

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA

**Jaíne Rubert**

**IMPACTOS DA DERIVA DE HERBICIDAS MIMETIZADORES DE  
AUXINA NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE  
NOGUEIRA-PECÃ E OLIVEIRA**

**Santa Maria, RS**

**2021**

**Jaíne Rubert**

**IMPACTOS DA DERIVA DE HERBICIDAS MIMETIZADORES DE AUXINA NO  
CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE NOGUEIRA-PECÃ E OLIVEIRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agrobiologia**.

Orientador: Prof. Dr. André da Rosa Ulguim

Santa Maria, RS

2021

Rubert, Jaíne

IMPACTOS DA DERIVA DE HERBICIDAS MIMETIZADORES DE  
AUXINA NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE NOGUEIRA  
PECÃ E OLIVEIRA / Jaíne Rubert.- 2021.

71 p.; 30 cm

Orientador: André da Rosa Ulguim

Coorientadores: Sylvio Henrique Bidel Dornelles, Camila Peligrinotti

Tarouco

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de  
Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, RS, 2021

1. Mimetizadores de auxina 2. deriva 3. 2,4-D 4. dicamba 5. frutíferas I. da  
Rosa Ulguim, André II. Bidel Dornelles, Sylvio Henrique III. Peligrinotti Tarouco,  
Camila IV. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

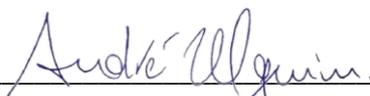
Declaro, JAÍNE RUBERT, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Jaíne Rubert**

**IMPACTOS DA DERIVA DE HERBICIDAS MIMETIZADORES DE AUXINA NO  
CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE NOGUEIRA-PECÃ E OLIVEIRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agrobiologia**.

**Aprovado em 15 de junho de 2021:**



**André da Rosa Ulguim, Prof. Dr. (UFSM)**  
(Orientador/presidente)



**Camila P. Tarouco, Dr<sup>a</sup>. (UENP)**



**Álvaro L. P. Berghetti, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS

2021

## **DEDICATÓRIA**

A todos que me incentivaram e acreditaram em mim desde o início.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus, por toda força e por ser meu guia sempre.

A minha família, meus pais Genésio e Romilda, meu irmão José Afonso por sempre me apoiarem nas minhas decisões, por entenderem as ausências e por todo suporte durante esses anos de estudo.

Ao meu namorado Francisco, por todo carinho, apoio, todo incentivo, compreensão e auxílio nos momentos difíceis.

Ao professor André da Rosa Ulguim, pela acolhida ao grupo de pesquisa, pelos ensinamentos e por me tornar uma profissional melhor preparada para enfrentar as adversidades da vida acadêmica e profissional.

Ao grupo de pesquisa GPEHe e seus integrantes: Alessandra Wesz, Aline Holken, Cassiano Pigatto, Glauco Leães, Geovana Barbieri, Eduardo Bortolin, Cleisson dos Reis, Eduard Leichtweis, Marcelo Alves, Mariana Macedo, Cristiano Fortuna e Iuri Somavilla pela amizade, acolhida e por toda a ajuda durante a realização dos experimentos, com certeza sem vocês nada disso seria possível.

Aos meus colegas de mestrado e grandes amigos Anelise Lencina, Roberto Ávila Neto e Rosana Thomasi pela amizade, ajuda e conselhos durante essa caminhada.

Ao grupo de pesquisa GIPHe, Professor Sylvio, Juliana Soares, Maicon Pivetta, Eduarda Barreto, pela cedência do espaço para instalação do experimento e por toda ajuda durante o mesmo.

Aos meus grandes amigos, Angélica Marostega, Mariane Peripolli, Jéssica Cassol, Greice Klasener, Ana Mezzalira, André Tischler, Lucas Witt, Jéssica Vieira, Viviane Granzotto, Juliana Lanza, Maicon Sérgio, por todo o incentivo, apoio e amizade durante esses anos, com certeza a amizade de vocês tornou tudo mais fácil.

Aos meus colegas e amigos do PPG Agrobiologia, Daniela Moro, Roberta Maidana, Charleston Lima, Marisa Binotto, Vivian Vasconcelos, Leandro Gonçalves e Luísa Rodrigues por todas as risadas, estudos e companheirismo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

A Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de estudo e aperfeiçoamento.

A todos, que de alguma forma me auxiliaram e me incentivaram sempre.

A todos, meu carinho e admiração.

**“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado, é alguém que acredite que ele possa ser realizado. “**

Roberto Shinyashiky

## RESUMO

### IMPACTOS DA DERIVA DE HERBICIDAS MIMETIZADORES DE AUXINA NO CRESCIMENTO E FISIOLOGIA DE MUDAS DE NOGUEIRA-PECÃ E OLIVEIRA

AUTORA: Jaíne Rubert

ORIENTADOR: André da Rosa Ulguim

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) é considerado o terceiro maior produtor de frutas do Brasil. Atualmente, frutíferas como a nogueira-pecã e a oliveira vêm conquistando espaço no mercado produtivo. Essa ascensão é resultado da valorização do consumo dos frutos obtidos dessas plantas, bem como de sua adaptação ao clima sul-brasileiro. No entanto, as proximidades dos pomares com áreas de produção de grãos tornam essas frutíferas propensas a danos por deriva de herbicidas. Deste modo, o objetivo do trabalho foi avaliar os danos causados pela deriva de 2,4-D e dicamba no crescimento e fisiologia de nogueira-pecã e oliveira. Para isso, foram realizados experimentos em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial em que o fator A constou dos herbicidas mimetizadores de auxina e o fator B de oito doses: 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,0; 25,0; 50,0; e 100% das doses recomendadas para dessecação dos herbicidas 2,4-D (670 g e.a ha<sup>-1</sup>) e dicamba (720 g e.a ha<sup>-1</sup>). As aplicações foram realizadas em mudas com auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>. As avaliações foram realizadas as 24, 48, 72 horas para os parâmetros fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas, essa última, sendo avaliada também aos 30 dias após a aplicação. Além disso, foi mensurado a estatura e diâmetro do caule, além de notas para a fitotoxicidade causada pelos herbicidas as plantas. Pode-se concluir que os herbicidas causaram danos tanto nas variáveis morfológicas quanto nas fisiológicas das mudas, diminuindo seu crescimento.

**Palavras-chave:** Mimetizadores de auxinas. Fotossíntese. Condutância estomática. Fluorescência de clorofila.

# IMPACTS OF AUXIN MIMIC HERBICIDE DRIFT ON GROWTH AND PHYSIOLOGY OF PECAN AND OLIVE SEEDLINGS

AUTHOR: Jaíne Rubert

ADVISOR: André da Rosa Ulguim

The State of Rio Grande do Sul (RS) is considered the third largest fruit producer in Brazil. Currently, fruit species such as pecan and olive have advanced in the productive market. This increase is the result of the valorization of the consumption of fruits obtained from these plants, as well as their adaptation to the southern Brazilian climate. However, the proximity of orchards with grain production areas makes the fruit species susceptible to damage from herbicide drift. Furthermore, the objective of this study was to evaluate the damage caused by 2,4-D and dicamba drift on the growth and physiology of pecan and olive trees. Accordingly, experiments were conducted in a greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments were arranged in a factorial scheme where factor A consisted of auxin mimic herbicides and factor B consisted of eight doses: 0; 1.56; 3.125; 6.25; 12.0; 25.0; 50.0; and 100% of the recommended doses for desiccation of 2,4-D (670 g ae ha<sup>-1</sup>) and dicamba (720 g ae ha<sup>-1</sup>) herbicides. The applications were carried out on seedlings with a CO<sub>2</sub> pressurized backpack sprayer with a spray volume of 150 L ha<sup>-1</sup>. The evaluations were executed at 24, 48, and 72 hours for the parameters of chlorophyll *a* fluorescence and gas exchange (also evaluated 30 days after application). Moreover, the height and diameter of the stem were measured, as well as notes for the plant phytotoxicity caused by the herbicides. Based on the results obtained, it was concluded that the herbicides caused damage to both morphological and physiological variables of the seedlings, reducing their growth.

**Keywords:** auxin mimics. Photosynthesis. Stomatal conductance. Chlorophyll fluorescence.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

- Figura 1: Fitotoxicidade em plantas de noqueira-pecã *Carya illinoensis* avaliada aos 7(A), 14(B), 21(C), 30(D) e 60 (E) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e Dicamba.....29
- Figura 2: Sintomas causados pela aplicação dos herbicidas 2,4-D (A, C e E) e Dicamba (B, D e F) 24 horas (A e B), 30 (C e D) e 60 dias (E e F) após a aplicação de 100% da dose de registro em plantas de noqueira-pecã.....30
- Figura 3: Estatura de plantas e diâmetro de caule (% em relação à dose zero) de noqueira-pecã medida aos 30 (A e C) e 60 (B e D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e Dicamba.....31
- Figura 4: Fitotoxicidade em plantas de oliveira (*Olea europae*) avaliada aos 7(A), 14(B), 21(C), 30(D) e 60 (E) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba.....32
- Figura 5: Sintomas presentes em plantas de *Olea europae* 48 horas (A a D) e 60 dias (E e F) após a aplicação de 100% da dose de registro dos herbicidas 2,4-D (A, B e E) e dicamba (C, D e F).....33
- Figura 6: Estatura de plantas e diâmetro de caule (% em relação à dose zero) de oliveira medida aos 30 (A e C) e 60 (B e D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e Dicamba.....34

### ARTIGO II

- Figura 1: Fotossíntese líquida realizada as 24 (A), 48 (B), 72 (C) horas e 30 (D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....47
- Figura 2: Concentração interna de CO<sub>2</sub> medida as 24 (A), 48 (B), 72 (C) horas e 30 (D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....48
- Figura 3: Condutância estomática medida as 24 (A), 48 (B), 72 (C) horas e 30 (D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....49
- Figura 4: Fluorescência Inicial (F<sub>0</sub>) medida as 24 (A), 48 (B) e 72 (C) horas após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....50
- Figura 5: Fluorescência Variável (FV) medida as 24 (A), 48 (B) e 72 (C) horas após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando

doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....50

Figura 6: Fluorescência Máxima (FM) medida as 24 (A), 48 (B) e 72 (C) horas após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....51

### ARTIGO III

Figura 1: Fotossíntese líquida de plantas de oliveira (*Olea europaea* L.) medida as 24 (A), 48 (B) 72 horas (C) e condutância estomática medida as 48 horas (D) após a aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).....63

Figura 2: Efeitos simples de dose encontrados nas variáveis de condutância estomática medida as 72 HAA (A), taxa de transpiração medida as 24, 48 e 72 HAA (B, C e D), eficiência no uso da água medida as 24 HAA (E) e concentração interna de CO<sub>2</sub> medida as 24 HAA (F) após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.).....64

Figura 3: Efeitos simples de dose encontrados nas variáveis de fluorescência inicial medida as 48 HAA (A), fluorescência variável medida as 24 HAA (B) e rendimento quântico máximo do PSII medido as 24, 48 e 72 HAA (C, D e E) após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.).....65

Figura 4: Efeito simples de herbicida encontrado nas variáveis de concentração interna de CO<sub>2</sub> medida as 24 (A) e 48 HAA (B), fluorescência inicial medida as 24 (C) e 48 HAA (D), fluorescência variável medida as 24 HAA (E), fluorescência máxima medidas as 48 HAA (F) e rendimento quântico do PSII medido as 24 (G) e 48 HAA (H) após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.).....66

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. ARTIGO CIENTÍFICO I- Fitotoxicidade e crescimento de noqueira-pecã ( <i>Carya illinoensis</i> K. Koch) e oliveira ( <i>Olea europaea</i> L.) após deriva simulada de 2,4-D e dicamba .....	16
RESUMO .....	16
ABSTRACT .....	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	19
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
2.3.1 NOGUEIRA-PECÃ .....	21
2.3.2 OLIVEIRA .....	24
2.4 CONCLUSÃO.....	26
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
3. ARTIGO II- Trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i> de noqueira-pecã ( <i>Carya illinoensis</i> K. Koch) submetida à deriva simulada dos herbicidas 2,4-D e dicamba .....	35
RESUMO .....	35
ABSTRACT .....	36
3.1 INTRODUÇÃO.....	37
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
3.4 CONCLUSÃO .....	44
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
4. ARTIGO III- Como a deriva simulada de 2,4-D e dicamba interfere nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i> de oliveira ( <i>Olea europaea</i> L.).....	63
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
4.1 INTRODUÇÃO.....	54
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	55
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
4.4 CONCLUSÃO .....	60
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
4. DISCUSSÃO.....	67
5. CONCLUSÕES.....	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas – ficando atrás apenas da China e da Índia – e o 23º maior exportador, tendo sua produção estimada em 39,8 milhões de toneladas em 2020 (DERAL, 2020). O Estado do Rio Grande do Sul (RS) produz aproximadamente 41, 2 mil toneladas de frutas (KIST et al., 2019), considerado o terceiro maior produtor do Brasil. Embora seja a videira (*Vitis vinifera* L.) a fruta com maior área cultivada no estado, outras frutíferas vêm conquistando espaço no mercado produtivo, como é o caso da nogueira e da oliveira. Essa ascensão é resultado da valorização do consumo dos frutos obtidos dessas plantas, bem como de sua adaptação ao clima sul-brasileiro.

A nogueira-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch) tem se apresentado de forma promissora junto aos pomares gaúchos. No Estado, Anta Gorda foi a primeira cidade a iniciar o cultivo de nogueira-pecã, em meados de 1943 (FRONZA; POLETTO; HAMANN, 2013). Atualmente, a cultura é uma alternativa rentável pois apresenta alto valor pago pela amêndoa. Ademais, o clima gaúcho, aliado às características locais (acúmulo de horas de frio, solos com bom teor de matéria orgânica e pH em torno de 6,0), mostra-se extremamente favorável ao seu cultivo (EMBRAPA, 2018). Segundo dados da SEAPDR (2020), o Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro de nozes, em área total de 5.720 ha, onde são produzidas cerca de 2,5 toneladas ha<sup>-1</sup>, sendo uma boa opção para pequenas propriedades, uma vez que pode ser consorciada com outras culturas e com a pecuária (SEAPDR, 2017).

Já a oliveira (*Olea europaea* L.) foi introduzida no RS em 1948 e, atualmente, conta com aproximadamente 3.464 ha cultivados (EMATER, 2018). Essa cultura apresenta-se como promissora para o país em função de o Brasil ter importado cerca de 100 mil toneladas de azeitona de mesa e cerca de 50 mil toneladas de azeite nos anos de 2015 e 2016, evidenciando a alta demanda do produto (COI, 2016). Dessa forma, com o aumento da produção no país, os custos com importação serão reduzidos, além de aumentar o preço pago ao produtor. Essa alta demanda se dá principalmente pelo preço mais acessível à população, além do reconhecimento dos benefícios do consumo de azeitona e seus derivados (MELLO; PINHEIRO, 2012).

Diversos fatores são determinantes para assegurar os contingentes produtivos das espécies frutíferas, como adubação, irrigação, uso de variedades adaptadas à região, qualidade da muda utilizada, quantidade de horas de frio e o tipo de solo (BRUNETO et al., 2016), sendo necessário um rigoroso manejo para que o potencial produtivo das espécies seja alcançado.

Entretanto, algumas características têm impactado negativamente a produtividade das frutíferas, sendo uma delas a ação motivada pela deriva causada por herbicidas mimetizadores de auxina, normalmente utilizados para controle de plantas daninhas em lavouras de grãos.

O controle de plantas daninhas é uma prática importante para evitar a competição com as culturas de importância agrícola. As plantas daninhas competem por água, luz e nutrientes, diminuindo o desenvolvimento e a produtividade das culturas (SILVA et al., 2011). O uso de herbicidas aumentou em decorrência da expansão das áreas para produção de grãos (ALVES, 2000), principalmente para a cultura da soja resistente ao glifosato, possibilitando a ampliação do controle de plantas daninhas (VARGAS et al., 2011).

O uso contínuo de glifosato para o controle de plantas daninhas selecionou biótipos resistentes a esse herbicida, a exemplo da buva (*Conyza* sp.) (VARGAS et al., 2011), sendo necessário adotar estratégias de manejo diferentes para controlar essas espécies de forma eficiente. Dentre essas estratégias, está o uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação ou a associação de tais herbicidas. Dentre os herbicidas mais utilizados para o manejo de buva resistente ao glifosato, encontra-se o 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), caracterizado como o primeiro herbicida orgânico desenvolvido no mundo, apresentando ação seletiva e utilizado em aplicações na pós-emergência das plantas (POWLES; YU, 2010; STERLING; HALL, 1997).

Pertencente ao mecanismo de ação dos mimetizadores de auxina, o 2,4-D tem se mostrado muito eficiente no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas resistentes a outros herbicidas (KRUGER et al., 2010; SOARES et al., 2012). Os herbicidas mimetizadores da auxina atuam nos aceptores de auxinas das plantas, imitando a mesma resposta do hormônio ácido indol-acético (AIA), mas com uma degradação mais lenta que o hormônio natural. Ou seja, a morte das plantas sensíveis ocorre devido ao desregulamento dos processos fisiológicos celulares (GROSSMAN, 2010). Esse processo pode ser explicado em três fases. Na primeira fase, se dá a ativação de processos metabólicos, como a produção de etileno na planta e o acúmulo de ácido abscísico na folha, aparecendo sintomas como a epinastia foliar. Na segunda fase, ocorre inibição do crescimento das raízes, promoção do crescimento da parte aérea, fechamento de estômatos e, com isso, diminuição da transpiração e produção de espécies reativas de oxigênio (ERO). Por fim, a terceira fase é a da senescência dos tecidos da planta devido a danos no cloroplasto e no sistema vascular, os quais provocam a morte da planta (GROSSMAN, 2010).

A utilização de herbicidas mimetizadores da auxina na agricultura é diversa, podendo ser utilizados em diversas operações no campo, como o uso de 2,4-D e dicamba para a dessecação de plantas daninhas antes da semeadura de soja e para o controle em pós-emergência

em alguns cereais de inverno (TAKANO et al., 2013; ROBINSON et al., 2015; PALHANO et al., 2018), bem como o uso de quinclorac para controle de amplo espectro em arroz irrigado (BOND; WALKER, 2012). Cabe destacar que esse grupo de herbicidas foi o primeiro de natureza orgânica a ser lançado no mercado (na década de 40), apresentando uso e importância até os dias atuais.

Atualmente, os mimetizadores de auxinas estão em evidência em função de novas tecnologias. Existem sete novos eventos de organismos geneticamente modificados (OGMs) para cultura da soja que estão liberados no Brasil e que utilizam os herbicidas auxínicos 2,4-D e dicamba para o manejo seletivo de plantas daninhas, denominadas Enlist™ e Xtend®, respectivamente. Essa seletividade é proveniente da inserção dos genes que conferem a produção das enzimas ariloxi alcanoato dioxigenase (AAD 12) e dicamba mono oxigenase (DMO). A produção da enzima AAD 12 na cultura provém da quebra da molécula de 2,4-D e posterior degradação nas substâncias atóxicas diclorofenol e glioxilato, promovendo a resistência (WRIGHT et al., 2010). Já a produção de DMO nos cloroplastos da planta permite a desmetilação oxidativa do dicamba, transformando-o na forma degradável de ácido 3,4 diclorossalicílico (D'ORDINE et al., 2009).

A ampliação do uso de herbicidas mimetizadores da auxina na agricultura atual (ou mediante novas tecnologias de OGMs) potencializa o risco de deriva em culturas suscetíveis aos herbicidas 2,4-D e dicamba (MORTENSEN et al., 2012), como as espécies frutíferas do RS. O principal motivo da deriva desses compostos é a sua volatilização no meio, que, devido a características físico-químicas (como a baixa pressão de vapor), tanto o 2,4-D quanto o dicamba possuem risco de volatilização. Nesse sentido, verificam-se, frequentemente, relatos de ocorrência de deriva desses herbicidas para pomares, interferindo no potencial de produção e na qualidade dos frutos gaúchos.

A deriva pode ser caracterizada como a alteração do caminho que a gota faz até atingir o alvo (DPIRD, 2018). Sendo assim, parte do produto deixa de atingir a planta alvo e é arrastada pelo vento até chegar às culturas. Normalmente, a deriva é decorrente de fatores como os tipos de ponta de pulverização, aplicação em períodos quentes e velocidade inadequada do vento. A intensidade das injúrias dependerá das condições climáticas de quando o produto for aplicado e da proximidade dos pomares com as lavouras onde ocorreram as aplicações (BONDADA, 2011). Os sintomas mais comuns de intoxicação são o enrolamento das folhas, dos ramos e dos pecíolos, seguidos de clorose e necrose dos tecidos das plantas (BAGATTA et al., 2015).

