

JOÃO DE DEUS GODINHO JUNIOR

**DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE (*Solanum lycopersicum*) EM FUNÇÃO
DE PONTAS HIDRÁULICAS, PRESSÕES DE TRABALHO E ADJUVANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal
de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

G585d
2018 Godinho Junior, João de Deus, 1993-
Deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum
lycopersicum*) em função de pontas hidráulicas, pressões de
trabalho e adjuvante / João de Deus Godinho Junior. – Rio
Paranaíba, MG, 2018.
vii, 52f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Renato Adriane Alves Ruas.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de aplicação. 2. Indução de ar. 3. Tamanho
de gota. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências
Agrárias. Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal (campus
CRP). II. Título.

635.642

JOÃO DE DEUS GODINHO JUNIOR

**DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE (*Solanum lycopersicum*) EM
FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS, PRESSÕES DE TRABALHO E
ADJUVANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de fevereiro de 2018.


Cleiton Batista de Alvarenga


Marcelo Rodrigues dos Reis
(Coorientador)


Renato Adriane Alves Ruas
(Orientador)

DEDICATÓRIA

A minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, João e Ana, principalmente a minha mãe, e a toda a minha família.

Agradeço ao meu orientador, Renato Adriane Alves Ruas, pela oportunidade, experiências, paciência e ensinamentos.

Aos amigos, colegas do Grupo de Pesquisas em Mecanização Agrícola (GPMA – UFV CRP) e da Universidade Federal de Viçosa: Carlos Diego, Carlos Roberto, Davi Campos, Douglas Dyonathan, Fabio Oliveira, Guilherme Gontijo, José Marcio, Lucas Caixeta, Luiz Otávio, Marília Almeida, Matheus Oliveira, Sávio Nogueira e Tiago Mencaroni.

Aos Professores Alberto Carvalho Filho, Cleyton Batista de Alvarenga, Marcelo Rodrigues dos Reis, Mauri Martins Teixeira, Vinícius Ribeiro Faria e Willian Rodrigues Macedo.

Aos técnicos Bruno Henrique Rocha, Danilo Henrique Pereira, Helber Dumont Pereira, Paulo Henrique da Cunha, Roberta Gomes Prado e Vinicius Guimarães Nasser.

A Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A todas as pessoas que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

OBRIGADO!!

BIOGRAFIA

João de Deus Godinho Junior, filho de João de Deus Godinho e Ana Lopes Rosa Godinho, nasceu em Carmo do Paranaíba-MG no dia 29 de junho de 1993.

Em 2010 concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual Professor José Hugo Guimarães, na cidade de Carmo do Paranaíba-MG.

Em 2011, iniciou o Curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. Onde foi bolsista de iniciação científica na área de Mecanização Agrícola, com ênfase em Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos e membro do Grupo de Pesquisas em Mecanização Agrícola – GPMA UFV-CRP. Submeteu e foi aprovado na defesa do Trabalho de Conclusão do Curso em setembro de 2015.

Em 2016, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP), Minas Gerais, Brasil.

No mesmo ano, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 20 fevereiro de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS.....	3
1º CAPÍTULO – DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D EM FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS E ADJUVANTE	7
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
CONCLUSÕES.....	18
AGRADECIMENTOS.....	19
REFERÊNCIAS.....	19
2º CAPÍTULO - COMBINAÇÕES DE PONTAS, PRESSÕES DE TRABALHO E ADJUVANTE PARA REDUÇÃO DA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D	22
RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23
INTRODUÇÃO.....	24
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
CONCLUSÕES.....	34
AGRADECIMENTOS.....	34
REFERÊNCIAS.....	34
3º CAPÍTULO - REDUÇÃO NA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE UTILIZANDO PONTAS COM INDUÇÃO DE AR E ADJUVANTE LI-700	38
RESUMO.....	38
ABSTRACT.....	39
INTRODUÇÃO.....	40
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
CONCLUSÕES.....	50
AGRADECIMENTOS.....	50
REFERÊNCIAS.....	50

RESUMO

GODINHO JUNIOR, João de Deus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*) em função de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e adjuvante.** Orientador: Renato Adriane Alves Ruas. Coorientadores: Marcelo Rodrigues dos Reis, Alberto Carvalho Filho e Vinícius Ribeiro Faria.

Perdas e danos causados pela deriva de herbicidas caracterizam um grande problema enfrentado na área da tecnologia de aplicação, principalmente, herbicidas hormonais como o 2,4-D. A associação adequada de pontas hidráulicas, pressão de trabalho e adjuvantes é determinante para a redução da deriva. Assim, objetivou-se analisar modelos de pontas hidráulicas, pressões de trabalho e a adição do adjuvante LI-700 na ocorrência da deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*). Em túnel de vento, foram avaliadas quatro caldas: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700, cinco pontas: leque simples (LS), simples com indução de ar (LSI), simples impacto com indução de ar (LII), duplo com indução de ar (LDI) e cone vazio com indução de ar (CVI) e quatro pressões de trabalho (200, 300, 400 e 500 kPa). Em analisador a laser, aplicando-se somente água, foi determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a percentagem de gotas com diâmetro $<150 \mu\text{m}$ (PRD). Também, analisou-se o potencial de intoxicação causada pela deriva do 2,4-D em plantas de tomate. Dentre as pontas LII e CVI, que produzem os maiores diâmetros de gotas, a CVI proporciona melhor uniformidade das gotas. As pontas LII, LSI e CVI, produzem os menores valores de deriva e conseqüentemente, diminuem os danos em plantas de tomate. A adição de LI-700 na calda de aplicação do 2,4-D, reduz o percentual de deriva e os danos na raiz das plantas de tomate. Independentemente da pressão de trabalho, a ponta LII produz o maior DMV e a CVI proporciona a melhor uniformidade dos diâmetros de gotas e reduz linearmente à deriva, quando comparada com a ponta LS. Dentre as pontas antideriva, LDI gera os menores valores de DMV e conseqüentemente, os maiores percentuais de deriva. A adição do adjuvante LI-700 à calda reduz a deriva do herbicida 2,4-D quando se trabalha nas pressões de 200, 300 e 400 kPa.

ABSTRACT

GODINHO JUNIOR, João de Deus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Drift of 2,4-D herbicide in tomato (*Solanum lycopersicum*) in the function of spray nozzles, work pressure and adjuvant.** Adviser: Renato Adriane Alves Ruas. Co-advisers: Marcelo Rodrigues dos Reis, Alberto Carvalho Filho and Vinícius Ribeiro Faria.

Loss and damage caused by herbicide drift characterize a major problem faced in the field of application technology, namely, hormonal herbicides such as 2,4-D. And the proper association of spray nozzles, working pressure and adjuvants is decisive for drift reduction. The objective of this study was to analyze spray nozzles models, working pressures and the addition of the adjuvant LI-700 in the occurrence of the 2,4-D herbicide drift in tomato (*Solanum lycopersicum*). In the wind tunnel, four silts were evaluated: water, water + LI-700, water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700, five spray nozzles: simple fan (LS), simple with induction (LSI), single induction air induction (LII), air induction double (LDI) and air induction vacuum cone (CVI) and four working pressures (200, 300, 400 and 500 kPa). In the laser analyzer, only the volumetric median diameter (DMV), the relative amplitude (RA) and the percentage of droplets with a diameter of $<150\ \mu\text{m}$ (PRD) were determined. Also, the potential for intoxication caused by 2,4-D drift in tomato plants was analyzed. Among the LII and CVI tips, which produce the largest droplet diameters, CVI provides better drop uniformity. The tips LII, LSI and CVI, produce the lowest values of drift and consequently decrease damage in tomato plants. The addition of LI-700 in the 2,4-D application solution reduces the percentage of drift and root damage of tomato plants. Regardless of the working pressure, the LII tip produces the highest DMV, and the CVI provides the best uniformity of droplet diameters and linearly reduces drift when compared to the LS tip. Among the antiderivative tips, LDI generates the lowest values of DMV and, consequently, the highest percentages of drift. Addition of the adjuvant LI-700 to the syrup reduces the drift of the 2,4-D herbicide when working at pressures of 200, 300 and 400 kPa.

INTRODUÇÃO GERAL

1
2
3 Todo produto aplicado que se deposita fora do alvo é considerado deriva e
4 normalmente é resultado da ação de gotas menores que 100 micrômetros produzidas durante a
5 pulverização da calda (Sumner, 1997; Murphy et al., 2000; Wolf, 2000; ASAE, 2000; Câmara
6 et al., 2008). Tais gotas são mais facilmente transportadas para fora do alvo de interesse,
7 sendo um dos fatores que mais representam perdas nas aplicações de agrotóxicos (Costa et al.,
8 2007).

9 Quanto aos problemas com deriva, o herbicida 2,4-D se destaca por ser muito
10 utilizado e ter efeito hormonal (mimetizador de auxina), possuindo alta toxicidade às plantas
11 sensíveis, mesmo em baixas concentrações, podendo causar perdas em culturas como uva
12 Itália (Oliveira Júnior et al., 2007), algodão (Constantin et al., 2007), alface, pepino e tomate
13 (Nascimento & Yamashita, 2009), dentre outras hortaliças. Ademais, com a introdução de
14 culturas geneticamente modificadas resistentes ao 2,4-D, haverá um aumento na utilização
15 deste herbicida. Assim, espera-se que os problemas com a deriva do 2,4-D aumentem nos
16 próximos anos.

17 Porém, nos últimos anos, diversas tecnologias de aplicação têm sido empregadas
18 visando-se reduzir os efeitos danosos da deriva. Com elas, tem-se procurado proporcionar a
19 correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, de forma econômica, na menor
20 quantidade necessária e com o mínimo de contaminação ambiental, visando atender o que se
21 preconiza como conceito da tecnologia de aplicação de agrotóxico (Matuo, 2002). Dentre
22 essas tecnologias, pode-se destacar o uso de pontas hidráulicas com indução de ar e a adição
23 de adjuvantes à calda de pulverização.

24 A ponta hidráulica é diretamente responsável pela vazão, fragmentação da calda em
25 gotas e pela formação do jato de pulverização, sendo um dos componentes mais importante

26 dos pulverizadores hidráulicos (Cunha et al., 2007; Fernandes et al., 2007; Viana et al., 2007).
27 Com o objetivo de minimizar perdas por deriva têm se indicado modelos de pontas
28 hidráulicas com indução de ar para aplicação de herbicidas que necessitam de menor
29 cobertura do alvo (Viana et al., 2007), sobretudo, para aqueles que podem ser aplicados em
30 pré-emergência e os de ação sistêmica, como, por exemplo, o 2,4-D. Estas pontas se utilizam
31 do princípio de ventura para introduzir ar no líquido da calda, produzindo gotas de diâmetro
32 maior e com até 10 % de seu volume sendo constituído de ar (Guller et al., 2007), o que pode
33 dificultar o seu transporte pelo vento e reduzir a deriva (Nuyttens et al., 2007).

34 Outra forma de se amenizar a produção de gotas de diâmetro menor que 100 μm , e
35 conseqüentemente a deriva, é a adição de adjuvantes à calda de pulverização (Moreira Junior
36 & Antuniassi, 2010). Porém, apesar de influenciarem o tamanho das gotas geradas, essa
37 característica varia, sobretudo, de acordo com o modelo de ponta hidráulica e a pressão de
38 trabalho (Spanoghe et al., 2007; Iost & Raetano, 2010; Costa et al., 2014).

39 O aumento da pressão de trabalho, dependendo do modelo de ponta hidráulica, pode
40 diminuir drasticamente o diâmetro médio das gotas produzidas na pulverização da calda
41 (Cunha et al., 2007), o que pode favorecer a ocorrência da deriva. Ademais, a adição de
42 adjuvante tenso ativo à calda pode contribuir para a produção de gotas ainda menores, pois,
43 ao reduzir a tensão superficial do líquido proporciona maior fragmentação das gotas, podendo
44 potencializar ainda mais a deriva (Cunha et al., 2010). Assim, existem controvérsias quanto
45 aos reais efeitos da adição de adjuvantes à calda, principalmente, quando se utiliza modelos
46 de pontas hidráulicas com indução de ar (Cunha et al., 2010; Nascimento et al., 2012;
47 Gandolfo et al., 2013).

48 A observação desses efeitos no campo, apesar de ser possível, é de difícil
49 quantificação, uma vez que existem vários fatores que interferem nas medições, como vento,
50 temperatura e umidade relativa do ar, equipamento e modo de aplicação. Nesse caso, para se

51 avaliar os principais aspectos que influenciam na produção das gotas, como por exemplo, tipo
52 de ponta hidráulica, adjuvante e pressão de trabalho, o estabelecimento de condições
53 controladas em laboratório torna-se uma tática mais adequada. Ademais, a obtenção desses
54 parâmetros indicadores de deriva em condições conhecidas permitem melhor compreensão
55 desse fenômeno, além de possibilitar a criação de modelos de equações para prever a deriva
56 deslocada ou evaporada que podem ocorrer na pulverização de agrotóxicos nas lavouras em
57 geral (Alves & Cunha, 2014). Assim, tais modelos podem ser considerados uma valiosa
58 ferramenta na definição da área afetada pelas pulverizações, podendo ser utilizado no controle
59 dos danos causados pela deriva do herbicida 2,4-D.

60 Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a combinação entre modelos de pontas
61 hidráulicas, pressões de trabalho e adição do adjuvante LI-700 na deriva do herbicida 2,4-D.

62

63

REFERÊNCIAS

64 ALVES, G.S.; CUNHA, J.P.A.R. **Field data and prediction models of pesticide**
65 **spray drift on coffee crop**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.49, n.8, p.622-629, 2014.

66 ASAE S572. **Spray nozzle classification by droplet spectra**. In: ASAE Standards.
67 St. Joseph, p.389-91, 2000.

68 B.C.P.C. - Nozzle selection handbook. Bulletin 611/TA1, 1990. 40p. In:
69 CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu**
70 **controle**. Boletim Técnico. São Paulo: Teejet, p.15, 1999.

71 CAMARA, F.T.; SANTOS, J.L.; SILVA, E.A.; FERREIRA, M.C. **Distribuição**
72 **volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida**
73 **XR11003**. Engenharia Agrícola, v.28, p.740-749. 2008.

74 CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; FAGLIARI, J.R.; PAGLIARI, P.H.;
75 ARANTES, J.G.Z.; CAVALIERI, S.D.; FRAMESQUI, V.P.; GONÇALVES, D.A. **Efeito de**
76 **subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função**
77 **de seu estágio de desenvolvimento**. Engenharia Agrícola, v.27, p. 24-29, 2007.

