

MARIANA RODRIGUES BUENO

DERIVA E ANÁLISE DE RISCO DAS APLICAÇÕES DE FUNGICIDAS,  
HERBICIDAS E INSETICIDAS NAS CULTURAS DO FEIJÃO E DA SOJA

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

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

Co-orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Denise Garcia de Santana

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

- B928d  
2015
- Bueno, Mariana Rodrigues, 1986-  
Deriva e análise de risco das aplicações de fungicidas, herbicidas e inseticidas nas culturas do feijão e da soja / Mariana Rodrigues Bueno. - 2015.  
101 p. : il.
- Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha.  
Coorientadora: Denise Garcia de Santana.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.
1. Agronomia - Teses. 2. Produtos químicos agrícolas - Teses. 3. Plantas - Proteção - Teses. 4. Pulverização - Teses. 5. Fitotecnia - Teses. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da. II. Santana, Denise Garcia de. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

---

MARIANA RODRIGUES BUENO

DERIVA E ANÁLISE DE RISCO DAS APLICAÇÕES DE FUNGICIDAS,  
HERBICIDAS E INSETICIDAS NAS CULTURAS DO FEIJÃO E DA SOJA

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

APROVADA em 25 de março de 2015.

Prof. Dra. Denise Garcia de Santana  
(co-orientadora)

UFU

Prof. Dr. Stephan Malfitano Carvalho


UFU

Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo

UENP

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

UENP



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

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

*Aos meus pais, João e Divina pelo amor incondicional e por me ensinar o verdadeiro valor de uma família.*

*Aos meus irmãos João Paulo e Yara, pela amizade e por serem a alegria de todos os dias.*

*E a meu amado Mateus, pelo carinho e apoio, principalmente, nos momentos mais difíceis.*

***Dedico!***

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, e por estar sempre presente ao meu lado, me dando forças, fé e perseverança para jamais desistir dos meus sonhos e objetivos!*

*Agradeço também a minha mãe Maria por interceder junto a seu filho por todos os meus pedidos, minhas dificuldades e minhas vitórias!*

*Aos meus pais João Batista e Divina Lúcia, por serem “os meus pais”! Por me ensinarem que se queremos algo na vida, temos que lutar, trabalhar e ser gratos por aqueles que nos ajudaram a alcançar nossos objetivos! Eu os amo infinitamente, e peço a Deus todos os dias que eu ainda tenha o prazer de desfrutar muitos e muitos anos ao lado de vocês!*

*Tenho que agradecer aos meus loucos e queridos irmãos, João Paulo Bueno e Yara Bueno! Nossas vidas não teriam sentido sem nossos momentos únicos sentados na sala apenas para rir e cantar após um dia exaustivo de trabalho! Obrigado por serem os melhores irmãos que alguém poderia ter! Amo vocês!*

*Deus não coloca pessoas em nossa vida por acaso, e com certeza não foi por acaso que Ele o colocou na minha vida meu amor! Obrigada Mateus Oliveira por ser meu companheiro, meu confidente, meu amigo, enfim meu “anjo guardião”, ao longo desses seis anos! Te amo... E obrigada a toda a sua família pelo apoio e pela torcida!*

*Obrigada irmão e Mateus pela ajuda durante a condução do experimento! Companheiro é companheiro sempre!*

*Muitas pessoas têm apenas um cunhado, eu tenho um cunhado e um amigo! Pedro Junior, obrigada por todos os momentos de alegria e por ouvir meus desabaços vez ou outra. Você é muito especial em minha vida!*

*Há seis anos quando ingressei na pós graduação não ganhei apenas um orientador, ganhei também um amigo! E é assim que eu o considero Prof. João Paulo Arantes, afinal, aguentar minhas idas infinitas a sua sala, algumas vezes só para dizer um “oi”, não deve ser fácil! Obrigada pela amizade, por todo o ensinamento ao longo desses anos, e por ser um exemplo de profissional para todos seus alunos!*

*No doutorado também tive a oportunidade de ter uma Co-orientadora, Prof<sup>a</sup>. Denise Santana. Foi uma satisfação enorme poder contar com sua colaboração e sua amizade durante essa etapa. Desde a graduação a admiro muito como profissional, e agora mais ainda! Obrigada pela amizade, pelo carinho e pelo aprendizado!*

*Agradeço também aos meus colegas de laboratório em especial ao Guilherme, João Eduardo, Rodrigo, Vitor e Rafael Marcão pela ajuda durante a condução do meu experimento de Tese, e aos demais colegas Olinto, Thales e Sérgio pela amizade, pelos “papos” no LAMEC e pelas trocas de experiência! Com certeza sentirei muita falta de todos vocês!*

*Muito obrigada também ao Eduardo (Dudu), a Cida (Cidinha) que já se aposentou, mas que guardo no meu coração e à Yara, secretários do programa de Pós-Graduação em agronomia, que tantas vezes me socorreram e me ajudaram com as burocracias!*

*Obrigada a todos os professores, demais secretários (ICIAG e Coordenação da Agronomia) e técnicos do Instituto de Ciências Agrárias da UFU pelo convívio prazeroso, pelas trocas de favores e experiências e pela amizade!*

*Às minhas amigas de pós graduação, Karla Couto, Adriana Figueiró, Larissa Barbosa e Marcela Borges, por tantos momentos de descontração, de conselhos e desabafos! Vocês têm um lugarzinho guardando no meu coração meninas!*

*Obrigada a toda equipe da fazenda Capim Branco: Prof. Maurício, aos Técnicos Rui e Borges, aos Tratoristas Severino, Marcim, Wiliam, aos funcionários da ARQ e a equipe de segurança, por todo o auxílio durante a instalação e condução dos meus experimentos na fazenda. Vocês foram fundamentais para que toda essa etapa de campo pudesse ser realizada!*

*Tenho muito que agradecer também a várias pessoas que nos cederam grande parte do material utilizado nos experimentos. Aos Professores Carlos Juliano e Adriane de Andrade por nos ceder os adubos; à Embrapa Arroz e Feijão por nos ceder as sementes de Feijão, ao meu amigo Márcio de Freitas e à Syngenta Seeds por nos ceder as sementes de Soja, ao Rodrigo Alandia e a Teejet Spray Systems por nos cederem as pontas de pulverização!*

*Muito obrigada Prof. Stephan M. Carvalho, Prof. Marco A. Gandolfo e Prof. Rone B. de Oliveira por aceitarem participar desse dia tão importante para minha carreira profissional, como membros da minha banca! Obrigada pelas sugestões e correções, afinal todas elas contribuíram para melhorar ainda mais meu trabalho.*

*Obrigada a CAPES, ao CNPq e a Fapemig por contribuir, principalmente, de forma financeira para a concretização dessa etapa! O Brasil ainda tem muito a crescer e evoluir quando o assunto é educação! Mas é bom saber que temos órgãos como vocês que se dedicam ao ensino, pesquisa e extensão com excelência, compromisso e qualidade.*

*Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia, por me permitir realizar meu sonho de ser uma Doutora em Agronomia, e por me acolher ao longo desses nove anos de UFU, afinal tudo começou na graduação, passando pelo Mestrado, um período como Docente e agora finalmente terminando o Doutorado! E com certeza pretendo voltar, um dia como Professora Efetiva do ICIAG!*

*E por fim a todas as pessoas, colegas de turma, amigos e familiares que torceram e continuam torcendo pela minha felicidade e pelo meu sucesso! Obrigada a cada um de todo coração! Essa conquista é para ser dividida com todos vocês...*

***“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.***

***Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.***

(Madre Teresa de Calcutá)

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	i
GENERAL ABSTRACT .....	ii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS .....	8
CAPÍTULO I: CURVAS DE DERIVA DAS APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NAS CULTURAS DO FEIJÃO E DA SOJA .....	13
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
3.1 Cultura do Feijão .....	27
3.2 Cultura da Soja .....	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	46
5. CONCLUSÕES .....	47
REFERÊNCIAS .....	48
CAPÍTULO II: RISCO AMBIENTAL E OCUPACIONAL ASSOCIADOS À DERIVA DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS EMPREGADOS NAS CULTURAS DO FEIJÃO E DA SOJA .....	51
RESUMO .....	52
ABSTRACT .....	53
1. INTRODUÇÃO .....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	57
2.1 Indicadores de Risco para Organismos Aquáticos .....	58
2.2 Indicadores de Risco para Organismos Terrestres .....	58
2.3 Indicadores de Risco Ocupacional .....	61
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	67
3.1 Cultura do Feijão .....	67
3.1.1 Índice de Risco para Organismos Aquáticos .....	67
3.1.2 Índice de Risco para Organismos Terrestres .....	70
3.1.3 Índice de Risco Ocupacional .....	73
3.2 Cultura da Soja .....	77



3.2.1 Índice de Risco para Organismos Aquáticos .....	77
3.2.2 Índice de Risco para Organismos Terrestres .....	79
3.2.3 Índice de Risco Ocupacional .....	83
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
5. CONCLUSÕES .....	89
REFERÊNCIAS.....	90
ANEXOS .....	97

## RESUMO GERAL

BUENO, MARIANA RODRIGUES. **Deriva e análise de risco das aplicações de fungicidas, herbicidas e inseticidas nas culturas do feijão e da soja**. 2015. 101p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

A utilização de produtos fitossanitários no manejo das culturas do feijão e da soja é muito importante para manter a sanidade dos cultivos. Contudo, o uso inadequado desses produtos pode causar riscos de contaminação à fauna, à flora e aos seres humanos, quando ocorre deriva durante as aplicações. Assim, o trabalho objetivou quantificar a deriva depositada decorrente da aplicação terrestre com diferentes pontas de pulverização, a fim de se obter curvas de deriva para as culturas do feijão e da soja e, a partir dessas, calcular os índices de risco ambiental e ocupacional de produtos fitossanitários utilizados para as duas culturas e estabelecer zonas de segurança para essas aplicações. O trabalho foi dividido em duas etapas: na primeira estimaram-se curvas de deriva para as culturas do feijão e da soja, conforme a metodologia proposta pela norma ISO 22866. Em delineamento de blocos casualizados e esquema de parcela subdividida no espaço 4 x 20 com 10 repetições, foi mensurada a deriva proveniente da pulverização com quatro tipos de pontas (jato plano simples e com indução de ar – XR e AIRX e jato plano defletor simples e com indução de ar – TT e TTI) em 20 pontos amostrais (correspondentes a 20 distâncias paralelas à linha de cultivo fora da área-alvo, espaçadas em 2,5 m). Para a avaliação dos depósitos em alvos de papel filtro junto ao solo adicionou-se ao tanque de um pulverizador hidráulico de barras um marcador composto do corante Rodamina B para ser detectado por fluorimetria. Na segunda etapa foram calculados os índices de risco de contaminação decorrentes da exposição a fungicidas, herbicidas e inseticidas recomendados para as duas culturas no Brasil. Os índices de risco foram calculados para três diferentes grupos: organismos aquáticos (daphnia, algas e peixes), terrestres (abelhas e minhocas) e risco ocupacional para espectadores, crianças e residentes; calculados de acordo com as modelagens propostas pelas metodologias POCER e HAIR. Foram obtidos quatro modelos de previsão de deriva para a cultura do feijão, e três para a cultura da soja, análogos ao “Modelo Holandês”, com tendência exponencial de quatro parâmetros, considerando o Percentil 90. Os coeficientes do “Modelo Holandês” de deriva para cultivo de Cereais (*Cereals*), assim como os coeficientes do “Modelo Alemão” para culturas anuais (*Field Crops*) não são indicados para estimar a deriva nas culturas do feijão e da soja. Em geral, os organismos aquáticos são os mais sensíveis à contaminação por deriva. Não foi observado risco de contaminação para minhocas. Para as abelhas, os inseticidas chlorpyrifos, spinosad e thiamethoxam apresentam riscos, independente do tamanho de gota utilizado na curva de deriva e, portanto requerem diferentes tamanhos de zonas de segurança. O herbicida paraquat é o único com potencial de risco de contaminação ocupacional. Em avaliações de estimativa de deriva e risco nas culturas do feijão e da soja, em condições climáticas brasileiras, sugere-se a utilização dos modelos de previsão de deriva gerados neste trabalho, para cada tipo de ponta de pulverização.

**Palavras-chave:** curvas de deriva, HAIR, POCER, pontas de pulverização, produtos fitossanitários, tecnologia de aplicação.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Orientador) e Denise Garcia de Santana – UFU.

## GENERAL ABSTRACT

BUENO, MARIANA RODRIGUES. **Drift and risk assessment of fungicide, herbicide and insecticide application on dry bean and soybean crops.** 2015. 101p. Uberlândia: UFU, 2015. 101p. Thesis (Doctor Program in Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.<sup>2</sup>

The use of pesticides in management of dry beans and soybeans is fundamental to maintain healthy crops. However, inadequate use of these products represent risks of contamination of the fauna, flora and humans through drift during spraying. Thus, this study quantified deposited drift after boom spraying with different nozzles to determine drift curves for dry beans and soybeans and, from such curves, to calculate the indices of environmental and occupational risks of pesticides used for both crops and to establish buffer zones for spraying these products. The study was divided into two parts: the first one estimated drift curves for dry beans and soybean crops, according to the methodology proposed by norm ISO 22866. The experimental design was randomized blocks, in split plots over space 4 x 20 with 10 replications, measuring drift from spraying with four nozzle types (standard and venturi flat fans – XR and AIXR and standard and venturi deflector flat fans – TT and TTI) in 20 sampling points (corresponding to 20 parallel distances to crop row outside the target area, spaced by 2.5 m). Evaluation of deposition in filter paper targets on the soil, the dye Rodamine B was added to the tank of a hydraulic boom sprayer, which was quantified by fluorimetry. The second part consisted of computations of contamination risk evaluations from exposition to fungicides, herbicides and insecticides recommended for both crops in Brazil. The risk indices were computed for three different groups: water organisms (daphnia, alga and fish), terrestrial (bees and worms) and occupational risk for bystanders, children and residents, according to models proposed by the methodologies POCER and HAIR. Four drift prediction models were obtained for dry beans and three for soybeans, similar to the “Dutch Model”, with exponential trend of four parameters, considering the 90 percentile. The coefficients of the drift “Dutch Model” for Cereals, as well as the coefficients of the “German Model” for Field Crops are not adequate to estimate drift for dry beans and soybeans. In general, water organisms are more sensitive to contamination by drift. No risk of contamination was found for worms. However, the insecticides chlorpyrifos, spinosad and thiamethoxam presented risk to bees, regardless of droplet size used in the drift curve and, therefore, demand different dimensions for the buffer zones. The herbicide paraquat was the only one with potential occupational contamination risk. It is suggested that, for estimation of drift and risk in dry beans and soybeans, for Brazilian climate conditions, the drift prediction models generated in this study, for each nozzle type, should be used.

**Keywords:** drift curves, HAIR, POCER, spray nozzle, pesticide, application technology.

---

<sup>2</sup>Guidance Committee: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU (Major Professor) and Denise Garcia de Santana – UFU.

## INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a cultura agrícola mais produzida no Brasil, e corresponde a aproximadamente 49% da área total cultivada com grãos no país, sendo as regiões Centro Oeste e Sul as maiores produtoras nacionais. Para a safra 2014/15, estima-se uma produção em torno de 95,92 milhões de toneladas, representando incremento de 11,4% em relação à safra 2013/14, resultado principalmente do crescimento de 4,4% na área produzida. A área cultivada com soja superou os 30,17 milhões de hectares da safra 2013/14 para aproximadamente 31,51 milhões de hectares na safra 2014/15, constituindo a maior área de soja cultivada no Brasil (CONAB, 2015; MAPA, 2015).

Desde o final dos anos 1990, poucos países cresceram tanto no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil. O país é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários como café, açúcar, etanol e suco de laranja. O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) apesar de ainda não ser exportado, é um grão típico da culinária brasileira, amplamente produzido no país. É fonte de proteína vegetal, vitaminas do complexo B e sais minerais, ferro, cálcio e fósforo, e o consumo do produto, em média, por pessoa chega a 19 kg por ano (MAPA, 2015).

De acordo com o levantamento de fevereiro de 2015 da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), estima-se que a produção nacional de feijão para as três safras de 2014/15, seja de aproximadamente 3,39 milhões de toneladas, aproximadamente 3,8% a menos do que o produzido na safra anterior. Essa queda na produção se deve principalmente pelos baixos preços de mercado pagos aos produtores, além dos elevados riscos de perda e da grande competitividade com as culturas do milho e da soja (CONAB, 2015).

Além disso, o Brasil lidera o ranking das vendas externas do complexo de soja (grão, farelo e óleo), principal gerador de divisas cambiais com negociações anuais que ultrapassaram US\$ 20 bilhões, sendo os maiores compradores a China e a União Europeia. Em 2019, estima-se que a produção nacional deve representar 40% do comércio mundial do grão e 73% do óleo de soja (MAPA, 2015).

A produtividade média da cultura da soja na safra 2013/2014 variou de 2.520 kg ha<sup>-1</sup> (região sudeste) a 3.005 kg ha<sup>-1</sup>(centro-oeste), com custo de produção médio em torno de R\$ 1.700,00 a R\$ 2.600,00 dependendo do tipo de grão (convencional ou transgênico) e da região de cultivo. A produtividade da cultura do feijão varia de 411 kg

ha<sup>-1</sup> (região nordeste) a 1.865 kg ha<sup>-1</sup>(centro-oeste), com custo de produção aproximado de R\$ 2.800,00 e R\$ 3.800,00 para feijão de sequeiro e irrigado, respectivamente. Deste total do custo de produção, para ambas as culturas, margens entre 20 e 25% representam os gastos com a aquisição e aplicação de produtos fitossanitários (CONAB, 2015).

Os tratamentos fitossanitários além de ter participação considerável no custo de produção, são também uma das principais etapas do processo produtivo de qualquer cultura, pois a aplicação de fungicidas, herbicidas e inseticidas ajuda a manter a sanidade da cultura até o final do ciclo, contribuindo para que estas produzam em quantidade e qualidade, conforme o potencial genético de cada cultivar ou variedade.

Entretanto, o uso desses produtos, principalmente quando realizado de forma indiscriminada, pode gerar danos para a própria cultura, para o ambiente e para os seres vivos, seja pelo contato direto com esses produtos durante a manipulação ou aplicação no campo, ou pelo contato indireto decorrente da presença da molécula ativa desses produtos no ambiente (ar, água e solo) ou mesmo pela presença de resíduo químico nos alimentos.

Os problemas mais comuns durante as aplicações são aqueles relacionados à toxicidade, escorrimento de calda, lixiviação, volatilização, degradação e deriva de produtos fitossanitários (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007).

Conhecer os princípios básicos da tecnologia de aplicação, associado ao uso de produtos com menor efeito toxicológico e residual, e o uso constante de equipamentos de proteção individual (EPI) durante as aplicações, além de realizar a manutenção preventiva e a regulagem e calibração dos equipamentos de pulverização antes de iniciar uma aplicação, podem reduzir consideravelmente alguns desses problemas decorrentes das aplicações de produtos fitossanitários.

Os princípios básicos da tecnologia de aplicação partem do pressuposto da colocação da quantidade correta de ingrediente ativo no alvo desejado, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, com o mínimo de contaminação ao ambiente (MATUO, 1990; MATTHEWS, 2002). Contudo, na maioria das vezes, dá-se muita importância ao produto fitossanitário a ser aplicado e pouca à forma de aplicação. Não basta apenas conhecer o produto a ser aplicado, também é fundamental conhecer a tecnologia de aplicação empregada. É preciso garantir que o produto alcance o alvo de forma eficiente, minimizando-se as perdas (CUNHA, 2008) e os inúmeros problemas relatados anteriormente.

A deriva de produtos fitossanitários, por exemplo, é um dos maiores problemas da agricultura moderna (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; TSAI, 2005). E, embora não seja uma questão nova, alguns de seus aspectos requerem maiores investigações, principalmente com relação à maior segurança nas aplicações, uma vez que todo ano novos princípios ativos ou novas formulações são introduzidos no mercado (HILLOCKS, 2012).

A deriva de pulverização é definida como a fração do produto fitossanitário transportada para fora da zona de tratamento por efeito de correntes de ar durante o processo de aplicação, seja por meio de pulverizações terrestres ou aéreas (WSSA 2002; ISO, 2005; STEPHENSON et al., 2006). Estas perdas quando acontecem dentro da cultura (material que não é depositado nas folhas da cultura e cai no solo) pode ser considerada como endoderiva, enquanto as perdas para fora da área tratada são consideradas como exoderiva (SOUZA et al., 2011).

Cálculos mostram que quase 10% do que se aplica nas culturas anuais é perdido para áreas vizinhas, contaminando águas subterrâneas e superficiais, solo e a atmosfera (JONG et al., 2008), podendo chegar até a 80% (MASKI; DURAIRAJ, 2010). Entretanto, ainda faltam pesquisas que comprovem e quantifiquem os valores reais dessas perdas.

O desvio da trajetória que impede as gotas produzidas de atingirem seu alvo está relacionado, principalmente, ao tamanho das gotas e às condições ambientais (STAINIER et al., 2006; BAETENS et al., 2007; CUNHA, 2008). A produção de gotas de tamanho pequeno, ou gotas finas (menores que 100  $\mu\text{m}$ ), embora permitam boa cobertura do alvo, levam a problemas com deriva e evaporação, consequentemente com risco de contaminação ambiental. Isso não acontece quando se utiliza de gotas grossas (maiores que 450  $\mu\text{m}$ ), que apesar de gerarem baixa cobertura superficial e escorrimento, são menos propensas ao deslocamento pelo vento (MURPHY et al., 2000; CROSS et al., 2001; HOLTERMAN, 2003; MILLER, 2003; CUNHA et al., 2004; TSAI et al., 2005; FIGUEIREDO et al., 2007; GULER et al., 2007; NUYTTENS et al., 2009, 2011; HILTZ; VERMEER, 2013).

A utilização de pontas que produzem gotas grossas, como as pontas com indução de ar ou tipo Venturi, como são conhecidas, tem sido uma das principais alternativas para a redução da deriva das pulverizações (ZHU et al., 2004; NUYTTENS et al., 2007). Outro fator que pode auxiliar na redução da deriva é a adição de adjuvante à calda de aplicação. Esses produtos alteram as características físico-químicas da calda,

principalmente viscosidade e tensão superficial (CUNHA; ALVES et al., 2009; van ZYL et al., 2010), modificando, por consequência, o espectro de gotas geradas (VIANA et al., 2010). A adequação do equipamento a cada tipo de aplicação também é primordial para minimizar a ocorrência de deriva nas aplicações. O uso de pulverizadores com assistência de ar também é uma técnica bastante utilizada neste sentido (van de ZANDE et al., 2007).

As pesquisas sobre deriva têm como principal objetivo a determinação de medidas apropriadas que minimizem os efeitos negativos da aplicação no ambiente (BAETENS et al., 2009). Em alguns países europeus, uma das soluções encontradas para reduzir esse problema foi o estabelecimento das chamadas zonas de segurança (“buffer zones”) (SNOO, 1999; HILTZ; VERMEER, 2013). Trata-se de uma faixa de vegetação que não pode receber a aplicação de produtos fitossanitários para proteger uma determinada área adjacente (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007) como, por exemplo, um curso de água. A extensão desta faixa, no entanto, é variável e depende das condições das aplicações. 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 zonas de segurança e permitir aplicações mais efetivas e seguras ao ambiente.

Na Europa, existem diretrizes, como a Diretriz Europeia 91/414/CEE (EUROPEAN COMMISSION, 2002) que obrigam os aplicadores (produtores rurais) de produtos fitossanitários a ter maior controle das suas aplicações, principalmente quando se refere à deriva.

Vários estudos foram realizados no mundo com o intuito de determinar essa distância horizontal que as gotas pulverizadas podem percorrer, principalmente em países da União Européia. Normalmente, os resultados destas pesquisas são apresentados na forma de funções (curvas), geralmente exponenciais ou potenciais, que expressam o valor do depósito (porcentagem do fitossanitário aplicado por hectare) em função da distância entre a área de aplicação e uma área sensível aos produtos (RAUTMANN et al., 2001).

Essas curvas apresentam diferentes comportamentos dependendo do equipamento de aplicação, das condições do ambiente no momento da aplicação e principalmente da cultura alvo. Desta forma, Ganzelmeier et al. (1995) desenvolveram os primeiros modelos de curva de deriva, mais conhecidos como “Modelo Alemão de Deriva” para grupos específicos de culturas cultivadas na Alemanha. Para cada grupo

(cereais, videiras, frutíferas e lúpulo), existe uma curva (regressão potencial) com coeficientes específicos de deriva, que são utilizados em várias partes do mundo para estudos envolvendo risco de contaminação por deriva.

Outros modelos de curvas, também bastante utilizados, foram desenvolvidos posteriormente por Holterman e van de Zande (2003). Conhecidos como “Modelo Holandês ou IMAG”, estes propõem estimativas de deriva por meio de regressões exponenciais e potenciais para seis grupos: solo nu (área em pousio), e culturas da batata, beterraba, frutíferas (novas e adultas) e cereais.

Essas curvas representam a melhor ferramenta disponível para a estimativa do depósito de deriva no solo a diferentes distâncias da planta ou área alvo (RAUTMANN et al., 2001). Na tentativa de representar o pior caso de deriva de uma aplicação, para estimar as curvas de deriva, os dados coletados no campo são convertidos em percentil 90, conforme determina a resolução Européia FOCUS-Surface Water Group (FOCUS, 2001).

A representação da deriva em Percentil 90 é amplamente empregada em estudos de riscos toxicológicos na Europa. Uma parte da deriva é mensurada no campo, mas outra é omitida por efeitos combinatórios, como a velocidade do vento, as práticas agrícolas, dentre outros. Como em geral esses modelos não levam em consideração todas as variáveis que interferem na deriva de uma pulverização, a expressão desta em Percentil 90 é uma forma de compensar tais omissões, aumentando a segurança das informações, além disso, os resultados desses testes são utilizados no registro de produtos fitossanitários nos países da União Europeia (WANG; RAUTMANN, 2008).

Apesar desses dois modelos serem amplamente utilizados em estudos de deriva, eles não propõem curvas de deriva para algumas das principais culturas cultivadas no Brasil como o feijão, a soja, a cana e o café. Além disso, é importante ressaltar que, esses estudos foram realizados em condições de clima Europeu, mais especificadamente na Alemanha (Clima temperado “C”) e Holanda (Clima temperado oceânico “Cfb”), os quais se diferenciam significativamente do clima encontrando na maioria das regiões brasileiras, clima Tropical (Aw, As, Af), segundo classificação de Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007).

Outros pesquisadores mundiais também têm realizado pesquisas envolvendo estimativa de modelos de deriva. Em áreas de citros na Sicília (Itália), os dados obtidos das aplicações manuais e com turbo-atomizadores foram superestimados ao se utilizar os dados de referência tabelados de Ganzelmeier, tornando-se inadequados para a



simulação de deriva nesta área (MELI et al., 2003). Entretanto, os autores avaliaram a deriva até a distância máxima de 7 m e a partir desses dados fizeram estimativas de deriva para 15 m, distâncias relativamente pequenas quando comparadas aos 250 m dos estudos de Rautmann et al. (2001).

Outro ponto importante é que esses modelos expressam o comportamento da deriva de todas as classes de gotas em uma única curva, não existindo um modelo representativo para o comportamento das gotas finas e outro para as gotas grossas. Neste contexto, sabe-se que existe grande amplitude entre as classes de tamanhos de gotas. De acordo com a norma ASAE S-572, as gotas são classificadas desde muito finas (gotas < que 100  $\mu\text{m}$ ) até extremamente grossas (gotas > que 450  $\mu\text{m}$ ) (ASAE, 2009).

Recentemente, no Brasil, Alves e Cunha (2014) foram um dos pioneiros a realizar trabalhos envolvendo estimativa de deriva para duas classes de tamanho de gotas. Os autores avaliaram a porcentagem de deriva depositada no solo decorrente da aplicação com dois tipos de ponta: ATR (gotas finas) e TVI (gotas grossas), na cultura do café, e como resultado estimaram duas curvas de deriva (regressões potenciais), uma para cada tipo de ponta (tamanho de gota).

Desta forma, para quantificar e determinar a deriva decorrente das aplicações de produtos fitossanitários no Brasil de forma mais precisa, deve-se estimar modelos de curvas para as culturas cultivadas nas condições de clima brasileiro, além de estimar diferentes curvas em função das classes de tamanho de gota, a fim de estabelecer a distância horizontal real que uma gota é capaz de percorrer em função do seu tamanho.

A partir dessas curvas, ainda é possível calcular o risco de contaminação de outras áreas, de animais e de pessoas, que as partículas derivadas da aplicação de produtos fitossanitários podem causar e estabelecer zonas de segurança para cada produto e cada aplicação.

O POCER (Pesticide Occupation and Environmental Risk) (Risco ocupacional e ambiental da aplicação de produtos fitossanitários) é uma metodologia desenvolvida em Flandres (Bélgica) com a finalidade de quantificar os possíveis riscos da utilização de produtos fitossanitários, para o ambiente e para a saúde humana, por meio de uma série de indicadores, os quais são compostos basicamente por: indicadores para organismos aquáticos como daphnia, algas e peixes; indicadores para organismos terrestres como as aves, mamíferos, minhocas e abelhas; e indicadores de riscos ocupacionais para os

operadores, espectadores e residentes (OCDE, 1997; VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002).

O HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk) (Indicadores de riscos ambientais relacionados ao uso de produtos fitossanitários) é uma metodologia recente desenvolvida pela comunidade Europeia também utilizada para calcular esses índices de risco, no qual foram adicionados mais módulos e indicadores, além da utilização de diferentes valores de referência toxicológicos (GARREYN et al., 2007; KRUIJNE et al., 2011).

Convencionalmente, o risco dos produtos de proteção de plantas é estimado por um indicador de risco (RI), que é a relação entre a exposição humana estimada ou uma concentração previsível no ambiente (PEC), e um valor de referência toxicológico (CUNHA et al., 2012).

Os dados para esses cálculos de riscos ambientais ocasionados por deriva normalmente são extraídos de pesquisas em países da União Europeia, nas condições de ambiente e clima do continente Europeu. Esses indicadores são calculados baseados na quantidade de ingrediente ativo que está sendo desviado para fora da área tratada pelas correntes de ar-deriva (KRUIJNE et al., 2011). Dessa forma, novos dados (como por exemplo, os dados de porcentagem de deriva) que se adaptem melhor às condições de clima do Brasil podem ser utilizados. É importante que os índices de riscos dos produtos fitossanitários sejam calculados usando informações específicas da região da aplicação, a fim de se obter maior precisão na avaliação dos riscos ambientais (RAMOS et al., 2000).

O cálculo desses indicadores de risco, a partir das curvas de deriva, permite o estabelecimento das zonas de segurança para cada produto fitossanitário aplicado nas culturas do feijão e da soja, em diferentes condições operacionais e ambientais. O conhecimento dessas zonas pode ser uma alternativa eficiente de redução de problemas envolvendo intoxicação ocupacional e/ou ambiental decorrente da deriva das aplicações desses produtos. Além de definir a distância segura de uma pessoa no momento da aplicação, essas informações podem auxiliar os produtores rurais a executarem suas aplicações de forma mais eficiente e segura.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 8, p. 622-629, 2014.
- ASAE. **S-572 Spray Tip Classification by Droplet Size**. Developed by the Pest Control and Fertilizer Application Committee; Approved by the Power and Machinery Division Standards Committee; Adopted by ASAE PM41. 2009.
- BAETENS, K.; HO, Q. T.; NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; MELESE ENDALEW, A.; 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.
- BAETENS, K.; NUYTTENS, D.; VERBOVEN, P.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 161-173, 2007.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. **Safra 2014/15**, Brasília, v. 2, n. 5, 117p. 2015.
- CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, London, v. 20, n. 4, p. 333-343, 2001.
- CUNHA, J. P.; CHUECA, P.; GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus applications with air-blast sprayers in Spain. **Crop Protection**, London, v. 42, p. 116-123, 2012.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R. Simulação de deriva de Agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.
- DE SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.; SONCKC, S. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 4, p. 602-11, 2007.

EUROPEAN COMMISSION. **Guidance document on terrestrial ecotoxicology under Council Directive 91/414/EEC**. Draft working document. SANCO/10329/2002 rev 2 final, European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General, Brussels, 2002, 39 p.

FIGUEIREDO, J. L. A.; TEIXEIRA, M. M.; PICANÇO, M. C.; PINTO, F. A. C.; PRAT, M. H. Avaliação da uniformidade de aplicação e do espectro de gotas de bicos hidráulicos. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Habana, v. 16, n. 3, p. 47-52, 2007.

FOCUS. **FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC**, Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/ 4802/2001-rev.2.

