

# EFEITO DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR D'ÁGUA NO AR NA PULVERIZAÇÃO HIDROPNEUMÁTICA EM ALVOS ARTIFICIAIS

## *EFFECT OF THE WATER VAPOR PRESSURE DEFICIT IN THE AIR ON HYDROPNEUMATIC SPRAYING OF ARTIFICIAL TARGETS*

**Cleyton Batista de ALVARENGA<sup>1</sup>; Mauri Martins TEIXEIRA<sup>2</sup>; Sérgio ZOLNIER<sup>2</sup>; Paulo Roberto CECON<sup>3</sup>; Dalmo Lopes de SIQUEIRA<sup>4</sup>; Denílson Eduardo RODRIGUÊS<sup>5</sup>; Robson Shigueaki SASAKI<sup>2</sup>; Paula Cristina Natalino RINALDI<sup>6</sup>**

1. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil, cleytonalvarenga@cpd.ufmt.br; 2. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 3. Departamento de Estatística - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 4. Departamento de Fitotecnia - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 5. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Elétrica UFV, Viçosa, MG, Brasil; 6. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Rio Pomba, MG, Brasil.

**RESUMO:** Objetivou-se com este 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 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. A amplitude relativa 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. Etiquetas hidrossensíveis. Pressão de trabalho. Pontas hidráulicas.

## 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; MINGUELA; 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. 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 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, uma vez que depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (VIEIRA, 2009).

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. A combinação de alta temperatura do ar, acima de 30 °C, e baixa umidade relativa, abaixo de 40%, apresentam 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 aplicação de agrotóxicos é uma tarefa complexa devido entre outros fatores à grande

diversidade de equipamentos e métodos de pulverização para se atingir o alvo, às diferenças entre os produtos químicos, a diversidade de culturas e os hábitos de crescimento, o grande número de insetos e doenças, as disparidades na habilidade dos operadores, as condições meteorológicas incontroláveis, a segurança do trabalhador, os regulamentos ambientais, o volume de calda, o 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 um 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).

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  $\mu\text{m}$  reduziu de 115 para 52 s. Já em umidade de 60%, o tempo de evaporação média aumentou de 40 para 453 s com o incremento do diâmetro das gotas de 246 para 886  $\mu\text{m}$ . 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.

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.

Deste modo, objetivou-se com este trabalho estudar o efeito do déficit de pressão de vapor d'água do ar na pulverização, utilizando uma ponta hidráulica de jato cônico vazio JA-2 em alvos artificiais, 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, 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, fabricada pela Jacto, foi selecionada para a realização desse 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. O anemômetro foi aferido utilizando a metodologia proposta por Dornelles et al. (2011).

Para auxiliar na avaliação do efeito do déficit de pressão de vapor d'água do ar nos parâmetros da pulverização, foram confeccionados três suportes de madeira, divididos nas alturas de 0,5, 1,5 e 2,5 m 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 até as etiquetas foi de dois metros, para todos os tratamentos.

As condições psicrométricas, durante a condução do experimento, foram monitoradas com um indicador de temperatura e umidade relativa, marca Umimi<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).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[ \frac{0,5 \cdot T}{(297,5 + T)} \right]} \quad (1)$$

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 velocidade angular na tomada de potência (TDP) e 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 estabelecidas levando-se em consideração as condições meteorológicas, usualmente, recomendadas para a aplicação de agrotóxicos, quais sejam: 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 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Condições psicrométricas para a realização das pulverizações