78 COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C.A.; ROSSI,
79 C.V.S.; CORRÊA, M.R.; SILVA, F.M.L. **Efeito da intensidade do vento, da pressão e de**

80 **pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência.** Planta
81 Daninha, v.25, p.203-210, 2007.

82 COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; ROSSI, C.V.S.; CORRÊA, M.R.; NEGRISOLI, E.;
83 FIORINI, M.V.; SIONO, L.M. **Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições**
84 **de campo.** Ciência Rural, v.44, p. 387-392, 2014.

85 CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C. **Avaliação do espectro**
86 **de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio**
87 **laser.** Engenharia Agrícola, v.27, p.10-15, 2007.

88 CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R.; FERREIRA, M.C. **Espectro de gotas de pontas**
89 **de pulverização com adjuvantes de uso agrícola.** Planta Daninha, v.28, p.1153-1158, 2010.

90 FERNANDES, A.P.; PARREIRA, R.S.; FERREIRA, M.C.; ROMANI,
91 G.N. **Caracterização do perfil de deposição e do diâmetro de gotas e otimização do**
92 **espaçamento entre bicos na barra de pulverização.** Engenharia Agrícola, v.27, n.3, p. 728-
93 733. 2007.

94 GANDOLFO, M.A.; CHECHETTO, R.G.; CARVALHO, F.K.; GANDOLFO, U.D.;
95 MORAES, E.D. **Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas**
96 **com glyphosate.** Ciência Agronômica., v. 44, p. 474-480, 2013.

97 GULLER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.C.; YU, Y.; KRAUSE, C.R.
98 **Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional**
99 **flat-fan nozzles.** Transaction of ASABE, Saint Joseph, v.50, p.745-754, 2007.

100 IOST, C.A.R.; RAETANO, C.G. **Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato**
101 **de soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais.** Engenharia
102 Agrícola, v.30, p.670-680, 2010.

103 ISO - International Organization for Standardization. **Equipment for crop**
104 **protection, ISO standars 5682/1/1981.** Geneva: ISO, p. 358-371, 1986.

105 ISO - International Organization for Standardization. **Equipment for crop protection**
106 **- Methods for field measurement of spray drift, ISO/FDIS 22866:2005.** Geneva: ISO,
107 p.22, 2005.

108 MATUO, T.; PIO, L.C.; RAMOS, H.H. **Módulo 2 – tecnologia de aplicação dos**
109 **agroquímicos e equipamentos.** In: Associação Brasileira de Ensino Superior (ABEAS).
110 Curso de especialização por tutoria à distância – Curso de proteção de plantas, Brasília:
111 ABEAS, p.91, 2002.

112 MOREIRA JUNIOR, O.; ANTUNIASSI, U.R. **Construção e validação de um túnel**
113 **de vento para ensaios da estimativa da deriva em pulverizações agrícolas.** Energia na
114 Agricultura, v.25, p.118-136, 2010.

115 MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H; PARKIN, C. S. **The effect of boom section and**
116 **nozzle configuration on the risk of spray drift.** Journal of Agricultural Engineering
117 Research, v.75, p.27-137, 2000.

118 NASCIMENTO, A. B.; OLIVEIRA, G. M.; BALAN, M. G.; HIGASHIBARA, L. R.;
119 ABI-SAAB, O. J. G. **Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes**
120 **pontas de pulverização e horário de aplicação.** Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v.5,
121 p.105-116, 2012.

122 NASCIMENTO, E. R.; YAMASHITA, O. M. **Desenvolvimento inicial de olerícolas**
123 **cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram.** Semina, v.30, p.47-
124 54, 2009.

125 NUYTENS, D.; BAETENS, K.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; SONCK, B. **Effect of**
126 **nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics.** Biosystems Engineering,
127 Silsoe, v.97, p.333-345, 2007.

128 OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.;
129 CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.;
130 CARREIRA, S. A. M.; ROSO, A. C. **Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva**
131 **itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento.**
132 Engenharia Agrícola, Sorocaba, v.27, p.35-40, 2007.

133 SPANOGHE, P.; SCHAMPHELEIRE, M.; MEEREN, P.V.; STEUBAUT, W.;
134 **Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra.** Pest Management Science, v.63,
135 p.4-16, 2007.

136 SILVA, B.M.; RUAS, R.A.A.; SICHOCKI, D.; DEZORDI, L.R.; CAIXETA, L.F.
137 **Deposição da calda de pulverização aplicada com pontas de jato plano em diferentes**
138 **partes da planta de soja (Glycine max) e milho (Zea mays).** Engenharia na agricultura,
139 v.22, p.17-24, 2014.

140 SUMNER, P. E. **Reducing spray drift.** Georgia: University of Georgia, p.11
141 (ENG97-005), 1997.

142 VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; FREITAS,
143 F.C.L.; QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. **Características técnicas de pontas de**
144 **pulverização LA-1JC e SR-11.** Planta Daninha, v.25, p.211-218, 2007.

145 WOLF, R.E. **Strategies to reduce spray drift.** Kansas: Kansas State University, p.4,
146 (Application Technology Series), 2000.
147

148 **1º CAPÍTULO – DERIVA NA PULVERIZAÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D EM**
149 **FUNÇÃO DE PONTAS HIDRÁULICAS E ADJUVANTE**

150

151 **RESUMO**

152 Perdas causadas pela deriva caracterizam um dos principais problemas das aplicações de
153 agrotóxicos. Este trabalho objetivou analisar a combinação do uso de pontas com indução de
154 ar e o adjuvante LI-700 na ocorrência de deriva do herbicida 2,4-D. Em túnel de vento, foram
155 avaliadas quatro caldas: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e cinco
156 pontas: leque simples (LS), simples com indução de ar (LSI), duplo com indução de ar (LDI),
157 simples impacto com indução de ar (LII) e cone vazio com indução de ar (CVI). Empregou-se
158 delineamento inteiramente casualizado para determinar o diâmetro da mediana volumétrica
159 (DMV), a amplitude relativa (AR), e a percentagem de gotas com diâmetro <150 µm (PRD)
160 em analisador a laser. Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey à 5%. A
161 ANOVA foi sempre significativa. Dentre as pontas, LII e CVI, que produzem os maiores
162 diâmetros de gotas, a CVI proporciona melhor uniformidade das gotas. As pontas LII, LSI e
163 CVI, produzem os menores valores de deriva. O adjuvante LI-700 na calda de aplicação do
164 herbicida 2,4-D, reduz o percentual de deriva, nas pontas LS, LSI, LDI e CVI.

165

166 **Palavras-Chave:** tecnologia de aplicação, tamanho de gota, túnel de vento

167

168 **DRIFT IN THE SPRAYING OF THE 2,4-D HERBICIDE IN FUNCTION OF**
169 **SPRAY NOZZLES AND ADJUVANT**

171 **ABSTRACT**

172 Losses caused by drift characterize the main problems of agrochemical applications. This
173 work aimed to analyze the combination of spray nozzles with air induction and the adjuvant
174 in the infusion of herbicide LI-700 2,4-D. In the wind tunnel, four silts were evaluated: water,
175 water + LI-700, water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700 and five spray nozzles: simple fan
176 (LS), simple with induction (LSI), air induction double (LDI), simple air induction impact
177 (LII), and air induction vacuum cone (CVI). Using a completely randomized design to
178 determine the diameter of the medulla volume (DMV), relative amplitude (RA), and a
179 passage of drops with a diameter of $<150 \mu\text{m}$ (PRD) in a laser analyzer. Data were submitted
180 to ANOVA and Tukey test at 5%. ANOVA was always significant. Among the tips, LII and
181 CVI, which produces the largest droplet diameters, CVI provides better drop uniformity. Like
182 the tips LII, LSI and CVI, it produces the lowest values of drift. The adjuvant LI-700 in the
183 application syringe of the herbicide 2,4-D, reduces the percentage of drift, at the points LS,
184 LSI. IDD and CVI.

185
186 **Keywords:** application technology, droplet size, wind tunnel

INTRODUÇÃO

187
188 A perda do ingrediente ativo dos agrotóxicos aplicados para fora do local de interesse na
189 lavoura é um dos grandes desafios enfrentados pelos produtores rurais. Porém, para a
190 diminuição destas perdas, o mercado oferece uma variedade de tecnologias que podem ser
191 utilizadas, como por exemplo, modelos de pontas hidráulicas e adjuvantes adequados. Essas
192 duas ferramentas, podem e devem ser utilizadas com o objetivo de homogeneizar o espectro
193 de gotas e diminuir o percentual de gotas com diâmetro reduzido produzido durante a
194 pulverização hidráulica. Gotas com diâmetros inferiores a 100 μm são responsáveis pela
195 maior parte da deriva durante as pulverizações (Arvidsson et al., 2011).

196 As pontas hidráulicas são um dos componentes de maior importância nas pulverizações
197 hidráulicas, e de fato, fundamentais na redução da deriva (Ferreira et al., 2011). Pois, são
198 determinantes do volume pulverizado e na formação do jato de pulverização da calda. Os
199 modelos de pontas dotados do sistema venturi de indução de ar, se destacam na redução da
200 deriva, por produzirem gotas com maior diâmetro, que são mais difíceis de serem levadas
201 pelo vento, reduzindo, portanto, a deriva (Miller, 2004).

202 Porém, gotas com diâmetros elevados possuem menor capacidade de cobertura do alvo e
203 por isso, são indicadas na aplicação de herbicidas em pós-emergência de ação sistêmica
204 (Viana et al., 2007). Dentre esses herbicidas, o 2,4-D é um dos mais utilizados para o controle
205 de plantas daninhas dicotiledôneas, além de ser uma alternativa para plantas invasoras
206 resistentes ao glifosato (Robinson et al., 2012; Craigmyle et al., 2013; Spaunhorst & Bradley
207 2013). Entretanto, o eventual desenvolvimento de culturas com genes de resistência ao 2,4-D,
208 preocupa técnicos e produtores (Mortensen et al., 2012). Isso, pelo fato de ser um produto de
209 ação hormonal, mesmo baixas quantidades de 2,4-D perdidas por deriva, podem ocasionar
210 grandes problemas em plantas sensíveis (Egan et al., 2014). Ademais, pode expor uma maior

211 população de espécies à ação do produto, podendo contribuir para a seleção de indivíduos
212 resistentes.

213 A utilização de adjuvantes tem o objetivo de melhorar as propriedades físicas e
214 químicas da calda, podendo torná-la menos propensa às variações de temperatura e de
215 umidade do ambiente durante as aplicações na lavoura, reduzindo as perdas (Nascimento et
216 al., 2012; Vilela & Antuniassi, 2013). Pode também diminuir a evaporação e potencializar o
217 transporte de gotas de tamanho muito reduzido até os alvos. Entretanto, o efeito da adição de
218 adjuvantes na calda pode variar conforme o modelo de ponta empregado (Cunha et al., 2010;
219 Gandolfo et al., 2013; Mota & Antuniassi, 2013).

220 No processo de pulverização da calda, o ar é incorporado em bolhas dentro das gotas, tanto
221 pelo sistema Venturi (Pontas com indução de ar), como também quando a calda entra em
222 contato com o ar e é fragmentada em gotas, após sair da ponta de pulverização (Pontas sem
223 indução de ar). Porém, essas bolhas compõem pontos de enfraquecimento na estrutura das
224 gotas, que facilitam o seu rompimento (Miller & Butler Ellis, 2000; Guler et al., 2007).

225 Desta forma, adjuvantes com maior capacidade de formação de espuma melhoram a
226 retenção dessas bolhas de ar nas gotas, diminuindo o rompimento e fragmentação dessas em
227 gotas menores (Mota & Antuniassi, 2013), e conseqüentemente reduzindo a deriva. Porém, a
228 formação de espuma no tanque de pulverização não é um processo desejado, pois contribuir
229 com a perda de produto, por derramamento e/ou como resíduo depositado no interior do
230 tanque ao final da aplicação.

231 Desta forma, com o conhecimento dos equipamentos de pulverização, da calda de
232 aplicação e da interação desses dois fatores em função das condições ambientais durante a
233 aplicação, é possível, estimar quantitativamente a ocorrência da deriva e prever a distância
234 horizontal percorrida pelas gotas. Isso possibilita aos produtores uma melhor tomada de
235 decisão no controle da pulverização, reduzindo assim, os danos causados pela deriva.

236 Objetivou-se neste trabalho, analisar o efeito da combinação do uso de pontas com indução de
237 ar e o adjuvante LI-700 na ocorrência de deriva do herbicida 2,4-D.

238

239

MATERIAL E MÉTODOS

240 O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade
241 Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. A deriva foi determinada em túnel de vento,
242 seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado, em parcela subdividida com
243 quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro caldas de aplicação: água, água +
244 LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700. E as subparcelas constituídas por cinco
245 modelos de pontas hidráulicas de vazão igual a 1,14 L.min⁻¹: leque simples – Jacto JSF110
246 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-IA110 (LSI), leque duplo com indução
247 de ar – Magno AD-IA/D110 (LDI), leque simples impacto com indução de ar - Teejet
248 TTI110-VP (LII) e cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100 (CVI).

249 Determinou-se o espectro de gotas produzido pelos modelos de pontas hidráulicas
250 avaliadas. Para isso, utilizou-se um analisador de partículas a laser (modelo Spraytech,
251 Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido), aplicando água (ASAE
252 S572.1, 2009). Foram determinados o diâmetro da mediana volumétrica – DMV (diâmetro da
253 gota que divide o volume de uma população de gotículas em duas partes iguais) e a amplitude
254 relativa da população de gotas – AR, a qual mede a homogeneidade dos diâmetros de gotas
255 produzidas na pulverização. Quanto menor esse valor, maior a uniformidade do espectro da
256 pulverização e assim, maior também a qualidade da pulverização (Madureira et al., 2015).
257 Foi determinada também a percentagem do volume pulverizado contendo gotas com diâmetro
258 inferior a 150 µm, que pode ser utilizado como indicador do potencial risco de deriva - PRD
259 (Cunha et al., 2004).

260 A distância focal do analisador foi de 750 mm e a calibração realizada para que fosse
261 registrado pelo aparelho gotículas nas classes de tamanho de 0,10 – 2.500 μm . A pressão de
262 trabalho utilizada foi de 300 kPa e a ponta hidráulica foi posicionada a 0,3 m do laser do
263 analisador de partículas. Foi utilizado um motor elétrico para girar a barra de pulverização de
264 tal forma que todo o jato que saía da ponta passasse transversalmente durante três segundos
265 através do feixe de luz emitido pelo laser.

266 Para avaliação da deriva, empregou-se um túnel de vento com circuito aberto e seção de
267 teste fechada, com 4,8; 0,56 e 0,6 m de comprimento, altura e largura, respectivamente. A
268 corrente de vento foi gerada por um ventilador de três hélices acionadas por um motor elétrico
269 com 200 W de potência.

