

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESPECTRO DE GOTAS E POTENCIAL DE DERIVA DE CALDAS
CONTENDO O HERBICIDA 2,4-D AMINA EM MISTURAS EM
TANQUE**

ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU – SP

Março de 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESPECTRO DE GOTAS E POTENCIAL DE DERIVA DE CALDAS
CONTENDO O HERBICIDA 2,4-D AMINA EM MISTURAS EM
TANQUE**

ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Março de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M917e Mota, Alisson Augusto Barbieri, 1987-
Espectro de gotas e potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D amina em misturas em tanque / Alisson Augusto Barbieri Mota. - Botucatu : [s.n.], 2015
ix, 56 f. : ils., fots., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015

Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi

Inclui bibliografia

1. Defensivos vegetais - Tecnologia de aplicação. 2. Produtos químicos agrícolas - Adjuvantes. 3. Pulverização e polvilhação na agricultura. 4. Aminas. I. Antuniassi, Ulisses Rocha. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “ESPECTRO DE GOTAS E POTENCIAL DE DERIVA DE CALDAS
CONTENDO O HERBICIDA 2,4-D AMINA EM MISTURAS EM
TANQUE”

ALUNO: ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado pela Comissão Examinadora



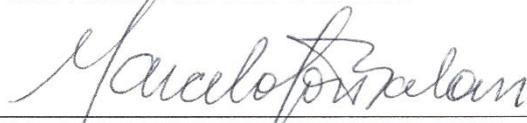
PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI



PROF. DR. OTAVIO JORGE GRIGOLI ABI SAAB



PROF. DR. WALTER BOLLER



PROF. DR. MARCELO GONÇALVES BALAN



PROF. DR. CAIO ANTONIO CARBONARI

Data da Realização: 12 de março de 2015

DEDICO

Ao meu pai José Nivaldo Mota
E minha mãe Lucimar Barbieri Mota.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus, pela força, saúde e coragem para vencer mais essa etapa em minha vida.

Aos meus pais José Nivaldo Mota e Lucimar Barbieri Mota, que sempre foram minha base, prestando apoio, incentivo, aconselhando sabiamente quando necessário e sobre tudo serem meu maior exemplo de caráter e dedicação que busco seguir.

Também a toda a minha família, em especial meu irmão Humberto Barbieri Mota, que mesmo longe sempre sendo companheiro e incentivando.

Ao professor Ulisses Rocha Antuniassi, que tive a grande satisfação e o privilégio de trabalhar junto desde o mestrado, agradeço sua orientação e ensinamentos, além dos sábios conselhos e amizade.

Aos professores Caio Carbonari, Kleber Lanças, Marcelo Gonçalves Balan, Otavio Abi Saab e Walter Boller pelas valiosíssimas contribuições para a conclusão desse trabalho.

A todos os professores da FCA, pelos conhecimentos transmitidos em especial ao grande amigo, professor Paulo Arbex pelos ensinamentos e companheirismo.

Aos amigos e também colegas de pós-graduação, Caio A. F. Moreira, Fernando K. Carvalho, Henrique Soares, Marcella G. de Jesus., Mateus F. P. de Queiroz, Raquel Berna, Rodolfo G. Chechetto, Thalyson M. Santana, Tito E. R. A. Barbosa e Ulisses D. Gandolfo pelo companheirismo e os bons momentos compartilhados dentro e fora da universidade, além da troca de experiências e ajuda para a realização desse trabalho.

Aos amigos da república CentroSul que tive o privilégio de morar junto, Caio A. F. Moreira, Felipe Sperotto, Magnun A. P. da Silva e Tiago Correia, pelos inesquecíveis momentos compartilhados.

Aos amigos e também colegas de trabalho Dante Basso, Alexandre Basso, Andreia Padovani e Gabriela Toniolo pela ajuda durante a realização dos trabalhos.

A todos os colegas e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A Dow AgroSciences por viabilizar a realização desse trabalho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Aplicação de defensivos agrícolas e deriva.....	7
2.2 O herbicida 2,4-D	12
2.3 O herbicida 2,4-D e deriva	14
2.4 Técnicas para redução da deriva (TRD).....	15
2.5 Mistura em tanque	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Local.....	24
3.2 Avaliação do potencial de deriva.....	24
3.3 Análise do espectro de gotas	29
3.4 Tratamentos e análise estatística.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 Espectro de gotas	34
4.1.1 Diâmetro mediano volumétrico (DMV).....	34
4.1.2 Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$).....	36
4.1.3 Amplitude Relativa (AR)	39
4.2 Índice de deriva	41
4.3 Correlações entre espectro de gotas e deriva.....	44
5. CONCLUSÕES	48
6 REFERÊNCIAS	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Descrição dos herbicidas.	32
Tabela 2.	Descrição dos adjuvantes.	32
Tabela 3.	Descrição dos tratamentos utilizados para as análises de deriva e espectro de gotas.	33
Tabela 4.	Descrição das pontas de pulverização e abreviaturas.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Vendas de defensivos agrícolas no Brasil para o ano 2013, segundo os valores (a) e a quantidade (b).....	8
Figura 2.	Túnel de vento utilizado para as análises de deriva.....	25
Figura 3.	Esquema da seção de testes do túnel de vento com as dimensões e posicionamento de cada componente.	26
Figura 4.	Espectrofotômetro utilizado para as análises da deriva coletada em fios de nylon no túnel de vento.....	27
Figura 5.	Analisador de partículas Mastersizer S (Malvern Instruments).	30
Figura 6.	Analisador de partículas, detalhes.	31
Figura 7.	Diâmetro mediano volumétrico para a ponta (DMV) XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual do DMV em relação à testemunha (DMA).....	35
Figura 8.	Diâmetro mediano volumétrico para a ponta (DMV) AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual do DMV em relação à testemunha (DMA).....	36
Figura 9.	Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual do $\%<100$ em relação à testemunha (DMA).....	37
Figura 10.	Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual do $\%<100$ em relação à testemunha (DMA).....	39
Figura 11.	Amplitude relativa (AR) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual da AR em relação à testemunha (DMA).	40
Figura 12.	Amplitude relativa (AR) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual da AR em relação à testemunha (DMA).	41
Figura 13.	Índice de deriva (ID) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual do ID em relação à testemunha (DMA).	42
Figura 14.	Índice de deriva (ID) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual do ID em relação à testemunha (DMA).	43
Figura 15.	Correlação entre o índice de deriva (ID) e o diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11003.	45
Figura 16.	Correlação entre o índice de deriva (ID) e o percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$) para a ponta XR 11003.	46

- Figura 17. Correlação entre o índice de deriva (ID) e o diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AI 11003..... 46
- Figura 18. Correlação entre o índice de deriva (ID) e o percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$) para a ponta AI 11003..... 47

RESUMO

A mistura em tanque de defensivos agrícolas é uma prática frequente e difundida em todo o mundo, tendo vantagens como a diminuição de custos, uma vez que uma mesma operação de aplicação é otimizada para aplicar dois ou mais produtos. Outra razão para a mistura em tanque, tratando-se de herbicidas, é aumentar o espectro de ação no controle de plantas daninhas, visto que a aplicação de herbicidas de mecanismos de ação diferentes contribui para a redução da pressão de seleção de biótipos resistentes. Entretanto, a mistura em tanque pode resultar em alterações físicas na calda, interferindo no espectro de gotas e no risco de deriva. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o espectro de gotas e o potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D em diferentes condições de mistura em tanque e modelos de pontas. Foram comparados oito tratamentos e uma testemunha. Cada tratamento foi representado por uma calda, constituída da mistura ou não entre herbicidas e adjuvantes. A testemunha foi uma calda contendo apenas o herbicida 2,4-D (DMA[®] 806 BR). Todos os tratamentos e a testemunha foram avaliados em dois experimentos, um pulverizando com uma ponta jato plano de uso estendido (modelo XR 11003) e outro com uma ponta jato plano de indução de ar (modelo AI 11003). As variáveis analisadas foram espectro de gotas e índice de deriva avaliado por meio túnel de vento. Todos os resultados foram comparados pelo Intervalo de Confiança para Diferenças entre as Médias a 95% de probabilidade (IC95%) e também realizada as correlações entre as diferentes variáveis utilizando o coeficiente de Pearson a 5% de probabilidade. Nas avaliações de espectro de gotas e índice de deriva, constatou-se que as misturas tiveram ação nessas variáveis. Comparando os resultados com a testemunha, quando pulverizado

com a ponta XR, todas as misturas reduziram o diâmetro mediano volumétrico (DMV) e aumentaram o percentual do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm ($\%<100$), aumentando assim o potencial de deriva da calda. Utilizado a ponta AI, assim como para a ponta XR, todas as misturas reduziram o DMV, com exceção da calda 2,4-D (DMA[®] 806 BR) em mistura com glyphosate (Glizmax[®]), as demais caldas aumentaram o ($\%<100$). Para as análises do índice de deriva (ID), com a ponta XR, todas as misturas resultaram em aumento do ID. Com a ponta AI, a única mistura que reduziu a deriva foi o 2,4-D com o adjuvante espalhante adesivo (Aterbane BR). O DMV e o $\%<100$ tiveram correlações fortes com a deriva somente para a ponta XR.

DROPLET SPECTRUM AND DRIFT POTENTIAL OF SPRAY SOLUTIONS CONTAINING THE HERBICIDE 2,4-D AMINE IN TANK MIXTURES. Botucatu, 2015. 56p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALISSON AUGUSTO BARBIERI MOTA

Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

SUMMARY

The tank mix of pesticides is a common and widespread practice in the world, with advantages such as reducing costs, since the same application operation is optimized to apply two or more products. Another reason for the tank mix, in the case of herbicides, is to increase the spectrum of action on weed control, as the application of different mechanisms of action of herbicides contribute to the reduction of resistant biotypes of selection pressure. However, the tank-mix can result in physical changes in the spray solution, interfering in the droplet spectrum and drift risk. In this context, the aim of this study was to evaluate the droplet spectrum and the potential drift of spray solutions containing 2,4-D herbicide in different tank mix conditions and nozzles models. Were compared eight treatments and a control treatment. Each treatment was represented by a spray solution of the mixture or not between herbicides and adjuvants. The control treatment was a solution containing the 2,4-D herbicide (DMA[®] 806 BR). All treatments and the control were evaluated in two experiments, one spraying with flat spray extended range nozzle (XR 11003 model) and the other with flat spray air induction nozzle (AI 11003 model). The variables analyzed were droplet spectrum and drift index evaluated through wind tunnel. All results were compared by the confidence interval for differences between the averages at 95% probability and also calculated the correlations between the different variables using the Pearson coefficient at 5% probability. In the evaluations of droplets spectrum and drift index, it was found that the different mixtures had action in these variables. Comparing the results with the control, when sprayed with XR nozzle, all mixtures have reduced the volume median diameter (VMD) and increased the percentage of the volume of droplets with a diameter less than 100 μm (% <100) thus increasing the drift potential. Using the AI nozzle, as well as for XR, all mixtures reduced the VMD and

except the 2,4-D (806 DMA[®] BR) in mixture with glyphosate (Glizmax[®]) increased the %<100. For the analysis of the drift index (ID) with the XR, all spray solutions resulted in increase of the ID. With the AI nozzle, the unique spray solution that reduced the drift was 2,4-D in tank mix with the adjuvant surfactant (Aterbane BR). The VMD and % <100 had strong correlations with the drift only for the XR nozzle.

Keywords: application technology, wind tunnel, adjuvants, glyphosate, diclosulam.

1 INTRODUÇÃO

O 2,4-D é um dos herbicidas mais utilizados em todo o mundo, foi introduzido comercialmente na década de 1940 e destacou-se por ser um dos primeiros produtos seletivos no mercado para o controle de espécies dicotiledôneas. Seu sucesso deve-se principalmente à sua alta eficácia, seletividade em gramíneas, sobretudo, atualmente ser uma opção economicamente viável para o controle de plantas resistentes a outros mecanismos de ação. Porém, apesar do 2,4-D estar no mercado há vários anos e ser amplamente utilizado na agricultura, ainda ocorrem questionamentos a respeito dos riscos durante a sua aplicação relacionados à deriva.

A deriva é um problema potencial em qualquer aplicação de defensivos agrícolas, embora, com consequências mais evidentes para herbicidas por ter seu efeito facilmente identificado em plantas sensíveis. Tratando-se do herbicida 2,4-D, são registrados inúmeros casos de danos ocasionados por sua deriva em culturas suscetíveis como, por exemplo, em videira, algodão e hortaliças. Mesmo quando aplicado em associação com outros produtos, os problemas de fitotoxicidade na maioria das vezes são atribuídos ao herbicida 2,4-D, que é detectado principalmente por seus sintomas bastante característicos, que se expressam mesmo que em baixas doses.

Com o advento da soja transgênica resistente ao herbicida glyphosate, conhecida comercialmente como soja Roundup Ready[®] (RR[®]), possibilitou-se o emprego do glyphosate após a emergência da cultura. Até então, na cultura da soja seu uso era restrito em dessecações em pré-semeadura ou pré-emergência. Essa tecnologia foi amplamente adotada nas lavouras brasileiras, o que fez crescer utilização do glyphosate.

Como consequência, gerou-se um cenário propício a seleção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate.

Frente a essa situação, o herbicida 2,4-D além de ser uma alternativa eficiente para o manejo dessa resistência, também se mostrou como uma opção viável. Utilizado na dessecação em pré-semeadura, por ter seletividade a espécies monocotiledôneas, é comum seu uso em mistura em tanque com outros herbicidas, principalmente os de manejo total da vegetação, como o glyphosate ou então com herbicidas pré-emergentes com efeito residual, como o diclosulam. Destaca-se também, que a mistura do 2,4-D com o glyphosate resulta em um efeito sinérgico no controle de algumas espécies de plantas daninhas, mesmo aquelas com resistência ao glyphosate.

A mistura em tanque é uma prática frequente e difundida em todo o mundo. Nas aplicações de herbicidas, a mistura de mecanismos de ação diferentes contribui para a redução da pressão de seleção de biótipos resistentes, sendo uma técnica essencial para esse manejo. Além da mistura em tanque envolvendo diferentes defensivos agrícolas, também é usual a mistura com adjuvantes objetivando a melhoria de alguma característica no processo de aplicação.

Quando são realizadas misturas, seja somente entre defensivos ou também envolvendo adjuvantes, podem ocorrer mudanças nas características físicas da calda, as quais nem sempre são possíveis de prever, assim como, pode haver interferência dessas alterações no processo de pulverização. As alterações nas características físicas da calda resultantes da mistura em tanque impactam diretamente na formação do espectro de gotas e no desempenho da pulverização.

Tendo em vista o impacto que as misturas em tanque podem causar no processo de pulverização, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D em combinações de mistura em tanque com os herbicidas glyphosate, diclosulam e adjuvantes, as quais foram pulverizadas com dois tipos de pontas de pulverização, sendo os objetivos específicos:

1. Caracterização do espectro de gotas, analisando as variáveis mais importantes para a ocorrência de deriva em cada situação de mistura;
2. Avaliação do potencial de deriva em condições controladas por meio de túnel de vento;
3. Correlacionar as diferentes variáveis estudadas, com o objetivo de verificar o principal fator influenciador da deriva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aplicação de defensivos agrícolas e deriva

Os defensivos agrícolas estão inseridos como parte integrante do manejo fitossanitário de culturas agrícolas e não-agrícolas que por meio de seu uso racional, junto com outras práticas, permite que as culturas expressem seu potencial produtivo, reduzindo custos e também contribuindo para a qualidade dos alimentos (BALAN et al., 2008; RAETANO, 2011). A principal função desses produtos é a proteção das culturas contra pragas, doenças ou plantas invasoras que venham comprometer seu pleno desenvolvimento (RAETANO, 2011). Por outro lado, segundo o mesmo autor, fatores como falta de conhecimento, abusos e negligências por parte dos usuários nas aplicações, juntamente com os riscos e a complexidade das relações dos produtos com o ambiente, demandam uma maior cautela quanto ao seu uso.

No ano de 2013, foram comercializados no Brasil em torno de 11,5 bilhões de dólares em defensivos, que equivaleram a 335 mil toneladas de produtos comerciais segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal (SINDIVEG, 2014). Segundo a mesma fonte, desse total comercializado o maior montante, cerca de 4,6 bilhões US\$ foram inseticidas, seguido dos herbicidas com 3,7 bilhões US\$, fungicidas com 2,6 bilhões US\$ e 0,7 bilhões com outras classes de produtos (Figura 1). Os herbicidas, apesar de serem o segundo maior mercado, tratando-se de quantidade bruta do produto comercial vendido, correspondem a maior parcela do

mercado, com 487 mil toneladas de produtos comercializados em 2013, equivalendo 54% do total (SINDIVEG, 2014).

