

MATHEUS GREGORIO MARQUES

**MANEJO DE DICAMBA: BOAS PRÁTICAS NA DESCONTAMINAÇÃO DE  
PULVERIZADORES E AVALIAÇÃO DE INJÚRIA POR ÍNDICE DE VEGETAÇÃO**

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

Orientador

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2021

MATHEUS GREGORIO MARQUES

MANEJO DE DICAMBA: BOAS PRÁTICAS NA DESCONTAMINAÇÃO DE  
PULVERIZADORES E AVALIAÇÃO DE INJÚRIA POR ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

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

APROVADA em 06 de fevereiro de 2021.

Prof. Dr. Cleyton Batista de Alvarenga

UFU

Prof. Dra. Mayara Cristiana Stanger

UFU

Dr. Guilherme Sousa Alves

JACTO

Prof. Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2021



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 001/2021, PPGAGRO				
Data:	Seis de fevereiro de dois mil e vinte e um	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	12:50
Matrícula do Discente:	11912AGR016				
Nome do Discente:	Matheus Gregorio Marques				
Título do Trabalho:	Manejo de dicamba: boas práticas na descontaminação de pulverizadores e avaliação de injúria por índice de vegetação				
Área de concentração:	Fitotecnia				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Cleyton Batista de Alvarenga - UFU; Mayara Cristiana Stanger - UFU; Guilherme Sousa Alves - Jacto; João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha - UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 06/02/2021, às 13:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Cleyton Batista de Alvarenga, Professor(a) do Magistério Superior**, em 06/02/2021, às 13:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Mayara Cristiana Stanger, Professor(a) Visitante do Magistério Superior**, em 06/02/2021, às 13:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Sousa Alves, Usuário Externo**, em 08/02/2021, às 12:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2498120** e o código CRC **E6DDB46B**.

---

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M357 2021	<p>Marques, Matheus Gregorio, 1995- Manejo de dicamba [recurso eletrônico] : boas práticas na descontaminação de pulverizadores e avaliação de injúria por índice de vegetação / Matheus Gregorio Marques. - 2021.</p> <p>Orientadora: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.97">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.97</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Agronomia. I. Cunha, João Paulo Arantes Rodrigues da, 1976-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. III. Título.</p> <p>CDU: 631</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

## AGRADECIMENTOS

*A Deus pela oportunidade da vida, pela minha família, por todas as oportunidades de aprendizado e evolução que tive até aqui.*

*Aos meus pais James e Euza por terem feito o melhor, por todo o apoio e amor investido em mim. Isso só é possível por conta de vocês. Muito obrigado mesmo!*

*Aos meus irmãos Thais e Thiago pelo companheirismo e apoio.*

*A minha companheira Camilla, que participou ativamente de toda a minha jornada, me apoiando e aconselhando sempre. Muito obrigado por acreditar em mim!*

*Ao meu orientador prof. João Paulo, por todo o apoio, incentivo, confiança e aprendizado que me proporcionou, além do exemplo de profissional que vou seguir.*

*A todos os professores que tive em minha vida, por toda a contribuição que fizeram por mim.*

*A todos que compõem a Universidade Federal de Uberlândia, o Instituto de Ciências Agrárias e o Programa de Pós-Graduação em Agronomia.*

*A todos os membros do Laboratório de Mecanização Agrícola pela convivência, amizade e aprendizado que tive com cada um, tanto a “Velha Guarda” do LAMEC (Guilherme, Thales, César, Thiago, Mariana, João, Sérgio, Heli) quanto a “Jovem Guarda” que passou esses dois anos comigo: Arthur, Roxanna, Rafael Marcão, Ernane, Renan.*

*A todos os amigos que fiz nesta jornada, em especial Morgana, Moraes, Luciana e Nicolas que também foram meus companheiros na execução de várias etapas dos projetos de pesquisa.*

*Ao pessoal da Fazenda Capim Branco, por todo o auxílio e apoio dado durante o desenvolvimento das pesquisas, em especial Luciano, Frederico e Almir.*

*Ao Ernane e Samuel da Monitora Engenharia e Geotecnologias, por todo o apoio dado nos projetos que envolviam sensoriamento remoto na agricultura.*

*Aos membros da banca que dedicaram tempo para avaliar e contribuir com a melhoria deste trabalho.*

*A todos que de alguma forma contribuíram para tornar isso tudo seja possível.*

## RESUMO

MARQUES, MATHEUS GREGORIO. **Manejo de dicamba: boas práticas na descontaminação de pulverizadores e avaliação de injúria por índice de vegetação**. 2021. 71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.<sup>1</sup>

O uso de cultivares de soja resistente ao dicamba gera preocupações sobre o movimento deste herbicida para áreas de culturas sensíveis por meio da deriva de partícula, deriva de vapor e com o uso de pulverizadores que contenham resíduo do herbicida. Por ser um herbicida hormonal, baixas concentrações são suficientes para causar injúria, e isso exige maior precisão na identificação e na previsão dos danos causados às plantas. Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar o resíduo de dicamba durante o processo de descontaminação de pulverizadores com tanques de diferentes materiais (fibra de vidro e polietileno) e os efeitos desse resíduo na soja não resistente ao dicamba; e (ii) avaliar a injúria causada pela deriva simulada do dicamba na cultura da soja visualmente e utilizando a resposta do índice de vegetação Triangular Greenness Index (TGI) em imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada (RPA). O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira consistiu na análise do resíduo de dicamba e na pulverização da água coletada nos quatro enxágues durante a descontaminação dos pulverizadores em soja no estádio V3. A análise do resíduo foi realizada em DIC, com três repetições e esquema fatorial 2 x 4 (material do tanque e número de enxágues), utilizando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). A avaliação do risco de injúria pelo resíduo foi realizada em DBC com quatro repetições e esquema fatorial 2 x 4 +1 (material do tanque, número de enxágues e testemunha sem aplicação). O pulverizador com tanque em fibra de vidro reteve mais resíduos apenas no primeiro enxágue. O dicamba foi removido efetivamente com três enxágues, independentemente do material do tanque. Injúria e redução de produtividade foram observadas pela aplicação do primeiro e segundo enxágues. Na segunda parte realizou-se a aplicação de seis doses do herbicida (0; 0,28; 0,56; 5,6; 28 e 112 g e.a. dicamba ha<sup>-1</sup>) em soja no estádio V3 em DBC com quatro repetições. Para a aplicação do TGI, utilizaram-se dados espectrais adquiridos com sensor RGB embarcado em RPA. A avaliação da injúria por dicamba pode ser realizada pelo índice de vegetação TGI com a capacidade de avaliar grandes áreas de forma menos subjetiva que a avaliação visual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Soja não tolerante ao dicamba. Contaminação de tanque. Deriva simulada. VANT. Agricultura digital.

---

<sup>1</sup> Orientador: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.

## ABSTRACT

MARQUES, MATHEUS GREGORIO. **Management of dicamba: good practices in tank cleanout and injury evaluation by vegetation index.** 2021. 71f. Dissertation (Master's degree in Agronomy) – Institute of Agrarian Sciences, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2020.<sup>2</sup>

The use of dicamba-resistant soybean cultivars will raise concerns about the movement of this herbicide to sensitive crop areas by means of particle drift, vapor drift and the use of sprayer that contains herbicide residue. Because it is a hormonal herbicide, low concentrations are sufficient to cause injury, and this will require greater precision in identifying and predicting damage to plants. The objectives of this work were: (i) to evaluate the dicamba residue during the cleaning process of sprayers with tanks of different materials (fiberglass and polyethylene), and the effects of this residue on non-dicamba resistant soybean; and (ii) to evaluate the damage caused by simulated dicamba drift in soybean culture visually and using the Triangular Greenness Index (TGI) response in images obtained by remotely-piloted aircraft (RPA). The work was divided into two stages. The first consisted of the analysis of the dicamba residue and the spraying of the water collected in the four rinses during the decontamination of the soybean sprayers in the V3 stage. The residue analysis was performed in DIC, with three replications and a 2 x 4 factorial scheme (tank material and number of rinses), using High Efficiency Liquid Chromatography (HPLC). The assessment of the risk of injury by the residue was performed in DBC, with four repetitions and a 2 x 4 + 1 (tank material, number of rinses and a control without application) factorial scheme. The fiberglass sprayer retained more residue only on the first rinse. The dicamba was effectively removed with three rinses, regardless of the material of the tank. Injury and reduced yield were observed by applying the first and second rinses. In the second part, six doses of the herbicide (0; 0.28; 0.56; 5.6; 28 and 112 g a.e. dicamba ha<sup>-1</sup>) were applied to soybean at stage V3 in DBC with four replications. For the application of the TGI, spectral data acquired with an RGB sensor embedded in a RPA was used. The assessment of injuries caused by dicamba can be performed using the TGI vegetation index, with the ability to assess large areas in a less subjective way than visual assessment.

**KEYWORDS:** Non-dicamba tolerant soybean. Tank contamination. Simulated drift. UAV. Digital agriculture.

---

<sup>2</sup> Advisor: João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha – UFU.



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABA	ácido abscísico
AIA	ácido 3-indolacético
BAPMA	bis-aminopropil-metilamina
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CMOS	Complementary metal–oxide–semiconductor
DAA	Dias após a aplicação
DBC	Delineamento em blocos casualizados
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
DGA	diglicolamina
DMA	dimetilamina
DMO	dicamba monooxygenase
DR	dicamba resistant
ENVI	Environment for Visualizing Images
EPSPs	5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase
EUA	Estados Unidos da América
FV	Fibra de vidro
HPLC	High-Performance Liquid Chromatograph
ICIAG	Instituto de Ciências Agrárias
IV	Índice de vegetação
LAMEC	Laboratório de Mecanização Agrícola
MCPA	ácido 4-cloro-o-toliloxiacético
MGRVI	Modified Green Red Vegetation Index
MPRI	Modified Photochemical Reflectance Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
POL	Polietileno
PVC	Policloreto de Vinila
RGB	Red Green Blue
RPA	Aeronaves Remotamente Pilotadas
TGI	Triangular Greenness Index
T1R1	Transport Inhibitor Response 1
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
2,4-D	ácido 2,4-diclorofenoxiacético

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Culturas resistentes a herbicidas.....	8
1.2 O herbicida dicamba.....	9
1.3 Exposição de soja ao dicamba.....	12
2 OBJETIVO GERAL.....	15
2.1 Objetivos Específicos.....	15
REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO II.....	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT.....	24
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Procedimentos de contaminação e descontaminação de tanque.....	28
2.1.1 Limpeza prévia dos pulverizadores.....	28
2.1.2 Contaminação do tanque.....	29
2.1.3 Descontaminação do tanque.....	29
2.2 Estudo 1 - Resíduo de dicamba na água dos enxágues.....	30
2.3 Estudo 2 – Injúria na soja causada por resíduos de dicamba no pulverizador.....	30
2.4 Análises estatísticas.....	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1 Análise de variância.....	33
3.2 Resíduos de dicamba.....	35
3.3 Análise visual de injúria.....	37
3.4 Altura das plantas e produtividade.....	39
4 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
CAPÍTULO III.....	48
RESUMO.....	49
ABSTRACT.....	50
1 INTRODUÇÃO.....	51
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1 Tratamentos.....	53
2.2 Avaliações.....	54
2.3 Análise estatística.....	55
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.1 Análise visual de injúria.....	60
3.2 Resposta do índice de vegetação.....	61
3.3 Altura das plantas.....	63
3.4 Produtividade da cultura.....	64
3.5 Correlações.....	65
4 CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS.....	68

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

#### 1.1 Culturas resistentes a herbicidas

O manejo de plantas daninhas no passado era realizado principalmente com práticas mecânicas e culturais. Com a introdução de culturas resistentes ao herbicida glyphosate em meados da década de 1990, o manejo evoluiu para o uso massivo do controle químico devido à sua eficiência, simplicidade, economia e segurança (GREEN; OWEN, 2011). Com isso, o uso desta tecnologia possibilitou o aumento da diversidade de práticas de manejo de plantas daninhas e a rotação de ingredientes ativos e mecanismos de ação dos herbicidas. O glyphosate poderia ser usado de forma combinada com outros herbicidas na mesma aplicação ou fazendo parte de um programa de aplicações sequenciais.

Tais poderiam ter auxiliado na construção de um manejo integrado sustentável em longo prazo. Porém, por ser um herbicida de amplo espectro de ação e não seletivo, a maioria dos produtores utilizou o glyphosate isoladamente e com sucesso nos primeiros 15 anos (GREEN, 2018). Entre 1995 e 2002, o número de diferentes mecanismos de ação (usados em pelo menos 10% da área de produção de soja nos EUA) reduziu de sete para um (inibidor da EPSPs – glyphosate) e o uso de herbicidas pré-emergentes reduziu em mais de 50% (YOUNG, 2006).

No Brasil, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) resistente ao glyphosate foi cultivada legalmente a partir de 2005, e em cinco anos já representava 75% da área de produção de soja no país, sendo que o principal método de controle de plantas daninhas era utilizando-se o glyphosate (MESCHEDE; GAZZIERO, 2016; JAMES, 2010).

Paralelamente, a descoberta de novos mecanismos de ação e ingredientes ativos reduziu drasticamente nos últimos 30 anos. Um dos motivos foi à própria adoção em massa de culturas resistentes ao glyphosate. Outros fatores foram a consolidação da indústria agroquímica que reduziu o número de companhias e grupos de pesquisas engajados na descoberta de novos pesticidas e os investimentos em pesquisa de novas moléculas que foram parcialmente transferidos para o melhoramento genético de culturas transgênicas e os custos da pesquisa, desenvolvimento e atendimento às exigências regulatórias se elevaram (DUKE, 2012).

A exigência de produtos menos tóxicos, mais seguros ao ambiente e mais específicos para o alvo elevou muito o custo de pesquisa, desenvolvimento e registro de um novo pesticida, cuja estimativa passou de 152 milhões de dólares em 1995 para 286 milhões de dólares no período de 2010-2014 (MCDUGALL, 2016; SPARKS; LORSBACH, 2017).

Com este cenário, o uso exclusivo do glyphosate no controle de plantas daninhas alterou o espectro de espécies em direção à seleção de populações resistentes nos campos de cultivos (JOHNSON *et al.*, 2009; OWEN, 2008).

Existe relato de mais de 300 casos individuais de resistência ao glyphosate, distribuídos entre 48 espécies de plantas. Entre elas, há plantas de difícil controle na cultura da soja como buva (*Conyza* sp.), caruru (*Amaranthus* sp.) e erva-de-touro (*Tridax procumbens*) (HEAP, 2020). Atualmente, no Brasil há relatos de 10 espécies resistentes ao glyphosate, entre elas, algumas espécies dicotiledôneas como: *Amaranthus palmeri*, *Amaranthus hibrydus*, *Conyza bonariensis*, *Conyza canadensis*, *Conyza sumatrensis* e mais recentemente foi constatada a resistência em *Euphorbia heterophylla* (ADEGAS *et al.*, 2020; AGOSTINETTO *et al.*, 2019; LUCIO *et al.*, 2019).

Este avanço nos casos de resistência de plantas daninhas e a escassez de novos herbicidas para controle destas plantas, trouxeram preocupações sobre a viabilidade a longo prazo da tecnologia de plantas resistentes a herbicidas. Para auxiliar no controle dessas espécies e evitar o surgimento de novos casos de resistências, pesquisas foram realizadas para desenvolver plantas resistentes aos herbicidas reguladores de crescimento, como 2,4-D e dicamba (GREEN, 2014; SERVICE, 2013).

## 1.2 O herbicida dicamba

O dicamba é um herbicida de baixo custo, seguro ao ambiente, de baixa persistência no solo e com baixa toxicidade. O desenvolvimento de plantas resistentes a ele e a outros herbicidas pode facilitar o manejo integrado de plantas daninhas por adicionar mais um modo de ação para o manejo da cultura da soja com bons resultados no controle de espécies dicotiledôneas tolerantes e resistentes ao glyphosate (BEHRENS *et al.*, 2007). Apesar de ter sido descoberto e amplamente usado há mais de 50 anos, apenas sete espécies desenvolveram resistência ao dicamba (HEAP, 2020).