270 Foram posicionadas a 10 cm do ventilador, duas telas, uma de nylon (malha 2 mm) e outra
271 de metal (malha 6 mm) e a 15 cm à frente das telas foi colocada uma colmeia composta por
272 560 retângulos de metal, com 2, 3, 5 e 0,2 cm de altura, largura, comprimento e espessura de
273 parede, respectivamente. A finalidade das telas e colmeia era uniformizar e gerar fluxo
274 laminar da corrente de ar proveniente do ventilador.

275 O adjuvante tenso ativo LI -700 foi utilizado na proporção de 0,5 litros para cada 100
276 L de calda e a dose do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), marca comercial 2,4-
277 D NORTOX, foi de 670 g i.a. ha^{-1} , ou seja, simulação da aplicação um litro ha^{-1} , para um
278 volume de calda de 200L ha^{-1} . Foi adicionado em todas as caldas de pulverização como
279 traçador para a quantificação da deriva produzida, o corante alimentício azul brilhante
280 (Corante Azul FCF, Duas Rodas Industrial), catalogado internacionalmente pela “Food, Drug
281 & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na concentração de 5 g L^{-1} .

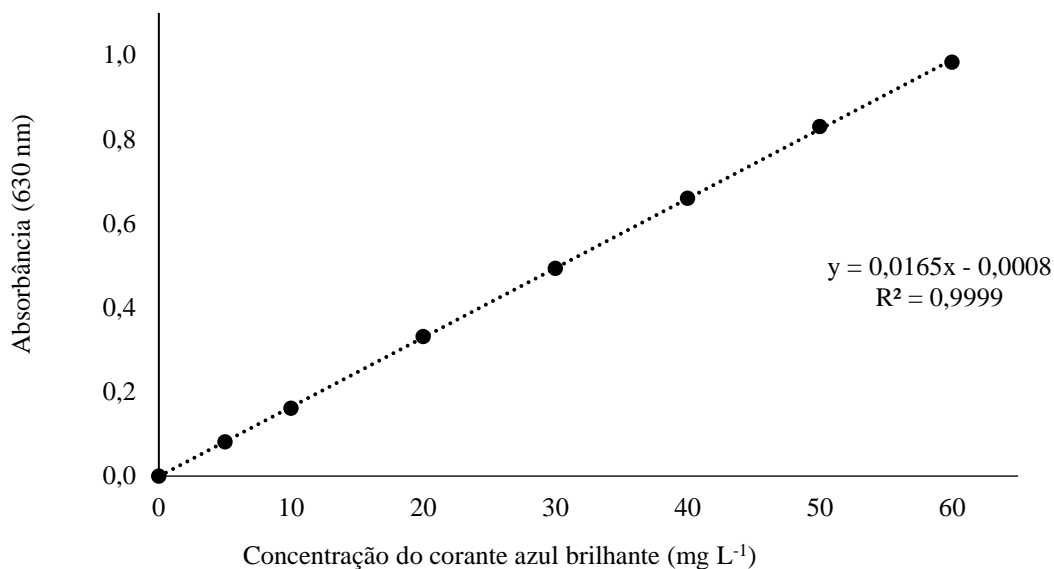
282 Para se detectar o deslocamento da calda pulverizada no interior do túnel de vento, foram
283 posicionados transversalmente ao fluxo de ar, fios coletores de nylon de 2 mm de diâmetro
284 (ISO, 2005) situados a 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m da ponta de pulverização e a 0,10; 0,25 e 0,40 m

285 do piso do túnel de vento. Em cada avaliação, o ventilador foi acionado e aguardaram-se 25 s
286 até que o fluxo de ar se estabilizasse. Em seguida foi ligado o sistema de pulverização na
287 pressão de 300 kPa durante 20 s. Após esse tempo desligava-se o sistema de pulverização e o
288 ventilador, e após 25 s, os fios coletores eram retirados no túnel de vento.

289 Após a retirada dos fios coletores eles eram acondicionados em sacos plásticos
290 transparentes contendo 50 mL de água destilada e agitados por trinta segundos. Depois, eram
291 colocados em ambiente protegido da luz, para se evitar a fotodegradação do corante. As
292 amostras foram analisadas em espectrofotômetro digital (Visible Spectrophotometer - Modelo
293 Evolution 300 UV). Foi utilizado o comprimento de onda de 630 nm, faixa de detecção do
294 azul brilhante (Palladini et al., 2005).

295 Em cada avaliação, antes da análise no espectrofotômetro, foi confeccionada uma curva de
296 calibração com oito concentrações conhecidas da calda de aplicação contendo o corante
297 (Figura 1). Com isso, determinou-se a concentração do corante em gramas por litro em cada
298 amostra coletada no túnel de vento. A quantidade encontrada nos pontos de coleta foi
299 transformada em porcentagem em relação ao total existente na calda de pulverização, sendo
300 definida neste trabalho, como a quantidade de deriva produzida pelos tratamentos
301 empregados. Em seguida, foi feita a média da deriva das três alturas de coleta para cada
302 distância.

303



304
 305 **Figura 1** – Curva de calibração da absorvância em função da concentração do corante azul brilhante para
 306 detecção da deriva no túnel de vento.

307

308 A média das condições climáticas durante as avaliações foram monitoradas empregando-se
 309 um termo-hidro-anemômetro digital portátil modelo THAL-300. A temperatura média foi de
 310 24,7^oC e umidade relativa do ar de 62,9%. A velocidade do vento gerada pelo ventilador
 311 durante a aplicação foi de dois metros por segundo, medida também com o termo-hidro-
 312 anemômetro no local onde a ponta foi posicionada.

313 A ponta de pulverização foi posicionada a 1,8 m do ventilador, na altura de 0,5 m em
 314 relação ao piso do túnel. O sistema de pulverização foi constituído por uma bomba de pistão
 315 modelo BPF 22, com vazão entre 14 e 22 L.min⁻¹ dotada de três pistões, acionada por motor
 316 elétrico de indução monofásico, com potência de 1,5 kW e equipada com comando manual e
 317 manômetro de glicerina para ajuste e aferição da pressão de trabalho, respectivamente. Antes
 318 das avaliações, o manômetro foi calibrado utilizando-se bancada de teste modelo RB 500,
 319 equipada com manômetro de referência para aferição, marca Rücken, modelo RMP, classe de
 320 precisão A3 ABNT ($\pm 0,25\%$ FDE).

321 A coleta e análise dos dados foi realizada respeitando os princípios da estatística
 322 experimental, ou seja: amostras independentes, homocedasticidade e normalidade dos dados.

323 A homocedasticidade e a normalidade foram averiguadas pelos testes de Levene e Shapiro-
 324 Wilk, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) foi realizada a 5% de probabilidade
 325 e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% para modelos de
 326 pontas e caldas de aplicação. As distâncias de coleta em relação ao ponto de pulverização,
 327 foram analisadas por regressão a 5% de probabilidade, escolhendo-se o modelo de equação
 328 gerado que melhor se ajustou, respeitando a ANOVA da regressão e o comportamento do
 329 fenômeno avaliado.

330

331 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

332 A análise de variância foi significativa para todas as variáveis analisadas no analisador a
 333 laser, DMV, PRD e AR. O modelo de ponta hidráulica que gerou o menor DMV (166,83 μm)
 334 e o maior PRD (43,39%) foi a LS. Em contrapartida, os modelos antideriva dotados de
 335 indução de ar, LSI, LII, LDI E CVI produziram valores de DMV mais elevados e
 336 conseqüentemente, apresentaram menores risco de causarem deriva (Tabela 1).

337

338 **Tabela 1** – Interferência do modelo de ponta no diâmetro da mediana volumétrica - DMV, potencial risco de
 339 deriva - PRD e amplitude relativa - AR

Ponta hidráulica	DMV (μm)*	PRD (%)*	AR*
Leque simples - LS	166,8 A	43,4 E	1,8 B
Leque simples com indução - LSI	483,2 C	7,9 C	1,7 B
Leque duplo com indução - LDI	394,3 B	12,9 D	1,7 B
Leque impacto com indução - LII	594,1 D	5,8 B	2,1 C
Cone vazio com indução - CVI	545,0 D	3,1 A	1,4 A
CV (%)	5,3	6,6	4,1

340 *As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

341

342 Em relação ao modelo de ponta LS, que não possuem o sistema venture, os modelos com
 343 indução de ar produziram maiores valores de DMV em 2,9 (LSI), 3,6 (LII), 2,4 (LDI) e 3,3
 344 vezes (CVI), e reduziram em 81,9% (LSI), 86,6% (LII), 70,4% (LDI) e 92,9% (CVI) o PRD.

345 Esses resultados, demonstram a eficácia desses modelos antideriva em aumentar o DMV e
 346 reduzir o percentual de gotas produzidas com diâmetro menor que 150 µm. Tais gotas são
 347 mais facilmente transportadas pelo vento e perdidas pela deriva (Arvidsson et al., 2011).

348 Dentre as pontas hidráulicas com sistema ventura avaliadas se destacaram os modelos LII e
 349 CVI que produziram os maiores DMV, (594,10 e 545,00 µm, respectivamente). No entanto, a
 350 ponta LII proporcionou o maior valor de AR (2,08) e a CVI o menor valor (1,44),
 351 comparativamente com as demais pontas. Quanto maior for o valor da AR, menor é a
 352 uniformidade do espectro de gotas produzido durante a pulverização, ou seja, maior é a
 353 variação dos diâmetros das gotas produzidas (Madureira et al., 2015).

354 Na avaliação da deriva no túnel de vento, a análise de variância foi significativa para a
 355 interação entre calda de aplicação e modelos de pontas hidráulicas. Ou seja, para cada calda a
 356 ser pulverizada deve se considerar o modelo de ponta hidráulica que será utilizado e vice-
 357 versa. Os modelos de pontas com indução de ar LSI, LII, LDI e CVI reduziram a deriva em
 358 72, 79, 62 e 71% respectivamente, em relação à ponta LS (Tabela 2).

359

360 **Tabela 2** - Porcentagem de deriva gerada por quatro caldas e cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples
 361 (LS), leque simples com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução
 362 (LDI) e cone vazio com indução (CVI)

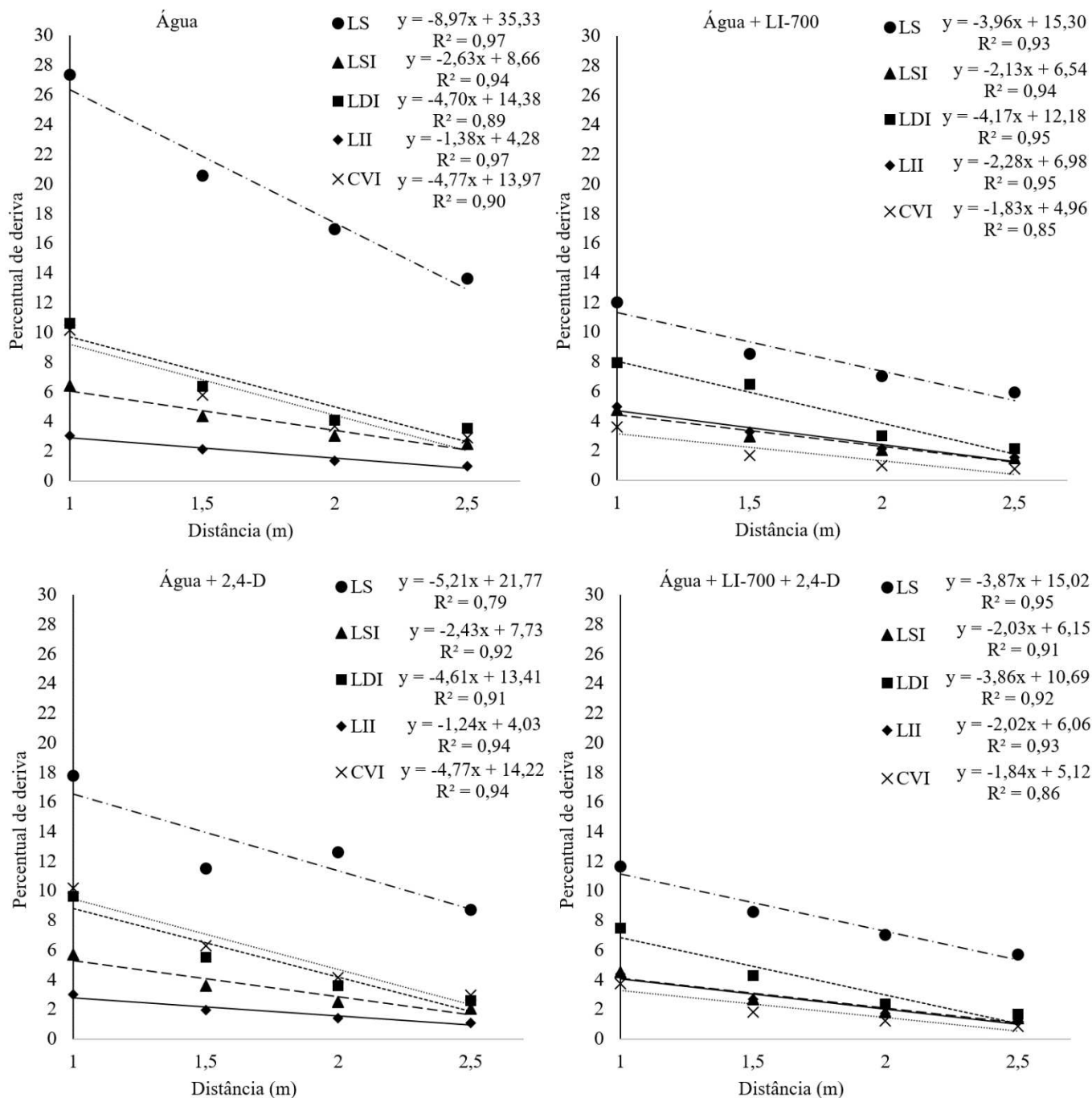
Ponta hidráulica	Porcentagem de deriva*				CV (%)
	Calda				
	água	água + LI-700	água + 2,4-D	água + 2,4-D + LI-700	
Leque simples - LS	19,6 Ce	8,4 Ad	12,7 Be	8,3 Ae	
Leque simples com indução - LSI	4,1 Cb	2,9 Ab	3,5 Bb	2,7 Ac	
Leque duplo com indução - LDI	6,2 Dd	4,4 Bc	5,9 Cd	3,9 Ad	4,2
Leque impacto com indução - LII	1,9 Aa	2,9 Cb	1,9 Aa	2,4 Bb	
Cone vazio com indução - CVI	5,6 Bc	1,8 Aa	5,3 Cc	1,9 Aa	
CV (%)	6,4				

363 *As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si
 364 pelo teste de Tukey (p<0,05).