Na maioria dos casos é dada muita importância ao defensivo e pouca a sua aplicação (BALAN et al., 2008). Embora as aplicações de defensivos muitas vezes atinjam seu efeito desejado, a não utilização da tecnologia ou de equipamentos adequados para a realização desta operação, acaba tornando-a ineficiente (CUNHA et al., 2004). De maneira abrangente, considera-se uma aplicação eficiente, aquela que usa o mínimo possível de produto para que se obtenha o controle desejado, com o mínimo de perdas (HEWITT, 2007). Diante deste contexto, a tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas, tem um conceito bastante semelhante, em que seu objetivo é o uso dos conhecimentos científicos para a colocação do ingrediente ativo no alvo, na quantidade necessária, de forma eficiente e economicamente viável, com o mínimo possível de contaminação ambiental (MATUO, 1990; MATTHEWS, 2002).

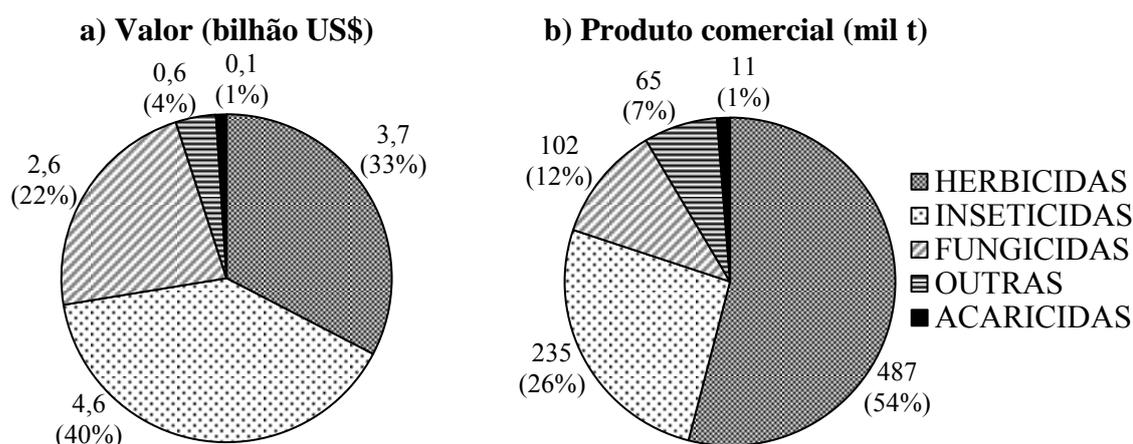


Figura 1. Vendas de defensivos agrícolas no Brasil para o ano 2013, segundo os valores (a) e a quantidade (b) (SINDIVEG, 2014).

A aplicação de defensivos pode ser realizada por diversas maneiras, Ramos e Pio (2008) agrupam em três formas, sendo elas, via sólida, via líquida e via gasosa. Os autores citam que a principal forma é a via líquida, que pode ser feita por meio de gotas, na forma de pulverização, por filete líquido (rega ou injeção) ou então através de gotas de tamanho bastante reduzido, método conhecido como nebulização. Dentre elas, a pulverização hidráulica, por meio de pontas, é a mais difundida devido a sua grande

versatilidade em diferentes condições de trabalho (OZKAN et al., 1993; TEIXEIRA, 1997).

O volume pulverizado durante uma aplicação apresenta um grande potencial de mobilidade no ar, que por um lado é o que justifica a própria técnica, por possibilitar distribuir o produto de maneira eficiente na lavoura e no dossel da cultura; por outro lado, essa mesma mobilidade quando fora de controle pode resultar em grandes perdas. Além de diminuir ou eliminar completamente a eficiência do produto resultando em prejuízos agrônômicos e econômicos, essas perdas também geram impactos pela contaminação ambiental.

Contudo, criou-se o conceito de deriva, definida de maneira genérica como a calda que é pulverizada e que não atinge o alvo desejado, podendo ser pela ação do vento, por evaporação (MATUO, 1990; CHRISTOFOLETTI, 1999; MILLER 2004) ou por escorrimento do produto ao atingir a superfície do alvo (ANTUNIASSI, 2009). Didaticamente a deriva pode ser subdividida em dois tipos, a endoderiva que são as perdas do produto dentro da área alvo, como exemplo, escorrimento do produto ao atingir o alvo; e a exoderiva que são as perdas da pulverização para fora da área de domínio do alvo, como exemplo, carregamento de gotas pequenas pela ação do vento ou evaporação (HIMEL, 1974).

Há diversas variáveis que podem afetar as perdas por deriva diretamente ou indiretamente. Para facilitar sua compreensão, essas variáveis podem ser agrupadas em categorias sendo elas o equipamento e as técnicas de aplicação; características do espectro de gotas; habilidades e cuidados do operador; além das condições climáticas (ARVIDSSON et al., 2011). Também pode-se incluir as características do local de aplicação (DE SCHAMPHELEIRE et al., 2008). Dentre esses fatores, Ozkan (1998) cita que a condição climática é o que tem maior impacto sobre a deriva. Agravando a situação quando a pulverização é feita por meio de gotas menores, que devido a sua massa e volume reduzido, são mais sensíveis ao carregamento pela ação do vento e a evaporação antes de atingir o alvo, devido à ação de altas temperaturas e (ou) baixa umidade relativa do ar (OERKE, 2005; HEWITT, 2007).

Quando a aplicação é feita em condições climáticas favoráveis, gotas com diâmetros menores aumentam a cobertura do alvo (MATTHEWS, 2000) que aliada à sua distribuição no dossel da cultura e à quantidade de produto que permanece efetivamente depositada no alvo, são elementos usados como indicativos da qualidade na

aplicação. Tratando-se de culturas com grande volume foliar, em que as folhas mais baixas ficam cobertas pelas folhas superiores do dossel, as gotas menores por serem transportadas com mais facilidade pelas correntes de ar, tem maior capacidade de atingir as folhas dos terços inferiores das plantas (MATTHEWS, 2000).

Para que se tenha sucesso em uma aplicação, deve-se levar em consideração além do alvo, o produto que será aplicado. Portanto, é importante conhecer o modo de ação do produto na planta para a escolha de um melhor nível de cobertura e penetração no dossel, que se dá principalmente pelo tamanho de gotas e pela taxa de aplicação, juntamente com condições de baixo potencial de deriva. Alguns defensivos são mais dependentes de uma maior cobertura e distribuição no dossel da cultura para atingir o efeito desejado, como grande parte dos fungicidas e herbicidas foliares (HEWITT, 2007).

Tratando-se de herbicidas, considerando apenas aqueles indicados para aplicações em pós-emergência das plantas alvo, de acordo com o modo de ação do produto, os efeitos fitotóxicos podem ocorrer de duas maneiras, que dependendo da translocação do produto dentro da planta, são classificados como produtos de contato ou sistêmico (DURIGAN; CORREIA, 2008). Os autores descrevem, que os herbicidas de contato têm seu efeito expressado nas primeiras camadas de células em que são absorvidos na planta, como exemplo o paraquat. Os mesmos autores explicam que de maneira diferente, os herbicidas sistêmicos têm sua ação em diferentes locais da planta, não somente onde ocorreu o primeiro contato. Como exemplo, os autores citam que estes produtos são absorvidos pelas folhas e translocados através do xilema até outras regiões onde terão ação.

Contudo, produtos com ação de contato necessitam de técnicas que aumentem a distribuição da pulverização na planta, gerando uma maior cobertura. A forma mais eficiente de se atingir esse objetivo é com o uso de gotas menores. Isso implica em um maior potencial de deriva, limitando a aplicação a condições climáticas mais específicas, principalmente tratando-se de temperatura e umidade relativa do ar, conforme descreve Antuniassi (2009). No caso de produtos sistêmicos, os níveis de cobertura para que o produto tenha eficiência, são menores em relação a produtos de contato. A vantagem é que existe possibilidade de usar gotas maiores sem comprometer o sucesso da aplicação, o que automaticamente contribuirá para reduzir o potencial de deriva. Como exemplo os

herbicidas glyphosate e o 2,4-D, ambos têm ação sistêmica conhecida, que permite a utilização de gotas maiores.

2.2 O herbicida 2,4-D

O 2,4-D é um herbicida pertencente ao grupo das auxinas sintéticas ou também chamado de mimetizadores de auxinas, que revolucionou o controle de espécies dicotiledôneas em cereais na década de 1940, sendo o primeiro herbicida seletivo introduzido no mercado com sucesso, usado até a atualidade (GROVER et al., 1972; INDUSTRY TASK.FORCE II, 2000; VARGAS; ROMAN, 2006; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Estando dentre os herbicidas mais utilizados, seu sucesso deve-se principalmente à sua alta eficácia, seletividade em gramíneas e também por ser uma opção para o controle de plantas resistentes a outros herbicidas como o glyphosate, além de ser uma alternativa economicamente viável com boa relação custo benefício (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007).

O modo de ação do 2,4-D envolve mudanças metabólicas e bioquímicas na planta agindo nos sistemas enzimáticos carboximetil celulase e RNA polimerase, que influenciam na plasticidade da membrana celular e o metabolismo de ácidos nucléicos (VARGAS; ROMAN, 2006; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Os principais sintomas provocados em plantas dicotiledôneas sob o efeito deste herbicida são a epinastia, tumores no meristema intercalar, formação de raízes aéreas, multiplicação e engrossamento das raízes, rachaduras nas raízes e caules, formação de gemas múltiplas e hipertrofia das raízes laterais, sendo que a morte da planta ocorre lentamente podendo chegar a cinco semanas após a aplicação (VARGAS; ROMAN, 2006; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O 2,4-D é utilizado principalmente nas culturas de arroz, milho e cana-de-açúcar (INDUSTRY TASK.FORCE II, 2000; VARGAS; ROMAN, 2006) e na cultura da soja e milho em sistema de plantio direto para a dessecação em pré-semeadura, entretanto, quando aplicado em pré-semeadura para estas culturas, por ter seu espectro de ação restrito a espécies dicotiledôneas, geralmente é aplicado em mistura com outros herbicidas de manejo total da vegetação, como o glyphosate (CHRISTOFOLLETI et al., 2001; VARGAS et al., 2007). Vieira et al., (1999) também citam o emprego do 2,4-D para o controle de plantas daninhas em acostamentos de estradas, ferrovias e linhas de transmissão de energia.

Existem vários estudos que comprovam a eficácia do herbicida 2,4-D no controle de plantas daninhas, com destaque para aquelas resistentes a outros

herbicidas, como exemplo cita-se sua aplicação em plantas resistentes aos inibidores da ALS, como no caso da *Euphorbia heterophylla* (amendoim bravo), ou então com resistências múltiplas aos inibidores da ALS e da PROTOX também em *E. heterophylla* (TREZZI et al., 2005; VIDAL; MEROTTO JR., 1999). Outra aplicação é no manejo de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, como a *Conyza bonariensis* (buva), em que o 2,4-D é utilizado como uma alternativa viável em seu controle (VARGAS; ROMAN, 2006).

O 2,4-D pode ser produzido nas formulações éster ou amina (GROVER et al., 1972), no entanto, a formulação éster apesar de mais eficaz, não é mais comercializada no Brasil devido a sua alta volatilidade (INDUSTRY TASK.FORCE II, 2000; VARGAS; ROMAN, 2006). Além dessas duas formulações, há uma terceira desenvolvida recentemente, a formulação colina, um sal de amônia quaternária, ainda não disponível comercialmente no Brasil, tem como diferencial o maior potencial na redução do percentual de gotas mais finas, volatilidade e odor, quando comparada as demais formulações (SOSNOSKIE et al., 2015). Legalmente no Brasil, o 2,4-D é permitido para aplicações em pós-emergência das plantas infestantes das culturas do arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, centeio, cevada, milho, soja, sorgo e trigo, além de pastagens (AGROFIT, 2013).

Com o número crescente de plantas daninhas resistentes a um ou mais mecanismos de ação, o herbicida 2,4-D é uma ferramenta importante no manejo dessa resistência. No Brasil em especial, já foram registradas 34 casos de espécies de plantas daninhas apresentando alguma resistência a herbicidas, desse total, 22 casos (65%) estão relacionadas aos herbicidas inibidores da ALS ou inibidores da EPSPS (THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS; 2015). Para ambos os casos de resistência, o herbicida 2,4-D já foi citado como alternativa eficiente.

Uma nova tecnologia relacionada ao herbicida 2,4-D é a soja geneticamente modificada resistente aos herbicidas 2,4-D e glufosinato de amônia, apesar de ainda não disponível, mas já está liberada para a comercialização no Brasil pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) registrada com o nome comercial Enlist (Dow AgroSciences). Essa nova tecnologia permitirá a aplicação do herbicida 2,4-D em pós-emergência da cultura da soja nas variedades que contenham o gene de tolerância, o que provavelmente impulsionará o aumento do uso do 2,4-D nas lavouras Brasileiras.

Contudo, mesmo o 2,4-D estando no mercado há vários anos, ainda ocorrem questionamentos a respeito dos riscos de sua aplicação, principalmente relacionado à deriva em culturas susceptíveis, havendo assim a necessidade de se explorar melhor este assunto por meio de estudos em suas possíveis condições de uso.

2.3 O herbicida 2,4-D e deriva

A deriva é um problema potencial em qualquer aplicação de defensivos, porém, com consequências mais evidentes para herbicidas, que na maioria dos casos tem seu efeito visualmente perceptível em plantas sensíveis. Tratando-se do herbicida 2,4-D, são registrados inúmeros casos de danos ocasionados por sua deriva em culturas como videira, algodão e hortaliças (GAZZIERO et al., 2000). Um exemplo é no estado do Paraná, onde pomares de uva estão inseridos em regiões de produção de grãos, onde constantemente são empregados herbicidas no controle de plantas daninhas (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007).

Neste quesito, o 2,4-D apesar de ser amplamente utilizado na agricultura, ainda há dúvidas em relação ao seu risco ao meio ambiente (SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2011). Mesmo quando aplicado em associação com outros produtos, os problemas de fitotoxicidade na maioria das vezes estão ligados ao herbicida 2,4-D, que é detectado principalmente por seus sintomas bastante característicos (COSTA, 2006).

Parte dessa preocupação é decorrente dos seus efeitos ocorrerem em doses baixas. Hemphill; Montgomery, (1981); Gilreath; Chase; Locascio, (2001) demonstram isso em estudo, o qual os autores verificaram que para que ocorra os efeitos fitotóxicos do 2,4-D (sal de dimetilamina) em culturas susceptíveis, as doses necessárias são da ordem de 1×10^{-3} em relação a dose recomendada para o controle. Há outros estudos que demonstra o efeito de sub doses do 2,4-D em culturas específicas, citando os possíveis danos, como em videiras (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007), algodão (CONSTANTIN et al., 2007), fumo (CONSTANTIN et al., 2003) e mamona (SEVERINO et al., 2004). Entretanto, ainda são poucos os trabalhos que demonstram a dimensão dos possíveis danos que este herbicida pode causar às culturas sensíveis (CONSTANTIN et al., 2007), isso se deve pela complexidade e pelos inúmeros fatores que podem estar envolvidos na deriva e seus possíveis efeitos fitotóxicos.

Sabe-se que a formulação tem impacto no potencial de deriva. No caso do 2,4-D a forma éster, tem maior volatilidade comparada à amina (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Grover et al., (1972) demonstram a diferença de volatilidade em um estudo em condições de campo, avaliando o 2,4-D nas formulações éster butílico e dimetilamina. Os autores constataram que, quando analisada apenas a deriva na forma de gotas, os valores foram entre 3% a 4% do volume total aplicado, não havendo diferenças para as duas formulações. Quando analisada a deriva na forma de vapor, para a formulação a base de dimetilamina, não foi constatada quantidades significantes de deriva, enquanto com a formulação a base de éster butílico as quantidades variaram entre 20% e 30% do total aplicado, após 30 minutos da pulverização do produto.

Devido à formulação éster não estar disponível atualmente no Brasil em aplicações de 2,4-D, os determinantes para a deriva estão relacionados às condições de aplicação inadequada, havendo estudos específicos para o 2,4-D que demonstram os efeitos dessas condições. Em um deles, sobre o efeito de pontas de pulverização e pressão de trabalho na aplicação de 2,4-D em mistura com glyphosate, foi constatado que o uso de menores pressões e da ponta de indução de ar AI 11002 contribui significativamente para a redução da deriva, já a ponta jato cônico TX-10 resultou em maiores níveis de deriva (COSTA et al., 2012). Em outro estudo, em que foi avaliado o efeito de adjuvantes sobre a mistura de 2,4-D e glyphosate na deriva, verificou-se que o adjuvante a base de óleo mineral e o adjuvante agente antideriva que é à base de hidroxipropil guar e alquil poliglicosídeo, foram os que mais contribuíram para a redução no risco de deriva (COSTA et al., 2014).

Dessa forma, por apresentar seu potencial de danos ligado principalmente à condição de aplicação, estes devem ser considerados e avaliados para uma pulverização segura, como clima, distâncias de culturas sensíveis da área alvo e as técnicas de aplicações (COSTA et al., 2014). A escolha da técnica correta pode reduzir significativamente a quantidade de produto que é perdida por deriva, sendo importante que se faça mais estudos a fim de buscar técnicas mais seguras, principalmente para misturas em tanque (GANDOLFO et al., 2012).

