

INTERAÇÕES ENTRE ADJUVANTE E PONTAS HIDRÁULICAS NO CONTROLE DA DERIVA DE GLIFOSATO

LUCAS CAIXETA VIEIRA¹, JOÃO DE DEUS GODINHO JUNIOR², RENATO ADRIANE ALVES RUAS³, VINÍCIUS RIBEIRO FARIA⁴, ALBERTO CARVALHO FILHO⁵

¹ Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, Nº: 11, Agronomia, CEP: 13418-900, Piracicaba – São Paulo, Brasil, lucas.caixeta.vieira@usp.br

² Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane Castellane S/N - Vila Industrial, CEP: 14884-900, Jaboticabal – São Paulo, Brasil, joao.godinho@unesp.br

³ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Rodovia MG-230 - Km 7, Zona Rural, CEP: 38810-000, Rio Paranaíba – Minas Gerais, Brasil, renatoruas@ufv.br

⁴ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Rodovia MG-230 - Km 7, Zona Rural, CEP: 38810-000, Rio Paranaíba – Minas Gerais, Brasil, vinicius.faria@ufv.br

⁵ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Rodovia MG-230 - Km 7, Zona Rural, CEP: 38810-000, Rio Paranaíba – Minas Gerais, Brasil, albertoufv@gmail.com

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho analisar as interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva de glifosato. Primeiramente, avaliou-se o espectro de gotas, empregando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em parcela subdividida, avaliando-se quatro soluções de aplicação (Parcelas): água; água + óleo mineral; água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato e três modelos de pontas tipo leque (Subparcelas): simples (SL); duplo (DL) e duplo com indução de ar (DLI), com seis repetições. Determinou-se o diâmetro da mediana volumétrica; densidade de gotas; amplitude relativa e o potencial risco de deriva. Na etapa seguinte à deriva foi quantificada em túnel de vento, empregando o DIC em parcela sub subdividida, sendo avaliadas as quatro soluções de aplicação (Parcelas), os três modelos de pontas (Subparcelas), em duas velocidades de vento (Sub subparcelas): 1,0 e 2,0 m s⁻¹, com quatro repetições. Independentemente da solução de aplicação, a ponta DL apresentou os maiores valores de deriva, seguida da SL e DLI, respectivamente. A solução de aplicação água + óleo mineral + glifosato, proporcionou os menores valores de deriva para todas pontas hidráulicas avaliadas. A interação do glifosato com o óleo mineral, aplicado com a ponta DLI, tem potencial para reduzir a deriva no campo.

Palavras-chave: tecnologia de aplicação, túnel de vento, espectro de gotas, redução de perdas, controle de qualidade.

INTERACTIONS BETWEEN ADJUVANT AND HYDRAULIC NOZZLES IN THE CONTROL OF GLYPHOSATE DRIFT

ABSTRACT: The aim of this work was to analyze the interactions between adjuvant and the hydraulic nozzle in glyphosate drift control. Firstly, the droplet spectrum was evaluated using a completely randomized design (DIC) in a split plot, evaluating four application solutions (plots): water; water + mineral oil; water + glyphosate; water + mineral oil + glyphosate and three nozzle spray models (subplots): simple (SL); double (DL) and double with air induction (DLI), with six repetitions. The diameter of the volumetric median was determined; droplet density; relative amplitude and the potential risk of drift. In the following stage the drift was quantified in a wind tunnel, using the sub-subdivided DIC, being evaluated the four application solutions (parcels), the three nozzle spray models (subplots), in two wind speeds (sub-plots): 1.0 and 2.0 m s⁻¹, with four repetitions. Regardless of the application solution, the DL tip presented the highest drift values, followed by SL and DLI, respectively. The application solution water + mineral oil + glyphosate, provided the lowest drift values for all hydraulic tips evaluated. The interaction of glyphosate with mineral oil, applied with the DLI tip, has the potential to reduce drift in the field.

Keywords: application technology, wind tunnel, spectrum of drops, loss reduction, quality control.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de agrotóxicos realizada de forma inadequada promove baixa eficiência de controle e eleva a contaminação ambiental. Assim, pode ser necessária mais de uma aplicação para solucionar o mesmo problema, onerando os custos de produção. Ademais, o uso excessivo de agrotóxicos nas lavouras é considerado importante agente de contaminação do meio ambiente, sobretudo, pela ocorrência da deriva. Nesse contexto, o herbicida glifosato se destaca por ser um dos agrotóxicos mais utilizados no mundo, e não raro, é aplicado em condições climáticas adversas, resultando em deposições fora do alvo desejado (BERVALD et al., 2010).

