 2012.



Sergio Zolnier  
Sergio Zolnier  
(Coorientador)

Renato Adriane Alves Ruas  
Renato Adriane Alves Ruas

Gilton José Rodrigues  
Gilton José Rodrigues

Lino Roberto Ferreira  
Lino Roberto Ferreira

Mauri Martins Teixeira  
Mauri Martins Teixeira  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pelas oportunidades, pela família, pelos amigos, por poder me vestir, me alimentar e descansar sob um teto todos os dias.

À minha família, meus pais e meus irmãos, que durante toda a minha vida estiveram comigo e sempre me incentivaram e torceram pelo meu sucesso.

Aos meus pais, Paulo Silva Alvarenga e Marlúcia Batista Costa de Alvarenga, pessoas que, em função das provações da vida, precisaram trabalhar desde sua infância. Mesmo assim, tiveram o discernimento necessário para darem aos seus filhos a oportunidade para que pudessem estudar e, por meio do trabalho, terem uma vida digna.

Às vezes encontramos em nossa trajetória pessoas que nos ensinam mesmo quando parece não ser este o objetivo. Mais uma vez, agradeço a Deus, pela oportunidade de ter conhecido duas pessoas fundamentais, que influenciaram na formação de minha personalidade e caráter que foram meu irmão Paulimar Batista de Alvarenga e, *in memoriam*, Maria de Fátima Ramos.

Aos amigos, que, graças a Deus, tenho a felicidade de ter muitos. Infelizmente, não tenho espaço para citar todos os nomes que gostaria, mas registro aqui a todos os meus agradecimentos. Na condução deste trabalho, entretanto, não poderia deixar de lembrar de meu amigo Robson Shigueaki Sasaki, destacando-o por sua enorme colaboração.

Aos professores, que de alguma forma contribuíram para meu aprendizado, inclusive aqueles do Ensino Básico.

Especialmente, ao meu professor e orientador de mestrado Dr. João Paulo A. R. da Cunha por todo o aprendizado obtido durante o período de convivência que tivemos no decorrer do curso.

Um agradecimento especial também ao meu orientador de doutorado, Dr. Mauri Martins Teixeira, com o qual tive um excelente convívio. Meu muito obrigado, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade que sempre teve para comigo.

Aos coorientadores, Dr. Sérgio Zolnier, Dr. Paulo Roberto Cecon, Dr. Dalmo Lopes de Siqueira e Dr. Denílson Eduardo Rodrigues.

Um agradecimento muito especial a Paula Cristina Natalino Rinaldi, por sua companhia, carinho, companheirismo, amizade e amor, meu muito obrigado.

Às instituições de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

## BIOGRAFIA

Cleyton Batista de Alvarenga, filho de Paulo Silva Alvarenga e Marlúcia Batista Costa de Alvarenga, nasceu em 3 de outubro de 1981 na cidade de Ji-Paraná, Rondônia.

Iniciou sua vida estudantil em 1989, quando iniciou o Ensino Fundamental, primeira à quarta série, nas escolas Raquel de Queiroz e Júlio Verne, localizadas, respectivamente, em Ouro Preto do Oeste e Ji-Paraná, situadas na linha 166 km 16, gleba 1A. Em 1993, iniciou a segunda fase do Ensino Fundamental, da quinta à oitava série, na Escola Família Agrícola Itapirema, situada na linha 9, em Ji-Paraná. Ingressou no Ensino Médio em 1997 e cursou, simultaneamente, o curso Técnico em Agropecuária, na Escola Família Agrícola Pe. Ezequiel Ramim, em Cacoal.

No ano de 2001, se mudou para Uberlândia, Minas Gerais, onde em 2002, iniciou sua graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), concluindo-a em 2006. Em seguida, em 2007, iniciou o seu mestrado em Agronomia, também na UFU, sendo concluído ao final de 2008.

No início de 2009, ingressou no doutorado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, especificamente na área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola e Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT.....	vii
Objetivo geral.....	1
Objetivos específicos .....	1
Qualidade da ponta de pulverização JA-2 de acordo com a análise espectral das gotas utilizando o analisador de partículas a <i>laser</i> .....	2
Resumo .....	2
Quality of spray tip JA-2 through droplet spectral analysis using a laser particle analyzer.....	3
Abstract.....	3
Introdução .....	4
Material e Métodos .....	7
Resultados e Discussão .....	10
Conclusões .....	21
Referências Bibliográficas .....	21
Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais.....	25
Resumo .....	25
Effect of deficit of water vapor pressure in the air for hydropneumatic spray artificial targets.....	26
Abstract.....	26
Introdução .....	27
Material e Métodos .....	30
Resultados e Discussão .....	32
Conclusões .....	47
Referências Bibliográficas .....	47
Automatização do controle do espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar no pulverizador hidropneumatico .....	50
Resumo .....	50
Automated system for controlling the droplet spectrum in function of deficit of the water vapor pressure in the air .....	51
Abstract.....	51
Introdução .....	52
Material e métodos.....	57
Resultados e discussão .....	66
Conclusões .....	75
Referências bibliográficas.....	75
Fluxo de ar e uniformidade de distribuição volumétrica vertical proporcionada por pulverizador hidropneumático. ....	79
Resumo .....	79
Air flow and vertical uniform volumetric distribution provided by hydro-pneumatic spray .....	80
Abstract.....	80
Introdução .....	81
Material e métodos.....	86
Resultados e discussão .....	90
Conclusões .....	94

Referências bibliográficas.....	94
Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na eficiência da distribuição de líquido com um pulverizador hidropneumático automatizado em plantas arbóreas.....	99
Resumo .....	99
Effect of deficit of water vapor pressure in the air in the efficiency of liquid distribution with a hydro-pneumatic automated sprayer .....	100
Abstract.....	100
Introdução .....	101
Material e métodos.....	105
Resultados e discussões .....	109
Conclusões .....	114
Referências bibliográficas.....	115

## RESUMO

ALVARENGA, Cleyton Batista de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2012. **Automatização de um pulverizador hidropneumático visando o controle do espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água do ar.** Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Sérgio Zolnier, Paulo Roberto Cecon, Dalmo Lopes de Siqueira e Denílson Eduardo Rodrigues.

A pulverização de agrotóxicos tornou-se uma das operações mais repetidas nas propriedades rurais, isto ocorreu, principalmente, em função da adoção do sistema de semeadura direta. A facilidade para a aquisição de agrotóxicos é notória em todo o Brasil. Entretanto, a tecnologia para sua aplicação tem encontrado dificuldades para alcançar os produtores, inclusive, nas regiões de maior potencial agrícola. Objetivou-se, portanto, com este trabalho, desenvolver um sistema de controle do espectro de gotas, a fim de alterar os parâmetros da pulverização de agrotóxicos em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. Na automatização do pulverizador utilizou-se um servomotor e um microcontrolador alimentados pela bateria do trator. Após a seleção da ponta, da ponta de jato cônico vazio JA-2, fez-se um estudo do espectro de gotas em toda a faixa de pressão recomendada para seu uso, em pulverizadores hidropneumáticos. Neste estudo utilizou-se um analisador de partículas *laser*. As pulverizações foram realizadas em três déficits de pressão de vapor d'água no ar e em treze pressões de trabalho. O coeficiente de variação das pontas na bancada padrão apresentou valores entre 13 e 22% para as pressões de 633 e 1.477 kPa, respectivamente. O diâmetro da mediana volumétrica reduziu de 151 para 109  $\mu\text{m}$  com o aumento da pressão. A menor percentagem de gotas com tamanho menor que 100  $\mu\text{m}$ , maior que 300  $\mu\text{m}$  e entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  foi obtida na pressão de trabalho de 774 kPa. O aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar afetou os parâmetros da pulverização, e reduziu o tamanho de gotas. A automatização permitiu a manutenção do volume de calda, alterando o espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. O fluxo turbulento de ar e a configuração de projeto do ventilador foram um dos responsáveis pela distribuição irregular do líquido. A altura do dossel, a posição no plano horizontal da planta e a profundidade na copa afetam a pulverização de agrotóxicos na cultura da laranja. O aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar, elevou o risco de evaporação e diminuiu o tamanho das gotas, reduzindo a deposição da calda.

## ABSTRACT

ALVARENGA, Cleyton Batista de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2012. **Automation of a hydro-pneumatic sprayer for controlling droplet spectrum in function of deficit of water vapor pressure in the air.** Advisor: Mauri Martins Teixeira. Co-advisers: Sérgio Zolnier, Paulo Roberto Cecon, Dalmo Lopes de Siqueira and Denílson Eduardo Rodrigues.

Pesticide spraying is one of the most repeated operations in farms, this has occurred mainly due to adoption of no tillage. Facility for purchasing pesticides is notorious throughout Brazil. However, technology for its application has been difficult to reach the producers, even in regions with high agricultural potential. This work aimed to develop a system for controlling the droplet spectrum in order to change parameters for spraying pesticides according to the deficit of water vapor pressure in the air. For automating the spray we used a servomotor and a microcontroller fed by tractor battery. After selection of the tip, hollow cone JA-2, we made a droplet spectrum study throughout the pressure range recommended for use in hydro-pneumatic sprayers. For this study, a laser particle analyzer was used. Sprayings were carried out in three deficits of water vapor pressure in the air, for thirteen working pressures. The coefficient of tip variation on the pattern bench presented values between 13 and 22% for pressures of 633 and 1.477 kPa, respectively. The diameter of volume median reduced from 151 to 109  $\mu\text{m}$  with the increase of pressure. The lowest percentage of droplets with size lower than 100 micron, greater than 300  $\mu\text{m}$  and between 100 and 200 microns was obtained from the working pressure of 774 kPa. Increasing the deficit of water vapor pressure in the air effected spray parameters and reduced droplet size. Automation allowed the maintenance of spray volume by changing the droplet spectrum according to deficit of water vapor pressure in the air. The turbulent air flow and configuration design of fan were responsible for the liquid irregular distribution. The height of canopy, in horizontal position of the plant and canopy depth affects spraying of pesticides in orange crop. Increasing the deficit of water vapor pressure in the air, also increased risk of evaporation and reduced droplet size also reducing the deposition of the syrup.

## **Objetivo geral**

O objetivo principal do presente trabalho foi desenvolver um sistema automatizado de controle do espectro de gotas, em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar, para a pulverização de agrotóxicos.

## **Objetivos específicos**

1. Avaliar a qualidade da ponta de pulverização JA-2 de acordo com a análise espectral das gotas utilizando o analisador de partículas a *laser*.
2. Estudar o efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática, em alvos artificiais.
3. Desenvolver um sistema automatizado para controle do espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar.
4. Estudar o fluxo de ar e a uniformidade de distribuição volumétrica vertical proporcionada por pulverizador hidropneumático.
5. Analisar o efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na eficiência da distribuição de líquido com um pulverizador hidropneumático automatizado em plantas arbóreas.
6. Estudar a eficiência da pulverização hidropneumática na aplicação de agrotóxicos na cultura da laranja.

# Qualidade da ponta de pulverização JA-2 de acordo com a análise espectral das gotas utilizando o analisador de partículas a *laser*

## Resumo

A diversidade de fatores que podem influenciar na qualidade da pulverização de agrotóxicos a torna uma atividade de grande risco para o meio ambiente e a saúde de operadores e consumidores. Nesse sentido, um dos aspectos mais difíceis na aplicação de agrotóxicos é a seleção das pontas. Deste modo, objetivou-se neste trabalho avaliar, por meio do espectro de gotas a qualidade da ponta de pulverização de jato cônico vazio JA-2. As pressões de trabalho variaram de 633 a 1.477 kPa, conforme recomendação do fabricante. Na pulverização, foi utilizada uma bomba Yamaha acionada por um motor elétrico com potência de 1,5 kW. A uniformidade de distribuição volumétrica das pontas foi determinada por meio do coeficiente de variação em todas as pressões de trabalho a partir de cinco pontas sorteadas de um conjunto de vinte. A análise do espectro de gotas foi realizada utilizando-se um analisador de partículas a *laser*. O coeficiente de variação apresentou valores entre 13 e 22% para as pressões de 633 e 1.477 kPa, respectivamente. O perfil de distribuição apresentou depressões e picos que afetaram o coeficiente de variação. O menor valor de Span foi de 0,8 na pressão de 774 kPa e o maior foi de 1,8 nas pressões de 1.266 e 1.336 kPa. O diâmetro da mediana volumétrica reduziu de 151 para 109  $\mu\text{m}$  com o aumento da pressão de 633 para 1.477 kPa. A velocidade terminal das gotas reduziu de 0,77 para 0,37  $\text{m s}^{-1}$  entre a pressão de 633 e 1.477 kPa, respectivamente.

**Palavras-chave:** espectro de gotas, pressão de trabalho, seleção da ponta hidráulica, papéis hidrossensíveis.

## Quality of spray tip JA-2 through droplet spectral analysis using a laser particle analyzer

### Abstract

Diversity of factors which influence quality of spraying pesticides makes it an activity of great risk for environment and health of operators and consumers. In this sense, one of the most difficult aspects for pesticides application is the selection of tips. Therefore, this study aimed to evaluate, through the droplet spectrum, the quality spray tip hollow cone JA-2. Working pressures ranged from 633 to 1.477 kPa, as recommended by the manufacturer. Spraying used was a Yamaho bomb triggered by an electric motor with a power of 1,5 kW. The uniform volumetric distribution of tips was determined by the coefficient of variation for all operating pressures from five randomly selected points of a set of twenty. The analysis of droplets spectrum was performed using a *laser* particle analyzer. The coefficient of variation showed values between 13 and 22% for pressures of 633 and 1.477 kPa, respectively. The distribution profile showed peaks and troughs affecting the variation coefficient. The lowest Span value was 0,8 in pressure of 774 kPa and the highest was 1,8 at pressures of 1.266 and 1.336 kPa. The diameter of volumetric median reduced from 151 to 109  $\mu\text{m}$  with increase of pressure from 633 to 1.477 kPa. The terminal velocity of droplets decreased from 0,77 to 0,37  $\text{m s}^{-1}$  between the pressure of 633 kPa and 1477, respectively.

**Key-words:** droplet spectrum, working pressure, check the hydraulic tips, hydro-sensitive label papers.

## Introdução

A crescente preocupação com os danos ambientais causados pelo uso excessivo de agrotóxicos exige cada vez mais uma dose precisa dos ingredientes ativos, como forma de redução dos erros nas pulverizações (VANELLA *et al.*, 2011). O aumento e a frequência das operações na produção agrícola têm crescido em tamanho e competitividade e, conseqüentemente, a indústria de equipamentos agrícolas tem seguido a tendência de fornecer máquinas maiores e mais rápidas para satisfazer a demanda dos produtores (ZANDONADI *et al.*, 2011).

O controle químico é um método rápido e fácil de ser executado pelos agricultores, desde que seja conhecido o alvo a ser atingido e os recursos disponíveis para conseguir tal objetivo. No Brasil, as técnicas de proteção de plantas são praticadas, intensivamente, no manejo fitossanitário de insetos, doenças e plantas daninhas com resultados satisfatórios. Entretanto, o uso incorreto dos agrotóxicos tem provocado danos à saúde de aplicadores, consumidores e ao meio ambiente. Sayinci e Bastaban (2011), afirmam que na Turquia o controle químico é o método mais empregado na agricultura. Nos Estados Unidos, Luck *et al.* (2011) também afirmam que o controle químico é essencial como método para a proteção de plantas.

A correta aplicação de agrotóxicos, utilizando pulverizadores hidráulicos de barra, somente é possível quando se dispõem de pontas de pulverização que propiciem uma distribuição uniforme, tanto transversal, quanto longitudinal e um espectro de gotas adequado (CUNHA, 2008).

Na Itália, o registro, a aprovação, a comercialização e a certificação de máquinas novas têm como base o coeficiente de variação abaixo de 7% (CONAMA, 1997). No Brasil, não há normas para a comercialização, registro ou certificação de pulverizadores (BAUER *et al.*, 2006). Em um experimento com altura da barra de 0,45 metros, Foqué e Nuyttens (2011a) encontraram um coeficiente de variação de 8,4% nos ensaios de uniformidade de distribuição, em condições de laboratório. Na Europa, segundo a norma europeia EN 12761-2, em condições de laboratório, para a pressão e altura estabelecidas pelo fabricante como ideais para cada ponta, o coeficiente de variação deve ser menor que 7% (ECS, 1997; CEN, 2001).

A maioria das metodologias empregadas para estudar o espectro de gotas assentadas disponíveis é por meio de etiquetas hidrossensíveis. Entretanto, novas metodologias têm sido utilizadas para determinar o tamanho das gotas no ar, e o analisador de partículas tem se destacado devido à grande precisão e simplicidade na aquisição dos dados. Nestes equipamentos, segundo Cunha *et al.* (2007a), Fernandes *et al.* (2007) e Nuyttens *et al.* (2009), o desvio que

ocorre no feixe de luz do *laser*, depende do tamanho da partícula e, quanto menor a partícula, maior é o grau de difração que o raio de luz sofre.

Cunha *et al.* (2007a) trabalhando com pontas de jato plano, em analisador a *laser*, verificaram que o diâmetro das gotas diminuiu com o incremento da pressão e aumentou, com o crescimento da vazão nominal. Já nas pontas de jato cônico vazio ATR Red, não encontraram efeito da pressão no diâmetro das gotas, mas este aumentou com o crescimento da vazão nominal. Quando utilizaram a ponta ATR Brow encontraram efeito da pressão no tamanho das gotas. No entanto, as pressões de 400, 500 e 600 kPa foram consideradas baixas para as pontas de jato cônico vazio.

As características que influenciam na eficiência da pulverização de agrotóxicos são o tamanho das gotas, cobertura do alvo, densidade de gotas, uniformidade de distribuição volumétrica, condições meteorológicas, dentre outros. As pontas de pulverização constituem um dos principais componentes dos pulverizadores, tendo como funções, além de fragmentar o líquido em pequenas gotículas, distribuir as gotas em uma determinada área, controlar a vazão e o volume de calda aplicado (SIDAHMED, 1998). Segundo Langenakens (1999), um coeficiente de variação da distribuição volumétrica abaixo de 10% indica uniformidade satisfatória.

A maioria das pesquisas estudando a uniformidade de distribuição volumétrica de pontas hidráulicas de pulverização são realizadas utilizando banco de ensaios, em laboratório (BAYAT e BOZDOGAN, 2005). Em condições de campo, o número de pesquisas para determinar a uniformidade da distribuição da pulverização é muito pequena. Segundo Sayinci e Bastaban (2011), a uniformidade de distribuição volumétrica é um bom indicador de desempenho de uma ponta hidráulica.

As pontas de jato cônico caracterizam-se pela formação de um jorro em forma de cone, cheio ou vazio. Para isso, dispõem de um helicóide (anel de turbilhamento), uma câmara de turbulência e um orifício de saída com diâmetro determinado. O helicóide encarrega-se de repartir o líquido, fazendo-o passar através de uma série de canais helicoidais, de maneira a produzir um redemoinho na câmara de turbulência, saindo pelo orifício da ponta (CAÑAVATE e HERNANZ, 1989). Esta característica proporciona melhor recobrimento do dossel da planta, e com esse movimento circular as gotas contornam os obstáculos e atingem pontos situados em planos posteriores ao da posição do equipamento (ZHU *et al.*, 2004).

As pontas de jato cônico vazio são tradicionalmente recomendadas para aplicação de inseticidas e fungicidas em culturas com grande massa foliar, em que a penetração do jato e a cobertura são essenciais, estas são as pontas hidráulicas que produzem o espectro de gotas mais fino concordando com Masiá e Cid (2010). Segundo Sayinci e Bastaban (2011), estas pontas

foram projetadas para aumentar a cobertura do alvo. No entanto, os agricultores têm diminuído o seu uso em virtude da deriva ocasionada pelo grande número de gotas de tamanho reduzido (CUNHA *et al.*, 2007b).

As dificuldades para quantificar o fenômeno da evaporação e deriva de gotas na pulverização de agrotóxicos são muito grandes, talvez por isso haja uma escassez de metodologias para mensurá-la. Segundo Thomson e Lyn (2011), a medição e a análise da deriva é uma tarefa complexa por causa das inter-relações multidimensionais e dos processos dinâmicos que ocorrem entre o tempo de liberação e a deposição de gotas. As etiquetas posicionadas no interior da planta, que transpira constantemente, podem absorver a umidade do ar que a circunda e afetar a precisão dos métodos de mensuração. Deste modo, o uso de equipamentos que têm a capacidade de mensurar o espectro de gotas no ar, antes de serem depositadas no alvo e apresentarem espalhamento, diferenciado em relação a cada superfície, representa um grande avanço nos estudos, para o conhecimento do espectro de gotas da pulverização.

A gota liberada ganha aceleração para baixo, sob a força da gravidade, até que esta é contrabalançada por forças de arrasto aerodinâmico, em seguida a queda continua com uma velocidade terminal constante. A velocidade terminal é normalmente alcançada em menos de 25 milímetros por gotículas, quando estas são menores que 100  $\mu\text{m}$ , e em 700 milímetros quando as gotas são de 500  $\mu\text{m}$ . O tamanho, a forma e a densidade do conteúdo das gotas, juntamente com a densidade e viscosidade do ar, afetam a velocidade terminal. A velocidade de sedimentação das gotas pode ser alterada devido às forças aerodinâmicas, de modo que o diâmetro reduzido afeta a velocidade. As gotas maiores que 200  $\mu\text{m}$  são depositadas rapidamente por sedimentação, por isso sofrem menos deriva que aquelas de 100  $\mu\text{m}$ . As gotas menores possibilitam uma melhor cobertura da folhagem e sua trajetória será cada vez mais afetada pelo fluxo de ar. As gotículas da pulverização serão pouco depositadas na face inferior das folhas, a menos que a ponta seja posicionada para pulverizar de baixo para cima ou o movimento de turbulência do ar e seu fluxo sejam ascendentes e dirigidos (MATTHEWS, 2000).

As gotas, após lançadas no ambiente, são afetadas pelas condições meteorológicas da atmosfera. A existência de gotas grandes e pequenas no espectro afeta a vida útil das mesmas e a qualidade da pulverização, sendo que, as gotas maiores conseguem adquirir maior velocidade terminal, podendo alcançar alvos mais distantes. Como essa velocidade é uma função do diâmetro, as gotas menores, com menor velocidade, permanecem mais tempo expostas às condições de evaporação, o que evidentemente, agrava a perda de seu volume. A velocidade atingida pela gota em queda ou lançada no ar é regida pela lei de Stokes, com interação da turbulência gerada e da perda de volume gradativa que ocorre com a gota suspensa.

Quando a calda é lançada no ar sob a forma de gotas, com determinada velocidade inicial, sua trajetória, inevitavelmente, será influenciada pelas condições ambientais (MOKEBA *et al.*, 1997). A movimentação dependerá das forças de arraste que atuarão na aceleração ou na desaceleração das gotas. Assim que é liberada, a gota é acelerada pela força da gravidade até que esta seja contrabalanceada pelas forças aerodinâmicas de arraste, fazendo com que a queda ocorra a uma velocidade constante, chamada terminal. Essa velocidade terminal depende, fundamentalmente, do diâmetro das gotas e da viscosidade e densidade do ar, e determinará o tempo em que a gota estará sujeita às forças horizontais e a evaporação (MATTHEWS, 2000).

Os pulverizadores utilizados em pomares, geralmente, usam jatos de ar para o transporte de gotas até o interior da copa das árvores. As características do jato de ar, na maioria das vezes produzido por um ventilador axial, bem como sua vazão influenciam na nuvem de gotas. A velocidade do jato de ar reduz, rapidamente, com o aumento da distância da saída de ar do ventilador para a copa das árvores, com a atenuação do jato de ar pelas correntes divergentes e pela barreira criada pelas folhas, sendo assim, os depósitos na parte superior e central serão menores (SVENSSON *et al.*, 2003).

Deste modo, objetivou-se com este trabalho, estudar os fatores relacionados à qualidade da pulverização produzida pela ponta JA-2 em treze pressões de trabalho e, discutir seus efeitos na pulverização de agrotóxicos.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, situado na altitude de 650 metros, nas coordenadas 20° 45' 54" latitude Sul e 45° 52' 54" longitude Oeste na Universidade Federal de Viçosa, *Campus* de Viçosa, Minas Gerais. O clima da região foi classificado como Cwa, ou seja, tropical de altitude, com verões chuvosos e invernos secos (KÖPPEN, 1948).

A qualidade da pulverização produzida pela ponta de jato cônico vazio JA-2 foi avaliada quanto aos parâmetros que constituem o espectro de gotas em treze pressões na faixa indicada no catálogo de produtos da empresa Jacto. A ponta foi caracterizada por produzir gotas finas segundo a Associação Americana de Engenharia Agrícola (ASAE) e o Conselho Britânico de Proteção de Culturas (BCPC), pela norma S572 (ASAE, 2000) e também, por ser bastante empregada no manejo fitossanitário de insetos e patógenos, nos pulverizadores hidropneumáticos. As pressões de trabalho utilizadas foram 633, 703, 774, 844, 914, 985, 1.055,

1.125, 1.195, 1.266, 1.336, 1.406 e 1.477 kPa abrangendo toda a faixa de pressão recomendada para uso em pulverizadores hidropneumáticos.

Na pulverização, para alcançar as pressões estudadas foi montado um sistema de pulverização constituído por uma bomba hidráulica de pistão Yamaho com rotação de 700 a 900 rpm, vazão nominal entre 8 e 11 L min<sup>-1</sup>, potência de 0,75 a 1,12 kW e pressão máxima de 3.516 kPa, acionada por um motor elétrico Weg com rotação de 3.570 rpm e potência de 1,5 kW. A água foi colocada em um depósito de 20 litros e utilizou-se uma lança de pulverizador costal hidráulico na pulverizar.

O manômetro utilizado foi da marca Famabras, classificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como classe B, com fundo de escala de 0 a 2.500 kPa e divisão de 200 kPa, o mesmo foi aferido em mesa de ensaio padrão, utilizando um gerador de pressão hidráulica, equipada com manômetro Salcas, classe A3 com precisão de  $\pm 0,25\%$  e divisão de 10 kPa. O princípio de funcionamento do gerador de pressão, acionado manualmente, é estabelecido comparando-o a um manômetro padrão de precisão conhecida, cuja pressão é gerada por um cilindro carregado por um parafuso acoplado em um volante manual. As leituras foram realizadas segundo a norma NBR-12446/1992, metodologia semelhante à utilizada por Dornelles *et al.* (2011).

A vazão e a uniformidade de distribuição volumétrica horizontal na barra foram obtidos com distância entre pontas e altura da barra de 0,5 metros, e o tempo de observação para as análises de vazão e perfil foi de 60 segundos. As medições da vazão foram realizadas em bancada padrão e também com as pontas dispostas no pulverizador, marca Hatsuta, modelo SS-420, equipado com bomba de pistão modelo S60 com vazão nominal de 60 L min<sup>-1</sup> e ventilador axial de 700 milímetros de diâmetro, acoplado a um trator John Deere, modelo 5705. A pressão foi medida junto à bomba e na ponta de pulverização na extremidade superior da barra, para verificação das perdas de pressão ocorridas no sistema.

A vazão das pontas para pulverizadores hidropneumáticos, medida em toda a faixa de pressão supracitada, foi comparada à vazão obtida em bancada de ensaios. Para isso, desacoplou-se o ventilador, para facilitar as medidas da vazão. Posteriormente, foi realizado um estudo, a fim de verificar a similaridade na vazão em ambas as barras. Este foi realizado com ambos os lados da barra abertos para evitar a compensação de vazão quando um lado estivesse fechado.

A uniformidade de distribuição volumétrica das pontas foi determinada em bancada padrão, composta por canaletas em forma de V, alinhadas perpendicularmente ao sentido do jato e de 0,05 metros de profundidade e largura, padronizadas de acordo com a norma ISO 5682/1 (ISO, 1986). A água foi conduzida das canaletas para provetas de 200 mL, onde foram feitas as

leituras de volume coletado. Os resultados foram transformados para porcentagem do volume total pulverizado para eliminar o fator tempo dos dados analisados, metodologia semelhante à utilizada por Cunha e Silva (2010) e Freitas *et al.* (2005). A uniformidade de distribuição volumétrica foi determinada em todas as pressões de trabalho de cinco pontas sorteadas de um conjunto de 20 pontas, metodologia semelhante foi adotada por Freitas *et al.* (2005), Bauer *et al.* (2006) e Cunha e Silva (2010) na determinação da qualidade de pontas hidráulicas. Posteriormente, foram sorteadas quatro pontas para a caracterização do perfil de distribuição. As pontas foram estudadas, individualmente, na bancada. Utilizou-se um fio de prumo, para o alinhamento do centro do jorro com a aresta superior da canaleta, com o objetivo de posicionar o jato simetricamente na mesa.

A análise do espectro de gotas foi realizada utilizando-se de analisador de partículas a *laser* (Spraytech, Malvern Instruments Co.). Este equipamento apresenta lente focal de 750 milímetros, que se baseia na difração da trajetória da luz ao chocar com as gotas. A pulverização foi realizada de modo que o jorro atingisse transversalmente o feixe luminoso, permitindo a obtenção direta do espectro de gotas  $D_{v0,1}$ ;  $D_{v0,5}$ ;  $D_{v0,9}$ , Span, percentagem de gotas abaixo de 100  $\mu\text{m}$ , percentagem de gotas entre 100 e 200  $\mu\text{m}$ , de 200 a 300  $\mu\text{m}$  e maior que 300  $\mu\text{m}$ . A ponta foi posicionada a 0,40 metros do feixe óptico. No ensaio, utilizou-se água pura, metodologia também utilizada por Camara *et al.* (2008) e Cunha *et al.* (2010). O analisador foi calibrado para contabilizar gotas na classe de tamanho de 0,10 a 2.500  $\mu\text{m}$ , deste modo, foi o mais rigoroso possível para a obtenção de todo o espectro de gotas.

A partir do diâmetro da mediana volumétrica (DMV) das gotas obtidas no analisador de partículas, aplicou-se a metodologia, proposta por Matthews (2000), para determinar a velocidade terminal das gotas (Equação 1).

$$V_t = \frac{g d^2 Q_d}{18 \eta} \quad (1)$$

em que

$V_t$  = velocidade terminal da gota ( $\text{m s}^{-1}$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m s}^{-2}$ );

$d$  = diâmetro da gota (m);

$Q_d$  = densidade da água ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$\eta$  = viscosidade do ar ( $\text{N s m}^{-2}$ ).

As condições psicrométricas durante a condução do experimento foram monitoradas com um indicador de temperatura e umidade relativa da marca Umimi®. Este medidor possui um

sensor de temperatura com escala variando entre -20 a 100 °C, resolução de 1 °C e precisão de  $\pm 0,6$  °C e um sensor de umidade relativa com escala de 0 a 100%, resolução de 1%, precisão de  $\pm 3\%$ , com ausência de vento.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Para a comparação entre os parâmetros nas diferentes pressões, os dados foram submetidos à análise de variância para estabelecimento de modelos de regressão que melhor explicasse o comportamento dos dados. Os critérios adotados para a escolha dos modelos foram significância da regressão, método de seleção de modelos *Stepwise*, para eliminação de coeficientes não significativos, e coeficiente de determinação. O programa para análise dos dados foi o Statistical Analysis System (SAS) versão 9.2 e quatro repetições. Na análise da vazão e da uniformidade de distribuição volumétrica das pontas utilizou-se a estatística descritiva para apresentação dos resultados.

## Resultados e Discussão

As condições psicrométricas durante a realização do experimento foram: umidade relativa entre 70 e 80% e temperatura do ar de 22 a 26 °C e ausência de vento.

A calibração do manômetro utilizado junto à bomba e na barra do pulverizador apresentou boa precisão em relação ao manômetro padrão. Os pontos na reta para ambos os manômetros foram coincidentes, dificultando a visualização da reta para o manômetro localizado junto a bomba hidráulica (Figura 1). A seleção do manômetro é bastante negligenciada por operadores, agricultores, agrônomos e técnicos, pois, na maioria das vezes a escala não é compatível com as pressões recomendadas para a ponta de pulverização.

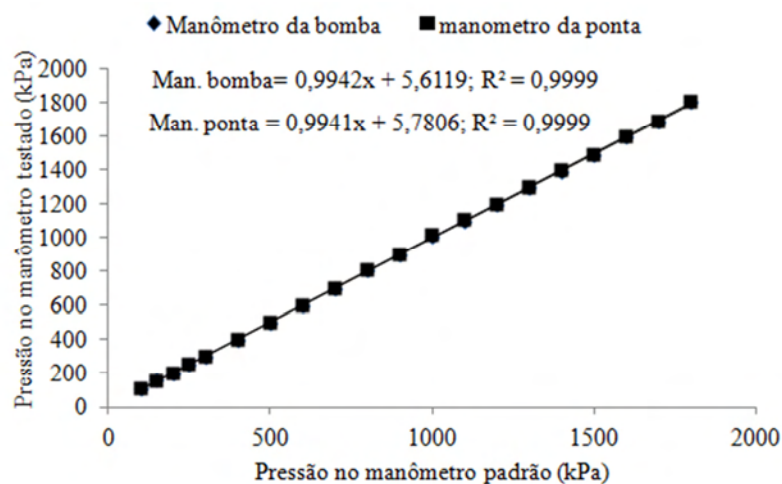


Figura 1. Calibração dos manômetros utilizados no experimento.

Os manômetros são componentes fundamentais na calibração dos pulverizadores agrícolas, sua precisão afeta todo o espectro da população de gotas, volume de calda, desgaste das pontas, abertura do ângulo do jorro das pontas hidráulicas, vazão das pontas, entre outros. A variação aceitável para manômetros utilizados em pulverizadores foi inferior aos 10% corroborando com Dornelles *et al.* (2011), em trabalho com a qualidade de manômetros.

As falhas provenientes do uso de manômetros de qualidade ruim ou com escalas inadequadas à faixa de pressão da ponta ocorrem tanto para pressões baixas quanto altas. No caso de baixa pressão o ângulo do jorro não se abre completamente e a cobertura do alvo é comprometida devido à redução da faixa coberta, não ocorrendo a sobreposição necessária entre pontas adjacentes. Já em pressões elevadas ocorre a formação de gotas pequenas que são mais suscetíveis à deriva e evaporação, além de desgaste acentuado das pontas.

A perda de pressão entre o manômetro posicionado junto à bomba e na barra de pulverização foi praticamente nula (Figura 2). Elevadas perdas na pressão de trabalho são comuns quando o sistema de mangueiras e conexões apresenta-se em condições inadequadas de conservação.

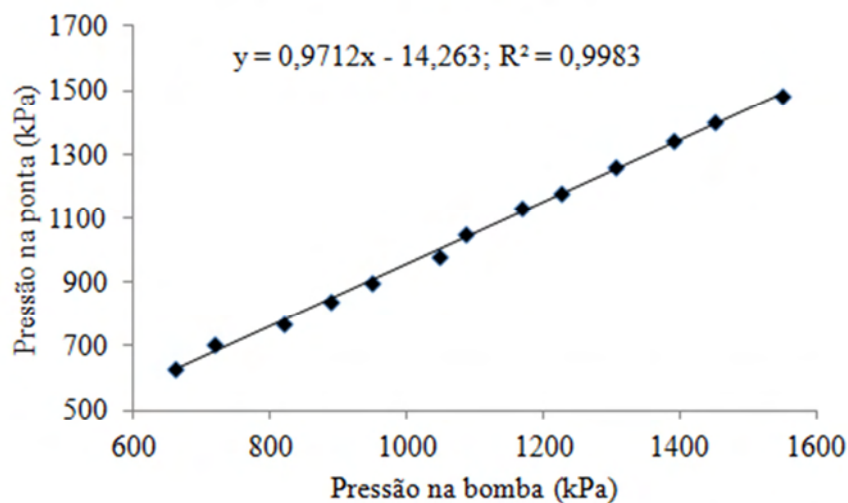


Figura 2. Perda de pressão no sistema hidráulico do pulverizador.

As perdas de pressão no sistema hidráulico ocorrem em função do estado de conservação de mangueiras e conexões e afeta a abertura do jorro de pontas hidráulicas, implicando em menor cobertura do alvo, desuniformidade na distribuição volumétrica da calda ao longo da barra e conseqüentemente, a produção de um espectro de gotas inadequado à pulverização.

A vazão das pontas aumentou, progressivamente, com a pressão de trabalho, ocorrendo uma variação de 0,76 para 1,08 L min<sup>-1</sup> entre a vazão obtida na pressão de 633 a 1.477 kPa na bancada de teste. Na barra do pulverizador as pontas apresentaram uma variação entre as

pressões de 633 a 1.477 kPa de 0,77 para 1,10 L min<sup>-1</sup> na vazão (Figura 3). A diferença de vazão entre, entre os lados direito e esquerdo, das barras apresentou maior variação na pressão de 633 kPa, sendo observado uma diferença de 0,80 e 0,74 L min<sup>-1</sup>, respectivamente, o que resulta em menor qualidade da pulverização. No momento da aquisição de novos pulverizadores, torna-se necessário realizar uma análise criteriosa e detalhada da uniformidade da vazão entre as barras, problema que pode ocorrer em função de problemas na bomba ou no projeto de construção do equipamento. Esta diferença pode ser acentuada quando se combina pontas de vazão diferentes em culturas que apresentam maior densidade foliar em um determinado ponto do dossel da planta.

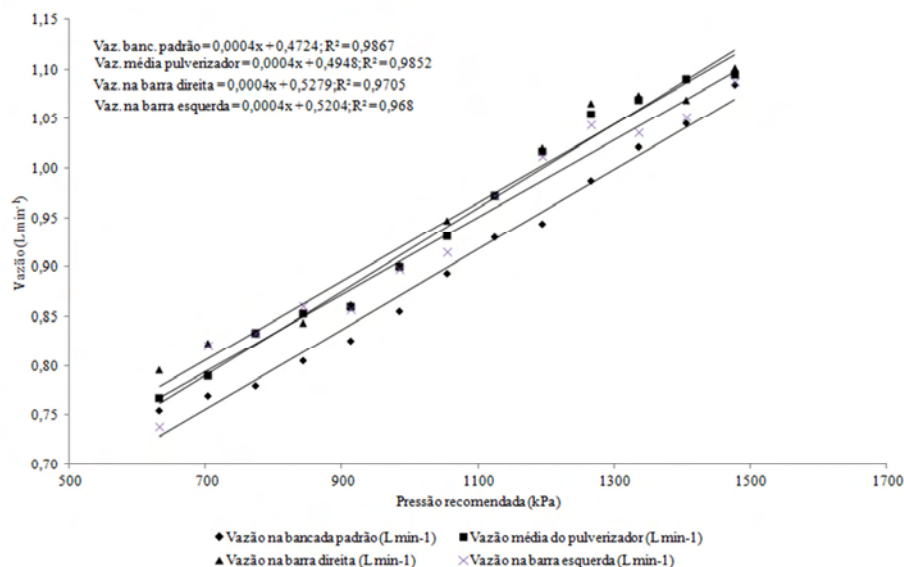


Figura 3. Vazão proporcionada pela ponta JA-2, trabalhando em diferentes pressões.

