

**MAURA GABRIELA DA SILVA BROCHADO**

**DERIVA DE DICAMBA E 2,4-D: IMPACTOS EM MUDAS DE TANGERINEIRA  
'PONKAN', MICROBIOTA DO SOLO E NO CARURU-GIGANTE (*Amaranthus  
retroflexus*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Kassio Ferreira Mendes

Coorientador: Mateus Pereira Gonzatto

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B863d  
2021  
Brochado, Maura Gabriela da Silva, 1995-  
Deriva de dicamba e 2,4-D: impactos em mudas de  
tangerineira 'Ponkan', microbiota do solo e no Caruru-gigante (*amaranthus retroflexus*) / Maura Gabriela da Silva Brochado. –  
Viçosa, MG, 2021.

1 dissertação eletrônica (86 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Kassio Ferreira Mendes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 71-86.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.148>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Herbicidas. 2. Auxinas. 3. Solos - Movimento de  
herbicidas. 4. Tangerinas - Mudas. 5. Micro-organismos do solo.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia.  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.954

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

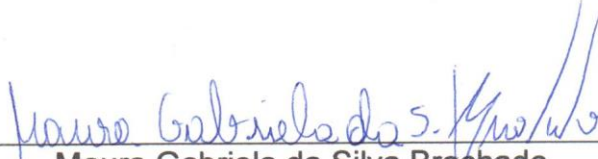
**MAURA GABRIELA DA SILVA BROCHADO**

**DERIVA DE DICAMBA E 2,4-D: IMPACTOS EM MUDAS DE TANGERINEIRA  
'PONKAN', MICROBIOTA DO SOLO E NO CARURU-GIGANTE (*Amaranthus  
retroflexus*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de agosto de 2021.

Assentimento:

  
Maura Gabriela da Silva Brochado  
Autora

  
Kassio Ferreira Mendes  
Orientador

“A melhor maneira de nós cultivarmos a coragem nas nossas filhas e em outras jovens é sendo um exemplo. Se elas virem as suas mães e outras mulheres nas suas vidas seguindo em frente apesar do medo, elas vão saber que é possível”.

Gloria Steinem

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por sempre me direcionar, por dar-me forças e saúde para chegar até aqui.

À Universidade Federal de Viçosa, principalmente ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade do mestrado. A todos os professores, técnicos e funcionários do departamento de Agronomia por contribuírem no meu desenvolvimento profissional. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq.

Agradeço ao professor Kassio Ferreira Mendes pela orientação, confiança e oportunidade oferecida ainda no estágio. Por desde que me conheceu ter colocado combustível nos meus sonhos e contribuir imensamente com meu senso crítico. Você foi e é um pai, irmão e grande amigo, obrigada por tudo.

Ao meu coorientador Mateus Pereira Gonzatto por todo apoio e ajuda oferecida. Aos professores Antônio Alberto e Francisco Freitas por todo conhecimento e incentivo.

Aos meus pais Mauro Brochado e Rosilene Chagas, que nunca mediram esforços para proporcionar-me a melhor educação e durante toda a minha vida foram os meus maiores incentivadores. A minha irmã Maria Eduarda Brochado por toda parceria e amor. Vocês são minha base, amo incondicionalmente.

Aos meus tios e avós Carlos Souza (*in memoriam*), Lourdes César (*in memoriam*), José Brochado e Magnólia Brochado (*in memoriam*) pela admiração e apoio ao longo da minha trajetória.

Aos meus amigos desde a graduação Vicente Bezerra e Alessandro Costa, por ter sido família e por me fazer sentir em casa. Uma vez petiano, SEMPRE petiano!

Ao grupo de Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), sem vocês nada disso seria possível. Vocês foram e são lar para mim!

A minha amiga Kamila Mielke, palavras não são suficientes para agradecer o que você fez por mim. Minha gratidão será eterna.

A minha irmã em Viçosa, Diana Palheta, por sempre me apoiar e estar comigo nos bons e maus momentos.

A todos meus amigos que sempre me apoiaram e motivaram, obrigada pela amizade e paciência.

A todos os meus amigos de Viçosa e UFV, pelos conhecimentos e experiências trocados, amadurecemos juntos durante esses anos.

A todos que tenham contribuído de forma direta ou indireta na minha formação e na elaboração da minha dissertação.

***Maura Gabriela da Silva Brochado***

## **BIOGRAFIA**

MAURA GABRIELA DA SILVA BROCHADO, filha de Mauro José Vaz Brochado e Rosilene da Silva Chagas, nasceu em 01 de junho de 1995, na cidade de Belém, Pará, Brasil. Em 2012 concluiu o ensino médio e três anos após ingressou no curso de graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA. Em janeiro de 2020 obteve o diploma de Engenheira Agrônoma. No mesmo ano iniciou o curso de mestrado no programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa.

## RESUMO

BROCHADO, Maura Gabriela da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2021 **Deriva de dicamba e 2,4-D: impactos em mudas de tangerineira 'Ponkan', microbiota do solo e no Caruru-gigante (*amaranthus retroflexus*)**. Orientador: Kassio Ferreira Mendes. Coorientador: Mateus Pereira Gonzatto.