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

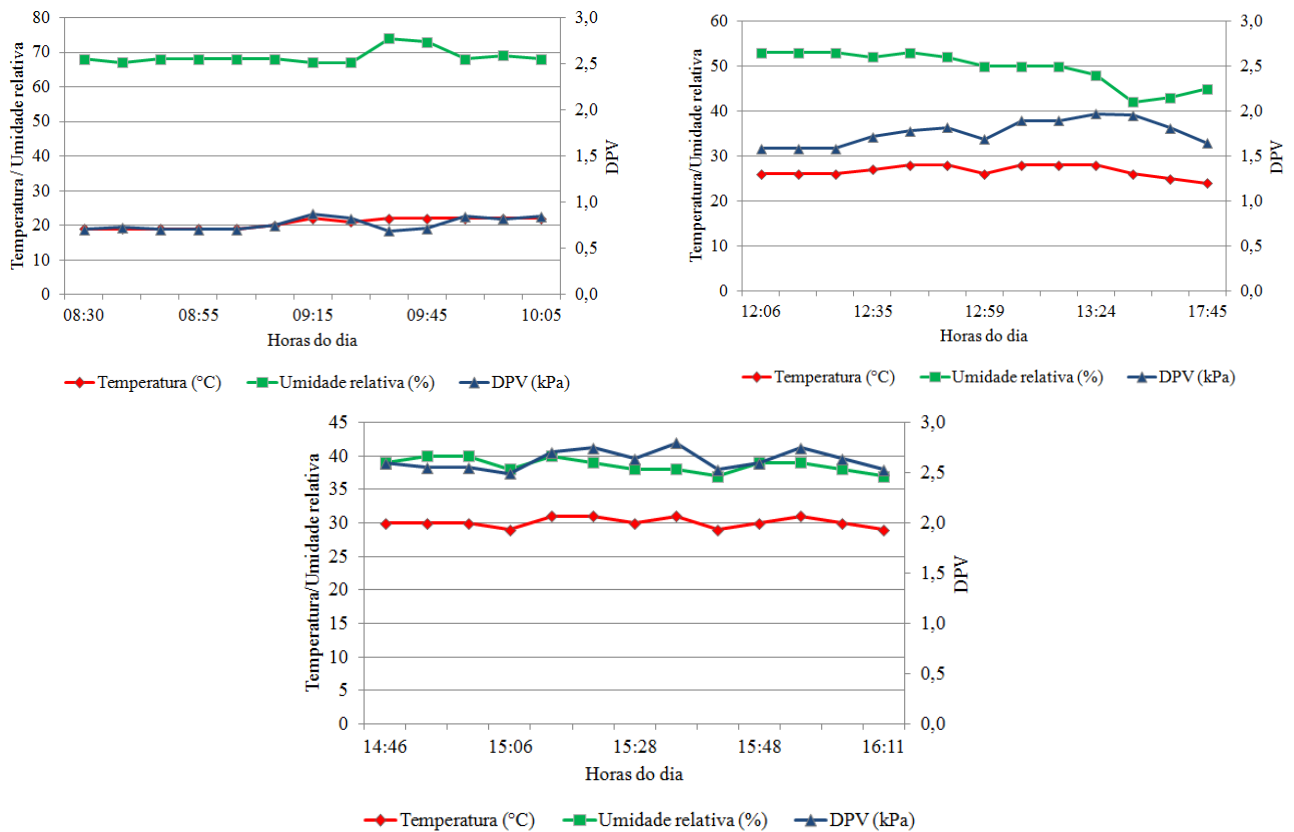
Para realizar as pulverizações adotou-se a metade superior das classes de déficit de pressão de vapor. Este critério foi estabelecido para ser mais rigoroso, quanto ao efeito das condições psicrométricas de temperatura e umidade relativa, no espectro de gotas.

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, já descritas, no delineamento de blocos casualizados, com três repetições. As etiquetas foram digitalizadas por 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, percentagem de cobertura,  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade do vento permaneceu abaixo de 0,5 m s<sup>-1</sup>, 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, 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 diferentes pontas de pulverização, 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 escorrimento

para o solo e cursos d'água, contaminação do ambiente, animais, aplicadores e consumidores.

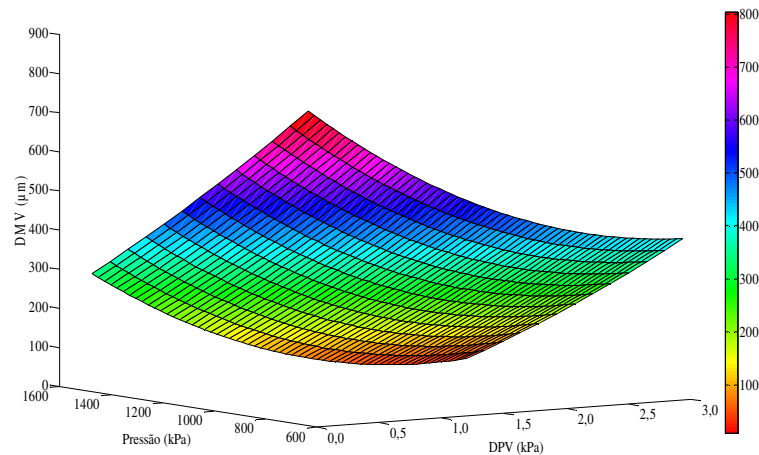
A evaporação é um fenômeno que interfere diretamente na tomada de decisão do agricultor e operador sobre o momento da realização da pulverização, pois a elevação do volume de calda tem aumentado os danos ambientais causados pelo emprego inadequado das técnicas de aplicação. O modo empregado atualmente 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. 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  $\mu\text{m}$ . 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).

