

**DISTRIBUIÇÃO VOLUMÉTRICA E ESPECTRO DE GOTAS DAS PONTAS HIDRÁULICAS LD 11002 E MAG-2**

Christiam Felipe Silva Maciel¹, Mauri Martins Teixeira², Haroldo Carlos Fernandes³, Edney Leandro da Vitória⁴ & Paulo Roberto Cecon⁵

1 - Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola pela UFV/Viçosa-MG, christiam.maciel@ufv.br;

2 - Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV/ Viçosa-MG, mauri@ufv.br;

3 - Engenheiro Agrícola, Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV/Viçosa-MG, haroldo@ufv.br;

4 - Engenheiro Agrícola, Professor da UFES/São Mateus, edney.vitoria@ceunes.ufes.br;

5 - Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Estatística da UFV/Viçosa, cecon@ufv.br.

Palavras-chave:

analisador de partículas a laser
caracterização técnica de pontas
diâmetro de gotas
pulverização hidráulica
tecnologia de aplicação

RESUMO

Uma eficiente aplicação de agrotóxico somente é possível ao se dispor de pontas hidráulicas que propiciem distribuição volumétrica satisfatória e espectro de gotas uniforme, uma vez que a ponta é o principal componente da pulverização hidráulica. Desse modo, objetivou-se, com este trabalho, realizar a caracterização técnica das pontas hidráulicas de pulverização LD 11002 e MAG-2. O ensaio da determinação do perfil e da uniformidade de distribuição do jatofoi montado em esquema fatorial 2 x 3 x 4, constituído por dois modelos de pontas hidráulicas, três alturas da barra de pulverização e quatro pressões de trabalho, analisados em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para o estudo da uniformidade de distribuição e quinze repetições para o perfil de distribuição. Com os valores do perfil de distribuição foi verificada a simetria de distribuição para a ponta LD 11002. O espectro de gotas foi determinado empregando-se o analisador de partículas a laser modelo Spraytech, e o ensaio foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (quatro pressões de trabalho) e com vinte e cinco repetições. As duas pontas não apresentaram distribuição satisfatória à altura de 0,5 m. A ponta LD 11002 apresentou assimetria e esta foi influenciada pela pressão de trabalho. O diâmetro de gotas produzido pelas pontas LD 11002 e MAG-2 reduziu com o aumento da pressão de trabalho.

Keywords:

droplets diameter
hydraulic spraying
particle size analyzer
spray nozzle characterization
spraying technology

VOLUMETRIC DISTRIBUTION AND DROPLET SPECTRUM OF THE SPRAY NOZZLES LD 11002 AND MAG-2**ABSTRACT**

An efficient agrotoxic application is only possible with nozzles that provide satisfactory volumetric distribution and uniform droplet spectrum since the spray nozzle is the main component of the hydraulic pulverizer. Therefore, the aim of this work was to characterize the hydraulic spray nozzles LD 11002 and MAG-2. The experiment to determine the pattern and uniformity of distribution was arranged in a factorial scheme of 2 x 3 x 4, composed by two models of nozzles, three different heights for the spray bar and four working pressures, analyzed in completely randomized design, with three replications to evaluate uniformity distribution and fifteen replications for distribution pattern. Symmetrical distribution for the nozzle LD 11002 was verified by the data from distribution pattern. The determination of droplet spectrum was performed by the Spraytech laser particle analyzer model, and the experiment was arranged in a completely randomized design with four treatments (four working pressures) and a total of twenty-five replications. The nozzles LD 11002 and MAG-2 did not have uniform distribution at the height of 0.5 m. The nozzle LD 11002 showed asymmetry and it was influenced by working pressure. The droplets diameter produced by the nozzles LD 11002 and MAG-2 reduced when increasing the working pressure.

INTRODUÇÃO

O objetivo da tecnologia de aplicação é otimizar a deposição de agrotóxicos no alvo com mínimas perdas para o ambiente (MATTHEWS, 2000). E uma aplicação eficiente de agrotóxicos, utilizando pulverizadores hidráulicos de barra, somente é possível quando se dispõe de pontas de pulverização que propiciem distribuição volumétrica satisfatória e espectro de gotas uniforme (CUNHA et al., 2007).

A uniformidade de distribuição volumétrica do conjunto de pontas dispostas na barra depende do perfil de distribuição individual das pontas (ALVARENGA et al., 2012). Já o perfil de distribuição depende da vazão nominal, do ângulo de abertura do jato e da altura da ponta sobre o alvo (VIANA et al., 2007; CUNHA & SILVA, 2010).

De acordo com o padrão europeu EN 12761-2 (2001), o coeficiente de variação não deve exceder 7% para altura da barra e pressão de trabalho principais estabelecidas pelo fabricante. Por outro lado, para as demais alturas e pressões o coeficiente não deve exceder 9%, visando garantir uma aplicação uniforme. No entanto, é comum pontas de jato cônico vazio apresentarem coeficiente de variação maior que 30% ao longo da barra com pontas novas, e isso ocorre uma vez que estas pontas apresentam picos de deposição de volume na extremidade do perfil de distribuição, e ao sobrepor jatos adjacentes, estes picos ficam ainda mais elevados, aumentando o coeficiente de variação (BOLLER & RAETANO, 2011).

Outro fator que pode ocasionar baixa uniformidade é a assimetria da distribuição do jato da ponta hidráulica, resultando em falta ou excesso de cobertura de gotas ao longo da faixa tratada, uma vez que uma distribuição simétrica apresentaria um coeficiente de assimetria igual a zero (VITÓRIA et al., 2011). Pontas que produzem gotas finas geralmente proporcionam boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição de calda, tendo, assim, efeito direto na eficácia biológica do agrotóxico aplicado, entretanto, essas pontas apresentam alto potencial de deriva (NUYTENS et al., 2007; CUNHA & PEREIRA, 2009; NUYTENS et al., 2009).

A redução da pressão de trabalho para minimizar a fração de gotas menores e iguais a

100 µm pode ser um possível meio de redução de deriva (ARVIDSSON et al., 2011). Contudo, deve-se limitar às pressões estabelecidas pelo fabricante da ponta de pulverização, uma vez que ao utilizar pressões fora da faixa estabelecida pode-se alterar o ângulo de abertura do jato, o que alterará o perfil de distribuição e, conseqüentemente, a uniformidade de distribuição do jato.

É importante conhecer as características técnicas de pontas hidráulicas e buscar garantir uma aplicação mais eficiente e segura. Por isso, este trabalho teve como objetivo de terminar a vazão, o perfil, a simetria, a uniformidade de distribuição e o espectro de gotas dos modelos de pontas hidráulicas de pulverização LD 11002 e MAG-2.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), Campus Viçosa, Minas Gerais.

Para determinar o perfil e a uniformidade de distribuição do jato, os tratamentos foram estabelecidos em esquema fatorial 2 x 3 x 4, constituído por dois modelos de pontas hidráulicas de pulverização, sendo um do tipo jato plano (Lurmark LD11002) e outra do tipo jato cônico (MAG-2), três alturas da barra de pulverização (0,40; 0,50 e 0,60 m) e quatro pressões de trabalho (100, 200, 300 e 400 kPa para as pontas LD 11002 e 400, 600, 800 e 1000 kPa para as pontas MAG-2), pressões que estão dentro da faixa recomendada pelos fabricantes. Assim, o experimento foi constituído por 24 tratamentos, cujos dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para o estudo da uniformidade de distribuição e quinze repetições para o perfil de distribuição, já que o perfil foi feito para as cinco pontas de cada modelo em três repetições.