A tolerância da soja ao dicamba é conferida pelo gene dicamba monooxigenase (DMO) encontrado na bactéria de solo *Stenotrophomonas maltophilia*. A enzima dicamba

monooxigenase converte o herbicida dicamba (ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico) em ácido 3,6-dicloro-2-hidroxibenzoico, composto que não possui atividade herbicida. Desta forma, na soja resistente ao dicamba, a enzima bloqueia a ação herbicida antes de ficar em níveis tóxicos na planta, mesmo que elas sejam expostas a altas doses do herbicida (BEHRENS *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2016).

O dicamba é um herbicida seletivo do grupo químico do ácido benzoico, pertencente ao mecanismo de ação conhecido por mimetizadores de auxina, reguladores de crescimento, auxinas sintéticas ou herbicidas hormonais. Este herbicida é usado no controle de plantas daninhas dicotiledôneas, principalmente em culturas monocotiledôneas desde o seu registro nos EUA em 1967 (EGAN; MORTENSEN, 2012; OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011; US EPA, 2006).

Os fitohormônios são mensageiros químicos produzidos para atuar em processos celulares, e tem importante papel na regulação e coordenação do metabolismo, crescimento, morfogênese e na resposta da planta a fatores bióticos e abióticos. As auxinas atuam na regulação da divisão celular e em processos de alongamento e desenvolvimento, como formação de raízes, diferenciação de tecido vascular e meristema floral, dominância apical, respostas trópicas e senescência (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; TAIZ *et al.*, 2017). A auxina é tóxica em altas concentrações celulares, e atinge a toxicidade na ausência do controle homeostático como a conjugação com outras moléculas (hexoses, aminoácidos, peptídeos, glicanos complexos, glicoproteínas), sequestro em compartimentos endomembranas, degradação oxidativa e transporte (TAIZ *et al.*, 2017).

O ácido 3-indolacético (AIA) é considerado a auxina vegetal primária que influencia vários aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas. Auxinas sintéticas como o ácido 4-cloro-o-toliloxiacético (MCPA) e ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) foram desenvolvidas na década de 1940, e causam respostas fisiológicas similares às causadas pelo AIA, porém com ação mais forte e duradoura, porque estão menos sujeitas ao controle homeostático das plantas. Isso decorre da maior estabilidade em relação às auxinas naturais, assim, quando em baixas concentrações, as auxinas sintéticas estimulam os processos de crescimento e desenvolvimento, mas em altas concentrações causam distúrbios fisiológicos nas plantas (GROSSMANN, 2009; TAIZ *et al.*, 2017).

A ação das auxinas sintéticas pode ser dívida em três fases consecutivas (GLEASON; FOLEY; SINGH, 2011). A primeira é a fase de estimulação de crescimento anormal e expressão gênica que acontece poucas horas após a aplicação. Após a absorção do herbicida,

este se liga a um receptor de auxina denominado *Transport Inhibitor Response 1* (TIR1), ativando a transcrição dos genes responsivos à auxina. Em seguida, há um aumento na biossíntese de etileno e ácido abscísico (ABA), cuja ação em altos níveis inibe o crescimento da planta pelo fechamento de estômatos, isso resulta em uma menor assimilação de dióxido de carbono. A acidificação da parede celular torna as paredes mais plásticas, causando sintomas como epinastia foliar e curvatura do caule (GROSSMANN, 2009).

A segunda fase começa em torno de 24 h após a exposição, e é marcada pela inibição do crescimento das raízes e da parte aérea, redução da elongação dos internódios e da área foliar e intensificação da pigmentação verde nas folhas. O fechamento dos estômatos reduz a assimilação de carbono e a transpiração, o que resulta no acúmulo de espécies reativas de oxigênio que atuam na peroxidação dos lipídeos das membranas. Portanto, as duas primeiras fases atuam no metabolismo e crescimento, propiciando o efeito fitotóxico das auxinas, basicamente pela persistência e alta intensidade de ação nos tecidos vegetais. Na terceira fase ocorre o dano aos cloroplastos, à destruição das membranas celulares e da integridade do sistema vascular da planta, o que levam à murcha e necrose dos tecidos e consequentemente à morte da planta. (GLEASON; FOLEY; SINGH, 2011; GROSSMANN, 2007, 2009; MITHILA *et al.*, 2011).

Os herbicidas reguladores de crescimento geralmente são mais ativos para plantas dicotiledôneas com exceção do herbicida quinclorac. As plantas monocotiledôneas metabolizam o dicamba em outros metabólitos não prejudiciais, como o 3,6-dicloro-5-hidroxi-2-metoxibenzoico e ácido 3,6-dicloro-2-hidroxibenzoico de forma rápida antes do herbicida causar injúrias na planta. Plantas de trigo (*Triticum vulgare* L.) metabolizam rapidamente o herbicida dicamba, aproximadamente 50% do herbicida aplicado nas primeiras 24 h. Por outro lado, espécies dicotiledôneas como *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn. e *Sinapis arvensis* L. metabolizam em torno de 10% e 20% do herbicida, respectivamente após 20 dias do tratamento (CHANG; VANDEN BORN, 1971).

Em virtude disso, estes herbicidas são indicados para o uso em culturas monocotiledôneas como milho, sorgo, cana-de-açúcar, pastagens, trigo, cevada e outros cereais. Também podem ser usados na dessecação pré-semeadura/plantio de culturas sensíveis, quando as aplicações são realizadas de forma antecipada, de modo que ocorra a degradação dos herbicidas no solo (EGAN; MORTENSEN, 2012; EVERITT; KEELING, 2007; JOHNSON *et al.*, 2010).

Na soja resistente, o dicamba deve ser aplicado em pós-emergência das plantas daninhas, antes ou após o estabelecimento da cultura. Espera-se que a disponibilidade desta tecnologia aumente o uso deste herbicida e com isso algumas preocupações e problemas podem surgir caso o produto atinja áreas não alvo. A maioria das plantas dicotiledôneas são sensíveis a baixas doses de dicamba entre essas plantas têm-se diversas culturas não resistentes como a própria soja, algodão, frutíferas e olerícolas (MORTENSEN *et al.*, 2012).

### 1.3 Exposição de soja ao dicamba

A cultura da soja é naturalmente muito suscetível ao dicamba. A exposição às baixas doses, geralmente não causa sintomas nas folhas completamente desenvolvidas, entretanto, as folhas que ainda estão em expansão ou desenvolvimento demonstram sintomas de enrugamento e encarquilhamento. Além disso, o herbicida pode causar má-formação de vagens, atraso na maturação e reduzir a germinação das sementes colhidas. Com maior nível de exposição, as plantas podem apresentar torção do caule, queda de folhas, redução da altura da planta e morte do meristema apical, podendo chegar à morte da planta (BOERBOOM, 2009; JONES *et al.*, 2019; ZIMMER *et al.*, 2019).

Nesse sentido, o dano do herbicida causado na soja suscetível é dependente da dose e do estágio de desenvolvimento em que as plantas são expostas. A soja é mais suscetível ao dicamba quando é exposta durante o florescimento (estádios R1 e R2). Quando a exposição ocorre no início do estágio vegetativo (V1 até V4), geralmente as plantas se recuperam de injúrias leves a moderadas (EGAN; BARLOW; MORTENSEN, 2014; JONES; NORSWORTHY; BARBER, 2019; KNISS, 2018; SCHOLTES *et al.*, 2019).

A exposição da soja a doses a partir de 0,03 g equivalente ácido de dicamba ha<sup>-1</sup> pode causar sintomas visíveis de injúria. Diversos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de entender a relação entre o dicamba e os danos na cultura da soja, entretanto, os resultados são variados porque fatores como: estágio de desenvolvimento da cultura, cultivar, condições meteorológicas, condições fisiológicas da cultura, e fonte da exposição interferir nesses resultados. Em função disso, estudos de meta-análise foram feitos para obter estimativas mais robustas que um único estudo pode produzir (EGAN; BARLOW; MORTENSEN, 2014; KNISS, 2018). A mais recente realizada por Kniss (2018), sugere que a redução de 5% na produtividade da soja ocorra com aproximadamente 36% de injúria no início do estágio vegetativo e com 12% durante o florescimento.

A estimativa da dose recebida pelas plantas é muito difícil de ser realizada, principalmente quando advém de eventos de deriva. A avaliação da reposta da cultura ao herbicida, é feita com o uso de escala de avaliação visual proposta por BEHRENS e LUESCHEN (1979), variando entre zero (ausência de sintomas de injúria) até 100% (plantas mortas) com evolução gradual dos sintomas entre os extremos. Porém, a variabilidade esperada entre avaliadores e os outros fatores que influenciam na resposta das plantas afetam a capacidade de estimar os danos à cultura e prever a redução da produtividade (FOSTER *et al.*, 2019). Além disso, as injúrias podem ocorrer de forma heterogênea no campo, especialmente quando a injúria é causada pela deriva do herbicida, dificultando a estimativa de redução da produtividade na área. Entretanto, atualmente têm-se outras formas de avaliar a sanidade da vegetação como o uso do sensoriamento remoto por meio de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), que podem coletar informações de grandes áreas e serem usadas na avaliação de injúria causada por herbicidas (ATZBERGER, 2013; HENRY *et al.*, 2004).

Há três rotas comuns para plantas de soja não resistente ao dicamba serem expostas a este herbicida: deriva física, deriva de vapor e contaminação do sistema de pulverização. A deriva física consiste no movimento do herbicida em forma de gotas durante a aplicação do produto, do local da aplicação para uma área não alvo. Esse tipo de deriva é influenciado principalmente pelo tamanho das gotas pulverizadas, velocidade do vento, altura da barra de pulverização, umidade relativa do ar e temperatura do ar (AL HEIDARY *et al.*, 2014; JONES; NORSWORTHY; BARBER, 2019)

Outra forma de exposição é por meio da deriva de vapor. A volatilização acontece quando o herbicida passa do estado líquido para o gasoso. Este fenômeno é influenciado por características intrínsecas do herbicida e por condições meteorológicas do ambiente. O dicamba é muito suscetível à volatilização com uma pressão de vapor de  $1,25 \times 10^{-5}$  mm Hg a 25° C, enquanto que o glyphosate apresenta  $9,8 \times 10^{-8}$  mm Hg a 25°C (NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2020a, 2020b). A volatilidade do dicamba é influenciada pelo tipo de formulação, por isso o herbicida é formulado como um sal, visto que na forma de ácido apresenta alta volatilidade (BOERBOOM, 2009).

Três formulações de sal de dicamba estão disponíveis: dimetilamina (DMA), diglicolamina (DGA) e bis-aminopropil-metilamina (BAPMA). A formulação DMA é a mais antiga e mais volátil. A formulação DGA reduziu a volatilização em cerca de 94% quando comparada com a formulação DMA. Em virtude do desenvolvimento de cultivares de soja



resistente ao herbicida, novas opções surgiram para controlar a volatilização e reduzir problemas com deriva para áreas adjacentes, como a formulação BAPMA e uma formulação especial de DGA que contém um aditivo modificador de pH que inibe a formação de dicamba na forma ácida. Apenas essas duas formulações mais recentes são liberadas para a aplicação sobre a soja resistente ao dicamba nos EUA. Contudo, todas as formulações de dicamba volatilizam, porém algumas são significativamente menos voláteis. Fatores como a temperatura e umidade relativa do ar interferem na volatilização, uma vez que altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar intensificam este processo (EGAN; MORTENSEN, 2012; JONES; NORSWORTHY; BARBER, 2019; MUELLER; STECKEL, 2019).

Além dessas duas formas de exposição pela deriva, outra preocupação é com o uso dos equipamentos de pulverização após a aplicação do herbicida dicamba. É importante destacar que quando a descontaminação não é realizada de forma correta podem ficar aderidos em várias partes do equipamento de pulverização resíduos do herbicida em concentração capaz de causar injúria em culturas suscetíveis (BOERBOOM, 2009; SOLTANI; NURSE; SIKKEMA, 2016). A contaminação do tanque pode afetar culturas sensíveis até meses depois da aplicação com dicamba se o equipamento não foi limpo corretamente, o que afeta o desenvolvimento das plantas e em alguns casos reduz a produtividade da cultura (JOHNSON *et al.*, 1999). Portanto, o uso do dicamba demandará esforços para descontaminação correta dos componentes dos pulverizadores, visto que o herbicida pode causar injúrias em concentrações extremamente baixas.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho teve como objetivo central entender alguns riscos inerentes ao uso do herbicida dicamba, bem como propor melhores práticas para avaliação da injúria na cultura da soja não resistente a este herbicida.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Avaliar a persistência de resíduo de dicamba em pulverizadores com tanques de diferentes tipos de materiais (fibra de vidro e polietileno) ao longo do procedimento de descontaminação por meio de enxágues e o efeito desse resíduo na sintomatologia da soja não resistente ao dicamba.
- Avaliar a injúria causada pela deriva física simulada do herbicida dicamba na cultura da soja e correlacionar estas avaliações com o uso de índice de vegetação TGI em imagens obtidas por um sensor RGB embarcado em RPA.

## REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. *et al.* **Euphorbia heterophylla**: um novo caso de resistência ao glifosato no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 98). Disponível em:  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121045/1/ComTec98.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Low level resistance of wild poinsettia biotypes to glyphosate and alternative chemical control. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 4, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n4a2019-42118>. Disponível em:  
<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/42118>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- AL HEIDARY, M. *et al.* Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection**, Guildford, v. 63, p. 120–130, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219414001604?via%3Dihub>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, Basel, v. 5, n. 2, p. 949–981, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5020949>. Disponível em:  
<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/2/949>. Acesso em: 08 jul. 2020.
- BEHRENS, M. R. *et al.* Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, New York, v. 316, n. 5828, p. 1185–1188, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1141596>. Disponível em:  
<https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1141596>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- BEHRENS, R.; LUESCHEN, W. E. Dicamba volatility. **Weed Science**, New York, v. 27, n. 5, p. 486–493, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043174500044453>. Disponível em:  
<https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/dicamba-volatility/28C48474F2557F95ED13FE17490E92CF>. Acesso em: 27 abr. 2020.
- BOERBOOM, C. Dicamba and soybeans: a controversial combo. *In*: PROCEEDINGS OF THE 21ST ANNUAL INTEGRATED CROP MANAGEMENT CONFERENCE, 21., 2009, Ames. **Anais [...]**. Iowa, Digital Press, 2009. p. 53-57. Disponível em:  
<https://lib.dr.iastate.edu/icm/2009/proceedings/5/>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- CHANG, F. Y.; VANDEN BORN, W. H. Dicamba Uptake, Translocation, Metabolism, and Selectivity. **Weed Science**, New York, v. 19, n. 1, p. 113–117, 1971. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043174500048414>. Disponível em:  
[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500048414/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500048414/type/journal_article). Acesso em: 11 abr. 2020.
- DUKE, S. O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? **Pest Management Science**, West Sussex, v. 68, n. 4, p. 505–512, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1002/ps.2333>. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.2333>. Acesso em: 13 abr. 2020.

EGAN, J. F.; BARLOW, K. M.; MORTENSEN, D. A. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, New York, v. 62, n. 1, p. 193–206, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00025.1>. Disponível em:  
[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500013710/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500013710/type/journal_article). Acesso em: 11 abr. 2020.

EGAN, J. F.; MORTENSEN, D. A. Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 31, n. 5, p. 1023–1031, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.1778>. Disponível em:  
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.1778>. Acesso em: 10 abr. 2020.

