

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

DERIVA SIMULADA DE DICAMBA NA CULTURA DO  
EUCALIPTO

Autor: Carlos Henrique de Lima e Silva  
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Rio Verde - GO  
Fevereiro - 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

DERIVA SIMULADA DE DICAMBA NA CULTURA DO  
EUCALIPTO

Autor: Carlos Henrique de Lima e Silva  
Orientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

Rio Verde - GO  
Fevereiro - 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

SC284d Silva, Carlos Henrique de Lima e  
Deriva simulada de dicamba na cultura do  
eucalipto / Carlos Henrique de Lima e  
Silva; orientador Adriano Jakelaitis. -- Rio Verde,  
2020.  
59 p.

Dissertação ( em Mestrado em Ciências Agrárias) --  
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Eucalyptus urograndis. 2. Integração Lavoura-  
Pecuária-Floresta. 3. Herbicida auxínico. 4.  
Subdoses. I. Jakelaitis, Adriano, orient. II. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e Impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

Tese  Artigo Científico  
 Dissertação  Capítulo de Livro  
 Monografia - Especialização  Livro  
 TCC - Graduação  Trabalho Apresentado em Evento  
 Produto Técnico e Educacional - Tipo:

Nome Completo do Autor: **Carlos Henrique de Lima e Silva**

Matrícula: **2018202310140024**

Título do Trabalho: **Deriva simulada de dicamba na cultura do eucalipto**

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 10/03/2020

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO, 17/03/2020  
Local Data

Carlos Henrique de Lima e Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**DERIVA SIMULADA DO DICAMBA NA CULTURA  
DO EUCALIPTO**

Autor: Carlos Henrique de Lima e Silva  
Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de  
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

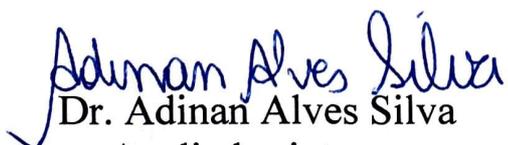
APROVADA em, 27 de fevereiro de 2020.



Prof.<sup>a</sup>. Dra. Darliane de Castro Santos  
Avaliadora interna  
IF Goiano – Campus Rio Verde



Dr. Arthur Almeida Rodrigues  
Avaliadora externo  
IF Goiano – Campus Rio Verde



Dr. Adinan Alves Silva  
Avaliador interno  
IF Goiano – Campus Rio Verde



Prof. Dr. Adriano Jakelaitis  
Presidente da banca  
IF Goiano – Campus Rio Verde

*Aos meus pais Orlando Afonso da Silva e Maralucia Lima e Silva, pelos ensinamentos e amor incondicional e aos meus irmãos, Antonio Carlos de Lima e Silva e Fernando Higino de Lima e Silva, pelo apoio e suporte em todos os momentos.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e sabedoria para vencer essa etapa.

À minha família, em especial meus pais, irmãos, sobrinha e cunhadas pelo apoio, confiança e suporte em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Jakelaitis, por sua atenção, comentários e sugestões, que certamente contribuíram e muito para que essa dissertação fosse realizada.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Fernando Higino de Lima e Silva e Prof. Dr. Alan Carlos Costa, pelas orientações e disponibilidade.

Ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde e todo corpo docente pelo apoio, suporte e conhecimento passado durante o período de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos integrantes do Laboratório de Plantas Daninhas, por toda ajuda e contribuição na condução das atividades.

Aos integrantes Laboratórios de Ecofisiologia Vegetal e Anatomia do Instituto, pela estrutura física, disponibilidade de equipamentos e auxílio durante a condução do experimento.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

**Obrigado!**

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Carlos Henrique de Lima e Silva, nascido em Governador Valadares - MG em 13 de fevereiro de 1990. Graduado em Engenharia Agrônômica no ano de 2018, na Universidade Federal de São João Del-Rei. Em 2018 ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - AGRONOMIA. Em fevereiro de 2020, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Ciências Agrárias – AGRONOMIA.

## ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	5
ÍNDICE DE TABELAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES .....	8
RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	11
INTRODUÇÃO GERAL .....	13
OBJETIVOS.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19
CAPÍTULO I: DERIVA SIMULADA DE DICAMBA NA CULTURA DO EUCALIPTO .....	23
1. INTRODUÇÃO .....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.1 <i>Localização e caracterização da área de estudo</i> .....	27
2.2 <i>Instalação e condução do experimento</i> .....	27
2.3 <i>Delineamento experimental e tratamentos</i> .....	28
2.4 <i>Avaliações</i> .....	28
2.4.1 <i>Fitotoxicidade</i> .....	28
2.4.2 <i>Biométricas</i> .....	29
2.4.3 <i>Morfoanatômicas</i> .....	29
2.4.4 <i>Fisiológicas</i> .....	30
2.4.5 <i>Análise Estatística</i> .....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
3.1 <i>Fitotoxicidade</i> .....	32
3.2 <i>Variáveis Biométricas</i> .....	37
3.3 <i>Caracterização Morfoanatômica</i> .....	40
3.4 <i>Variáveis Fisiológicas</i> .....	46
4. CONCLUSÃO .....	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
6. CONCLUSÃO GERAL .....	529

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO I - DERIVA SIMULADA DE DICAMBA NA CULTURA DO EUCALIPTO.

- Tabela 1.** Escala visual de fitotoxicidade utilizada para avaliação do efeito da deriva simulada sobre plantas de eucalipto.....29
- Tabela 2.** Valores médios de Fitotoxicidade (%) em plantas jovens de *Eucalyptus urograndis* aos 7, 14, 21 e 28 dias, após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.....32
- Tabela 3.** Valores médios de altura (cm) e diâmetro do colo (mm) de plantas jovens de *Eucalyptus urograndis*, anteriormente a aplicação (AA) e aos 14 e 28 dias, após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.....37
- Tabela 4.** Valores médios de número de ramos (NR), massa seca de ramos (MSR), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de caule (MSC) de *Eucalyptus urograndis*, aos 90 dias após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.....37
- Tabela 5.** Efeito de subdoses do dicamba na estrutura foliar de *Eucalyptus urograndis*, após 7 dias de exposição ao herbicida em diferentes doses (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>), em Rio Verde, GO, 2018.....42
- Tabela 6.** Efeito de subdoses do dicamba na estrutura foliar de *Eucalyptus urograndis*, após 14 dias de exposição ao herbicida em diferentes doses (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>), em Rio Verde, GO, 2018.....42
- Tabela 7:** Valores médios da taxa transpiratória (*E*), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*) e razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (*Ci/Ca*), de *Eucalyptus urograndis* aos 1, 7, 14 e 21 DAA de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.....46
- Tabela 8:** Valores médios do rendimento quântico máximo do FSII - (Fv/Fm) e taxa transportadora de elétrons (ETR) de *Eucalyptus urograndis* aos 1, 7, 14 e 21 DAA de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.....50

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 01:** Sintomas de epinastia de folhas, ramos e caule após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 7 DAA.....33
- Figura 02:** Sintomas de epinastia e necrose, após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 14 DAA.....33
- Figura 03:** Sintomas de necrose de ramos e folhas jovens e surgimento de brotações, após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 21 DAA.....34
- Figura 04:** Surgimento de brotações, após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 28 DAA.....35
- Figura 5.** Secção transversal do terço médio na região da nervura central de folhas de *Eucalyptus urograndis* submetidas à deriva do herbicida Dicamba. 7 DAA. (A-B) Dose 0,00 g e.a. ha<sup>-1</sup> (Controle); (C-D) Dose 7,5 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (E-F) Dose 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (G-H) Dose 30 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (I-J) Dose 60 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (K-L) Dose 120 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (M-N) Dose 240 g e.a. ha<sup>-1</sup>. (Ad Ep) epiderme adaxial. (Ab Ep) epiderme abaxial. (PP) parênquima paliçádico. (SP) parênquima esponjoso. Xy (xilema). (Ph) floema. (Fi) fibras. (FP) parênquima fundamental. (CS) canal secretor. (A-C-E-H-I-K-M) Barra de escala 50 µm. (B-D-F-G-J-L-N) Barra de escala 500 µm.....40
- Figura 6.** Secção transversal do terço médio na região da nervura central de folhas de *Eucalyptus urograndis* submetidas à deriva do herbicida Dicamba. 14 DAA. (A-B) Dose 0,00 g e.a. ha<sup>-1</sup> (Controle); (C-D) Dose 7,5 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (E-F) Dose 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (G-H) Dose 30 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (I-J) Dose 60 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (K-L) Dose 120 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (M-N) Dose 240 g e.a. ha<sup>-1</sup>. (Ad Ep) epiderme adaxial. (Ab Ep) epiderme abaxial. (PP) parênquima paliçádico. (SP) parênquima esponjoso. Xy (xilema). (Ph) floema. (Fi) fibras. (FP) parênquima fundamental. (CS) canal secretor. (A-C-E-H-I-K-M) Barra de escala 50 µm. (B-D-F-G-J-L-N) Barra de escala 500 µm.....41

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade de Medida
GO	Goiás	
g	Gramas	
e.a	Equivalente Ácido	
ha	Hectare	
%	Porcentagem	
ABA	Ácido Abscísico	
AIA	Ácido indolacético	
V	Volume	
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono	
L	Litros	
DAA	Dias após a aplicação	
m/s	Metros/segundo	
cm	Centímetros	
mm	Milímetro	
m	Metros	
°C	Graus Celsius	
CTC	Capacidade de troca de cátions	
pH	Potencial Hidrogeniônico	
Al	Alumínio	
Ca	Cálcio	
Mg	Magnésio	
N	Nitrogênio	
P	Fósforo	
K	Potássio	
MO	Matéria Orgânica	
Kpa	kilopascal	
M	Molar	
Fv/Fm	Rendimento Quântico Máx. FSII	
ETR	Taxa de transporte de elétrons	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
A	Taxa fotossintética	$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$
gs	Condutância estomática	$\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$
E	Taxa de transpiração	$\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Ci/Ca	Razão entre a concentração interna e externa de CO <sub>2</sub>	
Adep	Epiderme adaxial	$\mu\text{m}$
Abep	Epiderme abaxial	$\mu\text{m}$
PP	Parênquima paliçádico	$\mu\text{m}$
SP	Parênquima esponjoso	$\mu\text{m}$
Xy	Xilema	$\mu\text{m}$
Ph	Floema	$\mu\text{m}$
$\mu\text{m}$	Micrômetro	

SILVA, CARLOS HENRIQUE DE LIMA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2020. **DERIVA SIMULADA DE DICAMBA NA CULTURA DO EUCALIPTO**. Orientador: Dr. Adriano Jakelaitis. Coorientadores: Dr. Alan Carlos Costa; Dr. Fernando Higino L. e Silva.

## RESUMO

Com o surgimento e a propagação de plantas daninhas resistentes a diferentes herbicidas, a pesquisa vem buscando novas tecnologias de controle dessas espécies. Uma das alternativas é a introdução de cultivares de soja e algodão com tolerância ao herbicida dicamba. Com isso, este herbicida poderá ser utilizado com maior frequência como parte de um programa de manejo de plantas daninhas resistentes. Porém, a maior comercialização e uso deste herbicida, tende a aumentar os riscos de deriva, visto que as moléculas do dicamba apresentam alta volatilidade e podem provocar danos em plantas não alvo. Com o estudo, objetivou-se avaliar como os efeitos de subdoses do dicamba, sobre variáveis de fitotoxicidade, biométricas, morfoanatômicas e fisiológicas de plantas jovens de eucalipto. O experimento foi conduzido em condições de campo e no laboratório de Plantas Daninhas do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO. Os tratamentos utilizados foram: 0 (controle); 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a. ha<sup>-1</sup> de dicamba aplicados 45 dias após o plantio (DAP) das mudas em campo. Para a variável de fitotoxicidade, observou-se que o tratamento 120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup> provocou maiores danos às plantas de eucalipto em todas as épocas de avaliação. Os sintomas predominantes foram: epinastia, aumento do número de brotações, necrose e senescência de ramos e folhas jovens. Em relação às variáveis de altura, diâmetro, número de ramos e massa seca de folhas, caule e raiz, o herbicida dicamba comprometeu de forma significativa tais variáveis, nas doses de 120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>, interferindo no crescimento e desenvolvimento da cultura do eucalipto. O material vegetal apresentou alterações nas estruturas do mesófilo aos 7 e 14 dias, após a aplicação (DAA) e no parênquima paliçádico aos 14 DAA. Para as estruturas da epiderme abaxial e adaxial e parênquima esponjoso, não houve diferença significativa. As variáveis fisiológicas sofreram alterações aos 1 e 7 DAA para a taxa transpiratória, e para a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> e condutância estomática somente aos 7 DAA. Os resultados indicam que o efeito da deriva simulada do herbicida dicamba pode interferir no desenvolvimento correto de plantas jovens de eucalipto, podendo ocasionar prejuízos na fase inicial de plantio, ocasionando prejuízos futuros para produtores.

**Palavras-chave:** Controle químico, fitotoxidez, mimetizadores de auxina, sistemas agrossilvipastoris.

SILVA, CARLOS HENRIQUE DE LIMA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, February de 2020. **Simulated drift of dicamba in the eucalyptus culture.** Advisor: Dr. Adriano Jakelaitis. Co-advisor: Dr. Alan Carlos Costa; Dr. Fernando Higino L. e Silva.