Alterações morfológicas nas plantas são comuns após a ocorrência de deriva. No entanto, podem haver danos ao aparato fotossintético da planta antes mesmo de ser possível

identificar os danos morfológicos. Desta forma, realizar avaliações de trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a* após a exposição da planta a herbicidas é uma forma prática e rápida de avaliar seus danos, uma vez que os métodos utilizados são não-destrutivos (FERRAZ et al., 2014). A avaliação da fluorescência da clorofila *a* revela os níveis de energia presentes na fotossíntese, deste modo, sua avaliação permite inferir sobre a inibição ou danos no processo de transferência de elétrons (SANTOS et al., 2010).

Por se tratar de um assunto recente, periodicamente em discussão nas mídias, e pelo fato de haver poucas informações acerca do assunto, sobretudo para as culturas da noqueira e oliveira, é necessário compreender quais fatores potencializam à deriva, qual seu impacto às espécies e qual o reflexo dessa interferência na unidade produtiva, com vistas a evitar que os fruticultores sejam afetados pelas demais operações agrícolas. Assim, estudos devem ser realizados para auxiliar no entendimento dos efeitos e dos fatores que interferem na deriva de herbicidas mimetizadores de auxinas em frutíferas. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os danos causados pela deriva de 2,4-D e dicamba no crescimento e fisiologia de plantas de noqueira-pecã e oliveira.

## **2. ARTIGO CIENTÍFICO I- Fitotoxicidade e crescimento de noqueira-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch) e oliveira (*Olea europaea* L.) após deriva simulada de 2,4-D e dicamba**

### **RESUMO**

O cultivo de noqueira-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch) e oliveira (*Olea europaea* L.) no Sul do Brasil próximo a áreas de pastagens e de cultivo de grãos tem registrado problemas de deriva de herbicidas. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos fitotóxicos dos herbicidas 2,4-D e dicamba sob o crescimento mudas de noqueira-pecã e oliveira. Para isso, utilizaram-se 8 subdoses, sendo elas 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,0; 25,0%; 50,0; e 100% das doses recomendadas para dessecação dos herbicidas 2,4-D (670 g e.a ha<sup>-1</sup>) e dicamba (720 g i.a ha<sup>-1</sup>). As aplicações foram realizadas em mudas com 80 cm de altura com auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> com volume de calda de 150 L. ha<sup>-1</sup>. As variáveis analisadas foram a fitotoxicidade aos 7, 14, 21, 30 e 60 dias após a aplicação (DAA), estatura de plantas e diâmetro de caule aos 30 e 60 DAA. A deriva de herbicidas hormonais causou danos ao crescimento das plantas de noqueira e oliveira, diminuindo o diâmetro de caule e a estatura das mesmas, sendo o herbicida dicamba o responsável pelos maiores danos. Além disso, doses acima de 12,5% de ambos os herbicidas resultaram em fitotoxicidade superior a 60%, sendo as doses de 50 e 100% responsáveis pela senescência de folhas.

Palavras-chave: Subdoses. Herbicidas. Fitotoxicidade.

**ABSTRACT****Phytotoxicity and growth of pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) and olive (*Olea europaea* L.) after simulated drift of 2,4-D and dicamba**

In Southern Brazil, the cultivation of pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) and olive (*Olea europaea* L.) near pasture and grain cultivation areas has registered herbicide drift problems. Therefore, the objective of this work was to evaluate the phytotoxic effects of the herbicides 2,4-D and dicamba under the growth of pecan and olive seedlings. Correspondingly, 8 underdoses were used, being 0; 1.56; 3.125; 6.25; 12.0; 25.0%; 50.0; and 100% of the recommended doses for desiccation of the herbicides 2,4-D (670 g ae ha<sup>-1</sup>) and dicamba (720 g ae ha<sup>-1</sup>). The applications were carried out in seedlings 80 cm high with a CO<sub>2</sub> pressurized backpack sprayer with a spray volume of 150 L ha<sup>-1</sup>. The variables analyzed were phytotoxicity at 7, 14, 21, 30, and 60 days after application (DAA), plant height, and stem diameter at 30 and 60 DAA. The drift of hormonal herbicides caused damage to the pecan and olive plant growth, reducing their stem diameter and height, where the dicamba herbicide presented the highest damage. Additionally, doses higher than 12.5% of both herbicides resulted in phytotoxicity higher than 60%, with doses of 50 and 100% responsible for leaf senescence.

**Keywords:** Underdoses. Herbicides. Phytotoxicity.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul é conhecido por possuir condições propícias ao plantio e desenvolvimento de espécies frutíferas que necessitam de acúmulo de horas de frio para o florescimento e boa produtividade das espécies, como é o caso da noqueira-pecã e da oliveira. Pertencente à família Jugladiaceae, a noqueira-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch) é amplamente conhecida pela produção de nozes comestíveis e pela produção de madeira (GATTO et al., 2008). Os Estados Unidos e México são os maiores produtores de nozes, totalizando 90% da produção mundial, com uma produção estimada de 130.000 toneladas (INC, 2017). No Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor de nozes, em uma área total de 5.720 ha, onde são produzidas cerca de 2,5 toneladas ha<sup>-1</sup> (SEAPDR, 2020).

Introduzida no estado do Rio Grande do Sul em meados dos anos 1948, a oliveira (*Olea europaea* L.) é uma árvore conhecida mundialmente pela produção de azeitonas que podem ser consumidas *in natura* e também utilizadas para a fabricação de azeite de oliva (CAVALHEIRO et al., 2014). No mundo, os maiores produtores são a Espanha, seguida pela Tunísia e a Itália, com 2.601.900, 1.606.909 e 1.139.470 ha cultivados, respectivamente (FAOSTAT, 2019). No Brasil, atualmente são cultivados 3.464 ha (EMATER, 2019) com produção estimada de 14.516 kg. ha<sup>-1</sup>.

Ambas espécies vêm se destacando como uma boa opção para pequenas propriedades, uma vez que podem ser consorciadas com outras culturas e com a pecuária (SEAPDR, 2017). Atualmente, são alternativas rentáveis pois apresentam alto valor econômico pago pelos frutos, boa adaptação ao clima temperado que, aliado às condições climáticas e de solos favoráveis (EMBRAPA, 2018) tornam as espécies altamente produtivas no estado. Essa ascensão do cultivo é resultado da valorização do consumo dos frutos obtidos dessas plantas, bem como de sua adaptação ao clima sul-brasileiro.

Embora as condições de cultivo sejam propícias ao desenvolvimento da noqueira e da oliveira no Sul do Brasil, algumas características têm impactado negativamente a produtividade das mesmas, sendo a principal delas os danos causados pela deriva de herbicidas. Observa-se que, em muitas situações, os pomares dessas espécies encontram-se localizados próximos às áreas de pastagens e de produção de grãos, cujos herbicidas 2,4-d e dicamba, utilizados nessas condições podem ser transportados para fora do local-alvo da aplicação.

A deriva é caracterizada pelo deslocamento do produto pulverizado para lavouras próximas e ocorre principalmente devido ao tamanho de gota utilizada (geralmente inferiores a 100 µm) (GODINHO JÚNIOR et al., 2017), pela ação do vento, temperatura e umidade relativa

do ar no momento da aplicação. Nesse sentido, verificam-se frequentes relatos de ocorrência de deriva de herbicidas para pomares, interferindo no potencial de produção e na qualidade dos frutos. Na safra 2019/2020 observou-se que cerca de 87% das amostras de tecido vegetal coletadas no RS evidenciaram a presença de 2,4-D proveniente de deriva (SEAPDR, 2020). O principal motivo da deriva desses compostos é a sua má aplicação, seja pelo uso de ponta inadequada, altura inadequada da barra ou pela velocidade inadequada de aplicação (CARLSEN et al., 2006).

O uso de herbicidas mimetizadores de auxinas estão em evidência em função de novas tecnologias no mercado. Dentre os novos eventos de organismos geneticamente modificados liberados no Brasil para a cultura da soja, destacam-se a tecnologia Xtend<sup>®</sup> e Enlist<sup>®</sup>, as quais conferem à soja tolerância aos herbicidas dicamba e 2,4-D respectivamente (CTNBio, 2017), permitindo o uso destes herbicidas para manejo seletivo de plantas daninhas.

A rápida evolução das plantas daninhas resistentes tornou necessária a adoção de novas ferramentas para o controle destas plantas. A utilização de novas tecnologias aumentará o uso de herbicidas auxínicos para o controle de plantas daninhas resistentes, aumentando assim o risco de deriva para áreas adjacentes cultivadas com culturas sensíveis (DALLA; ADALIN; MORAES, 2018) como as espécies frutíferas do RS. O primeiro ano de uso do herbicida dicamba em cultivares tolerantes nos Estados Unidos promoveu uma série de relatos de injúrias em espécies sensíveis fora do alvo de aplicação (WERLE et al., 2018), sugerindo a ocorrência de deriva.

A compreensão do impacto da deriva em noqueira-pecã e oliveira é fundamental para definir o potencial de danos às frutíferas, nas condições de cultivo do Sul do Brasil. Com base no exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de subdoses de 2,4-D e dicamba aplicados em mudas de noqueira-pecã e oliveira em sua estatura, diâmetro de caule e efeitos fitotóxicos às plantas.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no período de julho de 2019 a fevereiro de 2020, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram utilizadas mudas de noqueira-pecã cv. Shawnee, e de oliveira cv. Koroneiki adquiridas em viveiros registrados no RENASEM, padronizadas com 50 centímetros de estatura. As mudas de noqueira-pecã foram mantidas em embalagens plásticas com capacidade para 2 litros, e aclimatadas em casa de vegetação durante 60 dias até a observação da plena brotação e expansão foliar. Já as mudas de

oliveira foram transplantadas para vasos com capacidade para 7 litros contendo solo devidamente peneirado e adubado com 100, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P, K e N por planta, respectivamente, seguindo recomendações de adubação para a espécie.

A irrigação foi realizada diariamente, onde para os vasos contendo as mudas de oliveira, manteve-se o solo com 75% da capacidade de retenção de água. Para essa determinação, realizou-se a pesagem do solo seco, saturou-se com água, e após foi realizada nova pesagem onde definiu-se o peso de cada vaso (KÄMPF et al., 2006). A determinação da necessidade de irrigação foi realizada com auxílio de uma balança analógica, onde cada vaso era pesado diariamente e adicionado água até atingir o peso determinado anteriormente. Para as mudas de noqueira-pecã, realizou-se uma irrigação diária leve, mantendo o solo sempre úmido. Para ambas as espécies se realizou mensalmente a complementação da adubação, onde utilizou-se ureia na dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2x8, cujo fator A foi composto pelos herbicidas 2,4-D e dicamba; enquanto que o fator B testou doses dos herbicidas, sendo elas: 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,5; 25; 50 e 100% das doses recomendadas para dessecação, consideradas de 670 g e.a ha<sup>-1</sup> e 720 g i.a ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 18 de novembro de 2019, quando as mudas estavam com as folhas totalmente expandidas, apresentando estatura média de 70 cm e diâmetro médio do caule de 6,0 mm para noqueira-pecã e 80 cm de estatura e 4 mm de diâmetro de caule para oliveira, respectivamente. Para tanto, foi utilizado um pulverizador costal pressurizado CO<sub>2</sub>, munido com uma barra de 1,5 metros contendo quatro pontas do tipo XR Teejet 110.015, a pressão de 25 lbs pol<sup>-2</sup> e taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>.

As condições climáticas no momento da aplicação foram de 22,2°C, 67% e 2,5 m/s<sup>-1</sup> para temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, respectivamente. Após as aplicações, as mudas foram distanciadas entre si e alocadas em ambiente fora da casa de vegetação por 24 h, quando foram reconduzidas para o ambiente controlado.

As variáveis analisadas foram fitotoxicidade avaliada aos 7, 14, 21, 30 e 60 dias após a aplicação (DAA), estatura de planta e diâmetro de caule, ambos medidos aos 30 e 60 DAA, sendo os dados corrigidos para valores percentuais de redução em relação à dose zero. As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas visualmente utilizando uma escala percentual em que (zero) indica ausência de injúrias e 100 (cem) a morte da planta. A estatura de plantas foi mensurada com auxílio de régua milimetrada sendo contabilizada da superfície do solo até o nó

da última folha totalmente expandida da planta. O diâmetro do caule foi medido com auxílio de paquímetro digital de marca Lorben, modelo aço inox 150 mm GT280.

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e O'neill-Matthews, respectivamente, evidenciando não ser necessária à sua transformação. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) com auxílio do pacote ExpDes do software estatístico RStudio (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011). Constatada significância estatística, realizou-se a análise de regressão, utilizando o modelo polinomial quadrático, conforme segue:

$$y = y_0 + ax + bx^2$$

Onde:  $y$  = variável analisada;  $x$  = dose dos herbicidas;  $y_0$  = ponto máximo da curva;  $a$  = inclinação da curva,  $b$  = ponto mínimo da curva. Para isso, utilizou-se o programa estatístico SigmaPlot® versão 12.0.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 NOGUEIRA-PECÃ

Os testes de Shapiro-Wilk e O'neill-Matthews indicaram não ser necessária a transformação dos dados. Verificou-se aumento da fitotoxicidade conforme o aumento da dose de ambos herbicidas em todas as avaliações realizadas. Houve efeito simples de dose na avaliação de fitotoxicidade realizada aos 7 dias após a aplicação, nas demais épocas de avaliação houve interação entre os fatores. Para a variável estatura de planta, observou-se efeito simples de dose, enquanto que para o diâmetro de caule apenas a avaliação realizada aos 30 dias após a aplicação teve interação entre os fatores.

Para a variável fitotoxicidade aos 7 dias, apenas o fator doses foi significativo, aumentando o efeito fitotóxico conforme o aumento das doses (Figura 1A). Aos 14 DAA observou-se que a aplicação do herbicida 2,4-D promoveu a maior fitotoxicidade nas doses superiores a 25%, cujos valores foram superiores aos danos promovidos por dicamba (Figura 1B). A partir dos 21 dias, houve aumento de fitotoxicidade, chegando a 90% nas maiores doses aplicadas (Figura 1C a E). Para as doses menores (1,56, 3,125 e 6,25 e 12,5%), os valores de fitotoxicidade observados foram próximos a 30% para ambos herbicidas. Isso corrobora estudo que determinou que até mesmo a menor dose do produto é capaz de provocar danos fitotóxicos às plantas (GONÇALVES et al., 2011).

Para as avaliações aos 30 e 60 DAA observou-se que a fitotoxicidade se manteve crescente com o aumento das doses, em que a partir de 25% da dose recomendada de ambos

herbicidas os valores foram próximos a 90% (Figura 1 D e E). Para o intervalo de doses entre 1,56 e 12,5%, os percentuais de fitotoxicidade permaneceram similares aos observados nas avaliações anteriores, com valores em torno de 35%. Doses baixas de 2,4-D promoveram alterações morfológicas em plantas de Pequi (TAVARES et al., 2017) e Uva Itália (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007), reforçando o que foi encontrado neste trabalho.

Observou-se que mesmo as menores doses de herbicidas foram capazes de promover injúrias persistentes à noqueira-pecã (Figura 1E). Como esses herbicidas são translocados pelo xilema e floema mesmo quando aplicados em doses muitas baixas, exercem efeitos nas plantas sensíveis decorrendo em prejuízo ao desenvolvimento vegetal e a produtividade dos pomares. Isso pode ser devido ao fato de que as plantas gastarão reserva energética para recuperar-se dos danos, não convertendo os fotoassimilados para iniciar a brotação e posterior produção de frutos, sendo a brotação, a fase mais sensível à ação dos herbicidas (SILVA et al., 2007). No entanto, em trabalhos realizados com a cultura do pequi (TAVARES et al., 2017) e do fumo (CONSTANTIN et al., 2007), a deriva simulada de 2,4-D permitiu identificar sintomas leves até 14 DAA, sendo pouco evidentes após esse período.

Para as mudas de noqueira-pecã utilizadas no presente estudo, após 24 horas da aplicação dos herbicidas foi possível observar sintomas característicos de mimetizadores de auxinas nas maiores doses (100% da dose recomendada) e partes jovens das plantas (Figura 2A e B). Aos 30 DAA, os principais sintomas observados envolveram clorose e necrose nos tecidos das folhas mais jovens (Figura 2C e D) para ambos os herbicidas, sendo que, as mesmas entraram em senescência 60 dias após a aplicação (Figura 2E e F). Consequentemente, o crescimento e desenvolvimento das plantas foi negativamente impactado.

Assim, observou-se que houve redução percentual da estatura de plantas devido ao aumento da dose dos herbicidas aos 30 DAA (Figura 3A), confirmando o impacto negativo destes herbicidas a cultura. Todavia, aos 60 DAA não foi observado ajuste do modelo aos dados, embora a ausência de sobreposição do intervalo de confiança entre a maior e menor doses indique diferença significativa (Figura 3B). Para as variáveis analisadas aos 60 DAA, observou-se que para a espécie noqueira-pecã, a dose de 100% do herbicida dicamba diminuiu 13,86% (10 cm) e 10,6% (0,71 mm) para estatura e diâmetro de caule, respectivamente em relação a testemunha. Já para o herbicida 2,4-D essa diminuição foi de 3,63% (2,87 cm) e 13,74% (0,92 mm) para estatura e diâmetro de caule, respectivamente.

Em relação ao diâmetro de caule, os valores observados na avaliação aos 30 DAA demonstram que as plantas tratadas com o herbicida dicamba a partir de 25% da dose foram as que apresentaram maior redução (Figura 3C). Os valores para este herbicida tiveram cerca de

17% de diminuição nas plantas tratadas com a maior dose, quando comparados à testemunha sem aplicação. A aplicação de glifosato em plantas de eucalipto promoveu redução do diâmetro de caule e, conseqüentemente, menor quantidade de madeira produzida (TUFFI SANTOS et al., 2007). Já para o herbicida 2,4-D, houve um pequeno aumento do diâmetro de caule das plantas que receberam até 25% da dose, podendo-se inferir que não houve efeito negativo do herbicida ao desenvolvimento dos caules das plantas após sua aplicação.

Já na avaliação realizada aos 60 DAA, observou-se que não houve interação entre os fatores herbicidas e doses, porém é possível verificar valores similares entre as doses aplicadas (Figura 3D), evidenciando que houve recuperação do crescimento caulinar das plantas. O mesmo foi observado em plantas de eucalipto quando submetidas a aplicações de subdoses de glifosato, onde constatou-se que 35 dias após a aplicação do herbicida, as plantas já não apresentavam danos em seu crescimento (PEREIRA et al, 2011).

A avaliação do diâmetro de caule permite inferir sobre o porte e vigor de uma árvore quando plantada em determinado local (PERDONÁ et al., 2012), sendo assim, um menor diâmetro de caule torna-o mais sensível, uma vez que um caule mais fino tem menor resistência em relação aos outros, ficando mais suscetível a danos causados por ventos e animais, podendo ser quebrado facilmente. Além disso, a diminuição do desenvolvimento das plantas ocasionará atraso na implantação do pomar, e, conseqüentemente, maior será o tempo necessário para o início da produção de nozes, o que, quando submetida a condições normais, demora em torno de 4 anos para iniciar a produção (BACKES; IRGANG, 2004).

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, constatou-se que os herbicidas mimetizadores de auxina são capazes de afetar as plantas de noqueira, interrompendo processos regulatórios naturais das plantas através da resposta descontrolada às auxinas (KELLEY; RIECHERS, 2007), tendo como consequência o crescimento anormal das plantas e afetando sua capacidade produtiva.

A partir disso, é possível inferir que a aplicação desses herbicidas em lavouras próximas a pomares de noqueira deve ser realizada seguindo todas as precauções e orientações, uma vez que poderá acarretar prejuízos ao desenvolvimento das plantas. Desta forma, são necessários estudos complementares para verificar se a deriva causará prejuízos à produtividade da espécie, ou se em fases mais avançadas de desenvolvimento os danos serão tão pronunciados como foram em mudas.

### 2.3.2 OLIVEIRA

Os testes de Shapiro-Wilk e O'neill-Matthews indicaram não ser necessária a transformação dos dados. Todas as avaliações e todas as variáveis analisadas apresentaram interação entre os fatores em estudo. Verificou-se aumento da fitotoxicidade conforme o aumento da dose de ambos herbicidas em todas as avaliações realizadas. Aos 7 e 14 DAA, as doses a partir de 25% foram responsáveis por fitotoxicidade de cerca de 40%. Já para as doses mais baixas (até 12,5%), os valores foram ao redor de 25% aos 7 DAA e 35% aos 14 DAA (Figuras 4A e 4B). Aos 21 e 30 DAA, a dose de 100% obteve valores próximos a 75% de fitotoxicidade (Figura 4C e 4D), evidenciando que houve um aumento significativo nos danos às plantas. Esse aumento dos efeitos fitotóxicos nas plantas conforme o aumento da dose do herbicida também pôde ser observado em plantas como *Caryocar brasiliense* (pequi) (TAVARES et al., 2017) e *Ceiba speciosa* (paineira) (MONQUERO et al., 2011).