EVERITT, J. D.; KEELING, J. W. Weed control and cotton (*Gossypium hirsutum*) response to preplant applications of dicamba, 2,4-D, and diflufenzopyr plus dicamba. **Weed Technology**, New York, v. 21, n. 2, p. 506–510, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-06-124.1>. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/4495885>. Acesso em: 11 abr. 2020.

FOSTER, M. R. *et al.* Development of a model to predict soybean yield loss from dicamba exposure. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 2, p. 287–295, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.120>. Disponível em:  
[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18001203/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18001203/type/journal_article). Acesso em: 20 abr. 2020.

GLEASON, C.; FOLEY, R. C.; SINGH, K. B. Mutant analysis in arabidopsis provides insight into the molecular mode of action of the auxinic herbicide dicamba. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 6, n. 3, p. e17245, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017245>. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0017245>. Acesso em: 10 abr. 2020.

GREEN, J. M. Current state of herbicides in herbicide-resistant crops. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 70, n. 9, p. 1351–1357, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3727>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.3727>. Acesso em: 13 abr. 2020.

GREEN, J. M. The rise and future of glyphosate and glyphosate-resistant crops: Glyphosate and glyphosate-resistant crops. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 74, n. 5, p. 1035–1039, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4462>. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.4462>. Acesso em: 13 abr. 2020.

GROSSMANN, K. Auxin herbicide action: lifting the veil step by step. **Plant Signaling & Behavior**, Georgetown, v. 2, n. 5, p. 421–423, 2007. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.4161/psb.2.5.4417>. Disponível em:  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19704620/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 66, n. 2, p. 113–120, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1860>. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.1860>. Acesso em: 10 abr. 2020.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Pages/MOA.aspx>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

HENRY, W. B. *et al.* Remote sensing to detect herbicide drift on crops. **Weed Technology**, New York, v. 18, n. 2, p. 358–368, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-03-098>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00014275/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00014275/type/journal_article). Acesso em: 02 jul. 2020.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops: 2010**. Ithaca: ISAAA, 2010. Disponível em: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/42/download/isaaa-brief-42-2010.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.

JOHNSON, B. *et al.* Weed control in dicamba-resistant soybeans. **Crop Management**, Madison, v. 9, n. 1, p. 1-23, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1094/CM-2010-0920-01-RS>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1094/CM-2010-0920-01-RS>. Acesso em: 11 abr. 2020.

JOHNSON, B. *et al.* **Precautions for using dicamba herbicides in Xtend Soybeans**. West Lafayette: Purdue Extension, 2018. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/WS/WS-55-W.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

JOHNSON, W. G. *et al.* **Cleaning field sprayers to avoid crop injury**. [S. I.]: MU Extension, 1999. Disponível em: <http://cotton.tamu.edu/Weeds/Cleaning%20Field%20Sprayers.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

JOHNSON, W. G. *et al.* Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. **European Journal of Agronomy**, Montrouge, v. 31, n. 3, p. 162–172, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.03.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030109000604?via%3Dihub>. Acesso em: 13 abr. 2020.

JONES, G. T. *et al.* Effect of low doses of dicamba alone and in combination with glyphosate on parent soybean and offspring. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 1, p. 17–23, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.87>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000878/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000878/type/journal_article). Acesso em: 15 abr. 2020.

JONES, G. T.; NORSWORTHY, J. K.; BARBER, T. Off-target movement of diglycolamine dicamba to non-dicamba soybean using practices to minimize primary drift. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 1, p. 24–40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.90>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/offtarget-movement-of-diglycolamine-dicamba-to-nondicamba-soybean-using-practices-to-minimize-primary-drift/928F884FCFDEDA4F9610202B0C4E00FC>. Acesso em: 14 abr. 2020.

KNISS, A. R. Soybean response to dicamba: a meta-analysis. **Weed Technology**, New York, v. 32, n. 5, p. 507–512, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.74>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X1800074X/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X1800074X/type/journal_article). Acesso em: 20 abr. 2020.

LUCIO, F. R. *et al.* Dispersal and frequency of glyphosate-resistant and glyphosate-tolerant weeds in soybean-producing edaphoclimatic microregions in Brazil. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 1, p. 217–231, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.97>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000970/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000970/type/journal_article). Acesso em: 13 abr. 2020.

MCDougall, P. **The cost of new agrochemical product discovery, development and registration in 1995, 2000, 2005–8 and 2010 to 2014**. Pathhead: Phillips McDougall, 2016. Disponível em: <https://croplife.org/wp-content/uploads/2016/04/Cost-of-CP-report-FINAL.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

MESCHEDE, D. K.; GAZZIERO, D. L. P. **A era glyphosate: agricultura, meio ambiente e homem**. Londrina: Midiograf II, 2016.

MITHILA, J. *et al.* Evolution of resistance to auxinic herbicides: historical perspectives, mechanisms of resistance, and implications for broadleaf weed management in agronomic crops. **Weed Science**, New York, v. 59, n. 4, p. 445–457, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00062.1>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500020658/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500020658/type/journal_article). Acesso em: 10 abr. 2020.

MORTENSEN, D. A. *et al.* Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, Washington, v. 62, n. 1, p. 75–84, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.1525/bio.2012.62.1.12>. Acesso em: 14 abr. 2020.

MUELLER, T. C.; STECKEL, L. E. Dicamba volatility in humidomes as affected by temperature and herbicide treatment. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 04, p. 541–546, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.36>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X19000368/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X19000368/type/journal_article). Acesso em: 14 abr. 2020.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **PubChem Compound Database: glyphosate**, 2020a. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/3432#section=Update-History>. Acesso em: 15 abr. 2020.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **PubChem Compound Database: dicamba**, 2020b. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dicamba#section=MeSH-Entry-Terms>. Acesso em: 15 abr. 2020.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, Brasil: Omnipax, 2011. Disponível em: <http://omnipax.com.br/livros/2011/BMPD/BMPD-livro.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

OWEN, M. D. Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 64, n. 4, p. 377–387, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1539>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18232055/>. Acesso em: 13 abr. 2020.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan SA, 2001.

SCHOLTES, A. B. *et al.* Effect of soybean growth stage on sensitivity to sublethal rates of dicamba and 2,4-D. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 04, p. 555–561, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.39>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X19000393/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X19000393/type/journal_article). Acesso em: 20 abr. 2020.

SERVICE, R. F. What happens when weed killers stop killing? **Science**, New York, v. 341, n. 6152, p. 1329, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.341.6152.1329>. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/341/6152/1329.abstract>. Acesso em: 13 abr. 2020.

SOLTANI, N.; NURSE, R. E.; SIKKEMA, P. H. Response of glyphosate-resistant soybean to dicamba spray tank contamination during vegetative and reproductive growth stages. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 96, n. 1, p. 160–164, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0175>. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cjps-2015-0175>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SPARKS, T. C.; LORSBACH, B. A. Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery: Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 73, n. 4, p. 672–677, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4457>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.4457>. Acesso em: 13 abr. 2020.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Reregistration eligibility decision for dicamba and associated salts**. [S. I.]: US EPA Washington, 2006. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P10049M3.TXT>. Acesso em: 10 abr. 2020.

WANG, C. *et al.* Safety assessment of dicamba mono-oxygenases that confer dicamba tolerance to various crops. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, New York, v. 81, p. 171–182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.08.014>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0273230016302446>. Acesso em: 14 abr. 2020.

YOUNG, B. G. Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate-resistant crops. **Weed Technology**, New York, v. 20, n. 2, p. 301–307, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-04-189.1>. Disponível em:

[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00018285/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00018285/type/journal_article). Acesso em: 13 abr. 2020.

ZIMMER, M. *et al.* **Differentiating 2,4-D and dicamba injury on soybeans**. West Lafayette: Purdue Extension, 2019. Disponível em: <https://ag.purdue.edu/btny/weedscience/Documents/WS-56.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.



## **CAPÍTULO II**

### **RESÍDUOS DE DICAMBA EM PULVERIZADORES: INJÚRIA EM SOJA NÃO RESISTENTE AO HERBICIDA**

## **RESÍDUOS DE DICAMBA EM PULVERIZADORES: INJÚRIA EM SOJA NÃO RESISTENTE**

### **RESUMO**

A descontaminação do tanque do pulverizador após as aplicações de dicamba é importante para evitar injúria em culturas sensíveis, como a soja não resistente ao herbicida. A eficiência dos procedimentos de descontaminação do tanque depende de vários fatores, incluindo o número de enxágues e o material do tanque. O objetivo deste estudo foi avaliar o resíduo de dicamba durante o processo de descontaminação de pulverizadores com tanques de diferentes materiais (fibra de vidro e polietileno) e os efeitos desse resíduo na sintomatologia de soja não resistente ao dicamba. O experimento consistiu-se na pulverização de água coletada nos enxágues durante a descontaminação dos pulverizadores em soja não resistente ao dicamba no estágio V3. Depois que a solução com dicamba foi misturada no tanque do pulverizador e pulverizada, quatro enxágues foram feitos e, para cada enxágue, uma amostra foi coletada. A análise do resíduo de dicamba nos enxágues foi realizada em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e esquema fatorial 2 x 4 (material do tanque versus número de enxágues), utilizando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). A avaliação de injúria em soja por resíduo de dicamba foi realizada em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e esquema fatorial 2 x 4 + 1 (controle sem aplicação). O dicamba foi removido efetivamente com a realização de pelo menos três enxágues, independentemente do material do tanque. O pulverizador com tanque de fibra de vidro reteve mais resíduos no primeiro enxágue, mas foi similar ao pulverizador com tanque de polietileno nos enxágues seguintes. A altura das plantas foi reduzida pela aplicação do primeiro enxágue, independentemente do material do tanque, enquanto a estimativa visual de injúria e a redução da produtividade foram observadas pela aplicação do primeiro e segundo enxágues.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contaminação de tanque. Resíduo do tanque. Tanque de fibra de vidro. Tanque de polietileno. Soja não-tolerante ao dicamba.

## DICAMBA RESIDUES IN SPRAYERS: INJURY IN NON-RESISTANT SOYBEAN

### ABSTRACT

Sprayer tank cleanout after dicamba applications is important to avoid injury on susceptible crops, such as non-dicamba resistant (DR) soybean. The efficiency of tank cleanout procedures depends on several factors, including the number of rinses and tank material. The objective of this study was to evaluate the dicamba residue during cleanout procedures in sprayers with different tank materials (fiberglass and polyethylene) and the effects of this residue on symptomology of non-DR soybean. Experiment consisted of spraying rinsates collected during sprayer cleanout on non-DR soybean at V3 stage. Once dicamba solution was mixed in the sprayer tank and drained, four rinses were made and for each rinse a sample was collected. The analysis of dicamba residue in each rinse solution was conducted in a completely randomized design with three replications and 2 x 4 factorial scheme (tank material versus number of rinse), using High-Performance Liquid Chromatograph (HPLC). The evaluation of injury on non-DR soybean caused by dicamba residue were conducted in a randomized complete block design with four replications and 2 x 4 + 1 factorial scheme (untreated control). Dicamba was effectively removed using at least three rinses regardless of spray tank material. Fiberglass tank sprayer retained more residue in the first rinse, but similar to polyethylene tank sprayer in the following rinses. Plant height was reduced by the application of the first rinse regardless of tank material, while the visual estimate of injury and the reduction of productivity were observed by the application of the first and second rinses.

**KEY WORDS:** Tank contamination. Tank residue. Fiberglass tank. Polyethylene tank. Non-dicamba tolerant soybean.

## 1 INTRODUÇÃO

O herbicida glyphosate tornou-se a principal ferramenta de manejo no controle de plantas daninhas, em especial nas culturas resistentes a este herbicida, como a soja. Entretanto, isso exerceu extrema pressão de seleção nas plantas daninhas, acarretando a evolução da resistência em várias espécies (GREEN, 2014, 2018). Com isso, tem-se buscado a disponibilização de cultivos resistentes a outros herbicidas como, por exemplo, ao dicamba, o que permite o uso de outros modos de ação para o manejo da resistência e controle de plantas daninhas (BEHRENS *et al.*, 2007; JONES; NORSWORTHY; BARBER, 2019).

O dicamba é uma auxina sintética, mais estável na planta em relação às auxinas naturais, e tem sido usado como herbicida no controle de plantas dicotiledôneas, especialmente em culturas de cereais (GROSSMANN, 2009). Várias espécies são sensíveis ao dicamba entre elas a soja. No entanto, como alternativa de manejo de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, cultivares de soja resistentes ao dicamba foram desenvolvidas e comercialmente introduzidas no mercado norte-americano em 2016. Assim, o dicamba pode ser aplicado em pré e pós-emergência da cultura (BYKER *et al.*, 2013; MORTENSEN *et al.*, 2012).

A adoção desta nova biotecnologia, contudo, pode aumentar o risco de injúria nas plantas sensíveis (EGAN; BARLOW; MORTENSEN, 2014; MORTENSEN *et al.*, 2012) em especial naquelas cultivadas nas proximidades das áreas tratadas com este herbicida. Sintomas de injúrias na soja não resistente ao dicamba atingem desde as folhas mais novas, pecíolos, caules até as vagens. Entretanto, é difícil mensurar o impacto desta injúria na produtividade da cultura, porque plantas que sofreram injúrias leves a moderadas podem se recuperar (FOSTER; GRIFFIN, 2019; JONES *et al.*, 2019).

A sensibilidade da soja depende de vários fatores entre eles o estágio de desenvolvimento da cultura. Quando a exposição ocorre de forma mais tardia no estágio vegetativo ou no início do estágio reprodutivo, a cultura pode sofrer mais com a injúria, e dependendo da dose do herbicida ao quais plantas foram expostas pode haver redução da produtividade (MCCOWN; BARBER; NORSWORTHY, 2018).

A exposição ao dicamba pode ocorrer por deriva de partícula, que consiste no movimento de gotas contendo o herbicida para áreas não alvo (AL HEIDARY *et al.*, 2014) por meio da deriva de vapor em razão da volatilidade do herbicida. Nesta, o produto pode ser levado para áreas não alvo em forma de vapor, especialmente em condições de altas

temperaturas e baixa umidade relativa (BOERBOOM, 2009; WERLE; PROOST; BOERBOOM, 2018).

Outra fonte de exposição ocorre com o emprego de pulverizadores que foram utilizados em aplicações do herbicida dicamba. Estes equipamentos contêm partes que ficam em contato direto com a calda fitossanitária, como: tanque, filtros, bomba, mangueiras, barra de pulverização e pontas; e todas têm potencial de acumular resíduos que podem causar injúrias em aplicações subsequentes nas culturas sensíveis (BOERBOOM, 2009).

A matéria-prima dos componentes do pulverizador influencia na capacidade de retenção de produtos. Materiais mais rugosos e porosos, além de serem mais propensos à retenção de resíduos, dificultam o processo de descontaminação. Por exemplo, mangueiras novas feitas de PVC-poliuretano e borracha sintética apresentaram imperfeições que se agravaram com o uso, resultando em maior retenção de dicamba quando comparados à mangueiras de polietileno que mesmo após o uso apresentavam a superfície lisa com pouco desgaste e menor retenção do herbicida (CUNDIFF; REYNOLDS; MUELLER, 2017).

Em relação ao tanque do pulverizador, os resíduos do dicamba podem ser dissolvidos novamente quando entram em contato com outros herbicidas, que possuem aditivos na formulação, agindo como produtos de limpeza e aumentando as chances de danos nas culturas sensíveis (JOHNSON *et al.*, 1999). Desta forma, a disponibilidade de um equipamento específico para aplicação de dicamba seria a opção ideal para evitar problemas com resíduos. Porém, quando isso não for possível, os procedimentos de descontaminação do tanque e outros componentes do pulverizador irão desempenhar um papel importante para evitar injúria em culturas sensíveis (STECKEL; CHISM; THOMPSON, 2005).

