

DESEMPENHO OPERACIONAL DE PONTAS HIDRÁULICAS NA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DA PULVERIZAÇÃO HIDROPNEUMÁTICA

OPERATIONAL PERFORMANCE OF NOZZLES IN DETERMINING THE PARAMETERS OF THE HYDROPNEUMATIC SPRAY

Gilton José RODRIGUES¹; Mauri Martins TEIXEIRA²; Cleyton Batista de ALVARENGA³

1. Professor Adjunto, Universidade Federal Fluminense, Pólo Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda-RJ, Brasil, giltongilton@yahoo.com.br; 2. Professor Associado, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Departamento de Engenharia Agrícola, Campus Universitário, Viçosa-MG, Brasil, mauri@ufv.br; 3. Doutorando, CCA - Departamento de Engenharia Agrícola -UFV, Campus Universitário, Viçosa-MG, Brasil. Cleyton.alvarenga@ufv.br

RESUMO: As pontas de pulverização hidráulicas são muito importantes nos pulverizadores hidropneumáticos e as principais responsáveis pela divisão do líquido em gotas. Neste trabalho objetivou-se estudar o desempenho operacional de dois conjuntos de pontas de jato cônico, em quatro pressões. Avaliou-se a vazão das pontas, a influência da pressão no ângulo de abertura do jato, o coeficiente de descarga e a uniformidade de distribuição volumétrica na faixa de pressão de 414 a 1448 kPa. As pontas de pulverização JA-1 e JA-2 apresentaram vazões, estatisticamente, iguais às fornecidas pelo fabricante. O ângulo do jato de pulverização modificou-se de forma significativa apenas nas pontas JA-2, com a elevação da pressão de 414 para 620 kPa. O coeficiente de descarga dos dois conjuntos de pontas foi inferior ao valor proposto para orifícios de fluxo turbulento, com menores valores para a série com menor diâmetro do orifício. A distribuição volumétrica foi bastante variável, em função da vazão nominal e da pressão.

PALAVRAS CHAVE: Agrotóxico. Pulverizadores. Tecnologia de aplicação.

INTRODUÇÃO

O objetivo da tecnologia de aplicação é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência, de maneira econômica, afetando o mínimo possível o ambiente (MATTHEWS, 2002). O aumento no volume de calda proporciona maior deposição de gotas. De maneira geral, Cunha e Pereira (2009) afirmam que a ponta de jato cônico vazio é eficiente na deposição de gotas, no entanto, chamam atenção para o risco potencial de deriva ocasionado pelas gotas muito finas geradas por essa ponta. O conhecimento das condições de trabalho e, principalmente, do comportamento operacional das pontas de pulverização é necessário para eficiência da pulverização.

Entre as técnicas de aplicação de agrotóxicos, as que se baseiam na pulverização hidráulica são as mais difundidas. As pontas de pulverização representam um dos principais componentes, sendo importante definir as suas características, uma vez que influenciam diretamente na qualidade da deposição. Para Cunha e Ruas (2006) as pontas, em geral, apresentam perfis de distribuição triangular, simétrico e sem grandes depressões na zona central, permitindo, boa sobreposição dos jatos de pulverização e uniformidade de distribuição conjunta. À medida que se aumenta a pressão do líquido e a altura da

barra porta-bicos, alonga-se o perfil do jato, com menor concentração de líquido na parte central.

O mercado oferece uma variedade de pontas hidráulicas, com diferentes características operacionais, adequada a cada tipo de equipamento e produto a ser aplicado. De maneira geral, recomendam-se as pontas de jato cônico vazio para as aplicações de inseticidas. Segundo Cunha et al. (2005) essas pontas têm como característica maior deposição de líquido na porção mais externa do cone. Possuem um perfil de distribuição com menor concentração no centro, aumentando um pouco a medida que se aproxima das extremidades, para voltar a cair bruscamente. Geralmente são recomendadas para as aplicações em culturas com grande massa foliar, em que a penetração das gotas no dossel e a cobertura do alvo são essenciais (SRIVASTAVA et al., 1993).