Na avaliação realizada aos 60 DAA, observou-se que os valores para a maior dose aplicada (100%) foram de 95% de fitotoxicidade (Figura 4E). Para as doses de 25 e 50%, os valores de fitotoxicidade foram próximos a 90% para o herbicida 2,4-D e 70% para o herbicida dicamba, evidenciando que os maiores danos foram causados pelo herbicida 2,4-D, indicando a maior sensibilidade da espécie perante esse herbicida. Para as menores doses (até 12,5%), os valores para ambos herbicidas foram próximos a 45%, o que indica injúrias pronunciadas e persistentes nas plantas de oliveira pela ocorrência de deriva desses herbicidas. Esses valores evidenciam que as plantas não se recuperaram dos danos causados pelos herbicidas, e que a oliveira é uma planta extremamente sensível ao modo de ação dos herbicidas mimetizadores de auxinas.

Dentre os principais sintomas observados nas partes jovens das plantas no presente estudo, 24 horas após a aplicação foi possível observar sintomas característicos dos herbicidas mimetizadores de auxinas nas maiores doses (50 e 100%) (Figura 5A, B, C e D). Aos 60 DAA, os principais sintomas observados envolveram clorose e necrose nos tecidos das folhas mais jovens para ambos os herbicidas (Figura 5E e 5F). Consequentemente, o crescimento e desenvolvimento das plantas foi negativamente impactado.

De modo geral, percebe-se que o crescimento das plantas paralisou conforme houve o aumento da dose aplicada sobre elas. Na avaliação realizada aos 30 DAA (Figura 6A), a dose 0 apresentou valores próximos aos 95 por cento (%), já, para as doses a partir de 12,5% apresentaram valores próximos a 85 %, evidenciando que a aplicação dos herbicidas paralisou o crescimento das plantas. Já aos 60 DAA (Figura 6B), essa tendência de diminuição se manteve, resultando em valores próximos a 100 cm para as doses menores (até 12,5%) e em

torno de 75 % para as doses maiores (25, 50 e 100% das doses dos herbicidas). Essa redução de estatura das plantas em relação aos 30 DAA pode ser explicado pelo fato de que as plantas que receberam as maiores doses entraram em senescência, como pode ser observado na Figura 2. Para ambas as avaliações, o herbicida 2,4-D foi o responsável pelos menores valores obtidos, evidenciando que o mesmo é capaz de causar maiores problemas aos pomares.

Para a espécie oliveira, para a variável estatura de planta diminuiu 25,62% (25,45 cm) e 33,39% (32,99 cm) para os herbicidas dicamba e 2,4-D. Para a variável diâmetro de caule essa diminuição foi de 12,13% (0,56 mm) e 11,4% (0,57 mm) para os herbicidas dicamba e 2,4-D, respectivamente.

O mesmo padrão de redução foi observado para a variável diâmetro de caule, onde aos 30 DAA (Figura 6C), observou-se que as plantas submetidas a dose 0 obtiveram valores em torno de 100 %, já as doses maiores (50 e 100%) apresentaram valores em torno de 95 %, para o herbicida 2,4-D. Já para o herbicida dicamba, as plantas tratadas com as doses de 0 à 12,5% apresentaram valores em torno de 100 %, deste modo, fica evidente que as doses mais baixas dos herbicidas não causaram danos ao desenvolvimento das plantas, sendo possível observar um ligeiro aumento de valores a partir da dose de 25%, podendo ser explicado pelo fato de que os herbicidas auxínicos causam intumescimento de caule (GROSSMANN, 2009).

Na avaliação realizada aos 60 DAA (Figura 6D), observou-se que, para o herbicida dicamba, o qual anteriormente havia tido um acréscimo de valores, houve uma diminuição do diâmetro do caule das plantas conforme houve o aumento da dose aplicada. A partir da dose de 50%, os valores obtidos foram em torno de 90 mm. Isso se deve ao fato de que, aos 60 dias, as plantas estavam senescendo, diminuindo assim o diâmetro de seus caules. Já para o herbicida 2,4-D, os valores de todas as doses ficaram muito próximos aos da dose 0, evidenciando que as plantas já estavam se recuperando dos danos causados pelo herbicida.

A fitotoxicidade foi mais pronunciada nas plantas pelo fato de serem plantas jovens e nas doses mais altas dos produtos (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007; RONCHI et al., 2005; TAVARES et al., 2017), como observado na Figura 4 (E e F). Além disso, mesmo em doses baixas, a aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba causou danos em plantas sensíveis (TAVARES et al., 2017) como é o caso da oliveira, sendo as maiores doses as que promoveram diminuição do crescimento das plantas (TAVARES et al., 2017). Constatação parecida foi observada por Monqueiro et al. (2011) onde após a aplicação de glifosato, foi observado diminuição do diâmetro de caule e estatura de planta.

## 2.4 CONCLUSÃO

A deriva de herbicidas mimetizadores de auxina ocasiona danos ao crescimento das plantas, apresentando elevados valores de fitotoxicidade às culturas mesmo após 60 dias de sua aplicação. Ambas as espécies noqueira e oliveira paralização do crescimento das plantas quanto a sua estatura e diâmetro de caule a partir de 12.5% da dose recomendada para dessecação em culturas de grãos de dicamba e 2,4-D, sendo possível concluir que houve paralisação do crescimento das plantas.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACKES, P.; IRGANG, B. Árvores do Sul. Guia de identificação & interesse Ecológico. As principais espécies nativas Sul-Brasileiras. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2004. 204 p.
- CARLSEN, S.C.K, SPLIID, N. H, SYENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). **Chemosphere**, v. 64, n. 778–786, 2006.
- CAVALHEIRO, C.V., et al. Composição química de folhas de oliveira (*Olea europaea* L.) da região de Caçapava do Sul, RS. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1874-1879, 2014.
- COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA-CTNBio. **Tabela de Plantas Aprovadas para Comercialização**. Disponível em: <  
[http://ctnbio.mctic.gov.br/publicacoes?p\\_p\\_auth=4GV2fgjv&p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_cwksGA%3Denlist%26\\_3\\_struts\\_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26\\_3\\_redirect%3D%252Finicio&\\_110\\_INSTANCE\\_cwksGAQxt1lp\\_fileEntryId=2238117](http://ctnbio.mctic.gov.br/publicacoes?p_p_auth=4GV2fgjv&p_p_id=110_INSTANCE_cwksGA%3Denlist%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_redirect%3D%252Finicio&_110_INSTANCE_cwksGAQxt1lp_fileEntryId=2238117)> Acesso em: 12 de agosto de 2020.
- CONSTANTIN, J. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de fumo e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, nesp., p. 30-34, 2007.
- DALLA, E.; ADALIN, S.; MORAES, C. 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Cultivo da Noqueira-pecã em pequenas propriedades**. Disponível em: <  
<https://www.embrapa.br/clima-temperado/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1098942/cultivo-da-nogueira-peca-em-pequenas-propriedades>. > Acesso em: 07 de abril de 2020.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL- EMATER. Fruticultura. **Dados de produção vegetal de fruticultura do ano de 2019**. Disponível em: <  
<http://www.emater.tche.br/site/area-tecnica/sistema-de-producao-vegetal/fruticultura.php#.XNtvK1JKjIU>>. Acesso em: 14 de agosto de 2020.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Crops data, 2019**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2020.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v.1, n. 1, p. 1-9, 2011.

GATTO, D. A. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Luehea divaricata*, *Carya illinoensis* e *Platanus x acerifolia* quando submetidas ao vergamento. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 121-131, 2008.

GODINHO JÚNIOR, T. D. et al. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 550-554, 2017.

GONÇALVES, K. S. et al. Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência em pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)<sup>1</sup>. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 110-120, 2011.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: Current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113–120, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em 09 de maio de 2020.

INTERNATIONAL NUT AND DRIED FRUIT. **Nuts and Dried Fruits: Statistical Yearbook 2017-2018**. Disponível em: <[https://www.nutfruit.org/files/tech/1524481168\\_INC\\_Statistical\\_Yearbook\\_2017-2018.pdf](https://www.nutfruit.org/files/tech/1524481168_INC_Statistical_Yearbook_2017-2018.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2020.

KELLEY, K. B.; RIECHERS, D. E. Recent developments in auxin biology and new opportunities for auxinic herbicide research. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 89, n. 1, p. 1-11, 2007.

MONQUERO, P. A. et al. Seletividade de herbicidas em mudas das espécies nativas *Acacia polyphylla*, *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae), *Ceiba speciosa* e *Luehea divaricata* (Malvaceae). **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 159-168, 2011.

MORTENSEN, D. A. et al. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **Bioscience**, v. 62, n. 1, p. 7584, 2012.

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

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Mecanismo de ação dos herbicidas. In: OLIVEIRA Jr, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ed. Omnipax, p. 141-192, 2011.

PERDONÁ, M. J. et al. Crescimento e produtividade de noqueira-macadâmia em consórcio com cafeeiro arábica irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1613-1620, 2012.

PEREIRA, M. R. R. et al. Absorção de subdoses Glyphosate aplicadas em diferentes locais de plantas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 589-594, 2011.

RONCHI, C. P. et al. Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid applied as a herbicide on fruit shedding and coffee yield. **Weed Research**, v. 45, n. 1, p. 41-47, 2005.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Programa Estadual de Desenvolvimento da Pecicultura- Pró- Pecã**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/pro-peca>>. Acesso em: 15 de março de 2020.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Levantamento constata deriva de 2,4-D em 87,13% das amostras na safra atual**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/levantamento-constata-deriva-de-2-4-d-em-87-13-das-amostras-na-safra-atual>>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG, p. 58-117, 2007.

TAVARES, C. J. et al. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 81-87, 2017.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 133-137, 2007.

WERLE, R. et al. Survey of Nebraska farmer's adoption of dicamba-resistant soybean technology and dicamba off-target movement. **Weed Technology**, v. 32, n. 6, p. 754-761, 2018.

YAMASHITA, O. M. et al. Deriva simulada de herbicidas em mudas de *Coffea canephora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 2, p. 148-156, 2013.

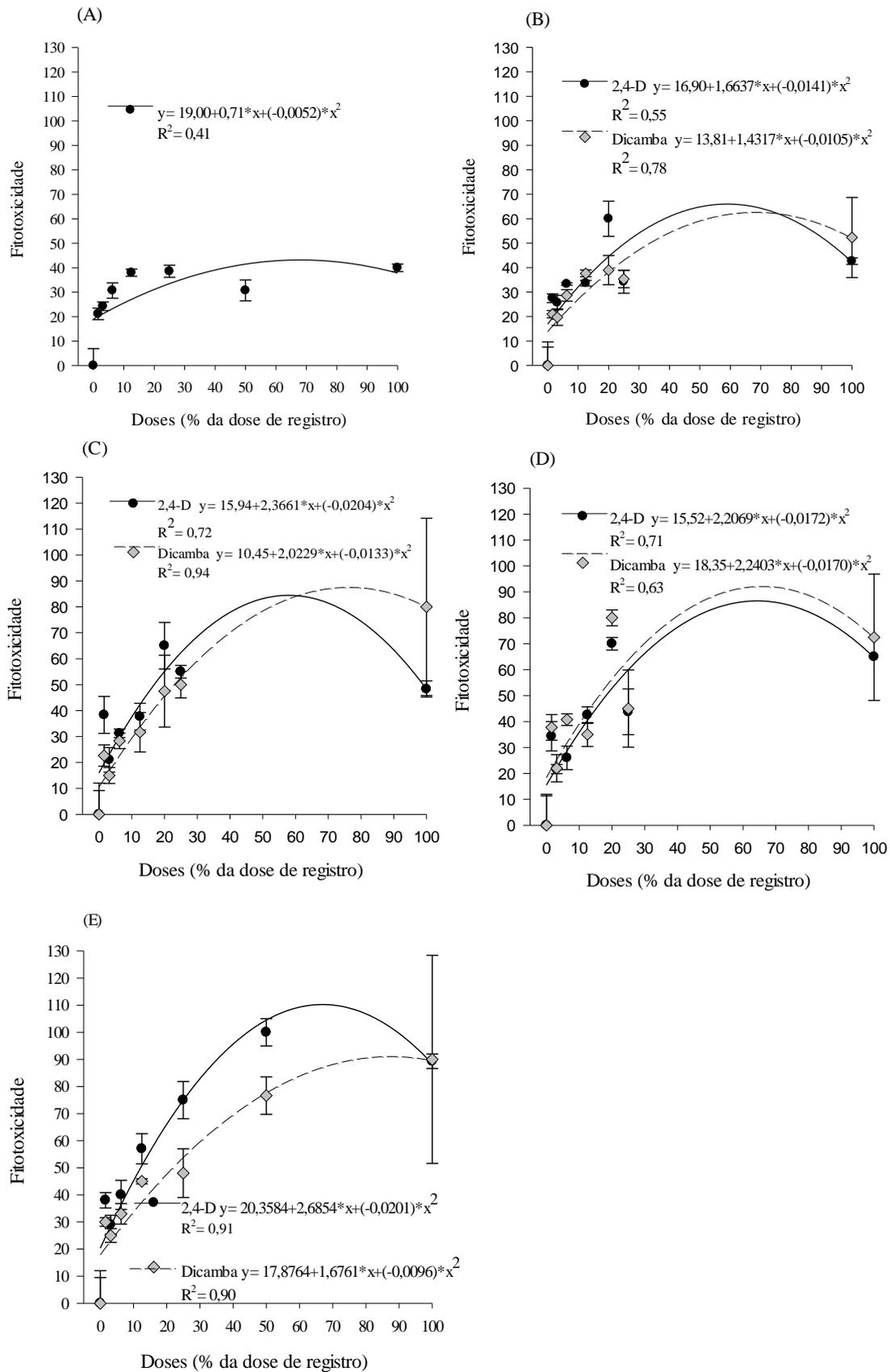


Figura 1: Fitotoxicidade em plantas de *Carya illinoensis* avaliada aos 7(A), 14(B), 21(C), 30(D) e 60 (E) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e Dicamba.



Figura 2: Sintomas causados pela aplicação dos herbicidas 2,4-D (A, C e E) e Dicamba (B, D e F) 24 horas (A e B), 30 (C e D) e 60 dias (E e F) após a aplicação de 100% da dose de registro em plantas de noqueira-pecã.

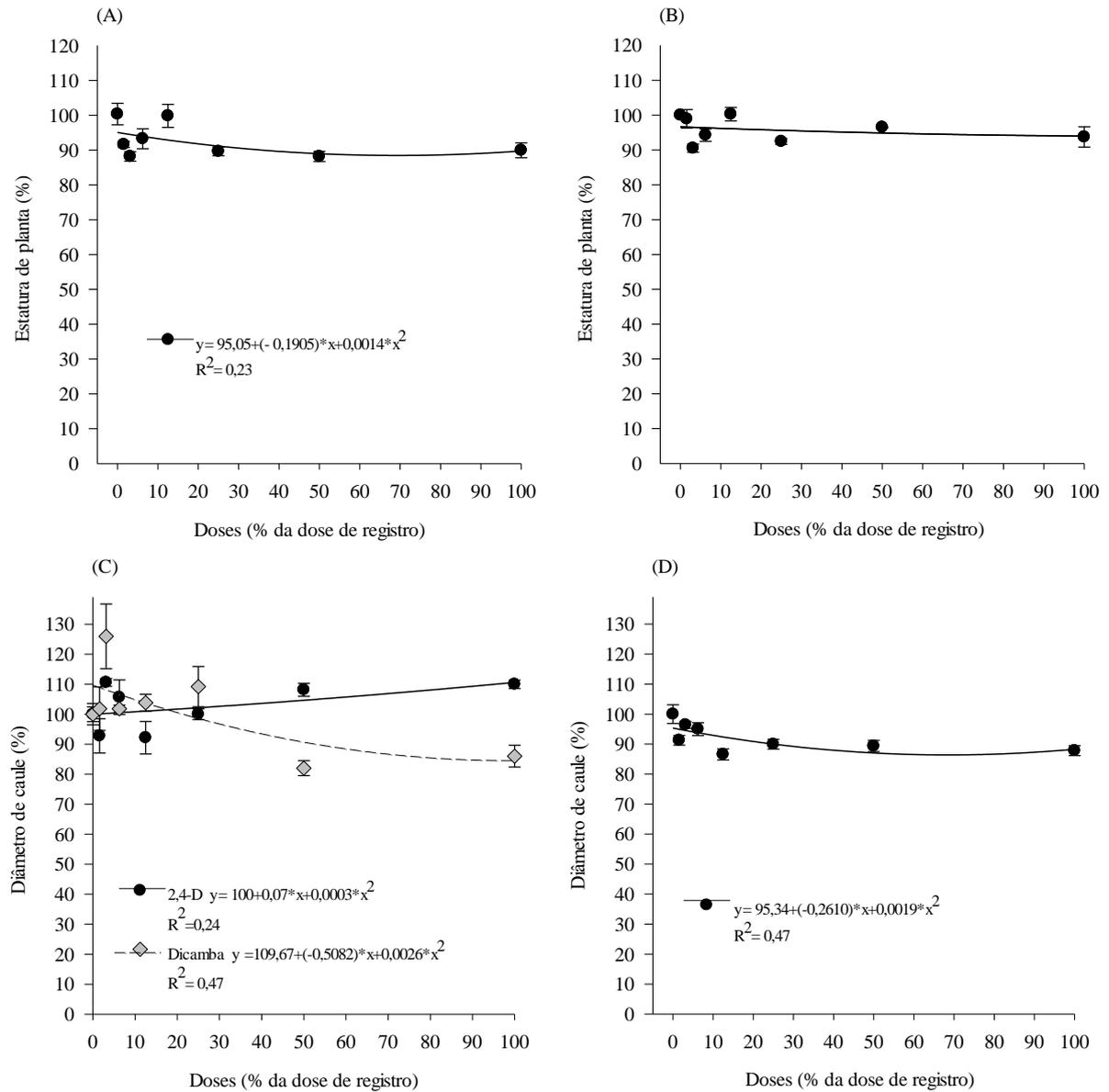


Figura 3: Estatura de plantas e diâmetro de caule (% em relação à dose zero) de nogueira-pecã medida aos 30 (A e C) e 60 (B e D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e Dicamba.

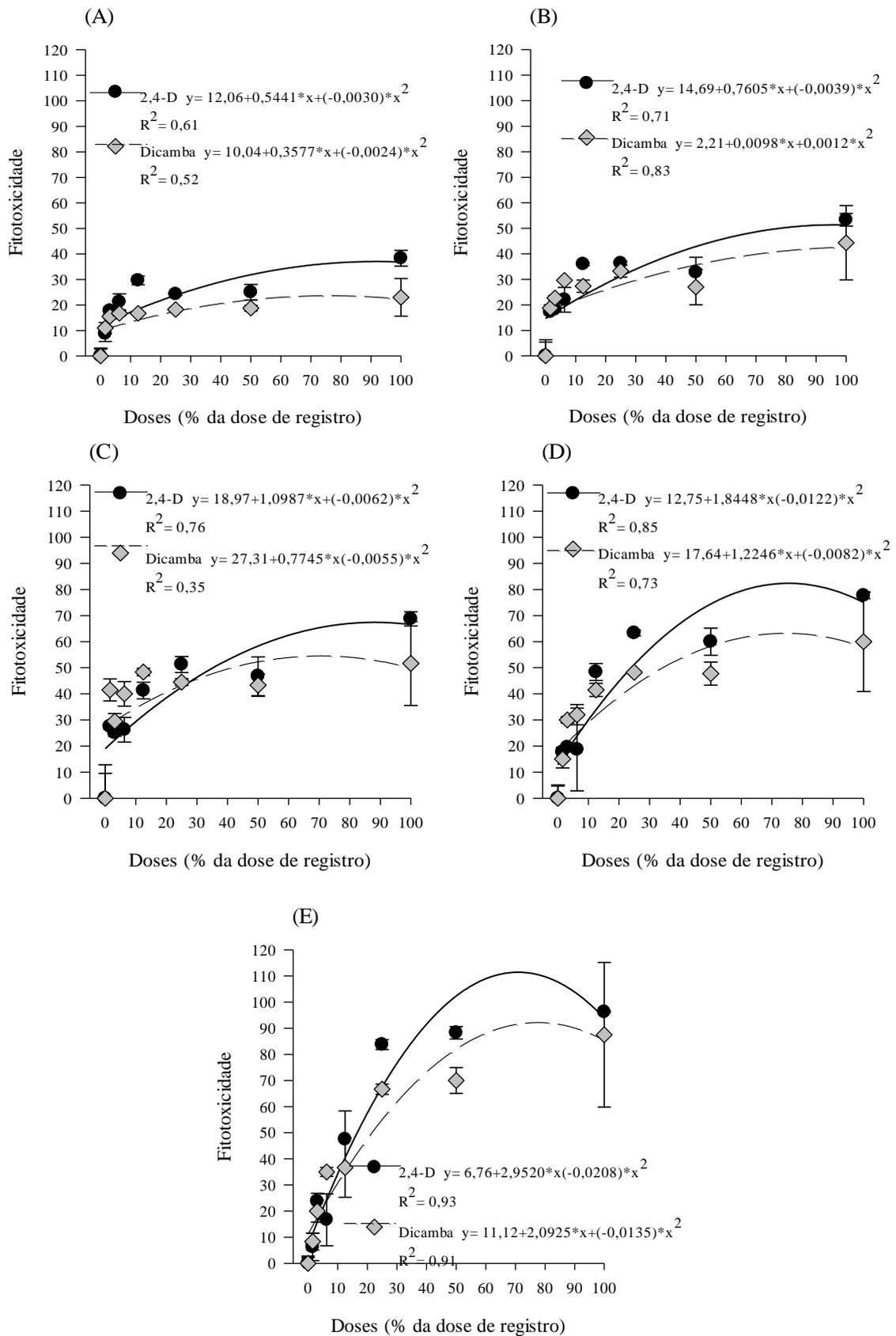


Figura 4: Fitotoxicidade em plantas de oliveira (*Olea europae*) avaliada aos 7 (A), 14 (B), 21(C), 30 (D) e 60 (E) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba.