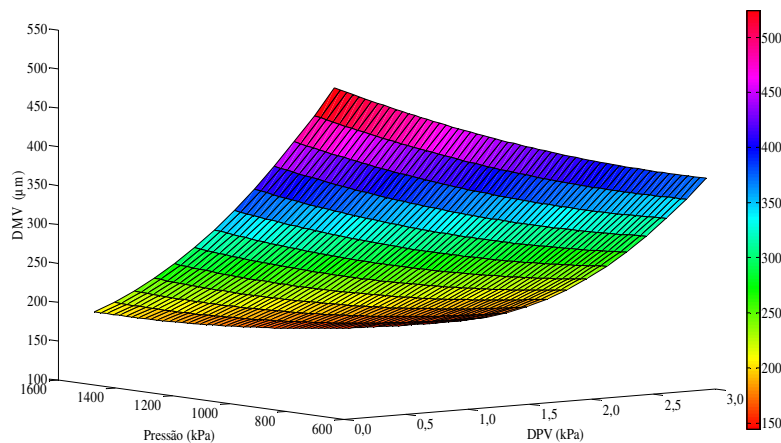
$$\text{DMV} = 1257,98267 - 0,7651^* P - 283,33484^* \text{DPV} + 0,04312^* (P * \text{DPV}) + 0,00007885^* P^2 + 41,15385^* \text{DPV}^2; R^2 = 0,9643$$



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

**Figura 2.** Diâmetro da mediana volumétrica ( $D_{V0,5}$ ) das gotas produzidas 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.

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



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

**Figura 3.** Diâmetro da mediana volumétrica ( $D_{V0,5}$ ) das gotas, produzidas 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.

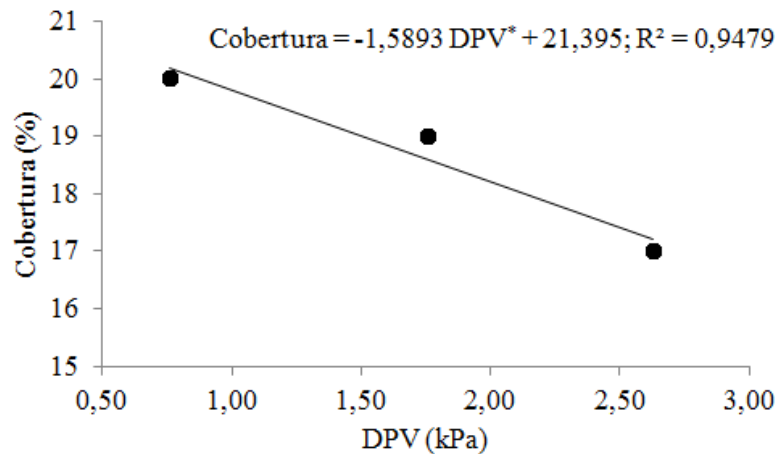
As gotas de maior tamanho apresentam maior tempo de vida até o alvo e, possivelmente, podem penetrá-lo antes de evaporarem,

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.

Em relação à cobertura do alvo, na altura de 0,5 e 1,5 metros, apresentaram um coeficiente de determinação desprezível, sendo por isso suprimidos dos resultados. 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. Neste caso observou-se 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 4).



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

**Figura 4.** 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 densidade de gotas no alvo 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 densidade de gotas pode ser menor devido ao potencial de translocação do produto na planta. O máximo percentual de cobertura foi observado na altura de 1,5 metros, de 33%. Esse valor é 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 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  $\text{cm}^{-2}$ . Em relação ao déficit de pressão de vapor, a população de gotas reduziu-se de 215 para 189 gotas  $\text{cm}^{-2}$  com o aumento do déficit de 0,76 para 1,76 kPa e de 189 para 104 gotas  $\text{cm}^{-2}$ , quando o déficit

de pressão de vapor foi de 1,76 para 2,63 kPa, respectivamente (Figura 5).