### ABSTRACT

With the emergence and spread of weeds resistant to different herbicides, agricultural research companies have been looking for new technologies to control these species. One of the alternatives is the introduction of soybean and cotton cultivars with tolerance to the herbicide dicamba. As a result, this herbicide can be used more often as part of a resistant weed management program. However, the higher commercialization and use of this herbicide, tends to increase the drift risks, since the dicamba molecules have high volatility and can cause damage to non-target plants, located in adjacent areas, even in low doses. The study aimed to evaluate the dicamba underdoses effects, on phytotoxicity, biometric, morpho-anatomical and physiological variables of young eucalyptus plants. The experiment was carried out under field conditions and at the Weed Laboratory of the Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO. The treatments used were: 0 (control); 7,5; 15; 30; 60; 120 and 240 g e.a. ha<sup>-1</sup> of dicamba applied 45 days after seedlings planting (DAP) in the field. For the phytotoxicity variable, it was observed that treatment 120 and 240g e.a ha<sup>-1</sup> caused bigger damage to eucalyptus plants in all periods of evaluation. The predominant symptoms were: epinasty, increased number of shoots, necrosis and senescence of young branches and leaves. Regarding the variables of height, diameter, branches number and leaves, stem and root dry mass, the herbicide dicamba significantly compromised these variables in the doses of 120 and 240g and ha<sup>-1</sup>, interfering in the eucalyptus crop growth and development. However, the plants recovered over time. The plant material showed changes in the mesophyll structures at 7 and 14 days after application (DAA) and in the palisade parenchyma at 14 DAA. For abaxial and adaxial epidermis and spongy parenchyma structures, there was no significant difference. The physiological variables underwent changes at 1 and 7 DAA for transpiratory rate, and for the internal and external CO<sub>2</sub> concentration and stomatal conductance only at 7 DAA. The levels of Chlorophyll a and b also changed in the evaluation period. There was no statistical difference for the photosynthetic rate. The results indicate that the simulated drift effect

of the herbicide dicamba can interfere in the correct development of young eucalyptus plants, which may cause losses in the initial planting phase, causing future losses for producers.

**Keywords:** Chemical control, phytotoxicity, auxin mimics, agrossilvipastoris systems.

## INTRODUÇÃO GERAL

As plantas daninhas são um dos principais fatores bióticos de restrição para o estabelecimento das culturas de interesse econômico, uma vez que interferem no desenvolvimento por meio da competição por espaço, luz, água e nutrientes (Corrêa et al. 2016). Além disso, tais plantas possuem mecanismos de alelopatia, impedindo o desenvolvimento de outras espécies associados a estas (Marinho et al., 2017).

Nas últimas décadas, a utilização de herbicidas tem sido considerada a principal forma de controle de plantas daninhas dentro dos sistemas de produção. Isso se deve a praticidade, baixo custo e eficiência no manejo, quando comparado com os métodos manuais e mecânicos. Outro fator que tem impulsionado as altas taxas de adoção dos herbicidas consiste na introdução de culturas geneticamente modificadas, tolerantes a herbicidas específicos, como o glifosato (Grube et al., 2011). Porém, o uso contínuo de um mesmo herbicida, como o glifosato, em dosagens incorretas, tem favorecido o surgimento de plantas daninhas resistentes em áreas agricultáveis (Zhou et al., 2016). A resistência de plantas daninhas pode ser definida como a capacidade de um biótipo de uma determinada população sobreviver a um herbicida quando aplicado na dose letal aos outros indivíduos daquela espécie (Shaner et al., 2012).

A fim de amenizar o problema de plantas daninhas resistentes ao glifosato, empresas de biotecnologia vêm desenvolvendo pacotes tecnológicos de novas cultivares de soja e algodão com tolerância ao herbicida dicamba (Mohseni-Moghadam & Doohan, 2015). Assim, estes pacotes consistirão numa alternativa para produtores aumentando desta forma, as opções de manejo.

O herbicida dicamba (ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico) consiste em um regulador de crescimento hormonal, pertencente à classe dos herbicidas mimetizadores de auxina, grupo químico dos ácidos benzoicos (Zhou et al., 2016). Isso se deve a sua semelhança funcional e estrutural ao ácido indolacético (AIA), principal hormônio natural que regula a atividade de vários genes envolvidos no crescimento dos vegetais (Hartzler e Anderson, 2018). Tal herbicida é comumente utilizado nas culturas do milho, trigo e pastagem, por exemplo, para controle de plantas daninhas de folhas largas, anuais ou perenes, em pós-emergência (Oliveira Júnior, 2011).

Entre algumas características do dicamba, destacam-se: interferência no crescimento dos vegetais de maneira semelhante à auxina natural (AIA); translocação tanto via floema quanto xilema, além da baixa toxicidade do herbicida para mamíferos (Oliveira Júnior, 2011). O herbicida dicamba, mesmo em subdoses pode causar danos em plantas sensíveis. Isto pode ser observado em casos de deriva e até mesmo contaminação de máquinas e pulverizadores (Bish e Bradley, 2017).

Após a exposição ao herbicida, notam-se visualmente os seguintes sintomas em plantas sensíveis: tumores na região do meristema apical; anormalidade dos tecidos de crescimento, como o enrugamento e encarquilhamento do caule e folhas; epinastia; engrossamento e multiplicação do sistema radicular. Além disso, há ocorrência de danos nos cloroplastos, resultando em clorose, necrose e dessecação dos tecidos, e posteriormente a morte da planta entre 21 e 35 dias após o contato com o herbicida. (Christoffoleti et al., 2015; Silva et al., 2018). O grau de injúria e os sintomas observados dependem de diversos fatores, incluindo a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta não alvo e a dosagem (Yamashita e Guimarães, 2005).

De acordo com Song (2014), as moléculas dos herbicidas mimetizadores de auxina, como o dicamba, podem ficar ativas por um período longo de tempo nos vegetais, permitindo assim que as mesmas se tornem eficientes no controle das plantas daninhas. Diferentemente das auxinas naturais, que são degradadas e conjugadas, tornando-se inativas. Ainda, segundo o autor, a morte das plantas daninhas provocada por este herbicida é resultado de vários processos metabólicos mediados por diferentes hormônios.

O mecanismo de ação do dicamba envolve a plasticidade da parede celular e o metabolismo de ácidos nucleicos. Segundo Senseman (2007), pressupõe-se que a ação do herbicida seja capaz de acidificar a parede celular dos vegetais pela maior atividade da bomba de prótons da ATPase, ligada à membrana celular. Assim, a redução do pH na região do apoplasto induz o alongamento celular por causa da maior atividade de enzimas encarregadas pelo afrouxamento das células (USEPA, 2013).

Na exposição à baixas concentrações deste herbicida, tem-se o estímulo da RNA polimerase, aumentando de forma subsequente o DNA, RNA e a biossíntese de proteínas. Com este aumento anormal, decorre a síntese de auxinas e giberelinas,

tornando o crescimento desordenado nas partes mais jovens do vegetal (Senseman, 2007).

Em concentrações maiores do produto, tem-se a inibição da divisão celular e do crescimento dos tecidos meristemáticos, acumulando fotoassimilados oriundos do processo fotossintético. Em alguns casos, este herbicida também pode provocar o aumento na liberação do hormônio etileno, acarretando sintomas característicos de crescimento desordenado nos vegetais (Hartzler e Anderson, 2018).

A introdução de culturas tolerantes ao herbicida dicamba no mercado agrícola têm levado as altas taxas de comercialização e adoção deste produto, fora do país, aumentando o risco da deriva desse herbicida em plantas não alvos (Vieira et al., 2020). O conceito de deriva pode ser definido como o movimento de pó ou gotículas do produto fitossanitário que são deslocadas através do ar, de forma que não atingem o alvo de interesse no momento ou posteriormente à aplicação, acarretando perdas do produto e possíveis danos ambientais (USEPA, 2014). As condições meteorológicas, juntamente com as formulações dos produtos e os equipamentos de aplicação, estão dentre as principais causas de deriva em áreas agrícolas (Ferreira et al., 2010).

Na década de 1960, quando o dicamba já era comercializado, os problemas de deriva em culturas suscetíveis eram frequentes (Egan; Barlow; Mortensen, 2014). Para Mortensen et al. (2012), em áreas onde o cultivo de algodão e soja tolerantes aos herbicidas auxínicos são empregadas, a utilização do dicamba aumentou consideravelmente no decorrer dos anos. Ainda segundo os autores, a deriva deste herbicida é uma preocupação para os produtores, especialmente na fase inicial de implantação e comercialização destas tecnologias, fato observado por Johnson et al. (2012) e Smith et al. (2017), ao simular a deriva deste herbicida na cultura do algodão não tolerante.

Culturas florestais ou agrícolas podem ter seu desenvolvimento comprometido quando há o desvio das moléculas do herbicida. Mesmo as dosagens baixas e com aplicações realizadas em locais distantes das culturas, é possível que ocorra fitointoxicação em virtude destes compostos serem considerados voláteis. No estudo de deriva simulada realizado por Kelley et al. (2017), os autores evidenciaram redução de

12% de produtividade da cultura da soja não tolerante ao herbicida, quando aplicado 1% da dose recomendada em estágio V7.

Dentre as culturas florestais, o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) é a mais cultivada no Brasil, em razão de suas características de rápido crescimento e potencial para a produção de madeira para usos múltiplos (Oliveira Neto et al., 2010). O território brasileiro apresenta área de aproximadamente 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas dos quais, 71,9% é representado pelo cultivo de eucalipto (IBÁ, 2019). Atualmente, o Centro-Oeste é considerado uma das novas fronteiras para as práticas silviculturais.

O eucalipto possui grande importância dentro dos sistemas agrossilvipastoril, que consiste na associação do componente florestal juntamente com cultivos agrícolas ou atividades pecuárias (Embrapa, 2018). Se manejado de forma correta, o eucalipto contribui para melhorias das condições ambientais e aumento da rentabilidade, proporcionando aos produtores maior renda. Além disso, a presença de florestas de eucalipto em sistemas de integração auxilia na reabilitação de áreas degradadas, melhoria das condições físico-químicas do solo, ciclagem de nutrientes, e aumento no potencial de sequestro de carbono (Minogue et al., 2018).

No sistema agrossilvipastoril, o componente arbóreo, composto pelo eucalipto, por exemplo, é disposto em menores densidades de plantio quando comparado às florestas plantadas, reduzindo assim o número de plantas por hectare, possibilitando o cultivo de diferentes culturas entre renques. Para Karvatte et al. (2016), um dos entraves para a introdução deste sistema consiste na susceptibilidade ou tolerância das espécies arbóreas em relação ao desvio das moléculas de herbicidas, que são aplicados nas culturas agrícolas, como soja, milho e forrageiras. Segundo os autores, a deriva destes produtos pode interferir de forma negativa a introdução e o estabelecimento inicial das mudas no campo.

Segundo Reis et al. (2015), o estado de Goiás possui características favoráveis para a implantação e desenvolvimento das atividades silviculturais. Isso se deve às condições propícias de clima, área disponível, principalmente pastagens degradadas, proximidade dos centros consumidores e terras com preço competitivo.

O município de Rio Verde, localizado no sudoeste goiano, é considerado o principal produtor de lenha de eucalipto no estado, com produção de 610.000 m<sup>3</sup> (IBÁ, 2019). Por ter destaque na produção, beneficiamento e secagens de grãos, criação de suínos e aves, a utilização da lenha para uso energético nas fornalhas e caldeiras é de grande relevância (IBGE, 2013).

Um dos principais híbridos de eucalipto cultivado no estado de Goiás é o *Eucalyptus urograndis*, resultante do cruzamento entre *E. grandis* x *E. urophylla*. Este híbrido apresenta como características o desenvolvimento acelerado, tolerância às doenças e às adversidades climáticas e produção madeireira de qualidade (Benatti, 2013). Desta combinação interespecífica, esperam-se árvores vigorosas e com madeira de maior densidade. No estudo de Carvalho et al. (2014), os autores apontam que a deriva simulada de herbicidas auxínicos interferiu negativamente no desenvolvimento inicial de mudas de diferentes clones de eucalipto. Os autores observaram efeitos de injúrias nos eucaliptos como epinastia, formação de brotos e necrose, além da redução de variáveis biométricas como altura, diâmetro e massa seca.

Pesquisas relacionadas com deriva de herbicidas auxínicos têm permitido entender os efeitos letais e subletais em plantas sensíveis. Portanto, é de grande importância aprofundar em estudos que possam mensurar possíveis alterações nas características de espécies vegetais que são relevantes para o mercado agrícola e florestal, como o eucalipto.

## OBJETIVOS

### **Geral:**

- Avaliar o efeito da deriva simulada de dicamba na cultura do eucalipto.

### **Específicos:**

- Avaliar e descrever os sintomas visuais relacionados à fitointoxicação de plantas de eucalipto submetidas à deriva simulada de dicamba.
- Determinar quais variáveis dentre as biométricas, fisiológicas e anatômicas do eucalipto serão afetadas pelo dicamba.
- Delimitar qual a dose do herbicida, a partir da qual promove danos fisiológicos, visuais e anatômicos em plantas de eucalipto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEHRENS, M. R.; MUTLU, N.; CHAKRABORTY, S.; DUMITRU, R.; JIANG, W. Z.; LAVALLEE, B. J.; HERMAN, P. L.; CLEMENTE, T. E.; WEEKS, D. P.. Dicamba Resistance: Enlarging and Preserving Biotechnology-Based Weed Management Strategies. **Science**, v. 316, n. 5828, p.1185-1188, 2007.