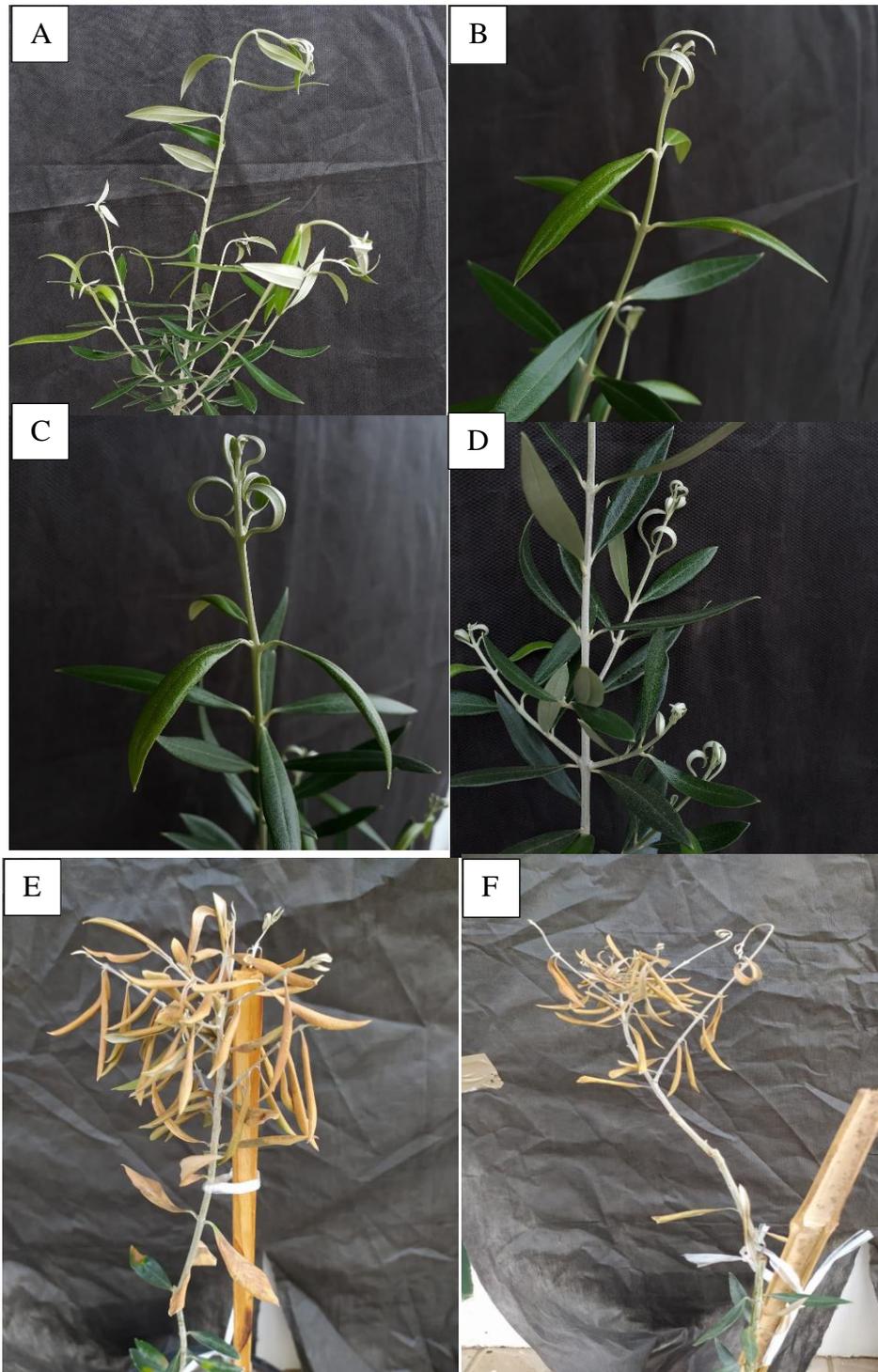


Figura 5: Sintomas presentes em plantas de *Olea europaea* 48 horas (A a D) e 60 dias (E e F) após a aplicação de 100% da dose de registro dos herbicidas 2,4-D (A, C e E) e dicamba (B, D e F).

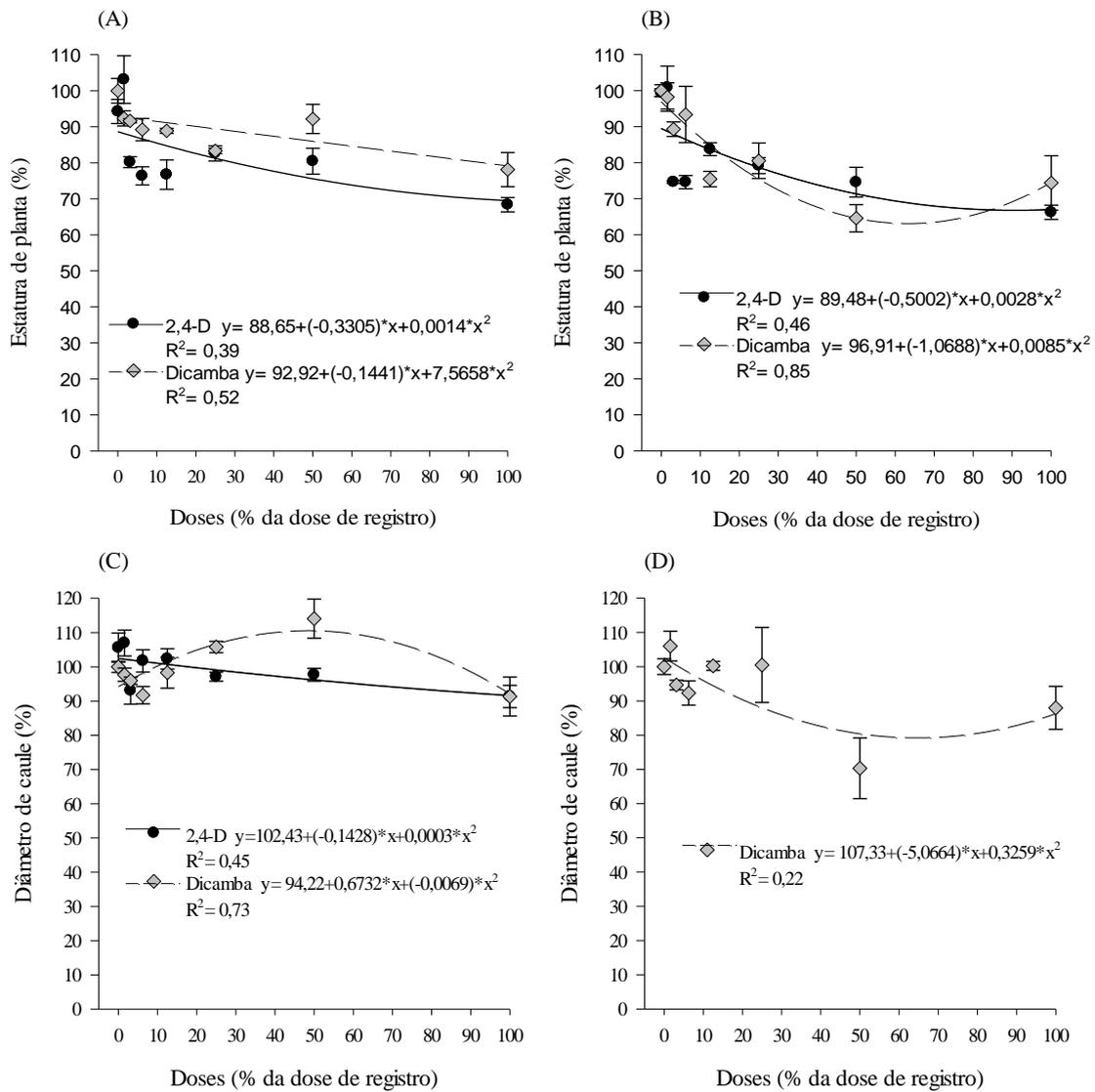


Figura 6: Estatura de plantas e diâmetro de caule (% em relação à dose zero) de oliveira medida aos 30 (A e C) e 60 (B e D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e Dicamba.

### **3. ARTIGO II- Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* de noqueira-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch) submetida à deriva simulada dos herbicidas 2,4-D e dicamba**

#### **RESUMO**

A deriva de herbicidas mimetizadores de auxinas em noqueira-pecã (*Carya illinoensis* K. Koch) no Sul do Brasil tem sido relatado como um problema ao cultivo da espécie. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da deriva simulada de 2,4-D e dicamba nos parâmetros fotossintéticos de mudas de noqueira-pecã. Foi realizado experimento em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial em que o fator A constou dos herbicidas mimetizadores de auxina (2,4-D e dicamba) e o fator B de oito doses: 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,0; 25,0; 50,0; e 100% das doses recomendadas para dessecação dos herbicidas 2,4-D (670 g e.a ha<sup>-1</sup>) e dicamba (720 g e.a ha<sup>-1</sup>). As aplicações foram realizadas em mudas com 70 cm de altura com auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>. As avaliações foram realizadas as 24, 48, 72 horas para os parâmetros fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas, essa última, sendo avaliada também aos 30 dias após a aplicação. O 2,4-D e o dicamba causam danos ao aparato fotossintético das plantas, através da diminuição da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), da condutância estomática (Gs) e da concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), afetando a eficiência fotossintética das plantas. O mesmo pode ser observado nas variáveis relacionadas a perdas de energia pela fluorescência, onde observaram-se valores maiores que os encontrados nas doses zero. Os efeitos negativos foram observados conforme o aumento da dose. A simulação da deriva a partir de 25% da dose recomendada dos dois herbicidas ocasiona danos à atividade fotossintética, com a redução da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub> e também perda de energia através da fluorescência da clorofila *a*, nas plantas de noqueira-pecã.

Palavras-chave: Clorofila. Fotossíntese. Fluorescência da clorofila *a*.

**ABSTRACT****Gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) submitted to simulated drift of 2,4-D and dicamba herbicides**

The auxin mimic herbicides drift in pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) in Southern Brazil has been reported as a problem in the cultivation of the species. Accordingly, the objective of this work was to evaluate the effects of simulated 2,4-D and dicamba drift on the photosynthetic parameters of pecan seedlings. An experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments were arranged in a factorial scheme where factor A consisted of auxin mimic herbicides (2,4-D and dicamba) and factor B of eight doses: 0; 1.56; 3.125; 6.25; 12.0; 25.0; 50.0; and 100% of the recommended doses for desiccation of 2,4-D (670 g ae ha<sup>-1</sup>) and dicamba (720 g ae ha<sup>-1</sup>) herbicides. The applications were carried out on 70 cm high seedlings with a CO<sub>2</sub> pressurized backpack sprayer with a spray volume of 150 L ha<sup>-1</sup>. The evaluations were carried out at 24, 48, and 72 hours for the parameters of chlorophyll *a* fluorescence and gas exchange (also evaluated 30 days after application). 2,4-D and dicamba caused damage to the photosynthetic apparatus of plants, by reducing the net CO<sub>2</sub> assimilation rate (A), stomatal conductance (Gs), and internal concentration of CO<sub>2</sub> (Ci), affecting the photosynthetic efficiency of plants. The same behavior was observed in the variables related to energy losses by fluorescence, where values higher than those found in zero doses were observed. Negative effects were observed by the increasing doses. The simulation of drift from 25% of the recommended dose for the herbicides caused damage to the photosynthetic activity, with a reduction in the net CO<sub>2</sub> assimilation rate, stomatal conductance, the internal concentration of CO<sub>2</sub>, and also energy loss through chlorophyll *a* fluorescence for pecan plants.

**Keywords:** Chlorophyll. Photosynthesis. Chlorophyll *a* fluorescence.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Originária dos Estados Unidos da América, a noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) é uma espécie frutífera muito cultivada para produção de nozes comestíveis e, após perder seu potencial produtivo, sua madeira pode ser utilizada para confecção de móveis e para lenha (GATTO et al., 2012). Além disso, os frutos produzidos apresentam alto teor nutricional, além de proteínas e óleos que podem ser usados na indústria farmacêutica (MOORE, 2011).

No Brasil, a região Sul se destaca pela produção deste fruto, sendo o Rio Grande do Sul (RS) o maior produtor. Em 2006, a área produtiva era de 1.366 hectares e com uma produtividade estimada de 1.108 toneladas ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2006). Em 2018, a área produtiva passou para 5.720 ha, com produtividade média de 2,5 toneladas ha<sup>-1</sup> (SEAPDR, 2020), evidenciando a expansão da produção desta fruta. Essa expansão se deu principalmente pelo crescimento do consumo de nozes aliado aos múltiplos propósitos de uso da árvore como sombra aos animais em sistemas agroflorestais, ornamental e farmacêutica (MADERO; FRUSSO; BRUNO, 2012).

Para uma boa adaptação da espécie, é fundamental que a área de implantação possua solos bem drenados e profundos, pH do solo em torno de 6, mudas de qualidade, adubação equilibrada (BRUNETTO et al., 2018) e irrigação adequada. Além disso, necessita de períodos com temperatura abaixo de 7°C para entrar em dormência e depois iniciar a brotação e floração, exigências essas que são encontradas no RS (ROVANI; WOLLMANN, 2018).

Apesar do clima propício ao desenvolvimento da espécie, alguns fatores são associados às dificuldades de implantação do pomar, sendo eles a ocorrência de espécies-praga, fungos, entre outros fatores (BOSCARDIN; COSTA, 2018). Destacam-se ainda os problemas causados pela deriva de herbicidas mimetizadores de auxinas como o 2,4-D e o dicamba, que é caracterizada pelo movimento físico das gotas pulverizadas para locais fora do alvo até atingir organismos sensíveis em áreas adjacentes às lavouras (DPIRD, 2018) e tem preocupado pecanicultores.

Atualmente, no estado do RS, há obrigatoriedade de treinamento à aplicadores antes do uso de mimetizadores de auxinas. Essa exigência foi estabelecida pela Instrução Normativa 05/2019, a qual os produtores e técnicos assinam um termo de responsabilidade, estando cientes de que pode haver deriva desses produtos caso não seja feita a aplicação correta (SEAPDR, 2019). Mesmo com todas as exigências, na safra 2019/2020, foram realizadas 171 coletas de material vegetal para análise da presença de pesticidas, sendo que em aproximadamente 51% delas foi detectada a presença do herbicida 2,4-D (SEAPDR, 2020). O conhecimento dos danos

da deriva de herbicidas na fisiologia de noqueira-pecã é importante para prever a influência negativa na produção de nozes.

O modo de ação dos herbicidas mimetizadores de auxinas envolve uma série de processos, com ativação enzimática e da expressão de determinados genes. Em doses elevadas, os herbicidas mimetizadores de auxinas inibem a assimilação de carbono e as reações fotoquímicas (GROSSMANN, 2000), impedindo o transporte de elétrons para o Fotossistema II, diminuindo as concentrações de caroteno e clorofila, e aumentando a relação xantofila/caroteno, ocasionando a senescência das plantas (SAYGIDEGER; OKKAY, 2008). Desse modo, uma forma de avaliar os efeitos da deriva de herbicidas em espécies sensíveis é a análise do funcionamento do aparato fotossintético.

A aplicação de herbicidas pode afetar a taxa fotossintética das plantas sensíveis (ANDRADE et al., 2018), e, nos casos em que ocorre a deriva, resulta em decréscimo no seu crescimento e conseqüentemente, na sua produtividade. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da deriva simulada de 2,4-D e dicamba nos parâmetros fotossintéticos de mudas de noqueira-pecã.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no período de setembro de 2019 a março de 2020, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Foram utilizadas mudas de noqueira-pecã cv. Shawnee adquiridas em viveiro comercial e padronizadas com 50 cm de estatura. Foi realizada diariamente a irrigação das mesmas e mensalmente adubação nitrogenada na dose de 100 Kg ha<sup>-1</sup> de ureia.

Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 2x8, cujo fator A foi composto pelos herbicidas 2,4-D e dicamba; e o fator B por oito doses dos herbicidas, sendo elas: 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,5; 25; 50 e 100% das doses recomendadas para dessecação, consideradas de 670 g e.a ha<sup>-1</sup> e 720 g i.a ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 18 de novembro de 2019, quando as mudas estavam com as folhas totalmente expandidas, apresentando estatura média de 70 cm e diâmetro de caule médio de 6,0 mm.

Foi utilizado um pulverizador costal pressurizado CO<sub>2</sub>, munido com uma barra de 1,5 metros contendo quatro pontas do tipo XR Teejet 110.015, a pressão de 25 lbs pol<sup>-2</sup> e taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. As condições climáticas no momento da aplicação foram de 22,2°C, 67% e 9 km h<sup>-1</sup> para temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento,

respectivamente. Após a aplicação as mudas foram distanciadas entre si e alocadas em ambiente coberto e ventilado, fora da casa de vegetação, durante 24 h quando foram reconduzidas para o ambiente controlado.

As variáveis analisadas foram referentes a trocas gasosas as 24, 48 e 72 horas após a aplicação (HAA) e aos 30 dias após a aplicação (DAA); e de fluorescência da clorofila *a* as 24, 48 e 72 HAA. Para a análise de trocas gasosas foram determinadas a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática de vapores de água ( $G_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> ( $C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ ar mol}^{-1}$ ). Esses atributos foram mensurados com um medidor portátil Infra Red Gas Analyzer (IRGA), marca LI-COR, modelo LI-6400 XT, realizadas na última folha completamente expandida.

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi analisada usando fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz, Germany). Previamente, as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos para medição da fluorescência inicial ( $F_0$ ) e, posteriormente submetidas a um pulso de luz saturante ( $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) por 0,6 s, determinando-se assim a fluorescência máxima ( $F_m$ ) e fluorescência variável ( $F_v$ ).

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e O'neill-Matthews. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) com auxílio do software estatístico RStudio e do pacote ExpDes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011). Constatada significância estatística, realizou-se comparação das médias pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ), cujas respostas foram apresentadas de forma gráfica.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise da variância evidenciou interação entre os fatores para as variáveis fotossíntese líquida ( $A$ ), condutância estomática ( $G_s$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ), fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e fluorescência máxima ( $F_m$ ) em todas as avaliações realizadas.

Para a variável  $A$  das plantas de noqueira submetidas à aplicação dos herbicidas dicamba e 2,4-D, na avaliação realizada as 24 HAA, observou-se que o herbicida 2,4-D afetou a  $A$  das plantas de forma mais acentuada em comparação ao dicamba (Figura 1A). Mesmo comportamento foi observado na avaliação realizada as 48 HAA, exceto para a dose 3,125, onde o herbicida 2,4-D, ocasionou um aumento de aproximadamente 55% em relação a testemunha, e para dicamba foi de 22%, (Figura 1B), evidenciando um possível efeito de hormese (TAVARES et al., 2017). Já para a avaliação realizada as 72 HAA, pode-se observar

que para o herbicida dicamba, na dose de 3,125, houve aumento de aproximadamente 66% no valor de A em relação a testemunha. Enquanto para o herbicida 2,4-D, houve redução de 66% nos valores de A (Figura 1C). Isso pode ser explicado pelo fato de que após 72 horas, as plantas tratadas com herbicidas mimetizadores de auxina se encontram na chamada fase de declínio, onde ocorre a ruptura dos cloroplastos e das membranas do sistema vascular, além de ocorrer o início de clorose e necrose dos tecidos (GROSSMANN, 2009).

Nas avaliações realizadas as 72 HAA e aos 30 DAA, os valores de A obtidos para 100% da dose dos herbicidas indicaram redução de cerca de 30,7 e 38,4% para 2,4-D e dicamba, respectivamente, em relação a testemunha (Figuras 1C e D), confirmando a sensibilidade da noqueira-pecã aos herbicidas testados. Observou-se, todavia, que aos 30 DAA o 2,4-D ocasionou maior redução na A comparativamente ao dicamba, corroborando que o primeiro tem maior potencial de interferir negativamente na fotossíntese da noqueira-pecã.

