

ARTIGO

**AUTORES:**

**Mariana Rodrigues
 Bueno¹**

**João Paulo Arantes
 Rodrigues da Cunha¹
 Guilherme Sousa Alves¹**

¹ Universidade Federal de
 Uberlândia – UFU,
 Rua Amazonas, s/n,
 Umuarama, 38400-902,
 Uberlândia, MG, Brasil

Recebido: 14/09/2011

Aceito: 23/01/2012

Autor correspondente:

Mariana Rodrigues Bueno
 E-mail: marianarb_agro@yahoo.
 com.br

PALAVRAS-CHAVE:

Deposição de calda
 Espectro de gotas
 Pontas de pulverização
Solanum tuberosum L.

KEY-WORDS:

Pesticide deposition
 Droplet spectrum
 Spray nozzle
Solanum tuberosum L.

*Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata**

Droplet spectrum study in aerial and ground spray applications on potato crop

RESUMO: A uniformidade e o tamanho das gotas produzidas durante a pulverização e a correta deposição destas no alvo contribuem diretamente para o sucesso de uma aplicação de produtos fitossanitários. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o jato aspergido em pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata, complementadas com a utilização de adjuvante na calda de aplicação. O experimento foi realizado em duplicata em lavouras comerciais de batata, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6×2 , sendo seis formas de aplicação (aérea, com 15 e 30 L ha⁻¹, empregando-se atomizador rotativo, e terrestre, utilizando-se pontas de jato plano duplo com indução de ar e jato cônico vazio, com 200 e 400 L ha⁻¹ cada uma) e duas composições de calda (água e água mais o adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico). O espectro de gotas foi avaliado por meio de imagens de papéis hidrossensíveis. Os menores tamanhos de gotas e amplitudes relativas foram produzidos pelas aplicações aéreas; em contrapartida, os maiores diâmetros de gotas e a menor percentagem de gotas menores que 100 µm foram obtidos com a utilização das pontas de jato plano duplo com indução de ar. A utilização do adjuvante não interferiu no diâmetro da mediana numérica e volumétrica, na amplitude relativa e na percentagem do volume de gotas menores que 100 µm.

ABSTRACT: The uniformity and droplet size produced during the spraying as well the correct deposition of these in the target, contribute directly to the success of a pesticide application. Thus, this study aimed to evaluate the spray characteristics in ground and aerial applications on potato crop, by using adjuvant in spray liquid. The experiment was conducted in duplicate, in completely randomized design, constituting a factorial scheme 6×2 : six application forms (aerial, using rotary atomizer at 15 and 30 L ha⁻¹ and ground, using air induction twin flat-fan and hollow-cone nozzles at 200 and 400 L ha⁻¹), and with two spray liquid compositions (water and water with phosphatidylcoline + propionic acid adjuvant). The droplet spectrum was measured by image analysis of water-sensitive papers. The smaller droplet sizes and relative spans were produced by aerial application; however, the larger droplet diameters and the smaller percentage of spray volume in droplets smaller than 100 µm diameter were obtained with the use of air induction twin flat-fan nozzle. The use of adjuvant did not modify the volumetric median diameter, the numeric median diameter, the relative span and the percentage of spray volume in droplets smaller than 100 µm diameter.

* Trabalho extraído da Dissertação de Mestrado da primeira autora.

1 Introdução

A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) apresenta grandes desafios no que se refere à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. A fim de garantir uma produção com qualidade e quantidade, é necessário o controle eficaz de pragas, doenças e plantas daninhas, o qual está diretamente relacionado com as técnicas de pulverização. Atualmente, o método mais empregado para a proteção das lavouras é a aplicação terrestre com pulverizadores hidráulicos, contudo, a aplicação aérea tem crescido em virtude das vantagens operacionais que apresenta, sendo que ainda carece de estudos.

Na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário a ser aplicado e pouca atenção à técnica de aplicação. Não basta apenas conhecer o produto a ser aplicado, também é fundamental conhecer a tecnologia de aplicação. É preciso garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas (CUNHA, 2008).

Um aspecto muito importante que interfere na qualidade de uma aplicação é garantir que as gotas pulverizadas tenham tamanho homogêneo e distribuição uniforme. Assim, durante as aplicações, deve-se cuidar, em geral, para que não sejam produzidas gotas muito grossas nem muito finas (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007). Gotas grandes geram baixa cobertura superficial e escorrimento; por outro lado, são menos propensas ao deslocamento pelo vento. Gotas pequenas, embora permitam boa cobertura do alvo, levam a problemas com deriva e evaporação, e, conseqüentemente, com risco de contaminação ambiental (FIGUEIREDO et al., 2007; NUYTENS et al., 2009).