GANZELMEIER, H.; RAUTMANN, D.; SPANGENBERG, R.; STRELOKE, M.; HERRMANN, M.; WENZELBURGER, H. J.; WALTER, H. F. **Studies on the spray drift of plant protection products**, Results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. Berlin: Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry, 1995. 111 p.

GARREYN, F.; VAGENENDE, B.; W. STEURBAUT, W. **Harmonised environmental Indicators for pesticide Risk, HAIR: “Occupational” indicators: Operator, worker and bystander**. EU sixth Framework Programme, contract number SSPE-CT-2003-501997. 2007. Report of Work Package 10, Ghent University, 213 p.

GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007.

HILLOCKS, R. J. Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. **Crop Protection**, London, v. 31, n. 1, p. 85-93. 2012.

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

HOLTERMAN, H. J. Kinetics and Evaporation of Water Drops in Air. **Institute of Agricultural and Environmental Engendering**, Wageningen, UR. IMAG Report. 2003.

HOLTERMAN, H. J.; van de ZANDE, J. C. **IMAG Drift Calculator v1.1 - User manual**. IMAG Draft Report, 2003, 39 p.

ISO. **Equipment for crop protection - Methods for field measurement of spray drift**. Geneva: ISO, 2005. 22 p. ISO/FDIS 22866.

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.

KRUIJNE, R.; DENEER, J. W.; LAHR, J.; VLAMING, J. **HAIR 2010 Documentation: Calculating risk indicators related to agricultural use of pesticides within the European Union**. Wageningen, Alterra, Alterra-report 2113.1, 2011, 202 p.

MAPA. Ministério da Agricultura. **Feijão**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>. Acesso em 16 fev. 2015.

MAPA. Ministério da Agricultura. **Soja**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja> . Acesso em 16 fev. 2015.

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.

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

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

MILLER, P. C. H. The measurement of spray drift. **Pesticide Outlook**, Cambridge, v. 14, p. 205-209, 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**, London, v. 75, n. 2, p. 127-137, 2000.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; BAETENS, K.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five year study. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 403-408, 2011.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 5, p. 1471-1480, 2009.

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.

OECD. **Report of the OECD workshop on pesticide risk indicators**. Copenhagen 21-23 April 1997, 31 pp.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, Göttingen, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

RAMOS, C.; CARBONELL, G.; GARCIA BAUDÍN, J. M.; 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. 2-3, p. 269-278, 2000.

RAUTMANN, D.; STRELOKE, M.; WINKLER, R. **New basic drift values in the authorisation procedure for plant protection products**. In: FORSTER, R.; STRELOKE, M. (Eds.), Workshop on Risk Assessment and Risk Mitigation Measures in the Context of the Authorization of Plant Protection Products (WORMM), Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, Heft 381, 2001.

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.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-d amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. esp., p.1149-1156, 2011.

STAINIER, C.; DESTAIN, M. F.; SCHIFFERS, B.; LEBEAU, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, London, v. 25, n. 12, p. 1238-1243. 2006.

STEPHENSON, G. R.; FERRIS, I. G.; HOLLAND, P. T.; NORDBERG, M. Glossary of terms relating to pesticides (IUPAC recommendations 2006). **Pure Applied Chemistry**, Research Triangle Park, v. 78, n. 11, p. 2075-2154, 2006.

TSAI, M. Y.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 33, p. 6194-6203, 2005.

van de ZANDE, J.; MICHIELSEN, J. M. G. P.; STALLINGA, H. Spray Drift and Off-field Evaluation of Agrochemical in the Netherlands. **Plant Research International** B.V., Wageningen. Report 2007. 149p.

van ZYL, S. A.; BRINK, J.; CALITZ, F. J.; COERTZE, S.; FOURIE, P. H. The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on Chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, London, v. 29, n. 1, p. 58-67, 2010.

VERCRUYSSSE, F.; STEURBAUT, W. POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator. **Crop Protection**, London, v. 21, p. 307-315, 2002.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 439-446, 2010.

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. 12, p. 2617-2626, 2008.

WSSA. **Herbicide Handbook**, 8 ed. Weed Science Society of America: Lawrence, KS. 2002.

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 I**

**CURVAS DE DERIVA DAS APLICAÇÕES DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS  
NAS CULTURAS DO FEIJÃO E DA SOJA**

*DRIFT CURVES OF PESTICIDE APPLICATION IN DRY BEAN AND SOYBEAN  
CROPS*



## RESUMO

Uma das formas de se evitar a ocorrência de deriva durante as aplicações de produtos fitossanitários é conhecer o comportamento das gotas, antes mesmo de se realizar a pulverização. Desta forma, este trabalho objetivou estabelecer curvas de deriva para as culturas do feijão e da soja nas condições climáticas brasileiras, em função da aplicação com diferentes pontas de pulverização, além de compará-las com os “Modelos Alemão e Holandês” de estimativa de deriva. Foram realizados dois experimentos independentes: um para o feijão e outro para a soja. Ambos foram conduzidos na Fazenda Experimental Capim Branco localizada no município de Uberlândia, MG, em delineamento de blocos casualizados, num esquema de parcela subdividida no espaço 4 x 20, com 10 repetições. Foi mensurada a deriva depositada proveniente da pulverização terrestre, empregando uma taxa de aplicação de 150 L h<sup>-1</sup> por quatro tipos de pontas (jato plano simples e com indução de ar – XR 11002 (gotas finas) e AIXR 11002 (gotas grossas); jato plano defletor simples e com indução de ar – TT 11002 (gotas médias) e TTI 11002 (gotas extremamente grossas), em 20 pontos amostrais diferentes (correspondentes a 20 distâncias, no sentido de deslocamento do vento, paralelas à linha de cultivo fora da área-alvo, espaçadas em 2,5m). Para a avaliação dos depósitos em alvos de papel filtro junto ao solo, adicionou-se ao tanque do pulverizador montado de barras um marcador composto do corante Rodamina B para ser detectado por fluorimetria. Obteve-se quatro modelos de previsão de deriva para a cultura do feijão (pontas XR, TT, AIXR e TTI), e três para a cultura da soja (XR, TT e AIXR), análogos ao “Modelo Holandês”, com tendência exponencial de quatro parâmetros, considerando o Percentil 90 (ajustes acima de 99%). Os coeficientes do “Modelo Holandês” de deriva para cultivo de cereais (*Cereals*), assim como os coeficientes do “Modelo Alemão” para culturas anuais (*Field Crops*) não são recomendados para estimar a deriva nas culturas estudadas. Em avaliações de estimativa de deriva nas culturas do feijão e da soja cultivada em condições climáticas brasileiras, sugere-se a utilização dos modelos de previsão de deriva gerados neste trabalho, para cada tipo de ponta de pulverização.

**Palavras-chave:** espectro de gotas, exoderiva, pontas de pulverização, regressão exponencial, rodamina B, tecnologia de aplicação.

## ABSTRACT

In order to avoid the occurrence of drift in pesticide applications, knowledge of the behavior of the sprayed droplets is fundamental. This study established drift curves for dry beans (R8 stage) and soybeans (R4 stage) under Brazilian climatic conditions, for different nozzle types in applications and compared them with the "German and Dutch Models" of drift estimates. Two independent experiments were done: one for dry beans and the other one for soybeans. Both experiments were done in Capim Branco Farm, in Uberlândia, Minas Gerais/Brazil, in completely randomized block design, in split plots over space 4 x 20 with 10 replications. Soil deposited drift from the application of 150 L ha<sup>-1</sup> with four nozzle types (standard and venturi flat fans – XR 11002 (fine droplets) and AIXR 11002 (coarse droplets); standard and venturi deflector flat fans – TT 11002 (medium droplets) and TTI 11002 (extremely coarse droplets)), in 20 different sampling points (corresponding at 20 distances downwind, parallel to the crop line outside the target area, spaced at 2,5m) was measured. The tracer Rhodamine B was added to the boom sprayer mounted tank to evaluate the deposition on filter paper targets over the soil, quantifying it by fluorimetry. Four drift prediction models were obtained for dry beans: for the nozzles XR, TT, AIXR and TTI, and three for soybeans: for the nozzles XR, TT and AIXR, considering the 90 percentile with exponential tendency of four parameters, all with adjustments above 99%. The coefficients obtained were different from those of the "Dutch Drift model" for cereals, as well as from the "German Drift Model" for field crops. It was concluded that, for drift estimation for dry beans and soybeans, under Brazilian climatic conditions, the use of drift prediction models generated in this study, for each type of spray nozzle, is suggested.

**Keywords:** droplet spectrum, exo-drift, spray nozzle, exponential regression, rhodamine B, application technology.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a oleaginosa mais importante no cenário agrícola nacional, sendo a cultura mais cultivada e exportada do país. O Brasil é o 2º maior produtor do mundo. Além disso, também é o maior produtor mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), grão típico e amplamente consumido na culinária brasileira (MAPA, 2015).

Entretanto, produzir com quantidade e qualidade tem sido um desafio para muitos produtores, pois a alta ocorrência de pragas, doenças e plantas infestantes têm dificultado o controle, impulsionando os produtores a aumentar consideravelmente o uso de produtos fitossanitários nas lavouras.

Em muitos casos, a falta de conhecimento técnico sobre o produto e a tecnologia de aplicação faz com que o uso desses produtos aconteça de forma indiscriminada, acarretando problemas com intoxicação e contaminação ambiental, principalmente decorrente da deriva. Estas perdas quando acontecem dentro da cultura (material que não é depositado nas folhas da cultura e cai no solo) podem ser consideradas como endoderiva, enquanto as perdas para fora da área tratada são consideradas como exoderiva (SOUZA et al., 2011).

As gotas pulverizadas podem contaminar áreas indesejadas e causar consequências graves, como danos a culturas adjacentes sensíveis aos produtos, contaminação ambiental e riscos à saúde de pessoas e animais (NUYTTENS et al., 2010). Desta forma, é importante conhecer os riscos de deriva e as distâncias seguras entre a aplicação e a presença de pessoas, rios e animais, pois não se sabe ao certo a distância que uma gota pode percorrer após o seu lançamento.

Com o objetivo de estimar a deriva decorrente da aplicação foram criados modelos específicos, inicialmente na Alemanha, conhecidos como “Modelo Alemão de Deriva” (regressões potenciais) baseado em curvas percentuais de deriva depositada no solo a favor do vento, a partir da bordadura da cultura alvo para culturas como cereais, videiras e fruteiras (GANZELMEIER et al., 1995; RAUTMANN et al., 2001), e posteriormente na Holanda, para cereais, fruteiras, batata, solo descoberto (área em pousio) e outros, conhecido como “Modelo Holandês ou IMAG de Deriva” (regressões exponenciais com quatro parâmetros) (HOLTERMAN; van de ZANDE, 2003).

No entanto, ambos os modelos foram estabelecidos sob condições climáticas Europeias (clima temperado “C”), consideravelmente diferentes das condições

brasileiras (clima tropical “A”) (PEEL et al., 2007), e nenhum dos modelos propõe estimativas de deriva para as culturas amplamente cultivadas no Brasil como o feijão e a soja.

Na estimativa da deriva, o tipo de ponta de aplicação pode interferir diretamente na sua ocorrência, pois, as gotas finas ( $<100\ \mu\text{m}$ ) produzidas por pontas de jato plano simples e cone vazio são mais susceptíveis a serem levadas pelo vento quando comparadas a gotas grossas ( $>450\ \mu\text{m}$ ), produzidas por pontas de pré-orifício e indução de ar (TSAI et al., 2005; STAINIER et al., 2006; YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN, 2009; NUYTTENS et al., 2011; HILTZ; VERMEER, 2013).

Os “Modelos Alemão e Holandês” apresentam curvas de deriva sem distinção do tamanho de gota, embora alguns estudos tenham verificado que o tamanho de gota influencia diretamente no comportamento da mesma. Ao avaliar o efeito da deriva em função de diferentes tipos de ponta, pressão de trabalho e altura da barra, verificou-se que pontas do tipo Venturi têm o maior potencial de redução de deriva, seguidas por pontas de pré-orifício e pontas de jato plano simples (NUYTTENS et al., 2007). Na maioria dos casos, a deriva está diretamente relacionada ao tamanho das gotas pulverizadas, principalmente com relação à quantidade de gotas finas (ARVIDSSON et al., 2011; NUYTTENS et al., 2010, 2011), seja em pulverizações aéreas ou terrestres (van de ZANDE et al., 2010).

Pontas de jato plano com indução de ar (AIXR) proporcionaram o menor potencial de deriva quando comparadas às pontas de jato plano simples (XR) em pesquisas na Itália e na Espanha (GIL et al., 2014). Em Kopais na Grécia Central, os menores depósitos de deriva em solo descoberto foram observados pelas pontas de indução de ar (AIXR 11002 e 04) em relação às pontas de jato plano simples (fabricação local). As pontas de indução de ar 11002, 11004 e jato plano simples praticamente eliminaram a deriva a partir da distância de 2, 6 e 10 m da área alvo de aplicação, respectivamente (KASIOTIS et al., 2014).

Assim, o trabalho objetivou estabelecer curvas de deriva depositada junto ao solo para as culturas do feijão e da soja nas condições climáticas brasileiras com uso de diferentes pontas de pulverização, além de compará-las com as estimativas de deriva dos “Modelos Alemão e Holandês”.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, MG. A área está localizada numa altitude de 837 m, 18° 53' 287" S de latitude e 48° 20' 514" W de longitude, com topografia plana, e clima do tipo Aw (Tropical úmido com invernos secos). As avaliações laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMEC), pertencente a Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG – UFU), também situado na cidade de Uberlândia.

Foram realizados dois experimentos independentes de avaliação de deriva, o feijão foi a cultura alvo no primeiro e a soja a cultura alvo no segundo, ambas cultivadas numa área de pivô central. O feijão foi semeado no dia 21 de junho e a soja no dia 16 de novembro do ano de 2013. Antes da instalação das culturas, toda a área foi dessecada sete dias antes da semeadura. Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da cultura (Anexo 1).

Todas as informações que se seguem foram realizadas da mesma forma em dois períodos distintos. Para a cultura do feijão, as coletas de dados foram realizadas de 18 a 24 de setembro de 2013, quando a cultura se encontrava no estágio R8 (enchimento das vagens) e início de R9 (maturação), conforme escala de estádios fenológicos do feijão proposta por Fernandez et al. (1986). As plantas de feijão apresentavam porte ereto e em média, 45 cm de altura e índice de área foliar (IAF) de 1,9:1 (WATSON, 1947).

Para a cultura da soja, as avaliações aconteceram entre 29 de janeiro e 06 de fevereiro de 2014, quando a cultura se encontrava no estágio R4 (vagens completamente desenvolvidas) e início de R5 (início de enchimento de grãos) de acordo com a classificação de estádios de desenvolvimento da soja proposta por Fehr e Caviness (1977). As plantas de soja apresentavam porte ereto e em média, 80 cm de altura e índice de área foliar (IAF) de 4,1:1 (WATSON, 1947).

Em delineamento de blocos casualizados, num esquema de parcela subdividida no espaço 4 x 20 com 10 repetições, foi mensurada a deriva proveniente da pulverização por quatro tipos de pontas em 20 pontos amostrais diferentes (correspondentes à distância dos coletores de deriva da área alvo de aplicação) (Tabela 1). As avaliações de deriva foram realizadas em conformidade com a metodologia proposta pela Norma ISO 22866 (ISO, 2005), para deriva depositada no solo.

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos avaliados para as culturas do feijão e da soja.

<b>Ponta de Pulverização</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Espectro de Gotas<sup>1</sup></b>	<b>Distância da Área Alvo (m)<sup>2</sup></b>	<b>Composição da Calda<sup>2</sup></b>
Jato plano simples XR 11002	Fina	2,5	Água + Marcador Rodamina B
		5,0	
		7,5	
		10,0	
		12,5	
Jato plano defletor simples TT 11002	Média	15,0	
		17,5	
		20,0	
		22,5	
		25,0	
Jato plano simples com indução de ar - AIXR 11002	Grossa	27,5	
		30,0	
		32,5	
		35,0	
		37,5	
Jato plano defletor simples com indução de ar - TTI 11002	Extremamente Grossa	40,0	
		42,5	
		45,0	
		47,5	
		50,0	

<sup>1</sup>Espectro de gotas de acordo com o fabricante Teejet®, a 3 bar (300 kPa) de pressão. <sup>2</sup>As distâncias avaliadas, assim como as composições da calda, foram repetidas para cada tipo de ponta avaliada.

Antes de iniciar as avaliações de deriva foram caracterizadas as propriedades físico-químicas da calda (pH, condutividade elétrica, densidade, viscosidade, tensão superficial) e o espectro de gota produzido por cada ponta.

Para a caracterização, antes do preparado da calda de aplicação coletou-se uma amostra da água antes e após a adição e homogeneização do corante. Foram coletadas sete repetições de cada amostra (água e água + corante). Estas foram identificadas e armazenadas em caixa térmica, sob ausência de luz para leitura das propriedades físico-químicas em laboratório. Todas as avaliações foram realizadas em laboratório, por meio da coleta de alíquotas a partir da solução original preparada para o ensaio de campo, com temperatura medida por termômetro digital com resolução de 0,1 °C e precisão de  $\pm 0,4$  °C.

A densidade foi calculada por meio da determinação da massa de 0,1 L da solução depositada em um balão volumétrico, em balança com resolução de 0,1 mg

(CUNHA, ALVES, REIS, 2010). O pH e a condutividade elétrica foram medidos diretamente nas soluções, utilizando peagâmetro e condutivímetro portátil (Hanna, HI98139). O equipamento foi previamente calibrado por meio de soluções padrão e compensação automática de temperatura desativada.

A viscosidade dinâmica foi determinada empregando-se um viscosímetro rotativo microprocessado (Quimis, Q860M21) que permite medir eletronicamente a força de torção convertida em viscosidade. Esse viscosímetro de medição direta funciona pelo princípio da rotação de um cilindro (cabeça de medição) submerso na amostra a ser analisada, medindo-se a força da torção necessária para superar a resistência da rotação. Utilizou-se o rotor zero (indicado para a faixa de viscosidade avaliada) e rotação de 60 rpm.

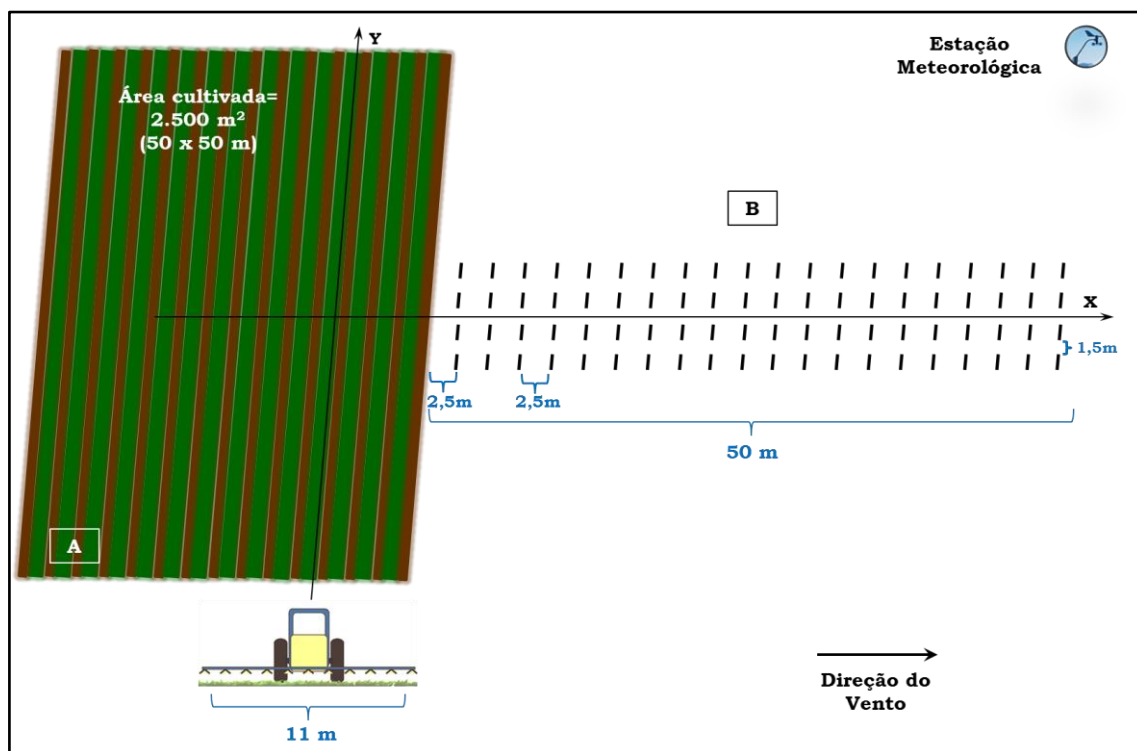
A tensão superficial foi determinada por um tensiômetro de bancada com anel de platina (Kruss, K6), empregando o método Du Nouy (DOPIERALA; PROCHASKA, 2008). O teste consiste em medir a tensão sofrida pelo anel que fica na extremidade de uma haste flexível colocada sobre a superfície da amostra e pressionada contra esta até que sofra repulsão. O tensiômetro foi calibrado com água destilada.

Para a caracterização do espectro de gotas pulverizadas, antes da pulverização foram colocados quatro papéis hidrosensíveis (76 x 26 mm) em cada parcela dispostos na posição horizontal e voltados para cima, afixados em hastes de metal. Após a aplicação, esses foram recolhidos e armazenados em envelopes de papel protegidos de umidade. Para a quantificação e a caracterização dos impactos em cada papel, estes foram digitalizados por meio de um scanner HP Scanjet 2400 (resolução espacial de 600 dpi não interpolados, com cores em 24 bits) e analisados utilizando-se o programa computacional CIR 1.5 (Conteo y Tipificación de Impactos de Pulverización), específico para essa finalidade. Determinou-se o diâmetro da mediana volumétrica (DMV), a amplitude relativa (AR) e a porcentagem do volume de gotas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $\% < 100 \mu\text{m}$ ).

Para quantificar a deriva depositada foram colocados coletores horizontais junto ao solo no sentido de deslocamento do vento, paralelos à linha de cultivo fora da área-alvo (área sem cultivo) (Figura 1). Como coletores foram utilizados papel filtro (papel para germinação de sementes) com dimensões de 38 x 7 cm (266 cm<sup>2</sup>) e gramatura de 65 g. Esses coletores foram distribuídos a cada 2,5 m até a distância máxima de 50 m da área alvo e, em cada distância, foram colocados quatro coletores alinhados lado a lado separados 1,5 m entre si (sendo a área total dos coletores de 1064 cm<sup>2</sup>). Para evitar que

os coletores fossem arrastados pelo vento ou contaminados com solo, esses foram afixados em suportes de polietileno por meio de grampos (Figura 2).

A largura das faixas tratadas para a aplicação foi de 22 m (equivalente a duas passadas do pulverizador) por 50 m de comprimento. A pulverização aconteceu sempre no sentido perpendicular à direção predominante do vento.



**Figura 1.** Descrição do local de realização do ensaio no campo e posicionamento dos coletores para avaliação de deriva.

No qual:

Y: direção de deslocamento do pulverizador

X: eixo horizontal perpendicular ao sentido de deslocamento

A: área diretamente pulverizada

B: zona de deriva (local de distribuição dos coletores)





**Figura 2.** Vista dos coletores em cada distância a partir de 2,5 m da área alvo. Detalhe do coletor afixado na tábua de polietileno por meio de grampos. **Fonte:** BUENO, 2013.

As aplicações foram realizadas por um pulverizador hidráulico montado FM Copling, Modelo JB 80/400, com barra de 12 m e 24 bicos espaçados de 0,5 m entre si, a altura de 0,5 m em relação à cultura, com capacidade de tanque de 400 L. Para todas as pontas foi mantida a pressão de 3 bar (300 kPa) e velocidade de aplicação de 6,5 km h<sup>-1</sup>, conferindo uma taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. O pulverizador foi tracionado por um trator Ursos 4 x 2, de 85 cv (62,5 kW) de potência (Figura 3).



**Figura 3.** Detalhe do pulverizador acoplado ao trator utilizado durante as aplicações, posicionado na entrada da área a ser pulverizada. Ao lado direito na foto (indicado pela seta) estão posicionados os coletores de deriva. **Fonte:** BUENO, 2013.

Os dados climáticos foram monitorados por meio da estação meteorológica móvel Davis Vantage PRO2™, instalada a 300 m da área das aplicações e a 2,0 m de altura em relação ao solo, conectada em tempo real a um console digital que fornecia os dados de temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do vento no momento das aplicações. A Norma ISO 22866 (ISO, 2005) preconiza que durante as aplicações a temperatura deve estar entre 5 e 35 °C, a velocidade mínima do vento deve ser de 1,0 m s<sup>-1</sup> (3,6 km h<sup>-1</sup>) e a direção do vento dentro do limite de 90 ° ± 30 ° em relação à linha de pulverização.

Para a avaliação dos depósitos foi utilizado um marcador composto do corante Rodamina B, na concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>, para ser detectado por fluorimetria, de acordo com a metodologia proposta por Scramin et al. (2002). A quantificação foi feita por fluorescência empregando um fluorímetro (Thermo Scientific FM 109515) com filtro de excitação de 540 nm e emissão de 585 nm. A sensibilidade medida pelo aparelho é de 1 ng mL<sup>-1</sup>. De acordo com Alves, Cunha e Palladini (2014), dentre os marcadores de baixo custo e disponível no Brasil, a Rodamina B foi a melhor opção, quando o papel filtro foi considerado o alvo da aplicação. Este marcador pouco influencia as características físico-químicas da calda e possui estabilidade à luz solar, tendo baixa degradação durante o período investigativo, desde que a exposição não seja superior a 60 minutos.

Após a aplicação, os quatro coletores de cada linha foram recolhidos, armazenados em sacos plásticos devidamente identificados e acondicionados em recipiente térmico até o laboratório onde foram mantidos em refrigeração (5 °C) sob ausência de luz até o momento da leitura, evitando assim degradação pela luz. Para a calibração do equipamento foi utilizada uma solução padrão na concentração de 200 ng mL<sup>-1</sup>, obtida por diluição da solução de 100 mg L<sup>-1</sup> de Rodamina B em água destilada.

Para a extração do marcador depositado em cada amostra com quatro papéis, primeiramente adicionou-se 100 mL de solução aquosa, contendo 0,2% de Tween 80 (Polisorbato 80) e, em seguida, as amostras foram agitadas por 15 minutos a 120 rpm em uma Mesa Agitadora Pendular (Tecnal TE 240/1). Após 10 minutos de repouso, a solução foi repassada para copos plásticos para se efetuar a leitura da concentração do marcador (ng mL<sup>-1</sup>) no Fluorímetro. Todas as etapas de extração também foram realizadas protegendo-se as amostras da luz para evitar a degradação da Rodamina.

A partir da leitura do fluorímetro, das leituras de calibração, da área de superfície do coletor (cm<sup>2</sup>), da concentração real de marcador na calda de pulverização e da taxa

de aplicação, a quantidade de depósito pulverizado por unidade de área foi calculada. Os dados de luminescência extraídos dos papéis foram convertidos em porcentagem de deriva, em cada distância, relacionando o depósito à quantidade aplicada a campo por meio das Equações 1 e 2 (ISO, 2005).

$$\beta_{dep} = \frac{(\rho_{amostra} - \rho_{branco}) \times F_{cal} \times V_{dil}}{\rho_{calda} \times A_{col}} \quad \text{Equação 1}$$

$$\beta_{dep\%} = \frac{\beta_{dep} \times 10000 m^2 / ha}{\beta_v} \quad \text{Equação 2}$$

No qual:

$\beta_{dep}$ : deriva depositada ( $\mu L cm^{-2}$ );

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

$\beta_v$ : taxa de aplicação ( $L ha^{-1}$ );

$\rho_{amostra}$ : leitura do fluorímetro para a amostra ( $\eta g mL^{-1}$ );

$\rho_{branco}$ : leitura do fluorímetro para o branco (coletor + água destilada) ( $\eta g mL^{-1}$ );

$F_{cal}$ : fator de calibração - relação entre a leitura do fluorímetro e a concentração de marcador - (Adimensional);

$V_{dil}$ : volume de água de lavagem usado para extrair o marcador (L);

$\rho_{calda}$ : concentração da calda, ou quantidade de marcador na calda recolhida no tanque do pulverizador ( $g L^{-1}$ );

$A_{col}$ : área projetada do coletor para coleta da deriva ( $cm^2$ ).

As médias de deriva depositada em cada distância da área alvo de aplicação, para as quatro pontas foram primeiramente submetidas aos testes de pressuposição: normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente a 0,05 de significância por meio do programa SPSS 22.0 (SPSS, 2012).

Para os casos onde uma ou mais pressuposições não foram atendidas, os dados foram transformados por arcoseno  $\sqrt{x/100}$  para melhor ajuste. Os dados do percentual de deriva, com e sem transformação, foram submetidos ao teste de  $F$  de Snedecor a 0,05 de significância. Para a comparação de médias entre pontas, aplicou-se o teste de Tukey,

e para a comparação entre as distâncias, aplicou-se modelos de Regressão, ambos a 0,05 de significância, empregando-se o programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2011).

Os modelos de regressão foram testados pelo programa Sigma Plot 11.0 (Systat Software Inc., 2014) quanto à significância do modelo (0,05 de significância) e quanto à qualidade do ajuste (coeficiente de determinação –  $R^2$ ). Quando significativas, as equações das quatro pontas foram comparadas entre si para cada cultura por meio de intervalos de confiança (95% de confiabilidade nos limites inferior e superior) gerados pelo mesmo programa.

Realizou-se também um estudo da adequação dos “Modelos Alemão” (GANZELMEIER et al., 1995; RAUTMANN et al., 2001) e “Holandês” (HOLTERMAN; van de ZANDE, 2003) aos dados obtidos a campo. Para fins de comparação com esses dois modelos, inicialmente as médias observadas (originais) de cada ponta para cada cultura, foram convertidas em percentil 90 (calculado pelo Microsoft Excel 2010) e as curvas estimadas foram comparadas às curvas dos “Modelos Alemão e Holandês” por meio de intervalos de confiança (95% de confiabilidade nos limites inferior e superior) gerados pelo programa Sigma Plot 11.0. A transformação para percentil 90 foi realizada, pois a mesma é usada nos dois modelos comparativos.

É importante ressaltar que, nenhum dos dois modelos apresenta curvas de deriva específicas para as culturas do feijão e da soja. Portanto, para a comparação com o “Modelo Alemão” e “Holandês”, foram utilizados os coeficientes das equações de deriva de duas categorias: “*Field Crops*” e “*Cereals*”, respectivamente (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007), conforme detalhado nas Equações 3 e 4.

#### - Modelo Alemão

$$\% \text{ drift} = A z^{-B} \quad \text{Equação 3}$$

#### - Modelo Holandês ou IMAG

$$\% \text{ drift} = A_0 e^{-z \cdot A_1} + B_0 e^{-z \cdot B_1} \quad \text{Equação 4}$$

No qual:

*%drift*: porcentagem de deriva depositada (%);

*z*: distância da área aplicada a favor do vento (m);

*A*: 2,7593 (coeficiente da equação de deriva alemã para a categoria *Field Crops*);

*B*: -0,9778 (coeficiente da equação de deriva alemã para a categoria *Field Crops*);

*A*<sub>0</sub>: 39 (coeficiente da equação de deriva holandesa para a categoria *Cereals*);

*A*<sub>1</sub>: 0,90 (coeficiente da equação de deriva holandesa para a categoria *Cereals*);

*B*<sub>0</sub>: 2,28 (coeficiente da equação de deriva holandesa para a categoria *Cereals*);

*B*<sub>1</sub>: 0,147 (coeficiente da equação de deriva holandesa para a categoria *Cereals*);

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Cultura do Feijão

Todas as condições climáticas durante as aplicações atenderam às recomendações da norma ISO 22866 (ISO, 2005) (Tabela 2), as quais determinam que, a temperatura tem que estar entre 5 e 35 °C, a direção do vento entre 90°±30° em relação à linha de pulverização e a velocidade do vento deve estar acima de 3,6 km h<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Valores médios das condições climáticas coletadas durante as aplicações com quatro pontas de pulverização distintas, na cultura do feijão.