Ainda assim, aos trinta dias após a aplicação dos tratamentos as plantas começaram a se recuperar dos danos causados pelos herbicidas nas doses até 25%. Os dados obtidos demonstraram que o herbicida 2,4-D causou maiores danos a fotossíntese da planta quando comparado ao dicamba. Também foi possível verificar que 30 dias após a aplicação, as plantas que receberam até a dose de 25% estavam se recuperando do estresse causado pelos herbicidas. Resultado semelhante foi encontrado por Yamashita et al., (2017) e Tavares et al., (2017), onde após a aplicação de glifosato e 2,4-D, respectivamente, os sintomas causados por eles desapareceram passados 15 dias da aplicação. Isso comprova que em menores doses, há a recuperação das plantas tratadas com herbicidas.

A hormese ocorre quando, em doses baixas, uma substância considerada prejudicial, estimula o desenvolvimento da planta (CALABRESE e BALDWIN, 2002; TAVARES et al., 2017), como no caso do 2,4-D. As auxinas naturais induzem o crescimento através do alongamento celular e os sintomas induzidos nas plantas pelos herbicidas mimetizadores de auxina são semelhantes àqueles observados por doses exógenas altas da auxina natural, ácido indol acético (AIA), onde em doses baixas, promove o crescimento das plantas, enquanto em altas doses promove o crescimento excessivo destas (GROSSMANN, 2010), levando a planta a morte.

Para a variável Ci na avaliação realizada as 24 horas, foi observada maior diminuição dos valores na dose de 50% de ambos os herbicidas (Figura 2A). Já nas avaliações de 48 e 72 HAA, para o herbicida 2,4-D, em geral pode-se observar que houve maior redução dos valores de Ci para as doses de 50 e 100% (Figura 2B e C). As plantas tratadas com o herbicida dicamba por sua vez, demonstraram incremento na Ci para as diferentes doses do herbicida as 48 e 72

HAA horas, sugerindo menor estresse que a aplicação de 2,4-D sobretudo nas doses 50 e 100%, onde verificou-se diferença entre os mesmos (Figura 2B e C).

Para o herbicida 2,4-D aos 30 DAA as plantas ainda demonstravam valores muito baixos de  $C_i$  nas maiores doses, evidenciando o efeito durador desse herbicida (Figura 2D). A partir disso, pode-se inferir que as plantas tratadas com o herbicida 2,4-D estão sob estresse, uma vez que, com os estômatos fechados, há menor fluxo de  $CO_2$  e  $O_2$  dentro da célula diminuindo suas concentrações e, conseqüentemente, a taxa fotossintética. Avaliar a  $C_i$  de uma planta é importante pois através dela é possível inferir como a planta está aproveitando o  $CO_2$  fixado durante a fotossíntese, onde, na ausência de estresses, há uma alta concentração deste elemento, garantindo uma alta taxa fotossintética e alta produtividade (TAIZ; ZEIGER, 2006; DALASTRA et al., 2014), deste modo, pode-se inferir que o herbicida 2,4-D causou maior estresse as plantas após a ocorrência de deriva, sendo responsável pela diminuição da fotossíntese e conseqüentemente da produtividade da planta a longo prazo.

Para a  $G_s$  o comportamento foi semelhante ao encontrado nas variáveis A e  $C_i$ , onde a simulação de deriva do herbicida 2,4-D foi o responsável pelos menores valores em comparação ao Dicamba, evidenciado as 72 HAA e 30 DAA (Figura 3B e 3C). Valores maiores de  $G_s$  para o dicamba foram encontrados nas doses de até 25%, mas à medida que as doses aumentaram, a condutância estomática das plantas diminuiu. Tal constatação demonstra que os herbicidas aplicados afetaram a capacidade fotossintética das plantas de noqueira-pecã. O fechamento estomático em resposta a aplicação dos herbicidas pode se dar em função destes atuarem em diversos processos fisiológicos das plantas fazendo com que sinais químicos sejam gerados resultando no fechamento dos estômatos, e com isso diminuindo a aquisição do  $CO_2$  para o processo fotossintético.

É possível inferir que o herbicida 2,4-D promoveu maiores danos ao aparato fotossintético das plantas de noqueira-pecã, em função das menores A,  $C_i$  e  $G_s$  nas doses acima de 25% (Figuras 1, 2 e 3). No geral, as plantas de noqueira-pecã possuíram maior capacidade de recuperação da taxa de assimilação líquida quando ocorreu deriva do dicamba comparado ao 2,4-D. Diminuições nos valores de fotossíntese líquida são comuns quando ocorrem danos no aparato fotossintético das plantas. A menor condutância estomática acarreta em menor captura do  $CO_2$  pelas plantas, menor concentração interna de  $CO_2$ , resultando na diminuição da assimilação deste pelas plantas para converter em fotoassimilados, e conseqüentemente no crescimento das plantas. Da mesma maneira, diminuem a eficiência instantânea da carboxilação da rubisco que é responsável pela fixação de  $CO_2$  nas plantas, e em função da indisponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a rubisco (SILVA, et al., 2015), comprometendo a

eficiência fotossintética. Caso não haja  $\text{CO}_2$  suficiente nas células do mesófilo, a planta passa a utilizar o resultante da respiração para manter o nível de fotossíntese, tornando-a limitada (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para o parâmetro fluorescência inicial ( $F_0$ ), a análise realizada as 24 HAA evidenciou que ambos os herbicidas apresentaram valores superiores aos encontrados nas testemunhas aumentando proporcionalmente às doses aplicadas (Figura 6A). Foi possível observar também que os maiores valores foram obtidos quando aplicado o herbicida dicamba. Na avaliação realizada as 48 HAA, a dose de 3,125% de ambos os herbicidas apresentou valores superiores aos das testemunhas, as demais, mantiveram-se abaixo dessas (Figura 6B), sendo que, as plantas que tiveram os menores valores de  $F_0$ , em geral, foram as que receberam os tratamentos com o herbicida 2,4-D.

Para a avaliação realizada as 72 HAA, observou-se que as plantas que receberam as doses do herbicida 2,4-D apresentaram  $F_0$  inferior a testemunha sendo possível observar que a partir da subdose de 25%, houve um decréscimo significativo dos valores. Já o herbicida dicamba ocasionou o aumento dos valores de  $F_0$  quando da aplicação das subdoses, sendo que o aumento foi gradativo conforme o aumento das mesmas (Figura 6C). Valores elevados de  $F_0$  indicam que a energia luminosa que deveria ser utilizada na etapa fotoquímica da fotossíntese, está sendo dissipada em forma de fluorescência, diminuindo a formação de ATP e NADPH (TAIZ; ZEIGER, 2015). De acordo com os resultados obtidos neste estudo, a deriva simulada destes dois herbicidas, acarretou em perdas na etapa fotoquímica da fotossíntese.

Para a  $F_v$ , na avaliação realizada as 24 HAA os valores mais altos foram observados quando aplicado o herbicida 2,4-D, sendo que esse aumento foi proporcional ao aumento da dose. Para o herbicida dicamba, o valor obtido na subdose de 3.125% foi superior a testemunha e as demais subdoses utilizadas, (Figura 7A). Na comparação em cada dose entre os herbicidas, observou-se que o 2,4-D ocasionou maior redução da  $F_v$  em comparação ao dicamba.

Na análise realizada as 48 HAA, observou-se que as plantas tratadas com os herbicidas, nas subdoses de 6.25, 12 e 25% o herbicida 2,4-D ocasionou maior  $F_v$  comparado ao dicamba. Para o herbicida dicamba, as doses de 3,15 e 100% ocasionaram maior  $F_v$ , enquanto, para o 2,4-D as plantas apresentaram valores elevados de  $F_v$  até a subdose de 25%, (Figura 7B).

Aos 72 HAA, o herbicida 2,4-D teve valores elevados de  $F_v$  nas subdoses de 6.25, 50 e 100%, sendo o pico encontrado na subdose de 6.25%, onde o aumento foi de aproximadamente 83%. Para o herbicida dicamba, houve aumento da variável  $F_v$  à medida que aumentou a dose de simulação deriva nas plantas (Figura 7C). Esses resultados evidenciam que o herbicida 2,4-D age mais rapidamente no aparato fotossintético da planta, uma vez que nas análises realizadas

as 24 HAA, já foi possível observar que as plantas estavam sob estresse. Já o herbicida dicamba, passou a agir de forma mais acentuada 3 dias após a aplicação (72 HAA).

Para  $F_m$ , a avaliação realizada as 24 HAA evidenciou que ambos os herbicidas tiveram comportamento semelhante, onde conforme o aumento das doses aplicadas, houve o aumento dos valores de  $F_m$  (Figura 8A). Para a avaliação realizada as 48 HAA, as doses de 6.25 e 12.5% do herbicida 2,4-D ocasionaram aumento da  $F_m$  nas plantas em comparação a testemunha. As demais doses de ambos os herbicidas não tiveram variação dos valores (Figura 8B). Já para a avaliação realizada as 72 HAA, observou-se o aumento significativo dos valores de  $F_m$  conforme o aumento da subdose do herbicida 2,4-D. Para o herbicida dicamba, verificou-se que as subdoses de 3.125 e 6.25 foram as responsáveis pelos valores mais elevados de  $F_m$ , as demais subdoses apresentaram valores muito próximos aos das testemunhas (Figura 8C).

A fluorescência da clorofila *a* é utilizada para avaliar as perdas de energia excedente que ocorrem pela dissipação da mesma. Essa dissipação ocorre após uma parte ser absorvida pelos pigmentos fotossintéticos e utilizada na fotossíntese. Sendo assim, ao avaliar os valores das variáveis relacionadas a clorofila *a*, é possível avaliar se há ou não danos ao aparato fotossintético das plantas após sofrerem algum estresse. Valores elevados das variáveis relacionadas a fluorescência das plantas ( $F_0$ ,  $F_v$  e  $F_m$ ) indicam perdas de luminosidade através da fluorescência, tendo uma menor concentração de pigmentos fotossintéticos nos cloroplastos das plantas (HAZRATI et al., 2016). Os valores obtidos para todas as variáveis indicam que as plantas estavam sob estresse após as aplicações das subdoses dos herbicidas 2,4-D e dicamba, e ao invés de utilizar a energia luminosa para realizar a fotossíntese, a mesma foi dissipada por meio da fluorescência, diminuindo assim a produção de NADPH e ATP e consequentemente, o crescimento da espécie (KRAUSE; WEIS, 1991).

Os dados obtidos nas análises realizadas evidenciaram que, por mais que sejam do mesmo grupo, os herbicidas 2,4-D e dicamba atuam de maneiras diferentes nas plantas. O herbicida 2,4-D atua nas variáveis relacionadas as trocas gasosas e o dicamba nas variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a*. Isso pode ser explicado pelo fato de que, após a aplicação, o herbicida 2,4-D atua nas primeiras fases do processo de desregulação do crescimento, a de estimulação e inibição, que ocorrem até 24 HAA, onde é possível observar que na fase I ocorre a formação de etileno e acúmulo de ácido absísico (ABA) nas membranas, e na fase II, há o fechamento estomático, com posterior redução da transpiração e fixação de carbono (GROSSMANN, 2009), havendo a produção de espécies reativas de oxigênio (EROS), responsáveis por desencadear danos moleculares (CHEN et al., 2009). E por fim após a aplicação das auxinas, observa-se a senescência foliar com danos nos cloroplastos, clorose

progressiva e diminuição dos níveis de pigmentos fotossintéticos; desestabilização da integridade de membranas e do sistema vascular, levando ao murchamento, necrose e morte da planta.

Já o herbicida dicamba desencadeia maiores perdas de energia luminosa a partir da fase III (72 HAA), também chamada de fase de declínio. Nessa fase ocorre a morte celular e a ruptura dos cloroplastos e membranas, ficando evidente nas plantas manchas cloróticas seguidas do aparecimento de manchas necróticas (GROSSMANN, 2009). Os dados obtidos neste estudo vão de encontro aos obtidos por outros pesquisadores, onde as aplicações de herbicidas diminuíram os parâmetros fotossintéticos em abacaxizeiro (CRUZ et al., 2014), mandioca (FERREIRA et al., 2015) e algodão (MARQUES et al., 2020).

### 3.4 CONCLUSÃO

A partir da dose de 25% houve efeito negativo após a aplicação do herbicida 2,4-D para as variáveis relacionadas a trocas gasosas. Para A, Gs e Ci o herbicida 2,4-D apresentou valores aproximadamente 30% menores quando comparados a testemunha em todas as avaliações realizadas. Para o herbicida dicamba, houve uma diminuição de aproximadamente 15% a partir da avaliação realizada as 72 HAA para A, Gs e Ci.

Já para as variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a* (F0, Fv e Fm), a aplicação do herbicida dicamba resultou em valores mais elevados para as variáveis F0 e Fv nas avaliações realizadas as 48 e 72 HAA a partir da dose de 12.5%. Já as plantas tratadas com o herbicida 2,4-D apresentaram valores de Fm mais elevados quando em comparação com as que receberam o herbicida dicamba. Esse aumento foi mais pronunciado a partir da dose de 25%.

Os herbicidas mimetizadores de auxinas 2,4-D e o dicamba, afetam de forma negativa a fotossíntese das plantas de noqueira. Sendo que, o herbicida 2,4-D foi o que ocasionou maiores danos nas variáveis de trocas gasosas das plantas, e o dicamba, foi responsável pelas maiores perdas de energia através das variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a*.

### 3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. L. L. et al. Uso de bioestimulantes na reversão de injúria de glyphosate no milho convencional. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 4, e593, 2018.

BOSCARDIN, J.; COSTA, C. E. A noqueira-pecã no Brasil: uma revisão entomológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 456-468, 2018.

BRUNETTO, G. et al. Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado. In: TIECHER, T. (Org). Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando à conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS. p. 141-158, 2016.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics. **Trend sim Pharmacological Sciences**, v. 23, n. 7, p. 331-337, 2002.

CHEN, J. et al. Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Pteris vittata* and *Nephrolepis exaltata*. **Ecotoxicology**, v. 18, n. 1, p. 110-121, 2009.

CRUZ, L. I. B. et al. Eficiência quântica do fotossistema II de mudas de abacaxizeiro 'imperial' em resposta a associação com *Piriformospora indica* e herbicidas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p. 794-804, 2014.

DALASTRA, G. M. Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com um e dois frutos por planta. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 365- 371, 2014.

DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES AND REGIONAL DEVELOPMENT-DPIRD. Agriculture and food. **Herbicides**. Disponível em: <https://www.agric.wa.gov.au/herbicides/herbicides?page=0%2C5>. Acesso em: 27 de março de 2020.

FERREIRA, E. A. et al. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 645-656, 2015.

FERREIRA, E. A. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 645-656, 2015.

GATTO, D. A. et al. Segregação do lenho de noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) pela variação radial da massa específica básica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, pp. 838-843, 2012.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Manag Sci**, v.66, p113–120, 2010.

GROSSMANN, K. Mode of action of auxin herbicides: a new ending to a long, drawn out story. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 12, p. 506-508, 2000.

HAZRATI, S. et al. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 141–148, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário-2006**. Tabelas 73, 1612 e 1613. Rio de Janeiro: 2006. Disponível em:<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=t&o=1&i=P>. Acesso em: 14 de maio de 2020.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, n. 1, p. 313–349, 1991.

MADERO, E. R.; FRUSSO, E. A.; BRUNO, N. R. **Desarrollo del cultivo de la nuez pecan em la Argentina**. ProPecan. Argentina: INTA, 2012.

MARQUES, R. F. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D sal colina na eficiência quântica do fotossistema II do algodoeiro. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 2, p. 60-71, 2020.

MOORE, L. M. **Pecan**. National Plant data Center. Baton Rouge, Louisiana, 2011.  
Disponível em: [http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs\\_cail.pdf](http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_cail.pdf). Acesso em: 14 de abril de 2020.

ROVANI, F. F. M.; WOLLMANN, C. A. Análise sazonal e anual dos requisitos climáticos do cultivo da noqueira pecã (*Carya illinoensis*) no Rio Grande do Sul. **Geosp- Espaço e Tempo** (Online), v. 22, n. 1, p. 191-209, 2018.

SAYGIDEGER, S. D.; OKKAY, O. Effect of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on growth, protein and chlorophyll-a content of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* cells. **Journal of Environmental Biology**, v. 29, n.2, p. 175-178, 2008.

SEAPDR - Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Agricultura estabelece regras para aplicação de agrotóxicos para evitar deriva**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/agricultura-estabelece-regras-para-aplicacoes-de-agrotoxicos-para-evitar-deriva>>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

SEAPDR - Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Emater/RS- Ascar atualiza dados da Fruticultura no RS**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/emater-rs-ascar-atualiza-dados-da-fruticultura-no-rs>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

SEAPDR - Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Levantamento constata deriva de 2,4-D em 87,13% das amostras na safra atual**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/levantamento-constata-deriva-de-2-4-d-em-87-13-das-amostras-na-safra-atual>>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**, Sinauer Associates Incorporated, Ed. 6. 2015.

TAVARES, C. J. et al. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, 2017.

YAMASHITA, O. M. Interferência de subdoses de glyphosate no desenvolvimento de plantas jovens de nim. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 6, p. 163-168, 2017.

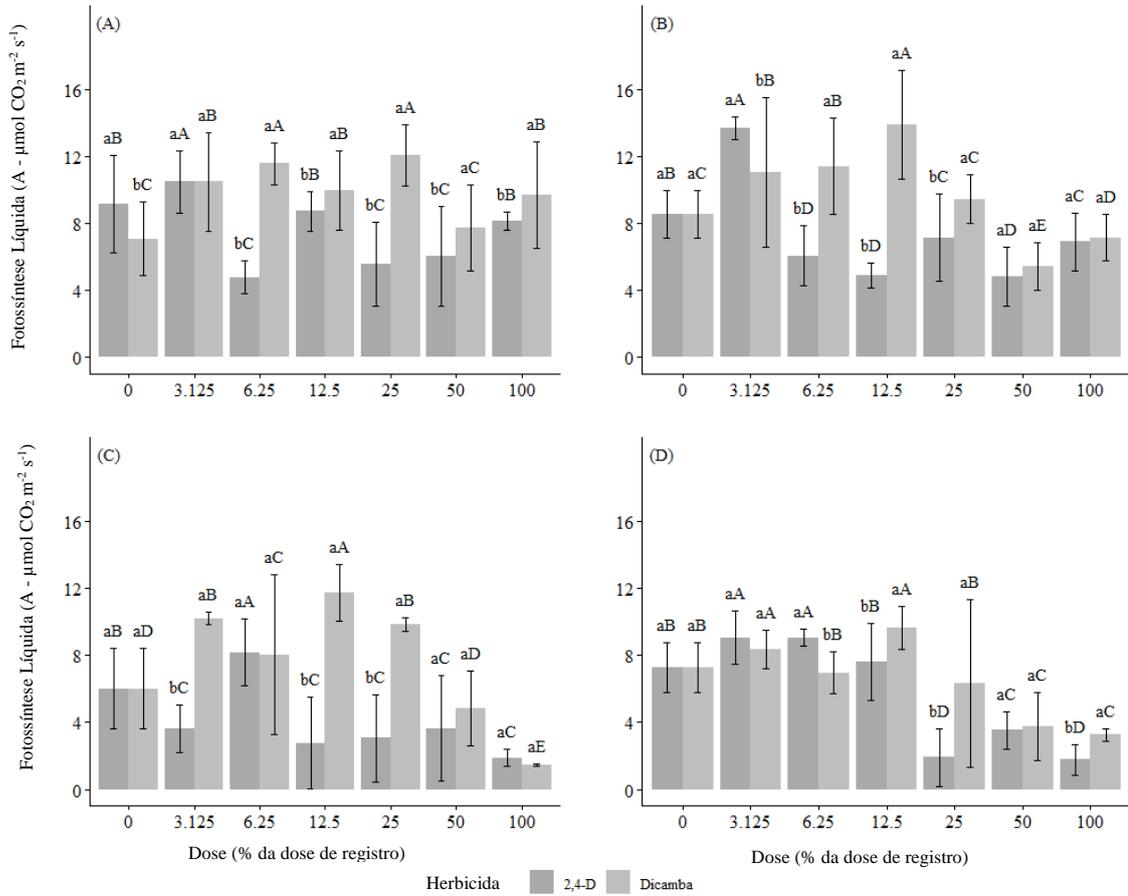


Figura 1: Fotossíntese líquida realizada as 24 (A), 48 (B), 72 (C) horas e 30 (D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ )

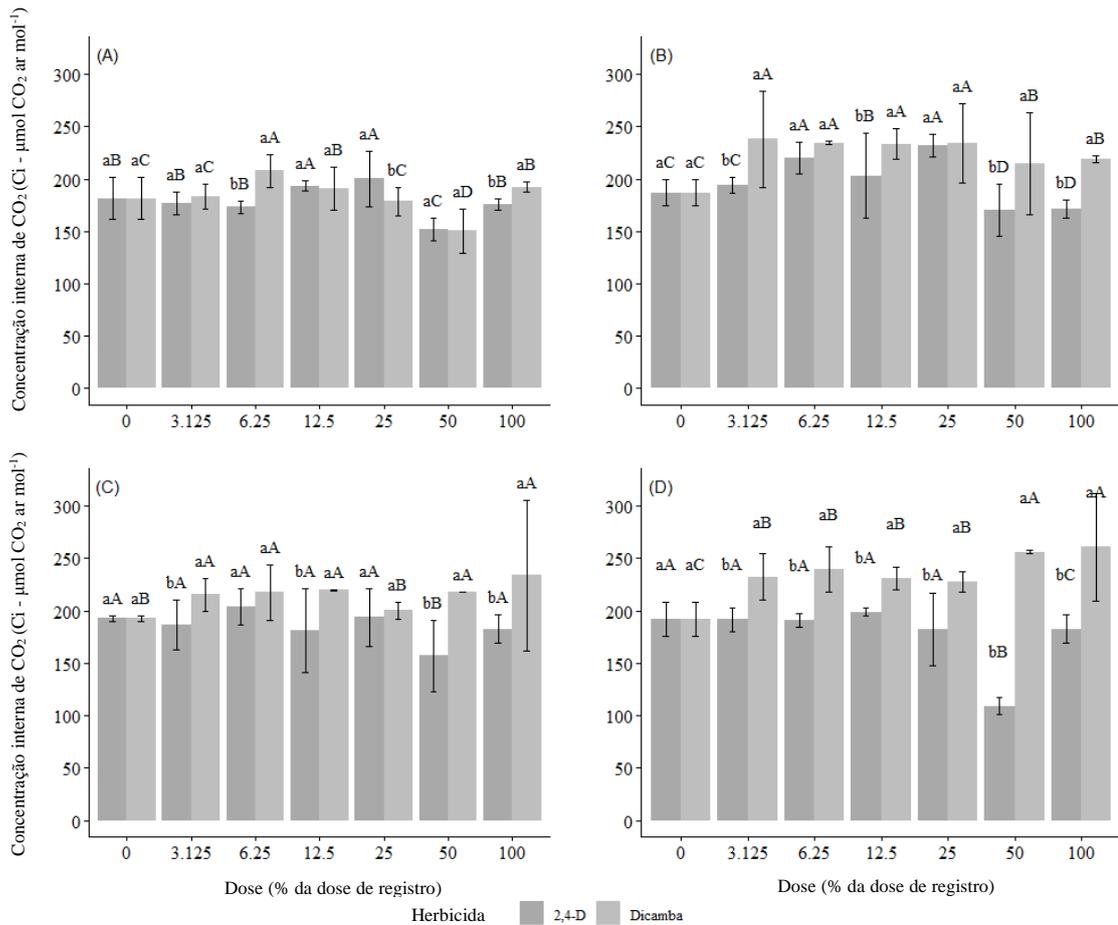


Figura 2: Concentração interna de CO<sub>2</sub> medida as 24 (A), 48 (B), 72 (C) horas e 30 (D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).