2.4 Técnicas para redução da deriva (TRD)

Em aplicações de defensivos, por apresentar o risco de impactar negativamente em todo o ambiente, é importante que haja preocupação sobre as perdas por deriva com o objetivo de reduzi-las, o que consequentemente irá contribuir para o aumento da eficiência do processo (OERKE, 2005). O conceito de técnicas de redução de deriva (TRD) visa à combinação de elementos com o objetivo de minimizar as perdas por deriva, como exemplo, cita-se o uso de pontas de indução de ar (que oferecem menor risco de deriva comparada a uma ponta convencional) ou então o emprego de adjuvantes em misturas em tanque, que apresentem alguma ação na redução desse potencial (CARVALHO et al., 2011; ANTUNIASSI, 2013). Novos equipamentos e técnicas de aplicação vêm sendo desenvolvidas durante décadas para reduzir as contaminações ambientais, bem como a minimização dos riscos de deriva (OERKE, 2005).

Seguindo o conceito de TRD's, Carvalho et al., (2011), utilizaram um ranking de classificação da deriva na tomada de decisão em relação à técnica mais eficiente para essa finalidade. Segundo os autores, nessa metodologia a classificação é feita com resultados obtidos em túnel de vento, comparando as diferentes técnicas propostas, com uma técnica padrão, que será o referencial. Os autores concluem que o túnel de vento é bastante eficiente em estudos de técnicas de redução de deriva, pois cria uma condição controlada, proporcionando um ambiente homogêneo para a comparação das diferentes propostas.

Para o emprego dos conceitos de TRD, no entanto, deve-se levar em consideração os princípios básicos para a realização de uma aplicação de defensivos. Antuniassi (2013) descreve que para haver sucesso em uma aplicação, é necessário que se utilize uma técnica de aplicação mais adequada que é definida primeiramente pela escolha do tamanho de gotas e taxa de aplicação. Para a definição de cada um desses elementos, o autor cita que é necessário observar qual é o alvo que se pretende atingir com pulverização, parâmetros operacionais, momento da pulverização, condições climáticas e recomendações agronômicas.

As condições climáticas e a proximidade de áreas sensíveis, apesar de estarem fora do controle do aplicador, são fatores chave para a tomada de ações que visem reduzir riscos. Segundo Ozkan (1998), é recomendado realizar aplicações somente em condições em que a umidade relativa do ar esteja acima de 55%, temperatura do ar abaixo de 30° C e ventos variando entre 3 e 10 km h⁻¹. Devem-se evitar temperaturas inferiores a 15° C, devido a menor atividade fisiológica das plantas; reduzindo a absorção

de produtos que apresentam algum grau de instabilidade física ou química (AZEVEDO; FREIRE, 2006). Também não são recomendadas aplicações na ausência de ventos por haver a probabilidade da ocorrência de inversão térmica e corrente de ar convectiva, o que conseqüentemente dificultaria a deposição das gotas pulverizadas (MATTHEWS, 2000). Antuniassi (2009) estabelece os limites para a pulverização de acordo com as classes de gotas, em que gotas com diâmetros mais elevados suportam mais os aumentos de temperatura e as diminuições na umidade relativa do ar.

Dentre os elementos básicos da técnica de aplicação e passíveis do controle do aplicador, os fatores operacionais tem grande importância no risco de deriva. Nesse sentido, a altura e grau oscilação da barra, velocidade de trabalho, que são características intrínsecas em qualquer aplicação com pulverizadores de barra, ou técnicas adicionais como a utilização de barra protegida e assistência de ar.

Miller et al., (2011), citam a importância das condições operacionais em um estudo avaliando o risco de deriva de pontas de jato plano de ângulos 60°, 80° e 110° em diferentes alturas de aplicação. Foi constatado que quanto menor o ângulo de aplicação da ponta, maior o tamanho de gotas formado, resultando em um menor risco de deriva. Além disso, quanto maior a altura da barra e maior o ângulo da ponta de pulverização, o potencial de deriva é maior, devido ao tamanho de gotas menores e a maior exposição dessas gotas até atingirem o alvo. Segundo os mesmos autores, o uso de alturas de barras menores ou o uso de pontas com menor ângulo de aplicação contribuem para a diminuição desse risco.

O espectro de gotas também se enquadra como um elemento operacional e passível de controle do aplicador, citado muitas vezes como um dos mais importantes para o controle da deriva, também um dos mais explorado para a redução desse problema. Desta maneira, mudanças nas características físicas da calda (uso de diferentes formulações, adjuvantes e alterações nas concentrações da calda) ou nos mecanismos de pulverização como modelo de ponta de pulverização e pressão de trabalho, influenciam na deriva principalmente por mudar o espectro de gotas. O padrão de gotas adequado é descrito como aquele que proporciona o máximo controle, com a menor quantidade possível de produto e causando o mínimo de contaminação ambiental (HIMEL, 1969).

Segundo Matthews (2000) as principais variáveis que são utilizadas para caracterizar o espectro de gotas é o diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude

relativa (AR) e percentual do volume de gotas com diâmetro inferior a 100 μm ($\%<100$). O mesmo autor explica que o DMV é representado pelo diâmetro de gotas que separa o volume total de gotas pulverizadas, ordenadas de maneira crescente, em dois volumes iguais; a amplitude relativa é um coeficiente utilizado para medir a uniformidade do espectro de gotas, em que quanto mais uniforme, menor o valor de AR; por último, o $\%<100$ está relacionado com o percentual do volume de gotas do total pulverizado, com o diâmetro inferior a 100 μm .

Para a alteração do padrão de gotas por meio de pontas de pulverização há disponível no mercado uma ampla gama de modelos, destinadas a diferentes usos, bem como, condições operacionais (SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2011). Quando o objetivo é a redução do potencial de deriva, os modelos de pontas projetados especialmente para esta finalidade são conhecidos como antideriva ou de deriva reduzida, representando um grande avanço na tecnologia de aplicação, tendo como principais características o aumento do diâmetro mediano volumétrico (DMV) e a diminuição da porcentagem de gotas com diâmetro inferior a 100 μm (BOLLER; RAETANO, 2011). Segundo os mesmos autores, os principais modelos para esse propósito são as de pré-orifício, as de câmara de turbilhonamento e as de indução de ar.

As pontas de pré-orifício foram as primeiras pontas desenvolvidas com o objetivo de redução da deriva (MASIÁ; CID, 2010). Segundo os mesmos autores, essas apresentam um perfil de gotas finas a grossa, em que a diferença entre a ponta de pré-orifício com as pontas convencionais está em uma pré-câmara posicionada antes do orifício de saída de líquido. O pré-orifício reduz a velocidade do líquido o que conseqüentemente cria uma condição para a formação de gotas maiores, além de reduzir a porcentagem de gotas com diâmetro menores que 200 μm , entre 50 e 80% em comparação a uma ponta de jato plano convencional, operada nas mesmas condições de pressão (BOLLER; RAETANO, 2011). O reflexo na redução de deriva com o emprego de pontas com pré-orifício, em detrimento das pontas de jato plano convencional, chega a 50% de acordo com Arvidsson et al. (2011).

Segundo Boller; Raetano (2011) as pontas com câmara de turbilhonamento são um híbrido entre as pontas jato plano convencional e as pontas de impacto, em que há uma câmara de turbilhonamento que antecede a saída do jato na ponta de impacto, unindo as vantagens das duas pontas, o que confere gotas com tamanhos

maiores e também um padrão de distribuição mais uniforme em comparação com as demais pontas.

Os modelos de pontas com indução de ar são as mais conhecidas com a finalidade de redução do potencial de deriva, havendo vários trabalhos que comprovam sua eficiência neste quesito (DERKSEN et al., 1999; FIETSAM; YOUNG; STEFFEN, 2004; BALAN et al., 2008; COSTA et al., 2012; CHECHETTO et al., 2013a; MOTA; ANTUNIASSI, 2013) sendo esses estudos em diversas condições, como ensaios comparativos em túnel de vento, em campo ou por meio da análise do espectro de gotas. O funcionamento das pontas de indução de ar segue o princípio de um tubo de Venturi (BUTLER ELLIS et al., 2002) em que bolhas de ar são incorporadas na calda através de orifícios que dão passagem ao ar atmosférico até uma câmara de mistura antes do orifício de saída de líquido, isto faz com que as gotas pulverizadas tenham bolhas de ar em seu interior (FAGGION, 2008). Esse mecanismo contribui para a formação de gotas maiores e a diminuição da porcentagem de gotas mais susceptíveis a deriva (MATTHEWS, 2008). No caso das pontas de indução de ar, a redução na deriva é de 70% a 90% comparado a uma ponta jato plano convencional (ARVIDSSON; BERGSTRÖM; KREUGER, 2011).

As alterações nas características físicas na calda podem resultar em mudanças no espectro de gotas que quando feitas de maneira consciente contribuem para que se obtenha espectro apropriado. As principais propriedades físicas do líquido que interferem no espectro de gotas são as viscosidades de cisalhamento e extensional, tensão superficial e a presença de partículas não homogêneas na calda, como em emulsões ou partículas sólidas (OERKE, 2005). O uso de adjuvantes é um dos meios de se promover essas alterações. Segundo Spanoghe et al., (2007), os adjuvantes apresentam a capacidade de alterar o espectro de gotas que conseqüentemente interferem no risco de deriva, podendo ser positivamente ou negativamente, fato confirmado em vários estudos, tanto em condição de laboratório quanto em campo (MOREIRA JUNIOR, 2009; GANDOLFO et al., 2012; CARVALHO, 2013; MOTA; ANTUNIASSI, 2013; OLIVEIRA et al., 2013). Alguns desses produtos são concebidos especificamente para aumentar o tamanho de gotas e (ou) reduzir o percentual de gotas menores, os quais recebem a denominação de antideriva, mas também adjuvantes designados para outras finalidades podem interferir nessas características.

Alterações na concentração da calda, feitas principalmente para atender demandas relacionadas a taxa de aplicação, também implicam em mudanças em

suas características físicas. A adoção de menores taxas vem se tornando gradativamente comum, tendo por vantagem o aumento da eficiência operacional, que resulta em menores custos de produção e em muitos casos permite que se trabalhe nos horários com condições climáticas mais propícias à pulverização (BOLLER; MACHRY, 2007; SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2012). Por outro lado, por ter impacto nas características físicas da calda, quando se reduz a taxa de aplicação é necessário que se aperfeiçoe a tecnologia de aplicação, a fim de assegurar a eficiência do processo (SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2012).

Em estudo sobre a eficiência e a deposição do herbicida 2,4-D em duas taxas de aplicação (80 e 130 L ha⁻¹) e utilizando três modelos de pontas de pulverização com diferentes espectros de gotas, foi verificado que a menor taxa proporcionou o maior valor de depósito em plantas daninhas (SOUZA; CUNHA; PAVANIN, 2011). Ainda no mesmo estudo, a maior taxa resultou nos maiores valores de depósitos dos alvos artificiais (lâminas de vidro) colocados sobre o solo, que serviram como referência para estimar perdas por endoderiva para o solo. Segundo os autores houve diferenças entre as pontas de pulverização, aquelas com menor tamanho de gotas ocasionaram os maiores depósitos nas plantas daninhas e menores depósitos sobre as lâminas de vidro no solo. Contudo, não houve diferenças de eficiência, os autores concluíram que esse fato pode ser explicado devido às doses recomendadas de defensivos serem acima do que realmente é necessário.

Apesar de ser reconhecida a influência das propriedades físico-químicas sobre a deriva, a maioria dos estudos não levam em consideração estes parâmetros, não dando a devida importância, provavelmente pelo fato da natureza complexa dessas influências (HEWITT, 2007; DE SCHAMPHELEIRE et al., 2008). Os mesmos autores citam que quando são consideradas essas características nos estudos, a maioria deles utilizam soluções contendo apenas adjuvantes, que apesar dos resultados serem aceitos, o que determina efetivamente o risco de deriva são as misturas completas, incluindo o defensivo em questão.

2.5 Mistura em tanque

A mistura em tanque, segundo a legislação brasileira tratada no decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002 é definida como a “associação de agrotóxicos e

afins no tanque do equipamento aplicador, imediatamente antes da aplicação”. Em relação às responsabilidades desta prática no Brasil, Kagi (2013) cita uma análise jurídica encomendada pela AENDA (Associação Brasileira dos Defensivos Genéricos) sobre a legislação a respeito do assunto. Nesta análise a interpretação dada sobre a legislação quanto à legalidade e a responsabilidade desta atividade, foi que:

- O agricultor: Pode realizar a mistura sob sua responsabilidade;
- Profissionais legalmente habilitados: Não podem indicar a mistura se a mesma não for indicada pelo registrante;
- Empresas registrantes: Só poderão indicar a mistura em tanque em seus rótulos e bulas se essa mistura já estiver sido registrada;
- Entes fiscalizadores: Deve coibir qualquer desvio de conduta que não esteja em conformidade com os itens acima.

Esta é uma prática difundida com êxito em todo o mundo, que proporciona redução dos custos de produção, aumenta o espectro de controle do defensivo, reduzindo a contaminação ambiental e o tempo de exposição dos trabalhadores a estes produtos (KAGI, 2013). Em uma mesma operação o agricultor utiliza dois ou mais produtos com finalidades diferentes, no intuito de otimizar o processo, como exemplo o uso de fungicida e inseticida aplicados em mistura.

Também é comum a mistura de produtos com a mesma finalidade, como ocorre muitas vezes em aplicações de herbicidas. Essa prática tem por objetivo aumentar o espectro de ação no controle de plantas daninhas, assim as limitações de um herbicida, são supridas por outro aplicado em mistura. Outra vantagem dessa prática, segundo Alonso et al., (2013) é que a mistura de herbicidas de mecanismos de ação diferentes, contribui para a redução da pressão de seleção de biótipos resistentes, sendo uma prática importante para este manejo.

Os efeitos de misturas em tanque devem ser avaliados previamente, para assegurar o sucesso da aplicação que segundo Lich et al., (1997) pode resultar em três possibilidades de eficiência, se a mistura tiver um efeito menor que o esperado, esta é uma mistura antagônica; quando a mistura expressa seu espectro de ação esperado é chamada de aditiva; por último, se ocorrer um efeito melhor que o esperado, ou seja, um herbicida melhora a ação do outro, esta é uma mistura sinérgica.

Com o advento da soja transgênica resistente ao herbicida glyphosate, conhecida comercialmente como soja Roundup Ready[®] (RR[®]), agricultores e

técnicos acreditavam que devido ao glyphosate apresentar diversas vantagens no manejo de plantas daninhas, tais elas como ação em pós-emergência tanto inicial quanto tardia, alta sistematicidade e amplo espectro de ação, esse sistema poderia ser a solução no manejo de plantas daninhas nessa cultura (PROCÓPIO et al., 2007). No entanto, o uso de um mesmo herbicida durante vários anos pode resultar na seleção de plantas daninhas resistentes a esse herbicida aumentando sua importância na área (RAMOS; DURIGAN, 1996). Contudo, com o sistema de produção da soja RR[®] criou-se um cenário propício para a seleção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, o que gerou grandes modificações no controle químico de plantas daninhas (GAZZIERO et al., 2006).

Diante desse contexto, o herbicida 2,4-D aplicado em mistura em tanque com o glyphosate torna-se uma ferramenta importante no manejo da resistência de plantas daninhas para a cultura da soja RR[®], isso porque quando feita a aplicação desses dois produtos em misturas pode ocorrer um efeito sinérgico no controle de várias espécies de plantas daninhas, tendo trabalhos na literatura confirmando esse efeito, como exemplo para *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* (MOREIRA et al., 2007; NICOLAI et al., 2010) e *Commelina virginica* (RAMOS; DURIGAN, 1996).

A mistura de 2,4-D com glyphosate e mais um herbicida de efeito residual, como exemplo o diclosulam também é utilizada com frequência. Nesse sentido, Minozzi; Monquero; Pereira (2014) demonstram em estudo para a cultura da soja, que os melhores níveis de controle das plantas infestantes foram obtidos com os tratamentos contendo as misturas em tanque de 2,4-D com glyphosate e mais um herbicida residual, dentre eles o diclosulam, aplicados na dessecação em pré-semeadura da cultura e outra aplicação de glyphosate após a emergência da soja.

Além dos efeitos biológicos das misturas, há também alterações químicas e físicas na calda que podem impactar diretamente na formação do espectro de gotas e no desempenho da pulverização, em alguns casos podendo mudar a classificação do espectro de gotas (HEWITT, 2007). Segundo Petter et al., (2013) as alterações físicas que podem ocorrer estão associadas aos ingredientes inertes contidos nos defensivos, já as eventuais alterações químicas, estão ligadas à molécula dos defensivos. O mesmo autor cita que as primeiras interações que ocorrem em misturas em tanque são nas características físico-químicas, sendo elas, a solubilidade, constante de ionização (pKa), coeficiente de partição octanol-água (Kow).