As cinco pontas hidráulicas de pulverização, constituídas dos modelos Lurmark LD 11002 e Magno MAG-2, foram sorteadas de um conjunto de vinte pontas hidráulicas do mesmo modelo, seguindo a norma ISO 5682-1 (1996). A ponta

Lumark LD 11002 foi escolhida por ser um modelo de ponta para redução da deriva pelo vento e a ponta Magno MAG-2 foi escolhida por ser utilizada em aplicações que exigem gotas finas.

As determinações do perfil e da uniformidade de distribuição foram realizadas numa bancada de teste para pontas de pulverização, construída de acordo com a norma ISO 5682-1 (1996), conforme já descrita por RODRIGUES et al. (2012). Anteriormente ao início dos ensaios, a vazão individual das pontas foi medida por meio de uma proveta, coletando-se o líquido pulverizado durante um período de 60 s, obedecendo à norma ISO 5682-1 (1996).

Para a determinação do perfil, as pontas foram colocadas individualmente na barra porta-bicos, enquanto para a determinação da uniformidade, utilizou-se do conjunto das cinco pontas dispostas aleatoriamente na barra, com espaçamento de 0,50m entre bicos. Ainda para a determinação da uniformidade, as pontas LD 11002 foram previamente ajustadas com uma chave para garantir defasagem angular de 5° e evitar o choque entre os jatos adjacentes. O tempo de duração para a coleta do líquido nas provetas também foi de 60s. Ambas as pontas hidráulicas ficaram localizadas entre canaletas para evitar a existência de uma canaleta central abaixo das pontas e, conseqüentemente, poder dividir lados da pulverização da ponta, o qual será necessário para o estudo do perfil e da simetria de distribuição.

Os volumes contidos em cada proveta da mesa da bancada de teste, tanto para a determinação do perfil quanto para a determinação da uniformidade de distribuição, foram transformados em porcentagem do total pulverizado, conforme metodologia usada por Cunha & Silva (2010).

A determinação da simetria de distribuição de líquido da ponta LD 11002 foi feita através do segundo coeficiente de assimetria de Pearson (Equação 1), utilizando os valores obtidos na determinação do perfil de distribuição do líquido a 0,50 m da bancada de teste e para as quatro pressões estudadas, em metodologia proposta por VITORIA et al. (2011).

$$As = \frac{3(\bar{x} - M_d)}{s} \quad (1)$$

em que,

As = segundo coeficiente de assimetria de Pearson (adimensional);

\bar{x} = média dos valores relativos de volume coletados na proveta por bico (%);

M_d = mediana dos valores relativos de volume coletados na proveta por bico (%); e,

s = desvio padrão dos valores relativos de volume coletados na proveta por bico (%).

O espectro de gotas das pontas hidráulicas foi determinado com um analisador de partículas em tempo real (Spraytec, Malvern Instruments Ltd). Este equipamento apresenta lente focal de 750mm e foi calibrado para contabilizar gotas na classe de tamanho de 0,10 a 2.500µm. Para a realização das pulverizações foi utilizado um pulverizador estacionário (S-12, Yamaho), com rotação de 800 rpm, vazão nominal de 12L min⁻¹, potência de 0,75 a 1,12kW e pressão máxima de 3516kPa, de tal forma a propiciar as pressões de trabalho requeridas. A bomba foi acionada por um motor elétrico (F56H, Weg), com rotação de 3570rpm e potência de 1,5kW.

A pulverização do líquido sobre o analisador de partículas foi realizada de tal modo que todo o jato da ponta passasse transversalmente pelo feixe luminoso emitido pelo laser. Para isso, foi montada uma barra de pulverização sobre o analisador e, ao final dessa barra, um motor elétrico foi instalado para permitir que a mesma girasse, garantindo a análise de todo o jato da ponta. Essa barra de pulverização foi constituída por um bico e um manômetro. O motor elétrico, instalado ao final da barra, é tipo CEP de 12V e 7,5A, com torque de 25 a 48Nme rotação máxima de 10,47 rad s⁻¹ (100 rpm). As pontas LD 11002 foram instaladas a 0,30 m do feixe de laser emitido pelo analisador de partículas seguindo o padrão ANSI/ASAE S572.1 (2009). Para evitar que as gotas colidissem com a lente do analisador de partículas, as pontas MAG-2

foram posicionadas a 0,12 m, seguindo indicações da ANSI/ASAE S572.1 (2009).

O estudo do espectro de gotas foi compreendido pelos seguintes indicadores: DMV, Dv10, Dv90, Span (CUNHA, 2007), porcentagem do volume pulverizado composta por gotas menores que 100 μm ($\%V < 100$), com diâmetro entre 100 e 200 μm ($100 < \%V < 200$), com diâmetro entre 200 e 300 μm ($200 < \%V < 300$), com diâmetro entre 300 e 400 μm ($300 < \%V < 400$), com diâmetro entre 400 e 500 μm ($400 < \%V < 500$), por gotas com diâmetro entre 500 e 600 μm ($500 < \%V < 600$) e, finalmente, maiores que 600 μm ($\%V > 600$).

Para a análise estatística do espectro de gotas, considerou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos (quatro pressões de trabalho) e vinte e cinco repetições. O experimento foi realizado para os dois modelos de pontas hidráulicas. As vinte e cinco repetições do experimento se devem ao fato que o estudo foi feito com as cinco pontas de cada modelo e utilizando cinco repetições para cada ponta.

Durante as análises, foram respeitadas as condições psicrométricas recomendadas pela norma ISO 5682.1 (1996). Assim, as análises foram realizadas somente em temperaturas inferiores a 25 °C e UR superior a 50%.

Os dados obtidos foram avaliados por meio da análise de regressão e estatística descritiva. Os modelos da análise de regressão foram escolhidos baseando-se na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t”, adotando-se

o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação e no comportamento da variância em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura interna do laboratório durante o período experimental variou de 21 a 25 °C e a umidade relativa ficou sempre superior a 70%, respeitando às exigências da norma ISO 5682-1 (1996).

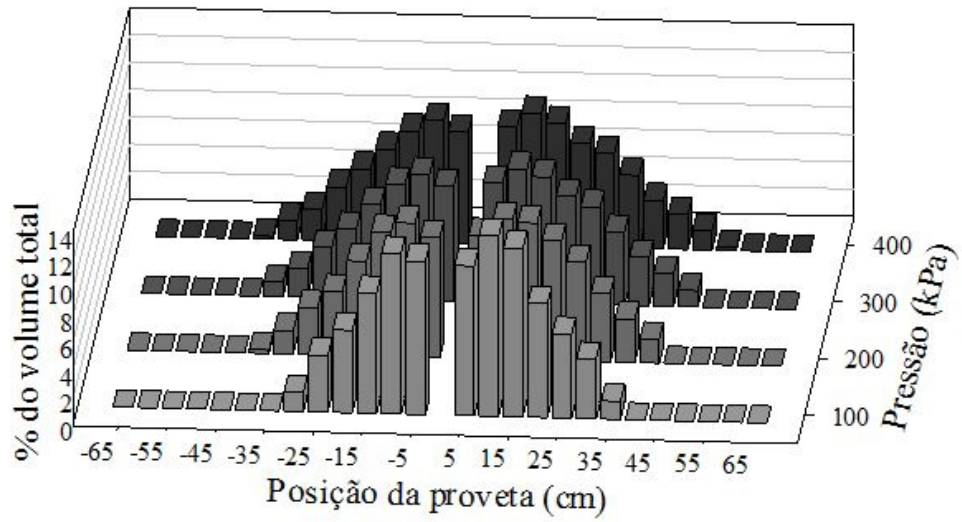
As vazões das pontas hidráulicas aumentaram de acordo com os incrementos da pressão de trabalho. A vazão da ponta LD 11002, assim como a ponta MAG-2, atendeu à norma ISO 5682-1 (1996), com variação abaixo do limite de 10% em comparação à vazão fornecida pelo fabricante (Tabela 1).