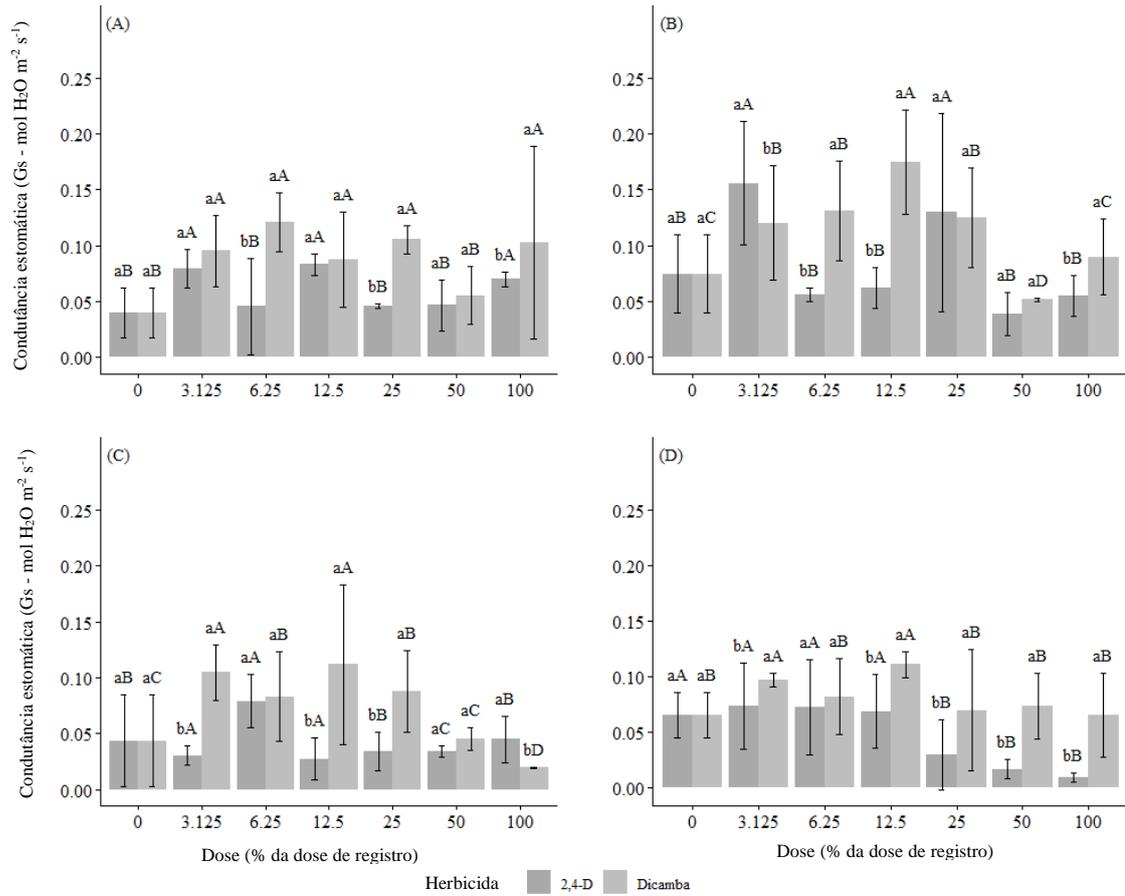


Figura 3: Condutância estomática medida as 24 (A), 48 (B), 72 (C) horas e 30 (D) dias após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de nogueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).

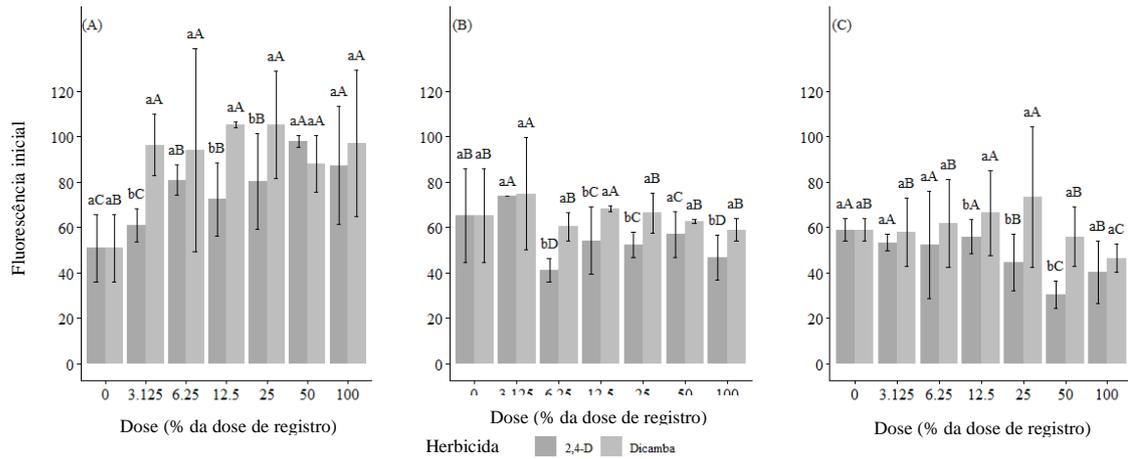


Figura 4: Fluorescência Inicial (F<sub>0</sub>) medida as 24 (A), 48 (B) e 72 (C) horas após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).

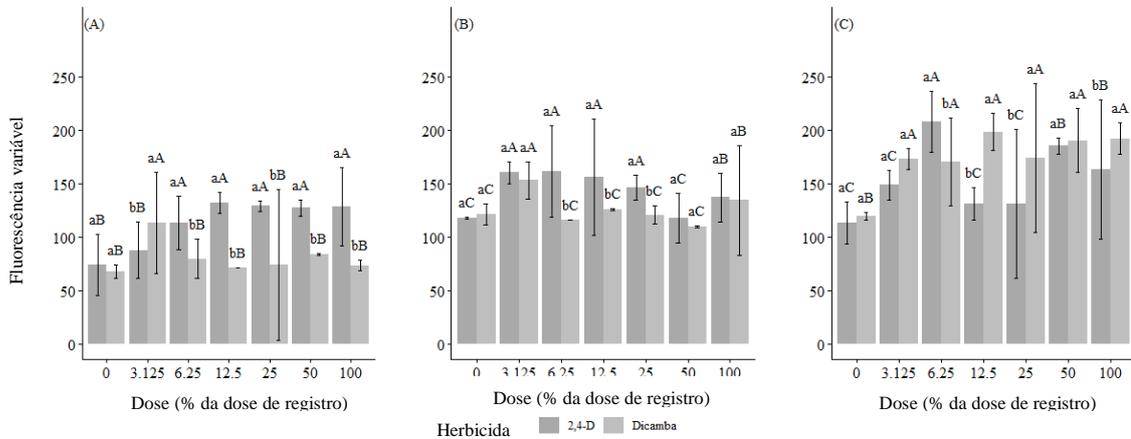


Figura 5: Fluorescência Variável (F<sub>v</sub>) medida as 24 (A), 48 (B) e 72 (C) horas após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de noqueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).

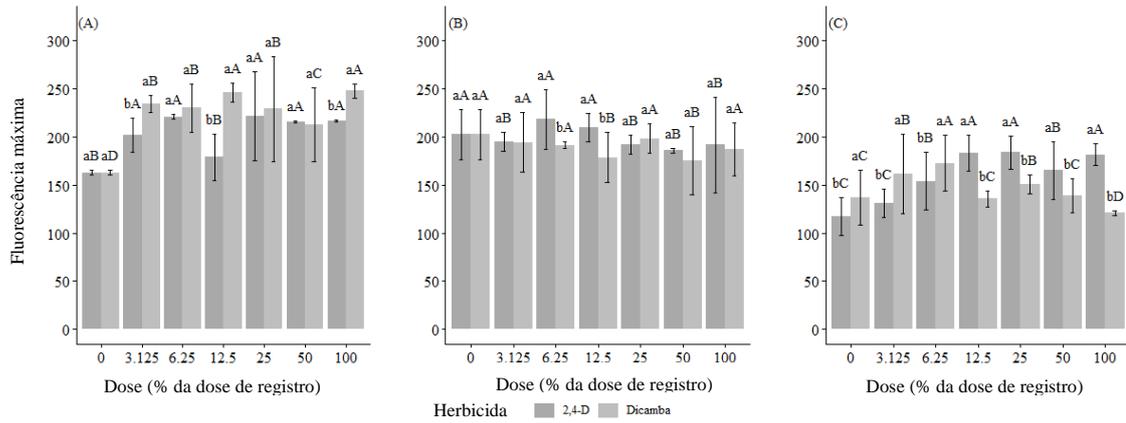


Figura 6: Fluorescência Máxima (Fm) medida as 24 (A), 48 (B) e 72 (C) horas após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de nogueira-pecã. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).

#### **4. ARTIGO III- Como a deriva simulada de 2,4-D e dicamba interfere nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* de oliveira (*Olea europaea* L.)?**

##### **RESUMO**

O cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.) no Sul do Brasil tem enfrentado problemas de deriva de herbicidas nas áreas próximo àquelas de produção de grãos. Diante disso, o objetivo foi avaliar a influência da deriva simulada dos herbicidas 2,4-D e dicamba sobre a fisiologia de mudas de oliveira. Para isso, foram aplicadas 8 doses, sendo elas 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,0; 25,0%; 50,0; e 100% das doses recomendadas para dessecção dos herbicidas 2,4-D (670 g e.a ha<sup>-1</sup>) e dicamba (720 g i.a ha<sup>-1</sup>). As aplicações foram realizadas em mudas com 80 cm de altura com auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub> com volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>. Avaliaram-se variáveis para trocas gasosas das plantas através de um medidor portátil Infra Red Gas Analyzer (IRGA), marca LI-COR, modelo LI-6400 XT e variáveis relacionadas à fluorescência de clorofila *a* com o auxílio de um fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz, Germany). A aplicação de ambos herbicidas ocasionou diminuição no processo de assimilação de CO<sub>2</sub> das plantas, reduzindo as variáveis A e Gs. O herbicida 2,4-D foi o que provocou os efeitos mais severos. O mesmo foi observado para as variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a*, onde a relação FV/FM apresentou valores baixos após a aplicação dos herbicidas, mas neste caso, sendo o dicamba o mais prejudicial. Conclui-se que a deriva simulada de ambos herbicidas resultou em danos ao aparato fotossintético das plantas de oliveira.

Palavras-chave: herbicida; fotossíntese líquida; condutância.

**ABSTRACT****How does 2,4-D and dicamba simulated drift interfere on gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of olive (*Olea europaea* L.)?**

Olive (*Olea europaea* L.) cultivation in southern Brazil has faced herbicide drift problems in areas near grain production. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of simulated drift of 2, 4-D and dicamba herbicides on the physiology of olive seedlings. Correspondingly, eight doses were applied: 0; 1.56; 3.125; 6.25; 12.0; 25.0%; 50.0; and 100% of the recommended dosage for desiccation of the herbicides 2,4-D (670 g ae ha<sup>-1</sup>) and dicamba (720 g ae ha<sup>-1</sup>). Applications were performed on seedlings 80 cm high using CO<sub>2</sub> pressurized backpack sprayer with a spray volume of 150 L ha<sup>-1</sup>. Gas exchange variables were evaluated using a portable LI-COR InfraRed Gas Analyzer (IRGA), model LI-6400 XT, and chlorophyll *a* fluorescence variable using a portable modulated light fluorometer (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz, Germany). The application of the herbicides caused a decrease in the CO<sub>2</sub> assimilation process of the plants, reducing the A and Gs variables. The 2,4-D herbicide caused the most severe effects. The same behavior was observed for the variables related to chlorophyll *a* fluorescence, where the Fv/Fm ratio showed low values after the application of herbicides but, in this case, dicamba was the most harmful. Finally, it was concluded that the simulated drift of the herbicides resulted in damage to the photosynthetic apparatus of olive plants.

**Keywords:** herbicide; net photosynthesis; conductance.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Pertencente à família Oleaceae, a oliveira (*Olea europaea* L.) é conhecida mundialmente pela produção de azeitonas, que podem ser consumidas tanto em conserva quanto na forma de azeite (CAVALHEIRO et al., 2014). Introduzida no estado do Rio Grande do Sul em meados de 1948, atualmente a cultura está presente em aproximadamente 5,7 mil ha (EMATER, 2020). No âmbito mundial, a Espanha se destaca como maior produtora de azeitona, totalizando 2,6 milhões de ha cultivados (FAOSTAT, 2019).

Essa cultura apresenta-se como promissora para o país em função de o Brasil ter importado cerca de 100 mil toneladas de azeitona de mesa e cerca de 50 mil toneladas de azeite nos anos de 2015 e 2016, evidenciando a alta demanda do produto (COI, 2016). Essa alta demanda deve-se principalmente por estudos demonstrarem que a azeitona contém substâncias importantes para a saúde do consumidor, tais como ácidos graxos insaturados, vitaminas e compostos fenólicos, sendo esses também presentes no azeite de oliva (RIACHY et al., 2011). Dessa forma, com o aumento da produção no país, os custos com importação serão reduzidos, além de aumentar o preço pago ao produtor.

A oliveira é oriunda do mediterrâneo, sendo o clima um fator determinante na escolha dos locais para o plantio, uma vez que influencia diretamente na floração, polinização, maturação e qualidade dos frutos (WREGGE et al., 2015). Para a espécie, a exigência pluviométrica é em torno de 700 mm ao ano, e temperaturas médias em torno de 25-35°C para frutificação (FILLIPINI ALBA et al., 2013). Além disso, é necessário que ocorra o acúmulo de horas de frio para que a oliveira saia do período de dormência e ocorra a plena brotação (TAPIA et al., 2003). Desta forma, o estado do RS possui todos os requisitos necessários para o cultivo da espécie, constituindo-se o maior produtor brasileiro.

No entanto, o uso de herbicidas mimetizadores de auxina em lavouras de grãos tem gerado outro problema grave aos pomares, em função da ocorrência de deriva. A deriva ocorre quando parte do produto aplicado desvia sua rota e atinge áreas vizinhas de onde foi realizada a aplicação (GODINHO JÚNIOR et al., 2017) e normalmente ocorre quando a pulverização é realizada em horários muito quentes, com baixa umidade relativa do ar e velocidade do vento acima de 6 km h<sup>-1</sup>. Atualmente, as reclamações decorrentes de problemas de deriva atingindo os cultivos da oliveira são frequentes principalmente após a aplicação de herbicidas mimetizadores de auxina, como o 2,4-D e o dicamba, que são utilizados em lavouras de grãos para dessecação e controle de plantas daninhas resistentes, principalmente ao herbicida glifosato (ROBINSON et al., 2012). Em plantas sensíveis, os mimetizadores de auxina causam

anomalias no seu crescimento, sendo os sintomas mais comuns a epinastia de ramos e o conchamento de folhas podendo levar a planta a morte (FAGLIARINI et al., 2005).

A questão da deriva no RS é um assunto bastante recorrente, uma vez que na safra de 2019/2020 coletas de material vegetal em pomares do RS para análise da presença de pesticidas evidenciou recorrente presença do herbicida 2,4-D (SEAPDR, 2020). Em face da sensibilidade das espécies frutíferas a esse grupo herbicida, há preocupação por parte dos proprietários de pomares próximos a áreas produtoras de grãos.

Pelo motivo exposto acima, durante a safra 2020/2021 a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR) autuou cerca de 600 produtores, profissionais e empresas pelo mau uso de herbicidas mimetizadores de auxina. Isso demonstra que, embora haja obrigatoriedade de treinamento e instruções normativas acerca do assunto (IN 05/2019), a deriva ainda vem causando problemas aos pomares gaúchos. Para tanto, pouco se conhece sobre os efeitos da deriva dos herbicidas 2,4-D e dicamba sob o crescimento e desenvolvimento de plantas de oliveira, deste modo, objetivou-se com esse trabalho avaliar a influência da deriva simulada dos herbicidas 2,4-D e dicamba sob a fisiologia de mudas de oliveira.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no período de julho de 2019 a fevereiro de 2020. Foram utilizadas mudas de oliveira cv. Koroneiki, padronizadas com 50 centímetros de estatura. As mudas foram transplantadas para vasos com capacidade para 7 litros contendo solo devidamente peneirado e adubado com 100, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K por vaso, respectivamente, seguindo recomendações de adubação para a espécie. Após, foram mantidas em casa de vegetação e aclimatadas durante 60 dias até as plantas atingirem em média 80 cm de estatura e 4 mm de diâmetro de caule.

A irrigação foi realizada diariamente, onde manteve-se o solo com 75% da capacidade de retenção de água. Para essa determinação, realizou-se a pesagem do solo seco, saturou-se com água, e após foi realizada nova pesagem onde definiu-se o peso de cada vaso (KÄMPF et al., 2006). A determinação da necessidade de irrigação foi realizada com auxílio de uma balança, onde cada vaso era pesado diariamente e adicionado água até atingir o peso para elevar o conteúdo de água no solo, caso necessário. Mensalmente realizou-se a complementação da adubação, onde utilizou-se ureia na dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2x8, cujo fator A foi composto

pelos herbicidas 2,4-D e dicamba; enquanto o fator B foi composto por 8 doses dos herbicidas, sendo elas: 0; 1,56; 3,125; 6,25; 12,5; 25; 50 e 100% das doses recomendadas para dessecação em áreas de produção de grãos, consideradas de 670 g e.a ha<sup>-1</sup> e 720 g e.a ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 18 de novembro de 2019, com auxílio de pulverizador costal pressurizado CO<sub>2</sub>, munido com uma barra de 1,5 metros contendo quatro pontas do tipo XR Teejet 110.015, a pressão de 25 lbs pol<sup>-2</sup> e taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. As condições climáticas no momento da aplicação foram de 22,2°C, 67% e 2,5 m s<sup>-1</sup> para temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, respectivamente.

