

GUILHERME SOUSA ALVES

SELEÇÃO DE TRAÇADORES E DERIVA NAS APLICAÇÕES FOLIARES DE
PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA CULTURA DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

GUILHERME SOUSA ALVES

SELEÇÃO DE TRAÇADORES E DERIVA NAS APLICAÇÕES FOLIARES DE
PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA CULTURA DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 17 de Fevereiro de 2014.

Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

UNESP

Prof. Dr.^a Denise Garcia de Santana

UFU

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

UFU

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha
ICIAG – UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

Com todo carinho, respeito e admiração, à minha amada mãe, **APARECIDA
LOURDES DE SOUSA**, que esteve ao meu lado durante toda a minha formação. E que
Deus permita que ela participe de mais realizações que ainda estão por vir.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, primeiramente, por abençoar as pessoas aqui mencionadas e por me dar a oportunidade de conviver ou ter convivido com todas elas.

Ao meu admirável orientador, **Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha**, pelos ensinamentos, incentivo, apoio, paciência e amizade durante estes últimos 7 anos. O meu eterno “*Muito Obrigado*”!

Aos membros da banca **Rouverson e Cleyton**, por aceitarem o convite e por terem contribuído com a melhoria deste trabalho.

Aos Professores e funcionários do Instituto de Ciências Agrárias da UFU que me transmitiram parte de seus conhecimentos e que sempre me ajudaram, em especial, à **Prof.^a Denise Garcia de Santana**, pela participação na banca e pelo suporte dado nas análises estatísticas.

In memoriam, ao **Prof. Jonas Jäger Fernandes**, pelos importantes ensinamentos na área da Fitopatologia.

Aos meus colegas de laboratório, **Mariana, João Eduardo, Rodrigo, Pedro Jr. e Matheus**, pela ajuda na execução deste trabalho e pela agradável convivência.

Aos técnicos de laboratório, **Adílio e Marco Aurélio**, pelos conselhos, pelas conversas e ajuda oferecida, sempre com muita disposição.

Aos funcionários da Fazenda Experimental do Glória, em especial ao Sr. “**Zé Tobata**” e ao **Marcelo**, por ajudarem na realização das aplicações.

Ao **Prof. Ednaldo Carvalho Guimarães**, pelo auxílio na elaboração dos gráficos do Capítulo III.

Ao **Prof. Luiz Antônio Palladini**, por ter contribuído na revisão do artigo científico.

Aos meus colegas de pós-graduação, em especial **Sara Candido Pires**, pela convivência e amizade.

À minha mãe **Aparecida**, pelo carinho, apoio, dedicação e incentivo, sobretudo nos momentos mais difíceis.

À minha avó materna **Geni Lourdes de Sousa**, por estar sempre ao nosso lado, dando-nos conforto e carinho.

Ao meu irmão **Murillo Sousa Alves**, pela convivência durante esses anos.

À minha companheira **Carolina Izadora**, por sua compreensão, paciência, amor e carinho, que me oportunizaram ser uma pessoa melhor.

Ao meu padrasto, **Marino Borges**, que tem dado a toda a minha família amor e conforto.

Ao meu amigo **Valdeci Araújo**, por sempre estar ao meu lado, repassando motivação.

À **Doracy** e ao **Itamar**, por sempre me incentivarem.

Ao meu pai **Wanderley**, meu avô **Antônio**, meus tios **Dalvis** e **Cairo Lúcio**, que me criaram no meio agrícola. Se não fosse por eles não teria escolhido essa profissão.

A todos meus **familiares**, que torceram por mim, mesmo à distância.

In memoriam, à minha avó paterna, **Joana D'arc**, que em vida demonstrava ter carinho especial por mim.

In memoriam, ao meu avô materno, **Pedro**, do qual herdei a seriedade.

A todas as pessoas que fazem ou fizeram parte da minha vida. De certa forma todos contribuíram, afinal não conquistamos nada sozinhos.

E a você, **caro leitor**, que reservou parte do seu tempo para ler esta humilde homenagem a todos aqui mencionados.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO I.....	1
1 Introdução Geral.....	1
2 Objetivos.....	3
2.1 Objetivos gerais.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
Referências.....	4
CAPÍTULO II: Seleção de traçadores para estudos de eficiência nas aplicações de produtos fitossanitários.....	5
Resumo.....	6
Abstract.....	7
1 Introdução.....	8
2 Material e Métodos.....	10
2.1 Características físico-químicas de soluções aquosas de traçadores.....	11
2.2 Eficiência de extração em alvo artificial.....	11
2.3 Estabilidade à luz solar.....	12
2.4 Estabilidade à agitação.....	13
2.5 Análises estatísticas.....	14
3 Resultados e Discussão.....	14
4 Conclusões.....	22
Referências.....	23
CAPÍTULO III: Deriva nas aplicações foliares de produtos fitossanitários na cultura do café (<i>Coffea arabica</i> L).....	27
Resumo.....	28
Abstract.....	29
1 Introdução.....	30
2 Material e Métodos.....	31
2.1 Aplicações a campo.....	32
2.2 Avaliação da deriva.....	35
2.3 Quantificação do traçador.....	37
2.4 Análises estatísticas.....	39
3 Resultados e Discussão.....	41
4 Conclusões.....	49
Referências.....	50
ANEXOS.....	54

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

TABELA 1. Filtros de excitação e emissão de onda utilizados no fluorímetro para detecção dos traçadores fluorescentes.....	10
TABELA 2. Análise das pressuposições dos dados referentes às características avaliadas.....	15
TABELA 3. Características físico-químicas de soluções de traçadores usados em estudos de deposição e deriva de produtos fitossanitários.....	16
TABELA 4. Eficiência de extração (%) de traçadores em alvos de papel filtrante, variando-se o intervalo de tempo entre a aplicação e o início da extração.....	17
TABELA 5. Porcentagem de recuperação de traçadores submetidos a diferentes tempos de exposição à luz solar.....	18
TABELA 6. Porcentagem de recuperação de traçadores após serem submetidos a diferentes tempos de agitação na rotação de 150 rpm.....	20

CAPÍTULO III

TABELA 1. Coeficientes para a equação de deriva do modelo alemão (GANZELMEIER et al., 1995).....	40
TABELA 2. Coeficientes para a equação de deriva do modelo holandês (HOLTERMAN et al., 2003).....	41
TABELA 3. Dados meteorológicos durante as aplicações.....	42
TABELA 4. Porcentagem de deriva resultante de aplicações em cafeeiro feitas com duas pontas de pulverização.....	43

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- FIGURA 1. Curva de calibração para detecção do azul brilhante no espectrofotômetro..... 11
- FIGURA 2. Curvas de regressão para porcentagem de recuperação de traçadores expostos à luz solar..... 19
- FIGURA 3. Curvas de regressão para a porcentagem de recuperação de traçadores submetidos a diferentes tempos de agitação na rotação de 150 rpm..... 21

CAPÍTULO III

- FIGURA 1. (a) Pulverizador utilizado nas aplicações. (b) Pontas de jato cônico vazio (esquerda) e jato cônico vazio com indução de ar (direita) utilizadas nas pulverizações..... 32
- FIGURA 2. (a) Sistema de avaliação da distribuição volumétrica vertical para pulverizadores hidropneumáticos, proposto por Landers (2006). (b) Mesa de distribuição construída para a calibração do equipamento..... 33
- FIGURA 3. Croqui indicando a disposição dos coletores de deriva na área adjacente à cultura e a direção do vento no momento das aplicações..... 37
- FIGURA 4. Definição da área diretamente pulverizada. A: zona diretamente pulverizada; B: zona de deriva onde foram colocados os papéis absorventes. Adaptado de ISO (2005)..... 37
- FIGURA 5. Curvas de deriva decorrentes de aplicações em cafeeiro feitas com dois tipos de pontas de pulverização..... 46
- FIGURA 6. Percentil 90 de porcentagem de deriva decorrente de aplicações em cafeeiro feitas com dois tipos de pontas de pulverização, comparando-se com os modelos alemão e holandês..... 47

RESUMO

ALVES, GUILHERME SOUSA. **Seleção de traçadores e deriva nas aplicações foliares de produtos fitossanitários na cultura do café (*Coffea arabica* L.)**. 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A deriva de produtos fitossanitários é um dos maiores problemas da agricultura moderna, principalmente em cultivos perenes. Ao quantificar esta e outras perdas dos produtos, na maioria dos casos são utilizados traçadores. Devido à importância da cafeicultura no Brasil, e que não há consenso sobre qual é o melhor traçador nestes estudos, este trabalho objetivou avaliar alguns traçadores utilizados em estudos de eficiência da aplicação, além de determinar a deriva gerada pelas pontas de pulverização jato cônico vazio com e sem indução de ar nas aplicações na cultura do café e comparar as curvas com modelos europeus de simulação de deriva. Os traçadores utilizados foram: Azul Brilhante, Blankophor, Fluoresceína Sódica, Rodamina B e Sulfoflavina Brilhante. As características avaliadas nas soluções contendo os traçadores foram: tensão superficial, pH, viscosidade, extração em alvos de papel filtrante e estabilidade à luz solar e à agitação. Na avaliação da deriva ocasionada pelas aplicações em cafeeiro, seguiu-se a norma ISO 22866. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com 10 repetições, em esquema de parcelas subdivididas no espaço 2 x 20, sendo dois tipos de pontas e vinte distâncias paralelas à linha de cultivo fora da área-alvo, espaçadas entre si por 2,5 m. A calda foi composta por água+corante fluorescente rodamina B na concentração de 100 mg L⁻¹. Utilizou-se o volume de calda de 400 L ha⁻¹, aplicado por pulverizador hidropneumático. Dentre as características físico-químicas, somente a viscosidade não foi influenciada pelos traçadores. A maior eficiência de extração em alvo de papel foi obtida pela Sulfoflavina Brilhante, que juntamente com o Azul Brilhante demonstraram ser os traçadores mais estáveis à luz solar. O Blankophor foi o traçador que teve menor estabilidade à agitação da calda. A Sulfoflavina Brilhante mostrou ser o traçador mais adequado aos estudos de deposição de calda e deriva nas aplicações de produtos fitossanitários. Entre os traçadores de baixo custo e maior disponibilidade no Brasil, o corante fluorescente Rodamina B apresentou ser a melhor opção ao se utilizar como alvo papel filtrante. A ponta de jato cônico vazio com indução de ar reduziu a deriva até 20 m de distância da área tratada. A partir dessa distância, ambas as pontas geraram a mesma deriva. As curvas de deriva elaboradas a partir das aplicações pelas pontas de pulverização demonstraram ter comportamentos diferentes, sobretudo na região mais próxima do cafeeiro.

Palavras-chave: estabilidade de traçadores, perdas, pulverizador hidropneumático, pontas de pulverização.

¹ Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

ABSTRACT

ALVES, GUILHERME SOUSA. **Selection of tracers and pesticide spray drift on coffee crops (*Coffea arabica* L.)**. 2014. 57 f. Dissertation (Master Program in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia².

Pesticide drift is a serious agricultural problem that is especially significant for perennial crops. Most studies use tracers to quantify pesticide drift. Nevertheless, in Brazil, consensus is lacking on which tracer is the most effective. Thus, given the importance of coffee crops in Brazil, we evaluated several tracers used in application efficiency assessments. We also quantified the drift in coffee crops from hollow cone nozzles with and without air induction and then compared the results with European drift simulation models. We tested Brilliant Blue, Blankophor, Sodium Fluorescein, Rhodamine B and Brilliant Sulfoflavine tracers by evaluating surface tension, hydrogenionic potential, filter paper extraction, sunlight stability and agitation stability. Drift evaluation was based on the ISO 22866 standard. The experiment was set up in randomized blocks with 10 replications in a 2 x 20 split plot consisting of two nozzle types and twenty lines spaced 2.5 m apart and parallel to the target crop row. The spray was a mixture of water and Rhodamine B fluorescent dye at 100 mg L⁻¹. The spray was applied at 400 L ha⁻¹ using a hydro-pneumatic sprayer. Viscosity was similar for all tracers. Brilliant Sulfoflavine had the highest extraction efficiency, whereas Brilliant Sulfoflavine and Brilliant Blue were the most stable in sunlight. Blankophor had the least agitation stability and Brilliant Sulfoflavine was the most appropriate for spray deposition and drift assessment. Rhodamine B was the best option for filter paper targets among low-cost tracers available in Brazil. The air induction nozzle reduced drift to 20 m from the treated area; however, both nozzles produced the same drift within this limit. The drift models behaved differently and did not accurately estimate drift near the target row.

Keywords: tracer stability, losses, hidro-pneumatic sprayer, spray nozzles.

² Advisor Professor: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do café (*Coffea arabica* e *Coffea canephora*) possui grande importância na agricultura brasileira. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, com média de produção de 42,5 milhões de sacas de 60 kg e 29,7 milhões de sacas exportadas nos últimos 5 anos (CONAB, 2012). A área plantada com as duas espécies de café no País totaliza 2,28 milhões de hectares. Em Minas Gerais está concentrada a maior área, com 1,24 milhões de hectares, sendo que a espécie arábica representa 98,7% deste total. O Estado mineiro possui 54,2% de toda a área cultivada com café no País, ocupando o primeiro lugar no *ranking* nacional (CONAB, 2014).

A primeira estimativa de produção de café para a safra 2013/2014 indica que o País deverá colher aproximadamente 48,34 milhões de sacas de 60 quilos do produto beneficiado, o que representa uma redução de 1,6% em relação à safra anterior, em que foram colhidas 49,15 milhões de sacas (CONAB, 2014). Essa queda pode ser atribuída a alguns fatores, como ser um ano de baixa produção, em função da bienalidade da cultura, condições climáticas adversas e, principalmente, aos problemas fitossanitários, que estão diretamente relacionados à tecnologia de aplicação.

As lavouras estão sujeitas à ação de insetos, microrganismos fitopatogênicos e plantas infestantes, cujo controle envolve operações de alto significado socioeconômico, que reduzem as perdas e ajudam a garantir o retorno do investimento realizado pelo produtor. No controle desses agentes de perda, um dos métodos utilizados é a aplicação de produtos químicos, que em curto prazo apresenta bons resultados, desde que adequadamente realizada (CUNHA, 2001).

A aplicação de produtos fitossanitários nas lavouras tem auxiliado na obtenção de alta produtividade e na manutenção da qualidade dos produtos para a sua comercialização. Todavia, existem problemas ligados à deposição e perdas de calda para o ambiente, como inadequada cobertura do alvo, evaporação da gota, escorrimento da calda para o solo e deriva. Eliminá-los completamente é praticamente impossível, embora possam ser minimizados empregando-se tecnologias adequadas e equipamentos bem regulados. Segundo Matthews (2002), a tecnologia de aplicação refere-se à colocação da quantidade correta de ingrediente ativo no alvo, com máxima eficiência e de maneira econômica, afetando o mínimo possível o ambiente.

Uma das grandes preocupações na agricultura mundial do século XXI refere-se ao uso de produtos químicos, sobretudo devido à deriva. Nas pulverizações, os desperdícios de produtos fitossanitários podem ultrapassar 70% do total aplicado (CHAIM et al., 1999, 2000). Jong et al. (2008) mostram que quase 10% do que se aplica nas culturas anuais é perdido para áreas vizinhas, contaminando águas subterrâneas e superficiais, solo e atmosfera. Contudo, Maski e Durairaj (2010) afirmam que este valor pode chegar a 80%.

Estudos sobre padrões de deposição de pulverização indicam grande variabilidade ao longo das faixas de aplicação, o que diminui a eficiência dos tratamentos (PERGHER et al., 1997). Além disso, problemas relacionados à deriva têm sido fonte de muitos estudos, sobretudo devido à preocupação ambiental. Segundo Van De Zande et al. (2000), a deriva é influenciada pelas condições meteorológicas e principalmente pelas técnicas de aplicação. Matthews (1992) afirma que os produtos devem ser aplicados com o máximo de eficiência e para isso tornam-se necessários estudos de deposição da calda, cobertura e deriva, utilizando-se na maioria dos casos traçadores para se quantificar a eficiência do processo de pulverização.

Neste sentido, é importante realizar estudos com o objetivo de caracterizar o comportamento dos traçadores em virtude de não se ter consenso sobre qual é o mais adequado para determinado tipo de aplicação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Avaliar os traçadores rodamina B, sulfoflavina, blankophor, fluoresceína sódica e azul brilhante, visando selecionar os mais adequados aos estudos de deposição de calda e deriva nas aplicações de produtos fitossanitários.

Determinar a deriva gerada pelas pontas de pulverização jato cônico vazio com e sem indução de ar nas aplicações na cultura do café.

2.2 Objetivos específicos

Selecionar um traçador a ser utilizado no estudo de deriva do Capítulo III, buscando-se alternativa de menor custo e maior disponibilidade no mercado brasileiro.

Verificar qual a distância máxima, em relação à área tratada, em que as derivas ocasionadas pelas pontas de pulverização demonstram ser diferentes.