Gandolfo et al., (2012) demonstraram os efeitos da mistura em tanque na deriva por carregamento de gotas em túnel de vento com herbicidas 2,4-D e glyphosate. Os autores constataram que há um aumento na deriva quando os mesmos são aplicados em mistura, comparado com a aplicação isolada de ambos. No mesmo estudo os autores verificaram que o uso do adjuvante a base de fosfatidilcoline + ácido propiônico em mistura com 2,4-D e glyphosate reduziu a deriva nos alvos colocados a 5 m de distância da pulverização. Sendo assim, é de grande importância a avaliação dos riscos da aplicação relacionados à deriva, para as misturas do herbicida 2,4-D principalmente com glyphosate, por se tratar de uma opção importante no manejo da resistência de plantas daninhas nos sistemas de produção com soja RR[®].

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O estudo foi realizado no Laboratório de Máquinas para Pulverização do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas (NEMPA) na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, em Botucatu – SP, e no Laboratório de Análise do Tamanho de Partícula (LAPAR), localizado no Departamento de Fitossanidade da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal – SP.

3.2 Avaliação do potencial de deriva

O potencial de deriva foi estimado por meio de um túnel de vento, em que uma corrente de ar incide sobre a pulverização e a deriva é capturada em alvos artificiais (fios de nylon) distribuídos ao longo da seção de testes. O túnel de vento utilizado (Figura 2) segue o princípio de funcionamento proposto por Moreira Junior (2009), porém, neste modelo com diferentes dimensões e adaptações para facilitar a retirada dos coletores. Neste modelo de túnel o circuito é aberto, ou seja, não há recirculação do ar como acontece nos túneis de circuito fechado, e a sessão de testes fechada.

A ponta de pulverização fica posicionada dentro do túnel, em uma posição central em relação a sua largura, a 1,5 m de distância em relação à entrada de ar e a uma altura de 0,4 m em relação ao piso do túnel. As dimensões totais do túnel são de 1,0 m

de largura, 0,7 m de altura, seção de testes 5,2 m de comprimento e no total de 6,3 m de comprimento. Foram utilizados fios de nylon de 2 mm de diâmetro como alvos artificiais para a coleta da deriva, posicionados na horizontal e perpendicular ao sentido de deslocamento do vento, colocados em estruturas em forma de gavetas, o que facilita a colocação e a retirada dos fios entre cada repetição. No total foram utilizados sete fios para cada repetição, estando distribuídos em 4 gavetas, posicionadas a 1,5 m; 2,0 m; 2,5 m e 3,0 m em relação a ponta de pulverização (Figura 3).

Os ensaios foram realizados com uma velocidade de vento de $2,5 \text{ m s}^{-1}$, que foi alcançada por meio do ajuste da rotação do ventilador. Em todas as repetições a velocidade do vento foi monitorada em tempo real, utilizando-se um anemômetro digital tipo ventoinha (Marca Minipa, modelo MDA 11). O anemômetro ficou posicionado no interior do túnel de vento, entre a saída de ar e a ponta de pulverização, conforme ilustrado na Figura 3. Também foram monitoradas a temperatura e a umidade relativa do ar, utilizando-se um termo higrômetro digital portátil Minipa, modelo MTH 1362W posicionado fora do túnel de vento, próximo ao ventilador onde ocorre a entrada de ar dentro do túnel.



Figura 2. Túnel de vento utilizado para as análises de deriva.

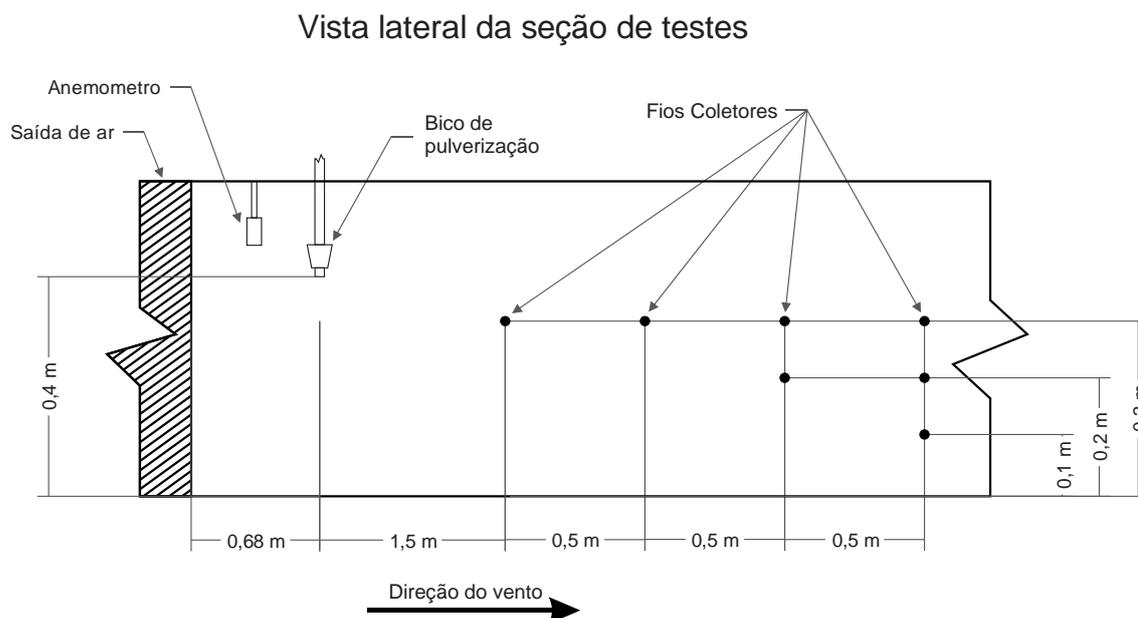


Figura 3. Esquema da seção de testes do túnel de vento com as dimensões e posicionamento de cada componente.

Como traçador em todas as caldas foi acrescentado o corante Azul Brillhante FCF – INS 133 (International Numbering System for Food Additives) ou também conhecido por sua identificação norte-americana como FD&C Blue n.1 (Food, Drug & Cosmetic). No Brasil a ANVISA (Agencia Nacional de Vigilância Sanitária), cita este corante utilizando a identificação do Sistema Internacional de Numeração (INS). A dose utilizada foi de 6 g L^{-1} , diluída em água previamente antes da mistura na calda.

Esse corante foi selecionado, por apresentar características desejáveis como traçador, sendo elas, a estabilidade; ser atóxico; baixo custo para a compra e análise, a qual é feita em espectrofotômetro além de ter baixa interferência nas características físicas da calda (MARCHI et al., 2005). Também apresenta baixa foto degradação, podendo ficar exposto por até 8 horas sem que haja perdas (PALLADINI, 2000). Existem vários estudos na área de tecnologia de aplicação em que foram utilizados este corante com a finalidade de traçador (TOFOLI, 2001; CARVALHO, 2013; CHECHETTO et al., 2013a; MOREIRA JUNIOR, 2009; NEGRISOLI et al., 2002; OLIVEIRA, 2011)

Para a pulverização foi utilizado um sistema composto por um reservatório, com volume de 8 litros pressurizado por um cilindro contendo CO_2 . A

pressão de trabalho foi regulada por meio de uma válvula reguladora de pressão na saída do cilindro de CO₂ e monitorada por um manômetro instalado próximo a ponta de pulverização. A abertura e o fechamento da pulverização foram feitos manualmente por uma válvula tipo esfera. Cada repetição foi caracterizada pela pulverização dos tratamentos por 20 segundos, essa pulverização foi feita após o ventilador ser ligado e o fluxo de ar ser estabilizado dentro do túnel, para isso, depois de ligado o ventilador, aguardava-se 25 segundos antes de iniciar cada pulverização.

Após cada repetição, os fios foram coletados e armazenados em sacos plásticos, para posterior extração do corante. Também foi coletada uma amostra de cerca de 250 mL de cada calda, que foi usado posteriormente como referencial nos cálculos de estimativa de corante em cada fio por meio de curvas padrão. Para cada repetição foram utilizados fios novos, assegurando que não houvesse resíduos de corante de tratamentos anteriores. A deriva coletada nos fios de nylon foi extraída através da lavagem com uma quantidade pré-determinada de água deionizada. Para isso acrescentava-se essa quantidade de água dentro dos sacos plásticos, inflava-os com ar (com o auxílio de um secador de cabelo comum, sem que fosse acionado o aquecimento, apenas insuflando o ar ambiente) e agitava-se por 15 segundos, os líquidos resultantes da lavagem de cada fio foram colocados individualmente em tubos de ensaio e imediatamente submetidos à análise em um espectrofotômetro (Figura 4).



Figura 4. Espectrofotômetro utilizado para as análises da deriva coletada em fios de nylon no túnel de vento.

O espectrofotômetro utilizado foi da marca Shimadzu modelo UV-2600, que lê as faixas de comprimento de onda entre 185 nm a 900 nm e faixa de absorvância entre -5 abs a 5 abs com precisão de 0,00001. O equipamento foi ajustado para ler o comprimento de onda de 630 nm que corresponde à faixa espectral do corante.

A quantidade de água para a lavagem dos fios variou conforme o modelo da ponta de pulverização, para a ponta sem indução de ar, em que a quantidade de deriva coletada no fio foi maior, utilizou-se 90 mL de água por amostra e para pontas com indução de ar em que menos deriva ficou retida nos fios, a quantidade foi de 45 mL. O objetivo dessas diferentes diluições foi de assegurar que a absorvância de cada amostra, se enquadrasse com o espectro de leitura do equipamento e da curva padrão.

Com os resultados de absorvância de cada leitura, foi calculada a concentração de corante em mg L^{-1} presente em cada amostra. Para isso foi feita a confecção de curvas padrão a partir de concentrações conhecidas que eram obtidas da diluição das amostras de caldas utilizadas para cada tratamento. As concentrações usadas para as curvas padrão foram de 0,01456; 0,0293; 0,05859; 0,11719; 0,23438; 0,46875; 0,9375; 1,875; 3,75; 7,5; 15 mg L^{-1} . Com os valores de absorvância de cada concentração e a curva padrão o equipamento calculou a concentração de corante presente em cada amostra (proveniente dos fios coletores) por meio da equação 1.

$$Cc = \frac{abs-A}{B} \quad (1)$$

Onde:

Cc = Concentração de corante na amostra (mg L^{-1})

A = Coeficiente linear da reta

abs = Absorvância da amostra

B = Coeficiente angular da reta

A partir dos resultados de concentração de corante calculado para cada amostra, foi feito o cálculo da quantidade de corante coletada em cada fio. Para isso levou-se em consideração a quantidade de água usada para lavar cada fio, conforme descrito na equação 2.

$$Qc = \frac{Cc.Qa}{1000} \quad (2)$$

Onde:

Qc = Quantidade de corante presente em cada fio (mg)

Qa = Quantidade de água utilizada na lavagem de cada fio (mL)

Com os valores de corante presente em cada fio, foi estimado índice de deriva por fio, que é o percentual do volume da calda pulverizada retido no fio, conforme descrito na equação 3, e o índice de deriva total que foi o somatório do índice de deriva de todos os fios para cada repetição, conforme descrito por Moreira Júnior (2009); Oliveira (2011) e Chechetto et al., (2013).

$$IDfio = Qc.100 / \left(\frac{V.T}{60.Ql} \right) \quad (3)$$

Onde:

$IDfio$ = Índice de deriva por fio (%)

V = Vazão da ponta de pulverização na pressão de trabalho ($L \text{ min}^{-1}$)

T = Tempo de pulverização de cada repetição (seg)

Ql = Concentração de corante na calda ($mg \text{ L}^{-1}$)

3.3 Análise do espectro de gotas

O espectro de gotas foi determinado utilizando-se um analisador de partículas em tempo real Mastersizer S (Malvern Instruments), com base na técnica da difração de raio laser, do qual o equipamento faz a mensuração do tamanho das partículas através do desvio da trajetória que o laser sofre ao atingir as partículas (Figura 5). O equipamento é composto por um feixe de raio laser de 10 mm de diâmetro, comprimento de onda de 670 nm, lente focal de 300 mm e uma ponte óptica de base longa. O equipamento foi ajustado para avaliar gotas de 0,5 a 900 μm (lente 300 mm) e interligado com um computador central que armazena os dados analisados por meio do software Mastersizer-S v.2.19. Cada leitura do laser é realizada a cada 2 milissegundos, totalizando 500 leituras por segundo (CAMARA et al., 2008).

Em cada análise a ponta era movimentada na transversal para que fosse feita a leitura de toda a pulverização produzida, esta movimentação foi feita por meio de um sistema mecânico impulsionado por um motor elétrico (Figura 6). Acima do equipamento está instalado um exaustor (tipo coifa) para retirar as partículas em suspensão (Figura 6), evitando deposições sobre a lente do aparelho ou duplas leituras do laser, impedindo assim o comprometimento da exatidão da análise (FERREIRA et al., 2007).

As variáveis avaliadas foram o diâmetro mediano volumétrico (DMV), a porcentagem volumétrica de gotas com diâmetros menores que 100 μm (% volume <100 μm) e a amplitude relativa (AR), calculada pela equação 4.

$$\textit{Amplitude Relativa} = \frac{(DV_{0,9} - DV_{0,1})}{DV_{0,5}} \quad (4)$$

onde:

$DV_{0,1}$ = Diâmetro de 10% do volume acumulado

$DV_{0,5}$ = Diâmetro de 50% do volume acumulado

$DV_{0,9}$ = Diâmetro de 90% do volume acumulado.



Figura 5. Analisador de partículas Mastersizer S (Malvern Instruments).

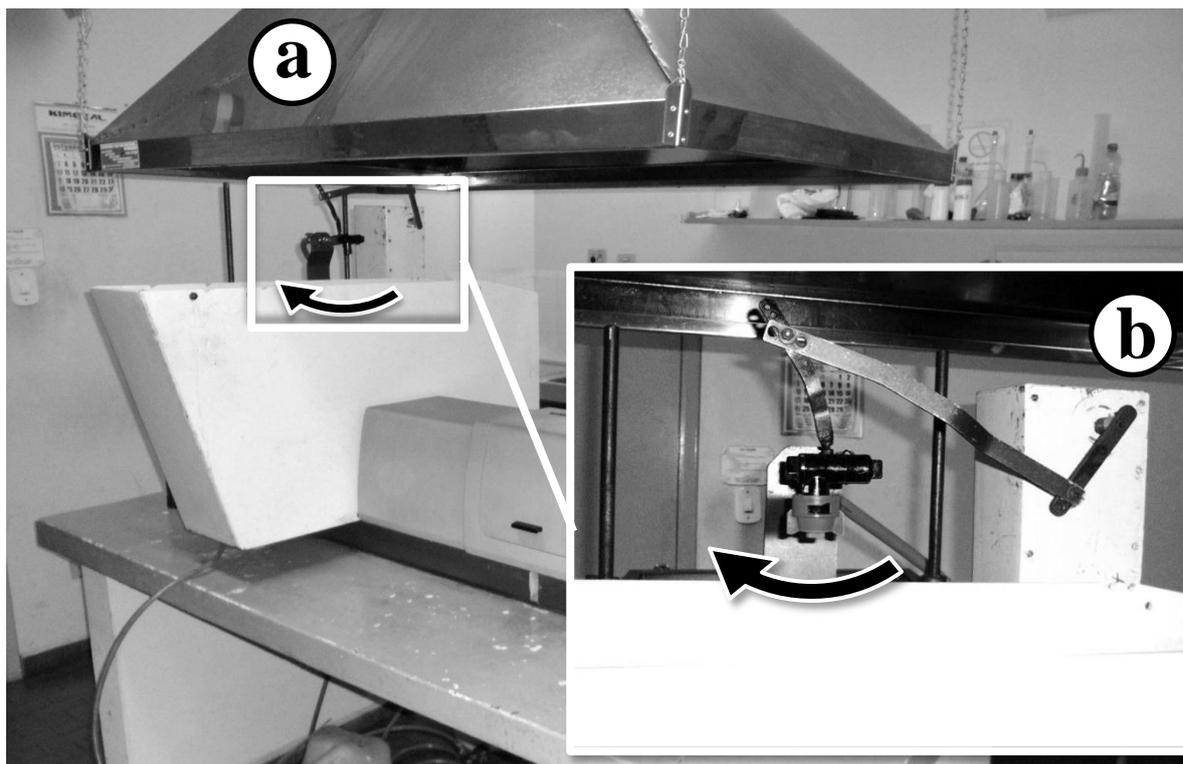


Figura 6. Analisador de partículas, detalhe da localização da coifa (a) localização e movimentação da ponta de pulverização (b).

3.4 Tratamentos e análise estatística

Foram comparados oito tratamentos e uma testemunha. Cada tratamento foi representado por uma calda, constituída da mistura ou não entre herbicidas e adjuvantes. A testemunha foi composta por uma calda contendo o herbicida 2,4-D (DMA 806 BR[®] - Dow Agrosiences) sem a mistura de outros produtos. As descrições dos herbicidas e adjuvantes utilizados estão nas Tabelas 1 e 2, e os tratamentos bem como as doses de cada produto estão na Tabela 3. Todos os tratamentos e a testemunha foram avaliados em dois experimentos. No primeiro as caldas foram aplicadas utilizando uma ponta jato plano de uso estendido sem indução de ar, e no segundo com uma ponta jato plano com indução de ar. As descrições das pontas de pulverização estão na Tabela 4. Para os dois experimentos, as pontas operaram na pressão de 300 kPa (3 bar) utilizando filtro malha 50 (conforme recomendação do fabricante). Cada calda foi preparada com água deionizada no mesmo dia em que foi feita sua análise.