Condições Climáticas	Ponta XR	Ponta TT	Ponta AIXR	Ponta TTI
	Médias <sup>1</sup> (Desvio Padrão)			
Temperatura (°C)	26,8 ± 3,1	26,8 ± 3,4	26,9 ± 3,3	26,9 ± 3,3
Umidade relativa (%)	56,6 ± 13,5	56,8 ± 14,3	56,4 ± 13,7	56,3 ± 12,8
Velocidade do vento (km h <sup>-1</sup> )	10,8 ± 3,7	12,0 ± 5,0	12,5 ± 4,2	11,5 ± 5,0
Direção ideal do vento	E (NNE <sup>2</sup> )	E (NNE <sup>2</sup> )	E (NNE <sup>2</sup> )	E (NNE <sup>2</sup> )
Direções aceitáveis de vento	ENE/ E /ESE (N/ NNE /NE <sup>2</sup> )	ENE/ E /ESE (N/ NNE /NE <sup>2</sup> )	ENE/ E /ESE (N/ NNE /NE <sup>2</sup> )	ENE/ E / ESE (N/ NNE /NE <sup>2</sup> )
Direção predominante do vento	ENE (NE <sup>2</sup> )	E (ENE <sup>2</sup> )	ENE (NE <sup>2</sup> )	ENE (NE <sup>2</sup> )
Direção do vento (°) em relação à posição ideal (90°)	24,8 ± 12,8	13,5 ± 11,6	22,5 ± 15,0	20,3 ± 16,6

<sup>1</sup>Valores provenientes da média das 10 repetições de cada ponta. Para cada repetição foram gastos aproximadamente três minutos de aplicação, sendo que, para cada minuto foi obtido um valor médio de todas as condições de acordo com a frequência do aparelho 1 Hz. <sup>2</sup>Nos dias em que o vento mudou de direção, os coletores e a direção da aplicação foram mudados de posição, a fim de atender as exigências da norma ISO 22866.

Para as quatro pontas, as condições de temperatura, umidade e velocidade do vento apresentaram médias próximas umas das outras (Tabela 2). Isso é importante, pois, dentre os vários fatores que interferem no comportamento da deriva durante as aplicações de produtos fitossanitários, as condições ambientais e meteorológicas (temperatura, umidade do ar e velocidade do vento) são as mais importantes

(BAETENS et al., 2007; ARVIDSSON, 2011; HILZ; VERMEER, 2013; GIL et al., 2014).

A caracterização das propriedades físico-químicas das caldas de aplicação, assim como a caracterização do espectro de gotas, encontram-se descritas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Pela proximidade dos valores das propriedades entre a água e a calda, nota-se que o marcador não provocou grandes alterações na calda (Tabela 3).

**Tabela 3.** Caracterização das propriedades físico-químicas da água e da calda (água + rodamina B) utilizada nas aplicações para a cultura do feijão.

Propriedades Físico-químicas	Água		Calda	
	Média*	Desvio	Média*	Desvio
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,60	± 0,08	6,78	± 0,06
Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	19,8	± 1,73	19,4	± 3,17
Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0,9939	± 0,0033	0,9918	± 0,0017
Viscosidade (mPa s)	1,10	± 0,01	1,07	± 0,03
Tensão Superficial ( $\text{mN m}^{-1}$ )	75,2	± 4,25	73,7	± 0,60

\* Valores provenientes da média de sete repetições de amostras de água e água + rodamina.

**Tabela 4.** Caracterização do diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100$ ), proveniente da aplicação com quatro pontas de pulverização (tamanhos de gota) distintas, na cultura do feijão.

Ponta	DMV ( $\mu\text{m}$ )		AR		Dv<100 (%)		Classificação do Tamanho de Gotas <sup>2</sup>
	Média <sup>1</sup>	Desvio	Média <sup>1</sup>	Desvio	Média <sup>1</sup>	Desvio	
XR	171,85	± 13,30	1,12	± 0,08	15,40	± 4,47	Finas
TT	247,99	± 18,25	1,40	± 0,25	11,10	± 4,54	Médias
AIXR	352,87	± 22,49	1,33	± 0,17	4,33	± 1,17	Grossas
TTI	574,83	± 91,88	1,07	± 0,11	1,81	± 1,13	Extremamente Grossas

<sup>1</sup> Valores provenientes da média de quatro repetições para cada ponta. <sup>2</sup> A caracterização do espectro de gotas está de acordo com a classificação do fabricante Teejet®.

Com relação à porcentagem de deriva depositada até 50 m, a interação entre os fatores ponta de pulverização e distância foi significativa, indicando que o tipo de ponta

(tamanho de gota) interfere diretamente no comportamento da deriva fora da área alvo de aplicação.

**Tabela 5.** Porcentagem de deriva depositada até 50 m de distância da área cultivada com feijão, proveniente da aplicação com quatro pontas de pulverização distintas.

Distância (m)	Pontas de Pulverização <sup>1</sup>			
	XR <sup>2</sup>	TT	AIXR	TTI
2,5	6,3438 d	2,9036 c	1,4684 b	1,0666 a
5,0	2,6488 c	1,1147 b	0,7220 a	0,5626 a
7,5	1,6008 c	0,6971 b	0,4782 ab	0,4260 a
10,0	1,0891 b	0,5410 a	0,4150 a	0,4054 a
12,5	0,8820 b	0,4953 a	0,3711 a	0,3955 a
15,0	0,6757 b	0,4587 ab	0,3503 a	0,3919 a
17,5	0,5754 a	0,4341 a	0,3327 a	0,3839 a
20,0	0,4447 a	0,4004 a	0,3325 a	0,3703 a
22,5	0,4293 a	0,3810 a	0,3214 a	0,3660 a
25,0	0,4260 a	0,3740 a	0,3234 a	0,3558 a
27,5	0,4046 a	0,3545 a	0,3071 a	0,3291 a
30,0	0,3938 a	0,3324 a	0,3143 a	0,3185 a
32,5	0,3765 a	0,3192 a	0,3014 a	0,3061 a
35,0	0,3745 a	0,3150 a	0,3000 a	0,3113 a
37,5	0,3772 a	0,3137 a	0,2871 a	0,3074 a
40,0	0,3626 a	0,3075 a	0,2919 a	0,2945 a
42,5	0,3612 a	0,3067 a	0,2929 a	0,2774 a
45,0	0,3469 a	0,2905 a	0,2823 a	0,2772 a
47,5	0,3439 a	0,2847 a	0,2732 a	0,2580 a
50,0	0,3355 a	0,2758 a	0,2583 a	0,2441 a
CV <sub>P</sub> = 36,13%		CV <sub>D</sub> = 21,83%		
F <sub>P</sub> =43,309**		F <sub>D</sub> = 109,802**		F <sub>P*D</sub> = 12,264**
MO: K-S= 0,290 <sup>ns</sup> F <sub>Levene</sub> =22,049 <sup>ns</sup> / MT: K-S= 0,180 <sup>ns</sup> F <sub>Levene</sub> =12,558 <sup>ns</sup>				

<sup>1</sup>XR: Ponta de jato plano simples; TT: Ponta de jato plano defletor simples; AIXR: Ponta de jato plano simples com indução de ar; TTI: Ponta de jato plano defletor simples com indução de ar. <sup>2</sup>Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV<sub>P</sub>; CV<sub>D</sub>: Coeficiente de variação para as variáveis Pontas de Pulverização e Distância respectivamente. F<sub>P</sub>; F<sub>D</sub>; F<sub>PxD</sub>: Valores de F calculado para as variáveis Pontas de Pulverização, Distância e para a interação entre Ponta e Distância respectivamente; K-S; F<sub>Levene</sub>: Valores de F para os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene respectivamente; calculados para as médias originais (MO) e médias transformadas por arcoseno  $\sqrt{x/100}$  (MT). \*\* significativo a 0,01; <sup>ns</sup> não significativo.

A ponta de jato plano simples (XR 11002/gotas finas) apresentou a maior porcentagem de deriva em relação às demais até a distância de 12,5 m da área alvo de aplicação. A 15 m, a deriva desta ponta foi maior apenas em relação às duas pontas com



indução de ar (AIXR 11002/gotas grossas e TTI 11002/gotas extremamente grossas), não diferindo da ponta de jato plano defletor simples (TT 11002/gotas médias). A partir da distância de 17,5 m, a deriva de todas as pontas foi decrescente, apresentando valores menores que 1% (Tabela 5 e Figura 4), mas não diferiram entre si.

O modelo exponencial decrescente de quatro parâmetros (Equação 4), análogo aos modelos de Holterman e van de Zande (2003) apresentou o melhor ajuste ( $R^2$ ) aos dados de deriva para a cultura do feijão, dentre os diferentes modelos testados (modelo potencial, exponencial, ambos decrescentes, com um, dois e três parâmetros). Apesar de apresentar valores de  $R^2$  acima de 99% para a porcentagem de deriva de todas as pontas, houve ajuste de modelo apenas para as pontas XR e TT, uma vez que as curvas das pontas AIXR e TTI não apresentaram modelos significativos (Tabela 6 e Figura 4).

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância dos dados observados de deriva para o desdobramento de distância dentro de cada ponta (tamanho de gota) avaliada para a cultura do feijão.

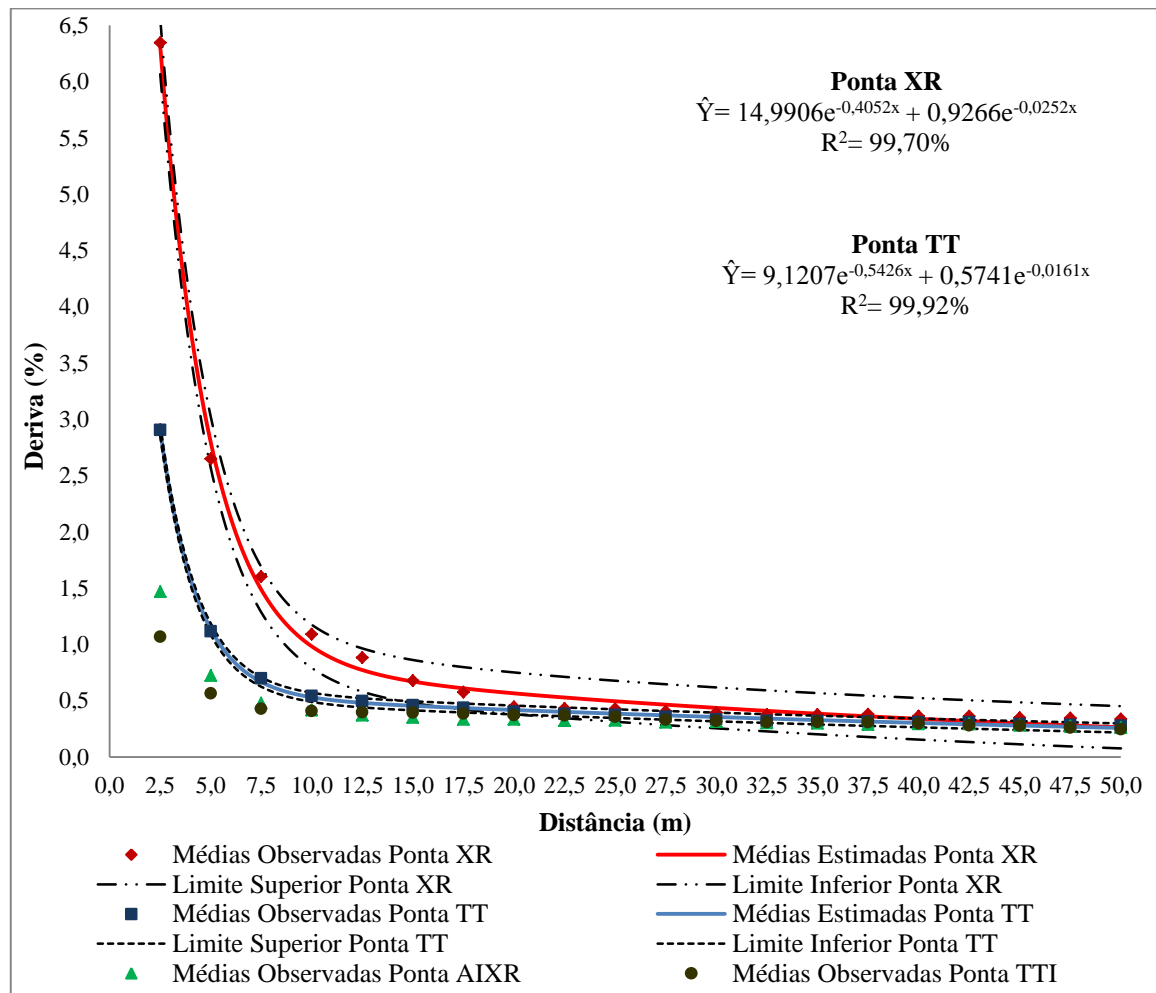
Ponta	gl	QM	Fc	Ft	Equação	R <sup>2</sup>
XR	3	12,2422	44,2594	2,60*	$\hat{Y} = 14,9906e^{-0,4052x} + 0,9266e^{-0,0252x}$	99,70
TT	3	2,1873	7,9078	2,60*	$\hat{Y} = 9,1207e^{-0,5426x} + 0,5741e^{-0,0161x}$	99,92
AIXR	3	0,4655	1,6829	2,60 <sup>ns</sup>	-	-
TTI	3	0,1969	0,7119	2,60 <sup>ns</sup>	-	-
Erro	684	0,2766				

\*, <sup>ns</sup> Modelos significativos e não significativos, respectivamente, de acordo com o teste de F a 0,05 de significância.

A Figura 4 representa a porcentagem de deriva depositada por cada ponta de pulverização em função das distâncias. O ponto onde o limite inferior da ponta XR cruza com o limite superior da ponta de TT indica que, a partir da distância de 12,5 m da área alvo de aplicação, as curvas se igualam. A deriva é decrescente à medida que se afasta da área alvo de aplicação, sendo, o maior percentual de deriva encontrado quando se utilizou a ponta XR, cuja característica é a produção de gotas finas. As curvas das pontas AIXR e TTI não foram apresentadas, pois não houve ajuste de modelo significativo para os dados de deriva.

Ao avaliar o efeito da redução de deriva durante uma simulação de aplicação de herbicida em campo em pousio, com o uso de pontas anti-deriva (AIXR 11002 – gotas

grossas e AIXR 11004 - gotas extremamente grossas) em comparação com o uso de pontas de jato plano convencional (fabricação local – gotas finas a médias), os autores verificaram que, o maior percentual de deriva foi obtido quando se utilizaram as pontas de jato plano convencional (gotas finas a médias). A ponta AIXR 11002 apresentou o menor percentual de deriva, mesmo apresentando gotas de menor tamanho que a ponta 11004, diferença atribuída em função da variação da velocidade do vento durante as aplicações: 1,0 a 2,2 m s<sup>-1</sup> para a ponta 11002, e de 1,1 a 4,2 m s<sup>-1</sup> para a ponta 11004 (KASIOTIS et al., 2014). Esse resultado demonstra que a velocidade do vento é um dos fatores que mais influencia o movimento das gotas pulverizadas para fora da área alvo de aplicação (ARVIDSSON et al., 2011).



**Figura 4.** Curvas de deriva para as quatro pontas (tamanhos de gota) avaliadas na cultura do feijão, com suas respectivas curvas de intervalo de confiança (95% de confiabilidade nos limites inferior e superior).

Ainda no trabalho de Kasiotis et al. (2014), foi possível observar que as pontas AIXR 11002, AIXR 11004 e jato plano reduziram consideravelmente a deriva (0,1% de deriva) a partir da distância de 2, 6 e 10 m da área alvo de aplicação, respectivamente.

Em outro trabalho, as pontas com indução de ar (AIXR e TTI) em geral proporcionaram menor potencial de deriva quando comparados às pontas sem indução de ar (XR e TT), numa avaliação por meio de um teste em bancadas. Ao calcularem o potencial de redução de deriva em relação a um tratamento padrão (ponta XR), os autores verificaram que a ponta TTI apresentou o maior potencial de redução de deriva (88,5%), seguido pela ponta TT (64,1%) e pela ponta AIXR (58,6%). A ponta XR 11003 foi usada como referência para a avaliação de potencial de redução de deriva (0,0%) (GIL et al., 2014).

Em geral, as gotas finas apresentem maior percentual de deriva nas áreas mais próximas à pulverização. Contudo, um estudo realizado em Adana na Turquia, com a finalidade de avaliar a porcentagem de deriva de aplicações com o inseticida Malation, as gotas mais finas (ponta de jato cônico HC D4-45) apresentaram a menor porcentagem de deriva (7,141%) a 1 m de distância da área alvo quando comparada às gotas médias (ponta de jato plano simples F 11006 – 8,242%) e às gotas grossas (ponta de jato plano de baixa deriva LD 11003 – 9,95%). À distância de 5 m, as porcentagens de deriva foram: 0,742; 0,685 e 0,663% para as gotas finas, médias e grossas, respectivamente (YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN, 2009).

Os autores explicam seus resultados baseados na teoria de Matthews e Hamey (2003) na qual: gotas finas são derivadas a maiores distâncias em função do seu próprio comportamento e em função das condições atmosféricas; e ainda, gotas grossas tendem a se depositar nas distâncias mais próximas aos campos tratados.

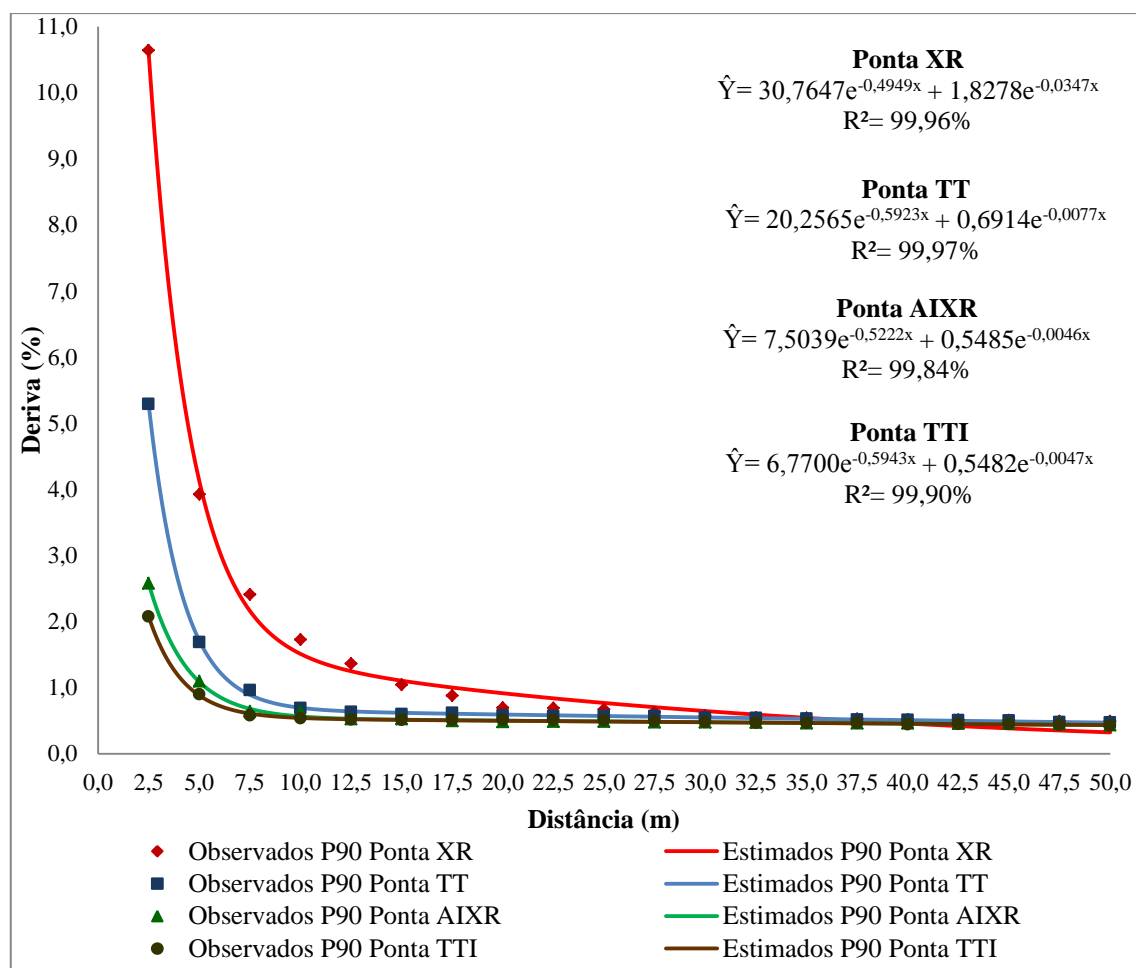
A diferença de comportamento de deposição das gotas entre o trabalho de Yarpuz-Bozdogan e Bozdogan (2009) e o presente estudo provavelmente se deve aos diferentes pontos de coleta dos dados. Entre 1 e 5 m de distância da área alvo, num total de 5 pontos amostrais (YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN, 2009) e entre 2,5 e 50 m de distância neste trabalho (20 pontos amostrais).

Para os dados originais de porcentagem de deriva convertidos em Percentil 90, houve ajuste de modelos para as quatro pontas, novamente com  $R^2$  acima de 99%, indicando um ótimo ajuste para todas as curvas (Tabela 7 e Figura 5). Cada uma dessas curvas foi comparada aos “Modelos Alemão e Holandês” por meio de intervalos de confiança (Figuras 6 a 9).

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância dos dados observados de deriva convertidos em Percentil 90 (P90) para o desdobramento de distância dentro de cada ponta (tamanho de gota) avaliada para a cultura do feijão.

Ponta	gl	QM	Fc	Ft	Equação	R <sup>2</sup>
XR	3	33,9493	122,7374	2,60*	$\hat{Y} = 30,7647e^{-0,4949x} + 1,8278e^{-0,0347x}$	99,66
TT	3	7,3197	26,4630	2,60*	$\hat{Y} = 20,2565e^{-0,5923x} + 0,6914e^{-0,0077x}$	99,97
AIXR	3	1,4646	5,2950	2,60*	$\hat{Y} = 7,5039e^{-0,5222x} + 0,5485e^{-0,0046x}$	99,84
TTI	3	0,8387	3,0322	2,60*	$\hat{Y} = 6,7700e^{-0,5943x} + 0,5482e^{-0,0047x}$	99,90
Erro	684	0,276601				

\* Modelos significativos de acordo com o teste de F a 0,05 de significância.



**Figura 5.** Modelos de deriva estimados em percentil 90 para as pontas de jato plano simples (XR 11002/gotas finas), jato plano defletor simples (TT 11002/gotas médias), jato plano simples com indução de ar (AIXR 11002/gotas grossas) e jato plano defletor simples com indução de ar (TTI 11002/ gotas extremamente grossas) para a cultura do feijão.

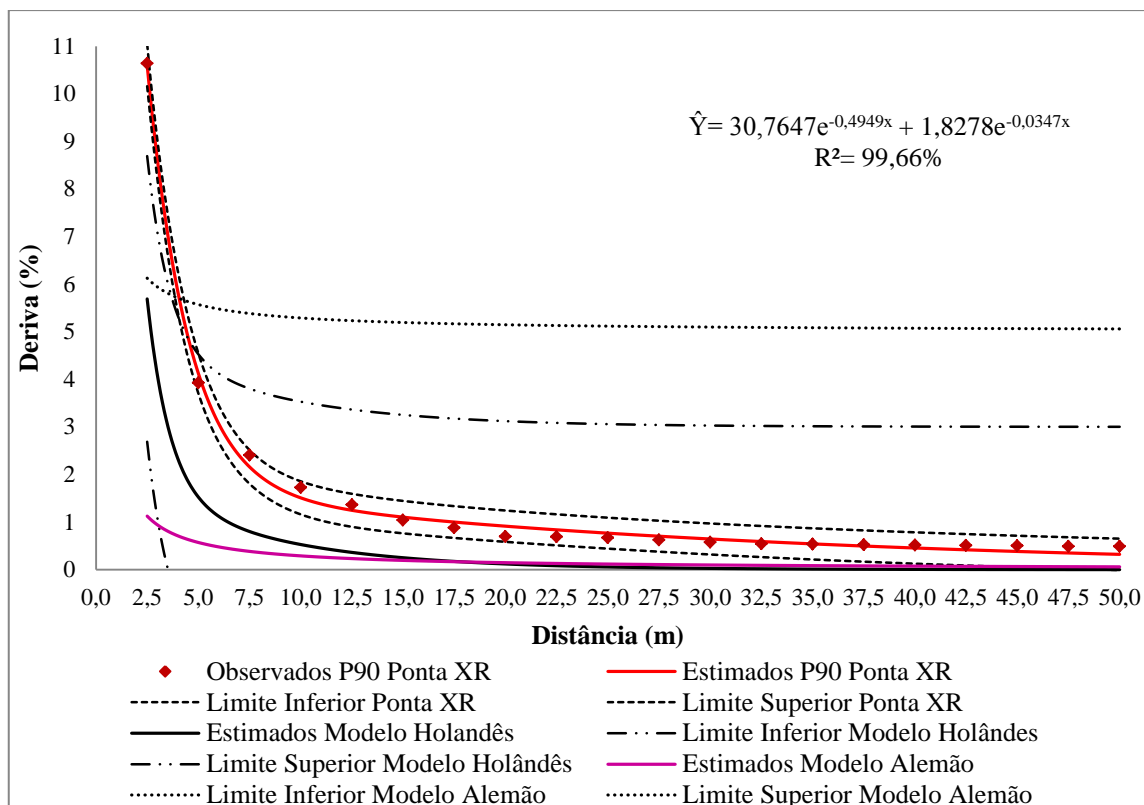
De acordo com as Figuras 6 a 9, não houve diferença entre os modelos estimados para as pontas XR, TT, AIXR e TTI e os “Modelo Alemão e Holandês”, uma vez que, ou o limite superior ou o inferior (os limites inferiores de algumas curvas não aparecem em função de apresentarem valores negativos) dos modelos Alemão e Holandês cruzam em algum ponto na curva (geralmente entre 2,5 e 5 m de distância da área aplicada) com os limites estimados das quatro pontas.

É importante ressaltar que, apesar das curvas não diferirem entre si, os limites dos “Modelos Alemão e Holandês” possuem grande amplitude e, na maioria dos casos, abrangem por completo a curva e os limites estimados para as pontas em estudo, como acontece com a curva da ponta TT em relação ao modelo Holandês (Figura 7).

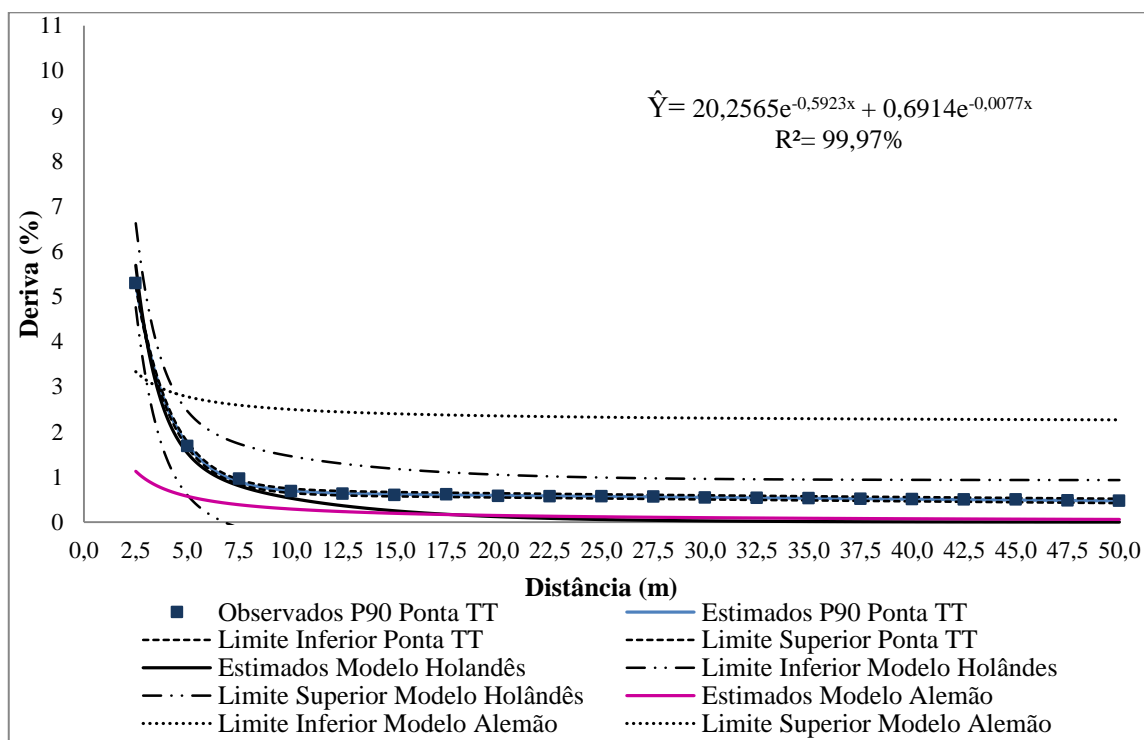
Assim, apesar do tipo de equação do “Modelo Holandês” ser mais adequado aos dados (apresentou melhor ajuste –  $R^2$  em relação à equação potencial do modelo Alemão), os coeficientes da equação ( $A_0$ ,  $A_1$ ,  $B_0$  e  $B_1$  para categoria “*Cereals*”) utilizados para a comparação entre modelos não foi adequado, pois, se um modelo apresenta grande amplitude de intervalos de confiança, isso implica dizer que o modelo é muito genérico, ou seja, neste caso específico, porcentagens muito diferentes de deriva são estatisticamente iguais, o que não é uma característica desejada em um modelo de previsão de deriva. Dessa forma, foi possível inferir que, o “Modelo Holandês” de deriva para cultivo de cereais não foi indicado para estimar a deriva na cultura do feijão.

Esse fato pode ser explicado em função de que, tanto o “Modelo Alemão” quanto o “Holandês”, além de serem construídos para diferentes culturas, em diferentes condições operacionais e climáticas em relação ao presente experimento, suas porcentagens de deriva são baseadas em aplicações com diferentes tipos de ponta e tamanhos de gota. O “Modelo Alemão”, por exemplo, foi inicialmente baseado em resultados de 119 estudos de deriva conduzidos entre 1989 e 1992 (GANZELMEIER et al., 1995), posteriormente foram conduzidos mais 50 ensaios para as culturas de baixo porte e 72 ensaios para culturas frutíferas entre os anos de 1996 e 1999 (RAUTMANN et al., 2001).

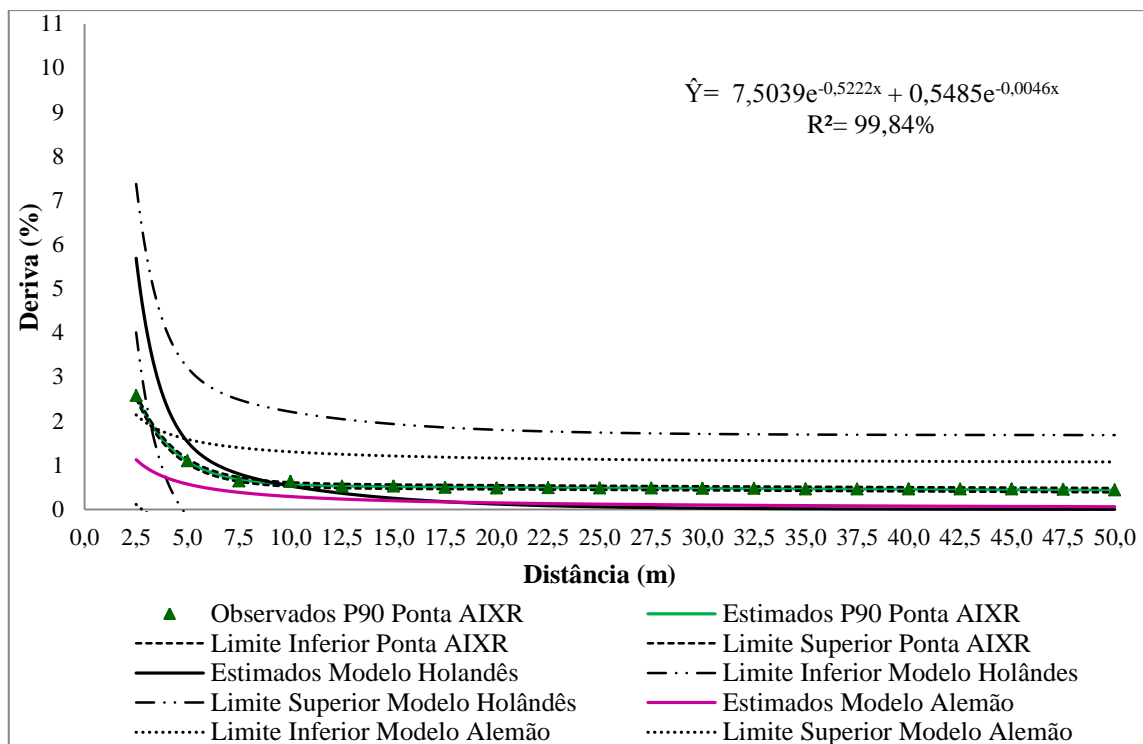
O “Modelo Holandês” foi baseado em vários ensaios, de diferentes autores realizados entre os anos de 1992 e 1999, também com diferentes tipos de pontas, mas utilizando principalmente pontas de jato plano simples com espectro de gotas médias (HOLTERMAN; van de ZANDE, 2003).