As pontas de jato cônico vazio, assim como os atomizadores rotativos utilizados em aeronaves agrícolas e pulverizadores, tradicionalmente empregadas nas aplicações de fungicidas e inseticidas, têm como característica comum a produção, em geral, de gotas finas, que proporcionam excelente cobertura do alvo, sendo, contudo, muito susceptíveis à deriva. Uma das formas de se reduzir esse problema é optar pela utilização de pontas antideriva ou pontas que produzam gotas grossas, mas que proporcionem uma boa cobertura do alvo, como as pontas de jato plano duplo com indução de ar.

Um dos problemas com relação ao uso dessas pontas de indução de ar é o fato de algumas marcas ofertadas no mercado não possuírem informações suficientes sobre a população e o tamanho de gotas produzidas, o risco potencial de deriva, a distribuição volumétrica (VIANA et al., 2010) e o seu real funcionamento (ZHU et al., 2004; NUYTENS et al., 2007).

Outro fator que também pode auxiliar na redução da deriva é a adição de adjuvantes à calda de aplicação. Estes atuam de maneira diferente entre si e, dentre suas características potenciais estão melhorar o molhamento, o espalhamento, a aderência e a penetração da calda na folha (MENDONÇA; RAETANO; MENDONÇA, 2007; RYCKAERT et al., 2007), além de reduzir a tensão superficial das gotas ampliando a cobertura foliar (CUNHA; ALVES, 2009; VAN ZYL et al., 2010). No entanto, Lan et al. (2007) relatam que a adição de adjuvantes pode alterar o desempenho das aplicações e seu efeito pode ser positivo ou até mesmo negativo no que se refere à deposição do produto no alvo.

Estudar a população de gotas produzidas nas aplicações é uma das formas de se avaliar a qualidade da aplicação e permite entender melhor a eficácia biológica de um tratamento. Uma das ferramentas utilizadas para tal é a utilização de alvos artificiais, como os papéis hidrossensíveis (BOUSE et al., 1994). Estes, quando manuseados corretamente, são ferramentas importantes para avaliar a qualidade das pulverizações, principalmente em aplicações aéreas com atomizador rotativo, que não permitem avaliações com facilidade do espectro de gotas em laboratório, com equipamentos a laser, por exemplo.

O objetivo deste trabalho foi estudar o espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata, variando-se as pontas de pulverização e a composição da calda de aplicação, em diferentes condições operacionais, uma vez que há pouca informação disponível na literatura referente à tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários nessa cultura.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Água Santa – Grupo Rocheto, situada no município de Perdizes (19° 21' 19" S e 47° 16' 58" O, com altitude

de 1100 m), Estado de Minas Gerais, Brasil. As análises laboratoriais foram realizadas no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG.

As avaliações foram realizadas em duplicata, em duas áreas de pivô central (Área 1 e Área 2, com 80 ha cada), correspondendo a duas aplicações: a primeira no dia 18 de julho de 2009, na Área 1, e a segunda em 19 de setembro de 2009, na Área 2. Ambas as áreas haviam sido cultivadas com milho na safra de verão 2008/2009 e, na safra de inverno 2009, época da presente pesquisa, com batata. Buscava-se verificar se os resultados apresentariam as mesmas tendências com relação às características em estudo (espectro de gotas), em condições de campo distintas (condições ambientais, principalmente).

O sistema de cultivo empregado foi o de plantio convencional, cultivado com batata cultivar Asterix com ciclo de 120 dias. Os plantios foram realizados nos dias 19 de maio de 2009 na Área 1 e em 11 de junho de 2009 na Área 2, de forma mecanizada, com espaçamento de 0,38 m entre plantas, 0,8 m entre linhas e profundidade de plantio de 0,12 m. Foram realizados todos os tratamentos culturais recomendados para a cultura.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6×2 , com quatro repetições, cujos fatores foram seis formas de aplicação e duas composições de calda. As formas de aplicação foram compostas pela combinação 'tipo de pulverização' (aérea e terrestre) e 'volume de aplicação', conforme descrito na Tabela 1. Todas as pontas utilizadas na aplicação terrestre são de funcionamento hidráulico, da

empresa Magno Jet, e possuem orifício de saída do jato constituído em cerâmica. Na aplicação aérea, utilizaram-se atomizadores rotativos de tela como sistema de quebra de gota, variando-se a posição da unidade de restrição variável (URV) do atomizador para obtenção dos volumes avaliados.

A calda de aplicação foi composta por água e água mais o adjuvante LI-700 (fosfatidilcolina + ácido propiônico – 712,88 g L⁻¹), na dose recomendada de 0,50% v/v (0,5 L 100 L⁻¹). De acordo com o fabricante, trata-se um adjuvante não iônico, redutor de tensão superficial e antideriva.

