

Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio

João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha⁽¹⁾, Mauri Martins Teixeira⁽²⁾, Rogério Faria Vieira⁽³⁾,
Haroldo Carlos Fernandes⁽²⁾ e José Renato Coury⁽⁴⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual de Goiás, Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas, BR 153, Km 98, CEP 75110-390 Anápolis, GO. E-mail: jparc@bol.com.br ⁽²⁾Universidade Federal de Viçosa, Dep. de Engenharia Agrícola, CEP 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: mauri@ufv.br, haroldo@ufv.br ⁽³⁾Epamig/Embrapa, CEP 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: rfvieira@epamig.ufv.br ⁽⁴⁾Universidade Federal de São Carlos, CEP 13565-905 São Carlos, SP. E-mail: jcoury@power.ufscar.br

Resumo – A escolha e o uso adequado de bicos de pulverização são essenciais para a correta aplicação de agrotóxicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar o espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano padrão e de jato cônico vazio, com diferentes vazões nominais. Em ambiente controlado, avaliou-se o espectro de gotas por meio de um analisador a laser de gotas em tempo real, nas faixas de pressão de 200 a 400 kPa para os bicos de jato plano, e de 400 a 600 kPa para os bicos de jato cônico vazio. Realizou-se também um estudo teórico sobre a distância horizontal percorrida por gotas de tamanho conhecido. Os bicos de jato cônico vazio apresentaram gotas de menor tamanho em relação aos de jato plano e, por isso, proporcionaram maior densidade de gotas depositadas sobre a superfície-alvo. Todos os bicos apresentaram densidade de gotas superior a 110 gotas cm⁻². No entanto, o potencial de deriva foi alto, principalmente o dos bicos de jato cônico, requerendo estratégias para sua redução. É possível estimar a distância horizontal percorrida por gotas de tamanho conhecido.

Termos para indexação: tamanho de gotas, deriva, pressão de trabalho.

Droplet spectrum of standard flat fan and hollow cone spray nozzles

Abstract – The appropriate selection and use of spray nozzles are essential for the correct pesticides application. The objective of this study was to evaluate the droplet spectrum of hydraulic standard flat fan and hollow cone spray nozzles, with different nominal flows. In laboratory, droplet spectrum, using a real time laser particle size analyzer, was measured with the operating pressure ranging from 200 to 400 kPa, for flat fan, and from 400 to 600 kPa, for hollow cone. A theoretical study was also carried out on the horizontal distance traveled by droplets of known size. The hollow cone nozzles presented smaller droplets in relation to the flat fan, and provided larger droplets densities deposited on surface objective. All nozzles presented great density of deposited droplets, superior to 110 droplets cm⁻². However, the drift potential was great, mainly regarding the hollow cone nozzles, requesting, therefore, strategies for its reduction. It is possible to estimate the horizontal distance traveled by droplets of known size.

Index terms: droplet size, drift, work pressure.

Introdução

Os agrotóxicos, embora desempenhem papel de fundamental importância no sistema de produção agrícola vigente, têm sido alvo de crescente preocupação, em virtude de seu potencial de risco ambiental (Barcellos et al., 1998). Cada vez mais se exige do produtor rural a utilização correta e criteriosa desses insumos. Entretanto, o que se observa no campo é a falta de informação a respeito da tecnologia de aplicação. As aplicações podem, muitas vezes, produzir o efeito desejado,

porém de forma ineficiente, porque não se utilizou a melhor técnica disponível ou o melhor equipamento de aplicação, que determinaria o emprego de menor quantidade de ingrediente ativo na obtenção dos mesmos resultados. Na prática, a dose de agrotóxico empregada é muito superior à requerida (Fernandes, 1997).

Entre as diferentes técnicas de aplicação de agrotóxicos, as que se baseiam na pulverização hidráulica são as mais difundidas, graças à flexibilidade que oferecem em diferentes situações (Teixeira, 1997). Existem vários tipos de pulverizadores hidráulicos, que vão

desde os mais simples, do tipo costal, utilizado em pequenas áreas, até os equipamentos mais sofisticados, como os pulverizadores de barra autopropelidos. Nesses equipamentos, os bicos de pulverização representam um dos principais componentes, pois influenciam diretamente na qualidade e segurança da aplicação. Genericamente, denomina-se bico ao conjunto de peças colocado no final do circuito hidráulico, através do qual a calda é fragmentada em gotas. O bico consiste de várias partes, sendo a ponta de pulverização a mais importante (Christofoletti, 1999).