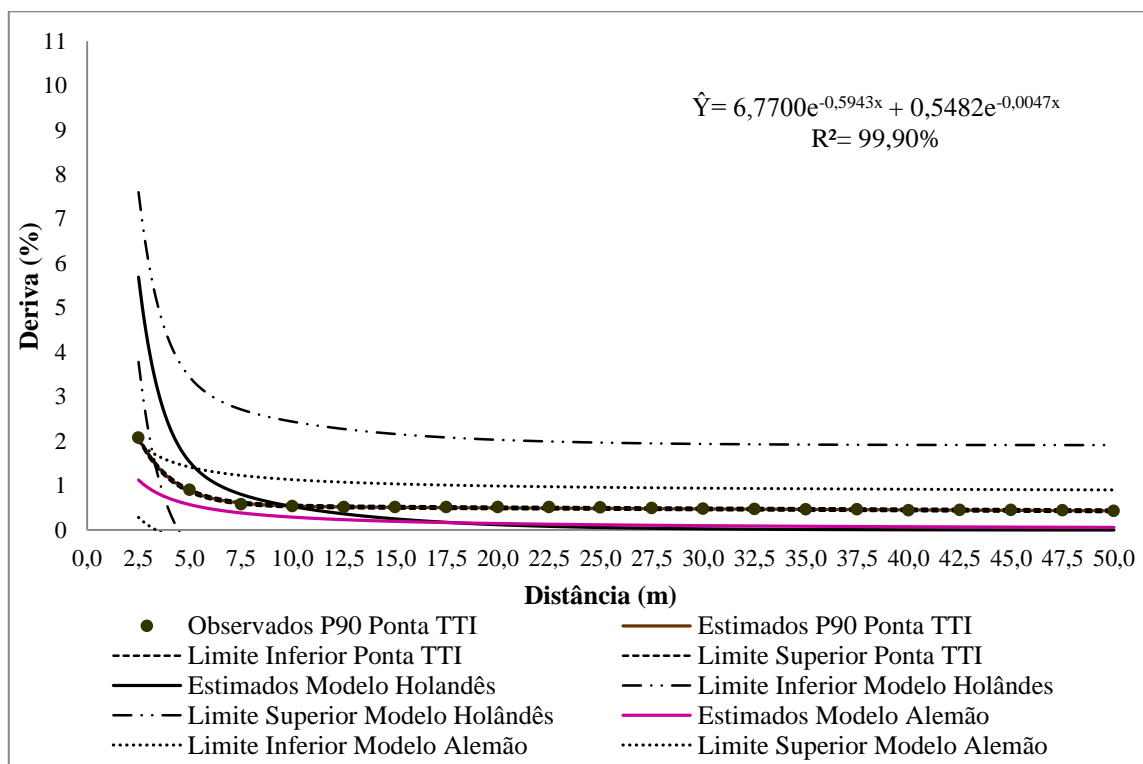
**Figura 6.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano simples (XR 11002/gotas finas) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura do feijão.



**Figura 7.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano defletor simples (TT/gotas médias) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura do feijão.



**Figura 8.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano simples com indução de ar (AIXR 110 02/gotas grossas) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura do feijão.



**Figura 9.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano defletor simples com indução de ar (TTI 11002/gotas extremamente grossas) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura do feijão.

Ao observar o comportamento das curvas principais (modelo estimado de cada ponta e dos “Modelos Alemão e Holandês”), foi possível verificar também que, as curvas do “Modelo Alemão” em todos os casos (Figura 6 a 9) subestimaram as porcentagens de deriva.

As curvas do “Modelo Holandês” subestimaram a deriva quando comparada a curva da ponta XR (gotas finas), superestimaram a deriva quando comparadas as curvas das pontas AIXR (gotas grossas) e TTI (gotas extremamente grossas), principalmente nos primeiros 10,0 m de distância da área alvo, e apresentou comportamento semelhante à curva estimada para a ponta TT (gotas médias).

Essa semelhança entre as curvas da ponta TT e do “Modelo Holandês” pode ser explicada pelo fato dos testes realizados para estimativa do “Modelo Holandês” para a categoria “*Cereals*” (categoria de coeficientes adotados para a estimativa do “Modelo Holandês” neste estudo) terem sido realizados utilizando uma ponta XR 11004 com característica de gotas médias (HOLTERMAN; van de ZANDE, 2003), o mesmo padrão de gotas produzido pela ponta TT 11002 (Tabela 4) durante as aplicações para cultura do feijão. Dessa forma é possível inferir que, um dos fatores mais importantes na caracterização e determinação de curvas de deriva é o tipo de ponta de aplicação e o tamanho das gotas pulverizadas.

Em outro estudo, os autores compararam o percentual de deriva depositada até 5 m de distância da área pulverizada pelas pontas de jato cônico HC D4-45 (gotas finas), jato plano de baixa deriva LD 11003 (gotas grossas) e jato plano simples F 11006 (gotas médias), com os “Modelos Alemão e Holandês” de deriva, utilizando os coeficientes para grandes culturas (*Field Crops*) e solo nu (*Bare Soil*), respectivamente (YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN; 2009). Ainda segundo os autores, o “Modelo Alemão” subestimou a deriva de todas as pontas na distância mais próxima da área aplicada (1 m) de forma semelhante ao encontrado no presente estudo.

### **3.2 Cultura da Soja**

Durante os ensaios de deriva para a cultura da soja, todas as condições climáticas também atenderam as recomendações da norma ISO 22866 (2005) (Tabela 8).



**Tabela 8.** Valores médios das condições climáticas coletadas durante as aplicações com quatro pontas de pulverização (tamanhos de gota) distintas, na cultura da soja.

Condições Climáticas	Ponta XR	Ponta TT	Ponta AIXR	Ponta TTI
	Médias <sup>1</sup> (Desvio Padrão)			
Temperatura (°C)	29,9 ± 1,2	29,8 ± 1,1	29,8 ± 0,7	29,7 ± 0,6
Umidade relativa (%)	45,1 ± 4,7	46,5 ± 5,2	45,5 ± 5,2	44,9 ± 5,5
Velocidade do vento (km h <sup>-1</sup> )	8,8 ± 2,6	9,3 ± 3,3	9,9 ± 2,1	8,9 ± 3,9
Direção ideal do vento	NE	NE	NE	NE
Direções aceitáveis de vento	NNE / ENE	NNE / ENE	NNE / ENE	NNE / ENE
Direção predominante do vento	ENE (NE)	ENE (NE)	ENE (NE)	ENE (NE)
Direção do vento (°) em relação à posição ideal (90°)	18,0 ± 9,5	15,8 ± 10,9	24,8 ± 12,8	18,0 ± 9,5

<sup>1</sup>Valores provenientes da média das 10 repetições de cada ponta. Para cada repetição foram gastos aproximadamente três minutos de aplicação, sendo que, para cada minuto foi obtido um valor médio de todas as condições de acordo com a frequência do aparelho 1 Hz.

Nas Tabelas 9 e 10 encontram-se a caracterização das propriedades físico-químicas das caldas de aplicação e a caracterização do espectro de gotas. Novamente o marcador não provocou grandes alterações na calda em função da proximidade entre as propriedades da água e da calda de aplicação.

**Tabela 9.** Caracterização das propriedades físico-químicas da água e da calda (água + rodamina B) utilizada nas aplicações para a cultura da soja.

Propriedades Físico-químicas	Água		Calda	
	Média*	Desvio	Média*	Desvio
Potencial Hidrogeniônico (pH)	7,50	± 0,02	7,42	± 0,03
Condutividade Elétrica (µS cm <sup>-1</sup> )	18,0	± 2,38	18,8	± 5,14
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	0,9975	± 0,0017	0,9937	± 0,0021
Viscosidade (mPa s)	1,05	± 0,02	1,04	± 0,02
Tensão Superficial (mN m <sup>-1</sup> )	80,0	± 0,41	74,04	± 1,34

\* Valores provenientes da média de sete repetições de amostras de água e água + rodamina.

**Tabela 10.** Caracterização do diâmetro da mediana volumétrica (DMV), amplitude relativa (AR) e porcentagem do volume de gotas pulverizadas com diâmetro inferior a 100  $\mu\text{m}$  ( $D_v < 100$ ), proveniente da aplicação com quatro pontas de pulverização (tamanhos de gota) distintas, na cultura da soja.

Ponta	DMV ( $\mu\text{m}$ )		AR		Dv<100 (%)		Classificação do Tamanho de Gotas <sup>2</sup>
	Média <sup>1</sup>	Desvio	Média <sup>1</sup>	Desvio	Média <sup>1</sup>	Desvio	
XR	163,97	$\pm 10,18$	1,14	$\pm 0,06$	18,93	$\pm 3,14$	Finas
TT	238,55	$\pm 30,73$	1,26	$\pm 0,26$	10,36	$\pm 4,19$	Médias
AIXR	331,23	$\pm 25,90$	1,38	$\pm 0,23$	5,34	$\pm 1,96$	Grossas
TTI	500,05	$\pm 52,08$	1,32	$\pm 0,21$	0,87	$\pm 0,19$	Extremamente Grossas

<sup>1</sup> Valores provenientes da média de quatro repetições para cada ponta. <sup>2</sup> A caracterização do espectro de gotas está de acordo com a classificação do fabricante Teejet®.

De forma semelhante ao encontrado para a cultura do feijão, a interação entre os fatores Ponta de Pulverização x Distância foi significativa para as avaliações na cultura da soja e, novamente, em geral à medida que se aumentou o tamanho de gotas, houve redução na porcentagem de deriva.

A ponta de jato plano defletor com indução de ar – TTI 11002 (gotas extremamente grossas) apresentou a menor porcentagem de deriva em relação às demais pontas até a distância de 7,5 m da área alvo de aplicação. Em contrapartida, a ponta de jato plano simples – XR 11002 (gotas finas) apresentou a maior porcentagem de deriva na área mais próxima a aplicação (2,5 m). A partir da distância de 10 m, a deriva de todas as pontas foi decrescente, apresentando valores menores que 0,5% (Tabela 11 e Figura 10).

Neste sentido, observou-se que a utilização de pontas de indução de ar foi uma boa alternativa para a redução de deriva. Uma vez que, gotas grossas embora possam resultar em menor cobertura no alvo, são menos propensas ao deslocamento pelo vento (HOLTERMAN, 2003; HILTZ; VERMEER, 2013). De qualquer forma, é preciso salientar que não é possível eliminar por completo a deriva de uma aplicação.

**Tabela 11.** Porcentagem de deriva depositada até 50 m de distância da área cultivada com soja, proveniente da aplicação com quatro pontas de pulverização (tamanhos de gota) distintas.

Distância (m)	Pontas de Pulverização <sup>1</sup>							
	XR <sup>2</sup>		TT	AIXR	TTI			
2,5	2,0404	d	1,4282	c	0,6807	b	0,1538	a
5,0	0,4335	c	0,3738	bc	0,2443	b	0,0939	a
7,5	0,2082	b	0,2026	b	0,1597	b	0,0792	a
10,0	0,1390	a	0,1153	a	0,1108	a	0,0697	a
12,5	0,1081	a	0,0976	a	0,0893	a	0,0657	a
15,0	0,0948	a	0,0964	a	0,0853	a	0,0605	a
17,5	0,0816	a	0,0782	a	0,0754	a	0,0567	a
20,0	0,0737	a	0,0755	a	0,0682	a	0,0539	a
22,5	0,0712	a	0,0659	a	0,0630	a	0,0518	a
25,0	0,0699	a	0,0641	a	0,0587	a	0,0507	a
27,5	0,0663	a	0,0614	a	0,0549	a	0,0488	a
30,0	0,0651	a	0,0586	a	0,0530	a	0,0478	a
32,5	0,0614	a	0,0563	a	0,0513	a	0,0457	a
35,0	0,0604	a	0,0545	a	0,0480	a	0,0435	a
37,5	0,0608	a	0,0527	a	0,0449	a	0,0408	a
40,0	0,0586	a	0,0503	a	0,0448	a	0,0391	a
42,5	0,0548	a	0,0499	a	0,0428	a	0,0369	a
45,0	0,0520	a	0,0408	a	0,0396	a	0,0350	a
47,5	0,0472	a	0,0427	a	0,0378	a	0,0331	a
50,0	0,0448	a	0,0402	a	0,0347	a	0,0320	a
CV <sub>P</sub> = 77,78%			CV <sub>D</sub> = 25,60%					
F <sub>P</sub> =9,198**			F <sub>D</sub> = 197,950**			F <sub>P*D</sub> = 16,420**		
MO: K-S= 0,314 <sup>ns</sup> F <sub>Levene</sub> =43,708 <sup>ns</sup> / MT: K-S= 0,159 <sup>ns</sup> F <sub>Levene</sub> =19,345 <sup>ns</sup>								

<sup>1</sup>XR: Ponta de jato plano simples; TT: Ponta de jato plano defletor simples; AIXR: Ponta de jato plano simples com indução de ar; TTI: Ponta de jato plano defletor simples com indução de ar. <sup>2</sup>Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. CV<sub>P</sub>; CV<sub>D</sub>: Coeficiente de variação para as variáveis Pontas de Pulverização e Distância respectivamente. F<sub>P</sub>; F<sub>D</sub>; F<sub>P\*D</sub>: Valores de F calculado para as variáveis Pontas de Pulverização, Distância e para a interação entre Ponta e Distância respectivamente; K-S; F<sub>Levene</sub>: Valores de F para os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene respectivamente; calculados para as médias originais (MO) e médias transformadas por arcoseno  $\sqrt{x/100}$  (MT). \*\* significativo a 0,01; <sup>ns</sup> não significativo.

Novamente, para a cultura da soja, o modelo de regressão exponencial decrescente de quatro parâmetros (Equação 4), análogo aos modelos estudados por Holterman e van de Zande (2003), também foi o que se ajustou melhor aos dados de

deriva. Houve ajuste de modelo para todas as pontas (acima de 99%), exceto para a ponta TTI, que não apresentou modelo significativo (Tabela 12 e Figura 10).

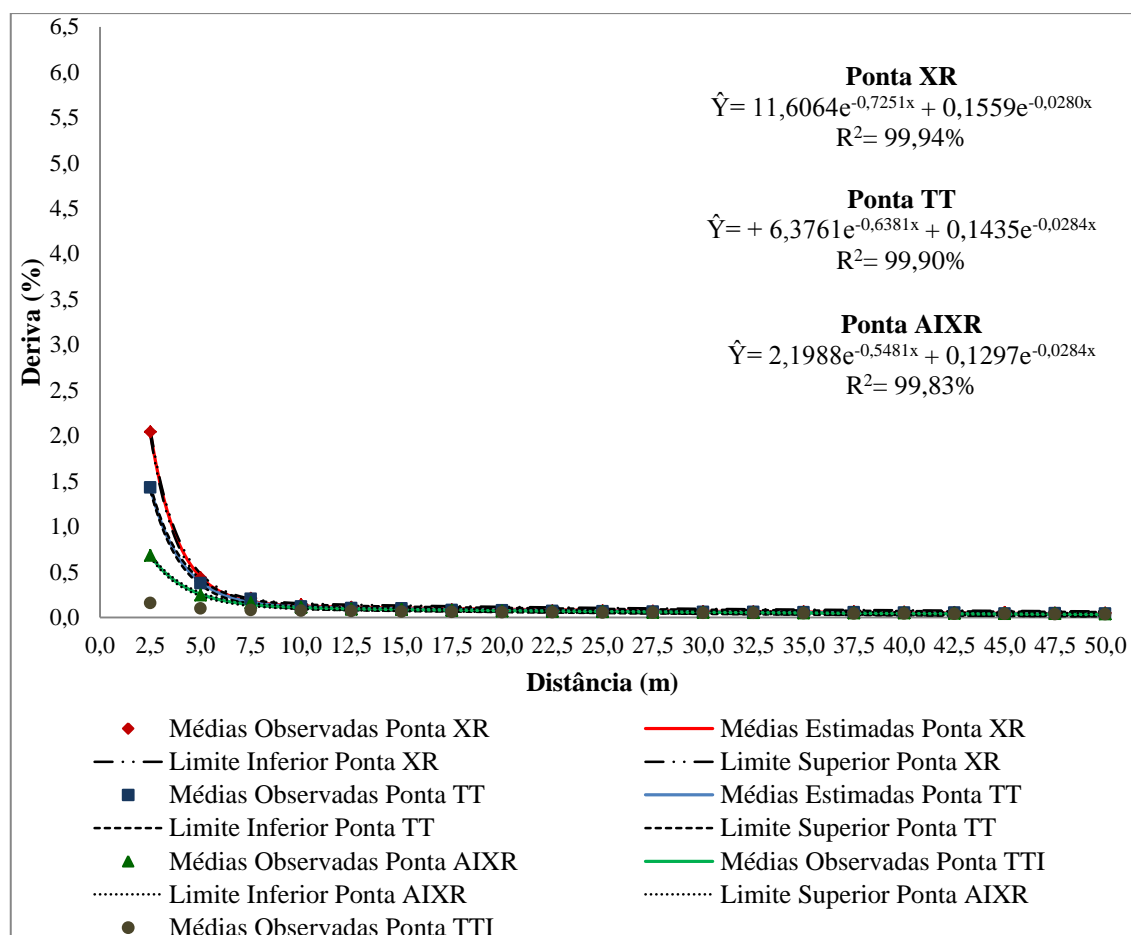
**Tabela 12.** Resumo da análise de variância dos dados observados de deriva para o desdobramento de distância dentro de cada ponta (tamanho de gota) avaliada, na cultura da soja.

Ponta	gl	QM	Fc	Ft	Equação	R <sup>2</sup>
XR	3	1,2433	44,0746	2,60*	$\hat{Y} = 11,6064e^{-0,7251x} + 0,1559e^{-0,0280x}$	99,94
TT	3	0,6051	21,4498	2,60*	$\hat{Y} = 6,3761e^{-0,6381x} + 0,1435e^{-0,0284x}$	99,90
AIXR	3	0,1320	4,6792	2,60*	$\hat{Y} = 2,1988e^{-0,5481x} + 0,1297e^{-0,0284x}$	99,83
TTI	3	0,0049	0,1737	2,60 <sup>ns</sup>	-	-
Erro	684	0,0282				

\*, <sup>ns</sup> Modelos significativos e não significativos, respectivamente, de acordo com o teste de F a 0,05 de significância.

A Figura 10 representa de forma gráfica a porcentagem de deriva depositada por cada ponta de pulverização ao longo das distâncias avaliadas. A curva da ponta TTI não foi apresentada, pois não houve ajuste de modelo para os dados de deriva provenientes dessa ponta. A partir da distância de 7,5 m, ponto onde os limites inferior e superior das curvas (XR, TT e AIXR) se cruzam, as três curvas se igualaram. A deriva foi decrescente quando se afastou da área alvo de aplicação e à medida que se aumentou o tamanho de gotas, sendo o menor percentual de deriva encontrado quando se utilizou a ponta AIXR, a qual tem como característica a produção de gotas grossas. A ponta XR (gotas finas) apresentou os maiores percentuais de deriva na área mais próxima à pulverização (2,5 m).

Na caracterização do potencial de deriva de três pontas por meio de um pulverizador hidráulico convencional, na cidade de Beijing, China (LU 12002 – jato plano simples e gotas finas, AD 12002 – jato plano anti-deriva e gotas médias e IDK 12002 – jato plano compacta com indução de ar e gotas grossas), também foi verificado que a ponta de jato plano com produção de gotas finas apresentou a maior quantidade de deriva depositada, equivalente 1,6  $\eta\text{g cm}^2$  à um metro de distância da área alvo (os autores avaliaram apenas até a distância de 5 m da área alvo cultivada com trigo) (ZHAO et al., 2014).



**Figura 10.** Curvas de deriva para as quatro pontas (tamanho de gota) avaliadas na cultura da soja, com suas respectivas curvas de intervalo de confiança (95% de confiabilidade nos limites inferior e superior).

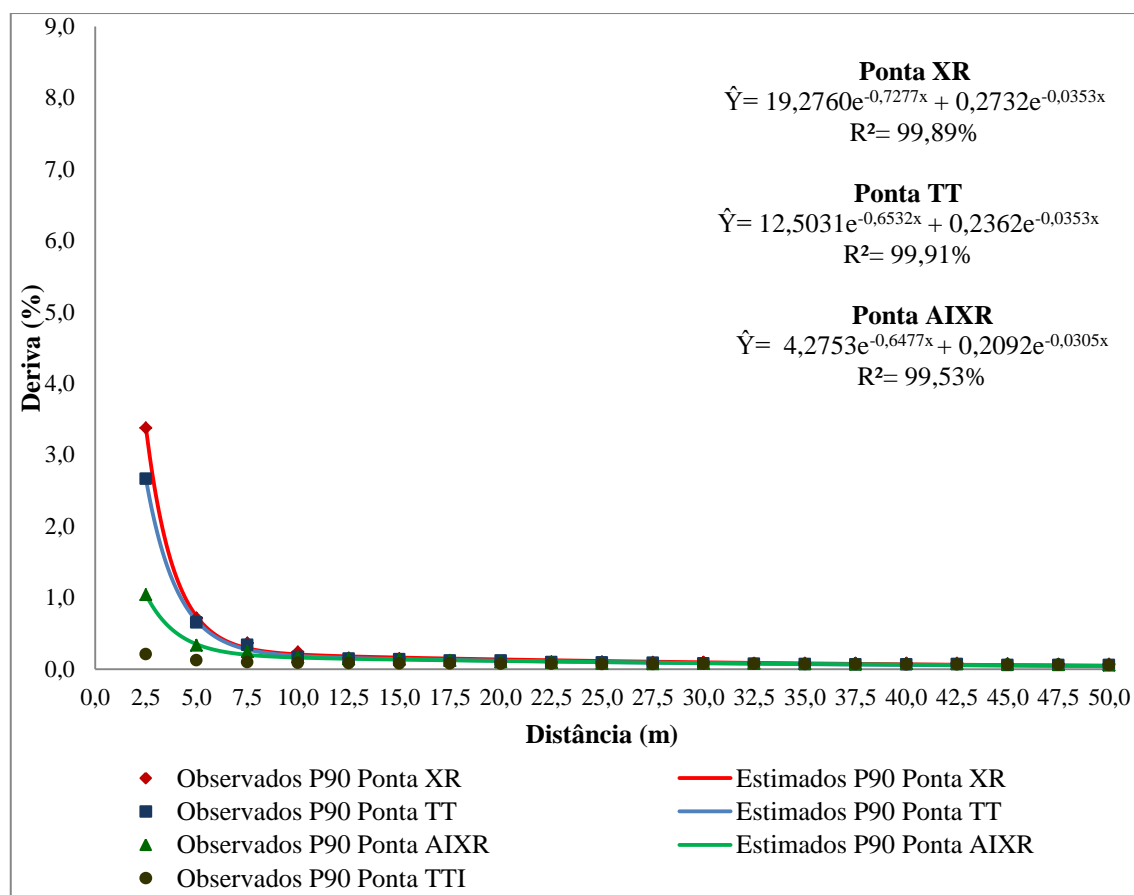
Em um estudo realizado na Holanda, o percentual de deriva de uma ponta de jato plano simples (XR 11004 – gotas médias) também foi significativamente maior quando comparado à ponta de jato plano com pré-orifício (DG 11004 – gotas grossas) na cultura da batata, em todas as distâncias avaliadas (0, 3, 14 e 24 m da área alvo) (van de ZANDE et al., 2010).

Para os dados de porcentagem de deriva convertidos em P90, houve ajuste de modelos apenas para três pontas (XR, TT e AIXR), novamente com  $R^2$  acima de 99%, indicando ótimo ajuste para todas as curvas (Tabela 13 e Figura 11). Cada uma dessas curvas foi comparada aos “Modelos Alemão e Holandês” por meio de intervalos de confiança conforme apresentado nas Figuras 12 a 14.

**Tabela 13.** Resumo da análise de variância dos dados observados de deriva convertidos em Percentil 90 (P90) para o desdobramento de distância dentro de cada ponta (tamanho de gota) avaliada para a cultura da soja.

Ponta	gl	QM	Fc	Ft	Equação	R <sup>2</sup>
XR	3	3,4377	121,8610	2,60*	$\hat{Y} = 19,2760e^{-0,7277x} + 0,2732e^{-0,0353x}$	99,89
TT	3	2,1438	75,9943	2,60*	$\hat{Y} = 12,5031e^{-0,6532x} + 0,2362e^{-0,0353x}$	99,91
AIRX	3	0,3034	10,7551	2,60*	$\hat{Y} = 4,2753e^{-0,6477x} + 0,2092e^{-0,0305x}$	99,53
TTI	3	0,0069	0,2446	2,60 <sup>ns</sup>	-	-
Erro	684	0,0282				

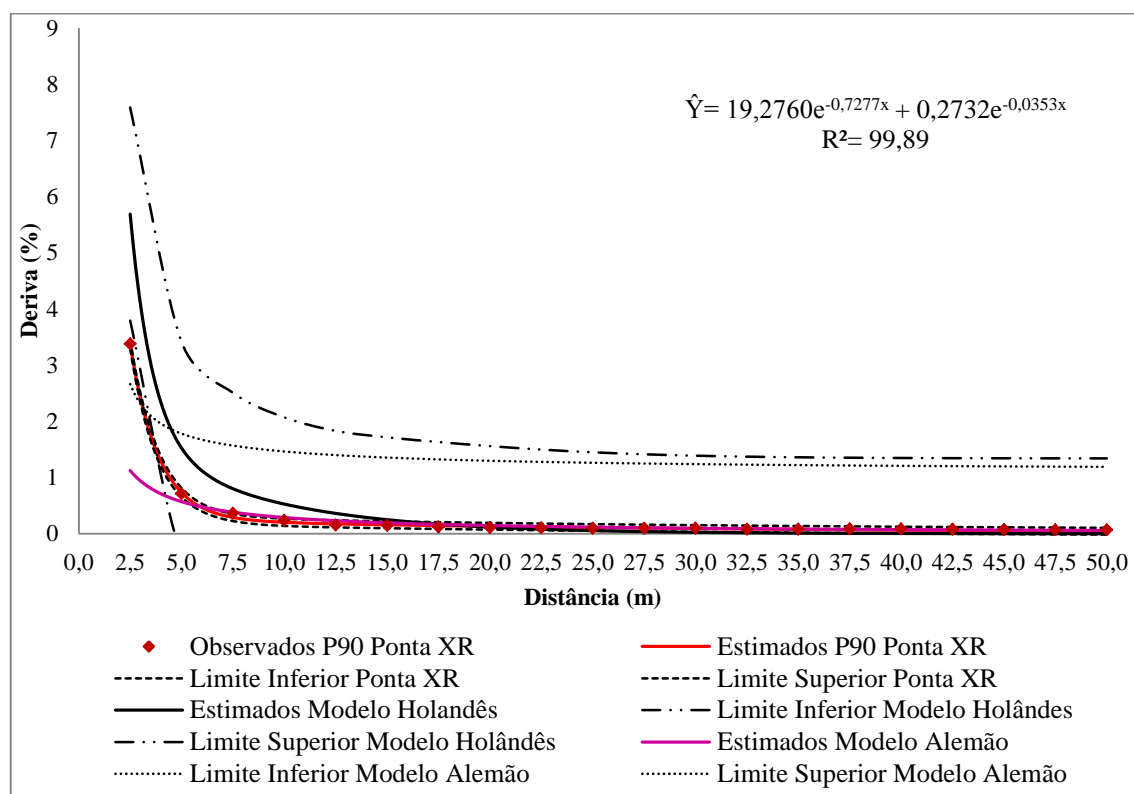
\* Modelos significativos de acordo com o teste de F a 0,05 de significância. <sup>ns</sup> modelo não significativo.



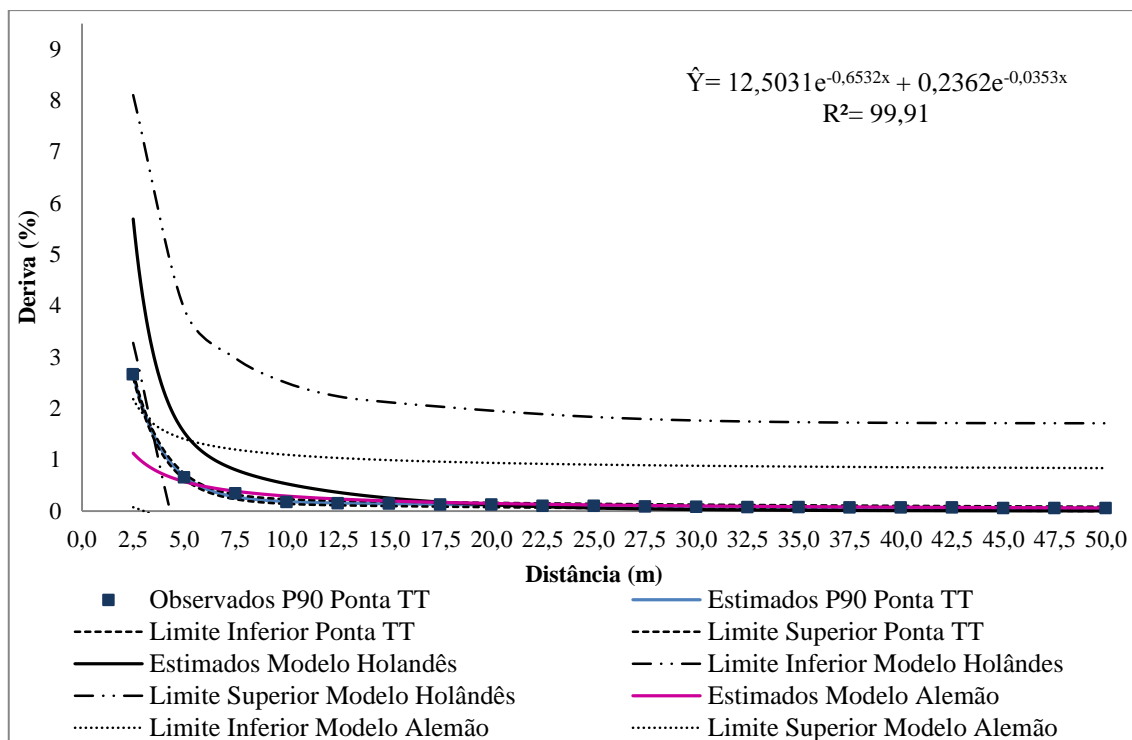
**Figura 11.** Modelos de deriva estimados em percentil 90 para as pontas de jato plano simples (XR 11002/gotas finas), jato plano defletor simples (TT 11002/gotas médias) e jato plano simples com indução de ar (AIRX 11002/gotas grossas) para a cultura da soja.

Novamente, não houve diferença entre os modelos estimados para as pontas XR, TT e AIXR e os “Modelos Alemão e Holandês”, pois, ou o limite superior ou o inferior dos “Modelos Alemão e Holandês” se cruzaram num determinado ponto na curva (geralmente entre 2,5 e 5 m de distância da área aplicada) com os limites estimados para as três pontas (Figuras 12 a 14). Contudo é importante lembrar que, esses dois modelos já existentes são generalistas, ou seja, cada categoria abrange várias culturas, enquanto os modelos desenvolvidos neste trabalho são específicos para cada cultura e tipo de ponta.