O perfil de distribuição observado para a ponta LD 11002 foi bem característico para o tipo leque, com maiores porcentagens de volume no centro do perfil. Estas observações também foram relatadas por FERREIRA *et al.* (2011), ao avaliarem as pontas AI 11005 e TTI 110015. O perfil foi influenciado pela pressão e pela altura de trabalho (Figura 1). À medida que se aumentou a pressão e a altura, maior foi o perfil de distribuição e menos acentuado foi o volume de líquido depositado no centro do perfil.

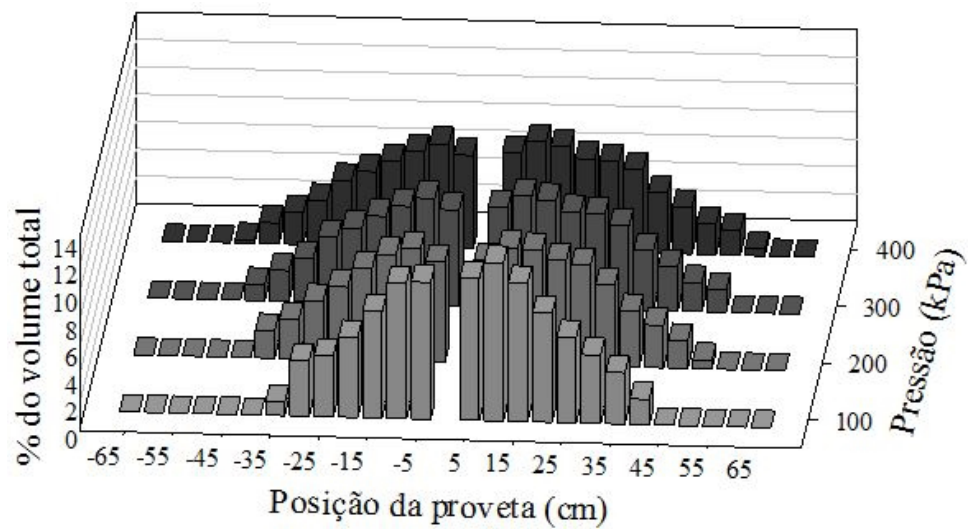
A ponta de jato cônico MAG-2 também apresentou perfil de distribuição bem característico, com maiores porcentagens de volume na extremidade do perfil, fato que foi mais evidente nas menores pressões de trabalho (Figura 1).

Tabela 1. Vazões observada e fornecida pelo fabricante em função da pressão de trabalho para as pontas LD 11002 e MAG-2

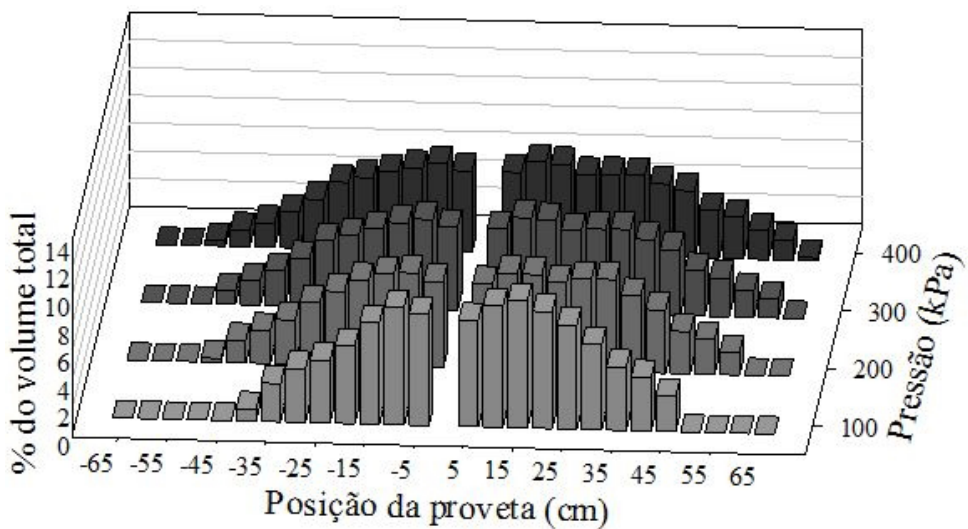
Ponta	Pressão (kPa)	Vazão (L min ⁻¹)	Vazão Fabricante (L min ⁻¹)
LD	100	0,430	0,462
	200	0,602	0,653
	300	0,744	0,800
	400	0,859	0,924
MAG	400	0,643	0,640
	600	0,776	0,760
	800	0,886	0,890
	1000	0,987	1,000



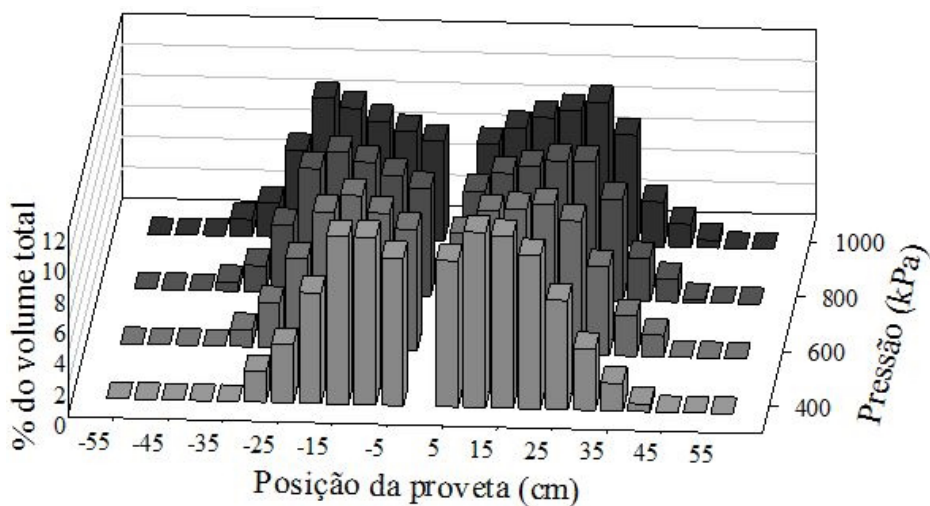
(a)



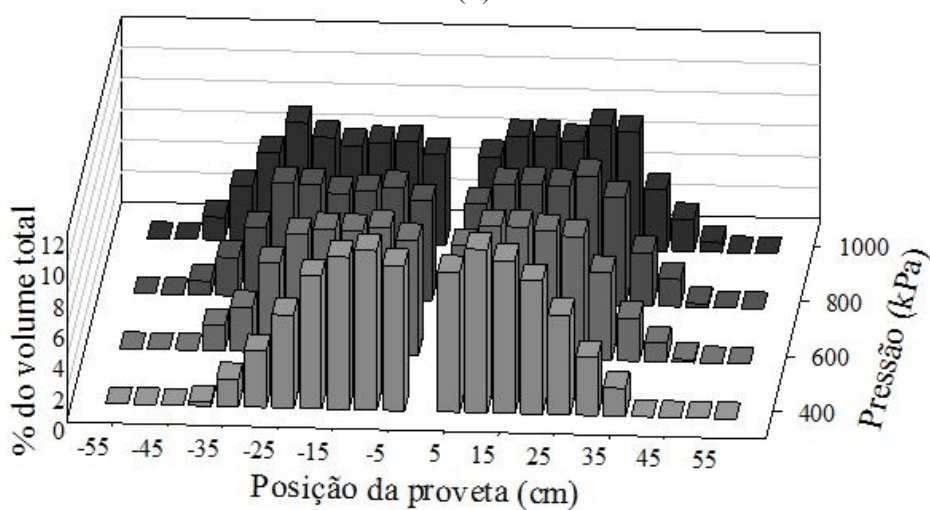
(b)