A citricultura tem considerável importância econômica e social no Brasil, e atualmente o país ocupa o segundo lugar de maior produtor mundial. Por outro lado, a produção de soja, milho e algodão se destacam na agricultura brasileira. A expansão das áreas de cultivo de citros, propiciou no encontro com as áreas de grandes culturas, principalmente com as cultivares geneticamente modificadas (GM) resistentes aos herbicidas, principalmente as auxínicas sintéticas. O aumento dos riscos de deriva (transporte pelo vento) em culturas adjacentes são recorrentes para herbicidas que possuem propriedades físico-químicas propensas a volatilização, como o dicamba e 2,4-D, podendo causar danos em culturas sensíveis, como os citros, além de também gerar efeitos na microbiota do solo e na comunidade de plantas daninhas em torno da cultura, mesmo em doses extremamente baixas. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos de subdoses de dicamba e 2,4-D em mudas de tangerineira 'ponkan', na microbiota do solo e caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*). O estudo com as mudas de tangerineira 'ponkan' e microbiota do solo foram realizados em delineamento em blocos casualizados, em fatorial duplo (2x6), sendo o primeiro fator os herbicidas, o segundo fator as proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). O estudo com o caruru-gigante foi em realizado em delineamento em blocos casualizados, em fatorial duplo com um tratamento adicional (sem aplicação dos herbicidas) (2X5+1), nas mesmas proporções das doses. A deriva simulada foi realizada usando uma barra de pulverização vertical, para uma boa cobertura na aplicação. A dose recomendada do dicamba (DICAMAX) foi de 720 e 2.345 g e.a. ha<sup>-1</sup> para o 2,4-D (U 46 BR). As análises biométricas e fisiológicas foram realizadas nas mudas de tangerineira 'ponkan'. Em todas as doses e épocas analisadas foi observado maior injúria das mudas de tangerina com a aplicação de dicamba, quando comparado aos tratamentos com 2,4-D. O mesmo ocorreu para microbiota do solo, em que o dicamba, causou efeitos negativos na comunidade microbiana, em todas análises avaliadas. No entanto, efeito significativos foi observado para o 2,4-D, onde o herbicida provocou o aumento da taxa de respiração microbiana do solo. Em relação ao caruru-gigante na deriva simulada de 1/4D de ambos os herbicidas, foi capaz de controlar 80% a planta

daninha. Mesmo sendo do mesmo mecanismo de ação, o dicamba foi mais tóxico que o 2,4-D, em todas as variáveis analisadas. A partir da menor deriva simulada do dicamba, já houve interferência nas mudas de tangerineira e microbiota do solo. Sendo assim, as derivas de dicamba e 2,4-D podem causar efeitos negativos quando aplicados em áreas agricultáveis próximas do cultivo de tangerineira 'ponkan', os quais podem comprometer a microbiota do solo, bem como, afetar diretamente na produtividade da cultura dos citros.

**Palavras-chave:** Subdoses. Herbicidas. Injúrias. Auxinas. Transporte pelo vento.

## ABSTRACT

BROCHADO, Maura Gabriela da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2021 **Dicamba and 2,4-D drift: impacts on mandarin 'Ponkan' seedlings, soil microbiota and retrood pigweed (*Amaranthus retroflexus*)**. Advisor: Kassio Ferreira Mendes. Co-Advisor: Mateus Pereira Gonzatto.

The citriculture has considerable economic and social importance in Brazil, and currently the country ranks second as the world's largest producer. On the other hand, the production of soy, corn and cotton stand out in Brazilian agriculture. The expansion of citrus growing areas led to the encounter with areas of large crops, especially genetically modified (GM) cultivars resistant to herbicides, especially synthetic auxins. Increased risks of drift (wind transport) in adjacent crops are recurrent for herbicides that have physicochemical properties prone to volatilization, such as dicamba and 2,4-D, which can cause damage to sensitive crops such as citrus, of also generating effects on the soil microbiota and on the weed community around the crop, even at extremely low doses. In this sense, the aim of this study was to evaluate the effects of underdoses of dicamba and 2,4-D in 'ponkan' mandarin seedlings, on the soil microbiota and giant weevil (*Amaranthus retroflexus*). The study with 'ponkan' mandarin seedlings and soil microbiota were carried out in a randomized block design, in a double factorial (2x6), with the first factor being the herbicides, the second factor being the proportions of the recommended dose (D) (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D and 1/256D). The study with the giant caruru was carried out in a randomized block design, in a double factorial with an additional treatment (without application of herbicides) (2X5+1), in the same proportions of the doses. Simulated drift was performed using a vertical spray bar for good coverage in the application. The recommended dose of dicamba (DICAMAX) was 720 and 2,345 g a.e. ha<sup>-1</sup> for 2,4-D (U 46 BR). Biometric and physiological analyzes were performed on 'ponkan' mandarin seedlings. In all doses and periods analyzed, greater injury to tangerine seedlings was observed with the application of dicamba, when compared to treatments with 2,4-D. The same occurred for soil microbiota, where dicamba caused negative effects on the microbial community, in all analyzed analyses. However, a significant effect was observed for 2,4-D, where the herbicide caused an increase in the soil microbial respiration rate. In relation to the giant caruru in the simulated 1/4D drift of both herbicides, it was able to control 80% of the weed. Even though it has the same mechanism of action, dicamba was more toxic than 2,4-D in all

variables analyzed. From the smallest simulated drift of dicamba, there was already interference in tangerine seedlings and soil microbiota. Thus, dicamba and 2,4-D drifts can cause negative effects when applied in arable areas close to 'ponkan' mandarin cultivation, which can compromise the soil microbiota, as well as directly affect the productivity of the culture. citrus.