BENATTI, Bruno Peres. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BISH, Mandy D.; BRADLEY, Kevin W.. Survey of Missouri Pesticide Applicator Practices, Knowledge, and Perceptions. **Weed Technology**, v. 31, n. 2, p.165-177, 2017.

CARVALHO, Gislean Pereira; SILVA, André Amaral da; NUNES, Thomas Vieira; BARBOSA, Fernando Araújo; SILVA, José Iran Cardoso da; CERQUEIRA, Fernando Barnabé; ERASMO, Eduardo Andrea Lemus; SARMENTO, Renato Almeida. Deriva simulada de triclopyr e fluroxypyr+ triclopyr no desenvolvimento de mudas de clones de Eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p.165-173, 2014.

CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob; FIGUEIREDO, Marcelo Rodrigues Alves de; PERES, Lázaro Eustáquio Pereira; NISSEN, Scott; GAINES, Todd. Auxinic herbicides, mechanisms of action, and weed resistance: A look into recent plant science advances. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p.356-362, 2015.

CORRÊA, Maria José Pinheiro; ALVES, Givago Lopes; ROCHA, Leandro Gomes Feitoza; SILVA, Maria Rosangela Malheiros. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijão caupi. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p.1-7, 2016.

EGAN, J. Franklin; BARLOW, Kathryn M.; MORTENSEN, David A.. A meta-analysis on the effects of 2, 4-D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, v.62, n.1, p.193-206, 2014.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf>. Acesso em: 07/01/2020.

FERREIRA, Lino Roberto; MACHADO, Aroldo Ferreira Lopes; FERREIRA, Francisco Affonso; SANTOS, Leonardo David Tuffi. **Manejo Integrado de Plantas Daninhas na Cultura do Eucalipto**. Viçosa, Brasil: UFV, 2010. 140 p.

GRUBE, Arthur; DONALDSON, David; KIELY, Timothy; LAWU,. Pesticides Industry Sales and Usage: 2006 and 2007 Market Estimates. **U.s. Environmental Protection**, p.1-41, 2011.

Hartzler, Bob; Anderson, Meaghan, "Crop Injury Associated with Growth Regulator Herbicides" **Integrated Crop Management News**, 2018.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. O Relatório Ibá 2019. Brasília - Brasil, 2019.

IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2013. Rio de Janeiro, v. 27. Disponível:[http://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Producao\\_da\\_Extracao\\_Vegetal\\_e\\_da\\_Silvicultura\\_\[anual\]/2013/pevs2013.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_[anual]/2013/pevs2013.pdf) >. Acesso em: 12 de dezembro de 2019.

JOHNSON, Virginia A.; FISHER, Loren R.; JORDAN, David L.; EDMISTEN, Keith E.; STEWART, Alexander M.; YORK, Alan C.. Cotton, peanut, and soybean response to sublethal rates of dicamba, glufosinate, and 2, 4-D. **Weed Technology**, v. 26, n. 2, p.195-206, 2012.

KARVATTE, Nivaldo; KLOSOWSK, Elcio Silvério; ALMEIDA, Roberto Giolo de; MESQUITA, Eduardo Eustáquio; OLIVEIRA, Caroline Carvalho de; ALVES, Fabiana Villa. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal Of Biometeorology**, v. 60, n. 12, p.1933-1941, 2016.

KELLEY, Kevin B.; WAX, Loyd M.; HAGER, Aaron G.; RIECHERS, Dean E.. Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. **Weed Science**, v. 53, n. 1, p.101-112, 2005.

MARINHO, Paulo; SOUSA, Rhonan; MEDEIROS, Paulo; SILVA, Tayanne; GIONGO, Marcos. LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLOGICO DE PLANTAS INFESTANTES NA AREA EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS SUBMETIDA A DIFERENTES CULTIVOS. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7, p.314-324, 2017.

MINOGUE, Patrick J.; OSIECKA, Anna; LAUER, Dwight K.. Selective herbicides for establishment of Eucalyptus benthamii plantations. **New Forests**, v. 49, n. 4, p.529-550, 2018.

MOHSENI-MOGHADAM, Mohsen; DOOHAN, Douglas. Response of Bell Pepper and Broccoli to Simulated Drift Rates of 2,4-D and Dicamba. **Weed Technology**, v. 29, n. 2, p.226-232, 2015.

MORTENSEN, David A.; EGAN, J. Franklin; MAXWELL, Bruce D.; RYAN, Matthew R.; SMITH, Richard G.. Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. **Bioscience**, v. 62, n. 1, p.75-84, 2012.

OLIVEIRA NETO, Sílvio Nolasco de; VALE, Antônio Bartolomeu do; NACIF, Antônio de PÁdua; VILAR, Mariana Barbosa; ASSIS, José Batuíra de. **Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta**, UFV, 2010. 190 p.

OLIVEIRA, Rubem Silveiro; CONSTANTINI, Jamil; INOUE, Miriam Hiroko. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba, Pr: Omnipax, p.348, 2011.

REIS, Cristiane Fioravante; MORAES, Alessandra da Cunha de; PEREIRA, Ailton Vítor; AGUIAR, Ananda Virgínia de; SOUSA, Valderês Aparecida de; BORGES, Heloísa Martins Dorneles. **Diagnóstico do Setor de Florestas Plantadas no Estado de Goiás**. Brasília, Df: Embrapa Florestas, 2015. 139 p.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. 9.ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2007. 458p.

SHANER, Dale L; LINDENMEYER, Richard Bradley; OSTLIE, Michael H. What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us? **Pest Management Science**, v. 68, n. 1, p.3-9, 12 ago. 2011.

SILVA, Diecson Ruy Orsolin da; SILVA, Edson dalla Nora da; AGUIAR, Adalin Cezar Moraes de; NOVELLO, Bruna Dal'pizol; SILVA, Álvaro André Alba da; BASSO, Claudir José. Drift of 2,4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. **Ciência Rural**, v. 48, n. 8, p.1-7, 2018.

SMITH, Hunter C.; FERRELL, Jason A.; WEBSTER, Theodore M.; FERNANDEZ, Jose V.. Cotton Response to Simulated Auxin Herbicide Drift Using Standard and Ultra-low Carrier Volumes. **Weed Technology**, v. 31, n. 1, p.1-9, 2017.

SONG, Yaling. Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as an herbicide. **Journal Of Integrative Plant Biology**, v. 56, n. 2, p.106-113, 2014.

TIBURCIO, Rafael Augusto Soares; FERREIRA, Francisco Affonso; PAES, Frederico Alfenas Silva Valente; MELO, Christiane Augusta Diniz; MEDEIROS, Wilker Nunes. Crescimento de mudas de clones de eucalipto submetidos à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p.65-73 2012.

USEPA, US Environmental Protection Agency. Introduction to pesticide drift. Washington, DC: **U.S. Environmental Protection Agency**, 2014.

USEPA, US Environmental Protection Agency. Introduction to pesticide drift. Washington, DC: **U.S. Environmental Protection Agency**, 2013.

VIEIRA, Bruno C.; LUCK, Joe D.; AMUNDSEN, Keenan L.; WERLE, Rodrigo; GAINES, Todd A.; KRUGER, Greg R.. Herbicide drift exposure leads to reduced herbicide sensitivity in *Amaranthus* spp. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p.1-11, 2020.

YAMASHITA, O.m.; GUIMARÃES, S.c.. Resposta de cultivares de algodoeiro a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p.627-633, 2005.

ZHOU, Xiao; ROTONDARO, Sandra L.; MA, Mingming; ROSSER, Steve W.; OLBERDING, Ed L.; WENDELBURG, Brian M.; ADELFINSKAYA, Yelena A.; BALCER, Jesse L.; BLEWETT, T. Craig; CLEMENTS, Bruce. Metabolism and Residues of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid in DAS-40278-9 Maize (*Zea mays*) Transformed with Aryloxyalkanoate Dioxygenase-1 Gene. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 64, n. 40, p.7438-7444, 2016.

## **CAPÍTULO I: DERIVA SIMULADA DE DICAMBA NA CULTURA DO EUCALIPTO**

**Resumo:** Com o aumento generalizado de plantas daninhas resistentes a herbicidas, a pesquisa desenvolveu cultivares de soja e algodão tolerantes ao dicamba. Dessa forma, é provável que a adoção desta tecnologia aumente a chance de deriva do produto para áreas adjacentes. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da deriva simulada de dicamba na cultura do eucalipto. O experimento foi realizado em condições de campo no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições e sete tratamentos (7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a. ha<sup>-1</sup>). As subdoses de dicamba provocaram fitotoxidez de até 17,5%, interferindo negativamente o desenvolvimento do eucalipto. As variáveis de altura, diâmetro, número de ramos e massa seca de raiz, folha e caule, reduziram com o aumento das subdoses do herbicida. Mudanças nas estruturas anatômicas e em variáveis fisiológicas foram evidenciadas após a exposição das plantas ao herbicida. Tais resultados confirmam a importância do diagnóstico visual, juntamente com análises biométricas, anatômicas e fisiológicas das plantas, sendo fundamental o estudo conjunto desses parâmetros, a fim de avaliar a sensibilidade da cultura do eucalipto após a exposição do herbicida dicamba.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus urograndis*, herbicida auxínico, integração lavoura-pecuária-floresta, subdoses.

## **SIMULATED DRIFT OF DICAMBA IN THE EUCALYPTUS CULTURE**

**Abstract:** With the widespread increase in herbicide-resistant weeds, biotechnology companies have developed dicamba-tolerant soybean and cotton cultivars. Thus, the adoption of this technology is probably to increase the chance of product drifting to adjacent areas. Thus, the objective was to evaluate the simulated dicamba drift effects on eucalyptus culture. The experiment was carried out under field conditions at the Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO. The experimental design was in randomized blocks, with five replications and seven treatments (7,5; 15; 30; 60; 120 and 240 g e.a. ha<sup>-1</sup>). Dicamba underdoses caused phytotoxicity of up to 17.5%, negatively interfering with the eucalyptus development. The variables of height, diameter, branches number and root, leaf and stem dry weight, decreased with the increase of herbicide underdoses. Changes in anatomical structures and physiological variables were evident after the plants were exposed to the herbicide. Such results confirm the importance of visual diagnosis, together with biometric, anatomical and physiological analyzes of plants, being essential the joint study of these parameters, in order to evaluate the eucalyptus culture sensitivity after the exposure of the herbicide dicamba.

**Keywords:** *Eucalyptus urograndis*, auxinic herbicide, integration crop-livestock-forest, underdoses.

## 1. INTRODUÇÃO

O controle químico realizado com a aplicação de herbicidas constitui em uma importante medida de controle de plantas daninhas dentro dos sistemas de produção (Constantin et al., 2013). Um dos fatores para este uso demasiado, consiste na adoção de culturas geneticamente modificadas, tolerantes a herbicidas específicos, como o glifosato (HEAP, 2014). Segundo dados do Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT, 2018), entre os anos de 2007 a 2014, houve aumento de 149,14% na comercialização de herbicidas no país, passando de aproximadamente 623,35 toneladas em 2007 para 1.553 toneladas em 2014.

Entre os herbicidas comercializados no Brasil, o glifosato apresenta maior destaque, correspondendo a aproximadamente 31,5% do total (AGROFIT, 2018). No entanto, o uso seguido e incorreto desse e de demais herbicidas têm resultado na seleção de plantas daninhas resistentes, dificultando muitas vezes o controle delas. No panorama mundial, existem 47 casos registrados de biótipos de plantas daninhas resistentes ao glifosato (HEAP, 2019).

Em virtude disso, empresas de pesquisa vêm buscando novas alternativas para o controle das plantas daninhas. Algumas destas alternativas é a introdução de culturas geneticamente modificadas, como soja e algodão, tolerantes ao dicamba, herbicida auxínico utilizado em pós-emergência no controle de plantas daninhas de folhas largas (Mortensen et al., 2012).

No entanto, os herbicidas mimetizadores de auxina como o dicamba, têm sido associados com a volatilidade e deslocamento do produto para áreas adjacentes as de aplicação, podendo resultar em danos (Yao et al., 2008; Egan; Barlow; Mortensen, 2014). Com a introdução dessa tecnologia no mercado há maior chance que ocorra o processo de deriva deste herbicida para áreas não pretendidas (Vieira et al., 2020).

Desde a liberação desta tecnologia nos EUA em 2017, os departamentos de agricultura dos estados registraram aproximadamente 2.200 casos de suspeita de injúrias de dicamba em plantas sensíveis, devido ao processo de deriva. Algumas culturas atingidas relatadas são: videira, tomateiro e a soja não tolerante (BASF Corporation, 2017; Bradley 2017). No estudo de Salomon e Bradley (2014), os autores relatam que taxas de aplicação baixas, como 0,028 g e. ha<sup>-1</sup>, causaram efeitos visuais e redução de

produtividade na em soja sensível. Isto indica que pequena quantidade de herbicida presente no ar pode se tornar problemático para determinadas culturas (Bish et al., 2019). Para a cultura do eucalipto, diversos estudos já evidenciaram os efeitos negativos da deriva de diferentes herbicidas (Pereira et al., 2015; Tiburcio et al., 2012; Santos Júnior et al., 2015; Salgado et al., 2017; Santos et al., 2019).