A variação da vazão na barra dificulta a calibração do pulverizador e também reduz a qualidade das pulverizações, podendo afetar o controle fitossanitário. Há uma estreita relação entre a ponta e a pressão de trabalho, corroborando os resultados obtidos por Vanella *et al.* (2011) que encontraram relação entre o tipo da ponta e sua vazão.

Na comparação da vazão das pontas dispostas na mesa de ensaio e no pulverizador em função da pressão de trabalho os resultados indicam que os manômetros apresentaram boa qualidade. O espectro de gotas e o volume de calda são bastante alterados nessas condições de pulverização. Fernandes *et al.* (2007) encontraram variação de 19,4% na vazão, quando a pressão aumentou de 200 para 300 kPa em pontas de jato plano.

A uniformidade de distribuição volumétrica das pontas foi diretamente afetada pelo aumento da pressão de trabalho. Para avaliar a uniformidade de distribuição de líquido utilizou-se o coeficiente de variação como parâmetro da dispersão do perfil de distribuição. O coeficiente de variação da ponta JA-2 aumentou, com a pressão de pulverização. O coeficiente de variação

foi de 13 a 22% nas pressões de 633 e 1.477 kPa, respectivamente (Figura 4). Cunha *et al.* (2007b) encontraram valores de coeficiente de variação entre 28,1 e 41,5% nas pressões de 600 e 500 kPa, respectivamente. Segundo os autores, esta variabilidade ocorreu em função do perfil de distribuição irregular apresentado pelas pontas de jato cônico vazio TVI 80-015 e TVI 80-02 e da sobreposição obtida com as pontas a 0,5 metros de altura.

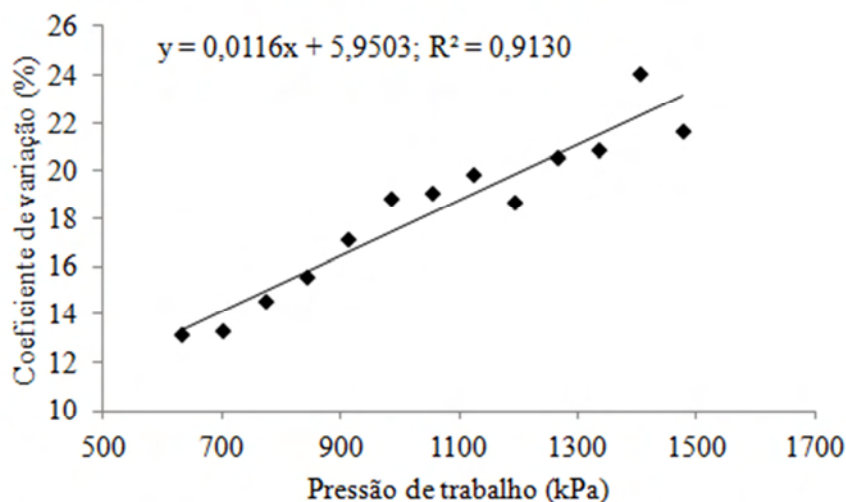


Figura 4. Efeito da pressão na uniformidade de distribuição de líquido da ponta JA-2.

A uniformidade de distribuição volumétrica do conjunto de pontas de pulverização dispostos na barra depende do perfil de distribuição das pontas, individualmente. Em pulverizadores hidropneumáticos devido à assistência de ar, o efeito da variação na homogeneidade de distribuição provocada pelo alto coeficiente de variação da ponta é reduzido pelo efeito do fluxo de ar, produzido pelo ventilador. Os resultados do coeficiente de variação foram semelhantes aos obtidos por Cunha e Silva (2010) e Foqué e Nuyttens (2011b) para pontas de jato cônico vazio.

A uniformidade de distribuição volumétrica, visualmente, fornece informações bastante reveladoras, ao observador, sobre a qualidade da pulverização. Para efeitos de comparação, entretanto, o coeficiente de variação é o método mais preciso para representar a distribuição da calda ao longo da barra, pois compila os dados obtidos na mesa de ensaios e fornece um resultado resumido da variação dentro de determinada distribuição. Boller e Raetano (2011) afirmam que é comum as pontas de jato cônico vazio apresentarem coeficiente de variação superiores a 30% ao longo da barra em pulverizadores hidráulicos. Esta pode ser uma das razões que explique sua preferência de uso em pulverizadores hidropneumáticos. Os resultados de coeficiente de variação obtidos neste trabalho ainda estão aquém daqueles sugeridos para as pontas hidráulicas na Europa, onde se preconiza por meio da norma EN 12761-2 valores de coeficiente de variação abaixo de 7%.

O perfil de distribuição volumétrica foi característico das pontas de jato cônico vazio. Observou-se que no centro do jorro houve uma depressão da deposição e nas extremidades houve a formação de picos com queda abrupta e redução acentuada do volume coletado nas provetas. A medida que se aumentou a pressão, o perfil apresentou picos com maior percentual de volume. Estes pontos reduziram a uniformidade de distribuição do conjunto de pontas dispostas na barra, conseqüentemente, aumentaram o coeficiente de variação. Na pressão de 633 kPa, o coeficiente de variação foi de 13,1%, sendo observado um maior depósito de líquido no centro do jorro em detrimento das extremidades. Neste caso, constatou-se que a distância entre bicos foi fator fundamental, pois distâncias maiores que 0,5 metros, possivelmente, elevariam o coeficiente de variação. Nas maiores pressões, as extremidades apresentaram maior depósito em relação a pressão de 633 kPa, devido a maior abertura do ângulo dos jorros (Figura 5).

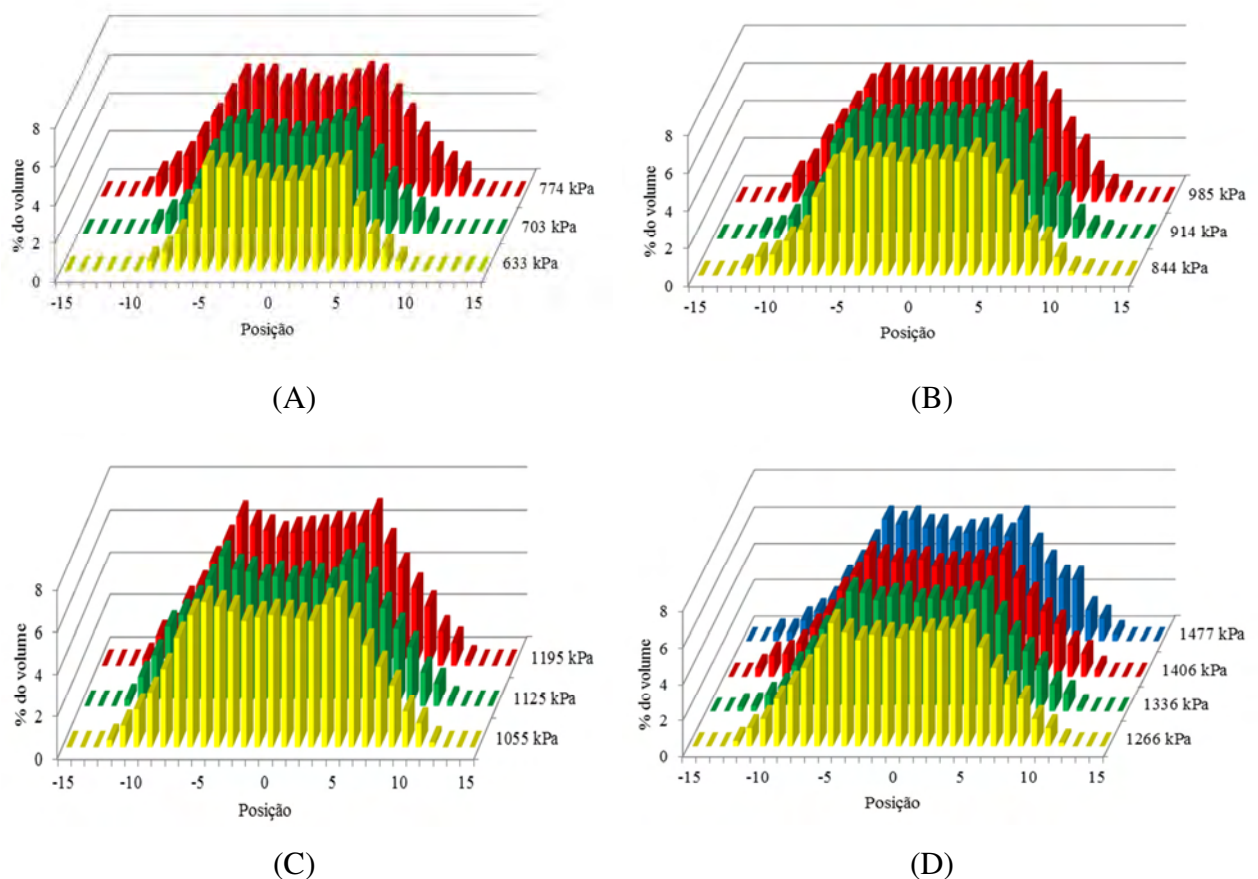


Figura 5. Perfis de distribuição da ponta JA-2 em diferentes pressões de trabalho, considerando as pressões 633, 703 e 774 kPa (A), as pressões de 844, 914 e 985 kPa (B), as pressões de 1.055, 1.125 e 1.195 kPa (C) e as pressões de 1.266, 1.336, 1.406 e 1.477 kPa (D).

O perfil de distribuição afeta a qualidade do controle fitossanitário na região de encontro de jorros adjacentes para produzir uma distribuição uniforme da calda ao longo da barra. Observou-se que nas maiores pressões ocorreram depressões na zona central do jorro,

corroborando os resultados obtidos por Cunha e Silva (2010) em altas pressões. Em todas as pressões, o perfil de distribuição volumétrica da ponta JA-2 apesar de apresentar pontos que contribuíram com o aumento do coeficiente de variação, teve o comportamento característico das pontas de jato cônico vazio, representado pela depressão na zona central do perfil.

O perfil de distribuição obtido indica que a ponta JA-2, pode ser utilizada para pulverização em área total. Estas pontas dispensam a sobreposição dos jorros, devido à uniformidade do mesmo. O uso de pontas de jato cônico vazio em pulverizadores hidráulicos de barra é bastante influenciado pela vibração da barra, visto que a sobreposição é muito pequena para compensar a oscilação da barra por menor que seja. Seu uso em turboatomizadores é bastante difundido, por produzirem um tamanho de gotas reduzido, com maior capacidade de penetração no dossel de plantas arbóreas e, pelas mesmas razões, geralmente, são associadas a pulverizações de fungicidas e inseticidas. O aumento da pressão proporcionou um alongamento da base do perfil, em função da pressão de trabalho, resultados semelhantes aos obtidos por Cunha e Ruas (2006) e Camara *et al.* (2008) trabalhando com pontas de jato plano.

A pressão de trabalho teve efeito significativo nos parâmetros  $Dv_{0,1}$ ,  $Dv_{0,5}$ ,  $Dv_{0,9}$ , amplitude relativa (AR) ou Span e velocidade terminal ( $V_t$ ) das gotas (Quadro 1).

Quadro1. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho no espectro de gotas

F. V.	G. L.	Quadrados médios				
		$Dv_{0,1}$	$Dv_{0,5}$	$Dv_{0,9}$	AR	$V_t$
Regressão	12	844,64*	740,50*	3434,12*	0,355756*	0,048346*
Resíduo	39	124,02	1,34	519,40	0,054435	0,000104
C.V. (%)		19,68	0,93	9,97	16,83	2,08

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O espectro de gotas produzido pelas pontas de pulverização é um dos responsáveis pela qualidade e eficiência da aplicação de agrotóxicos. As metodologias de avaliação do espectro de gotas assentadas são questionáveis, visto que as gotas apresentam espalhamento proporcional ao seu tamanho e, também, a sobreposição de gotas ocorre com muita frequência, o que praticamente torna impossível a contabilização de todas as gotas. As gotas, por menor que possam ser, tem em seu interior o ingrediente ativo do produto adicionado à calda, daí a necessidade de contabilizarmos todas as gotas formadas, independente, do tamanho. Deste modo, a densidade das gotas pequenas não contabilizadas poderia ser suficiente para exercer controle sobre o alvo biológico, desde que a pulverização seja realizada de maneira técnica, dentro de condições meteorológicas ideais, para permitir que as gotas se depositem sobre o alvo.

O maior e o menor valor de  $Dv_{0,1}$ , foi observado na pressão de 774 e 1.266 kPa, respectivamente, sendo observado uma redução de 89 para 40  $\mu\text{m}$  no tamanho de gotas entre as

duas pressões. O parâmetro  $Dv_{0,1}$  ainda é pouco estudado no Brasil, onde poucos trabalhos apresentam e discutem sua importância na aplicação de agrotóxicos. Na pulverização, o  $Dv_{0,1}$  é um valor que representa que 10% do volume pulverizado apresentam gotas com tamanho menor que o observado. O número de gotas que representa este valor numa aplicação de agrotóxicos, geralmente é subestimado, quando a mensuração das gotas é realizada utilizando etiquetas sensíveis a água e óleo, devido à coalescência e a sobreposição de gotas. Em situações críticas para a pulverização o ideal é que o tamanho das gotas que representam este parâmetro seja maior que 100  $\mu\text{m}$ , pois assim, reduzem-se as perdas por deriva e evaporação (Figura 6).

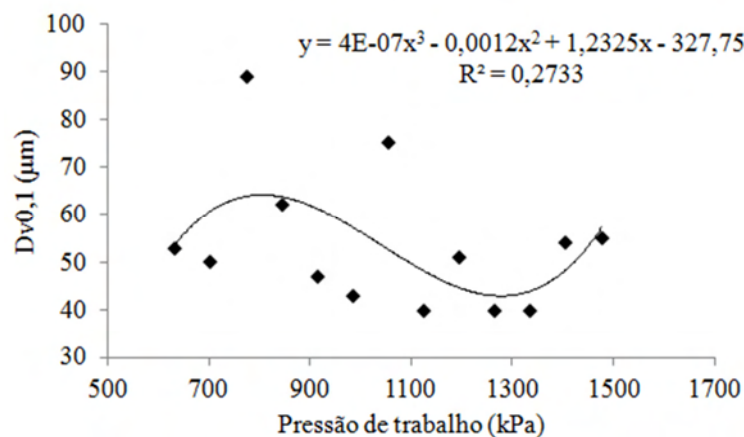


Figura 6.  $Dv_{0,1}$  em função da pressão de trabalho.

O diâmetro da mediana volumétrica, é o valor que divide o volume de líquido contido nas gotas de uma população em duas partes iguais, relacionando-se o diâmetro das mesmas em ordem crescente. Este apresentou uma redução de 151 para 109  $\mu\text{m}$  entre o maior e o menor valor, nas pressões de 633 e 1.477 kPa, respectivamente. As pontas hidráulicas utilizadas na pulverização agrícola apresentam uma faixa de pressão pré-fixada para trabalho, determinada pelos fabricantes. Isto ocorre devido ao fato de que a partir de certa pressão o diâmetro da mediana volumétrica é pouco afetado (Figura 7). A ponta JA-2 é indicada para trabalhar na faixa de pressão de 633 a 1.477 kPa. Observou-se, porém, que a partir de 1.055 kPa o efeito da pressão no diâmetro da mediana volumétrica foi pequeno, indicando que a partir de determinada pressão o tamanho das gotas é pouco alterado. Deste modo, aumentar a pressão pode representar apenas maior vazão, custo energético, desgaste de pontas, rompimento de mangueiras e conexões, filtros, e pequena alteração no tamanho de gotas.

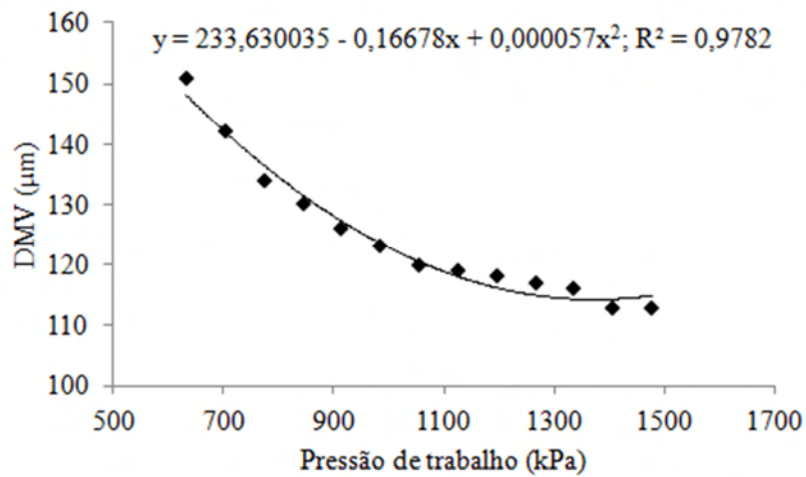


Figura 7. Diâmetro da mediana volumétrica da ponta JA-2 em diferentes pressões de trabalho.

O  $Dv_{0,5}$  é o parâmetro mais estudado nas pesquisas em tecnologia de aplicação de agrotóxicos, apresentando elevada relação com a pressão estabelecida pelos fabricantes de pontas. As gotas produzidas por esta ponta são, bastante, suscetíveis à deriva e evaporação em condições meteorológicas adversas, por isso a seleção da ponta é tão importante para o sucesso do controle fitossanitário.

Para o  $Dv_{0,9}$  o maior e o menor valor foram obtidos nas pressões de 633 e 1.055 kPa, apresentando uma redução de 286 para 192 μm no tamanho das gotas. O  $Dv_{0,9}$  representa o diâmetro no qual 90% do volume pulverizado apresentam gotas menores que seu valor. Ele é, juntamente com o  $Dv_{0,1}$ , um parâmetro pouco discutido, mas que tem muita representatividade no espectro de gotas. No entanto, o comportamento deste parâmetro não foi linear com a pressão de trabalho. A variação entre os valores de  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$  deve ser a menor possível nas pulverizações para que a homogeneidade do espectro de gotas seja alcançada (Figura 8).

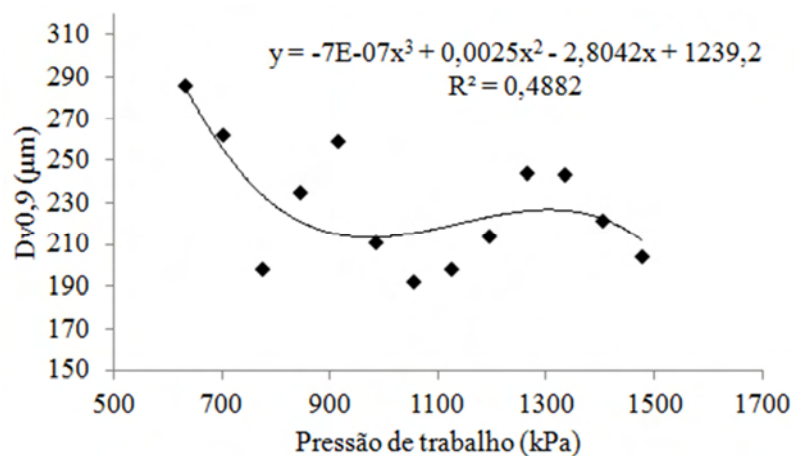


Figura 8.  $Dv_{0,9}$  em função da pressão de trabalho.

A amplitude relativa da população de gotas representa a dispersão do tamanho de partículas em torno da média e a variabilidade das gotas. Os valores de Span obtidos neste

trabalho indicam que a ponta produziu um espectro de gotas bastante uniforme em todas as pressões testadas (Figura 9). O menor e o maior valor encontrado de amplitude relativa foram de 0,8 e 1,8 nas pressões de 774, 1.266 e 1.336 kPa, respectivamente, resultados parecidos foram obtidos por Cunha *et al.* (2007a) para pontas de jato cônico vazio.

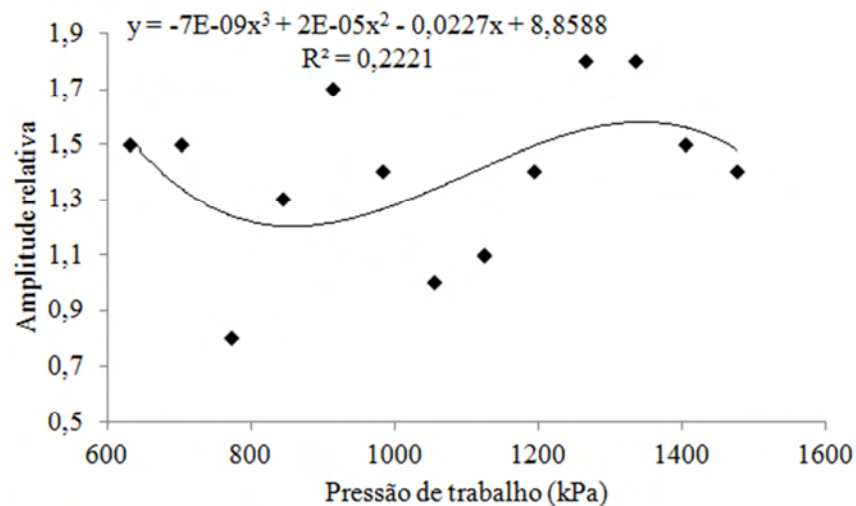


Figura 9. Amplitude relativa em função da pressão de trabalho.

A velocidade terminal ou de sedimentação das gotas está diretamente relacionada com a deriva e evaporação, pois quanto maior a velocidade da gota menor será o tempo de evaporação da mesma no ar durante o caminho até o alvo. As gotas com maior velocidade terminal sofrem menor deslocamento do ponto de lançamento até o alvo, pela ação do vento. Os valores de velocidade terminal obtidos neste trabalho foram compatíveis com os encontrados por Carvalho *et al.* (2011) simulando diferentes diâmetros de gotas a fim de determinar sua velocidade terminal ou de sedimentação. Neste trabalho a velocidade máxima e mínima alcançada pelas gotas foram de 0,77 e 0,37 m s<sup>-1</sup> nas pressões de 633 e 1477 kPa, respectivamente (Figura 10). Minguela e Cunha (2010) demonstraram que gotas de 100 µm lançadas a um metro do solo são arrastadas por 360 metros por ventos de 2 m s<sup>-1</sup>, deste modo, os autores não recomendam pulverizações com gotas abaixo de 100 µm.

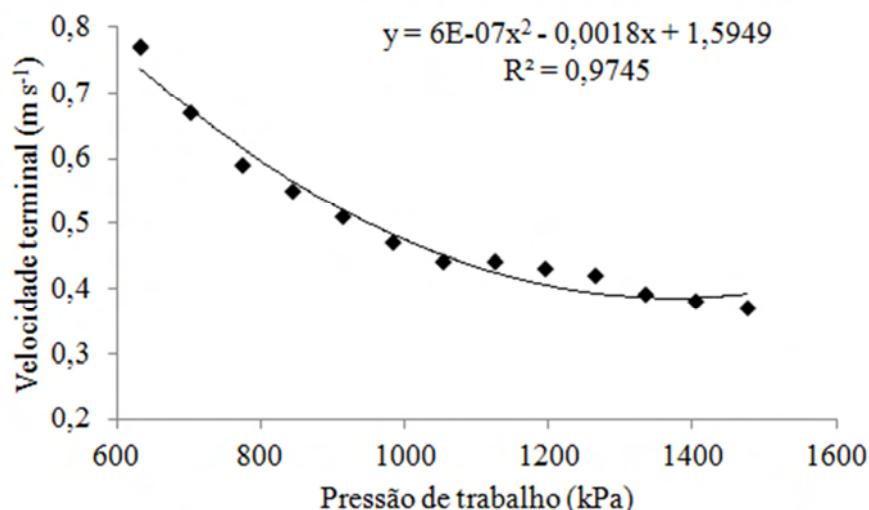


Figura 10. Velocidade terminal das gotas em função da pressão de trabalho.

A pressão de trabalho apresentou efeito significativo para os parâmetros percentagem de gotas menor que 100  $\mu\text{m}$ , entre 100 e 200  $\mu\text{m}$ , entre 200 e 300  $\mu\text{m}$  e maior que 300  $\mu\text{m}$ . (Quadro 3).

Quadro 2. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho no espectro de gotas

F. V.	G. L.	Quadrados médios			
		% < 100	% 100 a 200	% 200 a 300	% > 300
Regressão	12	206,64*	351,90*	73,65*	23,76*
Resíduo	39	19,93	49,20	8,21	6,12
C.V. (%)		13,16	13,96	22,28	83,25

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O aumento na pressão de trabalho provocou um acréscimo de 17,5 para 42,2% na percentagem de gotas menor que 100  $\mu\text{m}$ , entre as pressões de 774 e 1.336 kPa. Já a percentagem das gotas com diâmetro entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  reduziu de 72,7 para 38,6% em relação às pressões de 774 e 1.336 kPa. A classe de gotas entre 200 e 300  $\mu\text{m}$  apresentou redução de 21,7 para 9,6% entre as pressões de 633 e 774 kPa. A pressão que apresentou maior percentagem de gotas na classe de tamanho menor que 100  $\mu\text{m}$ , entre 100 e 200  $\mu\text{m}$ , entre 200 e 300 e acima de 300  $\mu\text{m}$  foi 774 kPa com percentuais de 17,5, 72,7, 9,6 e 0,08 % das gotas, respectivamente (Figura 11).

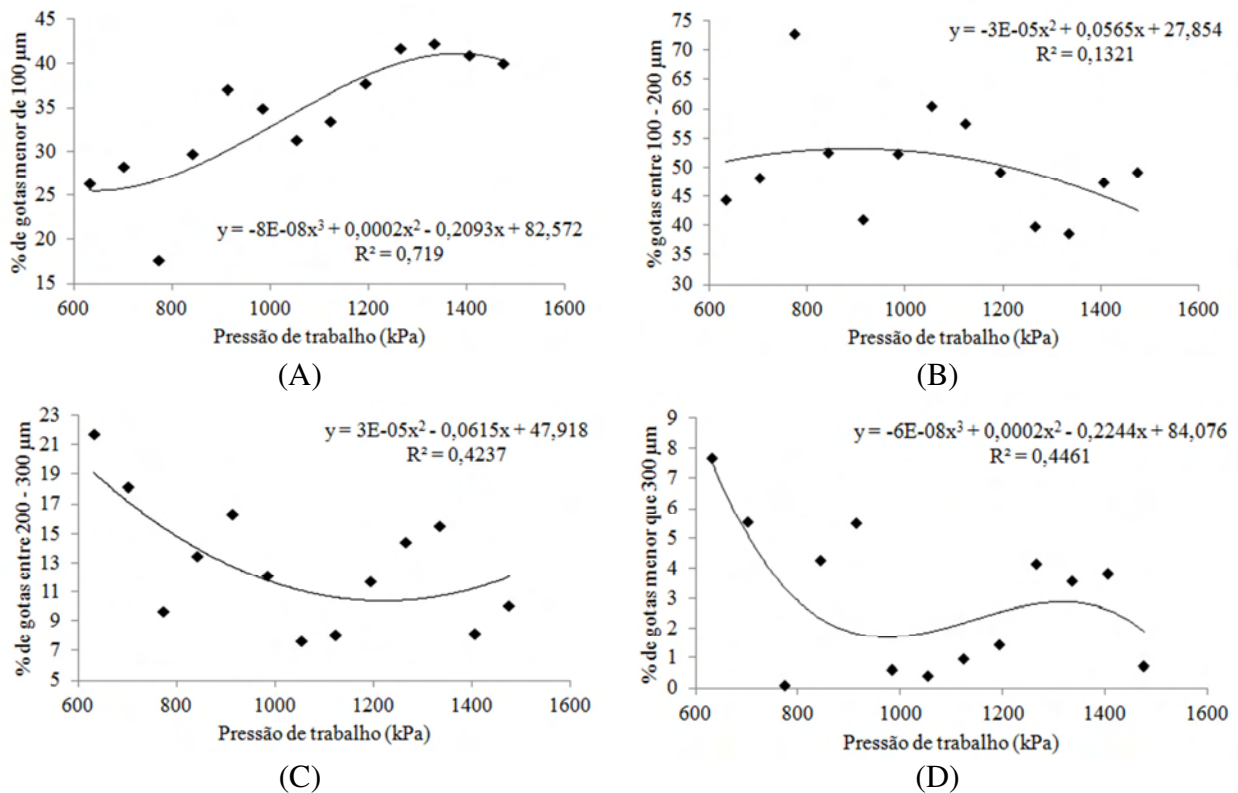


Figura 11. Parâmetros do espectro de gotas em função da pressão de trabalho. Percentagem de gotas menor que 100  $\mu\text{m}$  (A), percentagem de gotas entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  (B), percentagem de gotas entre 200 e 300  $\mu\text{m}$  (C) e percentagem de gotas maior que 300  $\mu\text{m}$ .

O aumento do percentual de gotas abaixo de 100  $\mu\text{m}$  elevou a percentagem de gotas suscetíveis à deriva e evaporação. A percentagem de gotas entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  representou a maioria das gotas produzida pela ponta JA-2. Nestas condições, na pulverização hidráulica, o percentual de deriva possivelmente é elevado em pulverizadores de barra. Entretanto, na pulverização hidropneumática, o efeito da deriva é reduzido devido à cortina de ar gerada pelo ventilador. Neste modelo de pulverização, o fenômeno da evaporação é o que mais concorre para a realização de uma aplicação de qualidade com riscos reduzidos ao meio ambiente, operadores e aplicadores, pessoal de apoio, entre outros. A deriva, a evaporação e a volatilização das gotas são fenômenos que reduzem a eficiência das pulverizações, e, apesar de não existir um valor de referência para a percentagem de gotas abaixo de 100  $\mu\text{m}$ , Cunha *et al.* (2003) afirmam que este valor deve ser inferior a 15%.

A análise da qualidade da pulverização produzida por uma ponta hidráulica ou qualquer outro dispositivo responsável pelo fracionamento de gotas para a aplicação de agrotóxicos deve se basear em todos os parâmetros do espectro, conjuntamente. A exclusão de uma das variáveis que compõem o espectro de gotas desta análise conduz o responsável pela pulverização a tomar decisões erradas e a comprometer a eficiência e a eficácia da pulverização.

O uso de equipamentos mais precisos para determinar o tamanho das gotas é uma necessidade urgente na tecnologia de aplicação. As etiquetas hidrossensíveis são ferramentas extraordinárias para os agricultores terem uma ideia da pulverização no campo, utilizando, principalmente, o parâmetro da densidade de gotas. A qualidade das etiquetas, porém, é muito importante e as mesmas têm sido encontradas no mercado com alta sensibilidade ao tato, o que exige perícia no manuseio pelos usuários.

O fornecimento de maiores informações a respeito da qualidade do espectro de gotas produzida pelas pontas hidráulicas é uma necessidade urgente no campo. A elaboração de catálogos com maiores informações, pelos fabricantes, sobre as pontas e condições de uso, a disponibilização de gráficos de pressão *versus* diâmetro de gotas, vêm a ser um facilitador na seleção da ponta e do espectro pelos usuários. Outro aspecto é a capacitação dos técnicos, agrônomos, produtores e pessoas envolvidas com a pulverização de agrotóxicos para interpretar corretamente as informações disponíveis nos catálogos.

## **Conclusões**

O coeficiente de variação apresentou valores de 13 e 22% para as pressões de 633 e 1.477 kPa, respectivamente.

O menor valor de Span foi de 0,8 na pressão de 774 kPa e de 1,8 nas pressões de 1.266 e 1.336 kPa.

O diâmetro da mediana volumétrica reduziu de 151 para 109  $\mu\text{m}$  com o aumento da pressão.

A velocidade terminal das gotas reduziu de 0,77 para 0,37  $\text{m s}^{-1}$  entre a pressão de 633 e 1.477 kPa, respectivamente.

A menor percentagem de gotas com tamanho menor que 100  $\mu\text{m}$  foi obtida na pressão de trabalho de 774 kPa.

## **Referências Bibliográficas**

ASAE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra.** In: ASAE Standards. St. Joseph, 2000. p.389-91.

BOLLER, W.; RAETANO, C. G. **Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barra.** In: ANTUNIASI, U. R.; BOLLER, W.

(Org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.

BAYAT, A.; BOZDOGAN, N. Y. An air-assisted spinning disc nozzle and its performance on spray deposition and reduction of drift potential. **Crop Protection**, Oxford, v. 24, n. 11, p. 951-960, 2005.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 546-551, 2006.

CAMARA, F. T.; SANTOS, J. L.; SILVA, E. A.; FERREIRA, M. C. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 740-749, 2008.

CARVALHO, W. P. A.; BOLLER, W.; ANTUNIASSI, U. R. **Tecnologia de aplicação por via aérea**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.

CAÑAVATE J. O.; HERNANZ J. L. **Técnica de la mecanización agrária**. Madrid, Mundi-Prensa, 1989. 641p.

CEN. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Agricultural and forestry machinery - Sprayers and liquid fertilizer distributors - Environmental protection - Part 2: Field crop sprayers**. Brussels, Belgium: EN 12761-2: 2001.

CONAMA. **Consorzio Nazionale per la Meccanizzazione Agricola**. Roma, 1997. 11p. (Circolare Ministeriale 10189).

CUNHA, J. P. A. R. Análise da distribuição volumétrica de pontas de pulverização hidráulicas de jato plano. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 31, n. 1, p. 233-239, 2008.

CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. esp., p. 1153-1158, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 61-66, 2006.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio *laser*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 10-15, 2007a.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A.; TEIXEIRA, M. M. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato cônico vazio com indução de ar analisada em mesa de prova e simulação computadorizada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 311, p. 40-46, 2007b.

CUNHA, J. P. A. R.; SILVA, R. A. M. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização em função da pressão de trabalho e altura da barra. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Avaliação de estratégias para a redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325-32, 2003.

DORNELLES, M. E.; SCHLOSSER, J. F.; BOLLER, W.; RUSSINI, A.; CASALI, A. L. Inspeção técnica de tratores e pulverizadores utilizados em pulverização agrícola. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 36-43, 2011.

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

FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M. C.; ROMANI, G. N. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 728-733, 2007.

FOQUÉ, D.; NUYYTENS, D. Effect of air support and spray angle on coarse droplet sprays in ivy pot plants. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 409-416, 2011a.

FOQUÉ, D.; NUYYTENS, D. Effect of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants. **Pest Management Science**, New York, v. 67, n. 2, p. 199-208, 2011b.

FREITAS, F. C. L.; TEIXEIRA, M. M.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; MACHADO, A. F. L.; VIANA, R. G. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 161-167, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Equipment for crop protection** - Spraying equipment – Part 2: test methods for agricultural sprayers. Genova: 1986. 5p. (ISO 5682/2).

KÖPPEN, W. **Climatologia como um estúdio de los climas de tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

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

LUCK, J. D.; SHARDA, A.; PITLA, S. K.; FULTON, J. P.; SHEARER, S. A. A case study concerning the effects of controller response and turning movements on application rate uniformity with a self-propelled sprayer. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 423-431, 2011.

MASIÁ, G.; CID, R. **Las boquillas de pulverización**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicacões del INTA Alto Valle, 2010. 196 p. Cap. 6.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. London: Blackwell, 3<sup>rd</sup> Edition. 2000. 448 p.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010. 588p.

MOKEBA, M. L.; SALT, D. W.; LEE, B. E.; FORD, M. G. Simulating the dynamics of spray droplets in the atmosphere using ballistic and random-walk models combined. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Amsterdam, v. 68, n. 4, p. 923-933, 1997.

NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 5, p. 1471-1480, 2009.

SAYINCI, B.; BASTABAN, S. Spray distribution uniformity of different types of nozzles and its spray deposition in potato plant. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 6, n. 2, p. 352-362, 2011.

SIDAHMED, M. M. Analytical comparison of force and energy balance methods for characterizing sprays from hydraulic nozzles. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 41. n. 3, p. 531-536, 1998.

SVENSSON, S. A.; BRAZEE, R. D.; FOX, R. D.; WILLIAMS, K. A. Air jet velocities in and beyond apple trees from a two-fan cross-flow sprayer. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 46, n. 3, p. 611-621, 2003.

THOMSON, S. J.; LYN, M. E. Environmental and spray mixture effects on droplet size represented by water-sensitive paper used in drift studies. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 3, p. 803-807, 2011.

VANELLA, G.; SALYANI, M.; BALSARI, P. Effect of the nozzle adaptor of sprayer calibrator on flow rate measurements. **Crop Protection**, Oxford, v. 30, n. 8, p. 1043-1047, 2011.

ZANDONADI, R. S.; LUCK, J. D.; STOMBAUGH, T. S.; SAMA, M. P.; SHEARER, S. A. A computational tool for estimating off-target application areas in agricultural fields. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 1, p. 41-49, 2011.

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D.L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips, **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 87, n. 3, p. 275-283, 2004.