Nas aplicações terrestres, utilizou-se um pulverizador costal de pressão constante (CO₂), dotado de barra com quatro bicos espaçados de 0,5 m entre si e 0,5 m em relação à cultura, a uma velocidade de aplicação média de 4 km h⁻¹. As parcelas experimentais constaram de 51,2 m², sendo 6,4 m de largura e 8 m de comprimento, e foi mantida sempre uma distância longitudinal de 6 m entre as parcelas. Foram descartadas duas linhas de cada lado da parcela e 1 m de cada extremidade, sendo a área útil da parcela de 19,2 m².

Já nas aplicações aéreas, utilizou-se uma aeronave agrícola Cessna AG TRUCK - 300, dotada de oito atomizadores rotativos de tela Micronair AU 5000. A altura de vôo foi de 3 m em relação à cultura, a velocidade de aplicação de 177 km h⁻¹ e o ângulo das pás do atomizador de 45°. O tamanho das parcelas foi de 19.200 m², correspondente a 300 m de comprimento e 64 m de largura, equivalente a quatro passadas de 16 m do avião. Após a aplicação, foi estabelecida uma distância lateral de 50 m entre cada parcela. A área útil foi correspondente a

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Formas de aplicação		Tipo de calda
	Tipo de pulverização	Volume de calda (L ha ⁻¹)	
1		30	Com adjuvante
2	Aérea - atomizador rotativo Micronair AU 5000		Sem adjuvante
3		15	Com adjuvante
4			Sem adjuvante
5	Terrestre - ponta de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 110 02)	200	Com adjuvante
6			Sem adjuvante
7	Terrestre - ponta de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 110 04)	400	Com adjuvante
8			Sem adjuvante
9	Terrestre - ponta de jato cônico vazio (MAG – 2)	200	Com adjuvante
10			Sem adjuvante
11	Terrestre - ponta de jato cônico vazio (MAG – 4)	400	Com adjuvante
12			Sem adjuvante

1.920 m², na qual se descartaram 20 m de cada lado e 110 m de cada extremidade.

As pressões de trabalho durante as aplicações se mantiveram constantes, sendo que, na aplicação terrestre, para as pontas de jato plano duplo com indução de ar e cone vazio, as pressões foram de 207 e 483 kPa, respectivamente. Na aplicação aérea, a pressão utilizada foi de 186 kPa.

Todas as aplicações foram realizadas perpendicularmente à direção do vento e as condições ambientais dos dois ensaios foram distintas, sendo que, na primeira aplicação, a umidade relativa do ar média foi de 64%, temperatura do ar de 24 °C e velocidade do vento de 8,6 km h⁻¹. Na segunda aplicação, a umidade relativa do ar média foi de 62,2%, a temperatura do ar de 26,5 °C e a velocidade do vento de 10,5 km h⁻¹. Esses dados foram obtidos por meio de um termo-higroanemômetro digital (Kestrel® 4000 Pocket Weather Tracker).

Na primeira aplicação (Área 1), a cultura da batata encontrava-se no estágio III – no máximo desenvolvimento vegetativo, com aproximadamente

nove semanas (60 dias) após o plantio. Na segunda aplicação (Área 2), a cultura estava no estágio IV – maturação dos frutos e início do processo de senescência das folhas, com aproximadamente 14 semanas (100 dias) após o plantio, de acordo com escala de desenvolvimento vegetativo proposta por Filgueira (2008).

Foi avaliado o espectro das gotas pulverizadas por meio da análise de papéis hidrossensíveis. Antes da pulverização, foram colocados aleatoriamente quatro papéis (76 × 26 mm) dentro da área útil de cada parcela, todos suspensos por uma haste metálica acima do dossel das plantas, mantendo-os na posição horizontal e direcionados para cima e sem interferência das folhas (Figura 1).

Posteriormente, foi realizada a quantificação e a caracterização dos impactos em cada papel. Em laboratório, estes foram digitalizados com resolução de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 bits, e analisados por meio do programa computacional CIR® 1.5 - Conteo y Tipificación de Impactos de