Nas aplicações de fungicidas e inseticidas, recomenda-se a utilização de bicos de jato cônico vazio, principalmente 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; Wilkinson et al., 1999). Normalmente, esses bicos trabalham submetidos a uma pressão de 200 a 1.000 kPa, produzem ângulo de abertura de 60° a 80° e gotas pequenas, o que pode favorecer a deriva (Christofoletti, 1991). As gotas de pequeno diâmetro proporcionam maior densidade de gotas depositadas sobre o alvo, para um mesmo volume de aplicação. No entanto, há risco de contaminação ambiental por causa da deriva e, por isso, tem-se buscado alternativas que minimizem tais problemas (Cross et al., 2001).

Os bicos de jato plano, bastante utilizados na aplicação de herbicidas, por trabalharem em pressões menores, geralmente entre 100 e 400 kPa, geram gotas relativamente maiores. Portanto, constituem possível alternativa para reduzir os inconvenientes das aplicações de fungicidas e inseticidas com bicos de jato cônico vazio. No entanto, eles geralmente proporcionam pior cobertura do alvo e menor penetração do jato pulverizado no dossel da planta.

Aplicação eficiente requer cobertura adequada da superfície-alvo com gotas de tamanho apropriado. No caso de serem produzidas gotas muito grandes, superiores a 800 µm, não ocorre boa cobertura da superfície, tampouco boa uniformidade de distribuição. As gotas muito grandes, pelo seu peso, normalmente não se ade-

rem à superfície da folha e terminam no solo. No caso de gotas muito pequenas, geralmente ocorre boa cobertura superficial e uniformidade de distribuição da calda, mas essas gotas podem evaporar em condições de baixa umidade relativa ou serem levadas pela corrente de ar (Teixeira, 1997). Segundo Womac et al. (1999), os fatores que influenciam o espectro de gotas produzidas por determinado bico são: vazão nominal, ângulo de pulverização, pressão do líquido, propriedades da calda e tipo de bico.

Assim, durante as aplicações de agrotóxicos, deve-se cuidar para que não sejam produzidas gotas muito grandes, nem muito pequenas. Gotas menores que 100 µm são arrastadas com facilidade pelo vento e gotas maiores que 800 µm tendem a escorrer da superfície das folhas (Lefebvre, 1989). É preciso conhecer as características técnicas dos bicos visando a sua correta seleção e, com isso, aplicações eficientes e seguras.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o tamanho e a densidade de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio, submetidos a diferentes pressões do líquido, determinando o risco potencial de deriva das aplicações.

Material e Métodos

Os ensaios de deposição de gotas foram realizados no Laboratório de Mecanização Agrícola do Dep. de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e os ensaios de tamanho de gotas, no Laboratório de Controle Ambiental do Dep. de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos.

Foram avaliados quatro bicos de pulverização hidráulicos (Tabela 1), dois de jato plano e dois de jato cônico vazio, fabricados em alumina revestida por poliacetal: API 110-02, API 110-04, ATR Brown e ATR Red, todos fabricados pela Albuz, Ceramiques Techniques Desmarquest, Evreux, França. Os bicos de jato plano API (alumina plástica ISO) são de uso geral e, de acordo com o fabricante, proporcionam aplicações uniformes quando os jatos de pulverização se sobrepõem. São

Tabela 1. Especificação dos bicos avaliados⁽¹⁾.

Bico	Tipo de jato	Ângulo de pulverização	Vazão nominal
API 110-02	Plano	110° (300 kPa)	0,80 L min ⁻¹ (300 kPa)
API 110-04	Plano	110° (300 kPa)	1,60 L min ⁻¹ (300 kPa)
ATR Brown	Cônico	80° (500 kPa)	0,48 L min ⁻¹ (500 kPa)
ATR Red	Cônico	80° (500 kPa)	1,38 L min ⁻¹ (500 kPa)

⁽¹⁾O ângulo de pulverização e a vazão nominal foram indicados pelo fabricante; os números entre parênteses indicam a pressão de operação.

recomendados para trabalhar em pressões entre 200 e 400 kPa, com altura mínima da barra de 40 cm em relação ao alvo. Os bicos de jato cônico vazio ATR (alumina turbulência) são indicados para aplicações de fungicidas e inseticidas com pressão superior a 300 kPa em barras de pulverização.

Na avaliação do espectro de gotas, os tratamentos, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, consistiram de pressões de 200, 300 e 400 kPa nos bicos de jato plano e 400, 500 e 600 kPa nos de jato cônico vazio. Os seguintes parâmetros foram avaliados: $D_{v0,1}$ – diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor –, $D_{v0,5}$ – diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor, também conhecido como diâmetro mediano volumétrico (DMV) –, $D_{v0,9}$ – diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor –, SPAN (amplitude relativa), percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100, 150 e 200 μm e densidade de gotas depositadas.