Em ambos os experimentos foram realizados dois tipos de avaliação: o potencial de deriva (realizada no Laboratório de Máquinas para Pulverização),

com ensaios de três repetições, e a análise do espectro de gotas (realizada no LAPAR), em ensaios com quatro repetições. As especificações de cada repetição estão descritas nos itens referentes a cada avaliação. Para a comparação dos resultados foi calculado o Intervalo de Confiança a 95% de probabilidade (IC 95%). Também foram realizadas correlações entre o Índice de deriva e as variáveis, diâmetro mediano volumétrico (DMV) e percentual volumétrico de gotas com diâmetro inferior a 100 µm, utilizando o coeficiente de Pearson a 5% de probabilidade.

Tabela 1. Descrição dos herbicidas.

Nome comercial	Abreviatura	Ingrediente ativo	Formulação	Concentração do ingrediente ativo (g L ⁻¹) ou (g kg ⁻¹)
DMA 806 BR ^{®*}	DMA	2,4-D, Sal Dimetilamina	SL	806
Glizmax ^{®*}	Gli	Glifosato, Sal Isopropilamina	SL	480
Spider 840 WG ^{®*}	Spi	Diclosulam	WG	840

* Titular de registro – Dow Agrosciences Industrial Ltda.

Tabela 2. Descrição dos adjuvantes.

Nome comercial	Abreviatura	Componente(s) principal(is)*	Formulação	Indicação de uso*
Silwet L-77 Ag ^{**}	Sil	Copolímero de poliéter e silicone	SL	Espalhante adesivo não iônico
Aterbane BR ^{***}	Ate	Mistura de condensado de alcoolfenóis com oxido de eteno e sulfonatos orgânicos	SL	Espalhante adesivo

* Segundo informações fornecidas pelos fabricantes.

** Titular de registro – Momentive Performance Materials USA, Inc.

*** Titular de registro – Dow Agrosciences Industrial Ltda.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos utilizados para as análises de deriva e espectro de gotas.

Tratamento (composição da calda*)	Dose do herbicida (L ou g de p.c. ha ⁻¹)	Dose do herbicida** (mL ou g de p.c. L ⁻¹)	Dose do adjuvante % (v v ⁻¹)
Testemunha (DMA)	1	20	—
Gli	2	40	—
Spi	30	0,6	—
DMA+Gli	1,0 + 2,0	20 + 40	—
DMA+Gli+Spi	1,0 + 2,0 + 30	20 + 40 + 0,6	—
DMA+Sil	1	20	0,1
DMA+Ate	1	20	0,25
DMA+Gli+Sil	1,0 + 2,0	20 + 40	0,1
DMA+Gli+Ater	1,0 + 2,0	20 + 40	0,25

*Abreviatura dos produtos contidos em cada calda

** Simulando uma taxa de aplicação de 50 L ha⁻¹

Tabela 4. Descrição das pontas de pulverização e abreviaturas.

Nome comercial	Abreviatura	Tipo de ponta	Ângulo e vazão nominal (gal min ⁻¹)
Extended Range*	XR	Jato plano de uso estendido	110 03
Air Induction*	AI	Jato plano com indução de ar	110 03

* Fabricante – Spraying Systems

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Espectro de gotas

4.1.1 Diâmetro mediano volumétrico (DMV)

Os resultados de diâmetro mediano volumétrico (DMV) entre as diferentes caldas para a ponta XR estão apresentados na Figura 7. Para a ponta XR o DMV variou em um intervalo entre 128 μm a 143 μm , em que o menor resultado foi para a calda Gli e o maior para a testemunha (DMA), tendo diferenças significativas entre si. Tomando a testemunha (DMA) como referência nas comparações, exceto com o Spi, todas as caldas reduziram o DMV entre 1% a 12%, com diferenças significativas da testemunha. Na comparação das caldas contendo um herbicida, as caldas Gli (128 μm) e Spi (143 μm) reduziram o DMV em 11% e 1% respectivamente, na comparação com o tratamento testemunha (DMA). Para as misturas de DMA com herbicidas apenas, as caldas DMA+Gli (127 μm) e DMA+Gli+Spi (129 μm) reduziram o DMV em 12% e 11%. Nas misturas do DMA com um adjuvante, as caldas DMA+Sil (131 μm) e DMA+Ate (136 μm) reduziram o DMV em 9% e 6% respectivamente. Com as misturas de DMA+Gli mais um adjuvante, as caldas DMA+Gli+Sil (127 μm) e DMA+Gli+Ate (130 μm) reduziram em 12% e 10% respectivamente.

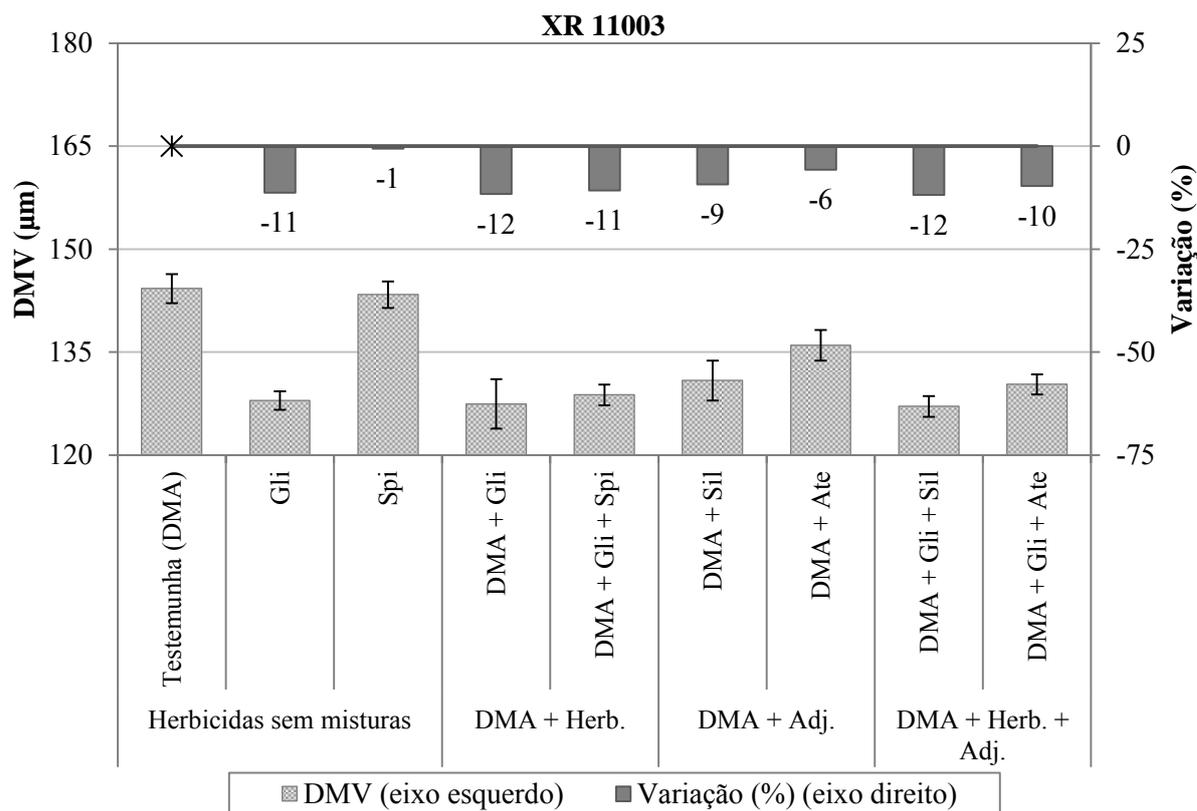


Figura 7. Diâmetro mediano volumétrico (DMV – eixo da esquerda) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual do DMV (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Nos tratamentos realizados com a ponta AI (Figura 8), o DMV variou entre 300 µm e 439 µm, sendo o menor resultado para a calda DMA+Gli+Spi e o maior resultado para a testemunha (DMA). A variação do DMV em relação à testemunha foi de -1% a -32%, que assim como para a ponta XR, apenas o Spi não diferiu significativamente do DMA. Para as caldas contendo apenas um herbicida o maior DMV foi para a calda Spi (436 µm) seguido do Gli (356 µm), com variação em relação à testemunha de 1% e 19%. Comparando as misturas em tanque contendo apenas herbicidas, as caldas DMA+Gli (376 µm) e DMA+Gli+Spi (300 µm) reduziram o DMV em 15% e 32% respectivamente. Para as misturas de DMA com mais um adjuvante, essa redução foi de 25% em ambas as caldas (DMA+Sil com 328 µm e DMA+Ate com 331 µm). Nas misturas de DMA+Gli e mais um adjuvante, para as caldas DMA+Gli+Sil (324 µm) e DMA+Gli+Ate (307 µm) a variação foi de 26 e 30%.

A vantagem da redução do tamanho de gotas, desde que haja condições climáticas favoráveis para uma aplicação, é que a cobertura e a penetração da

pulverização nos alvos são aumentadas (MATTHEWS, 2000). Porém, o uso de gotas menores torna a aplicação mais vulnerável a perdas por deriva, principalmente quando ocorre piora nas condições climáticas, como aumento na velocidade de ventos, aumento na temperatura ou redução da umidade relativa do ar (OZKAN, 1998). Tratando-se de aplicações dos herbicidas 2,4-D (DMA) e glyphosate (Glizmax), os quais tem ação sistêmica, ou então do herbicida diclosulam (Spider) que, segundo Rodrigues et al., (2010) sua aplicação é feita na pré-emergência das plantas alvo, não são necessários altos níveis de cobertura e penetração da pulverização no alvo para que se tenha a eficiência, portanto, podendo utilizar gotas maiores a fim de assegurar a segurança em relação à deriva.

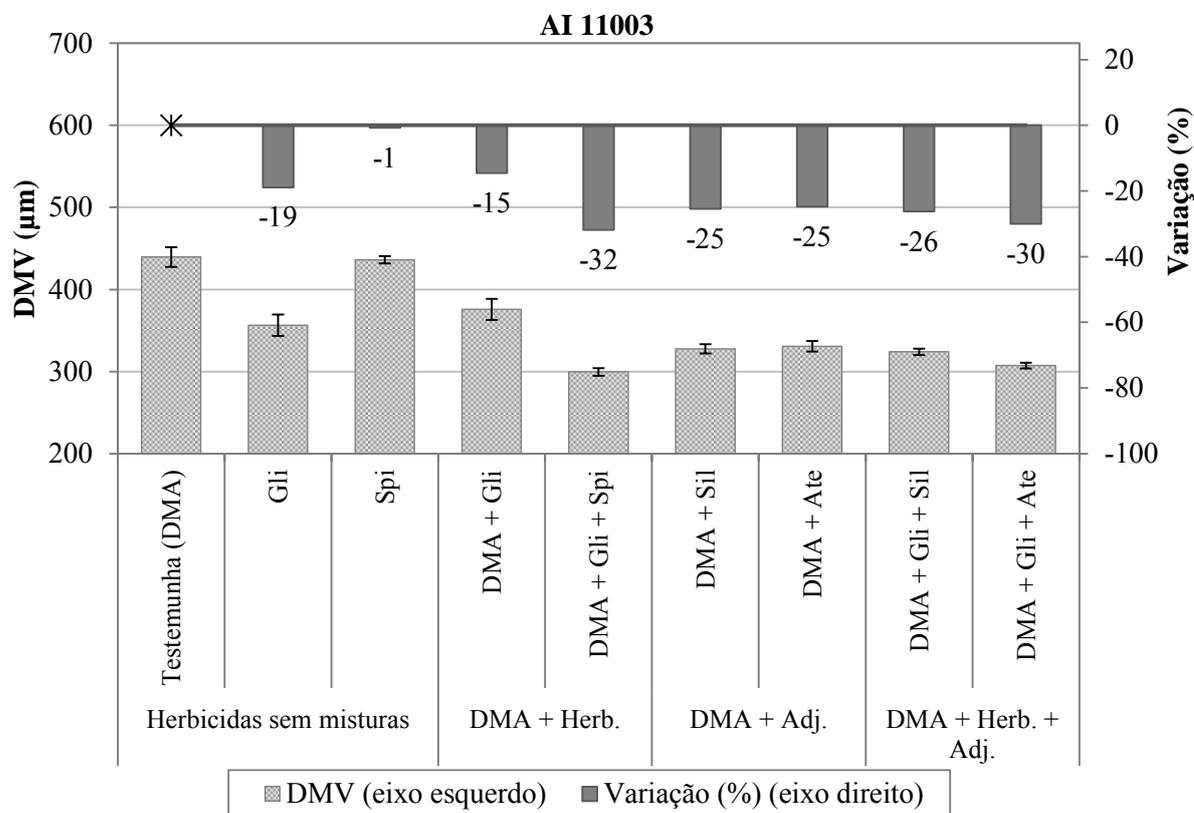


Figura 8. Diâmetro mediano volumétrico (DMV – eixo da esquerda) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual do DMV (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

4.1.2 Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 µm (%<100)

Utilizando a ponta XR (Figura 9) para os resultados do percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 µm (%<100) o menor valor médio foi

para a calda Spi com 26,2% e o maior para a calda DMA+Gli+Ate com 35,1%. Nas comparações em relação à testemunha (28,6%), para as caldas com herbicidas sem misturas em tanque, o Gli (32,8%) proporcionou um aumento de 15,0% do %<100 em relação testemunha enquanto a calda Spi (26,2%) reduziu em 8,0%, ambos os resultados tiveram diferenças significativas da testemunha. Nas demais caldas, as quais foram misturas em tanque, todas ocasionaram o aumento do %<100 comparado à testemunha. Para as misturas contendo apenas herbicidas as caldas DMA+Gli (35,0%) e DMA+Gli+Spi (33,2%) aumentaram em 22,0% e 16,0% o %<100, com diferenças significativas. Nas misturas de DMA com os adjuvantes as caldas DMA+Sil (32,9%) e DMA+Ate (29,1%) aumentaram em 15,0% e 2,0%, respectivamente, entretanto, a calda DMA+Ate não diferenciou-se da testemunha. Com as misturas de DMA+Gli e mais um adjuvante, as caldas DMA+Gli+Sil (33,9%) e DMA+Gli+Ate (35,1%) provocaram um aumento de 18,0% e 23,0% respectivamente, com diferenças significativas da testemunha.

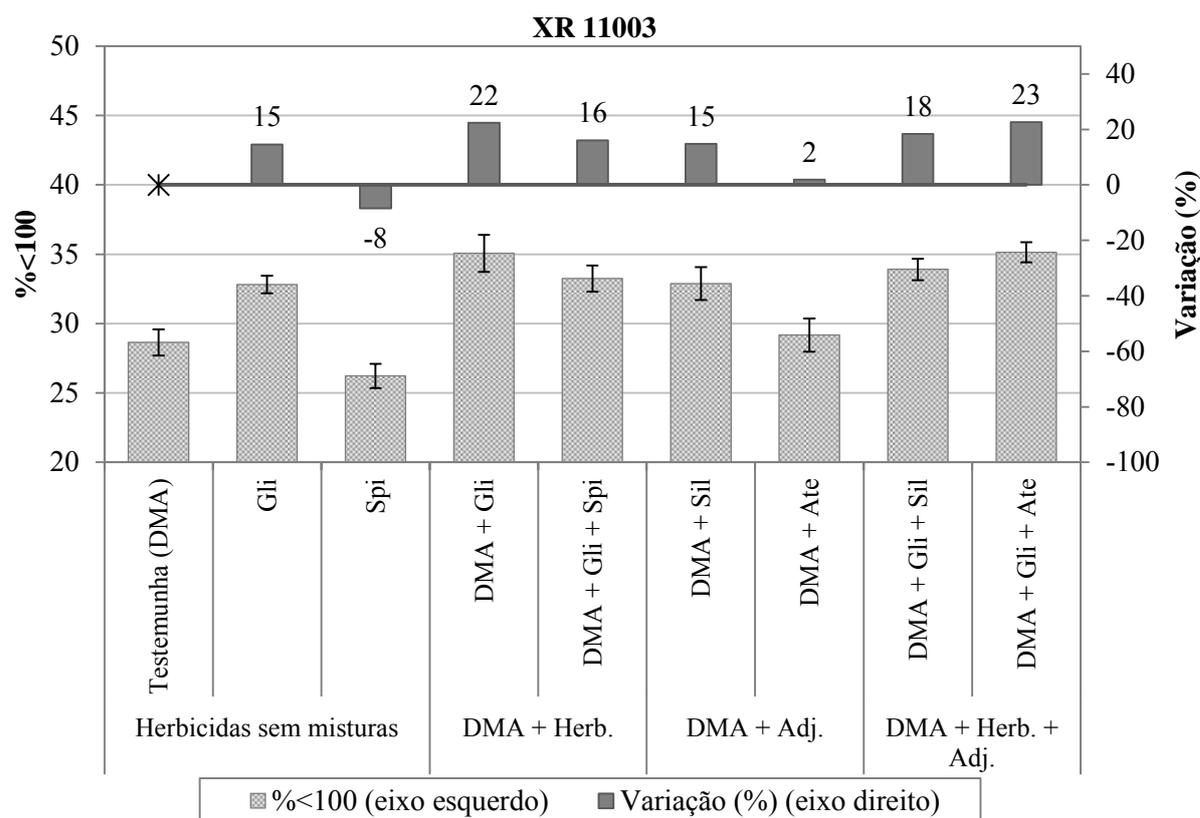


Figura 9. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm (%<100 – eixo da esquerda) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual do %<100 (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Na comparação das caldas aplicadas com a ponta AI (Figura 10), o Gli teve o menor resultado de 3,5%, enquanto o maior resultado foi para a calda DMA+Sil, com valor de 7,4%. Nas comparações das diferentes caldas em relação à testemunha, para o grupo dos herbicidas sem mistura em tanque, o Gli (3,5%) e o Spi (4,2%) reduziram o %<100 em relação à testemunha em 25,0% e 10,0% respectivamente, mas somente a calda Gli diferenciou-se da testemunha. Para as misturas em tanque contendo apenas herbicidas, a mistura DMA+Gli (3,9%) reduziu em 18,0%, mas sem diferenças significativas da testemunha, enquanto a mistura DMA+Gli+Spi (7,2%) proporcionou um aumento de 54,0%, diferindo da testemunha. Analisando as misturas de DMA mais um adjuvante, as caldas DMA+Sil (7,4%) e DMA+Ate (6,3%) provocaram um aumento de 58,0% e 35,0% respectivamente com diferenças significativas da testemunha. Também houve aumento no %<100 para as misturas envolvendo DMA+Gli e mais um adjuvante, em que as caldas DMA+Gli+Sil (5,4%) e DMA+Gli+Ate (6,5%) aumentaram em 16,0% e 40,0% o %<100 também diferindo da testemunha.