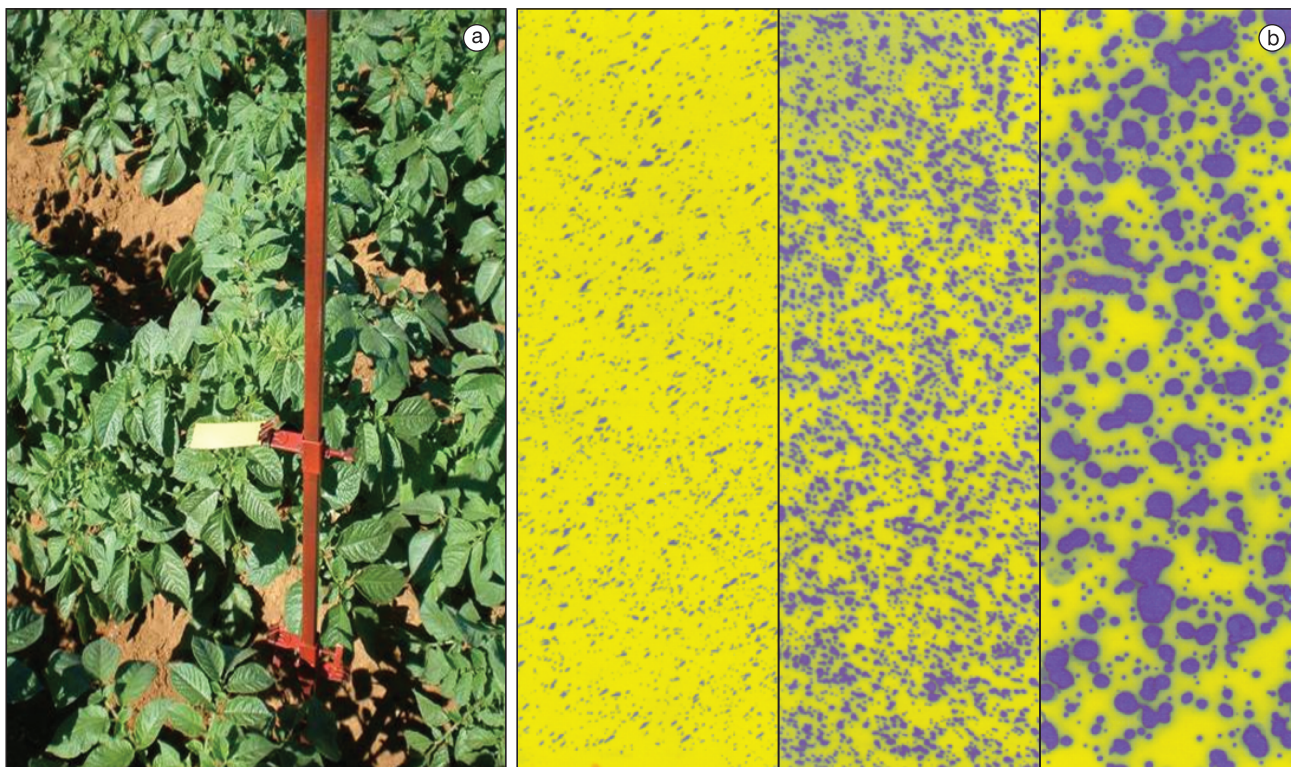


Figura 1. a) Papel sensível preso à haste. b) Papéis sensíveis após a aplicação: gotas produzidas pelos atomizadores rotativos, pelas pontas de cone vazio (MAG - 2) e pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D 11002), respectivamente. Perdizes-MG, 2009.

Pulverización, específico para a análise de espectro de gotas.

O programa emite uma planilha de dados, a partir dos quais foram estudados os parâmetros: $Dv_{0,5}$ – 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 da mediana volumétrica (DMV); DMN – diâmetro da mediana numérica; AR – amplitude relativa, e $Dv < 100 \mu\text{m}$ – percentagem do volume aplicado cujas gotas possuam diâmetro inferior a $100 \mu\text{m}$.

A amplitude relativa foi determinada utilizando-se a Equação 1:

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

em que: AR = amplitude relativa (adimensional); $Dv_{0,1}$ = diâmetro de gota tal que 10% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor (μm); $Dv_{0,5}$ = diâmetro de gota tal que 50% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor (μm); $Dv_{0,9}$ = diâmetro de gota tal que 90% do volume do líquido pulverizado é constituído de gotas de tamanho menor que esse valor (μm).

Os dados de espectro de gotas foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias de Levene, utilizando-se o programa SPSS 16. Em seguida, procedeu-se a análise de variância (ANOVA) e, constatada diferença significativa, as médias

das características em estudo foram comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Essas análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

3 Resultados e Discussões

Os dados que se seguem são referentes à primeira aplicação realizada na Área 1:

Com relação ao $Dv_{0,5}$, a interação entre os fatores ‘formas e volumes de aplicação’ e ‘adjuvante’ não foi significativa, o que indica a independência dos mesmos; diversamente, para a variável DMN, houve interação significativa entre os fatores, existindo assim uma dependência entre estes (Tabela 2).

Os tratamentos de aplicação aérea (15 e 30 L ha^{-1}), empregando atomizador rotativo de tela, produziram os menores tamanhos de gota ($Dv_{0,5}$): 101 e $121 \mu\text{m}$, respectivamente, assim como os menores DMN, variando entre 72 e $74 \mu\text{m}$. Os maiores valores de $Dv_{0,5}$ (438 e $483 \mu\text{m}$) e DMN (127 e $103 \mu\text{m}$) foram produzidos pelos tratamentos de aplicação terrestre com 200 e 400 L ha^{-1} , empregando-se pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D) (Tabela 2).