**Keywords:** Underdoses. Herbicides. Injury. Auxins. Wind transport.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Revisão de literatura</b> .....	<b>16</b>
2.1. <i>Importância da citricultura no Brasil e no mundo</i> .....	16
2.2. <i>Culturas geneticamente modificadas (GM)</i> .....	18
2.3. <i>Deriva de herbicidas</i> .....	25
2.4. <i>Características gerais do 2,4-D</i> .....	32
2.5. <i>Características gerais do dicamba</i> .....	35
<b>3. Objetivos</b> .....	<b>39</b>
3.1. <i>Objetivo geral</i> .....	39
3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	39
<b>4. Material e métodos</b> .....	<b>39</b>
4.1. <i>Avaliações da deriva do dicamba e 2,4-D nas mudas de tangerineira 'ponkan'</i> .....	39
4.1.1. <i>Local de estudo</i> .....	39
4.1.2. <i>Mudas de tangerineira 'ponkan'</i> .....	39
4.1.3. <i>Delineamento experimental</i> .....	40
4.1.4. <i>Padronização das mudas</i> .....	40
4.1.5. <i>Deriva simulada</i> .....	40
4.1.6. <i>Avaliações biométricas</i> .....	41
4.1.7. <i>Avaliações fisiológicas</i> .....	41
4.1.8. <i>Avaliação microbiana da rizosfera das mudas</i> .....	42
4.1.9. <i>Análise estatística</i> .....	42
4.2. <i>Avaliação do nível de injúria da planta daninha caruru-gigante (Amaranthus retroflexus) sob aplicação do 2,4-D e dicamba</i> .....	43
4.2.1. <i>Local de estudo</i> .....	43
4.2.2. <i>Delineamento experimental</i> .....	43

4.2.3. <i>Unidade experimental</i> .....	43
4.2.4. <i>Aplicação dos herbicidas</i> .....	43
4.2.5. <i>Avaliação do nível de injúria</i> .....	44
4.2.6. <i>Determinação da matéria seca</i> .....	45
4.2.7. <i>Análise estatística</i> .....	45
<b>5. Resultados e Discussão</b> .....	<b>46</b>
5.1. <i>Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D nas mudas de tangerineira 'ponkan'</i> .....	46
5.1.1. <i>Abscisão foliar</i> .....	46
5.1.2. <i>Parâmetros fisiológicos</i> .....	49
5.1.3. <i>Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D na microbiana do solo da rizosfera nas mudas de tangerineira 'ponkan'</i> .....	60
5.2. <i>Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D em caruru-gigante (Amaranthus retroflexus)</i> .....	63
<b>6. Conclusão</b> .....	<b>69</b>
<b>7. Referências</b> .....	<b>71</b>

## 1. Introdução

A citricultura tem considerável importância econômica e social no Brasil, e atualmente detém 13% da produção mundial, o país ocupa o segundo lugar, atrás apenas da China, a qual é responsável por 27% dessa produção (FAO, 2019). O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, com 50% da produção mundial e exporta 98% do que produz (IBGE, 2019). Em relação a produção de tangerina, o Brasil ocupa a sétima posição. Em 2019, foram produzidas 984,9 mil toneladas de tangerinas em 22 estados, com liderança do Estado de São Paulo (IBGE, 2019).

Por outro lado, a produção das grandes culturas, como soja, milho e algodão, também possui grande destaque na agricultura brasileira, cada vez mais empresas de biotecnologia estão desenvolvendo cultivares geneticamente modificadas (GM) com tolerância adquirida aos herbicidas, e dentre eles, o 2,4-D e dicamba (BEHRENS et al., 2007; COSTA, 2019). Desta forma, as novas cultivares tolerantes aos herbicidas permite que estas moléculas sejam aplicadas nas culturas em que antes a aplicação não era possível (EGAN e MORTENSEN, 2012; COSTA, 2019). Como exemplo, pode-se citar os eventos Enlist o qual confere tolerância ao 2,4-D (WRIGHT et al., 2010; ZHOU et al., 2016; ABRANTES, 2019) e Xtend onde as plantas são tolerantes ao dicamba (BEHRENS et al., 2007; ABRANTES, 2019).

A liberação comercial de cultivares GM tolerantes à herbicidas no Brasil é realizada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNbio). O primeiro evento aprovado para herbicidas auxínicos, foi o Enlist no ano de 2015, em plantas tolerantes ao 2,4-D e amônio-glufosinate, para as culturas do milho e soja, três anos após, foi aprovada para a cultura do algodão (CTNBIO, 2021). Por outro lado, o Xtend foi liberado no país no ano de 2016, tolerante aos herbicidas glyphosate e dicamba, apenas para a cultura da soja, um ano após para o algodão e por fim, em 2018 para a cultura do milho (CTNBIO, 2021).