## **Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais**

### **Resumo**

A aplicação de agrotóxicos é influenciada por diversos fatores, sendo que um dos mais importantes são as condições meteorológicas. Os principais fatores são a velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar. A diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água existente no ar e a pressão parcial de vapor que pode ser alcançada é o déficit de pressão de vapor d'água no ar. Essa diferença representa o poder evaporante do ar, afetando diretamente a evaporação das gotas de pulverização. Deste modo, objetivou-se, por meio deste trabalho, estudar o efeito do déficit de pressão nos parâmetros da pulverização da ponta JA-2 em diferentes alturas do alvo e, discutir suas implicações na evaporação das gotas da pulverização. Para estudar os parâmetros da pulverização utilizaram-se etiquetas de papel hidrossensível, fixadas em suportes de madeira a 0,5, 1,5 e 2,5 metros de altura, utilizando um pulverizador hidropneumático acoplado a um trator John Deere. O experimento foi montado em esquema fatorial (3 x 13), sendo três déficits de pressão de vapor e 13 pressões de pulverização com três repetições no delineamento de blocos casualizados. Os dados foram analisados utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS) versão 9.2. Os resultados indicaram que o aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar afetou a pulverização, reduzindo o tamanho de gotas. A altura do alvo influenciou nos parâmetros do espectro de gotas da pulverização. A percentagem de cobertura do alvo teve um aumento com o incremento do déficit de pressão de vapor d'água no ar e da pressão de trabalho. A densidade de gotas aumentou com a pressão de trabalho e, reduziu com o déficit de pressão de vapor d'água no ar. O Span foi maior com o aumento da pressão de trabalho e, menor com o aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar.

**Palavras-chave:** Evaporação de gotas da pulverização, condições meteorológicas na pulverização, pressão de trabalho, pontas hidráulicas, pulverizadores hidropneumáticos.

## **Effect of deficit of water vapor pressure in the air for hydropneumatic spray artificial targets**

### **Abstract**

Pesticides application is influenced by several factors, and one of the most important is weather conditions. Main factors are speed and wind direction, temperature and relative moisture. Difference between saturation of water vapor pressure in the air and the partial pressure of steam that can be achieved is the deficit of water vapor pressure in the air. This difference represents the air evaporating power, affecting directly the evaporation of spray droplets. This work aimed to study the effect of pressure deficit in parameters of spray tip JA-2 at different target heights, and discuss their implications for evaporation of spray droplets. To evaluate spraying parameters, we used hydro-sensitive paper labels fixed on a support of wood 0,5, 1,5 and 2,5 meters high, using a hydro-pneumatic sprayer connected to a John Deere tractor. The experiment was assembled in a factorial design (3 x 13), with three vapor pressure deficits and 13 pressure sprays with three replications in a randomized block design. Data were analyzed using Statistical Analysis System (SAS) version 9.2. Results indicated that the increase in the deficit of water vapor pressure in the air affected spraying by reducing the droplet size. Target height influence on parameters spectrum of spraying droplets. Target coverage percentual was increased with the increment of deficit of water vapor pressure in the air and pressure of work. The droplet density increased with pressure and reduced with the deficit of water vapor pressure in the air. The span was greater with increasing pressure and lower with the increase of the deficit of water vapor pressure in the air.

**Key words:** Evaporation of spray droplets, weather conditions on spraying, work pressure, hydraulic tips, hydro-pneumatic sprayers.

## Introdução

As condições meteorológicas consideradas favoráveis para a realização das pulverizações são amplamente citadas na literatura, sendo caracterizadas por temperaturas entre 15 a 30 °C, umidade relativa do ar maior que 55% e velocidade do vento variando de 2 a 10 km h<sup>-1</sup>, (RAETANO, 2011 e MINGUELA E CUNHA, 2010). Contudo, em várias situações, estes requisitos, não são atendidos, em virtude da necessidade da pulverização em condições desfavoráveis.

A umidade relativa é definida como a relação entre a quantidade de vapor d'água existente numa amostra de ar úmido e a quantidade máxima que este ar poderia reter a determinada temperatura. Segundo a teoria cinética dos gases, a evaporação ocorre quando as moléculas de um líquido vencem a força de atração entre si e escapam de uma lâmina d'água passando à forma de vapor. Neste processo, algumas moléculas atingem novamente a lâmina d'água e são recapturadas ao estado líquido. No decorrer do tempo, é atingido um equilíbrio dinâmico, onde o número de moléculas que escapam é igual ao número de moléculas recapturadas pela lâmina d'água, neste instante, o ar está saturado de vapor d'água. Para cada temperatura, este equilíbrio ocorre a uma determinada pressão de vapor, denominada pressão de saturação de vapor ou pressão máxima de vapor. A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor d'água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada, é denominada de déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar. Essa diferença é uma medida do poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação e transpiração, uma vez que dependem do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (VIEIRA, 2009).

As perdas por evaporação das gotas na pulverização de agrotóxicos são semelhantes às ocorridas pelas gotas nos sistemas de irrigação. Deste modo, Beskow *et al.* (2011) afirmam que quantificar as perdas por evaporação e arraste são de grande significância, tanto no aspecto econômico quanto no ambiental, possibilitando a redução das mesmas em sistemas de irrigação por aspersão. Estimar, separadamente, as perdas por evaporação e arraste, é uma tarefa bastante complexa, em virtude das dificuldades encontradas com as técnicas necessárias para medi-las.

O movimento dos agrotóxicos no ambiente é bastante complexo e envolve processos contínuos de perdas. A preocupação com os riscos dos produtos fitossanitários no ambiente começou quando se registraram os primeiros casos de contaminação de águas potáveis. Estas contaminações podem ser geradas a partir do movimento em diferentes níveis do ciclo

hidrológico. Um produto que volatiliza para o ambiente pode migrar para fora da área de tratamento, contaminando cursos de água pela chuva. A combinação de alta temperatura do ar, acima de 30 °C, e baixa umidade relativa, abaixo de 40%, podem apresentar uma influência direta sobre a evaporação das gotas pulverizadas, principalmente em caso de gotas finas. Os fatores mais importantes que afetam as perdas por evaporação na aplicação de agrotóxicos são a capacidade de evaporação da atmosfera, tamanho das gotas, tempo que as gotas levam para chegar ao alvo e a distância em relação ao alvo (VILLALBA e HETZ, 2010).

A aplicação de agrotóxicos é uma tarefa complicada devido à grande diversidade de equipamentos e métodos de pulverização, diferenças entre produtos químicos, diversidade de culturas e hábitos de crescimento, grande número de insetos e doenças, disparidades na habilidade dos operadores, condições meteorológicas incontroláveis, segurança do trabalhador, regulamentos ambientais, volume de calda, tamanho da copa e da economia relacionada com os benefícios das aplicações de agrotóxicos (XU *et al.*, 2010; LLORENS *et al.*, 2010; JEON *et al.*, 2011).

Para se obter maior eficiência de controle com redução no uso de agrotóxicos, os efeitos combinados do desempenho do sistema de aplicação, tipo de formulação, estrutura da folha e as condições microclimáticas devem ser reconhecidas e estudadas. Ignorar qualquer desses fatores pode causar o uso excessivo de agrotóxicos (YU *et al.*, 2009a). Entretanto, em condições de campo, é difícil pulverizar seguindo todas as restrições meteorológicas, bem como, tê-las sobre controle (PEREIRA, 2006).

O sucesso em uma pulverização é muitas vezes dificultado em função das mudanças que ocorrem nas condições ambientais. A ação dos agrotóxicos é influenciada, dentre os fatores meteorológicos, pela temperatura e umidade relativa do ar por serem decisivos no tempo de vida de uma gota no percurso até o alvo. As gotas menores que 100 µm são mais susceptíveis às condições meteorológicas e, em condições de umidade relativa inferiores a 50%, a pulverização deve ser interrompida (RUEDELL, 2002). Segundo este autor, o limite inferior de 10 °C e superior de 35 °C representam os valores na qual uma pulverização deve ser interrompida, sendo que valores de temperatura do ar entre 20 e 30 °C compreendem a faixa ideal para as pulverizações.

Estudando os efeitos das condições meteorológicas na aplicação de agrotóxicos, Yu *et al.* (2009b) concluíram que, com a redução da umidade relativa de 90 para 30%, o tempo de evaporação de uma gota de 343 µm reduziu de 115 para 52 segundos. Já em umidade de 60%, o tempo de evaporação média aumentou de 40 para 453 segundos com o incremento do diâmetro das gotas de 246 para 886 µm. Yu *et al.* (2009a), estudando as taxas de evaporação de gotas,

encontraram que a evaporação após a deposição das gotas em superfícies foliares cerosa e pilosa é fortemente influenciada pela adição de aditivos à pulverização, pelo tamanho de gotas e pela umidade relativa.

Xu *et al.* (2010) determinaram, pelo intervalo entre imagens sequenciais, o tempo para evaporação de gotas e perceberam que, quando as gotas aumentaram de 300 para 600  $\mu\text{m}$ , o tempo de evaporação aumentou 279% sem surfactante e 452% com o surfactante, enquanto que a média total da área molhada aumentou de 166% sem o surfactante e 229% com o surfactante.

Em relação ao fenômeno da evaporação, Da Costa *et al.* (2001), ao avaliarem a perda de calda em pulverizações para o controle de mosquitos vetores, verificaram boas perspectivas de utilização do álcool oxietileno docosanol na concentração de 0,5% v/v para o controle da evaporação substituindo o óleo vegetal na diluição de deltametrina em pulverização terrestre a ultra baixo volume. No Brasil, entretanto, este produto não se encontra disponível, comercialmente, como um adjuvante. Araújo e Raetano (2011) afirmam que não se conhece no mercado brasileiro de adjuvantes um produto com ação comprovada e eficaz com a propriedade de antievaporante.

Analisando os efeitos da qualidade da pulverização utilizando três pontas hidráulicas em diferentes condições meteorológicas, Balan *et al.* (2008) encontraram, para a ponta de jato cônico vazio JA-1, uma redução superior a 100% na deposição à medida que aumentou a temperatura e reduziu a umidade relativa do ar. Já para a ponta BJ-03, com indução de ar, não houve efeito significativo da condição microclimática na deposição.

Com muitas pesquisas conclusivas já realizadas a respeito do aumento da taxa evaporativa de uma gota proveniente da pulverização, a tendência é que uma gota evapore mais em alto déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar, visto que altos valores implicam em altas temperaturas e baixas umidades relativas do ar. Wan Ishak *et al.* (2011) verificaram que os maiores valores de temperatura do ar são encontrados nas proximidades do meio-dia, bem como os menores valores de umidade relativa, constatando com estes resultados que a alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar promoveram maiores valores de déficit de pressão de vapor.

Deste modo, objetivou-se com este trabalho estudar o efeito do déficit de pressão de vapor d'água do ar nos parâmetros da pulverização, da ponta hidráulica de jato cônico vazio JA-2, em treze pressões de trabalho e três déficits de pressão de vapor d'água no ar e, discutir suas implicações na pulverização de agrotóxicos.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, situado a 650 metros de altitude, nas coordenadas 20° 45' 54" de latitude Sul e 45° 52' 54" de longitude Oeste na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. O clima da região foi classificado como tropical de altitude, com verões chuvosos e invernos secos, sendo classificado como Cwa (KÖPPEN, 1948).

As pulverizações foram realizadas utilizando um pulverizador hidropneumático, marca Hatsuta, modelo SS-420, equipado com bomba hidráulica de pistão, modelo S60, e um ventilador axial com diâmetro de 700 milímetros de diâmetro, acoplado a um trator John Deere, modelo 5705, com potência nominal de 62,5 kW (85 cv).

A ponta de jato cônico vazio JA-2 foi selecionada para a realização deste ensaio, pois a mesma é caracterizada por produzir um espectro de gotas finas de acordo com a Associação Americana de Engenharia Agrícola (ASAE) e o Conselho Britânico de Proteção de Culturas (BCPC), pela norma S-572 (ASAE, 2000), e também por ser bastante empregada para o controle de insetos e patógenos em turboatomizadores. As pressões de trabalho utilizadas foram 633, 703, 774, 844, 914, 985, 1.055, 1.125, 1.195, 1.266, 1.336, 1.406 e 1.477 kPa abrangendo toda a faixa de pressão recomendada pelo fabricante, para uso em pulverizadores hidropneumáticos.

Para auxiliar na avaliação do efeito do déficit de pressão de vapor d'água do ar nos parâmetros técnicos da pulverização, foram confeccionados três suportes de madeira, divididos nas alturas de 0,5, 1,5 e 2,5 metros do solo, onde foram fixadas etiquetas de papel hidrossensível. As comparações foram realizadas entre alvos de mesma altura, e a distância da barra de pulverização para as etiquetas foi de dois metros, para todos os tratamentos, sendo que os principais parâmetros analisados por meio das etiquetas foram a densidade de gotas e a percentagem de cobertura do alvo. Já os parâmetros relacionados ao espectro de gotas foram obtidos também por meio de um analisador de partículas a *laser*.

As condições psicrométricas durante a condução do experimento foram monitoradas com um indicador de temperatura e umidade relativa, marca Ummi<sup>®</sup>. Este medidor possui um sensor de temperatura com escala de -20 a 100 °C, resolução de 1 °C e precisão de  $\pm 0,6$  °C; e um sensor de umidade relativa com escala de 0 a 100%, resolução de 1% e  $\pm 3$  de precisão.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado a partir dos valores de temperatura do ar, utilizados para determinar a pressão de saturação de vapor d'água no ar, conforme proposto por Tetens (1930) (Equação 1).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[\frac{(7,5 T)}{(237,5+T)}\right]} \quad (1)$$

em que

$e_s$  = pressão de saturação de vapor d' água no ar (kPa);

T = temperatura do ar (°C).

Posteriormente, a partir da umidade relativa e da pressão de saturação de vapor d' água no ar, determinou-se a pressão parcial de vapor d' água no ar (Equação 2).

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (2)$$

em que

$e_a$  = pressão parcial de vapor d' água (kPa);

UR = umidade relativa do ar (%).

A diferença entre a pressão de saturação e a pressão parcial de vapor d' água no ar possibilitou o cálculo do déficit de pressão de vapor d' água no ar, que é a medida da quantidade de vapor d' água necessária para que o ambiente atinja o ponto de saturação (Equação 3).

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (3)$$

em que

DPV = déficit de pressão de vapor d' água no ar (kPa).

A rotação obtida na tomada de potência (TDP) e a velocidade angular no rotor do ventilador foram aferidas com um tacômetro digital Instruterm, modelo TDR-100. A velocidade do vento foi monitorada com um anemômetro Instruterm, modelo AD-250. A velocidade de trabalho foi de 9 km h<sup>-1</sup>.

As faixas de déficit de pressão foram estabelecidos levando em consideração as condições meteorológicas, usualmente, recomendadas para a aplicação de agrotóxicos, temperatura entre 15 a 30 °C, umidade relativa maior que 55% e ventos entre 2 a 10 km h<sup>-1</sup>, conforme estabelecido nos trabalhos desenvolvidos por Raetano (2011) e Ruedell (2002). Desta maneira, as condições para a execução do trabalho foram estabelecidas (Quadro 1).

Tratamentos	Déficit de pressão de vapor (kPa)
1	DPV < 1,0
2	1,0 < DPV < 2,0
3	2,0 < DPV < 3,0

Para realizar as pulverizações adotou-se a metade superior das classes de déficit de pressão de vapor. Este critério foi estabelecido para ser mais rigoroso quanto ao efeito das condições psicrométricas de temperatura e umidade relativa, no espectro de gotas.

O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 13), sendo três déficit de pressão de vapor d'água no ar (0,76, 1,76 e 2,63 kPa) e 13 pressões de trabalho no delineamento de blocos casualizados, com três repetições. As etiquetas foram digitalizadas utilizando-se uma máquina fotográfica, marca Nikon, modelo Coolpix L22, de 12.0 *megapixels*, posicionada a 0,1 metros de altura e analisadas utilizando o *software* Image Tool 3.0. A comparação do efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar e da pressão de trabalho nos parâmetros da pulverização foi feita por meio de análise de regressão, utilizando o programa SAS 9.2. Os critérios adotados para a escolha dos modelos foram significância da regressão, método de seleção de modelos *Stepwise*, para eliminação de coeficientes não significativos, e coeficiente de determinação. As variáveis analisadas foram o diâmetro da mediana volumétrica, amplitude relativa, densidade de gotas, coeficiente de homogeneidade, percentagem de cobertura,  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$ .

## Resultados e Discussão

A velocidade do vento durante o experimento permaneceu abaixo de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ , a temperatura variou de 19 a 31 °C e a umidade relativa do ar de 37 a 74%. Deste modo, as variações psicrométricas durante o dia 8 de setembro de 2011, possibilitaram a determinação do déficit de pressão de vapor d'água no ar, entre zero e três quilopascals (Figura 1). Resultados semelhantes, em relação aos horários de maior déficit de pressão de vapor, foram obtidos por Wan Ishak *et al.* (2011). A variação das condições de temperatura e umidade relativa ao longo do dia, visando a pulverização de agrotóxicos, também foram estudadas por Balan *et al.* (2008), que observaram oscilações semelhantes às obtidas neste trabalho.

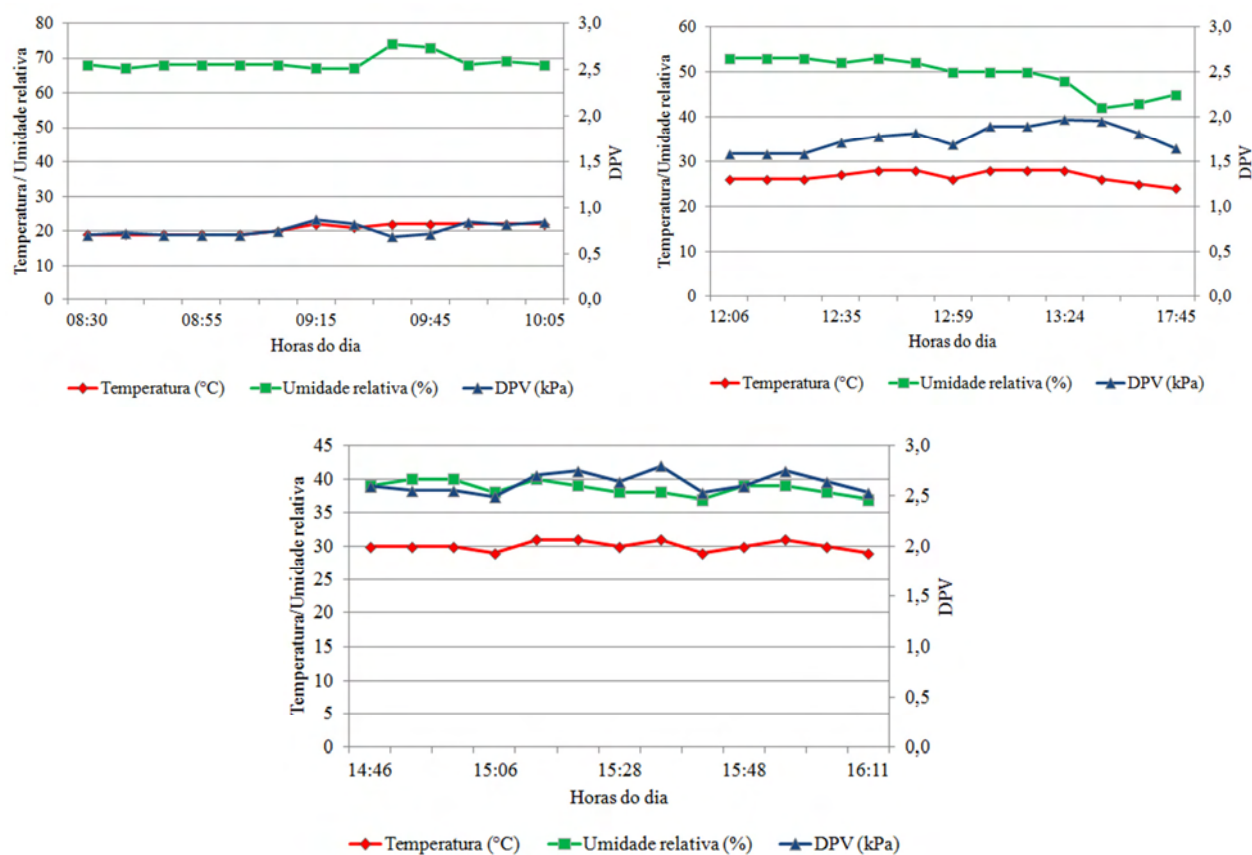


Figura 1. Condições psicrométricas durante a pulverização no dia 08/09/2011, em Viçosa, Minas Gerais, para o intervalo de DPV menor que um quilopascal (A), de um a dois quilopascals (B) e entre dois e três quilopascals (C).

O período da manhã é considerado ideal para a pulverização de agrotóxicos, principalmente, pela ocorrência de condições psicrométricas que proporcionam menos evaporação. Deve-se destacar que devido às proporções continentais do Brasil, o momento ideal para pulverizar, considerando as condições psicrométricas, é muito variável nas diferentes regiões produtoras. As pulverizações realizadas em condições críticas de déficit de pressão de vapor d'água no ar, caso necessário, devem ser executadas com bastante critério, devido ao fenômeno da evaporação das gotas. Sabe-se que, devido ao tamanho de muitas propriedades agrícolas no Brasil, é difícil executar a pulverização, exclusivamente, nos horários de menor evaporação. Diante disso, os profissionais envolvidos com a tecnologia de aplicação têm de utilizar de pontas de pulverização, com diferentes vazões nominais e tamanhos de gotas, como alternativa para obter sucesso no controle fitossanitário.

As alternativas frequentemente adotadas pela maioria dos produtores para não se tornarem reféns das condições meteorológicas tem sido aumentar o volume de calda pulverizado. A consequência, na maioria das vezes, é o aumento dos custos de produção, maior volume de água,

aumento das horas trabalhadas, redução da capacidade operacional, perdas por escoamento para o solo e cursos d'água, contaminação do ambiente, animais, aplicadores e consumidores.

A evaporação é um fenômeno que interfere, diretamente, na tomada de decisão do agricultor e operador sobre o momento da realização da pulverização, pois, a elevação do volume de calda, tem aumentado os danos ambientais causados pelo emprego inadequado das técnicas de aplicação. O modo empregado, atualmente, para reduzir os efeitos da evaporação é a realização das pulverizações nas primeiras horas da manhã ou final da tarde e a seleção correta das pontas para produzir gotas adequadas à condição de clima durante a aplicação, ratificando as conclusões obtidas por Balan *et al.* (2008) e Teske *et al.* (2011). Alguns agricultores têm realizado a pulverização no período noturno, como uma alternativa para reduzir o efeito das condições meteorológicas na aplicação de agrotóxicos.

O déficit de pressão de vapor d'água no ar afetou o diâmetro da mediana volumétrica em todas as pressões e alturas estudadas. A interação entre a pressão de trabalho e o déficit de pressão de vapor foi significativa nas três alturas estudadas (Quadro 2).

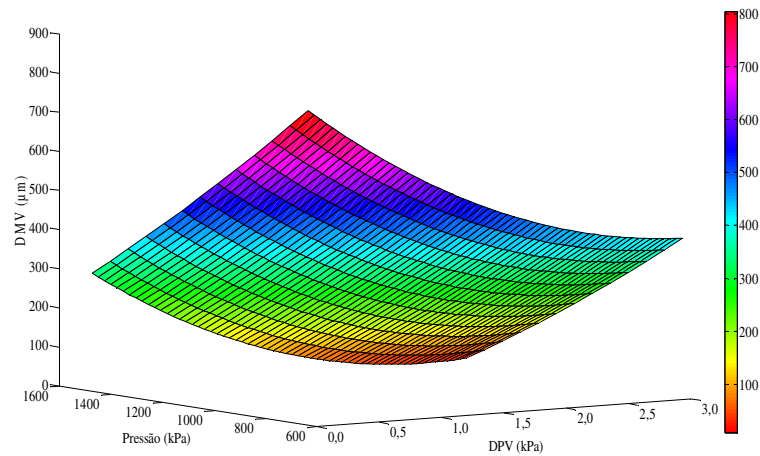
Quadro 2. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor no diâmetro da mediana volumétrica

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	61292,79	237,46	85,25
Pressão (A)	12	79651,42 <sup>ns</sup>	121654,87*	66243,78*
DPV (B)	2	570313,92*	231164,38*	28912,33*
A x B	24	160161,82*	1856,20*	651,05*
Resíduo	76	106754,71	316,83	54,90
C.V. (%)		42,67	5,00	2,86

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na altura de 0,5 metros do solo, o coeficiente de determinação e a significância do modelo foram reduzidos, deste modo, não foram apresentados. Na altura de 1,5 metros, observou-se que o aumento da pressão de trabalho de 633 para 1.477 kPa, aumentou o tamanho das gotas e, quando o déficit de pressão de vapor d'água no ar passou de 0,76 para 1,76 kPa as gotas reduziram de 442 para 328  $\mu\text{m}$  e, para o intervalo de déficit de pressão de 1,76 para 2,63 kPa, o tamanho das gotas passou de 328 para 296  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Na altura de 2,5 metros do nível do solo foi constatado que o tamanho das gotas reduziu de 287 para 254  $\mu\text{m}$  quando o déficit foi de 0,76 para 1,76 kPa e de 254 para 234  $\mu\text{m}$  quando o déficit de pressão de vapor d'água no ar variou de 1,76 a 2,63 kPa, respectivamente (Figura 2 e 3).

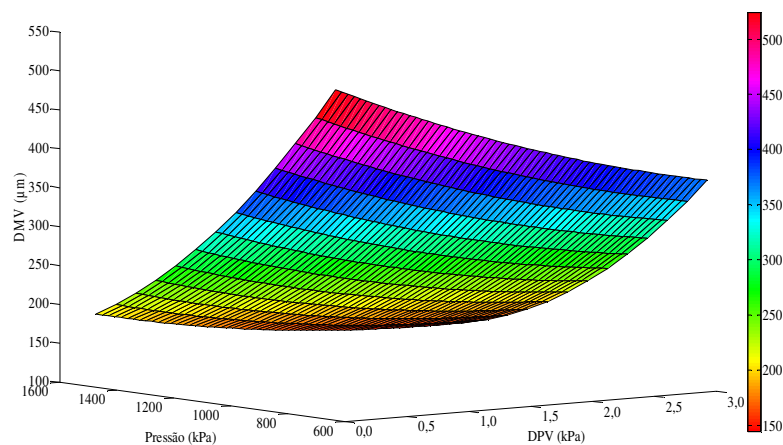
$$DMV = 1257,98267 - 0,7651^* P - 283,33484^* DPV + 0,04312^* (P * DPV) + 0,00007885^* P^2 + 41,15385^* DPV^2; R^2 = 0,9643$$



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 2. Diâmetro da mediana volumétrica, produzido pela ponta JA-2, para o alvo posicionado na altura de 1,5 metros de acordo com o déficit de pressão de vapor d'água no ar e pressão de trabalho.

$$DMV = 977,03980 - 0,85329^* P - 98,82447^* DPV + 0,04204^* (P * DPV) + 0,00021838^* P^2 + 6,88462^* DPV^2; R^2 = 0,9841$$



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 3. Diâmetro da mediana volumétrica, produzido pela ponta JA-2, para o alvo posicionado na altura de 2,5 metros de acordo com o déficit de pressão de vapor d'água no ar e pressão de trabalho.

As consequências da evaporação da calda contendo ingrediente ativo tóxico ainda são pouco conhecidas para as condições do Brasil. Porém, sabe-se que as moléculas do agrotóxico podem retornar à superfície do solo com a água das chuvas, causando intoxicações em culturas, animais e seres humanos. A maneira correta de quantificar estas perdas ainda necessita de aperfeiçoamento, pois há que se contabilizarem os efeitos imediatos que a evaporação do

ingrediente ativo tem em populações de insetos benéficos, intoxicações agudas em seres humanos, *etc.* As gotas de maior tamanho apresentam maior tempo de vida até o alvo e, possivelmente, podem penetrá-lo antes de evaporarem, corroborando os resultados obtidos por Yan *et al.* (2010), Gil *et al.* (2008) e Xu *et al.* (2010), que estudaram o efeito da temperatura e umidade relativa no tamanho das gotas.

Na altura de 0,5 metros, o coeficiente de homogeneidade das gotas foi influenciado pela pressão de trabalho. Na altura de 1,5 metros, a interação entre a pressão de trabalho e o déficit de pressão de vapor d'água no ar foi significativa. Já na altura de 2,5 metros, nenhum dos fatores apresentou efeito significativo sobre este parâmetro (Quadro 4).

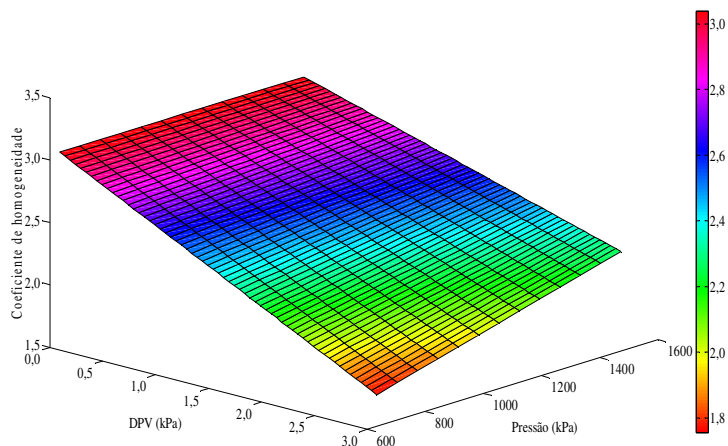
Quadro 4. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor no coeficiente de homogeneidade das gotas

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	365,13	0,046	0,34
Pressão (A)	12	377,47 <sup>*</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
DPV (B)	2	938,51 <sup>ns</sup>	4,54 <sup>*</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
A x B	24	292,23 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>*</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
Resíduo	76	232,30	0,28	0,58
C.V. (%)		95,22	22,55	28,95

<sup>\*</sup>Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O coeficiente de homogeneidade (CH) das gotas, no alvo localizado a 0,5 metros do solo, apresentou valores de coeficiente de determinação e significância reduzido e os modelos não justificariam sua apresentação. Na altura de 1,5 metros o CH reduziu de 2,7 para 2,3 quando o déficit de pressão de vapor passou de 0,76 para 1,76 kPa e de 2,3 para 2,1 quando o déficit de pressão de vapor passou de 1,76 para 2,63 kPa, respectivamente. (Figura 4).

$$CH = 3,04017 - 0,56475^* DPV + 0,00021574^* (P * DPV); R^2 = 0,2340$$



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 4. Coeficiente de homogeneidade das gotas produzida pela ponta JA-2, para o alvo posicionado na altura de 1,5 metros.

O coeficiente de homogeneidade aumentou nas pressões em que o diâmetro das gotas foi reduzido em função do aumento da evaporação. Este parâmetro é variável com o tipo de ponta utilizada, geralmente, para as pontas de jato cônico, o intervalo varia de 1,8 a 5,0, segundo Marques (1994) e Teixeira (2010). Os resultados demonstraram que o coeficiente de homogeneidade é mais influenciado pela pressão de trabalho do que pelo déficit de pressão de vapor.

A percentagem de cobertura do alvo apresentou efeito significativo da interação pressão *versus* déficit de pressão para as três alturas analisadas, demonstrando que este parâmetro é muito afetado pelas condições meteorológicas e pela pressão de trabalho (Quadro 5).

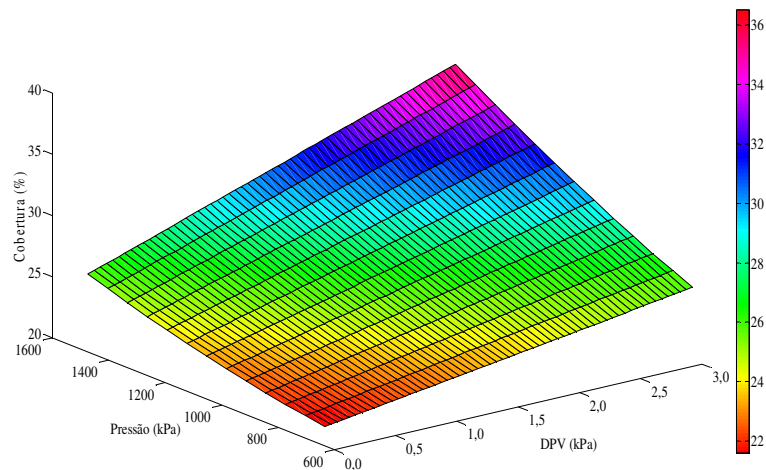
Quadro 5. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor na percentagem de cobertura do alvo

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	552,93	29,39	11,90
Pressão (A)	12	785,28*	187,13*	31,01 <sup>ns</sup>
DPV (B)	2	5788,85*	402,57*	66,72*
A x B	24	558,36*	170,40*	47,84*
Resíduo	76	237,01	23,893	19,888
C.V. (%)		28,70	17,13	

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na altura de 0,5 metros, a percentagem de cobertura apresentou um coeficiente de determinação desprezível, sendo por isso suprimidos dos resultados. O coalescimento das gotas foi fundamental para os valores de cobertura. Na altura de 1,5 metros foi observado que a cobertura variou de 27 para 26% com o incremento do déficit de pressão de vapor de 0,76 para 2,63 kPa e de 23 para 38% quando a pressão de trabalho passou de 633 para 1.477 kPa (Figura 5).

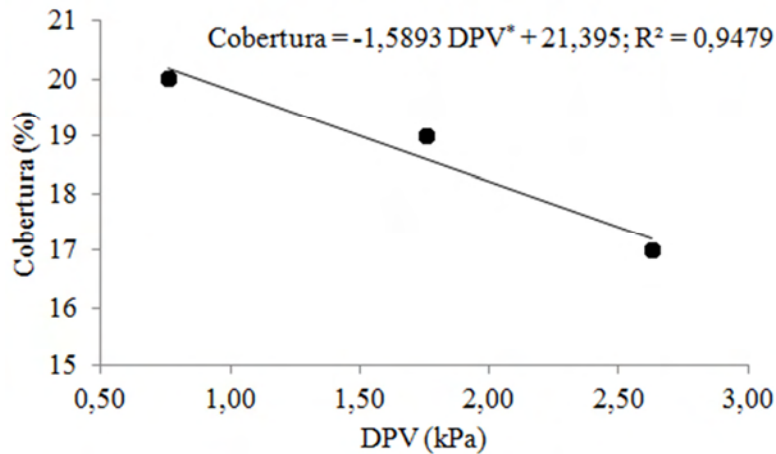
$$\% \text{ Cob.} = 20,52092 + 0,00229^* (P * \text{DPV}) + 0,00000270^* P^2; R^2 = 0,1483$$



\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 5. Percentagem de cobertura do alvo pelas gotas produzidas pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.

Já na altura de 2,5 metros do nível do solo, apesar da interação ser significativa, o déficit de pressão de vapor foi o único fator que apresentou influência significativa sobre a percentagem de cobertura. Sendo observado que o aumento do déficit de pressão de vapor de 0,76, 1,76 e 2,63 kPa reduziu para 20, 19 e 17%, respectivamente, a percentagem de cobertura do alvo, esse resultado é consequência da evaporação e extinção de algumas gotas. Para as etiquetas posicionadas a 2,5 metros de altura a distância entre a barra de pulverização e o alvo aumentou, deste modo, as gotas que alcançaram os alvos foram aquelas de maior tamanho e, a cobertura do alvo é inversamente proporcional ao tamanho das gotas (Figura 6).



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 6. Percentagem de cobertura do alvo pelas gotas produzidas pela ponta JA-2, na altura de 2,5 metros.

A utilização de produtos de contato exige que a cobertura seja a maior possível, desde que não haja escorrimento, visto que há necessidade de o ingrediente ativo entrar em contato direto com o alvo biológico. Para produtos sistêmicos, apesar de importante, a cobertura pode ser menor devido ao potencial de translocação do produto na planta. O máximo percentual de cobertura, na altura de 1,5 metros, foi de 33%. Esse valor foi próximo ao indicado por Minguela e Cunha (2010) que afirmam que coberturas entre 20 e 30% é suficiente para a maioria dos tratamentos.

Na altura de 0,5 metros, não houve efeito dos fatores na densidade de gotas. Na altura de 1,5 metros do solo o modelo ajustado apresentou um coeficiente de determinação muito pequeno, deste modo, seu gráfico foi suprimido. Já na altura de 2,5 metros do nível do solo, a interação entre a pressão de trabalho e o déficit de pressão de vapor apresentou efeito significativo (Quadro 6).

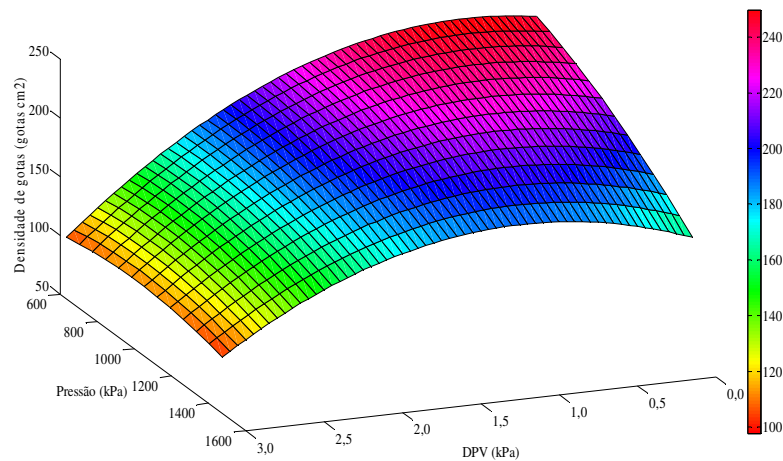
Quadro 6. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor na densidade de gotas

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	41086,47	1132,44	608,48
Pressão (A)	12	30271,64 <sup>ns</sup>	5817,33*	7050,01*
DPV (B)	2	474381,26 <sup>ns</sup>	22245,75*	132005,56*
A x B	24	31100,04 <sup>ns</sup>	6281,62*	4094,96*
Resíduo	76	25758,50	868,02	438,12
C.V. (%)		60,43	16,73	12,37

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação à densidade de gotas para alvos posicionados a 2,5 metros do nível do solo, observou-se que com a elevação da pressão de trabalho de 633 para 1.477 kPa a densidade de gotas foi de 144 para 178 gotas cm<sup>2</sup>. Em relação ao déficit de pressão de vapor, a população de gotas reduziu de 215 para 189 gotas cm<sup>2</sup> com o aumento do déficit de 0,76 para 1,76 kPa e de 189 para 104 gotas cm<sup>2</sup> quando o déficit de pressão de vapor foi de 1,76 para 2,63 kPa, respectivamente (Figura 7).

$$Y = 265,12323 + 0,03423^* (P * DPV) - 0,00005124^* P^2 - 23,05370^* DPV^2; R^2 = 0,5807$$



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 7. Densidade de gotas produzidas pela ponta JA-2, na altura de 2,5 metros.