A amplitude relativa (SPAN) foi determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{SPAN} = \frac{D_{v0,9} - D_{v0,1}}{D_{v0,5}} \quad (1)$$

O espectro da população de gotas foi determinado de forma direta, utilizando-se um analisador de gotas em tempo real. Esse analisador baseia-se na medição da luz – feixe de raio laser – dispersa durante a passagem das gotas pulverizadas pela região de amostragem do aparelho (Schick, 1997). O equipamento dispõe de unidade óptica que detecta o padrão de difusão da luz ao passar por um conjunto de partículas. O desvio que o feixe de laser sofre depende do tamanho da partícula. Quanto menor a partícula, maior é o grau de difusão que o raio de luz sofre.

Empregou-se o equipamento Spraytec (Malvern Spraytec Real Time Droplet Sizing System), com diâmetro do feixe do laser de 10 mm, lente focal de 200 mm, comprimento de onda do laser de 670 nm e ponte óptica de base longa. Inicialmente, verificou-se o alinhamento do feixe óptico para garantir o seu correto posicionamento no sistema detector; monitorou-se o sistema de fundo, segundo plano, medida da luz desviada no sistema óptico e da contaminação das janelas por partículas; e procedeu-se à calibração do aparelho, utilizando-se o retículo padrão RS-3, aprovado pelo ASTM (American Society

for Testing and Materials) para calibração de instrumentos de análise de partículas baseados na técnica da difusão do laser. De acordo com o fabricante, o instrumento apresenta 3% de acurácia e 1% de precisão, quando se utiliza o retículo padrão. A análise dos dados foi realizada por meio do programa computacional RTSizer™.

Durante a determinação do espectro de gotas, utilizou-se um equipamento de pulverização costal, a pressão constante (CO_2), montado de tal forma que todo o jato pulverizado passasse transversalmente através do feixe luminoso do analisador. Isso permitiu a obtenção direta do espectro de gotas para cada condição desejada. O bico de pulverização ficou posicionado 30 cm acima do feixe óptico (American Society of Agricultural Engineering, 2000).

Na determinação da densidade de gotas, utilizou-se igualmente um equipamento de pulverização costal, à pressão constante (CO_2). As análises foram realizadas a partir das impressões das gotas em etiquetas de plástico (polietileno), com dimensões de 3 por 6 cm. Foram colocadas cinco etiquetas dispostas ao longo da faixa de aplicação e transversalmente à direção de avance. Para melhor visualização das gotas e maior contraste entre elas e as etiquetas, utilizou-se um corante preto (Tingecor Preto 31) dissolvido na água de pulverização, na concentração de 1.500 mg L^{-1} . As etiquetas foram dispostas ao longo da faixa de aplicação. Trabalhou-se com altura do bico em relação às etiquetas amostradoras de 50 cm. Após a passagem do pulverizador, a uma velocidade de 6 km h^{-1} , as etiquetas foram imediatamente fotografadas em equipamento digital, com resolução de 22 $\mu\text{m pixel}^{-1}$, e analisadas por meio do programa computacional “Image Tool” versão 3.0. No estudo de densidade, determinou-se o número de gotas por centímetro quadrado de área-alvo.

Todos os ensaios foram realizados em ambiente protegido. As condições ambientais foram: temperatura do ar inferior a 28°C, umidade relativa do ar superior a 60% e ausência de ventos. Os manômetros utilizados, com capacidade nominal de 2.059,4 kPa (21 kgf cm^{-2}) e resolução de 98,1 kPa (1 kgf cm^{-2}), foram previamente calibrados por meio de uma estrutura de reação dotada de massas-padrão.

Os dados do espectro de gotas de cada bico foram submetidos à análise de variância e as médias discriminadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas empregando-se o programa estatístico SAEG 8.0.

De posse dos dados de espectro de gotas, realizou-se um estudo teórico da distância horizontal percorrida por uma gota de tamanho conhecido, para avaliar o potencial de deriva das aplicações. Utilizando-se equações clássicas da Mecânica dos Fluidos, determinou-se a distância em que as gotas podem ser arrastadas quando liberadas de determinada altura, de acordo com a faixa de tamanho dos bicos avaliados.

A distância percorrida por uma gota de diâmetro d_G , durante sua trajetória no ar, pode ser estimada a partir da velocidade de queda ou terminal, v_t , e da velocidade horizontal, v_h , a ela imprimida pelos ventos e bico de pulverização (Matthews, 2000).