Após as aplicações, as mudas foram distanciadas entre si e alocadas em ambiente fora da casa de vegetação por 24 h, quando foram reconduzidas para o ambiente controlado. As variáveis analisadas foram referentes a trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a* as 24, 48 e 72 horas após a aplicação (HAA), além da avaliação aos 30 dias após a aplicação (DAA) para a avaliação de trocas gasosas. Para a análise de trocas gasosas foram determinadas a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A - μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática de vapores de água (Gs - mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci - μmol CO<sub>2</sub> ar mol<sup>-1</sup>), taxa transpiratória (E - mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), eficiência do uso da água (EUA - mol CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>) obtida pela relação entre A e E. Esses atributos foram mensurados com um medidor portátil Infra Red Gas Analyzer (IRGA), marca LI-COR, modelo LI-6400 XT, realizadas nas folhas do terço superior das plantas. Os parâmetros de radiação e concentração de CO<sub>2</sub> no interior da câmara de avaliação foram previamente determinados através de curvas crescentes em que se observou maior taxa fotossintética nos valores de 2000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 400 μmol mol<sup>-1</sup> para a radiação fotossintética e concentração de CO<sub>2</sub>, respectivamente.

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi analisada usando fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz, Germany). Previamente, as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos para medição da fluorescência inicial (F<sub>0</sub>) e, posteriormente submetidas a um pulso de luz saturante (10.000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) por 0,6 s, determinando-se assim a fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), o rendimento quântico máximo (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) do fotossistema II (PSII) e fluorescência variável (F<sub>v</sub>).

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e O'neill-Matthews. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (p≤0,05) com auxílio do software estatístico RStudio e do pacote ExpDes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011). Constatada significância estatística, realizou-se comparação das médias pelo teste de Scott-Knott (p≤0,05).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores para as variáveis fotossíntese líquida (A) em todas as análises realizadas, para condutância estomática (Gs) apenas a análise realizada as 48 HAA. A variável concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) teve efeito simples de dose nas análises realizadas as 24 e 48 horas após a aplicação, e nesta última, também se obteve efeito simples de herbicida.

Para fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), efeito simples de dose as 24 HAA e herbicida as 24 e 48 HAA. Para a fluorescência variável (Fv), apenas a análise realizada às 24 HAA obteve efeito simples para ambos os fatores. Já a fluorescência máxima (Fm) apresentou efeito simples de herbicida apenas na análise das 48 HAA. Já o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) teve efeito de dose em todas as análises realizadas e de herbicida apenas para 24 e 48 HAA.

Para A, na avaliação realizada as 24 HAA, em geral, houve aumento dos valores para ambos os herbicidas conforme o aumento da dose dos mesmos, comparativamente à dose zero (Figura 1A). Na avaliação realizada as 48 HAA, a aplicação de ambos herbicidas resultou em diminuições nos valores de A em relação a testemunha, sendo mais pronunciada para o herbicida 2,4-D (Figura 1B). Nas demais avaliações, para o herbicida 2,4-D, o mesmo padrão de diminuição se manteve, sendo que passados 30 dias da aplicação as plantas que receberam doses acima de 12.5% ainda estavam sendo prejudicadas pela sua ação (Figura 1D). Entretanto, observou-se que para o herbicida dicamba aos 72 HAA houve diminuição dos valores de A para as plantas que receberam doses acima de 25% (Figura 1C). O mesmo comportamento de diminuição foi verificado quando aplicado em plantas de trigo, onde os valores de A diminuíram cerca de 51% em relação ao controle (AGOSTINETTO et al., 2016). Isso demonstra que as plantas de oliveira são extremamente sensíveis aos danos causados pelo herbicida 2,4-D.

Para a variável Gs, a avaliação realizada as 48 HAA evidenciou que as plantas que receberam doses acima de 12.5% do herbicida 2,4-D, tiveram os valores de Gs diminuídos em cerca de 60% quando comparados aos das testemunhas, não havendo tal efeito quando da aplicação de dicamba (Figura 1D). Para a avaliação realizada 72 HAA, houve efeito simples de dose, onde independente do herbicida aplicado, doses a partir de 6.25% causaram estresse as plantas, diminuindo os valores de condutância estomática (Figura 3A). A aplicação de herbicidas resulta em valores baixos de Gs (TORRES et al., 2012), uma vez que promovem o fechamento estomático, resultando em menor fluxo de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> para dentro das células, diminuindo, conseqüentemente, a fotossíntese da planta. Aos 30 DAA, no entanto, as plantas que receberam aplicação do herbicida 2,4-D apresentaram queda nos valores de Gs a partir da

dose de 25%, nas demais, houve incremento do valor, entendendo-se que houve recuperação das plantas após esse período.

Na figura 2, para a variável taxa de transpiração (E) foi possível observar que nas avaliações realizadas as 48 e 72 HAA houve diminuição dos valores a partir da dose de 12.5% dos herbicidas, evidenciando que as plantas diminuíram sua transpiração após o fechamento estomático na planta, uma vez que ambas variáveis estão intimamente ligadas (ALVES, et al., 2019). Desta forma, quanto maior a dose do herbicida aplicada, menores serão os valores obtidos de E.

Os herbicidas mimetizadores de auxina levam em média 3 semanas para causar a morte das plantas daninhas, porém, plantas sensíveis expostas a eles neste trabalho mesmo não tendo morrido, demonstram efeitos negativos mesmo passados 30 dias da sua aplicação. Tal fato pode ser explicado pelo fato destes herbicidas atuarem na fisiologia da planta, levando ao fechamento estomático e consequente diminuição do metabolismo da planta mesmo passado bastante tempo da aplicação (GROSSMANN, 2009).

A variável EUA apresentou efeito simples de dose para a avaliação realizada 24 HAA (Figura 2E), onde a partir da dose de 1.56% houve diminuição dos seus valores, sendo esta, proporcional ao aumento da dose de ambos herbicidas. A eficiência do uso da água está diretamente relacionada ao fechamento estomático, onde, valores maiores são encontrados enquanto os estômatos estão abertos (ARALDI, et al., 2012). Neste caso, com os estômatos fechados, as plantas diminuíram seus valores de EUA, diminuindo a quantidade de água transpirada e, conseqüentemente, a produção de matéria seca (MACHADO et al., 2010).

Para a variável  $C_i$ , a análise realizada 24 HAA apresentou efeito simples de dose e de herbicida, onde a partir da dose 3.125% os valores diminuíram cerca de 30% em relação as demais (Figuras 2F e 4A). Com relação aos herbicidas, o 2,4-D apresentou valores menores em relação ao dicamba, o mesmo ocorrendo na avaliação realizada as 48 HAA (Figura 4B). A concentração interna de  $CO_2$  é intimamente ligada aos estômatos, uma vez que, quando fechados (JADOSKI et al., 2005; FERRAZ et al., 2012) diminuem a entrada de  $CO_2$  ao interior da planta e, conseqüentemente, diminuem seus valores, interferindo posteriormente na taxa fotossintética das plantas.

Para as variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a*, para  $F_0$ , em relação aos herbicidas, dicamba apresentou leve elevação nos valores evidenciando que as plantas sofreram maiores estresses quando comparado ao 2,4-D (Figura 4C e D). A fluorescência inicial indica a quantidade de energia que é absorvida pelo complexo-antena e não transmitida aos pigmentos fotossintéticos (RASCHER et al., 2000). Os valores de  $F_0$  nem sempre são constantes, uma vez

que seus valores podem aumentar caso ocorra algum tipo de dano aos centros de reação do PSII (FERREIRA et al., 2015). Neste caso, os valores baixos indicam que as aplicações dos herbicidas não causaram danos aos centros de reação do PSII após 48 HAA.

O mesmo comportamento foi verificado para a variável  $F_v$ , a qual apresentou efeito simples de dose e herbicida apenas na avaliação realizada as 24 HAA, onde foi possível observar que todas as doses aplicadas não apresentaram variação nos valores de  $F_v$  (Figuras 3B e 4E). O mesmo comportamento foi verificado para a variável  $F_m$ , onde apenas a avaliação realizada as 48 HAA apresentou efeito simples de herbicida, onde ficou evidente que o dicamba foi o responsável por causar maior efeito de estresse as plantas nestas variáveis analisadas (Figura 4F), independente da dose, como já visto para a variável  $F_0$ . Tal afirmação contradiz o que foi verificado nas variáveis relacionadas a trocas gasosas, podendo ser explicado pelo fato de ambos herbicidas atuarem de maneira diferente nas plantas uma vez que pertencem a subgrupos diferentes (ALVES et al., 2021).

Para a variável  $F_v/F_m$  nas três avaliações realizadas foi possível observar que a partir da dose de 1.56%, houve diminuição dos valores quando comparados com a testemunha (Figura 3C, D e E), podendo-se concluir que houve redução da quantidade de energia aproveitada pela planta para realizar a fotossíntese (CATUNDA et al., 2005). Emissões de clorofila *a* estão relacionadas ao estado do fotossistema II que tem papel importante na fotossíntese das plantas (BUENASERA, et al., 2011). Valores baixos da eficiência quântica potencial do PSII indicam danos ao aparato fotossintético das plantas (MARQUES et al., 2020), neste caso, oriundo da aplicação de herbicidas.

Com relação aos herbicidas, na avaliação das 24 HAA o 2,4-D foi o responsável pelos menores valores e na das 48 HAA o herbicida dicamba obteve menor valor da relação, sendo que, as 72 HAA, ambos apresentaram mesmo valor de  $F_v/F_m$ , levando a conclusão de que independente do herbicida aplicado, as plantas estavam sob estresse.

A fotossíntese e o crescimento vegetativo estão ligados e, uma vez que, quando a fotossíntese é inibida em condições adversas, como a ocorrência de danos por herbicidas, o crescimento vegetativo diminui significativamente. Os estômatos são os principais canais de troca gasosa entre as folhas e o ambiente. Desta forma, a diminuição da condutância estomática afeta diretamente a  $C_i$ ,  $EUA$  e  $E$  (Figura 1), diminuindo conseqüentemente a fotossíntese líquida (CUI et al., 2020), como visto neste trabalho.

O fato de 2,4-D e dicamba pertencerem a subgrupos diferentes, sendo eles os ácidos fenoxicarboxílicos e ácidos benzoicos, respectivamente (ALVES et al., 2021) atuam de maneira diferente nas plantas, sendo que uma planta pode ser tolerante a um subgrupo e sensível a outro

(PATTON et al., 2018). No presente trabalho foi possível observar que o herbicida dicamba ocasionou maiores danos nos centros de reação do PSII. Já o herbicida 2,4-D atuou de forma mais acentuada nas variáveis relacionadas as trocas gasosas.

#### 4.4 CONCLUSÃO

A deriva de herbicidas mimetizadores de auxina ocasiona danos ao aparato fotossintético das plantas, evidenciado pelos menores valores de A, Gse e Ci.

Nas variáveis referentes a fluorescência da clorofila *a*, ficou evidente que as plantas estavam sob estresse uma vez que a relação Fv/Fm apresentou valores menores após a aplicação dos herbicidas.

Em relação aos herbicidas, o 2,4-D diminui as variáveis relacionadas a trocas gasosas (Gs, EUA, E, Ci e A), e o dicamba nas variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a* (F0, Fv, Fm e a Fv/Fm).

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C. et al. Características fisiológicas de plantas hibernais com potencial fitorremediador sob influência dos herbicidas fomesafen e sulfentrazone. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, 2019.
- ALVES, T. A. et al. Searching na auxin herbicide to use as positive control in toxicity assays. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 1, 2021.
- AGOSTINETTO, D. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicide application. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 1-9, 2016.
- ARALDI, R. et al. Eficiência fotossintética e consumo de água de *Ipomoea triloba* após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, 2012.
- CATUNDA, M. G. et al. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 115-121, 2005.
- CAVALHEIRO, C.V., et al. Composição química de folhas de oliveira (*Olea europaea* L.) da região de Caçapava do Sul, RS. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1874-1879, 2014.
- CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL (COI). **Estatística sobre oliveiras**. Madrid, 2016. Disponível em: <<http://www.Internationaloliveoil.org/estáticos/view/132-world-table-olive-figures>>. Acesso em: 19 de julho de 2020.
- CUI, C. et al. Photosynthetic index and nitrogen assimilation in rapeseed seedlings transplanted in soil with ammonium glufosinate. **Ciência Rural**, v. 50, n. 4, 2020.

- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL- EMATER. Fruticultura. **Dados de produção vegetal de fruticultura do ano de 2019**. Disponível em: <<http://www.emater.tch/e.br/site/area-tecnica/sistema-de-producao-vegetal/fruticultura.php#.XNtvK1JKjIU>>. Acesso em: 14 de agosto de 2020.
- FAGLIARINI, J. R. et al. Impact of sublethal doses of 2,4-D simulating drift, on tomato yield. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 40, n. 1, p. 201-206, 2005.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Crops data, 2019**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2020.
- FERRAZ, R. L. S. et al. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v.1, n. 1, p. 1-9, 2011.
- FERREIRA, E. A. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 645-656, 2015.
- FILIPPINI ALBA, J. M.; FLORES, C. A.; WREGGE, M. S. Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul. EMBRAPA Clima Temperado, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201608/01102513-oliveira-2013.pdf>>. Acesso em: 25 de setembro de 2020.
- GODINHO JÚNIOR, J. D. et al. Deriva do herbicida 2,4-d aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 550-554, 2017.
- GROSSMANN, K. Auxin herbicides: Current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, p. 113–120, 2009.
- HANIOTAKIS, E. G. Olive pest control: presente status and prospects. **IOBC wprs Bulletin**, v. 28, n. 09, p. 1-9, 2005.
- JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.
- MACHADO, A. F. L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, 2010.
- MARQUES, R. F. Efeito de subdoses de 2,4-D sal colina na eficiência quântica do fotossistema II do algodoeiro. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 2, p. 60-71, 2020.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. et al. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 35-40, 2007.
- PATTON, A. J.; WEISENBERGER, D. V.; SCHORTGEN, G. P. 2,4-D- Resistant buckhorn plantain (*Plantago lanceolate*) in management turf. **Weed Technology**, v. 32, n. 9, 2018.

RASCHER, U.; LIEBIG, M.; LÜTTGE, U. Evaluation of instant light-responses curves of chlorophyll parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant Cell & Environment**, v. 23, n. 12, p. 1397-1405, 2000.

RIACHY, M. E. et al. Hydrophilic antioxidants of virgin olive oil. Part 1: Hydrophilic phenols: A key factor for virgin olive oil quality. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.113, p.678-691, 2011.

ROBINSON, A, P; SIMPSON, D, M.; JOHNSON, W, G. Summer annual weed control with 2, 4-D and glyphosate. **Weed Technology**, v.26, n.4, p.657-660, 2012.

RONCHI, C. P. et al. Effect of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid applied as a herbicide on fruit shedding and coffee yield. **Weed Research**, v. 45, n. 1, p. 41-47, 2005.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Levantamento constata deriva de 2,4-D em 87,13% das amostras na safra atual.** Disponível em:< <https://www.agricultura.rs.gov.br/levantamento-constata-deriva-de-2-4-d-em-87-13-das-amostras-na-safra-atual>>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

SILVA, D. V. Tolerância de cultivares de mandioca aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butil. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 219-231, 2011.

TAPIA et al. **Manual del cultivo del olivo**. La Serena. INIA, p. 128, 2003.

TAVARES, C. J. et al. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 81-87, 2017.

TORRES, L. G. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida a aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, 2012.

WREGGE, M. S. et al. Distribuição potencial de oliveiras no Brasil e no Mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 656-666, 2015.

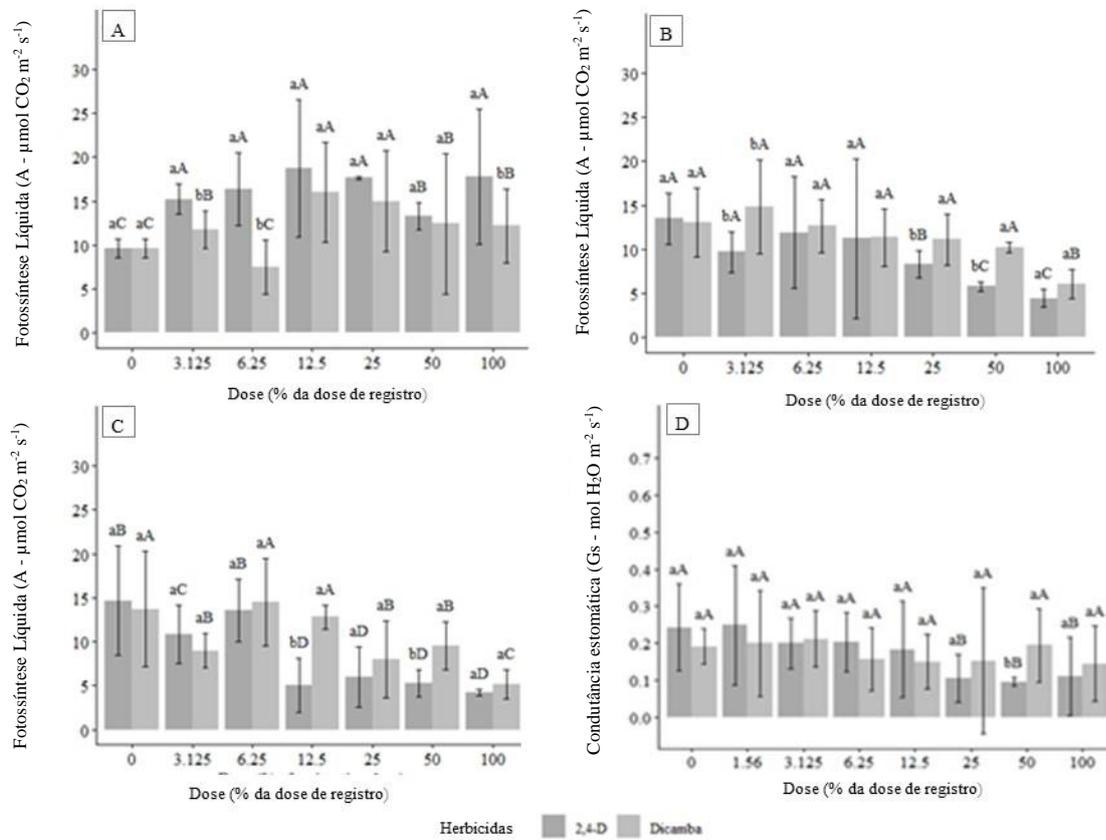


Figura 1: Fotossíntese líquida de plantas de oliveira (*Olea europaea* L.) medida as 24 (A), 48 (B) 72 horas (C) e condutância estomática medida as 48 horas (D) após a aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba. Letras maiúsculas comparando doses para cada herbicida e, letras minúsculas comparando herbicidas para cada dose, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Scott- Knott ( $p \leq 0,05$ ).

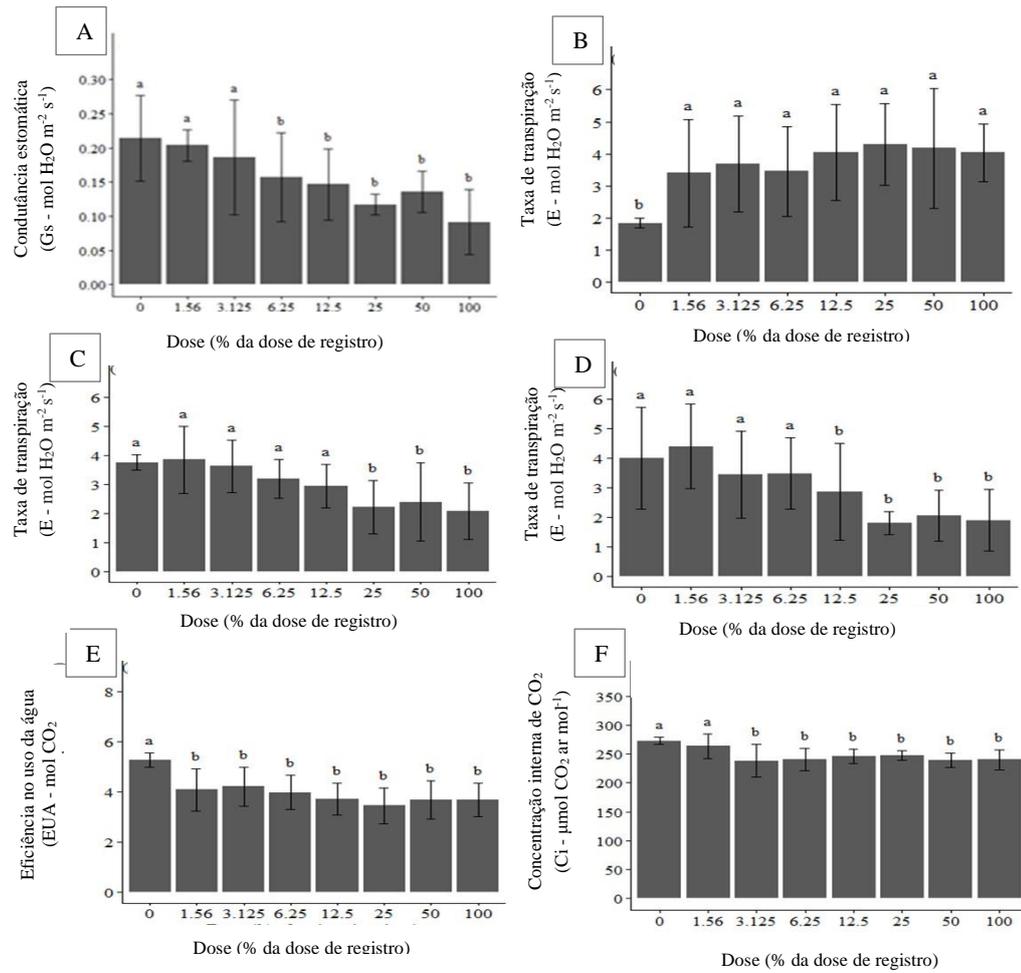


Figura 2: Efeitos simples de dose encontrados nas variáveis de condutância estomática medida as 72 HAA (A), taxa de transpiração medida as 24, 48 e 72 HAA (B, C e D), eficiência no uso da água medida as 24 HAA (E) e concentração interna de CO<sub>2</sub> medida as 24 HAA (F) após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.)