A deriva é definida como o carreamento de princípios ativos dos agrotóxicos na forma de gotas ou vapor para fora da área tratada (MILLER, 2004). As perdas por deriva, em alguns casos, podem chegar a 88% do total aplicado (SOUZA; VELINI; PALLADINI, 2007). Devido a estas perdas, muitas vezes os agricultores aumentam as dosagens dos produtos nas aplicações, com a finalidade de compensar o que foi perdido pela deriva. Com isso, elevam os custos e potencializam os problemas supracitados.

Os principais fatores que afetam a deriva são: modelo de ponta hidráulica, pressão de trabalho, condições climáticas, propriedades físico-químicas da calda e altura da barra de pulverização (COSTA et al., 2007, SCHAMPHELEIRE et al., 2009, ARVIDSSON; BERGSTRÖM; KREUGER, 2011). Assim, um dos principais desafios da tecnologia de aplicação de agrotóxicos é reduzir a deriva. Para tanto, a escolha do modelo de pontas a ser utilizado é uma tomada de decisão fundamental (FERNANDES et al. 2007, FERREIRA et al. 2011), visando a produção de gotas de tamanho homogêneo.

O uso de certos adjuvantes também é uma prática usual no controle da deriva. Eles atuam de diversas maneiras e, associados ao produto principal, podem promover alterações

nas propriedades físico-químicas das caldas (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017). Porém, a depender da combinação destes adjuvantes com as pontas hidráulicas, a dinâmica da gota de pulverização pode ser alterada negativamente, elevando-se as perdas (GANDOLFO et al., 2013).

Diversas pesquisas com túneis de vento vêm sendo realizadas para diagnosticar, em condições controladas, a influência do modelo de ponta, da pressão de pulverização e da solução de aplicação na ocorrência da deriva (CHECHETTO et al., 2013, OLIVEIRA; ANTUNIASSI; GANDOLFO, 2015, GANDOLFO et al., 2014). O túnel de vento é uma instalação experimental com a finalidade de determinar a deriva, de maneira estável e controlada, através do carreamento das gotas pulverizadas no seu interior (MOREIRA JÚNIOR, 2009).

É importante conhecer a interação entre adjuvantes, modelos de pontas de pulverização e agrotóxicos, para se propor alternativas factíveis para o produtor reduzir a deriva nas pulverizações de agrotóxicos, empregando tecnologias disponíveis no mercado. Com isto, objetivou-se avaliar as interações entre adjuvante e pontas hidráulicas no controle da deriva nas aplicações de glifosato.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas etapas: determinação do espectro de gotas e análise da deriva em túnel de vento. Para a determinação do espectro de gotas, foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida, sendo as parcelas constituídas por quatro soluções de aplicação: água, água + óleo mineral, água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato, e as subparcelas por três modelos de pontas de pulverização com pré-orifício: 11002 leque simples (SL), 11002 leque duplo (DL) e 11002 leque duplo com indução de ar (DLI). Foram realizadas seis repetições, totalizando 72 unidades experimentais. Foi utilizado o herbicida

glifosato (Roundup Original DI®) na dose de 1,11 kg e.a. para 100 litros de água e o óleo mineral (Iharol®) na dose 0,5% v v⁻¹.

A pulverização foi realizada em etiquetas de papel hidrossensível com dimensões de 26 x 76 mm, que foram posicionadas no centro do jacto de pulverização. O pulverizador utilizado foi o de pressão constante a CO₂, operando na pressão de 300 kPa. A barra de pulverização com uma ponta hidráulica acoplada, foi deslocada à 50 cm de altura das etiquetas, posicionadas sobre o solo, simulando uma aplicação na velocidade de 5 km h⁻¹ (200 L ha⁻¹).

As condições climáticas foram monitoradas durante todo o período de aplicação, com intervalos de 30 minutos entre as avaliações, com o uso do termo-higro-anemômetro luxímetro digital (modelo THAL-300), sendo observados os valores médios: temperatura de 26,6°C (± 2°C) e umidade relativa de 55,9% (± 4,5%). A aplicação foi realizada no laboratório e na ausência de ventos.