Normalmente, as pontas cone vazio, trabalham submetidos a uma pressão de 200 a 1000 kPa produzindo ângulo de abertura do jato de 60 a 80° (graus). É importante a determinação da influência da pressão no ângulo de abertura do jato, uma vez que isso traz implicações na distribuição ao longo do arco de distribuição de um pulverizador hidropneumático e na uniformidade de distribuição do líquido pulverizado (CUNHA et al., 2005). Outro fator importante a ser avaliado em uma ponta de pulverização é o coeficiente de descarga (C_D), que relaciona a vazão com a pressão aplicada. Esse

coeficiente depende do tipo de ponta e do tamanho do orifício, sendo considerado como referência o valor mínimo ideal de 0,611 para fluxo turbulento (SRIVASTAVA et al., 1993).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional de pontas de pulverização hidráulicas de jato cônico, submetidos a diferentes pressões do líquido, para estabelecer parâmetros rastreáveis em um processo de pulverização, com pulverizador hidropneumático.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Mecanização do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se uma bancada de ensaios construída de acordo com a norma ISO 5682/1, concebida para a determinação da vazão e da distribuição volumétrica da pulverização proporcionada pelas pontas de pulverização.

A bancada de ensaios possui 2,0 m de comprimento por 1,0 m de largura, com canaletas

em forma de “V” com 0,05 m de profundidade e largura. A pressão hidráulica foi produzida por uma bomba de pistão, com vazão máxima de 20 L min⁻¹ e uma pressão máxima de 500 kPa, e acionada por um motor elétrico de 220 V e potência equivalente a 2,2 kW. A bancada possui um sistema para regular a pressão e filtragem do líquido e uma barra portabicos com capacidade para cinco bicos. A altura de trabalho da barra pode ser variada de 0,10 a 0,70 m. Para medição da vazão e faixa de aplicação são utilizadas provetas graduadas com capacidade de 20 mL e precisão equivalente a 0,2 mL.

A pressão foi medida com um manômetro calibrado, marca Famagras, cuja capacidade nominal é de 1578,6 kPa e com resolução de 19,73 kPa. Foram empregadas pontas de pulverização de jato cônico fabricadas em cerâmica, modelo JA-1 (1 mm de diâmetro) e JA-2 (1,3 mm de diâmetro), produzidos pela empresa Jacto, recomendados para trabalhar, preferencialmente, entre pressões de 414 a 1448 kPa em pulverizadores hidropneumáticos (Tabela 1).

Tabela 1. Vazão nominal das pontas hidráulicas tipo cone vazio

Pressão (kPa)	Vazão nominal (L min ⁻¹)	
	JA-1	JA-2
414	0,32	0,64
620	0,38	0,76
1034	0,50	1,00
1448	0,55	1,10

Fonte: Jacto S.A.

Para o estudo da vazão foram utilizadas, aleatoriamente, 14 pontas da série JA-1 e 14 da série JA-2, as quais foram avaliadas de maneira individual. As pontas foram colocadas na bancada de ensaios e a elas foi ajustado um tubo plástico para conduzir o líquido pulverizado para uma proveta coletora com capacidade de 2 L e precisão de 10 mL. As avaliações foram feitas em quatro pressões, sendo a mínima e a máxima recomendada pelo fabricante e duas intermediárias. Cada medição foi realizada durante 60 segundos, com cinco repetições.

A análise estatística dos dados consistiu-se em determinar a precisão das medições, aplicando-se para isso o teste “t” de Student para uma confiabilidade de 95 %. A Equação 1 foi empregada para determinar o erro da medição da vazão. O erro máximo admitido para este tipo de estudo foi de 5 %. Para o erro calculado inferior ao limite estabelecido aceitou-se a média como representante da amostra.

$$L = \left(\frac{t DP}{\sqrt{n}} \right) \quad (1)$$

em que:

L = erro absoluto, L;

t = valor de “t” de student;

DP = desvio padrão; e

n = número de amostras.