A adição do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico à calda não alterou o diâmetro volumétrico das gotas, assim como também não interferiu nos valores de diâmetro da mediana numérica, exceto para o tratamento de aplicação terrestre com 200 L ha^{-1} e ponta de jato plano duplo com indução de ar, para o qual a utilização do adjuvante aumentou o valor do DMN.

Tabela 2. Diâmetro da mediana volumétrica ($Dv_{0,5}$) e diâmetro da mediana numérica (DMN) das gotas pulverizadas após a primeira aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda. Uberlândia-MG, 2009.

Formas e volumes de aplicação (L ha^{-1})	$Dv_{0,5}$ (μm)			DMN (μm)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	101	101	101 A	73 Aa	72 Aa	72
Aérea - 30	132	110	121 A	75 Aba	74 Aa	74
Terrestre - 200 C'	155	156	155 AB	101 ABCa	99 ABa	100
Terrestre - 400 C	179	180	179 B	91 ABCa	94 ABa	93
Terrestre - 200 IA''	436	440	438 C	107 Ca	147 Cb	127
Terrestre - 400 IA	480	487	483 C	102 BCa	104 Ba	103
Média	247 a	246 a		91	98	
CV = 15,34%			CV = 14,24%			
$F_F = 159,38^{**}$ $F_A = 0,02^{ns}$			$F_F = 18,12^{**}$ $F_A = 3,07^{ns}$			
$F_{FA} = 0,16^{ns}$			$F_{FA} = 2,87^*$			

C': ponta de jato cônico vazio; IA'': ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F : valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A : valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FA} : valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **significativo a 0,01; *significativo a 0,05; ^{ns}não significativo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha, Bueno e Ferreira (2010). Os autores verificaram que, a adição do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico à calda de pulverização não alterou o $Dv_{0,5}$ das gotas produzidas pela ponta de jato plano defletor (TT 110 02). No entanto, levou a uma redução de 36% no $Dv_{0,5}$ das gotas emitidas pela ponta de jato plano defletor com indução de ar (TTI 110 02).

Miller e Butler-Ellis (2000), estudando o efeito das formulações nas características da pulverização, relataram que as pontas com indução de ar são mais sensíveis às mudanças nas propriedades físicas da calda e que seu comportamento nem sempre segue aquele das pontas hidráulicas convencionais.

Um complicador, ao se trabalhar com pontas de indução de ar, é o fato de alguns fabricantes não disponibilizarem seu espectro de gotas. Segundo Viana et al. (2007), essas informações são indispensáveis para a escolha correta da ponta, a fim de se obterem maior eficiência na cobertura do alvo e menor risco ambiental.

Para as variáveis ‘amplitude relativa’ e ‘percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm ’, não houve interação significativa entre os fatores estudados, indicando independência entre os mesmos (Tabela 3).

A amplitude relativa expressa a uniformidade do conjunto de gotas ou o espectro de variação do tamanho das gotas (OZEKI, 2006; SILVA, 2009). Quanto maior o valor da amplitude relativa (AR),

maior é a faixa de tamanho das gotas pulverizadas. Espectro de gotas homogêneo tem valor de amplitude relativa que tende a zero (VIANA et al., 2010). No presente estudo, a menor amplitude relativa foi encontrada no tratamento aéreo com volume de calda de 15 L ha⁻¹ (0,817) e, no tratamento terrestre, com 200 L ha⁻¹ de calda (0,979) com pontas de jato cônico vazio (MAG), indicando maior homogeneidade na formação de gotas quando comparado ao sistema venturi das pontas hidráulicas de jato plano duplo com indução de ar.

Ao avaliar a uniformidade do conjunto de gotas produzidas por sistemas aéreos (pontas hidráulicas, atomizadores rotativos de disco e sistema eletrostático), Silva (2009) também verificou os menores valores de amplitude relativa com o uso dos atomizadores (15 L ha⁻¹) e do sistema eletrostático (5 L ha⁻¹) no dossel da cultura do arroz. A utilização de atomizadores rotativos de alta rotação na aviação agrícola (mais de 5000 giros por minuto) gera espectro de gotas mais uniforme (SCHRÖDER, 2006), corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Os tratamentos terrestres com pontas AD-IA/D proporcionaram a menor percentagem de gotas pulverizadas menores que 100 μm (1,18 e 1,64%), enquanto que os tratamentos aéreos, os maiores valores (29,96 e 48,49%).