365

366 Em relação às distâncias de coleta, de forma linear, quanto maior a distância em relação a
367 ponta de pulverização, menor foi o percentual de deriva (Figura 2). Isso pode ser explicado,
368 pela ação da gravidade onde as gotas vão sendo depositadas ao longo da superfície do túnel,
369 de modo que, quanto maior a distância, menor o número de gotas. Isso também ocorre no
370 campo onde, quanto mais perto do local de pulverização, maior é a quantidade de calda
371 depositada (Alves & Cunha, 2014).

372 A adição do adjuvante LI-700 à calda, quando se tinha a presença do herbicida 2,4-D,
373 reduziu a quantidade de deriva detectada em todas as distâncias, em todas as pontas
374 hidráulicas, exceto para a LII (Tabela 2). A LII é uma ponta de impacto, leque simples e com
375 indução de ar, essa maior complexidade da sua construção pode ter interagido negativamente
376 com o adjuvante na formação de gotas maiores, menos susceptíveis à deriva pelo vento.



377 **Figura 2** – Percentual de deriva coletada aplicando em túnel de vento quatro caldas, com cinco modelos de
 378 pontas: leque simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque duplo com indução (LDI), leque simples
 379 impacto com indução (LII) e cone vazio com indução (CVI), em quatro distancias de coleta.

380

381 CONCLUSÕES

382 Dentre as pontas, LII e CVI, que produzem os maiores diâmetros de gotas, a CVI
 383 proporciona melhor uniformidade das gotas.

384 As pontas LII, LSI e CVI, produzem os menores valores de deriva independentemente
385 do tipo de calda utilizada.

386 O adjuvante LI-700 presente na calda de aplicação do herbicida 2,4-D, reduz o
387 percentual de deriva quando se utiliza nas pontas LS, LSI, LDI e CVI.

388

389

AGRADECIMENTOS

390 A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio
391 financeiro e concessão de bolsa.

392

393

REFERÊNCIAS

394 ALVES, G.S.; CUNHA, J.P.A.R. Field data and prediction models of pesticide spray drift
395 on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.622-629, 2014.

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

398 ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Spray Nozzle**
399 **Classification by Droplet Spectra**. ASAE S572.1. American Society of Agricultural
400 Engineers, St. Joseph, MI., p.4, 2009.

401 CRAIGMYLE, B.D.; ELLIS, J.M.; BRADLEY, K.W. Influence of herbicide programs on
402 weed management in soybean with resistance to glufosinate and 2,4-D. **Weed Technology**,
403 v.27, p.78-84, 2013.

404 CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; VIEIRA, R.F.; FERNANDES, H.C.; COURY, J.R.
405 Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio.
406 **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.977-985, 2004.

407 CUNHA, J.P.A.R.; BUENO, M.R. FERREIRA, M.C. Espectro de gotas de pontas de
408 pulverização com adjuvantes de uso agrícola. **Planta daninha**, v.28, p.1153-1158, 2010.

409 EGAN, J.F.; BARLOW, K.M.; MORTENSEN, D.A. A meta-analysis on the effects of 2,4-
410 D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, v.62, p.193-206, 2014.

411 FERREIRA, M.C.; LOHMANN, T.R.; CAMPOS, A.P.; VIEL, S.R.; FIGUEIREDO, A.
412 Distribuição volumétrica e diâmetro de gotas de pontas de pulverização de energia hidráulica
413 para controle de corda-de-viola. **Planta Daninha**, v.29, p.697-705, 2011.

414 GANDOLFO, M.A.; CHECHETTO, R.G.; CARVALHO, F.K.; GANDOLFO, U. D.;
415 MORAES, E.D. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas.
416 **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.474-480, 2013.

417 GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H.E.; DERKSEN, R.; YU, Y.; KRAUSE, C.R. Spray
418 characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan
419 nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.50, p.745-754, 2007.

420 ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Equipment for**
421 **crop protection - Methods for field measurement of spray drift, ISO/FDIS 22866:2005**.
422 Geneva: ISO, p.22, 2005.

423 MADUREIRA, R.P.; RAETANO, C.G.; CAVALIERI, J.D. Interação pontas-adjuvantes
424 na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia**
425 **Agrícola e Ambiental**, v.19, p.180-185, 2015.

426 MILLER, P.C.H.; BUTLER ELLIS, M.C. Effects of formulation on spray nozzle
427 performance for applications from ground-based boom sprayers. **CropProtection**, v. 19, p.
428 609-615, 2000.

429 MILLER PCH. Reducing the risk of drift from boom sprayers. In: RAETANO, C. G.;
430 ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: Fepaf, p.110-124,
431 2004.

432 MORTENSEN, D.A.; EGAN, J.F.; MAXWELL, B.D.; RYAN, M.R.; SMITH, R.G.
433 Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, v.62, p.75-85,
434 2012.

435 MOTA, A.A.B.; ANTUNIASSI, U.R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de
436 ponta com indução de ar. **Energia na Agricultura**, V.28, p.1-5, 2013.

437 NASCIMENTO, A.; OLIVEIRA, G.; BALAN, M.; HIGASHIBARA, L.; ABI SAAB, O.
438 Deposição de glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e
439 horário de aplicação. **Applied Research & Agrotechnology**, v.5, p.105-116, 2012.

440 PALLADINI, L.A.; RAETANO, C.G.; VELINI, E.D. Choice of tracers for the evaluation
441 of spray deposits. **Scientia Agricola**, v.62, p.440-445, 2005.

442 ROBINSON, A.P.; SIMPSON, D.M.; JOHNSON, W.G. Summer annual weed control
443 with 2,4-D and glyphosate. **Weed Technology**, v.26, p.657-660, 2012.

444 SPAUNHORST, D.J.; BRADLEY, K.W. Influence of dicamba and dicamba plus
445 glyphosate combinations on the control of glyphosate-resistant waterhemp (*Amaranthus*
446 *rudis*). **Weed Technology**, v.27, p.675-68, 2013.

447 VIANA, R.G.; FERREIRA, L.R.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; FREITAS, F.C.L.;
448 QUIRINO, A.L.S.; SANTOS, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-
449 1JC e SR-1. **Planta Daninha**, v.25, p.211-218, 2007.

450 VILELA, C.M.; ANTUNIASSI, U.R. Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e
451 adjuvantes depositadas em superfície. **Engenharia Agrícola**, v.28, p. 65-73, 2013.

452

453 **2º CAPÍTULO - COMBINAÇÕES DE PONTAS, PRESSÕES DE TRABALHO E**
454 **ADJUVANTE PARA REDUÇÃO DA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D**
455

456 **RESUMO**

457 Este trabalho teve como objetivo avaliar combinações de modelos de pontas, pressões de
458 trabalho e adjuvante na redução da deriva do herbicida 2,4-D. Em túnel de vento, foram
459 analisadas quatro caldas: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e cinco
460 pontas: leque simples (LS), leque simples com indução de ar (LSI), leque duplo com indução
461 de ar (LDI), leque simples impacto com indução de ar (LII) e cone vazio com indução de ar
462 (CVI), em quatro pressões de trabalho (200, 300, 400 e 500 kPa). Em analisador a laser,
463 aplicando somente água, foi determinado o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a
464 amplitude relativa (AR), e a percentagem de gotas com diâmetro <150 µm (PRD). Os dados
465 foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey à 5%. A ANOVA foi sempre significativa. A
466 adição do adjuvante LI-700 à calda reduz a deriva do herbicida 2,4-D nas pressões de 200,
467 300 e 400 kPa. Dentre os modelos antideriva, a ponta leque duplo com indução de ar – Magno
468 AD-IA/D110 gera menor DMV, maior PRD e, conseqüentemente maior deriva. A ponta leque
469 simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP, produz o maior DMV. E a cone
470 vazio com indução de ar – Magno CV-IA100, proporciona a melhor uniformidade dos
471 diâmetros de gotas.

472
473 **Palavras-Chave:** tecnologia de aplicação, Indução de ar, tamanho de gota, túnel de vento
474
475

476 **COMBINATION OF SPRAY NOZZLES, WORKING PRESSURES AND ADJUVANT**
477 **LI-700 FOR REDUCTION OF DRIFT OF 2,4-D HERBICIDE**

478

479 **ABSTRACT**

480 The objective of this work was to evaluate combinations of spray nozzles, working pressures
481 and adjuvant to reduce the 2,4-D herbicide drift. In the wind tunnel, four silts were analyzed:
482 water, water + LI-700, water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700 and five spray nozzles:
483 single fan (LS), single fan with induction air induction fan (LSI), air induction double fan
484 (LDI), single induction air induction fan (LII) and air induction vacuum cone (CVI) in four
485 working pressures (200, 300, 400 and 500 kPa). In the laser analyzer, only the diameter of the
486 volumetric median (DMV), the relative amplitude (RA), and the percentage of drops with a
487 diameter of <150 μm (PRD) were determined. Data were submitted to ANOVA and Tukey
488 test at 5%. ANOVA was always significant. Addition of the adjuvant LI-700 to the syrup
489 reduces the 2,4-D herbicide drift at pressures of 200, 300 and 400 kPa. Among the anti-drift
490 models, the double fan-inducing fan tip - Magno AD-IA / D110 generates lower DMV, higher
491 PRD and, consequently, greater drift. The single fan impact tip with air induction - Teejet
492 TTI110-VP, produces the largest DMV. And the vacuum cone with air induction - Magno
493 CV-IA100, provides the best uniformity of droplet diameters.

494

495 **Keywords:** application technology, air induction, droplet size, wind tunnel

496

497

INTRODUÇÃO

498 A correta regulagem e calibração dos equipamentos de pulverização é uma das formas
499 mais eficazes de reduzir as perdas durante a aplicação. Na calibração, a vazão da calda pode
500 ser aumentada, geralmente, trocando o modelo de ponta, diminuindo a velocidade da operação
501 e/ou aumentando a pressão de trabalho.

502 Nas propriedades rurais, a forma mais utilizada para ajuste da vazão é o aumento da
503 pressão. Pois, não se tem custos com conjuntos adicionais de pontas de diferentes vazões e/ou
504 perdas de capacidade operacional com a redução da velocidade de trabalho. Porém, o aumento
505 da pressão não só aumenta vazão e número de gotas produzidas, mas também, causa
506 diminuição do diâmetro das gotas produzidas, tornando o jato de pulverização mais
507 susceptível a perdas por evaporação e/ou transporte pelo vento e dependendo das condições
508 durante a aplicação, pode gerar deriva (Boller & Raetano, 2011).

509 A deriva é um grande problema do controle químico de plantas invasoras. Tendo como
510 exemplo, a aplicação do herbicida 2,4-D que possui ação hormonal. Mesmo em pequenas
511 quantidades quando este produto atinge plantas sensíveis não alvo, ocorre grandes prejuízos
512 (Egan et al., 2014). Para reduzir essas perdas é fundamental utilizar a tecnologia de aplicação
513 de agrotóxicos, definindo modelo de ponta, pressão de trabalho e calda de aplicação que
514 melhor se adeque a cada situação. Assim a correta seleção do modelo de pontas é passo
515 fundamental para reduzir a deriva e atingir o alvo da aplicação (Ferguson et al., 2015a;
516 Gandolfo et al., 2013).

517 Uma opção disponível são as pontas hidráulicas dotadas de indução de ar que são dotadas
518 de orifícios que succionam o ar do ambiente, misturando-o com a calda, e assim, gera gotas
519 maiores, contendo bolhas de ar em seu interior (Vallet & Tinnet, 2013). Outra opção são os
520 adjuvantes, que quando adicionados à calda a tornam menos susceptível às variações
521 climáticas (Nascimento et al., 2012; Hilz & Vermeer, 2013; Vilela & Antuniassi) reduzindo

522 assim, perdas por deriva (Oliveira. Porém, seu efeito no espectro de gotas e consequentemente
523 nas perdas por deriva, pode variar de acordo com o modelo de ponta (Cunha et al., 2010;
524 Gandolfo et al., 2013). Pois distintos modelos de pontas respondem de forma diferente a
525 alterações da calda de aplicação (Dorr et al., 2013; Ferguson et al., 2015b). A Utilização de
526 adjuvantes altera as características físicas da calda e influencia o diâmetro das gotas
527 produzidas, porém, este varia sobretudo, conforme ponta e pressão de pulverização (Spanoghe
528 et al., 2007; Iost & Raetano, 2010; Costa et al., 2014). Além disso, o efeito dos adjuvantes nas
529 características físico-químicas da calda dependente de sua composição química e da interação
530 com o agrotóxico aplicado (Cunha et al., 2017).

531 Até que ponto essa relação entre modelos de pontas, pressões de trabalho e calda de
532 aplicação pode ser utilizada na redução da deriva? Para responder tal pergunta, é necessário
533 compreender a relação entre os fatores envolvidos na ocorrência da deriva e gerar,
534 informações para os produtores reduzirem perdas e contaminações, otimizando suas
535 operações. Portanto, este trabalho teve como objetivo, analisar a combinação de modelos de
536 pontas hidráulicas, pressões de trabalho e adjuvante LI-700 na deriva do herbicida 2,4-D.

537

538 MATERIAL E MÉTODOS

539 O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade
540 Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, seguindo delineamento inteiramente casualizado,
541 em parcela sub-subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro
542 caldas de aplicação: água, água + LI-700, água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e as
543 subparcelas cinco modelos de pontas hidráulicas de vazão igual a 1,14 L.min⁻¹: leque simples
544 – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-IA110 (LSI), leque
545 simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII), leque duplo com indução de ar

546 – Magno AD-IA/D110 (LDI) e cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100 (CVI). Nas
547 sub-subparcelas tivemos quatro pressões de trabalho: 200, 300, 400 e 500 kPa.

548 Antes da avaliação de deriva em túnel de vento, aplicando apenas água (ASAE S572.1,
549 2009), determinou-se a vazão e o espectro de gotas dos cinco modelos de pontas nas quatro
550 pressões de trabalho, com quatro repetições. A vazão foi mensurada coletando todo o líquido
551 pulverizado pela ponta em uma proveta com resolução de 0,005 L durante um minuto.