A partir da determinação do erro absoluto, calculou-se o erro percentual referente à média. Para a realização dos cálculos elaborou-se uma tabela, utilizando o programa “Excel”.

Outro estudo foi conduzido para determinar o coeficiente de descarga (C_D). Esse coeficiente faz uso de todos os fatores que caracterizam a dinâmica da descarga de uma determinada ponta de pulverização. A velocidade do líquido ao passar pelo orifício da ponta de pulverização é fundamental no processo de pulverização conforme Srivastava et al. (1993) (Equação 2).

$$v_j = C_v \left(2 \frac{\Delta p}{\rho_1} \right) \quad (2)$$

em que:

v_j = velocidade do líquido, $m s^{-1}$;

C_v = coeficiente de velocidade;

Δp = pressão total, Pa;

n = coeficiente que depende do regime de escoamento e do tipo de emissor, para fluxo turbulento equivale a 0,5; e

ρ_1 = densidade do líquido, $kg m^{-3}$.

A vazão proporcionada pela ponta de pulverização é outro fator importante e pode ser determinada (Equação 3) (SRIVASTAVA et al., 1993).

$$Q = v C_A A \quad (3)$$

em que:

Q = vazão da ponta, $m^3 s^{-1}$

v = velocidade do jato, $m s^{-1}$;

C_A = coeficiente de área; e

A = área do orifício da ponta, m^2 .

O coeficiente de área considera a contração do líquido ao passar pelo orifício. Combinando as equações 2 e 3, pode-se escrever a vazão da ponta (Equação 4) (SRIVASTAVA et al., 1993).

$$Q = C_v \left(2 \frac{\Delta p}{\rho_1} \right)^{1/2} C_A A \quad (4)$$

O coeficiente de descarga pode ser calculado empregando-se a Equação 5, o que finalmente possibilita determinar a vazão de acordo com a Equação 6 (SRIVASTAVA et al., 1993).

$$C_D = C_v C_A \quad (5)$$

$$Q = C_D A (2gh)^{1/2} = C_D A \left(2 \frac{\Delta p}{\rho_1} \right)^{1/2} \quad (6)$$

O coeficiente de descarga depende do tamanho e do desenho do orifício e representa a relação entre a vazão real e a teórica possível. Portanto, para uma determinada ponta, relaciona-se a vazão do líquido proporcionada com a raiz quadrada da pressão. A inclinação dessa reta será $C_D A \sqrt{2} / \sqrt{\rho_1}$, pela qual o coeficiente de descarga (C_D) pode ser determinado. O valor do coeficiente de descarga (C_D) deve ser próximo de 0,611, valor este usado para orifícios com fluxo turbulento (SRIVASTAVA et al., 1993).

Os trabalhos foram conduzidos em bancada de ensaios, com altura da barra de 0,5 m e as pontas sendo montados de forma individual. As avaliações foram efetuadas em quatro pressões, segundo os procedimentos estabelecidos pela norma ISO 5682/1, com cinco repetições.

Os erros das medições foram determinados utilizando-se a Equação 1. A média dos volumes coletados em cada posição e pressão foi convertida em porcentagem do volume total e apresentada em forma de gráfico.

O ângulo de abertura foi analisado no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições aplicando-se um esquema fatorial 4 x 2 (quatro pressões e dois tipos de pontas). O ângulo de abertura do jato foi obtido por meio de imagens frontais dos jatos de pulverização produzidos pelas pontas, obtidas com auxílio de uma câmera fotográfica digital Sony, modelo Mavica FD 75. O ângulo foi medido tomando como base as projeções tangenciais às bordas do jato e as imagens obtidas em quatro níveis de pressão (Figura 1).