A interpretação dos dados de percentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm permite a estimativa do potencial de deriva da

Tabela 3. Amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 μm após a primeira aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda. Uberlândia-MG, 2009.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Amplitude relativa (AR)			Gotas < 100 μm (%)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	0,835	0,800	0,817 A	49,03	47,95	48,49 D
Aérea - 30	1,130	1,090	1,110 B	24,19	35,73	29,96 C
Terrestre - 200 C'	0,935	1,022	0,979 AB	11,49	12,22	11,86 B
Terrestre - 400 C	1,132	1,085	1,109 B	12,80	12,07	12,44 B
Terrestre - 200 IA ^a	1,257	1,020	1,139 B	1,63	0,73	1,18 A
Terrestre - 400 IA	1,225	1,080	1,152 B	1,72	1,56	1,64 A
Média	1,086 a	1,016 a		16,81 a	18,38 a	
	CV = 16,25%			CV = 30,29%		
	$F_F = 4,64^{**}$ $F_A = 1,99^{ns}$			$F_F = 95,22^{**}$ $F_A = 1,04^{ns}$		
	$F_{FA} = 0,84^{ns}$			$F_{FA} = 1,71^{ns}$		

C': ponta de jato cônico vazio; IA^a: ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F : valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A : valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FA} : valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey (P < 0,05). **significativo a 0,01; ^{ns}não significativo.

aplicação (CUNHA et al., 2003). Quanto menor essa porcentagem, menor o risco de ocorrer deriva. Não existe valor-padrão indicativo de risco de deriva ou de aplicação segura. Entretanto, segundo os mesmos autores, valores abaixo de 15% de volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm , em geral, são mais adequados para aplicações ambientalmente seguras.

Assim, aplicações aéreas com o espectro de gotas encontrado devem ser realizadas preferencialmente em condições ambientais favoráveis à aplicação de fitossanitário, a fim de reduzir ao máximo as perdas por deriva, como temperatura do ar menor que 30 °C, umidade relativa maior que 55% e velocidade do vento inferior a 12 km h^{-1} .

Embora seja possível reduzir o risco potencial de deriva com a utilização de pontas com indução de ar, existe a possibilidade de formação de gotas grossas e muito grossas, resultando em aumento do escorrimento de calda e, conseqüentemente, na perda da eficácia da pulverização (LESNIK et al., 2005). Todavia, para Heinkel, Fried e Lange (2000) e Shaw et al. (2000), a utilização de uma ponta com indução de ar pode fornecer um desempenho semelhante ao de uma pulverização convencional (com pontas de jato plano simples), desde que o operador receba informações acerca de como fazer a seleção inicial dessa ponta e como melhorar seu desempenho.

Quanto à utilização de adjuvante, não houve diferença significativa entre sua presença ou não na calda de pulverização para os valores de amplitude

relativa e porcentagem de gotas menores que 100 μm . Trabalho realizado em laboratório com as pontas TT 11002 e TTI 11002 com adição do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico à calda de pulverização também não mostrou alteração nos valores de amplitude relativa (CUNHA; BUENO; FERREIRA, 2010).

Os dados que se seguem são referentes à segunda aplicação realizada na Área 2:

Com relação ao $Dv_{0,5}$ e DMN na segunda aplicação, a interação entre os fatores 'formas e volumes de aplicação' e 'adjuvante' não foi significativa. Para as duas variáveis em questão, os menores tamanhos de gotas foram obtidos pelos atomizadores rotativos nos volumes de 15 e 30 L ha^{-1} de calda. Em contrapartida, os maiores valores de tamanho de gotas foram produzidos pelas pontas de jato plano duplo com indução de ar (AD-IA/D), nos volumes de 200 e 400 L ha^{-1} de calda (Tabela 4).

Avaliando-se o tamanho de gotas de pontas de pulverização hidráulica, de mesma vazão nominal, de jato plano simples, jato plano de baixa deriva e jato plano com indução de ar (Hardi F-110, LD-110 e Injet), Nuyttens et al. (2007, 2009) também encontraram nas pontas de indução de ar os maiores tamanhos de gotas e a menor propensão das mesmas à deriva, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Sabe-se que os adjuvantes com propriedades surfactantes, como o fosfatidilcolina + ácido propiônico, têm a capacidade de reduzir a tensão

Tabela 4. Diâmetro da mediana volumétrica ($Dv_{0,5}$) e diâmetro da mediana numérica (DMN) das gotas pulverizadas após a segunda aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda. Uberlândia-MG, 2009.

Formas e volumes de aplicação (L ha^{-1})	$Dv_{0,5}$ (μm)			DMN (μm)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	105	93	99 A	75	66	71 A
Aérea - 30	123	117	120 AB	81	73	77 A
Terrestre - 200 C'	158	175	166 BC	103	102	103 B
Terrestre - 400 C	175	203	189 C	96	102	99 B
Terrestre - 200 IA"	429	411	420 D	119	122	120 C
Terrestre - 400 IA	424	416	420 D	101	92	97 B
Média	236 a	236 a		96 a	93 a	
	CV= 14,20%			CV= 10,15%		
	$F_F = 152,91^{**}$ $F_A = 0,00^{ns}$			$F_F = 28,39^{**}$ $F_A = 1,09^{ns}$		
	$F_{FA} = 0,59^{ns}$			$F_{FA} = 0,98^{ns}$		

C': ponta de jato cônico vazio; IA": ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F : valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A : valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FA} : valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). **significativo a 0,01; ^{ns}não significativo.