Elaborar curvas de deriva para as pontas de pulverização, e compará-las com os modelos clássicos alemão e holandês de estimativa de deriva.

Verificar se ambas as curvas de deriva das pontas jato cônico vazio com e sem indução de ar são matematicamente diferentes.

REFERÊNCIAS

CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; CORRALES, F.; GALVÃO, J. A. H.; CABRAL, O. M. R. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura do tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999.

CHAIM, A.; VALARINI, P. J.; PIO, L. C. Avaliação de perdas na pulverização de agrotóxicos na cultura do feijão. **Pesticidas Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 10, s/n., p. 65-74, 2000.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café: primeiro levantamento janeiro/2014**. 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_01_17_09_29_46_boletim_cafe_-_original_normalizado.pdf>. Acesso em 27 fev. 2014.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café: segunda estimativa safra/2012**. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_56_04_boletim_cafe_-_maio_2012.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2012.

CUNHA, J. P. A. R. **Água e químicos**. 2001. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=198>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

JONG, F. M. W.; SNOO, G. R.; ZANDE, J. C. Estimated nationwide effects of pesticide spray drift on terrestrial habitats in the Netherlands. **Journal of Environmental Management**, Oxford, v. 86, n. 4, p. 721-730, 2008.

MASKI, D.; DURAIRAJ. D. Effects of charging voltage, application speed, target height, and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 2, p. 134-141, 2010.

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

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 2. ed. London: LONGMAN, 1992. 405 p.

PERGHER, G.; GUBIANI, R.; TONETTO, G. Foliar deposition and pesticide losses from three air-assisted sprayers in a hedgerow vineyard. **Crop Protection**, London, v. 16, n. 1, p. 25-33, 1997.

Van De ZANDE, J. C; PORSKAMP, H. A. J.; MICHIENSEN, J. M. G. P., HOLTERMAN, H. J., HUIJSMANS, J. F. M. Classifications of spray applications for driftability, to protect surface water. **Pesticide Application**, Guildford, v. 66, n. 57, p. 57-65, 2000.

CAPÍTULO II

SELEÇÃO DE TRAÇADORES PARA ESTUDOS DE EFICIÊNCIA NAS APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

SELEÇÃO DE TRAÇADORES PARA ESTUDOS DE EFICIÊNCIA NAS APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

RESUMO

Para avaliar a deposição e as perdas de calda nas aplicações de produtos fitossanitários, na maioria dos casos são utilizados traçadores. Entretanto, não há consenso sobre qual é o traçador mais adequado para cada tipo de aplicação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de alguns compostos químicos utilizados como traçadores, buscando selecionar os mais adequados aos estudos de deposição e perda de produtos fitossanitários. Os traçadores utilizados foram: azul brilhante, blankophor, fluoresceína sódica, rodamina B e sulfoflavina brilhante. As concentrações usadas foram: 1000, 20, 15, 50 e 1000 ppm, respectivamente. A quantificação do azul brilhante foi feita por espectrofotometria e dos demais por espectrofluorimetria. Os filtros de excitação e emissão do fluorímetro variaram de acordo com o traçador. No espectrofotômetro, utilizou-se o comprimento de onda de 630 nm. As características avaliadas nas soluções contendo os traçadores foram: tensão superficial, pH, viscosidade, extração em alvos de papel filtrante e estabilidade à luz solar e à agitação. Os dados foram submetidos à análise de variância e, constatada diferença significativa, aplicou-se teste de médias e regressão. Dentre as características físico-químicas, somente a viscosidade não foi influenciada pelos traçadores. A maior eficiência de extração em alvo de papel foi obtida pela Sulfoflavina Brilhante, que juntamente com o Azul Brilhante demonstraram ser os traçadores mais estáveis à luz solar. O Blankophor foi o traçador que teve menor estabilidade à agitação da calda. A Sulfoflavina Brilhante mostrou ser o traçador mais adequado aos estudos de deposição de calda e deriva nas aplicações de produtos fitossanitários. Entre os traçadores de baixo custo e maior disponibilidade no Brasil, o corante fluorescente Rodamina B apresentou ser a melhor opção ao se utilizar como alvo papel filtrante.

Palavras-chave: perdas, deposição, estabilidade.

SELECTION OF TRACER DYES FOR THE EFFICIENT ASSESSMENT OF PESTICIDE APPLICATIONS

ABSTRACT

Tracers are used to evaluate pesticide spray deposition and loss; however, optimal tracers for specific applications have not yet been defined. Therefore, this study aimed to evaluate various tracers and determine the best compound for assessing pesticide spray deposition and loss. We evaluated brilliant blue, blankophor, sodium fluorescein, rhodamine B and brilliant sulfoflavine at 1000, 20, 15, 50, 1000 ppm, respectively. Brilliant blue was evaluated by spectrophotometry (630 nm wavelength) and the other tracers by spectrofluorometry. The specific excitation and emission filters used in spectrofluorometry varied by tracer type. Surface tension, hydrogenionic potential, filter paper extraction, sunlight stability and agitation stability were evaluated. The data were examined by variance analyses and significant differences were submitted to media tests and regression. Viscosity was the only physical-chemical that was not affected by tracer type. Brilliant Sulfoflavine had the highest extraction efficiency, Brilliant Sulfoflavine and Brilliant Blue were the most stable in sunlight and Blankophor had the lowest agitation stability. Brilliant Sulfoflavine was the most appropriate for pesticide spray deposition and drift assessment. Rhodamine B was the best option for filter paper targets among low-cost tracers available in Brazil.

Keywords: losses, deposition, stability.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação dos depósitos da calda aplicada em alvos naturais ou artificiais empregando-se traçadores é um método adequado para se compreender os diversos aspectos ligados à pulverização de produtos fitossanitários, em virtude da facilidade de sua visualização e remoção das folhas ou de alvos coletores diretamente pela água (MARCHI et al., 2005), dispensando-se assim componentes específicos para a extração e aparelhos com maior nível de sofisticação. Segundo Matuo (1988), caso estas pesquisas fossem realizadas utilizando-se os próprios ingredientes ativos, os custos seriam um dos fatores mais limitantes.

Os traçadores têm sido utilizados para avaliar a deposição e as perdas proporcionadas pela aplicação há vários anos (FRITZ et al., 2011). Trata-se de substâncias adicionadas à calda para se avaliar o desempenho dos pulverizadores (PALLADINI, 2000), além de possibilitar mensurações qualitativas e quantitativas sobre os diversos destinos dos produtos fitossanitários no ambiente, aplicados por um equipamento de pulverização. Trazem como vantagem geral, frente à detecção empregando-se o próprio ingrediente ativo, maior facilidade e menores custos das análises químicas e risco de contaminação ao usuário.

De acordo com Käss (1998), um traçador deve apresentar os seguintes quesitos: ter alta solubilidade e apresentar boa dispersão em água; não reagir com a água ou alterar suas propriedades físico-químicas; ser estável, não sofrendo degradação física, química ou biológica; não existir previamente na área de estudo; ser livre dos fenômenos de adsorção, absorção e troca iônica; poder ser utilizado em baixas concentrações por questões de toxicidade, custo e transporte; ser de fácil detecção e mensuração a baixas concentrações; e não ser prejudicial à saúde humana e ambiental.

O primeiro passo para o uso de um traçador refere-se à sua escolha, em que se deve levar em consideração, sobretudo, a estabilidade à luz solar, o nível de detecção, a toxicidade, a persistência e a solubilidade (PALLADINI et al., 2005), além da taxa de recuperação e a influência sobre as propriedades físico-químicas da calda (PERGHER, 2001). No caso específico da estabilidade à luz solar, é importante analisar esta característica devido ao fato de a maioria dos experimentos relacionados à deposição e à deriva serem realizados no campo.

Em geral, a detecção dos traçadores é feita por espectrofotômetros ou fluorímetros. A fluorimetria apresenta sensibilidade e exatidão superiores à espectrofotometria. Entretanto, como desvantagem, tem-se a fotodegradação que deve ser monitorada (HERMOSILLA et al., 2008; SOUZA et al., 2012). Esta técnica foi inicialmente usada por Liljedahl e Strait (1959), e posteriormente por outros pesquisadores (GOERING; BUTLER, 1974; PERGHER; GUBIANI, 1995; ZHU et al., 2004; SALYANI et al., 2006).

Entre os traçadores fluorescentes, merece destaque a sulfoflavina brilhante por apresentar-se estável à luz solar (BRUSSELMAN et al., 2004). Além disso, apresenta possibilidade de detecção em quantidades bastante reduzidas, com limite de detecção de 0,005 a 0,0005 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (NUYTTENS et al., 2007). Contudo, seu custo é elevado e tem baixa disponibilidade em alguns mercados, como observado no Brasil. Assim, faz-se necessário avaliar outros tipos de traçadores fluorescentes com menores custos e melhor acessibilidade.

Hayden et al. (1990) foram pioneiros ao trabalharem com corantes alimentícios como o azul brilhante, e concluíram que podem ser utilizados nas pesquisas de avaliações de depósitos em plantas por terem limite de detecção de 0,1 ppm, refletindo em segurança neste tipo de avaliação, por serem solúveis em água e mais baratos do que outros tipos de corantes. Em seguida, passaram a ser amplamente utilizados em estudos de deposição de calda em alvos naturais, sendo muito empregado o azul brilhante, por possuir estabilidade à luz solar por um período de até 5 horas (PINTO et al., 2007). Contudo, por possuir nível de detecção menor do que o de outros traçadores, torna-se difícil utilizá-lo em estudos de deriva, em que se requerem determinações de quantidades bastante diminutas.

Tendo em vista que não há um consenso sobre o traçador ideal, a pequena disponibilidade e o alto custo em alguns mercados destes produtos empregados com frequência na literatura internacional, o objetivo deste trabalho foi avaliar os traçadores Rodamina B, Sulfoflavina Brilhante, Blankophor, Fluoresceína Sódica e Azul Brilhante, visando selecionar os mais adequados aos estudos de deposição de calda e deriva nas aplicações de produtos fitossanitários. Além disso, buscou-se selecionar um traçador a ser utilizado no estudo de deriva do Capítulo III, buscando-se alternativas de menor custo e maior disponibilidade no mercado brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola e na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Uberlândia – MG.

Os traçadores utilizados foram: Azul Brilhante – AB (Duas Rodas, Jaraguá do Sul, Brasil); Blankophor BA 267% - BKP (Lanxess, Leverkusen, Alemanha); Fluoresceína Sódica – FSS (Synth, Diadema, Brasil); Rodamina B – RDM (Synth, Diadema, Brasil); e Sulfoflavina Brilhante – BSF (Biovalley, Marne La Vallee, França).

A quantificação dos traçadores fluorescentes foi feita por fluorimetria, com o auxílio de um fluorímetro com lâmpada de halogênio (Thermo Scientific, FM109515). Na Tabela 1 são mostrados os filtros de emissão e excitação utilizados para a detecção por fluorescência. Para o corante Azul Brilhante, a quantificação foi feita por espectrofotometria, utilizando-se um espectrofotômetro com lâmpada de tungstênio-halogênio (Biospectro, SP22). Utilizou-se o comprimento de onda de 630 nm, faixa de detecção do azul, de acordo com a metodologia empregada por Palladini et al. (2005).

TABELA 1. Filtros de excitação e emissão de onda utilizados no fluorímetro para detecção dos traçadores fluorescentes

Traçador	Filtro		Referência
	Excitação	Emissão	
Rodamina B	NB540	SC585	Chaim et al. (2003)
Blankophor	NB360	SC415	Villalba et al. (2011)
Fluoresceína Na	NB490	SC515	Zhu et al. (2005)
Sulfoflavina Brilhante	NB390	SC500	Magdalena (2004)

As concentrações iniciais teóricas das soluções contendo os traçadores AB, BKP, BSF, FSS e RDM foram: 1.000 (De MARCHI et al., 2009); 20 (VILLALBA et al., 2011); 1.000 (De SCHAMPHELEIRE et al., 2009); 15 (ZHU et al., 2005) e 50 ppm (CHAIM et al., 2003), respectivamente. Convém ressaltar que foram utilizadas essas concentrações devido ao fato de serem as mesmas usadas pelos autores nas aplicações a campo.

A calibração do fluorímetro foi feita utilizando-se soluções com concentrações conhecidas, sendo: 0,1; 4,0; 0,1 e 0,2 ppm para BKP, BSF, FSS e RDM,

respectivamente. Para o Azul Brillhante, fez-se uma curva de calibração, conforme consta na Figura 1.

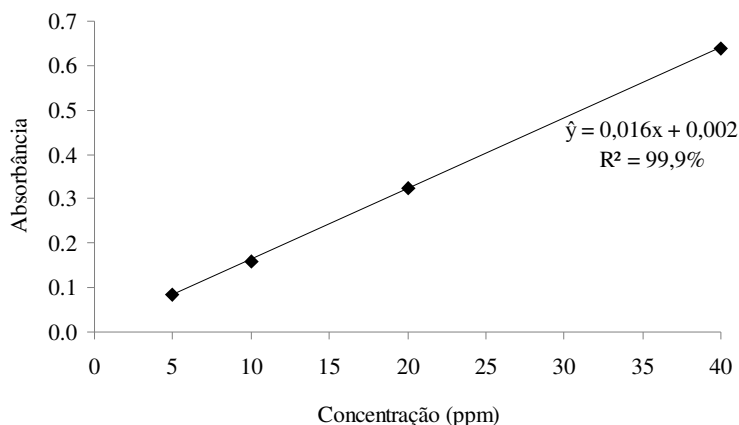


FIGURA 1. Curva de calibração para detecção do azul brilhante no espectrofotômetro.

2.1 Características físico-químicas de soluções aquosas de traçadores

As características avaliadas foram: tensão superficial, pH e viscosidade. Os ensaios foram feitos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Como referência, avaliaram-se também as características da água destilada. As soluções de cada repetição foram preparadas em balões volumétricos de 100 mL. Seguiram-se as metodologias empregadas por Cunha e Alves (2010).

Para a determinação da tensão superficial, foi utilizado um tensiômetro de bancada com anel de platina (Kruss, K6). O pH foi medido por um peagâmetro portátil (Hanna, HI98139), previamente calibrado utilizando-se soluções-padrão de pH 7,0 e 4,0.

A viscosidade foi determinada utilizando-se um viscosímetro rotativo microprocessado (Quimis, 860M21). Utilizou-se o rotor zero na rotação de 60 rpm.

2.2 Eficiência de extração em alvo artificial

A eficiência de extração foi determinada conforme metodologia utilizada por Rezende (2011). Como alvo foram utilizados papéis filtrantes com pH neutro e gramatura de 65 g m^{-2} (Jprolab, São José dos Pinhais, Brasil) com dimensões de 3 x 3 cm, por serem muito utilizados em estudos de deriva, em que é necessário captar o produto perdido para fora da área alvo. O ensaio foi feito em DIC, com quatro

repetições, em esquema fatorial 5 x 5, sendo o primeiro fator referente aos traçadores e o segundo, ao tempo entre a distribuição e o início do processo de extração dos mesmos do papel.

Individualmente, os papéis foram colocados em placas de Petri e, com o auxílio de uma pipeta automática com capacidade de 1000 µL, distribuíram-se sobre os mesmos 50 µL da solução contendo os traçadores. Após a distribuição, esperou-se 30; 60; 120; 240; e 360 minutos para se fazer a extração. Após atingir o tempo, os alvos foram transferidos para copos plásticos com tampas, em que foram adicionados 15 mL de água destilada, exceto para a RDM. Neste caso, foi utilizado o mesmo volume, porém, de uma solução de água destilada e Tween 80 (polioxietilensorbitano monooleato) a 0,2%, seguindo-se a metodologia usada por Scramin et al. (2002).

Em seguida, exceto para o BKP, foi feita uma agitação durante 15 minutos em uma mesa agitadora pendular (Tecnal, TE-240/I), seguindo as metodologias usadas por Scramin et al. (2002) para a RDM, Rezende (2011) para a FSS e AB, e De Schampheleire et al. (2009) para a BSF. Padronizou-se a rotação em 120 rpm por ser a mesma utilizada por Scramim et al. (2002) e por possibilitar fazer a extração de todos os traçadores simultaneamente. Para o BKP, após a adição de água, retiraram-se os papéis após leve agitação manual, conforme Villalba et al. (2011).

Adicionalmente, o mesmo foi feito em placas de Petri sem os alvos, a fim de se obter a concentração real inicial. De posse desses dados, calculou-se a porcentagem de recuperação dos traçadores em relação à concentração inicial real, segundo a Equação 1:

$$\% \text{ Rec} = \frac{C_{inst}}{C_{real}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

%Rec – porcentagem de recuperação

C_{inst} – concentração do traçador obtida após a extração (ppm)

C_{real} – concentração real inicial do traçador após a diluição (ppm)

2.3 Estabilidade à luz solar

Para avaliar o comportamento dos traçadores quando expostos à luz solar foram colocados 100 mL de solução de cada traçador dentro de placas de Petri, com fundo e

bordas totalmente translúcidas, dispostas sobre um solo sem cobertura vegetal. As placas não foram tampadas para não haver interferência no processo de evaporação da água.