A população de gotas obtida foi considerada satisfatória para qualquer tratamento fitossanitário praticado na agricultura, pois foi bastante elevada atendendo com qualidade as pulverizações para controle fitossanitário. Este é um dos parâmetros mais confiáveis, quando obtidos a partir da análise de alvos artificiais. A menor densidade de gotas foi 105 gotas cm<sup>-2</sup> e, segundo Barthelemy *et al.* (1990), essa quantidade é suficiente para o controle de insetos e patógenos.

Em relação ao parâmetro  $Dv_{0,1}$  nas três alturas analisadas, houve efeito significativo da interação entre a pressão de trabalho e o déficit de pressão de vapor (Quadro 7).

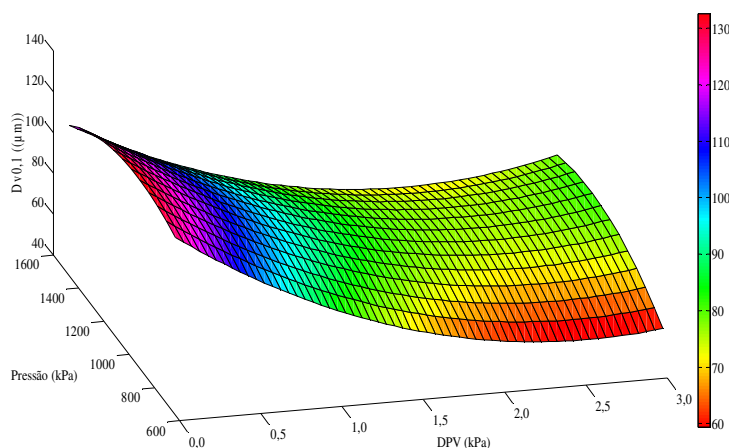
Quadro 7. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor no  $Dv_{0,1}$

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	21670,02	110,41	6,70
Pressão (A)	12	6921,95 <sup>ns</sup>	250,00*	57,48*
DPV (B)	2	106362,64*	3028,26*	3860,88*
A x B	24	8012,36*	177,98*	74,78*
Resíduo	76	11902,57	45,99	44,54
C.V. (%)		65,28	8,52	8,62

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na altura de 0,5 e 2,5 metros, observou-se um coeficiente de determinação muito pequeno, não justificando a apresentação do seu gráfico. Na altura de 1,5 metros, constatou-se uma redução de 89 para 73  $\mu\text{m}$  no tamanho das gotas com o aumento do déficit de pressão de vapor de 0,76 para 1,76 kPa e, um aumento de 73 para 77  $\mu\text{m}$  quando o déficit foi de 1,76 para 2,63 kPa (Figura 8).

$$Dv_{0,1} = 78,76713 + 0,11606^* P - 60,72476^* DPV + 0,01186^* (P * DPV) - 0,00006257^* P^2 + 10,44872^* DPV^2; R^2 = 0,5297$$



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 8. Tamanho de gotas ( $Dv_{0,1}$ ) produzido pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.

O déficit de pressão provocou a evaporação e a extinção de um grande percentual das gotas que compunham este parâmetro. Os resultados evidenciaram que a evaporação das gotas pequenas no déficit de pressão de 1,76 kPa foi maior que no déficit de 0,76 e 2,63 kPa. Observou-se no déficit de pressão de 2,63 kPa que o  $Dv_{0,1}$  reduziu em relação ao de 1,76 kPa.

O  $Dv_{0,9}$  foi significativo para a interação entre a pressão de trabalho e o déficit de pressão de vapor nas três alturas estudadas (Quadro 8).

Quadro 8. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor no  $Dv_{0,9}$

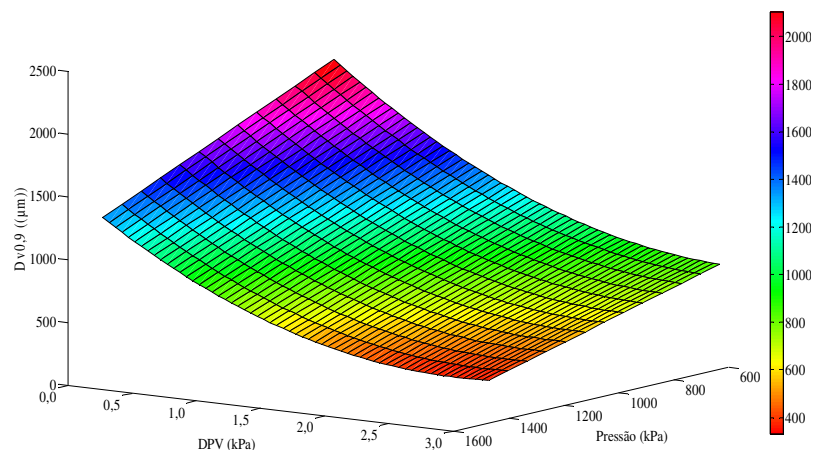
F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	1264551,50	2823,29	582,25
Pressão (A)	12	1014687,54*	364378,64*	255824,57*
DPV (B)	2	4996511,03*	2501853,95*	14804,84*
A x B	24	969014,16*	19661,91*	3154,95*
Resíduo	76	561601,40	2765,51	2237,56
C.V. (%)		40,42	6,67	8,25

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para os alvos posicionados a 0,5 metros do nível do solo, observou-se um coeficiente de determinação desprezível e por isso não se apresentou o gráfico. Na altura de 1,5 metros, houve uma redução 1072 para 706  $\mu\text{m}$ , quando o déficit de pressão de vapor foi de 0,76 para 1,76 kPa e de 706 para 587  $\mu\text{m}$  quando o déficit de pressão foi de 1,76 para 2,63 kPa e, já quando a pressão de trabalho foi de 633 para 1.477 kPa, houve uma redução de 1094 para 473  $\mu\text{m}$  no tamanho das gotas que representam o parâmetro  $Dv_{0,9}$  (Figura 9).

$$Dv_{0,9} = 2730,82658 - 0,98970^* P - 877,63850^* DPV + 0,13227^* (P * DPV) + 123,78205^* DPV^2;$$

$$R^2 = 0,9296$$

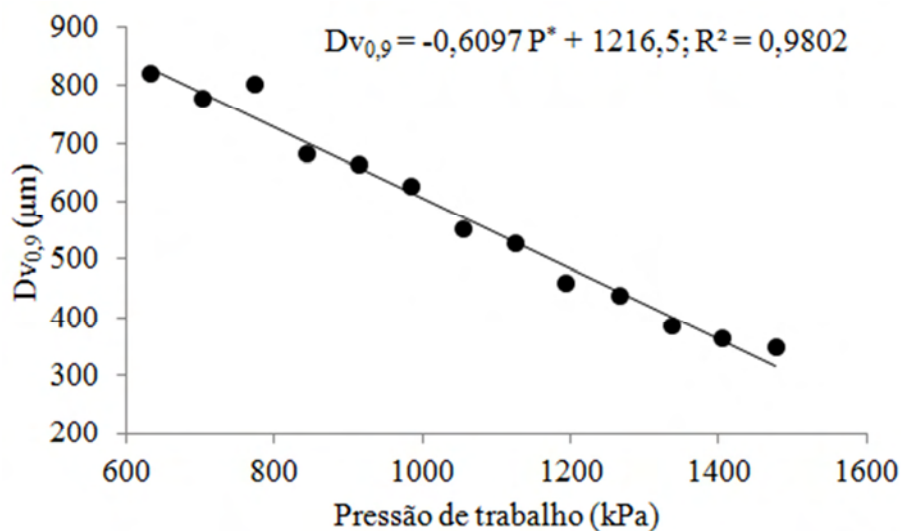


\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 9. Tamanho de gotas ( $Dv_{0,9}$ ) produzido pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.

Observou-se que o aumento do déficit de pressão e da pressão de trabalho reduziram o  $Dv_{0,9}$ . Esse comportamento foi observado, de modo semelhante, para o parâmetro  $Dv_{0,1}$ , na altura de 1,5 metros. A evaporação ocorrida nestes parâmetros do espectro refletiu na redução da amplitude relativa, sendo considerada prejudicial para o meio ambiente, pois parte da calda em uma pulverização utilizando agrotóxicos não atinge o alvo, ocasionando perdas das substâncias, causando danos decorrentes difíceis de serem mensurados.

Na altura de 2,5 metros, apenas a pressão de trabalho contribuiu para a redução de 820 para 350  $\mu\text{m}$  no tamanho das gotas. O déficit de pressão de vapor não contribuiu significativamente para o  $Dv_{0,9}$ , sendo descartado do modelo que representou o comportamento dos dados (Figura 10).



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 10. Tamanho de gotas ( $Dv_{0,9}$ ) produzido pela ponta JA-2, na altura de 2,5 metros.

O comportamento do  $Dv_{0,9}$ , nas diferentes alturas, seguiu uma tendência semelhante àquela obtida para o  $Dv_{0,5}$  e o  $Dv_{0,1}$ . Observou-se efeito do déficit de pressão no tamanho da gota para todas as alturas estudadas. Os parâmetros  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$  são pouco discutidos nos trabalhos sobre tecnologia de aplicação de agrotóxicos no Brasil, podendo ainda ser bastante discutido seus efeitos na eficácia dos tratamentos fitossanitários.

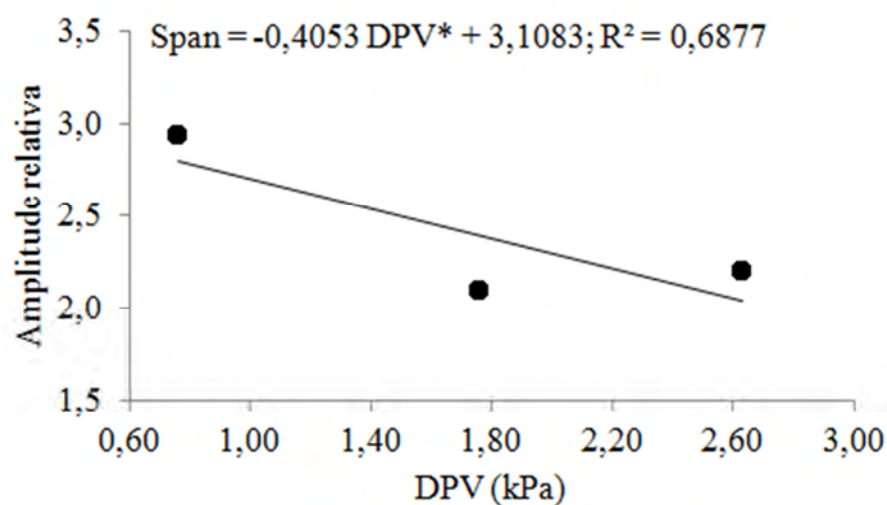
Na altura de 0,5 metros, o Span teve efeito significativo, exclusivamente, do déficit de pressão de vapor. Na altura de 1,5 e 2,5 metros, a interação entre déficit de pressão de vapor e pressão de trabalho apresentou efeito significativo para a amplitude relativa (Quadro 9).

Quadro 9. Resumo da análise de variância dos efeitos da pressão de trabalho e do déficit de pressão de vapor na amplitude relativa do espectro de gotas

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Alturas (m)		
		0,5	1,5	2,5
Bloco	2	3,555213	0,030000	0,012649
Pressão (A)	12	1,585484 <sup>ns</sup>	0,120669*	0,110826*
DPV (B)	2	7,491367*	2,543333*	1,583162*
A x B	24	2,106274 <sup>ns</sup>	0,141759*	0,098625*
Resíduo	76	1,881968	0,038947	0,044053
C.V. (%)		58,11	9,89	10,92

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O Span na altura de 0,5 metros do solo apresentou uma redução de 2,9 para 2,1 quando o déficit de pressão foi de 0,76 para 1,76 kPa, para depois apresentar um aumento de 2,1 para 2,2 quando o déficit foi de 1,76 para 2,63 kPa. De modo geral, contudo, a amplitude relativa nos alvos posicionados a 0,5 metros apresentou redução com o aumento do déficit de pressão (Figura 11).

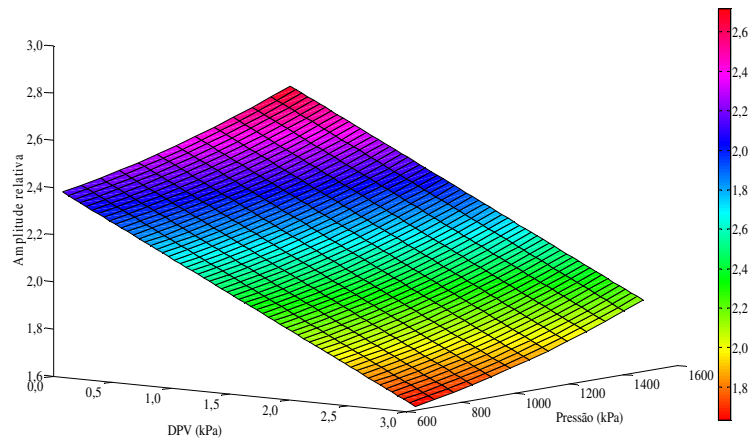


\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 11. Amplitude relativa do espectro de gotas produzido pela ponta JA-2, na altura de 0,5 metros.

A amplitude relativa reduziu de 2,3 para 1,8 com o aumento do déficit de pressão de vapor de 0,76 para 2,63 kPa e, aumentou de 1,8 para 2,2 com o acréscimo da pressão de trabalho de 633 para 1.477 kPa, na altura de 1,5 metros do solo (Figura 12).

$$\text{Span} = 2,30870 - 0,25256^* \text{DPV} + 0,0000001618583^* \text{P}^2; R^2 = 0,4577$$



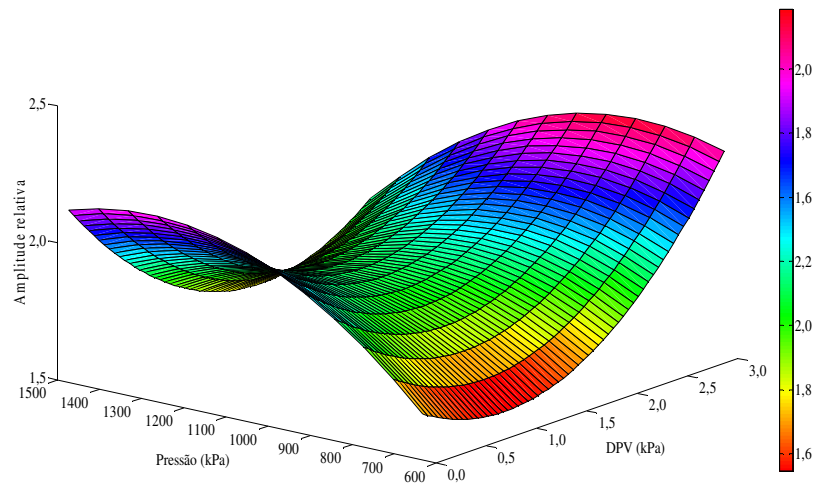
\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 12. Amplitude relativa do espectro de gotas produzido pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.

A amplitude relativa da população de gotas na altura de 1,5 metros do alvo, em relação ao nível do solo, indicou que todo o espectro de gotas foi influenciado pelas condições psicrométricas durante a realização da pulverização. Foi constatado que maiores déficits de pressão de vapor e pressão de trabalho por promoverem a redução no tamanho das gotas, em decorrência da evaporação e do aumento da própria pressão, alteram a amplitude de gotas.

Na altura de 2,5 metros, observou-se um comportamento diferente em relação à de 1,5 metros. O Span aumentou de 1,8 para 2,2 entre o intervalo de déficit de 0,76 para 2,63 kPa. A pressão de trabalho promoveu um aumento máximo de 1,8 para 2,0 na amplitude relativa quando foi de 633 para 1.125 kPa (Figura 13).

$$\text{Span} = 0,17261 + 0,00314 * P - 0,00036473 * (P * \text{DPV}) - 0,00000123 * P^2 + 0,14119 * \text{DPV}^2; R^2 = 0,4607$$



\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 13. Amplitude relativa do espectro de gotas produzido pela ponta JA-2, na altura de 2,5 metros.

O Span é dependente do  $Dv_{0,1}$ ,  $Dv_{0,5}$  e  $Dv_{0,9}$ , sendo os valores apresentados semelhantes aos obtidos em ensaios realizados por Mota (2011). Os resultados representaram o efeito da evaporação das gotas, pois uma grande parte foi extinta, o que afetou a amplitude do espectro de gotas. Resultados de Span menores foram obtidos por Lenz *et al.* (2011), Cunha *et al.* (2011) e Miranda (2009), utilizando pontas hidráulicas, obtendo valores abaixo de um, que são obtidos em pulverizações com espectro bastante homogêneo. Entretanto, segundo Minguela e Cunha (2010), a amplitude relativa de uma população de gotas pode ser considerada satisfatória quando é menor que 1,4.

De acordo com os resultados obtidos, a pulverização de agrotóxicos realizada sem critérios, acarreta danos incalculáveis ao meio ambiente, consumidores e operadores. O conhecimento do efeito das condições meteorológicas auxilia na tomada de decisão em relação ao melhor momento para a pulverização. Entretanto, quando não for possível pulverizar em condições satisfatórias, a seleção correta da ponta é a alternativa mais viável para reduzir a evaporação e a deriva de gotas.

## Conclusões

O aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar de zero para três quilopascas afetou os parâmetros da pulverização cobertura, densidade de gotas, amplitude relativa, e reduziu o tamanho de gotas.

A percentagem de cobertura do alvo teve um aumento de 26 para 38% com o incremento do déficit de pressão de vapor d'água no ar de 0,76 para 2,63 kPa e da pressão de trabalho de 633 para 1.477 kPa.

A densidade de gotas aumentou com a pressão de trabalho e, reduziu com o déficit de pressão de vapor d'água no ar.

O Span foi maior com o aumento da pressão de trabalho e, menor com o aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar.

## Referências Bibliográficas

ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G. **Adjuvantes de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.

ASAE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. In: ASAE Standards. St. Joseph, 2000. p.389-91.

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

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

BESKOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA, D. C. M. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média vazão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 221-228, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; FARNESE, A. C.; OLIVET, J. J.; VILLALBA, J. Deposição de calda pulverizada na cultura da soja promovida pela aplicação aérea e terrestre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2011.

DA COSTA, M. A. F.; CORRÊA, H. G.; DA COSTA, T. R.; GIOLO, S. R.; DEMÉTRIO, C. G. B. Perdas por evaporação de calda em pulverização para o controle de mosquitos vetores. In: Simpósio internacional de tecnologia de aplicação de agrotóxicos: Eficiência, economia e preservação da saúde humana e do ambiente, 2., 2001, Jundiaí, SP. **Anais...** Jundiaí: IAC –

Centro de Mecanização e Automação Agrícola, 2001. Disponível em:  
<<http://www.iac.sp.gov.br>> acesso em 05 de outubro de 2011.

GIL, Y.; SINFORT, C.; GUILLAUME, S.; BRUNET, Y.; PALAGOS, B. Influence of micrometeorological factors on pesticide loss to the air during vine spraying: Data analysis with statistical and fuzzy inference models. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 100, n. 2, p. 184-197, 2008.

JEON, H. Y.; ZHU, H.; DERKSEN, R.; OZKAN, E.; KRAUSE, C. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p. 213-221, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia como un estudio de los climas de tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

LENZ, G.; BALARDIN, R. S.; MINUZZI, S. G.; TORMEN, N. R.; MARQUES, L. N. Espectro de gotas e idade de trifólios na taxa de absorção e efeito residual de fungicidas em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1702-1708, 2011.

LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J.; ESCOLÀ, A. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. **Crop Protection**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 239-248, 2010.

MARQUES, L. **Aplicaciones en cultivos bajos y hortícolas: problemática y soluciones: curso de aplicación ecocompatible de productos fitosanitarios**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, ES. 1994. 28p.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010. 588p.

MIRANDA, G. R. B. Distribuição de inseticidas em frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e eficiência no controle da broca-do-cafeeiro (*Hypothenemus hampei* F.). 2009. 143 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009.

MOTA, A. A. B. Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvantes. 2011. 74 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011.

PEREIRA, F. J. S. Sistema de comutação de pontas na barra de pulverização para ajuste do tamanho de gotas às condições climáticas e aplicação em taxas variáveis. 2006. 125 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2006.

RAETANO, C. G. **Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. 279p.

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

TEIXEIRA, M. M. **Estudio de la población de gotas de pulverización**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196 p. Cap. 5.

TESKE, M. E.; THISTLE, H. W.; LONDERGAN, R. J. Modification of droplet evaporation in the simulation of fine droplet motion using AGDISP. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 417-421, 2011.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, **Zeitschrift Geophysic**, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

VIEIRA, L. **Meteorologia e climatologia agrícola: notas de aula**. 2009. Disponível em: <<http://www.dea.uem.br/disciplinas/meteorologia/meteorologiaagricola.pdf>>. Acesso em 18 de setembro de 2011.

VILLALBA, J; HETZ, E. **Deriva de produtos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196p. Cap. 3.

WAN ISHAK, W. I.; YIN, T. M.; HUDZARI, R. M. Development of a control program for plant growth parameter analysis in lowland tropical greenhouse. **Journal of Applied Sciences**, New York, v. 11, n. 3, p. 592-598, 2011.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 106, n. 4, p. 58-67, 2010.

YAN, H. J.; BAI, G.; HE, J.Q.; LI, Y. J. Model of droplet dynamics and evaporation for sprinkler irrigation. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 106, n. 4, p. 440-447, 2010.

YU, Y.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009a.

YU, Y.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 104, n. 3, p. 324-334, 2009b.

## **Automatização do controle do espectro de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar no pulverizador hidropneumático**

### **Resumo**

O uso de tecnologia embarcada em máquinas agrícolas já acontece há muito tempo. A tecnologia de aplicação de agrotóxicos é uma ciência que apresenta ampla aplicação para a implantação de sistemas automatizados. Sob o ponto de vista social e ambiental, a falta de mão-de-obra especializada, os riscos de contaminação ambiental e a saúde de trabalhadores e consumidores são alguns dos aspectos, que reforçam a necessidade da introdução de sistemas automatizados no controle da pulverização de agrotóxicos. Sob a ótica do produtor, a redução nos custos de produção, a melhoria na qualidade dos serviços, a maior eficiência das máquinas e maior produtividade são fatores que concorrem para a inserção dos sistemas automáticos. Deste modo, objetivou-se com este trabalho desenvolver um sistema automático, para trabalhar embarcado em um conjunto trator-pulverizador hidropneumático, utilizando sensores, servomotor e microcontroladores para controlar os parâmetros da pulverização em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. O sistema para a automatização do pulverizador foi constituído por um sensor de temperatura e umidade relativa, um microcontrolador, um servomotor e um pulverizador hidropneumático acoplado, no laboratório, a um trator John Deere 4x2 TDA e, no campo, a um trator New Holland 4x2 TDA. A pulverização foi realizada em etiquetas de papel hidrossensível dispostas em suportes de madeira em diferentes déficits de pressão de vapor d'água no ar, sendo ajustada manualmente. Posteriormente à digitalização e análise das etiquetas, foram selecionadas às pressões de 633, 844 e 1.055 kPa para serem utilizadas no sistema automatizado. Os resultados indicaram que o sistema automatizado de pulverização foi um sistema robusto, de simples manuseio e de fácil entendimento. A automação facilitou o do operador por meio das instruções no painel do trator, que possibilitaram maior agilidade. O tempo de resposta médio de 25,5 segundos e a repetibilidade da pressão de trabalho foram essenciais para a viabilidade técnica do sistema automatizado.

**Palavras-chave:** Automatização de um pulverizador hidropneumático, controle das condições psicrométricas na aplicação de agrotóxicos, eletrônica embarcada em pulverizadores.

## **Automated system for controlling the droplet spectrum in function of deficit of the water vapor pressure in the air**

### **Abstract**

Using embedded technology in agricultural machinery has already taken place long ago. Technology for application of pesticides is a science that has broadened application for implantation of automated systems. Under social and environmental issues, the lack of skilled labor, risks of environmental contamination and health of workers and consumers are some of the aspects which reinforce the need for introducing automated systems for controlling spraying of pesticides. From the perspective of producer, reduction in production costs, improving service quality, greater efficiency and higher productivity of machines are factors that contribute for the insertion of automated systems. Therefore, the aim of this work was to develop an automatic system for working embedded in a hydro-pneumatic machine spray, using sensors, microcontrollers and servo to control spraying parameters in function of deficit of water vapor pressure in the air. Sprayer automation system was composed by a temperature and moisture sensor, a microcontroller, a servo and a hydro-pneumatic sprayer attached, in laboratory, a John Deere tractor 4x2 TDA and in the field, a New Holland tractor 4x2 TDA. Spraying was carried out in hydro-sensitive paper labels displayed on wood supports arranged on different deficits of water vapor pressure in the air, adjusted manually. After labels scanning and analysis, pressures of 633, 844 and 1.055 kPa were selected for use in automated system. Results indicated that automated spray system was robust, simple to use and easy to understand. Automation facilitated the work and reduced the operator's attention to weather conditions which interfere in spraying, because instructions in the tractor panel allowed greater agility. The average response time of 25,5 seconds and repeatability of work pressure were essential to the technical feasibility of automated system.

**Key-words:** Automation of a hydro- pneumatic sprayer, control of psychometric conditions in pesticides application, sprayers on-board electronics.

## Introdução

Além do atendimento aos mercados consumidores, a produção global de alimentos tem importantes ligações com vários objetivos fundamentais da sociedade, incluindo a redução da desnutrição e da pobreza, melhoria do acesso a uma dieta saudável, melhor gestão e alocação de recursos, maior utilização de energias renováveis e da proteção do clima, dos ecossistemas e da diversidade biológica (SCHNEIDER *et al.*, 2011).

Além disso, a necessidade de aumento da produção agrícola em todo o mundo é crescente, principalmente, com o crescimento da população mundial que, recentemente, alcançou a marca de sete bilhões de pessoas. Desse modo, para atender a demanda, aumenta-se, anualmente, a necessidade de produção em larga escala. Alguns dos maiores problemas da agricultura são as perdas de agrotóxicos para o solo e para o ambiente, a capacitação da mão-de-obra cada vez mais escassa no campo, uso inadequado de agrotóxicos entre outros entraves à produção e a produtividade das lavouras, que tem acarretado grandes prejuízos aos produtores e à sociedade. Por essa razão, há a necessidade de recorrer a tecnologias e métodos para aperfeiçoar o sistema produtivo. Dentre essas tecnologias, uma alternativa é o desenvolvimento de sistemas automatizados para o monitoramento dos fatores meteorológicos que influenciam na eficiência e na eficácia do controle fitossanitário e na qualidade dos produtos agrícolas.

Um exemplo de uso inadequado de agrotóxicos ocorre na produção de tomates. Ferreira *et al.* (2006) demonstraram que 58,6% das amostras provenientes da produção de tomate de mesa no município de Paty do Alferes, Rio de Janeiro, estavam impróprias para o consumo, contendo resíduos do inseticida organofosforado metamidofós e a presença ilegal do organoclorado endosulfan, violando os valores estabelecidos na legislação brasileira de resíduos tóxicos. A situação se torna ainda mais extrema devido à grande escala de comercialização. Segundo Gil *et al.* (2007), todos os anos entre dois e três milhões de toneladas de agrotóxicos são colocadas à venda em todo o mundo, tornando-se uma das principais fontes de poluição atmosférica.

O uso intensivo de agrotóxicos tem gerado crescente preocupação na sociedade, que por sua vez, aumentou a pressão sobre as autoridades de planejamento agrícola e ambiental, exigindo cada vez mais maneiras de dosar a quantidade de agrotóxicos perdida para a atmosfera, a fim de prever a contaminação e os riscos aos trabalhadores, consumidores e animais (GIL *et al.*, 2008; YU *et al.*, 2009). A aplicação de agrotóxicos é tarefa complicada devido ao uso de uma grande diversidade de equipamentos e métodos de pulverização, diferenças entre produtos químicos, diversidade de culturas e hábitos de crescimento, número de insetos e doenças, disparidades na habilidade dos operadores, condições meteorológicas incontroláveis, segurança do trabalhador,

regulamentos e legislações ambientais, volume de calda, tamanho da copa e a relação custo benefício das aplicações de agrotóxicos (XU *et al.*,2010; LLORENS *et al.*,2010; JEON *et al.*, 2011).

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos apresentaram substancial desenvolvimento, permitindo o monitoramento de diversas variáveis em tempo real e com níveis de precisão elevados. Os sensores eletrônicos passaram a apresentar duas características distintas, que são a maior resolução e o menor tamanho. Especificamente, em estudos meteorológicos, os sensores eletrônicos permitem a medição das variáveis em tempo real e a tomada de decisão com relação ao manejo de irrigação, pulverização de agrotóxicos, riscos de incêndios, previsão de geadas, ocorrência de insetos e patógenos, classificação climática, zoneamento agrícola, entre outras aplicações (SOUZA *et al.*, 2003).

Os sistemas de automação são basicamente leitores automáticos de informações, fornecidas pelos sensores por meio de um sinal elétrico, proporcional a variação de grandezas físicas, tais como temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa, e outros (SILVA e MORAES, 2002). O sensor é a parte do sistema automático de medidas, responsável por detectar a variação de determinada grandeza. Entretanto, existem diversos princípios físico-químicos, que podem estar relacionados à diferença no sinal, dentre eles, a variação da resistência elétrica, seja esta devido à luminosidade ou a temperatura.

Segundo Díaz *et al.* (2011), nos últimos anos, as redes de sensores sem fio têm surgido como uma tecnologia promissora na área de sistemas embarcados, sendo compostas de componentes e dispositivos de pequeno porte, normalmente ligados por conexões sem fios, com capacidade de transmitir dados com alta velocidade de processamento. Nesse sentido, a agricultura é um ambiente ideal para aplicar esta tecnologia, devido a sua sensibilidade aos fatores meteorológicos.

A automação nada mais é do que alterar um processo de funcionamento manual para um semi ou totalmente automatizado. Este processo ocorre por completo quando todo um sistema funciona sem a intervenção humana, agindo apenas pelo controle eletrônico e de controladores, utilizando-se para isso elementos sensores, atuadores, sistemas de controle, aquisição de dados e métodos que utilizem os recursos da eletrônica, da mecânica e da informática. Os sistemas automatizados de medida são uma alternativa para suprir a necessidade de monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura e rápida, independente de um observador. Permitem uma grande diversidade na coleta de dados e um maior número de variáveis e de medidas a serem feitas. Desse modo, é possível um melhor monitoramento de tarefas e a obtenção de respostas imediatas sobre as características do ambiente.

De acordo com Saraiva (2006), a eletrônica embarcada na agricultura é representada pelo uso de sensores, atuadores, computadores de bordo, *softwares* e sistemas de informações geográficas via satélite em máquinas agrícolas. Seu objetivo é monitorar a operação das máquinas, realizar algum tipo de controle automático e registrar dados para análise posterior. As vantagens são a melhoria da qualidade da produção, a redução das perdas e desgastes e a ajuda no planejamento do negócio e na proteção ao meio ambiente. Mello e Caimi (2008) afirmam que, atualmente, as soluções existentes para a mecanização e automação de processos têm proporcionado condições favoráveis para melhorar a precisão e a produtividade dos sistemas em que são utilizados e que o setor agrícola tem sido agraciado com expressivos benefícios no uso da computação e das tecnologias de comunicação.

Segundo Silva *et al.* (2007), a maioria dos sistemas de automação necessita de algum tipo de parâmetro que lhe permita avaliar o estado atual do ambiente. Geralmente, essa interface, consiste de sensores que medem características do local, tais como temperatura, umidade relativa do ar, intensidade luminosa, velocidade do vento, entre outros. Dependendo do tipo de sensor, o sistema poderá ter maior ou menor precisão.

Os sistemas de automação permitem monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e automática. O controle visa o monitoramento de tarefas rotineiras e respostas comuns a certas características do ambiente. Segundo Scarlett (2001), a implantação de sistemas de controle para a automação pode gerar um incremento de 15 a 20% na eficiência de operação do trator agrícola. Além da maior eficiência na operação mecânica, a implantação de sistemas de controle pode reduzir o esforço mental do operador, diminuir sua fadiga, reduzir os riscos de acidentes, aumentar o rendimento e a qualidade de trabalho.

Os sistemas automatizados têm surgido como uma alternativa bastante viável para aplicação ao meio agrícola. Não obstante, as respostas desses sistemas às variáveis ainda precisam ser estudadas. O tempo de resposta é um dos fatores mais importantes que definem a eficiência de um equipamento na aplicação de agrotóxicos, com a dosagem correta sobre o local desejado (BAIO, 2001). Os sistemas de controle têm sido cada vez mais utilizados em máquinas e equipamentos agrícolas, sendo comum, encontrar tratores, colhedoras e outros equipamentos agrícolas com diversos sistemas automáticos para controle de tarefas que, tradicionalmente, eram realizadas pelo próprio operador da máquina (UMEZU; CAPPELLI, 2006).

A utilização de sistemas automatizados na agricultura, entretanto, não é recente, tanto que Hubbad *et al.* (1983) afirmaram que o uso da informática na agricultura tinha se mostrado eficiente em atividades que vão desde o controle de pragas até a previsão de enchentes. Os autores ressaltam ainda que há uma imensa gama de sistemas de automação desenvolvidos por

meio de microcontroladores que estão presentes nas mais variadas partes que compõem os implementos agrícolas.

Chueca *et al.* (2008) desenvolveram uma placa eletrônica com um sensor ultrassônico localizado em um suporte reversível a cerca de 0,80 metros das pontas de pulverização. O sistema foi desenvolvido incorporando um microcontrolador como o componente ativo do sistema de controle. O equipamento controlado por sensor foi capaz de trabalhar em diferentes culturas em sistemas de pomares comerciais, incluindo aqueles com sobreposição entre as copas das árvores.

Uma das vantagens dos sistemas automatizados é a redução das perdas de agrotóxicos para o ambiente, na forma de deriva e evaporação. O manuseio incorreto dos produtos é outro agravante. Dentro desse contexto, o Sistema Nacional de Informações Tóxico-farmacológicas (SINITOX) registrou, no ano de 2003, aproximadamente 14 mil casos de intoxicações por agrotóxicos (BOCHNER, 2007). Em 2008, o Brasil assumiu o posto de maior consumidor de agrotóxicos em todo o mundo com movimentação de mercado maior que US\$ 7 bilhões, posição antes ocupada pelos Estados Unidos (ANVISA, 2009a). No Brasil, a segunda causa principal de intoxicação é por agrotóxicos, seguida dos medicamentos. Entretanto, a morte dos intoxicados ocorre com maior incidência entre os que tiveram contato com agrotóxicos (ANVISA, 2009b).

Nesse sentido, a busca por alternativas para reduzir as perdas e os riscos de intoxicações é uma necessidade crescente e, o emprego de tecnologia embarcada ou sistemas de transmissão de dados sem fio estão bastante avançados. Os sistemas automatizados devem fazer a leitura do sinal elétrico do sensor e enviá-la a um *drive* de memória. Desse modo, é fundamental o uso de um microcontrolador para desempenhar este papel. Um microprocessador também é capaz de realizar este procedimento, porém deve ser acoplado a outros componentes. O microcontrolador, por sua vez, foi projetado para ser mais compacto e igualmente eficiente, não exigindo outros componentes externos, uma vez que todos os periféricos estão contidos no microcontrolador, reduzindo tempo e espaço na construção dos dispositivos (MATIC; ANDRIC, 2010). Assim, a vantagem na utilização de microcontroladores é que estes apresentam baixo custo e, por apresentarem um circuito integrado, possuem uma unidade central de processamento capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico e, inúmeros cálculos em um curto espaço de tempo.

Com relação à precisão das leituras, uma alternativa para evitar erros é a utilização de sensores digitais. O sistema digital oferece muitas vantagens em relação ao sistema analógico, pois um sinal digital é menos sensível às interferências eletromagnéticas e, além disso, o

protocolo de comunicação estabelece mecanismos que permitem detectar e corrigir erros de transmissão (SILVA *et al.*, 2007).

A mensuração dos fatores meteorológicos para automatizar equipamentos agrícolas tem sido feita com sensores. De acordo com McGhee *et al.* (1999), os fenômenos básicos que regem o princípio de funcionamento dos sensores de temperatura são a expansão ou contração térmica de líquidos ou sólidos, termoeletricidade, resistividade elétrica e radiação. Para fins de monitoramento automático da temperatura, os sensores mais adequados são os que possuem saídas elétricas (tensão ou corrente) na forma de sinais analógicos ou digitais, pois possibilitam a sua conexão a um sistema de aquisição de dados.

A umidade relativa do ar é, segundo Tubelis e Nascimento (1992) e Delgado *et al.* (2009), a quantidade de água na fase de vapor existente na atmosfera, a qual tem como fontes naturais, as superfícies da água, do gelo e neve e da superfície do solo, além das superfícies vegetais e animais. Todo este vapor pode ser ocasionado por diferentes processos físicos como a evaporação, sublimação e a transpiração. Todavia, a concentração de vapor de água que a atmosfera consegue reter é pequena, chegando a um máximo de 4% em volume, por fim as mudanças de fase da água são acompanhadas pelas trocas de calor latente, que associadas com o transporte de vapor de água pela circulação atmosférica, atuam na distribuição do calor sobre o globo terrestre.

O movimento dos agrotóxicos no ambiente é bastante complexo e envolve processos contínuos de perdas. A preocupação com os riscos dos produtos fitossanitários no ambiente começou quando se registraram os primeiros casos de contaminação de águas potáveis. Estas contaminações podem ser geradas a partir do movimento em diferentes níveis do ciclo hidrológico. Um produto que volatiliza para o ambiente pode migrar para fora da área de tratamento, contaminando cursos de água pela chuva. A combinação de alta temperatura do ar, acima de 30 °C, e baixa umidade relativa, abaixo de 40%, podem apresentar uma influência direta sobre a evaporação das gotas pulverizadas, principalmente em caso de gotas finas. Os fatores mais importantes que afetam as perdas por evaporação na aplicação de agrotóxicos são a capacidade de evaporação da atmosfera, o tamanho das gotas, o tempo que as gotas levam para chegar ao alvo e a distância em relação ao alvo (VILLALBA; HETZ, 2010).