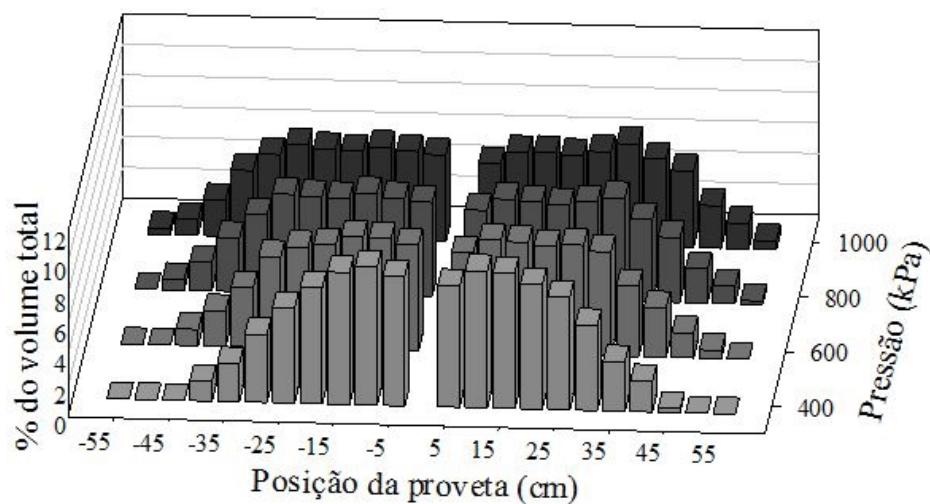
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 1. Perfis de distribuição volumétrica das pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2 em diferentes pressões e alturas de trabalho. (a) LD a 0,40 m de altura; (b) LD a 0,50 m de altura; (c) LD a 0,60 m de altura; (d) MAG a 0,40 m de altura; (e) MAG a 0,50 m de altura; e (f) MAG a 0,60 m de altura.

As pontas LD 11002 e MAG-2 são recomendadas para trabalhar à altura de 0,50m. Porém, a essa altura, nenhuma das duas pontas apresentou coeficiente de variação menor que 7% (Tabela 2), não obedecendo, assim, ao padrão EN 12761-2 (2001).

Contudo, a ponta LD 11002 apresentou coeficiente de 5,53, 6,59 e 6,27% sob a altura de 0,40 m e nas respectivas pressões de 200, 300 e 400 kPa. Portanto, essas deveriam ser as condições de trabalho recomendadas para a utilização desta ponta no pulverizador de barras. Além de melhorar a uniformidade de distribuição para essa ponta, ao reduzir a altura da barra de pulverização, o aplicador pode prevenir a deriva das gotas pulverizadas, visto que a redução da altura da barra é uma alternativa para a redução da deriva, ao diminuir a influência do vento sobre as gotas (CUNHA, 2008; SASAKI et al., 2011).

A ponta MAG-2 não apresentou boa uniformidade de distribuição por dois motivos: coalescências das gotas dos jatos adjacentes e presença de picos de volume na extremidade dos jatos em algumas situações. A coalescência ocorre porque não há como defasar a ponta cone como é feito com as pontas do tipo leque. Assim, há o choque de gotas e conseqüente coalescência das mesmas, formando alta concentração de volume entre as pontas. Os picos de volume na extremidade dos jatos também favorecem a uma alta concentração de volume entre as pontas comparado à distribuição do jato abaixo das mesmas, o qual é explicado por Boller & Raetano (2011). Em decorrência disso, haverá uma aplicação de agrotóxico ineficiente.

Alvarenga et al. (2012), analisando a uniformidade de distribuição da ponta JA-2, encontraram coeficientes de variação iguais a 13 e 22% para as pressões de trabalho de 633 e 1477

Tabela 2. Coeficientes de variação apresentados pelas pontas hidráulicas LD 11002 e MAG-2 em função da pressão e da altura de trabalho

Ponta	Altura (m)	Pressão (kPa)	CV (%)
LD	0,4	100	24,46
		200	5,53
		300	6,59
		400	6,27
	0,5	100	19,34
		200	11,27
		300	12,43
		400	12,47
	0,6	100	10,40
		200	13,79
		300	11,98
		400	11,60
MAG	0,4	400	13,92
		600	13,53
		800	22,04
		1000	27,89
	0,5	400	7,16
		600	16,49
		800	26,65
		1000	29,99
	0,6	400	12,22
		600	20,03
		800	23,35
		1000	24,72

kPa, respectivamente. No entanto, esses mesmos autores afirmam que quando estas pontas são utilizadas em pulverizadores hidropneumáticos, o fluxo de ar gerado pelo ventilador minimiza esses elevados valores. Assim, a baixa uniformidade de distribuição apresentada pela ponta MAG-2 não seria um impeditivo ao utilizá-la em pulverizadores hidropneumáticos.

Embora as pontas hidráulicas sejam fabricadas para apresentarem distribuição simétrica dos jatos, é difícil a obtenção da mesma. O coeficiente de assimetria calculado para a ponta LD 11002 mostra que ela realmente apresenta assimetria de distribuição do jato e que a mesma sofre influência da pressão de trabalho, como apresentado na Tabela 3.

A ponta LD 11002 apresentou assimetria, assim, houve menor volume aplicado pelo lado esquerdo da ponta. Considerando-se que uma ponta simétrica apresentaria coeficiente de assimetria igual a zero, a assimetria apresentada pela ponta foi

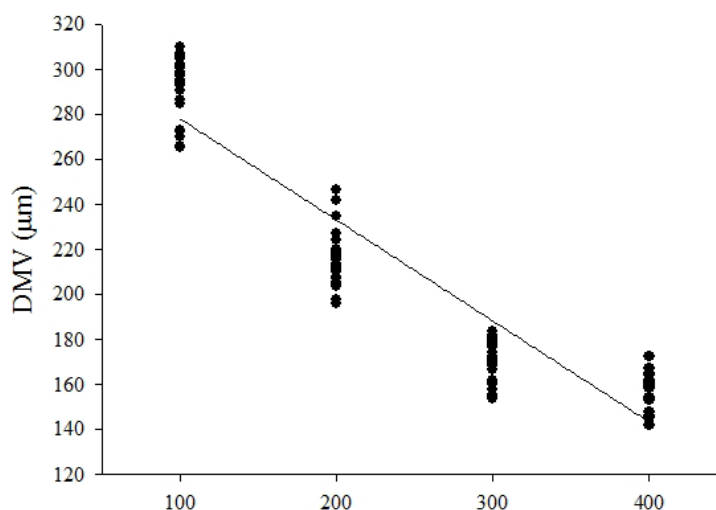
baixa, apresentando o menor valor de 0,029 para a pressão de 400 kPa e o maior de 0,561 para a pressão de 300 kPa.

Vitoria et al.(2011), avaliando a assimetria de três pontas hidráulicas (AXI 110015, AXI 11002 e AXI 11003), sob as pressões de 150, 300 e 400 kPa, encontraram valores intermediários aos observados neste trabalho, variando de 0,16 a 0,37. Viana et al. (2007), avaliando a simetria do jato das pontas LA-1JC e SR-1 ao medir o ângulo de abertura do jato, também observaram assimetria na formação do jato. Estes mesmos autores afirmam que o índice de simetria é importante quando avaliado o perfil isolado da ponta e a sobreposição das mesmas.

Na Figura 2, é mostrado que o diâmetro das gotas produzidas pela ponta LD 11002 reduziu com o aumento da pressão de trabalho, corroborando com Alvarenga et al. (2012), ao determinarem o espectro de gotas produzido pela ponta JA-2. Desse modo, o maior valor de DMV foi de 277,95 μm para a pressão de 100 kPa, e o menor foi de 143,22 μm para a pressão de 400 kPa.