No estudo de Mueller (2015), o autor relata que o número de artigos de revistas relacionadas aos temas “deriva” e “herbicida” triplicaram entre os anos de 1991 e 2012. Tal resultado demonstra a importância e a preocupação de pesquisadores em relação ao assunto, visto que a deriva de herbicidas para culturas adjacentes e sensíveis podem resultar em perdas econômicas significativas. Grande parte dos trabalhos desenvolvidos, utilizam-se subdoses do herbicida, simulando assim o processo de deriva (Johnson et al. 2012; Smith et al., 2017).

No Brasil, esta tecnologia ainda não está disponível para comercialização, porém, assim que a mesma for liberada, problemas futuros com a deriva do herbicida podem ocorrer. Principalmente em áreas que utilizam os sistemas integrados de produção como o agrossilvipastoril, em que a cultura do eucalipto, por exemplo, não foi modificada geneticamente para tolerar a exposição a este herbicida e a aplicação de produtos fitossanitários é comumente utilizada. Assim, com esta pesquisa, objetivou-se avaliar e caracterizar possíveis diferenças entre as variáveis de fitotoxicidade, biométricas, anatômicas e fisiológicas de plantas jovens de eucalipto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em condições de campo no Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, GO, localizado nas latitudes 17°48'67 "S e longitude 50°54'18" W, com altitude média de 758 m. O clima da região é classificado de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger, como Aw (tropical) com precipitação no verão (outubro a abril) e um período de veranico bem definido nos meses de inverno (maio a setembro).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, e a análise do solo na profundidade de 0 a 20 cm apresenta as seguintes características: pH 6,2 (SMP), com Ca de 4,64, Mg de 2,50, Al<sub>3+</sub> de 0,02, H+Al de 3,04, CTC de 12,1, e K de 0,37 cmolc dm<sup>-3</sup>, e P (Melich) de 10,28, MO de 3,62 e saturação por bases de 62,8%.

### 2.2 Instalação e condução do experimento

As mudas de eucalipto com aproximadamente quatro meses de idade foram adquiridas em um viveiro registrado, localizado na cidade de Rio Verde - GO. O clone comercial utilizado consiste no I-144 (*Eucalyptus urograndis*), híbrido resultante do cruzamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. A escolha por esse clone deve-se aos desempenhos satisfatórios em produção de madeira no território goiano (Benatti, 2013).

Os procedimentos de campo iniciaram com o preparo do solo, utilizando aração e gradagem. Posteriormente, realizou-se a abertura de sulcos na área, proporcionando melhores condições de implantação das mudas no campo. O plantio ocorreu de forma manual, na data de 22 de novembro de 2018. Foram abertas covas com dimensões de 20x20x20cm aproximadamente, com o auxílio de enxadas. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 100g de NPK (4-30-16) por cova.

Os tratos culturais, como o controle de pragas, principalmente formigas cortadeiras, foi realizado de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do eucalipto. Já o controle de plantas daninhas ocorreu por meio de capina manual, com auxílio de enxadas, quando necessário.

Após o plantio, as mudas passaram por um período de aclimação de 45 dias. Ao final deste período, realizou-se a simulação da deriva. O herbicida foi aplicado com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, regulado para a obtenção de pressão constante de 150 KPa com uma vazão de 226 L ha<sup>-1</sup>. A solução pulverizada foi aplicada diretamente nas folhas do eucalipto no horário de 8 horas da manhã.

As pontas de pulverização usadas foram do tipo leque modelo JDF 02 Jacto. As condições climáticas no momento da pulverização foram registradas com o auxílio de um anemômetro, e os valores obtidos foram: velocidade do vento de 1 m/s; temperatura de 25,5°C e umidade relativa de 65%. Para evitar o descolamento do produto de uma parcela para outra no momento da aplicação, utilizou-se uma cortina antideriva.

### ***2.3 Delineamento experimental e tratamentos***

O delineamento foi estabelecido em blocos casualizados (DBC), com cinco repetições e sete tratamentos, totalizando 35 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por 12 plantas de eucalipto. O espaçamento entre plantas foi de 1x1m, a fim de maximizar a área experimental. Os tratamentos foram relacionados com as diferentes subdoses de dicamba: 0 (controle); 7,5g e.a. ha<sup>-1</sup>; 15g e.a. ha<sup>-1</sup>; 30g e.a. ha<sup>-1</sup>; 60g e.a. ha<sup>-1</sup>; 120g e.a. ha<sup>-1</sup> e 50% 240g e.a. ha<sup>-1</sup>. Com o presente estudo fez-se uma simulação de deriva do herbicida na cultura do eucalipto, selecionou-se taxas menores de doses em relação ao recomendado em bula.

### ***2.4 Avaliações***

#### ***2.4.1. Fitotoxicidade***

A avaliação dos sintomas de fitotoxicidade provocada pela ação das subdoses do herbicida dicamba foi avaliada aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), através de observações visuais e atribuição de notas que variam de 0 para as plantas normais, iguais ao controle, e 100 para as plantas mortas, conforme escala EWRC, modificada por Frans (1972), como apresentado na Tabela 1. A atribuição das notas foi executada por três avaliadores, em todas as épocas de avaliação, em que se retirou a média das porcentagens por cada parcela experimental.

**Tabela 1.** Escala visual de fitotoxicidade utilizada para avaliação do efeito da deriva simulada sobre plantas de eucalipto.

Escala	Toxicidade (%)	Característica da Toxicidade
1	0	Nula
2	1 – 3,5	Muito Leve
3	3,5 – 7,0	Leve
4	7,0 – 12,5	Nenhum reflexo na produção
5	12,5 – 20,0	Média
6	20,0 – 30,0	Quase forte
7	30,0 – 50,0	Forte
8	50,0 – 99,0	Muito forte
9	100	Morte das plantas

Fonte: EWRC (European Weed Research Council), modificado por Frans (1972).

#### 2.4.2 Biométricas

Para as variáveis biométricas foram mensuradas características de altura (cm) e diâmetro do colo (mm), utilizando uma régua milimetrada para a medição de altura (da superfície do solo até o ápice da planta) e, para o diâmetro do colo (a aproximadamente 2 cm da superfície do solo) um paquímetro digital. Avaliaram-se quatro plantas por parcela experimental, selecionando aquelas localizadas na linha central das parcelas. Tais avaliações foram realizadas anteriormente a aplicação, a fim de comparação, e aos 14 e 28 DAA.

Aos 90 DAA, avaliou-se o número de ramificações (NR), matéria seca do caule (MSC), ramos (MSR) e folhas (MSF). Duas plantas por parcela foram selecionadas ao acaso, e as mesmas foram particionadas e pesadas. Para a secagem, alíquotas com pesos de 500g foram colocadas em sacos de papel em estufa com circulação forçada de ar em temperatura de 65°C por três dias, até atingirem peso constante. A partir do peso total das plantas, juntamente com o peso da matéria fresca e seca das alíquotas, mensurou-se a matéria seca das determinadas partes.

#### 2.4.3 Morfoanatômicas

Para as análises morfoanatômicas e de micromorfometria, foram coletadas amostras da região do meio da última folha totalmente expandida, de uma planta em cada parcela experimental, sendo ambas do terço médio, aos 7 e 14 DAA. Inicialmente, as mesmas foram fixadas em solução Karnovsky (1965), por 24 horas. Após este período, o material vegetal foi pré-lavado em tampão fosfato e desidratado em série

etífica crescente, pré-infiltrado e infiltrado em historesina (Leica, Alemanha), conforme as recomendações do fabricante.

Em seguida, as amostras foram seccionadas transversalmente a 5  $\mu\text{m}$  de espessura em micrótomo rotativo (Modelo 1508R, Logen scientific, China) e os cortes corados com azul de toluidina - coloração policromática (0,05% tampão fosfato 0,1 M, pH 6,8) (O'Brien et al., 1964). As imagens foram fotografadas com auxílio de um microscópio Olympus (BX61, Tokyo, Japão), acoplado com câmera DP-72 utilizando opção de campo claro.

Observaram-se os tecidos da epiderme das faces adaxial e abaxial, dos parênquimas paliçádico e esponjoso e do mesofilo. As medidas de micromorfometria foram obtidas a partir de imagens capturadas usando o software ImageJ (Processamento e Análise de Imagem em Java, v. 1.47, EUA). Realizaram-se medições em dez observações para as três repetições, para cada tecido avaliado.

#### **2.4.4 Fisiológicas**

As avaliações fisiológicas foram realizadas aos 1, 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) do dicamba. Utilizou-se um analisador de gases infravermelho (IRGA) modelo LI6400xt (Li-Cor, Nebraska, EUA). Os parâmetros fisiológicos mensurados foram: taxa fotossintética [ $A$ ,  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] e transpiratória [ $E$ ,  $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], condutância estomática [ $g_s$ ,  $\text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ], relação entre a concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) e taxa de transporte de elétrons (ETR).

Para obtenção dos valores de rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), utilizou-se um fluorômetro portátil modelo Fluorpen FP100, após 30 minutos de adaptação ao escuro. Todas as análises fisiológicas foram realizadas em uma planta por parcela, selecionando-se uma folha completamente expandida, localizada no terço médio. As avaliações ocorreram no horário entre 7h e 11h da manhã, para todos os dias.

#### **2.4.5 Análise Estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F. Quando significativos, os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ),

para contraste das médias entre diferentes doses e épocas de aplicação do herbicida dicamba. Utilizou-se o programa estatístico Sisvar versão 5.6.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Fitotoxicidade

O clone de eucalipto estudado apresentou sintomas na escala de nulo até média, toxicidade para todas as épocas de avaliação. A intoxicação visual, muitas vezes está relacionado com a dosagem, sendo que o aumento da mesma, pode ocasionar maior intensidade de sintomas.

**Tabela 2:** Valores médios de fitotoxicidade (%) em plantas jovens de *Eucalyptus urograndis* aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.

Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
0	0 d	0 c	0 c	0 c
7,5	2,42 dc	0,96 c	0,4 c	0 c
15	2,54 dc	1,5 c	0,81 c	0 c
30	3 dc	1,9 c	0,96 c	0 c
60	4,4 c	3,7 bc	1,04 c	0 c
120	9,7 b	6,02 b	4,30 b	3,7 b
240	17,5 a	15,44 a	13,6 a	12,7 a

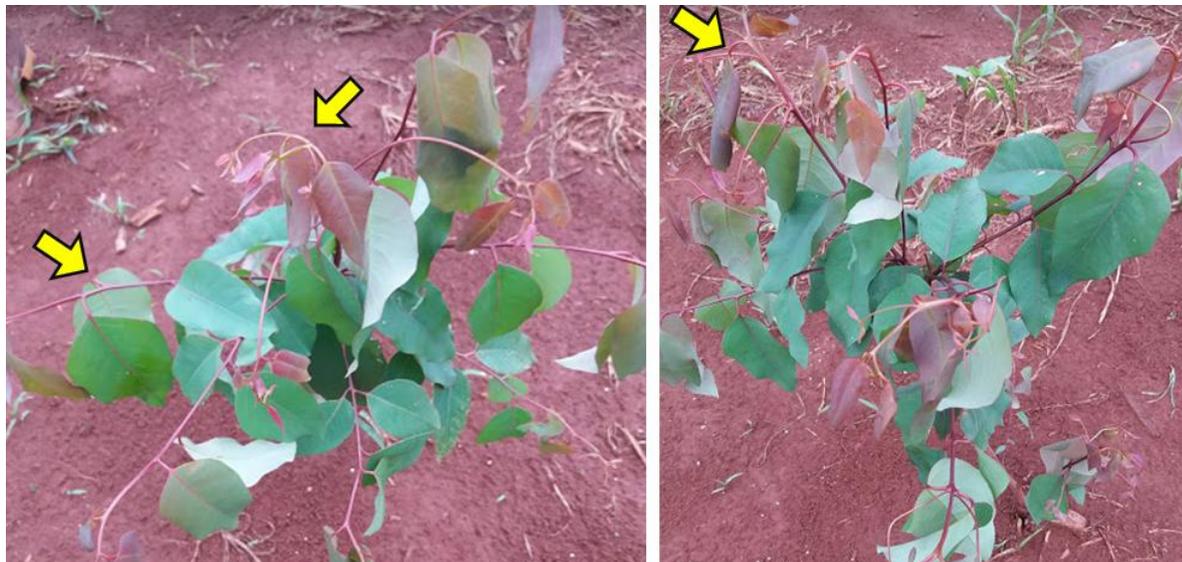
Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Escala de injúrias conforme Frans (1972).

Aos 7 DAA, as plantas de eucalipto manifestaram sintomas de toxicidade entre 2,42% a 17,5%. Os sintomas mais acentuados e evidentes ocorreram nas maiores doses (120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>), sendo: alongamento dos pecíolos, epinastia de folhas, ramos e caule e retorcimento de tecidos tenros, demonstrando sensibilidade ao dicamba, quando aplicados nessas doses (Figura 1).

Após a aplicação dos tratamentos, notou-se que os sintomas foram mais predominantes e acentuados nos tecidos jovens da planta. De acordo com Vidal (1997), as folhas mais velhas de algumas espécies vegetais, são menos afetadas após a exposição aos herbicidas auxínicos, pelo fato da pouca presença de tecidos meristemáticos, local de ação desses herbicidas.

Em doses mais baixas (7,5, 15, 30 e 60 g e.a ha<sup>-1</sup>), os sintomas de injúria foram considerados de nulo a leve, evidenciando que as subdoses do dicamba não interferiram negativamente no estabelecimento das plantas jovens de eucalipto, não comprometendo o seu adequado crescimento e desenvolvimento. No estudo de Tuffi Santos et al. (2006),

no qual os autores simularam a deriva do herbicida triclopyr, em plantas de eucalipto na fase inicial, observaram sintomas semelhantes ao do presente estudo, caracterizados pela epinastia de folhas e ramos.