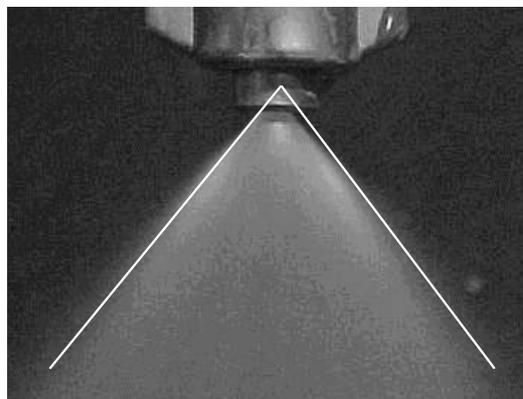


Figura 1. Modelo para determinação do ângulo de abertura do jato de pulverização.

Foram sorteadas, quatro pontas de cada série (JA-1 e JA-2). As medições foram realizadas através do programa computacional “Image Tool” versão 3.0. As aberturas dos ângulos foram medidas em graus, os quais foram submetidos à análise de variância; quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições da vazão foram feitas com erro inferior a 1 % em todos os casos, situando-se abaixo do limite máximo de 5 % proposto por Sanchez (1988). Com esses valores, pode-se considerar a

média calculada da vazão como representante da amostra.

As pontas JA-1 e JA-2 apresentaram vazão média de 0,297 e 0,575 L min⁻¹ na pressão de 414 kPa, atingindo 0,574 e 1,146 L min⁻¹ na pressão de 1447 kPa respectivamente, vazões semelhantes às propostas pelo fabricante. O JA-2 apresentou o dobro da vazão do JA-1 na mesma pressão, característica que permitirá obter vazões diferentes na calibração do equipamento (Figura 2). Pontas tipo cone vazio, têm por característica produzirem gotas pequenas, que ficam sujeitas a evaporação e volatilização em condições meteorológicas críticas, como umidade relativa baixa, temperatura elevadas e ventos fortes, corroborando com a opinião de Balan et al. (2008).

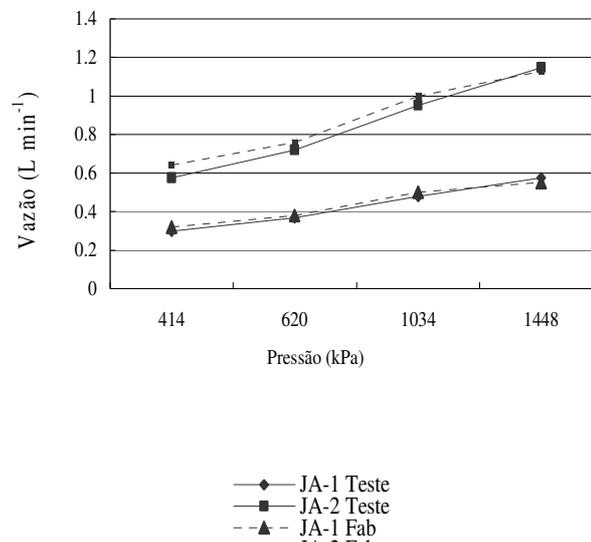


Figura 2. Comparativo entre a vazão das pontas fornecidas pelo fabricante e a obtida em laboratório, para quatro pressões de trabalho.

A análise comparativa entre os valores de vazão obtidos e o fornecido pelo fabricante foi realizada pelo método estatístico L & O (LEITE; OLIVEIRA, 2002). Outra análise foi conduzida aplicando-se o teste “F” de Fischer pelo método Graybill (GRAYBILL, 1961), e o comportamento dos resíduos analisados, pelo teste “T”. Foi feita ainda uma análise do coeficiente de correlação, com essas três análises, pode-se considerar que valores obtidos, experimentalmente, são estatisticamente semelhantes aos fornecidos pelo fabricante com 1 % de significância. As curvas de vazão em função da raiz quadrada da pressão para os dados experimentais foram obtidas (Figura 3).