Gotas com diâmetros inferiores a 100 μm tem um elevado potencial de deriva (MATTHEWS, 2000; ANTUNIASSI, 2009), havendo estudos que demonstram a forte correlação entre percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm (%<100) e a deriva (CHECHETTO, 2011; OLIVEIRA; ANTUNIASSI, 2012). Portanto, é importante nas pulverizações buscar condições que reduzam esse percentual objetivando assegurar a segurança do processo. Nas diferentes misturas com DMA utilizando a ponta XR não houve nenhuma calda com potencial de reduzir essa variável, o que implica em um maior risco de deriva quando é realizada misturas em tanque com o herbicida 2,4-D. Quando efetuados as avaliações com a ponta AI, a única mistura com redução no %<100 foi a DMA+Gli, mas sem diferenças significativas com o DMA. Entretanto, deve-se levar em consideração que o %<100 é apenas um indicativo do risco de deriva, havendo outras variáveis, como o DMV e a AR, que interferem nesse quesito e devem ser analisadas em conjunto.

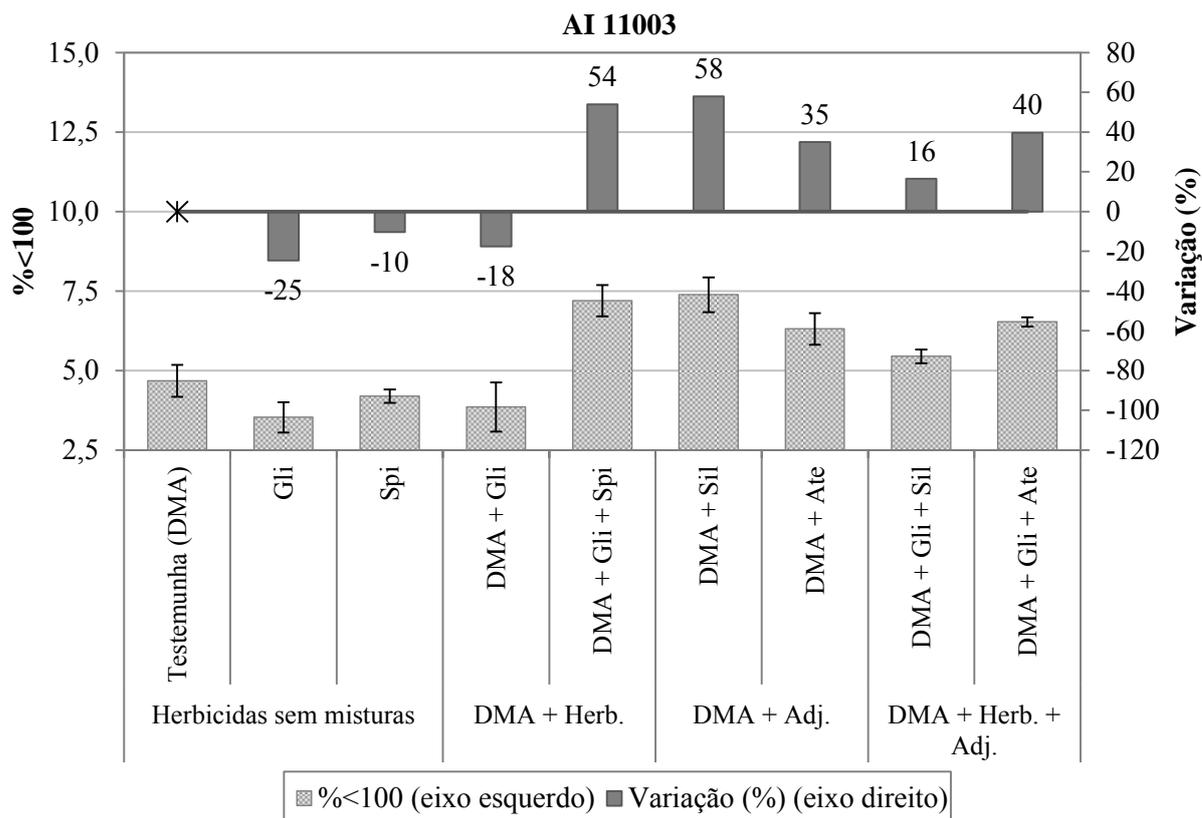


Figura 10. Percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm (%<100 – eixo da esquerda) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual do %<100 (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

4.1.3 Amplitude Relativa (AR)

Nos resultados de AR para a ponta XR (Figura 11), apesar de haver tratamentos com diferenças significativas em relação à testemunha, essas diferenças variaram entre uma redução de 5% até o aumento de 4% da AR. Para os resultados com diferenças significativas da testemunha, todos reduziram a AR, analisando as caldas com herbicidas sem misturas as caldas Gli (1,42) e Spi (1,40) reduziram a AR em 4 e 5% respectivamente. Para as misturas em tanque, as caldas DMA+Ate (1,41), DMA+Gli+Sil (1,44) e DMA+Gli+Ate (1,46) reduziram a AR em 5%, 2% e 1% respectivamente.

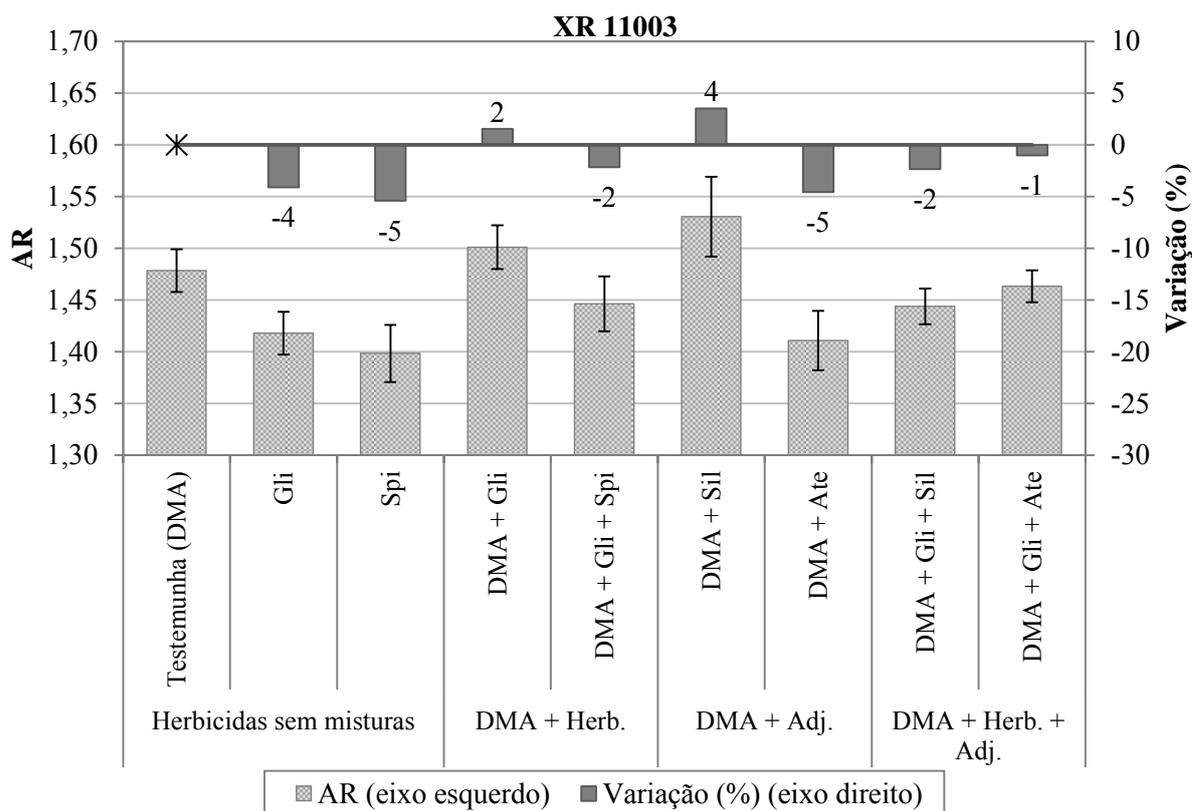


Figura 11. Amplitude relativa (AR - eixo da esquerda) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual da AR (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Com a ponta AI, as diferenças de AR em relação à testemunha foram mais acentuadas do que quando utilizada a ponta XR (Figura 12). Com exceção da calda Gli (1,84), todas as demais proporcionaram redução da AR comparado a testemunha (1,79). Para os herbicidas sem mistura, a calda Gli aumentou a AR em 3% mas sem diferença significativa, já a calda Spi (1,38) reduziu em 23% com diferença significativa da testemunha. Para as misturas em tanque com apenas herbicidas, as caldas DMA+Gli (1,60) e DMA+Gli+Spi (1,70) reduziram a AR em 10% e 5% mas sem diferenças da testemunha. Comparando as misturas de DMA com um adjuvante, as caldas DMA+Sil (1,63) e DMA+Ate (1,60) reduziram a AR em 9% e 10% com diferenças significativas da testemunha. Com as misturas do DMA+Gli e mais um adjuvante, as caldas DMA+Gli+Sil (1,60) e DMA+Gli+Ate (1,68) reduziram em 10% e 6% também com diferenças significativas em relação ao DMA.

É importante a análise da amplitude relativa (AR) para uma melhor compreensão do espectro de gotas, visto que o DMV fornece apenas um valor médio, já a

amplitude relativa, segundo Cunha et al., (2004) indica o quanto há de variação no tamanho de gotas, sendo que quanto menor a AR, mais homogêneo é o espectro de gotas.

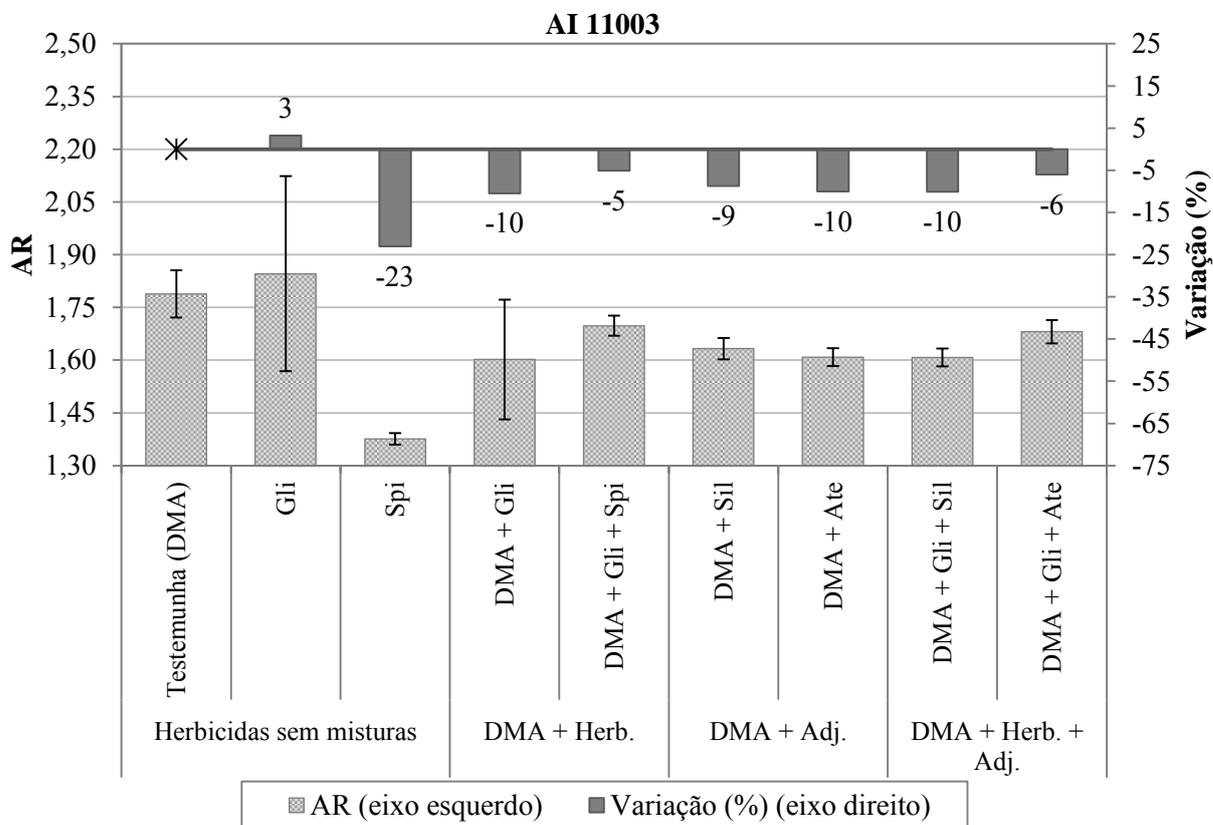


Figura 12. Amplitude relativa (AR – eixo da esquerda) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual da AR (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

4.2 Índice de deriva

Na Figura 13 estão os resultados do índice de deriva (ID) para a ponta XR, em que os valores para os diferentes tratamentos variaram em um intervalo entre 0,135% (Spi) e 0,192% (DMA+Sil). Verifica-se que com exceção da calda Spi, todas as demais aumentaram o ID em relação à testemunha (0,160%), mas tendo diferenças significativas apenas as caldas DMA+Gli (0,183%) e DMA+Sil (0,192%), com um aumento percentual de 14% e 20% respectivamente em relação à testemunha. A calda Spi teve o ID de 0,135% que representou a redução de -15% em relação à testemunha, sendo essa diferença significativa.