Considerando tempos de aceleração pequenos, admite-se que a gota desloca-se com velocidade constante tanto na vertical quanto na horizontal. Nesse caso, as duas velocidades são dadas por:

$$v_t = \frac{Y}{t}$$
(2)

$$v_h = \frac{X}{t}$$
(3)

em que, v_t é a velocidade terminal, $m\ s^{-1}$; v_h é a velocidade horizontal, $m\ s^{-1}$; Y é a distância percorrida na vertical, m ; X é a distância percorrida na horizontal, m ; e t é o tempo em que a gota permanece suspensa no ar, s .

A distância percorrida pela gota pode, então, ser expressa por:

$$X = Y \frac{v_h}{v_t}$$
(4)

Torna-se, portanto, necessário estimar a distância percorrida na vertical, a velocidade horizontal e a velocidade terminal para obter a distância percorrida na horizontal. A distância percorrida na vertical e a velocidade horizontal dependem das condições locais de pulverização, da posição do bico e dos ventos. A velocidade terminal (v_t) pode ser estimada a partir de um balanço de forças na gota: peso menos o empuxo é igual à força de arraste.

$$(\rho_G - \rho_f)g \frac{\pi d_G^3}{6} = \frac{C_D \rho_f v_t^2}{2} \frac{\pi d_G^2}{4}$$
(5)

em que, ρ_G é a densidade da gota, $kg\ m^{-3}$; ρ_f é a densidade do ar, $kg\ m^{-3}$; d_G é o diâmetro da gota, m ; g é a aceleração da gravidade, $m\ s^{-2}$; e C_D é o coeficiente de arraste.

O coeficiente de arraste depende do regime de escoamento que pode ser expresso em termos do número de Reynolds da gota (Re_G), dado por Bird et al. (1960):

$$Re_G = \frac{\rho_f d_G v_t}{\mu}$$
(6)

em que, Re_G é o número de Reynolds; e μ é a viscosidade absoluta do ar, $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$.

O coeficiente de arraste (C_D) adotado foi obtido utilizando-se a expressão sugerida por Bird et al. (1960):

$$C_D = \frac{18,5}{Re_G^{3/5}}$$
(7)

Ao ser substituída a Equação (7) na Equação (5), obtém-se a seguinte expressão para a velocidade terminal:

$$v_t = \left[\frac{0,072^5 (\rho_G - \rho_f)^5 g^5 d_G^8}{\rho_f^2 \mu^3} \right]^{1/7}$$
(8)

Nota-se que a velocidade terminal, nesse caso, é proporcional a $d_G^{8/7}$, ou seja, uma dependência próxima da linear. Assim, utilizando-se as equações (4) e (8) e assumindo os valores presentes na Tabela 2, calculou-se a distância teórica percorrida por uma gota na faixa de diâmetro entre 40 e 400 μm . Essa distância permite avaliar o risco de deriva das aplicações de agrotóxicos pulverizados hidraulicamente.

Resultados e Discussão

A distribuição das gotas por classe de tamanho para a pulverização com bicos de jato plano e de jato cônico vazio, em diferentes pressões, é revelada pela inclinação da curva de volume acumulado (Figuras 1 e 2). Uma pulverização formada por gotas do mesmo tamanho seria representada no gráfico por uma linha vertical. Quanto mais inclinada a curva, menor a variação do tamanho das gotas geradas (Christofoletti, 1999).

Os diâmetros medianos volumétricos (DMV ou $D_{v0,5}$) variaram de 83 a 129 μm quando utilizados os bicos de jato cônico vazio, e de 124 a 214 μm , nos bicos de jato plano (Tabela 3). Médias de DMV inferiores a 250 μm indicam risco de deriva, que ocorre principalmente em virtude das gotas menores que 100 μm . No entanto,

Tabela 2. Valores admitidos para os cálculos da distância teórica percorrida por gotas de água de diâmetro conhecido, a 20°C.

Parâmetro	Valor
Densidade da gota, ρ_G	1,0x10 ³ kg m ⁻³
Densidade do ar, ρ_f	1,2 kg m ⁻³
Viscosidade do ar, μ	1,8x10 ⁻⁵ kg m ⁻¹ s ⁻¹
Gravidade, g	9,8 m s ⁻²
Altura de queda, Y	0,8 m
Velocidade horizontal, v_h	3,0 m s ⁻¹

médias de DMV superiores a 500 µm sugerem problemas de escorrimento que, comumente, ocorrem com gotas maiores que 800 µm (Teixeira, 1997). Os bicos apresentaram espectros de gotas diferenciados. Nos bicos de jato plano, os diâmetros característi-

cos das gotas ($D_{v0,1}$, $D_{v0,5}$ e $D_{v0,9}$) diminuíram com o incremento da pressão e aumentaram com o crescimento da vazão nominal. Com exceção do diâmetro mediano volumétrico do bico ATR Brown, nos bicos de jato cônico vazio, o aumento da pressão não influenciou o diâmetro