As culturas GM são uma alternativa importante para a agricultura, uma vez que essa tecnologia pode promover o aumento da produção (ISAAA, 2021). Concomitantemente, com o aumento das culturas GM, mas também de pastagens, café, cana-de-açúcar, sorgo, dentre outras culturas, cresce o uso desses herbicidas e aumenta os riscos referentes aos problemas de deriva (transporte pelo vento) em culturas adjacentes, visto que, tanto o dicamba quanto o 2,4-D possuem propriedades físico-químicas propensas a volatilização e causar danos em culturas sensíveis, como

os citros, mesmo em doses extremamente baixas (CEOLIN et al., 2021). Além disso, fatores ambientais, como altas temperaturas, elevada velocidade do vento, e baixa umidade relativa do ar podem favorecer o processo de volatilização dos herbicidas (CARVALHO, 2013).

Dentre as características físico-químicas que favorecem o processo de volatilização, a pressão de vapor (PV) e a solubilidade em água ( $S_w$ ) do herbicida, assim como a constante de Henry ( $K_H$ ), são propriedades diretamente ligadas a esse processo (CARVALHO, 2013). Herbicidas com PV muito alta ( $>10^{-2}$  mmHg) são extremamente propensos à volatilização, como é o caso do 2,4-D éster ( $3,0 \times 10^{-4}$  mmHg) e dicamba ( $4,5 \times 10^{-3}$  mmHg) (PPDB, 2021).

As formulações também podem influenciar diretamente na volatilidade do produto, pois está relacionada ao tipo de composto utilizado na formulação do herbicida (VIDAL e MEROTTO JR, 2001). As formulações ésteres, por exemplo, são altamente voláteis, apresentando frequentes problemas com deriva, muito ocorrente com o 2,4-D (CARVALHO, 2013), por este fato que desde 2002 só se comercializa a formulação amina no Brasil, por ela ser menos volátil (PINHEIRO, 2020). No caso do dicamba, o sal de DimetilAmina-Banvel (DMA) é cinco vezes mais volátil que o sal de DiGlicolAmina-clarity (DGA) (ALVES et al., 2018).

Com o intuito de reduzir esse efeito da volatilidade, as empresas estão adicionando adjuvantes redutores de deriva nas formulações (GODINHO et al., 2018). Os adjuvantes são produtos que podem melhorar as propriedades físico-químicas da solução e, conseqüentemente a qualidade da aplicação (HAZEN, 2000). A multinacional Bayer, por exemplo, desenvolveu a tecnologia denominada *Vapor Grip* com componentes que efetivamente reduzem o potencial de volatilização após a aplicação, fornecendo aos agricultores e aplicadores a segurança na aplicação do dicamba (KNEZEVIC et al., 2018). O 2,4-D é muito utilizado o adjuvante LI-700, e um estudo mostrou que a adição do adjuvante, independentemente do modelo da ponta utilizada, reduziu a deriva desse herbicida (GODINHO et al., 2018).

Segundo a “Association of American Pesticide Control Officials” (AAPCO, 2005), o 2,4-D foi o ingrediente ativo que obteve maior número de ocorrências de deriva durante nos anos de 2003 e 2004 nos EUA, e o herbicida dicamba ocupou o terceiro lugar. No Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul foi onde mais registrou os efeitos negativos da deriva de 2,4-D (SEAPDR, 2020). Os prejuízos foram evidenciados a partir de 2018 em culturas sensíveis, como uva, oliva, pêssegos e

hortaliças (SEAPDR, 2020). Como primeira medida, foi suspenso o herbicida em dezembro de 2019 no estado, depois de 143 amostras terem resíduos do herbicida oriundos da deriva (SEAPDR, 2020). Posteriormente, a Secretaria de Agricultura editou uma Instrução Normativa, em que elegeu municípios prioritários no monitoramento e exigiu algumas regras para a aplicação como a capacitação de aplicadores em cursos e treinamentos (SEAPDR, 2020). O Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) possui registros de deriva no Estado do Rio Grande do Sul relativos ao dicamba, que foram obtidos entre o final do ano de 2016 e início de 2017 para dois produtos comerciais (Atectra SL – Basf, Dicamax SL – Monsanto), sendo que atualmente já existem mais 54 requerimentos de registro protocolados no MAPA, entre produtos técnicos e formulados (GIAGRO, 2018).

A deriva de dicamba e 2,4-D em culturas não resistentes a esses herbicidas pode causar problemas irreversíveis (ROESLER et al., 2020). Os primeiros efeitos desses produtos em plantas sensíveis incluem anormalidades nas plantas, como epinastia e inibição do crescimento, com coloração verde intensificada nas folhas em até 24 h após a aplicação. Esses fenômenos são seguidos por danos ao cloroplasto, que causa clorose e rompem as membranas integradas do sistema vascular. Esse processo pode levar à necrose do tecido (GROSSMANN et al., 1996; COBB e READE, 2011; ROESLER et al., 2020). O nível de injúria e os sintomas observados dependem de diversos fatores, incluindo a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta não alvo e a dose aplicada (YAMASHITA e GUIMARÃES, 2005; INACIO, 2018).

Diante desse cenário, são poucos os estudos os quais mostraram os efeitos que esses herbicidas podem causar em culturas sensíveis. Além disso, ainda é necessário elucidar o impacto que a subdose pode acarretar na comunidade de plantas daninhas e na microbiota do solo, visto que a deriva também pode atingir esses organismos não-alvo e provocar perturbações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. Sendo necessário, mais pesquisas para compreender o comportamento do 2,4-D e dicamba diante desses organismos.