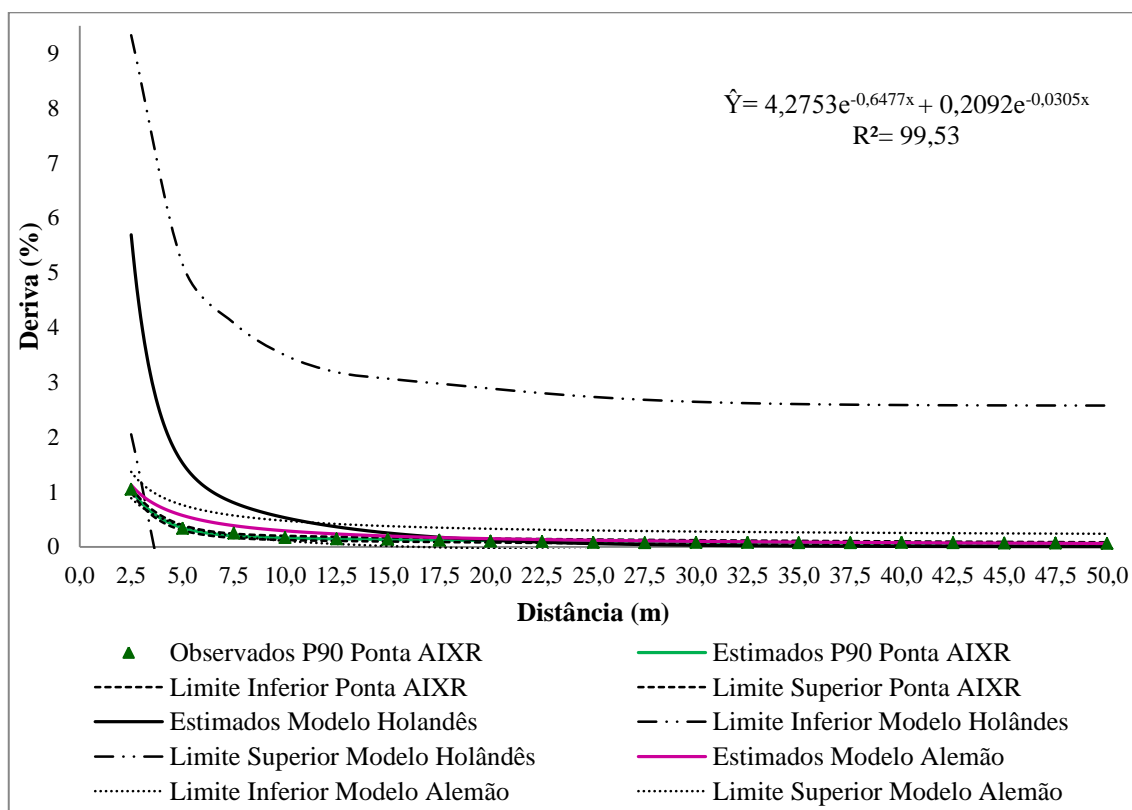
Ao analisar o comportamento das curvas na distância mais próxima a área alvo, foi possível verificar que, ao se utilizar o “Modelo Alemão” (coeficientes da equação para “*Field Crops*”), foram subestimadas as porcentagens de deriva em relação aos dados encontradas neste trabalho para as pontas XR (gotas finas) e TT (gotas médias) e superestimada a deriva proveniente da ponta AIXR (gotas grossas). Já as curvas do “Modelo Holandês” (coeficientes da equação para “*Cereals*”), superestimaram os valores de porcentagem de deriva para todas as pontas avaliadas (Figuras 12 a 14).



**Figura 12.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano simples (XR 11002/gotas finas) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura da soja.



**Figura 13.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano defletor simples (TT 11002/gotas médias) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura da soja.



**Figura 14.** Comparação entre o modelo de deriva estimado para a ponta de jato plano simples com indução de ar (AIXR 11002/gotas grossas) e os “Modelos Alemão e Holandês”, para os dados convertidos em percentil 90 para a cultura da soja.



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As curvas de deriva elaboradas a partir das aplicações pelas distintas pontas de pulverização apresentaram comportamentos diferentes, sobretudo nas regiões mais próximas as culturas. A qualidade de ajuste dos modelos ( $R^2$  próximo a 99%) indicou sua alta capacidade de prever a deriva nas aplicações nas culturas do feijão e soja (Tabela 14).

**Tabela 14.** Coeficientes das equações para cada classe de gotas (tipo de ponta) considerando o Percentil 90, para as culturas do feijão e da soja, e para os “Modelos Holandês e Alemão” de deriva.

Coeficientes do modelo exponencial decrescente de quatro parâmetros					
Culturas/Modelos	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>
FEIJÃO					
XR 11002	30,7647	- 0,4949	1,8278	- 0,0347	99,96
TT 11002	20,2565	- 0,5923	0,6914	- 0,0077	99,97
AIXR 11002	7,5039	- 0,5222	0,5485	- 0,0046	99,84
TTI 11002*	6,7700	- 0,5943	0,5482	- 0,0047	99,90
SOJA					
XR 11002	19,2760	-0,7277	0,2732	-0,0353	99,89
TT 11002	12,5031	-0,6532	0,2362	-0,0353	99,91
AIXR 11002	4,2753	-0,6477	0,2092	-0,0305	99,53
HOLANDÊS/IMAG					
Cereals (Cereais)	39	0,9	2,28	0,147	-
Coeficientes do modelo potencial decrescente de dois parâmetros					
	A	B			
ALEMÃO					
Field Crops (Culturas Anuais)	2,7596	-0,9778	-		

\*não houve ajuste de modelo para os dados de deriva da ponta TTI (gotas extremamente grossas) para a cultura da soja.

Em geral, a utilização do “Modelo Holandês” para estimar a deriva das culturas do feijão e da soja, com o uso dos coeficientes para “*Cereals*” superestimou a porcentagem de deriva. Em contrapartida, a utilização do “Modelo Alemão”, com o uso dos coeficientes para “*Field Crops*” subestimou a porcentagem de deriva das pontas avaliadas, principalmente nas menores distâncias da área alvo.

Assim, em avaliações de estimativa de deriva e risco devem ser utilizados, preferencialmente, modelos de deriva específicos para a cultura alvo, para a classe de gotas de cada aplicação e para a região (clima) de cada aplicação.

## 5. CONCLUSÕES

Obteve-se quatro modelos de previsão de deriva para a cultura do feijão, e três para a cultura da soja, análogos ao “Modelo Holandês ou IMAG”, com tendência exponencial de quatro parâmetros considerando o Percentil 90, todos com ajustes acima de 99%.

Os coeficientes das equações para a cultura do feijão variam de 6,7700 a 30,7647 ( $A_0$ ), - 0,4949 a - 0,5943 ( $B_0$ ), 0,5482 a 1,8278 ( $A_1$ ), - 0,0046 a - 0,0347 ( $B_1$ ).

Os coeficientes das equações para a cultura da soja variam de 4,2753 a 19,2760 ( $A_0$ ), -0,6477 a -0,7277 ( $B_0$ ), 0,2092 a 0,2732 ( $A_1$ ), -0,0305 a -0,0353 ( $B_1$ ).

Aumentar o tamanho de gotas da aplicação é uma forma eficiente de reduzir o percentual de deriva depositada, principalmente nas regiões mais próximas às culturas do feijão e da soja.

Os coeficientes do “Modelo Holandês” de deriva para cultivo de cereais (*Cereals*), assim como os coeficientes do “Modelo Alemão” para culturas anuais (*Field Crops*) não são indicados para estimar a deriva nas culturas do feijão e da soja.

Em avaliações de estimativa de deriva nas culturas do feijão e da soja, em condições climáticas brasileiras, sugere-se a utilização dos modelos de deriva estimados neste trabalho para cada tipo de ponta de pulverização.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R.; PALLADINI, L. A. Seleção de traçadores para estudos de eficiência das aplicações de produtos fitossanitários. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 861-870, 2014.
- ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pesticide Management Science**, West Sussex, v. 67, n. 5, p. 586-598, 2011.
- BAETENS, K.; NUYTENS, D.; VERBOVEN, P.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; NICOLAI, B.; RAMON, H. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 161-173, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; REIS, E. Efeito da temperatura nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 665-672, 2010.
- DE SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.; SONCK, S. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 4, p. 602-11, 2007.
- DOPIERALA, K.; PROCHASKA, K. The effect of molecular structure on the surface properties of selected quaternary ammonium salts. **Journal of Colloid and Interface Science**, Orlando, v. 321, n. 1, p. 220-226, 2008.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).
- FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol** (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GANZELMEIER, H.; RAUTMANN, D.; SPANGENBERG, R.; STRELOKE, M.; HERRMANN, M.; WENZELBURGER, H. J.; WALTER, H. F. **Studies on the spray drift of plant protection products**, Results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. Berlin: Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry, 1995. 111 p.
- GIL, E.; BALSARI, P.; GALLART, M.; LLORENS, J.; MARUCCO, P.; ANDERSEN, P. G.; FÀBREGAS, X.; LLOP, J. Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench. **Crop Protection**, London, v. 56, p. 58-68, 2014.
- HILZ, E.; VERMEER, A. W. P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. **Crop Protection**, London, v. 44, p. 75-83. 2013.

HOLTERMAN, H. J. Kinetics and Evaporation of Water Drops in Air. **Institute of Agricultural and Environmental Engendering**, Wageningen, UR. IMAG Report. 2003.

HOLTERMAN, H. J.; van de ZANDE, J. C. **IMAG Drift Calculator v1.1 - User manual**. IMAG Draft Report, 2003, 39 p.

ISO. **Equipment for crop protection** - Methods for field measurement of spray drift. Geneva: ISO, 2005. 22 p. ISO/FDIS 22866.

KASIOTIS, K. M.; GLASS, C. R.; TSAKIRAKIS, A. N.; MACHERA, K. Spray drift reduction under Southern European conditions: A pilot study in the Ecopest Project in Greece. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, n. 479-480, p. 132-137, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura. **Feijão**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>. Acesso em 16 fev. 2015.

MAPA. Ministério da Agricultura. **Soja**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja> . Acesso em 16 fev. 2015.

MATTHEWS, G. A.; HAMEY, P. Y. Exposure of bystanders to pesticides. **Pesticide Outlook**, Cambridge, v. 14, n. 5, p. 210-212. 2003.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; BAETENS, K.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five year study. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54, n. 2, p. 403-408. 2011.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; SONCK, B. Comparison between indirect and direct spray drift assessment methods. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v. 105, n. 1, p. 2-12. 2010.

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.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, Göttingen, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

RAUTMANN, D.; STRELOKE, M.; WINKLER, R. **New basic drift values in the authorisation procedure for plant protection products**. In: FORSTER, R.; STRELOKE, M. (Eds.), Workshop on Risk Assessment and Risk Mitigation Measures in the Context of the Authorization of Plant Protection Products (WORMM), Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, Heft 381, 2001.

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

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-d amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. esp., p. 1149-1156, 2011.

SPSS Inc. Released. **SPSS Statistics for Windows**, Version 22.0. Chicago: SPSS Inc. 2012.

STAINIER, C.; DESTAIN, M. F.; SCHIFFERS, B.; LEBEAU, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, London, v. 25, n. 12, p. 1238-1243, 2006.

TSAI, M. Y.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 33, p. 6194-6203, 2005.

van de ZANDE, J. C.; STALLINGA, H.; MICHIELSEN, J. M. G. P.; van VELDE, P. Effect of width of spray-free buffer zones, nozzle type and air assistance on spray drift. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, n. 99, p. 255-263. International Advances in pesticide application. 2010.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I - Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, n. 44, p. 41-76, 1947.

YARPUZ-BOZDOGAN, N.; BOZDOGAN, A. M. Comparisons of field and model percentage drift using different types of hydraulic nozzles in pesticide applications. **International Journal Environmental Science Technology**, Helsinki, v. 6, n. 2, p. 191-196, Spring. 2009.

ZHAO, H.; XIE, C.; LIU, F.; HE, X.; ZHANG, J.; SONG, J. Effects of sprayers and nozzles on spray drift and terminal residues of imidacloprid on wheat. **Crop Protection**, London, v. 60, p. 78-82, 2014.

## CAPÍTULO II

RISCO AMBIENTAL E OCUPACIONAL ASSOCIADOS À DERIVA DE  
PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS EMPREGADOS NAS CULTURAS DO FEIJÃO E  
DA SOJA

*ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL RISK ASSOCIATED WITH  
PESTICIDE DRIFT USED IN DRY BEAN AND SOYBEAN CROPS*

## RESUMO

Muitos países, principalmente Europeus, têm incluído avaliações de risco de contaminação ambiental e ocupacional ocasionada pela deriva para o processo de registro de produtos fitossanitários. No Brasil essa prática ainda não é efetiva, contudo, em função da grande quantidade de produtos fitossanitários utilizados, principalmente nas culturas do feijão e da soja, faz-se necessário conhecer o risco real de contaminação durante a aplicação desses produtos. Assim, o objetivo deste trabalho foi calcular os índices de risco de contaminação ambiental e ocupacional decorrente da exposição à deriva de aplicações terrestres de fungicidas, herbicidas e inseticidas utilizados e recomendados para as culturas do feijão e da soja nas condições climáticas brasileiras, além de estabelecer zonas de segurança para as aplicações desses produtos. Baseado nas sete curvas (quatro para o feijão e três para a soja) estimadas no capítulo I desta tese foram calculados os índices de risco para três diferentes grupos: indicadores de risco para organismos aquáticos (daphnia, algas e peixes); indicadores de risco para organismos terrestres (abelhas e minhocas); e indicadores de risco ocupacional para espectadores adultos, crianças e residentes; todos calculados de acordo com as modelagens propostas pelas metodologias POCER (Pesticide Occupation and Environmental Risk) e (HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk). Em geral, os organismos aquáticos são os mais sensíveis à contaminação por deriva dos produtos considerados neste estudo. Não foi observado risco de contaminação para minhocas. Para as abelhas, os inseticidas chlorpyrifos, spinosad e thiamethoxam apresentam risco, independente do tipo de ponta (tamanho de gota) utilizado para a determinação da curva de deriva e portanto requerem diferentes tamanhos de zonas de segurança. O paraquat é o único herbicida com potencial de risco de contaminação ocupacional e requer em algumas situações zonas de segurança maiores que 50 metros da área pulverizada. Em avaliações de estimativa de risco de deriva das aplicações de produtos fitossanitários nas culturas do feijão e da soja, em condições climáticas brasileiras, recomenda-se a utilização dos modelos de previsão de deriva gerados no capítulo I deste trabalho para cada tipo de ponta de pulverização.

**Palavras-chave:** curvas de deriva, HAIR, POCER, pontas de pulverização, tamanho de gotas, tecnologia de aplicação.

## ABSTRACT

Many countries, especially European, have included assessment of environmental and occupational drift contamination risk for the registration of pesticides. Such practice is not effective in Brazil yet; however, due to the large number of pesticides in use, including crops such as dry beans and soybeans, it is important to know the real contamination risk during pesticide spraying. Therefore, this study determined the indices of environmental and occupational contamination risks from exposition to drift from terrestrial applications of fungicides, herbicides, and insecticides used and recommended for dry beans and soybeans crops in Brazilian climate conditions, and also established buffer zones for the application of these products. Based on the seven curves (four for dry beans and three for soybeans) estimated in chapter I of this theses, the risk indices were computed for three groups of organisms: risk indicators for water organisms (daphnia, alga and fish); risk indicators for terrestrial organisms (bees and worms); and occupational risk indicators for adult bystanders, children and residents, according to modeling proposed by methodologies POCER (Pesticide Occupation and Environmental Risk) and HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk). In general, water organisms are the most sensitive to drift contamination from the products evaluated in this study. No contamination risk was found for worms; in contrast, the insecticides chlorpyrifos, spinosad and thiamethoxam presented risk for bees, regardless of nozzle type (droplet size) used for the determination of drift curve and, therefore, demand for different safety zones. Paraquat was the only herbicide with potential occupational contamination risk and, in certain situations, demand for buffer zones greater than 50 meters of sprayed area. It is suggested that, for estimation of drift and risk in dry beans and soybeans, for Brazilian climate conditions, the drift prediction models generated in chapter I of this study, for each nozzle type, should be used.

**Keywords:** drift curves, HAIR, POCER, spray nozzle, droplet size, application technology.



## 1. INTRODUÇÃO

Os produtos fitossanitários possuem papel importante na agricultura devido à necessidade crescente de maiores rendimentos e produção intensiva de alimentos de forma sustentável. No entanto, a dependência do tratamento químico e o uso extensivo subsequente destes compostos podem representar uma ameaça para os ecossistemas aquáticos e terrestres (KASIOTIS et al., 2014). Nas culturas do feijão e da soja, amplamente cultivadas no Brasil, uma estimativa de 20 a 25% do custo total de produção é destinada a gastos com aquisição e aplicação de produtos fitossanitários para o controle de doenças, plantas daninhas e insetos em geral (CONAB, 2015).

A deriva proveniente da aplicação de produtos fitossanitários é uma das principais fontes de contaminação ambiental na agricultura (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; TSAI, 2005; JONG et al., 2008; MASKI; DURAIRAJ, 2010; KRUIJNE et al., 2011). Na Europa existem diretrizes (EUROPEAN COMMISSION, 2002) obrigando os aplicadores (produtores rurais) de produtos fitossanitários a terem maior controle das aplicações, principalmente quando se refere à deriva.

O desvio da trajetória impede as gotas produzidas de atingirem seu alvo, está relacionado principalmente, ao tamanho das gotas e às condições ambientais (STAINIER et al., 2006; BAETENS et al., 2007; CUNHA, 2008). A produção de gotas finas ( $< 100 \mu\text{m}$ ), embora permitam boa cobertura do alvo, leva a problemas com deriva, consequentemente com risco de contaminação ambiental. Isso não acontece quando se utiliza de gotas grossas ( $> 450 \mu\text{m}$ ), as quais apesar de gerarem baixa cobertura superficial e escorrimento, são menos propensas ao deslocamento pelo vento (MURPHY et al., 2000; CROSS et al., 2001; HOLTERMAN, 2003; MILLER, 2003; CUNHA et al., 2004; TSAI et al., 2005; GULER et al., 2007; FIGUEIREDO et al., 2007; NUYTTENS et al., 2009, 2011; HILTZ; VERMEER, 2013). Neste sentido, a utilização de pontas que produzem gotas grossas, como as de indução de ar ou tipo Venturi, pode ser uma alternativa para a redução da deriva das pulverizações (ZHU et al., 2004; NUYTTENS et al., 2007).

Uma das formas de se conhecer melhor o problema da deriva é através do estabelecimento de modelos de previsão de deriva (LEBEAU et al., 2011), ou curvas de deriva (funções). Estas, por sua vez, expressam o valor de deriva depositada no solo (porcentagem da taxa de aplicação por hectare) em função da distância entre a área de aplicação e uma área sensível aos produtos (RAUTMANN et al., 2001). A partir dessas

curvas, é possível calcular o índice de risco de contaminação de outras áreas, de animais e de pessoas, cujas partículas derivadas da aplicação de produtos fitossanitários podem causar.

O POCER (Pesticide Occupation and Environmental Risk) (Risco ocupacional e ambiental da aplicação de produtos fitossanitários) é uma metodologia desenvolvida em Flanders (Bélgica) com a finalidade de quantificar os possíveis riscos da utilização de produtos fitossanitários na agricultura para o meio ambiente e para a saúde humana, por meio de uma série de indicadores, os quais são compostos basicamente por: indicadores para organismos aquáticos como daphnia, algas e peixes; indicadores para organismos terrestres como as aves, mamíferos, minhocas e abelhas e indicadores de riscos ocupacionais para os operadores, espectadores e residentes (OCDE, 1997; VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002). Este indicador foi considerado o melhor entre outros 19 estudados por Labite et al. (2011).

O HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk) (Indicadores de risco ambientais relacionados ao uso de produtos fitossanitários) é uma metodologia mais recente desenvolvida pela comunidade Europeia, também utilizada para calcular esses índices de risco, no qual foram adicionados mais módulos e indicadores, além da utilização de diferentes valores toxicológicos de referência (GARREYN et al., 2007; KRUIJNE et al., 2011).

Como essas duas metodologias foram desenvolvidas na Europa, é importante cada país usar informações (toxicológicas, propriedades físico-químicas de fitossanitários, curvas de deriva e climáticas) específicas da sua região, a fim de conferir maior precisão nas avaliações (RAMOS et al., 2000).

Convencionalmente, o risco do uso dos produtos de proteção de plantas é estimado por um indicador de risco (RI), calculado pela relação entre a exposição humana estimada ou uma concentração previsível no ambiente (PEC), e um determinado valor de referência toxicológico característico de cada ingrediente ativo (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; CUNHA et al., 2012).

Através do cálculo desses índices de risco é possível estabelecer zonas de segurança ou zonas tampão (*Buffer Zones*) a fim de reduzir a exposição, principalmente de corpos de água à deriva das pulverizações (EUROPEAN COMMISSION, 2009a). Essas zonas são faixas adjacentes de vegetação, as quais não podem receber a aplicação de produtos fitossanitários a fim de proteger determinada área sensível. A largura dessas zonas é baseada nas distâncias onde os índices de risco aceitáveis são obtidos (De

SCHAMPHELEIRE et al., 2007). O índice aceitável deve ser menor que 1 ( $RI < 1$ ); caso esse índice seja maior ou igual a 1, existe risco potencial de contaminação (CEC, 1994; VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; KRUIJNE et al., 2011).

Em algumas regiões agrícolas da Europa, a pouca disponibilidade de área para cultivo, além de ser um limitante para o aumento da produção, também limita o dimensionamento dessas zonas (PASSEPORT et al., 2013). Contudo, em muitas áreas agrícolas, a presença de cercas vivas ou faixas de vegetação local (árvores) e a criação de lagoas de retenção como barreira física têm contribuído significativamente para a mitigação da contaminação por produtos fitossanitários decorrente da deriva das pulverizações (GREGOIRE et al., 2009).

Como a extensão destas faixas é variável e depende das condições de aplicação, é necessário estudar a distância horizontal cuja gota pode percorrer em diferentes condições operacionais de pulverização para subsidiar o estabelecimento da extensão correta dessas zonas de segurança e permitir aplicações mais eficientes e ambientalmente seguras (ALVES; CUNHA, 2014).

A presença inevitável de moléculas de produtos fitossanitários no ambiente e a possibilidade de riscos à saúde, associadas à presença de resíduos em várias commodities, têm direcionado a comunidade de pesquisa para melhor avaliar a situação ambiental atual e propor medidas de mitigação (KASIOTIS et al., 2014).

Entretanto, no Brasil, os estudos envolvendo riscos de contaminação, principalmente em função da deriva, ainda são poucos difundidos e não há uma metodologia brasileira para realizar cálculos de índices de risco.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo calcular os índices de risco de contaminação ambiental e ocupacional decorrente da exposição à deriva de aplicações terrestres de fungicidas, herbicidas e inseticidas utilizados e recomendados para as culturas do feijão e da soja no Brasil, por meio das metodologias POCER e HAIR, além de estabelecer zonas de segurança para as aplicações desses produtos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As estimativas de risco proveniente da deriva de aplicações terrestres de produtos fitossanitários nas culturas do feijão e da soja foram calculadas de acordo com as modelagens propostas pela metodologia POCER (Pesticide Occupation and Environmental Risk) (Risco ocupacional e ambiental da aplicação de produtos fitossanitários) (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002) e HAIR (HARmonised environmental Indicators for pesticide Risk) (Indicadores de risco ambiental relacionados ao uso de produtos fitossanitários) (KRUIJNE et al., 2011).

E importante ressaltar que, para este trabalho foram calculados apenas riscos ambientais e ocupacionais provenientes das perdas decorrente da deriva das pulverizações. É possível também calcular esses riscos em função das perdas por escoamento de calda e erosão superficial.

Os índices de risco foram baseados nos depósitos de deriva (% drift) em função da distância da área aplicada em metros (z), os quais foram obtidos por meio das curvas de deriva geradas no capítulo I deste trabalho para cada ponta de pulverização (tamanho de gota), para as culturas do feijão e da soja cultivadas na região de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil (Tabela 1).

**Tabela 1.** Modelos de curva de deriva exponencial de quatro parâmetros estimados em Percentil 90 (P90) para as culturas do feijão e da soja, cultivadas no Brasil.

Feijão			Soja	
Ponta <sup>1</sup>	Equação <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
XR 11002	$\hat{Y} = 30,7647e^{-0,4949x} + 1,8278e^{-0,0347x}$	99,66	$\hat{Y} = 19,2760e^{-0,7277x} + 0,2732e^{-0,0353x}$	99,89
TT 11002	$\hat{Y} = 20,2565e^{-0,5923x} + 0,6914e^{-0,0077x}$	99,97	$\hat{Y} = 12,5031e^{-0,6532x} + 0,2362e^{-0,0353x}$	99,91
AIXR 11002	$\hat{Y} = 7,5039e^{-0,5222x} + 0,5485e^{-0,0046x}$	99,84	$\hat{Y} = 4,2753e^{-0,6477x} + 0,2092e^{-0,0305x}$	99,53
TTI 11002 <sup>3</sup>	$\hat{Y} = 6,7700e^{-0,5943x} + 0,5482e^{-0,0047x}$	99,90	-	

<sup>1</sup>Os tamanhos de gotas de cada ponta estão de acordo com as normas da ASAE e o catálogo do fabricante Teejet®, a 3 bar (300 kPa) de pressão: XR 11002= gotas finas; TT 11002= gotas médias; AIXR 11002= gotas grossas e TTI 11002 = gotas extremamente grossas. <sup>2</sup>Modelos significativos de acordo com o teste de F a 0,05 de significância. <sup>3</sup>Não houve ajuste de modelo de deriva para a ponta TTI, na cultura da soja.

Essas curvas de deriva são análogas ao “Modelo Holandês ou IMAG”, proposto por Holterman e van de Zande (2003) (regressões exponenciais decrescentes com quatro parâmetros).

Para calcular os Índices de Risco, partiu-se do seguinte pressuposto: a deriva das aplicações provoca principalmente riscos aos campos vizinhos e áreas residenciais, superfícies de água ou reservas naturais. Portanto, o foco desse estudo foram alvos suscetíveis à intoxicação pelas gotas derivadas. Assim, foram calculados os índices de risco para três diferentes grupos: indicadores de risco para organismos aquáticos (daphnia, algas e peixes), indicadores de risco para organismos terrestres (abelhas e minhocas) e indicadores de risco ocupacional (espectadores adultos, crianças e moradores).

Os produtos fitossanitários (fungicidas, herbicidas e inseticidas), cujos índices de risco foram calculados, foram selecionados de duas formas: primeiramente escolheram-se os produtos fitossanitários utilizados durante a condução das lavouras de feijão e soja, que foram as culturas alvo deste estudo; e segundo por meio de um levantamento realizado com consultores técnicos e produtores da região sobre os produtos mais utilizados nas culturas em questão. Selecionados os produtos, foram realizadas consultas ao site AGROFIT (MAPA, 2014) para verificar se todos possuíam registro para aplicação no Brasil.

E por fim, foram realizadas consultas à base de dados da Comissão Europeia (DG SANCO, 2014) e aos registros da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA, 2014) para obtenção dos dados ecotoxicológicos de cada produto, pois, a maioria das bulas dos produtos comercializados no Brasil não possuem todas as informações necessárias para os cálculos de risco. Os nomes e características dos produtos escolhidos encontram-se nos anexos 2, 3 e 4, assim como os dados ecotoxicológicos no anexo 5.

## **2.1 Indicadores de Risco para Organismos Aquáticos**

Os indicadores aquáticos expressam o risco para o ecossistema aquático (algas, daphnias e peixes) presente em lagos, rios, veredas e demais corpos d’água próximos às áreas agricultáveis e sujeitos à contaminação em função do depósito de partículas provenientes da deriva das aplicações de produtos fitossanitários.

As descrições e os valores dos parâmetros das equações utilizadas para o cálculo do índice de risco para organismos aquáticos e terrestres estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Descrições e valores empregados para o cálculo do índice de risco para organismos aquáticos (peixes, *daphnias* e algas) e terrestres (abelhas e minhocas).

Parâmetro	Descrição	Unidade	Valor utilizado na pesquisa
PEC <sub>OA</sub>	concentração ambiental previsível em organismos aquáticos	mg L <sup>-1</sup>	
AR	dose de ingrediente ativo aplicado	kg i.a ha <sup>-1</sup>	
%drift	porcentagem de deriva depositada	%	
n	número de vezes que a dose foi aplicada	-	1
d <sub>ditch</sub>	profundidade do curso de água	m	0,5 <sup>1</sup>
LC <sub>50</sub> Peixes	concentração letal do produto capaz de provocar a morte de 50% da população de peixes do teste	mg L <sup>-1</sup>	
EC <sub>50</sub> Daphnia	efeito letal do produto capaz de provocar a morte de 50% da população de <i>daphnia</i> ( <i>Daphnia</i> spp. Leydig)	mg L <sup>-1</sup>	
NOEC <sub>Algas</sub>	concentração de efeito não observado (concentração mais elevada de i.a incapaz de não causar efeitos adversos observáveis numa população de teste de algas)	mg L <sup>-1</sup>	
min(NORM <sub>OA</sub> )	referência de toxicidade para os organismos aquáticos	mg L <sup>-1</sup>	
LC <sub>50</sub> Abelhas	menor valor entre LD <sub>50</sub> oral e LD <sub>50</sub> de contato	µg i.a Abelha <sup>-1</sup>	
PEC <sub>Solo</sub>	concentração ambiental previsível no solo	mg kg <sup>-1</sup> solo	
f	fração de i.a depositado interceptado pela cultura	-	0 <sup>1</sup>
d <sub>Solo</sub>	profundidade de solo onde a deriva é depositada	m	0,05 <sup>1</sup>
ρ <sub>Solo</sub>	densidade do solo	kg m <sup>-3</sup>	1300 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Os coeficientes utilizados nas equações são definidos de acordo com as diretrizes da Norma Europeia nº 1107/2009 (European Commission, 2009b). <sup>2</sup>Valor da densidade do solo média para a área onde foram realizados os estudos de curva de deriva para as culturas do feijão e da soja (RESENDE et al., 2012).

De acordo com o indicador de riscos POCER, a Concentração Ambiental Previsível (PEC) para organismos aquáticos é expressa pela Equação 1 (VERCRUYSSSE; STEURBAUT; 2002):

$$PEC_{OA} = \frac{(AR \times \%drift) \times n}{d_{ditch} \times 1000} \quad \text{Equação 1}$$

O índice de risco para os organismos aquáticos (RI<sub>Organismos Aquáticos</sub>) foi calculado pela razão entra a PEC<sub>OA</sub> e o valor de referência de toxicidade para os organismos aquáticos (min (NORM<sub>OA</sub>)) (Equação 5), a qual baseia-se na toxicidade aguda para três grupos de organismos aquáticos (peixes, *daphnias* e algas). O menor dos três quocientes

é usado como a referência toxicológica (Equações 2 a 4) (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; CUNHA et al., 2012; BOZDOGAN, 2014).

$$Peixes = \frac{LC_{50\ Peixes}}{100} \quad \text{Equação 2}$$

$$Daphnias = \frac{EC_{50\ Daphnia}}{100} \quad \text{Equação 3}$$

$$Alg as = \frac{NOEC_{Alg as}}{10} \quad \text{Equação 4}$$

$$RI_{OrganismosAquáticos} = \frac{PEC_{OA}}{\min(NORM_{OA})} \quad \text{Equação 5}$$

No cálculo dos índices de risco para organismos aquáticos foi adotada a distância de 2,5 m a favor do vento, a partir da borda da área pulverizada, pois, além de representar o pior caso de deriva pela proximidade com a área pulverizada, esta é, em geral, a distância entre os carregadores e os talhões dentro de uma propriedade agrícola brasileira. De Schamphelire et al. (2007) estabeleceram distâncias ainda menores para calcular o índice de risco para organismos aquáticos e terrestres tendo como culturas alvo a cevada, batata, cana-de-açúcar e pastagens.

É importante ressaltar que a legislação ambiental brasileira estabelece uma distância mínima entre as áreas agrícolas e cursos de água (rios, córregos e lagos), a qual varia em função do tipo e do tamanho de cada corpo de água.

## 2.2 Indicadores de Risco para Organismos Terrestres

Com relação aos indicadores de risco terrestre, eles foram calculados para abelhas, pois são insetos benéficos sujeitos à contaminação por produtos fitossanitários principalmente quando as aplicações são realizadas no período da floração, período no qual esses insetos estão presentes em grande quantidade nas áreas cultivadas. O índice de risco agudo consiste na avaliação do impacto das gotas de pulverização de uma única aplicação na sobrevivência das abelhas (FLARI et al., 2007). Esse índice leva em consideração apenas a cultura cultivada em campo aberto, em período de pré-floração, floração ou em algum período de atração das abelhas, mas não leva em consideração a presença ou ausência de plantas infestantes em floração na área de aplicação.

O índice de risco para abelha ( $RI_{Abelhas}$ ) foi calculado pela Equação 6 (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; De SCHAMPHELEIRE et al., 2007; CUNHA, et al., 2012).

$$RI_{Abelhas} = \frac{AR \times \frac{\% drift}{100}}{(LD_{50Abelhas} \times 50)} \times 1000 \quad \text{Equação 6}$$

Foi calculado também o índice de risco para minhocas ( $RI_{Minhocas}$ ), pois as gotas podem se depositar no solo em função da deriva e contaminar os seres que vivem nele (Equação 8). Desta forma, o  $PEC_{Solo}$  utilizado para o cálculo é referente ao solo (Equação 7). Foi assumida uma profundidade de 5 cm de solo, onde a deriva é possivelmente depositada (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; De SCHAMPHELEIRE et al., 2007; BOZDOGAN, 2014).

$$PEC_{Solo} = \frac{(AR \times \% drift \times n \times (1 - f))}{(d_{Solo} \times \rho_{Solo})} \quad \text{Equação 7}$$

$$RI_{Minhocas} = \frac{PEC_{Solo} \times 10}{LC_{50 Minhocas}} \quad \text{Equação 8}$$

Para o cálculo dos índices de risco para organismos terrestres (minhocas e abelhas) também foi adotada a distância de 2,5 m a favor do vento, a partir da borda da área pulverizada.