Após a pulverização, as etiquetas foram recolhidas e as manchas analisadas no equipamento DropScope. Este é dotado de um hardware para leitura específica das etiquetas e um software para processamento das imagens geradas pelo leitor do aparelho. Foram analisados os seguintes parâmetros do espectro de gotas: diâmetro da mediana volumétrica (DMV); densidade de gotas (DEN); amplitude relativa (SPAN) e potencial risco de deriva (PRD).

Para a análise da deriva, foi empregado o delineamento inteiramente casualizado em parcela sub subdividida, sendo as parcelas representadas por quatro soluções de aplicação: água, água + óleo mineral, água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato, as subparcelas por três modelos de pontas com pré-orifício: 11002 leque simples (SL), 11002 leque duplo (DL) e 11002 leque duplo com indução de ar (DLI) e as sub subparcelas por duas velocidades de vento (1,0 e 2,0 m s⁻¹). Foram realizadas quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais.

Assim como na etapa anterior, foi utilizado o herbicida glifosato (Roundup Original DI®) na dose de 1,11 kg e.a. para 100 litros de água e o óleo mineral (Iharol®) na dose 0,5% v v⁻¹. As condições climáticas médias durante a realização das aplicações foram: temperatura de 25,5° C (± 3,5°C) e umidade relativa de 60,3% (± 4%).

As pulverizações foram realizadas em túnel de vento construído nas dimensões 5,8 x 0,6 x 0,56 metros de comprimento, largura e altura, respectivamente, equipado com um ventilador de três hélices e 0,20 kW de potência. À 10 cm do ventilador, foram colocadas duas telas, sendo a primeira de nylon, malha 2 mm e a segunda de metal, malha 6 mm. Após as telas, foi posicionada uma colmeia metálica, composta por 560 retângulos com 2,0 x 3,0 x 5,0 cm de altura, largura e comprimento, respectivamente, com espessura de parede igual à 2 mm. As telas e a colmeia têm como objetivo a uniformização da corrente de vento ao longo do interior do túnel.

Determinou-se o escoamento do vento dentro do túnel de acordo com o número de Reynolds (Re). A depender deste número, obtêm-se escoamentos laminares ou turbulentos. Para condução de experimentos, é desejável se trabalhar com escoamentos laminares, ou seja, com Re < 2100. Valores de escoamento com Re > 4000 caracterizam regimes turbulentos (MOREIRA JÚNIOR, 2009).

O número de Reynolds (adimensional) empregado neste trabalho foi:

$$R = \frac{c \times D}{\nu} \quad (1)$$

c: velocidade média do fluxo, medida na seção de ensaio (1,0 m s⁻¹ e 2,0 m s⁻¹).

D: comprimento característico, neste trabalho é o diâmetro externo médio do bico da barra de pulverização (aproximadamente 2,5 cm ou 0,025 m).

ν: viscosidade cinemática do fluido (= η / ρ , onde η é viscosidade dinâmica e ρ é a massa específica do fluido, neste caso o ar). Na literatura (FOX; MCDONALD, 1998), a 30°C a viscosidade cinemática do ar é: $\nu \approx 16,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

O sistema de pulverização empregado foi constituído por uma bomba de pistão

modelo BPF 22, com potência de 1,5 kW e vazão máxima de 22 L min⁻¹ dotada de três pistões, acionada por motor elétrico de indução monofásico. Para a aferição da pressão, foi utilizado um manômetro de glicerina, calibrado com manômetro de referência acoplado a uma bancada de teste modelo RB 500.

A extremidade da barra de pulverização foi introduzida na parte superior do túnel de vento à 1,8 m da fonte de vento e 0,56 m de altura em relação ao piso do túnel.

Foi adicionado às soluções de aplicação o traçador NaCl na concentração de 10% em massa por volume (Tabela 1), conforme a metodologia utilizada por Saab (1996). Primeiramente, o ventilador foi ligado para a uniformização da corrente de ar durante 25 segundos e, posteriormente, ligou-se a bomba hidráulica, aplicando-se o líquido na pressão de 300 kPa e realizou-se a pulverização por 20 segundos (MOREIRA JÚNIOR; ANTUNIASSI, 2010).