**Figura 01:** Sintomas de epinastia de folhas, ramos e caule após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 7 DAA.

Aos 14 DAA, nas maiores doses, notaram-se os mesmos sintomas apresentados na avaliação anterior. Além de tais sintomas, os ramos e folhas jovens apresentaram sinais de necrose na região meristemática (Figura 02).



**Figura 02:** Sintomas de epinastia e necrose após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 14 DAA.

Carvalho et al. (2014), estudando o efeito da deriva simulada do herbicida triclopyr e da mistura formulada triclopyr + fluroxypyr em mudas de clones de eucalipto, evidenciaram sintomas semelhantes, quando aplicado 25% da dose recomendada. De acordo com Senseman, (2007), os herbicidas mimetizadores de auxina atuam na síntese do etileno, agindo como inibidores da divisão celular, promovendo sintomas de crescimento desorganizado dos meristemas, murcha, clorose, necrose de folhas e ramos e posteriormente, a senescência.

Decorrido os 21 DAA, foi observado entre os tratamentos a fitotoxicidade variando de 0 a 13,6%. Neste mesmo período, evidenciou-se o surgimento de brotações na região do caule e necrose de ramos e folhas (Figura 03).



**Figura 03:** Sintomas de necrose de ramos e folhas jovens e surgimento de brotações após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 21 DAA.

Para Tuffi Santos et al., (2005), o aparecimento de brotações é comumente visto em plantas intoxicadas em respostas às subdoses de herbicidas. No estudo de Dantas et al. (2001), os autores constataam o surgimento de brotações de fitointoxicação em diferentes clones de eucalipto, após a aplicação do herbicida glifosato, para o controle da rebrota. No estudo de Carvalho et al. (2014), os autores relatam o aparecimento de clorose internerval e de novas brotações no híbrido *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, após a aplicação de 50% da dose recomendada de fluroxypyr+triclopyr. No mesmo estudo, os autores evidenciam os mesmos sintomas quando aplicado 25% da dose recomendada de triclopyr no híbrido *Eucalyptus urograndis*.

Segundo Taiz & Zeiger (1998), as auxinas sintéticas são reguladoras de processos de dominância apical em plantas e que o surgimento de brotações está relacionado em função da produção e liberação de citocianinas, implicando assim na formação de gemas axilares.

Aos 28 DAA, verificou-se que com o passar do tempo, ocorreu leve redução dos sintomas, evidenciando que as plantas de eucalipto possuem mecanismos que permite, de forma gradativa, a recuperação dos danos ocasionados após a exposição do herbicida (Figura 04).



**Figura 04:** Surgimento de brotações após a exposição de 240 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida dicamba em mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 28 DAA.

Resultados semelhantes foram observados por Carvalho et al. (2014), em que os autores também relatam a ausência de sintomas de diferentes clones de eucalipto após 28 dias de exposição aos herbicidas auxínicos, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos. No trabalho de Tuffi Santos et al. (2006), os autores relatam que a intoxicação de plantas de eucaliptos está relacionada com as subdoses. No mesmo estudo, os autores observaram a recuperação das plantas de *Eucalyptus urophylla* 15 e 30 DAA, nas doses de 56, 25% e 15,10%, respectivamente do herbicida triclopyr. Dentre os herbicidas estudados pelos autores, sendo eles: glifosato, triclopyr,

carfentrazone-ethyl, o triclopyr apresentou menores danos quando comparado com os demais herbicidas e suas misturas.

De acordo com Egan; Barlow; Mortensen (2014), algumas espécies vegetais, após a exposição à subdoses de herbicidas auxínicos, possui a capacidade de se recuperar de baixos a moderados sintomas de injúrias. Segundo Ferreira et al., (2005), determinadas plantas podem eliminar moléculas dos herbicidas auxínicos para o solo, por meio das raízes, ocorrendo assim a sua recuperação de forma gradativa com o passar do tempo.

### 3.2 Variáveis Biométricas

Nas Tabelas 3 e 4, observa-se que as variáveis, altura de plantas, diâmetro do colo, número de ramificações e matéria seca de ramos, folhas e caule, foram afetadas pelas doses de 120 e 240 g e.a. ha<sup>-1</sup> aos 14 e 28 DAA, apresentando menores valores em relação aos demais tratamentos. Nota-se também que as menores doses (0; 7,5;15;30 e 60 g e.a ha<sup>-1</sup>) não diferiram estatisticamente do tratamento controle.

**Tabela 3:** Valores médios de altura (cm) e diâmetro do colo (mm) de plantas jovens de *Eucalyptus urograndis*, anteriormente a aplicação (AA) e aos 14 e 28 dias, após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.

Altura (cm)			
Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	AA	14 DAA	28 DAA
0	50,25 a	64,30 a	90,75 a
7,5	49,59 a	64,25 a	91,50 a
15	49,90 a	64,90 a	89,60 a
30	51,53 a	67,15 a	92,35 a
60	52,65 a	66,40 a	94,80 a
120	51,15 a	54,90 b	62,75 b
240	51,01 a	54,75 b	59,45 b
Diâmetro do colo (mm)			
Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	AA	14 DAA	28 DAA
0	8,27 a	12,18 a	14,89 a
7,5	7,73 a	11,88 a	14,68 a
15	8,19 a	12,19 a	14,75 a
30	8,36 a	12,30 a	14,58 a
60	8,37 a	12,02 a	14,92 a
120	8,81 a	9,51 b	11,17 b
240	8,21 a	9,62 b	10,77 b

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

**Tabela 4:** Valores médios de número de ramos (NR), massa seca de ramos (MSR), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de caule (MSC) de *Eucalyptus urograndis*, aos 90 dias após a aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.

Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	NR(un)	MSR(g)	MSF(g)	MSC(g)
0	31 a	188,26 a	327,86 a	295,28 a
7,5	32 a	198,61 a	257,87 b	229,67 b
15	31 a	192,57 a	248,13 b	213,84 b
30	34 a	196,95 a	250,09 b	221,17 b
60	33 a	202,67 a	252,43 b	239,88 b
120	28 b	135,71 b	209,84 c	168,23 c
240	25 b	116,60 b	175,83 c	139,19 c

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Efeito negativo da deriva simulada de herbicidas também foram relatados por Tuffi et al. (2006), no qual os autores apontam redução na altura e diâmetro de plantas de *Eucalyptus urophylla*, após a aplicação de glifosato, triclopyr, carfentrazone e suas misturas. No mesmo estudo, os autores apontam redução em 22,5% no acúmulo de matéria seca após a exposição das plantas de eucalipto ao triclopyr.

Resultados semelhantes foram observados por Agostinetto et al. (2010), em que os autores relatam que plantas de *Eucalyptus genotype*, submetidas a diferentes doses de herbicidas, apresentaram menor tamanho e diâmetro à medida que o ocorria o aumento das doses. No mesmo estudo, verificou-se redução da massa seca da parte aérea de 54% na maior dose testada.

No estudo de Carvalho et al. (2014), os autores evidenciaram que a deriva de triclopyr e fluroxypyr + triclopyr, interferiu de forma negativa nas variáveis de altura, diâmetro e matéria seca de diferentes clones de eucalipto aos 28 DAA. Ainda, no trabalho desenvolvido pelos autores, constatou-se redução média de 8,82% de massa seca do híbrido *Eucalyptus urograndis*, quando comparado com o tratamento controle. Tais resultados evidenciam que subdoses dos herbicidas auxínicos foram prejudiciais no crescimento do híbrido em estudo.

Para Robinson et al. (2013), a redução nas variáveis biométricas de diferentes espécies vegetais após a exposição aos herbicidas mimetizadores de auxina, deve-se ao aumento do ABA, restringindo o crescimento das plantas por um período determinado, até que elas se recuperem. Segundo Kelley et al., (2005), os herbicidas auxínicos ativam genes de resposta à auxina, favorecendo a produção excessiva de etileno e posteriormente de ABA, provocando crescimento desorganizado no vegetal.

D'Antonino et al. (2012), relatam que a exposição de plantas sensíveis aos herbicidas auxínicos, promove a redução na taxa de crescimento, além de favorecer o distúrbio do aparato fotossintético e o metabolismo de ácidos nucleicos, acarretando no retorcimento de folhas e ramos e morte do meristema apical, além do afrouxamento das paredes celulares.

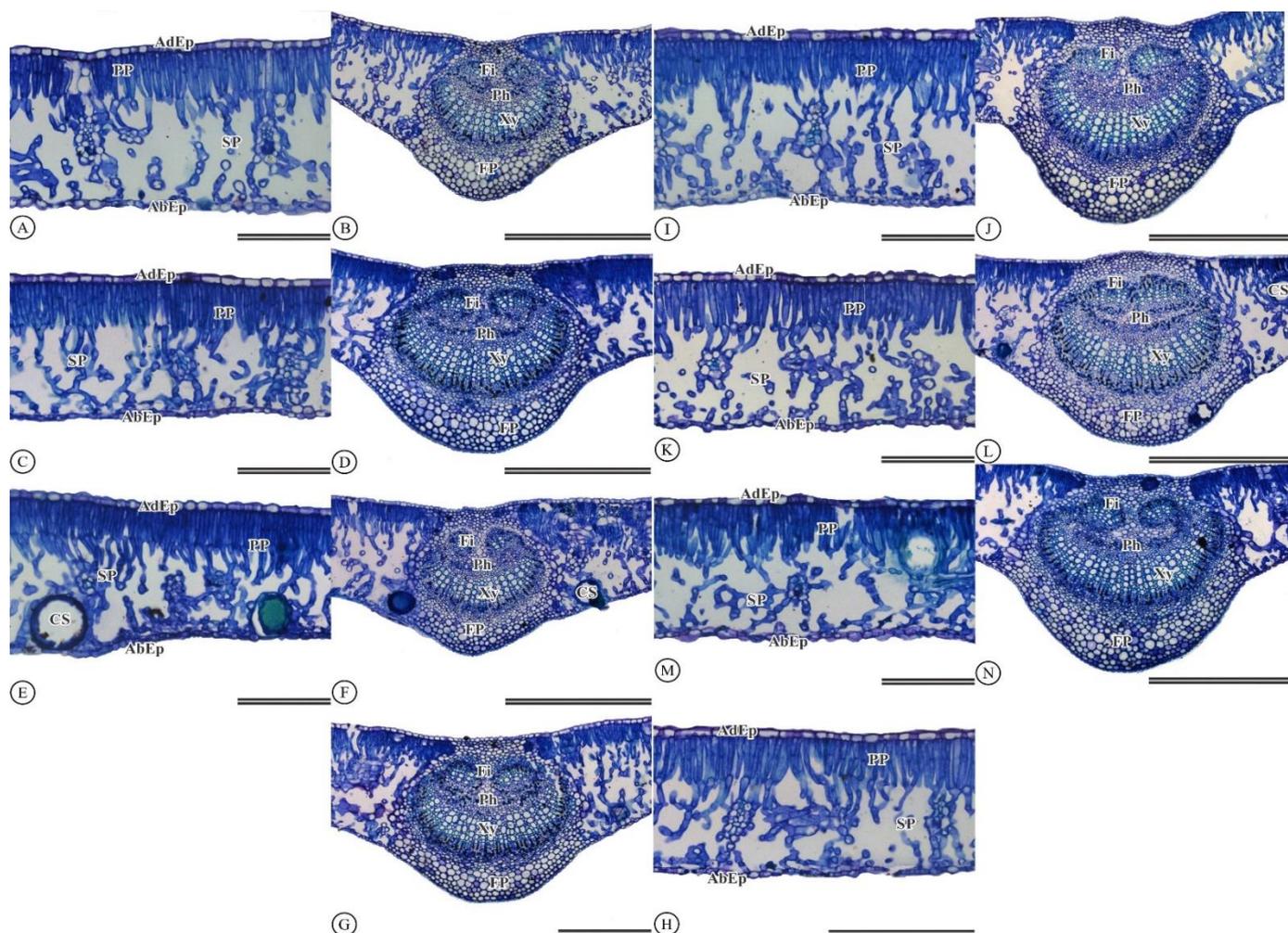
Com o desenvolvimento e crescimento inadequado das plantas têm-se, por exemplo, a redução do número de ramificações, altura, diâmetro e área foliar, comprometendo a produção de fotoassimilados (Salomon e Bradley, 2014), reduzindo a

produtividade e a qualidade da madeira, no caso do eucalipto. A não recuperação ou a recuperação tardia destas variáveis pode comprometer a produção madeireira no decorrer do ciclo da cultura, acarretando em prejuízos para produtores e silvicultores.