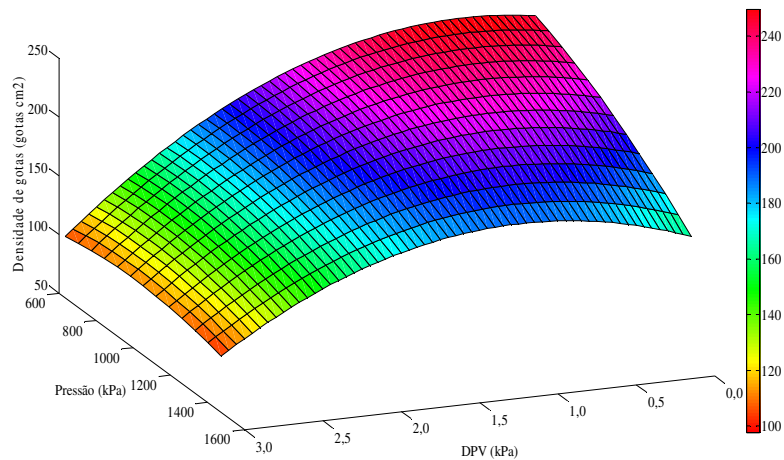
A população de gotas obtida foi considerada satisfatória para os tratamentos fitossanitários praticados na agricultura, pois foi bastante elevada atendendo com qualidade as pulverizações para controle fitossanitário. Este é um dos parâmetros mais confiáveis, quando obtidos a partir da análise de alvos artificiais. A menor densidade de gotas foi 105 gotas  $\text{cm}^{-2}$  e, segundo Barthelemy et al. (1990), essa quantidade é suficiente para o controle de insetos e patógenos.

Em relação ao parâmetro  $Dv_{0,1}$ , na altura de 0,5 e 2,5 metros, observou-se um coeficiente de determinação muito pequeno. 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 6).

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.

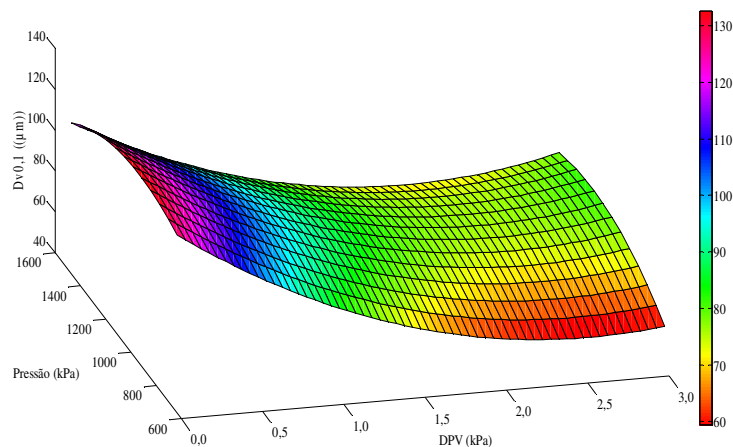
$$Y = 265,12323 + 0,03423^* (P * DPV) - 0,00005124^* P^2 - 23,05370^* DPV^2; R^2 = 0,5807$$



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

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

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



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

**Figura 6.** Tamanho de gotas ( $Dv_{0,1}$ ) produzido pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.

Já em relação ao  $Dv_{0,9}$  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

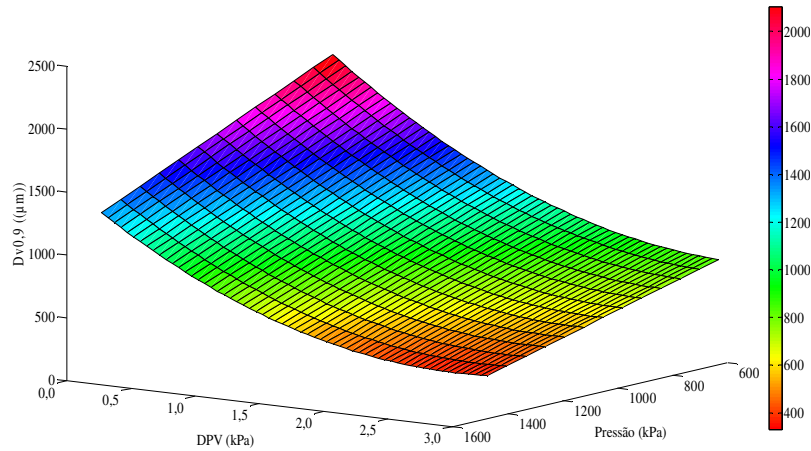
473  $\mu\text{m}$  no tamanho das gotas que representam o parâmetro  $Dv_{0,9}$  (Figura 7).