O ensaio foi realizado em delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo 5 x 6, sendo o fator de parcela referente aos traçadores e o de subparcela, aos tempos de exposição solar, sendo: 15; 30; 45; 60; 90 e 120 minutos. Após atingir o tempo, retiraram-se da placa de Petri 10 mL da solução, que foram transferidos para copos plásticos acondicionados em caixas de isopor. O período de exposição iniciou-se às 9h30min e concluiu-se às 11h30min, horário em que não havia nuvens no céu. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013), a radiação solar emitida durante a condução do ensaio foi de $6,862 \text{ MJ m}^{-2}$. Para se ter a concentração inicial real das soluções foram feitas leituras de soluções que não foram expostas ao sol. Em laboratório, as amostras foram diluídas adicionando-se 40; 50; 40; 65 e 40 μL das soluções contendo AB, BKP, BSF, FSS e RDM, respectivamente, em 10 mL de água destilada para que fosse feita a leitura direta no aparelho. Com isso pôde-se calcular a porcentagem de recuperação dos traçadores por meio da Equação 1.

2.4 Estabilidade à agitação

O intuito desta avaliação foi simular a agitação proporcionada pelo tanque do pulverizador. O ensaio foi realizado em DIC com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 4, sendo o primeiro fator referente aos traçadores e o segundo, aos tempos de agitação.

Foram adicionados 10 mL de solução com cada traçador em recipientes plásticos com capacidade de 100 mL. Os frascos foram lacrados e submetidos à agitação durante 10; 20; 30; e 60 minutos à rotação de 150 rpm. Para isso, foi utilizada uma mesa agitadora pendular (Tecnal, TE-240/I). Para se ter a concentração inicial real das soluções foram feitas leituras das amostras não submetidas à agitação. Ao término da agitação, as soluções foram diluídas adicionando-se 40; 50; 40; 65 e 40 μL das soluções contendo AB, BKP, BSF, FSS e RDM, respectivamente, em 10 mL de água destilada para que fosse feita a leitura direta no aparelho. Com isso pôde-se calcular a porcentagem de recuperação dos traçadores por meio da Equação 1.

2.5 Análises estatísticas

Inicialmente foram testadas as pressuposições dos dados a 0,01 de significância utilizando-se o programa estatístico SPSS 17.0 (SPSS, 2008). Nos ensaios conduzidos em DIC, aplicaram-se os testes de Levene para verificar a homogeneidade de variâncias e Kolmogorov-Smirnov (para número de observações maior do que 50) ou Shapiro-Wilk (para número de observações menor do que 50) para testar a normalidade dos resíduos. No ensaio conduzido em DBC, além destes, aplicou-se também o teste de Tukey para aditividade de blocos. Nos casos em que as pressuposições não foram atendidas, os dados foram transformados em \sqrt{x} e submetidos à nova análise. Somente quando a transformação corrigiu ou melhorou pelo menos uma das pressuposições, sem prejudicar as demais, usaram-se os dados transformados para elaborar a análise de variância. Do contrário, foram utilizados os dados originais.

Após analisar as pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008) em todos os ensaios, exceto para as características físico-químicas das soluções, em que foi utilizado o programa ASSISTAT 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009). Em todas as análises adotou-se a significância de 0,05.

Quando pertinente, pelo Sisvar, os dados dos tratamentos qualitativos foram comparados entre si pelo teste de Tukey, enquanto que os dos quantitativos foram submetidos à análise de regressão. As curvas foram elaboradas pelo programa Table Curve 2D 5.01 (SPSS, 2000). Pelo Assistat, os dados de pH, a tensão superficial e a viscosidade das soluções dos traçadores foram comparados com os obtidos para a água destilada (testemunha) utilizando-se o teste de Dunnett.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, é apresentado o resumo da análise das pressuposições do modelo de análise de variância referente à homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e aditividade de blocos. Somente para tensão superficial, pH e viscosidade, os dados originais possuíram resíduos com distribuição normal e variâncias homogêneas. Para as demais características, mesmo após a transformação, no geral, as pressuposições não foram atendidas a 0,01 de significância.

TABELA 2. Análise das pressuposições dos dados referentes às características avaliadas

Características	Testes	Dados não transformados		Dados transformados		Análise dos dados ⁶
		Valor de $F^1/SW^2; KS^3/F^4$	Sig. ⁵	Valor de $F^1/SW^2; KS^3/F^4$	Sig. ⁵	
Tensão superficial	Levene	2,629	0,059	NT
	SW	0,915	0,045	
pH	Levene	2,047	0,120	NT
	SW	0,962	0,470	
Viscosidade	Levene	1,211	0,344	NT
	SW	0,986	0,973	
Eficiência de extração	Levene	5,570	0,000	7,345	0,000	NT
	KS	0,148	0,000	0,168	0,000	
Exposição solar	Levene	2,557	0,000	2,575	0,000	NT
	KS	0,390	0,000	0,285	0,000	
	Tukey	6,483	0,013	6,388	0,013	
Agitação	Levene	4,307	0,000	4,080	0,000	T
	KS	0,151	0,000	0,152	0,000	

¹Estatística do teste de Levene para homogeneidade das variâncias; ^{2,3}Estatística dos testes de Shapiro Wilk e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente, para normalidade dos resíduos; ⁴Estatística do teste de Tukey para aditividade dos blocos; ⁵Valores em negrito indicam homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e aditividade dos blocos à significância de 0,01; ⁶T: dados transformados em \sqrt{x} ; NT: dados não transformados.

Para a exposição solar, nota-se que houve aditividade de blocos para os dados originais. Além disso, a transformação resultou em pequena melhoria na normalidade dos resíduos, mas prejudicou a homogeneidade das variâncias. A transformação para eficiência de extração aumentou o valor de F para Levene e K-S para Kolmogorov-Smirnov, refletindo em aumento na variabilidade dos dados. Por outro lado, a transformação dos dados referentes à agitação melhorou a homogeneidade das variâncias. Assim, a análise de variância foi elaborada usando-se os dados originais para todas as características, exceto para agitação, em que foram utilizados os dados transformados.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, somente as soluções com RDM e BSF apresentaram tensão superficial menor do que a da água destilada, que foi de 72,60 mN m⁻¹, sendo que a diferença foi de 6,43 para a RDM e de 1,38 mN m⁻¹ para a BSF. Entre os traçadores, a RDM também apresentou a menor tensão (66,17 mN m⁻¹). No entanto, vale ressaltar que essa redução não é tão expressiva como a resultante do uso de adjuvantes redutores de tensão superficial. Cunha e Alves (2009), por exemplo, encontraram valores de tensão superficial de 43,2 mN m⁻¹ com a adição do surfactante

nonil fenol etanol+sal sódico dodecil benzeno sulfônico à água. Além disso, a detecção dessas diferenças se dá provavelmente pelo baixo coeficiente de variação dos dados (0,66%).

Todas as soluções contendo os traçadores apresentaram pH menor do que o da água destilada. Porém, esta redução foi mais expressiva para a BSF, com pH de 4,31. No entanto, as menores reduções foram observadas para a FSS e BKP, com pH de 6,06 e 5,96, respectivamente.

Com relação à viscosidade, todas as soluções contendo os traçadores apresentaram ter a mesma viscosidade da água destilada, resultando em valores entre 1,17 e 1,32 mPa s.

TABELA 3. Características físico-químicas de soluções de traçadores usados em estudos de deposição e deriva de produtos fitossanitários

Traçador	Tensão Superficial (mN m ⁻¹)	pH	Viscosidade (mPa s)
RDM	66,17c ⁺	5,51 c ⁺	1,29 a
BKP	73,12 a	5,96 ab ⁺	1,32 a
BSF	71,22 b ⁺	4,31 d ⁺	1,31 a
FSS	72,77 a	6,06 a ⁺	1,19 a
AB	72,57 a	5,67 bc ⁺	1,17 a
Água destilada	72,60	6,31	1,25
CV (%)	0,66	2,71	5,95
DMS _{Dunnnett}	0,96	0,30	0,16
DMS _{Tukey}	1,15	0,32	0,17
F _{traçxtest}	115,719*	109,618*	2,865*
F _{traç}	119,659*	89,293*	3,480*

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Médias seguidas por ⁺ diferem da testemunha pelo teste de Dunnnett. CV: coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. F_{traç} e F_{traçxtest}: valores do F calculado para traçador e interação entre traçador e testemunha, respectivamente. *significativo a 0,05.

Na literatura existem trabalhos utilizando várias concentrações para um mesmo traçador. Assim, novos estudos são necessários caso sejam utilizadas concentrações diferentes das usadas neste trabalho.

Schleier et al. (2010), avaliando o efeito de traçadores fluorescentes no espectro de gotas e nas características das caldas de aplicação, concluíram que os traçadores óleo solúvel Tinopal OB e Fluoresceína também não afetaram significativamente a densidade e viscosidade da calda, tampouco o diâmetro da mediana volumétrica do

espectro de gotas. Esses autores sugerem ainda que provavelmente os traçadores tenham pouca influência sobre o movimento da calda no ambiente, concordando com os resultados deste trabalho.

Na Tabela 4 é mostrada a eficiência de extração de traçadores em alvos artificiais de papel. Nota-se que a maior porcentagem de recuperação, em todos os diferentes tempos de contato, foi obtida para a BSF, que teve o valor mais próximo de 100%, considerado como ideal. A FSS teve recuperação similar à da BSF somente nos dois primeiros tempos de contato. Outro traçador que demonstrou ter recuperação intermediária, porém menor do que a BSF, foi a RDM, resultando em uma eficiência de extração próxima de 84%. Os piores valores foram obtidos pelos traçadores AB e BKP, sendo abaixo de 52% e 44%, respectivamente. Assim, estes traçadores devem ser evitados quando se deseja trabalhar com esse tipo de alvo por subestimarem a quantificação dos depósitos, influenciando negativamente a análise.

TABELA 4. Eficiência de extração (%) de traçadores em alvos de papel filtrante, variando-se o intervalo de tempo entre a aplicação e o início da extração

Tempo (min)	Traçador ¹				
	RDM	BKP	BSF	FSS	AB
30	89,9 b	37,4 c	99,6 a	91,8 ab	37,3 c
60	84,7 b	42,9 c	97,5 a	94,1 a	48,7 c
120	88,7 b	43,7 c	105,7 a	86,1 b	50,4 c
240	88,2 b	42,4 d	103,4 a	84,4 b	51,3 c
360	86,9 b	43,8 c	103,2 a	87,3 b	46,0 c
	DMS = 7,9 CV = 5,41%		F _{traç} = 931,104*; F _{temp} = 2,380 ^{ns} ; F _{inter} = 3,318*		

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação. F_{traç}, F_{temp}, F_{inter} - valores de F calculado para os fatores traçador, tempo e interação entre os fatores, respectivamente. *significativo a 0,05; ^{ns}não significativo. ¹RDM: rodamina B; BKP: blankophor; BSF: sulfoflavina; FSS: fluoresceína sódica; AB: azul brilhante.

A qualidade da extração não foi influenciada pelo tempo de contato em que os traçadores foram mantidos com os alvos até o início da extração. Desta forma, nenhum modelo de regressão foi significativo a 0,05, o que indica que a eficiência obtida no menor tempo de contato (30 min) foi a mesma obtida no tempo máximo de avaliação (360 min). Isso implica que a extração dos traçadores não necessariamente deve ser feita instantaneamente após a aplicação. Pode-se esperar um tempo de até 6 horas para

se fazer a extração sem que a recuperação dos traçadores no papel seja prejudicada. Caso o intervalo entre a aplicação e a extração seja maior do que 6 horas, novos estudos são necessários para verificar se os resultados teriam o mesmo comportamento.

A Tabela 5 refere-se à porcentagem de recuperação dos traçadores expostos por vários tempos à luz solar. Definiu-se como traçador estável aquele cuja porcentagem de recuperação esteve próxima de 100% ao ser exposto à luz solar. O AB e a BSF mostraram ser os mais estáveis durante todo o tempo de exposição, apresentando valores entre 99,2 e 106,5%. De maneira geral, a RDM demonstrou ser o segundo traçador fluorescente mais estável à luz solar, resultando em porcentagem de recuperação superior a 91% até 60 minutos de exposição. Expondo a FSS por um tempo de 15 min, teve-se uma queda de aproximadamente 50%, demonstrando ser o traçador que mais foi degradado pela luz solar, mesmo quando a exposição foi por tempo reduzido.

TABELA 5. Porcentagem de recuperação de traçadores submetidos a diferentes tempos de exposição à luz solar

Tempo (min)	Traçador ¹				
	RDM	BKP	BSF	FSS	AB
15	93,9 c	87,4 d	105,2 a	50,1 e	99,2 b
30	94,2 b	83,4 c	103,9 a	38,9 d	100,8 a
45	91,3 b	83,0 c	106,1 a	23,2 d	101,8 a
60	91,1 c	75,4 d	109,1 a	18,1 e	101,6 b
90	83,1 b	62,5 c	104,4 a	7,4 d	105,6 a
120	79,0 b	56,3 c	106,0 a	5,8 c	106,5 a
	DMS = 4,5 CV = 4,20%		F _{traç} = 2403,845*; F _{temp} = 190,144*; F _{inter} = 71,249*		

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação. F_{traç}, F_{temp}, F_{inter} - valores de F calculado para os fatores traçador, tempo e interação entre os fatores, respectivamente. *significativo a 0,05. ¹RDM: rodamina B; BKP: blankophor; BSF: sulfoflavina; FSS: fluoresceína sódica; AB: azul brilhante.

Na Figura 2 nota-se que para os traçadores AB e BSF a porcentagem de recuperação não foi significativa no intervalo de 15 a 120 minutos de exposição, o que reforça a idéia de que estes traçadores foram os mais estáveis. Pinto et al. (2007), avaliando a estabilidade de alguns corantes à luz solar, concluíram que o AB é estável

por um período de até 300 minutos de exposição. Brusselman et al. (2004) também concluíram que a BSF possui baixa fotodegradação em experimentos de campo.

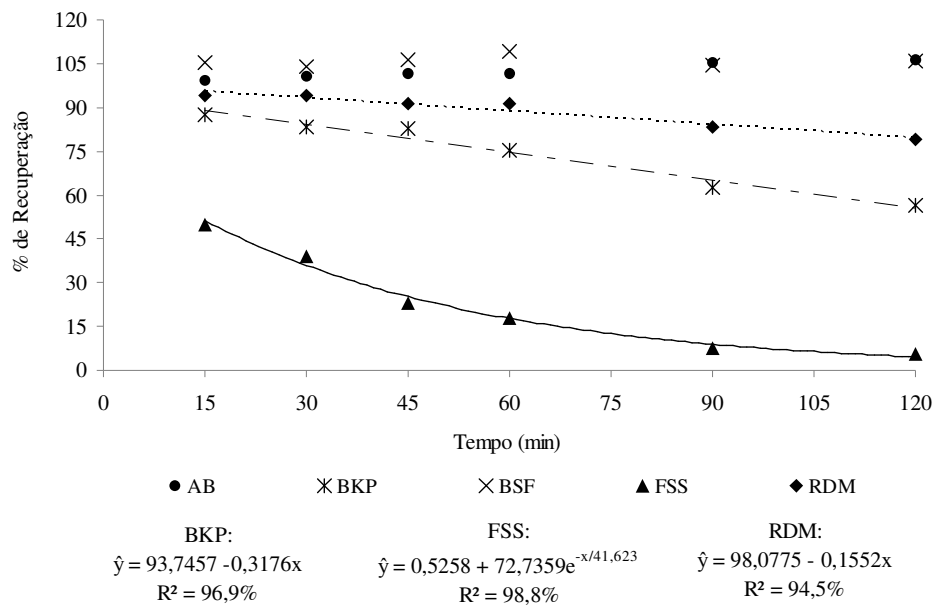


FIGURA 2. Curvas de regressão para porcentagem de recuperação de traçadores expostos à luz solar.

A porcentagem de recuperação dos traçadores RDM e BKP demonstrou declinar linearmente com o tempo, enquanto que a porcentagem de recuperação da FSS declinou exponencialmente, na porcentagem de recuperação à medida que o tempo de exposição aumentou (Figura 2). Para a RDM, a cada minuto de exposição à luz solar, espera-se uma redução de 0,15% na porcentagem de recuperação, chegando ao valor mínimo de 79% no tempo de 120 min. Para o BKP, essa redução estimada foi de 0,31%, chegando à porcentagem mínima de 55%. No caso específico da FSS, observou-se que a maior taxa de decréscimo ocorreu antes dos 60 minutos iniciais, tendo porcentagem de recuperação estabilizada próximo dos 6% no término da exposição, considerado um valor extremamente baixo. Smith e Pretorius (2002) também concluíram que a FSS possui rápida fotodegradação. Mais precisamente, Suhogusoff et al. (2005) concluíram que esse mesmo traçador, na concentração de 70 mg L^{-1} , teve uma perda de massa de até 20% quando exposto à luz do ambiente (artificial e natural), corroborando com resultados deste trabalho.