As recomendações de descontaminação do tanque e outras peças do pulverizador para este herbicida geralmente prezam por um enxágue triplo de todo o sistema com a adição de algum produto de limpeza de tanque à base de detergente ou amoníaco no segundo enxágue (ATECTRA, 2019). Entretanto, a quantidade de água a ser utilizada, assim como o tempo de funcionamento do sistema de agitação varia entre as recomendações. Além disso, no mercado há vários pulverizadores disponíveis, com diferentes materiais de tanque, podendo contar ou não com um sistema próprio de limpeza. Estes fatores somados à falta de informações na literatura que aborde o processo de descontaminação de tanques após o uso com dicamba, dificultam uma recomendação generalizada para descontaminação dos pulverizadores, já que sua efetividade depende de várias características.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a persistência de resíduo de dicamba em pulverizadores com diferentes materiais de tanque ao longo do procedimento de descontaminação e o efeito desse resíduo na sobre a soja não resistente ao herbicida.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados durante a safra 2019/2020 na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. A área está localizada em 18°53'13,7" S de latitude e 48°20'37,3" O de longitude, com altitude de 842 metros, topografia plana e clima tipo Aw (tropical úmido com inverno seco) (BECK *et al.*, 2018).

O estudo foi dividido em três etapas. A primeira etapa consistiu nos procedimentos de contaminação e a descontaminação do tanque do pulverizador, incluindo a coleta de amostras da água dos enxágues. A segunda etapa correspondeu à quantificação do resíduo de dicamba nas amostras dos enxágues; e a terceira etapa consistiu na aplicação das amostras dos enxágues sobre plantas de soja não resistente ao herbicida.

### 2.1 Procedimentos de contaminação e descontaminação de tanque

Foram utilizados dois tipos de pulverizadores tratorizados de barra. Os modelos eram: pulverizador TLP 400 (Montana<sup>®</sup>, São José dos Pinhás, PR, Brasil; ano de fabricação: 2007), com tanque de polietileno (POL), bomba MPP 22 e barra de 10 m com 2 seções e distância entre bicos de 50 cm; e pulverizador JB 80-400 BR 12 (FMCopling<sup>®</sup>, Araraquara, SP, Brasil; ano de fabricação: 2007), com tanque de fibra de vidro (FV), bomba KPL e barra de 12 m com 4 seções e distância entre bicos de 50 cm. Ambos os pulverizadores tinham capacidade de tanque de 400 L, bombas que forneciam vazão de 80 L min<sup>-1</sup> e agitação hidráulica por retorno.

#### 2.1.1 Limpeza prévia dos pulverizadores

Antes da contaminação dos pulverizadores foi realizado um prévio procedimento de limpeza de todas as suas partes. A limpeza consistiu-se em uma tríplice lavagem do tanque do pulverizador, filtros principais, de linha e dos bicos usando um produto para limpeza à base de ácido dodecilbenzeno sulfônico (Cleaner TIS<sup>®</sup>, Forquímica<sup>®</sup>, Cambira, PR, Brasil) na proporção de 0,2% v v<sup>-1</sup>. Cada enxágue foi realizado com 300 L de água e o produto de limpeza foi adicionado no segundo enxágue. Toda a água da limpeza foi liberada pelas barras após um período de agitação de 5 min para o primeiro e terceiro enxágue, e de 30 min para o

segundo enxágue que continha o produto de limpeza. Após a limpeza, todas as pontas e filtros de pontas dos pulverizadores foram substituídos por pontas TTI 11002 (Teejet Technologies Spraying Systems Co., Glendale Heights, IL, EUA) e filtros novos (Malha 100).

### **2.1.2 Contaminação do tanque**

Para a contaminação do tanque com dicamba, foi utilizado o herbicida comercial Atectra® (BASF®), formulação de sal de diglicolamina de dicamba, na dose de 480 g equivalente ácido de dicamba ha<sup>-1</sup>. Para o ensaio, a calda de 300 L foi preparada simulando a aplicação em dois hectares com taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>, correspondendo à concentração inicial de 3200 mg e.a. de dicamba L<sup>-1</sup>.

A preparação da calda foi realizada seguindo as recomendações da bula do produto. O abastecimento com água limpa foi realizado com auxílio de baldes graduados. O herbicida foi adicionado no tanque do pulverizador apenas quando o tanque estava preenchido com 240 L de água e com o sistema de agitação em funcionamento.

Após 15 min de agitação, a pulverização foi realizada em uma estrada rural em baixa velocidade (3 km h<sup>-1</sup>), com a barra de pulverização a 50 cm acima do nível do solo e com pressão de trabalho de 200 kPa para produzir gotas de categoria ultra-grossa, de acordo com o fabricante das pontas, a fim de evitar deriva durante a aplicação. Aos 5, 10 e 15 min após o início da pulverização, amostras da calda fitossanitária foram coletadas diretamente das pontas. Estas amostras foram combinadas para representar a concentração de dicamba na calda fitossanitária.

### **2.1.3 Descontaminação do tanque**

Após a pulverização completa da calda fitossanitária, o tanque foi abastecido completamente com água. A bula do herbicida Atectra® não faz menção aos diferentes materiais de tanque no processo de descontaminação. Portanto, este processo foi realizado com todo o volume do tanque visando sua melhor descontaminação.

O sistema de agitação funcionou durante 10 min com as sessões fechadas. Em seguida, a água de descontaminação foi liberada pelas pontas de pulverização na pressão de trabalho de 200 kPa e nos tempos de 5, 10 e 15 min após o início da pulverização foram coletadas amostras simples da água do enxágue em três pontos da barra (centro e extremidades da



barra). Todas as amostras simples foram combinadas em uma amostra composta em garrafas plásticas de 2L. Após o término do 1º enxágue, o filtro principal e os filtros de sessões foram retirados e imersos em balde com água limpa sob agitação durante 15 s, para auxiliar na remoção dos resíduos.

O procedimento acima mencionado foi repetido mais três vezes, correspondendo ao 2º, 3º e 4º enxágue. As amostras coletadas em diferentes pontos da barra e em diferentes tempos de cada enxágue foram homogeneizadas para formar uma amostra composta de cada enxágue. Uma parte dessa amostra composta foi acondicionada em potes plásticos para a realização da análise de resíduos, e a outra parte foi acondicionada em garrafas plásticas sob proteção da luz (20 - 25° C) até que as aplicações fossem feitas na soja não resistente ao dicamba.

## **2.2 Estudo 1 - Resíduo de dicamba na água dos enxágues**

Este estudo foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x4, avaliando dois pulverizadores com diferentes materiais de tanque (POL e FV) e número de enxágues (1, 2, 3 e 4 enxágues) com três repetições (obtidas a partir da amostra composta).

As análises foram conduzidas no Laboratório de Desenvolvimento e Suporte ao Cliente da empresa Bayer Crop Science, em São José dos Campos, São Paulo, Brasil. As amostras coletadas foram analisadas utilizando a técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Alíquotas conhecidas foram diluídas em água deionizada e injetadas no cromatógrafo. A metodologia foi previamente validada e o equipamento foi calibrado por meio de concentrações conhecidas do padrão analítico de dicamba. Para a quantificação do resíduo nas amostras de água, foi utilizada a técnica de estimativa da concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) com base nas respostas obtidas com o padrão analítico na curva-padrão programada no cromatógrafo.

## **2.3 Estudo 2 – Injúria na soja causada por resíduos de dicamba no pulverizador**

O dano causado pelo resíduo de dicamba nos enxágues foi mensurado pela pulverização das amostras coletadas sobre soja não-resistente ao dicamba (NS 6909 IPRO, Nidera, São Paulo, SP, Brasil) em parcelas experimentais com densidade populacional de 350

mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  e espaçamento de 0,5 m entre linhas. As dimensões das parcelas foram de 5 m de comprimento e 2 m de largura, totalizando 10  $\text{m}^2$  de área. Na semeadura foi realizada a adubação com 320  $\text{kg ha}^{-1}$  de formulado N-P-K (02-25-10). A adubação de cobertura foi realizada com 250  $\text{kg ha}^{-1}$  de KCl no estágio R2. As aplicações de herbicida, fungicida e inseticida foram realizadas de acordo com a necessidade da cultura.

Este estudo foi realizado em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições em esquema fatorial  $2 \times 4 + 1$ . Os fatores foram compostos pelos pulverizadores com diferentes materiais de tanque (POL e FV), número de enxágues (1º, 2º, 3º e 4º) e um tratamento adicional (controle sem aplicação). O primeiro enxágue representa uma aplicação sem procedimento de descontaminação prévio, enquanto o 4º enxágue representa uma aplicação após a realização da tríplice lavagem.

As aplicações foram realizadas no estágio V3 da cultura da soja com auxílio de um pulverizador costal de pressão constante de  $\text{CO}_2$  (Herbicat, Catanduva, SP, Brasil) com barra de pulverização de quatro pontas TTI 110015 (Teejet Technologies Spraying Systems Co., Glendale Heights, IL, EUA), espaçadas entre si por 0,5 m. As aplicações foram realizadas com taxa de aplicação de 150  $\text{L ha}^{-1}$ , com pressão de trabalho de 200 kPa e velocidade de 1,06  $\text{m s}^{-1}$ . Para evitar deriva durante as aplicações, uma barreira física plástica foi utilizada como proteção ao redor da parcela experimental.

As condições meteorológicas foram monitoradas durante a aplicação com termohigro-anemômetro (Kestrel, Boothwyn, PA, EUA). A temperatura variou de 23,1 a 24,0°C, a umidade relativa do ar de 70,0 a 76,8% e a velocidade do vento de 0,2 a 5,1  $\text{km h}^{-1}$ .

Avaliações visuais de injúria de dicamba foram conduzidas com 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), baseadas em notas de 0 (plantas sem sintomas) a 100% (plantas mortas), conforme escala idealizada por Behrens e Lueschen (1979). A mensuração da altura das plantas foi realizada no estágio de maturação da cultura (R8). As medidas foram obtidas em três plantas representativas da parcela com auxílio de uma trena.

Para avaliação da produtividade, as plantas das duas linhas centrais foram colhidas manualmente e trilhadas mecanicamente. Na colheita desprezou-se 1 m em cada extremidade da linha de cultivo, totalizando 6 metros lineares  $\text{parcela}^{-1}$ . Antes da determinação da massa de grãos, as impurezas foram retiradas das amostras. O grau de umidade foi determinado pelo método de estufa a 105°C (BRASIL, 2009) e os dados da massa dos grãos foram ajustados para o teor de 13% de umidade e convertidos para produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## 2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2019). Quanto às pressuposições dos dados, para normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade entre blocos aplicou-se, respectivamente, os testes de Shapiro-Wilk, Bartlett ou O'Neill & Mathews, e Tukey para aditividade. Atendidas as pressuposições ( $p > 0,01$ ), os dados foram submetidos aos testes de F, Tukey e Dunnet (este nos ensaios com tratamento adicional).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Análise de variância**

Para o resíduo de dicamba e análise visual de injúria aos 14, 21 e 28 DAA encontrou-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os fatores “Pulverizador” e “Enxágues” (Tabela 1). Apenas o fator “Enxágues” foi significativo para a análise visual de injúria com 7 DAA, altura das plantas e produtividade.

Tabela 1. Resumo da análise de variância.

Causas de Variação	GL	Resíduo <sup>3</sup>	Análise visual de injúria				Altura	Produtividade
			7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA		
			F <sub>c</sub>					
<b>Pulverizador (P)</b>	1	412,7*	1,642	9,013*	17,408*	7,705*	0,0019	0,072
<b>Enxágues (E)</b>	3	31591,2*	192,831*	543,672*	1132,460*	568,252*	33,678*	5,019*
<b>P*E</b>	3	457,2*	0,669	5,168*	11,724*	6,007*	0,656	0,966
<b>CV (%)</b>		1,68	38,2	20,51	14,24	22,72	5,26	8,71
<b>SW</b>		0,9398 <sup>+</sup>	0,0504 <sup>+</sup>	0,0133 <sup>+</sup>	0,2923 <sup>+</sup>	0,0341 <sup>+</sup>	0,4815 <sup>+</sup>	0,8552 <sup>+</sup>
<b>B<sup>1</sup> / O&amp;M</b>		0,4685 <sup>+</sup>	0,0242 <sup>+</sup>	0,0508 <sup>+</sup>	0,0906 <sup>+</sup>	0,0186 <sup>+</sup>	0,3933 <sup>+</sup>	0,0242 <sup>+</sup>
<b>T<sup>2</sup></b>			0,9119 <sup>+</sup>	0,8515 <sup>+</sup>	0,601 <sup>+</sup>	0,0636 <sup>+</sup>	0,2667 <sup>+</sup>	0,6877 <sup>+</sup>

Fonte: O autor.

\* Significativo a 0,05 pelo teste F. **F<sub>c</sub>**: valor do F calculado. **CV (%)**: coeficiente de variação. **SW**: probabilidade do teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos. **B**: probabilidade do teste Bartlett para homogeneidade das variâncias. **O&M**: probabilidade do teste O'Neill & Mathews para homogeneidade das variâncias. **T**: probabilidade do teste de Tukey para aditividade dos blocos.

<sup>1</sup> Teste utilizado apenas para característica Resíduo (ensaio em DIC).

<sup>2</sup> Teste utilizado para as características análise visual de injúria, altura das plantas e produtividade (ensaios em DBC).

<sup>3</sup> Os dados originais passaram por transformação de log (x + 1).

<sup>+</sup> Atendimento (p > 0,01) da normalidade dos resíduos (SW), homogeneidade das variâncias (B, O&M) ou aditividade entre blocos e tratamentos.

### 3.2 Resíduos de dicamba

A quantidade de resíduo de dicamba nos pulverizadores foi influenciada pelo material do tanque e pela quantidade de enxágues durante o processo de descontaminação (Tabela 2). A amostra coletada no 1º enxágue do pulverizador de tanque de FV teve uma concentração de dicamba 2,2 vezes maior que a amostra coletada no 1º enxágue do pulverizador de tanque de POL. No entanto, nos demais enxágues a concentração de dicamba foi similar entre os dois pulverizadores avaliados.

Tabela 2. Resíduo de dicamba recuperado durante o processo de descontaminação (4 enxágues) de dois pulverizadores e concentração da calda herbicida coletada nas pontas de pulverização.

Enxágues	Material do tanque do pulverizador	
	Fibra de vidro (FV)	Polietileno (POL)
	Concentração de dicamba (mg L <sup>-1</sup> )	
1º enxágue	68,37 bC*	30,50 aD
2º enxágue	1,13 aB	1,11 aC
3º enxágue	0,54 aA	0,60 aB
4º enxágue	0,48 aA	0,49 aA
<b>Calda fitossanitária<sup>1</sup></b>	3008,55	3042,67

Fonte: O autor.

Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<sup>1</sup> A calda fitossanitária representa a concentração de dicamba da solução obtida a partir das pontas de pulverização durante os procedimentos de contaminação do tanque.

No presente trabalho, o tanque de FV reteve mais resíduo da calda fitossanitária, antes do processo de descontaminação. A FV e o POL são materiais comuns na fabricação de tanques para pulverizador. Ambos os materiais possuem grande resistência mecânica, entretanto, o tanque de pPOL tem superfície interna mais lisa que facilita o processo de descontaminação (VÁZQUEZ MINGUELA; CUNHA, 2010). Componentes dos pulverizadores que não apresentam superfície com padrão liso ou que apresentam imperfeições têm maior potencial de retenção de defensivos, além de dificultarem o processo de descontaminação (CUNDIFF; REYNOLDS; MUELLER, 2017). Com isso, tanques

construídos com FV podem reter mais resíduos em comparação a outros materiais (EBERLEIN *et al.*, 1997).

Quando a concentração de dicamba é comparada entre os enxágues, a maior parte dos resíduos foi removida dos tanques dos pulverizadores durante o 1º enxágue, chegando a 97,0% e 93,3% do resíduo total detectado nos quatro enxágues dos pulverizadores com tanques de FV e POL, respectivamente. A concentração de dicamba detectada no primeiro enxágue correspondeu a 2,14% da concentração inicial para o pulverizador de tanque de FV e 0,95% para o pulverizador de tanque de POL.