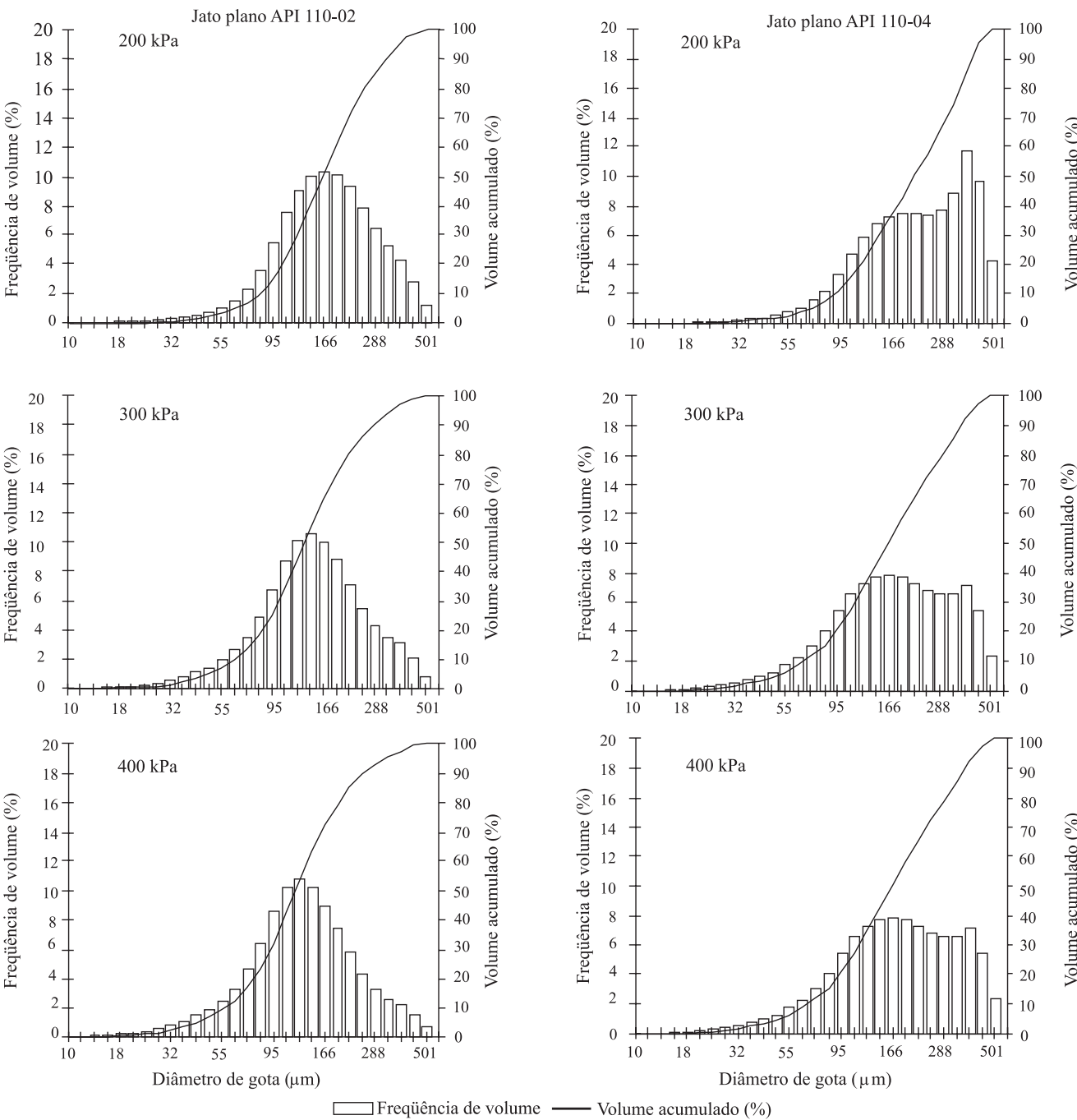


Figura 1. Espectro de gotas pulverizadas com os bicos hidráulicos de jato plano API 110-02 e API 110-04, em diferentes pressões de trabalho.

das gotas, mas demonstrou aumento com o crescimento da vazão nominal. O aumento do orifício de saída nos bicos proporciona uma quebra menor do líquido, o que gera gotas de tamanho maior.