Por outro lado, para Cai e Stark (1997) e Gouzie et al. (2010) a RDM possui elevada estabilidade à luz solar, tendo baixa degradação durante o período investigativo.

Na Tabela 6 é mostrada a porcentagem de recuperação dos traçadores após serem submetidos à agitação. Definiu-se como traçador estável à agitação aquele cuja porcentagem de recuperação esteve próxima de 100%. A BSF, a FSS e o AB demonstraram ser os mais estáveis à agitação em todos os tempos, tendo valores acima de 95,4%. A RDM igualou-se a estes traçadores apenas no tempo de 10 minutos de agitação, porém, em todos os tempos teve porcentagem de recuperação maior do que o BKP, cujos valores mantiveram-se abaixo de 79,6%.

TABELA 6. Porcentagem de recuperação de traçadores após serem submetidos a diferentes tempos de agitação na rotação de 150 rpm

Tempo (min)	Traçador ¹				
	RDM	BKP	BSF	FSS	AB
10	95,4 a	79,6 b	100,2 a	97,6 a	99,4 a
20	83,8 b	75,7 c	98,3 a	99,3 a	99,5 a
30	88,8 b	69,7 c	100,0 a	101,5 a	99,2 a
60	71,0 b	63,5 c	95,4 a	98,3 a	99,9 a
CV = 1,95%		$F_{\text{traç}} = 203,088^*$; $F_{\text{temp}} = 25,493^*$; $F_{\text{inter}} = 8,726^*$			

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV: coeficiente de variação. $F_{\text{traç}}$, F_{temp} , F_{inter} - valores de F calculado para os fatores traçador, tempo e interação entre os fatores, respectivamente. *significativo a 0,05.

O tempo de agitação para a BSF, a FSS e o AB não interferiu na porcentagem de recuperação, o que reafirma que esses traçadores foram os mais estáveis à agitação (Figura 3). Entretanto, quanto maior o tempo de agitação, menor foi a porcentagem de recuperação para a RDM e o BKP. No caso da RDM, para cada 10 min de agitação a 150 rpm, espera-se uma redução de 4,4% na porcentagem de recuperação, enquanto que para o BKP, espera-se menor queda, de 3,2%.

Uma utilização prática desta análise é que, em aplicações cuja calda contendo o traçador seja exposta por um longo período de agitação constante no tanque do pulverizador, o traçador BKP é a pior opção. Nesse caso, as melhores opções são a BSF, a FSS e o AB. Porém, convém ressaltar que a RDM possuiu estabilidade inicial próxima de 95% no tempo de agitação de 10 min. Além disso, ao se fazer a coleta da calda para se medir a concentração do traçador, deve-se retirar a calda na saída da ponta de pulverização, a fim de se reduzir as influências sobre a concentração do traçador provenientes da turbulência gerada pelo sistema hidráulico do pulverizador.

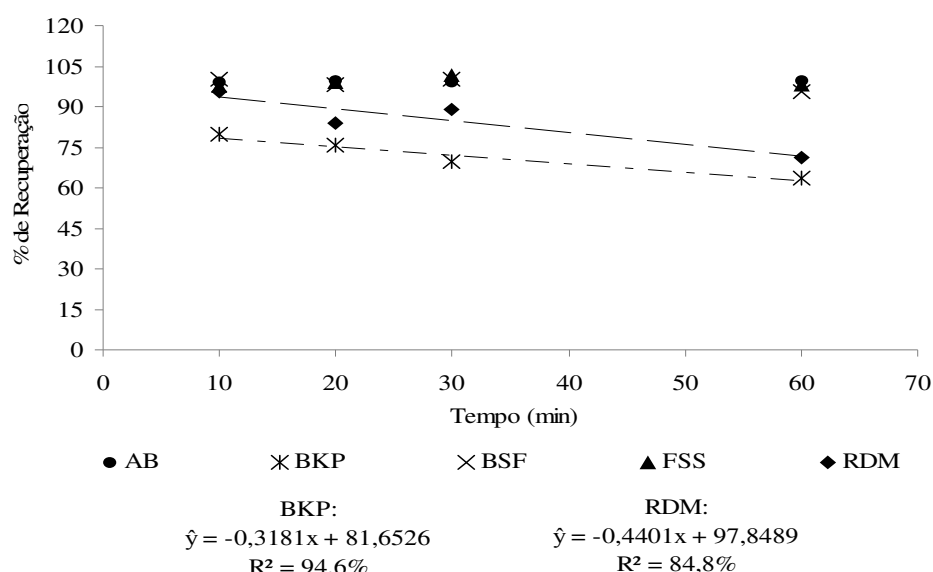


FIGURA 3. Curvas de regressão para a porcentagem de recuperação de traçadores submetidos a diferentes tempos de agitação na rotação de 150 rpm.

Suhogusoff et al. (2005), estudando a adsorção do traçador fluorescente uranina (fluoresceína sódica) em sedimentos, observaram uma mudança de concentração quando a amostra foi submetida à agitação: ela foi mais elevada nos primeiros instantes, mas tendeu a diminuir conforme a perturbação prosseguiu. Entretanto, a concentração utilizada foi de 70 mg L^{-1} e o tempo de agitação foi de apenas 100 segundos, em rotação não informada. Esses autores observaram que houve perda de fluorescência de cerca de 4%.

É importante salientar que não há um valor exato sobre a condição de agitação real que a calda é submetida dentro do tanque de pulverização. Além disso, existem vários mecanismos de agitação, podendo ser pelo fluxo de retorno do líquido ou por pás agitadoras. Assim, novas pesquisas são necessárias para informar o grau de agitação que a calda é submetida, o que aliado ao equipamento utilizado na aplicação, pode permitir avaliar a influência da agitação na quantificação dos traçadores.

Outro ponto refere-se à técnica de extração. As metodologias para extração dos traçadores RDM, BSF, AB e FSS envolvem a agitação, sobretudo quando se tem papéis como alvo. O maior cuidado deve ser dado à RDM e ao BKP, uma vez que os demais não sofreram influência. Portanto, deve-se extrair esses traçadores utilizando-se rotações inferiores a 150 rpm, conforme metodologia descrita por Scramin et al. (2002) para a RDM, que propuseram a rotação de 120 rpm. No caso do BKP, extraí-lo de alvo

de papel sem agitação, conforme proposto por Villalba et al. (2011), pode ser explicado pela perda gradual na fluorescência resultante da turbulência, indicando que, de fato, a extração deve ser feita com agitação manual ou a baixas rotações.

4 CONCLUSÕES

A Rodamina B e a Sulfoflavina Brilhante foram os únicos traçadores que reduziram a tensão superficial da calda em relação à água destilada.

A maior redução da tensão superficial foi ocasionada pela Rodamina B, que foi de 66,17 mN m⁻¹.

Todos os traçadores diminuíram o potencial hidrogeniônico da calda em relação à água destilada.

O Blankophor e a Fluoresceína Sódica foram os traçadores cuja calda teve o pH mais próximo do da água destilada. O menor pH da calda foi obtido pela Sulfoflavina Brilhante, de 4,31.

Os traçadores não modificaram a viscosidade da água destilada, que foi de 1,25 mPa s.

A maior eficiência de extração em alvo de papel foi obtida pela Sulfoflavina Brilhante, seguida pela Fluoresceína Sódica e Rodamina B.

A Sulfoflavina Brilhante e o Azul Brilhante demonstraram ser os traçadores mais estáveis à luz solar, enquanto que a Fluoresceína Sódica, o que mais se degradou após a exposição.

O Blankophor foi o traçador que teve menor estabilidade à agitação da calda.

A Sulfoflavina Brilhante mostrou ser o traçador mais adequado aos estudos de deposição de calda e deriva nas aplicações de produtos fitossanitários.

Entre os traçadores de baixo custo e maior disponibilidade no Brasil, o corante fluorescente Rodamina B apresentou ser a melhor opção ao se utilizar como alvo papel filtrante.

A Rodamina B foi o traçador selecionado para ser utilizado no estudo de deriva do Capítulo III.

REFERÊNCIAS

- BRUSSELMAN, E.; Van DRIESSEN, K.; STEURBAUT, W.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W.; NUYTENS, D.; SONCK, B.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAI, B.; RAMON, H. Wind tunnel tests with different tracer and collection techniques for the measurement of spray drift. **Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences**, Ghent, v. 69, n. 4, p. 829-836, 2004.
- CAI, S. S.; STARK, J. D. A method for the determination of Rhodamina B and brilliant sulfaflavina on cotton string collectors and in a spray tank solution mixture. **Journal of Environmental Science and Health**, Monticello, v. 32, n. 6, p. 985-1004, 1997.
- CHAIM, A.; SCRAMIN, S.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L.; BOTTON, M.; SANHUIENZA, R. M. V.; KOVALESKI, A. Deposição de agrotóxicos pulverizados na cultura da maçã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 889-892, 2003.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 39, n. 4, p. 665-659, 2010.
- De MARCHI, S. B.; MARTINS, D.; Da COSTA, N. V.; DOMINGUES, V. D. Effect of spray tips and mix deposition on common water hyacinth growing with varied population arrangements of *Salvinia* and water lettuce. **Journal of Aquatic Plant Management**, Vicksburg, v. 47, n. 2, p. 101-115, 2009.
- De SCHAMPHELEIRE, M.; NUYTENS, D.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P.; SPANOGHE, P.; CORNELIS, W.; GABRIELS, D.; STERBAUT, W. Deposition of spray drift behind border structures. **Crop Protection**, London, v. 28, n. 12, p. 1061-1075, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.
- FRITZ, B. K.; HOFFMANN, W. C.; JANK, P. A. Fluorescent tracer method for evaluating spray transport and fate of field and laboratory spray applications. **Journal of ASTM International**, West Conshohocken, v. 8, n. 3, p. 1-9, 2011.
- GOERING, C. E.; BUTLER, B. J. Analysis of paired microresidues using filter fluorometry. **Weed Science**, Miami, v. 22, n. 5, p. 512-515, 1974.
- GOUZIE, D.; DODD, R. P.; WHITE, D. M. Dye-tracing studies in southwestern Missouri, USA: indication of stratigraphic flow control in the Burlington Limestone. **Hydrogeology Journal**, Reston, v. 18, n. 4, p.1043-1052, 2010.
- HAYDEN, J.; AYERS, G.; GRAFIUS, E.; HAYDEN, N. Two water-soluble optically resolvable dyes for comparing pesticide spray distribution. **Journal of Economic Entomology**, Annapolis, v. 83, n. 6, p. 2411-2413, 1990.

HERMOSILLA, J. S.; MEDINA, R.; RODRÍGUEZ, F.; CALLEJÓN, A. Use of food dyes as tracers to measure multiple spray deposits by ultraviolet-visible absorption spectrophotometry. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 51, n. 4, p. 1177-1186, 2008.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Consulta de dados estação automática:** Uberlândia (MG). 2013. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTUwNw==>. Acesso em 18 fev. 2013.

KÄSS, W. **Tracing technique in geohydrology**. Balkema: ROTTERDAM, 1998. 586 p.

LILJEDAHN, L. A.; STRAIT, J. Spray deposits measured rapidly. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 40, n. 6, p. 332-335, 1959.

MAGDALENA, J. C. **Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidropneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (*Malus domestica*, Borkh)**. 2004. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria, Valência, 2004.

MARCHI, S. R.; MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; NEGRISOLI, E. 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, n. 2, p. 287-294, 2005.

MATUO, T. **Desenvolvimento de um pulverizador intermitente operado fotoeletricamente para tratamento de pomares de citros**. 1988. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1988.

NUYTTENS D.; De SCHAMPHELEIRE, M.; BAETENS, K.; SONCK, B. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayers. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 4, p. 1129-1140, 2007.

PALLADINI, L. A.; RAETANO, C. G.; VELINI, E. D. Choice of tracers for the evaluation of spray deposits. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 440-445, 2005.

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

PERGHER, G. Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 4, p. 787-794, 2001.

PERGHER, G.; GUBIANI, R. The effect of spray application rate and airflow rate on foliar deposition in a hedgerow vineyard. **Journal Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 61, n. 3, p. 205-216, 1995.

PINTO, J. R.; LOECK, A. E.; De SOUZA, R. T.; LOUZADA, R. S. Estabilidade à exposição solar dos traçantes azul brilhante e amarelo tartrasina utilizados em estudos de deposição de pulverização. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 105-107, 2007.

REZENDE, D. T. **Análise comparativa de métodos para quantificação de depósitos da pulverização em diferentes alvos**. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

SALYANI, M.; SWEEB, R. D.; FAROOQ, M. Comparison of string and ribbon samplers in orchard spray applications. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 49, n. 6, p. 1705-1710, 2006.

SCHLEIER, J. J.; PREFTAKES, C.; PETERSON, R. K. D. The effect of fluorescent tracers on droplet spectrum, viscosity and density of pesticides formulations. **Journal of Environmental Science and Health**, Monticello, v. 45, n. 7, p. 621-625, 2010.

SCRAMIN, S.; CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Avaliação de bicos de pulverização de agrotóxicos na cultura do algodão. **Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, s/n, p. 43-50, 2002.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal componentes analyses in the software Assisat Statistical attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTER IN AGRICULTURE, 7., Reno, 2009. **Anais...** Reno: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SMITH, S. A.; PRETORIUS, W. A. **The conservative behavior of fluorescein**. 2002. Disponível em: <http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/2000/04/WaterSA_2000_04_1476.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2013.

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 Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 78-85, 2012.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 17.0**. Chicago: SPSS Inc, 2008.

SPSS Inc. **Table curve 2D**: automated curve fitting and equation discovery. Chicago: SPSS Science, 2000.

SUHOGUSOFF, A. V.; HIRATA, R.; FERRARI, L. C. Adsorção do traçador fluorescente uranina em sedimentos quaternários da bacia de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 551-558, 2005.

VILLALBA, J.; OLIVET, J. J.; CASSANELLO, M. E.; BENTANCUR, O.; CUNHA, J. P. Evaluación de La deposición de boquillas de aplicación para el control de *Fusariosis* em trigo. **Agrociência**, Pelotas, v. 15, n. 2, p. 69-75, 2011.

ZHU, H.; DERKSEN, R. C.; KRAUSE, C. R.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E. Effect of solution pH conditions on fluorescence of spray deposition tracers. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 21, n. 3, p. 325-329, 2005.

ZHU, H.; DORNER, J. W.; ROWLAND, D. L.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, H. E. Spray penetration into peanut canopies with hydraulic nozzle tips. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 87, n. 3, p. 275-283, 2004.

CAPÍTULO III

DERIVA NAS APLICAÇÕES FOLIARES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA CULTURA DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

DERIVA NAS APLICAÇÕES FOLIARES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA CULTURA DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

RESUMO

A deriva de produtos fitossanitários é um dos maiores problemas da agricultura moderna, principalmente em culturas perenes, em que se empregam pulverizadores hidropneumáticos. Devido à importância da cafeicultura no Brasil, os objetivos deste trabalho foram determinar a deriva gerada pelas pontas de pulverização jato cônico vazio com e sem indução de ar nas aplicações na cultura do café, verificar se as curvas elaboradas para cada ponta são matematicamente diferentes e se os modelos de estimativa de deriva alemão e holandês podem ser utilizados na cafeicultura brasileira. A metodologia utilizada baseou-se na norma ISO 22866. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com 10 repetições, em esquema de parcelas subdivididas no espaço 2 x 20, sendo dois tipos de pontas (cone vazio com e sem indução de ar) e vinte distâncias paralelas à linha de cultivo fora da área-alvo, espaçadas entre si por 2,5 m. Em cada distância colocaram-se papéis filtrantes com dimensões de 0,38 x 0,07 m. A calda foi composta por água+corante fluorescente rodamina B na concentração de 100 mg L⁻¹. Utilizou-se o volume de calda de 400 L ha⁻¹, aplicado por pulverizador hidropneumático. Após a aplicação, quantificou-se o traçador por fluorimetria. A ponta de jato cônico vazio com indução de ar reduziu a deriva até 20 m de distância da área tratada. A partir dessa distância, ambas as pontas geraram a mesma deriva. As curvas de deriva elaboradas a partir das aplicações pelas pontas de pulverização demonstraram ter comportamentos diferentes, sobretudo na região mais próxima do cafeeiro.

Palavras-chave: pulverizador hidropneumático, pontas de pulverização, contaminação ambiental.

PESTICIDE SPRAY DRIFT ON COFFEE CROP (*Coffea arabica* L.)