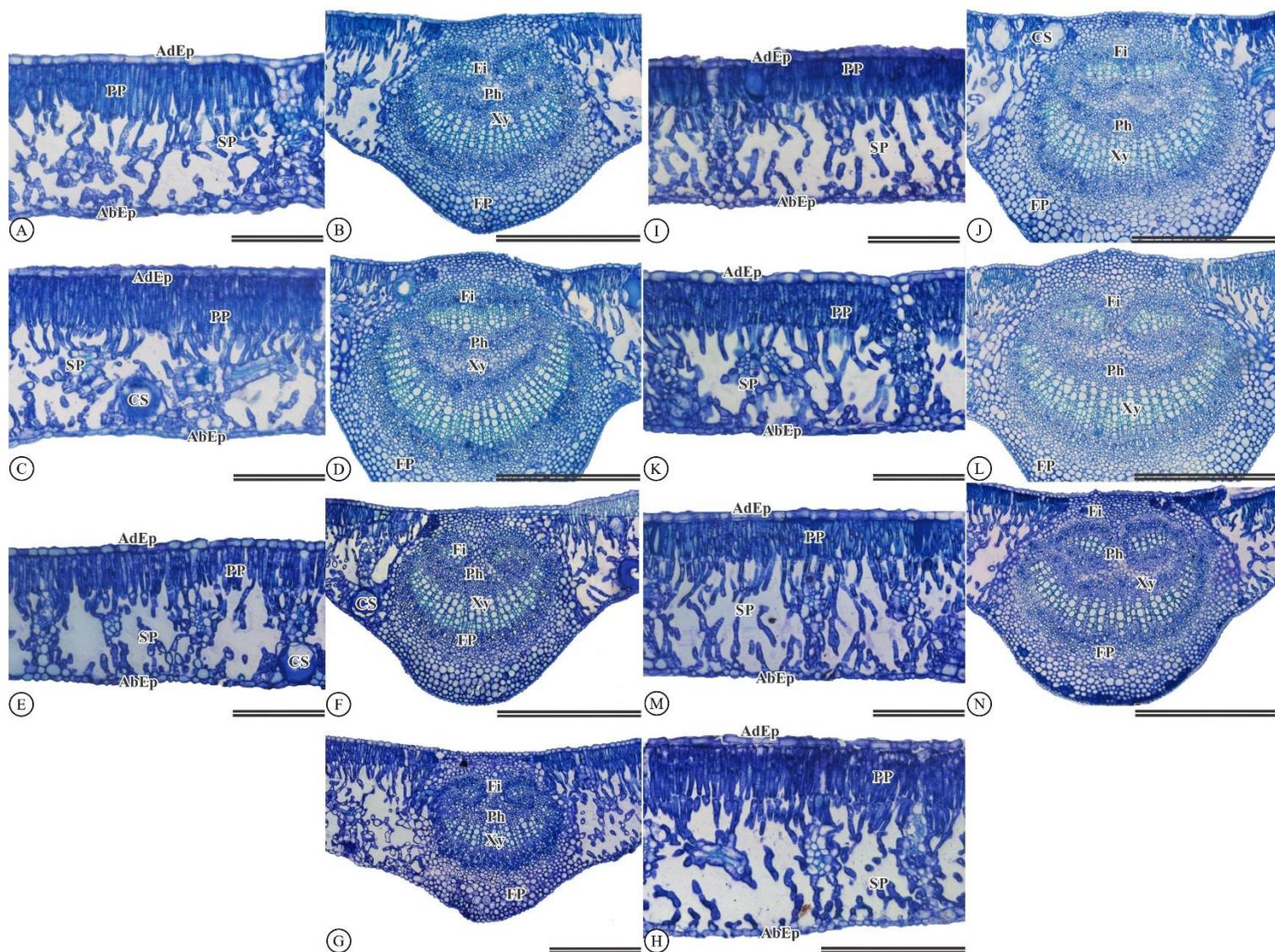
### 3.3 Caracterização Morfoanatômica

Nas figuras 5 e 6, para a característica morfoanatômica, o híbrido *Eucalyptus urograndis*, apresenta folhas anfiestomáticas, e na face adaxial têm-se a presença de estômatos próximos à nervura mediana. As folhas são classificadas como glabras, apresentando epiderme unisseriada, mesofilo dorsiventral constituído por parênquima esponjoso e de uma a duas camadas de parênquima paliçádico.

Quanto à nervura mediana, a mesma apresenta feixes vasculares bicollaterais e o parênquima paliçádico é interrompido por uma calota de colênquima. As estruturas anatômicas analisadas do híbrido em estudo assemelham-se com as características relacionadas na literatura por Tuffi Santos et al. (2005) e Tuffi Santos et al. (2006).



**Figura 5:** Secção transversal do terço médio na região da nervura central de folhas de *Eucalyptus urograndis* submetidas à deriva do herbicida Dicamba. 07 DAA. (A-B) Dose 0,00 g e.a. ha<sup>-1</sup> (Controle); (C-D) Dose 7,5 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (E-F) Dose 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (G-H) Dose 30 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (I-J) Dose 60 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (K-L) Dose 120 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (M-N) Dose 240 g e.a. ha<sup>-1</sup>. (Ad Ep) epiderme adaxial. (Ab Ep) epiderme abaxial. (PP) parênquima paliçádico. (SP) parênquima esponjoso. Xy (xilema). (Ph) floema. (Fi) fibras. (FP) parênquima fundamental. (CS) canal secretor. (A-C-E-H-I-K-M) Barra de escala 50 μm. (B-D-F-G-J-L-N) Barra de escala 500 μm.



**Figura 6:** Secção transversal do terço médio na região da nervura central de folhas de *Eucalyptus urograndis* submetidas à deriva do herbicida Dicamba. 14 DAA. (A-B) Dose 0,00 g e.a. ha<sup>-1</sup> (Controle); (C-D) Dose 7,5 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (E-F) Dose 15 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (G-H) Dose 30 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (I-J) Dose 60 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (K-L) Dose 120 g e.a. ha<sup>-1</sup>; (M-N) Dose 240 g e.a. ha<sup>-1</sup>. (Ad Ep) epiderme adaxial. (Ab Ep) epiderme abaxial. (PP) parênquima paliçádico. (SP) parênquima esponjoso. Xy (xilema). (Ph) floema. (Fi) fibras. (FP) parênquima fundamental. (CS) canal secretor. (A-C-E-H-I-K-M) Barra de escala 50 µm. (B-D-F-G-J-L-N) Barra de escala 500 µm.

Apesar de visualmente saudáveis, o material vegetal apresentou algumas alterações estruturais. O herbicida dicamba promoveu a expansão da estrutura mesofílica entre as diferentes doses testadas nas avaliações entre 7 (Figura 5C) e 14 DAA (Figura 6M), nos tratamentos 7,5 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabelas 5 e 6). Nas demais doses aplicadas notam-se certa tolerância das plantas de eucalipto ao herbicida dicamba, em relação às estruturas anatômicas. Outros estudos também evidenciam tolerância de

diferentes híbridos de eucalipto a diferentes herbicidas (Tuffi-Santos et al. 2008; Carvalho et al. 2014).

**Tabela 5.** Efeito de subdoses do dicamba na estrutura foliar de *Eucalyptus urograndis*, após 7 dias de exposição ao herbicida em diferentes doses (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>), em Rio Verde, GO, 2018.

Doses (g e.a ha <sup>-1</sup> )	Ep.Adaxial (µm)	Ep. Abaxial (µm)	P. paliçádico (µm)	P. esponjoso (µm)	Mesofilo (µm)
0	13,59 a	12,97 a	69,80 a	23,57 a	236,84 c
7,5	16,32 a	13,45 a	77,01 a	23,60 a	272,96 a
15	14,53 a	13,29 a	77,32 a	27,75 a	235,54 c
30	16,75 a	13,88 a	79,86 a	25,32 a	254,05 b
60	15,58 a	14,08 a	74,08 a	23,73 a	250,79 b
120	14,14 a	13,73 a	79,12 a	25,97 a	245,39 bc
240	15,21 a	12,61 a	69,36 a	20,00 a	233,33 c

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

**Tabela 6.** Efeito de subdoses do dicamba na estrutura foliar de *Eucalyptus urograndis*, após 14 dias de exposição ao herbicida em diferentes doses (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>), em Rio Verde, GO, 2018.

Doses (g e.a ha <sup>-1</sup> )	Ep.Adaxial (µm)	Ep. Abaxial (µm)	P. paliçádico (µm)	P. esponjoso (µm)	Mesofilo (µm)
0	15,13 a	12,32 a	72,06 cd	25,77 a	257,58 b
7,5	15,14 a	13,88 a	75,28 abc	25,63 a	247,10 c
15	16,69 a	14,39 a	81,83 a	25,49 a	264,66 b
30	14,65 a	13,61 a	66,16 de	23,63 a	244,21 c
60	15,11 a	14,16 a	67,96 cde	24,11 a	242,14 c
120	14,79 a	13,18 a	59,72 e	24,12 a	244,51 c
240	16,85 a	12,85 a	77,96 ab	27,53 a	293,23 a

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Costa et al. (2010), relatam que a menor ou maior tolerância de plantas a ação de herbicidas ou demais produtos fitossanitários, estão relacionadas com as estruturas anatômicas das folhas, que são: epiderme, feixe vascular, bainha do feixe, parênquima, esclerênquima, além de estômatos, tricomas e espessura da camada de cera. Segundo os autores, estas estruturas interferem na deposição, retenção, absorção e translocação de soluções aplicadas via foliar.

Quanto à expansão do mesofilo, as doses 7,5 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>, apresentaram variações superiores quando comparadas com o controle. De acordo com Grossmann e

Hansen (2001), subdoses de herbicidas mimetizadores de auxina, são capazes de propiciar o crescimento por alongamento e divisão celular.

Segundo Calabrese (2005), estes resultados podem ser explicados devido ao efeito de hormesis, que pressupõe que doses muito baixas de herbicidas, podem estimular e promover o crescimento das plantas. Ainda segundo o autor, tal fenômeno pode ser utilizado para caracterizar que produtos fitossanitários em subdoses podem apresentar o efeito contrário.

Cedergreen et al. (2005), relatam que plantas cultivadas ou nativas, quando expostas a doses baixas de herbicidas, apresentam o efeito de hormesis, com incremento de baixo percentual a valores superiores a 100% na variável de estudo. Duke et al. (2006), cita diferentes casos de hormesis provocadas por herbicidas, em culturas cultivadas como soja, trigo e milho.

Pereira et al. (2015), descrevem que subdoses 30 e 60 g e.a ha<sup>-1</sup> do herbicida glifosato promoveu o fenômeno de hormesis, em pau-viola e araçá-amarelo, respectivamente. No mesmo estudo, os autores evidenciam maiores incrementos em área foliar e massa seca das espécies arbóreas em estudo. Tavares et al. (2017), também relatam efeito hormético em plantas de pequi, após a aplicação de subdoses do herbicida auxínico, 2,4-D.

De acordo com Taiz & Zeiger (2004), os herbicidas à base de auxinas são comumente conhecidos como compostos químicos que incrementam o crescimento de plantas em concentrações baixas, mimetizando a auxina, hormônio vegetal responsável pelo crescimento, mas que em doses cheias, são considerados letais às plantas, principalmente às latifolicidas.

Para o parênquima paliçádico foi observada diferença estatística somente aos 14 DAA, com destaque para dose 15 g e.a ha<sup>-1</sup> (Figura 6E), quando comparada com os demais tratamentos (Tabela 6). Pressupõe-se que o aumento na espessura do parênquima paliçádico, esteja relacionado ao mecanismo de resposta da planta, a fim de compensar a redução da área foliar, pela ação do herbicida.

Para Belz & Cedergreen (2010), folhas de determinadas espécies vegetais, após injúrias ocasionadas por herbicidas auxínicos, sofrem alterações anatômicas e

morfológicas, comprometendo assim sua capacidade funcional. No estudo de Ferreira (2017), o autor relata que diferentes doses dos herbicidas 2,4-D + picloram afetaram a estrutura do parênquima paliçádico em espécies arbóreas. Já Machado et al. (2013), também observaram alterações da mesma estrutura em *Solanum lycocarpum*, após a exposição ao glifosato.

No estudo de Tuffi Santos et al. (2008), objetivando avaliar a deriva simulada de glifosato sobre variáveis de morfoanatomia foliar de seis clones de *Eucalyptus grandis*, relatam que houve diferença significativa para parênquima paliçádico entre os diferentes clones, apresentando valor médio de 60  $\mu\text{m}$ . A espessura do parênquima paliçádico é considerada uma importante característica de proteção presente nas folhas contra a intensidade luminosa.

Nas Tabelas 5 e 6, observa-se que não houve variação em espessura para a epiderme da face abaxial e adaxial e parênquima esponjoso em ambos os períodos avaliados. Tuffi Santos et al. (2008), em seu estudo também apontam resultados semelhantes, no qual não houve diferença significativa na interação entre formulações de glifosato x diferentes tipos de clone de *Eucalyptus grandis*, para todas as espessuras de tecidos avaliadas.

Costa et al. (2011), evidenciaram redução na espessura da epiderme adaxial da espécie *Polygonum lapathifolium* de 50,2% e 42,2%, sob o efeito dos herbicidas 2,4-D e glifosato, respectivamente, somente aos 30 DAA. Tal resultado mostra que os efeitos nas estruturas anatômicas podem ser observados em intervalos maiores de tempo, dependendo da espécie. No estudo de Ferreira (2017), o autor não observou diferença significativa das estruturas anatômicas avaliadas, após a aplicação de diferentes doses dos herbicidas auxínicos, 2,4-D + picloram para a espécie *Mabea fistulifera*. As estruturas avaliadas no estudo foram: epiderme adaxial e abaxial, parênquima paliçádico, lacunoso e esponjoso.

As caracterizações e mensurações morfoanatômicas realizadas no presente estudo reforça a relevância dessas avaliações, consistindo em ferramenta importante no reconhecimento da tolerância ou susceptibilidade do híbrido de eucalipto em estudo após a exposição de diferentes doses do herbicida dicamba. Tais avaliações foram

eficazes na descrição de injúrias não perceptivas a olho nu, demonstrado que as alterações estruturais nos tecidos antecede o aparecimento dos sintomas.