Tabela 3. Assimetria do jato apresentada pela ponta LD 11002 em função da pressão de trabalho

Ponta	Pressão (kPa)	Coefficiente de assimetria do jato
LD	100	-0,379
	200	-0,340
	300	-0,561
	400	-0,029

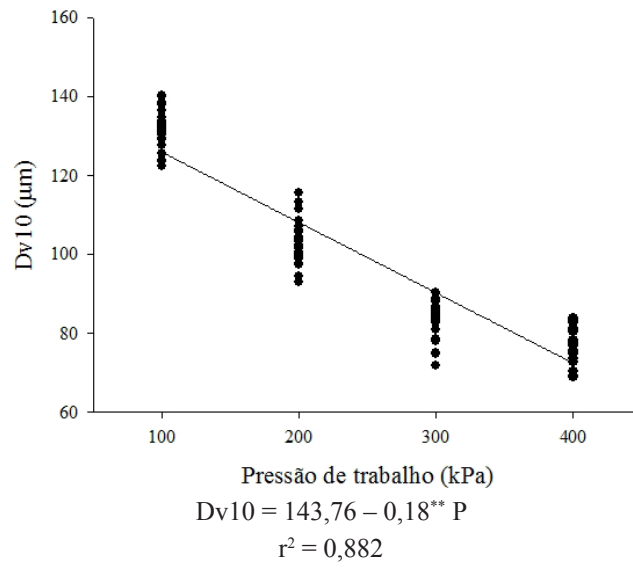


Pressão de trabalho (kPa)

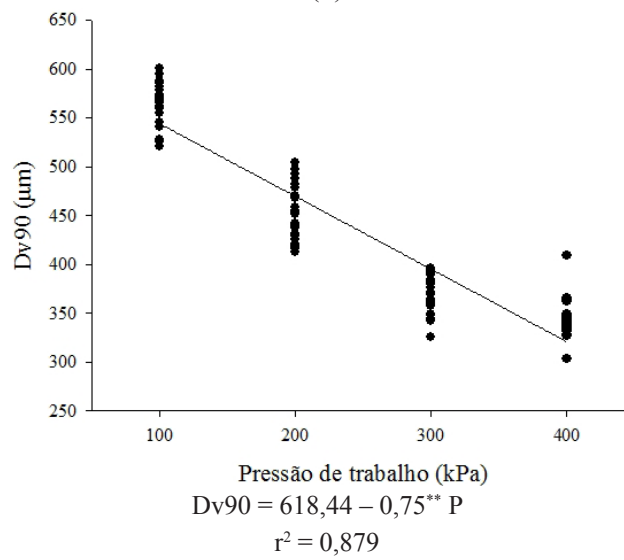
$$DMV = 322,86 - 0,45^{**} P$$

$$r^2 = 0,876$$

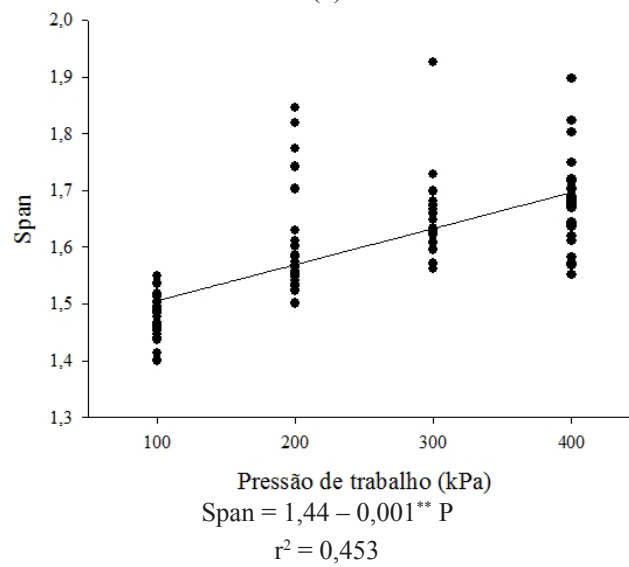
(a)



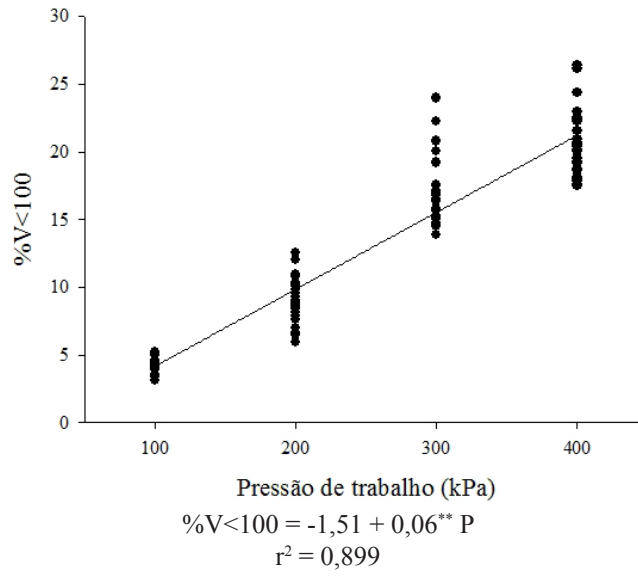
(b)



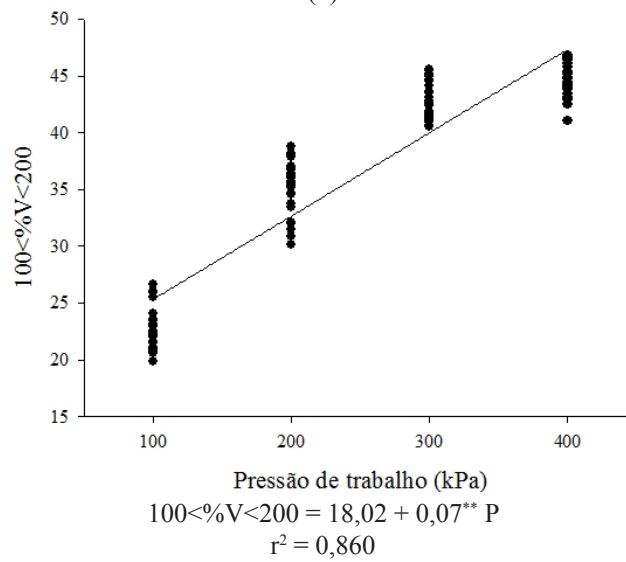
(c)



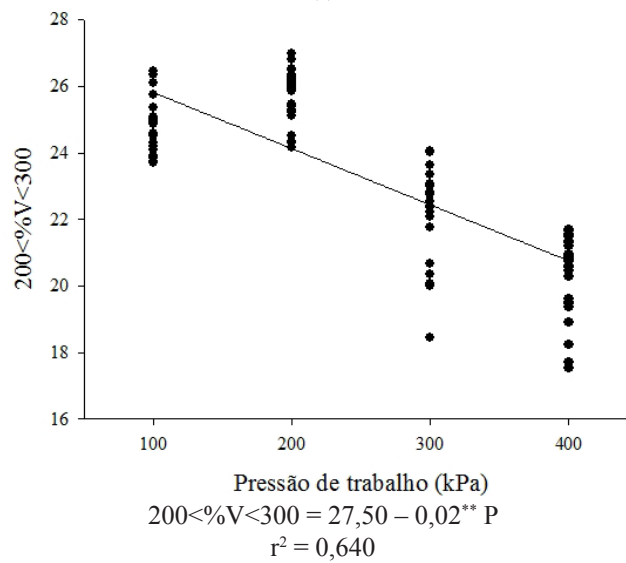
(d)