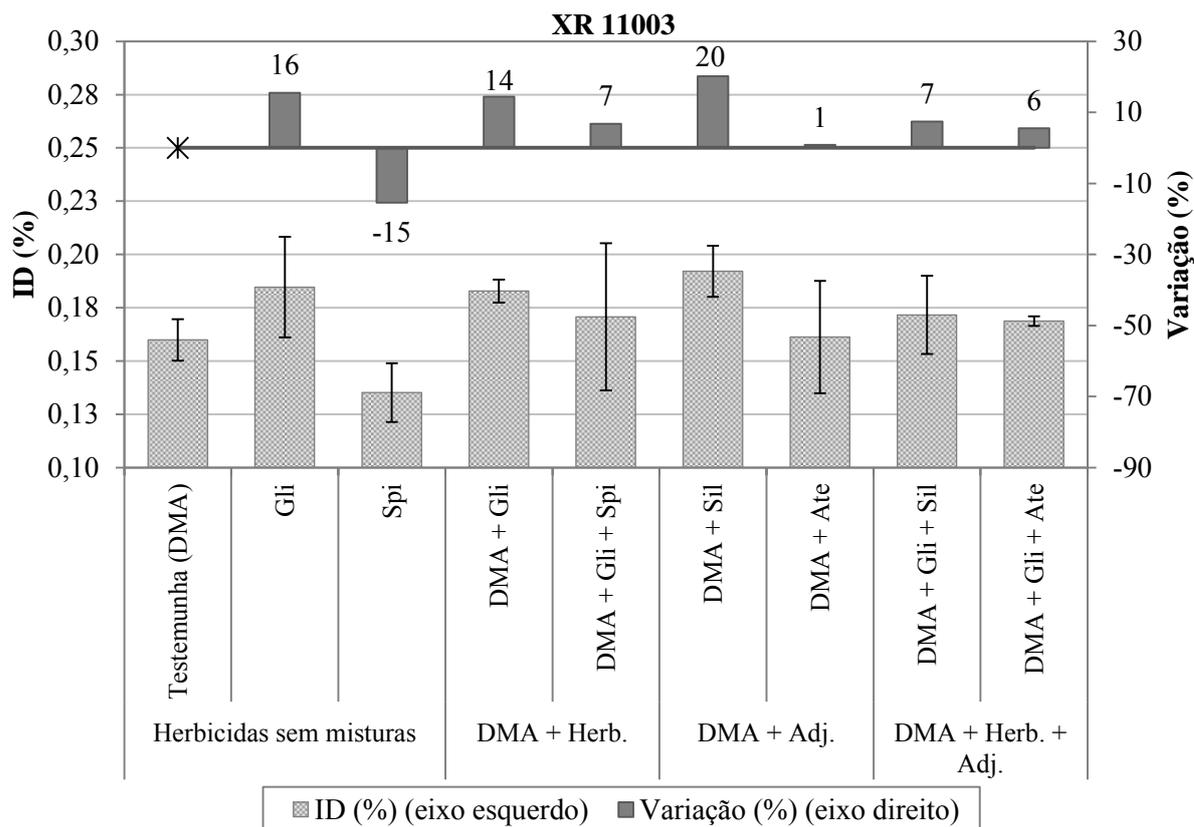


Figura 13. Índice de deriva (ID – eixo da esquerda) para a ponta XR 11003 com diferentes caldas e variação percentual do ID (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Para os resultados do índice de deriva (ID) com a ponta AI (Figura 14) os resultados variaram entre 0,013% (Spi) a 0,037% (DMA+Gli+Ate). Assim como na ponta XR, a maioria das caldas tiveram o ID maior que a testemunha a qual foi de 0,020%. As caldas Gli (0,030%), DMA+Gli (0,024%), DMA+Gli+Spi (0,026%) e DMA+Gli+Ate (0,037%) aumentaram de maneira significativa o ID com variação da testemunha de 55%, 23%, 30% e 88% respectivamente. Já as caldas Spi (0,013%), e DMA+Ate (0,015%) reduziram significativamente o ID comparado a testemunha com variação de -35% e -26% respectivamente.

Estes resultados estão de acordo com o estudo de Gandolfo et al., (2012), no qual os autores testaram o herbicida 2,4-D em combinações de mistura em tanque com glyphosate e um adjuvante a base de fosfatidilcolina + ácido propiônico, aplicados com uma ponta jato plano convencional. Os mesmos autores verificaram que

para todas as combinações de mistura houve um aumento da deriva comparado a aplicação de 2,4-D sem a mistura de outros produtos.

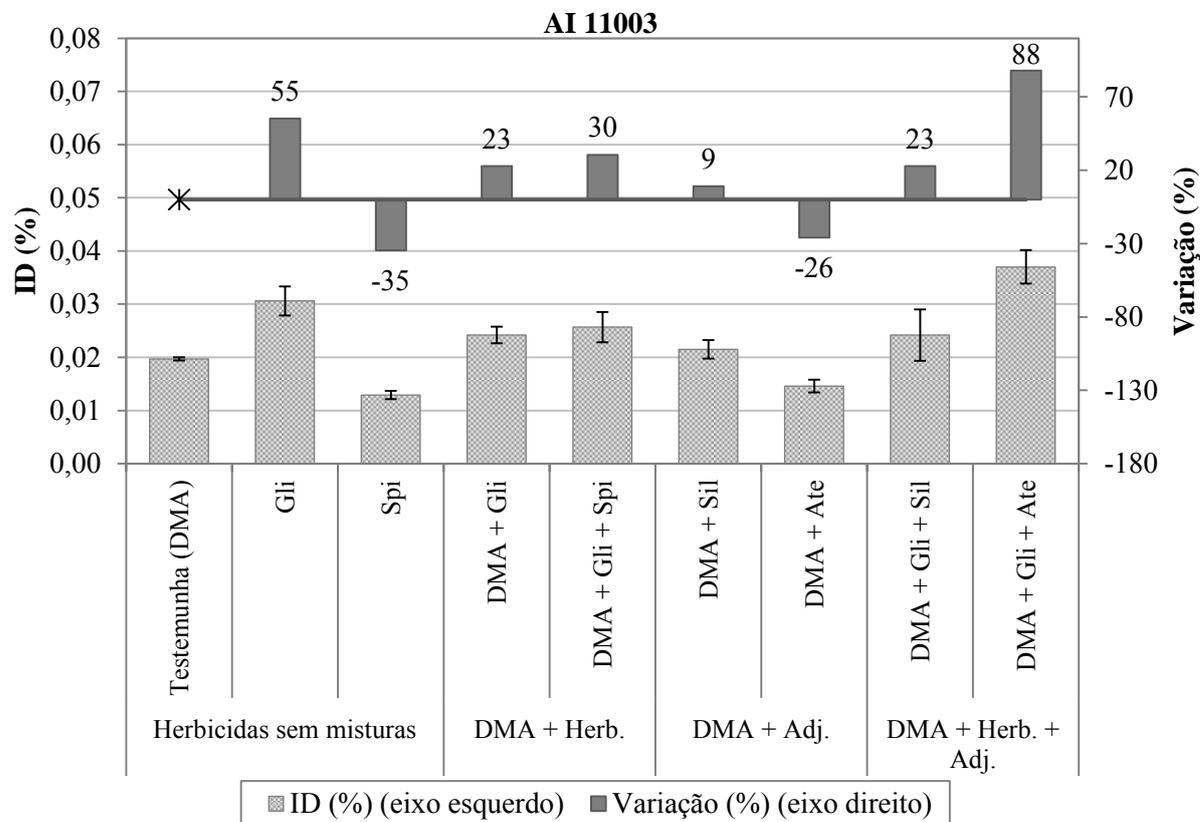


Figura 14. Índice de deriva (ID – eixo da esquerda) para a ponta AI 11003 com diferentes caldas e variação percentual do ID (eixo da direita) em relação à testemunha (DMA). As barras de erro indicam o Intervalo de Confiança (IC 95%).

Tanto para a ponta XR como para a ponta AI o herbicida Spi quando aplicado sem a mistura de outros produtos reduziu o ID em relação à testemunha, fato que pode estar relacionado aos ingredientes inertes de sua formulação, embora não sejam conhecidos todos os seus componentes. Os demais produtos testados têm suas formulações a base de concentrado solúvel (SL) as quais geralmente têm altas concentrações de surfatante (HILZ; VERMEER, 2013), esses produtos tem um efeito de redução na tensão superficial, o que consequentemente interfere no processo de formação de gotas. Em pontas jato plano sem indução de ar, menores tensões superficiais resultam em redução do tamanho das gotas comparada à pulverização de água apenas (MILLER; TUCK, 2014). Essa redução no tamanho de gotas aumenta risco de deriva, fato confirmado por estudos em túnel de vento, os quais os autores verificaram que o uso de surfatantes

com pontas jato plano de uso estendido resultaram no aumento da deriva comparada a caldas a base de emulsões e água apenas (MOREIRA JUNIOR, 2009; CHECHETTO et al., 2013b; MOREIRA JUNIOR, 2009).

Para a ponta AI a calda DMA+Ate foi a única mistura que reduziu a deriva comparada à testemunha (DMA). O adjuvante Aterbane (Ate) é um agente surfatante e sua composição forma uma mistura homogênea na calda. Segundo Miller; Butler Ellis, (2000); Miller; Tuck, (2014), misturas homogêneas e que tenham baixa tensão superficial pulverizadas por meio de pontas com indução de ar geralmente tem o efeito de aumentar o tamanho de gotas e conseqüentemente reduzir a deriva, havendo estudos que demonstram esse fato por meio de experimentos em túnel de vento e análise do espectro de gotas (MOTA, 2011; CHECHETTO et al., 2013a). Entretanto, Miller; Butler Ellis, (2000); Miller; Tuck, (2014) citam que apesar de haver essa tendência, nem todas as caldas que tenham essas características tem o mesmo desempenho, o que explica as demais caldas que são na maioria composta por formulações SL, não terem o mesmo desempenho que DMA+Ate. Além disso, essas diferenças também podem estar relacionadas com os tipos e as quantidades de ingredientes inertes de cada formulação e suas interações quando há misturas em tanque, os quais não são informados pelo fabricante, mas sabe-se que esses elementos interferem no espectro de gotas e no risco de deriva.

Também foi observado que com a ponta de indução de ar (AI) as diferenças entre as caldas e a testemunha foram mais acentuadas, comparado com a ponta jato plano de uso estendido (XR). O mesmo desempenho foi constatado nas análises de espectro de gotas. Segundo Miller; Butler Ellis, (2000), pontas que usam ar no processo de formação de gotas, são mais sensíveis a mudanças nas características físicas da calda comparado a pontas convencionais, além de nem sempre seguir a mesma tendência quanto ao desempenho, em relação a uma ponta convencional.

4.3 Correlações entre espectro de gotas e deriva

Com a ponta XR, foi observado correlações fortes em todas as variáveis comparadas, em que para o DMV e o ID (Figura 15) o valor de -0,74% indica um comportamento inversamente proporcional entre as duas variáveis. Por outro lado quando correlacionado o %<100 com o ID o resultado foi de 0,77 (Figura 16) que indica um comportamento diretamente proporcional entre as duas variáveis, ou seja, o aumento do

%<100 resulta em aumento do ID. Estes resultados são confirmados pelos estudos de Chechetto, (2011) e Oliveira, (2011), em que os autores encontraram resultados bastante semelhantes, com correlações significativas e negativas entre o ID e o DMV; e significativas e positivas entre o ID e o %<100.

Para a ponta AI, foram encontradas correlações baixas (Figura 17/Figura 18), contudo, foi observado que estes resultados obedeceram ao mesmo padrão da ponta XR, em que a correlação entre o ID e o DMV foi negativa e entre o ID e o %<100 positiva. Devido ao elevado tamanho de gotas produzido pela ponta AI (DMV entre 300 μm a 439 μm) e o baixo %<100 (entre 3,5% a 7,4%), nas condições de vento em que foram realizadas as avaliações de deriva, essas variáveis já se encontraram em níveis bastante seguros em relação ao risco de deriva. Fato esse reforçado por Cunha et al. (2003), que citam que os maiores riscos de deriva estão em espectros com o DMV inferior a 250 μm e %<100 maior que 15%, sendo que os resultados obtidos ficaram dentro desses limites.

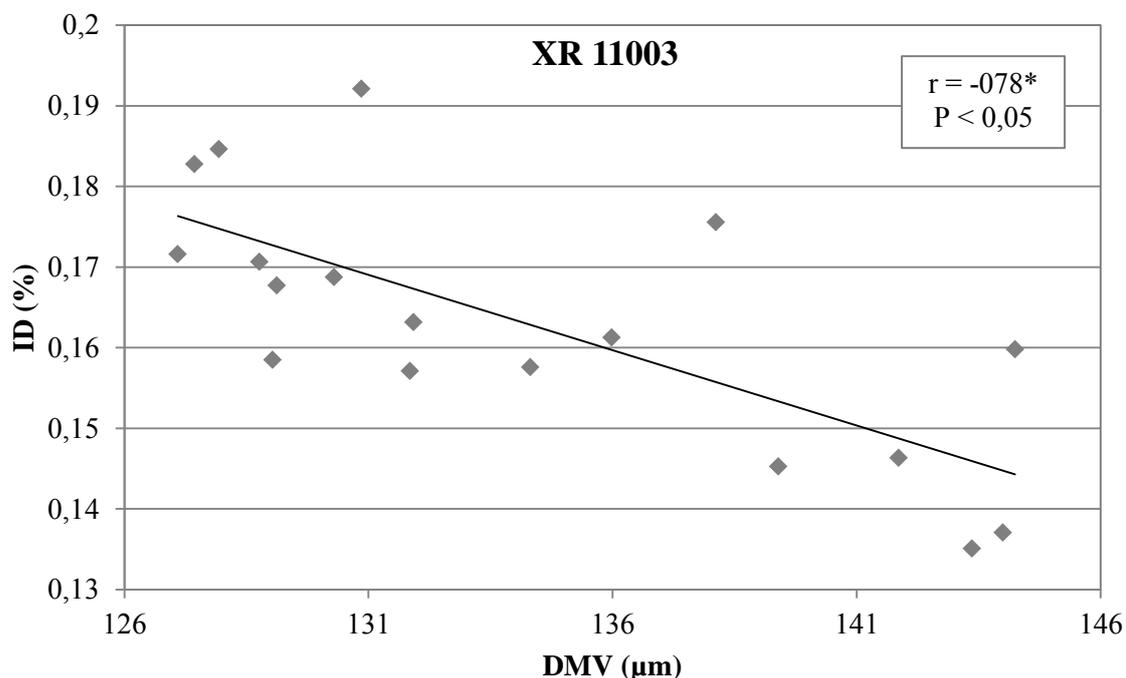


Figura 15. Correlação entre o índice de deriva (ID) e o diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta XR 11003. *Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

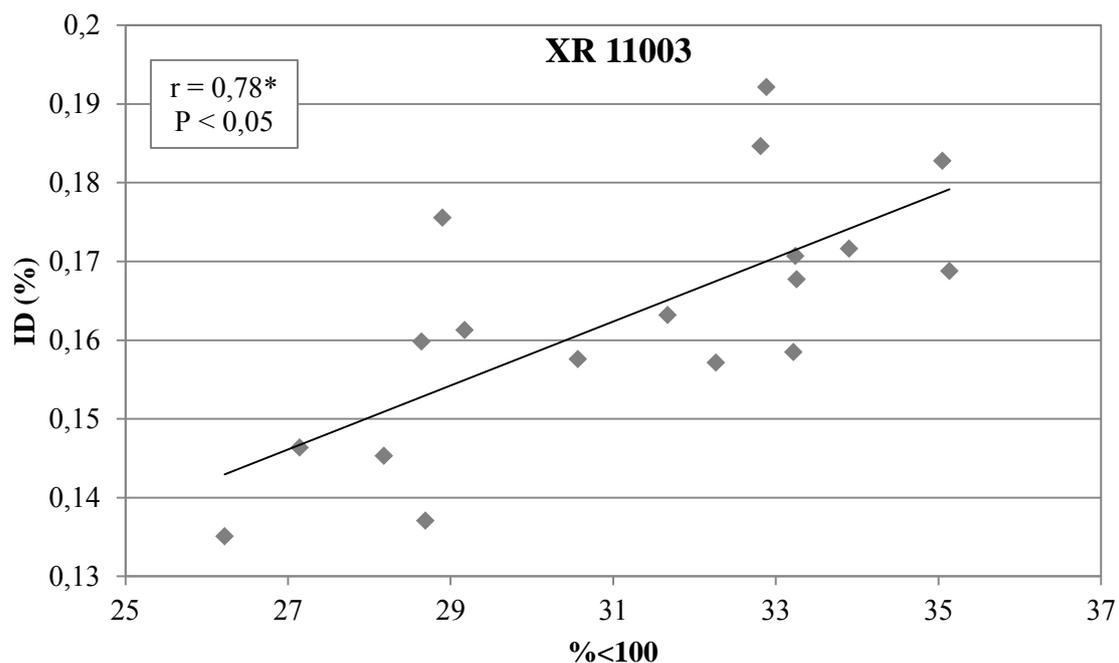


Figura 16. Correlação entre o índice de deriva (ID) e o percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$) para a ponta XR 11003. *Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