Tabela 5. Amplitude relativa e percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm após a segunda aplicação aérea e terrestre na cultura da batata, com e sem adição de adjuvante à calda. Uberlândia-MG, 2009.

Formas e volumes de aplicação (L ha ⁻¹)	Amplitude relativa (AR)			Gotas < 100 µm (%)		
	Adjuvante		Média	Adjuvante		Média
	Sem	Com		Sem	Com	
Aérea - 15	0,762	0,685	0,724 A	43,77	62,39	53,08 C
Aérea - 30	1,047	1,090	1,069 B	28,70	35,88	32,29 B
Terrestre - 200 C'	1,090	1,052	1,071 B	12,37	10,50	11,44 A
Terrestre - 400 C	1,125	1,110	1,117 B	10,94	7,96	9,45 A
Terrestre - 200 IA"	1,255	1,320	1,287 B	1,55	1,68	1,61 A
Terrestre - 400 IA	1,145	1,185	1,165 B	2,23	3,28	2,76 A
Média	1,071 a	1,074 a		16,59 a	20,28 a	
	CV= 16,87%			CV= 42,34%		
	F _F =8,73** F _A =0,01 ^{ns} F _{FxA} =0,19 ^{ns}			F _F =53,84** F _A =2,68 ^{ns} F _{FxA} =2,17 ^{ns}		

C': ponta de jato cônico vazio; IA": ponta de jato plano duplo com indução de ar; CV: coeficiente de variação; F_F: valor do F calculado para o fator formas e volumes de aplicação; F_A: valor do F calculado para o fator adjuvante; F_{FxA}: valor do F calculado para a interação entre os fatores formas e volumes de aplicação e adjuvante. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey (P < 0,05). **significativo a 0,01; ^{ns}não significativo.

superficial de soluções aquosas aplicadas sobre uma cultura, melhorando a aderência das gotas nas folhas (BARGEL et al., 2006). Entretanto, tal propriedade pode levar também à diminuição do tamanho das gotas; ressalta-se, contudo, que a magnitude desse processo não é muito grande e varia de acordo com a ponta empregada (BUTLER-ELLIS; TUCK; MILLER, 2001). Esse fato pode explicar a não alteração dos diâmetros da mediana volumétrica e numérica com a adição do adjuvante à calda de pulverização no presente ensaio.

Para as variáveis 'amplitude relativa' e 'percentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm', não houve interação significativa entre os fatores estudados, comprovando-se a não existência de dependência entre os mesmos. A menor amplitude relativa (0,724) foi encontrada na aplicação aérea com 15 L ha⁻¹, indicando a melhor uniformidade de produção de gotas e diferindo de todos os demais tratamentos (Tabela 5).

Nas pontas que operam com pressão hidráulica, há produção de gotas bastante desuniformes, dificultando a adequada cobertura do alvo. Com isso, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem a produção de gotas mais uniformes, a fim de reduzir a presença de gotas muito pequenas ou de gotas excessivamente grandes (CUNHA; TEIXEIRA; FERNANDES, 2007). A adoção de

equipamentos de pulverização que utilizam como sistema de quebra de gotas os atomizadores rotativos é uma opção.

A aplicação aérea com 15 L ha⁻¹ apresentou a maior percentagem de gotas aspergidas menores que 100 µm, equivalente a 53,08%, diferindo-se dos demais tratamentos. Com esse tipo de espectro de gotas, existe risco elevado de deriva. Vale ressaltar que, de acordo com a necessidade, pode-se aumentar o tamanho das gotas geradas pelo atomizador rotativo simplesmente alterando a angulação das pás. Também existem, no mercado, atomizadores rotativos com dispositivos específicos para aumentar o tamanho da gota.

Novamente, a utilização do adjuvante não interferiu nos valores de amplitude relativa e na percentagem de gotas menores que 100 µm de forma significativa. A maioria dos adjuvantes com função espalhante tem em sua composição propriedades redutoras de tensão superficial, que alteram o tamanho das gotas; contudo, a magnitude desse processo não é muito grande e varia de acordo com o sistema de pulverização empregado.

A adição de adjuvantes pode alterar o desempenho das aplicações; dessa forma, é muito importante conhecer a procedência desses produtos e as implicações de seu uso antes de adquiri-los e utilizá-los (LAN et al., 2007).