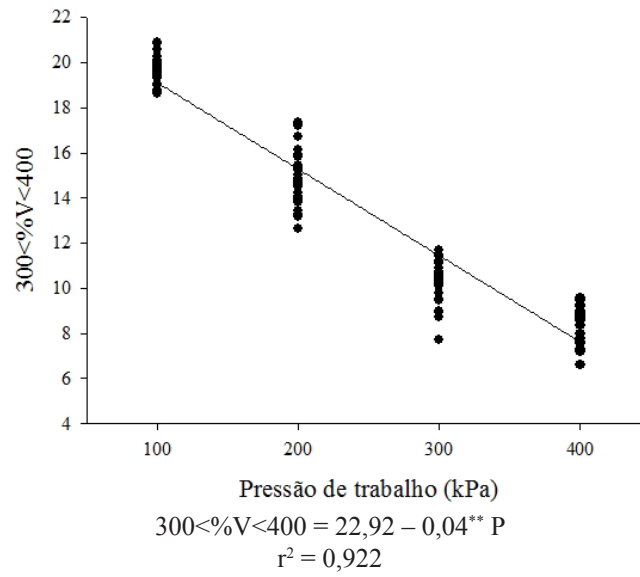
(e)



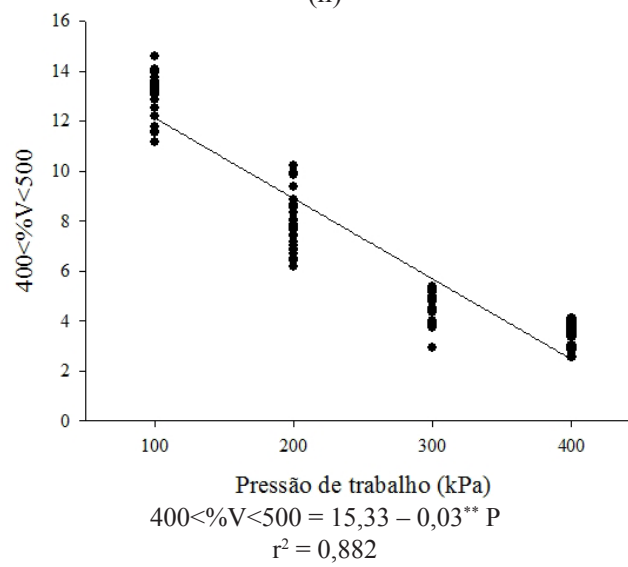
(f)



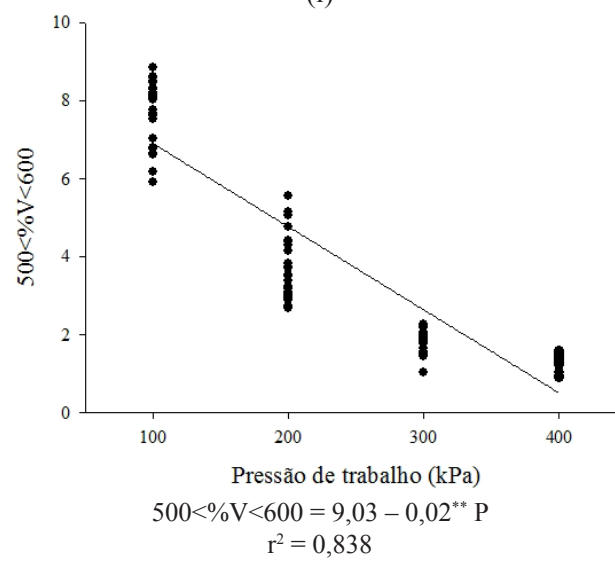
(g)



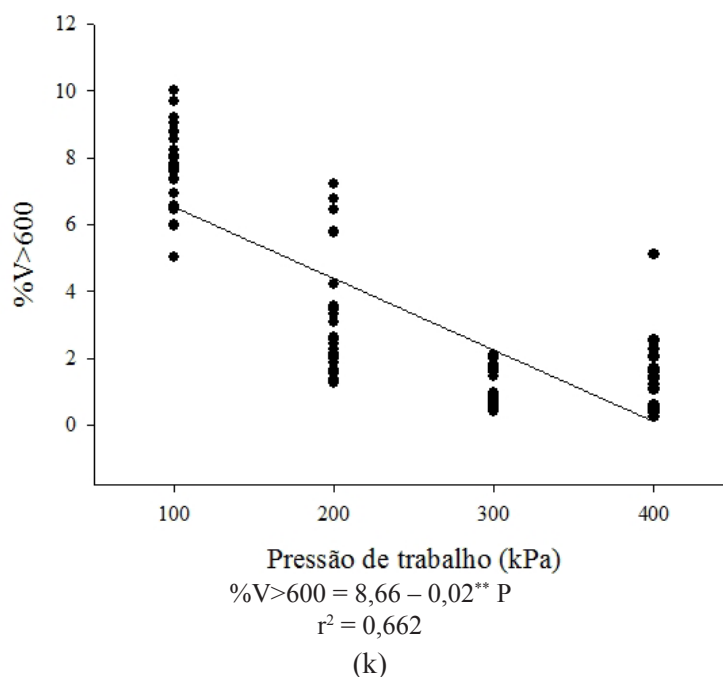
(h)



(i)



(j)



** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t

Figura 2. Espectro de gotas produzido pela ponta LD 11002 em função da pressão de trabalho. (a) DMV; (b) Dv10; (c) Dv90; (d) Span; (e) %V<100; (f) 100<%V<200; (g) 200<%V<300; (h) 300<%V<400; (i) 400<%V<500; (j) 500<%V<600; e (k) %V>600.

A redução do diâmetro das gotas ocorre porque à medida que se aumenta a pressão, maior será a quantidade de líquido que atravessa o orifício da ponta. Assim, há maior fracionamento do líquido e maior produção de gotas com diâmetros reduzidos. Cunha et al. (2007) também relataram a redução do diâmetro de gotas com o aumento da pressão ao avaliarem as pontas API 11004, API 11004, ADI 11002, ATR Brown e ATR Red, entretanto, o incremento da vazão nominal das pontas propicia aumento do tamanho de gotas.

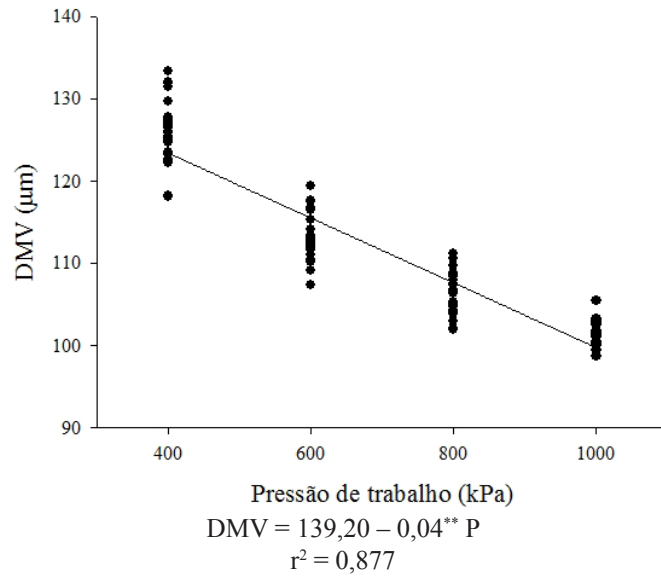
Como observado, para os parâmetros porcentagem do volume pulverizado composta por gotas menores que 100 μm e porcentagem constituída por gotas com diâmetro entre 100 e 200 μm , há um significativo aumento na quantidade de gotas finas com o aumento da pressão de trabalho, o que, conseqüentemente, pode gerar perdas por deriva. Arvidsson et al. (2011) relatam que a porcentagem do volume pulverizado composta por gotas menores que 100 μm serve como um melhor indicador de perigo de deriva que o DMV. Assim, quanto maior a produção de gotas finas pela ponta,

maior será a perda.