Dadas as preocupações com a deriva desses herbicidas para fora do alvo, torna-se necessário uma administração adequada dessas tecnologias (JONES et al., 2018). Os resultados do presente estudo irão contribuir para que produtores e profissionais das ciências agrárias, possam compreender quais danos a deriva de herbicidas auxínicos pode gerar, assim podendo fazer uma melhor gestão desses recursos.

## 2. Revisão de literatura

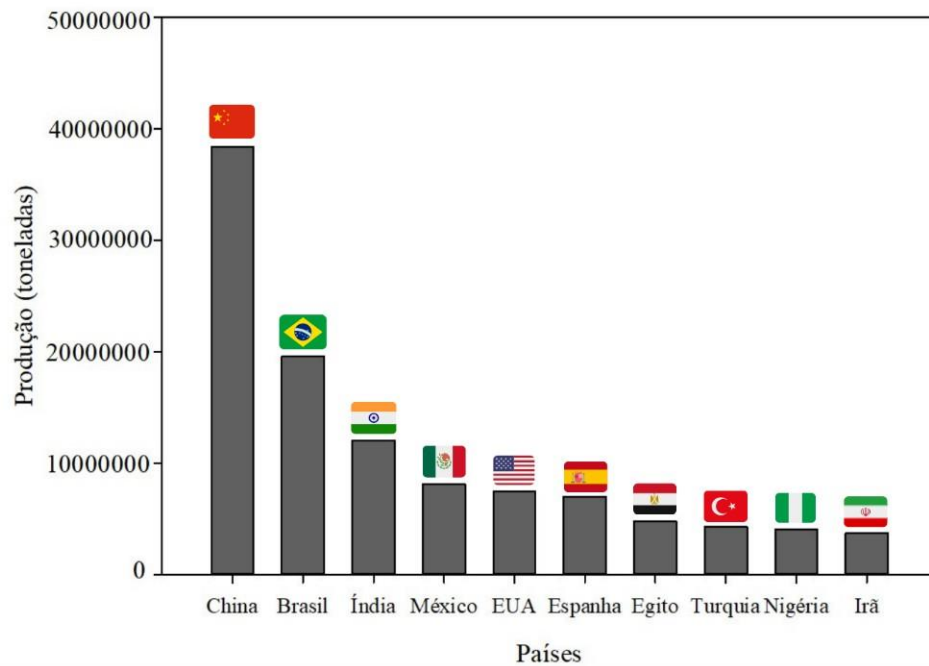
### 2.1. Importância da citricultura no Brasil e no mundo

Os citros compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella* e *Poncirus*) ou híbridos da família Rutaceae, representado, na maioria, por laranjas (*Citrus sinensis*), tangerinas (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), limões (*Citrus limon*), limas ácidas como o Tahiti (*Citrus latifolia*) e o Galego (*Citrus aurantiifolia*), e doces, como a lima da Pérsia (*Citrus limettioides*), pomelo (*Citrus paradisi*), cidra (*Citrus medica*), laranja-azeda (*Citrus aurantium*) e toranjas (*Citrus grandis*) (LOPES et al., 2011; FAVARO, 2016). Do ponto de vista comercial, o gênero *Citrus*, é o mais importante da família Rutaceae (FAVARO, 2016).

Originários principalmente das regiões subtropicais e tropicais do sul e sudeste da Ásia, incluindo áreas da Austrália e África. Posteriormente foram levados para a Europa na época das Cruzadas. No século XVI chegaram ao Brasil trazidos pelos portugueses (IAC, 2005).

As árvores de citros, geralmente, possuem porte médio, atingem em média quatro metros de altura; a copa é densa, de formato normalmente arredondado. As folhas são aromáticas, assim como as flores, pequenas e brancas, muito procuradas pelas abelhas melíferas e matéria-prima da água de flor de laranjeira. Os frutos são ricos em vitamina C; possuem ainda vitaminas A e complexo B, além de sais minerais, principalmente cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro (IAC, 2005).

As frutas cítricas possuem grande importância na economia mundial, uma vez que a citricultura é uma atividade bilionária e os citrinos possuem uma das maiores produções globais, sendo cultivados em quase 150 países, quando comparados com outros frutos (COSTA et al., 2019; USDA, 2020). Entre os maiores produtores em ordem decrescente estão a China, Brasil e Índia, que representam 52% da produção mundial (Figura 1) (FAO, 2019).



**Figura 1.** Representação dos 10 países que mais produzem citros no mundo (toneladas). Fonte: Adaptado FAO (2019).

A ampla capacidade de adaptação climática, e a facilidade de industrialização associadas as características sensoriais e de qualidade dos frutos são os principais fatores responsáveis pela posição desses países (SIQUEIRA e SALOMÃO, 2017).