Observou-se que o desempenho de cada ponta representado pela equação de ajuste usada para determinação do coeficiente de descarga. O coeficiente de descarga calculado com os valores da Figura 4 foi de 0,232 e 0,286 para as pontas JA-1 e JA-2, respectivamente. Essas médias são, consideravelmente, menores que 0,611, que é aceita para orifício de fluxo turbulento. Srivastava et al. (1993) obteve C_D equivalente a 0,274 para pontas com 2,39 mm de diâmetro.

Os resultados da distribuição volumétrica proporcionados pelas pontas JA-1 estão representados na Figura 4.

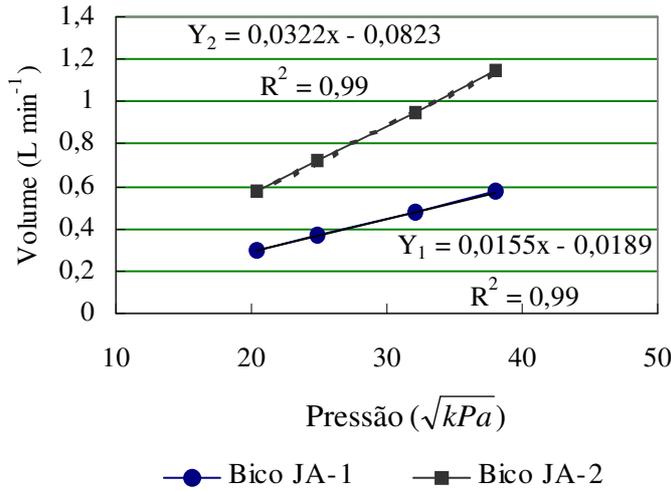


Figura 3. Vazão das pontas de pulverização em função da raiz quadrada da pressão.

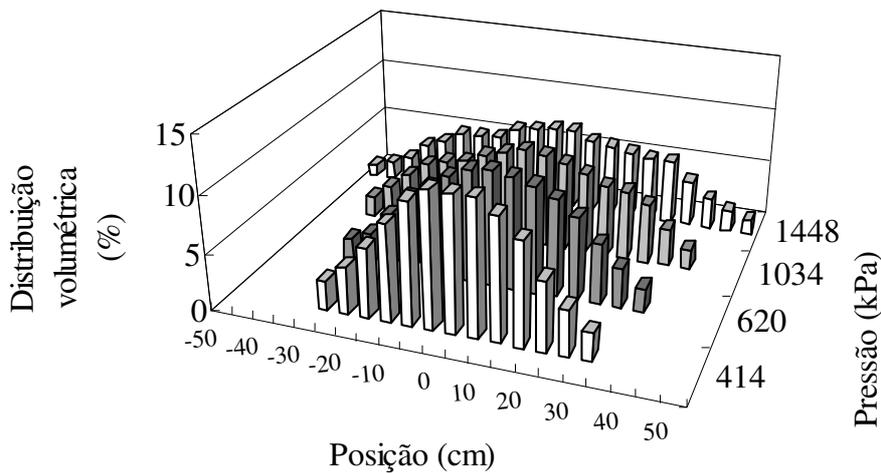


Figura 4. Distribuição volumétrica do jato aplicado pela ponta JA-1 em diferentes pressões.

À pressão de 414 kPa a faixa de deposição do jato foi de 0,60 m, e a maior porcentagem de líquido se agrupou na parte central da faixa. À medida que aumentou a pressão, até o limite de 1448 kPa a faixa de deposição do líquido pulverizado aumentou, proporcionalmente. A distribuição do líquido pulverizado foi mais uniforme nas pressões mais altas. Esse comportamento é característico das pontas de cone vazio, semelhantes ao obtidos por Cunha et al. (2005).