### 2.3 Indicadores de Risco Ocupacional

Os indicadores de risco ocupacionais objetivam estimar o risco potencial de contaminação proveniente da deriva das aplicações de produtos fitossanitários para vários grupos de seres humanos sujeitos a exposição por esses produtos (espectadores adultos, crianças e residentes). As fórmulas para cálculo dos índices de risco ocupacional são semelhantes para os dois métodos de cálculo (POCER e HAIR).

As descrições e valores padrões dos parâmetros das equações utilizados para o cálculo do índice de risco ocupacional estão descritos na Tabela 3.



**Tabela 3.** Descrições e valores empregados para o cálculo do índice de risco ocupacional para espectadores adultos, crianças e residentes.

Parâmetro	Descrição	Unidade	Valor utilizado no estudo
DE <sub>Espectadores</sub>	exposição dermal dos espectadores	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
EA	área exposta do corpo	m <sup>2</sup> pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	0,4225 <sup>B</sup>
I <sub>Espectadores</sub>	exposição dos espectadores por inalação	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
Ia	exposição do aplicador por inalação	mg i.a kg <sup>-1</sup>	0,018 <sup>B</sup>
DED <sub>Espectadores</sub>	tempo de exposição diária de um espectador	min dia <sup>-1</sup>	1 <sup>B</sup>
ST	tempo de aplicação de um hectare	min ha <sup>-1</sup>	7,69 <sup>C</sup>
Ab <sub>DE</sub>	fator de absorção dermal	-	0,1 <sup>B</sup>
Ab <sub>I</sub>	fator de absorção por inalação	-	1,0 <sup>B</sup>
BW	peso corporal do espectador e residente adulto	kg	70 <sup>B</sup>
AOEL	nível de exposição aceitável do operador	mg kg <sup>-1</sup> de peso corporal dia <sup>-1</sup>	-
DE <sub>Crianças,Direta</sub>	exposição cutânea direta das crianças à deriva	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
EA <sub>Crianças</sub>	área exposta do corpo de uma criança	m <sup>2</sup> pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	0,2 <sup>B</sup>
DE <sub>Crianças,Gramado</sub>	exposição cutânea por inalação em função do contato da pele de uma criança com um gramado contaminado com gotas derivadas	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
TTR <sub>Grama</sub>	valor do resíduo transferido pela grama	-	0,05 <sup>B</sup>
TF	fator de transferência	cm <sup>2</sup> h <sup>-1</sup>	5200 <sup>B</sup>
DED <sub>Criança</sub>	tempo da exposição diária de uma criança	h dia <sup>-1</sup>	2 <sup>B</sup>
DE <sub>Criança,Grama</sub>	exposição cutânea em função da atividade de uma criança levar a mão à boca em um gramado contaminado com gotas derivadas	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
SE	fator de extração de saliva	-	0,50 <sup>B</sup>
EA <sub>Dedos</sub>	área exposta dos dedos	cm <sup>2</sup>	20 <sup>B</sup>
N <sub>Eventos</sub>	número de vezes que o evento mão-à-boca acontece	eventos h <sup>-1</sup>	20 <sup>B</sup>
DE <sub>Crianças,Objeto</sub>	exposição cutânea de uma criança em função da ingestão de resíduos de grama contaminada	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
TTR <sub>Objeto</sub>	valor do resíduo transferido pelo objeto	-	0,20 <sup>B</sup>
IgR	taxa de ingestão	cm <sup>2</sup> grama dia <sup>-1</sup>	25 <sup>B</sup>
I <sub>Crianças</sub>	exposição das crianças por inalação	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
BW <sub>Crianças</sub>	peso corporal do espectador criança	kg	15 <sup>B</sup>
DE <sub>Residentes</sub>	exposição dermal dos residentes	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
FA	frequência das aplicações	-	-
RD	dias de residência	dias	90 <sup>B</sup>
365	número de dias do ano	-	-
I <sub>Residentes</sub>	exposição dos residentes por inalação	mg i.a pessoa <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
DED <sub>Residentes</sub>	tempo de exposição diária	min dia <sup>-1</sup>	480 <sup>B</sup>
EF	frequência de exposição (3 meses/12meses=0,25)	-	0,25 <sup>B</sup>
YED	duração da exposição anual	-	1,0 <sup>B</sup>

<sup>B</sup>Valores pré-estabelecidos internacionalmente para cálculos de índice de risco ocupacional (GARREYN et al., 2007). <sup>C</sup>O tempo para a aplicação de um hectare foi calculado em função das condições operacionais nas quais o experimento de estimativa de curvas de deriva foi realizado, pressão: 3 Bar (300 kPa); velocidade de aplicação: 6,5 km h<sup>-1</sup>; largura da barra de pulverização: 12 m; taxa de aplicação: 150 L ha<sup>-1</sup>).

### - Espectadores Adultos

Referem-se às pessoas adultas situadas próximas à área no momento ou logo após a pulverização. Essas pessoas tiveram contato com a deriva de uma aplicação (consultores e vendedores, técnicos e agrônomos, e afins) por contato direto com a pele ou ainda, por inalação do produto.

As avaliações de risco agudo são medidas a distância fixa de 8 m da área de aplicação, considerando um percentil de deriva de 90% (EUROPOEM, 1996). Enquanto a exposição por inalação calculada para operadores é baseada em 6 horas diárias, para espectadores, esse valor é assumido como 1 minuto, em função de terem apenas uma breve exposição à deriva dos produtos fitossanitários. Assume-se que o espectador esteja usando roupa normal e o total de área/pele (pescoço, mãos e braços) descoberta (EA) seja de 0,4225 m<sup>2</sup> (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002).

A exposição de um espectador adulto por via dérmica ou inalação foi calculada de acordo com as equações 9 e 10, respectivamente:

$$DE_{Espectadores} = AR \times \%drift \times EA \quad \text{Equação 9}$$

$$I_{Espectadores} = \frac{I_a \times AR \times DED_{Espectadores}}{ST} \quad \text{Equação 10}$$

O índice de risco para espectadores adultos ( $RI_{Espectadores}$ ) foi calculado conforme a equação 11 (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; GARREYN et al., 2007; KRUIJNE et al., 2011; CUNHA et al., 2012).

$$RI_{Espectadores} = \frac{(DE \times Ab_{DE} + I \times Ab_I)}{BW \times AOEL} \quad \text{Equação 11}$$

### - Espectadores Crianças

Os indicadores de risco para espectadores crianças são um caso especial, pois as crianças são mais vulneráveis a contaminação em relação aos adultos. Assim, a exposição cutânea é a soma de várias formas de exposição (em função do contato direto

da pele com a deriva da pulverização – Equação 12; em função do contato da pele com um gramado contaminado com gotas derivadas – Equação 13; em função da ação de levar a mão à boca em um gramado contaminado com gotas derivadas – Equação 14; e em função da ingestão de resíduos de um gramado contaminado (ação de levar um objeto à boca) – Equação 15) (GARREYN et al., 2007). As avaliações de risco para crianças também são medidas a distância fixa de 8 m da área da aplicação (EUROPOEM, 1996).

$$DE_{Crianças Direto} = AR \times \%drift \times EA_{Crianças} \quad \text{Equação 12}$$

$$DE_{Crianças Gramado} = 10^{-4} \times AR \times \%drift \times TTR_{Gramado} \times TF \times DED_{Crianças} \quad \text{Equação 13}$$

$$DE_{Crianças Grama} = 10^{-4} \times AR \times \%drift \times TTR_{Gramado} \times SE \times EA_{Dedos} \times N_{Eventos} \times DED_{Crianças}$$

$$\quad \text{Equação 14}$$

$$DE_{Crianças Objeto} = 10^{-4} \times AR \times \%drift \times TTR_{Objeto} \times IgR \quad \text{Equação 15}$$

Assim, a exposição cutânea total para crianças foi calculada pela somatória de todas as formas de exposição cutânea (Equação 16):

$$DE_{Crianças Total} = DE_{Crianças Direto} + DE_{Crianças Gramado} + DE_{Crianças Grama} + DE_{Crianças Objeto}$$

$$\quad \text{Equação 16}$$

A exposição de espectadores crianças por inalação foi calculada de forma semelhante à calculada para expectadores adultos (Equação 17):

$$I_{Crianças} = \frac{I_a \times AR \times DED_{Crianças}}{ST} \quad \text{Equação 17}$$

Por fim, o índice de risco de contaminação para espectadores crianças ( $RI_{Crianças}$ ) também foi calculado de forma semelhante ao calculado para espectadores adultos

(VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; GARREYN et al., 2007; KRUIJNE et al., 2011; CUNHA et al., 2012).

$$RI_{Crianças} = \frac{(DE_{CriançasTotal} \times Ab_{DE} + I_{Crianças} \times Ab_I)}{BW_{Crianças} \times AOEL} \quad \text{Equação 18}$$

#### - Residentes:

O indicador de risco para residentes ou moradores descreve a exposição de pessoas que vivem próximas às áreas de cultivo. Os moradores podem estar sujeitos à uma única exposição, mas também a várias exposições, devido a repetidas aplicações em uma única cultura. Geralmente, a exposição dos residentes acontece por meio do contato direto da pele com as gotas derivadas da aplicação (Equação 19) ou mesmo por inalação dessas gotas quando elas se volatilizam (Equação 20).

O índice de risco para residentes foi calculado para a distância de 50 m da área alvo de aplicação a favor do vento conforme preconizado por Garreyn et al. (2007). Assim, foram utilizadas as porcentagens de deriva depositada para a distância de 50 m para cada ponta de aplicação, para as duas culturas.

O risco para residentes é calculado para múltiplas aplicações e é, portanto, de natureza crônica. Para fins de cálculo, foi utilizado o número máximo de aplicações de cada ingrediente ativo por ano, conforme indicado na bula de cada produto (Anexo 5).

$$DE_{Residentes} = AR \times \%drift \times FA \times EA \times \frac{RD}{365} \quad \text{Equação 19}$$

$$I_{Residentes} = \frac{I_a \times AR \times DED_{Residentes}}{ST} \times EF \times YED \quad \text{Equação 20}$$

O índice de risco para residentes ( $RI_{Residentes}$ ) foi calculado de acordo com a Equação 21 (VERCRUYSSSE; STEURBAUT, 2002; GARREYN et al., 2007; KRUIJNE et al., 2011; CUNHA et al., 2012).

$$RI_{Residentes} = \frac{(DE_{Residentes} \times Ab_{DE} + I_{Residentes} \times Ab_I)}{(BW \times AOEL)} \quad \text{Equação 21}$$

Diante dos índices de risco calculados foi possível definir a largura mínima da zona de segurança necessária para evitar o risco de contaminação por deriva dos produtos fitossanitários listados nos anexos 2, 3 e 4.

As zonas de segurança (ZS) foram calculadas apenas para os ingredientes ativos com índice de risco maior ou igual a um ( $RI \geq 1$ ). Essas estimativas foram realizados na própria planilha de cálculos utilizada para determinar o índice de risco. Quando um produto apresentava risco, aumentava-se a distância entre o alvo e a área aplicada, e consequentemente o percentual de deriva depositada e o índice de risco de contaminação para cada indicador diminuía. A distância capaz de proporcionar um índice menor que um ( $RI < 1$ ) foi considerada a distância mínima da zona de segurança para cada ingrediente ativo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Cultura do Feijão**

##### **3.1.1 Índice de Risco para Organismos Aquáticos**

Os fungicidas metconazole, prothioconazole e thiophanate-methyl; os herbicidas bentazone, fluazifop, flumioxazin, glyphosate, imaxamoxi e paraquat; e os inseticidas espinosad, imidacloprid e thiamethoxam apresentam baixo risco de contaminação ( $RI < 1$ ) aos organismos aquáticos localizados a 2,5 m de distância da área alvo de aplicação e se forem aplicados com qualquer uma das quatro pontas de pulverização (gotas finas, médias, grossas e extremamente grossas) (Tabela 4).

Em contrapartida, apesar do menor índice de risco quando se aumenta o tamanho de gotas da pulverização, os organismos aquáticos ainda estão em risco se forem aplicados os fungicidas, chlorothalonil e mancozeb; o herbicida trifluralin e os inseticidas abamectin, chlorpyrifos e lambda-cyhalothrin, sendo necessária uma zona de segurança superior a 50 m para esses produtos em todos os modelos de deriva (pontas).

Para aplicações do fungicida pyraclostrobin, o risco também foi decrescente quando se aumentou o tamanho de gotas, contudo a ponta XR (gotas finas) necessita de uma zona de segurança menor ( $ZS = 40$  m) quando comparada a zona da ponta TT ( $ZS > 50$  m). Esse fato possivelmente ocorreu em função da maior inclinação do modelo de deriva ajustado para a ponta XR junto as maiores distâncias em relação a curva da ponta TT. Próximo à distância de 50 m em relação a área alvo, a curva da ponta XR se aproxima mais da abscissa, gerando menores valores de deriva.

Outra possível explicação é com relação ao comportamento das gotas finas, as quais podem evaporar antes mesmo de sedimentar em alguma superfície (HILTZ; VERMER, 2013), e consequentemente podem proporcionar menor porcentagem de deriva depositada das gotas finas a longas distâncias (50 m) em relação às gotas médias e grossas.

Para os fungicidas carbendazim, procymidone e trifloxystrobin, os herbicidas haloxyfop-R-methyl ester e s-metolachlor, e o inseticida chlorantraniliprole, o aumento do tamanho de gotas reduziu o risco e o tamanho (distância) da zona de segurança, comprovando que aumentar o tamanho de gotas é uma forma segura de reduzir a contaminação por deriva.

**Tabela 4.** Índice de risco e zona de segurança para organismos aquáticos em função da deriva, a 2,5 m da área alvo, decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura do feijão.

<b>Fungicidas</b>								
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
carbendazim	3,5344	6,5 m	1,7620	4 m	0,8587	-	0,6914	-
chlorothalonil	83,7099	>50 m	41,7308	>50 m	20,3373	>50 m	16,3742	>50 m
mancozeb	65,3625	>50 m	32,5843	>50 m	15,8798	>50 m	12,7853	>50 m
metconazole	0,0404	-	0,0201	-	0,0098	-	0,0079	-
procymidone	1,1781	3 m	0,5873	-	0,2862	-	0,2305	-
prothioconazole	0,1427	-	0,0712	-	0,0347	-	0,0279	-
pyraclostrobin	22,9737	40 m	11,4528	>50 m	5,5815	38 m	4,4938	37 m
thiophanate-methyl	0,0302	-	0,0151	-	0,0073	-	0,0059	-
trifloxystrobin	14,4590	26,5 m	7,2081	9,5 m	3,5128	7 m	2,8283	6 m
<b>Herbicidas</b>								
bentazone	0,0239	-	0,0199	-	0,0058	-	0,0047	-
fluazifop-P-butyl	0,6841	-	0,3410	-	0,1662	-	0,1338	-
flumioxazin	0,0204	-	0,0102	-	0,0050	-	0,0040	-
glyphosate	0,0057	-	0,0029	-	0,0014	-	0,0011	-
haloxyfop-R methyl ester	1,1966	3 m	0,5965	-	0,2907	-	0,2341	-
imazamox	0,0005	-	0,0002	-	0,0001	-	0,0001	-
paraquat	0,2892	-	0,1442	-	0,0703	-	0,0566	-
s-metolachlor	2,0689	4,5 m	1,0314	3 m	0,5026	-	0,4047	-
trifluralin	57,8359	>50 m	8,8322	>50 m	14,0513	>50 m	11,3131	>50 m
<b>Inseticidas</b>								
abamectin	190,8586	>50 m	95,1463	>50 m	46,3691	>50 m	37,3332	>50 m
chlorantraniliprole	3,6563	6,5 m	1,8227	4 m	0,8883	-	0,7152	-
chlorpyrifos	12,723,91	>50 m	6,343,08	>50 m	3,091,27	>50 m	2,488,88	>50 m
spinosad	0,2036	-	0,1015	-	0,0495	-	0,0398	-
imidacloprid	0,0044	-	0,0022	-	0,0011	-	0,0009	-
lambda-cyhalothrin	133,8030	>50 m	66,7031	>50 m	32,5075	>50 m	26,1728	>50 m
thiamethoxam	0,0004	-	0,0002	-	0,0001	-	0,0001	-

RI<sub>OA</sub>: Indicador de risco para organismos aquáticos a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para organismos aquáticos considerando um risco menor ou igual a um.

A maioria dos ingredientes ativos com altos riscos de contaminação são classificados como altamente tóxicos (Classe Toxicológica I) e muito perigosos ao ambiente (Classificação ambiental II) (Anexos 2, 3 e 4), justificando os altos índices de risco encontrados para organismos aquáticos. Em longo prazo, este alto risco pode levar a mudanças nas comunidades de algas, peixes e invertebrados, como diminuição das

espécies mais sensíveis e/ou aumento das mais resistentes, com consequente perda de biodiversidade (PALMA et al., 2014). Contudo, a avaliação levou em conta a pior situação possível, ou seja, a 2,5 m da área alvo. À medida que se afasta desta área, o risco é reduzido e, na maioria dos casos, passa a ser aceitável.

As empresas fabricantes de produtos fitossanitários desenvolverem moléculas de produtos fitossanitários menos tóxicas ao ambiente e o governo local estimular os produtores a adquirir produtos com menor toxicidade e periculosidade ambiental são algumas possíveis soluções para reduzir esse risco.

Contudo, na impossibilidade de postergar a aplicação com produtos de menor impacto ambiental, faz-se necessário adotar outras medidas de redução de deriva, como a utilização de adjuvantes, ajustes da taxa de aplicação (CUNHA et al., 2012), além do uso de pontas com indução de ar (como as pontas AIXR 11002 e TTI 11002) pois, como consta na Tabela 4, a utilização de gotas grossas e extremamente grossas reduziu o índice de risco para uma série de ingredientes ativos.

Em um estudo de avaliação de risco de fungicidas recomendados para a cultura do trigo na Turquia, os ingredientes ativos carbendazim, prothioconazole, thiophanate-methyl e trifloxystrobin não apresentaram risco de contaminação para organismos aquáticos, terrestres e espectadores (RI=0) (BOZDOGAN, 2014), corroborando em parte com os resultados desta pesquisa. Os ingredientes carbendazim (não apresentou potencial de risco quando aplicado com as pontas com indução de ar) e trifloxystrobin apresentaram risco apenas para organismos aquáticos.

No trabalho de Bozdogan (2014), a equação de deriva utilizada para o cálculo de risco foi baseada no “Modelo Alemão” de Ganzelmeier et al. (1995) (modelo potencial decrescente de dois parâmetros), enquanto neste trabalho foram utilizadas equações específicas para a cultura do feijão estimadas pelos próprios autores. As quais têm o mesmo comportamento das curvas de Holterman e van de Zande (2003) (“Modelo Holandês ou IMAG” - regressões exponenciais decrescentes de quatro parâmetros).

Na Bélgica, aplicações de mancozeb em batata, e carbendazim em cana-de-açúcar e maçã também causaram altos índices de riscos para organismos aquáticos, requerendo diferentes tamanhos de zonas de segurança (>20 m para batata e cana e 29 m para maçã). Os autores avaliaram o risco do herbicida paraquat, o qual também causou risco para organismos aquáticos quando aplicado em pastagem (ZS>20 m) (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007), contudo, o herbicida não apresentou potencial de risco para indicadores aquáticos na cultura do feijão (Tabela 4).



Essas divergências entre resultados de pesquisas envolvendo índices de riscos de contaminação por deriva de produtos fitossanitários reafirmam a citação de Ramos et al. (2000) a qual destaca a importância desses cálculos serem realizados usando informações específicas da região da aplicação, a fim de se obter maior precisão na avaliação (RAMOS et al., 2000) dos riscos ambientais.

### **3.1.2 Índice de Risco para Organismos Terrestres**

Ao analisar o índice de risco para abelhas (Tabela 5), apenas os inseticidas foram capazes de causar risco de contaminação, com exceção de chlorantraniliprole e lambda-cyhalothrin. Com o aumento do tamanho de gotas, o índice de risco para abamectin e thiamethoxam foi reduzido, dessa forma, quanto maior o tamanho de gota (extremamente grossa < grossas < médias < finas) menor o tamanho da zona de segurança requerida.

Apesar do risco para abelhas ser maior para as gotas finas, a zona de segurança requerida pela ponta XR (ZS= 38 m) foi menor quando comparada a zona requerida pela ponta TT (ZS= 44,5 m) para o ingrediente chlorpyrifos. Novamente se explica esse comportamento em função da maior inclinação da curva de deriva ajustada para a ponta XR junto às maiores distâncias, em relação às curvas da ponta TT.

Spinosad e imidacloprid apresentaram alto risco, inclusive com o uso de gotas grossas (AIXR) e extremamente grossas (TTI), assim, se houver uma cultura em estágio reprodutivo sendo polinizada por abelhas numa área vizinha a área alvo, dentro de um raio de 50 m, a aplicação desses produtos não é segura e pode causar danos aos insetos.

Os ingredientes imidacloprid e thiamethoxam são inseticidas do grupo dos neonicotinóides amplamente utilizado na agricultura para controle de pulgões e moscas-brancas (ELBERT et al., 2008), e atuam como agonistas dos receptores de acetilcolina (MASTUDA et al., 2001). Alguns estudos têm relatado o declínio da população de abelhas polinizadoras (*Apis mellifera* L. 1758) (Hymenoptera: Apidae) nos últimos anos, em função principalmente de intoxicação decorrente do uso constante de produtos fitossanitários, principalmente os inseticidas do grupo dos neonicotinóides (CRESSWELL, 2011; HENRY et al., 2012; SCHNEIDER et al., 2012).

Essa afirmação se baseou em estudos nos quais, traços desses ingredientes ativos foram detectados no pólen e néctar coletados de plantas (trigo, girassol e milho) pulverizadas com imidacloprid, consequentemente potencializando a exposição das

abelhas em larga escala aos resíduos desses produtos (RORTAIS et al., 2005; ELBERT et al., 2008; CRESSWELL, 2011; BLACQUIÈRE et al., 2012); e em plantas de abóbora, alface, canola e girassol pulverizadas com thiamethoxam (DIVELY; KAMEL, 2012; HENRY et al., 2012).

**Tabela 5.** Índice de risco e zona de segurança para abelhas em função da deriva, a 2,5 m da área alvo, decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura do feijão.

<b>Fungicidas</b>								
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
carbendazim	0,0106	-	0,0053	-	0,0026	-	0,0021	-
chlorothalonil	0,0795	-	0,0396	-	0,0193	-	0,0156	-
mancozeb	0,0339	-	0,0169	-	0,0082	-	0,0066	-
metconazole	0,0010	-	0,0005	-	0,0002	-	0,0002	-
procymidone	0,0212	-	0,0106	-	0,0052	-	0,0041	-
prothioconazole	0,0026	-	0,0013	-	0,0006	-	0,0005	-
pyraclostrobin	0,0019	-	0,0009	-	0,0005	-	0,0004	-
thiophanate-methyl	0,0016	-	0,0008	-	0,0004	-	0,0003	-
trifloxystrobin	0,0008	-	0,0004	-	0,0002	-	0,0002	-
<b>Herbicidas</b>								
bentazone	0,0076	-	0,0038	-	0,0019	-	0,0015	-
fluazifop-P-butyl	0,0021	-	0,0011	-	0,0005	-	0,0004	-
flumioxazin	0,0003	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-
glyphosate	0,0534	-	0,0266	-	0,0130	-	0,0105	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0011	-	0,0005	-	0,0003	-	0,0002	-
imazamox	0,0015	-	0,0007	-	0,0004	-	0,0003	-
paraquat	0,1374	-	0,0685	-	0,0334	-	0,0269	-
s-metolachlor	0,0299	-	0,0149	-	0,0073	-	0,0059	-
trifluralin	0,0509	-	0,0254	-	0,0124	-	0,0100	-
<b>Inseticidas</b>								
abamectin	10,4105	17,5 m	5,1898	7 m	2,5292	5,5 m	2,0364	4,5
chlorantraniliprole	0,0116	-	0,0053	-	0,0026	-	0,0021	-
chlorpyrifos	21,5659	38 m	10,7510	44,5 m	5,2394	24 m	4,2184	23,5 m
spinosad	56,5507	> 50 m	28,1915	>50 m	13,7390	>50 m	11,0617	>50 m
imidacloprid	100,3011	>50 m	50,0018	>50 m	24,3682	>50 m	19,6196	>50 m
lambda-cyhalothrin	0,7394	-	0,3686	-	0,1796	-	0,1446	-
thiamethoxam	7,4753	11 m	3,7266	6 m	1,8161	4,5 m	1,4622	3,5 m

RI<sub>A</sub>: Indicador de risco para abelhas a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para abelhas considerando um risco igual a um.

Dessa forma, é fundamental investir no uso de produtos menos tóxicos às abelhas, pois além desses insetos serem essenciais para quase todos os ecossistemas terrestres, incluindo a agricultura por serem agentes polinizadores, são excelentes

indicadores de poluição ambiental (THOMPSON, 2003) e fonte de renda para produtores de mel por meio da atividade de apicultura. Verifica-se também a importância do conhecimento e utilização das técnicas de redução de deriva.

Nas condições experimentais dessa pesquisa, não foram observados risco de contaminação para minhocas ( $RI_M < 1$ ) para nenhum dos ingredientes ativos listados na Tabela 6, caso esses organismos estejam localizadas a uma distância igual ou superior a 2,5 m da área de cultivo.

**Tabela 6.** Índice de risco e zona de segurança para minhocas em função da deriva, a 2,5 m da área alvo, decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura do feijão.

<b>Fungicidas</b>								
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	$RI_M$	$ZS_{RI=1}$	$RI_M$	$ZS_{RI=1}$	$RI_M$	$ZS_{RI=1}$	$RI_M$	$ZS_{RI=1}$
carbendazim	0,0755	-	0,0376	-	0,0183	-	0,0148	-
chlorothalonil	0,0091	-	0,0045	-	0,0022	-	0,0018	-
mancozeb	0,0123	-	0,0061	-	0,0030	-	0,0024	-
metconazole	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
procymidone	0,0016	-	0,0008	-	0,0004	-	0,0003	-
prothioconazole	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
pyraclostrobin	0,0002	-	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
thiophanate-methyl	0,0095	-	0,0047	-	0,0023	-	0,0019	-
trifloxystrobin	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Herbicidas</b>								
bentazone	0,0014	-	0,0007	-	0,0003	-	0,0003	-
fluazifop-P-butyl	0,0007	-	0,0003	-	0,0002	-	0,0001	-
flumioxazin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
glyphosate	0,0086	-	0,0043	-	0,0021	-	0,0017	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
imazamox	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	0,0010	-	0,0005	-	0,0002	-	0,0002	-
s-metolachlor	0,0034	-	0,0017	-	0,0008	-	0,0007	-
trifluralin	0,0078	-	0,0039	-	0,0019	-	0,0015	-
<b>Inseticidas</b>								
abamectin	0,0011	-	0,0005	-	0,0003	-	0,0002	-
chlorantraniliprole	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
chlorpyrifos	0,0076	-	0,0038	-	0,0018	-	0,0015	-
spinosad	0,0003	-	0,0002	-	0,0001	-	0,0001	-
imidacloprid	0,0267	-	0,0133	-	0,0065	-	0,0052	-
lambda-cyhalothrin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
thiamethoxam	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-

$RI_M$ : Indicador de risco para minhocas a 2,5 m da área alvo de aplicação;  $ZS_{RI=1}$ : Zona de segurança para minhocas considerando um risco igual a um.

Em um estudo de avaliação de risco de deriva de produtos fitossanitários em citrus na Espanha, dentre eles o fungicida mancozeb e os inseticidas abamectin e chlorpyrifos, não foi observado risco em minhocas para nenhum desses ingredientes. Para abelhas polinizadoras, mancozeb não foi capaz de causar risco, mas os dois inseticidas causaram altos riscos de contaminação. Ambos os organismos terrestres se encontravam localizadas a 3 m da área alvo de aplicação (CUNHA et al., 2012).

A aplicação de mancozeb em batata, carbendazim em cana-de-açúcar e maçã anã e paraquat em pastagens em Flandres (Bélgica) também proporcionou baixo risco de contaminação para minhocas (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007), corroborando com os resultados apresentados no presente trabalho.

### **3.1.3 Índice de Risco Ocupacional**

De todos os ingredientes ativos estudados, apenas o herbicida paraquat foi capaz de causar risco ocupacional para espectadores adultos, crianças e residentes. Para espectadores o risco foi causado apenas se o produto for aplicado com gotas finas (ponta XR), para tal é necessária uma zona de segurança de 12 m (Tabela 7). Para a aplicação de paraquat com as demais pontas (TT, AIXR e TTI) e para os demais ingredientes ativos, a distância de 8 m da área alvo de aplicação foi considerada segura para espectadores ( $RI < 1$ ).

Os espectadores são pessoas localizadas dentro, ou diretamente adjacente à área no momento da aplicação (GARREYEN et al., 2007), e normalmente não utilizam equipamentos de proteção individual (EPI), (luvas e protetor facial), como em geral os operadores de máquinas e as pessoas que trabalham diretamente com a aplicação utilizam para manusear produtos fitossanitários. E por não possuírem proteção especial contra os fitossanitários, os espectadores podem estar diretamente expostos aos produtos químicos (YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN, 2009).

De Schampheleire et al. (2007) também avaliaram o risco de contaminação para espectadores, contudo não encontraram risco para a aplicação de paraquat em pastagens. Os autores utilizaram como fonte dos dados de deriva as equações exponenciais de quatro parâmetros propostas por Holterman e van de Zande (2003).

**Tabela 7.** Índice de risco ocupacional e zona de segurança para espectadores adultos em função da deriva decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura do feijão.

Ingrediente Ativo	Fungicidas							
	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	RI <sub>E</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>E</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>E</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>E</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
carbendazim	0,0015	-	0,0007	-	0,0005	-	0,0005	-
chlorothalonil	0,2039	-	0,0888	-	0,0703	-	0,0646	-
mancozeb	0,0787	-	0,0343	-	0,0271	-	0,0249	-
metconazole	0,0049	-	0,0021	-	0,0017	-	0,0015	-
procymidone	0,0350	-	0,0152	-	0,0121	-	0,0111	-
prothioconazole	0,0005	-	0,0002	-	0,0002	-	0,0002	-
pyraclostrobin	0,0053	-	0,0023	-	0,0018	-	0,0017	-
thiophanate-methyl	0,0012	-	0,0005	-	0,0004	-	0,0004	-
trifloxystrobin	0,0015	-	0,0007	-	0,0005	-	0,0005	-
Herbicidas								
bentazone	0,0068	-	0,0030	-	0,0023	-	0,0021	-
fluazifop-P-butyl	0,0122	-	0,0053	-	0,0042	-	0,0039	-
flumioxazin	0,0017	-	0,0007	-	0,0006	-	0,0005	-
glyphosate	0,0154	-	0,0067	-	0,0053	-	0,0049	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0122	-	0,0053	-	0,0042	-	0,0039	-
imazamox	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	1,4682	12 m	0,6394	-	0,5064	-	0,4648	-
s-metolachlor	0,0098	-	0,0043	-	0,0034	-	0,0031	-
trifluralin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
Inseticidas								
abamectin	0,0053	-	0,0023	-	0,0018	-	0,0017	-
chlorantraniliprole	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
chlorpyrifos	0,0734	-	0,0320	-	0,0253	-	0,0232	-
spinosad	0,0049	-	0,0021	-	0,0017	-	0,0015	-
imidacloprid	0,0027	-	0,0012	-	0,0009	-	0,0008	-
lambda-cyhalothrin	0,0065	-	0,0028	-	0,0022	-	0,0021	-
thiamethoxam	0,0003	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-

RI<sub>E</sub>: Indicador de risco para espectadores adultos a 8 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para espectadores adultos considerando um risco igual a um.

Uma forma de se evitar a contaminação de espectadores é a utilização de técnicas apropriadas para redução de deriva, como o uso de pontas de baixa deriva ou indução de ar (como as pontas AIXR 11002 e TTI 11002), as quais apesar de proporcionarem menor cobertura superficial, geram gotas menos propensas ao deslocamento pelo vento (NUYTTENS et al., 2011; HILTZ; VERMEER, 2013). Essas pontas mostraram-se eficientes na redução do risco de contaminação por paraquat na cultura do feijão, como mostra a Tabela 7.

Para crianças e residentes, nem mesmo o aumento do tamanho de gotas foi suficiente para reduzir o índice de risco de contaminação por paraquat a valores menores a um, sendo necessária uma zona de segurança superior a 50 m para todas as pontas e para os dois indicadores (Tabelas 8 e 9).

**Tabela 8.** Índice de risco ocupacional e zona de segurança para crianças em função da deriva decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura do feijão.