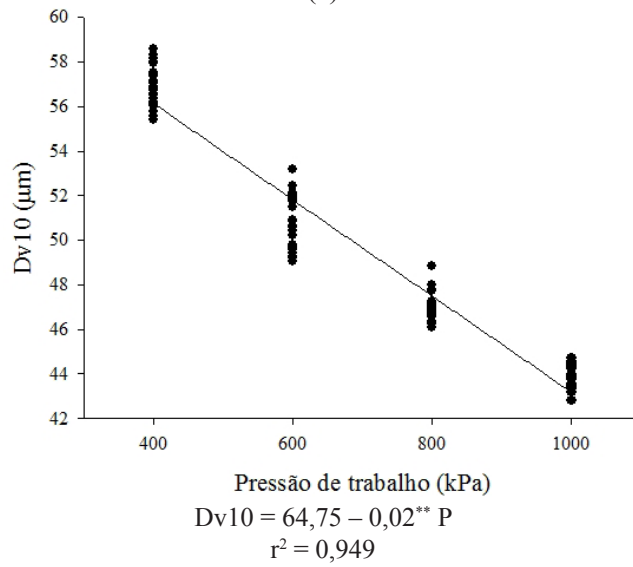
O Span aumenta com o aumento da pressão, corroborando com Cunha et al. (2007). Entretanto, isto não é desejado, já que este aumento indica uma elevação na disparidade dos diâmetros de gotas. Uma vez que, quanto menor o valor de Span, mais homogênea é a amostra de gotas.

O espectro de gotas da ponta MAG-2 está apresentado na Figura 3. Como se pode observar, o comportamento do espectro produzido pela ponta MAG-2 foi semelhante ao apresentado pela ponta LD 11002, reduzindo o diâmetro das gotas com o aumento da pressão de trabalho.

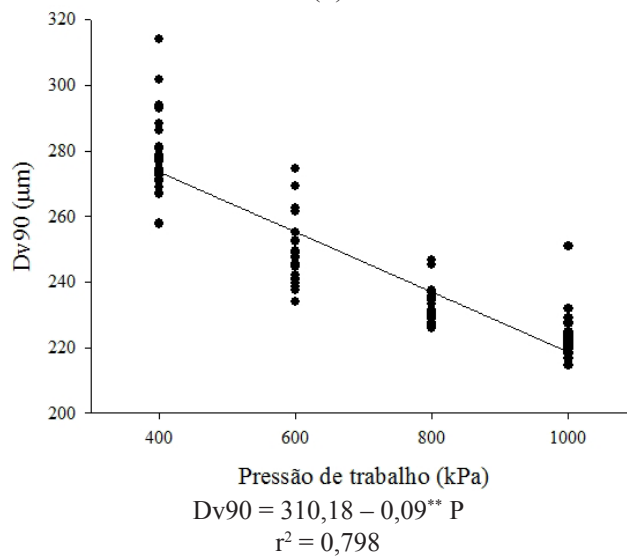
A análise do DMV mostrou valores reduzindo de 123,4 para 99,7 μm , com o aumento da pressão de 400 para 1000 kPa. Alvarenga et al. (2013) também relataram redução do DMV para a ponta JA-2, porém observaram redução de 151 para 109 μm , com o aumento da pressão de 633 para 1477 kPa. Conseqüentemente, as gotas produzidas pela ponta MAG-2 são mais finas que as gotas da ponta JA-2, mesmo pulverizando em pressão de trabalho menor.



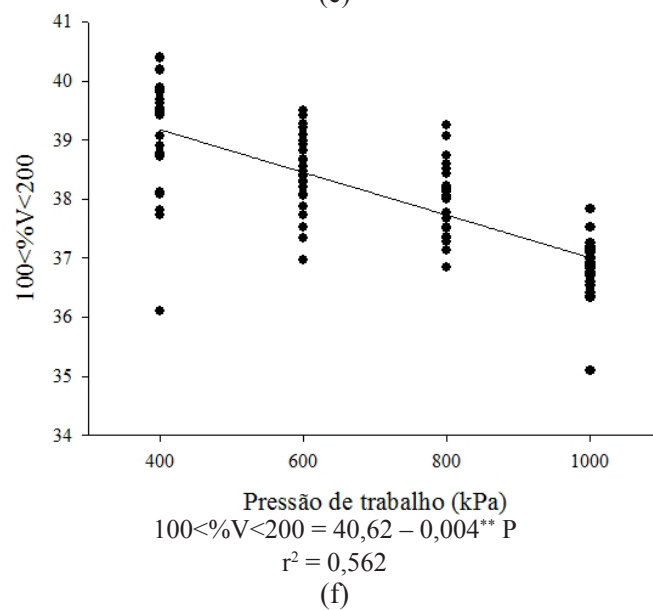
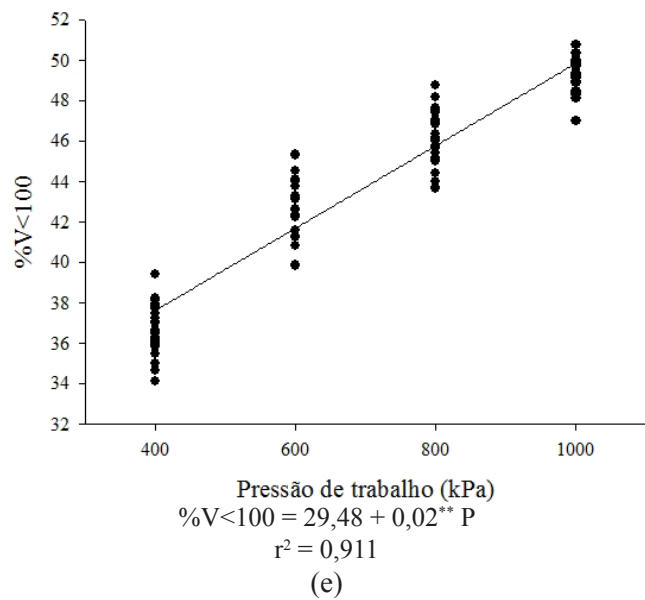
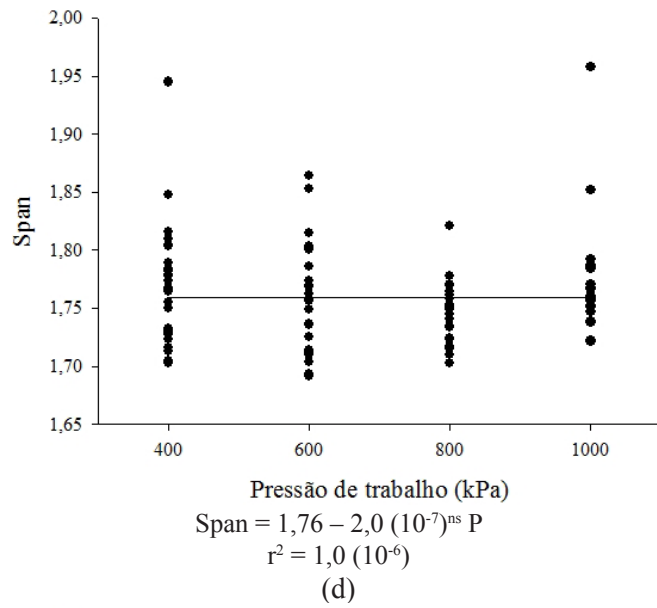
(a)