552 E o espectro de gotas foi analisado em analisador de partículas a laser (modelo Spraytech,
553 Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido). A difração a laser é
554 amplamente utilizada para analisar o espectro de gotas gerado pelas pontas de pulverização,
555 dada a sua repetitividade e consistência de medições (Fritz et al., 2014). Foram determinados
556 o DMV – diâmetro da mediana volumétrica (diâmetro da gota que divide o volume de uma
557 população de gotículas em duas partes iguais), a AR – amplitude relativa da população de
558 gotas. Quanto maior esse valor, maior é a variação dos diâmetros de gotas gerados na
559 pulverização e conseqüentemente, menor a qualidade da aplicação (Madureira et al., 2015). E
560 a porcentagem do volume pulverizado contendo gotas com diâmetro inferior a 150 μm , que é
561 indicador do potencial risco de ocorrência de deriva (PRD) durante a aplicação (Cunha et al.,
562 2004).

563 A distância focal foi de 750 mm e a calibração realizada para o aparelho contabilizar
564 gotículas com tamanho entre 0,10 - 2 500 μm . Para girar a barra de pulverização de tal forma
565 que todo o jato que saía da ponta passasse transversalmente durante três segundos através do
566 feixe de luz emitido pelo laser do analisador, foi utilizado um motor elétrico. E a ponta
567 hidráulica foi posicionada a 0,3 m do laser do aparelho.

568 Para análise da deriva, utilizou-se túnel de vento com circuito aberto e seção de teste
569 fechada, com 4,8; 0,56 e 0,6 m de comprimento, altura e largura, respectivamente. A corrente
570 de vento produzida por ventilador de três hélices acionado por um motor elétrico com 200 W

571 de potência. A 10 cm do ventilador, foram posicionadas duas telas, uma de nylon (malha 2
572 mm) e outra de metal (malha 6 mm) e a 15 cm à frente das telas foi confeccionada uma
573 colmeia composta por 560 retângulos de metal, com 2, 3, 5 e 0,2 cm de altura, largura,
574 comprimento e espessura de parede, respectivamente. A finalidade das telas e colmeia é
575 uniformizar e gerar fluxo laminar de ar proveniente do ventilador.

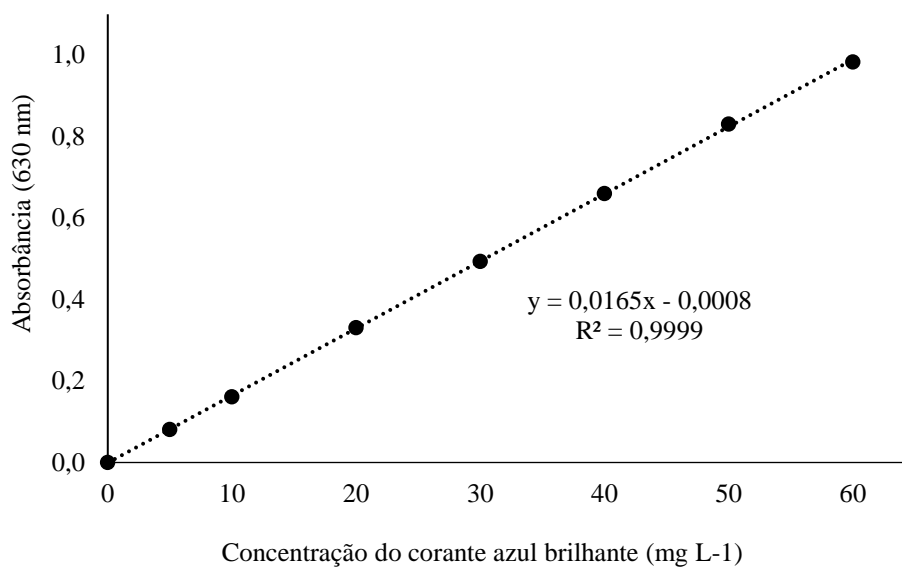
576 O adjuvante tenso ativo LI -700 foi utilizado na proporção de 0,5 litros para cada 100 L de
577 calda e a dose do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), marca comercial 2,4- D
578 NORTOX, foi de 670 g i.a. ha⁻¹, ou seja, simulação da aplicação um litro ha⁻¹, para um
579 volume de calda de 200L ha⁻¹. Foi adicionado em todas as caldas de pulverização como
580 traçador para a quantificação da deriva produzida, o corante alimentício azul brilhante
581 (Corante Azul FCF, Duas Rodas Industrial), catalogado internacionalmente pela “Food, Drug
582 & Cosmetic” como FD&C Blue n.1, na concentração de 5 g L⁻¹.

583 Para se detectar o deslocamento da calda pulverizada no interior do túnel de vento, foram
584 posicionados transversalmente ao fluxo de ar, três fios coletores de nylon de 2 mm de
585 diâmetro (ISO, 2005) situados a 0,10; 0,25 e 0,40 m do piso do túnel de vento. Em cada
586 avaliação, o ventilador foi acionado e aguardaram-se 25 s até que o fluxo de ar se
587 estabilizasse. Em seguida, foi ligado o sistema de pulverização durante 20 s. Após esse tempo
588 desligava-se o sistema de pulverização e o ventilador e após 25 s, os fios coletores eram
589 retirados.

590 Após a retirada dos fios coletores eles foram acondicionados em sacos plásticos
591 transparentes contendo 50 mL de água destilada e agitados por trinta segundos. Depois,
592 colocados em ambiente protegido da luz, para se evitar a fotodegradação do corante. As
593 amostras foram analisadas em espectrofotômetro digital (Visible Spectrophotometer - Modelo
594 Evolution 300 UV). Com comprimento de onda de 630 nm, faixa de detecção do azul
595 brilhante (Palladini et al., 2005).

596 Em cada avaliação no espectrofotômetro, foi confeccionada uma curva de calibração com
597 oito concentrações conhecidas da calda de aplicação contendo o corante (Figura 1). Com isso,
598 a concentração do corante em gramas por litro em cada amostra coletada no túnel de vento foi
599 determinada. A quantidade encontrada nos pontos de coleta foi transformada em
600 porcentagem em relação ao total existente na calda de pulverização e em seguida, realizada a
601 média da deriva das três alturas de coleta.

602



603

604 **Figura 1** – Curva de calibração da absorbância em função da concentração do corante azul brilhante para
605 detecção da deriva.

606

607 Durante as avaliações a temperatura média foi de 21,77°C e umidade relativa do ar de
608 68,18%, condições que foram monitoradas com termo-hidro-anemômetro digital portátil
609 modelo THAL-300. A velocidade do vento gerada pelo ventilador durante a aplicação foi de
610 dois metros por segundo, medida também com o termo-hidro-anemômetro no local onde a
611 ponta foi inserida no túnel de vento.

612 A ponta de pulverização foi posicionada a 1,8 m do ventilador, na altura de 0,5 m em
613 relação ao piso do túnel. O sistema de pulverização foi constituído por uma bomba de pistão

614 modelo BPF 22, com vazão entre 14 e 22 L.min⁻¹ dotada de três pistões, acionada por motor
615 elétrico de indução monofásico, com potência de 1,5 kW e equipada com comando manual e
616 manômetro de glicerina para ajuste e aferição da pressão de trabalho, respectivamente. Antes
617 das avaliações, o manômetro foi calibrado utilizando-se bancada de teste modelo RB 500,
618 equipada com manômetro de referência para aferição, marca Rücken, modelo RMP, classe de
619 precisão A3 ABNT ($\pm 0,25\%$ FDE).

620 A coleta e análise dos dados foram realizadas respeitando-se os princípios da estatística
621 experimental, amostras independentes, homocedasticidade e normalidade dos dados. A
622 homocedasticidade e a normalidade foram averiguadas pelos testes de Levene e Shapiro-
623 Wilk, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) foi realizada a 5% de probabilidade
624 e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% para modelos de
625 pontas e caldas de aplicação. As pressões de trabalho foram analisadas por regressão,
626 escolhendo-se o modelo de equação gerado que melhor se ajusta, respeitando a ANOVA da
627 regressão e o comportamento do fenômeno avaliado.

628

629 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

630 A ANOVA foi significativa para as variáveis DMV, PRD e AR analisadas no analisador a
631 laser e para a interação entre modelos de pontas, caldas de aplicação e pressões de trabalho
632 para a deriva avaliada no túnel de vento.

633 O modelo de ponta LS gerou o menor DMV em todas as pressões (Tabela 1), e os maiores
634 PRDs independentemente da pressão de pulverização da calda (Tabela 2). Por outro lado, as
635 pontas dotadas de indução de ar, LSI, LII, LDI e CVI produziram os maiores DMVs (Tabela
636 1) e apresentaram os menores PRDs (Tabela 2). Modelos de pontas com indução de ar
637 produzem gotas de maior diâmetro quando comparadas com outros modelos, produzindo
638 assim, menos deriva independentemente da calda de pulverização (Ferguson et al., 2016).

639 Dentre as pontas antideriva, o modelo LDI gerou os menores valores de DMV (Tabela 1) e
 640 conseqüentemente os maiores PRDs (Tabela 2). Por outro lado, as pontas LII e CVI se
 641 destacaram positivamente na redução da deriva gerada pelo vento. Pois, em comparação aos
 642 demais modelos, independente da pressão utilizada, a LII produziu os maiores DMVs e a CVI
 643 proporcionou a menor AR (Tabela 3).

644 Neste ponto, é interessante observar que mesmo não produzindo o maior DMV (Tabela 1),
 645 a ponta CVI gerou os menores PRDs (Tabela 2). Isso, ocorreu devido a sua menor AR em
 646 relação a LII (Tabela 3), assim, a LII gerou os maiores valores de DMV, porem por tem uma
 647 maior variação dos diâmetros de gotas, ela proporcionou um PRD maior. Desta forma, existe
 648 uma correlação inversa entre o PRD e o DMV, onde, o DMV pode ser usado para prever o
 649 risco de deriva (França et al., 2017), porem, para uma comparação mais rígida entre pontas
 650 deve-se observar também a variação dos diâmetros de gotas produzido por cada modelo.

651

652 **Tabela 1** – Efeito da pressão de trabalho no diâmetro da mediana volumétrica (DMV)

Ponta hidráulica	DMV (µm)*				CV(%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
Leque simples - LS	198,6 Ae	166,8 Be	153,9 Bd	148,0 Bd	
Leque simples com indução - LSI	513,4 Ac	482,2 Bc	446,9 Cb	422,3 Cb	
Leque duplo com indução - LDI	441,8 Ad	394,3 Bd	343,3 Cc	303,1 Dc	6,9
Leque impacto com indução - LII	818,4 Aa	594,1 Ba	553,1 Ca	516,7 Da	
Cone vazio com indução - CVI	612,9 Ab	545,0 Bb	452,3 Cb	420,3 Db	
CV (%)	3,6				

653 *As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si
 654 pelo teste de Tukey (p<0,05).

655

656

657 **Tabela 2** – Efeito da pressão de trabalho no percentual risco de deriva (PRD)

Ponta hidráulica	PRD (%)*				CV(%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
Leque simples - LS	33,7 Ad	43,4 Be	48,6 Ce	50,8 De	
Leque simples com indução - LSI	6,6 Ab	7,9 BCc	9,6 DCc	11,3 Dc	
Leque duplo com indução - LDI	10,3 Ac	12,9 Bd	17,0 Cd	19,1 Dd	5,0
Leque impacto com indução - LII	3,7 Aa	5,8 Bb	6,4 Bb	7,5 Bb	
Cone vazio com indução - CVI	2,9 Aa	3,1 Aa	4,2 ABa	5,0 Ba	
CV (%)	6,3				

658 *As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si
 659 pelo teste de Tukey (p<0,05).

660

661 **Tabela 3** – Efeito da pressão de trabalho na amplitude relativa da população de gotas (AR)

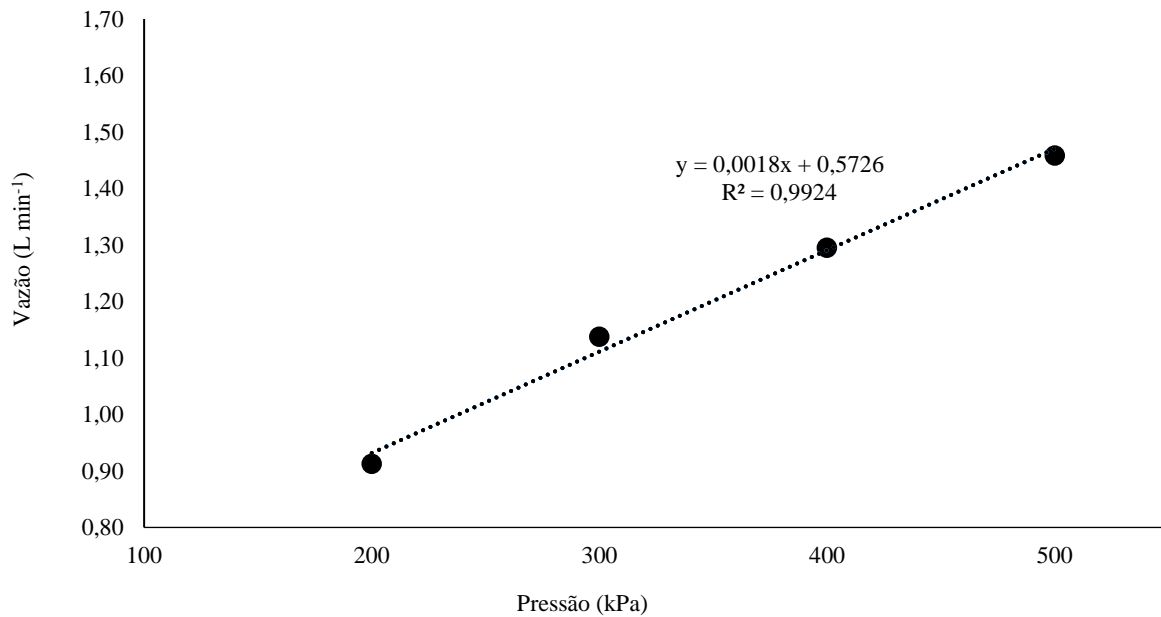
Ponta hidráulica	AR*				CV(%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
Leque simples - LS	1,76 Ab	1,78 Ab	1,92 Ad	2,36 Bd	
Leque simples com indução - LSI	1,91 Bb	1,74 ABb	1,67 Bb	1,73 ABbc	
Leque duplo com indução - LDI	1,89 Ab	1,73 Ab	1,75 Ac	1,72 Ab	5,39
Leque impacto com indução - LII	1,76 Ab	2,08 Bc	2,13 Bd	1,95 ABc	
Cone vazio com indução - CVI	1,52 Aa	1,44 Aa	1,37 Aa	1,36 Aa	
CV (%)	6,93				

662 *As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de
 663 Tukey (p<0,05).