Tabela 1. Descrição dos componentes das soluções de aplicação e concentrações utilizadas no experimento.

Componente	Especificação de uso	Concentração
NaCl	Traçador	10 % m v ⁻¹
Iharol [®]	Inseticida / Acaricida de Contato e Adjuvante (óleo mineral)	0,5 % v v ⁻¹
Glifosato	Herbicida não seletivo de ação sistêmica	1,11 % m v ⁻¹

À 2,5 metros da ponta hidráulica, posicionou-se um fio coletor de nylon, com 2 mm de espessura, transversalmente ao fluxo de ar a altura de 0,25 m do piso do túnel de vento. Após a pulverização, o fio coletor foi retirado e acondicionado em saco plástico com 50 mL de água destilada para a retirada do traçador do fio coletor. Posteriormente, a solução de lavagem foi analisada através do condutivímetro (modelo mCA 150) para quantificação da deriva.

Para se quantificar o percentual da solução aplicada que foi depositada no fio coletor em cada amostra, foram feitas quatro curvas de calibração, uma para cada solução de aplicação, com concentrações conhecidas do traçador NaCl. Assim, os valores de condutividade de cada amostra, resultante da lavagem do fio coletor, foram utilizados na sua respectiva curva de calibração.

A concentração obtida foi transformada em porcentagem em relação ao total presente na solução de aplicação, sendo considerada a deriva causada pelos tratamentos. Em seguida, os percentuais de deriva obtidos foram corrigidos quanto a diluição realizada durante a lavagem dos fios

coletores, obtendo-se assim, os reais valores de deriva.

Os dados referentes a análise da deriva no túnel de vento foram submetidos à teste de normalidade Shapiro-Wilk a 5% e posterior análise de variância e, em seguida, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de significância para comparação das médias. Para os resultados do espectro de gotas também foi realizado os mesmos procedimentos estatísticos e também o teste de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O número de Reynolds indicou que houve escoamento laminar nos tratamentos onde a velocidade do vento foi de 1,0 m s⁻¹ e, para os tratamentos referentes à velocidade de 2,0 m s⁻¹, esse número ficou dentro de uma faixa de transição entre estes dois tipos de escoamento, ou seja, um escoamento transitório.

$$R (1 \text{ m s}^{-1}) = \frac{1,0 \times 0,025}{16,04 \times 10^{-6}} = 1558,60 \quad (2)$$

$$\Re (2 \text{ m s}^{-1}) = \frac{2,0 \times 0,025}{16,04 \times 10^{-6}} = 3117,21 \quad (3)$$

Esses resultados garantem uma boa uniformidade do fluxo de ar na seção de testes, minimizando a possibilidade de turbulência no escoamento durante as avaliações (MOREIRA JÚNIOR, 2009).

Na determinação do espectro de gotas houve interação entre os fatores soluções de aplicação e modelos de pontas para os parâmetros: diâmetro da mediana volumétrica; densidade de gotas; amplitude relativa; potencial risco de deriva. Sendo então realizado o desdobramento desta interação para cada uma destas variáveis (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Diâmetro da mediana volumétrica (DMV) e densidade de gotas (DEN) obtidos por três modelos de pontas hidráulicas: leque simples com pré-orifício (SL), leque duplo com pré-orifício (DL) e leque duplo com pré-orifício e indução de ar (DLI), pulverizando quatro soluções de aplicação: água; água + óleo mineral; água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato na pressão de 300 kPa.

Solução de aplicação	DMV (μm)* ¹			DEN (N cm^{-2})* ²		
	Modelo de ponta hidráulica					
	SL	DL	DLI	SL	DL	DLI
Água	376,3	326,4	472,3	229,4	365,0	120,1
	Bb	Cc	Ac	Ba	Aa	Ca
Água + óleo mineral	395,5	368,6	614,4	141,2	181,8	91,2
	Bb	Bb	Ab	Ab	Ab	Bab
Água + glifosato	510,7	341,7	618,2	177,9	207,2	84,7
	Ba	Cbc	Ab	Ab	Ab	Bb
Água + óleo mineral + glifosato	503,0	480,0	710,4	141,5	211,3	109,9
	Ba	Ba	Aa	Bb	Ab	Bab

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ¹CV (%): 6,91 (solução de aplicação); 6,13 (modelo de ponta hidráulica). ²CV (%): 11,42 (solução de aplicação); 15,42 (modelo de ponta hidráulica).