A padronização da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas é um esforço mundial, sendo a norma ISO 11783, o resultado deste esforço. O objetivo da norma é a padronização da interconexão de dispositivos eletrônicos embarcados em máquinas e implementos agrícolas utilizando redes de comunicação serial. A norma é composta por um conjunto de definições, regras e procedimentos que tem por objetivo permitir a conexão e a troca de informações entre

unidades de controle de um trator e os implementos agrícolas, sendo uma tentativa de aplicar o conceito de “*plug and play*” entre as máquinas e implementos agrícolas cada vez mais informatizados.

A biotecnologia e a automação de processos agrícolas tornaram-se elementos fundamentais para a inserção ou manutenção da competitividade comercial no mercado globalizado de países com vocação agrícola. O baixo nível de aplicação dessas tecnologias é sinônimo de exclusão comercial, principalmente para países como o Brasil que apresentam grande potencial para o desenvolvimento da agroindústria e do agronegócio, cujo papel da agricultura na economia tem se tornado tão importante quanto, outras atividades econômicas (FAO, 2011; TECA, 2011).

Diante do exposto, pode-se afirmar que o panorama no Brasil e no mundo indica uma trajetória na qual a agricultura se tornará cada dia mais automatizada nas diferentes etapas de execução do trabalho. A automatização poderá contribuir para elevar a qualidade e o controle das pulverizações, bem como para a sustentabilidade ambiental e econômica do processo produtivo impulsionando o desenvolvimento econômico e social do Brasil.

A aplicação de agrotóxicos deve ser feita nos horários da manhã e final do dia, objetivando reduzir o efeito dos fatores meteorológicos, como temperatura e umidade relativa do ar. Em determinadas situações, os produtores têm um intervalo entre aplicações, bastante pequeno, seja em decorrência de altas infestações de insetos, patógenos ou plantas daninhas, frequência das chuvas, temperaturas elevadas, entre outros aspectos. Nesse sentido, um pulverizador equipado com um sistema de controle para controlar os parâmetros da pulverização de modo automático, considerando as variações meteorológicas irá possibilitar uma melhoria substancial na qualidade das aplicações.

Deste modo, objetivou-se com este trabalho desenvolver um sistema automático para trabalhar embarcado em um pulverizador hidropneumático em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar e, discutir as vantagens do emprego da tecnologia embarcada na tecnologia de aplicação de agrotóxicos.

## **Material e métodos**

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Aplicação de Defensivos agrícolas e em área experimental do Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, situada na latitude 20° 45' S e longitude 42° 52' W. O clima da região é tropical de altitude, com verões chuvosos e invernos secos, sendo classificado como Cwa (KÖPPEN, 1948).

O sistema para a automatização do pulverizador foi constituído por um sensor de temperatura e umidade relativa, um microcontrolador, um servomotor e um pulverizador hidropneumático, marca Hatsuta, modelo SS-420, equipado com uma bomba hidráulica de pistão, modelo S60, e um ventilador axial de 700 milímetros de diâmetro, acoplado no laboratório a um trator John Deere, modelo 5705, com potência nominal de 62,5 kW (85 cv). No ensaio de campo, utilizou-se um trator New Holland, modelo TL75E, com potência de 55,2 kW (75 cv).

A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas por um sensor conjugado modelo Humitter 50Y, fabricado pela Vaisala Inc., em Woburn, MA, USA. Este sensor foi alimentado diretamente pela bateria de 12 V do trator. A escala de medição, em ambiente operacional, para umidade relativa é de 0 a 100%, e uma precisão de  $\pm 3\%$ , e para temperatura é de -40 a 60 °C, com precisão a 20 °C de  $\pm 0,6$  °C (Figura 1). Este sensor também foi utilizado em ambiente externo para monitorar as condições meteorológicas, em lavoura de café (PEZZOPANE *et al.*, 2010).

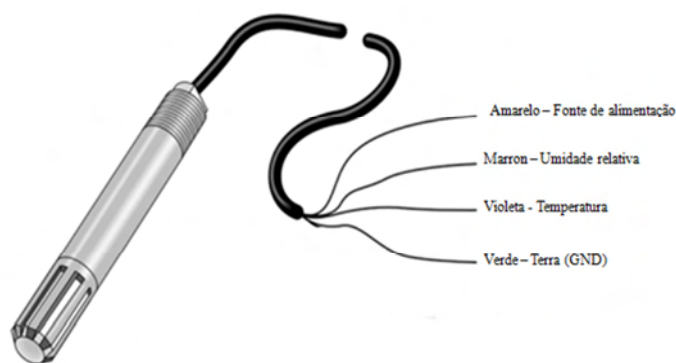


Figura 1. Sensor conjugado de temperatura e umidade Humitter 50Y.

A tensão de funcionamento das entradas e saídas do sensor varia de 7 a 28 Vcc, com uma corrente de dois miliampéres. A temperatura e a umidade relativa correspondem a um sinal de tensão do sensor que após ser convertido com auxílio do microcontrolador, enviou como sinal de saída, a umidade e a temperatura propriamente ditas ao computador (Equação 1 e 2), (VAISALA, 2011).

$$T_{ar} = -40 + 100 \left[ \left( \frac{5}{1023} \right) \text{sinal\_T}_{ar} \right] \quad (1)$$

$$UR = 100 \left[ \left( \frac{5}{1023} \right) \text{sinal\_UR} \right] \quad (2)$$

em que

$T_{ar}$ = temperatura do ar ( $^{\circ}C$ );

UR= umidade relativa do ar (%).

O Arduino Duemilanove é uma placa de microcontrolador com processador da ATMEL, modelo ATmega328, que possui 14 pinos de entrada e saída digital, sendo que seis podem ser usados como saídas analógicas *Pulse-Width Modulation* (PWM) e seis como entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão *Universal Serial Bus* (USB), uma entrada para alimentação e um botão de reset (Figura 2). O Arduino pode ser alimentado pela conexão USB ou por qualquer fonte de alimentação externa com tensão de 6 a 20 volts, que pode ser uma bateria. Entretanto, se a alimentação for inferior a 7 volts, o pino 5 V pode fornecer menos de 5 volts e a placa pode ficar instável. Se a alimentação for superior a 12 volts, o regulador de voltagem pode superaquecer e danificar a placa. Deste modo, a alimentação recomendada é de 7 a 12 volts com corrente contínua de 40 a 50 miliampères.

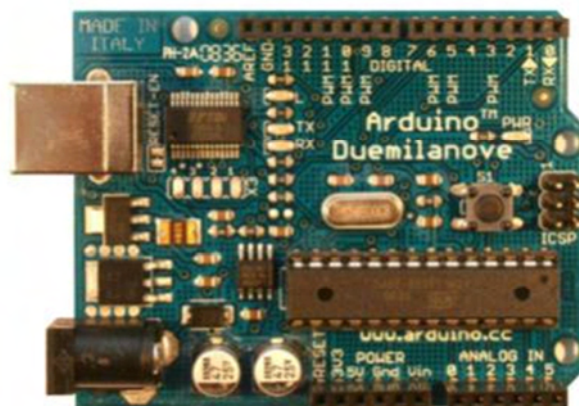


Figura 2. Vista superior de um microcontrolador Arduino Duemilanove.

O Arduino possui um polifusível resetável que protege a porta USB do computador contra sobre corrente e curto circuito. Se mais de 500 mA forem aplicados ele automaticamente irá interromper a conexão até que o curto ou a sobrecarga seja removido (ARDUINO, 2011).

A unidade de processamento foi responsável pelo controle do sistema automatizado. A partir desta unidade, saíram as conexões para os comandos de gerenciamento de todo o sistema de controle da pressão. O microcontrolador processou as informações, provenientes dos sensores de temperatura e umidade relativa, acionando o servomotor. As informações para o funcionamento do registro de pressão foram processadas no microcontrolador e, por meio de um algoritmo implementado em linguagem C++, foi determinado o ângulo de giro do motor para aumentar ou diminuir a pressão de trabalho em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar.

O servomotor atuou como mecanismo controlador da pressão de trabalho e foi alimentado por 7 Vcc. O servomotor utilizado foi um Turnigy modelo S8166M de 154 g com torque de 33 kgf cm<sup>-2</sup>, alimentado por uma bateria de 9 V (Figura 3).

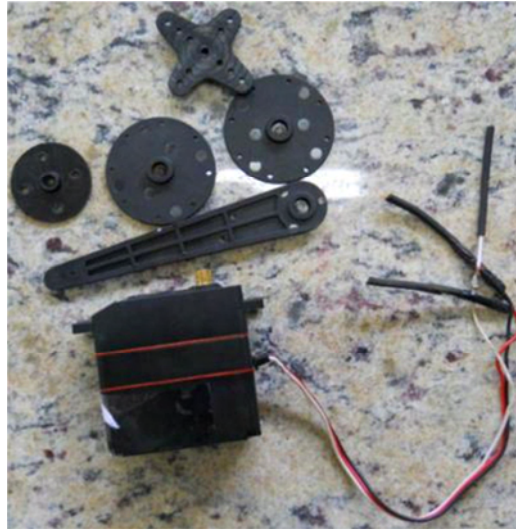


Figura 3. Servomotor e seus componentes.

O sensor juntamente com o microcontrolador foi acondicionado em uma caixa para componentes eletrônicos, constituindo a unidade de processamento (Figura 4).

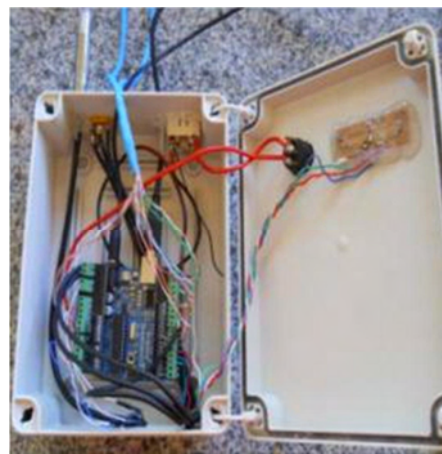
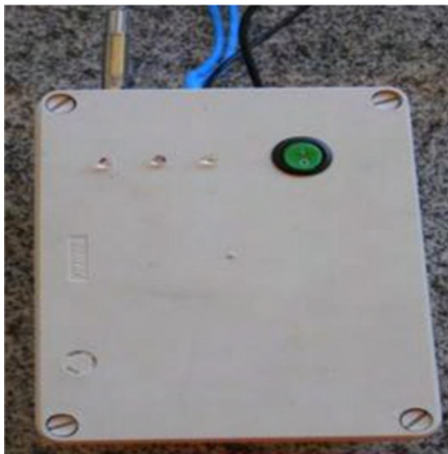


Figura 4. Unidade de processamento de dados.

Posteriormente, todos os componentes foram colocados em um abrigo meteorológico posicionado no trator, juntamente com um computador para armazenamento dos dados (Figura 5). A alimentação do computador foi realizada pela bateria do trator. Para isso, utilizou-se um inversor de corrente, modelo Portawattz 300. Os dispositivos que constituíram o sistema de automação foram ligados utilizando o sistema “*plug and play*”, conforme estabelecido na norma ISO 11783.

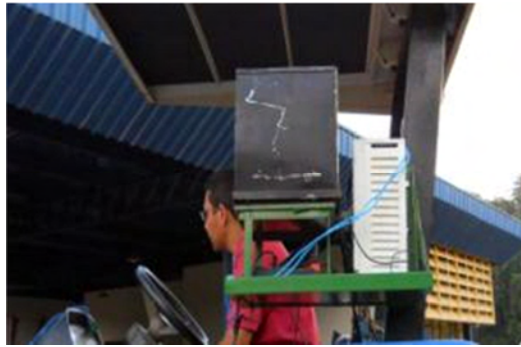


Figura 5. Abrigo meteorológico, contendo microcontrolador e sensor de temperatura e umidade relativa do ar e estrutura para proteção do computador para coleta de dados.

A pulverização foi realizada em etiquetas de papel hidrossensível, dispostas em suportes de madeira em diferentes déficits de pressão de vapor d'água no ar, nas pressões, ajustadas manualmente, de 633, 703, 774, 844, 914, 985, 1.055, 1.125, 1.195, 1.266, 1.336, 1.406 e 1.477 kPa. Posteriormente, as etiquetas foram digitalizadas, analisadas e foram selecionadas as pressões de 633, 844 e 1.055 kPa, para serem utilizadas no sistema automatizado. O sistema de controle e o monitoramento das condições psicrométricas foram montados junto ao trator e a pulverização em etiquetas junto aos suportes de madeira e realizada com o sistema ligado. A pulverização nos suportes de madeira foi realizada na velocidade de  $9 \text{ km h}^{-1}$ , pois nesta foi possível utilizar etiquetas hidrossensíveis para a mensuração do espectro de gotas, sem que houvesse o molhamento total das etiquetas. O experimento foi repetido em um laranjal da variedade Pêra Rio, na pressão de 1.055 kPa, com déficit de pressão de vapor variando entre 0,76 a 0,86 kPa, utilizando o sistema manual e automatizado, na velocidade de  $2,8 \text{ km h}^{-1}$ , sendo pulverizado um volume de calda de  $696 \text{ L ha}^{-1}$ .

Os critérios para a seleção das pressões para automação do pulverizador foram os parâmetros da pulverização obtido nos suportes de madeira e no analisador de partículas a *laser* visando o tratamento fitossanitário. Sendo considerados, para isso, os parâmetros densidade de gotas, diâmetro da mediana volumétrica, percentagem de cobertura,  $Dv_{0,9}$ ,  $Dv_{0,1}$ , coeficiente de homogeneidade e amplitude relativa, com as etiquetas posicionadas nas alturas de 0,5, 1,5 e 2,5 metros do solo nos suportes. Além da deposição da calda segundo a metodologia proposta por Palladini (2000) em três alturas (inferior, mediana e superior), três profundidades na copa (externa, mediana e interna) e quatro posições (norte, sul, leste e oeste), no plano horizontal da planta (Figura 6).

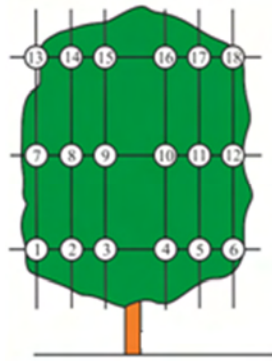


Figura 6. Pontos de posicionamento das etiquetas hidrossensíveis e de coleta de folhas no dossel da planta.

O espectro de gotas foi obtido utilizando um analisador de partículas (Spraytech, Malvern Instruments Co.). Este equipamento apresenta lente focal de 750 milímetros, que se baseia na difração da trajetória da luz ao chocar com as gotas. A pulverização foi feita de modo que o jorro atingisse, transversalmente, o feixe luminoso, permitindo a obtenção direta do espectro de gotas. A ponta foi posicionada a 0,40 metros do feixe óptico. No ensaio, utilizou-se água pura, assim como utilizado por Camara *et al.* (2008) e Cunha *et al.* (2010). O analisador foi calibrado para contabilizar gotas na classe de tamanho de 0,10 a 2.500  $\mu\text{m}$  e, assim, obter um rigoroso espectro de gotas.

A pressão de trabalho foi aferida utilizando-se dois manômetros, um junto à bomba hidráulica e outro na extremidade superior da barra, junto da ponta de pulverização. Inicialmente, o ajuste de pressão foi realizado manualmente (Figura 7). Posteriormente, a fim de verificar o funcionamento do sistema automatizado, analisou-se a repetibilidade da pressão de trabalho nas três pressões selecionadas para automação. Para isso, fizeram-se dez repetições para cada pressão, verificando a precisão da pressão e o desvio-padrão das leituras.

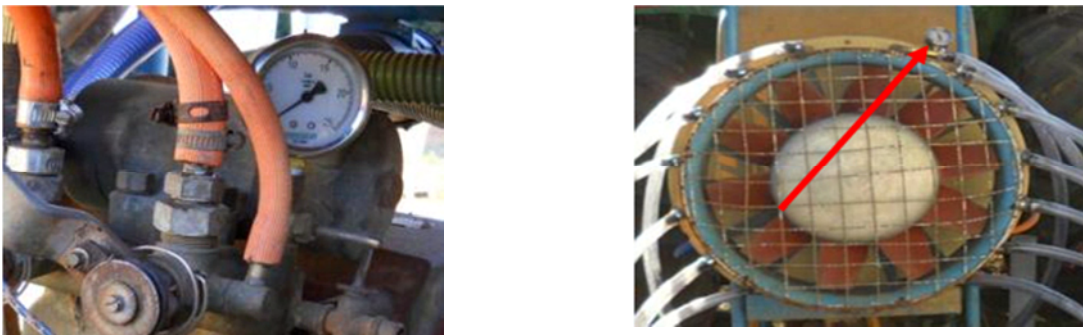


Figura 7. Manômetro posicionado junto à bomba e na extremidade superior da barra.

O manômetro utilizado foi da marca Famabras, classificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como classe B, com fundo de escala de 0 a 2.500 kPa e divisão de

200 kPa. A aferição foi realizada em mesa padrão, utilizando um gerador de pressão hidráulica, constituído de uma bomba de teste equipada com manômetro Salcas, classe A3, com precisão de  $\pm 0,25\%$  e divisão de 10 kPa. As comparações foram realizadas segundo a norma NBR-12446/1992, que estabelece que as comparações sejam realizadas na faixa de 25 a 75% do fundo de escala do manômetro, metodologia também utilizada por Dornelles *et al.* (2011). Entretanto, os resultados foram apresentados para toda a faixa de pressão do manômetro testado.

O tempo de resposta, ou seja, o tempo gasto para que o servomotor deslocasse o registro entre as pressões foi determinado utilizando um cronômetro. O tempo foi medido a partir do momento em que as luzes começavam a piscar até o momento que parava, indicando o movimento completo do servomotor (Figura 8).



Figura 8. Luzes indicando o acionamento do servomotor.

As cores verde, azul e vermelho representavam, respectivamente, as pressões de 633, 844 e 1.055 kPa, selecionadas para diferentes déficits de pressão de vapor d'água no ar. As condições para esta avaliação foram o tempo gasto para o servomotor alterar a pressão de 633 para 844 kPa e de 844 para 633 kPa, bem como o tempo para a pressão ser alterada de 844 para 1.055 kPa e de 1.055 para 844 kPa. Foram realizadas dez repetições em cada condição e o tempo médio foi apresentado, juntamente com o desvio-padrão.

Para alterar o déficit de pressão de vapor d'água no ar, a fim de realizar o teste de repetibilidade da pressão e do tempo de resposta, utilizou-se um aquecedor elétrico da marca Mallory para aumentar a temperatura do ambiente em torno do sensor e conseqüentemente, aumentar o déficit de pressão. O déficit de pressão de vapor foi calculado a partir dos valores de temperatura do ar, utilizados para determinar a pressão de saturação de vapor d'água no ar, proposto por Tetens (1930) (Equação 3).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[ \frac{(7,5 T)}{(237,5+T)} \right]} \quad (3)$$

em que

$e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água (kPa);

T = temperatura do ar ambiente (°C).

A partir da umidade relativa do ar, que é a razão entre a umidade atual e a de saturação, foi possível determinar a pressão parcial de vapor d'água (Equação 4).

$$e_a = \frac{UR e_s}{100} \quad (4)$$

em que

$e_a$  = pressão parcial de vapor d'água (kPa);

UR = umidade relativa do ar, (%).

Posteriormente, utilizando-se a pressão de vapor de saturação e a pressão parcial de vapor d'água, calculou-se o déficit de pressão de vapor d'água, que é a medida da capacidade de evaporação do líquido para o ambiente no instante em que foram realizadas as pulverizações, controlando a abertura e o fechamento do registro de pressão e o retorno da calda para o tanque (Equações 5).

$$DPV = e_s - e_a \quad (5)$$

em que

DPV = déficit de pressão de vapor d'água no ar (kPa).

As pulverizações foram realizadas com ajustes manuais de pressão no dia 03/09/2011 e com o sistema automatizado no dia 11/11/2011, datas que apresentaram as condições de déficit de pressão desejadas. As aplicações foram realizadas em diferentes condições meteorológicas, visando obter uma pulverização com qualidade técnica e segurança do ponto de vista ambiental, com características de boa eficiência de aplicação. Para facilitar a visualização da condição em que se encontrava o sistema, foram adicionados LEDs de diferentes cores, cada um correspondendo a um déficit de pressão (Quadro 1).

Quadro 1. Condições meteorológicas para ocorrer a pulverização

Tratamentos	Déficit de pressão (kPa)	Pressão de trabalho (kPa)	Vazão (L min <sup>-1</sup> )	LEDs
DPV 1	0,0 < DPV < 1,0 ± 0,05	633	0,77	Verde
DPV 2	1,0 < DPV < 2,0 ± 0,05	844	0,85	Azul
DPV 3	2,0 < DPV < 3,0 ± 0,05	1055	0,93	Vermelho

As equações e as condições descritas acima foram escritas na forma de algoritmo e inseridas no microcontrolador para alterar a pressão de modo automático, possibilitando o controle dos parâmetros da pulverização.

Após os testes com etiquetas hidrossensíveis nos suportes de madeira, a fim de facilitar a comunicação com o operador da máquina e a tomada de decisão no campo, foi acoplado junto ao painel do trator uma tela de *Liquid Crystal Display* (LCD) para informar a velocidade de trabalho do trator e o déficit de pressão de vapor, visando manter o volume de calda constante após a alteração da pressão de trabalho (Figura 9). No instante em que as condições meteorológicas apontassem a necessidade de alteração da velocidade, a tela permanecia piscando de modo intermitente por dez segundos com o intuito de alertar para a mudança de marcha. Esta interface de comunicação entre operador e sistema eletrônico teve o objetivo de reduzir a influência da tomada de decisão do aplicador e permitir que sua atenção fosse destinada a outros aspectos da pulverização.

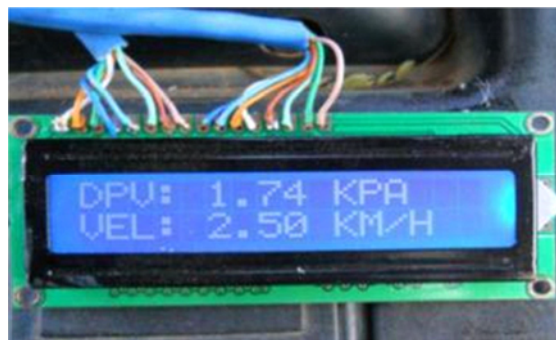


Figura 9. Indicação da velocidade de trabalho e do déficit de pressão de vapor d'água no ar.

O sistema automatizado completo instalado no conjunto trator pulverizador apresentou unidades de controle que foram posicionadas com o objetivo de facilitar o acesso aos dispositivos para possíveis ajustes e manutenções (Figura 10).



Figura 10. Posição dos dispositivos no conjunto trator/pulverizador.

A programação foi elaborada para informar ao responsável pela pulverização todo o funcionamento do pulverizador e das condições psicrométricas. Deste modo, o sensor monitorava ininterruptamente a temperatura e a umidade e, a cada trinta segundos, disponibilizava as informações detalhadas na tela do computador. As variáveis fornecidas foram o número de entradas ou leituras, horário, temperatura do ar, umidade relativa, déficit de pressão de vapor d'água no ar, pressão de trabalho, vazão média das pontas, posição do servomotor em graus e a velocidade de trabalho. Nas condições em que o déficit de pressão de vapor fosse maior que três quilopascals, o LCD permanecia piscando continuamente, para que o operador, nestas condições, pudesse interromper a pulverização. Entretanto, durante o experimento o déficit de pressão não alcançou este patamar.

A velocidade do vento foi monitorada com o auxílio de um anemômetro portátil, Instruterm, modelo AD-250, não embarcado ao trator.

As pulverizações foram realizadas no delineamento de blocos casualizados e os dados foram analisados utilizando o programa SAS 9.2. Para a comparação entre as médias dos sistemas manual e automatizado, utilizou-se o teste F a 5% de probabilidade, com três repetições.

## **Resultados e discussão**

A velocidade do vento durante a realização do ensaio no laboratório foi inferior a  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ , nas pulverizações com ajuste manual e automatizado da pressão. A temperatura no ensaio com ajuste manual variou entre 19 a 31 °C e a umidade relativa do ar entre 37 e 74%. Já no ensaio com o sistema automatizado, as condições foram de temperatura entre 23 a 32 °C e umidade de 43 a 75%.

No campo, na análise no déficit de pressão entre zero e um quilopascal a temperatura média foi de 25 °C, umidade relativa média de 78% e déficit de pressão variando entre 0,76 a 0,86 kPa. Durante todo o experimento, as pulverizações foram realizadas com velocidade do vento abaixo de  $2 \text{ m s}^{-1}$ .

No ensaio realizado no laboratório, as variações psicrométricas durante o dia 08 de setembro de 2011, para o sistema não automatizado, e o dia 11 de novembro de 2011, para o sistema automatizado, possibilitaram a determinação do déficit de pressão de vapor d'água no ar, entre zero e três quilopascals. As condições psicrométricas no dia 11 de novembro de 2011 permitiram a obtenção dos três déficits de pressão de vapor d'água no ar requeridos para a

realização do experimento, com o sistema de automação montado no trator (Figura 11). A variação das condições de temperatura e umidade relativa, ao longo do dia, visando a pulverização de agrotóxicos, também foram estudadas por Balan *et al.* (2008), que observaram durante o dia o mesmo comportamento obtido nesta pesquisa.

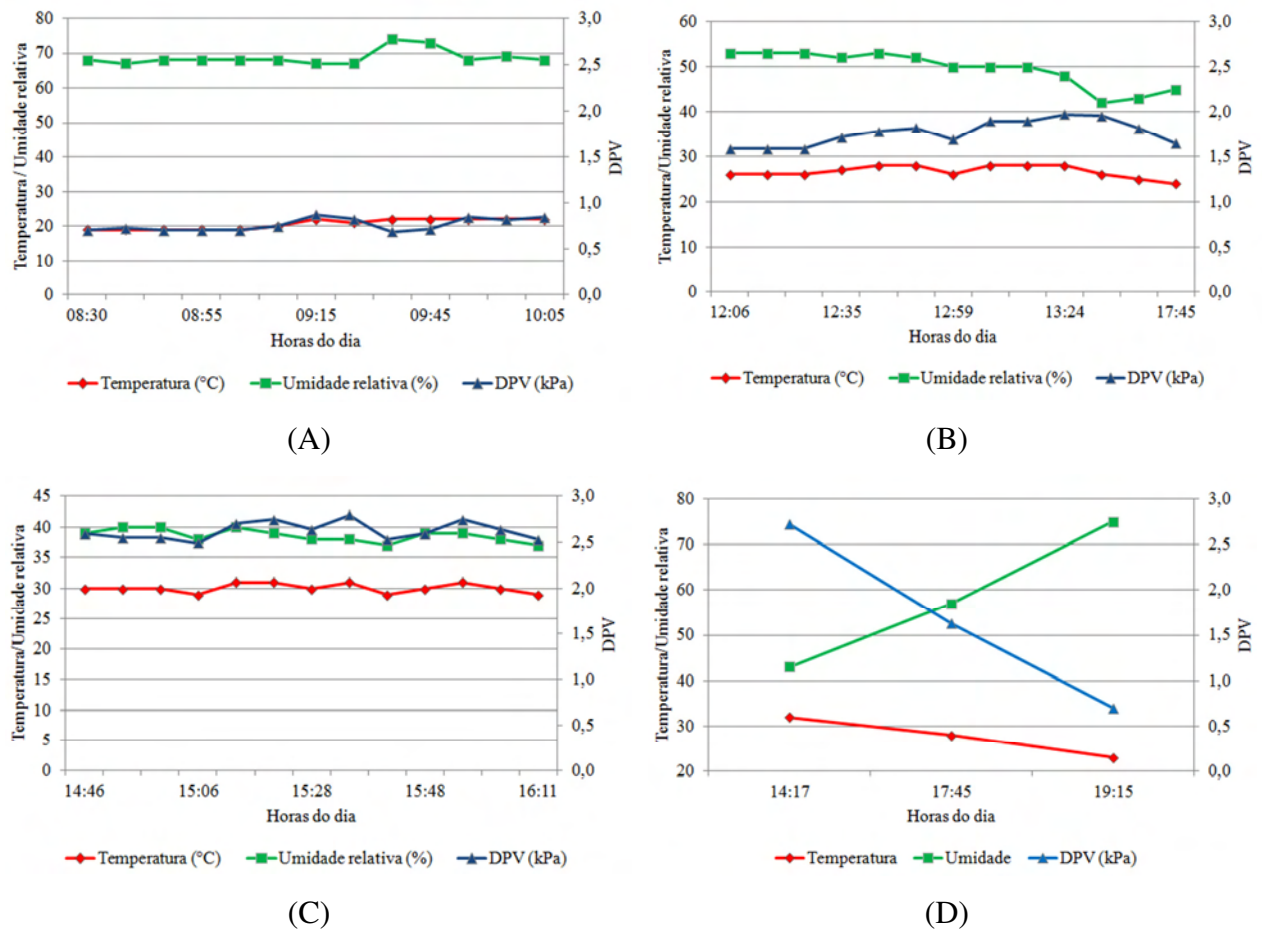


Figura 11. Condições psicrométricas, em Viçosa, Minas Gerais, para o intervalo de déficit de pressão de zero a um quilopascal (A), um a dois quilopascais (B), dois a três quilopascais (C), pulverizado sem automação do sistema e de zero a três quilopascais com sistema automatizado (D).

O período da manhã e final de tarde foi considerado ideal para a pulverização de agrotóxicos, principalmente, para o controle de insetos e patógenos, pela necessidade de serem realizadas pulverizações com gotas pequenas. Neste período, a atenção do aplicador pode estar voltada para fatores como a presença de orvalho, que também é limitante para a pulverização. Deve-se destacar que devido às proporções continentais do Brasil, o momento ideal para pulverizar, considerando as condições psicrométricas, varia com as diferentes regiões produtoras. Diante disso, os profissionais envolvidos com a tecnologia de aplicação têm que utilizar do vasto

portfólio de pontas de pulverização disponível no mercado, como alternativa para obter sucesso no controle fitossanitário.

Seguindo a recomendação, usualmente, adotada para a pulverização de agrotóxicos, o horário ideal nas condições deste experimento seria até às 10h05minutos e a partir das 18h30 minutos, quando o déficit de pressão esteve na faixa de zero a um quilopascal. Ou seja, o agricultor teria um espaço curto de tempo para realizar o controle fitossanitário nas lavouras. As alternativas, frequentemente, adotadas pela maioria dos agricultores para evitar os efeitos das condições meteorológicas, tem sido aumentar o volume de calda. A consequência é o aumento nos custos de produção, maior volume de água gasto, aumento das horas trabalhadas, perdas por escorrimento para o solo e cursos d'água, contaminação de animais, aplicadores e consumidores.

A evaporação é um fenômeno que interfere diretamente na tomada de decisão do agricultor e/ou operador, pois a elevação do volume de calda amplia os danos ambientais causados pelo emprego inadequado das técnicas de pulverização. A maneira mais adequada para reduzir os efeitos da evaporação é a realização das pulverizações nas primeiras horas da manhã ou final da tarde, ratificando as conclusões obtidas por Balan *et al.* (2008) e Teske *et al.* (2011), e a seleção correta das pontas para produzir gotas adequadas à condição de clima durante a pulverização.

Nas condições psicrométricas mais críticas, que são comuns em diversas regiões do Brasil e em diferentes épocas do ano, a pulverização torna-se ainda mais difícil de ser realizada, exigindo maior conhecimento por parte do operador e do técnico responsável. Nestas condições, possivelmente, o momento ideal para realizar a pulverização seja o período da noite. Entretanto, os riscos de acidentes são maiores devido à visibilidade, sendo fundamental a capacitação de operadores e aplicadores.

A ponta JA-2 é indicada para trabalhar na faixa de pressão de 633 a 1.477 kPa, porém, observou-se que, a partir de 1.055 kPa, o efeito da pressão no diâmetro da mediana volumétrica foi pequeno, indicando que a partir de determinada pressão o tamanho de gotas é pouco alterado (Figura 12). O aumento da pressão representa um aumento na vazão, maior custo energético, desgaste de pontas, rompimento de mangueiras, conexões e filtros e pequeno acréscimo no tamanho de gotas.

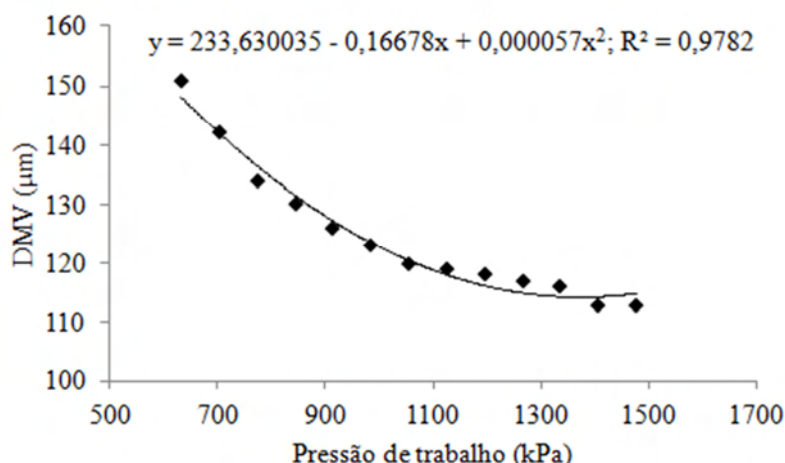


Figura 12. Diâmetro da mediana volumétrica da ponta JA-2 em função das diferentes pressões de trabalho.

A ponta de jato cônico vazio JA-2 produziu um tamanho de gotas que variou, respectivamente, entre 151 a 109 µm, nas pressões de 633 e 1.477 kPa, ou seja, uma redução percentual de 28% no tamanho das gotas. As gotas produzidas por esta ponta são suscetíveis à deriva e à evaporação em condições meteorológicas adversas, por isso a seleção da ponta é tão importante para o sucesso do controle fitossanitário.

Na pressão de 633 kPa, houve efeito significativo do sistema de pulverização apenas nos parâmetros diâmetro da mediana volumétrica,  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$  (Quadro 2).

Quadro 2. Resumo das análises de variâncias para comparação entre os sistemas de pulverização para alvos posicionados aos suportes de madeira na pressão de 633 kPa

F.V.	G. L.	Quadrados médios			
		DMV	C. H.	Cobertura	Pop. Gotas
Bloco	2	5895,50	3,50	22,06	399,39
Sistema	1	39668,06*	8,00 <sup>ns</sup>	338,00 <sup>ns</sup>	249,39 <sup>ns</sup>
Resíduo	14	5319,39	3,07	191,07	3954,24
C. V. (%)		14,48	43,81	43,50	32,80

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		$Dv_{0,9}$	$Dv_{0,1}$	Span
Bloco	2	11792,67	332,17	0,06
Sistema	1	168200,00*	8192,00*	0,02*
Resíduo	14	22471,33	1120,54	0,04
C. V. (%)		19,61	21,14	16,61

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo F.

Observou-se que, para a maioria dos parâmetros, não houve diferenças entre os dois sistemas, porém os parâmetros do tamanho de gotas ( $Dv_{0,1}$ ,  $Dv_{0,5}$  e  $Dv_{0,9}$ ) apresentaram maiores valores no sistema automatizado (Quadro 3).

Quadro 3. Efeito do sistema de aplicação nos parâmetros da pulverização na pressão de 633 kPa

Sistema	DMV ( $\mu\text{m}$ )	C.H.	Cob. (%)	Pop. (gotas $\text{cm}^2$ )	Dv <sub>0,9</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Dv <sub>0,1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Span
Manual	456b	3,3a	27a	188a	667b	137b	1,1a
Automatizado	550a	4,6a	36a	195a	861a	179a	1,2a
C. V. (%)	14,48	43,81	43,50	32,80	19,61	21,14	16,61

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas pressões de 844 e 1.055 kPa, não houve diferença significativa para nenhum dos parâmetros analisados (Quadro 4 e 5).

Quadro 4. Resumo das análises de variâncias para comparação entre os sistemas de pulverização para alvos posicionados aos suportes de madeira na pressão de 844 kPa

F.V.	G. L.	Quadrados médios			
		DMV	C. H.	Cobertura	Pop. Gotas
Bloco	2	4360,67	1,06	69,56	5059,56
Sistema	1	3584,22 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	5,56 <sup>ns</sup>	12534,72 <sup>ns</sup>
Resíduo	14	5445,60	2,35	27,36	8636,93
C. V. (%)		17,07	40,64	21,70	47,65

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Dv <sub>0,9</sub>	Dv <sub>0,1</sub>	Span
Bloco	2	17020,17	165,06	0,12
Sistema	1	11200,06 <sup>ns</sup>	242,00 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Resíduo	14	8114,72	1625,21	0,03
C. V. (%)		14,56	27,95	17,61

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo F.

Quadro 5. Resumo das análises de variâncias para comparação entre os sistemas de pulverização para alvos posicionados aos suportes de madeira na pressão de 1.055 kPa

F.V.	G. L.	Quadrados médios			
		DMV	C. H.	Cobertura	Pop. Gotas
Bloco	2	4376,00	1,56	0,89	5846,00
Sistema	1	1283,56 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>ns</sup>	9,39 <sup>ns</sup>	12746,72 <sup>ns</sup>
Resíduo	14	2702,31	2,07	13,26	3090,84
C. V. (%)		14,74	36,56	15,80	22,55

F.V.	G. L.	Quadrados médios		
		Dv <sub>0,9</sub>	Dv <sub>0,1</sub>	Span
Bloco	2	7315,06	1968,50	0,10
Sistema	1	7240,06 <sup>ns</sup>	2289,39 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Resíduo	14	4941,15	1115,57	0,05
C. V. (%)		12,63	25,08	19,91

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo F.

A variação no espectro de gotas na pressão de 633 kPa pode ter ocorrido por diversas razões. Primeiramente, é difícil se repetir duas pulverizações com espectros iguais em etiquetas hidrossensíveis, mesmo em condições praticamente idênticas. Outra razão pode ter sido o efeito

do déficit de pressão de vapor, que na época da pulverização, sem automatização da pressão, foi de 0,76, 1,76 e 2,63 kPa. Na pulverização com sistema automatizado, foi de 0,70, 1,63 e 2,72 kPa. Esta diferença pode ter aumentado o tamanho das gotas na pressão de 633 kPa. A capacidade de evaporação das gotas em condições diferentes de evaporação também foi comprovada por Yu *et al.* (2009). Porém, o resultado mais importante foi que o sistema automatizado permitiu uma pulverização com parâmetros do espectro adequados ao controle fitossanitário.