Pequenas variações no tamanho das gotas provenientes de bicos de jato cônico vazio com a variação da pressão do líquido também foram constatadas por Palladini (1990) e Raetano (1996). Esses bicos apresentam faixa

operacional de pressão maior. Portanto, para obter variações do tamanho das gotas deve-se aumentar muito a pressão, o que nem sempre é desejável em virtude do desgaste do equipamento de pulverização.

Para aumentar a qualidade da pulverização, deve-se ter melhor desempenho dos bicos, especialmente no que diz respeito à homogeneidade do espectro de gotas. Quanto maior o valor da amplitude relativa (SPAN),

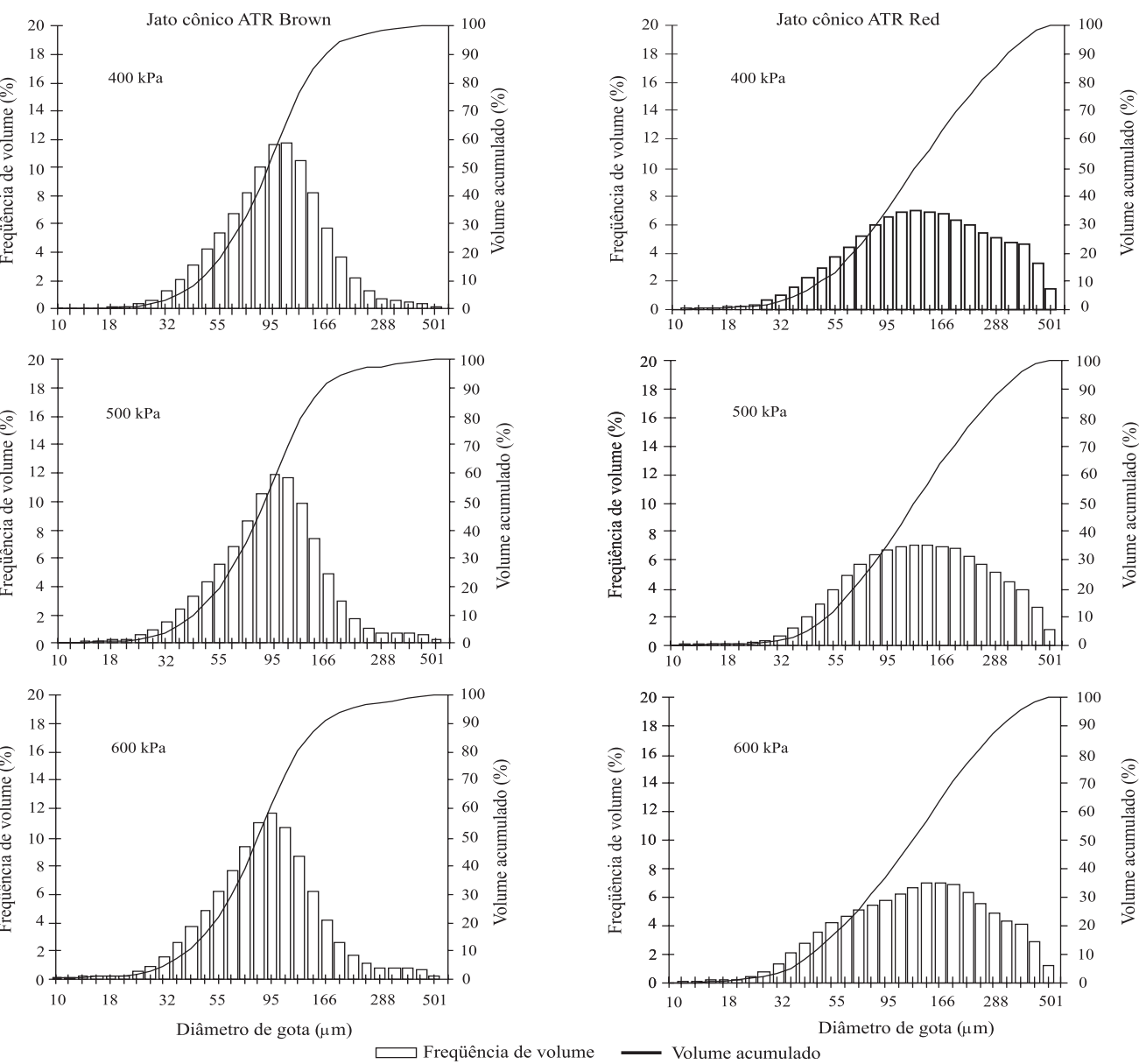


Figura 2. Espectro de gotas pulverizadas com os bicos hidráulicos de jato cônico vazio ATR Brown e ATR Red, em diferentes pressões de trabalho.