4 Conclusões

As pontas de jato plano duplo com indução de ar e os atomizadores rotativos proporcionam os maiores e os menores tamanhos de gotas, respectivamente.

A aplicação aérea, nos dois volumes de calda (15 e 30 L ha⁻¹), proporciona a menor amplitude relativa do espectro de gotas. Por outro lado, resulta na maior percentagem de gotas sujeitas à deriva (menores que 100 µm), na regulação adotada.

A adição do adjuvante fosfatidilcolina + ácido propiônico à calda não altera o diâmetro da mediana volumétrica das gotas, o diâmetro da mediana numérica, a amplitude relativa e a percentagem de gotas menores que 100 µm.

Agradecimentos

Ao CNPq, à Fapemig e à Capes, pelo suporte financeiro, e ao Grupo Rocheto, por disponibilizar a área e a aeronave agrícola.

Referências

- BARGEL, H.; KOCH, K.; CERMAN, Z.; NEINHUIS, C. Structure-function relationships of the plant cuticle and cuticular waxes - a smart material? *Functional Plant Biology*, v. 33, n. 10, p. 893-910, 2006.
- BOUSE, L. F.; CARLTON, J. B.; KIRK, I. W.; HIRSCH JÚNIOR, T. J. Nozzle selection for optimizing deposition and minimizing spray drift for the Air tractor. *Transactions of the ASAE*, v. 37, n. 6, p. 1725-1731, 1994
- BUTLER-ELLIS, M. C.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. *Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects*, v. 180, n. 3, p. 267-276, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00776-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00776-7)
- CUNHA, J.P.A.R., BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 28, p. 1153-1158, 2010. Número Especial.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. *Interciência*, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação de deriva de Agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500039>
- 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*, v. 27, numero especial, p. 10-15, 2007.
- 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, n. 2, p. 325-332, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582003000200019>
- FIGUEIREDO, J. L. A.; TEIXEIRA, M. M.; PIKANÇO, M. C.; PINTO, F. A. C.; PRAT, M. H. Avaliação da uniformidade de aplicação e do espectro de gotas de bicos hidráulicos. *Revista Ciências Técnicas Agropecuárias*, v. 16, n. 3, p. 47-52, 2007.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.
- HEINKEL, R.; FRIED, A.; LANGE, E. The effect of air injector nozzles on crop penetration and biological performance of fruit sprayers. *Aspects of Applied Biology*, v. 57, n. 1, p. 301-307, 2000.
- LAN, Y.; HOFFMANN, W. C.; FRITZ, B. K.; MARTINS, D. E.; LOPEZ, L. E. *Drift reduction with drift control adjuvants*. Sant Joseph: ASABE - Annual International Meeting, 2007. 14 p. (Paper n. 07-1060).
- LESNIK, M.; PINTAR, C.; LOBNIK, A.; KOLAR, M. Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. *Crop Protection*, v. 24, n. 2, p. 93-100, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2004.06.011>
- MENDONÇA, C. G.; RAETANO, C. G.; MENDONÇA, C. G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. *Engenharia Agrícola*, v. 27, numero especial, p. 16-23, 2007.
- MILLER, P. C. H.; BUTLER-ELLIS, M. C. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection*, v. 19, n. 8, p. 609-615, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00080-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00080-6)

- NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. *Transactions of the ASABE*, v. 52, n. 5, p. 1471-1480, 2009.
- NUYTTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*, v. 97, n. 3, p. 333-345, 2007.
- OZEKI, Y. *Manual de aplicação aérea*. São Paulo: CIBA AGRO, 2006. 101 p.
- RYCKAERT, B.; SPANOGHE, P.; HAESAERT, G.; HEREMANS, B.; ISEBAERT, S.; STEURBAUT, W. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. *Crop Protection*, v. 26, n. 10, p. 1589-1594, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2007.02.011>
- SILVA, T. M. B. *Tecnologia de aplicação aérea de fungicidas na cultura do arroz irrigado*. 63 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- SHAW, D. R.; MORRIS, W.; WEBSTER, E. P.; SMITH, D. B. Effects of spray volume and droplet speed on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. *Weed Technology*, v. 14, n. 2, p. 321-326, 2000. [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0321:E OSVAD\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0321:E OSVAD]2.0.CO;2)
- SCHRÖDER, E. P. *Pulverização: em alta rotação*. Terra Aviação, 2006. Disponível em: <<http://www.terraaviacao.com.br/Inseticidas.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2010.
- VAN ZYL, S. A.; BRINK, J.; CALITZ, F. J.; COERTZE, S.; FOURIE, P. H. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on Chardonnay grapevine leaves. *Crop Protection*, v. 29, n. 1, p. 58-67, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2009.08.012>
- VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; 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*, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000200024>
- 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*, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582007000100024>
- ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. *Biosystems Engineering*, v. 87, n. 3, p. 275-283, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.012>