O tempo de resposta necessário para a alteração do espectro de gotas variou em relação às diferentes pressões. Para aumentar a pressão, o tempo gasto foi maior em relação ao tempo necessário para diminuir a pressão de trabalho (Quadro 6).

Quadro 6. Tempo necessário para a mudança da pressão de trabalho

Pressão de trabalho (kPa)	N	Média (s)	Desvio padrão
633 para 844	10	25	1,4
844 para 633	10	24	1,8
844 para 1055	10	26	1,0
1055 para 844	10	23	1,6

N-Número de repetições.

O tempo de resposta é uma característica fundamental para os sistemas de automação de máquinas agrícolas. O espaço de tempo para a mudança de pressão foi considerado pequeno o que permitiu a maior eficiência de uso do equipamento. O tempo necessário para um sensor ou sistema autônomo mensurar determinada característica e implementar a rotina de programação, a fim de reduzir a influência do operador, é uma característica fundamental para que os sistemas de automação de máquinas agrícolas sejam aceitos pelo mercado, corroborando os resultados de Umezu e Cappelli (2006), em relação à tomada de decisão e Baio (2001), em relação ao tempo de resposta dos sensores.

Em relação à capacidade do sistema eletrônico de repetição das pressões, observou-se uma boa repetibilidade e um baixo desvio-padrão, demonstrando que o servomotor apresentou torque suficiente para manter o registro na posição determinada (Quadro 7).

Quadro 7. Repetibilidade da pressão com o sistema automatizado

Pressão (kPa)	N	Média (kPa)	Desvio padrão
633	10	633	1,4
844	10	844	1,7
1055	10	1055	0,9

N-Número de repetições.

A exatidão da pressão no sistema automatizado teve o potencial de reduzir erros de ajuste de pressão manual. Estes erros são agravados dependendo da escala de pressão dos manômetros. Desta maneira, nos sistemas automatizados uma boa calibração permitirá a manutenção da pressão, previamente determinada. Manualmente, a probabilidade de erros de leitura são maiores, muito em virtude da vibração do ponteiro do manômetro e do operador. Estes resultados indicam uma melhoria na qualidade da pulverização, pois a chance de serem cometidos erros na tomada de decisão pelos seres humanos é maior do que em sistemas automáticos. Isto ocorre devido aos longos períodos entre o tempo de execução da tomada de decisão e o resultado, pela complexidade dos ecossistemas que geram grande dificuldade na compreensão da causa e efeito em campo, concordando com (PEREIRA, 2008).

Deste modo, concordando com Pereira (2008), a automatização do pulverizador possibilitou a redução do esforço mental e da fadiga do operador e retirou a responsabilidade da tomada de decisão em relação ao aumento ou redução da pressão e alteração no volume de calda pulverizado. Estes resultados indicam que a automação é imprescindível na mecanização agrícola brasileira, principalmente, como uma alternativa à falta de treinamentos dos operadores.

A interface operador sistema eletrônico de automação facilitou, segundo o próprio operador, seu trabalho. A atenção dispendida pelo operador aos fatores psicrométricos, temperatura e umidade relativa do ar foi desviada para o adequado funcionamento do conjunto trator pulverizador. Desse modo, o aplicador teve mais tempo para observar entupimento de pontas, direcionamento da calda e do ar para a copa das plantas, em função de sua altura, entre outras variáveis que afetam a eficiência da pulverização de agrotóxicos. A atenção aos fatores meteorológicos gera preocupação ao operador e, conseqüentemente, pode levá-lo a negligenciar outros aspectos relevantes do processo de pulverização, corroborando os estudos de Scarlett (2001).

A pulverização no campo também foi utilizada para comparar o sistema manual e automatizado, a fim de constatar o funcionamento da automação e sua interferência nos parâmetros da pulverização. A calibração do espectrofotometro obtida a partir de uma amostra da calda retirada, diretamente, no tanque nos três déficits de pressão de vapor foi determinada a fim de calcular a deposição de calda na planta (Figura 13).

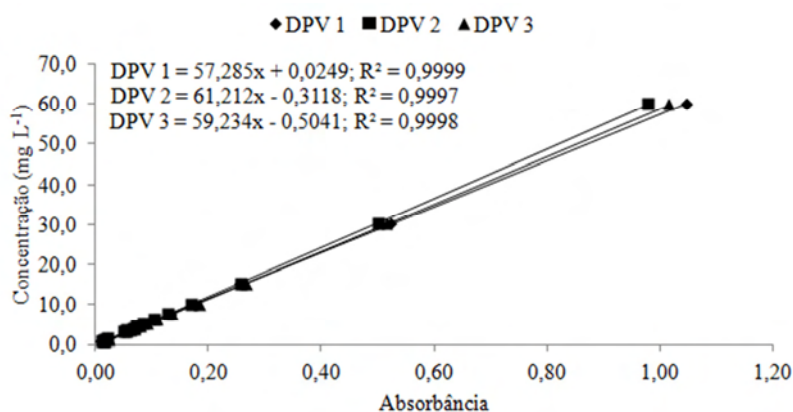


Figura 13. Calibração do espectrofotômetro em função da concentração do traçador.

Observou-se, nesta fase do experimento, que apenas o coeficiente de homogeneidade e a população de gotas diferiram entre os sistemas de pulverização (Quadro 8).

Quadro 8. Resumo das análises de variâncias para comparação entre os sistemas de pulverização em um laranjal

F. V.	G. L.	Quadrados médios				
		DMV	C.H.	Dv <sub>0,9</sub>	Dv <sub>0,1</sub>	Span
Bloco	2	13105,64	28,91	653,14	1070,52	0,476713
Sistema	1	1350,00 <sup>ns</sup>	20,17*	216,00 <sup>ns</sup>	1525,35 <sup>ns</sup>	0,002269 <sup>ns</sup>
Resíduo	212	2935,15	1,64	4017,39	528,14	0,080135
C.V.		16,83	25,16	10,49	17,46	18,81

F. V.	G. L.	Quadrados médios			
		Cobertura	População	Velocidade terminal	Deposição
Bloco	2	5,08	13632,60	5,262639	32,15
Sistema	1	45,38 <sup>ns</sup>	116250,56*	0,550046 <sup>ns</sup>	2,47 <sup>ns</sup>
Resíduo	212	13,93	4499,45	1,283558	2,14
C.V.		15,88	29,65	34,00	52,10

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os parâmetros coeficiente de homogeneidade e densidade de gotas apresentaram valores 11,1 e 18,5% menores no sistema automatizado de pulverização (Quadro 9).

Quadro 9. Efeito do sistema de aplicação nos parâmetros da pulverização

Sistema	DMV ( $\mu\text{m}$ )	CH	Cob. (%)	Pop. (gotas $\text{cm}^2$ )	Dv <sub>0,9</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Dv <sub>0,1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Span	Dep. ( $\mu\text{L cm}^2$ )
Manual	324a	5,4a	23a	249a	605a	129a	1,5a	2,7a
Automatizado	319a	4,8b	24a	203b	603a	134a	1,5a	3,0a
C. V. (%)	16,83	25,16	15,88	29,65	10,49	17,46	18,81	52,10

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O menor coeficiente de homogeneidade, obtido no sistema automatizado, indicou que, neste caso, a uniformidade das gotas foi melhor quando o sistema estava funcionando com o controle automático de pressão. O sistema automatizado apresentou um coeficiente dentro do intervalo de 1,8 a 5,0, proposto por Marques (1994) e Teixeira (2010) e no sistema manual o coeficiente foi de 5,4. Já a população de gotas para ambos os sistemas foi superior aos valores propostos por Barthelemy *et al.* (1990), sendo considerados satisfatórias para o controle de insetos e patógenos.

Os resultados obtidos são indicativos de boa aplicabilidade da tecnologia embarcada em máquinas e implementos agrícolas, sendo uma tecnologia cujo apelo técnico e comercial é grande. Outras razões que justificam a necessidade de pesquisas em automação e inovações na pulverização de agrotóxicos são o alto custo da mão-de-obra no campo, o risco de acidentes, intoxicação de operadores e a redução na contaminação de alimentos e do meio ambiente. Entretanto, as pesquisas destinadas ao desenvolvimento de sistemas autônomos robustos, aplicáveis no campo e capazes de se adaptarem à rotina de trabalho nas propriedades agrícolas e realizarem múltiplas tarefas, ainda é bastante cara e, por isso, restrita. Entretanto, para Auernhammer e Speckmann (2006), seguindo a tendência dos sistemas hidráulicos e elétricos, o uso de equipamentos eletrônicos e computadores embarcados têm crescido cada vez mais nas máquinas agrícolas.

É importante destacar que a vantagem da automatização do pulverizador não foi, necessariamente, produzir uma pulverização com melhor qualidade que àquela conduzida manualmente. Contudo, devido à falta de treinamento dos operadores, o maior conforto e segurança também devem ser considerados como vantagens. Além disso, um problema cada vez maior no campo é a escassez e o custo da mão-de-obra. Algumas das vantagens da automação são a sustentabilidade no processo produtivo e o fomento ao desenvolvimento econômico e social, corroborando os resultados obtidos por Menezes e Martins (2009).

Uma alternativa bastante viável ao controle de vazão é o emprego de eletroválvulas de vazão proporcional que apresentam tempo de resposta menor que o servomotor utilizado nesta pesquisa. A interface entre operador e sistema pode indicar as marchas de trabalho, porém, como a velocidade é variável com o terreno, sempre há a necessidade de se realizar testes no campo devido ao patinamento. Esta tecnologia também se apresenta com grande potencial para máquinas não tripuladas, tratores com sistema de piloto automático, entre outros. Os empregos de um sistema de ajuste do espectro de gotas em função das condições meteorológicas, mantendo o volume de calda constante, por meio da mudança de velocidade, têm bastante potencial em conjunto com a tecnologia de injeção direta de agrotóxicos, tecnologia já conhecida no mercado.

## Conclusões

O sistema automatizado de pulverização foi considerado robusto, de simples manuseio e fácil entendimento.

A automatização permitiu a manutenção do volume de calda, alterando a pressão de trabalho em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar.

Apenas na pressão de 633 kPa houve diferenças significativa em favor do sistema automatizado para o tamanho de gotas.

## Referências bibliográficas

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Reavaliação dos agrotóxicos: 10 anos de proteção a população.** Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2009/>>. Acesso em 15 de maio de 2011a.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Divulgado o monitoramento de agrotóxicos em alimentos.** Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2009](http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2009/)>. Acesso em 15 de maio de 2011b.

ARDUINO. **Arduino Duemilanove.** Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/ArduinoBoardDuemilanove>>. Acesso em 17 de maio de 2011.

AUERNHAMMER, H.; SPECKMANN, H. Dedicated communication systems and standards for agricultural applications. **Communication Issues and Internet Use, CIGR Handbook of Agricultural engineering**, St. Joseph, v. 7, p. 435-435, 2006.

BAIO, F. H. B. Aplicação localizada de defensivos baseada variabilidade espacial das plantas daninhas. 2001. 113 f. **Dissertação** (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

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

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

BOCHNER, R. Sistema nacional de informações tóxico-farmacológicas – SINITOX – e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 73-89, 2007.

CAMARA, F. T.; SANTOS, J. L.; SILVA, E. A.; FERREIRA, M. C. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 740-749, 2008.

CHUECA, P.; GARCERA, C.; MOLTO, E.; GUTIERREZ, A. Development of a sensor-controlled sprayer for applying low-volume bait treatments. **Crop Protection**, Oxford, v. 27, n. 10, p. 1373-1379, 2008.

CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. esp., p. 1153-1158, 2010.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; ZOLNIER, S.; COSTA, M. H. Modelos físico-matemáticos para estimativa da umidade relativa do ar a partir de dados de temperatura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, p. 256-265, 2009.

DÍAZ, S. E.; PÉREZ, J. C.; MATEOS, A. C.; MARINESCU, M. C.; GUERRA, B. B. A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 252-265, 2011.

DORNELLES, M. E.; SCHLOSSER, J. F.; BOLLER, W.; RUSSINI, A.; CASALI, A. L. Inspeção técnica de tratores e pulverizadores utilizados em pulverização agrícola. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 36-43, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO. **Agriculture after September 11**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/magazine/0112sp2.htm>>. Acesso em 18 de novembro de 2011.

FERREIRA, A. P.; CUNHA, C. L. N.; WERMELINGER, E. D.; SOUZA, M. B.; LENZI, M. F.; MESQUITA, C. M.; JORGE, L. C. Impactos de pesticidas na atividade microbiana do solo e sobre a saúde dos agricultores. **Revista Baiana de Saúde Pública**, Salvador, v. 32, n. 2, p. 309-321, 2006.

GIL, Y.; SINFORT, C.; BRUNET, Y.; POLVECHE, V.; BONICELLI, B. Atmospheric loss of pesticides above an artificial vineyard during air-assisted spraying. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 41, n. 14, p. 2945-2957, 2007.

GIL, Y.; SINFORT, C.; GUILLAUME, S.; BRUNET, Y.; PALOGOS, B. Influence of micrometeorological factors on pesticide loss to the air during vine spraying: Data analysis with statistical and fuzzy inference models. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 100, n. 2, p. 184-197, 2008.

HUBBARD, K. G.; ROSENBERG, N. J.; NIELSEN, D. C. Automated weather data network for agriculture. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Paris, v. 109, n. 3, p. 213-222, 1983.

JEON, H. Y.; ZHU, H.; DERKSEN, R.; OZKAN, E.; KRAUSE, C. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p. 213-221, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia como un estudio de los climas de tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J.; ESCOLÀ, A. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. **Crop Protection**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 239-248, 2010.

MARQUES, L. **Aplicaciones em cultivos bajos y hortícolas: problemática y soluciones: curso de aplicación ecocompatible de productos fitosanitarios**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, ES. 1994. 28p.

MATIC, N.; ANDRIC, D. **The PIC microcontroller**. Disponível em: <<http://www.i-magazine.com.br/imagazine/picbook/livropic.htm>>. Acesso em: 20 agosto de 2010.

MELLO, B. A.; CAIMI, L. L. Simulação na validação de sistemas computacionais para a agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 666-675, 2008.

MENEZES, D.; MARTINS, D. S. Automação e controle de pulverização em máquinas agrícolas. **Revista de graduação**, Marília, v. 1, n. 2, p. 23-34, 2009.

McGHEE, J.; HENDERSON, I.A.; SYDENHAM, P.H. Sensor science: essentials for instrumentation and measurement technology. **Measurement**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 89-113, 1999.

SARAIVA, A. M. **Eletrônica Embarcada e ISOBUS**. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2006, São Pedro, SP, p.4-5.

SCARLETT, A. J. Integrated control of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.30, n.1-3, p.167-191, 2001.

SCHNEIDER, U. A.; HAVLÍK, P.; SCHMID, E.; VALIN, H.; MOSNIER, A.; OBERSTEINER, M.; BÖTTCHER, H.; SKALSKÝ, R.; BALKOVIC, J.; SAUER, T.; FRITZ, S. Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. **Agricultural Systems**, Essex, v. 104, n. 2, p. 204-215, 2011.

SILVA, K. O.; MORAES, S. O. Desenvolvimento de um sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 189-195, 2002.

SILVA, K. O.; MORAES, S. O.; MIRANDA, J. H.; PALMIERI, A. M. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 630-638, 2007.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum, Technology**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 203-207, 2003.

PEREIRA, R. R. D. Protocolo ISO 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o controlador de tarefas. 2008. 188 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010.

TECA, **Technology for agriculture**. Disponível em <<http://www.fao.org/sd/teca>>. Acesso em: 18 de novembro de 2011.

TEIXEIRA, M. M. **Estudio de la población de gotas de pulverización**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196p. Cap. 5.

TESKE, M. E.; THISTLE, H. W.; LONDERGAN, R. J. Modification of droplet evaporation in the simulation of fine droplet motion using AGDISP. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 417-421, 2011.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, **Zeitschrift Geophysic**, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1992. 375 p.

UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L. Desenvolvimento de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 225-230, 2006.

VAISALA. **HMP50 Miniature Humidity and Temperature Probe for OEM Applications**. Disponível em: <[http://br.vaisala.com/files/HMP50\\_Datasheet\\_in\\_English.pdf](http://br.vaisala.com/files/HMP50_Datasheet_in_English.pdf)>. Acesso em: 13 de maio de 2011.

VILLALBA, J; HETZ, E. **Deriva de produtos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. Capítulo 3.

XU, L.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engeneering**, Columbus, v. 106, n. 1, p. 58-67, 2010.

YU, Y.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009.

## **Fluxo de ar e uniformidade de distribuição volumétrica vertical proporcionada por pulverizador hidropneumático**

### **Resumo**

A pulverização em culturas arbóreas no Brasil ainda necessita de muitas pesquisas. Diversos aspectos relacionados ao volume de calda, semelhança entre as pontas, calibração dos pulverizadores, entre outros são bastante carentes de conhecimentos. Um dos fatores que merece grande destaque neste tipo de pulverização é o comportamento aerodinâmico do fluxo de ar do ventilador e a melhoria da distribuição vertical da calda. Deste modo, objetivou-se com esta pesquisa fazer uma avaliação da distribuição do fluxo de ar produzido por pulverizador hidropneumático e, avaliar a distribuição vertical da calda. O experimento foi montado utilizando um pulverizador hidropneumático acoplado a um trator John Deere modelo 5705. A rotação do rotor do ventilador foi de 2.160 rpm. O estudo foi realizado em ambos os lados do pulverizador, objetivando determinar possíveis assimetrias na distribuição do vento. As medições da velocidade do ar foram feitas em três posições na periferia do ventilador. A uniformidade de distribuição vertical de líquido foi analisada nas pressões de 633, 844 e 1.055 kPa utilizando um coletor vertical posicionado a dois metros do centro do rotor do ventilador. O experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Os resultados indicaram que o coeficiente de uniformidade do ar foi homogêneo, sendo de 0,81 e 0,85 no lado esquerdo e direito, respectivamente. A velocidade média do ar tomada na saída do ventilador foi de  $35,5 \text{ m s}^{-1}$  e a velocidade vertical média tomada a 0,5 metros da barra foi de 5,9 e  $5,1 \text{ m s}^{-1}$ , para o lado esquerdo e direito, respectivamente. A vazão média de ar obtida foi de  $5,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . A velocidade radial média foi de 9,9 e  $8,9 \text{ m s}^{-1}$  para o lado esquerdo e direito, respectivamente. O coeficiente de variação para a distribuição volumétrica vertical foi de 136, 136 e 141% para as pressões trabalho de 633, 844 e 1055 kPa, respectivamente.

**Palavras-chave:** Ventilador axial em turboatomizador, uniformidade da corrente de ar, distribuição vertical da calda na planta, distância da barra em relação ao alvo.

## **Air flow and vertical uniform volumetric distribution provided by hydro-pneumatic spray**

### **Abstract**

Spraying in Brazilian tree crops still requires much research. Several aspects related to spray volume, similarity between tips, calibration of sprays, among others are quite lacking in knowledge. One factor which deserves special attention in this type of spraying is the aerodynamic behavior of fan air flow and improving distribution of vertical spray. Therefore, this research aimed to evaluate air flow distribution produced by pneumatic spray and evaluate spray vertical distribution. The experiment was formed using a hydro-pneumatic sprayer attached to a John Deere tractor model 5705. Rotation of blower rotor was 2.160 rpm. Study was performed on both sides of the sprayer, for determining possible asymmetries in wind distribution. Measurements of air speed were made at three positions in the fan periphery. The uniformity of liquid vertical distribution was analyzed at pressures of 633, 844 and 1.055 kPa using a vertical collector placed two meters from the center of the fan impeller. The experiment was arranged in randomized block design with three replications. Results indicated that air uniformity coefficient was homogeneous, of 0,81 and 0,85 on the left and the right, respectively. Air average speed taken at the ventilation outlet was  $35,5 \text{ m s}^{-1}$  and the average vertical speed taken at 0,5 meters from the bar was 5,9 bar and  $5,1 \text{ m s}^{-1}$  to the left and right side, respectively. The average air flow obtained was  $5,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . The average radial speed was 9.9 and  $8.9 \text{ m s}^{-1}$  to the left and right, respectively. Coefficient of variation for vertical distribution volume were 136, 136 and 141% for working pressures of 633, 844 and 1055 kPa, respectively.

**Key-words:** Axial fan turboatomizer, air flow uniformity, vertical distribution of the spray in the plant, distance of the bar in relation to the target.

## Introdução

Na pulverização de agrotóxicos em culturas arbóreas, um dos fatores que mais afetam sua eficiência e sua eficácia é a uniformidade de distribuição do fluxo de vento e de calda ao longo do dossel da planta. As pulverizações têm ganhado cada dia mais a atenção do agricultor, da sociedade, das instituições responsáveis pela proteção do meio ambiente e segurança alimentar, dos órgãos da fiscalização trabalhista e, principalmente, dos consumidores. A aplicação de agrotóxicos é uma prática agrícola que exige bastante conhecimento dos agentes envolvidos em sua execução. Um aplicador treinado poderá contribuir significativamente com a melhoria da qualidade da aplicação, mas apenas treinar o operador não representa garantia de sucesso nos tratamentos fitossanitários. É necessário também que os pulverizadores estejam em condições satisfatórias de manutenção e uso para a realização das atividades, de modo a melhorar a qualidade das operações.

Estudos avaliando as condições de conservação e uso de pulverizadores agrícolas de barra e atomizadores foram conduzidos por Antuniassi e Gandolfo (2005), Santos e Maciel (2006), Silveira *et al.*, (2006), Bauer *et al.*, (2009) e Dornelles *et al.*, (2009). Na maioria destes, os pulverizadores apresentavam ao menos um defeito grave, comprometendo a eficiência da aplicação. Em grande parte, os defeitos apresentados apesar de representarem perdas significativas na qualidade da pulverização eram simples de serem corrigidos.

As características de cada cultura são diferentes em diversos aspectos, desse modo, fazem-se necessários critérios na determinação do alvo. Algumas particularidades são observadas em relação à estrutura do dossel, idade da cultura, espaçamento entre linhas e aos tratos culturais (HALL, 1993). A estrutura da copa é um dos fatores mais importantes a serem observados no momento da aplicação em culturas arbóreas, devido à capacidade de penetração da calda no interior da copa para alcançar o alvo biológico. Seguindo essa temática, Fox *et al.* (2008) afirmam que o regime de fluxo de ar produzido pelos pulverizadores de jato de ar é um elemento crítico no processo físico de transporte de gotas para a copa das plantas.

Nos últimos anos, as metodologias e os equipamentos empregados na aplicação de agrotóxicos têm evoluído consideravelmente. No entanto, muitas melhorias ainda podem ser feitas em relação às falhas existentes nos projetos de construção dos pulverizadores. Os pulverizadores hidropneumáticos apresentam-se como um dos principais equipamentos utilizados para pulverização em culturas arbóreas. Há, portanto, a necessidade da realização de ensaios nesses equipamentos para buscar soluções para o aproveitamento da corrente de ar e para

o aumento da eficiência de funcionamento do pulverizador e que seja, técnica, econômica e ambientalmente confiável.

Os pulverizadores hidropneumáticos são equipamentos dotados de pontas de pulverização para o fracionamento da calda em gotas e um ventilador para o transporte das gotas até o interior do dossel da planta, por meio da movimentação do ar no interior da copa das árvores. A corrente de ar conduz as gotas para dentro da copa por meio de seu movimento turbulento. Entretanto, há um dispêndio de energia para o funcionamento do ventilador e grande parte desta é perdida em função da distribuição da coluna de ar. O dossel das plantas varia com a idade e espécie da planta. Portanto, faz-se necessário que o direcionamento da coluna de ar seja ajustável pelo operador, de modo a fornecer maior volume e vazão de ar em locais onde a copa apresenta-se mais densa.

A utilização de uma corrente de ar na aplicação de agrotóxicos, em frutas, significou um avanço importante no final dos anos 50. No entanto, os pulverizadores pneumáticos e hidropneumáticos têm um alto grau de ineficiência, principalmente devido à rápida redução na velocidade do ar em função da distância. Essas deficiências de transporte vão se manifestar nas partes mais distantes da árvore. Nos pomares, devido às diferentes formas e tamanho das plantas, as gotas estão mais sujeitas às condições meteorológicas do que em culturas de porte baixo. Portanto, estão mais sujeitas à evaporação e à deriva. As perdas vão aumentar com a redução do diâmetro das gotas e o aumento da diferença de temperatura entre bulbo úmido e seco. Há dificuldades para os ventiladores radiais e axiais produzirem um perfil aerodinâmico uniforme e definirem um fluxo de ar ideal para a penetração na copa, já que dependem de diversos fatores, como tipo de árvore, fase de crescimento, velocidade do equipamento condições meteorológicas, entre outras (MAGDALENA, 2004).

Em trabalhos avaliando a pulverização em fruteiras, Di Prinzio *et al.* (1998) encontrou alta correlação entre os níveis de perda de agrotóxico e a uniformidade da corrente de ar, o que pode comprometer a eficiência da pulverização, com perdas totais próximas a 25%. As perdas podem ocorrer em decorrência do rápido declínio da velocidade da corrente de ar, evaporação, desuniformidade na coluna de ar e da impossibilidade de fixar uma vazão ótima de ar, devido a fatores exógenos, como a densidade foliar, a velocidade de avanço do equipamento e as condições meteorológicas.

Segundo Chaim *et al.* (2004), os projetos de construção de pulverizadores equipados com ventiladores apresentam alguns defeitos que podem ser facilmente observados, por exemplo, a localização da entrada de ar, geralmente, na parte posterior do equipamento. Para os autores, o ar succionado pelo ventilador, após a nuvem de gotas, carrega grande quantidade de gotas para

dentro da hélice, reduzindo a deposição na planta. Rodrigues *et al.* (2008) afirmam que os fatores que estão relacionados com o comportamento da corrente de ar produzida pelos pulverizadores hidropneumáticos devem ser investigados criteriosamente, pois são responsáveis pela condução e distribuição das gotas no alvo.

Já Prat *et al.* (2005) afirmam que os ventiladores do tipo axial, que são geralmente utilizados em pulverizadores hidropneumáticos, apresentam um bom projeto de construção, favorecendo o emprego dos pulverizadores equipados com este ventilador em uma ampla gama de culturas e condições adversas. Para Cross *et al.* (2001), o projeto de ventiladores axiais dos pulverizadores também é apropriado para uma ampla variedade de plantações. Esses ventiladores são simples, de baixo custo, robustos, confiáveis, requerem pouca manutenção e são de simples operação. No entanto, o perfil aerodinâmico, em alturas superiores a 5 metros, provoca deriva e causa perdas para o solo.

Perghers e Gubiani (1997) avaliaram em vinhas um pulverizador hidropneumático com ventilador de fluxo axial com saída de ar ajustável para trás com um ângulo de 118 graus em relação ao sentido de deslocamento. Eles observaram um aumento da deposição de produto de 55,5% para 61% nas folhas e um ligeiro aumento das perdas para o solo. Marucco *et al.* (2008) afirmam que, normalmente, o ajuste do ar para pulverizadores convencionais, com ventilador axial, é baseado na velocidade de rotação do ventilador, na velocidade do ar e na posição dos defletores, para determinar a direção do ar. O fluxo de ar produzido pelo ventilador axial deve ser projetado com a mesma intensidade em todas as pontas de modo uniforme. A velocidade do ar que atinge as folhas mais próximas do equipamento é muito elevada, isto aumenta o risco em função da direção do fluxo de ar de uma fração consistente de líquido a ser perdida. Celen (2008), por sua vez, afirma que os ventiladores axiais têm sido mais comumente usados em pulverizadores assistidos por ar, devido à sua simplicidade e baixo custo.

A eficiência da pulverização pode ser afetada pela forma, pelo tamanho e posição do alvo, pela densidade, pelo diâmetro e velocidade terminal da gota e pela velocidade e direção do fluxo de ar. Nos pulverizadores hidropneumáticos, as pontas estão localizadas ao redor da turbina com saída periférica de ar. Esta constituição melhora a eficiência da máquina, uma vez que o ar expelido pela turbina desloca a atmosfera inerte, localizada no interior da planta, facilitando a penetração das gotículas (BALAN *et al.*, 2006). Por esta razão, o controle fitossanitário em frutas é conseguido com maior eficiência quando se utiliza pulverizadores equipados com ventilador. Isso ocorre devido à necessidade de depositar as gotas em todos os pontos da folhagem. Prat *et al.* (2008) afirmam que é a corrente de ar quem determina se o agrotóxico irá alcançar ou não todo o dossel da árvore.

O fluxo de ar produzido pelo pulverizador hidropneumático tem como objetivo favorecer a trajetória das gotas pulverizadas em direção ao alvo, interferindo em sua penetração e, conseqüentemente, em sua deposição. A velocidade, a trajetória e o fluxo de ar precisam ser estudados e relacionados com os estádios da cultura, com o volume de calda aplicado e com o tamanho das gotas geradas por ocasião da configuração de pontas na barra de pulverização (BALAN *et al.*, 2006).

Os pulverizadores hidropneumáticos são utilizados para o controle fitossanitário em plantas arbóreas. No entanto, a pulverização em fruteiras é considerada um processo pouco eficiente, pois mais da metade da dose aplicada é perdida, implicando em perdas econômicas e contaminação ambiental. É indispensável o uso da assistência de ar para vencer a distância entre o pulverizador e o alvo, sendo que o volume de ar deve ser ajustado às circunstâncias específicas de aplicação, visando reduzir essas perdas (KAUL *et al.*, 2002). Atualmente, os equipamentos mais utilizados na citricultura para o controle de insetos e doenças são os pulverizadores de jato transportado de fluxo divergente equipados com pontas hidráulicas. Contudo, devido à baixa eficiência demonstrada no controle fitossanitário, quando o alvo está no interior da copa, muitos produtores têm optado por elevar o volume de calda aplicado (TACHIBANA; ANTUNIASSI, 2008).

O comportamento aerodinâmico da cortina de ar em ambos os lados de um pulverizador hidropneumático foi estudado por Rodrigues *et al.* (2008) que encontraram uma tendência a maiores valores do coeficiente de uniformidade no lado direito. Coincidindo com o lado onde ocorre maior vazão de ar, concluíram que existe uma relação entre o aumento do coeficiente de uniformidade com a maior vazão de ar e que os pontos de menor fluxo de ar apresentam também o menor coeficiente. Como sugestões, relataram que uma possível solução seria dotar o ventilador de defletores com a capacidade de redirecionamento do ar para uniformizar o fluxo em toda a extensão da saída do rotor.

Em relação à velocidade do ar, Marquez (2008) afirma que o ar na saída do ventilador não deve variar mais de 10 a 15% da vazão nominal ou daquela selecionada pelo operador, e que, a corrente de ar deve ser simétrica em ambos os lados do equipamento. Em variações maiores, as folhas tendem a se sobrepor formando uma cortina que bloqueia a entrada do ar. Já em menores variações, juntamente com a corrente de ar no interior do dossel, não promovem agitação suficiente da folhagem para a penetração das gotas. Os defletores devem ser adaptados ao tipo de cultura, de modo que as regiões com maior densidade foliar recebam maior quantidade da calda aplicada. Trefan (1985) estipulou a velocidade crítica de fluxo de ar entre 2 a 3 m s<sup>-1</sup> e afirmou que velocidades maiores podem aumentar a penetração e as perdas no dossel. Entretanto, Cerruto

e Failla (1999) determinaram que a vazão de ar para a obtenção do maior percentual de cobertura em laranjeira deve ser de  $6,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

A intensidade do fluxo de ar é determinada pela velocidade de ar gerada pela turbina, influenciando diretamente a distribuição vertical do líquido aplicado. Diferentes projetos e características de defletores têm sido desenvolvidos para pulverizadores com fluxo de ar. Desse modo, a altura da turbina pode influenciar a eficiência da aplicação em relação à planta. A maior ou menor altura da turbina pode impedir que a calda alcance folhas em diferentes posições no dossel. Sendo assim, quanto maior a distância entre as pontas de pulverização e o alvo, menor será a capacidade do ar em transportar as gotas e maior será a probabilidade de evaporação e deriva.

O pulverizador hidropneumático deve ser constituído basicamente por um sistema de ar eficiente, com defletores adaptados ao tipo de cultura, bombas hidráulicas, geralmente, de pistão, que possa suportar pressões maiores que 2.000 kPa, e um sistema de barras porta bicos em semi-círculo que não afetam a saída de ar. A direção e a forma de saída dos defletores são importantes para direcionar o ar (CELEN, 2008). Os defletores são destinados a controlar os componentes verticais da velocidade do ar, de acordo com a altura da árvore (ENDALEW *et al.*, 2010).

Uma grande vantagem dos ensaios em túnel de vento é que os experimentos podem ser feitos com diferentes sistemas de pulverização, em condições diretamente comparáveis e reprodutíveis, mas este não é o caso para medições em campo (NUYTTENS *et al.*, 2009). Os fatores que determinam a colocação exata e a cobertura de agrotóxicos em pomares, utilizando pulverizadores com assistência de ar, estão relacionados com as propriedades e o movimento do ar (atmosférico e do pulverizador) às gotas, a natureza da planta alvo e de fatores relacionados à máquina (ENDALEW *et al.*, 2010).

A corrente de ar produzida pelos pulverizadores agrícolas tem sido estudada a partir da teoria de fluxo turbulento, proposta por Abramovich (1963). Entretanto, Brazeo *et al.* (1981) também desenvolveram teorias com a finalidade de conceber a distribuição da corrente de ar, de modo mais eficiente, a partir do desenho dos ventiladores.

Em relação à uniformidade de distribuição volumétrica da calda no dossel da planta, a maioria dos trabalhos é realizada em equipamentos de barra. No Brasil, pouco se sabe a respeito da homogeneidade de distribuição vertical de calda em culturas arbóreas. Em relação aos pulverizadores de barra na Itália, o registro, a aprovação, a comercialização e a certificação de máquinas novas, tem como base o coeficiente de variação abaixo de 7% (CONAMA, 1997). No Brasil, porém, não há normas para comercialização, registro ou certificação de pulverizadores (BAUER *et al.*, 2006). Em experimento com altura da barra de 0,45 metros, Foqué e Nuyttens

(2011) analisando a uniformidade de distribuição em condições de laboratório, encontraram um coeficiente de variação de 8,4%. Na Europa, o fabricante de ponta, seguindo a norma EN 12761-2, estabelece que para cada ponta, o coeficiente de variação referente à pressão e à altura, em condições de laboratório, deve ser inferior a 7%. Porém este valor é superior para as pontas de jato cônico vazio (CEN, 2001; ECS, 1997). Atualmente, segundo Pai *et al.* (2009), dependendo da densidade foliar das árvores, existem pulverizadores instrumentados para alterar o fluxo de ar em tempo real.

Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar a distribuição do fluxo de ar produzido pelo ventilador axial de um pulverizador hidropneumático e, avaliar a uniformidade de distribuição volumétrica vertical da calda.

## **Material e métodos**

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, situada na latitude 20° 45' S e longitude 42° 52' W. O clima da região é tropical de altitude, com verões chuvosos e invernos secos, sendo classificado como Cwa (KÖPPEN, 1948).

O experimento foi conduzido utilizando um pulverizador hidropneumático, marca Hatsuta, modelo SS-420, com bomba de pistão, modelo S60, e um ventilador axial com diâmetro de 700 milímetros e pás curvas, acoplado a um trator John Deere modelo 5705 com potência nominal de 62,5 kW (85 cv). A rotação do rotor foi de 2.160 rpm, aferida com um tacômetro digital, marca Tako, modelo TD 303. O período mínimo de cada leitura foi de dez segundos, conforme proposto na norma ISO 9898 (ISO, 2000).

A metodologia adotada para estudar a distribuição da corrente de ar do ventilador teve como base a teoria de fluxo turbulento, proposta por Antonin *et al.* (1976), Brazee *et al.* (1981), Abramovich (1963) e pela norma ISO 9898 (ISO, 2000). Estas também foram utilizadas por Magdalena e Monterola (2004), Prat *et al.* (2005) e Rodrigues *et al.* (2008).

O experimento foi realizado com o trator em terreno nivelado e protegido para evitar o efeito do ar atmosférico. As condições meteorológicas, durante a condução do experimento, foram monitoradas com um indicador de temperatura e umidade relativa, marca Ummi®. Este medidor possui um sensor de temperatura com escala de -20 a 100 °C, resolução de 1 °C e precisão de ±0,6 °C, um sensor de umidade relativa com escala de 0 a 100%, resolução de 1% e precisão de ±3% e um anemômetro Instruterm, modelo AD-250.

Na determinação do perfil aerodinâmico, as avaliações foram realizadas em ambos os lados do pulverizador com o objetivo de determinar possíveis assimetrias e sugerir melhorias aos fabricantes de ventiladores, para as condições de aplicação no campo. Utilizou-se um termoanemômetro digital de fio quente, marca Instrutherm, modelo TAFR-180.

Seguindo o modelo proposto por Prat *et al.* (2005), as medições da velocidade do ar foram feitas em 80 pontos em toda a periferia da saída do ventilador. Para isso, foram marcados 16 pontos na periferia do ventilador e estabelecidos cinco pontos equidistantes de 12,5 milímetros, cobrindo toda a largura da saída do difusor (Figura 1).

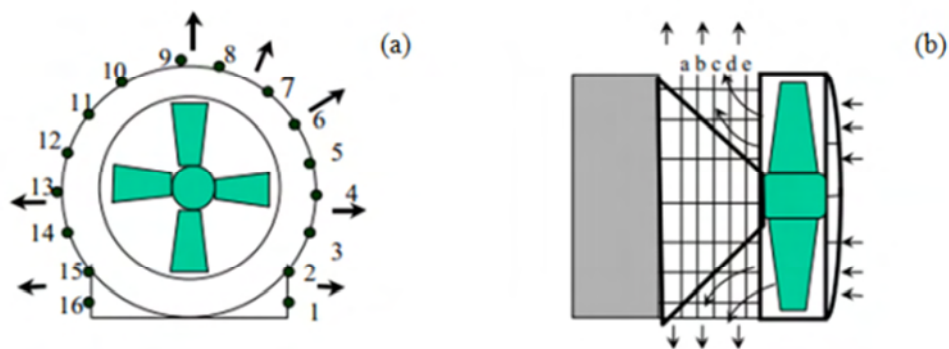


Figura 1. Posição de leitura da velocidade do ar na saída do difusor do ventilador, vistas frontal (a) e lateral (b), retirado de Prat *et al.* (2005).