Tabela 3. Amplitude relativa (SPAN) e potencial risco de deriva (PRD) obtidos por três modelos de pontas hidráulicas: leque simples com pré-orifício (SL), leque duplo com pré-orifício (DL) e leque duplo com pré-orifício e indução de ar (DLI), pulverizando quatro soluções de aplicação: água; água + óleo mineral; água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato na pressão de 300 kPa.

Solução de aplicação	SPAN* ¹			PRD (%)* ²		
	Modelo de ponta hidráulica					
	SL	DL	DLI	SL	DL	DLI
Água	1,2	1,1	1,2	1,6 Bc	1,8 Bc	0,8 Ab
	ABb	Aa	Bb			
Água + óleo mineral	1,1 Aa	1,1	1,0	1,1	0,9	0,8 Ab
		Aa	Aa	Bcb	ABb	
Água + glifosato	1,7 Bc	1,5	1,2	0,8	1,5 Cc	0,5 Aa
		Bc	Ab	Bba		
Água + óleo mineral + glifosato	1,1 Aab	1,3	1,2	0,7 Ba	0,6	0,4 Aa
		Bb	Bb		ABa	

*As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ¹CV (%): 5,58 (solução de aplicação); 5,30 (modelo de ponta hidráulica). ²CV (%): 27,27 (solução de aplicação); 23,37 (modelo de ponta hidráulica).

Independente da solução de aplicação utilizada, a ponta DLI proporcionou maiores valores de DMV, quando comparada com as pontas SL e DL (Tabela 2), sendo este fator observado pela indução de ar nas gotas. Porém, não houve diferença significativa no DMV entre os modelos de pontas SL e DL, quando comparadas às soluções de aplicação, exceto para água + glifosato.

A solução de aplicação água + óleo mineral + glifosato proporcionou valores elevados de DMV para os três modelos de pontas estudados, revelando a interação entre as partículas dos produtos com a água, o que pode ter reduzido a tensão superficial das gotas e conseqüentemente aumentou o diâmetro desta sobre as etiquetas. Em contrapartida, os valores de DMV ultrapassaram 500 μm , o que no caso destas gotas chegarem até os fios coletores, pode facilitar sua perda por escorrimento. Estes valores foram observados nas soluções de aplicação: água + glifosato e água + óleo mineral + glifosato, aplicadas com os modelos SL e DLI. Para este último modelo, houve também valores de DMV superiores à 500 μm para a solução de aplicação água + óleo mineral.

As pontas com indução de ar promoveram menor densidade de gotas (DEN). De modo geral, a ponta DL proporcionou maior densidade de gotas que as pontas SL e DLI, sendo este fator elucidado pela divisão da solução de aplicação em dois leques, elevando a densidade de gotas e, conseqüentemente reduzindo o DMV. Esta relação inversa entre densidade de gotas e

DMV também pôde ser observada quando comparada a ponta jato plano duplo de pré-orifício com a de jato plano defletor com indução de ar (SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2012).

O SPAN (Tabela 3), representa a dispersão dos dados, ou seja, quanto mais distantes os valores forem de zero, maior será a variação dos diâmetros de gotas gerados na pulverização. A interação entre as variáveis DMV e SPAN, nos mostra que quanto maior o SPAN, menor é a uniformidade do espectro das gotas e, conseqüentemente, menor também será a qualidade da pulverização.

Neste experimento, foi observado que o emprego da ponta antideriva (DLI) proporcionou maior uniformidade quando comparada aos outros modelos. O mesmo foi verificado para a ponta jato plano com indução de ar, a qual produziu espectro de gotas mais uniforme em comparação à ponta jato plano inclinado (MADUREIRA; RAETANO; CAVALIERI, 2015).

De modo geral, a ponta DLI promoveu os menores valores de PRD, não apresentando diferença entre as soluções de aplicação utilizadas. A água, analisada isoladamente, promoveu maior PRD para as pontas SL e DL, sendo que neste último modelo, também não apresentou diferença quando utilizada com o herbicida. Isso indica que as variáveis do espectro de gotas (DMV, DEN e SPAN) estudadas possuem relação com o PRD. O que é confirmado pelo teste de correlação (Tabela 4), em que apenas o SPAN não teve relação com os demais aspectos avaliados.