664

665 O PRD é influenciado pelo modelo de ponta hidráulica e esse parâmetro é uma valiosa
 666 informação para prever o percentual de calda que poderá ser transportado pelo vento e
 667 perdido por deriva. Isso é confirmado com os dados obtidos no túnel de vento, onde as pontas
 668 com indução de ar geraram menor deriva (Figura 5), pois produziram menor quantidade de
 669 gotículas menores que 150 µm (Tabela 2).

670 Ademais, o aumento da pressão de trabalho aumentou linearmente a vazão (Figura 4),
 671 diminuiu o DMV (Tabela 1) e aumentou o PRD (Tabela 2) e conseqüentemente a deriva no
 672 túnel de vento para todos os modelos de pontas (Figura 5).



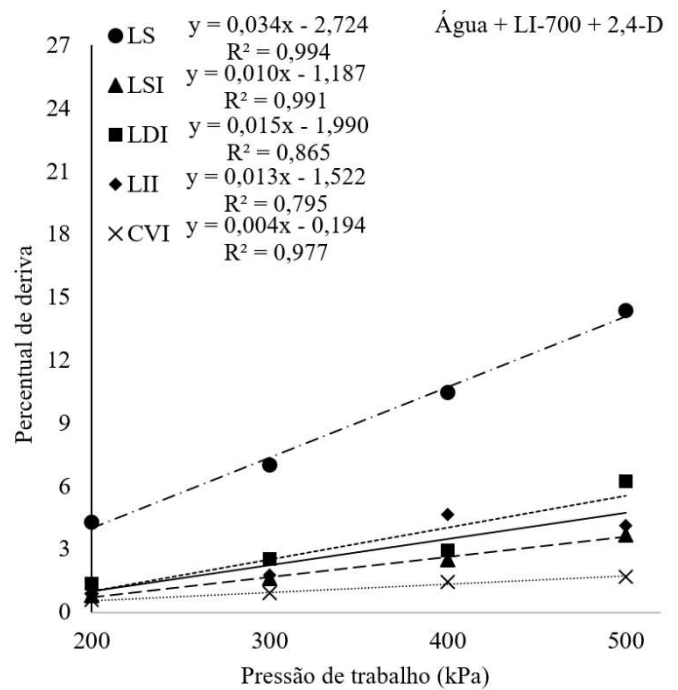
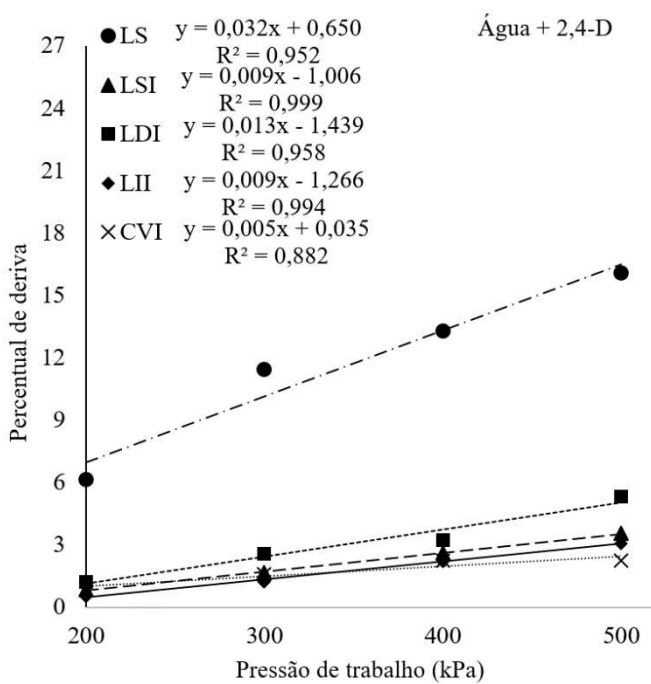
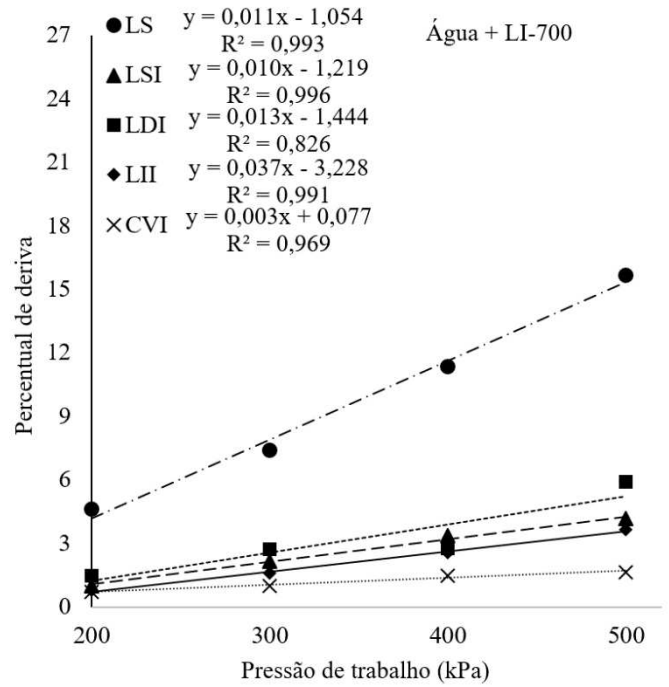
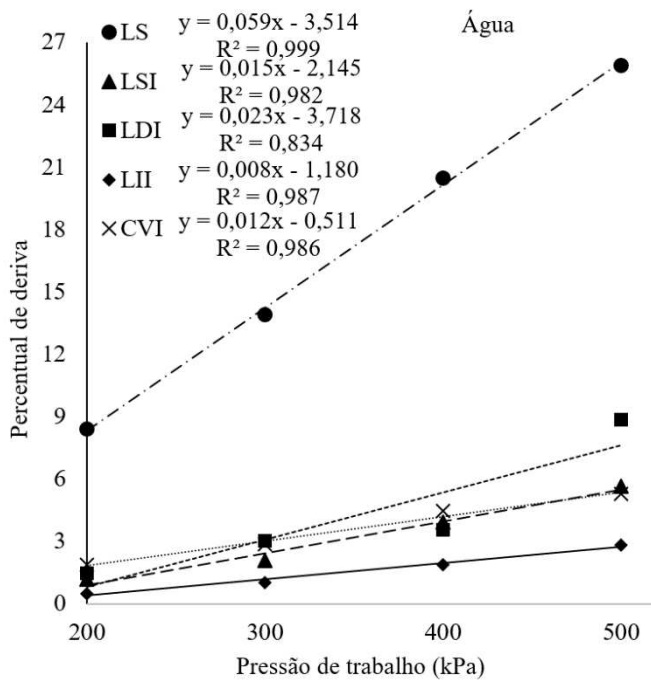
673 **Figura 2** – Efeito da pressão de trabalho na vazão dos cinco modelos de pontas avaliados.

674

675 No entanto, dentre as pontas com indução, os modelos CVI, LII e LSI foram menos
 676 sensíveis a esse aumento de pressão. Sendo, mais eficientes que o LDI em reduzir a deriva
 677 quando comparadas ao modelo LS (Figura 5). A menor capacidade da LDI em reduzir a
 678 deriva, é explicado pelo menor DMV e maior PRD gerados por esta ponta em relação aos
 679 demais modelos com o sistema venturi (Figura 2).

680 Em relação às caldas de aplicação, o aumento da pressão sempre elevou o percentual de
 681 deriva (Tabela 4). Entretanto, a adição do adjuvante LI-700 a calda com o herbicida 2,4-D,
 682 reduziu a deriva nas pressões de 200, 300 e 400 kPa. Já na maior pressão de 500 kPa, a adição
 683 ou não do adjuvante não produziu diferença significativa no percentual de deriva, ou seja, não
 684 foi o suficiente para reduzir a deriva quando se trabalha com uma pressão mais elevada do
 685 sistema.

686



687 **Figura 3** – Percentual de deriva coletada pulverizando quatro caldas (água, água + LI-700, água + 2,4-D, água +
 688 LI-700 + 2,4-D) em túnel de vento, utilizando cinco modelos de pontas: leque simples (LS), leque simples com
 689 indução (LSI), leque duplo com indução (LDI), leque simples impacto com indução (LII) e cone vazio com
 690 indução (CVI), em quatro pressões de trabalho (200, 300, 400, 500 kPa).

691
 692
 693
 694

695 **Tabela 4** - Efeito da calda de aplicação e da pressão de trabalho na porcentagem de deriva no túnel de vento

Calda	Porcentagem de deriva*				CV (%)
	Pressão de trabalho (kPa)				
	200	300	400	500	
água	2,7 Ac	4,7 Bd	6,8 Cc	9,7 Dc	3,39
água + LI-700	1,7 Aa	3,0 Bb	4,3 Ca	6,2 Db	
água + 2,4-D	1,9 Ab	3,8 Bc	4,6 Cb	6,1 Da	
água + 2,4-D + LI-700	1,6 Aa	2,8 Ba	4,4 Ca	6,0 Da	
CV (%)	4,44				

696 *As médias seguidas por mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si
 697 pelo teste de Tukey (p<0,05).

698

699

CONCLUSÕES

700 A adição do adjuvante LI-700 à calda reduz a deriva do herbicida 2,4-D nas pressões de
 701 200, 300 e 400 kPa.

702 Dentre os modelos antideriva, a ponta leque duplo com indução de ar – Magno AD-
 703 IA/D110 gera menor DMV, maior PRD e, conseqüentemente, maior deriva.

704 A ponta leque simples impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP, produz o maior
 705 DMV. E a cone vazio com indução de ar – Magno CV-IA100, proporciona a melhor
 706 uniformidade dos diâmetros de gotas.

707

708

AGRADECIMENTOS

709 A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio
 710 financeiro e concessão de bolsa.

711

712

REFERÊNCIAS

713 ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 2009. *Spray*
 714 *Nozzle Classification by Droplet Spectra*. ASAE S572.1. American Society of Agricultural
 715 Engineers, St. Joseph, MI., p.4, 2009.

716 Boller, W; Raetano, CG 2011. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica,
717 regulagens e calibração de pulverizadores de barras. In: Antuniassi, UR., Boller, W. (Orgs.).
718 *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Aldeia Norte, Passo Fundo, Brasil. p. 51-80.

719 Costa, AGF., Velini, ED., Rossi, CVS., Corrêa, MR., Negrisoni, E., Fiorini, MV., Siono,
720 LM 2014. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo. *Ciência*
721 *Rural* 44:387-392.

722 Cunha, JPAR., Teixeira, MM., Vieira, RF., Fernandes, HC., Coury, JR 2004. Espectro de
723 gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. *Pesquisa*
724 *Agropecuária Brasileira* 39: 977-985.

725 Cunha, JPAR., Bueno, MR., Ferreira, MC 2010. Espectro de gotas de pontas de
726 pulverização com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha* 28: 1153-1158.

727 Cunha, JPAR., Alves, GS., Marques, RS 2017. Tensão superficial, potencial
728 hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes.
729 *Revista Ciência Agronômica* 48:261-270.

730 Dorr, GJ., Hewitt, AJ., Adkins, SW., Hanan, J., Zhang, H., Noller, B 2013. A comparison
731 of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. *Crop Protection* 53:109-117

732 Egan, JF., Barlow, KM., Mortensen, DA 2014. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and
733 dicamba drift on soybean and cotton. *Weed Science* 62: 193-206.

734 Ferguson, JC., Chechetto, RG., O'Donnell, CC., Dorr, GJ., Moore, JH., Baker, GJ., Powis,
735 KJ., Hewitt AJ 2016. Determining the Drift Potential of Venturi Nozzles Compared with
736 Standard Nozzles across Three Insecticide Spray Solutions in a Wind Tunnel. *Pest*
737 *Management Science* 72:1460-1466.

738 Ferguson, JC., O'Donnell, CC., Chauhan, BS., Adkins, SW., Kruger, GR., Wang, R.,
739 Ferreira, PH., Hewitt, AJ 2015a. Assessing the Deposition and Canopy Penetration of Nozzles
740 with Different Spray Qualities in an Oat (*Avena sativa* L.) Canopy. *Crop Protection* 81:14-19.

741 Ferguson, JC., O'Donnell, CC., Chauhan, BS., Adkins, SW., Kruger, GR., Wang, R.,
742 Ferreira, PH., Hewitt, AJ 2015b. Determining the Uniformity and Consistency of Droplet Size
743 across Spray Drift Reducing Nozzles in a Wind Tunnel. *Crop Protection* 76:1-6.

744 França, JAL., Cunha, JPAR., Antuniassi, UR 2017. Spectrum, velocity and drift of droplets
745 sprayed by nozzles with and without air induction and mineral oil. *Engenharia Agrícola*
746 37:502-509.

747 Fritz, BK., Hoffman, WC., Kruger, GR., Henry, RS., Hewitt, A., Czaczyk, Z 2014.
748 Comparison of drop size data from ground and aerial application nozzles at three testing
749 laboratories. *Atomization and Sprays* 24:181-192

750 Gandolfo, MA., Chechetto, RG., Carvalho, FK., Gandolfo, UD., Moraes, ED 2013.
751 Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas. *Revista Ciência*
752 *Agronômica* 44:474-480.

753 Hilz, E., Vermeer, AWP 2013. Spray drift review: The extent to which a formulation can
754 contribute to spray drift reduction. *Crop Protection* 44:75-83.

755 Iost, CAR., Raetano, CG 2010. Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de
756 soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais. *Engenharia Agrícola*
757 30:670-680.

758 ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 2005.
759 *Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift, ISO/FDIS*
760 *22866:2005*. ISSO, Geneva. p.22.

761 Madureira, RP., Raetano, CG., Cavalieri, JD 2015. Interação pontas-adjuvantes na
762 estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. *Revista Brasileira de Engenharia*
763 *Agrícola e Ambiental* 19:180-185.

764 Nascimento, A., Oliveira, G., Balan, M., Higashibara, L., Abi Saab, O 2012. Deposição de
765 glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de
766 aplicação. *Applied Research & Agrotechnology* 5:105-116.

767 Oliveira, RB., Antuniassi, UR., Mota, AAB., Chechetto, RG 2013. Potencial de adjuvantes
768 para redução da deriva em pulverizações agrícolas. *Engenharia Agrícola* 33:986-992.

769 Palladini, LA., Raetano, CG., Velini, ED 2005. Choice of tracers for the evaluation of
770 spray deposits. *Scientia Agricola* 62:440-445.

771 Spanoghe, P., Schampheleire, M., Meeren, PV., Steubaut, W 2007. Influence of
772 agricultural adjuvants on droplet spectra. *Pest Management Science* 63:4-16.

773 Vallet, A., Tinet, C 2013. Characteristics of droplets from single and twin jet air induction
774 nozzles: A preliminary investigation. *Crop Protection* 48:63-68.