As características dimensionais da faixa de deposição proporcionada pelas pontas são

importantes, tendo-se em conta que a distância de colocação das pontas na barra de pulverização pode, para uma determinada pressão, produzir uma zona de sobreposição com maior concentração de líquido na corrente de ar, podendo, com isso, produzir gotas maiores, resultados semelhantes foram encontrados por (VIANA et al., 2010). Esse fenômeno poderia produzir escorrimento nas folhas, sobretudo nas proximidades do sistema de aspersão.

A distribuição volumétrica da pulverização proporcionada pelas pontas JA-2 está representada na Figura 5.

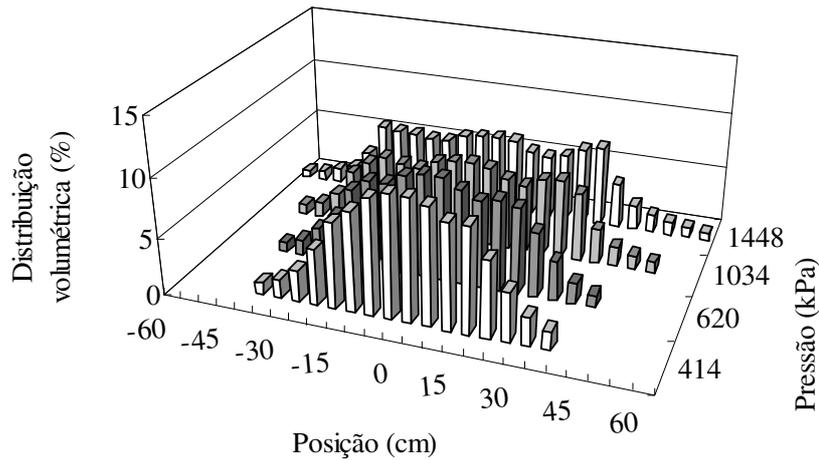


Figura 5. Distribuição volumétrica do jato aplicado pela ponta JA-2 em diferentes pressões.

Na pressão de 414 kPa a deposição se deu-se em uma faixa de 0,75 m, apresentando-se 0,15 m maior em relação ao JA-1. Logo, somente com a substituição de pontas em um pulverizador se produz novas características na pulverização, que, combinadas com o volume de ar, podem alterar a distribuição das gotas.

Houve tendência de aumento da zona de maior porcentagem de volume, com perfis irregulares, ao se elevar a pressão até 1448 kPa. O maior acúmulo de líquido deu-se na parte central da superfície coletora e próximo às extremidades. Essas variações do perfil de distribuição em função da pressão só ocorreram quando se utilizou as pontas JA-2.

O estudo do ângulo de projeção do jato produzido é importante, uma vez que produz faixas de aplicação em diferentes distâncias e, como consequência, fornece subsídios para adequar a distribuição das pontas de pulverização na barra porta-bicos do pulverizador. O ângulo muito fechado pode implicar em não sobreposição e baixas deposições de calda nos extratos da planta, pontas tipo cone vazio têm apresentado boa deposição e percentagem de cobertura nos níveis médio e baixo, corroborando com os resultados encontrados por (BOSCHINI et al., 2008) e (ROMÁN et al., 2009).

Observaram-se variações dos ângulos dos jatos proporcionados pelas pontas de pulverização (Tabela 2). Note-se que as medições foram feitas com erro inferior a 1 %.

Tabela 2. Ângulos de abertura dos jatos de pulverização

Pressão (kPa)	Ângulo de abertura do jato (graus)	
	JA-1	JA-2
414	80,82Aa	78,12Ba
620	81,44Aa	80,44Ab
1034	81,65Aa	81,44Ab
1448	82,49Aa	81,94Ab