Nos enxágues seguintes, as concentrações de dicamba foram relativamente baixas, sempre inferiores a 1,2 mg L<sup>-1</sup>. A concentração de dicamba detectada no 2º, 3º e 4º foi semelhante entre ambos os materiais, representando em média 0,037; 0,019 e 0,016% da concentração inicial, respectivamente.

A concentração de dicamba encontrada no 2º enxágue foi semelhante entre os pulverizadores, e representou cerca de 0,03-0,04% da concentração da calda do herbicida, enquanto a concentração no 3º enxágue foi de aproximadamente 0,02% e estes valores se mantiveram no 4º enxágue.

Luke (2017) observou que pelo menos 79,8% do resíduo de dicamba foi removido do tanque do pulverizador no primeiro enxágue, chegando a um valor máximo de 93,3%. O número de enxágues foi determinante para reduzir a concentração do herbicida, enquanto a eficiência da descontaminação foi variável entre os produtos de limpeza que foram testados.

Osborne *et al.* (2015) avaliaram a eficiência do processo de descontaminação realizado por aplicadores nos EUA e observaram que a concentração de dicamba retida no tanque foi reduzida exponencialmente conforme o número de enxágues aumentou, e que o primeiro enxágue foi responsável pela remoção de até 95% do resíduo na maioria dos pulverizadores.

Contudo, apesar da redução na concentração de resíduo ao longo dos enxágues, outros fatores podem afetar a eficiência da descontaminação e o risco de dano às culturas sensíveis, como a presença ou ausência de sistema interno de descontaminação, que pode promover melhor contato do agente de limpeza com as paredes internas do tanque; e a quantidade de água, visto que maiores volumes de água reduzem a concentração do herbicida nos enxágues.

Carpenter (2019) avaliou as concentrações de dicamba ao longo dos enxágues usando 10, 20, 40 e 60% da capacidade total do tanque. Foi observado que maiores volumes de água resultaram em menores concentrações de dicamba nos três primeiros enxágues, e nenhuma diferença foi observada no enxágue seguinte.

### **3.3 Análise visual de injúria**

Considerando-se que o 1º enxágue removeu grande parte dos resíduos de dicamba, era previsto que os sintomas de injúria ocorressem em maior intensidade neste tratamento. Aos 7 DAA (dias após a aplicação), a estimativa visual de injúria variou apenas em função do número de enxágues, e o 1º enxágue resultou em 20,0 – 22,5% de injúria independentemente do material do tanque (Tabela 3).



Tabela 3. Estimativa visual de injúria na cultura da soja promovida pela aplicação de resíduos de dicamba provenientes do processo de descontaminação de dois pulverizadores.

Enxágues	7 DAA			14 DAA		21 DAA		28 DAA	
	Material do tanque do pulverizador								
	FV	POL	Média	FV	POL	FV	POL	FV	POL
	Estimativa visual de injúria (%)								
1º enxágue	*23	*20	21B	*43 bC	*35 aC	*41 bC	*34 aC	*34 bC	*28 aC
2º enxágue	3	2	3 A	*11 aB	*9 aB	*9 aB	*8 aB	*4 aB	*4 aB
3º enxágue	1	1	1 A	1 aA	1 aA	1 aA	1 aA	0 aA	0 aA
4º enxágue	0	0	0 A	0 aA	0 aA	0 aA	0 aA	0 aA	0 aA
Média	7	6							
Controle	0			0		0		0	

Fonte: O autor.

Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Médias diferentes do controle (sem aplicação) pelo teste de Dunnet ( $p < 0,05$ ). **DAA:** dias após a aplicação dos tratamentos. **FV:** tanque de fibra de vidro; **POL:** tanque de polietileno.

Aos 14, 21 e 28 DAA, a estimativa visual de injúria variou em função do material do tanque e do número de enxágues. Quando comparado cada enxágue, as amostras coletadas no pulverizador de tanque de FV resultaram em maiores danos à cultura do que o pulverizador de tanque de POL no 1º enxágue. No entanto, nenhuma diferença foi observada entre os dois tanques nos enxágues seguintes.

Os menores níveis de estimativa visual de injúria na soja foram observados aos 7 DAA, enquanto os maiores níveis foram observados aos 14 e 21 DAA. Aos 28 DAA, as notas foram mais baixas devido ao desenvolvimento e recuperação da soja. Foi possível observar que aos 7 DAA apenas a injúria causada em plantas pulverizadas com o 1º enxágue, independente do material de tanque foi maior quando comparada ao controle, enquanto aos 14, 21 e 28 DAA foi observada a diferença nos 1 e 2º enxágues em relação ao controle.

Resultados semelhantes foram observados por Luke (2017), que avaliou o processo de descontaminação de pulverizadores em dois locais por dois anos seguidos. O autor observou que o primeiro enxágue tinha potencial de causar maior dano à cultura, enquanto o segundo e o terceiro enxágues resultavam em níveis intermediários e baixos de injúria, respectivamente.

Kniss (2018) conduziu uma meta-análise para avaliar a dose-resposta de dicamba na cultura da soja usando modelos não lineares e observou que para causar 5% de injúria visual na soja, é necessário a exposição à 0,038; 0,048 e 0,038 g e.a. ha<sup>-1</sup> de dicamba pra os estádios V1-V3, V4-V7 e R1-R2, respectivamente. Entretanto, é difícil obter os valores de dicamba aos quais as plantas foram expostas, com isso, a correlação de sintomas de injúria e a redução na produtividade não é muito preditiva, especialmente quando a exposição ocorre nos estádios vegetativos (EGAN; BARLOW; MORTENSEN, 2014).

### **3.4 Altura das plantas e produtividade**

Tem sido relatado que a exposição de plantas sensíveis ao dicamba pode afetar sua altura devido à redução de pecíolos e folhas (OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC, 2019). Neste estudo, a redução da altura das plantas foi observada apenas quando as plantas foram expostas às amostras do 1º enxágue com redução média de 22% em relação ao controle (Tabela 4). Independente do material do tanque do pulverizador, altura similar foi observada entre as plantas em amostras de 2º, 3º e 4º enxágues.

Tabela 4. Altura de plantas no estágio R8 e produtividade da cultura da soja em função da aplicação de resíduos de dicamba provenientes do processo de descontaminação (4 enxágues) de dois pulverizadores.

Enxágues	Material do tanque do pulverizador					
	FV	POL	Média	FV	POL	Média
	Altura das plantas (m)			Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )		
1º enxágue	*0,63	*0,67	0,65 B	*2754,6	*2762,9	2758,3 B
2º enxágue	0,82	0,82	0,82 A	3152,2	2994,2	3073,2 AB
3º enxágue	0,81	0,80	0,81 A	3238,4	3205,8	3222,1 A
4º enxágue	0,83	0,81	0,82 A	3054,7	3340,1	3197,4 A
Média	0,77	0,77		3050,0	3075,5	
Controle	0,83			3308,4		

Fonte: O autor.

Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Médias diferentes do controle (sem aplicação) pelo teste de Dunnet ( $p < 0,05$ ). **FV**: tanque de fibra de vidro. **POL**: tanque de polietileno.

A aplicação das amostras do 1º e 2º enxágue resultou em redução na produtividade na ordem de 17% e 7%, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 4). O material do tanque do pulverizador não influenciou a altura de plantas e a produtividade da cultura. Com a realização de apenas um enxágue (representando uma aplicação sem procedimentos de descontaminação anteriores), foi observada uma perda de produtividade de aproximadamente 400 kg ha<sup>-1</sup> de soja em comparação com a realização de quatro enxágues. Este resultado enfatiza que os pulverizadores usados nas aplicações de dicamba devem ser rigorosamente limpos antes de qualquer aplicação em soja não resistente ao dicamba ou em outras culturas sensíveis.

Novamente, os resultados foram similares aos obtidos por Luke (2017). O autor também não encontrou diferenças significativas entre os diferentes agentes de limpeza testados e o impacto na produtividade na cultura, confirmando que o número de enxágues realizados pode ser a característica mais importante no processo de descontaminação do herbicida dicamba.

Carpenter (2019) observou que quando o procedimento de descontaminação foi realizado com volume de água de 10% da capacidade total do tanque, o enxágue triplo não foi suficiente para evitar injúria, redução de altura e da produtividade na cultura da soja. Entretanto, quando os enxágues foram realizados com volumes de 40 e 60% da capacidade do

tanque, foi observado menor impacto na cultura da soja para as mesmas características avaliadas.

Schneider *et al.* (2019) observaram que 5% da dose comercial (16,8 g ea ha<sup>-1</sup>) foram suficientes para causar injúria visual na soja, reduzir a altura das plantas e a produtividade da cultura. Isso demonstra que o tanque de pulverização deve ser rigorosamente limpo antes do uso do pulverizador em áreas com plantas de soja sensível.

Kniss (2018) estimou que doses de 1,9 e 5,7 g ha<sup>-1</sup> de dicamba são capazes de reduzir em 5% a produtividade, nos estádios V1-V3 e V4-V7, respectivamente. Por outro lado, nos estádios R1-R2 com apenas 0,89 g ha<sup>-1</sup> de dicamba, o mesmo efeito na produtividade pôde ser observado. Estas informações demonstram que a cultura da soja é mais sensível ao dicamba quando a exposição ocorre no florescimento (estádio R1-R2), quando comparado ao estágio vegetativo (V1-V7) (EGAN; BARLOW; MORTENSEN, 2014; KNISS, 2018). No entanto, outros autores sugerem que a maior susceptibilidade da cultura ocorre entre os estádios vegetativos tardios (V4-Vn) e nos primeiros estádios reprodutivos (R1 e R2) (OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC, 2019; SCHOLTES *et al.*, 2019).

Como a cultura da soja não resistente ao dicamba é extremamente suscetível a este herbicida, os resíduos aderidos no tanque e outras partes do pulverizador, mesmo que sejam ínfimos, têm potencial para causar sintomas, mas a redução da produtividade depende muito da dose do herbicida e do estágio de desenvolvimento das plantas (OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC, 2019). Todavia outros fatores também podem influenciar na resposta da cultura diante a exposição ao herbicida, como a cultivar, a condição fisiológica das plantas, a plasticidade da cultura e as condições meteorológicas durante o cultivo (AUCH; ARNOLD, 1978; MCCOWN; BARBER; NORSWORTHY, 2018).

Em síntese, a soja não resistente ao dicamba está sujeita à injúria do herbicida dicamba de diferentes fontes, como a contaminação de tanque. Visto que, fatores como dose utilizada, taxa de aplicação e quantidade de calda preparada podem influenciar na quantidade de resíduo depositada no tanque e outras partes do pulverizador. Além disso, a quantidade de água utilizada no enxágue, tempo de agitação, ausência ou presença de sistema de descontaminação também podem alterar a eficiência da descontaminação do tanque. Desta forma, novas pesquisas podem auxiliar no entendimento de cada um destes fatores acima mencionados.

Considerando que a presença de um pulverizador dedicado para as aplicações do herbicida não é uma realidade para a maioria dos produtores, os procedimentos de descontaminação do tanque e outros componentes do pulverizador são de extrema

importância para evitar injúrias em áreas de plantas sensíveis ao herbicida e o número de enxágues realizados é um fator primordial na descontaminação.

#### **4 CONCLUSÕES**

O procedimento de descontaminação do tanque dos pulverizadores com três enxágues de volume total foi eficiente na remoção de resíduos de dicamba, independentemente do material de composição do tanque (polietileno ou fibra de vidro).

O pulverizador de tanque em fibra de vidro reteve maior quantidade de dicamba no 1º enxágue; porém, nos subsequentes enxágues não se verificou diferença na concentração de resíduo em relação ao pulverizador de tanque em polietileno.

A aplicação da água de 1º e 2º enxágues causou sintomas de injúria e redução da produtividade da soja não resistente. A altura das plantas não foi reduzida com a realização de dois ou mais enxágues.

## REFERÊNCIAS

- AL HEIDARY, M. *et al.* Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. **Crop Protection**, Guildford, v. 63, p. 120–130, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219414001604?via%3Dihub>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- AUCH, D. E.; ARNOLD, W. E. Dicamba use and injury on soybeans (*Glycine max*) in South Dakota. **Weed Science**, New York, v. 26, n. 5, p. 471–475, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043174500050347>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/dicamba-use-and-injury-on-soybeans-glycine-max-in-south-dakota/31C85A8C97D3255C6D205304CCD366EF>. Acesso em: 02 maio 2020.
- ATECTRA. BASF S.A. Beaumont: BASF Corporation, 2019. Bula de herbicida. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/atectra.html>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- BECK, H. E. *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, London, v. 5, n. 180214, p. 1–12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/sdata2018214>. Acesso em: 26 maio 2020.
- BEHRENS, M. R. *et al.* Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, New York, v. 316, n. 5828, p. 1185–1188, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1141596>. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1141596>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- BEHRENS, R.; LUESCHEN, W. E. Dicamba volatility. **Weed Science**, New York, v. 27, n. 5, p. 486–493, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043174500044453>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/dicamba-volatility/28C48474F2557F95ED13FE17490E92CF>. Acesso em: 27 abr. 2020.
- BOERBOOM, C. Dicamba and soybeans: a controversial combo. *In*: PROCEEDINGS OF THE 21ST ANNUAL INTEGRATED CROP MANAGEMENT CONFERENCE, 21., 2009, Ames. **Anais [...]**. Iowa, Digital Press, 2009. p. 53-57. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/icm/2009/proceedings/5/>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf). Acesso em: 24 abr. 2020.
- BYKER, H. P. *et al.* Control of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) with dicamba applied preplant and postemergence in dicamba-resistant soybean. **Weed Technology**, New York, v. 27, n. 3, p. 492–496, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00023.1>. Disponível em:

[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00013233/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00013233/type/journal_article). Acesso em: 21 abr. 2020.

CARPENTER, Z. A. **Evaluation and development of effective tank cleanout procedures following dicamba use**. 2019. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência de Plantas e Solo) - Mississippi State University, Department of Plant and Soil Science, Mississippi, 2019. Disponível em: <https://ir.library.msstate.edu/handle/11668/16476>. Acesso em: 27 maio 2020.

CUNDIFF, G. T.; REYNOLDS, D. B.; MUELLER, T. C. Evaluation of dicamba persistence among various agricultural hose types and cleanout procedures using soybean (*Glycine max*) as a bio-indicator. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 305–316, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2016.29>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174516000291/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174516000291/type/journal_article). Acesso em: 21 abr. 2020.

EBERLEIN, C. V. *et al.* **Herbicide drift and carryover injury in potatoes**. [S. l.]: Pacific Northwest Extension Publ, 1997. Disponível em: <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4857>. Acesso em: 01 maio 2020.

EGAN, J. F.; BARLOW, K. M.; MORTENSEN, D. A. A meta-analysis on the effects of 2,4-D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, New York, v. 62, n. 1, p. 193–206, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00025.1>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500013710/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500013710/type/journal_article). Acesso em: 01 maio 2020.

FOSTER, M. R.; GRIFFIN, J. L. Changes in soybean yield components in response to dicamba. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, Hoboken, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2019.04.0026>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/age2019.04.0026>. Acesso em: 21 abr. 2020.

GREEN, J. M. Current state of herbicides in herbicide-resistant crops. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 70, n. 9, p. 1351–1357, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3727>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.3727>. Acesso em: 21 abr. 2020.

GREEN, J. M. The rise and future of glyphosate and glyphosate-resistant crops: Glyphosate and glyphosate-resistant crops. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 74, n. 5, p. 1035–1039, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4462>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.4462>. Acesso em: 24 abr. 2020.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 66, n. 2, p. 113–120, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1860>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.1860>. Acesso em: 14 maio 2020.