Tabela 4. Correlação de Pearson entre o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a densidade de gotas (DEN), a amplitude relativa (SPAN) e o potencial risco de deriva (PRD).

	DMV	DEN	PRD
DEN	-0,69 0,00*		
PRD	-0,72 0,00*	0,73 0,00*	
SPAN	0,01 0,97	0,07 0,64	0,03 0,84

*significativo a $p > 0,05$.

O aumento do DMV está inversamente relacionado com o aumento da DEN e do PRD, pois gotas de maior diâmetro reduzem a cobertura do alvo e são menos susceptíveis à deriva. Em vista disso, torna-se necessário avaliar as interações obtidas no túnel de vento e compará-las aos valores do espectro de gotas.

Para a avaliação da deriva no túnel de vento houve interação entre todos os fatores

avaliados (soluções de aplicação x modelos de pontas x velocidades do vento), sendo realizado então o desdobramento (Tabela 5, 6 e 7). A ponta DLI proporcionou os menores valores de porcentagem de deriva, seguida pelas pontas SL e DL (Tabela 5). Isto foi observado em todas as soluções de aplicação utilizadas.

Tabela 5. Porcentagem de deriva (média das velocidades) de três modelos de pontas hidráulicas: leque simples com pré-orifício (SL), leque duplo com pré-orifício (DL) e leque duplo com pré-orifício e indução de ar (DLI), operando na pressão de trabalho de 300 kPa e aplicando quatro soluções de aplicação: água, água + óleo mineral, água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato, observada em túnel de vento.

Soluções de aplicação	Porcentagem de deriva*			
	Modelos de pontas			Médias
	SL	DL	DLI	
Água	1,58 Bb	2,43 Cc	0,63 Ab	1,55 c
Água + óleo mineral	1,14 Ba	1,62 Cb	0,68 Ab	1,15 b
Água + glifosato	1,89 Bd	2,78 Cd	0,86 Ac	1,84 d
Água + óleo mineral + glifosato	1,12 Ba	1,49 Ca	0,56 Aa	1,06 a

*As médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). CV (%): 3,42 (solução de aplicação); 3,35 (modelo de ponta hidráulica).

Tabela 6. Porcentagem de deriva aplicando quatro soluções de aplicação: água, água + óleo mineral, água + glifosato; água + óleo mineral + glifosato, observada em túnel de vento sob duas condições de velocidades de vento.

Soluções de aplicação	Porcentagem de deriva*	
	Velocidade do vento ($m s^{-1}$)	
	1,0	2,0
Água	0,66 Ab	2,44 Ac
Água + óleo mineral	0,46 Aa	1,84 Ab
Água + glifosato	0,83 Ac	2,85 Ad
Água + óleo mineral + glifosato	0,51 Aa	1,61 Aa

*As médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). CV (%): 3,42 (solução de aplicação); 33,75 (velocidade do vento).

Tabela 7. Porcentagem de deriva obtida com três modelos de pontas hidráulicas: leque simples com pré-orifício (SL), leque duplo com pré-orifício (DL) e leque duplo com pré-orifício e indução de ar (DLI), operando na pressão de trabalho de 300 kPa, observada em túnel de vento sob duas condições de velocidades de vento.

Velocidade do vento ($m s^{-1}$)	Porcentagem de deriva*			
	Modelos de pontas			Médias
	SL	DL	DLI	
1,0	0,76 Ba	0,77 Ba	0,32 Aa	0,61 a
2,0	2,10 Bb	3,39 Cb	1,05 Ab	2,18 b
Médias	1,43 B	2,08 C	0,68 A	

*As médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). CV (%): 3,35 (modelo de ponta hidráulica); 3,75 (velocidade do vento).

Ao analisarem-se as médias de deriva, observa-se que a solução de aplicação água + óleo mineral + glifosato mostrou-se menos propensa a ação do vento, seguida pela solução água + óleo mineral, o que comprova os resultados obtidos com relação ao espectro de gotas, ou seja, aumento do diâmetro das gotas pulverizadas, logo a eficiência do adjuvante na redução da deriva.