### 3.4 Variáveis Fisiológicas

Na Tabela 7, notam-se efeitos significativos para as variáveis fisiológicas de *Eucalyptus urograndis*, após a exposição a diferentes doses do herbicida dicamba. Para a taxa transpiratória, menor valor foi observado aos 7 DAA, na dose 240 g e.a ha<sup>-1</sup>. Já para a razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> e a condutância estomática foram observados menores valores aos 7 DAA na dose de 240 g e.a ha<sup>-1</sup>. Para a taxa fotossintética das plantas de eucalipto, não houve diferença estatística entre os tratamentos durante o período de avaliação.

**Tabela 7:** Valores médios da taxa transpiratória (*E*), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*) e razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (*Ci/Ca*), de *Eucalyptus urograndis* aos 1, 7, 14 e 21 DAA de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.

Taxa Transpiratória – <i>E</i> , mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>				
Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	1 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
0	7,95 a	8,08 ab	11,50 a	11,25 a
7,5	7,82 a	8,26 ab	12,21 a	12,03 a
15	8,41 a	8,82 a	11,62 a	11,97 a
30	7,71 a	9,42 a	12,02 a	12,47 a
60	7,36 a	9,50 a	12,13 a	12,34 a
120	7,72 a	9,60 a	11,55 a	12,17 a
240	7,12 a	6,16 b	11,28 a	11,09 a
Taxa Fotossintética - <i>A</i> , μmol (CO <sub>2</sub> ) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>				
Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	1 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
0	23,14 a	25,14 a	29,49 a	28,08 a
7,5	22,01 a	25,69 a	28,38 a	29,21 a
15	24,70 a	26,33 a	28,94 a	29,39 a
30	24,88 a	26,92 a	30,43 a	29,30 a
60	24,99 a	27,08 a	28,96 a	32,09 a
120	23,45 a	25,25 a	30,93 a	30,91 a
240	22,85 a	23,90 a	28,08 a	30,74 a
Condutância Estomática - <i>gs</i> , mol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>				
Doses (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	1 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
0	0,54 a	0,50 ab	0,72 a	0,66 a
7,5	0,61 a	0,51 ab	0,77 a	0,74 a
15	0,65 a	0,55 a	0,73 a	0,72 a
30	0,64 a	0,59 a	0,77 a	0,76 a
60	0,65 a	0,61 a	0,76 a	0,74 a
120	0,49 a	0,61 a	0,72 a	0,74 a
240	0,50 a	0,34 b	0,69 a	0,64 a

<b>Razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca)</b>				
<b>Doses (g e.a. ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>1 DAA</b>	<b>7 DAA</b>	<b>14 DAA</b>	<b>21 DAA</b>
0	0,78 a	0,72 a	0,77 a	0,77 a
7,5	0,81 a	0,73 a	0,79 a	0,78 a
15	0,79 a	0,73 a	0,78 a	0,77 a
30	0,79 a	0,75 a	0,78 a	0,78 a
60	0,79 a	0,75 a	0,78 a	0,76 a
120	0,75 a	0,75 a	0,76 a	0,77 a
240	0,75 a	0,65 b	0,77 a	0,74 a

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), o processo de transpiração de grande parte das plantas, inclusive do eucalipto é dependente das condições climáticas, intensidade de radiação solar, área foliar, disponibilidade hídrica, entre outros fatores. O processo de transpiração está relacionado diretamente com a regulação de abertura e fechamento dos estômatos, uma vez que, quanto menor for o processo de abertura estomática, menor será a taxa de transpiração (Taiz e Zeiger, 2009; Zobiolo et al., 2010)

Medeiros (2017), objetivando quantificar as respostas morfofisiológicas da espécie *Calophyllum brasiliense*, após exposição a diferentes doses de glifosato, o autor relata que aos 2 DAA houve alterações na taxa transpiratória na maior dose 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> e as demais doses não apresentaram diferença significativa. No mesmo estudo, o autor evidencia que a transpiração expressou comportamento semelhante à condutância estomática, corroborando os resultados do presente estudo.

Avaliando o efeito de subdoses de glifosato, Pereira et al. (2010), relatam que não houve influência do herbicida nas características fisiológicas de plantas de *Eucalyptus grandis*, após ser aplicado somente nas folhas ou no caule, nas doses de 0, 30, 60, 90 e 120g.ha<sup>-1</sup>. No mesmo estudo, os autores não observaram diferença para as variáveis de transpiração, resistência estomática e temperatura foliar. Tais resultados podem indicar também, a não variação nas taxas fotossintéticas da espécie em estudo.

No estudo de Machado et al. (2010), para a variável taxa fotossintética, os autores não observaram diferença significativa entre clones de eucalipto aos 7 e 21 DAA do herbicida glifosato. No trabalho de Barros et al. (2014), os autores relatam que os clones *E. urophylla* e *E. saligna* não foram influenciados pelas misturas dos herbicidas auxínicos, 2,4-D + picloram, em aplicação prévia ao plantio

A variável de condutância estomática ( $gs$ ), avaliada aos 1, 14 e 21 DAA, não foi influenciada pelas doses do herbicida dicamba. Porém, aos 7 DAA, menor valor foi observado na dose de 240 g e.a  $ha^{-1}$ . Herbicidas mimetizadores de auxina, como o dicamba, promovem a produção de etileno e conseqüentemente, a síntese de ABA, que após ser translocado, efetua o fechamento estomático, interferindo negativamente a condutância estomática (Mercier, 2004; Machado et al., 2006). De acordo com Cobb e Reade, (2010), altos níveis de AIA, induzem a biossíntese do ABA que diante disso, estimula o fechamento dos estômatos, reduzindo a fixação de carbono no processo fotossintético.

De acordo com Taiz e Zeiger (2009), a condutância estomática pode apresentar-se relacionada com o processo de transpiração. Isso ocorre, visto que as variações de abertura e fechamento dos estômatos são fundamentais para a regulação da perda de água no interior da planta e para o controle de absorção de  $CO_2$ . Na tabela 7, observa-se que aos 7 DAA na maior dose, tanto a taxa transpiratória quanto a condutância estomática, apresentam valores menores que nos demais tratamentos.

Silva (2014), avaliando a fitointoxicação e a anatomia foliar da espécie *Caryocar brasiliense*, submetidas à deriva simulada do herbicida glifosato, relata redução na condutância estomática da espécie à medida que as doses foram aumentadas (250, 500, 1000 e 1500 g e.a.  $ha^{-1}$ ), corroborando com os resultados do presente estudo.

Resultados semelhantes foram observados por Machado et al. (2010), em que os autores avaliando diferentes clones de eucalipto, após a exposição do herbicida glifosato, evidenciaram a redução na condutância estomática. Barros et al. (2014), avaliando a fitotoxidez e a persistência de herbicidas auxínicos na cultura do eucalipto, relatam que não houve diferença significativa para a variável de condutância estomática nos tratamentos e espécies avaliadas.

No presente estudo, a relação entre a concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ) apresentou alterações somente aos 7 DAA. O menor valor de transpiração no mesmo período pode estar relacionado com a diminuição da relação  $C_i/C_a$ . Para os demais tratamentos e períodos de avaliação não houve diferença estatística.

No estudo de Machado et al. (2010), os autores relatam que não foi verificada interação entre diferentes clones de eucalipto, após a exposição do herbicida glifosato,

para a variável  $Ci/Ca$ . Resultados semelhantes foram observados por Barros et al. (2014), em que a relação  $Ci/Ca$ , não foi alterada com a ação dos herbicidas para todas as avaliações realizadas no estudo. A manutenção da relação  $Ci/Ca$  nos períodos de 1, 14 e 21 DAA, pressupõe-se que a ação do herbicida dicamba não afetou o metabolismo do carbono das plantas neste período.

Os valores médios para o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) e a taxa transportadora de elétrons (ETR), estão representados na Tabela 8. Observa-se que não houve diferença significativa para a variável ETR em todos os tratamentos e períodos de avaliação. Para o rendimento quântico máximo do FSII, nota-se alterações no período de 1 DAA, nas doses de 60 e 240 g e.a ha<sup>-1</sup>. Nos demais períodos, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

**Tabela 8:** Valores médios do rendimento quântico máximo do FSII - (Fv/Fm) e taxa transportadora de elétrons (ETR) de *Eucalyptus urograndis* aos 1, 7, 14 e 21 DAA de diferentes doses do herbicida dicamba, em Rio Verde, GO, 2018.

<b>Rendimento quântico máximo do FSII - (Fv/Fm)</b>				
<b>Doses (g e.a. ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>1 DAA</b>	<b>7 DAA</b>	<b>14 DAA</b>	<b>21 DAA</b>
0	0,74 ab	0,77 a	0,79 a	0,80 a
7,5	0,74 ab	0,79 a	0,76 a	0,81 a
15	0,77 ab	0,80 a	0,81 a	0,80 a
30	0,67 b	0,78 a	0,76 a	0,80 a
60	0,78 a	0,78 a	0,78 a	0,78 a
120	0,74 ab	0,80 a	0,78 a	0,80 a
240	0,78 a	0,79 a	0,78 a	0,79 a
<b>Taxa transportadora de elétrons - ETR, <math>\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}</math></b>				
<b>Doses (g e.a. ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>1 DAA</b>	<b>7 DAA</b>	<b>14 DAA</b>	<b>21 DAA</b>
0	159,71 a	168,97 a	196,92 a	185,54 a
7,5	166,94 a	174,30 a	181,30 a	180,99 a
15	173,48 a	175,83 a	196,59 a	192,75 a
30	177,17 a	171,86 a	201,89 a	185,77 a
60	168,86 a	169,15 a	192,00 a	208,56 a
120	168,49 a	177,68 a	210,62 a	198,38 a
240	166,76 a	158,69 a	187,17 a	213,06 a

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem-se entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O rendimento quântico do fotossistema II consiste numa metodologia obtida através da fluorescência da clorofila *a*, permitindo avaliar a capacidade fotossintética da planta, indicando o seu potencial de excitação dos pigmentos essenciais nos processos fotossintéticos. Tal avaliação também permite predizer se a espécie em estudo pode estar ou não em estresse (Taiz e Zeiger, 2009).

De acordo com Zobiolo et al. (2010), as quantificações de trocas gasosas, permite diagnosticar a integridade do aparato fotossintético e produtivo da planta em relação a diversos fatores bióticos e abióticos. Outra vantagem segundo os autores, é que tal avaliação consiste em uma técnica precisa e não destrutiva.

No estudo de Paz (2017), avaliando a seletividade de diferentes herbicidas em mudas de mogno africano, evidenciou que o rendimento quântico máximo do fotossistema II, apresentou diferença significativa no período de 1 DAA dos herbicidas. Assemelhando-se assim com os resultados do presente estudo. Segundo o autor, pressupõe-se que houve variação natural das mudas e que a ação dos herbicidas não interferiu no comportamento da variável em estudo.

Para o rendimento quântico do FSII, plantas que não se encontram em estado de estresse, os valores devem variar entre 0,75 e 0,85 (Araus e Hogan, 1994). No presente trabalho, observa-se valores ao 1 DAA, entre 0,67 e 0,78, isso demonstra que na dose de 30 g e.a.ha<sup>-1</sup>, houve efeitos negativos nos transportes de elétrons. Para os demais períodos de avaliação, notam-se valores entre 0,76 e 0,81, portando, as plantas de eucalipto não apresentaram condições de estresse químico, após a exposição do herbicida dicamba.

É importante ressaltar que o estudo dos parâmetros fisiológicos são importantes indicadores da ação dos herbicidas nas plantas. Tais avaliações permitem evidenciar alterações nos vegetais, sem exibir os sintomas visuais.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que doses de dicamba acima de 120 e.a. ha<sup>-1</sup> promovem injúrias em plantas jovens de eucalipto. Os principais sintomas são epinastia de folhas, retorcimento de ramos, surgimento de brotações e necrose dos tecidos meristemáticos.

A intoxicação das plantas pelo herbicida nas doses de 120 e 240 g e.a. ha<sup>-1</sup> afeta o número de ramos, a altura da planta, o diâmetro do colo e as massas secas de ramos, folhas e caule.

Doses de dicamba promovem alterações nas estruturas do mesófilo e do parênquima paliçádico, caracterizando efeito de hormesis nas menores doses para estas variáveis anatômicas. A transpiração, condutância estomática, e o rendimento quântico do fotossistema II, também foram afetados pelas doses do herbicida.

Assim, cuidados no momento da aplicação devem ser levados em consideração, para evitar que o herbicida seja deslocado para áreas adjacentes, entrando em contato com espécies sensíveis não alvo, como a cultura do eucalipto.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, Dirceu; TAROUCO, Camila Peligrinotti; MARKUS, Catarine; OLIVEIRA, Ezequiel de; SILVA, José Matheus Betemps Vaz da; TIRONI, Siumar Pedro. Seletividade de genótipos de eucalipto a doses de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p.585-597, 2010.

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**, 2018. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

ARAUS, Jose Luis.; HOGAN, Kevin P. **Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama.** *American Journal of Botany*, v. 81, n. 6, p. 726- 738, 1994.

BARROS, R.e.; SANTOS, L.d. Tuffi; CRUZ, L.r.; FARIA, R.m.; COSTA, C.a.; FELIX, R.c.. Resposta fisiológica de espécies de eucalipto cultivadas em solo tratado com herbicidas mimetizadores de auxinas. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p.629-638, 2014.