JOHNSON, W. G. *et al.* **Cleaning field sprayers to avoid crop injury**. [S. l.]: MU Extension, 1999. Disponível em: <http://cotton.tamu.edu/Weeds/Cleaning%20Field%20Sprayers.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.



JONES, G. T. *et al.* Effect of low doses of dicamba alone and in combination with glyphosate on parent soybean and offspring. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 1, p. 17–23, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.87>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000878/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000878/type/journal_article). Acesso em: 21 abr. 2020.

JONES, G. T.; NORSWORTHY, J. K.; BARBER, T. Off-target movement of diglycolamine dicamba to non-dicamba soybean using practices to minimize primary drift. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 1, p. 24–40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.90>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/offtarget-movement-of-diglycolamine-dicamba-to-nondicamba-soybean-using-practices-to-minimize-primary-drift/928F884FCFDEDA4F9610202B0C4E00FC>. Acesso em: 14 abr. 2020.

KNISS, A. R. Soybean response to dicamba: a meta-analysis. **Weed Technology**, New York, v. 32, n. 5, p. 507–512, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.74>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X1800074X/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X1800074X/type/journal_article). Acesso em: 01 maio 2020.

LUKE, A. J. **Tank contaminant and residual effects of dicamba**. 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - University of Missouri, College of Agriculture, Food and Natural Resources, Columbia, 2017. Disponível em: <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/handle/10355/62059>. Acesso em: 29 abr. 2020.

MCCOWN, S.; BARBER, T.; NORSWORTHY, J. K. Response of non-dicamba-resistant soybean to dicamba as influenced by growth stage and herbicide rate. **Weed Technology**, New York, v. 32, n. 5, p. 513–519, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.64>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000647/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000647/type/journal_article). Acesso em: 21 abr. 2020.

VÁZQUEZ MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. Viçosa: Aprenda fácil, 2010.

MORTENSEN, D. A. *et al.* Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **BioScience**, Washington, v. 62, n. 1, p. 75–84, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.1525/bio.2012.62.1.12>. Acesso em: 21 abr. 2020.

OSBORNE, P. P. *et al.* Dicamba and 2,4-D residues following applicator cleanout: A potential point source to the environment and worker exposure. **Journal of the Air & Waste Management Association**, Pittsburgh, v. 65, n. 9, p. 1153–1158, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1072593>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2015.1072593>. Acesso em: 29 abr. 2020.

OSIPITAN, O. A.; SCOTT, J. E.; KNEZEVIC, S. Z. Glyphosate-resistant soybean response to micro-rates of three dicamba-based herbicides. **Agrosystems, Geosciences & the Environment**, Hoboken, v. 2, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2018.10.0052>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/age2018.10.0052>. Acesso em: 02 maio 2020.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 06 jan. 2020. [software].

SCHNEIDER, T. *et al.* Subdoses of dicamba herbicide on yield componentes in function of the soybean growth stage. **Journal of Agricultural Science**, Richmond Hill, v. 11, n. 6, p. 407, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n6p407>. Disponível em: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39277>. Acesso em: 02 maio 2020.

SCHOLTES, A. B. *et al.* Effect of soybean growth stage on sensitivity to sublethal rates of dicamba and 2,4-D. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 04, p. 555–561, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.39>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X19000393/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X19000393/type/journal_article). Acesso em: 01 maio 2020.

STECKEL, L.; CHISM, C.; THOMPSON, A. **Cleaning plant growth regulator (PGR) herbicides out of field sprayers**. Knoxville: University of Tennessee Extension, 2005. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/268727518.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

WERLE, R.; PROOST, R.; BOERBOOM, C. **Soybean injury from dicamba**. Madison: University of Wisconsin-Extension, 2018. Disponível em: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0145/8808/4272/files/A4161.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

### **CAPÍTULO III**

#### **INJÚRIA DE DICAMBA EM SOJA AVALIADA VISUALMENTE E COM ÍNDICE DE VEGETAÇÃO**

## INJÚRIA DE DICAMBA EM SOJA AVALIADA VISUALMENTE E COM ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

### RESUMO

A disponibilidade de cultivares de soja com resistência ao dicamba tem aumentado o risco de injúria em cultivares suscetíveis, o que vai requerer maior exatidão na identificação e na previsão dos danos causados por este herbicida. O objetivo deste trabalho foi avaliar a injúria causada pela deriva simulada do dicamba na cultura da soja visualmente e utilizando a resposta do índice de vegetação Triangular Greenness Index (TGI) em imagens obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA). O estudo foi conduzido durante a safra 2019/2020 e os tratamentos consistiram na aplicação de seis doses do herbicida (0; 0,28; 0,56; 5,6; 28 e 112 g equivalente ácido dicamba ha<sup>-1</sup>) no estágio fenológico V3 da soja, dispostos em delineamento em blocos casualizado com quatro repetições. Para a avaliação dos tratamentos pelo TGI, foram utilizados dados espectrais adquiridos com sensor Red Green Blue (RGB) embarcado em RPA. As variáveis estudadas foram: avaliação visual da injúria, resposta do TGI aos 7 e 21 dias após aplicação dos tratamentos, altura de plantas e produtividade da soja. A exposição ao herbicida causou injúria nas plantas e redução da altura e da produtividade. O uso de índices de vegetação, como o TGI, tem potencial para serem utilizados na avaliação da injúria por dicamba, podendo ter capacidade de avaliar grandes áreas de uma forma menos subjetiva do que a avaliação visual.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Glycine max*. Deriva simulada. VANT. TGI. Agricultura digital.

## DICAMBA INJURY ON SOYBEAN ASSESSED VISUALLY AND THROUGH VEGETATION INDEX

### ABSTRACT

The availability of soybean cultivars with resistance to dicamba herbicide has increased the risk of injury in susceptible cultivars, which require great accuracy in identifying and predicting the damage caused by this herbicide. The objective of this work was to evaluate the injury caused by the simulated drift of dicamba on soybean plants assessed visually and using the response of the Triangular Greenness Index (TGI) from images obtained through Remotely Piloted Aircraft (RPA). The study was conducted in a Randomized Complete Block Design with four replications during the 2019/2020 growing season and the treatments consisted of applications of six doses of dicamba (0; 0.28; 0.56; 5.6; 28 and 112 g acid equivalent dicamba ha<sup>-1</sup>) on soybean at V3 growth stage. For the evaluation of treatments using TGI technique, spectral data acquired through Red Green Blue (RGB) sensor attached to a RPA was used. The variables studied were the visual estimation of injury, TGI response at 7 and 21 days after application, plant height and crop yield. The exposure to the herbicide caused a reduction of plant height and crop yield. The use of vegetation indices, such as TGI, has the potential to be used in the evaluation of injury caused by dicamba, and may be able to cover large areas in a less subjective way than visual assessment.

**KEYWORDS:** *Glycine max*. Simulated drift. UAV. TGI. Digital agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de cultivares de soja com resistência ao dicamba vai permitir o controle efetivo de plantas daninhas dicotiledôneas de difícil controle (BEHRENS *et al.*, 2007; BYKER *et al.*, 2013). No entanto, o uso desta tecnologia gera preocupações com o movimento do herbicida para áreas não alvo, uma vez que baixas concentrações do herbicida são suficientes para causar sintomas em culturas suscetíveis, como a soja não-resistente ao dicamba (EGAN; MORTENSEN, 2012; OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC, 2019).

Na cultura da soja, os sintomas causados pelo dicamba podem variar entre clorose das folhas mais novas, encarquilhamento e enrugamento das folhas, epinastia, redução da altura da planta e morte do meristema apical, ou até a morte da planta (ANDERSEN *et al.*, 2004; FOSTER; GRIFFIN, 2019; JONES *et al.*, 2019).

A avaliação da injúria por dicamba tem sido feita principalmente por análise visual. Este método, embora válido, não apresenta muita robustez, além de oneroso e subjetivo em função da experiência e critérios do avaliador. Não permite estimar com precisão e exatidão a dimensão dos danos, a dose do herbicida que as plantas foram expostas e a possível redução da produtividade (FOSTER *et al.*, 2019; KNISS, 2018; ZHANG *et al.*, 2019). Além disso, a detecção precoce dos sintomas também nem sempre é possível e os sintomas no campo podem ocorrer em grandes áreas de forma heterogênea, o que dificulta ainda mais a qualidade da análise visual.

Com o aumento da disponibilidade das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), o interesse pelo sensoriamento remoto na agricultura cresceu muito (HUNT; DAUGHTRY, 2018). Ele permite a coleta de informações de grandes áreas com alta frequência e tem sido usado na agricultura em diversas aplicações entre elas a detecção e a avaliação de injúria causada por herbicidas (ATZBERGER, 2013; HENRY *et al.*, 2004). Essas informações espectrais podem ser utilizadas por meio dos índices de vegetação (IV), que são combinações matemáticas entre diferentes bandas espectrais do espectro eletromagnético. Com o uso de IV é possível distinguir a vegetação de outros alvos na superfície, identificar o vigor e a sanidade da vegetação e discriminá-la da vegetação sob condições de estresse (XUE; SU, 2017). O uso de índices de vegetação tem potencial de substituir a avaliação visual de injúria de herbicidas, além de ser um

método mais rápido e com melhor custo benefício (DUDDU *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2016).

Alguns índices de vegetação são baseados apenas na faixa visível do espectro eletromagnético, sendo conhecidos por índices *Red Green Blue* (RGB), que são uma alternativa com baixo custo de aquisição (FUENTES-PEAILILLO *et al.*, 2018). No caso do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), a banda do infravermelho próximo é necessária para a composição do índice (FREIRE-SILVA *et al.*, 2019; HUNT *et al.*, 2013; NETTO *et al.*, 2019), exigindo o uso de câmeras de maior custo. Entre os índices RGB, o *Triangular Greenness Index* (TGI) é um dos que podem ser obtidos com sensores de banda larga e que apresenta boa correlação com o conteúdo de clorofila das plantas (HUNT *et al.*, 2011; MCKINNON; HOFF, 2017). Este índice obteve resultados similares ao NDVI na identificação da vegetação a partir de imagens obtidas por RPA (FUENTES-PEAILILLO *et al.*, 2018).

Em vista disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a injúria causada pela deriva simulada do herbicida dicamba na cultura da soja e correlacionar estas avaliações com o uso de índice de vegetação TGI em imagens obtidas por um sensor RGB embarcado em RPA.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. A área está localizada em 18°53'13,6" S de latitude e 48°20'36,0" O de longitude, com altitude de 842 metros, topografia plana e clima tipo Aw (tropical úmido com inverno seco) (BECK *et al.*, 2018).

Foi utilizada a cultivar de soja NS 6906 IPRO, superprecoce e de crescimento indeterminado, semeada no espaçamento de 0,5 m com densidade populacional de 350 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Na semeadura, foi realizada a adubação com 320 kg ha<sup>-1</sup> de formulado N-P-K (02-25-10). A adubação de cobertura foi realizada com 250 kg ha<sup>-1</sup> de KCl. As aplicações de herbicida, fungicida e inseticida foram realizadas conforme a necessidade da cultura.

### 2.1 Tratamentos

O ensaio foi realizado em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e seis tratamentos que consistiram na aplicação de diferentes doses do herbicida dicamba no estágio V3 da cultura da soja. As doses aplicadas foram: 0; 0,28; 0,56; 5,6; 28 e 112 g equivalente ácido de dicamba ha<sup>-1</sup>. Essas doses representam 0; 0,05; 0,1; 1; 5 e 20% da dose recomendada de 560 g e.a. dicamba ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Foi utilizado o herbicida Atectra® (BASF, São Paulo, SP, Brasil) com formulação de sal de diglicolamina e 480 g e.a. dicamba L<sup>-1</sup>. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas de cultivo com 5 m de comprimento, totalizando 10 m<sup>2</sup> de área. Foi adotado 0,5 m de bordadura entre as parcelas.

As aplicações foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal de pressão constante de CO<sub>2</sub>, com barra de pulverização de quatro pontas de jato plano defletor com indução de ar TTI 110015 (Teejet Technologies Spraying Systems Co., Glendale Heights, IL, EUA), espaçadas entre si por 0,5 m. As aplicações foram realizadas com taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> com pressão de trabalho de 200 kPa e velocidade de 3,8 km h<sup>-1</sup>. De acordo com o fabricante da ponta, nesta pressão de trabalho são produzidas gotas da categoria ultra-grossa. Para evitar deriva durante as aplicações, uma barreira física plástica foi utilizada como proteção ao redor da parcela experimental.



As condições meteorológicas foram monitoradas durante a aplicação com termo-higro-anemômetro (Kestrel, Boothwyn, PA, EUA). A temperatura variou de 22,7 a 24,5 °C, a umidade relativa do ar de 74,9 a 76,3% e a velocidade do vento de 1,0 a 6,5 km h<sup>-1</sup>.

## 2.2 Avaliações

As avaliações visuais de injúria e a coleta de dados espectrais foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA). Aos 14 DAA as imagens capturadas não apresentaram boa qualidade em virtude das condições meteorológicas durante o voo. Desta forma, apenas as avaliações visuais e os dados espectrais obtidos aos 7 e 21 DAA foram consideradas neste estudo. As avaliações visuais de injúria de dicamba foram baseadas em notas de 0 (plantas sem sintomas) a 100% (plantas mortas) conforme escala desenvolvida por Behrens e Lueschen (1979).

Para a avaliação dos tratamentos com o auxílio de imagens, utilizou-se dados espectrais adquiridos com sensor RGB embarcado em Aeronave Remotamente Pilotada (RPA). O sistema RPA foi constituído por um quadricóptero modelo Phantom 4® (SZ DJI Technology Co., Shenzhen, GD, China) embarcado com um sensor RGB modelo DJI FC330 (câmera digital com 12,4 megapixels e sensor do tipo Complementary metal-oxide-semiconductor). Uma única imagem que representava toda a área experimental (distância da amostra do solo = 0,71 cm pixel<sup>-1</sup>, 26 m de altura) foi utilizada em cada avaliação (7 e 21 DAA).

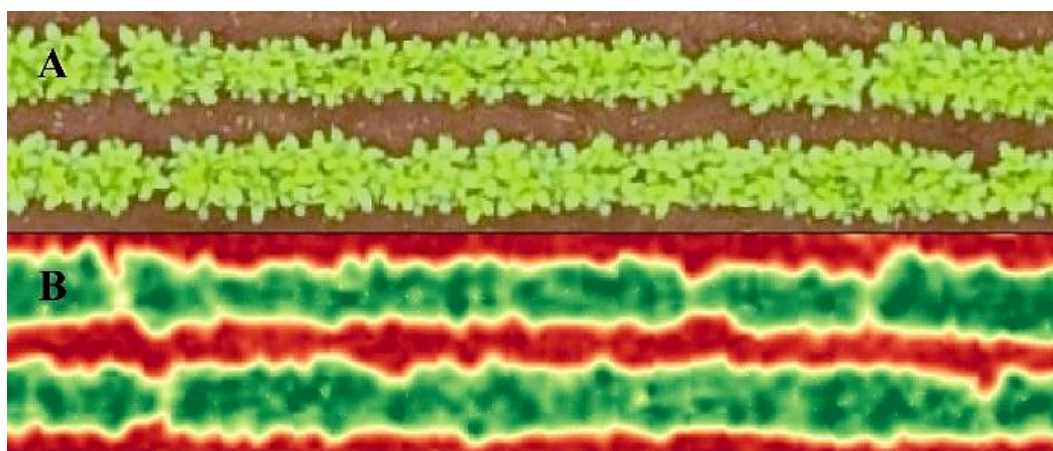
Esta imagem que representava toda a área experimental foi segmentada em várias imagens para representar apenas a área útil de cada uma das parcelas (duas linhas centrais da parcela). Em seguida, cada uma destas imagens foi processada individualmente para a aplicação do TGI (Equação 1) (MCKINNON; HOFF, 2017; STARÝ *et al.*, 2020), utilizando a ferramenta *Band Math* do software Environment for Visualizing Images (ENVI v. 5.1, Exelis Visual Information Solutions, Boulder, CO, EUA). Foram utilizadas as ferramentas *Raster Color Slices* e *Statistics for All Colors Slices* para obter a média aritmética dos valores do IV dos pixels contidos dentro da área útil (5 m<sup>2</sup>) de cada parcela experimental (Figura 1).

$$TGI = R_{GREEN} - 0,39 \times R_{RED} - 0,61 \times R_{BLUE} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- $TGI = \text{Triangular greenness index}$ ;
- $R_{\text{GREEN}} = \text{reflectância medida na faixa espectral do verde na região do visível}$ ;
- $R_{\text{RED}} = \text{reflectância medida na faixa espectral do vermelho na região do visível}$ ;
- $R_{\text{BLUE}} = \text{reflectância medida na faixa espectral do azul na região do visível}$ .