ABSTRACT

Pesticide spray drift is a serious agricultural problem that is especially significant for perennial crops where hydro-pneumatic sprayers are used. This study measured drift from hollow cone nozzles and hollow cone air induction nozzles on coffee crops in Brazil and compared the results to predictions from Dutch and German mathematical models. The methodology was based on the ISO 22866 standard. The experiment was set up in randomized blocks with 10 replications in a 2 x 20 split-plot consisting of two nozzle types (hollow cone with and without air induction) and twenty lines spaced 2.5 m apart and parallel to the target crop row. Filter paper (0.38 x 0.07 m) was placed on each parallel line. The spray consisted of water and rhodamine B fluorescent dye (100 mg L⁻¹) and was applied with a hydro-pneumatic sprayer at 400 L ha⁻¹. After application, the tracer was quantified by fluorometry. The air induction nozzle reduced drift to 20 m from the target area and both nozzles produced the same drift within this limit. The drift models differed from the observed deposition and these differences were especially strong near the target area. Thus, the Dutch and German models did not adequately estimate spray drift near the treated area.

Keywords: hidro-pneumatic sprayer, spray nozzles, environmental contamination.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições de trabalho e, principalmente, do desempenho dos equipamentos de pulverização de produtos fitossanitários são elementos básicos para uma aplicação adequada e eficiente (CHRISTOFOLETTI, 1999), garantindo ao mesmo tempo eficácia biológica e segurança ambiental (CUNHA, 2008).

O tipo de ponta de pulverização e as suas características de trabalho são alguns dos principais fatores que influenciam nas perdas de produtos fitossanitários. Assim, a escolha e o uso adequado destas pontas constituem passos importantes para a melhoria das condições de precisão e segurança na aplicação (WOMAC et al., 1997).

As pontas de jato cônico vazio são tradicionalmente recomendadas nas aplicações em culturas com ampla massa foliar, em que a penetração e a cobertura são essenciais (SAYINCI; BASTABAN, 2011; ALVARENGA et al., 2012). Por trabalharem normalmente em pressões maiores do que outros tipos de pontas, elas produzem gotas muito pequenas, às vezes menores do que 100 micra (μm). Contudo, muitos pesquisadores relatam que essa classe de tamanho de gotas sofre mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY et al., 2000; SUMNER, 1997; WOLF, 2000), apresentando alto risco de deriva.

Em virtude disso, lançou-se no mercado uma variante dessa ponta, com indução de ar, que produz gotas de maior diâmetro, minimizando perdas por deriva (MAIA; CUNHA, 2008). Zhu et al. (1994) afirmaram que gotas com diâmetro maior do que 500 μm têm pouco problema de deriva. Uma desvantagem dessas gotas é que, devido ao seu peso, normalmente têm maior dificuldade de se fixarem nas folhas, escorrendo para o solo (TEIXEIRA, 1997). No entanto, alguns produtores vislumbram a possibilidade de substituir as pontas de jato cônico vazio por outras mais seguras ambientalmente, desde que a eficiência da aplicação não seja prejudicada.

Nas pulverizações a campo, é comum que os cafeeiros não recebam adequada cobertura de calda. Com isso, insetos e patógenos podem ocupar áreas não atingidas pelo produto, principalmente quando os produtos são de contato ou protetores. Antuniassi e Baio (2004) relatam que o tamanho das gotas influencia a capacidade de pulverização em cobrir o alvo e penetrar na massa das folhas. Isso explica o fato de muitos produtores de café utilizarem gotas finas e alto volume de calda para controlar insetos e patógenos que se instalam em regiões de difícil acesso na planta.

De acordo com Baetens et al. (2009), as pesquisas com estudo de deriva têm como principal objetivo a determinação de medidas apropriadas que minimizem os efeitos negativos da aplicação no ambiente.

Alguns modelos de previsão têm sido desenvolvidos para avaliar a deriva (LEBEAU et al., 2011). O mais empregado mundialmente foi desenvolvido na década de 90 na Alemanha por Ganzelmeier et al. (1995), feito a partir de várias observações a campo. Entretanto, não se sabe se tais modelos podem ser aplicados nas condições brasileiras, pois foram elaborados em condições climáticas europeias e para culturas de importância naquele continente. Ramos et al. (2000) mostram as diferenças entre as distintas regiões e a importância de se utilizar cenários específicos nestes estudos.

Em alguns países, sobretudo europeus, uma das soluções encontradas para reduzir o problema da deriva foi o estabelecimento das chamadas faixas de segurança (*buffer zones*) (SNOO, 1999), estipuladas a partir de modelos de simulação de deriva associados aos estudos toxicológicos (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007). Tratam-se de faixas de vegetação que não podem receber a aplicação de produtos fitossanitários para evitar a contaminação de uma determinada área sensível como, por exemplo, cursos d'água e regiões habitáveis.

No entanto, a extensão desta faixa é variável e depende das condições da aplicação. Portanto, fazem-se necessários estudos que verifiquem a distância horizontal que uma gota pode percorrer em diversas condições operacionais de lançamento para subsidiar o estabelecimento da extensão correta dessas faixas de segurança e permitir aplicações mais efetivas e seguras ao ambiente.

Apesar do cenário de risco ambiental proporcionado pelos produtos fitossanitários, percebe-se a existência de poucos trabalhos avaliando deriva em condições específicas da cafeicultura, sobretudo nas condições brasileiras. Nesse sentido, este trabalho objetivou determinar a deriva gerada pelas pontas de pulverização jato cônico vazio com e sem indução de ar nas aplicações na cultura do café e verificar se as curvas elaboradas para cada ponta são matematicamente diferentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As atividades de campo deste trabalho foram realizadas no Setor de Cafeicultura da Fazenda Experimental do Glória, enquanto que as laboratoriais, no Laboratório de

Mecanização Agrícola do Instituto de Ciências Agrárias, ambos pertencentes à Universidade Federal de Uberlândia, sediados no município de Uberlândia, MG.

2.1 Aplicações a campo

Nas aplicações, foi utilizado um pulverizador hidropneumático (Montana, Arbo 360). Trata-se de um pulverizador montado, dotado de 12 bicos, sendo 6 de cada lado do arco, conforme visto na Figura 1a, acoplado em um trator 4 x 2 com motor de 65 cv de potência (Massey Ferguson, 265E). As especificações do pulverizador e do trator podem ser vistas no Anexo A.

Foram utilizados dois tipos de pontas de pulverização: jato cônico vazio ATR 80° Laranja 3,0 (Anexo B) e jato cônico vazio com indução de ar TVI 8002 (Anexo C), conforme ilustrado na Figura 1b.



(a)

(b)

FIGURA 1. (a) Pulverizador utilizado nas aplicações. (b) Pontas de jato cônico vazio (esquerda) e jato cônico vazio com indução de ar (direita) utilizadas nas pulverizações.

Em todas as aplicações, utilizou-se o volume de calda de 400 L ha⁻¹. A velocidade média de trabalho do conjunto foi de 8,2 km h⁻¹. A rotação do motor do trator adotada durante a operação foi de 1800 rpm para a obtenção de 540 rpm na tomada de potência. As pressões de trabalho das pontas de pulverização ATR e TVI foram de 1,567 MPa (227,5 lb pol⁻²) e 1,447 MPa (210 lb pol⁻²), respectivamente, e segundo o fabricante, nestas pressões estas pontas produzem gotas muito finas e muito

grossas (ALBUZ, 2012; Anexo D). O diâmetro da mediana volumétrica (DMV) foi classificado pela Norma ASAE S-572, sendo que as gotas muito finas possuem DMV menor do que 100 μm e as gotas muito grossas, DMV entre 375 e 450 μm .

Previamente às aplicações, o pulverizador foi calibrado determinando-se a vazão de cada ponta, utilizando-se provetas graduadas. Em seguida, com o auxílio de uma mesa vertical de distribuição volumétrica (*patternator*), foi determinada a melhor angulação dos bicos junto ao arco do pulverizador para se reduzir a perda da calda pulverizada acima do dossel da cultura e evitar que o jato formado pelas pontas mais inferiores do arco não pulverizasse diretamente o solo. A altura do centro do arco até o solo foi mantida em 0,8 m, tanto na calibração quanto nas aplicações.

Para tal, o *patternator* foi construído baseado no modelo proposto por Landers (2006), fazendo-se algumas adaptações. Este equipamento é um sistema alternativo de avaliação da distribuição volumétrica vertical bastante eficiente e de baixo custo, conforme mostrado na Figura 2a, desenvolvido na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. Na Figura 2b é mostrada a mesa vertical utilizada na regulagem e calibração do pulverizador.

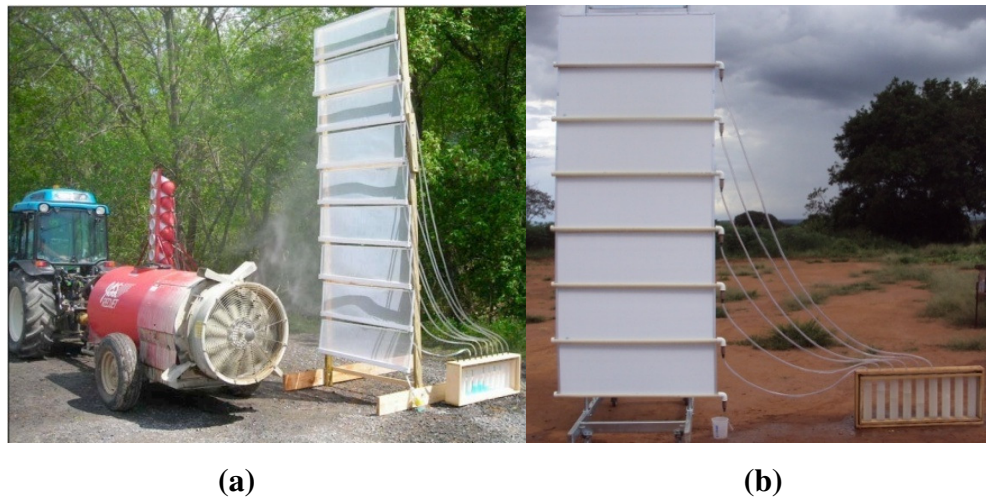


FIGURA 2. (a) Sistema de avaliação da distribuição volumétrica vertical para pulverizadores hidropneumáticos, proposto por Landers (2006). (b) Mesa de distribuição construída para a regulagem do equipamento.

Após a avaliação da distribuição volumétrica, decidiu-se utilizar apenas 5 bicos de cada lado do pulverizador para evitar a perda excessiva de calda acima da copa das plantas.

Determinou-se também a porcentagem de deposição de calda nos terços inferior, mediano e superior da cultura em relação ao total aplicado nas placas coletoras do *patternator*, proporcionada pelas duas pontas.

Determinou-se a vazão de ar do ventilador por meio da velocidade e da área de saída do ar, segundo metodologia proposta por Rodrigues et al. (2008), com adaptações. A vazão total de ar do pulverizador foi calculada pela Equação 1.

$$Q = \sum a_i v_{oi} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

Q – vazão total de ar, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

a_i – área da seção, m^2 ;

v_{oi} – velocidade do ar na seção, m s^{-1} .

A velocidade do vento produzido foi medida com um termo-higro-anemômetro digital (Lutron, LM-8000), posicionado a 5,0 cm da saída, em frente a cada um dos 12 porta-bicos do arco do pulverizador. A área da seção de saída foi calculada dividindo-se a circunferência de saída por 12, obtendo-se o comprimento de cada seção e, posteriormente, mediu-se a largura de saída na posição de cada um dos 12 porta-bicos. Multiplicando-se o comprimento pela largura em cada uma das 12 posições, obteve-se a área de cada seção.

O traçador adicionado à calda para posterior quantificação foi a Rodamina B (Synth, Diadema, Brasil), selecionado a partir dos experimentos descritos no Capítulo II. Utilizou-se a concentração de 100 mg L^{-1} . Chaim et al. (2003) utilizaram a concentração de 50 mg L^{-1} para avaliar deposição de calda em alvos artificiais. Decidiu-se trabalhar com o dobro desta concentração em virtude de aumentar o poder de detecção, uma vez que em estudos de deriva necessita-se detectar quantidades diminutas do traçador.

A calda foi preparada adicionando-se 20 gramas do traçador em 200 litros de água, medidos com o auxílio de um balde com capacidade de 20 litros. A cada preparação de uma nova calda, foi retirada uma amostra para que fosse determinada a concentração real da Rodamina B por meio da análise fluorimétrica.

As aplicações foram feitas em uma gleba de café da variedade Catuaí Vermelho, disposto no espaçamento 3,8 m entre linhas e 0,7 m entre plantas, com três anos de idade, tendo em média 2,5 m de altura. O diâmetro médio inferior da copa foi de 1,2 m.

O índice de área foliar (IAF) do cafeeiro foi estimado de maneira indireta, por meio das medidas do diâmetro inferior e da altura da copa, por meio da Equação 2, proposta por Favarin et al. (2002).

$$IAF = 0,0134 + 0,7276 D_i^2 Hd \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

IAF - índice de área foliar;

Di - diâmetro inferior da copa, m;

Hd - altura da copa, m.

As linhas de cafeeiro encontravam-se no sentido norte-nordeste. A área possuía localização geográfica de 18°58'52" latitude Sul e 48°12'24" longitude Oeste, com altitude média de 912 m. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, com estações bem definidas, inverno seco e verão quente e chuvoso. A temperatura média mínima do mês mais frio (julho) está acima de 18°C e a média máxima anual próxima de 23°C (KÖPPEN, 1948). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

As pulverizações foram feitas sempre aos pares, conduzidas em delineamento de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas no espaço 2 x 20 com 10 repetições, sendo o primeiro fator referente às pontas de pulverização e o segundo, ao número de distâncias em relação à última linha pulverizada.

2.2 Avaliação da deriva

Anteriormente às aplicações, placas de polietileno com dimensões de 0,40 x 0,08 x 0,006 m foram colocadas rente ao solo em área adjacente à cultura fora da área tratada, previamente roçada para impedir que as plantas infestantes interferissem no depósito do traçador. As placas foram colocadas desde uma distância de 2,5 m do centro da última passada do pulverizador até 50 m, espaçadas 2,5 m entre si, totalizando 20

distâncias em relação à última linha pulverizada. Esta mesma disposição foi repetida em quatro fileiras, espaçadas por 1,5 m entre si no mesmo sentido de deslocamento do pulverizador. Neste arranjo, foram usadas 80 placas no total. Foram pulverizadas as últimas quatro fileiras de plantas, por um comprimento de 50 m, compondo-se uma repetição, conforme pode ser visto na Figura 3. Na última passada do equipamento, usou-se apenas o lado do arco do pulverizador voltado para as linhas do cafeeiro, conforme mostrado na Figura 4.

Sobre as placas de polietileno, foram fixados papéis filtrantes com pH neutro e gramatura de 65 g m^{-2} (Jprolab, São José dos Pinhais, Brasil) com dimensões de 0,38 x 0,07 m.

Para a realização das aplicações, seguiu-se a metodologia descrita na Norma ISO 22866 (ISO, 2005). Esta norma preconiza que durante as aplicações a temperatura deve estar entre 5 e 35°C , a velocidade mínima do vento deve ser de $1,0 \text{ m s}^{-1}$ e a direção do vento dentro de um limite de $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ em relação à linha de pulverização. Assim, o sentido ideal do vento para que as aplicações fossem feitas deveria ser leste-sudeste ($112,5^{\circ}$), podendo estar entre leste e sudeste (90° e 135°). Nota-se que a tolerância utilizada para a direção do vento neste trabalho foi mais rigorosa do que a preconizada pela Norma, adotando-se 45° . Para a velocidade do vento, a norma permite que no máximo 10% das medidas estejam abaixo de $1,0 \text{ m s}^{-1}$.

As condições meteorológicas foram adquiridas de acordo com o período de cada aplicação, coletando-se velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar. Para isto foi utilizada uma estação meteorológica (Davis, Vantage Pro2) de aquisição automática de dados, instalada próximo à área experimental, a 2 m de altura.

Uma vez realizada a aplicação, que durou aproximadamente 4 minutos para cada repetição, o conjunto de quatro papéis, correspondentes a cada linha paralela ao sentido de deslocamento do pulverizador, foi recolhido e colocado em um saco plástico, previamente identificado de acordo com a distância em relação à última passada do pulverizador. Portanto, uma repetição foi composta por 20 sacos plásticos, que foram acondicionados em caixas de isopor para se ter isolamento térmico e luminoso. Em laboratório, os mesmos foram mantidos em geladeira à temperatura de 10°C até o término da coleta dos dados no campo.