<b>Fungicidas</b>								
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	RI <sub>C</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>C</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>C</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>C</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
carbendazim	0,0046	-	0,0021	-	0,0018	-	0,0016	-
chlorothalonil	0,6096	-	0,2860	-	0,2341	-	0,2178	-
mancozeb	0,2351	-	0,1103	-	0,0903	-	0,0840	-
metconazole	0,0146	-	0,0069	-	0,0056	-	0,0052	-
procymidone	0,1045	-	0,0490	-	0,0401	-	0,0373	-
prothioconazole	0,0016	-	0,0008	-	0,0006	-	0,0006	-
pyraclostrobin	0,0158	-	0,0074	-	0,0061	-	0,0057	-
thiophanate-methyl	0,0035	-	0,0017	-	0,0014	-	0,0013	-
trifloxystrobin	0,0046	-	0,0021	-	0,0018	-	0,0016	-
<b>Herbicidas</b>								
bentazone	0,0203	-	0,0095	-	0,0078	-	0,0072	-
fluazifop-P-butyl	0,0366	-	0,0172	-	0,0140	-	0,0131	-
flumioxazin	0,0051	-	0,0024	-	0,0020	-	0,0018	-
glyphosate	0,0461	-	0,0216	-	0,0177	-	0,0165	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0365	-	0,0171	-	0,0140	-	0,0130	-
imazamox	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	4,3839	>50 m	2,0591	>50 m	1,6852	>50 m	1,5682	>50 m
s-metolachlor	0,0293	-	0,0137	-	0,0112	-	0,0105	-
trifluralin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Inseticidas</b>								
abamectin	0,0158	-	0,0074	-	0,0061	-	0,0056	-
chlorantraniliprole	0,0002	-	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-
chlorpyrifos	0,2194	-	0,1030	-	0,0843	-	0,0784	-
spinosad	0,0146	-	0,0069	-	0,0056	-	0,0052	-
imidacloprid	0,0080	-	0,0038	-	0,0031	-	0,0029	-
lambda-cyhalothrin	0,0194	-	0,0091	-	0,0074	-	0,0069	-
thiamethoxam	0,0008	-	0,0004	-	0,0003	-	0,0003	-

RI<sub>C</sub>: Indicador de risco ocupacional para crianças a 8 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para crianças considerando um risco igual a um.

Para pulverizações com os demais produtos, o índice de risco foi inferior a um, sendo considerado baixo. Cunha et al. (2012) também não observaram riscos para

espectadores adultos e residentes quando aplicaram abamectin, chlorpyrifos e mancozeb (utilizando o “Modelo Holandês” de deriva para os cálculos); chlorpyrifos causou risco apenas para crianças.

**Tabela 9.** Índice de risco ocupacional e zona de segurança para residentes em função da deriva decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura do feijão.

<b>Fungicidas</b>								
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)		Gotas Extremamente Grossas (TTI 11002)	
	RI <sub>R</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>R</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>R</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>R</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
carbendazim	0,0051	-	0,0052	-	0,0052	-	0,0052	-
chlorothalonil	0,6848	-	0,6921	-	0,6904	-	0,6903	-
mancozeb	0,2734	-	0,2805	-	0,2788	-	0,2787	-
metconazole	0,0168	-	0,0172	-	0,0171	-	0,0171	-
procymidone	0,1174	-	0,1186	-	0,1184	-	0,1183	-
prothioconazole	0,0018	-	0,0018	-	0,0018	-	0,0018	-
pyraclostrobin	0,0182	-	0,0186	-	0,0185	-	0,0185	-
thiophanate-methyl	0,0040	-	0,0041	-	0,0040	-	0,0040	-
trifloxystrobin	0,0052	-	0,0053	-	0,0053	-	0,0053	-
<b>Herbicidas</b>								
bentazone	0,0225	-	0,0226	-	0,0226	-	0,0226	-
fluazifop-P-butyl	0,0406	-	0,0408	-	0,0408	-	0,0408	-
flumioxazin	0,0056	-	0,0057	-	0,0057	-	0,0057	-
glyphosate	0,0524	-	0,0532	-	0,0530	-	0,0530	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0405	-	0,0407	-	0,0407	-	0,0407	-
imazamox	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	4,9303	> 50 m	4,9832	> 50 m	4,9708	> 50 m	4,9700	> 50 m
s-metolachlor	0,0325	-	0,0327	-	0,0326	-	0,0326	-
trifluralin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Inseticidas</b>								
abamectin	0,0180	-	0,0182	-	0,0182	-	0,0182	-
chlorantraniliprole	0,0002	-	0,0002	-	0,0002	-	0,0002	-
chlorpyrifos	0,2465	-	0,2492	-	0,2485	-	0,2485	-
spinosad	0,0166	-	0,0169	-	0,0168	-	0,0168	-
imidacloprid	0,0089	-	0,0089	-	0,0089	-	0,0089	-
lambda-cyhalothrin	0,0218	-	0,0220	-	0,0220	-	0,0220	-
thiamethoxam	0,0009	-	0,0009	-	0,0009	-	0,0009	-

RI<sub>R</sub>: Indicador de risco ocupacional para residentes a 50 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para residentes considerando um risco igual a um.

O inseticida chlorpyrifos causou altos índices de risco para organismos aquáticos e abelhas, no entanto não causou risco de contaminação ocupacional (espectadores, crianças e residentes) (Tabelas 7, 8 e 9). Em teoria, esperava-se que esse ingrediente

fosse capaz de causar riscos para pessoas, pois, além do seu uso ser proibido em vários países do mundo em função de problemas relacionados a riscos à saúde humana, desde o ano de 2004 no Brasil, a ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária) proibiu a comercialização, a produção e a distribuição de inseticidas para uso doméstico e em ambientes coletivos à base de chlorpyrifos. Essa decisão foi tomada a partir da reavaliação do produto, a qual considerou as intoxicações causadas pelo ingrediente ativo capazes de provocar distúrbios cerebrais e no desenvolvimento de crianças decorrentes da ação neurotóxica desse inseticida (ANVISA, 2004).

Contudo, novos estudos envolvendo contaminação por esse inseticida devem ser realizados, a fim de se determinar quais as formas passíveis de contaminação humana por esse produto (contato, ingestão, dérmica). Pois, de acordo com o presente trabalho, há pouco risco de contaminação ocupacional quando se respeita a distância mínima da zona de segurança requerida por cada indicador quando há aplicações de chlorpyrifos.

Em geral, os índices de risco para os produtos recomendados para a cultura do feijão foram maiores para os organismos aquáticos. Assim, as leis que regem as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal, devem ser cumpridas e fiscalizadas com afinco. Pois a contaminação pela deriva de alguns produtos fitossanitários mais tóxicos (principalmente fungicidas e inseticidas) é eminente para os organismos aquáticos habitantes de lagos e rios localizados próximos a áreas agricultáveis, quando a distância mínima exigida entre uma lavoura e um curso de água não é respeitada.

As águas de superfície localizadas próximas a áreas de agricultura intensiva são as mais vulneráveis a contaminação, sendo uma grande preocupação, principalmente se a água for destinada ao consumo humano (PALMA et al., 2014). Por outro lado, verifica-se a existência de segurança ambiental no uso desses produtos, se forem respeitadas as distâncias mínimas recomendadas entre cursos de água e áreas de lavouras.

## **3.2 Cultura da Soja**

### **3.2.1 Índice de Risco para Organismos Aquáticos**

O fungicida carbendazim e o herbicida s-metolachlor apresentaram risco para organismos aquáticos, apenas se forem pulverizados com gotas finas (ponta XR) e



portanto exigem uma zona de segurança de pelo menos 3 m de distância da área de aplicação (Tabela 10).

**Tabela 10.** Índice de risco e zona de segurança para organismos aquáticos em função da deriva, a 2,5 m da área alvo, decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura da soja.

Ingrediente Ativo	Fungicidas					
	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)	
	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
azoxystrobin	0,3116	-	0,2454	-	0,0961	-
cyproconazole	0,0772	-	0,6608	-	0,0238	-
carbendazim	1,1252	3,0 m	0,8862	-	0,3469	-
chlorothalonil	26,6501	22 m	20,9892	18 m	8,2149	16,5 m
metconazole	0,0154	-	0,0122	-	0,0048	-
procymidone	0,1875	-	0,1477	-	0,0578	-
prothioconazole	0,0364	-	0,0286	-	0,0112	-
pyraclostrobin	8,7768	7 m	6,9125	6,5 m	2,7054	5 m
thiophanate-methyl	0,0525	-	0,0414	-	0,0162	-
trifloxystrobin	3,6826	5 m	2,9003	4,5 m	1,1351	3 m
	Herbicidas					
	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
2,4 D amine	0,0073	-	0,0057	-	0,0022	-
bentazone	0,0076	-	0,0060	-	0,0023	-
fluazifop-P-butyl	0,2178	-	0,1715	-	0,0671	-
flumioxazin	0,0130	-	0,0102	-	0,0040	-
glyphosate	0,0018	-	0,0014	-	0,0006	-
haloxyfop-R methyl ester	0,4762	-	0,3750	-	0,1468	-
paraquat	0,0921	-	0,0725	-	0,0284	-
s-metolachlor	1,0539	3 m	0,8300	-	0,3249	-
trifluralin	18,4128	12 m	14,5017	10,5 m	5,6757	8,5 m
	Inseticidas					
	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>OA</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
chlorantraniliprole	0,4365	-	0,3438	-	0,1346	-
chlorpyrifos	2.592,5184	> 50 m	2.041,8336	> 50 m	799,1444	> 50 m
spinosad	0,0162	-	0,0128	-	0,0050	-
flubendiamide	0,3781	-	0,2978	-	0,1165	-
lambda-cyhalothrin	68,1565	48,5 m	53,6792	44,5 m	21,0093	47,5 m
lufenuron	5,8425	5,5 m	4,6015	5,5 m	1,8010	4 m
methomyl	17,0769	11 m	13,4496	9,5 m	5,2640	8 m
thiamethoxam	0,0002	-	0,0001	-	0,0001	-

RI<sub>OA</sub>: Indicador de risco para organismos aquáticos a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para organismos aquáticos considerando um risco menor ou igual a um.

Os fungicidas chlorothalonil, pyraclostrobin e trifloxystrobin, o herbicida trifluralin e os inseticidas lambda-cyhalothrin, lufenuron e methomyl apresentaram risco de contaminação se aplicados com qualquer um dos três padrões de gotas estudados:

finas, médias e grossas (pontas XR 11002, TT 11002 e AIXR 11002); contudo, o aumento do tamanho de gotas reduziu o índice de risco e, conseqüentemente, diminuiu a distância da zona de segurança requerida por esses ingredientes ativos (Tabela 10), com exceção do lambda-cyhalothrin em virtude da inclinação das curvas nas distâncias próximas a 50 m, conforme explicado anteriormente.

O aumento do tamanho de gotas (de fina para grossa) não conseguiu reduzir apenas o índice de risco do inseticida chlorpyrifos, e, portanto exigiu uma zona de segurança superior a 50 m, resultado semelhante ao encontrado para a cultura do feijão.

O chlorpyrifos é um inseticida do grupo dos organofosforados amplamente utilizado no Brasil, e é o único produto registrado para aplicação em três vias: aérea, terrestre e quimigação. Contudo, é um produto capaz de causar altos riscos de contaminação para organismos aquáticos, principalmente devido às baixas concentrações cujas espécies de *Daphnia spp.* são afetadas (EPA, 2002). Dessa forma, os altos valores de risco e a necessidade do estabelecimento de grandes faixas de zona de segurança já eram esperados para esse ingrediente ativo.

A criação de zonas de segurança, além de ser uma barreira quando há deriva nas pulverizações (parte das gotas podem afastar-se da área pulverizada e ser depositada em outros lugares), também ajudam a limitar o fluxo de transferência de resíduos de produtos para águas superficiais e subterrâneas devido as perdas para o solo (CARLUER et al., 2011).

Assim, é fundamental que se cumpram as leis ambientais, respeitando-se a distância entre as áreas agricultáveis e as áreas de reserva legal, de preservação permanente e os corpos de água, a fim de reduzir ao máximo a contaminação desses locais e dos seres que vivem nos ambientes aquáticos. Novamente, neste estudo foi considerada a pior situação, na qual o curso de água se encontra a 2,5 m da área alvo.

### **3.2.2 Índice de Risco para Organismos Terrestres**

Não foi comprovado risco de contaminação em função da deriva provocada pela aplicação dos fungicidas e herbicidas avaliados na cultura da soja para abelhas localizadas a 2,5 m de distância da área alvo (Tabela 11).

**Tabela 11.** Índice de risco e zona de segurança para abelhas em função da deriva, a 2,5 m da área alvo, decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura da soja.

<b>Fungicidas</b>						
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)	
	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>A</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
azoxystrobin	0,0016	-	0,0013	-	0,0005	-
cyproconazole	0,0002	-	0,0001	-	0,0000	-
carbendazim	0,0034	-	0,0027	-	0,0010	-
chlorothalonil	0,0253	-	0,0199	-	0,0078	-
metconazole	0,0004	-	0,0003	-	0,0001	-
procymidone	0,0034	-	0,0027	-	0,0010	-
prothioconazole	0,0007	-	0,0005	-	0,0002	-
pyraclostrobin	0,0007	-	0,0006	-	0,0002	-
thiophanate-methyl	0,0028	-	0,0022	-	0,0009	-
trifloxystrobin	0,0002	-	0,0002	-	0,0001	-
<b>Herbicidas</b>						
2,4 D amine	0,0078	-	0,0061	-	0,0024	-
bentazone	0,0024	-	0,0019	-	0,0007	-
fluazifop-P-butyl	0,0007	-	0,0005	-	0,0002	-
flumioxazin	0,0002	-	0,0001	-	0,0001	-
glyphosate	0,0170	-	0,0134	-	0,0052	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0004	-	0,0003	-	0,0001	-
paraquat	0,0437	-	0,0345	-	0,0135	-
s-metolachlor	0,0153	-	0,0120	-	0,0047	-
trifluralin	0,0162	-	0,0128	-	0,0050	-
<b>Inseticidas</b>						
chlorantraniliprole	0,0013	-	0,0010	-	0,0004	-
chlorpyrifos	4,3941	5 m	3,4607	5 m	1,3545	3,5 m
spinosad	4,5009	5 m	3,5449	5 m	1,3874	3,5 m
flubendiamide	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-
lambda-cyhalothrin	0,3767	-	0,2966	-	0,1161	-
lufenuron	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
methomyl	1,8144	3,5 m	1,4229	3,5 m	0,5593	-
thiamethoxam	3,8078	5 m	2,9989	4,5 m	1,1737	3 m

RI<sub>A</sub>: Indicador de risco para abelhas a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para abelhas considerando um risco igual a um.

Os inseticidas chlorpyrifos, spinosad e thiamethoxam apresentaram potencial de contaminação para todos os tamanhos de gota (RI>1). O aumento dessas gotas reduziu o índice de risco para esses ativos, contudo este só foi inferior a um quando se estabeleceram zonas de segurança entre 3 e 5 m de distância. O ingrediente methomyl

também apresentou risco com a utilização de gotas finas e médias (ZS= 3,5m), com a utilização de gotas grossas não apresentou potencial de risco (RI=0,5593) (Tabela 11).

Chlorpyrifos é altamente tóxico para abelhas, e assim como aconteceu para organismos aquáticos, já era esperado algum tipo de risco (EPA, 2002). Contudo, para a cultura da soja, quando se aumentou o tamanho de gotas das pontas (gotas grossas – ponta AIXR 11002), foi possível reduzir o risco desse ingrediente para valores inferiores a um.

O spinosad é um inseticida de origem biológica produzido por meio da fermentação de actinomicetos *Saccharopolyspora spinosa* Mertz & Yao (SALGADO, 1998; THOMPSON, 2001; WATSON et al., 2010). Possui amplo espectro de controle de pragas (Díptero, Lepidóptero e outros) e uso em várias culturas (BESARD et al., 2011) como o feijão e a soja. O seu mecanismo de ação provoca hiperexcitação do sistema nervoso dos insetos por ativação do receptor de acetilcolina nicotínica alterando também a função de canais de cloro-GABA, resultando em contrações musculares involuntárias e tremores, seguido por paralisia e morte dos insetos (SALGADO, 1998; MORANDIN et al., 2005; WATSON et al., 2010).

Alguns estudos foram realizados para avaliar os efeitos tóxicos de spinosad em abelhas, no entanto, este produto não foi considerado nocivo para abelhas em fase inicial e adultas em estudos de laboratório e campo (STERK et al., 2002). Em contrapartida, estudos em casas de vegetação sugeriram que o desenvolvimento dos zangões pode ser prejudicado por resíduos desse produto (MAYES et al., 2003).

Em função do modo de ação desse produto, ele pode afetar não só os insetos pragas, mas também os organismos benéficos como as abelhas polinizadoras. Assim, como ainda são necessários estudos envolvendo o real risco de spinosad para abelhas, uma das maneiras de se prevenir esse risco é a redução da dose do produto quando for possível além da utilização de produtos com menores efeitos ecotoxicológicos (De SCHAMPHELEIRE et al., 2007).

Todos os ingredientes ativos apresentaram nenhum ou baixo risco de contaminação para minhocas a uma distância igual ou superior a 2,5m da área alvo de aplicação (Tabela 12). Mesmo se esses ingredientes forem aplicados por pontas de produção de gotas finas (XR 11002) e médias (TT 11002), não há risco. Contudo, a escolha da ponta de pulverização envolve vários outros fatores (ambientais, técnicos, tipo de cultura, alvo de aplicação) e, portanto, não pode ser baseada apenas em análises de risco.

**Tabela 12.** Índice de risco e zona de segurança para minhocas em função da deriva, a 2,5 m da área alvo, decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura da soja.

<b>Fungicidas</b>						
<b>Ingrediente Ativo</b>	Gotas Finas (XR 11002)		Gotas Médias (TT 11002)		Gotas Grossas (AIXR 11002)	
	RI <sub>M</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>M</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>	RI <sub>M</sub>	ZS <sub>RI=1</sub>
azoxystrobin	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-
cyproconazole	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-
carbendazim	0,0240	-	0,0189	-	0,0074	-
chlorothalonil	0,0029	-	0,0023	-	0,0009	-
metconazole	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
procymidone	0,0003	-	0,0002	-	0,0001	-
prothioconazole	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
pyraclostrobin	0,0001	-	0,0001	-	0,0000	-
thiophanate-methyl	0,0165	-	0,0130	-	0,0051	-
trifloxystrobin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Herbicidas</b>						
2,4 D amine	0,0016	-	0,0013	-	0,0005	-
bentazone	0,0004	-	0,0003	-	0,0001	-
fluazifop-P-butyl	0,0002	-	0,0002	-	0,0001	-
flumioxazin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
glyphosate	0,0027	-	0,0021	-	0,0008	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
paraquat	0,0003	-	0,0002	-	0,0001	-
s-metolachlor	0,0017	-	0,0014	-	0,0005	-
trifluralin	0,0025	-	0,0020	-	0,0008	-
<b>Inseticidas</b>						
chlorantraniliprole	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
chlorpyrifos	0,0015	-	0,0012	-	0,0005	-
spinosad	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
flubendiamide	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
lambda-cyhalothrin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
lufenuron	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
methomyl	0,0118	-	0,0093	-	0,0036	-
thiamethoxam	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-

RI<sub>M</sub>: Indicador de risco para minhocas a 2,5 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para minhocas considerando um risco igual a um.

O herbicida glyphosate é um dos produtos mais utilizados do mundo, inclusive no Brasil, principalmente após a mudança de cultivos convencionais para culturas geneticamente modificadas resistentes ao herbicida. Essa mudança causou uma alteração generalizada nos padrões de uso de herbicidas e práticas de cultivo (CERDEIRA et al., 2007; GRAEF et al., 2007; KLETER et al., 2008). A principal delas foi a utilização do herbicida não só na dessecação, mas também em pós-emergência,

consequentemente podendo aumentar a presença de resíduos desse ingrediente ativo no solo e no ambiente.

O presente trabalho não detectou risco ambiental e ocupacional relacionado à deriva para aplicações de glyphosate na cultura da soja para todas as pontas (XR 11002, TT 11002 e AIXR 11002) e tamanhos de gotas (finas, médias e grossas). Um estudo de avaliação de risco de herbicidas na cultura do milho transgênico, também não observou risco de contaminação por glyphosate para organismos aquáticos, abelhas, minhocas e para espectadores (DEVOS et al., 2008).

Apesar da aplicação de glyphosate não ter apresentado risco potencial de contaminação, o uso contínuo e exclusivo da molécula em plantas resistentes nem sempre é a prática mais indicada de manejo. O ideal seria uma rotação de herbicidas com mecanismos de ação diferenciados, pois a utilização do mesmo ingrediente ativo repetidas vezes, pode induzir as plantas daninhas à tolerância ou resistência (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003).

O herbicida 2,4 D amine também é um herbicida de grande uso na agricultura brasileira, empregado no controle de plantas daninhas em pós-emergência e dessecação, porém é um dos principais produtos cuja utilização vem sendo questionada quanto ao risco ambiental (SOUZA et al., 2011). Com o uso extensivo e muitas vezes inadequado, tornou-se um problema, principalmente devido à contaminação do solo e de água subterrânea (FU et al., 2009) e por ocasionar problemas em áreas vizinhas, com danos às culturas sensíveis a ele (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007).

Contudo, nesse estudo, esse ingrediente ativo não apresentou potencial de risco para os grupos de indicadores estudados (organismos aquáticos, terrestres e ocupacional), independente do tamanho de gota utilizado na aplicação. O ingrediente 2,4 D também não apresentou risco de contaminação para nenhum desses grupos de indicadores na cultura do trigo na Turquia (YARPUZ-BOZDOGAN, 2009).

### **3.2.3 Índice de Risco Ocupacional**

Para espectadores adultos e crianças não há risco potencial de contaminação ( $RI < 1$ ) caso ocorra deriva durante a aplicação desses ingredientes ativos, com qualquer uma das três pontas estudadas, a partir de 8 m de distância da área cultivada com soja (Tabelas 13 e 14).

**Tabela 13.** Índice de risco ocupacional e zona de segurança para espectadores adultos em função da deriva decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura da soja.

<b>Fungicidas</b>						
<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Gotas Finas (XR 11002)</b>		<b>Gotas Médias (TT 11002)</b>		<b>Gotas Grossas (AIXR 11002)</b>	
	<b>RI<sub>E</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>	<b>RI<sub>E</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>	<b>RI<sub>E</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>
azoxystrobin	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-
cyproconazole	0,0002	-	0,0002	-	0,0002	-
carbendazim	0,0002	-	0,0002	-	0,0002	-
chlorothalonil	0,0320	-	0,0303	-	0,0245	-
metconazole	0,0009	-	0,0009	-	0,0007	-
procymidone	0,0027	-	0,0026	-	0,0021	-
prothioconazole	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-
pyraclostrobin	0,0010	-	0,0009	-	0,0008	-
thiophanate-methyl	0,0010	-	0,0010	-	0,0008	-
trifloxystrobin	0,0002	-	0,0002	-	0,0001	-
<b>Herbicidas</b>						
2,4 D amine	0,0014	-	0,0013	-	0,0011	-
bentazone	0,0011	-	0,0010	-	0,0008	-
fluazifop-P-butyl	0,0019	-	0,0018	-	0,0015	-
flumioxazin	0,0005	-	0,0005	-	0,0004	-
glyphosate	0,0024	-	0,0023	-	0,0019	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0024	-	0,0023	-	0,0018	-
paraquat	0,2307	-	0,2178	-	0,1762	-
s-metolachlor	0,0025	-	0,0023	-	0,0019	-
trifluralin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Inseticidas</b>						
chlorantraniliprole	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
chlorpyrifos	0,0074	-	0,0070	-	0,0056	-
spinosad	0,0002	-	0,0002	-	0,0001	-
flubendiamide	0,0011	-	0,0010	-	0,0008	-
lambda-cyhalothrin	0,0016	-	0,0015	-	0,0012	-
lufenuron	0,0002	-	0,0002	-	0,0002	-
methomyl	0,0331	-	0,0312	-	0,0253	-
thiamethoxam	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-

RI<sub>E</sub>: Indicador de risco para espectadores adultos a 8 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para espectadores adultos considerando um risco igual a um.

É importante ressaltar que, os níveis de exposição de espectadores adultos e crianças podem ser significativamente elevados caso as pessoas estejam em distâncias inferiores a 8 m da área alvo (BUTLER ELLIS et al., 2010). Outros estudos também verificaram índices praticamente nulos de risco para espectadores quando avaliaram os fungicidas carbendazim, prothioconazole, thiophanate-methyl e trifloxystrobin

(BOZDOGAN, 2014); e o herbicida 2,4 D amine, ambos na cultura do trigo (YARPUZ-BOZDOGAN, 2009).

**Tabela 14.** Índice de risco ocupacional e zona de segurança para crianças em função da deriva decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura da soja.

<b>Fungicidas</b>						
<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Gotas Finas (XR 11002)</b>		<b>Gotas Médias (TT 11002)</b>		<b>Gotas Grossas (AIXR 11002)</b>	
	<b>RI<sub>C</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>	<b>RI<sub>C</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>	<b>RI<sub>C</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>
azoxystrobin	0,0005	-	0,0004	-	0,0004	-
cyproconazole	0,0009	-	0,0009	-	0,0008	-
carbendazim	0,0009	-	0,0009	-	0,0008	-
chlorothalonil	0,1264	-	0,1214	-	0,1052	-
metconazole	0,0036	-	0,0035	-	0,0030	-
procymidone	0,0108	-	0,0104	-	0,0090	-
prothioconazole	0,0003	-	0,0003	-	0,0002	-
pyraclostrobin	0,0039	-	0,0038	-	0,0033	-
thiophanate-methyl	0,0040	-	0,0038	-	0,0033	-
trifloxystrobin	0,0008	-	0,0007	-	0,0006	-
<b>Herbicidas</b>						
2,4 D amine	0,0055	-	0,0052	-	0,0045	-
bentazone	0,0042	-	0,0040	-	0,0035	-
fluazifop-P-butyl	0,0076	-	0,0073	-	0,0063	-
flumioxazin	0,0021	-	0,0020	-	0,0018	-
glyphosate	0,0096	-	0,0092	-	0,0079	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0095	-	0,0091	-	0,0079	-
paraquat	0,9102	-	0,8740	-	0,7571	-
s-metolachlor	0,0097	-	0,0093	-	0,0081	-
trifluralin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Inseticidas</b>						
chlorantraniliprole	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
chlorpyrifos	0,0291	-	0,0280	-	0,0242	-
spinosad	0,0008	-	0,0007	-	0,0006	-
flubendiamide	0,0042	-	0,0041	-	0,0035	-
lambda-cyhalothrin	0,0064	-	0,0062	-	0,0054	-
lufenuron	0,0009	-	0,0008	-	0,0007	-
methomyl	0,1305	-	0,1253	-	0,1085	-
thiamethoxam	0,0003	-	0,0003	-	0,0002	-

RI<sub>C</sub>: Indicador de risco ocupacional para crianças a 8 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para crianças considerando um risco igual a um.



De forma semelhante aos resultados para a cultura do feijão, os índices de risco ocupacional para residentes localizados a uma distância de 50 m da área de aplicação foram baixos (Tabela 15).

**Tabela 15.** Índice de risco ocupacional e zona de segurança para residentes em função da deriva decorrente da aplicação de produtos fitossanitários recomendados e utilizados no controle de doenças, plantas infestantes e pragas na cultura da soja.

<b>Fungicidas</b>						
<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Gotas Finas (XR 11002)</b>		<b>Gotas Médias (TT 11002)</b>		<b>Gotas Grossas (AIXR 11002)</b>	
	<b>RI<sub>R</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>	<b>RI<sub>R</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>	<b>RI<sub>R</sub></b>	<b>ZS<sub>RI=1</sub></b>
azoxystrobin	0,0024	-	0,0024	-	0,0024	-
cyproconazole	0,0048	-	0,0048	-	0,0048	-
carbendazim	0,0050	-	0,0050	-	0,0050	-
chlorothalonil	0,6711	-	0,6708	-	0,6710	-
metconazole	0,0194	-	0,0194	-	0,0194	-
procymidone	0,0575	-	0,0575	-	0,0575	-
prothioconazole	0,0014	-	0,0014	-	0,0014	-
pyraclostrobin	0,0210	-	0,0210	-	0,0210	-
thiophanate-methyl	0,0211	-	0,0211	-	0,0211	-
trifloxystrobin	0,0040	-	0,0040	-	0,0040	-
<b>Herbicidas</b>						
2,4 D amine	0,0289	-	0,0289	-	0,0289	-
bentazone	0,0223	-	0,0223	-	0,0223	-
fluazifop-P-butyl	0,0402	-	0,0402	-	0,0402	-
flumioxazin	0,0112	-	0,0112	-	0,0112	-
glyphosate	0,0508	-	0,0508	-	0,0508	-
haloxyfop-R methyl ester	0,0501	-	0,0501	-	0,0501	-
paraquat	4,8319	>50 m	4,8296	>50 m	4,8314	>50 m
s-metolachlor	0,0515	-	0,0514	-	0,0514	-
trifluralin	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-
<b>Inseticidas</b>						
chlorantraniliprole	0,0001	-	0,0001	-	0,0001	-
chlorpyrifos	0,1546	-	0,1545	-	0,1546	-
spinosad	0,0040	-	0,0040	-	0,0040	-
flubendiamide	0,0225	-	0,0225	-	0,0225	-
lambda-cyhalothrin	0,0341	-	0,0341	-	0,0341	-
lufenuron	0,0045	-	0,0045	-	0,0045	-
methomyl	0,6938	-	0,6933	-	0,6937	-
thiamethoxam	0,0014	-	0,0014	-	0,0014	-

RI<sub>R</sub>: Indicador de risco ocupacional para residentes a 50 m da área alvo de aplicação; ZS<sub>RI=1</sub>: Zona de segurança para residentes considerando um risco igual a um.

Todos os produtos, independente da ponta de aplicação apresentaram índices inferiores a um, com exceção do herbicida paraquat, o qual, mesmo se for aplicado com padrão de gotas grossas (ponta AIXR 11002), requer uma zona de segurança superior a 50 m para reduzir o risco potencial de contaminação (Tabela 15).

A utilização de técnicas e pontas de pulverização adequadas para mitigação da deriva em qualquer aplicação de produto fitossanitário é fundamental para reduzir os riscos de contaminação ao ambiente e aos seres humanos (YARPUZ-BOZDOGAN; BOZDOGAN, 2009). Contudo, além de conhecer e colocar em prática essas técnicas, também seria importante o desenvolvimento de programas de educação em regiões agrícolas para promover o uso seguro dos produtos fitossanitários no campo, a fim de diminuir os riscos de exposição direta a esses produtos pelos agricultores e secundária por suas famílias (PASIANI et al., 2012) e espectadores que por ventura estejam próximo à áreas agricultáveis.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estimativa do risco ambiental e ocupacional da deriva dos principais produtos fitossanitários empregados nas culturas do feijão e da soja no Brasil mostrou-se variável de acordo com o modelo de predição de deriva empregado.

A utilização de modelos de previsão, específicos para cada tipo de ponta de pulverização comprovou a redução do índice de risco quando se aumenta o tamanho de gotas. Dessa forma, a utilização de pontas com característica de produção de gotas grossas e extremamente grossas para a cultura do feijão e gotas grossas para a cultura da soja foram mais seguras para a aplicação e, conseqüentemente, para o ambiente e a saúde humana.

É importante ressaltar que, neste trabalho foram estabelecidos apenas os riscos ambientais e ocupacionais provenientes das perdas decorrente da deriva das pulverizações. Contudo, também é possível estimar esses riscos em função das perdas decorrentes do escoamento de calda e erosão superficial, assim como contabilizar a somatória de todas essas perdas.

Em geral, os maiores valores de índices de risco de contaminação foram observados para a cultura do feijão, uma vez que, os percentuais de deriva calculados foram maiores para essa cultura (menor altura de planta, menor IAF) em relação a soja (maior altura de planta e maior IAF). Esse fato pode ser verificado pelas diferenças entre os coeficientes ( $A_0$ ,  $B_0$ ,  $A_1$  e  $B_1$ ) das equações de cada ponta para cada cultura.

Assim, esse estudo pode ser uma ferramenta útil para a seleção de ingredientes ativos de menor impacto ambiental para o controle químico de doenças, plantas daninhas e pragas nas culturas do feijão e da soja.

## 5. CONCLUSÕES

Os organismos aquáticos são os mais sensíveis à contaminação por deriva dos produtos considerados neste estudo. Os fungicidas chlorothalonil e mancozeb, o herbicida trifluralin e os inseticidas abamectin, chlorpyrifos e lambda-cyhalothrin apresentam os maiores índices de risco, necessitando, em alguns casos, de zonas de segurança superiores a 50 m em relação à área alvo.

Não foi observado risco de contaminação para minhocas. Para as abelhas, os inseticidas chlorpyrifos, spinosad e thiamethoxam apresentam risco, independente do tipo de ponta (tamanho de gota) utilizada para a determinação da curva de deriva.