Figura 1A. Imagem original de uma parcela experimental. B. Imagem da parcela experimental após a aplicação do TGI.



Fonte: O autor.

A mensuração da altura das plantas foi realizada no estágio de maturação da cultura (R8). As medidas foram obtidas em três plantas representativas da parcela com auxílio de uma trena.

Para avaliação da produtividade, plantas das duas linhas centrais foram colhidas, desprezando 1 m de comprimento no início e fim das parcelas. A colheita foi manual seguida do processo de trilhagem mecânica. As amostras passaram por processo de limpeza antes da determinação da massa. O grau de umidade foi determinado pelo método de estufa a 105°C (BRASIL, 2009). A massa dos grãos foi padronizada para o teor de 13% de umidade. Os dados obtidos nas parcelas foram extrapolados para produtividade em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## 2.3 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2019). Quanto as pressuposições, para normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade entre blocos aplicou-se, respectivamente, os testes de Shapiro-Wilk, teste de O'Neill & Mathews, e o teste de Tukey para aditividade.

Após o atendimento das pressuposições ( $p > 0,01$ ), os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e, quando observadas diferenças entre os tratamentos, foi realizado o ajuste de regressões ( $p < 0,05$ ). Após a obtenção das regressões, os gráficos foram gerados pelo software SigmaPlot v. 12.0 (Systat Software Inc., Chicago, IL, EUA). A análise de correlação entre as variáveis foi realizada pela correlação de Pearson pelo software R (R CORE TEAM, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos em todas as variáveis do estudo: análise visual de injúria (7 e 21 DAA), resposta do TGI (7 e 21 DAA), altura das plantas e produtividade (Tabela 1). Modelos de regressão não linear foram ajustados para os efeitos das doses de dicamba em todas as variáveis e períodos de avaliação (Tabela 2). A análise visual (7 e 21 DAA) ajustou-se em um modelo de regressão de potência enquanto TGI (7 e 21 DAA), altura da planta e produtividade ajustaram-se em um modelo de regressão exponencial. Os melhores ajustes do modelo ( $R^2 > 90,0$ ) foram obtidos para análise visual (7 e 21 DAA), TGI (21 DAA) e produtividade. (Tabela 2).

Tabela 1. Resumo da análise de variância.

Causas de Variação	GL	Análise visual		TGI		Altura	Produtividade
		7 DAA	21 DAA	7 DAA	21 DAA		
		Fc (valor <i>p</i> )					
Doses de dicamba	5	1116,350	146,609	29,377	111,132	62,915	70,664
		(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)
CV (%)		4,91	11,78	17,42	14,15	7,38	11,8
SW		0,2436 <sup>+</sup>	0,3547 <sup>+</sup>	0,8041 <sup>+</sup>	0,7992 <sup>+</sup>	0,8388 <sup>+</sup>	0,0289 <sup>+</sup>
O&M		0,5613 <sup>+</sup>	0,1863 <sup>+</sup>	0,4307 <sup>+</sup>	0,0867 <sup>+</sup>	0,4286 <sup>+</sup>	0,8870 <sup>+</sup>
T		0,4927 <sup>+</sup>	0,1624 <sup>+</sup>	0,9643 <sup>+</sup>	0,9643 <sup>+</sup>	0,9467 <sup>+</sup>	0,8759 <sup>+</sup>

Fonte: O autor.

**TGI:** *Triangular Greenness Index* (resposta do índice de vegetação). **F<sub>C</sub>:** valor do F calculado. **CV (%):** coeficiente de variação. **SW:** probabilidade do teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos. **O&M:** probabilidade do teste O'Neill & Mathews para homogeneidade das variâncias. **T:** probabilidade do teste de Tukey para aditividade dos blocos. <sup>+</sup> Atendimento ( $p > 0,01$ ) das pressuposições.

Tabela 2. Ajustes de modelos de regressão para análise visual de injúria, resposta do índice de vegetação TGI, altura das plantas e produtividade da cultura ( $\hat{y}$ ) em função da dose de dicamba (x).

Variável	Função	R <sup>2</sup>	F <sub>C</sub>	Valor <i>p</i>
Análise visual 7 DAA	$\hat{y} = 26,9312x^{0,2181}$	92,78	51,42	0.0020
Análise visual 21 DAA	$\hat{y} = 35,8384x^{0,1803}$	96,23	102,15	0.0005
TGI 7 DAA	$\hat{y} = 50,5499e^{-0,0252x}$	71,18	9,88	0.0347
TGI 21 DAA	$\hat{y} = 73,5128e^{-0,0606x}$	94,89	74,22	0.0010
Altura de plantas	$\hat{y} = 0,7482e^{-0,0079x}$	76,46	12,99	0.0227
Produtividade	$\hat{y} = 3172,6639e^{-0,0278x}$	96,24	102,31	0.0005

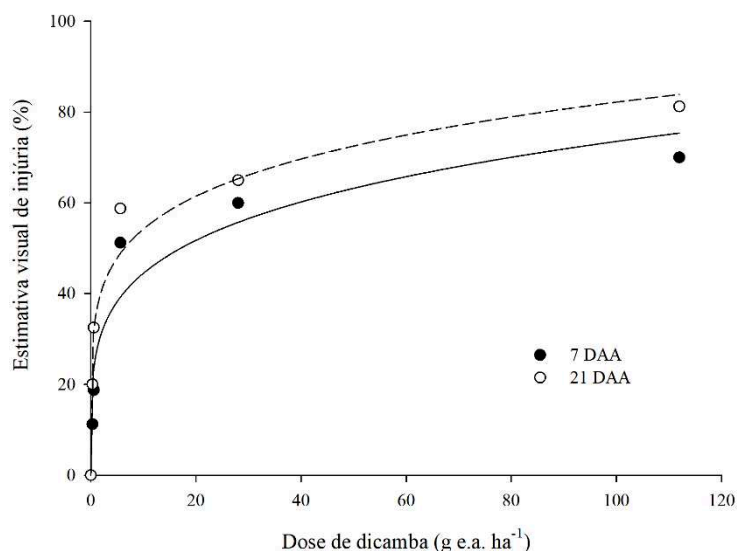
Fonte: O autor.

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinação. **F<sub>C</sub>:** Valor do F calculado.

### 3.1 Análise visual de injúria

Os sintomas visuais de injúria foram evidentes em resposta a todas as doses aplicadas. As notas de avaliação de injúria variaram de 11,3% a 70,0% aos 7 DAA e de 20,0% a 81,3% aos 21 DAA com o aumento da dose de 0,28 para 112 g e.a. dicamba ha<sup>-1</sup> (Figura 2). A injúria pelo herbicida tornou-se mais intensa com o aumento da dose e ao decorrer do período de avaliação. Por ser um herbicida sistêmico, o dicamba é absorvido e translocado para os pontos de crescimento da planta, e os sintomas geralmente surgem com 7 DAA e tendem a aumentar até 21 a 28 DAA (MCCOWN; BARBER; NORSWORTHY, 2018; SCHNEIDER *et al.*, 2019). Os principais sintomas observados foram o encarquilhamento e o enrugamento das folhas mais novas. Em doses mais altas, também foi possível observar a redução da altura das plantas e, na maior dose (112 g e.a. ha<sup>-1</sup>), ocorreu torção do caule e morte do meristema apical.

Figura 2. Estimativa visual de injúria na cultura da soja aos 7 e 21 dias após a aplicação de diferentes doses de dicamba.



Fonte: O autor.

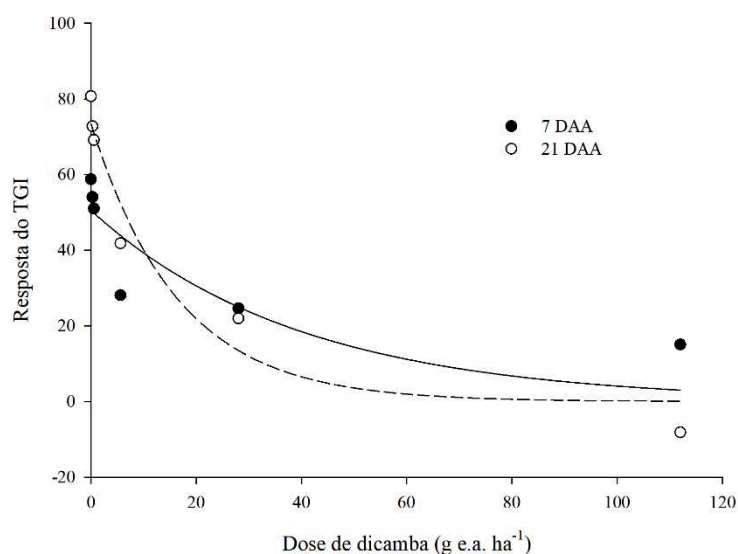
Outros estudos demonstraram resultados similares, uma vez que a aplicação de doses extremamente baixa (inferiores a 1 g e.a. ha<sup>-1</sup>) são capazes de causar injúria visível na cultura da soja (COSTA *et al.*, 2020; JOHNSON *et al.*, 2012; OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC,

2019). Os resultados do presente trabalho corroboram com a meta-análise conduzida por Kniss (2018), que estimou a dose de  $0,038 \text{ g ha}^{-1}$  de dicamba como a mínima para causar 5% de injúria na soja.

### 3.2 Resposta do índice de vegetação

A resposta do TGI das parcelas foi reduzida conforme o aumento da dose do herbicida dicamba (Figura 3). A aplicação de até  $0,56 \text{ g e.a. ha}^{-1}$  reduziu a resposta do índice em no máximo 14%, em relação ao controle aos 7 e 21 DAA. Entretanto, a aplicação de  $5,6 \text{ g e.a. ha}^{-1}$  aos 7 DAA reduziu a resposta do índice de vegetação em 52%, atingindo redução de 58 e 74% com 28 e  $112 \text{ g e.a. ha}^{-1}$  de dicamba, respectivamente. Por outro lado, aos 21 DAA, os tratamentos com aplicação de até  $5,6 \text{ g e.a. ha}^{-1}$  de dicamba alcançaram maiores valores para o TGI, em relação aos 7 DAA, indicando o desenvolvimento das plantas e a recuperação da injúria causada pelo herbicida. A aplicação de 28 e  $112 \text{ g e.a. ha}^{-1}$  de dicamba aos 21 DAA diminuiu ainda mais os valores do TGI, com reduções de 73 e 110% em relação ao controle, respectivamente.

Figura 3. Resposta do TGI na cultura da soja, aos 7 e 21 DAA, pela aplicação de diferentes doses de dicamba.



Fonte: O autor.



A resposta do TGI foi capaz de demonstrar a diferença no desenvolvimento das plantas entre as duas avaliações e o efeito do herbicida, que foi mais nítido na avaliação dos 21 DAA. Apesar desta influência do estágio de desenvolvimento das plantas, pode-se observar de forma semelhante o efeito do herbicida nos dois tipos de avaliação (visual e resposta do TGI). Esses resultados sugerem que a avaliação por meio de índices de vegetação, como o TGI, pode ser mais uma ferramenta de avaliação de injúria por dicamba.

A avaliação de injúrias causadas por herbicidas em cultivos agrícolas por meio do sensoriamento remoto tem sido importante no gerenciamento de áreas que sofreram danos por herbicida (HENRY *et al.*, 2004; HICKMAN *et al.*, 1991). Desta forma, esta ferramenta possui potencial no monitoramento de injúrias causadas pelo herbicida dicamba, sejam elas por deriva durante a aplicação, por deriva de vapor ou por contaminação de tanque do pulverizador.

A exposição ao herbicida dicamba pode causar alterações nos pigmentos das plantas, como clorofila, carotenoides e antocianinas. Estas alterações interferem na resposta espectral da cultura e podem ser utilizadas como indicadores de injúria induzida por dicamba (HUANG *et al.*, 2016). Durante a ação das auxinas sintéticas, como o dicamba, ocorre a produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio que vão causar a peroxidação dos lipídeos das membranas e ruptura dos cloroplastos, provocando a destruição progressiva da clorofila. Em seguida, é possível observar a murcha e necrose das estruturas vegetais e até a morte da planta (GROSSMANN, 2007, 2009).

O TGI foi desenvolvido com base no triângulo formado pela resposta espectral da vegetação para os comprimentos de onda do vermelho, verde e azul (RGB), e é muito sensível ao conteúdo de clorofila. Ele pode ser utilizado para a avaliação de outras questões relacionadas à vegetação, como ataque de pragas, doenças e deficiências nutricionais, que também podem estar indiretamente ligadas ao conteúdo de clorofila. O índice também apresenta sensibilidade a outros fatores como: índice de área foliar da cultura, cobertura vegetal da área e a reflectância do solo (HUNT *et al.*, 2011, 2013).

Os índices de vegetação que utilizam apenas a faixa visível (RGB) são importantes ferramentas para o monitoramento das culturas, pois não precisam ser obtidos por sensores mais complexos, e por isso garantem mais acessibilidade e flexibilidade para a aquisição de dados por RPA (ABRANTES, 2019; FREIRE-SILVA *et al.*, 2019). Taís índices podem ser obtidos a partir de câmeras fotográficas comuns (sensores de banda larga), em contraste com outros índices muito utilizados, que necessitam do uso de câmeras específicas (e.g.

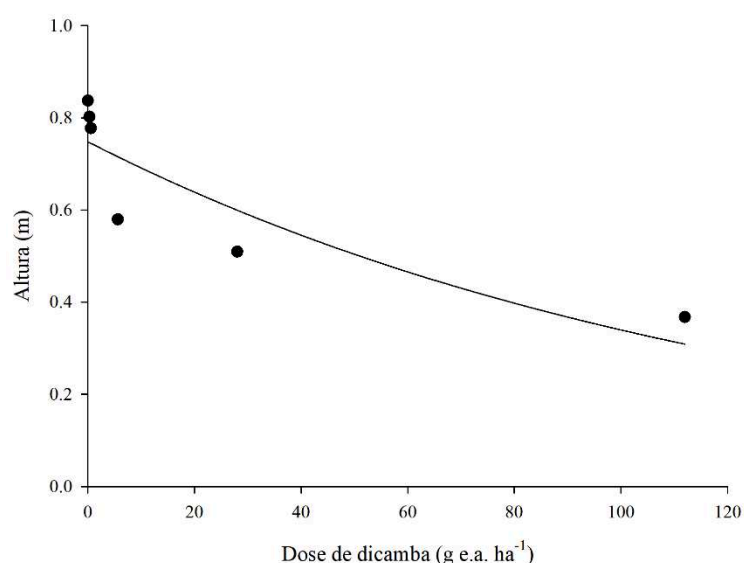
multiespectrais e hiperespectrais) para capturar outras bandas e/ou bandas estreitas (FUENTES-PEAILILLO *et al.*, 2018). Estes índices podem auxiliar na avaliação do impacto da injúria causada pelo dicamba, uma vez que apenas a injúria avaliada visualmente pode não ser suficiente na predição da perda de produtividade, por ser um método subjetivo (FOSTER *et al.*, 2019). O monitoramento por índices de vegetação permite a avaliação de grandes áreas, pois as imagens podem ser obtidas por RPA ou satélites e permite uma melhor avaliação de áreas que sofreram injúria de forma heterogênea, o que é comum quando esta advém principalmente de eventos de deriva física ou deriva de vapor.