Observou-se que ao dobrar a velocidade do vento, a porcentagem de solução de aplicação carregada (deriva) aumentou para todas as soluções de aplicação (Tabela 6) e para todos os modelos de pontas (Tabela 7), sendo este aumento de aproximadamente três vezes o valor inicial. Assim, como observado para o PRD, a ponta DLI proporcionou os menores valores para a porcentagem de deriva, não havendo diferença entre as pontas SL e DL à $1,0 \text{ m s}^{-1}$.

O mesmo não foi observado para a velocidade de $2,0 \text{ m s}^{-1}$, visto que a porcentagem de deriva para a ponta DL foi superior aos demais tratamentos. Isto pode ser explicado pelo fato deste modelo de ponta ter apresentado os menores valores de DMV, sendo inversamente proporcional a densidade de gotas (DEN), o que ocorre pela divisão do leque de pulverização.

Na avaliação do espectro de gotas, somente aplicando-se água obteve-se diâmetro de gotas menores em relação a calda com água + glifosato, logo esperava-se maior

deriva. O que pode explicar este resultado é o índice SPAN; ao adicionar glifosato a calda, houve a tendência de elevar este índice, logo aumentaram-se a heterogeneidade do espectro, aumentando-se assim a deriva. Esta interação foi observada nas características físico-químicas das caldas, as quais se mostraram dependentes da composição química dos adjuvantes e da interação com os produtos fitossanitários (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017).

4 CONCLUSÕES

O emprego do adjuvante proporciona maior redução de deriva, principalmente nas pulverizações realizadas com a ponta leque duplo com pré-orifício;

Para as interações entre soluções de aplicação, modelos de pontas e velocidades de vento aqui avaliadas, a aplicação de glifosato com óleo mineral utilizando a ponta leque duplo com indução de ar e pré-orifício tem potencial para reduzir a deriva no campo.

5 AGRADECIMENTOS

Ao programa PIBIC/CNPq e à UFV pelo financiamento do projeto de pesquisa e concessão da bolsa de Iniciação Científica e aos membros do Grupo de Pesquisas em Mecanização Agrícola (GPMA) pelo apoio durante a execução do trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- SAAB, O. J. G. A. **Avaliação de um sistema de aplicação de defensivos utilizados em videiras no município de Londrina/PR**. 1996. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.
- ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, Hoboken, v. 67, n. 5, p. 586-598, 2011.
- BERVALD, C. M. P.; MENDES, C. R.; TIMM, F. C.; MORAES, D. M.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho fisiológico de sementes de soja de cultivares convencional e transgênica submetidas ao glifosato. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 9-18, 2010.
- CHECHETTO, R. G.; ANTUNIASSI, U. R.; MOTA, A. A. B.; CARVALHO, F. K.; SILVA, A. C. A.; VILELA, C. M. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. **Semina, Londrina**, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2013.

- COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C. A.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; SILVA, F. M. L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.
- CUNHA, J. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 261-270, 2017.
- FERNANDES, A. P.; PARREIRA, R. S.; FERREIRA, M. C.; ROMANI, G. N. Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do espaçamento entre bicos na barra de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 728-733, 2007.
- 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-viola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 697-705, 2011.
- FOX, R. W.; McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1998.
- GANDOLFO, M. A.; CHECHETTO, R. G.; CARVALHO, F. K.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 474-480, 2013.
- GANDOLFO, M. A.; CARVALHO, F. K.; CHECHETTO, R. G.; GANDOLFO, U. D.; MORAES, E. D. Effect of working pressure at different spray nozzles on drift quantification in wind tunnel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 66-73, 2014.
- MADUREIRA, R. P.; RAETANO, C. G.; CAVALIERI, J. D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 180-185, 2015.
- MILLER, P. C. H. **Reducing the risk of drift from boom sprayers**. In: RAETANO, C.G.; ANTUNIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação. Botucatu: Fepaf, 2004. p. 110-124.
- MOREIRA JÚNIOR, O. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas**. 2009. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- MOREIRA JÚNIOR, O.; ANTUNIASSI, U. R. Construção e validação de um túnel de vento para ensaios da estimativa da deriva em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 118-136, 2010.
- OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; GANDOLFO, M. A. Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 109-116, 2015.

SCHAMPHELEIRE, M.; NUYTENS, D.; BAETENS, K.; CORNELIS, W.; GABRIELS, D.; SPANOGHE, P. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 10, n. 5, p. 409-420, 2009.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D Amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

SOUZA, R. T.; VELINI, E. D.; PALLADINI, L. A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007.