Médias de ângulo de abertura seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, para cada ponta de pulverização, não diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A interação entre as pressões e as pontas no ângulo de abertura do jato foi significativa a 5 % pelo teste “F”. Na pressão de 414 kPa o ângulo de abertura do jato proporcionado pela ponta JA-2 diferiu significativamente da ponta JA-1. Apenas com a ponta JA-2 houve diferença significativa entre as pressões no ângulo de abertura dos jatos de pulverização: a pressão de 414 kPa proporcionou o menor ângulo, demonstrando que a substituição de pontas de pulverização com a mesma pressão ou alterando a pressão de trabalho para um mesma

ponta, a faixa de deposição pode ser afetada, modificando as características do jato de pulverização. No caso de pontas de energia hidráulica, verificou-se que gotas menores que 100 µm, são altamente suscetíveis à deriva e à evaporação. Portanto, a pressão deve ser utilizada de modo correto para que a deposição não seja reduzida, e as gotas apresentem tamanho homogêneo observações semelhantes foram feitas por Cunha et al., (2007) e Dí Oliveira et al., (2010).

CONCLUSÕES

Os valores de vazão proporcionada pelas pontas são semelhantes aos fornecidos pelo fabricante.

O desempenho das pontas de pulverização medidos através do coeficiente de descarga é de 0,233 e 0,286 para as pontas JA-1 e JA-2, respectivamente.

Os valores de vazão proporcionados pelas pontas são semelhantes aos fornecidos pelo fabricante.

O desempenho das pontas de pulverização medido através do coeficiente de descarga foi de 0,233 e 0,286 para as pontas JA-1 e JA-2, respectivamente.

A faixa de deposição da aplicação e o ângulo de abertura do jato de pulverização aumentam com a pressão de trabalho.

A ponta JA-2 não deve ser usado na pressão de 414 kPa.

ABSTRACT: The hydraulic spray nozzles are highly important in hydropneumatic sprayers, since they are the main responsible by the division of the liquid into drops. This study was targeted to the operational performance of two sets of conical jet nozzles at four pressures. The following variables were evaluated: the nozzle flow rate; the influence of the pressure upon the jet opening angle; the discharge coefficient; and the uniformity of the volumetric distribution at the pressure range from 414 to 1448 kPa. The flow rates provided by the spray nozzles JA-1 and JA-2 were statistically equal to those provided by the manufacturer. The angle of the spray jet was significantly modified only in the JA-2 nozzles when the pressure was increased from 414 to 620 kPa. The discharge coefficient of both nozzle sets was below that value obtained by the turbulent flow orifice, but lower values were obtained for the set with lower orifice diameter. The volumetric distribution quite variable as a function of the nominal flow rate and pressure.

KEYWORDS: Agrototoxicants, Application technology, Sprayers.

REFERÊNCIAS

- 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.
- BOSCHINI, L.; CONTIERO, R. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K.; GUIMARÃES, V. F. Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da vazão e do tipo de bico hidráulico na cultura da soja. **Acta Scientiarum Agronomica**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 171-175, 2008.
- CUNHA, J. P. A. R.; PEREIRA, R. G. Efeito de pontas e volumes de pulverização no controle químico de doenças do milho. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 533-538, 2009.
- 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. 1, p. 10-15, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F. Avaliação de pontas de pulverização hidráulicas na aplicação de fungicida em feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1069-1074, 2005.
- GRAYBILL, F. **An Introduction to Linear Statistical Model**, Ed. Mc Grawill-Hill, USA. 1961.
- DÍ OLIVEIRA, J. R. G.; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de *Pseudoplysia includens*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 92-99, 2010.

Desempenho operacional...

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; ALVARENGA, C. B.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and plant Analysis**. New York. v. 7 e 8, p.1-23. 2002.

MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. **Plant pathologist's pocketbook**, London: CAB, 2002. p. 345-353.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E. ROHRBACH, R. P. Chemical Application. In: Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph: **ASAE**, p.265-324, 1993.

ROMÁN, R. A. A.; CORTEZ, J. W.; FERREIRA, M. C.; DI OLIVEIRA, J. R. G. Cobertura da cultura da soja pela calda fungicida em função de pontas de pulverização e volumes de aplicação. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 10, n. 3, p. 223-232, 2009.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.