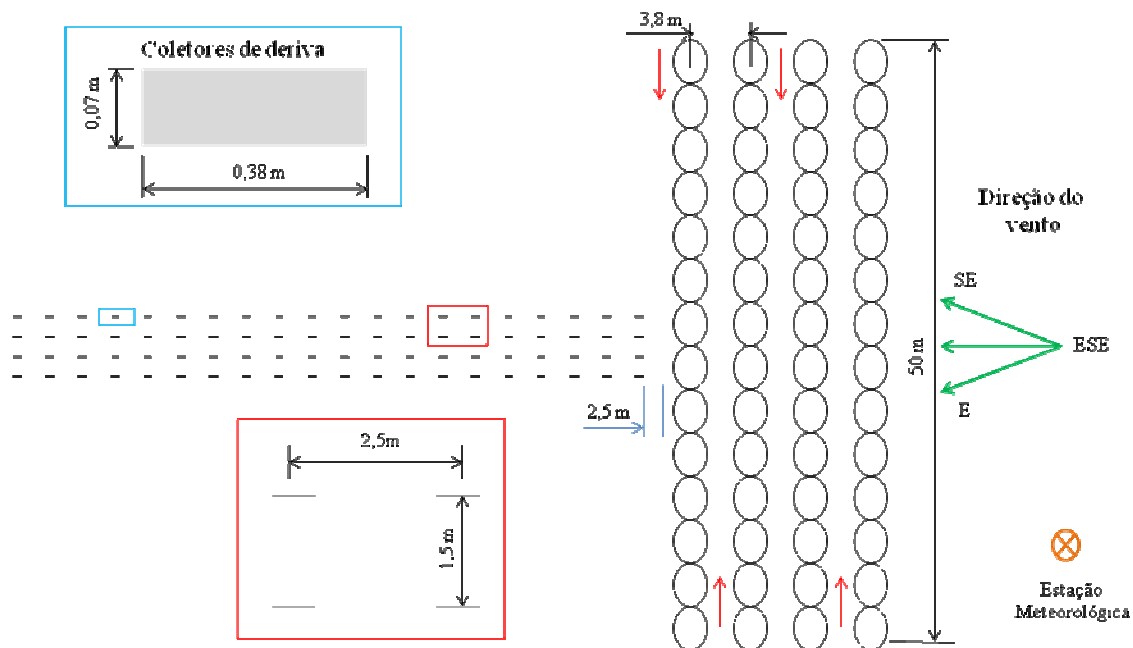


FIGURA 3. Croqui indicando a disposição dos coletores de deriva na área adjacente à cultura e a direção do vento no momento das aplicações.

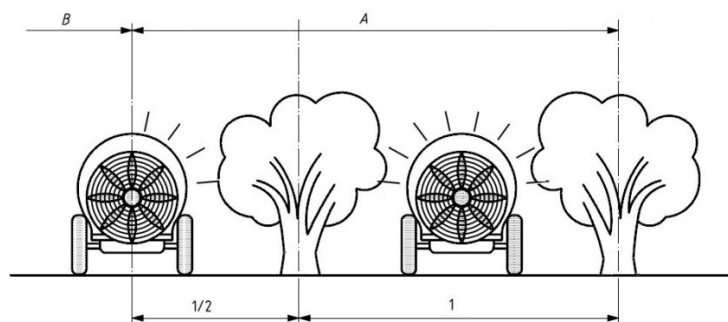


FIGURA 4. Definição da área diretamente pulverizada. A: zona diretamente pulverizada; B: zona de deriva onde foram colocados os papéis absorventes. Adaptado de ISO (2005).

2.3 Quantificação do traçador

Ao finalizar a parte de campo, fez-se a extração da rodamina B dos papéis, seguindo-se a metodologia proposta por Chaim (2003) e Scramin et al. (2002). Adicionaram-se 100 mL de uma solução composta por água destilada e Tween 80 (Synth, Diadema, Brasil) - polioxietilensorbitano monooleato - a 0,2% dentro de cada saco plástico, que após serem lacrados foram submetidos à agitação constante a 120 rotações por minuto durante 15 minutos em uma mesa agitadora pendular (Tecnal, TE-240/I). Em seguida, as amostras ficaram em repouso durante 10 minutos, e ao término

desse tempo, as soluções foram transferidas para copos plásticos. Para a quantificação do traçador, volumes de aproximadamente 3,5 mL dos extratos das amostras foram colocados em cubetas de borosilicato com as quatro faces polidas para se fazer a leitura em um fluorímetro com lâmpada de halogênio (Thermo Scientific, FM109515). Os filtros de excitação e emissão de onda utilizados foram 540 e 585 nm, respectivamente (CHAIM et al., 2003). Todo o procedimento de extração e leitura foi feito com o mínimo de luz possível, a fim de se evitar a fotodegradação do traçador.

De posse dos dados de concentração da rodamina B extraída dos papéis, conhecendo-se o volume de calda e a concentração real da calda, foi determinado o depósito do traçador por unidade de área dos coletores de deriva, expresso em microlitros por centímetro quadrado ($\mu\text{L cm}^{-2}$), utilizando-se a Equação 3. Com os dados de deposição nos coletores, foi calculada a porcentagem de deriva em cada distância, relacionando-se o depósito à quantidade aplicada a campo através da Equação 4:

$$\beta_{dep} = \frac{(\rho_{amostra} - \rho_{branco}) \times F_{cal} \times V_{dil}}{\rho_{calda} \times A_{col}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\beta_{dep\%} = \frac{\beta_{dep} \times 10^4 \text{ m}^2 / \text{ha}}{\beta_V} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

β_{dep} - deriva depositada, em $\mu\text{L cm}^{-2}$;

$\beta_{dep\%}$ - porcentagem de deriva (%);

β_V - volume de aplicação, em L ha^{-1} ;

$\rho_{amostra}$ - leitura do fluorímetro para a amostra, em ng mL^{-1} ;

ρ_{branco} - leitura do fluorímetro para o branco (coletor + água destilada), em ng mL^{-1} ;

F_{cal} - fator de calibração: relação entre a leitura da solução usada na calibração do fluorímetro e a sua concentração teórica, adimensional;

V_{dil} - volume de água de lavagem usado para extrair o traçador, em L;

ρ_{calda} - concentração da calda, ou quantidade de traçador na calda recolhida no tanque do pulverizador, em g L^{-1} ;

A_{col} - área do coletor de deriva, em cm^2 .

2.4 Análises estatísticas

Anteriormente à aplicação do teste de média e análise de regressão, foi feita a análise das pressuposições dos dados de porcentagem de deriva. Para tal aplicaram-se os testes de Kolmogorov-Smirnov, Levene e Tukey para analisar a normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e a aditividade dos blocos, respectivamente, utilizando o programa estatístico SPSS versão 17.0 (SPSS, 2008). Deseja-se que os resíduos tenham distribuição normal, as variâncias sejam homogêneas e que os blocos não tenham efeito multiplicativo. Em caso de as pressuposições não serem atendidas a 0,01 de significância, os dados foram transformados em arco-seno $\sqrt{(x/100)}$ e submetidos à nova análise. Somente quando a transformação corrigiu ou melhorou pelo menos um dos critérios, sem prejudicar os demais, usaram-se os dados transformados para elaborar a análise de variância. Do contrário, utilizaram-se os dados originais.

Após analisar as pressuposições, os dados de porcentagem de deriva foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008), e constatada diferença significativa, as pontas foram comparadas entre si, para cada distância, pelo teste de Tukey a 0,05 de significância, enquanto que para as distâncias foi feita análise de regressão.

As curvas de deriva obtidas para cada ponta de pulverização foram comparadas entre si por meio do intervalo de confiança dos parâmetros da equação. Para isso, os dados foram linearizados pela função $\log(x)$ e submetidos à análise de regressão. Conhecendo-se os limites inferiores e superiores de cada parâmetro das equações, e caso os intervalos não apresentassem sobreposição, ao nível de confiança de 95%, as curvas foram consideradas diferentes.

Além disso, elaboraram-se curvas baseadas no percentil 90 de porcentagem de deriva em função da distância, para que fossem feitas comparações com as curvas dos modelos alemão e holandês para simulação de deriva, ambas descritas por De Schampheleire et al. (2007).

Segundo Wang e Rautmann (2008), a representação da deriva em percentil 90 é amplamente empregada em estudos de riscos ecotoxicológicos. Segundo esses mesmos autores, uma parte da deriva, além da mensurada no campo, é omitida devido a efeitos combinatórios, como por exemplo, velocidade do vento e práticas agrícolas. Como os modelos europeus não levam em consideração todos os efeitos, a expressão da deriva em percentil 90 é uma forma de compensar tais omissões, aumentando a segurança das

informações, sobretudo nas recomendações, uma vez que são utilizadas em registros de produtos fitossanitários na União Européia.

A curva de deriva do modelo alemão, proposta por Ganzelmeier et al. (1995), é representada pela Equação 5:

$$\%deriva = Az^B \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

A e B: são coeficientes dependentes da cultura e descritos na Tabela 1.

z: representa a distância em relação à última linha aplicada.

A curva de deriva do modelo holandês, proposta por Holterman et al. (2003), é representada pela Equação 6:

$$\%deriva = A_0e^{-z.A_1} + B_0e^{-z.B_1} \quad (\text{Eq.6})$$

Em que:

A_0 , A_1 , B_0 e B_1 : são coeficientes dependentes da cultura e descritos na Tabela 2.

z: representa a distância em relação à última linha aplicada.

TABELA 1. Coeficientes para a equação de deriva do modelo alemão (GANZELMEIER et al., 1995)

Cultura	Distância (m)	A	B
Anuais	-	2,7593	-0,9778
Fruteiras com formação jovem	<11,4	66,7020	-0,7520
	>11,4	3867,9000	-2,4183
Fruteiras com formação tardia	<10,3	60,3960	-1,2249
	>10,3	210,7000	-1,7599

A equação do modelo foi elaborada utilizando-se os coeficientes em negrito.

TABELA 2. Coeficientes para a equação de deriva do modelo holandês (HOLTERMAN et al., 2003)

Cultura	A ₀ (%)	A ₁ (m ⁻¹)	B ₀ (%)	B ₁ (m ⁻¹)
Batata	114	1,74	1,29	0,139
Cereais	39	0,90	2,28	0,147
¹ Fruteiras com folhas	48	0,45	2,70	0,091
Fruteiras sem folhas	120	0,45	6,75	0,091

A equação do modelo foi elaborada utilizando-se os coeficientes em negrito.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de variação (CV) das vazões das pontas ATR e TVI foram de 3,99% e 6,40%, respectivamente. O padrão de uniformidade de deposição recomendado pela Food Agriculture & Organization estabelece que o coeficiente de variação seja menor do que 10% (FAO, 1997). Wolf e Smith (1979) e Sartori (1985) sugeriram que CV menor do que 15% produz uniformidade de deposição satisfatória.

A ponta ATR resultou em 53,2% depositados no terço inferior, 39,5% no terço mediano e 7,2% no terço superior. Para a ponta TVI, os resultados foram: 54,6; 37,3 e 8,0%, respectivamente.

Palladini (1990) comprovou que a calda em plantas de citros é mais bem distribuída quando o arranjo dos bicos libera 50% do líquido na parte superior e 50% na parte inferior do arco de pulverização do equipamento. Com relação à cultura do café, não se encontrou trabalhos a esse respeito.

A vazão de ar do ventilador do lado esquerdo foi de 1,64 m³ s⁻¹ e do lado direito, 1,58 m³ s⁻¹.

Constatou-se que a concentração real média do traçador foi de 92,91 mg L⁻¹, e o IAF estimado do cafeeiro foi de 4,38.

Na Tabela 3, são apresentados os dados meteorológicos durante as aplicações. Em todas as pulverizações, a direção do vento esteve dentro da faixa de angulação máxima tolerável, variando-se de sudeste a leste, sendo que em 30% das aplicações o vento deslocou-se na direção ideal (ESE). Vale ressaltar que esse fator meteorológico foi considerado como parâmetro de maior importância, devido ao fato de todas as aplicações terem sido realizadas no período da manhã, o que contribuiu para que a temperatura média e a umidade relativa do ar estivessem dentro da faixa considerada

ideal, não ultrapassando os 27,4°C e predominando, no geral, acima de 50%, respectivamente. Assim, as pulverizações tiveram maior dependência da direção e velocidade do vento. Neste quesito, 10% das medidas estavam abaixo de 1,0 m s⁻¹, sendo permitido pela Norma. Além disso, percebe-se variabilidade nas velocidades do vento, o que aumentou a representatividade dos dados de deriva frente às diferentes condições meteorológicas.

TABELA 3. Dados meteorológicos durante as aplicações

Bloco	Ponta ¹	Temperatura média (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Direção do vento ²
1	ATR	19,7	71	0,83	ESSE
	TVI	20,5	66	0,83	ESSE
2	ATR	27,6	39	2,50	ESSE
	TVI	27,4	36	2,65	ESSE
3	ATR	19,6	73	1,22	SE
	TVI	21,3	74	1,00	SE
4	ATR	22,7	65	2,80	E
	TVI	22,8	64	2,45	E
5	ATR	24,7	52	3,15	E
	TVI	23,4	60	2,77	E
6	ATR	19,4	82	1,90	E
	TVI	19,4	83	2,45	E
7	ATR	22,1	78	3,35	E
	TVI	20,4	83	3,70	E
8	ATR	16,8	85	4,12	E
	TVI	17,2	84	3,80	E
9	ATR	19,3	75	3,80	E
	TVI	18,9	80	3,43	ESSE
10	ATR	20,6	73	4,33	ESSE
	TVI	22,0	66	7,13	E

¹ATR e TVI: ponta jato cônico vazio sem e com indução de ar, respectivamente; E: leste; ESSE: leste-sudeste; SE: sudeste.

Na Tabela 4, é apresentada a análise das pressuposições de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade dos blocos, bem como a deriva ocasionada pelas duas pontas de pulverização à medida que se distanciou da área tratada. Nem os dados originais e nem os transformados atenderam as pressuposições. Mesmo após a transformação, os resíduos continuaram a não ter distribuição normal, as variâncias mantiveram-se heterogêneas e o bloco apresentou ter efeito multiplicativo. No entanto, a transformação diminuiu os valores da estatística F do teste de Levene, K-

S para Kolmogorov-Smirnov e F do teste de Tukey para aditividade dos blocos, indicando melhoria na análise. Assim, optou-se por submeter à análise de variância os dados transformados.

TABELA 4. Porcentagem de deriva resultante de aplicações em cafeeiro feitas com duas pontas de pulverização

Distância (m)	Ponta de pulverização ¹	
	ATR	TVI
2,5	6,68 b	5,06 a
5,0	2,75 b	1,59 a
7,5	1,67 b	0,85 a
10,0	1,33 b	0,63 a
12,5	1,03 b	0,47 a
15,0	0,82 b	0,40 a
17,5	0,69 b	0,35 a
20,0	0,52 b	0,30 a
22,5	0,45 a	0,29 a
25,0	0,41 a	0,31 a
27,5	0,37 a	0,30 a
30,0	0,35 a	0,29 a
32,5	0,33 a	0,28 a
35,0	0,32 a	0,30 a
37,5	0,30 a	0,30 a
40,0	0,30 a	0,33 a
42,5	0,30 a	0,30 a
45,0	0,28 a	0,31 a
47,5	0,29 a	0,30 a
50,0	0,29 a	0,32 a

$$F_{\text{ponta}} = 8,282^*; F_{\text{dist}} = 108,860^{**}; F_{\text{int}} = 2,965^*$$

$$\text{OR: } F_{\text{Levene}} = 23,267^{**}; K-S = 0,272^{**}; F'_{\text{Tukey}} = 858,318^{**}$$

$$\text{T: } F_{\text{Levene}} = 13,567^{**}; K-S = 0,164^{**}; F'_{\text{Tukey}} = 351,741^{**}$$

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. F_{ponta} , F_{dist} e F_{int} : valores do F calculado para os fatores ponta, distância e interação, respectivamente. ** significativo a 0,01; * significativo a 0,05. F_{Levene} , K-S e F'_{Tukey} : valores da estatística F para teste de Levene, K-S para Kolmogorov-Smirnov e F para o teste de Tukey para aditividade de blocos, respectivamente, que testam as pressuposições dos dados originais (OR) e transformados (T) por arco-seno $\sqrt{(x/100)}$. ¹ATR: ponta de jato cônico vazio sem indução de ar; TVI: ponta de jato cônico vazio com indução de ar.

As aplicações feitas no cafeeiro com a ponta de jato cônico vazio com indução de ar (TVI) ocasionaram menor deriva do que a ponta de jato cônico vazio sem indução de ar (ATR) até 20 metros de distância da última linha pulverizada (Tabela 4). A partir desta distância, não houve diferença entre as duas pontas. Dessa forma, a ponta com indução de ar reduziu a deriva da calda para as áreas mais próximas da cultura, pois

essas pontas produzem gotas com maior diâmetro da mediana volumétrica, resultando em gotas de maior massa, o que dificulta o arraste pelo vento.

Em alguns casos, pode ocorrer aumento da deriva com pontas de indução de ar nas distâncias mais próximas à área tratada, em função da passagem das gotas grossas pela parte inferior das plantas. Contudo, neste experimento a copa das plantas estava próxima à superfície do solo, impedindo que tal fato acontecesse.