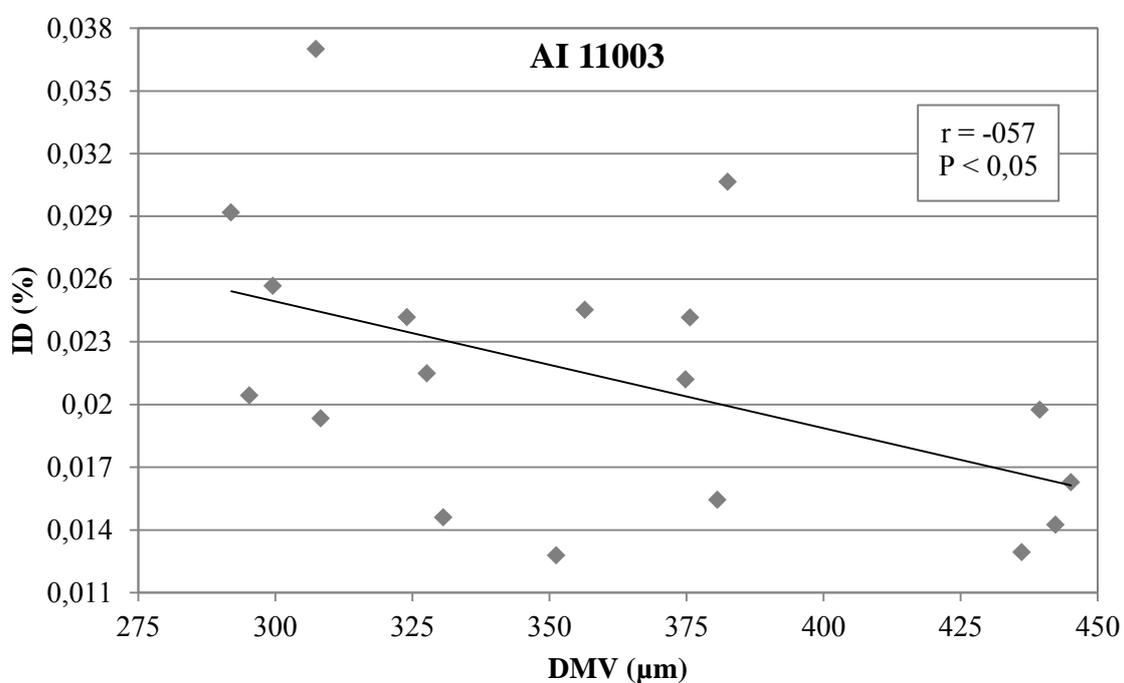


Figura 17. Correlação entre o índice de deriva (ID) e o diâmetro mediano volumétrico (DMV) para a ponta AI 11003. *Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

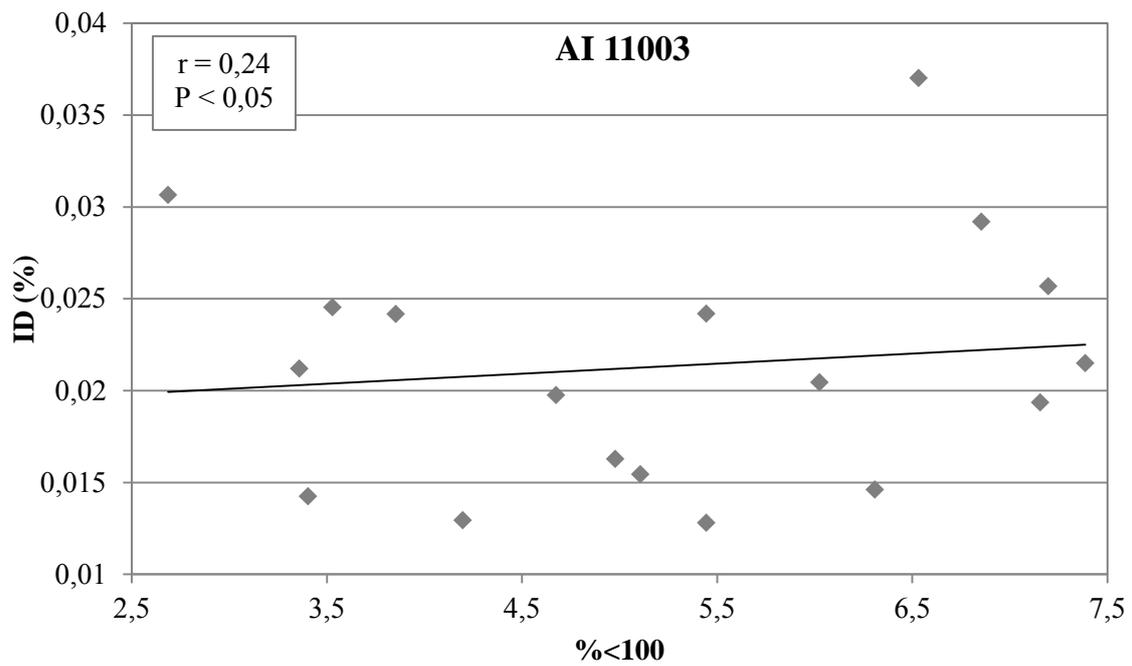


Figura 18. Correlação entre o índice de deriva (ID) e o percentual do volume de gotas com diâmetro menor que 100 μm ($\%<100$) para a ponta AI 11003. *Correlação de Pearson significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

5. CONCLUSÕES

As misturas em tanque do herbicida DMA (2,4-D) com outros produtos impactam no risco de deriva e no espectro de gotas.

Para a ponta sem indução de ar (XR), todas as misturas resultaram em aumento na deriva e redução no DMV, comparado ao DMA sem a mistura de outros produtos. Com a ponta de indução de ar (AI), a mistura do DMA com o adjuvante Aterbane é efetiva na redução da deriva, porém, não aumentou o DMV, comparado à aplicação de DMA sem mistura.

Em todas as variáveis avaliadas, as diferenças entre os tratamentos são mais acentuadas para a ponta de indução de ar, demonstrando uma maior sensibilidade desse modelo de ponta quanto às mudanças na composição calda.

O DMV e o %<100 têm correlações fortes com a deriva para a ponta XR. Entretanto, quando utilizada a ponta com indução de ar AI, a qual produz gotas maiores, as variáveis de espectro de gotas não apresentam correlações fortes com a deriva, mesmo assim, obedecendo o mesmo padrão de desempenho da ponta XR.

6 REFERÊNCIAS

- AGROFIT, M. D. A. P. E. A. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**, 2010. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons!/ap_ing_ativo_detalhe_cons?p_id_ingrediente_ativo=1> Acesso em: 10 dez. 2013.
- ALONSO, D. G. et al. Seletividade de glyphosate isolado ou em misturas para soja rr em aplicações sequenciais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 203–212, 2013.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H.; BIZARI, I. R.. Sistema de suporte a decisão para a seleção de pontas de pulverização em sistemas de aplicação de defensivos. In: **Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2005**, Londrina. SBI-Agro, 2005. v. 1. p. 1-2.
- ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos na cultura da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja 2009**, Rondonópolis, n.13, p. 299-315, 2009.
- ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação para a cultura do algodão. In: BELOT, J.-L. (Ed.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 1 ed. Cuiabá: IMAmt e Ampa, 2013. p 100-107.
- ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest management science**, v. 67, n. 5, p. 586–98, 2011.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. DAS C. O. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. 1. ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. p. 47
- BALAN, M. G. et al. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina v. 29, n. 2, p. 293–298, 2008.
- BOLLER, W.; MACHRY, M. Efeito da pressão de trabalho e modelos de pontas de pulverização sobre a eficiência de herbicida de contato em soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 722–727, 2007.

BOLLER, W.; RAETANO, C. G. Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibração de pulverizadores de barras. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Botucatu-SP: Aldeia Norte, 2011. p. 51-82.

BUTLER ELLIS, M. C. et al. Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. **Biosystems Engineering**, London v. 82, n. 3, p. 289–296, 2002.

CAMARA, F. T. et al. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de bicos hidráulicos de jato plano de faixa expandida XR11003. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, 740-749, 2008.

CARVALHO, F. K. et al. Aplicação planejada. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 112, p. 24–26, 2011.

CARVALHO, F. K. **Influência de adjuvantes de calda no depósito e deriva em aplicações aéreas e terrestres**. 2013. 61 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

CHECHETTO, R. G. et al. Influência de pontas de pulverização e adjuvantes no potencial de redução de deriva em túnel de vento. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 37–46, 11 mar. 2013.

CHECHETTO, R. G. **Potencial de redução da deriva em função de adjuvantes e pontas de pulverização**. 2011. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: Teejet South América, 1999. p. 15.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CORTEZ, M. G.; MONQUEIRO, P. A. Bases da resistência de plantas daninhas aos herbicidas. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 3. Passo Fundo, 2001. **Resumo de palestras**. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte: 2001. p.39-53.

CONSTANTIN, J. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. n. esp., p. 24–29, 2007.

CONSTANTIN, J. et al. Efeitos de subdoses de 2,4-D na produtividade de fumo e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 30–34, 2003.

COSTA, A. G. F. et al. Adjuvantes na deriva de 2,4-D + glyphosate em condições de campo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 387–392, 2014.

COSTA, A. G. F. **Determinação da deriva da mistura 2,4-D e glyphosate com diferentes pontas de pulverização e adjuvantes**. 2006. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2006.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito de pontas e pressões de pulverização na deriva de glyphosate + 2,4-D em condições de campo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Jaboticabal, v. 11, n. 1, p. 62–70, 2012.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 325–332, 2003.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 977–985, 2004.

DERKSEN, R. C. et al. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. **Transactions of ASAE (USA)**, St Joseph, v. 42, n. 6, p. 1573–1580, 1999.

DE SCHAMPHELEIRE, M. et al. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. **Precision Agriculture**, New York, v. 10, n. 5, p. 409–420, 31 out. 2008.

DURINGAN, J. C.; CORREIA, N. M. Efeito de adjuvantes na aplicação e eficácia de herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa trigo, 2008. p. 134-171.

FAGGION, F. Estimativa da velocidade das gotas através das forças de impacto. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologica**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 163–170, 2008.

FERREIRA, M. C. et al. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 471–478, 2007.

FIETSAM, J. F. W.; YOUNG, B. G.; STEFFEN, R. W. Differential response of herbicide drift reduction nozzles to drift control agents with glyphosate. **Transactions of ASAE (USA)**, St Joseph, v. 47, n. 5, p. 1405–1412, 2004.

GANDOLFO, M. A. et al. Potencial de deriva da mistura de 2,4-D com glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Jaboticabal, v. 11, n. 3, p. 332, 10 dez. 2012.

GAZZIERO, D. L. P. et al. Deposição de glyphosate aplicado para o controle de plantas daninhas em soja transgênica. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 173–181, 2006.

GAZZIERO, D. L. P. et al. Herbicide alternatives for 2,4-D in no-till cropping systems. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3, 2000, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Corvallis: Weed Science Society, 2000. p. 134.

GILREATH, J. P.; CHASE, C. A.; LOCASCIO, S. J. Crop injury from sublethal rates of herbicide. **HortScience**, Alexandria, 2001.

GROVER, R.; MAYBANK, J.; YOSHIDA, K. Droplet and vapor drift from butyl ester and dimethylamine salt of 2, 4-D. **Weed Science**, Lawrence, p. 320-324, 1972.

HEMPHILL, D. D.; MONTGOMERY, M. L. Response of vegetable crops to sublethal application of 2,4-D. **Weed Science**, Lawrence, v. 29, n. 6, p. 632–635, 1981.

HEWITT, A. J. Spray optimization through application and liquid physical property variables–I. The **Environmentalist**, New York, v. 28, n. 1, p. 25–30, 6 set. 2007.

HILZ, E.; VERMEER, A. W. P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 44, p. 75–83, fev. 2013.

HIMEL, C. M. Analytical methodology in ULV. In: Pesticide application by ULV Methods. **British Crop Protection Council Monograph**, v. 11, p. 112–119, 1974.

HIMEL, C. M. The optimum size for insecticide spray droplets. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 62, n. 4, p. 919-25, 1969.

INDUSTRY TASK FORCE II on 2,4-D research data. Swansboro, 2000. Disponível em: <<http://www.24d.org>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

KAGI, F. Y. Mistura em tanque: problemática legal e suas implicações na prática (registro, recomendação, aplicação)VI SINTAG - Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos. **Anais...** Londrina: FEPAF, 2013

LICH, J. M.; RENNER, K. A.; PENNER, D. Interaction of glyphosate with postemergence soybean (*Glycine max*) herbicides. **Weed Science**, Lawrence, v. 45, n. 1, p. 12–21, 1997.

MARCHI, S. R. et al. Degradação luminosa e retenção foliar dos corantes azul brilhante FDC-1 e amarelo tartrasina FDC-5 utilizados como traçadores em pulverizações. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p. 287–294, 2005.

MASIÁ, G.; CID, R. Las boquillas de pulverización. In: MAGDALENA, J. C. et al. **Tecnología de aplicación de agroquímicos**. Rio Negro: CYTED, 2010. p. 77-88.

MATTHEWS, G. A. Developments in application technology. **The Environmentalist**, New York, v. 28, n. July 2007, p. 19–24, 2008.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 3.ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 432 p.

MATTHEWS, G. A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J. M.; LENNÉ, J. M.; WALLER, S. J. **Plant pathologist's pocketbook**. London: CAB, 2002. p. 345-353.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

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

MILLER, P. C. H. et al. Methods for minimising drift and off-target exposure from boom sprayer applications. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, v. 106, p. 281–288, 2011.

MILLER, P. C. H.; TUCK, C. R. Factors Influencing the Performance of Spray Delivery Systems: A Review of Recent Developments. **Journal of ASTM International**, Conshohocken, v. 2, n. 6, p. 1–13, 2014.

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

MINOZZI, G. B.; MONQUERO, P. A.; PEREIRA, P. A. Eficácia de diferentes manejos das plantas daninhas na cultura da soja transgênica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.9, n.3, p.406-412, 2014

MOREIRA JUNIOR, O. **Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas**. 2009, 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009

MOREIRA, M. S. et al. Resistencia de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157–164, 2007.

MOTA, A. A. B.; ANTUNIASSI, U. R. Influência de adjuvantes no espectro de gotas de ponta com indução de ar. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 1–5, 2013.

MOTA, A. A. B. **Quantificação do ar incluído e espectro de gotas de pontas de pulverização em aplicações com adjuvantes**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

NEGRISOLI, E. et al. Depósitos unitários de calda de pulverização com e sem surfatante em plantas de *Salvinia molesta*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 200, p. 51–56, 2002.

NICOLAI, M. et al. Sistemas de manejo para a planta daninha buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao herbicida glyphosate envolvendo a cultura da soja RR. XXVII Congresso Brasileiro da Ciencia das Plantas Daninhas. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010

OERKE, E.-C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, n. 1, p. 31, 9 dez. 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. esp., p. 35–40, 2007.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, p. 138–149, 2012.

OLIVEIRA, R. B. D. E. **Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas**. 2011. 121 f. Teste (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, R. B. et al. Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 986–992, 2013.

OZKAN, H. E. et al. Effect of drift retardant chemicals on spray drift, droplet size and spray pattern. In: BERGER, P. D.; DEVISSETTY, B. N.; HALL, F. R. Pesticide formulations and application systems 13th. **ASTM STP 1183**, Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1993. p. 183-189.

OZKAN, H. E. Effects of major variables on drift distances of spray droplets. Food, Agricultural and Biological Engineering. **AEX 525-98**, 1998.

OZKAN, H. E. et al. Pesticide Formulations and Application Systems: 13th Volume. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1993. p. 173–190

PALLADINI, L. A. **Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações**. 2000. 111 f. 2000. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

PETTER, F. A. et al. Incompatibilidade física de misturas entre inseticidas e fungicidas. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus v. 4, n. 2, p. 129–138, 2013.

PROCÓPIO, S. O. et al. Utilização de Chlorimuron-Ethyl e Imazethapyr na cultura da soja roundup ready. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 365–373, 2007.

RAETANO, C. G.; Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Aldeia Norte, Botucatu-SP, 2011. p. 15-26.

RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. Avaliação da eficiência da mistura pronta de glyphosate + 2,4-D no controle da *Comelina virginica* L. em citros. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 33–41, 1996.

RAMOS, H. H.; PIO, L. C. Conceitos básicos de aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLINI, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa, 2008. p. 155-157.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6 ed. Londrina: RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. (Eds), 2011. 694p.

RODRIGUES, N. R. et al. Biodegradação do diclosulam por bactérias isoladas de solos cultivados com soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 393–400, 2010.

SEVERINO, L. S. et al. Sintomas de fitotoxicidade causada pelo herbicida 2,4-D em plântulas de mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 785–787, 2004.

SINDIVEG - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **Estatísticas de vendas de defensivos agrícolas**. 2015

SOSNOSKIE, L. M.; CULPEPPER, A. S.; BRAXTON, L. B.; RICHBURG, J. S. Evaluating the volatility of three formulations of 2,4-d when applied in the field. **Weed Technology**, Champaign, v.29, n. 2, p. 177-184, 2015.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Deposição do herbicida 2,4-D amina com diferentes volumes e pontas de pulverização em plantas infestantes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 78–85, 2012.

SPANOGHE, P. et al. Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. **Pesticide Management**, Fairfax, v. 63, p. 4-16, 2007.

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

THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS. **Herbicide Resistant Weeds by Country and Site of Action**. Disponível em: <<http://www.weedscience.com/Summary/CountrySummary.aspx>> Acesso em: 06 mar. 2015.

TOFOLI, G. R. **Efeito do tamanho do alvo e condições operacionais sobre a uniformidade de deposição de pulverizações em pré-emergência**. 2001. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.

TREZZI, M. M. et al. Multiple resistance of acetolactate synthase and protoporphyrinogen oxidase inhibitors in *Euphorbia heterophylla* biotypes. **Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes**, New York, v. 40, n. 1, p. 101–9, jan. 2005.

VARGAS, L. et al. Buva (*Conyza bonariensis*) Resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 573–578, 2007.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução**. Embrapa Trigo, Passo Fundo 2006.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. Resistência de amendoim-bravo aos herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 367–373, 1999.

VIEIRA, E. M. (INSTITUTO DE Q. DE S. C.-U. DE S. P. et al. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 305–308, 1999.