775 Vilela, CM., Antuniassi, UR 2013. Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e
776 adjuvantes depositadas em superfície. *Engenharia Agrícola* 28:65-73.

777

778 **3º CAPÍTULO - REDUÇÃO NA DERIVA DO HERBICIDA 2,4-D EM TOMATE**
779 **UTILIZANDO PONTAS COM INDUÇÃO DE AR E ADJUVANTE LI-700**
780

781 **RESUMO**

782 A deriva de herbicidas hormonais é um grande problema da agricultura pois, mesmo em
783 baixas quantidades, podem causar grandes perdas em lavouras de plantas sensíveis ao seu
784 modo de ação. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de pontas com
785 indução de ar em combinação ou não com o adjuvante LI-700 na redução da deriva do
786 herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*). Em túnel de vento, simulando a deriva
787 em plantas de tomate, analisaram-se duas caldas: água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700 e
788 cinco pontas: leque simples – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno
789 AD-IA110 (LSI), leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 (LDI), leque simples
790 impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII) e cone vazio com indução de ar –
791 Magno CV-IA100 (CVI). Em analisador a laser, aplicando somente água, foi determinado o
792 diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR), e a percentagem de
793 gotas com diâmetro <150 µm (PRD). Os dados foram submetidos à ANOVA e teste de Scott-
794 Knott à 5%. As pontas CVI, LII e o adjuvante LI-700 reduzem a deriva do herbicida 2,4-d e
795 diminuem os danos em plantas de tomate. No entanto, a escolha da ponta adequada pode
796 reduzir a intoxicação de plantas de tomate pela metade, ao passo que a adição de LI-700 pode
797 reduzir somente 17,5%.

798
799 **Palavras-Chave:** tecnologia de aplicação, tamanho de gota, túnel de vento, *Solanum*
800 *lycopersicum*

801

802

803

804 **REDUCTION OF DRIFT OF HERBICIDE 2,4-D IN TOMATO USING SPRAY**
805 **NOZZLES WITH INDUCTION AND ADJUVANTE LI-700**

807 **ABSTRACT**

808
809 The drift of hormonal herbicides is a major problem in agriculture because, even in low
810 quantities, they can cause large losses in plant crops sensitive to their mode of action. The
811 objective of this work was to evaluate the use of spray nozzles air induction in combination
812 with the LI-700 adjuvant to reduce the 2,4-D herbicide drift in tomato (*Solanum*
813 *lycopersicum*). In a wind tunnel, simulating adrift in tomato plants, two samples were
814 analyzed: water + 2,4-D and water + 2,4-D + LI-700 and five spray nozzles: single fan
815 JSF110 (LS) , single fan with air induction - Magno AD-IA110 (LSI), double fan with air
816 induction - Magno AD-IA / D110 (LDI), simple fan with air induction - Teejet TTI110-VP
817 (LII) and cone vacuum with air induction - Magno CV-IA100 (CVI). In the laser analyzer,
818 only the diameter of the volumetric median (DMV), the relative amplitude (RA), and the
819 percentage of droplets with a diameter of <150 µm (PRD) were determined. Data were
820 submitted to ANOVA and Scott-Knott's test at 5%. The CVI, LII and the LI-700 adjuvant tips
821 reduce the 2,4-d herbicide drift and decrease damage to tomato plants. However, choosing the
822 right tip can reduce intoxication of tomato plants by half, while the addition of LI-700 can
823 reduce only 17.5%.

824
825 **Keywords:** application technology, droplet size, wind tunnel, *Solanum lycopersicum*

829

INTRODUÇÃO

830 A deriva de agrotóxicos nas lavouras é um grande problema da agricultura, sendo
831 fundamental o seu controle para reduzir danos financeiros, ambientais e à saúde de
832 organismos vivos. No caso da aplicação de herbicidas hormonais, como o 2,4-D, a sua deriva
833 pode ser ainda mais danosa, pois, mesmo em baixas quantidades, pode causar grandes perdas
834 em lavouras de plantas sensíveis ao seu modo de ação (Egan et al., 2014).

835 O herbicida 2,4-D, que é um mimetizador de auxinas, é um dos mais utilizados
836 mundialmente no controle de plantas invasoras dicotiledôneas, além de ser alternativa no
837 controle de plantas daninhas resistentes ao glifosato (Robinson et al., 2012; Craigmyle et al.,
838 2013; Spaunhorst & Bradley 2013). Além disso, o recente desenvolvimento e liberação para
839 plantio de culturas com genes de resistência ao 2,4-D, aumentará ainda mais a utilização deste
840 herbicida nas propriedades rurais (Mortensen et al., 2012) e assim, conseqüentemente, os
841 possíveis problemas com a sua deriva.

842 Dentre as culturas sensíveis ao 2,4-D, as olerícolas se destacam, pois, são fundamentais na
843 produção de alimentos. Além de possuírem forte aspecto econômico e social, como por
844 exemplo o cultivo de tomate que demanda elevada mão de obra durante todo o ciclo. Desta
845 forma, a aplicação do herbicida 2,4-D próxima a lavouras de plantas como tomate, que
846 demonstram alta sensibilidade a herbicidas auxínicos (Rocha do Nascimento & Oscar Mitsuo,
847 2009), deve ser planejada para máxima segurança. Pois, na ocorrência de deriva, essas plantas
848 podem sofrer mudanças no seu metabolismo, produzindo crescimento celular desorganizado e
849 resultando em crescimento anormal de vasos do floema e dos tecidos adjacentes, gerando
850 epinastia da planta (Deuber, 2003).

851 Porém, para o controle da deriva dos agrotóxicos, existe no mercado uma grande gama de
852 alternativas para os produtores. Como, por exemplo, pontas hidráulicas com indução de ar
853 pelo sistema venture. Esses modelos produzem gotas de maior diâmetro do que as pontas

854 convencionais sem indução de ar, sendo menos propensas a serem levadas pelo vento (Miller,
855 2004). Elas são indicadas para aplicação de herbicidas aplicados em pré-emergência e/ou de
856 ação sistêmica, que necessitam de menor cobertura da planta daninha (Viana et al., 2007)
857 como no caso do herbicida 2,4-D.

858 Outra ferramenta disponível para o controle da deriva é a adição de adjuvantes a calda de
859 pulverização, para melhorar suas propriedades físicas e químicas, tornando-a menos sensível
860 às variações de temperatura ambiente, umidade relativa e velocidade do vento durante as
861 aplicações (Nascimento et al., 2012; Vilela & Antuniassi, 2013). Porém, o efeito da sua
862 utilização na calda varia conforme a ponta hidráulica utilizada (Cunha et al., 2010; Gandolfo
863 et al., 2013; Mota & Antuniassi, 2013).

864 Assim, é de suma importância conhecer as ferramentas disponíveis para reduzir a
865 ocorrência da deriva e conseqüentemente as perdas causadas por ela. Portanto, o objetivo
866 deste trabalho, foi avaliar a utilização de pontas com indução de ar e do adjuvante LI-700 na
867 redução da deriva do herbicida 2,4-D em tomate (*Solanum lycopersicum*).

868

869

MATERIAL E MÉTODOS

870 O experimento foi realizado seguindo delineamento inteiramente casualizado, em parcela
871 subdividida. As parcelas foram constituídas por duas caldas de aplicação: água + 2,4-D e água
872 + 2,4-D + LI-700 e as subparcelas cinco modelos de pontas hidráulicas de vazão igual a 1,14
873 L.min⁻¹: leque simples – Jacto JSF110 (LS), leque simples com indução de ar – Magno AD-
874 IA110 (LSI), leque duplo com indução de ar – Magno AD-IA/D110 (LDI), leque simples
875 impacto com indução de ar - Teejet TTI110-VP (LII) e cone vazio com indução de ar –
876 Magno CV-IA100 (CVI), com oito repetições e na pressão de trabalho de 300 kPa.

877 Antes da avaliação de deriva em túnel de vento, determinou-se o espectro de gotas dos
878 cinco modelos de pontas, na pressão de 300 kPa, com quatro repetições, aplicando apenas

879 água (ASAE S572.1, 2009). Em analisador de partículas a laser (modelo Spraytech, Malvern
880 Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido). Foram determinados o DMV –
881 diâmetro da mediana volumétrica (diâmetro da gota que divide o volume de uma população
882 de gotículas em duas partes iguais), a AR – amplitude relativa da população de gotas. Quanto
883 menor a AR, menor é a variação dos diâmetros de gotas gerados na pulverização (Madureira
884 et al., 2015). E a percentagem do volume pulverizado contendo gotas com diâmetro inferior a
885 150 μm , que indica o potencial risco de deriva (PRD) durante a aplicação (Cunha et al.,
886 2004). A distância focal foi de 750 mm e a calibração realizada para o aparelho contabilizar
887 gotículas com tamanho entre 0,10 - 2 500 μm . Foi utilizado um motor elétrico para girar a
888 barra de pulverização de tal forma que todo o jato aspergido do bico passasse
889 transversalmente durante três segundos através do feixe de luz emitido pelo laser do
890 analisador. E a ponta hidráulica foi posicionada a 0,3 m do laser do aparelho.

891 Para análise da deriva, utilizou-se túnel de vento com circuito aberto e seção de teste
892 fechada, com 4,8; 0,56 e 0,6 m de comprimento, altura e largura, respectivamente. A corrente
893 de vento produzida por ventilador de três hélices acionado por um motor elétrico com 200 W
894 de potência. A 10 cm do ventilador, foram posicionadas duas telas, uma de nylon (malha 2
895 mm) e outra de metal (malha 6 mm) e a 15 cm à frente das telas foi confeccionada uma
896 colmeia composta por 560 retângulos de metal, com 2, 3, 5 e 0,2 cm de altura, largura,
897 comprimento e espessura de parede, respectivamente. A finalidade das telas e colmeia é
898 uniformizar e gerar fluxo laminar de ar proveniente do ventilador.

899 O adjuvante tenso ativo LI -700 foi utilizado na dose de 0,5 litros para cada 100 L de calda
900 e a dose do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), marca comercial 2,4- D
901 NORTOX, foi de 670 g i.a. ha^{-1} , ou seja, simulação da aplicação um litro ha^{-1} , para um
902 volume de calda de 200L ha^{-1} . Para a simulação da deriva da calda pulverizada no interior do
903 túnel de vento, foram utilizadas plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), no estágio de

904 cinco pares de folhas verdadeiras. Em casa de vegetação as plantas foram cultivadas em vasos
905 de 5 dm³ preenchidos com solo de um Latossolo Vermelho Amarelo, adubado conforme
906 recomendações para a cultura. A planta foi posicionada a dois metros da ponta de
907 pulverização e para produzir a corrente de ar, o ventilador foi acionado e aguardaram-se 25 s
908 até que o fluxo de ar se estabilizasse. Em seguida, foi ligado o sistema de pulverização
909 durante 1 minuto. Após esse tempo o sistema de pulverização e o ventilador foram desligados
910 por 25 s, e retirou-se o vaso com a planta.

911 A ponta de pulverização foi posicionada a 1,8 m do ventilador, na altura de 0,5 m em
912 relação ao piso do túnel. O sistema de pulverização foi constituído por uma bomba de pistão
913 modelo BPF 22, com vazão entre 14 e 22 L.min⁻¹ dotada de três pistões, acionada por motor
914 elétrico de indução monofásico, com potência de 1,5 kW e equipada com comando manual e
915 manômetro de glicerina para ajuste e aferição da pressão de trabalho, respectivamente. Antes
916 das avaliações, o manômetro foi calibrado utilizando-se bancada de teste modelo RB 500,
917 equipada com manômetro de referência para aferição, marca Rücken, modelo RMP, classe de
918 precisão A3 ABNT ($\pm 0,25\%$ FDE). Durante as aplicações a temperatura média foi de 25^oC e
919 umidade relativa do ar de 54%, condições que foram monitoradas com termo-hidro-
920 anemômetro digital portátil modelo THAL-300. A velocidade do vento gerada pelo ventilador
921 durante a aplicação foi de dois metros por segundo, medida também com o termo-hidro-
922 anemômetro no local onde a ponta foi inserida no túnel de vento.

923 As avaliações nas plantas de tomate foram feitas aos 7, 14, 21 e 28 dias após à simulação
924 da deriva, através de análise visual de intoxicação em relação as testemunhas, onde não houve
925 aplicação do herbicida. Para isso, foi empregada a escala que indica notas variando de 0%
926 (nenhum dano) até 100% (morte da planta) (SBCPD, 1995). Aos 28 dias após à aplicação, as
927 plantas foram cortadas rente à superfície do solo para quantificação da matéria seca da parte
928 aérea e o substrato dos vasos foi retirado e lavado, extraindo-se as raízes para a avaliação da

929 massa da matéria seca de raiz. Em seguida, as amostras foram colocadas para secar em estufa
930 a 65 °C durante 72 h e a massa da matéria seca (MS) de parte aérea e raiz determinada.

931 A homocedasticidade e a normalidade foram averiguadas pelos testes de Levene e Shapiro-
932 Wilk, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) foi realizada a 5% de probabilidade
933 e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%.

934

935

RESULTADOS E DISCUSSÃO

936 Para a avaliação dos modelos de pontas no analisador a laser, a ANOVA foi significativa
937 para as variáveis DMV, PRD e AR analisadas no analisador a laser (Tabela 1). O modelo de
938 ponta que gerou o maior DMV (594,10 μm) foi a LII, seguido da CVI (545,00 μm). Porém,
939 para o PRD, a ordem se inverte, as pontas CVI e LII proporcionaram os menores potenciais
940 risco de deriva 3,10 e 5,83 %, respectivamente. Isso, ocorreu pela elevada AR da LII, o que
941 explica que ela tenha o maior DMV, mas, no entanto, não o menor PRD. Em contrapartida, o
942 modelo LS produziu o menor DMV (166,83 μm) e conseqüentemente, apresentou o mais
943 elevado PRD (43,39 %).