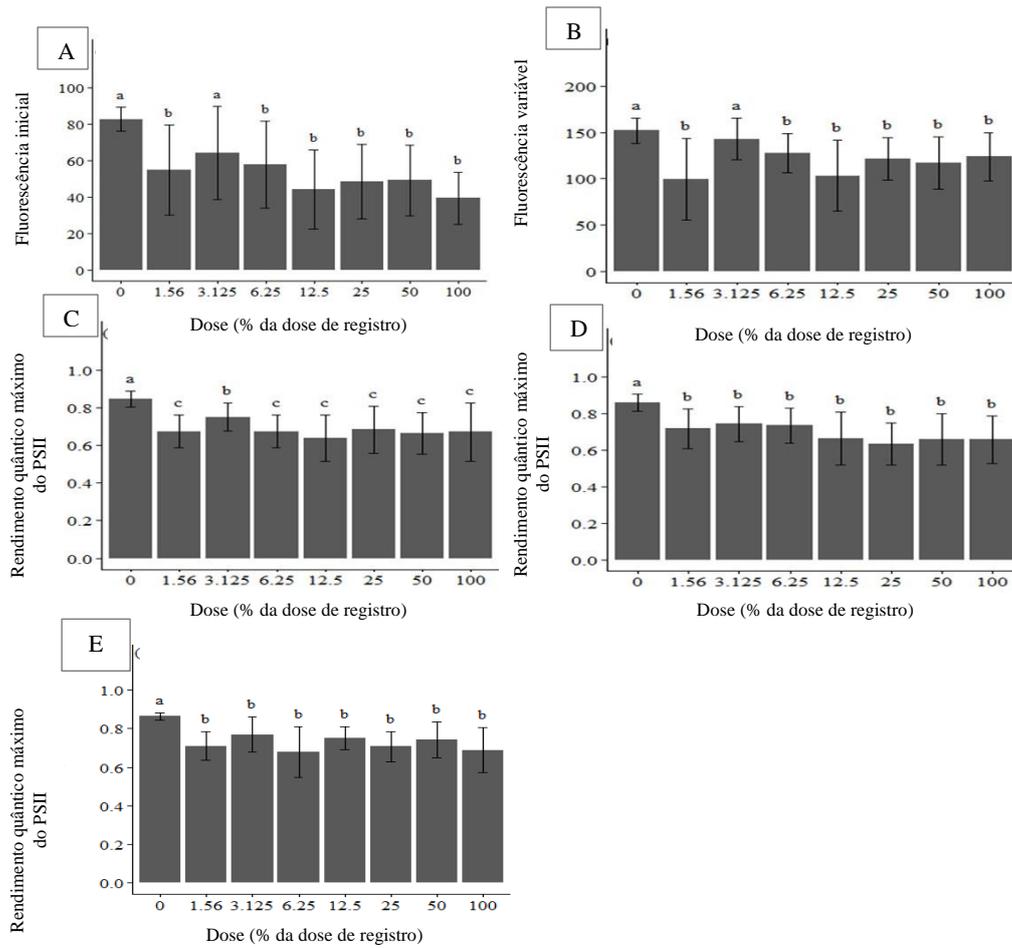


Figura 3: Efeitos simples de dose encontrados nas variáveis de fluorescência inicial medida as 48 HAA (A), fluorescência variável medida as 24 HAA (B) e rendimento quântico máximo do PSII medido as 24, 48 e 72 HAA (C, D e E) após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.)

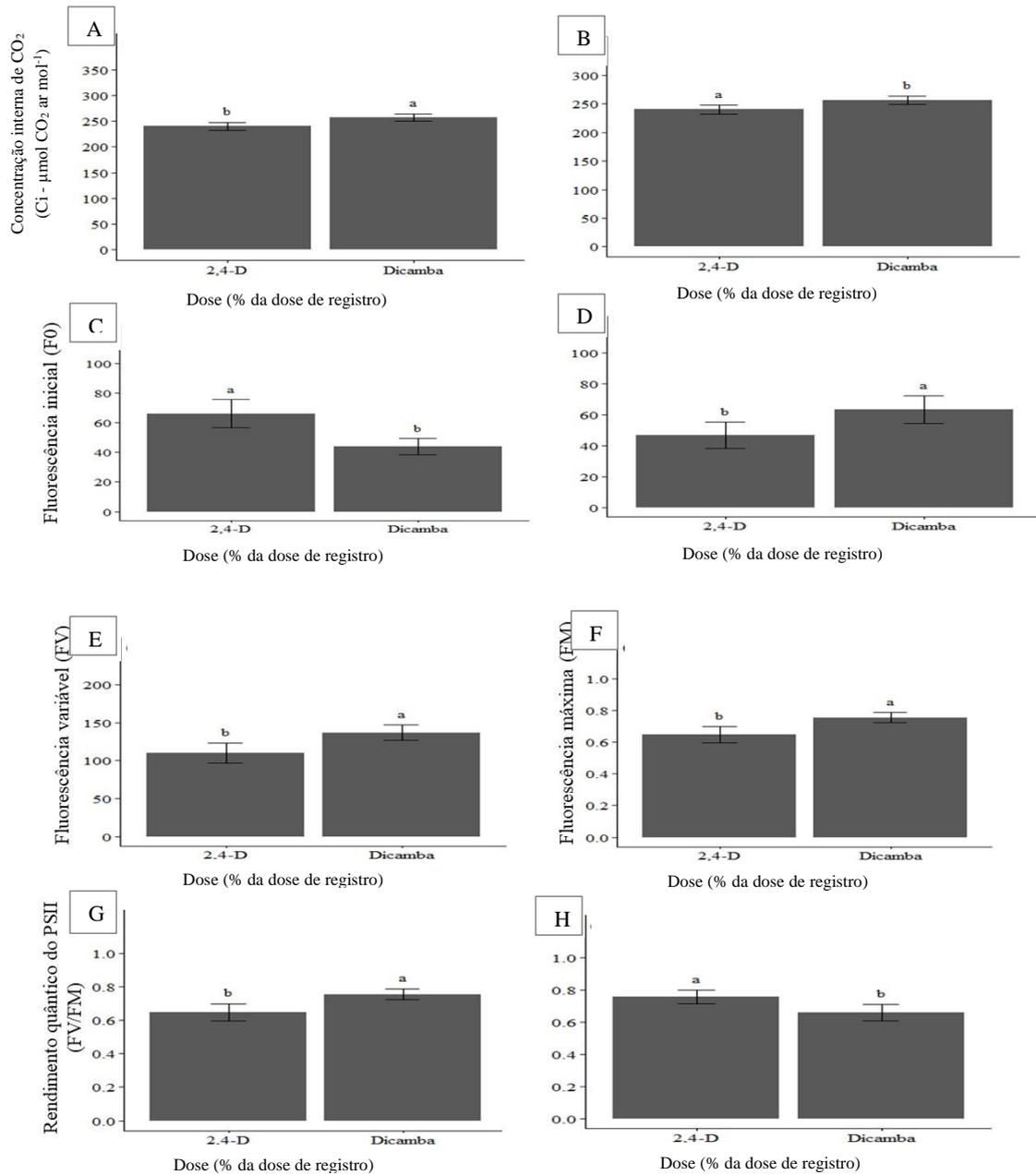


Figura 4: Efeito simples de herbicida encontrado nas variáveis de concentração interna de CO<sub>2</sub> medida as 24 (A) e 48 HAA (B), fluorescência inicial medida as 24 (C) e 48 HAA (D), fluorescência variável medida as 24 HAA (E), fluorescência máxima medidas as 48 HAA (F) e rendimento quântico do PSII medido as 24 (G) e 48 HAA (H) após aplicação dos herbicidas 2,4-D e dicamba em plantas de oliveira (*Olea europaea* L.)

#### 4. DISCUSSÃO

No cenário atual, a ocorrência de deriva é um problema enfrentado por muitos fruticultores, uma vez que, ao atingir uma cultura sensível, os herbicidas mimetizadores de auxina causam danos tanto morfológicos quanto fisiológicos às plantas. De acordo com a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), no RS houve a confirmação de contaminação por 2,4-D em cerca de 87% das amostras vegetais coletadas para análise (SEAPDR, 2020). Isso demonstra que, por mais que haja canais de denúncia e instruções normativas acerca do assunto, ainda ocorrem problemas relacionados a má utilização dos herbicidas mimetizadores de auxina e, conseqüentemente, a ocorrência de deriva.

A deriva pode ocorrer na forma de vapor, quando as condições meteorológicas não estão favoráveis a aplicação (umidade relativa do ar baixa, temperatura elevada) e na forma de gotículas, quando o vento arrasta certa quantidade de produto para áreas vizinhas e atinge culturas não-alvo (MATTHEWS, 2008). O presente trabalho demonstrou que a deriva simulada dos herbicidas mimetizadores de auxina, 2,4-D e dicamba, causou danos mais severos às plantas quando as mesmas recebem doses consideradas elevadas.

Com relação ao crescimento das plantas, pode-se observar que a partir da dose de 12.5% de ambos herbicidas, ocorreu paralisação do crescimento das mudas, evidenciado pelos menores valores de diâmetro de caule e estatura das plantas de nogueira-pecã e oliveira. Tal fato permite inferir que houve paralisação do crescimento das plantas, o que levaria a um atraso na implantação do pomar e conseqüentemente, aumento do período vegetativo e atraso no reprodutivo das plantas, uma vez que já é possível obter pequena produção após o quarto ano de plantio (EMBRAPA, 2019). Além disso, um caule mais fino pode sofrer danos causados pelo vento e pela ação de animais, levando a quebra de plantas e sendo necessário sua substituição, o que eleva o custo de implantação do pomar e implica em demora em obtenção de retorno financeiro do investimento.

Com relação à fitotoxicidade causada pelos herbicidas, foi possível observar que ambos causam danos a partir da dose aplicada de 12.5%, sendo o herbicida 2,4-D foi o responsável pelos maiores valores na escala visual. Os valores obtidos de fitotoxicidade foram maiores conforme houve o aumento das doses em ambas espécies, demonstrando que tanto a oliveira quanto a nogueira são extremamente sensíveis aos danos causados pelos mimetizadores de auxina. Outro fator importante é que os sintomas característicos observados foram mais pronunciados nas partes jovens das plantas, uma vez que os herbicidas deste mecanismo de ação atuam nos pontos de crescimento (TAVARES et al., 2017).

Para as espécies nogueira-pecã e oliveira, as variáveis relacionadas a trocas gasosas evidenciaram que a aplicação dos herbicidas causou danos ao aparato fotossintético das plantas. A partir da dose de 25% de ambos os herbicidas foi possível observar diminuição significativa dos valores. Com relação a fluorescência da clorofila *a*, a dose de 12.5% de ambos herbicidas causou diminuição significativa dos parâmetros fotossintéticos. A fotossíntese é o principal fator determinante para se obter uma boa produtividade das culturas (SONG et al., 2016), desta forma, qualquer interferência ou dano ao aparato fotossintético das plantas resultará em diminuição da produtividade das mesmas.

Foi possível observar no presente trabalho que o herbicida 2,4-D foi o responsável pelos danos mais severos às plantas quando comparado ao dicamba. Embora pertençam ao mesmo mecanismo de ação, são de grupos químicos diferentes, o que pode estar relacionado a essa diferença na severidade dos danos. O 2,4-D pertence ao grupo químico do ácido fenoxicarboxílico e possui maior severidade de danos em plantas sensíveis (EMBRAPA, 2019).

O herbicida 2,4-D apresenta-se em três diferentes formulações: éster, amina e, mais recentemente, colina. A formulação éster está em desuso no Brasil desde meados de 2002, devido sua alta volatilização (FOLONI, 2016), uma vez que a base de sua fabricação é o álcool. Já a formulação amina é amplamente usada no mundo, sendo considerada menos volátil que a éster (MARCINKOWSKA et al., 2017), mas ainda sim causa danos a plantas sensíveis. Já a formulação mais recente (colina) do 2,4-D possui baixo potencial de volatilidade (MANUCHEHRI et al., 2017) e, conseqüentemente deriva, quando aplicada sob condições ambientais adequadas.

Já o herbicida dicamba pertencente ao grupo do ácido benzoico, é considerado como um composto moderadamente volátil (BUNCH, 2012), estando mais suscetível a ocorrência de deriva quando aplicado sob temperaturas elevadas, umidade relativa do ar baixa e velocidade do vento elevada. No entanto, possui menor potencial de injúrias a culturas sensíveis (EMBRAPA, 2019), fato esse comprovado pelo presente trabalho.

## **5. CONCLUSÕES**

A deriva de herbicidas mimetizadores de auxina possui alto potencial de danos à oliveira e a nogueira-pecã, principalmente quando da utilização do herbicida 2,4-D. A dose dos herbicidas a qual resultou a diminuição dos valores das variáveis analisadas foi de 12.5 e 25% para 2,4-D e dicamba, respectivamente.

Tal constatação se deu pela fitotoxicidade apresentada pelas plantas, pela paralisação do diâmetro de caule e estatura de planta ocorrida em ambas espécies após a simulação da deriva.

Além disso, afetaram negativamente os parâmetros fisiológicos das espécies como A, Gs, Ci e a relação Fv/Fm, indicando alto grau de estresse conforme o aumento da dose de ambos herbicidas aplicados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. W. R.; SILVA, J. B.; SOUZA, I. F. Efeito da aplicação de doses reduzidas dos herbicidas glyphosate e oxyfluorfen, simulando deriva sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 889-897, 2000.
- BAGATTA, M. V. B. et al. Efeito de subdoses de glyphosate e 2,4-D simulando deriva na cultura de mamona. **Cultura Agrônômica**. Ilha Solteira, v.24, n.3, p.361-370, 2015.
- BOND, J. A.; WALKER, T. W. Effect of Postflood Quinclorac Applications on Commercial Rice Cultivars. **Weed Technology**, v. 26, n. 02, p. 183–188, 2012.
- BONDADA, B.R.; Micromorpho-anatomical examination of 2,4-D phytotoxicity in grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves. **Journal Plant Growth Regulation**. v. 30, n. 02, p. 185-198, 2011.
- BRUNETTO, G. et al. Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado. In: TIECHER, T. (Org). Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando à conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS. p. 141-158, 2016.
- BUNCH, T. R. et al. Dicamba Technical Fact Sheet. **National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services**. 2012.
- CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL (COI). **Estatística sobre oliveiras**. Madrid, 2016. Disponível em: <<http://www.Internationaloliveoil.org/estáticos/view/132-world-table-olive-figures>>. Acesso em: 19 de abril de 2019.
- DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES AND REGIONAL DEVELOPMENT-DPIRD. Agriculture and food. **Herbicides**. Disponível em: <https://www.agric.wa.gov.au/herbicides/herbicides?page=0%2C5>. Acesso em: 27 de março de 2019.
- Departamento de Economia Rural –DERAL. **FRUTICULTURA- Análise da Conjuntura**. Disponível em:<[http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura\\_2020.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf)>. Acesso em: 24 de maio de 2021.
- D'ORDINE, R. et al. Dicamba monooxygenase: structural insights into a dynamic Rieske oxygenase that catalyzes an exocyclic monooxygenation. **J. Mol. Biol**, v. 392, s/ n, 2009.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL- EMATER. Fruticultura. **Dados de produção vegetal de fruticultura do ano de 2018**. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/area-tecnica/sistema-de-producao-vegetal/fruticultura.php#.XNtvK1JKjIU>>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **A tecnologia xtend e o herbicida dicamba: problemas relacionados à deriva.** Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/soja/2019/45a-ro/app\\_45ro\\_soja\\_xtend.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/soja/2019/45a-ro/app_45ro_soja_xtend.pdf)>. Acesso em: 12 de maio de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Aspectos e critérios básicos para implantação de pomar de nogueira-pecã.** Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197991/1/COMUNICADO-TECNICO-367.pdf>>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Cultivo da Nogueira-pecã em pequenas propriedades.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/clima-temperado/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1098942/cultivo-da-nogueira-peca-em-pequenas-propriedades>>. Acesso em: 07 de abril de 2019.

FERRAZ, R. L. S. et al. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 735-748, 2014.

FOLONI L. L. **O herbicida 2,4-D: Uma visão geral.** Ribeirão Preto, Brazil: Labcom Total. 1 ed., 2016.

FRONZA, D.; POLETTO, T.; HAMANN, J. J. **O cultivo de nogueira-pecã.** Santa Maria: UFSM, 2013.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: Current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113–120, 2010.

KIST, B. B. et al. **ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 2018.** Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2019.

KRUGER, G. R. et al. Control of horseweed (*Conyza canadensis*) with growth regulator herbicides. **Weed Technol.**, v. 24, n. 4, p. 425-429, 2010.

MARCINKOWSKA, K. et al. Efficacy of herbicidal ionic liquids and choline salt based on 2, 4-D. **Crop Protection**, v. 98, p. 85-93, 2017.

MANUCHEHRI, M. R.; DOTRAY, P. A.; KEELING, J. W. Enlist TM Weed Control Systems for Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Management in Texas High Plains Cotton. **Weed Technology**, v. 31, n. 6, p. 793-798, 2017.

MATTHEWS, G. **Pesticides: Health, Safety and the environment.** John Wiley & Sons, 2008.

MELLO, L. D.; PINHEIRO, M. F. Aspectos de azeites de oliva e de folhas de oliva. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 4, p. 537- 548, 2012.

MORTENSEN, D. A. et al. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. **Bioscience**, v. 62, n. 1, p. 7584, 2012.

NORSWORTHY, J.K.; BOND, J.; SCOTT, R.C. Weed management practices and needs in Arkansas and Mississippi rice. **Weed Technology**, v. 27, n. 3, p. 623-630, 2013.

PALHANO, M. G.; NORSWORTHY, J. K.; BARBER, T. Evaluation of Chemical Termination Options for Cover Crops. **Weed Technology**, v. 32, n. 03, p. 227–235, 2018.

POWLES, S.B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Ann Rev. Plant Biol**, v. 61, n. 7, p.317-47, 2010.

ROBINSON, M. A. et al. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 2, p. 325–333, 2015.

SEAPDR - Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Emater/RS- Ascar atualiza dados da Fruticultura no RS**. Disponível em:<  
<https://www.agricultura.rs.gov.br/emater-rs-ascar-atualiza-dados-da-fruticultura-no-rs>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Programa Estadual de Desenvolvimento da Pecicultura- Pró- Pecã**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/pro-peca>>. Acesso em: 15 de março de 2019.

SILVA, C. D. S. et al. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 7-13, 2010.

SILVA, L. M. F. Atividade residual de 2,4-D sobre a emergência de soja em solos com texturas distintas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 1, p. 29-36, 2011.

SOARES, D. J. et al. Control of glyphosate resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) with dicamba and 2,4-d. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 401-406, 2012.

SONG, Q. et al. Genetics-based dynamic systems model os canopy photosynthesis: the key to improve light and resource use efficiencies for crops. **Food and Energy Security**, v. 5, n. 1, p. 18-25, 2016.

STERLING, T. M.; HALL, J. C. Natural auxins and the auxinic herbicides. In: ROE, R. M.; BURTON, J. D.; KUHR, R. J. **Herbicide activity: toxicology, biochemistry and molecular biology**. Netherlands: IOS Press, 205p, 1997.

TAKANO H. K. et al. Efeito da adição do 2,4-D ao glyphosate para o controle de espécies de plantas daninhas de difícil controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n.b1, p. 1–13, 2013.

TAVARES, C. J. et al. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, 2017.

WRIGHT, T. R. et al. Robust crop resistance to broadleaf and grass herbicides provided by aryloxyalkanoate dioxygenase transgenes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 47, p. 20240–20245, 2010.