No Brasil, a citricultura foi estabelecida na década de 1960 e desde então ganhou destaque na economia do país devido à exportação de suco de laranja, que, posteriormente, consolidou o Brasil como o maior produtor mundial do fruto, sendo até hoje o líder mundial com uma produção de em torno de 15 milhões do fruto por safra (BOTEON e NEVES, 2005; FAO, 2019; AGRIANUAL, 2020; ROSÁRIO et al., 2021). Essa atividade é responsável por 230.000 empregos diretos e indiretos e ainda movimenta, anualmente, 174 milhões de dólares, sendo uma atividade que envolve a produção dos citros nas fazendas, o processamento dos frutos nas indústrias e a distribuição de vários produtos cítricos (MATTOS JR et al., 2017; COSTA et al., 2019). E se tratando da produção de citros para o mercado *in natura*, a qualidade da fruta é requisito fundamental para a sustentação e conquista do mercado. O sabor, o aroma, a aparência externa, o valor nutritivo, o preço e a ausência de resíduos químicos e

biológicos são os fatores que mais influenciam na decisão de compra de uma fruta pelo consumidor, determinando também o preço (GUARDIOLA e GARCIA-LUIS, 2000; OLIVEIRA et al., 2009).

Alguns fatores podem depreciar a produção dos citros e por consequência a qualidade dos frutos, dentre eles, destaca-se: os problemas de manuseio, como danos mecânicos e exposição dos produtos em temperaturas elevadas prejudiciais a sua conservação; sanitização no manuseio e processamento dos mesmos; o uso indiscriminado de defensivos agrícolas ou contaminação por esses produtos provenientes de deriva de áreas de cultivo das grandes culturas (CECI, 2006).

As culturas GM estão sendo cultivadas em todo o país e muitas vezes estão próximas a pomares de citros, fato muito comum no Estado de São Paulo e alguns estados da região sul. Além disso, conforme dados dos relatórios da “International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications” (ISAA), o Brasil é o segundo maior produtor de culturas GM no mundo, ficando atrás apenas dos EUA, mas com perspectivas de a cada ano que passa aproximar-se do líder mundial (ISAA, 2021).

## 2.2. Culturas geneticamente modificadas (GM)

O advento de plantas GM resistentes à herbicidas foi um dos grandes avanços na história do uso de herbicidas na agricultura. A tecnologia foi prontamente aceita pelos agricultores com a proposta de promover de forma simples o manejo de plantas daninhas e aumentar a eficácia de controle pelos produtos aplicados (MARTINEZ-GHERSA et al., 2003; CAMPOS, 2017).

Historicamente as primeiras culturas GM surgiram em 1983, quando três grupos de cientistas conseguiram inserir genes de uma bactéria em duas plantas, três anos após, os primeiros testes de campo com plantas GM foram realizados (CIB, 2021; SILVA, 2021). Em 1994, na Califórnia surge o primeiro alimento GM, o tomate *Flavr Savr*, o qual apresentava uma vida útil mais longa (CIB, 2021). Um ano após, em 1995, foi lançada no mercado a primeira soja GM, e desde então países passaram a importar e exportar produtos transgênicos (CIB, 2021).

Inicialmente, as culturas GM foram introduzidas no Brasil de forma ilegal, no final da década de 1990, sendo autorizada sua comercialização somente em 2003 (BRASIL, 2003). Cinco tipos de culturas GM estão autorizadas no país, mas somente três estão efetivamente em uso: soja, milho e algodão (ACOSTA e CHAPARRO, 2008;

ALMEIDA et al., 2017). Embora a manipulação genética possa ter aplicações mais amplas, como o desenvolvimento de medicamentos e alimentos biofortificados, atualmente as culturas GM em uso no Brasil, são basicamente de três tipos: resistentes a herbicidas, resistentes a insetos, ou ambos (ACOSTA e CHAPARRO, 2008; NRC, 2010; ALMEIDA et al., 2017). Em 2014, quando as vendas de pesticidas foram mais elevadas, as áreas cultivadas com culturas GM alcançaram 42,2 milhões de ha, um aumento de 1306,67% comparado aos 3 milhões de ha registrados em 2003 (ISAA, 2014).

A principal importância da tecnologia GM sobre a agricultura, de modo geral, tem sido o manejo fitossanitário mais econômico, menos dispendioso e mais fácil para os agricultores (BROOKES e BARFOOT, 2017; SILVA, 2019). Por outro lado, o cultivo contínuo de culturas GM resistentes à herbicidas aumentou o uso desses produtos químicos. Nos últimos 25 anos, os herbicidas dicamba e 2,4-D, por exemplo, selecionaram 38 espécies de plantas daninhas resistentes em todo o mundo (HEAP, 2021). São 47 casos reportados para o 2,4-D e 19 para o dicamba. Sendo os primeiros relatos de resistência de plantas daninhas ao 2,4-D, no ano de 1957, com plantas de cenoura (*Daucus carota*) na beira de rodovias no Estado de Ontário, no Canadá e da trapoeraba (*Commelina diffusa*) em plantios de cana-de-açúcar no Estado do Hawaii, nos EUA (HEAP, 2021). Em 1990, a mostarda-dos-campos (*Sinapis arvensis*) apresentou resistência ao dicamba, em plantios de cevada e trigo no Estado de Manitoba, no Canadá (HEAP, 2021). No Brasil, só há um relato no ano de 2017 para a buva (*Conyza sumatrensis*), a qual apresentou resistência múltipla a cinco mecanismos de ação (2,4-D, diuron, glyphosate, paraquat e saflufenacil), e ainda não há nenhum relato de plantas daninhas resistentes ao dicamba (HEAP, 2021).