O paraquat é o único herbicida com potencial de risco de contaminação ocupacional para espectadores, crianças e residentes, e requer em algumas situações zonas de segurança maiores que 50 metros da área pulverizada.

A utilização de pontas com característica de produção de gotas grossas e extremamente grossas, em geral, é capaz de reduzir consideravelmente os riscos de contaminação por deriva.

Em avaliações de estimativa de risco de deriva das aplicações de produtos fitossanitários nas culturas do feijão e da soja, em condições climáticas brasileiras, recomenda-se a utilização dos modelos de previsão de deriva gerados neste trabalho, para cada tipo de ponta de pulverização.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 8, p. 622-629, 2014.
- ANVISA. Correio Braziliense, 24/08/2004 - Brasil: Inseticidas de uso doméstico suspensos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/DIVULGA/imprensa/clipping/2004/agosto/240804.pdf>. Acesso em 06 fev. 2014.
- BAETENS, K.; NUYTENS, D.; VERBOVEN, P.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 161-173, 2007.
- BESARD, L.; MOMMAERTS, V.; ABDU-ALLA, G.; SMAGGHE, G. Lethal and sublethal side-effect assessment supports a more benign profile of spinetoram compared with spinosad in the bumblebee *Bombus terrestris*. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 67, n. 5, p. 541-547, 2011.
- BLACQUIÈRE, T.; SMAGGHE, G.; van GESTEL, C. A. M.; MOMMAERTS, V. Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. **Ecotoxicology**, London, v. 21, n. 4, p. 973-992, 2012.
- BOZDOGAN, A. M. Assessment of Total Risk on Non-Target Organisms in Fungicide Application for Agricultural Sustainability. **Sustainability**, Basel, v. 6, n. 2, p. 1046-1058, 2014.
- BUTLER ELLIS, M. C.; LANE, A. G.; O'SULLIVAN, C. M.; MILLER, P. C. H.; GLASS, C. R. Bystander exposure to pesticide spray drift: new data for model development and validation. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v.107, n. 3, p. 162-168, 2010.
- CARLUER, N.; TOURNEBIZE, J.; GOUY, V.; MARGOUM, C.; VINCENT, B.; GRIL, J. J. Role of buffer zones in controlling pesticides fluxes to surface waters. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 9, p. 21-26, 2011.
- CEC. Council Directive 94/43/EC. **Establishing Annex VI to Directive 91/414/EEC**. Official Journal of the European Communities number L 227 Commission of the European Communities, Luxembourg, 1 September 1994, p. 31.
- CERDEIRA, A. L.; GAZZIERO, D. L. P.; DUKE, S. O.; MATALLO, M. B.; SPADOTTO, C. A. Review of potential environmental impacts of transgenic glyphosate-resistant soybean in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, Virginia, v. 42, n. 5, p. 539-549, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 507-515, 2003.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. **Safra 2014/15**, Brasília, v. 2, n. 5, 117p. 2015.

CRESSWELL, J. E. A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. **Ecotoxicology**, London, v. 20, n. 1, p. 149-157, 2011.

CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. **Crop Protection**, London, v. 20, n. 4, p. 333-343, 2001.

CUNHA, J. P.; CHUECA, P.; GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus applications with air-blast sprayers in Spain. **Crop Protection**, London, v. 42, p. 116-123, 2012.

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

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.

DE SCHAMPHELEIRE, M.; SPANOGHE, P.; SONCK, S. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. **Crop Protection**, London, v. 26, n. 4, p. 602-11, 2007.

DEVOS, Y.; COUGNON, M.; VERGUCHT, S.; BULCKE, R.; HAESAERT, G.; STEURBAUT, W.; REHEUL, D. Environmental impact of herbicide regimes used with genetically modified herbicide-resistant maize. **Transgenic Research**, London, v. 17, n. 6, p. 1059-1077, 2008.

DG SANCO. EU Pesticides Database. Disponível em: [http://ec.europa.eu/sanco\\_pesticides/public/?event=activesubstance.selection](http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=activesubstance.selection). Acesso em 13 out. 2014.

DIVELY, G. P.; KAMEL, A. Insecticide residues in pollen and nectar of a cucurbit crop and their potential exposure to pollinators. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 60, n. 18, p. 4449-4456, 2012.

ELBERT, A.; HAAS, M.; SPRINGER, B.; THIELERT, W.; NAUEN, R. Applied aspects of Neonicotinoid uses in crop protection. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 64, n. 11, p. 1099-1105, 2008.

EFSA. European Food Safety Authority. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/publications/efsajournal.htm>. Acesso 02 a 06 dez. 2014.

EPA, 2002. United States Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs: Reregistration Eligibility Decision for Chlorpyrifos. Disponível: [http://envirocancer.cornell.edu/turf/pdf/chlorpyrifos\\_ired.pdf](http://envirocancer.cornell.edu/turf/pdf/chlorpyrifos_ired.pdf). Acesso em 08 jan. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Directive 2009/128/EC of the European parliament and the council of 21 October 2009 establishing a framework for community action to achieve the sustainable use of pesticides**. Official Journal of the European Union L 309, 2009a, p. 71-86.

EUROPEAN COMMISSION. **Regulation (EC) No 1107/2009 of the European parliament and of the council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing council directives 79/117/EEC and 91/414/EEC**. Official Journal of the European Union L 309, p. 1-50. 2009b.

EUROPEAN COMMISSION. **Guidance document on terrestrial ecotoxicology under Council Directive 91/414/EEC**. Draft working document. SANCO/10329/2002 rev 2 final, European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General, Brussels, 2002, 39 p.

EUROPOEM. **The Development, Maintenance and Dissemination of a European Predictive Operator Exposure Model (EUROPOEM) Database**, Final Report. BIBRA International, Carshalton, UK. 1996.

FIGUEIREDO, J. L. A.; TEIXEIRA, M. M.; PICANÇO, M. C.; PINTO, F. A. C.; PRAT, M. H. Avaliação da uniformidade de aplicação e do espectro de gotas de bicos hidráulicos. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Habana, v.16, n. 3, p. 47-52, 2007.

FLARI, V.; CROCKER, J.; HART, A.; FLIESSBACH, A.; ASHAUER, R.; BROWN, C. **HArmonised environmental Indicators for pesticide Risk, HAIR: Terrestrial indicators**. EU Sixth Framework Programme, contract number SSPE-CT-2003-501997. Report of Work Package 6, Central Science Laboratory, 84 p. 2007.

FU, F.; XIAO, L.; WANG, W.; XU, X.; XU, L.; QI, G.; CHEN, G. Study on the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic sodium (MCPA sodium) in natural agriculture-soils of Fuzhou, China using capillary electrophoresis. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 407, n. 6, p. 1998-2003, 2009.

GANZELMEIER, H.; RAUTMANN, D.; SPANGENBERG, R.; STRELOKE, M.; HERRMANN, M.; WENZELBURGER, H. J.; WALTER, H. F. **Studies on the spray drift of plant protection products**, Results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. Berlin: Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry, 1995. 111 p.

GARREYN, F.; VAGENENDE, B.; W. STEURBAUT, W. **HArmonised environmental Indicators for pesticide Risk, HAIR: "Occupational" indicators: Operator, worker and bystander**. EU sixth Framework Programme, contract number SSPE-CT-2003-501997. 2007. Report of Work Package 10, Ghent University, 213 p.

GRAEF, F.; STACHOW, U.; WERNER, A.; SCHUTTE, G. Agricultural practice changes with cultivating genetically modified herbicide-tolerant oilseed rape. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 111-118, 2007.

GREGOIRE, C.; ELSAESSER, D.; HUGUENOT, D.; LANGE, J.; LEBEAU, T.; MERLI, A.; MOSE, R.; PASSEPORT, E.; PAYRAUDEAU, S.; SCHÜTZ, T.; SCHULZ, R.; TAPIA-PADILLA, G.; TOURNEBIZE, J.; TREVISAN, M.; WANKO, A. Mitigation of agricultural nonpoint-source pesticide pollution in artificial wetland ecosystems. **Environmental Chemistry Letters**, Secaucus, v. 7, n. 3, p. 205-231, 2009.

GULER, H.; ZHU, H.; OZKAN, H. E.; DERKSEN, R. C.; YU, Y.; KRAUSE, C. R. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 745-754, 2007.

HENRY, M.; BEGUIN, M.; REQUIER, F.; ROLLIN, O.; ODOUX, J. F.; AUPINEL, P.; APTEL, J.; TCHAMITCHIAN, S.; DECOURTYE, A. A common pesticide decreases foraging success and survival in honeybees. **Science**, Washington, v. 336, n. 6079, p. 350-351, 2012.

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

HOLTERMAN, H. J. Kinetics and Evaporation of Water Drops in Air. **Institute of Agricultural and Environmental Engineering**, Wageningen, UR. IMAG Report. 2003.

HOLTERMAN, H. J.; van de ZANDE, J. C. **IMAG Drift Calculator v1.1 - User manual**. IMAG Draft Report, 2003, 39 p.

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.

KASIOTIS, K. M.; GLASS, C. R.; TSAKIRAKIS, A. N.; MACHERA, K. Spray drift reduction under Southern European conditions: A pilot study in the Ecopest Project in Greece. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, n. 479-480, p. 132-137, 2014.

KLETER, G. A.; HARRIS, C.; STEPHENSON, G.; UNSWORTH, J. Comparison of herbicide regimes and the associated potential environmental effects of glyphosate-resistant crops versus what they replace in Europe. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 64, n. 4, p. 479-488, 2008.

KRUIJNE, R.; DENEER, J. W.; LAHR, J.; VLAMING, J. **HAIR 2010 Documentation: Calculating risk indicators related to agricultural use of pesticides within the European Union**. Wageningen, Alterra, Alterra-report 2113.1, 2011, 202 p.

LABITE, H.; BUTLER, F.; CUMMINS, E. A review and evaluation of plant protection product ranking tools used in agriculture. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, Philadelphia, v. 17, n. 2, p. 300-327, 2011.



LEBEAU, F.; VERSTRAETE, C.; STAINIER, M.; DESTAIN, F. RTDrift: a real time model for estimating spray drift from ground applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.77, n. 2, p.161-174, 2011.

MAPA. AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em 25 jan. 2014.

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.

MATSUDA, K.; BUCKINGHAM, S. D.; KLEINER, D.; RAUH, J. J.; GRAUSO, M.; SATTELLE, D. B. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. **Trends in Pharmacological Sciences**, Cambridge, v. 22, n. 11, p. 573-580, 2001.

MAYES, M. A.; THOMPSON, G. D.; HUSBAND, B.; MILES, M. M. Spinosad toxicity to pollinators and associated risk. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 179, p. 37-71, 2003.

MILLER, P. C. H. The measurement of spray drift. **Pesticide Outlook**, Cambridge, v. 14, p. 205-209, 2003.

MORANDIN, L. A.; WINSTON, M. L.; FRANKLIN, M. T.; ABBOTT, V. A. Lethal and sublethal effects of spinosad on bumblebees (*Bombus impatiens* Cresson). **Pest Management Science**, West Sussex, v. 61, n. 7, p. 619-626, 2005.

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**, London, v. 75, n. 2, p. 127-137, 2000.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; BAETENS, K.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D.; VERBOVEN, P. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five year study. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 54 n. 2, p. 403-408. 2011.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 5, p. 1471-1480, 2009.

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.

OECD, 1997. **Report of the OECD workshop on pesticide risk indicators**. Copenhagen 21-23 April 1997, 31 pp.

- OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.; CARREIRA, S. A. M.; ROSO, A. C. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 27, n. esp., p. 35-40, 2007.
- PALMA, P.; KÖCK-SCHULMEYER, M.; ALVARENGA, P.; LEDO, L.; BARBOSA, I. R.; LÓPEZ DE ALDA, M. BARCELÓ, D. Risk assessment of pesticides detected in surface water of the Alqueva reservoir (Guadiana basin, southern of Portugal). **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 488-489, n. 1, p. 208-219, 2014.
- PASIANI, J. O.; TORRES, P.; SILVA, J. R.; DINIZ, B. Z.; CALDAS, E. D. Knowledge, attitudes, practices and biomonitoring of farmers and residents exposed to pesticides in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 9, n.9, p. 3051-3068. 2012.
- PASSEPORT, E.; TOURNEBIZE, J.; CHAUMONT, C.; GUENNE, A.; COQUET, Y. Pesticide contamination interception strategy and removal efficiency in forest buffer and artificial wetland in a drained agricultural watershed. **Chemosphere**, Oxford, v. 91, n. 9, p. 1289-1296, 2013.
- RAMOS, C.; CARBONELL, G.; GARCIA BAUDÍN, J. M.; 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. 2-3, p. 269-278, 2000.
- RAUTMANN, D.; STRELOKE, M.; WINKLER, R. **New basic drift values in the authorisation procedure for plant protection products**. In: FORSTER, R.; STRELOKE, M. (Eds.), Workshop on Risk Assessment and Risk Mitigation Measures in the Context of the Authorization of Plant Protection Products (WORMM), Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, Heft 381, 2001.
- RESENDE, T. M.; MORAES, E. R.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R. SANTOS, D. S.; BORGES, E. N.; RIBEIRO, B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 179-184, 2012.
- RORTAIS, A.; ARNOLD, G.; HALM, M. P.; TOUFFET-BRIENS, F. Modes of honeybees exposure to systemic insecticides: estimated amounts of contaminated pollen and nectar consumed by different categories of bees. **Apidologie**, Les Ulis, v. 36, n. 1, p. 71-83, 2005.
- SALGADO, V. L. Studies on the mode of action of spinosad: symptoms and physiological correlates. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 60, n. 2, p. 91-102, 1998.
- SCHNEIDER, C. W.; TAUTZ, J.; GRÜNEWALD, B.; FUCHS, S. RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behavior of *Apis mellifera*. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 7, n. 1, 9 p. 2012.

SOUZA, L. A.; CUNHA, J. P. A. R.; PAVANIN, L. A. Eficácia e perda do herbicida 2,4-D amina aplicado com diferentes volumes de calda e pontas de pulverização. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. esp, p. 1149-1156, 2011.

STAINIER, C.; DESTAIN, M. F.; SCHIFFERS, B.; LEBEAU, F. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. **Crop Protection**, London, v. 25, n. 12, p. 1238-1243. 2006.

STERK, G.; HEUTS, F.; MERCK, N.; BOCK, J. **Sensitivity of non-target arthropods and beneficial fungal species to chemical and biological plant protection products: results of laboratory and semi-field tests**. In: Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Biological Control of Arthropods, Hawaii, USA, p. 306-313, 2002.

THOMPSON, H. M. Behavioural effects of pesticides in bees e their potential for use in risk assessment. **Ecotoxicology**, London, v. 12, n. 1-4, p. 317-330. 2003.

THOMPSON, H. M. Assessing the exposure and toxicity of pesticides to bumblebees (*Bombus sp.*). **Apidologie**, Les Ulis, v. 32, n. 4, p. 305-321, 2001.

TSAI, M. Y.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, n. 33, p. 6194-6203, 2005

VERCRUYSSSE, F.; STEURBAUT, W. POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator. **Crop Protection**, London, v. 21 p. 307-315, 2002.

WATSON, G. B.; CHOUINARD, S. W.; COOK, K. R.; GENG, C.; GIFFORD, J. M.; GUSTAFSON, G. D.; HASLER, J. M.; LARRINUA, I. M.; LETHERER, T.J.; MITCHELL, J.C.; PAK, W. L.; SALGADO, V. L.; SPARKS, T. C.; STILWELL, G. E. A spinosyn-sensitive *Drosophila melanogaster* nicotinic acetylcholine receptor identified through chemically induced target site resistance, resistance gene identification, and heterologous expression. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, Amsterdam, v. 40, n. 5, p. 376-384, 2010.

YARPUZ-BOZDOGAN, N. Assessing the environment and human health risk of herbicide application in wheat cultivation. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 7, n. 3-4, p. 775-781, 2009.

YARPUZ-BOZDOGAN, N.; BOZDOGAN, A.M. Assessment of dermal bystander exposure in pesticide applications using different types of nozzles. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 7, n. 2, p. 678-682, 2009.

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.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Informações gerais dos tratos culturais realizados nas culturas do feijão e da soja ao longo de todo o ciclo das culturas.

	Feijão	Soja
<b>Semeadura</b>		
Variedade (Cultivar)	BRS Estilo	Syngenta 9074RR
População	16 sementes m <sup>-1</sup>	22 sementes m <sup>-1</sup>
Espaçamento	0,5 m	0,5 m
Data Semeadura	21/06/2013	16/11/2013
<b>Adubação</b>		
Semeadura/Dose	Sulfato de Amônia (33% N) – 90 kg ha <sup>-1</sup> Super Triplo (58% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) – 120 kg ha <sup>-1</sup> Cloreto de Potássio (60% K <sub>2</sub> O) – 50 kg ha <sup>-1</sup>	Formulado 04 - 20 - 20 + Zn – 400 kg ha <sup>-1</sup>
Cobertura	Ureia Anídrica (44% N) – 90 kg ha <sup>-1</sup> parcelado em 2X Ajífol – 200 mL ha <sup>-1</sup>	Cloreto de Potássio (60% K <sub>2</sub> O) – 100 kg ha <sup>-1</sup> parcelado em 2X
<b>Controle Fitossanitário</b>		
Fungicida	Opera Ultra – 600 mL ha <sup>-1</sup> + Nimbus – 0,5L/100L	Priori – 300 mL ha <sup>-1</sup> + Óleo Mineral – 0,5L/100L Fox – 0,4 L ha <sup>-1</sup> + Áureo – 0,5L/100L Approach Prima – 300 mL ha <sup>-1</sup> + Óleo – 0,75 L ha <sup>-1</sup>
Herbicida	2,4 D Amina – 1,5 L ha <sup>-1</sup> Glifosato WG – 2 kg ha <sup>-1</sup> Flex – 1 L ha <sup>-1</sup> Robust – 1 L ha <sup>-1</sup>	2,4 D Amina – 1,5 L ha <sup>-1</sup> Glifosato WG – 2 kg ha <sup>-1</sup>
Inseticida	Galeão – 250 g ha <sup>-1</sup> Nufos – 1 L ha <sup>-1</sup>	Acefato – 0,75 kg ha <sup>-1</sup> Ampligo – 150 mL ha <sup>-1</sup> Curyom – 100 mL ha <sup>-1</sup> Dimilim – 140 g ha <sup>-1</sup> Lanate – 1 L ha <sup>-1</sup> Match – 150 mL/100 L
Tratamento de Sementes	Cruiser – 250 mL 100 kg sementes <sup>-1</sup> Maxim – 200 mL 100 kg sementes <sup>-1</sup>	Avicta completo – 100 ml 100 kg sementes <sup>-1</sup>

**Anexo 2.** Fungicidas utilizados e recomendados para o controle químico de doenças nas culturas do feijão e da soja.

<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Nome Comercial</b>	<b>Grupo Químico</b>	<b>Empresa</b>	<b>Cultura</b>	<b>Concentração (g L<sup>-1</sup> / g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Dose (kg ha<sup>-1</sup> / L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classe Toxicológica*</b>	<b>Classificação Ambiental**</b>
azoxystrobin + cyproconazole	Priori Xtra SC <sup>1</sup>	Estrobirulina + Triazol	Syngenta	S <sup>5</sup>	200 + 80	0,3	III	II
carbendazim	Derosal 500 SC	Benzimidazol	Bayer	F <sup>6</sup> /S	500	0,5	II	III
chlorothalonil	Bravonil SC	Nitrilas	Syngenta	F/S	500	2,0 a 3,0	I	II
mancozebe	Manzate WG <sup>2</sup>	Ditiocarbamato	Du Pont	F	750	2,0 a 3,0	I	II
pyraclostrobin + metconazole	Opera Ultra EC <sup>3</sup>	Estrobirulina + Triazol	Basf	F/S	130 + 80	0,5 (F) 0,5 a 0,6 (S)	I	II
procymidone	Sumilex 500 WP <sup>4</sup>	Dicarboximida	Sumitomo	F/S	500	1,0 a 2,0 (F) 1,0 (S)	II	II
thiophanate-methyl	Cercobin 700 WP	Benzimidazol	Iharabras	F/S	700	0,11 (F) <sup>7</sup> 0,43 a 0,6 (S)	I	II
trifloxystrobin + prothioconazole	Fox SC	Estrobirulina + Triazol	Bayer	F/S	150 + 175	0,4 a 0,5 (F) 0,3 a 0,4 (S)	I	II

\*Classificação Toxicológica: I- Extremamente Tóxico, II- Altamente Tóxico, III- Medianamente Tóxico, IV- Pouco tóxico; \*\*Classificação de Periculosidade Ambiental: I- Altamente Perigo, II- Muito Perigoso, III- Perigoso, IV- Pouco Perigoso; <sup>1</sup>SC: Suspensão Concentrada; <sup>2</sup>WG: Granulado Dispersível em água; <sup>3</sup>EC: Concentrado Emulsionável; <sup>4</sup>WP: Pó-molhável; <sup>5</sup>S: Soja; <sup>6</sup>F: feijão; <sup>7</sup>dose ajustada para a taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> de acordo com recomendação da bula de 70 g de produto comercial para cada 100 L de água.

**Anexo 3.** Herbicidas utilizados e recomendados para o controle químico de plantas daninhas nas culturas do feijão e da soja.

<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Nome Comercial</b>	<b>EA<sup>..</sup></b>	<b>Grupo Químico</b>	<b>Empresa</b>	<b>Cultura</b>	<b>Concentração (g L<sup>-1</sup> / g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Dose (kg ha<sup>-1</sup> / L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classe Toxicológica *</b>	<b>Classificação Ambiental **</b>
2,4 D amine	2,4-D Amina 72 CS <sup>1</sup>	D <sup>6</sup>	Mimetizador de Auxina	Atanor	S <sup>10</sup>	720	1,0 a 1,5	I	III
bentazone	Basagram 600 CS	Pós <sup>7</sup>	Inibidor de FS II	Basf	F <sup>11</sup> /S	600	1,2	I	III
fluazifop-P-butyl + fomesafen <sup>#</sup>	Robust ME <sup>2</sup>	Pós	Inibidor de ACCase + Inibidor de PROTOX	Syngenta	F/S	200 + 250	0,8 a 1,0	III	I
flumioxazin	Flumizim 500 WP <sup>3</sup>	Pré <sup>8</sup> / Pós	Inibidor de PROTOX	Sumitomo	F/S	500	0,05 (F) 0,04 a 0,1 (S)	II	III
glyphosate	Round up WG <sup>4</sup>	D/Pós	Inibidor de EPSPs	Monsanto	F/S	720	0,5 a 3,5	IV	III
haloxyfop-R methyl ester	Verdict CS	Pós	Inibidor de ACCase	Dow Agrosience	F/S	124,7	0,3 a 0,4 (F) 0,4 a 0,5 (S)	II	III
imazamox + bentazone	Amplo CS	Pós	Inibidor de ALS + Inibidor de FS II	Basf	F	28 + 600	1,0	I	III
paraquat	Gramoxone 200 CS	D	Inibidor de FS I	Syngenta	F/S	200	1,5 a 3,0	II	II
s-metolachlor	Dual Gold CE <sup>5</sup>	Pré	Inibidor de Polimerização de Tubulina	Syngenta	F/S	960	1,25 (F) 1,5 a 2,0 (S)	I	II
trifluralin	Premierlin 600 EC <sup>5</sup>	Pré / PPI <sup>9</sup>	Inibidor de Divisão Celular	Milênia	F/S	600	3,0 a 4,0 (F) 4,0 (S)	I	II

<sup>..</sup>EA: Época de Aplicação; \*Classificação Toxicológica: I- Extremamente Tóxico, II- Altamente Tóxico, III- Medianamente Tóxico, IV- Pouco tóxico; \*\*Classificação de Periculosidade Ambiental: I- Altamente Perigo, II- Muito Perigoso, III- Perigoso, IV- Pouco Perigoso; <sup>1</sup>CS: Concentrado Solúvel; <sup>2</sup>ME: Microemulsão; <sup>3</sup>WP: Pó-molhável; <sup>4</sup>WG: Granulado Dispersível; <sup>5</sup>CE ou EC: Concentrado Emulsionável; <sup>6</sup>D: Dessecação; <sup>7</sup>Pós: Pós-emergência; <sup>8</sup>Pré: Pré-emergência; <sup>9</sup>PPI: Pré Plantio Incorporado; <sup>10</sup>S: Soja; <sup>11</sup>F: feijão; <sup>#</sup>não há informações sobre dados ecotoxicológicos para esse ingrediente ativo na base de dados de Agrotóxicos da União Europeia (DG SANCO, 2014) e nos registros da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA, 2014).

**Anexo 4.** Inseticidas utilizados e recomendados para o controle químico de insetos-praga nas culturas do feijão e da soja.

<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Nome Comercial</b>	<b>Grupo Químico</b>	<b>Empresa</b>	<b>Cultura</b>	<b>Concentração (g L<sup>-1</sup> / g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Dose (kg ha<sup>-1</sup> / L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classe Toxicológica*</b>	<b>Classificação Ambiental**</b>
abamectin	Vertimec 18 EC <sup>1</sup>	Avermectina	Syngenta	F <sup>6</sup>	18	0,3 a 0,6	III	II
chlorpyrifos	Nufos 480 EC	Organofosforado	Cheminova	F/S <sup>7</sup>	480	0,8 a 1,25 (F) 0,8 (S)	I	II
spinosad	Tracer SC <sup>3</sup>	Espinosinas	Dow AgroScience	F/S	480	0,175 a 0,2 (F) 0,012 a 0,05 (S)	III	III
flubendiamide	Belt SC	Diamida do ácido ftálico	Bayer	S	480	0,02 a 0,07	III	III
imidacloprid	Galeão WG <sup>4</sup>	Neonicotinóide	Helm	F	700	0,15 a 0,25	I	III
lambda-cyhalothrin + chlorantraniliprole	Ampligo SC	Piretróide+ Antranilamida	Syngenta	F/S	50 + 100	0,1 a 0,2 (F) 0,05 a 0,075 (S)	II	I
lufenuron	Match EC	Fisiológico (Benzoiluréia)	Syngenta	S	50	0,225 <sup>8</sup>	IV	II
methomyl	Lannate BR CS <sup>5</sup>	Carbamato	Du Pont	S	215	0,3 a 2,0	I	III
thiamethoxam + lambda-cyhalothrin	Engeo Pleno SC	Neonicotinóide + Piretróide	Syngenta	F/S	141 + 106	0,1 a 0,125 (F) 0,15 a 0,2 (S)	III	I

\*Classificação Toxicológica: I- Extremamente Tóxico, II- Altamente Tóxico, III- Medianamente Tóxico, IV- Pouco tóxico; \*\*Classificação de Periculosidade Ambiental: I- Altamente Perigo, II- Muito Perigoso, III- Perigoso, IV- Pouco Perigoso; <sup>1</sup>EC: Concentrado Emulsionável; <sup>2</sup>WP: Pó-molhável; <sup>3</sup>SC: Suspensão Concentrada; <sup>4</sup>WG- Granulado Dispersível em água; <sup>5</sup>CS- Concentrado Solúvel; <sup>6</sup>S: Soja; <sup>7</sup>F: feijão; <sup>8</sup>dose ajustada para a taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> de acordo com recomendação da bula de 150 ml de produto comercial para cada 100 L de água.

**Anexo 5.** Dados ecotoxicológicos dos produtos fitossanitários recomendados e utilizados nas culturas do feijão e da soja no Brasil, utilizados para o cálculo do índice de risco de contaminação ambiental e ocupacional por deriva.

<b>Fungicidas</b>						
<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Dose* (kg ou L i.a. ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Min<sub>Aquáticos</sub><sup>3</sup> (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>LD<sub>50</sub>Abelhas (µg i.a bee<sup>-1</sup>)</b>	<b>LC<sub>50</sub>Minhocas (mg kg solo<sup>-1</sup>)</b>	<b>AOEL (mg kg<sup>-1</sup> pc. dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>Número Aplicação /Ano*</b>
azoxystrobin <sup>1</sup>	0,06	0,13 <sup>D</sup>	25	283	0,1	1-2
carbendazim	0,25	0,15 <sup>D</sup>	50	5,4	0,02	1-2
chlorothalonil	1,50	0,038 <sup>P</sup>	40	268,5	0,009	1-2
cyproconazole <sup>1</sup>	0,024	0,021 <sup>A</sup>	100	167,5	0,02	1-2
mancozeb <sup>2</sup>	2,25	0,073 <sup>D</sup>	140,6	299,1	0,035	1-5
metconazole	0,04 <sup>F</sup> /0,048 <sup>S</sup>	2,1 <sup>P</sup>	85	500	0,01	1-4
procymidone	1,0 <sup>F</sup> /0,5 <sup>S</sup>	1,8 <sup>D</sup>	100	1000	0,035	1-2
prothioconazole	0,088 <sup>F</sup> /0,07 <sup>S</sup>	1,3 <sup>D</sup>	71	1000	0,2	1-3 <sup>F</sup> / 1-2 <sup>S</sup>
pyraclostrobin	0,065 <sup>F</sup> /0,078 <sup>S</sup>	0,006 <sup>P</sup>	73,1	567	0,015	1-4
thiophanate-methyl	0,077 <sup>F</sup> /0,42 <sup>S</sup>	5,4 <sup>D</sup>	100	13,2	0,08	1-3 <sup>F</sup> / 1-2 <sup>S</sup>
trifloxystrobin	0,075 <sup>F</sup> /0,06 <sup>S</sup>	0,011 <sup>D</sup>	200	1000	0,06	1-3 <sup>F</sup> / 1-2 <sup>S</sup>
<b>Herbicidas</b>						
2,4 D amine <sup>1</sup>	1,08	100 <sup>D;P</sup>	94	350	0,15	1
bentazone	0,72	64 <sup>D</sup>	200	870	0,13	1
fluzifop-P-butyl	0,20	0,62 <sup>D</sup>	200	500	0,02	1
flumioxazin	0,025 <sup>F</sup> /0,05 <sup>S</sup>	2,6 <sup>P</sup>	200	982	0,018	1
glyphosate	2,52	930 <sup>D</sup>	100	480	0,2	1-3
haloxyfop-R methyl ester	0,05 <sup>F</sup> /0,062 <sup>S</sup>	0,0884 <sup>P</sup>	100	672	0,005	1
imazamox <sup>2</sup>	0,028	122 <sup>D;P</sup>	40	901	14	1
paraquat	0,60	4,4 <sup>D</sup>	9,06	1000	0,0005	1-2
s-metolachlor	1,20 <sup>F</sup> / 1,92 <sup>S</sup>	1,23 <sup>P</sup>	85	570	0,15	1
trifluralin	2,40	0,088 <sup>P</sup>	100	500	0,026	1
<b>Inseticidas</b>						
abamectin <sup>2</sup>	0,011	0,00012 <sup>D</sup>	0,0022	16,5	0,0025	1-3
chlorantraniliprole	0,02 <sup>F</sup> /0,008 <sup>S</sup>	0,0116 <sup>D</sup>	4	1000	0,36	1-2
chlorpyrifos	0,60 <sup>F</sup> /0,384 <sup>S</sup>	0,001 <sup>A</sup>	0,059	129	0,01	1-2
spinosad	0,096 <sup>F</sup> /0,024 <sup>S</sup>	1,0 <sup>D</sup>	0,0036	458	0,024	1-3 <sup>F</sup> / 1-2 <sup>S</sup>
flubendiamide <sup>1</sup>	0,034	0,06d	200	500	0,006	1-2
imidacloprid <sup>2</sup>	0,175	85 <sup>D</sup>	0,0037	10,7	0,08	1
lambda-cyhalothrin	0,013 <sup>F</sup> /0,021 <sup>S</sup>	0,00021 <sup>P</sup>	0,038	1000	0,0025	1-2
lufenuron <sup>1</sup>	0,011	0,0013 <sup>D</sup>	197	500	0,010	1-2
methomyl <sup>1</sup>	0,43	0,017 <sup>D</sup>	0,16	19	0,0025	1-3
thiamethoxam	0,018 <sup>F</sup> /0,028 <sup>S</sup>	100 <sup>D</sup>	0,005	1000	0,08	1-2

<sup>1,2</sup> ingrediente ativo recomendado apenas para a cultura da soja e do feijão respectivamente. <sup>F</sup> Cultura do Feijão; <sup>S</sup> Cultura da Soja. <sup>3</sup> Valor de referência toxicológica utilizado para organismos aquáticos. <sup>A</sup> NOEC<sub>Algas</sub>; <sup>D</sup> EC<sub>50</sub> Daphnia; <sup>P</sup> LC<sub>50</sub> Peixes. \*Informações retiradas das bulas dos respectivos produtos. Demais informações sobre dados ecotoxicológicos retiradas da base de dados de Agrotóxicos da União Europeia (DG SANCO, 2014) e dos registros da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA, 2014).