A evaporação ocorrida nestas faixas de valores 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  $Dv_{0,9}$ ,

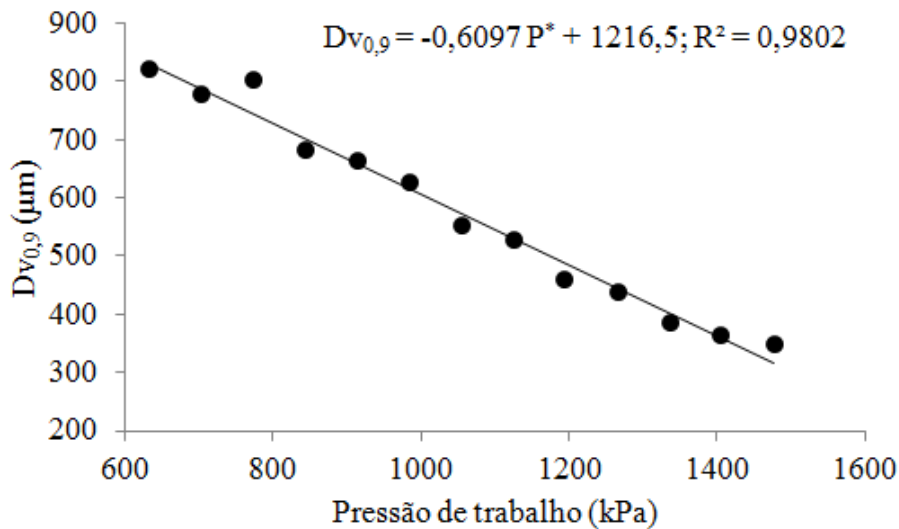
sendo descartado do modelo que representou o comportamento dos dados (Figura 8).

$$Dv_{0,9} = 2730,82658 - 0,98970 * P - 877,63850 * DPV + 0,13227 * (P * DPV) + 123,78205 * DPV^2; R^2 = 0,9296$$



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

**Figura 7.** Tamanho de gotas ( $Dv_{0,9}$ ) produzido pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.



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

**Figura 8.** Tamanho de gotas ( $Dv_{0,9}$ ) produzido pela ponta JA-2, na altura de 2,5 metros.

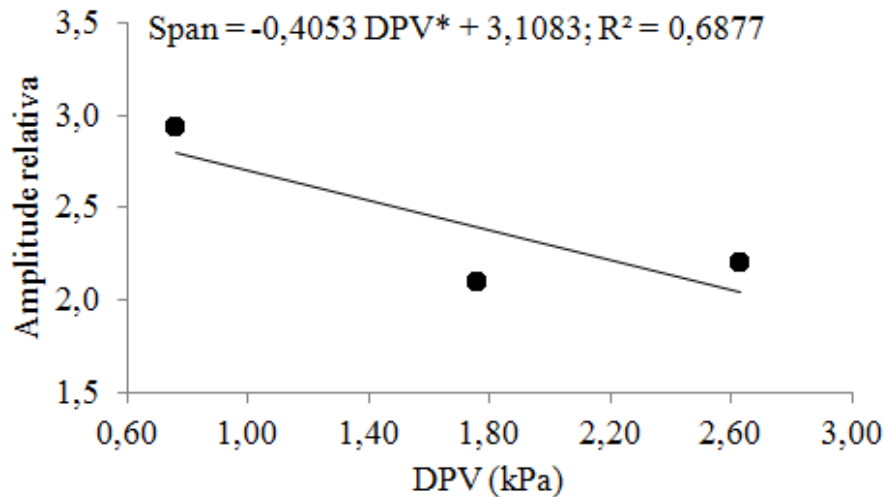
O comportamento do  $Dv_{0,9}$ , nas diferentes alturas, seguiu uma tendência semelhante àquela obtida para o  $Dv_{0,5}$  e o  $Dv_{0,1}$ . Observou-se efeito do déficit de pressão no tamanho da gota para todas as alturas estudadas. Os parâmetros  $Dv_{0,9}$  e  $Dv_{0,1}$  são pouco discutidos nos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

A amplitude relativa ou 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 9).

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 10).