A comercialização de culturas GM é uma questão polêmica, principalmente, no que diz respeito ao impacto ambiental que pode acarretar (MONQUERO, 2005). Burnside (1992) apresentou uma abordagem positiva, ressaltando que as culturas GM podem aumentar o uso de herbicidas mais seguros ao ambiente e às soluções mais eficazes no controle de plantas daninhas problemáticas, ou seja, plantas que não possuem muitas opções de herbicidas para a seu controle. Diante disso, ressalta-se a necessidade de se utilizar uma sucessão de culturas GM resistente à herbicidas com diferentes mecanismos de ação e métodos de controle não químico, para minimizar a probabilidade de seleção de biótipos resistentes ou de não controle das espécies de plantas daninhas tolerantes ao herbicida utilizado.

Baseado no exposto, para compreender de que forma são introduzidos os mecanismos de resistência as culturas GM, primeiro é necessário entender o mecanismo de ação dos herbicidas (MONQUERO, 2005). Os herbicidas auxínicos, por exemplo, agem nas plantas de forma a reduzir o pH do apoplástico que induz o alongamento celular pelo aumento da atividade enzimática responsável pelo afrouxamento celular. O incremento nesse processo leva à síntese de auxínicos e giberelinas, as quais promovem a divisão e alongamento celular acelerado e desordenado nas partes novas da planta, ativando seu metabolismo e posteriormente o seu colapso (AHRENS, 1994; CARVALHO et al., 2014).

No caso da soja e algodão resistente ao 2,4-D foi introduzido o gene ariloxialcanoato dioxigenase-12 (add-12) derivado da bactéria de solo *Delftia acidovorans*. O gene aad-12 codifica a proteína ariloxialcanoato dioxigenase-12 (AAD-12), essa enzima é uma dioxigenase dependente de  $\alpha$ -cetoglutarato que degrada o 2,4-D por meio da catálise de conversão de 2,4-D em 2,4-Diclorofenol (DCP), um composto sem atividade herbicida. A enzima AAD-12 também degrada herbicidas fenoxiacetato aquirais, tais como, o ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA) e herbicidas piridiloxiacetato, tais como triclopyr e fluroxypyr em seus fenóis inativos correspondentes (WRIGHT et al., 2010). Apesar do milho ser uma monocotiledônea e o dicamba e 2,4-D serem seletivos para gramíneas, a aplicação desses herbicidas em determinados estágios, não são recomendados em cultivares tradicionais de milho, pois podem causar injúrias à cultura (WRIGHT et al., 2010). Com essa tecnologia de resistência, esses herbicidas podem ser aplicados na pré e pós-emergência do milho sem causar danos. No milho foi introduzido a enzima ariloxialcanoato dioxigenase 1 (AAD-1), que além de promover resistência aos herbicidas do grupo químico ariloxifenoxi-propionatos (FOPs), fornece resistência ao 2,4-D de forma simultânea. A possibilidade do uso do 2,4-D permite minimizar os antigos problemas dos herbicidas auxínicos no milho, como acamamento, dobramento de folhas, fragilidade do colmo e raízes deformadas, os quais restringiam a aplicação do 2,4-D na cultura do milho (WRIGHT et al., 2010).

Por outro lado, nas culturas resistentes ao dicamba, foi introduzido no genoma das plantas de soja, algodão e milho o gene demetilase (dmo) oriundo da bactéria de solo *Pseudomonas maltophilia* (cepa DI-6), o qual expressa a proteína dicamba monoxigenase (DMO), responsável pela característica de resistência ao dicamba (BEHRENS et al., 2007). Essa proteína catalisa a adição de uma molécula de oxigênio

molecular ( $O_2$ ) ao grupo metil do dicamba, o que leva à conversão deste composto em um produto sem ação fitotóxica, chamado de ácido 3,6-diclorossilicólico (DCSA), formaldeído ( $CH_2O$ ) e água ( $H_2O$ ). A DMO atua na destruição da atividade herbicida do dicamba antes que o produto possa atingir níveis tóxicos nas plantas GM tratadas (BEHRENS et al., 2007). Na Tabela 1, observa-se os eventos aprovados no Brasil, com resistência aos herbicidas mimetizadores de auxina.

**Tabela 1.** Cultivares de soja, algodão e milho geneticamente modificadas resistentes à herbicidas auxínicos aprovadas para comercialização no Brasil pela CTNBio.