Tabela 3. Distribuição volumétrica por classe de tamanho e amplitude relativa (SPAN) de gotas pulverizadas com bicos de jato plano e de jato cônico vazio, em diferentes pressões⁽¹⁾.

Bico	Pressão (kPa)	Vazão (L min ⁻¹)	D _{v0,1} (µm)	D _{v0,5} (µm)	D _{v0,9} (µm)	SPAN
Jato Plano	200	0,63	81a	164a	330a	1,52
API 110-02	300	0,80	64b	134b	280ab	1,61
	400	0,91	57c	124b	256b	1,60
Jato Plano	200	1,24	91a	214a	400a	1,45c
API 110-04	300	1,53	75b	180b	378b	1,68b
	400	1,77	67b	163c	365c	1,84a
Jato Cônico	400	0,43	43	90a	167	1,37
ATR Brown	500	0,49	41	86b	160	1,38
	600	0,53	40	83b	160	1,44
Jato Cônico	400	1,32	47	129	315	2,08
ATR Red	500	1,49	47	126	312	2,10
	600	1,61	44	121	312	2,22

⁽¹⁾D_{v0,1}, D_{v0,5} e D_{v0,9} correspondem a diâmetros de gota tal que 10%, 50% e 90%, respectivamente, do volume de líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor; para cada bico, médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; a ausência de letras indica que não houve significância no teste F.

maior será a faixa de tamanho das gotas pulverizadas. Espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude relativa tendendo a zero. Os valores de DMV e amplitude relativa devem ser analisados conjuntamente para a caracterização da pulverização. Isoladamente, o DMV fornece um valor de referência, sem indicar a dispersão dos dados em torno desse valor (Christofoletti, 1999). A amplitude relativa indica a homogeneidade do tamanho das gotas.

A interpretação dos dados de percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100, 150 e 200 µm (Tabela 4) permite que se estime o potencial de deriva da aplicação. Quanto menor essa percentagem, menor o risco de deriva do agrotóxico durante uma aplicação. Não existe valor-padrão indicativo de risco de deriva ou de aplicação segura. Em geral, valores inferiores a 15% do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm parecem ser mais adequados a uma aplicação segura (Cunha et al., 2003).

Os bicos de jato cônico vazio estiveram relativamente mais sujeitos à deriva que os bicos de jato plano, independentemente da pressão. Portanto, seu uso deve ser feito com critério, evitando-se situações climáticas adversas. Mesmo com a redução da pressão de operação, há risco de perda de agrotóxico para o ambiente. Já os bicos de jato plano têm menor risco de deriva, principalmente em baixas pressões. O aumento da vazão nominal dos bicos reduziu o risco de deriva.

Tabela 4. Porcentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100, 150 e 200 µm com bicos de jato plano e de jato cônico vazio, em diferentes pressões.

Bico	Pressão (kPa)	% Gotas menores que 100 µm ⁽¹⁾	% Gotas menores que 150 µm ⁽¹⁾	% Gotas menores que 200 µm ⁽¹⁾
Jato Plano	200	15,71c	40,97b	60,97b
API 110-02	300	25,57b	55,70a	74,33a
	400	30,72a	61,68a	79,04a
Jato Plano	200	11,32c	28,67c	44,64c
API 110-04	300	17,35b	38,07b	53,11b
	400	21,37a	43,46a	58,51a
Jato Cônico	400	54,93b	85,05	93,81
ATR Brown	500	59,07a	86,64	94,42
	600	61,20a	86,83	94,10
Jato Cônico	400	35,27	55,80	69,68
ATR Red	500	36,66	57,01	70,74
	600	38,70	58,72	71,95

⁽¹⁾Para cada bico, médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; a ausência de letras indica que não houve significância no teste F.

Nos bicos de jato plano, o aumento da pressão provocou uma diminuição do tamanho das gotas e, conseqüentemente, o aumento da densidade de gotas e da cobertura do alvo (Tabela 5). Nos bicos de jato cônico não houve influência da pressão.

Os bicos de jato cônico vazio tenderam a apresentar maior densidade de gotas depositadas sobre o alvo, quando comparados aos bicos de jato plano, em virtude do menor tamanho de gotas originadas. Se por um lado há maior risco de deriva, por outro ocorre maior cobertura do alvo, condição desejada, principalmente, quando na aplicação de agrotóxicos de contato.