Posteriormente, a partir da área da seção de saída do ar de cada ponto e da velocidade do ar, determinou-se a vazão de ar produzida pelo ventilador. A variação na uniformidade de distribuição do ar pode ocorrer devido a fatores como, desenho do difusor, presença do defletor e proximidade da parede do ventilador. Para isso, utilizou-se a metodologia proposta por Brazee *et al.* (1981), e estabeleceu-se um fator para quantificação desse parâmetro (Equação 2 e 3).

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \omega_{0i} \quad (2)$$

em que

Q = vazão de ar ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

$a_i$  = áreas da seção onde se realiza as medições ( $\text{m}^2$ ); e

$\omega_{0i}$  = velocidade em cada ponto ( $\text{m s}^{-1}$ ).

$$\eta_1 = \int_0^{B_{0m}} \frac{\omega_0}{\omega_{0m}} \frac{\partial B_{0m}}{B_{0m}} \quad (3)$$

em que

$\eta_1$  = coeficiente de uniformidade da velocidade do ar;

$\omega_0$  = velocidade do ar em cada ponto da abertura da saída do ventilador ( $\text{m s}^{-1}$ );

$\omega_{0m}$  = velocidade máxima do ar na seção ( $\text{m s}^{-1}$ ); e

$B_{0m}$  = largura de saída (m).

A fim de estudar o comportamento da distribuição do ar, conforme ocorre nas plantas, foram realizadas leituras da velocidade do vento nas alturas de 0,1 até 2,50 metros, sendo realizadas cinco leituras em cada altura, totalizando 375 pontos em cada lado. Os resultados foram analisados para determinar as assimetrias do perfil aerodinâmico, em ambos os lados da barra (Figura 2).

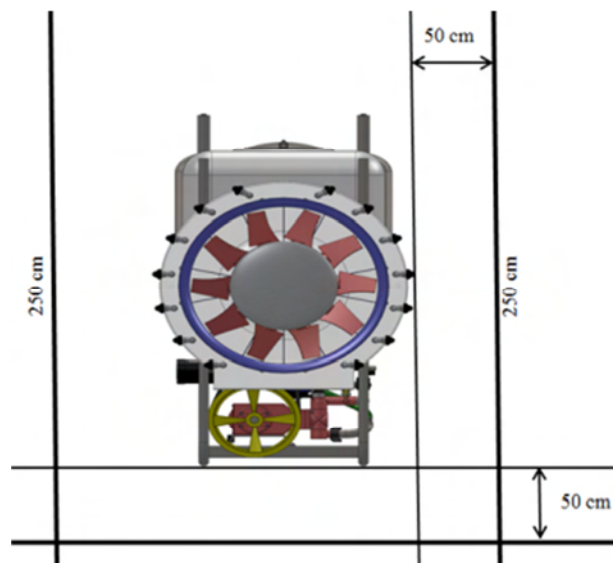


Figura 2. Condições para estudo da velocidade vertical do ar no perfil aerodinâmico.

Posteriormente, realizou-se estudo da velocidade do vento na distância de 0,5 metros em relação a cada ponta de pulverização. Deste modo, foi medida a velocidade do vento radialmente às 14 pontas na barra. Foram realizadas cinco leituras em cada ponto, totalizando 105 leituras em cada lado (Figura 3).

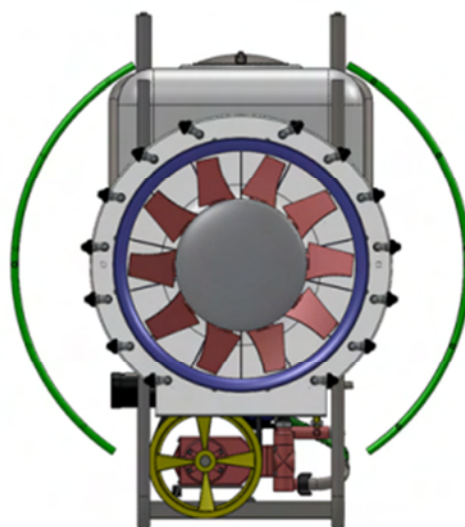


Figura 3. Condições para estudo da velocidade radial do ar no perfil aerodinâmico.

A uniformidade de distribuição vertical foi analisada utilizando um coletor vertical, construído com joelhos de policloreto de vinila (PVC), de 200 milímetros de diâmetro, mangueiras de meia polegada, provetas, funis e duas barras de Metalon (20 x 30 milímetros) de 4,5 metros de altura (Figura 4). O coletor foi posicionado a dois metros do centro do rotor do ventilador e a água foi coletada em provetas de um litro, seguindo a descrição da norma ISO 9898 (ISO, 2000). A distância centro a centro, entre cada joelho de PVC, foi de 0,3 metros. Para evitar que a água escorresse pela parte externa das mangueiras chegando dentro das provetas, utilizou-se funis invertidos, seguindo o modelo de uma campânula.

Foram estudados os dois lados do pulverizador nas pressões de trabalho de 633, 844 e 1.055 kPa, indicadas para a ponta de jato cônico vazio JA-2, comercializadas pela Empresa Jacto. O tempo médio para a coleta de água foi de cinco minutos. A metodologia com coletor vertical é utilizada por Landers (2012).



Figura 4. Coletor vertical usado na determinação da uniformidade de distribuição volumétrica.

O experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados, com três repetições em todas as avaliações. Os dados foram analisados utilizando ferramentas da estatística descritiva, apresentando dados de coeficiente de variação e das médias observadas.

## Resultados e discussão

O experimento foi realizado com temperatura variando entre 19 a 22 °C, a umidade relativa do ar variou de 82 a 85% e houve ausência de vento para o estudo do fluxo de ar do ventilador. Já para a análise da uniformidade de distribuição volumétrica vertical da calda na barra, a temperatura variou de 22 a 24 °C, a umidade relativa variou de 80 a 82% e a velocidade do vento foi abaixo de 2 m s<sup>-1</sup>.

A velocidade do ar, medida em 16 posições, na saída do ventilador, indicou que houve similaridade entre os lados. As velocidades médias obtidas na saída do ventilador foram de 34,3 e 36,7 m s<sup>-1</sup>, respectivamente, para o lado esquerdo e direito, com uma média geral de 35,5 m s<sup>-1</sup>. O coeficiente de uniformidade da velocidade do ar foi de 0,81 e 0,85, para o lado esquerdo e direito, respectivamente. Este valor indicou uma distribuição homogênea do ar entre os lados da barra. A distribuição do ar no lado direito foi superior ao lado esquerdo, provavelmente, em função da heterogeneidade na velocidade do ar, que ocorre devido ao projeto dos ventiladores axiais. A maior velocidade na parte inferior do lado direito ocorreu devido à parte inferior do ventilador ser fechada e o ar não conseguir sair. Outra razão foi o sentido de rotação do ventilador. Este impasse já foi reduzido nos pulverizadores com sistema tipo torre. A solução viável para o aproveitamento do ar é o desenvolvimento de um mecanismo, junto ao ventilador, para reaproveitamento do ar ou o uso de sistemas tipo torre que direcionam o fluxo de ar de modo mais uniforme na copa da planta.

A velocidade vertical, obtida a 0,5 metros da saída do ventilador, em cada posição, apresentou valores máximos de 10,2 e 9,4 m s<sup>-1</sup> para o lado esquerdo e direito, respectivamente. No entanto, a velocidade média do ar no lado direito foi de 5,1 m s<sup>-1</sup>, e no lado esquerdo foi de 5,4 m s<sup>-1</sup>. Estes resultados foram maiores que 3 m s<sup>-1</sup> recomendados por Di Prinzio *et al.* (2010) para a zona central e superior da planta. A vazão de ar, produzida pelo ventilador foi de 5,4 e 5,7 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente, para o lado esquerdo e direito, com média de 5,6 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram obtidos por Prat *et al.*, (2005) analisando o comportamento aerodinâmico do

ar de um ventilador axial e por Cerruto e Failla (1999) que afirmam que uma vazão de  $6,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  é o ideal para a cultura da laranja.

Diversas características influenciaram a vazão de ar produzida pelo ventilador, por exemplo, as condições ambientais no local de realização do experimento. Pai *et al.* (2009) trabalharam, em ambiente controlado e sem perdas de ar para o ambiente, com um pulverizador, equipado com ventilador axial, cujo fluxo de saída de ar foi  $16,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Já Minguela e Cunha (2010), afirmam que a vazão necessária de ar para cultivo depende dos fatores velocidade do trator, distância entre linhas, altura da árvore e um coeficiente que varia com a densidade foliar. Neste trabalho, observou-se que no lado direito, a velocidade foi maior na parte inferior em relação ao lado esquerdo (Figura 5). Entretanto, na média, a variação entre os lados foi de apenas 7,8%, devido à velocidade no lado esquerdo ser maior, acima de 0,5 metros, compensando a maior velocidade no lado direito, próximo a 0,1 metros do nível do solo.

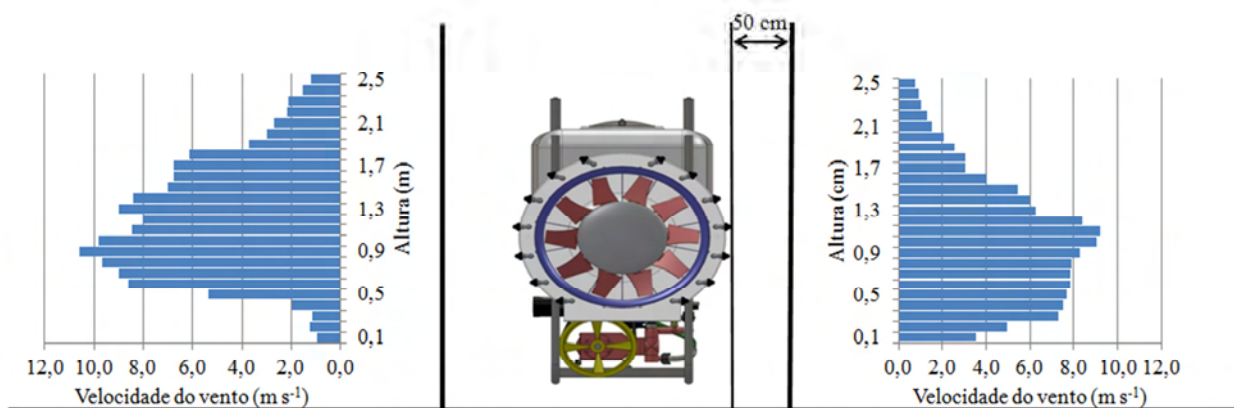


Figura 5. Velocidade de distribuição vertical do ar a 0,5 m da saída do ventilador.

A distribuição do fluxo de ar, pelos ventiladores, tem a função de deslocar a massa de ar parada no interior da copa da planta e introduzir uma nova massa de ar carregada de gotas. Neste estudo da velocidade do ar foi possível constatar que os bicos dispostos na barra, em forma de semi-arco, não têm a mesma distância em relação ao alvo, pois as pontas da parte inferior e superior da barra estão mais afastadas do dossel da planta. Esta é uma das razões, juntamente com a menor velocidade do ar, para a deposição de calda ser menor na parte superior das plantas.

No Brasil, ainda não existem trabalhos que apontem com exatidão uma faixa ideal para a vazão de ar na pulverização em plantas arbóreas. Os pomares, geralmente não são conduzidos com podas e, este é um indicativo de que o volume ideal de ar, necessário para conduzir as gotas para o interior da copa das plantas, seja maior que aquele recomendado na Europa.

Estudando a velocidade do ar na distância de 0,5 metros, radialmente à barra porta bicos, foi observado que a distribuição do ar foi melhor que aquela onde o estudo da uniformidade foi

conduzido a 0,5 metros do ventilador no plano vertical. A velocidade máxima, para o lado esquerdo e direito foi de 12,6 e 9,8 m s<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 6). Na média, as velocidades foram de 9,9 e 8,9 m s<sup>-1</sup> no lado esquerdo e direito.

Os seguintes fatores podem afetar a uniformidade de distribuição do vento, a largura da saída do difusor, o tipo de defletor, a quantidade de pás do ventilador e sua forma (retas ou curvas), a espessura das pás, pois sendo mais finas produzirão menores velocidades de ar corroborando com Kurdov e Kapitanov (1968). As pás ocas, com fluxo interno de gases, apresentadas por Garg (2002), Eberlinc *et al.*(2009) e Sarraf *et al.* (2011), são mais econômicas, devido a quantidade de material necessário para a fabricação das mesmas.

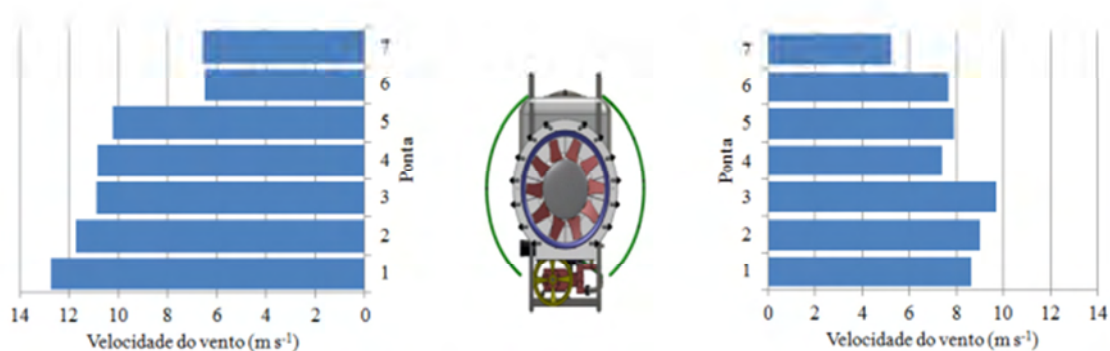


Figura 6. Velocidade de distribuição radial do ar a 0,5 m da saída do ventilador.

Estes resultados demonstraram que a distribuição do ar foi desuniforme verticalmente na barra porta bicos em função, principalmente, do projeto de construção dos ventiladores axiais. Os valores de velocidade, em relação ao estudo no plano radial, foram maiores na posição relativa a ponta sete em ambos os lados, devido à manutenção da proximidade do anemômetro da parte superior da barra.

As diferenças no fluxo de ar, entre ambos os lados do pulverizador, indicam que no direito a corrente de ar seja descendente, enquanto que do lado esquerdo seja ascendente. A maior razão para este comportamento é o sentido de rotação do ventilador, existindo a possibilidade de a distribuição ser invertida, caso o sentido de rotação também fosse alterado corroborando os resultados de Mion *et al.* (2011). Uma alternativa é o emprego de pulverizadores com mais de um ventilador distribuindo, de modo mais homogêneo, o vento no dossel da planta, inclusive com a possibilidade de fluxo inverso entre os ventiladores para reduzir o efeito provocado pela concentração de ar na parte inferior da planta pelos ventiladores axiais, corroborando com Garcia-Ramos *et al.* (2009) que sugerem o uso de dois ventiladores de rotação inversa na pulverização em pomares.

O coeficiente de variação vertical foi de 135 e 137%, para a pressão de 633 kPa. Na pressão de 844 kPa, o coeficiente foi de 138 e 135% e, para a pressão de 1.055 kPa, o coeficiente de variação foi de 142 e 141%, respectivamente, para os lados esquerdo e direito da barra. O coeficiente de variação médio para as respectivas pressões foi de 136%, 136% e 141%, respectivamente para as pressões de 633, 844 e 1.055 kPa. Os resultados indicaram que quanto maiores foram as pressões e, conseqüentemente, os efeitos da evaporação e da deriva, maior será a variação de líquido coletado nas provetas (Figura 7).



Figura 7. Dispositivo usado para medir a uniformidade de distribuição volumétrica vertical.

O coeficiente de variação para pulverizadores de barra é bastante reduzido se comparado ao obtido em pulverizações hidropneumáticos equipados com ventilador axial obtidos neste trabalho. A pulverização em árvores depende da geometria da copa e exige que o volume de calda, por vezes, seja maior no dossel superior da planta. O agricultor, por meio da seleção de pontas, pode alterar o volume aplicado em cada nível do dossel. Entretanto, a influência do ventilador pode provocar uma irregularidade na distribuição de calda. Isto ocorre por que a maioria das gotas é direcionada para baixo, tomando a mesma direção do fluxo de ar (Figura 8).

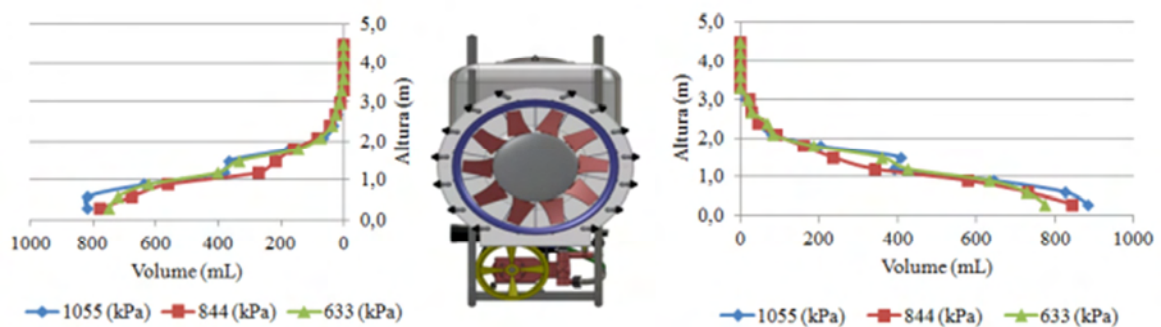


Figura 8. Uniformidade de distribuição volumétrica vertical.

O comportamento da corrente de ar produzida pelo ventilador foi semelhante ao obtido para o volume coletado nas provetas. Observou-se que na parte inferior, a deposição foi superior a obtida na altura de três metros, tal como encontrado por Mion *et al.* (2011).

Na calibração dos pulverizadores hidropneumáticos, devem ser consideradas a direção e a uniformidade do fluxo de ar, de modo que proporcione uma deposição uniforme de calda em todo dossel, independente da geometria da planta, tal, como os resultados obtidos por Pergher (2004).

A deficiência na distribuição do fluxo de ar e a uniformidade de distribuição volumétrica vertical da calda, em plantas arbóreas, podem ser equacionadas com o emprego de pulverizadores desenvolvidos com outros projetos de fabricação. Alguns trabalhos, como o de Ebert *et al.* (2009), indicam que a configuração adotada no projeto dos ventiladores e pulverizadores, para árvores, podem homogeneizar melhor a distribuição de ar e calda no dossel das árvores.

## Conclusões

O coeficiente de uniformidade do ar foi considerado homogêneo, sendo de 0,81 e 0,85 no lado esquerdo e direito, respectivamente.

A velocidade média do ar na saída do ventilador foi de  $35,5 \text{ m s}^{-1}$ .

A velocidade vertical média do ar na distância de 0,5 metros da barra foi de 5,9 e 5,1  $\text{m s}^{-1}$ , para o lado esquerdo e direito, respectivamente.

A vazão média de ar na saída do ventilador foi de  $5,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

A velocidade radial média do ar foi de 9,9 e 8,9  $\text{m s}^{-1}$  para o lado esquerdo e direito, respectivamente.

O coeficiente de variação para a distribuição volumétrica de líquido vertical foi de 136, 136 e 141% para as pressões de 633, 844 e 1055 kPa, respectivamente.

## Referências bibliográficas

ABRAMOVICH, G. N. **The theory of turbulent jets**. Fitzmatgiz, 1960. English translation, edited by L. H. Schindel. M. I. T. Press: 1963. 671p.

ANTONIN, P.; FELLAY, D. L. Influence du type de pulvérisateur sur l'efficacité des traitements antiparasitaires en arboriculture. **Revue Suisse de Viticulture et Arboriculture**, Vandoeuvre-Lès-Nancy, v. 8, p. 111-131, 1976.

ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Periodic inspection on crop sprayers: results according to age of sprayers. **Journal of Environmental Science and Health**, New York, v. 40, n. 1, p. 195-200, 2005.

BALAN, M. G.; ABI SAAB, O. J. G.; SASAKI, E. H. Distribuição da calda na cultura da videira por turboatomizador com diferentes configurações de pontas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 731-738, 2006.

BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; PEREIRA, F. A. R. Padrões de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano 11002, com e sem indução de ar, sob diferentes espaçamentos e alturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 546-551, 2006.

BAUER, F. C.; PEREIRA, F. A. R.; SCHEEREN, B. R.; BRAGA, L. W. Diagnóstico das condições, tempo de uso e manutenção de pulverizadores no estado de Mato Grosso do Sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 501-507, 2009.

BRAZEE, R.D.; FOX, R.D.; REICHARD, D.L.; HALL, F.R. Turbulent Jet Theory Applied to air sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 2, p. 266-272, 1981.

CELEN, I. H. Effect of angle of sprayer deflector on spray distribution in dwarf Apple tres. **Journal of Agronomy**, New York, v. 7, n. 2, p. 206-208, 2008.

CERRUTO, E.; FAILLA, S. Comportamento di un'irroratrice in uno agrumeto. **Rivista di Ingegneria Agraria**, Catania, v. 3, n. 3, p. 175-183, 1999.

CEN. European Committee for Standardization. **Agricultural and forestry machinery - Sprayers and liquid fertilizer distributors** - Environmental protection - Part 2: Field crop sprayers. Brussels, Belgium: EN 12761-2: 2001.

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L. Eficiência de deposição de pulverização em videiras, comparando bicos e pulverizadores. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 14, n. 0, p. 39-46, 2004.

CONAMA. **Consorzio Nazionale per la Meccanizzazione Agricola**. Roma, 1997. 11p. (Circolare Ministeriale 10189).

CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. **Crop Protection**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 13 – 30, 2001.

DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; GIULIETTI, L.; MAGDALENA, J. C. Perdas provocadas por pulverizadores hidroneumáticos en fruticultura. **Memorias de Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ambito Latinoamericano**. Editorial Board. La Plata. 1998.115p.

DI PRINZIO, A.; BEHMER, S.; MAGDALENA, J. C. **Equipos pulverizadores terrestres**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196 p. Cap. 9.

DORNELLES, M. E.; SCHLOSSER, J. F.; CASALI, A. L.; BRONDANI, L. B. Inspeção técnica de pulverizadores agrícolas: histórico e importância. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1600-1605, 2009.

EBERLINC, M.; SIROK, B.; HOCEVAR, M.; DULAR, M. Numerical and experimental investigation of axial fan with trailing edge self-induced blowing. **Forsch im Ingenieurwesen**, Ljubljana, v. 73, n. 3, p. 129-138, 2009.

EBERT, R. C.; BURNS, J. K.; MORGAN, K. T. Spray Volume, Distribution, and Efficacy of 5-Chloro-3-methyl-4-nitro-1H-pyrazole for Loosening Sweet Orange. **HortScience**, Alexandria, v. 44, n. 7, p. 1895-1899, 2009.

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

ENDALEW, A. M.; DEBAER, C.; RUTTEN, N.; VERCAMMEN, J.; DELETE, M. A. A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying - Part II: Validation for different sprayer types. **Computers and Electronics in Agricultural**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 137-147, 2010.

FOQUÉ, D.; NUYTENS, D. Effect of air support and spray angle on coarse droplet sprays in ivy pot plants. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 409-416, 2011.

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

GARCIA-RAMOS, F. J.; VIDAL, M.; BONE, A. Field evaluation of an air-assisted sprayer equipped with two reversed rotation fans. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 25, n. 4, p. 481-494, 2009.

GARG, V. K. Heat transfer research on gas turbine airfoils at NASA GRC. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, New York, v. 23, n. 2, p. 109-136, 2002.

HALL, F. Application to plantation crops. In: **Application technology for crop protection**. Cab International. Wallingford 1993. p. 187-211.

INTERNATION ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norma ISO 9898 - **equipment for crop protection**: Test methods for air assisted sprayers for bush and tree crops. 2000.

KAUL, P.; GEBAUER, S.; RIETZ, S.; HENNING, H. Mechanisms of distribution of plant protection products sprayed in orchards. **Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes**, Stuttgart, v. 54, n. 5, p. 110-117, 2002.

KÖPPEN, W. **Climatologia como un estudio de los climas de tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

KURDOV, Z.; KAPITANOV, D. Resultado de algunas investigaciones sobre los ventiladores axiales y radiales para asperjadoras de tractor. **Sieljoztopanska Tejnika**, Moscou, v. 5, p. 105-114, 1968.

LANDERS, A. **Cornell patternator**. Disponível em: <<http://web.entomology.cornell.edu/landers/PATTERNATOR.htm>>. Acesso em 24 de janeiro de 2012.

MAGDALENA, J. C. MONTEROLA, L. V. Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica*, Borkh). 144 f. **Tesis** (Doutorado) – Departamento de Mecanización y tecnología agraria, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2004.

MARQUEZ, L. **Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de los fitosanitarios**. Madrid: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. 2008. 124p.

MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M.; BALSARI, P. Study of Air Velocity Adjustment to Maximise Spray Deposition in Peach Orchards. **CIGR Journal**, v. X, 2008.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010. 588p.

MION, R. L.; SOMBRA, W. A.; DUARTE, J. M. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; VILIOTTI, C. A.; LUCAS, F. C. B.; MONTE, C. A. Uso de mesa vertical como parâmetro para regulagens de turboatomizadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 352-358, 2011.

NUYTTENS, D.; TAYLOR, W. A.; SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; DEKEYSER. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 103, n. 3, p. 271-280, 2009.

PAI, N; SALYANI, M.; SWEEB, R. D. Regulating airflow of orchard airblast sprayer based on tree foliage density. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 5, p. 1423-1428, 2009.

PERGHER, G. Field evaluation of a calibration method for air-assisted sprayers involving the use of a vertical patternator. **Crop Protection**, Oxford, v. 23, n. 5, p. 437-446, 2004.

PERGHER, G.; GUBIANI, R. Analisis della deposizione fogliare e delle perdite di distribuzione di una irroratrice ad aeroconvezione a deflettori orientabili. **Rivista di Ingegneria Agraria**, Catania, v. 1, p. 3-10, 1997.

PRAT, M. I. H.; TEIXEIRA, M. M.; RODRIGUES, G. J.; MILÁN, H. C. Aerodinámica del ventilador axil del pulverizador Hatsuta-420 empleado en frutales. **Ciências Técnicas Agropecuárias**, Havana, v. 14, n. 3, p. 22-30, 2005.

PRAT, M. I. H.; TEIXEIRA, M. M.; MILÁN, H. C.; COSTALES, A. G. F. Modelos matemáticos para la determinación de las características aerodinámicas del flujo de aire de un pulverizador para frutales. **Ciências Técnicas Agropecuárias**, Havana, v. 17, n. 2, p. 6-12, 2008.

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; FILHO, E. I. F.; PICANÇO, M. C. Características do fluxo de ar de um pulverizador hidropneumático para aplicação de agroquímicos em plantas arbustivas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 199-207, 2008.

SARRAF, C.; NOURI, H.; RAVELET, F.; BAKIR, F. Experimental study of blade thickness effects on the overall and local performances of a Controlled Vortex Designed axial-flow fan. **Experimental thermal and fluid science**, Paris, v. 35, n. 4, p. 684-693, 2011.

SANTOS, S. R. dos, MACIEL, A. J. da S. Proposta metodológica utilizando ferramentas de qualidade na avaliação do processo de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 627-636, 2006.

SILVEIRA, J. C. M.; FILHO, A. G.; PEREIRA, J. O.; SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; Avaliação qualitativa de pulverizadores da região de Cascavel, Estado do Paraná. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 569-573, 2006.

TACHIBANA, A.; ANTUNIASSI, U. R. Avaliação de sistemas de aplicação de defensivos para a citricultura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n. 1, p. 01-17, 2008.

TREFAN, L. Possibilità di valutare la distribuzione dei prodotti antiparassitari in frutticoltura. **Macchine e Motori Agricoli**, Bologna, v. 5, p. 17-25, 1985.

## **Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na eficiência da distribuição de líquido com um pulverizador hidropneumático automatizado em plantas arbóreas**

### **Resumo**

A pulverização de agrotóxicos exige conhecimento das condições meteorológicas antes, durante e após as operações no campo. Destas, as condições psicrométricas de temperatura e umidade relativa resultam na determinação do déficit de pressão de vapor d'água no ar. Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência do déficit de pressão de vapor d'água no ar, nos parâmetros da pulverização produzidos pela ponta de jato cônico vazio JA-2 na cultura da laranja. A pulverização foi realizada utilizando um pulverizador hidropneumático, acoplado a um trator New Holland, modelo TL75E. A análise dos parâmetros foi realizada utilizando-se de um analisador de partículas a *laser* e etiquetas hidrossensíveis. Para a determinação do volume de calda, empregou-se o método do volume de copa baseado nas dimensões das árvores no talhão. Na seleção do índice volumétrico considerou-se o volume da copa e o histórico de volume de calda pulverizado na área, sendo adotado  $50 \text{ mL m}^{-3}$ . A velocidade e a pressão de trabalho foram de  $2,8 \text{ km h}^{-1}$  e  $1.055 \text{ kPa}$ , respectivamente. A calda de pulverização foi composta por água e corante Azul Brilhante. O volume de calda pulverizado foi de  $696 \text{ L ha}^{-1}$ . O experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e as médias analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando a versão 9.2 do programa SAS. Os resultados indicaram que o déficit de pressão de vapor afetou os parâmetros da pulverização, exceto o diâmetro da mediana volumétrica. Os efeitos da evaporação aumentam quanto menor for o tamanho das gotas da pulverização. A maior percentagem de cobertura do alvo foi de 33% no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 1,38 a 1,45 kPa. A maior densidade de gotas foi de 341 gotas  $\text{cm}^2$  no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 2,10 a 2,17 kPa. O melhor valor de amplitude relativa do espectro de gotas foi de 1,0 no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 2,10 a 2,17 kPa e a maior deposição da calda sobre as folhas foi de  $2,6 \mu\text{L cm}^2$  observado no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 0,76 a 0,86 kPa.

**Palavras-chave:** pulverizador de jato transportado, poder evaporante do ar, tecnologia de aplicação, condições meteorológicas na pulverização.

## **Effect of deficit of water vapor pressure in the air in the efficiency of liquid distribution with a hydro-pneumatic automated sprayer**

### **Abstract**

Pesticides spraying require knowledge of meteorological conditions before, during and after operations in the field. From these, Psychometric conditions of temperature and relative moisture result in determination of deficit of water vapor pressure in the air. Therefore, this work aimed to evaluate influence of deficit of water vapor in pressure the air, in the parameters of spray produced by hollow cone tip of JA-2 in orange crop. The spraying was performed using a hydro-pneumatic sprayer coupled to a tractor New Holland, model TL75E. Parameters analysis was performed using a laser particle analyzer and hydro-sensitive labels. To determine spray volume, we used the canopy volume method based on dimensions of trees in the stand. For selecting volume index, the crown volume and history of area sprayed volume were considered, and adopted  $50 \text{ ml m}^{-3}$ . The speed and working pressure were  $2,8 \text{ km h}^{-1}$  and  $1.055 \text{ kPa}$ , respectively. Spray solution consisted of water and dye Brilliant Blue. The volume sprayed was  $696 \text{ L ha}^{-1}$ . The experiment was arranged in a randomized block design with three replications. Data were subjected to variance analysis F test, and averages analyzed by Tukey test at 5% probability, using SAS version 9.2. Results indicated that vapor pressure deficit affected spraying parameters, except median diameter volume. The smaller droplet size sprays are, the more effects of evaporation increase. The highest percentage of target coverage was 33% in the range of deficit of water vapor pressure in the air from 1,38 to 1,45 kPa. The highest density of droplets was 341 droplets  $\text{cm}^2$  in the range of deficit of water vapor pressure in the air from 2,10 to 2,17 kPa. The best value of relative amplitude of droplets spectrum was 1,0 in the range of deficit of water vapor pressure in the air from 2,10 to 2,17 kPa and greater deposition of spray over the leaves was  $2.6 \mu\text{L cm}^2$  observed in the interval of deficit of water vapor pressure in the air from 0,76 to 0,86 kPa.

**Key-words:** jet transported spray, air evaporating power, application technology, weather conditions in spraying.

## Introdução

A laranja é originária da Ásia e foi trazida para o Brasil em 1500, se tornando um dos principais produtos de exportação. O Brasil é o principal produtor, com aproximadamente 25% da produção mundial, seguido por Estados Unidos, China, Índia, México, Egito e Espanha. Enquanto Brasil e Estados Unidos utilizam mais de 70% da produção para a fabricação de sucos, México e China, em sua maioria, vendem as frutas para o consumo in natura. Na Espanha, mais da metade das laranjas têm como destino a exportação. Apenas no estado de São Paulo e na região do Triângulo Mineiro, conhecida como Citrus Belt, o Brasil produz 53% de todo o suco de laranja produzido no mundo. Além disso, o país é responsável por 85% da exportação mundial de suco de laranja, o que significa, na prática, que a grande maioria do suco de laranja tomado em todo o mundo é feito no Brasil (CITRUS BR, 2012).

A laranjeira é atacada por um grande número de insetos e patógenos. Dentre eles, se destacam ácaros, cochonilhas, cigarrinhas, psilídeos, mosca-branca e das frutas, verrugose, melanose e alternaria. O controle é feito, basicamente, por aplicações utilizando pulverizadores hidropneumáticos, e a redução no volume de calda na pulverização tem sido uma tendência para a maioria dos tratamentos fitossanitários em todo o mundo, sendo econômica e ambientalmente vantajosa. Além disso, não compromete a eficácia dos tratamentos desde que a tecnologia de aplicação seja empregada adequadamente (CHUECA *et al.*, 2009).

Na aplicação de agrotóxicos para controle de insetos e patógenos, não é o bastante a preocupação em controlar apenas a praga. Exige-se qualidade na aplicação, que vai além da eficácia de controle. É necessário proteger o meio ambiente, preservar a qualidade alimentar e a saúde dos operadores. Nos últimos anos, com a pressão da sociedade para reduzir a utilização dos agrotóxicos, o homem tem enfrentado o desafio de assegurar a produção de alimentos e a sustentabilidade da agricultura. Com o aumento da população mundial, atender a demanda, por alimentos, dependerá do desenvolvimento de novas tecnologias no setor agrícola, pois, aumentar a produtividade e atender aos padrões mundiais de segurança alimentar é fator decisivo para a competitividade da produção agrícola brasileira.

O Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG) afirma que as vendas de agrotóxicos encerraram 2011 com crescimento de 10% sobre o faturamento de 2010, passando de US\$ 7,3 para 8 bilhões. A expectativa da entidade para 2012 é que as vendas cresçam mais 5%. Entre as frutas, os citros apresentaram os maiores gastos com agrotóxicos em 2010, representando 31% do montante, com destaque para os acaricidas. A citricultura é a atividade que mais demanda este tipo de agrotóxico no País, devido ao elevado índice de

incidência do vírus da leprose do citros. Assim, a venda de acaricidas apenas para citros representa 94% do total destinado à agricultura (HORTIFRUTI BRASIL, 2012).

Os pulverizadores hidropneumáticos são os equipamentos mais utilizados na aplicação de inseticidas, acaricidas e fungicidas em culturas de porte arbóreo. Embora seja atualmente a melhor opção para aplicações em culturas como a laranjeira, é evidente o impacto ambiental causado pelas pulverizações com estes equipamentos. Sendo assim, existe a necessidade de estudos que objetivem melhorar a tecnologia existente, por meio da avaliação do desempenho e da qualidade das aplicações, pois possuem baixa eficiência, especialmente, quando o alvo está no interior da copa. Uma alternativa para aumentar a deposição no interior da copa foi sugerida por Garcia-Ramos *et al.* (2009) que propuseram o uso de pulverizadores com dois ventiladores axiais com rotação inversa.

O controle sobre as aplicações de agrotóxicos tornou-se relevante para o desenvolvimento de estratégias a serem adotadas para o uso sustentável dos mesmos na agricultura (BALSARI *et al.*, 2007). Uma alternativa é a criação de zonas de segurança, que são faixas de proteção para reduzir o efeito do produto sobre culturas adjacentes, cujo tamanho varia de acordo com o equipamento de aplicação (GILBERT, 2000). Segundo Nilsson e Svensson (2004), a sensibilidade da cultura, o tipo de produto aplicado e as condições meteorológicas devem ser considerados na determinação dessas zonas de segurança.

A eficiência da pulverização de agrotóxicos depende de fatores característicos da cultura, tais como a estrutura do dossel, estágio fenológico, variedade, técnicas de aplicação, condições meteorológicas, volume e doses de aplicação. A combinação destes permite alcançar a eficácia e a eficiência desejadas (LLORENS *et al.*, 2010).

O fato dos agrotóxicos constituírem a principal estratégia para o controle de pragas colocou o Brasil entre os maiores consumidores do mundo. A utilização e a consequente contaminação dos alimentos são preocupações constantes no âmbito da saúde pública. Estudos do risco crônico referentes à ingestão de agrotóxicos pela população e, programas que analisam seus resíduos evidenciaram preocupações com essa temática (CALDAS e SOUZA, 2000; ANVISA, 2003).

Ebert e Downer (2006) afirmam que inovações no sentido de melhorar a eficiência das pulverizações resultariam na redução dos volumes utilizados, o que é uma tendência com os avanços da tecnologia de aplicação. Os diferentes tamanhos e formas das copas das plantas, durante as fases de crescimento, tornam necessário o ajuste contínuo da dose e do volume para aumentar a eficiência da pulverização. Os sistemas de controle do volume de calda e de parâmetros da pulverização são necessários para atingir um depósito uniforme do produto sobre

a copa das plantas e reduzir as perdas relativas à aplicação, seja por deriva ou evaporação (SOLANELLES *et al.*, 2006). Estes autores utilizaram um sensor ultrassônico e uma válvula solenoide para desenvolver um sistema de controle proporcional da pulverização com base nas dimensões da copa.

A área foliar de uma planta pode aumentar, significativamente, durante seu desenvolvimento, chegando a mais de 23.000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> em um ano (SIEGFRIED *et al.*, 2007). Portanto, o volume de calda não pode ser um valor fixo por hectare. Os estandes de videira, na Suíça, por exemplo, variam entre 5.000 e 12.000 plantas. Na Espanha, na Itália, na França e na Alemanha variam entre 1.500 a 5.000 plantas. Diante disso, o volume de calda a ser aplicado deve considerar o volume da copa das plantas por unidade de área, dia da aplicação, produto a ser aplicado, tipo de pulverizador e não, exclusivamente, a superfície do solo ou o volume de água a ser aplicado (WISE *et al.*, 2010).