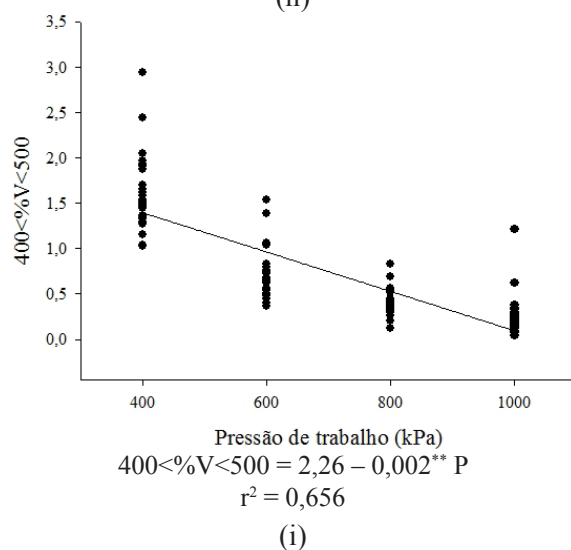
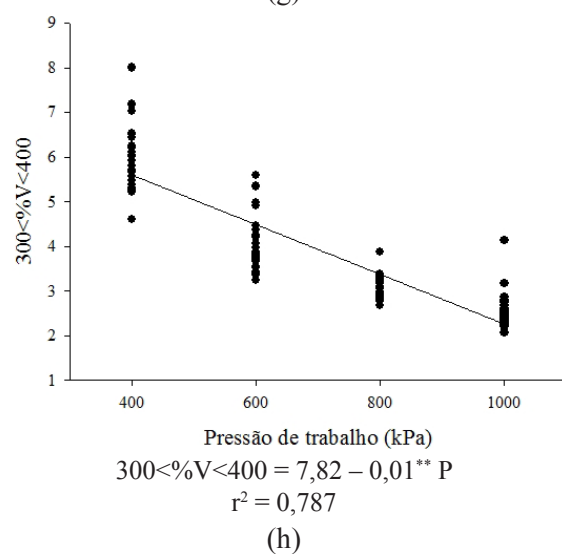
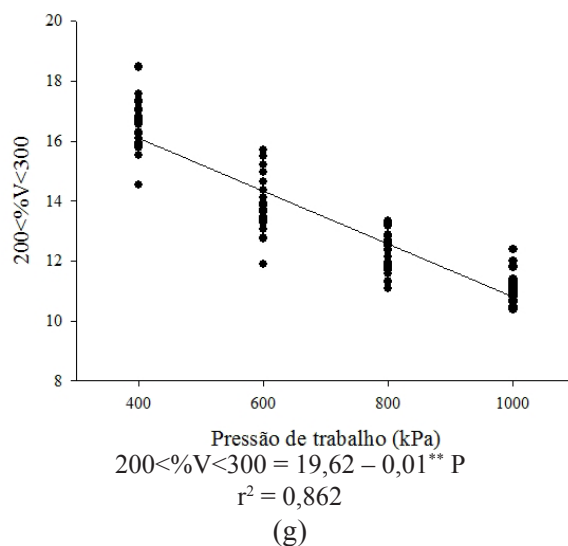


(b)



(c)





**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

Figura 3. Espectro de gotas produzido pela ponta MAG-2 em função das pressões de trabalho. (a) DMV; (b) Dv10; (c) Dv90; (d) Span; (e) %V<100; (f) 100<%V<200; (g) 200<%V<300; (h) 300<%V<400; e (i) 400<%V<500.

O Span e a porcentagem de volume pulverizado composta por gotas com diâmetro entre 100 e 200 μm não apresentaram comportamento similar ao espectro da ponta LD 11002. O Span não foi significativo com o aumento da pressão, já a porcentagem do volume pulverizado composta por gotas com diâmetro entre 100 e 200 μm reduziu com o aumento da pressão, enquanto para a ponta LD 11002 houve aumento da porcentagem. A ponta MAG-2 não produziu gotas com diâmetro acima de 600 μm e as gotas compreendidas entre 500 e 600 μm somente foram produzidas nas pressões de 400 e 600 kPa. Como essa ponta produz pequena quantidade de gotas consideradas grossas, uma pulverização realizada com esta ponta apresenta baixo risco de escorrimento de produto da folha alvo.

Com a análise do espectro realizada, pode-se comparar os valores de obtidos de Dv_{10} , DMV e Dv_{90} de cada ponta com a tabela de referência da normativa ANSI/ASAE S572.1 (2009) para classificação da ponta de pulverização quando ao tamanho de gotas. Assim, observou-se que para a ponta LD 11002 produziu gotas médias nas pressões de 100 e 200 kPa e gotas finas nas pressões de 300 e 400 kPa. A ponta MAG-2 produziu gotas finas na pressão de 400 kPa e gotas muito finas nas demais pressões.

CONCLUSÕES

- A variação da vazão das pontas LD 11002 e MAG-2 estão abaixo do limite de 10% da vazão fornecida pelo fabricante.
- O diâmetro das gotas produzido pelas pontas LD 11002 e MAG-2 diminui com o aumento da pressão de trabalho.
- A ponta LD 11002 produz gotas médias nas pressões de 100 e 200 kPa e gotas finas nas pressões de 300 e 400 kPa.
- A ponta MAG-2 produz gotas finas na pressão de 400 kPa e gotas muito finas nas demais pressões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão

de bolsa para o primeiro autor e à FAPEMIG pelo financiamento do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, C.B.; TEIXEIRA, M.M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R.S.; RINALDI, P.C.N. Controle automático do espectro de gotas de pulverizador hidropneumático em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.1, p.26-33, 2013.

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. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.5, n.3, p.41-50, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ANSI/ASAE S572.1**: Spray nozzle classification by droplet spectra. St. Joseph, 2009. 4p.

ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, Chichester, v.67, p.586-598, 2011.

BOLLER, W. RAETANO C.G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barra. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011. cap.3, p.51-82.

CUNHA, J.P.A.R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p. 1616-1621, 2008.

CUNHA, J.P.A.R.; PEREIRA, R.G. Efeitos de pontas e volumes de pulverização no controle químico de doenças do milho. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.40, n.4, p.533-538, 2009.

- 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.; 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, 2007.
- EUROPEAN STANDARD. **EN 12761-2**: Agricultural and forestry machinery. Sprayers and liquid fertilizer distributors. Environmental protection. Part 2: Field crop sprayers. Brussels, 2001. 18p.
- FERREIRA, M.C.; LOHMANN, T.R.; CAMPOS A.P.; VIEL, S.R.; FIGUEIREDO, A. Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica para controle de corda-de-violão. **Planta Daninha**, Viçosa, v.29, n.3, p.697-705, 2011.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5682-1**: Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 1: test methods for sprayer nozzles. Geneva, 1996. 5p.
- MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. London: Blackwell Science. 2000. 448p.
- NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. **Biosystems Engineering**, Philadelphia, v.97, p.333-345, 2007.
- NUYTTENS, D.; TAYLOR, W.A.; SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; DEKEYSER, D. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. **Biosystems Engineering**, Philadelphia, v.103, p.271-280, 2009.
- RODRIGUES, G.J.; TEIXEIRA, M.M.; ALVARENGA, C.B. Desempenho operacional de pontas hidráulicas na determinação de parâmetros da pulverização hidropneumática. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.8-15, 2012.
- SASAKI, R.S.; TEIXEIRA, M.M.; ALVARENGA, C.B.; QUIRINO, A.L.S.; TIBURCIO, R.A.S. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização hidráulica em diferentes condições operacionais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.19, n.6, p.541-547, 2011.
- VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; FREITAS, F.C.L. QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.1, p.211-218, 2007.
- VITORIA, E.L.; TEIXEIRA, M.M.; RUAS, R.A.A. Coeficiente de assimetria de Person como parâmetro de avaliação da uniformidade de distribuição de líquido das pontas de pulverização hidráulicas de jato plano. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.13, p.222-229, 2011.