A velocidade terminal e a distância horizontal teórica percorrida por gotas de diâmetro conhecido (Figura 3) permitem avaliar o risco de deriva da aplicação em função do tamanho das gotas. Pelos resultados e equações apresentadas, infere-se que, com o aumento do tamanho de gotas e a diminuição da altura do bico de pulverização em relação ao alvo, é possível reduzir o risco de deriva. Além disso, deve-se levar em consideração as condições de vento durante as aplicações. Esses resultados foram influenciados por simplificações, que podem ser modificadas, tais como propriedades físicas (densidade e viscosidade) das gotas e do ar, condições locais de vento e aplicação.

Tabela 5. Densidade de gotas proporcionada por bicos de pulverização, em diferentes pressões, utilizando-se velocidade de deslocamento de 6 km h⁻¹.

Bico	Pressão (kPa)	Densidade de gotas (gotas cm ⁻²) ⁽¹⁾
Jato Plano	200	114b
API 110-02	300	136a
	400	148a
Jato Plano	200	135b
API 110-04	300	149ab
	400	159a
Jato Cônico	400	215
ATR Brown	500	224
	600	232
Jato Cônico	400	272
ATR Red	500	278
	600	285

⁽¹⁾Para cada bico, médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; a ausência de letras indica que não houve significância no teste F.

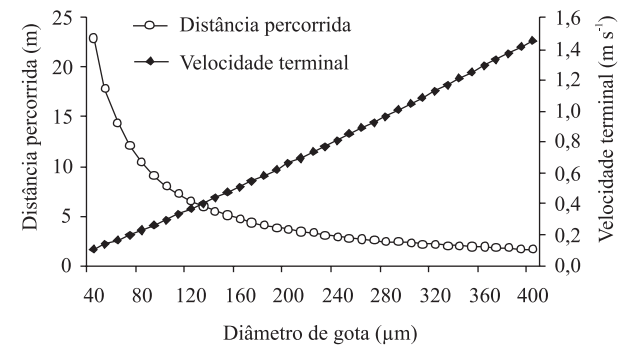


Figura 3. Velocidade de queda e distância horizontal teórica percorrida pelas gotas em função de seu tamanho.

Conclusões

1. Os bicos de jato cônico vazio apresentam gotas menores em relação aos de jato plano e, por isso, proporcionam maior densidade de gotas depositadas sobre a superfície-alvo.
2. Os bicos avaliados apresentam densidade de gotas depositadas superior a 110 gotas cm⁻².
3. O potencial de deriva dos bicos avaliados, principalmente o dos bicos de jato cônico, é alto.
4. É possível estimar a distância horizontal percorrida por gotas de pulverização de tamanho conhecido.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio concedido.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. St. Joseph: ASAE, 2000. p.389-391. (ASAE Standard S572 AUG99).

BARCELLOS, L.C.; CARVALHO, Y.C.; SILVA, A.L. Estudo sobre a penetração de gotas de pulverização no dossel da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Engenharia na Agricultura**, v.6, p.81-94, 1998.

BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. **Transport phenomena**. New York: Wiley, 1960. 780p.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Bicos de pulverização**: seleção e uso. Diadema: Spraying Systems, 1991. 9p.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. São Paulo: Teejet, 1999. 15p.

CROSS, J.V.; WALKLATE, P.J.; MURRAY, R.A.; RICHARDSON, G.M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, v.20, p.333-343, 2001.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, v.21, p.325-332, 2003.

FERNANDES, H.C. Aplicação de defensivos agrícolas: teoria da gota. **Engenharia na Agricultura**, Série Caderno Didático, n.24, p.1-14, 1997.

LEFEBVRE, A.H. **Atomization and sprays**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. 421p.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. Malden: Blackwell, 2000. 432p.

PALLADINI, L.A. **Efeito de condições operacionais de um turboatomizador na cobertura de folhas de citros**. 1990. 93p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

RAETANO, C.G. **Condições operacionais de turboatomizadores na distribuição e deposição da pulverização em citros**. 1996. 93p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SCHICK, R.J. **An engineer’s practical guide drop size**. Wheaton: Spraying Systems, 1997. 28p.

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

TEIXEIRA, M.M. **Influencia del volumen de caldo y de la uniformidad de distribución transversal sobre la eficacia de la pulverización hidráulica**. 1997. 310p. Tese (Doutorado) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

WILKINSON, R.; BALSARI, P.; OBERTI, R. Pest control equipment. In: STOUT, B.A. (Ed.). **CIGR handbook of agricultural engineering**. St. Joseph: ASAE, 1999. v.3. p.269-310.

WOMAC, A.R.; MAYNARD, R.A.; KIRK, I.W. Measurement variations in reference sprays for nozzle classification. **Transactions of the ASAE**, v.42, p.609-616, 1999.

Recebido em 19 de março de 2004 e aprovado em 19 de julho de 2004