A medida que o volume da copa das plantas se altera com o desenvolvimento fenológico da espécie recomenda-se então o ajuste do volume de calda a ser pulverizado. Na Europa, se utiliza o Índice Volumétrico (IV), que representa o volume de calda necessário para cobrir adequadamente um metro cúbico de copa. Segundo Homer *et al.* (2010), em zonas frutícolas nos Estados Unidos, especificamente em lavouras de maçã, o índice volumétrico foi ajustado em aplicações de alto volume para 93,7 mL m<sup>-3</sup>. Os autores mencionam ainda o índice de ajuste de densidade foliar entre 0,7 para árvores com copa pouco densa e 1,0 para árvores com copas muito densa, este índice considera os estádios fenológicos, tipo de manejo adotado no cultivo, tamanho das plantas e intensidade da poda.

A determinação do volume da copa das árvores considera as dimensões da planta como um dos fatores principais na pulverização em plantas de porte arbóreo. As medidas da árvore são um fator que afeta a eficiência da pulverização e a eficácia do agrotóxico (GIL *et al.*, 2005). De acordo com Gil *et al.* (2007a), o uso das dimensões da árvore pode representar redução de custos ao produtor. Os referidos autores obtiveram redução de 57% do volume aplicado, usando sensores capazes de medir as variações na largura da copa sem afetar a deposição, a cobertura e a penetração no alvo. Já Pai *et al.* (2008) afirmam que, em alguns pomares, é comum encontrar árvores de diferentes densidades de vegetação, galhos e ramos mortos, redefinindo o volume das plantas dentro de uma única linha.

A caracterização estrutural da medição e do volume de plantas pode ser realizada por meio de detecção, utilizando técnicas de análise de imagem, análise do espectro de luz infravermelho, termografia e radiação por meio de ultrassom, que se reflete nas folhas e galhos e volta para o instrumento. O sensor LIDAR quando utilizado, juntamente com sensores multiespectrais, pode

fornecer detalhes em três dimensões da cobertura vegetal, permitindo o cálculo do volume da copa das plantas (POLO *et al.*, 2009; ROSELL *et al.*, 2009).

As dimensões da planta foram utilizadas por Walklate *et al.* (2011) para determinar o volume de pulverização. No entanto, segundo Wei e Salyani (2005), estas dimensões podem ser tomadas de modo automático utilizando um *scanner a laser* que, por meio de um algoritmo, mensura a altura, o volume e a densidade de folhas das árvores.

O Índice de Área Foliar (IAF) foi denominado por Watson (1947) como sendo a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo. É uma variável biofísica que esta diretamente relacionada com a transpiração e a produtividade da planta em questão e, indiretamente com a eficiência de uso da água. No Brasil, o IAF é um fator pouco utilizado na determinação do volume e dos depósitos da calda na copa da planta. Porém, em muitos países europeus, é frequentemente utilizado como uma ferramenta que auxilia na determinação dos depósitos da calda. Em diversos trabalhos, tais como os de Pergher e Petris (2008), Siegfried *et al.* (2007), Dammer *et al.* (2008) e Gil *et al.* (2011), se verifica o uso do índice de área foliar para determinar a captura do ingrediente ativo. O IAF auxilia na comparação entre o volume da copa das plantas e permite aos pesquisadores uma verificação dos depósitos obtidos em função da massa foliar. Minguela e Cunha (2010) apresentam equações para a determinação do volume de calda, onde inclui o índice de área foliar.

Diversos são os fatores e aspectos que interferem na pulverização de agrotóxicos, tais como a seleção da ponta, volume de calda, dose do produto, grau de infestação, equipamento, entre outros. As condições meteorológicas para a realização da pulverização não podem ser controladas e, por isso, todas as ferramentas disponíveis devem ser utilizadas para amenizar seus efeitos adversos na eficiência da pulverização de agrotóxicos. Uma das alternativas é a correta seleção das pontas. Balan *et al.* (2008) não verificaram efeito das condições meteorológicas na deposição da calda, utilizando as pontas de jato plano com pré-orifício ADI-03 e jato plano com indução de ar BJ-03. Já a deposição da calda com a ponta de jato cônico vazio JA-1 foi reduzida com o aumento da temperatura e com a diminuição da umidade relativa do ar. Em relação aos efeitos das condições meteorológicas, na pulverização de agrotóxicos, Thomson e Lyn (2011) verificaram que houve redução do tamanho das gotas proporcionalmente com a redução da umidade relativa.

Utilizando o modelo de evaporação, descrito em Walklate (1992), para estimar o tempo e a distância de deslocamento da gota, Gil *et al.* (2007b) verificaram que na situação do tamanho de gotas mais crítica ( $D_{v0,1}$ ), as gotas se afastaram pelo menos 4 metros a partir do pulverizador antes de evaporar totalmente. Segundo Villalba e Hetz (2010), a combinação de alta temperatura

do ar, acima de 30 °C e baixa umidade relativa, abaixo de 40%, podem apresentar uma influência direta sobre a evaporação das gotas pulverizadas, principalmente em caso de gotas finas. Os fatores mais importantes que afetam as perdas por evaporação na aplicação de agrotóxicos são a capacidade de evaporação do ambiente, o tamanho das gotas, o tempo que as gotas levam para chegar ao alvo e a distância em relação ao alvo.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência do déficit de pressão de vapor d'água no ar nos parâmetros da pulverização produzida pela ponta de jato cônico vazio JA-2, na cultura da laranja.

## **Material e métodos**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aplicação de Defensivos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola e, em pomar de laranja do Departamento de Fitotecnia, situados na altitude de 650 metros, nas coordenadas 20° 45' 54" latitude Sul e 45°52'54" longitude Oeste na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. O clima da região foi classificado como Cwa, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos (KÖPPEN, 1948).

A pulverização foi realizada utilizando um pulverizador hidropneumático, marca Hatsuta, modelo SS-420, equipado com bomba de pistão, modelo S60, e um ventilador axial de 700 milímetros de diâmetro, acoplado a um trator New Holland, modelo TL75E, com potência nominal de 55,2 kW (75cv), trabalhando com 540 rpm na tomada de potência, aferida utilizando um tacômetro digital Instruterm, modelo TDR-100.

A pulverização foi realizada utilizando a ponta de jato cônico vazio JA-2 que é caracterizada por produzir gotas finas, segundo a Associação Americana de Engenharia Agrícola (ASAE) e o Conselho Britânico de Proteção de Culturas (BCPC), de acordo com a norma S572 (ASAE, 2000).

O critério para a determinação do volume de calda foi baseado no volume da copa das árvores, descrito por Sutton e Unrath (1984) e Sutton e Unrath (1988), sendo esta metodologia pouco utilizada no Brasil. A determinação do volume de calda pelo método do volume de copa baseou-se na medida das dimensões das árvores no talhão, utilizando uma haste graduada (Equação 1). O ensaio foi conduzido em um laranjal, conduzido sem poda, da variedade Pêra Rio, com porta enxertos da variedade Limão Cravo, apresentando copas com as dimensões médias de 2,65 metros de altura, 2,1 metros de diâmetro e espaçamento entre linhas de 4 x 4 metros.

$$VC = \frac{H D}{E} 10000 \quad (1)$$

em que

VC = volume da copa das plantas ( $m^3 ha^{-1}$ );

H = altura da planta (m);

D = diâmetro da copa (m);

E = espaçamento entre linhas (m).

O índice volumétrico pode ser influenciado pelo volume da copa, pelo nível de infestação e pelas condições meteorológicas no momento da pulverização. Entretanto, deve ser selecionado, principalmente, com base no conhecimento do histórico da área, e do volume suficiente para proporcionar uma boa cobertura das plantas. A seleção do índice volumétrico foi realizada levando-se em consideração o volume da copa e o histórico de volume de calda pulverizado na área, sendo o índice de volume adotado igual a  $50 mL m^{-3}$ . A velocidade e a pressão de trabalho foram de  $2,8 km h^{-1}$  e  $1.055 kPa$ , respectivamente. Após a determinação do volume da copa e a seleção do índice volumétrico, determinou-se o volume de pulverização (Equação 2). O índice de área foliar foi medido por um ceptômetro AccuPar, modelo LP-80, em todas as plantas utilizadas no experimento.

$$VP = \frac{VC IV}{1000} \quad (2)$$

em que

VP = volume de pulverização ( $L ha^{-1}$ );

VC = Volume da copa ( $m^3 ha^{-1}$ );

IV = índice volumétrico ( $mL m^{-3}$ ).

Na determinação do tamanho das gotas, utilizaram-se etiquetas hidrossensíveis posicionadas no plano horizontal da planta nas posições (norte, sul, leste e oeste), em três alturas do dossel (inferior, mediana e superior) e três profundidades na copa (externa, mediana e interna), (Figura 1). Esta metodologia também foi utilizada por Salyani *et al.* (2000), Fox *et al.* (2008), Jamar *et al.* (2010), Balsari *et al.* (2009) e Celen (2008).

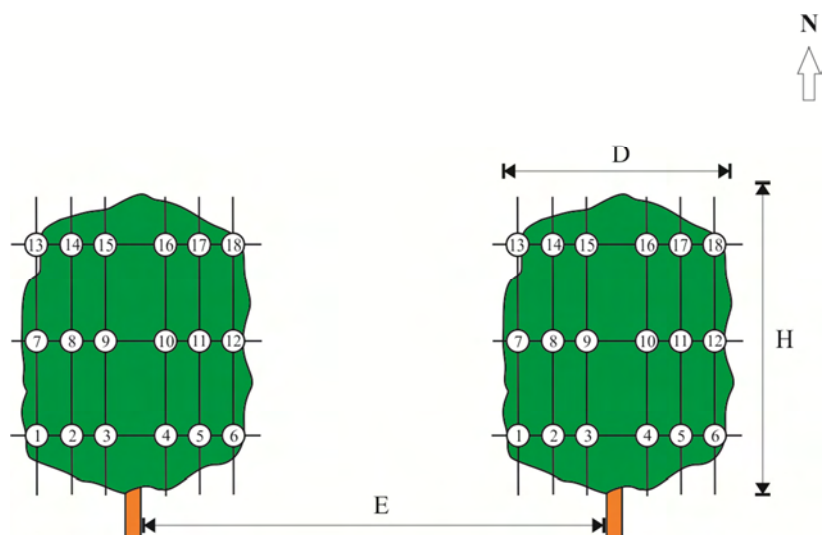


Figura 1. Esquema da disposição das etiquetas na planta.

As etiquetas foram digitalizadas utilizando uma máquina fotográfica de 12.0 megapixels, marca Nikon, modelo Coolpix L22, posicionada a 0,1 metros de altura e analisadas com o auxílio do *software* para análise de gotas *Image Tool 3.0*. O diâmetro das gotas foi corrigido pelo fator de espalhamento, indicado para os papéis hidrossensíveis, de acordo com as recomendações do fabricante Syngenta (2002) e utilizado por Marçal e Cunha (2008). A quantidade de gotas na superfície da folha foi considerada ideal para a pulverização de agrotóxicos, segundo as recomendações propostas por Barthelemy *et al.* (1990) no controle de insetos e patógenos.

A amplitude relativa (AR) foi determinada após o processamento das imagens. O diâmetro da mediana volumétrica e a amplitude relativa foram analisados, concomitantemente, na caracterização da qualidade da aplicação. A amplitude relativa indica a homogeneidade do tamanho de gotas (Equação 3).

$$\text{SPAN} = \frac{D_{V0,9} - D_{V0,1}}{D_{V0,5}} \quad (3)$$

em que

SPAN = amplitude relativa do espectro de gotas;

$D_{V0,9}$  = diâmetro da gota, tal que 90% do volume pulverizado é constituído de gotas menores que este valor ( $\mu\text{m}$ );

$D_{V0,5}$  = diâmetro da gota, tal que 50% do volume pulverizado é constituído de gotas menores que este valor ( $\mu\text{m}$ );

$D_{V0,1}$  = diâmetro da gota, tal que 10% do volume pulverizado é constituído de gotas menores que este valor ( $\mu\text{m}$ ).

A calda de pulverização foi composta por água e corante Azul Brillante (FD & C nº 1), na proporção de 3,0 g L<sup>-1</sup>. As folhas foram coletadas após o término da pulverização e acondicionadas, individualmente, em sacos plásticos e levadas ao laboratório. Posteriormente, foram lavadas em 30 mL de água destilada, sendo agitados, por 30 segundos, para remoção do corante da folha. A solução foi analisada em espectrofotômetro, modelo SP-1105, lendo-se a absorvância no comprimento de onda de 630 nm, conforme proposto por Palladini *et al.* (2005) e Scudeler *et al.* (2004). Para análise da deposição, a área das folhas foi mensurada em aparelho específico, marca Licor, modelo LI-3100.

Ao correlacionar a concentração do corante, na solução de lavagem das amostras, com a obtida na calda de pulverização foi possível estabelecer o volume capturado pelo alvo (Equação 4). Após a determinação do volume capturado e da área foliar, determinou-se a concentração de corante nas folhas, utilizando metodologia proposta por Scudeler *et al.* (2004), Palladini (2000), Palladini *et al.* (2005) e Souza *et al.* (2007).

$$C_i V_i = C_f V_f \quad (4)$$

em que

$C_i$  = concentração do corante na calda aplicada (mg L<sup>-1</sup>);

$V_i$  = volume capturado pelo alvo (mL);

$C_f$  = concentração do corante na amostra, detectada pelo espectrofotômetro em absorvância e transformada para (mg L<sup>-1</sup>);

$V_f$  = volume de diluição da amostra (mL).

O volume de calda pulverizado foi de 696 L ha<sup>-1</sup> e as condições de déficit de pressão de vapor d'água no ar, foram estabelecidas de acordo com as recomendações para as condições meteorológicas no momento da pulverização, e os resultados obtidos por Manhani (2011), (Quadro 1).

Quadro 1. Condições psicrométricas para a realização das pulverizações

Tratamentos	Déficit de pressão (kPa)
1	DPV < 1,0 ± 0,05
2	1,0 < DPV < 2,0 ± 0,05
3	2,0 < DPV < 3,0 ± 0,05

Nas condições meteorológicas acima de três quilopascals de déficit de pressão, a pulverização seria interrompida, caso esta situação fosse encontrada no campo.

O experimento foi montado no delineamento de blocos casualizados com três repetições, constituídos por duas plantas cada. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste

F, e as médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando a versão 9.2 do programa SAS.

## Resultados e discussões

As condições meteorológicas, no dia 31 de outubro de 2011, para a análise no déficit de pressão entre zero e um quilopascal foram: temperatura média de 25 °C, umidade relativa média de 78% e déficit de pressão variando entre 0,76 a 0,86 kPa. Já a pulverização no déficit de pressão entre um e dois quilopascal, realizada no dia 03 de novembro de 2011, apresentou temperatura média de 22 °C, umidade relativa média de 46% e déficit de pressão de 1,38 a 1,45 kPa. A condição de déficit de pressão mais extrema, obtida no dia 08 de novembro de 2011, apresentou temperatura média de 27 °C, umidade relativa média de 41% e déficit entre 2,10 a 2,17 kPa. Durante todo o experimento, as pulverizações foram realizadas com velocidade do vento abaixo de 2 m s<sup>-1</sup>.

O índice de área foliar é uma característica determinada em função da área foliar e se altera com o desenvolvimento da planta, podendo apresentar valores distintos dependendo da época do ano. No pomar em questão o IAF foi de 2,87. Este parâmetro permite que seja feita comparação entre lavouras em diferentes lugares pela densidade da copa.

A análise dos efeitos do déficit de pressão no espectro de gotas da pulverização de agrotóxicos demonstrou que houve efeito significativo para todos os parâmetros analisados, exceto para o diâmetro da mediana volumétrica (Quadro 2).

Quadro 2. Resumo da análise de variância dos efeitos do déficit de pressão no espectro de gotas produzido pela ponta de jato cônico vazio JA-2

F. V	G. L.	Quadrado médio			
		DMV	Dv <sub>0,9</sub>	Dv <sub>0,1</sub>	Span
Bloco	2	26295,04	65562,42	2178,70	0,19
DPV	2	4431,85 <sup>ns</sup>	278101,72*	12142,28*	5,43*
Resíduo	319	5805,94	10023,75	934,83	0,07
C. V. (%)		23,45	17,79	22,27	19,74
F. V	G. L.	Quadrado médio			
		C.H.	Cobertura	Pop. gotas	Deposição
Bloco		9,59	456,67	12900,94	4,62
DPV		25,03*	3020,58*	275613,04*	87,69*
Resíduo		2,50	93,79	5926,19	0,76
C. V. (%)		32,70	34,44	27,12	52,65

\*Significativo, <sup>ns</sup>Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O coeficiente de homogeneidade (CH) das gotas foi maior quando o déficit de pressão variou de 0,76 a 0,86 kPa. Na condição de déficit de pressão mais amena o CH foi de 5,3, ou seja superior ao observado na condição meteorológica mais critica (Quadro 3).

Quadro 3. Coeficiente de homogeneidade das gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
Coeficiente de homogeneidade	5,3a	4,5b	4,5b
C. V. (%)	32,70		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A homogeneidade das gotas, em condições críticas de déficit de pressão, diminuiu em função da extinção de gotas pequenas. A extinção total das gotas ocorre em situações onde a temperatura e a umidade relativa do ar é desfavorável à pulverização. Alguns fatores como a distância entre o ponto de lançamento e o alvo podem agravar esta situação, pois o tempo de exposição da gota à condição de maior poder evaporativo contribui com sua perda. Os valores desse coeficiente permaneceram dentro do limite estabelecido como adequado para pontas de jato cônico vazio, de 1,8 a 5,0, sugeridos por Marques (1994) e Teixeira (2010). Minguela e Cunha (2010) afirmam que valores de coeficiente de homogeneidade inferiores a 1,4 podem ser considerados adequados para a pulverização.

A percentagem de cobertura do alvo foi maior quando o déficit de pressão de vapor esteve no intervalo entre 1,38 a 1,45 kPa (Quadro 4).

Quadro 4. Percentagem de cobertura do alvo em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
Cobertura (%)	23c	33a	27b
C. V. (%)	34,44		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O déficit de pressão de vapor proporcionou um aumento da percentagem de cobertura. Isso ocorreu devido as gotas sofrerem uma redução no tamanho e conseqüentemente, aumentaram a percentagem de cobertura do alvo. Entretanto, em todos os déficits de pressão, a percentagem de cobertura apresentou valores considerados satisfatórios para o controle fitossanitário, corroborando os resultados obtidos por Ramos *et al.* (2007) sem prejuízos ao controle

fitossanitário na cultura da laranja. Segundo Minguela e Cunha (2010), a experiência tem demonstrado que percentagens de cobertura entre 20 e 30% são suficientes para um bom controle fitossanitário.

A densidade de gotas foi maior quando o déficit de pressão de vapor foi mais crítico, 2,10 a 2,17 kPa. Neste, a densidade de gotas foi 341 gotas cm<sup>2</sup>, sendo maior que nos intervalos de déficit de pressão entre 0,76 a 0,86 e 1,38 a 1,45 kPa (Quadro 5).

Quadro 5. Densidade de gotas em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
Densidade de gotas (gotas cm <sup>2</sup> )	249b	260b	341a
C. V. (%)	27,12		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Nas condições mais críticas de evaporação, no intervalo de 2,10 a 2,17 kPa, as gotas evaporaram bastante, reduzindo seu tamanho, tal como evidenciado por Minguela e Cunha (2010). Entretanto, este efeito evaporativo pode, em determinadas situações, extinguir as gotas completamente antes de alcançarem o alvo, exercendo uma influência prejudicial à eficiência da pulverização. A população de gotas foi superior aos valores recomendados por Barthelemy *et al.* (1990) para o controle de insetos e patógenos.

A densidade de gotas e a percentagem de cobertura são parâmetros afetados pelo diâmetro da mediana volumétrica, volume de calda, Dv<sub>0,9</sub> e Dv<sub>0,1</sub>, fluxo de vento, tipo de ponta, arquitetura da planta, pilosidade e cerosidade da folha, entre outros, corroborando com Derksen *et al.* (2007).

O Dv<sub>0,9</sub> foi maior quando o déficit de pressão de vapor variou de 0,76 a 0,86 kPa. No intervalo de déficit de 2,10 a 2,17 kPa o tamanho de gotas foi de 506 µm, sendo menor que o obtido nos déficits de 0,76 a 0,86 e 1,38 a 1,45 kPa (Quadro 6).

Quadro 6. Tamanho de gotas (Dv<sub>0,9</sub>) em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
Dv <sub>0,9</sub> (µm)	605a	576a	506b
C. V. (%)	17,79		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Estes resultados reforçam o efeito do déficit de pressão no espectro de gotas da pulverização. Observou-se que, em condições mais críticas de déficit de pressão, a evaporação foi maior e as gotas tiveram seu tamanho reduzido. Acima do  $Dv_{0,9}$  o espectro de gotas, é composto, geralmente, por um número pequeno de gotas.

O  $Dv_{0,1}$  apresentou maior valor no intervalo de déficit de pressão entre 0,76 a 0,86 kPa. No intervalo de déficit de pressão entre 0,76 a 0,86 kPa o  $Dv_{0,1}$  foi de 149  $\mu\text{m}$  sendo maior que o observado na condição de déficit de pressão de vapor entre 1,38 a 1,45 e 2,10 a 2,17 kPa (Quadro 7).

Quadro 7. Tamanho de gotas ( $Dv_{0,1}$ ) em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
$Dv_{0,1}$ ( $\mu\text{m}$ )	149a	133b	129b
C. V. (%)	22,27		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Embora as gotas pequenas também contribuam para a eficácia dos tratamentos fitossanitários, observa-se que à medida que se realiza a pulverização em condições meteorológicas adversas e não seleciona a ponta adequada a esta condição, as perdas econômicas são muito grandes para o produtor. A sociedade e o meio ambiente também são afetados, uma vez que resíduos de agrotóxicos são transportados até longas distâncias, tornando-se, em alguns casos, uma questão de saúde pública. Esta é a classe do espectro de gotas que mais sofre os efeitos das condições adversas, corroborando os resultados de Gil *et al.* (2007b).

O  $Dv_{0,9}$  e o  $Dv_{0,1}$  são parâmetros ainda pouco estudados no Brasil e cujos efeitos, na pulverização de agrotóxicos, são pouco discutidos nos trabalhos de pesquisa. Na maioria das vezes se esmeram mais no estudo do diâmetro da mediana volumétrica. Estes dois parâmetros foram utilizados para a determinação do Span que indica a amplitude do espectro de gotas da pulverização. Quanto mais próximos os valores de  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$ , mais homogêneo foi o espectro da população de gotas. Apesar de, neste trabalho, o diâmetro da mediana volumétrica não ter sido influenciado significativamente pelas condições meteorológicas. Yu *et al.* (2009b) e Yu *et al.* (2009a) em seus trabalhos obtiveram resultados que demonstram seus efeitos no tamanho de gotas.

A amplitude relativa das gotas foi menor quando as condições psicrométricas foram mais críticas, no intervalo de déficit de pressão entre 2,10 a 2,17 kPa. Sendo constatado que nesta

condição o Span foi inferior ao observados no intervalo de déficit de pressão de vapor de 0,76 a 0,86 e 1,38 a 1,45 kPa (Quadro 8).

Quadro 8. Amplitude relativa do espectro de gotas em função do efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
Amplitude relativa	1,5b	1,4b	1,0a
C. V. (%)	19,74		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A redução da amplitude relativa nas condições mais críticas ocorreu porque todo o espectro foi reduzido, mesmo ocorrendo a extinção de algumas gotas que compunham o  $Dv_{0,1}$ , permitiu que este parâmetro apresentasse menores valores na pior condição. Segundo Hewitt *et al.* (2006), este parametro é um dos melhores indicadores da homogeneidade da pulverização. Em valores absolutos, quanto maior o valor da amplitude relativa, mais desuniformes serão as gotas, concordando com Cunha *et al.* (2010) e, quanto mais próximos de zero, mais uniforme o espectro.

A calibração do espectrofotômetro obtida a partir de uma amostra da calda, diretamente, no tanque em cada déficit de pressão de vapor foi determinada a fim de calcular o depósito na planta (Figura 2).

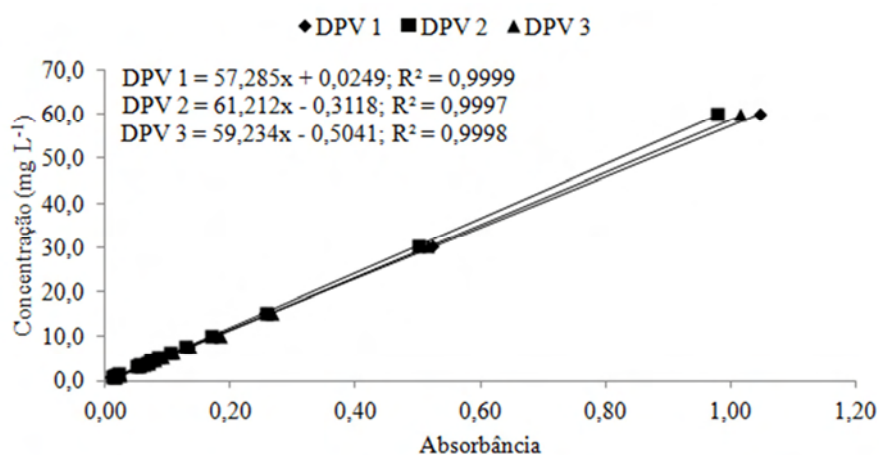


Figura 2. Calibração da absorvância do traçador obtido com o espectrofotômetro.

A deposição da calda na planta foi maior nas condições mais amenas de déficit de pressão de vapor, na faixa entre 0,76 a 0,86 kPa. Os resultados indicaram que nesta condição a deposição

foi superior aquela observada nos déficits de 1,38 a 1,45 e 2,10 a 2,17 kPa, respectivamente (Quadro 9).

Quadro 9. Deposição da calda no dossel da planta em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar

Parâmetro	Déficit de pressão (kPa)		
	0,76 a 0,86	1,38 a 1,45	2,10 a 2,17
Deposição ( $\mu\text{L cm}^2$ )	2,6a	1,2b	1,0b
C. V. (%)	52,65		

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A maior deposição no intervalo de déficit de pressão, 0,76 a 0,86 kPa, foi um indicativo de que, em condições meteorológicas favoráveis, consegue-se com maior facilidade colocar o produto no alvo. Já em condições adversas, devido à grande taxa de evaporação, o agricultor deve buscar alternativas que possibilitem a chegada das gotas à planta.

A copa das plantas tem papel fundamental na penetração da calda em seu interior. Plantas com grande densidade foliar, geralmente, apresentam maior dificuldade de deposição do ingrediente ativo no interior da copa. A sobreposição das folhas, da parte externa da copa, denominado de efeito parede Escola *et al.* (2006), pode dificultar a penetração das gotas na parte interna, local onde se encontram em muitos casos, a maioria dos patógenos e insetos. Estes resultados são frequentes no campo e a consequência é a ineficácia no controle fitossanitário. Balan *et al.* (2008), trabalhando com a ponta de jato cônico vazio JA-1, verificaram que houve variações superiores a 100% na deposição da calda em função das condições meteorológicas.

A evaporação das gotas, contendo ingrediente ativo de agrotóxicos, tem sido motivo de grande preocupação por parte da sociedade, uma vez que, as moléculas de agrotóxicos podem retornar à superfície da terra por meio da água das chuvas e provocar danos à saúde dos seres humanos e animais, afetar a qualidade do meio ambiente e se tornar um caso de segurança alimentar. Esta preocupação já foi retratada por Pignati *et al.* (2007) que relataram o caso de chuvas de agrotóxicos em Lucas do Rio Verde no Estado do Mato Grosso.

## Conclusões

O déficit de pressão de vapor d'água no ar afetou os parâmetros da pulverização densidade de gotas, cobertura, Span, etc., exceto o diâmetro da mediana volumétrica.

A maior percentagem de cobertura do alvo foi de 33% no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 1,38 a 1,45 kPa.

A maior densidade de gotas foi de 341 gotas cm<sup>2</sup> no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 2,10 a 2,17 kPa.

A maior deposição da calda sobre as folhas foi de 2,6 µL cm<sup>2</sup> observado no intervalo de déficit de pressão de vapor d'água no ar de 0,76 a 0,86 kPa.

## Referências bibliográficas

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Agrotóxicos e toxicologia**: programa de análise de resíduos de agrotóxicos em alimentos, 2003. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

ASAE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. In: ASAE Standards. St. Joseph, 2000. p.389-91.

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

BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M. A test bench for the classification of boom sprayers according to drift risk. **Crop Protection**, Oxford, v. 26, n. 10, p. 1482-1489, 2007.

BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M. A crop identification system (CIS) to optimise pesticide applications in orchards. **The Journal of Horticultural Science e Biotechnology**, Kent, v. 84, n. 6, p. 113-116, 2009.

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

CALDAS, E.D.; SOUZA, L. C. Avaliação de risco crônico da ingestão de resíduos de pesticidas na dieta brasileira. **Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 5, p. 529-537, 2000.

CELEN, I. H. Effect of angle of sprayer deflector on spray distribution in dwarf apple trees. **Journal of Agronomy**, New York, v. 7, n. 2, p. 206-208, 2008.

CHUECA, P.; GRAFTON-CARDWELL, E. E.; MOLTÓ, E. Influence of Spray Equipment and Water Volume on Coverage of Citrus and Control of Citricola Scale, *Coccus pseudomagnoliarum* (Hemiptera: Coccidae) With Mineral Oil. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 102, n. 1, p. 296-303, 2009.

CITRUS BR. **Produção de laranja e suco**. Disponível em <<http://www.citrusbr.com/exportadores-citricos/setor/producao-192415-1.asp>>. Acesso em 30 de janeiro de 2012.

- CUNHA, J. P. A. R.; BUENO, M. R.; FERREIRA, M. C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n, esp., p. 1153-1158, 2010.
- DAMMER, K. H.; WOLLNY, J.; GIEBEL, A. estimation of the leaf area index in cereal crops for variable rate fungicide spraying. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 351-360, 2008.
- DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; KRAUSE, C. R. Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. **Transaction of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 5, p. 1493-1501, 2007.
- EBERT, T. A.; DOWNER, R. A. A different look at experiments on pesticide distribution. **Crop Protection**. Oxford, v. 25, n. 4, p. 299-309, 2006.
- ESCOLA, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GARCIA, F.; ROSSE, J. R.; GIL, E.; VAL, L. **Spray application volume in apple pear orchards in catalonia (spain) and variable rate technology for dose adjustment**. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2006. (Paper, 1620).
- FOX, R. D.; DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; BRAZEE, R. D.; SVENSSON, S. A. A history of air-blast sprayer development and future prospects. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 51, n. 2, p. 405-410, 2008.
- GARCIA-RAMOS, F. J.; VIDAL, M.; BONE, A. Field evaluation of an air-assisted sprayer equipped with two reversed rotation fans. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 25, n. 4, p. 481-494, 2009.
- GILBERT, A. J. Local environmental risk assessment for pesticides (LERAP) in the UK: Aspects of applied biology. **Pesticide Application**, New York, v. 57, p. 83-90, 2000.
- GIL, E.; BERNART, C.; QUERALTÓ, M.; LÓPEZ, A.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. **Pesticide dose adjustment in vineyard: relationship between crop characteristics and quality of the application**. In: Proceedings of the Eighth Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing. Barcelona, p. 29-36. 2005.
- GIL, E.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J. R.; PLANAS, S.; VAL, L. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. **Crop Protection**, Oxford, v. 26, n. 8, p. 1287-1297, 2007a.
- GIL, Y.; SINFORT, C.; BRUNET, Y.; POLVECHE, V.; BONICELLI, B. Atmospheric loss of pesticides above an artificial vineyard during air-assisted spraying. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 41, n. 14, p. 2945-2957, 2007b.
- GIL, E.; LLORENS, L.; LANDERS, A.; LLOP, J.; GIRALT, L. Field validation of dosaviña, a decision support system to determine the optimal volume rate for pesticide application in vineyards. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 33-46, 2011.
- HEWITT, A.; O'DONNELL, C.; WOODS, N.; DORR, G. Atomisation modelling for Spray applications. **Aspects of Applied Biology**, London, v. 77, p. 147-153, 2006.

HORTIFRUTI BRASIL. **Defensivos: hortifrutis são o terceiro maior**. Disponível em <[http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/107/mat\\_capa.pdf](http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/107/mat_capa.pdf)> acesso em 27 de janeiro de 2012.

HOMER, I.; OLIVET, J.; RIQUELME, J. **Regulación de equipos pulverizadores**. In:\_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edição. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196 p. Cap. 10.

JAMAR, L.; MOSTADE, O. HUYGHEBAERT, B.; PIGEON, O.; LATEUR, M. Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standard and drift-mitigating nozzles in dwarf apple orchards. **Crop Protection**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 561-566, 2010.

KÖPPEN, W. **Climatologia como un estudio de los climas de tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

LLORENS, J.; GIL, E.; LLOPJ.; ESCOLÀ, A. Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency. **Crop Protection**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 239-248, 2010.

MANHANI, G. G. Automatização de pulverizador pneumático visando à eficiência da aplicação e redução de impactos ambientais. 2011. 98 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MARÇAL, A. R. S.; CUNHA, M. Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 51, n. 3, p. 811-821, 2008.

MARQUES, L. **Aplicaciones en cultivos bajos y hortícolas: problemática y soluciones: curso de aplicación ecocompatible de productos fitosanitarios**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, ES. 1994. 28p.

MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010. 588p.

NILSSON, E.; SVENSSON, S. A. Buffer zones when using plant protection products a Swedish Approach: Polish academy of sciences. **Annual review of Agricultural Engineering**, v. 4, p. 143-150, 2004.

PAI, N.; SALYANI, M.; SWEEB, R. D. Adjusting airblast sprayer airflow based on tree foliage density. **ASABE**, St. Joseph, p. 1-11, 2008. Paper Number 083653.

PALLADINI, L. A. Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações. 2000. 111 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choiceoftracers for theevaluationof spray deposits. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

PERGHER, G.; PETRIS, R. **The effect of air flow rate on spray deposition in a guyot-trained vineyard**. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript ALNARP 08 010. Vol. X. May, 2008.

PIGNATI, W. A.; MACHADO, J. M. H.; CABRAL, J. F. Acidente rural ampliado: o caso das “chuvas” de agrotóxicos sobre a cidade de Lucas do Rio Verde – MT. **Ciência e Saúde Coletiva**, Cuiabá, v. 12, n. 1, p. 105-114, 2007.

POLO, J. R. R.; SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; PALLEJÀ, T.; VAL, L. PLANAS, S. GIL, E.; PALACÍN, J. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 102, n. 2, p. 128-134, 2009.

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

ROSELL, J. R.; LLORENS, J.; SANZ, R.; ARNÓ, J.; RIBES-DASE, M.; MASIP, J.; ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; GRÀCIA, F.; GIL, E.; VAL, L.; PLANAS, S.; PALACÍN, J. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 9, p. 1505-1515, 2009.

SALYANI, M.; KOO, Y. M.; SWEEB, R. D. Spray application variables affect air velocity and deposition characteristics of a tower sprayer. **Proceedings Florida State Horticultural Society**, Winter Haven, v. 113, p. 96-101, 2000.

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

SIEGFRIED, W.; VIRET, O; HUBER, B.; WOHLHAUSER, R. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. **Crop Protection**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 73-82, 2007.

SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; CAMP, F.; GRÀCIA, F. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 95, n. 4, p. 473-481, 2006.

SOUZA, R. T.; VELINI, E. D.; PALLADINI, L. A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007.

SUTTON, T.B., UNRATH, C.R. Evaluation of the tree-row volume concept with density adjustments in relation to spray deposition in apple orchards. **Plant Disease**, Madison, v. 68, n. 6, p. 480–484, 1984.

SUTTON, T.B., UNRATH, C.R. Evaluation of the tree-row-volume model for full season pesticide application on apples. **Plant Disease**, Madison, v. 72, n. 7, p. 629–632, 1988.

SYNGENTA. **Water-sensitive paper for monitoring spray distributions**. CH-4002. Basle, Switzerland: Syngenta Crop Protection, 2002.

TEIXEIRA, M. M. **Estudio de lapoblación de gotas de pulverización**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edición. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas

sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196p. Cap. 5.

THOMSON, S. J.; LYN, M. E. Environmental and spray mixture effects on droplet size represented by water-sensitive paper used in drift studies. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 3, p. 803-807, 2011.

VILLALBA, J; HETZ, E. **Deriva de productos agroquímicos – Efecto de las condiciones ambientales**. In: \_\_\_\_\_. Tecnología de aplicación de agroquímicos. 1ª Edición. Alto Valle, Argentina: Red CYTED “Técnicas sostenibles de distribución de agroquímicos” Área de comunicaciones del INTA Alto Valle, 2010. 196p. Cap. 3.

WALKLATE, P. A simulation study of pesticide drift from air-assisted orchard sprayer. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 51, n. 1, p. 263-283, 1992.

WALKLATE, P. J.; CROSS, J. V.; PERGHER, G. Support system for efficient dosage of orchard and vineyard spraying products. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 75, n. 2, p. 355-362, 2011.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, p.41-76. 1947.

WEI, J.; SALYANI, M. Development of a *laser* scanner for measuring tree canopy Characteristics: Phase 2. Foliage density measurement. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 48, n. 4, p. 1595-1601, 2005.

WISE, J. C.; JENKINS, P. E.; SCHILDER, A. M. C.; VANDERVOORT, C.; ISAACS, R. Sprayer type and water volume influence pesticide deposition and control of insect pests and diseases in juice grapes. **Crop Protection**, Oxford, v. 29, n. 4, p. 378-385, 2010.

YU, Y.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 1, p. 39-49, 2009a.

YU, Y.; ZHU, H.; FRANTZ, J. M.; REDING, M. E.; CHAN, K. C.; OZKAN, H. E. Evaporation and coverage area of pesticide droplets on hairy and waxy leaves. **Biosystems Engineering**, Columbus, v. 104, n. 3, p. 324-334, 2009b.