BASF Corporation. 2017. Engenia specimen herbicide product label. Reg. no. 7969-345. USEPA, Washington, DC. [https://www3.epa.gov/pesticides/chem\\_search/ppls/007969-00345-20171012.pdf](https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/007969-00345-20171012.pdf)

BELZ, Regina G.; CEDERGREEN, Nina. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environmental And Experimental Botany**, v. 69, n. 3, p.293-301, 2010.

BENATTI, Bruno Peres. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BISH, Mandy D.; FARRELL, Shea T.; LERCH, Robert N.; BRADLEY, Kevin W.. Dicamba Losses to Air after Applications to Soybean under Stable and Nonstable

Atmospheric Conditions. **Journal Of Environmental Quality**, v. 48, n. 6, p.1675-1682, 2019.

BRADLEY, Kevin. A final report on dicamba-injured soybean acres. **Integrated Pest and Crop Manage. Newsletter**, v. 27, n. 10, p. 2, 2017.

CALABRESE, Edward, J. Historical blunders: how toxicology got the dose-response relationship half right. **Cell Mol Biol**, v. 51, n. 7, p. 643-654, 2005.

CARVALHO, Gislean Pereira; SILVA, André Amaral da; NUNES, Thomas Vieira; BARBOSA, Fernando Araújo; SILVA, José Iran Cardoso da; CERQUEIRA, Fernando Barnabé; ERASMO, Eduardo Andrea Lemus; SARMENTO, Renato Almeida. Deriva simulada de triclopyr e fluroxypyr+ triclopyr no desenvolvimento de mudas de clones de Eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p.165-173, 2014.

CEDERGREEN, Nina; RITZ, Christian; STREIBIG, Jens Carl. IMPROVED EMPIRICAL MODELS DESCRIBING HORMESIS. **Environmental Toxicology And Chemistry**, v. 24, n. 12, p.3166-3172, 2005.

COOB, Andrew H; Reade, John, P.H. Herbicides and Plant Physiology. HOBOKEN, 2010.

CONSTANTIN, Jamil; OLIVEIRA JÚNIOR, Rubem Silverio; OLIVEIRA NETO, Antonio Mendes. Buva: fundamentos e recomendações para manejo. OMNIPAX. 2013, 122p.

COSTA, N.v.; MARTINS, D.; RODELLA, R.a.; RODRIGUES, A.c.p.; CARDOSO, L.a.. Efeito do trinexapac-ethyl na anatomia foliar de quatro espécies de grama. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p.551-560, 2010.

COSTA, N.v.; MARTINS, D.; RODELLA, R.a.; RODRIGUES-COSTA, A.c.p.. Alterações anatômicas do limbo foliar de plantas de *Polygonum lapathifolium* submetidas à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p.287-294, 2011.

DANTAS, F. W. F.; SOUZA, A. J.; CIERO, A. D. Controle da rebrota de eucalipto em área de reflorestamento, p. 29-44, 2001.

D'ANTONINO, L.; FRANÇA, A.c.; SILVA, A.a.; FERREIRA, L.r.; SILVA, G.r. Crescimento de plantas de café em solos com resíduos de picloram. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p.193-200, 2012.

DUKE, Stephen O; CEDERGREEN, Nina; VELINI, Edivaldo D; BELZ, Regina G. Hormesis: Is it an important factor in Herbicide use and Allelopathy? **Outlooks On Pest Management**, v. 17, n. 1, p.29-33, 2006.

EGAN, J. Franklin; BARLOW, Kathryn M.; MORTENSEN, David A.. A meta-analysis on the effects of 2, 4-D and dicamba drift on soybean and cotton. **Weed Science**, v.62, n.1, p.193-206, 2014.

FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Mecanismos de ação de herbicidas. V Congresso Brasileiro de Algodão, p.4, 2005.

FERREIRA, M. G. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em solo contaminado com auxinas sintéticas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, p.56, 2017.

FRANS, R.E. Measuring plant responses. In: WILKINSON, R.E. (Ed.) **Research methods in weed science**, p.28-41, 1972

GROSSMANN, Klaus; HANSEN, Hauke. Ethylene-triggered abscisic acid: A principle in plant growth regulation? **Physiologia Plantarum**, v. 113, n. 1, p.9-14, 2001.

HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p.1306-1315, 2014.

HEAP, I. The international survey of herbicide resistant weeds, 2019. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2019.

JOHNSON, Virginia A.; FISHER, Loren R.; JORDAN, David L.; EDMISTEN, Keith E.; STEWART, Alexander M.; YORK, Alan C.. Cotton, peanut, and soybean response to sublethal rates of dicamba, glufosinate, and 2, 4-D. **Weed Technology**, v. 26, n. 2, p.195-206, 2012.

KARNOVSKY, M. J. Formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. **J. Cell Biol**, v. 27, p. 137-138, 1965.

KELLEY, Kevin B.; WAX, Loyd M.; HAGER, Aaron G.; RIECHERS, Dean E.. Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. **Weed Science**, v. 53, n. 1, p.101-112, 2005.

MACHADO, A.f.l.; FERREIRA, L.r.; SANTOS, L.d.t.; FERREIRA, F.a.; VIANA, R.g.; MACHADO, M.s.; FREITAS, F.c.l. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p.319-327, 2010.

MACHADO, Rodrigo Ferreira; BARROS, Antonio Carlos Souza Albuquerque; ZIMMER, Paulo Dejalma; AMARAL, Ademir dos Santos. Reflexos do mecanismo de ação de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes e na atividade enzimática em plântulas de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p.151-160, 2006.

MACHADO, Vinícius Moraes; SANTOS, José Barbosa; PEREIRA, Israel Marinho; LARA, Rodrigo Oliveira; CABRAL, Cássia Michele; AMARAL, Cristiany Silva. SENSIBILIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS AO GLYPHOSATE. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p.1941-1951, 2013.

MEDEIROS, G. H. D. **Respostas fisiológicas e morfológicas de mudas de landi (*Calophyllum brasiliense* CAMBESS) a diferentes doses de glyphosate**. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins. Gurupi, p.71, 2017.

MERCIER, H. Auxinas. In: KERBAUY, G. B., (Ed). **Fisiologia vegetal**. GUANABARA KOOGANS, p. 217-249, 2004.

MORTENSEN, David A.; EGAN, J. Franklin; MAXWELL, Bruce D.; RYAN, Matthew R.; SMITH, Richard G.. Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. **Bioscience**, v. 62, n. 1, p.75-84, 2012. .

MUELLER, Thomas C.. Methods To Measure Herbicide Volatility. **Weed Science**, v. 63, n. 1, p.116-120, 2015.

OBINSON, Andrew P.; DAVIS, Vince M.; SIMPSON, David M.; JOHNSON, William G.. Response of Soybean Yield Components to 2,4-D. **Weed Science**, v. 61, n. 1, p.68-76, 2013.

O'BRIEN, TrP; FEDER, N.; MCCULLY, Mi E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, n. 2, p. 368-373, 1964.

PAZ, Luan Carlos. **Respostas do mogno africano a herbicidas fotodependentes**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, p. 40, 2017.

PEREIRA, Maria Renata Rocha; RODRIGUES, Andréia Cristina Peres; COSTA, Neumárcio Vilanova da; MARTINS, Dagoberto; KLAR, Antonio Evaldo; SILVA, Magali Ribeiro da. EFEITO DA DERIVA DE GLYPHOSATE SOBRE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE EUCALIPTO. **Interciencia**, v. 35, n. 4, p.279-283, 2010.

PEREIRA, Maria Renata Rocha; SOUZA, Guilherme Sasso F. de; FONSECA, Edson Diniz; MARTINS, Dagoberto. SUBDOSES DE GLYPHOSATE NO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p.326-332, 2015.

SALGADO, Tp. EFFECTS OF GLYPHOSATE ON GROWTH, YIELD AND WOOD. **Journal Of Tropical Forest Sciece**, v. 29, n. 3, p.257-266, 2017.

SANTOS JUNIOR, A.; SANTOS, L. D. Tuffi; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; FELIX, R. C.; AMARAL, G. C.; CRUZ, L. R.. GLYPHOSATE DRIFT IN EUCALYPTUS PLANTS. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p.615-621, 2015.

SANTOS, S.a.; TUFFI-SANTOS, L.d.; ALFENAS, A.c.; FARIA, A.t.; SANT'ANNA-SANTOS, B.f.. Differential Tolerance of Clones of Eucalyptus grandis Exposed to Drift of the Herbicides Carfentrazone-Ethyl and Glyphosate. **Planta Daninha**, v. 37, p.1-8, 2019.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. 9.ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2007. 458p.

SILVA, L. Q. **Alterações nas características da fotossíntese e da anatomia de folhas de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) sob deriva simulada de glyphosate.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, 2014.

SMITH, Hunter C.; FERRELL, Jason A.; WEBSTER, Theodore M.; FERNANDEZ, Jose V.. Cotton Response to Simulated Auxin Herbicide Drift Using Standard and Ultra-low Carrier Volumes. **Weed Technology**, v. 31, n. 1, p.1-9, 2017.

SOLOMON, Craig B.; BRADLEY, Kevin W.. Influence of Application Timings and Sublethal Rates of Synthetic Auxin Herbicides on Soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 3, p.454-464, 2014.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Plant physiology, p. 719, 2004.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Plant physiology, p. 848, 2009.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Plant physiology. p. 679, 1998.

TAVARES, Cássio Jardim; PEREIRA, Leandro Spíndola; ARAËJO, Alana Cristina Ferreira; MARTINS, Deborah Amorim; JAKELAITIS, Adriano. Crescimento inicial de plantas de pequi após a aplicação de 2,4-D. **Brazilian Journal Of Forest Research**, v. 37, n. 89, p.81-87, 2017.

TIBURCIO, Rafael Augusto Soares; FERREIRA, Francisco Affonso; PAES, Frederico Alfenas Silva Valente; MELO, Christiane Augusta Diniz; MEDEIROS, Wilker Nunes. Crescimento de mudas de clones de eucalipto submetidos à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p.65-73 2012.

TUFFI SANTOS, L.d; FERREIRA, F.a.; MEIRA, R.m.s.a.; BARROS, N.f.; FERREIRA, L.r.; MACHADO, A.f.l.. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p.133-142, 2005.

TUFFI SANTOS, L.d; FERREIRA, L.r.; FERREIRA, F.a.; DUARTE, W.m.; TIBURCIO, R.a.s.; MACHADO, A.f.l.. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p.521-526, 2006.

TUFFI SANTOS, L.d; SANT'ANNA-SANTOS, B.f.; MEIRA, R.m.s.a.; TIBURCIO, R.a.s.; FERREIRA, F.a.; MELO, C.a.d.; SILVA, E.f.s.. Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p.9-16, 2008.

VIDAL, Ribas A. Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas. Porto Alegre: VIDAL, R.A., 1997. p. 165.

VIEIRA, Bruno C.; LUCK, Joe D.; AMUNDSEN, Keenan L.; WERLE, Rodrigo; GAINES, Todd A.; KRUGER, Greg R.. Herbicide drift exposure leads to reduced herbicide sensitivity in *Amaranthus* spp. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p.1-11, 2020.

YAO, Yuan; HARNER, Tom; BLANCHARD, Pierrette; TUDURI, Ludovic; WAITE, Don; POISSANT, Laurier; MURPHY, Clair; BELZER, Wayne; AULAGNIER, Fabien; SVERKO, Ed. Pesticides in the Atmosphere Across Canadian Agricultural Regions. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 16, p.5931-5937, 2008.

ZOBIOLE, Luiz Henrique Saes; KREMER, Robert John; OLIVEIRA, Rubem Silvério de; CONSTANTIN, Jamil. Glyphosate affects photosynthesis in first and second generation of glyphosate-resistant soybeans. **Plant And Soil**, v. 336, n. 1-2, p.251-265, 2010.

## 6. CONCLUSÃO GERAL

Com o presente estudo, compreende-se que a deriva de herbicidas podem causar danos para as culturas sensíveis, localizadas próximas às áreas de aplicação. Além disso, a condução deste experimento possibilitou melhor compreensão das técnicas de aplicação que devem ser empregadas no momento do controle de plantas daninhas. É importante evitar pulverizações em períodos de inversão térmica e com condições de ventos fortes. Além disso, no momento da aplicação, deve-se atentar com as áreas adjacentes, respeitando a distância mínima (50 metros), a fim de evitar potenciais efeitos adversos em culturas sensíveis.

Outra relevância do trabalho consiste em que o herbicida dicamba pode ser utilizado como alternativa no controle de plantas daninhas para produtores dentro dos sistemas integrados. Reforçando que as culturas agrícolas (soja e algodão) devem ser tolerantes ao herbicida. Sendo assim, o eucalipto apresentou grande potencial de utilização em sistemas agrossilvipastoris, visto que, somente em dosagens maiores do herbicida, houve interferência de forma negativa no crescimento e desenvolvimento da cultura

Atualmente, diversos produtores e pesquisadores estão preocupados com o impacto ambiental gerado pelas atividades agrícolas. Pensando nisso, pesquisas relacionadas ao impacto da deriva de herbicidas fora das áreas de aplicação devem continuar sendo realizadas, a fim de compreender melhor a dinâmica do sistema e os possíveis danos e prejuízos que podem ocorrer, tanto para produtores, quanto no meio ambiente.