Segundo Butler Ellis et al. (2002) e Behmer et al. (2010), o uso desse tipo de ponta representa uma das estratégias de redução de deriva por produzirem gotas de tamanho elevado, com bolhas de ar no seu interior. Combellack et al. (1996), avaliando potencial de deriva em túnel de vento na velocidade de $4,2 \text{ m s}^{-1}$, observaram que a ponta com indução de ar reduziu em 262% o risco de deriva em relação à mesma ponta sem indução de ar. Da mesma forma, Costa et al. (2007), estudando a deriva ocasionada por várias pontas em diferentes condições ambientais e pressões de trabalho, concluíram que as pontas com indução de ar também reduziram a deriva.

Assim, a ponta TVI pode ser uma boa opção nas pulverizações em que o cafezal localiza-se próximo de regiões onde se deve reduzir ao máximo a deriva, como culturas vizinhas sensíveis ao produto aplicado, cursos d'água e áreas habitáveis. Porém, ao recomendá-la, deve-se levar em consideração a deposição de calda. Silva et al. (2013) observaram que, no volume de 500 L ha^{-1} , as pontas de jato cônico vazio com e sem indução de ar resultaram em semelhante deposição de calda nos terços inferior e superior de cafeeiros.

Com relação à eficiência de controle, Fießleden (2004) não observou diferenças significativas no controle de diferentes pragas usando pontas de jato cônico com e sem indução de ar. Esse mesmo autor afirmou que embora os resultados sejam promissores para as pontas com indução de ar, estudos são necessários para definir mais precisamente o efeito das aplicações quando não são utilizados produtos sistêmicos para controlar alvos muito pequenos.

É importante ressaltar que a ponta TVI, embora produza gotas muito grossas, proporcionou deriva de 5,06% na distância de 2,5 m, valor considerado alto levando-se em consideração DMV de 375 a $450 \mu\text{m}$. Isso pode ter sido ocasionado pela associação entre a forte turbulência de ar resultante das hélices do ventilador do pulverizador e a maior massa das gotas, que por inércia, podem passar diretamente pelos cafeeiros, sobretudo na penúltima passada do pulverizador, depositando-se nas áreas mais próximas à última fileira de plantas. Além disso, segundo Matthews (2000), mesmo

quando são produzidas gotas de maior tamanho utilizando-se pontas hidráulicas, existe a formação de uma pequena proporção de gotas finas que podem sofrer deriva.

Para a ponta ATR, ainda na distância de 2,5 m, a deriva gerada foi maior do que a gerada pela ponta TVI, o que já era esperado pelo fato de as gotas muito finas serem mais facilmente carregadas pelo vento, sobretudo proveniente do equipamento de pulverização. Tais fatos levam a crer que a deriva ocorrida nas áreas mais próximas da cultura são provocadas principalmente pelo fluxo de ar advindo do pulverizador, enquanto que nas áreas mais distantes, pelo vento atmosférico.

Entre as distâncias de 2,5 e 5,0 m, houve uma brusca queda da deriva ocasionada por ambas as pontas, de 3,45% para a TVI e de 3,93% para a ATR. Isso pode ser explicado pela barreira física imposta pelos cafeeiros, associado principalmente à boa regulagem da angulação das pontas superiores do arco do pulverizador. Quando as gotas passam sobre o dossel da cultura, as mesmas recebem maior interferência do vento atmosférico, aumentando as chances de não serem depositadas na área tratada. Tal fato reforça a importância de se regular adequadamente o equipamento de pulverização, o que pode reduzir a deriva mesmo quando as aplicações são feitas sobre condições meteorológicas adversas, além de reafirmar a idéia de que próximo à cultura a deriva foi proveniente do deslocamento de ar originário da máquina.

Outro fato importante refere-se ao volume de calda utilizado. Em muitas aplicações em cafeeiro são utilizados altos volumes de calda, sobretudo quando a cultura é adensada e os alvos são de difícil acesso e controle. Em muitos casos são utilizados volumes acima de 400 L ha⁻¹, chegando-se a usar 700 L ha⁻¹ (FERNANDES et al., 2010) ou até mesmo 1000 L ha⁻¹ (ALMEIDA et al., 2012). Nestes casos, novas quantificações de deriva são necessárias.

Na Figura 5 estão representadas as curvas de deriva elaboradas a partir das aplicações em cafeeiro utilizando-se as pontas de jato cônico vazio com e sem indução de ar. Pela análise de regressão observa-se que o modelo do tipo potência apresentou bom ajuste aos dados, para ambas as pontas de pulverização, embora o R² da ponta TVI seja menor do que o da ATR, o que provavelmente deve estar associado à diferença entre o valor observado e o estimado para a distância de 2,5 m. Optou-se por utilizar o modelo de potência em virtude de se ter como referência o modelo alemão.

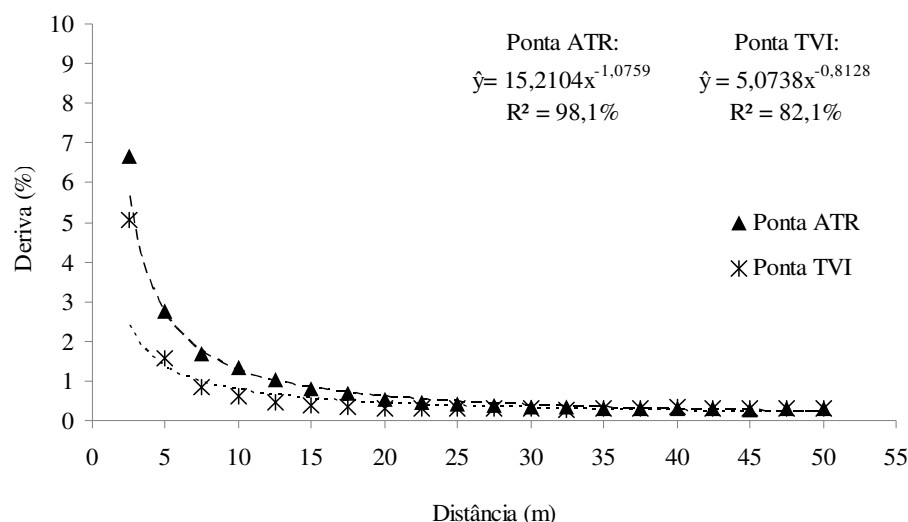


FIGURA 5. Curvas de deriva decorrentes de aplicações em cafeeiro feitas com dois tipos de pontas de pulverização.

As maiores porcentagens de deriva foram obtidas no ponto de coleta mais próximo da cultura, decrescendo à medida que se afastou da área tratada. O mesmo foi observado por Bozdogan e Bozdogan (2009), cujos maiores valores de deriva foram obtidos a 1 m de distância da cultura, estando entre 7,1 e 9,9%, independente da ponta de pulverização. Vercruyse et al. (1999) observaram perdas de 2,5 a 4,5% do volume aplicado a 5 m da cultura.

Acima de 20 m, a porcentagem de deriva ficou abaixo de 1%. Porém, em nenhuma distância este valor foi nulo, mesmo a 50 m utilizando-se a ponta com indução de ar. Isto pode estar relacionado ao limite inferior de detecção da rodamina B no fluorímetro. O fato de se trabalhar com distâncias maiores do que 50 m não necessariamente implica em uma análise mais completa, caso o poder de detecção do traçador seja baixo a ponto de não detectar tais diferenças. No entanto, Copes et al. (2006) acharam depósitos de produtos originários de aplicações em pomares de fruteiras em distâncias maiores do que 48 m da área tratada.

Os coeficientes “A” das curvas de deriva situaram-se entre 12,0918 e 19,1333 para a ponta ATR e entre 2,8155 e 9,1434 para a ponta TVI, enquanto que os coeficientes “B” estiveram entre -1,1491 e -1,0027 para a primeira ponta e entre -1,0007 e -0,6249 para a segunda. Como não houve sobreposição de valores, tanto para o coeficiente “A” quanto para o “B”, as curvas foram consideradas matematicamente diferentes. Essa diferença pode ser melhor observada nas regiões mais próximas da área pulverizada. Portanto, seria interessante que a elaboração de modelos de simulação de

deriva, seja por softwares ou trabalhos a campo, englobasse o tipo de ponta utilizado na aplicação, pois nesse estudo a deriva mostrou ser dependente desse fator.

Na Figura 6, comparam-se as curvas obtidas pelas pontas ATR e TVI com os modelos alemão e holandês, utilizando-se o percentil 90 dos dados de deriva resultante de aplicações em cafeeiros.

É possível observar que os modelos alemão e holandês estimaram, para culturas frutíferas, a 2,5 m da última linha aplicada, deriva de 19% e 17%, respectivamente, valores que se encontram acima daqueles observados neste trabalho. Em distâncias superiores a 20 m, as curvas de deriva das pontas passaram a ter comportamento semelhante. Isto faz com que, em estudos de riscos ocasionados pelo uso dos produtos para residentes, os dados de deriva estimados por Ganzelmeier et al. (1995) possam ser utilizados em cafeeiro sem sofrerem grandes distorções. O mesmo é esperado para a determinação de faixas de segurança. Contudo, em estudos que envolvam menores distâncias, como por exemplo, para observadores, deve-se dar preferência aos modelos desenvolvidos propriamente para café.

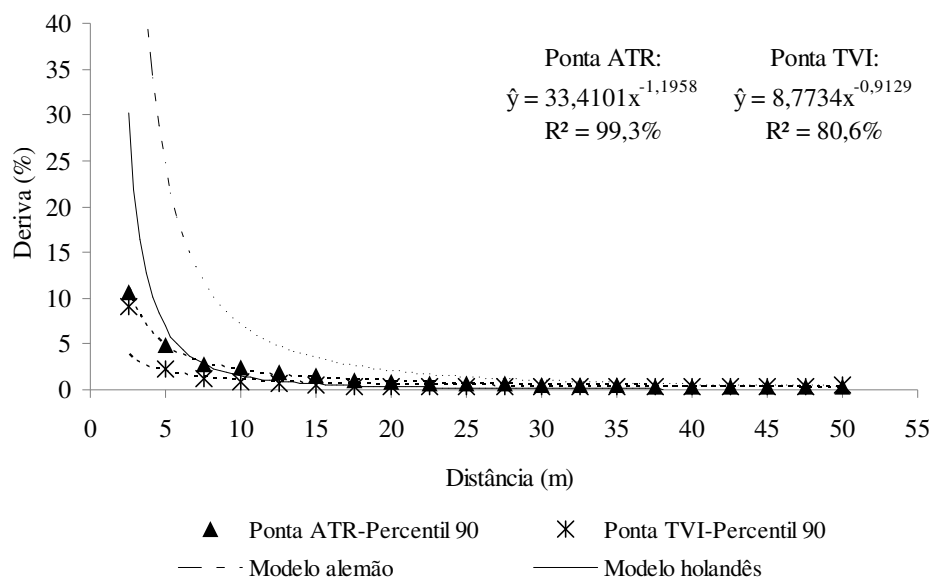


FIGURA 6. Percentil 90 da porcentagem de deriva decorrente de aplicações em cafeeiro feitas com dois tipos de pontas de pulverização, comparando-se com os modelos alemão e holandês.

Nas regiões mais próximas à área de aplicação (até 5 m), o modelo alemão gerou os maiores valores de deriva, sendo possível notar as maiores diferenças entre os dados,

o que pode influenciar no cálculo da quantidade total de produto perdida por deriva. Assim, as maiores perdas de produtos ocorrem nestas regiões.

Possivelmente isso tenha ocorrido devido ao fato desta região ser a mais influenciada pelo processo de pulverização. O cafeeiro em geral é mais denso que os cultivos frutícolas empregados por Ganzelmeier et al. (1995) na Alemanha, formando uma maior barreira física à passagem das gotas, diminuindo a perda de produto que passa entre as plantas da mesma linha. Nas áreas mais afastadas da cultura, a principal fonte de perdas provavelmente é originária das gotas que passam acima das plantas, principalmente em função da ação do ventilador do pulverizador, sofrendo menor influência do tipo de cultivo.

O modelo alemão foi elaborado com base em estudos com macieira (*Malus domestica* Borkh) e pereira (*Pyrus communis* L.), culturas muito distantes do cafeeiro do ponto de vista anatômico e morfológico. Embora o modelo holandês seja considerado mais completo do que o alemão por englobar um maior número de variáveis em sua equação, ambos foram feitos para atender as condições européias, de clima temperado, e que, portanto, devem ser aplicados de maneira cautelosa para estimar a deriva ocasionada nas lavouras de café no Brasil. No entanto, de maneira geral, o modelo holandês foi o que mais se aproximou das curvas de deriva.

Meli et al. (2003), estudando a deriva em áreas de citros da Itália também observaram que o modelo alemão superestimou os dados, não devendo ser utilizado para simulações de deriva em pomares de citros naquela região. Bozdogan e Bozdogan (2009), comparando a deriva gerada por pulverizador de barra com a estimada pelos modelos alemão e holandês, concluíram que ambos subestimaram os valores de deriva a 1 m de distância da cultura, enquanto que nas distâncias de 2 e 3 m ocorreram superestimativas da deriva.

Vischetti et al. (2008), ao estudarem métodos de redução de deriva em vinhedos, comparando um modelo simulador de deriva com dados obtidos a campo, concluíram que também houve concordância entre os dados apenas nas maiores distâncias, próximo a 24 m da área aplicada.

Os estudos de determinação de risco ambiental da aplicação de produtos são muito dependentes dos modelos de deriva empregados, pois eles usam os valores que estão próximos às áreas tratadas. Avaliações feitas até 5 m para estimar os piores cenários têm menor acurácia que as medidas feitas a maiores distâncias, pois a variabilidade dos dados é maior.

4 CONCLUSÕES

A ponta de jato cônico vazio com indução de ar reduziu a deriva até 20 m de distância da área tratada. A partir dessa distância, a deriva gerada pela ponta com indução de ar foi a mesma produzida pela ponta sem indução de ar.

A aplicação com a ponta jato cônico vazio resultou em deriva máxima de 6,68% no ponto de coleta mais próximo da área aplicada.

As curvas de deriva elaboradas a partir das aplicações pelas pontas de pulverização demonstraram ter comportamentos diferentes, sobretudo na região mais próxima do cafeeiro.

Os modelos alemão e holandês superestimaram a deriva nas distâncias mais próximas da área tratada.

O modelo holandês foi o que mais se aproximou das curvas de deriva para ambas as pontas de pulverização.

REFERÊNCIAS

- ALBUZ. **Ceramic spray nozzles**. 2012. Disponível em: < http://www.albuz-spray.com/wp-content/uploads/UK_cat-ALBUZ.2012.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2013.
- ALMEIDA, J. E. M.; MORI, A. E.; POZZA, E. A.; REIS, P. R.; FIGUEIRA, A. R. Análise temporal e controle da mancha-anular e do ácaro vetor do *Coffe ringspot virus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 913-919, 2012.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SASAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Efficiency of the spray tip using hydraulic hollow cone from the spectral analysis of the droplets. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 41-50, 2012.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R. À procura do alvo. **Cultivar máquinas**, Pelotas, v. 34, n. 1, p. 8-12, 2004.
- BAETENS, K.; HO, Q. T.; NUYTENS, D.; De SCHAMPHELEIRE, M.; ENDALEW, A. M.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.; VERBOVEN, P. A validated 2-D diffusion–advection model for prediction of drift from ground boom sprayers. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 43, n. 9, p. 1674-1682, 2009.
- BEHMER, S.; DI PRINZIO, A.; STRIEBECK, G.; MAGDALENA, J. Evaluation of low-drift nozzles in agrochemical applications in orchards. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 70, n. 3, p. 498-502, 2010.
- BOZDOGAN, N. Y.; BOZDOGAN, A. M. Comparisons of field and model percentage drift using different types of hydraulic nozzles in pesticide applications. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Teerã, v. 6, n. 2, p. 191-196, 2009.
- BUTLER ELLIS, M. C.; SWAN, T.; MILLER, P. C. H.; WADDELOW, S.; BRADLEY, A.; TUCK, C. R. Design factors affecting spray characteristics and drift performance of air induction nozzles. **Biosystems Engineering**, London, v. 82, n. 3, p. 289-299, 2002.
- CHAIM, A.; SCRAMIN, S.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L.; BOTTON, M.; SANHUIENZA, R. M. V.; KOVALESKI, A. Deposição de agrotóxicos pulverizados na cultura da maçã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 889-892, 2003.
- CHRISTOFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: TEEJET SOUTH AMÉRICA, 1999. 15 p.
- COMBELLACK, J. H.; WESTERN, N. M.; RICHARDSON, R. G. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. **Crop Protection**, London, v. 15, n. 2, p. 147-152, 1996.

COPEL, W.; Di PRINZIO, A.; BEHMER, S.; STRIEBECK, G. Contaminación del aire por deriva de pulverizaciones. In: CONGRESO ARGENTINO DE HORTICULTURA, 29., Mendoza, 2006. **Anais...** Mendoza: ASAHO, 2006.

COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; ROSSI, C. V. S.; CÔRREA, M. R.; SILVA, F. M. L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

CUNHA, J. P. A. R. Simulação de deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.

De SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.; BRUSSELMAN, E.; SONCK, S. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 4, p. 602-611, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

FAO. Food & Agriculture Organization. **Equipo de aplicación de pesticida para uso en agricultura**: equipo impulsado mecánicamente. Roma: FAO, 1997. 150 p.

FAVARIN, J. L.; NETO, D. D.; GARCÍA, A. G.; VILLA-NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERNANDES, A. P.; FERREIRA, M. C.; OLIVEIRA, C. A. L. Eficiência de diferentes ramais de pulverização e volumes de calda no controle de *Brevipalpus phoenicis* na cultura do café. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 130-135, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FRIßLEDEN, R. Balancing drift management with biological performance and efficacy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PESTICIDE APPLICATION FOR DRIFT MANAGEMENT, 1., Waikoloa, 2004. **Anais...** Pullman: WASHINGTON STATE UNIVERSITY, 2004.

GANZELMEIER, H.; RAUTMANN, D.; SPANGENBERG, R. **Studies on the spray drift of plant protection products**: results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. Berlin: BLACKWELL, 1995. 111 p.

HOLTERMAN, H. J.; Van de ZANDE, J. C. 2003. **IMAG Draft Report, IMAG Drift Calculator**. Disponível em: <<http://idc.holsoft.nl>>. Acesso em: 23 maio 2013.

ISO. International Organization for Standardization. **Equipment for crop protection: methods for field measurement of spray drift**. Geneva: ISO, 2005. 22 p. (ISO/FDIS 22866).

KÖPPEN, W. **Climatologia como un estudio de los climas de tierra**. México: FONDO DE CULTURA ECONÔMICA, 1948. 478 p.

LANDERS, A. **Putting the spray on the target**. Geneva: CORNELL, 2006. 12 p.

LEBEAU, F.; VERSTRAETE, C.; STAINIER, M.; DESTAIN, F. **RTDrift**: a real time model for estimating spray drift from ground applications. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169911000986>>. Acesso em: 23 maio 2013.

MAIA, B.; CUNHA, J. P. A. R. **Pulverizar**. Treinamento virtual em tecnologia de aplicação de agroquímicos. Uberlândia: UFU, 2008. Disponível em: <<http://www.pulverizar.iciag.ufu.br/>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. Londres: BLACKWELL SCIENCE, 2000. 432 p.

MELI, S. M.; RENDA, A.; NICELLI, M.; CAPRI, E. Studies on pesticide spray drift in a Mediterranean citrus area. **Agronomie Tropicale**, Les Ulis, v. 23, n. 7, p. 667-672, 2003.

MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 75, n. 2, p. 127-137, 2000.

PALLADINI, L. A. **Efeito de condições operacionais de um turboatomizador na cobertura de folhas de citros**. 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1990.

RAMOS, C.; CARBONELL, G.; BAUDÍN, J. M. G.; TARAZONA, J. V. Ecological risk assessment of pesticides in the Mediterranean region. The need for crop-specific scenarios. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 247, n. 2, p. 269-728, 2000.

RODRIGUES, G. J.; TEIXEIRA, M. M.; FILHO, E. I. F.; PICANÇO, M. C. Características do fluxo de ar de um pulverizador hidropneumático para aplicação de agroquímicos em plantas arbustivas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 199-207, 2008.

SARTORI, S. Pulverizadores para aplicação terrestre tratorizado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS, 1., Jaboticabal, 1995. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1985.

SAYINCI, B.; BASTABAN, S. Spray distribution uniformity of different types of nozzles and its spray deposition on potato plant. **African Journal of Agricultural Research**, Nairóbi, v. 6, n. 2, p. 352-362, 2011.

- SCRAMIN, S.; CHAIM, A.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L. Avaliação de bicos de pulverização de agrotóxicos na cultura do algodão. **Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, p. 43-50, 2002.
- SILVA, J. E. R.; ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Spray deposition on coffee crops (*Coffea arabica* L.): influence of nozzle type. In: WORKSHOP OF SPRAY APPLICATION TECHNIQUES IN FRUIT GROWING, 12., Valência, 2013. **Anais...** Valência: Universitat Politècnica de València, 2013.
- SNOO, G. R. Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 151-160, 1999.
- SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 17.0**. Chicago: SPSS Inc, 2008.
- SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: UNIVERSITY OF GEORGIA, 1997. 11 p.
- 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) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- VERCRUYSSSE, F.; STERBAUT, S.; DRIEGHE, S.; DEJONCKHEERE, W. Off target ground deposits from spraying a semi-dwarf orchard. **Crop Protection**, London, v. 18, n. 9, p. 565-570, 1999.
- VISCHETTI, C.; CARDINALI, A.; MONACI, E.; NICELLI, M.; FERRARI, F.; TREVISAN, M.; CAPRI, E. Measures to reduce pesticide spray drift in a small aquatic ecosystem in vineyard estate. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 389, n. 3, p. 497-502, 2008.
- WANG, M.; RAUTMANN, D. A simple probabilistic estimation of spray drift – factors determining spray drift and development of a model. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Michigan, v. 27, n. 2, p. 2617-2626, 2008.
- WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: KANSAS STATE UNIVERSITY, 2000. 4 p.
- WOLF, D. D.; SMITH, E. S. Uniformity of seed and fertilizer distribution with a hand-operated spinning spreader. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 761-762, 1979.
- WOMAC, A. R.; GOODWIN, J. C.; HART, W. E. **Comprehensive evaluation of droplet spectra from drift reduction nozzles**. St. Joseph: ASAE, 1997. 47 p.
- ZHU, H.; REICHARD, D. L.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994.

ANEXO A

TABELA 1A. Especificações técnicas do pulverizador Montana modelo Arbo 360

Especificações	
Bomba de pulverização	40 L min ⁻¹ (tipo membrana)
Filtros	Filtro principal com vedação para limpeza
Comando de pulverização	Manual (com controle de sessões)
Ventilador	615 mm
Porta-bicos	12 bicos
Potência máxima requerida	22 cv
Tanque principal	300 L (polietileno)
Dimensões e Massa	
Massa (vazio)	181 kg
Comprimento	1,15 m
Altura	1,18 m
Largura	0,86 m

(Fonte: catálogo do fabricante)

TABELA 2 A. Especificações técnicas do trator Massey Ferguson modelo 265 E

Motor		Rodados	
Modelo	Perkins AD 4-236	Dianteiro	Pirelli TM 93 12.4-28 (6 lonas)
Nº de cilindros	4	Traseiro	Maggion MLTZ 7.00-16 (16 lonas)
Cilindrada	3,9 L	Tomada de Potência	
Potência a 2200 rpm	64 hp (47,8 kW)	Tipo do eixo	6 estrias, 1 ^{3/8} ''
Consumo	14,5 L h ⁻¹	Rotação nominal na TDP	540 rpm*
Mecânica		Rotação no motor*	1900 rpm
Tração	4x2	Sistema Hidráulico	
Freios	Disco seco	Levante nos 3 pontos	1859 kgf
Bloqueio do diferencial	Por pedal	Vazão máxima	17,0 Lpm
Sistema de direção	Hidrostática	Pressão máxima	2300 PSI (158,6 BAR)
Capacidade		Potência	
Tanque de combustível	70 L	Barra de tração	50 hp (37,3kW)
Sistema Hidráulico	30,3 L	TDP	60 hp (44,7 kW)
Peso de embarque – 2590 kg			

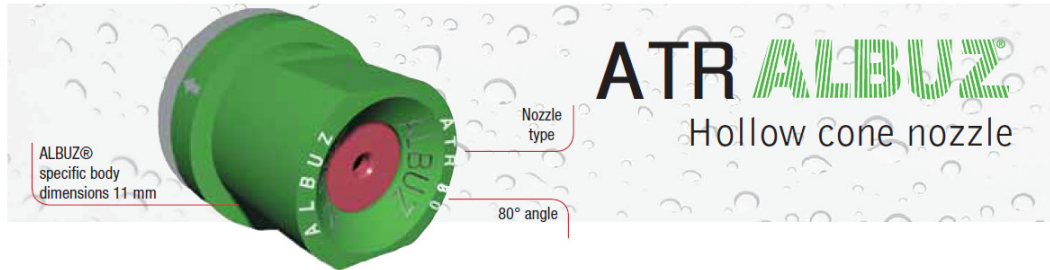
(Fonte: catálogo do fabricante)

ANEXO B

ORCHARD/VINEYARD

EUROPE

CoorsTEK
Amazing solutions
ALBUZ
catalogue 2011



APPLICATIONS

- ▶ For fungicides and insecticides.
- ▶ Recommended for orchard and vineyards.

MAIN CHARACTERISTICS

- ▶ Angle of 80° at 5 bar.
- ▶ Hollow cone nozzle producing fine droplets.
- ▶ ALBUZ durable pink ceramic allows high pressure spraying while maintaining nozzle performance and precision.

SPECIFIC CHARACTERISTICS

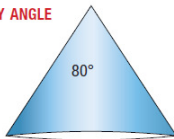
- ▶ Easy dismantling for cleaning.
- ▶ BBA certified.
- ▶ Can be used on a sprayer boom from 3 bar pressure.
- ▶ Precision polished ceramic surfaces of internal components ensure perfect sealing of the swirl chamber to give precise flowrate.
- ▶ **Recommended pressure: 10 bar.**

PRESSURE RANGE



from 10
to 15 bar

SPRAY ANGLE



DROPLET SPECTRUM




FLOW RATE CHART

bar	l/mn									
	WHITE	LILAC	BROWN	YELLOW	ORANGE	RED	GREY	GREEN	BLACK	BLUE
5	0.27	0.36	0.48	0.73	0.99	1.38	1.50	1.78	2.00	2.45
6	0.29	0.39	0.52	0.80	1.08	1.51	1.63	1.94	2.18	2.67
7	0.32	0.42	0.56	0.86	1.17	1.62	1.76	2.09	2.35	2.87
8	0.34	0.45	0.60	0.92	1.24	1.73	1.87	2.22	2.50	3.06
9	0.36	0.48	0.64	0.97	1.32	1.83	1.98	2.35	2.64	3.24
10	0.38	0.50	0.67	1.03	1.39	1.92	2.08	2.47	2.78	3.40
11	0.39	0.52	0.70	1.07	1.45	2.01	2.17	2.58	2.90	3.56
12	0.41	0.55	0.73	1.12	1.51	2.09	2.26	2.69	3.03	3.71
13	0.43	0.57	0.76	1.17	1.57	2.17	2.35	2.79	3.14	3.85
14	0.44	0.59	0.79	1.21	1.63	2.25	2.43	2.89	3.26	3.99
15	0.46	0.61	0.81	1.25	1.69	2.33	2.51	2.99	3.36	4.12
16	0.47	0.63	0.84	1.29	1.74	2.40	2.59	3.08	3.47	4.25
17	0.48	0.64	0.86	1.33	1.79	2.47	2.67	3.17	3.57	4.37
18	0.50	0.66	0.89	1.37	1.84	2.54	2.74	3.25	3.67	4.49
19	0.51	0.68	0.91	1.40	1.89	2.60	2.81	3.34	3.76	4.61
20	0.52	0.70	0.93	1.44	1.94	2.67	2.88	3.42	3.85	4.72
21	0.54	0.71	0.95	1.48	1.99	2.73	2.95	3.50	3.94	4.84
22	0.55	0.73	0.98	1.51	2.03	2.79	3.01	3.57	4.03	4.94
23	0.56	0.74	1.00	1.54	2.07	2.85	3.07	3.65	4.12	5.05
24	0.57	0.76	1.02	1.58	2.12	2.91	3.14	3.72	4.20	5.15
25	0.58	0.77	1.04	1.61	2.16	2.97	3.20	3.80	4.28	5.25


FIGURA 1 B. Vazões da ponta de jato cônico vazio sem indução de ar (ALBUZ, 2012).

ANEXO C

ISO ORCHARD/VINEYARD



ALBUZ[®] TVI
Hollow cone
anti-drift venturi



ALBUZ[®]
specific body dimen-
sions
11 mm

Nozzle
type

80°
angle

ISO
color
code

catalogue 2011
ALBUZ
COORS TEK
Amazing Solutions

APPLICATIONS

- ▶ For fungicide and insecticide treatments.
- ▶ Recommended for orchard and vineyards.

MAIN CHARACTERISTICS

- ▶ 80° angle at 5 bar.
- ▶ Air-induction hollow cone nozzle (Venturi system) spraying large drops filled with air bubbles which do not drift and explode into fine droplets in contact with the plant.
- ▶ ALBUZ durable pink ceramic allows high spraying pressures to be used while maintaining performance and precision.

FLOW RATE CHART

bar	l/mn							
	PURPLE 80-0050	PINK 80-0075	ORANGE 80-01	GREEN 80-015	YELLOW 80-02	LILAC 80-025	BLUE 80-03	RED 80-04
5	-	0.39	0.52	0.77	1.03	1.29	1.55	2.07
6	-	0.42	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	2.26
7	0.31	0.46	0.61	0.92	1.22	1.53	1.83	2.44
8	0.33	0.49	0.65	0.98	1.31	1.63	1.96	2.61
9	0.35	0.52	0.69	1.04	1.39	1.73	2.08	2.77
10	0.37	0.55	0.73	1.10	1.46	1.83	2.19	2.92
11	0.38	0.57	0.77	1.15	1.53	1.91	2.30	3.06
12	0.40	0.60	0.80	1.2	1.6	2.00	2.40	3.20
13	0.42	0.62	0.83	1.25	1.67	2.08	2.50	3.33
14	0.43	0.65	0.86	1.30	1.73	2.16	2.59	3.46
15	0.45	0.67	0.89	1.34	1.79	2.24	2.68	3.58
16	0.46	0.69	0.92	1.39	1.85	2.31	2.77	3.70
17	0.48	0.71	0.95	1.43	1.90	2.38	2.86	3.81
18	0.49	0.73	0.98	1.47	1.96	2.45	2.94	3.92
19	0.50	0.75	1.01	1.51	2.01	2.52	3.02	4.03
20	0.52	0.77	1.03	1.55	2.07	2.58	3.10	4.13
21	0.53	0.79	1.06	1.59	2.12	2.65	3.17	4.23
22	0.54	0.81	1.08	1.62	2.17	2.71	3.25	4.33
23	0.55	0.83	1.11	1.66	2.22	2.77	3.32	4.43
24	0.57	0.85	1.13	1.70	2.26	2.83	3.39	4.53
25	0.58	0.87	1.15	1.73	2.31	2.89	3.46	4.62


SPECIFIC CHARACTERISTICS

- ▶ Easy dismantling for a good cleaning.
- ▶ 3 ceramic components for more wear resistance.
- ▶ Can be used on a boom from a pressure of 5 bar using a special bayonette cap.
- ▶ Compact size: length 19 mm.
- ▶ Model 80 0050: recommended pressure from 7 bar.
- ▶ **Recommended pressure: 10 bar.**

IMPORTANT

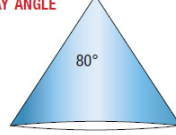
- ▶ Use 200 mesh nozzle filters for models 80 0050 - 80 0075 and 100 mesh filters for the other sizes.

PRESSURE RANGE



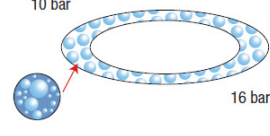
from 10 to 16 bar

SPRAY ANGLE



80°

DROPLET SPECTRUM



10 bar

16 bar

FIGURA 1 C. Vazões da ponta de jato cônico vazio com indução de ar (ALBUZ, 2012).

ANEXO D

TABELA 1 D. Tamanho de gotas formadas pela ponta ATR com diferentes vazões e pressões de trabalho (ALBUZ, 2012)

Pressão (MPa)	Ponta ATR (cor)								
	branca	marrom	amarela	laranja ¹	vermelha	cinza	verde	preta	azul
0,3	MF	MF	F	F	F	F	F	F	M
0,5	MF	MF	MF	MF	F	F	F	F	M
0,7	MF	MF	MF	MF	MF	F	F	F	F
1,0	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	F	F
1,5	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	F
2,0	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	MF	F

MF: muito fina; F: fina; M: média.

¹Ponta utilizada neste trabalho.

TABELA 2 D. Tamanho de gotas formadas pela ponta TVI 80° com diferentes vazões e pressões de trabalho (ALBUZ, 2012)

Pressão (MPa)	TVI 80°				
	roxa 80050	rosa 80075	verde 80015	amarela 8002 ¹	lilás 80025
0,5	EG	EG	EG	EG	EG
1,0	G	G	G	EG	EG
1,5	G	G	G	MG	MG

G: grossa; MG: muito grossa; EG: extremamente grossa.

¹Ponta utilizada neste trabalho.