Abrantes (2019) conduziu um estudo que avaliou a deriva simulada de dicamba em soja por meio de índices de vegetação RGB. O autor observou que os índices *Modified Green Red Vegetation Index* (MGRVI) e *Modified Photochemical Reflectance Index* (MPRI) apresentaram resultados similares às análises visuais de injúria e são promissores para estimar o efeito do dicamba na produtividade da cultura da soja.

### 3.3 Altura das plantas

A aplicação de doses maiores do herbicida reduziu a altura das plantas. A redução foi mais pronunciada com aplicações superiores a 0,56 g e.a. ha<sup>-1</sup>. Em comparação ao controle, houve redução de 31%, 39% e 56% na altura das plantas com a aplicação de 5,6; 28 e 112 g e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 4).

Figura 4. Altura das plantas de soja em função da aplicação de diferentes doses de dicamba.



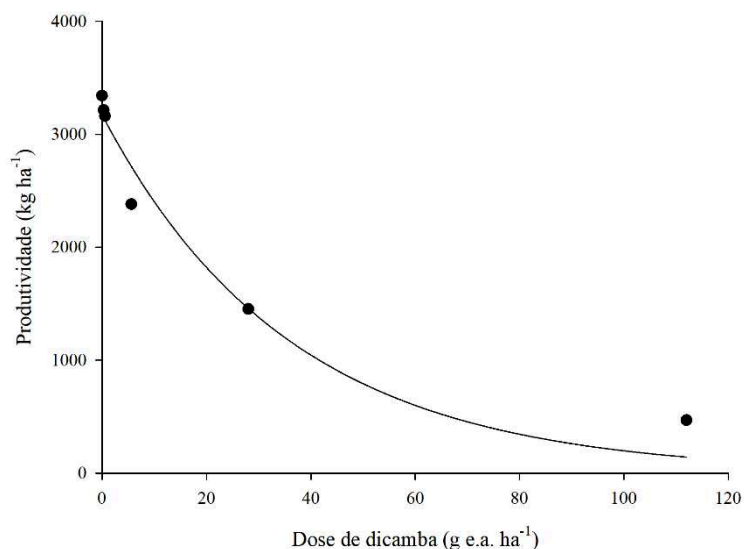
Fonte: O autor.

A redução da altura da planta pelo efeito do herbicida dicamba ocorre devido à redução do crescimento do meristema apical, pecíolos e folhas. Com isso, há redução da área foliar disponível para a fotossíntese da planta, que pode acarretar a redução da produtividade da cultura (OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC, 2019; ROBINSON; SIMPSON; JOHNSON, 2013). Schneider *et al.* (2019) avaliaram o efeito de doses de dicamba no crescimento da soja, e observaram a redução de 77% e 27% na altura das plantas na maturação com a aplicação de 28,0 g e.a. ha<sup>-1</sup> de dicamba nos estádios V3 e R2, respectivamente. Esses resultados demonstram que o efeito do herbicida na altura das plantas é mais intenso com a ocorrência da exposição no início do estágio vegetativo, visto que no estágio reprodutivo o crescimento da planta já está praticamente completo.

### 3.4 Produtividade da cultura

A aplicação do herbicida dicamba reduziu a produtividade da cultura nas maiores doses do estudo (Figura 5). A aplicação de 5,6; 28,0 e 112,0 g e.a. ha<sup>-1</sup> resultou em 29%, 57% e 86% de redução na produtividade, respectivamente. Um estudo conduzido durante dois anos por Andersen *et al.* (2004) constatou que a aplicação de 5,6; 11,2 e 56,0 g e.a. dicamba ha<sup>-1</sup> no estágio V3, resultou em 24%, 28% e 77% de redução na produtividade, respectivamente.

Figura 5. Produtividade da cultura da soja em função da aplicação de diferentes doses de dicamba.



Fonte: O autor.

A aplicação de menores doses (0,28 e 0,56 g e.a. ha<sup>-1</sup>) resultou em no máximo 5% de redução na produtividade da cultura. A meta-análise conduzida por Kniss (2018) estimou que a dose de dicamba necessária para reduzir em 5% a produtividade da soja foi 1,9 g e.a. ha<sup>-1</sup> para os estádios V1-V3, valor maior que o encontrado neste estudo (0,56 g e.a. ha<sup>-1</sup>). A diferença entre esses resultados ocorre em função de diversos fatores entre eles a cultivar utilizada, a condição fisiológica das plantas e as condições meteorológicas do cultivo (AUCH; ARNOLD, 1978; MCCOWN; BARBER; NORSWORTHY, 2018; SCHNEIDER *et al.*, 2019), o que demonstra a complexidade para se estimar a queda de produtividade em função da ocorrência de deriva.

### 3.5 Correlações

Todos os pares de variáveis estudadas apresentaram correlação de Pearson significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3). A maioria dos coeficientes de correlação observados entre as variáveis foi classificada como muito forte ( $> 0,9$ ), com exceção das correlações entre a resposta do TGI com 7 DAA e a produtividade; e entre a análise visual aos 21 DAA e a produtividade, que tiveram coeficientes considerados apenas como forte (0,6 a 0,9) (CALLEGARI-JACQUES, 2009). De forma semelhante, Huang *et al.* (2016) observaram dificuldade de correlacionar as respostas de índices de vegetação com doses crescentes de

dicamba na soja logo após as aplicações (24, 48 e 72 horas após a aplicação), mas obtiveram boa correlação com 14 DAA.

Tabela 3. Correlação de Pearson ( $r$ ) entre as variáveis análise visual (7 e 21 DAA), resposta do TGI (7 e 21 DAA), altura das plantas e produtividade.

	<b>Análise visual 7 DAA</b>	<b>Análise visual 21 DAA</b>	<b>TGI 7 DAA</b>	<b>TGI 21 DAA</b>	<b>Altura</b>	<b>Produtividade</b>
<b>Análise visual 7 DAA</b>	1	0.975*	- 0.951*	- 0.941*	- 0.955*	-0.911*
<b>Análise visual 21 DAA</b>		1	- 0.918*	- 0.920*	- 0.936*	-0.890*
<b>TGI 7 DAA</b>			1	0.932*	0.950*	0.883*
<b>TGI 21 DAA</b>				1	0.972*	0.952*
<b>Altura</b>					1	0.950*
<b>Produtividade</b>						1

Fonte: O autor.

\* Correlação de Pearson significativa a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

De modo geral, tanto a avaliação visual quanto a avaliação pelo índice TGI, obtiveram boa correlação com a altura das plantas e a produtividade da cultura, permitindo a utilização de índice de vegetação para a avaliação do impacto de injúrias causada por dicamba, sejam elas advindas da deriva do herbicida ou da contaminação do tanque do pulverizador. Seu uso é menos subjetivo, mais rápido e cobre maiores áreas, o que se torna um atrativo para os agricultores.

#### **4 CONCLUSÕES**

O sensoriamento remoto empregando índices de vegetação, como o TGI, tem potencial para ser utilizado no monitoramento da injúria em plantas de soja expostas ao dicamba, podendo ter capacidade de avaliar áreas de grande extensão de forma menos subjetiva que a avaliação visual.

## REFERÊNCIAS

- ABRANTES, T. C. **Análise da deriva simulada de herbicidas auxínicos em soja através de índices de vegetação RGB obtidos por VANT**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/196153>. Acesso em: 02 jul. 2020.
- ANDERSEN, S. M. *et al.* Soybean foliage residues of dicamba and 2,4-D and correlation to application rates and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 3, p. 750–760, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0750>. Disponível em: <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/96/3/0750>. Acesso em: 24 jul. 2020.
- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, Basel, v. 5, n. 2, p. 949–981, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5020949>. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/2/949>. Acesso em: 08 jul. 2020.
- AUCH, D. E.; ARNOLD, W. E. Dicamba use and injury on soybeans (*Glycine max*) in South Dakota. **Weed Science**, New York, v. 26, n. 5, p. 471–475, 1978. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5020949>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500050347/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500050347/type/journal_article). Acesso em: 01 jul. 2020.
- BECK, H. E. *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, London, v. 5, n. 180214, p. 1–12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/sdata2018214>. Acesso em: 01 jul. 2020.
- BEHRENS, M. R. *et al.* Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, New York, v. 316, n. 5828, p. 1185–1188, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1141596>. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1141596>. Acesso em: 25 maio 2020.
- BEHRENS, R.; LUESCHEN, W. E. Dicamba volatility. **Weed Science**, New York, v. 27, n. 5, p. 486–493, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043174500044453>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/dicamba-volatility/28C48474F2557F95ED13FE17490E92CF>. Acesso em: 25 maio 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf). Acesso em: 24 abr. 2020.
- BYKER, H. P. *et al.* Control of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) with dicamba applied preplant and postemergence in dicamba-resistant soybean. **Weed Technology**, New York, v. 27, n. 3, p. 492–496, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00023.1>. Disponível em:

[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00013233/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00013233/type/journal_article). Acesso em: 21 abr. 2020.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e aplicações**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009.

COSTA, E. M. *et al.* Simulated drift of dicamba and 2,4-D on soybeans: effects of application dose and time. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 36, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n3a2020-47742>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/47742>. Acesso em: 01 jul. 2020.

DUDDU, H. S. N. *et al.* High-throughput UAV image-based method is more precise than manual rating of herbicide tolerance. **Plant Phenomics**, New York, v. 2019, p. 1–9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34133/2019/6036453>. Disponível em: <https://spj.sciencemag.org/plantphenomics/2019/6036453/>. Acesso em: 25 maio 2020.

EGAN, J. F.; MORTENSEN, D. A. Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 31, n. 5, p. 1023–1031, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.1778>. Disponível em: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.1778>. Acesso em: 25 maio 2020.

FOSTER, M. R. *et al.* Development of a model to predict soybean yield loss from dicamba exposure. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 2, p. 287–295, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.120>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18001203/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18001203/type/journal_article). Acesso em: 06 jul.. 2020.

FOSTER, M. R.; GRIFFIN, J. L. Changes in soybean yield components in response to dicamba. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, Hoboken, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2019.04.0026>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/age2019.04.0026>. Acesso em: 25 maio 2020.

FREIRE-SILVA, J. *et al.* Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 9, n. 4, p. 228–239, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.4.p228-239>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/242924>. Acesso em: 02 jul. 2020.

FUENTES-PEAILILLO, F. *et al.* Comparison of vegetation indices acquired from RGB and Multispectral sensors placed on UAV. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION/XXIII CONGRESS OF THE CHILEAN ASSOCIATION OF AUTOMATIC CONTROL (ICA-ACCA), 2018, Concepción. **Anais [...]**. Concepción: IEEE, 2018. p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8609861/>. Acesso em: 15 jul. 2020

GROSSMANN, K. Auxin herbicide action: lifting the veil step by step. **Plant Signaling & Behavior**, Georgetown, v. 2, n. 5, p. 421–423, 2007. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.4161/psb.2.5.4417>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19704620/>. Acesso em: 15 jul.. 2020.



GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1860>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.1860>. Acesso em: 15 jul. 2020.

HENRY, W. B. *et al.* Remote sensing to detect herbicide drift on crops. **Weed Technology**, New York, v. 18, n. 2, p. 358–368, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-03-098>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00014275/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00014275/type/journal_article). Acesso em: 02 jul. 2020.

HICKMAN, M. V. *et al.* Aerial photography and videography for detecting and mapping dicamba injury patterns. **Weed Technology**, New York, v. 5, n. 4, p. 700–706, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00033728>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00033728/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00033728/type/journal_article). Acesso em: 02 jul. 2020.

HUANG, Y. *et al.* In-situ plant hyperspectral sensing for early detection of soybean injury from dicamba. **Biosystems Engineering**, London, v. 149, p. 51–59, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.013>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511016301702>. Acesso em: 02 jul. 2020.

HUNT, E. R. *et al.* Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 4, p. 1090–1099, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0395>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2010.0395>. Acesso em: 15 jul. 2020.

HUNT, E. R. *et al.* A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 21, p. 103–112, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243412001791>. Acesso em: 08 jul. 2020.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture? **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 39, n. 15–16, p. 5345–5376, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1410300>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2017.1410300>. Acesso em: 25 maio 2020.

JOHNSON, V. A. *et al.* Cotton, Peanut, and Soybean Response to Sublethal Rates of Dicamba, Glufosinate, and 2,4-D. **Weed Technology**, New York, v. 26, n. 2, p. 195–206, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-11-00054.1>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00011490/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00011490/type/journal_article). Acesso em: 01 jul. 2020.

JONES, G. T. *et al.* Effect of low doses of dicamba alone and in combination with glyphosate on parent soybean and offspring. **Weed Technology**, New York, v. 33, n. 1, p. 17–23, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.87>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000878/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000878/type/journal_article). Acesso em: 25 maio 2020.

KNISS, A. R. Soybean response to dicamba: a meta-analysis. **Weed Technology**, New York, v. 32, n. 5, p. 507–512, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.74>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X1800074X/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X1800074X/type/journal_article). Acesso em: 25 maio 2020.

MCCOWN, S.; BARBER, T.; NORSWORTHY, J. K. Response of non-dicamba-resistant soybean to dicamba as influenced by growth stage and herbicide rate. **Weed Technology**, New York, v. 32, n. 5, p. 513–519, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.64>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000647/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X18000647/type/journal_article). Acesso em: 01 jul. 2020.

MCKINNON, T.; HOFF, P. **Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for drone based agricultural sensing**. Boulder: Agribotix.Com, 2017. Disponível em: <https://agribotix.com/wp-content/uploads/2017/05/Agribotix-VARI-TGI-Study.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2020.

NETTO, A. F. A. *et al.* Evaluation of a low-cost camera for agricultural applications. **Journal of Experimental Agriculture International**, London, v. 32, n. 5, p. 1–9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v32i530117>. Disponível em: <http://www.journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/30117>. Acesso em: 15 jul. 2020.

OSIPITAN, O. A.; SCOTT, J. E.; KNEZEVIC, S. Z. Glyphosate-resistant soybean response to micro-rates of three dicamba-based herbicides. **Agrosystems, Geosciences & the Environment**, Hoboken, v. 2, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2018.10.0052>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/age2018.10.0052>. Acesso em: 25 maio 2020.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 06 jan. 2020. [software].

ROBINSON, A. P.; SIMPSON, D. M.; JOHNSON, W. G. Response of glyphosate-tolerant soybean yield components to dicamba exposure. **Weed Science**, New York, v. 61, n. 4, p. 526–536, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-12-00203.1>. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500013370/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0043174500013370/type/journal_article). Acesso em: 01 jul. 2020.

SCHNEIDER, T. *et al.* Subdoses of dicamba herbicide on yield componentes in function of the soybean growth stage. **Journal of Agricultural Science**, Richmond Hill, v. 11, n. 6, p. 407, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n6p407>. Disponível em: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39277>. Acesso em: 01 jul. 2020.

STARÝ, K. *et al.* Comparing RGB-based vegetation indices from UAV imageries to estimate hops canopy area. **Agronomy Research**, Tartu, v. 18, n. 4, p. 2592-2601, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.15159/AR.20.169>. Disponível em:  
<https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/6091>. Acesso em: 25 dez. 2020.

XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. **Journal of Sensors**, New York, v. 2017, p. 1–17, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>. Disponível em:  
<https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/>. Acesso em: 25 maio 2020.

ZHANG, J. *et al.* Assessing crop damage from dicamba on non-dicamba-tolerant soybean by hyperspectral imaging through machine learning. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 75, n. 12, p. 3260–3272, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5448>. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.5448>. Acesso em: 01 set. 2020.