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

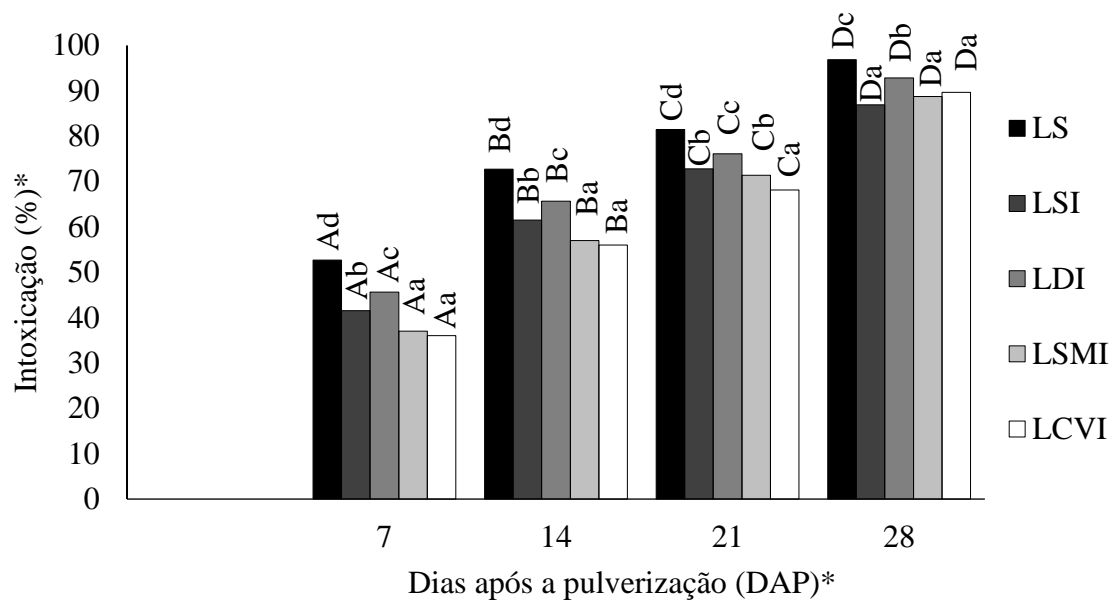
954 Tabela 1 - Diâmetro da mediana volumétrica (DMV), percentagem de volume de calda
 955 contendo gotas com diâmetro inferior a 150 µm (PRD) e amplitude relativa da população de
 956 gotas (AR) gerada por cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque simples
 957 com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução (LDI)
 958 e cone vazio com indução (CVI)

Ponta hidráulica	DMV (µm)*	PRD (%)*	AR*
LS	166,83 E	43,39 E	1,78 B
LSI	483,15 C	7,87 C	1,74 B
LII	594,10 A	5,83 B	2,08 D
LDI	394,33 D	12,86 D	1,73 B
CVI	545,00 B	3,10 A	1,44 A
CV (%)	5,3	6,6	4,1

959 *As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott
 960 (p<0,05).

961

962 Em relação a avaliação simulando à deriva no túnel de vento nas plantas de tomate, a
 963 ANOVA do percentual de intoxicação foi significativa apenas para os modelos de ponta e
 964 para as caldas ao longo das avaliações semanais, não ocorrendo interação significativa entre
 965 modelos de pontas e caldas de aplicação. Em todas as avaliações de intoxicação, a ponta LS
 966 gerou os maiores danos, por outro lado, as pontas com indução de ar, principalmente os
 967 modelos CVI e LII, produziram os menores efeitos de deriva do herbicida 2,4-d nas plantas
 968 (Figura 1).



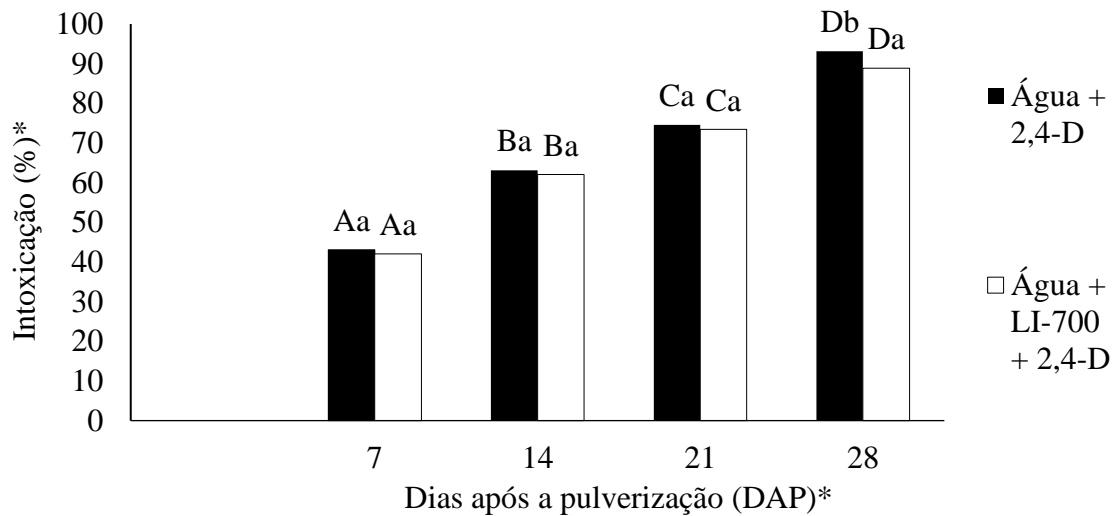
969

970 Figura 4 – Intoxicação causada pela deriva de 2,4-D em tomate com cinco pontas: leque
 971 simples (LS), leque simples com indução (LSI), leque duplo com indução (LDI), leque
 972 simples martelinho com indução (LSMI), e leque cone vazio com indução (LCVI). *Médias
 973 seguidas por mesmas letras maiúsculas para DAP e minúsculas para modelos de pontas não
 974 diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV (%): 7,79 (pontas); 6,11 (DAP).

975

976 Porém, no decorrer das avaliações, a diferença de danos causados entre as pontas dotadas
 977 do sistema ventura de indução de ar foi diminuindo devido aos efeitos acumulativos do
 978 herbicida. Mas mesmo assim, a ponta LDI gerou mais danos nas plantas em comparação as
 979 demais pontas com indução de ar ao decorrer das avaliações. Esses resultados são explicados
 980 pelo maior PRD e menor DMV que essa ponta produz em relação aos demais modelos de
 981 pontas antideriva estudados neste trabalho (Tabela 1). Pois, gotas de diâmetro reduzido são
 982 mais facilmente transportadas pelo vento e perdidas por deriva (Arvidsson et al., 2011).

983 A adição do adjuvante LI-700 proporcionou redução significativa dos danos nas plantas,
 984 apenas na avaliação aos 28 dias após a pulverização (Figura 2). Por ser um produto de ação
 985 hormonal, o herbicida 2,4-D mesmo em baixas concentrações de seu ingrediente ativo pode
 986 ocasionar grandes problemas em plantas sensíveis (Egan et al. 2014).



988

989 Figura 5 - Intoxicação causada pela deriva de 2,4-D em tomate com duas caldas: água + 2,4-D
 990 e água + 2,4-D + LI-700. *Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas para DAP e
 991 minúsculas para pontas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV (%):
 992 18,47 (caldas); 6,11 (DAP).

993

994 Para a ANOVA da análise de matéria seca de parte aérea e de raiz do tomateiro, não houve
 995 interação entre calda de aplicação e modelo de ponta utilizado. Porém, as pontas hidráulicas
 996 geraram diferença significativa tanto na matéria seca da parte aérea, quanto nas raízes (Tabela
 997 2 e 3). As plantas da simulação de deriva com todos os modelos de pontas reduziram a massa
 998 da matéria seca da parte aérea em relação a testemunha. Porém as menores reduções foram
 999 com as pontas CVI, LII e LSI, que apresentaram redução média de 40,14% em relação a
 1000 testemunha (Tabela 2). Esses resultados são atribuídos ao menor PRD produzido por esses
 1001 modelos de pontas (Tabela 1).

1002

1003

1004

1005 Tabela 2 – Matéria seca de parte aérea plantas de tomate após simulação de deriva do
 1006 herbicida 2,4-D aplicado com cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque
 1007 simples com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com
 1008 indução (LDI) e cone vazio com indução (CVI)

Matéria seca de parte aérea (g) *					
Modelo de ponta hidráulica					Testemunha
LS	LSI	LDI	LII	CVI	
9,31 C	13,37 B	9,17 C	15,49 B	14,24 B	24,00 A

1009 *As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott
 1010 ($p < 0,05$). CV (%): 13,76.

1011

1012 Para a avaliação da matéria seca de raiz, as pontas CVI e LII tiveram o melhor
 1013 desempenho em relação as demais, reduzindo os efeitos da deriva do 2,4-d nas plantas
 1014 (Tabela 3). No entanto, ainda se observou redução de 76,94% da matéria seca de raiz em
 1015 relação a testemunha sem aplicação. Os modelos de pontas CVI e LII se mostraram mais
 1016 eficientes em reduzir a deriva gerada, devido ao transporte de gotas de diâmetro reduzido pelo
 1017 vento. Pois, esses modelos geraram os maiores DMVs e os menores PRDs (Tabela 1) e
 1018 consequentemente menores danos do herbicida nas plantas.

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026 Tabela 3 – Matéria seca de raiz de plantas de tomate após simulação de deriva do herbicida
1027 2,4-D aplicado com cinco modelos de pontas hidráulicas: leque simples (LS), leque simples
1028 com indução (LSI), leque simples impacto com indução (LII), leque duplo com indução (LDI)
1029 e cone vazio com indução (CVI)

Matéria seca de raiz (g) *					
Modelo de ponta hidráulica					Testemunha
LS	LSI	LDI	LII	CVI	
0,92 C	1,15 C	0,94 C	1,81 B	2,06 B	8,39 A

1030 *As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott
1031 ($p < 0,05$). CV (%): 17,42.

1032

1033 Por outro lado, a adição do adjuvante LI-700 produziu resultados significativos apenas na
1034 avaliação da matéria seca de raiz (Tabela 4). Neste caso, as plantas da simulação da deriva da
1035 calda do 2,4-D com o LI-700, tiveram 17,52% a mais de matéria seca de raiz, em relação às
1036 plantas da simulação da calda sem o adjuvante. Isso indica que a adição do adjuvante LI-700 à
1037 calda de pulverização, reduziu a deriva do herbicida 2,4-D. Assim, como foi evidenciado na
1038 avaliação de danos visuais 28 dias após a pulverização (Figura 2).

1039

1040 Tabela 4 – Matéria seca de raiz de plantas de tomate após simulação de deriva de duas caldas
1041 de aplicação: água + 2,4-D e água + 2,4-D + LI-700

Matéria seca de raiz (g) *		
Calda		Testemunha
água + 2,4-D	água + 2,4-D + LI-700	8,39 A
2,34 C	2,75 B	

1042 *As médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott
1043 ($p < 0,05$). CV (%): 21,48.

1044

1045

CONCLUSÕES

1046 As pontas CVI, LII e o adjuvante LI-700 reduzem a deriva do herbicida 2,4-d e diminuem
1047 os danos em plantas de tomate.

1048 A escolha da ponta adequada pode reduzir a intoxicação de plantas de tomate pela metade,
1049 ao passo que a adição de LI-700 pode reduzir somente 17,5%.

1050

1051

AGRADECIMENTOS

1052 A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio
1053 financeiro e concessão de bolsa.

1054

1055

REFERÊNCIAS

1056 Arvidsson, T.; Bergström, L.; Kreuger, J. Spray drift as influenced by meteorological and
1057 technical factors. **Pest Management Science**, v.67, p.586-598, 2011.

1058 ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Spray Nozzle
1059 Classification by Droplet Spectra. ASAE S572.1. American Society of Agricultural
1060 Engineers, St. Joseph, MI., p.4, 2009.

1061 Craigmyle, B.D.; Ellis, J.M.; Bradley, K.W. Influence of herbicide programs on weed
1062 management in soybean with resistance to glufosinate and 2,4-D. **Weed Technology**, v.27,
1063 p.78-84, 2013.

1064 Cunha, J.P.A.R.; Teixeira, M.M.; Vieira, R.F.; Fernandes, H.C.; Coury, J.R. Espectro de
1065 gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa**
1066 **Agropecuária Brasileira**, v.39, p.977-985, 2004.

1067 Cunha, J.P.A.R.; Bueno, M.R. Ferreira, M.C. Espectro de gotas de pontas de pulverização
1068 com adjuvantes de uso agrícola. **Planta daninha**, v.28, p.1153-1158, 2010.

1069 Deuber, R. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: Deuber, R. Ciência das plantas
1070 infestantes: fundamentos. 2. ed. Jaboticabal: Funep, p. 304-347, 2003.

1071 Egan, J.F.; Barlow, K.M.; Mortensen, D.A. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and
1072 dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, v.62, p.193-206, 2014.

1073 Gandolfo, M.A.; Chechetto, R.G.; Carvalho, F.K.; Gandolfo, U. D.; Moraes, E.D.
1074 Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas. **Revista Ciência**
1075 **Agronômica**, v.44, p.474-480, 2013.

1076 Madureira, R.P.; Raetano, C.G.; Cavalieri, J.D. Interação pontas-adjuvantes na estimativa
1077 do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
1078 **Ambiental**, v.19, p.180-185, 2015.

1079 Miller, P.C.H.; Butler Ellis, M.C. Effects of formulation on spray nozzle performance for
1080 applications from ground-based boom sprayers. **CropProtection**, v. 19, p. 609-615, 2000.

1081 Mortensen, D.A.; Egan, J.F.; Maxwell, B.D.; Ryan, M.R.; Smith, R.G. Navigating a
1082 critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, v.62, p.75-85, 2012.

1083 Mota, A.A.B.; Antuniassi, U.R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta
1084 com indução de ar. **Energia na Agricultura**, V.28, p.1-5, 2013.

1085 Nascimento, A.; Oliveira, G.; Balan, M.; Higashibara, L.; Abi Saab, O. Deposição de
1086 glifosato e utilização de adjuvante para diferentes pontas de pulverização e horário de
1087 aplicação. **Applied Research & Agrotechnology**, v.5, p.105-116, 2012.

1088 Robinson, A.P.; Simpson, D.M.; Johnson, W.G. Summer annual weed control with 2,4-D
1089 and glyphosate. **Weed Technology**, v.26, p.657-660, 2012.

1090 Rocha do Nascimento, E.; Oscar Mitsuo, Y. Desenvolvimento inicial de olerícolas
1091 cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram. **Semina**, v.30, p.47-54,
1092 2009.

1093 SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD.
1094 **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas.**
1095 p.42, 1995

1096 Spaunhorst, D.J.; Bradley, K.W. Influence of dicamba and dicamba plus glyphosate
1097 combinations on the control of glyphosate-resistant waterhemp (*Amaranthus rudis*). **Weed**
1098 **Technology**, v.27, p.675-68, 2013.

1099 Viana, R.G.; Ferreira, L.R.; Teixeira, M.M.; Cecon, P.R.; Freitas, F.C.L.; Quirino, A.L.S.;
1100 Santos, M.V. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta**
1101 **Daninha**, v.25, p.211-218, 2007.

1102 Vilela, C.M.; Antuniassi, U.R. Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e
1103 adjuvantes depositadas em superfície. **Engenharia Agrícola**, v.28, p. 65-73, 2013.