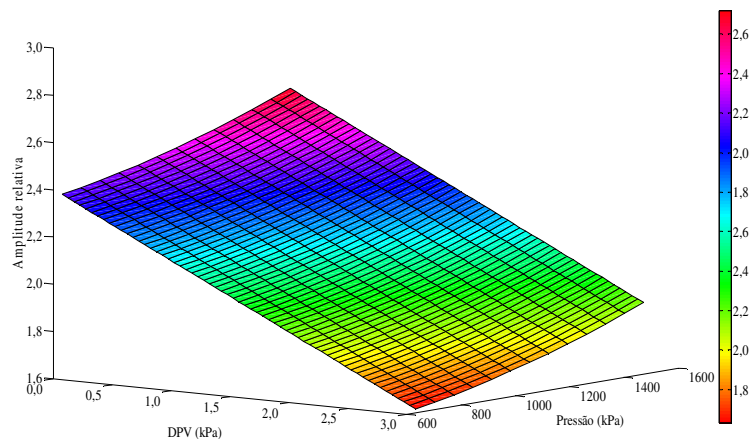




\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

**Figura 9.** Amplitude relativa do espectro de gotas produzido pela ponta JA-2, na altura de 0,5 metros.

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



0,4577

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

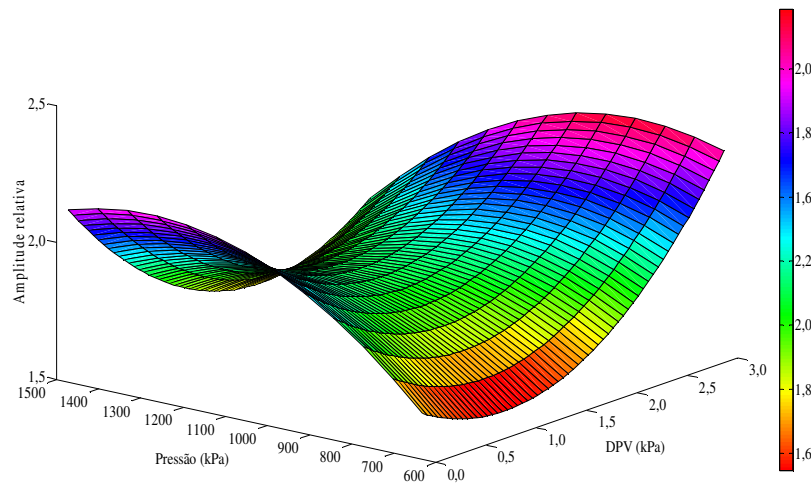
**Figura 10.** Amplitude relativa do espectro de gotas produzido pela ponta JA-2, na altura de 1,5 metros.

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 11).

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.

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



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

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

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.

O uso das etiquetas sensíveis à água e óleo na determinação de tamanho de gotas deixou muito a desejar. Porém, na prática é o método mais acessível para os agricultores, em decorrência do elevado valor de um analisador de partículas a laser. As etiquetas são mais precisas para fornecer o percentual de cobertura do alvo. As ineficiências das etiquetas hidrossensíveis na mensuração do tamanho de gotas são evidenciadas por fatores como a sobreposição de gotas, coalescência de gotas, fator de espalhamento variável com o tamanho da gota, entre outros; concordando com Alvarenga et al.,

(2012) na conclusão de que as etiquetas subestimam o número de gotas.

## CONCLUSÕES

O aumento do déficit de pressão de vapor d'água no ar de zero para três quilopascals 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 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.

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

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the effect of pressure deficit on spraying parameters for the tip JA-2 at different target heights, and discuss its implications on the evaporation of spray droplets. To study the spray parameters, water-sensitive papers were fixed to a wood frame measuring 0.5 x 1.5 meters and 2.5 meters high, and a hydropneumatic sprayer was used attached to a John Deere tractor. The experiment was setup in a factorial design (3 x 13), consisting of three vapor pressure deficits and 13 spray pressures with three replications in a randomized block design. The results indicated that the increased vapor pressure deficit in the air affected spraying by reducing the droplet size. Height of the target influenced the spectral parameters of the spray droplets. The coverage percentage of the target increased with increases in the vapor pressure deficit in the air and working pressure. Droplet density increased with pressure and decreased with vapor pressure deficit in the air. The relative amplitude was greater with increasing working pressure and smaller with increasing vapor pressure deficit in the air.

**KEYWORDS:** Evaporation of spray droplets. Water-sensitive papers. Working pressure. Spray tips.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Efficiency of the spray tip using hydraulic hollow cone from the spectral analysis of the droplets. **Brazilian Journal of Applied Technology For Agricultural Science**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 41-50, 2012.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 Económica, 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.
- 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 Agrônômicas, 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 Agrônômicas, 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 Agrônômicas, 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.
- 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 comunicacões 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.