Cultura	Nome Comercial	Organismo Doador	Herbicidas	Proteína	Empresa	Ano
SOJA	Enlist™	<i>Delftia acidovorans</i> ; <i>S. viridochromogenes</i>	2,4-D e Amônio-glufosinate	AAD-12; PAT	Dow	2015
	-	<i>Pseudomonas fluorescens</i> ; <i>Zea mays</i>	Isoxaflutole e Glyphosate	HPPD; 2MEPSPS	Bayer	2015
	Enlist E3	<i>D. acidovorans</i> ; <i>S. viridochromogenes</i> ; <i>Z. mays</i>	2,4-D; Amônio-glufosinate e Glyphosate	AAD-12; PAT; 2MEPSPS	Dow	2015
	Conkesta	<i>S. viridochromogenes</i>	Amônio-glufosinate	PAT	Dow	2016
	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Dicamba	DMO	Monsanto	2016
	Conkesta Enlist E3	<i>D. acidovorans</i> ; <i>S. viridochromogenes</i> ; <i>Z. mays</i>	2,4-D; Amônio-glufosinate e Glyphosate	AAD-12; PAT; 2MEPSPS	Dow	2017
	Xtend	<i>Agrobacterium</i> spp.; <i>S. maltophilia</i>	Glyphosate e Dicamba	CP4-EPSPS; DMO	Monsanto	2017
	Plenish™ RR1	<i>A. tumefaciens</i>	Glyphosate	CP4-EPSPS	Du Pont	2018
	-	<i>S. maltophilia</i> ; <i>A. tumefaciens</i>	Dicamba e Glyphosate	DMO; CP4-EPSPS	Monsanto	2018
ALGODÃO	DGT	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> ; <i>S. hygrosopicus</i>	Dicamba e Amônio-glufosinate	DMO; PAT	Monsanto	2017
	Enlist	<i>S. viridochromogenes</i> , <i>Delftia acidovorans</i>	Amônio-glufosinate e 2,4-D	PAT; AAD-12	Dow	2018
	-	<i>S. hygrosopicus</i>	Amônio-glufosinate	PAT	Basf	2018
	RRFlexDGT	<i>S. maltophilia</i> , <i>A. tumefaciens</i> , <i>S.</i>	Dicamba; Glyphosate e	DMO; CP4 EPSPS;	Monsanto	2018

MILHO	BGIIIRRFlexDGT	<i>hygroscopicus</i> <i>S. maltophilia</i> , <i>A. tumefaciens</i> , <i>S. hygroscopicus</i>	Amônio-glufosinate Dicamba; Glyphosate e Amônio-glufosinate	<i>PAT</i> <i>DMO</i> ; <i>CP4 EPSPS</i> ; <i>PAT</i>	Monsanto	2018
	-	<i>Zea mays</i> , <i>S. hygroscopicus</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Glyphosate; Amônio- glufosinate e Isoxaflutole	<i>2MEPSPS</i> ; <i>PAT</i> ; <i>HPPD W336</i>	Basf	2019
	-	<i>A. tumefaciens</i> , <i>Delftia acidovorans</i>	Amônio-glufosinate e 2,4-D	<i>PAT</i> ; <i>AAD-12</i>	Dow	2019
	Enlist™	<i>Sphingobium herbicidorovans</i>	2,4-D e grupo químico dos FOPs (ACCase)	<i>AAD-1</i>	Dow	2015
	Enlist™ RR	<i>S. herbicidorovans</i> ; <i>A. tumefaciens</i>	2,4-D; grupo químicos dos FOPs e Glyphosate	<i>AAD-1</i> ; <i>CP4-EPSPS</i>	Dow	2015
	PowerCore Enlist	<i>S. viridochromogenes</i> ; <i>A. tumefaciens</i> ; <i>S. herbicidorovans</i>	2,4-D; grupo químicos dos FOPs; Glyphosate e Amônio-glufosinate	<i>AAD-1</i> ; <i>CP4-EPSPS</i> ; <i>PAT</i>	Dow	2016
	PowerCore Ultra Enlist	<i>A. tumefaciens</i> ; <i>S. viridochromogenes</i> ; <i>S. herbicidorovans</i>	2,4-D; grupo químicos dos FOPs; Glyphosate e Amônio-glufosinate	<i>AAD-1</i> ; <i>CP4 EPSPS</i> <i>E PAT</i>	Dow	2018
	-	<i>A. tumefaciens</i> ; <i>S. viridochromogens</i> ; <i>S. herbicidorovans</i>	2,4-D; grupo químicos dos FOPs; Glyphosate e Amônio-glufosinate	<i>AAD-1</i> ; <i>CP4 EPSPS</i> ; <i>PAT</i>	Dow	2019
	-	<i>Agrobacterium spp.</i> ; <i>S. maltophilia</i> ; <i>S. viridochromogenes</i>	Glyphosate; Dicamba e Amônio-glufosinate	<i>CP4 EPSPS</i> , <i>DMO E</i> <i>PAT</i>	Monsanto	2019
	-	<i>A. tumefaciens</i>	Glyphosate	<i>CP4 EPSPS</i>	Monsanto	2019

-	<i>Agrobacterium</i> spp.; <i>S. viridochromogenes</i> e <i>S. herbicidovorans</i>	2,4-D; grupo químicos dos FOPs; Glyphosate e Amônio-glufosinate	<i>AAD-1; CP4 EPSPS</i> e <i>PAT</i>	Du Pont	2020
	<i>Agrobacterium</i> spp.; <i>S. viridochromogenes</i> e <i>S. herbicidovorans</i>	2,4-D; grupo químicos dos FOPs; Glyphosate e Amônio-glufosinate	<i>AAD-1; CP4 EPSPS</i> e <i>PAT</i>	Dow	2020

(-) Aguardando denominação.

Fonte: CTNBio (2021).

Diante disso, os produtores estão sendo cada vez mais aconselhados a serem proativos a diversificar o manejo de plantas daninhas (BROOKES e BARFOOT, 2017), pois ao passar dos anos, mais GM estão sendo desenvolvidas, sendo necessário o uso inteligente, combinado com um manejo integrado, para minimizar o problema de biótipos resistentes (SCHUTTE et al., 2017; SILVA, 2019). Além disso, o uso contínuo desses herbicidas pode causar problemas de deriva para culturas sensíveis.

### *2.3. Deriva de herbicidas*

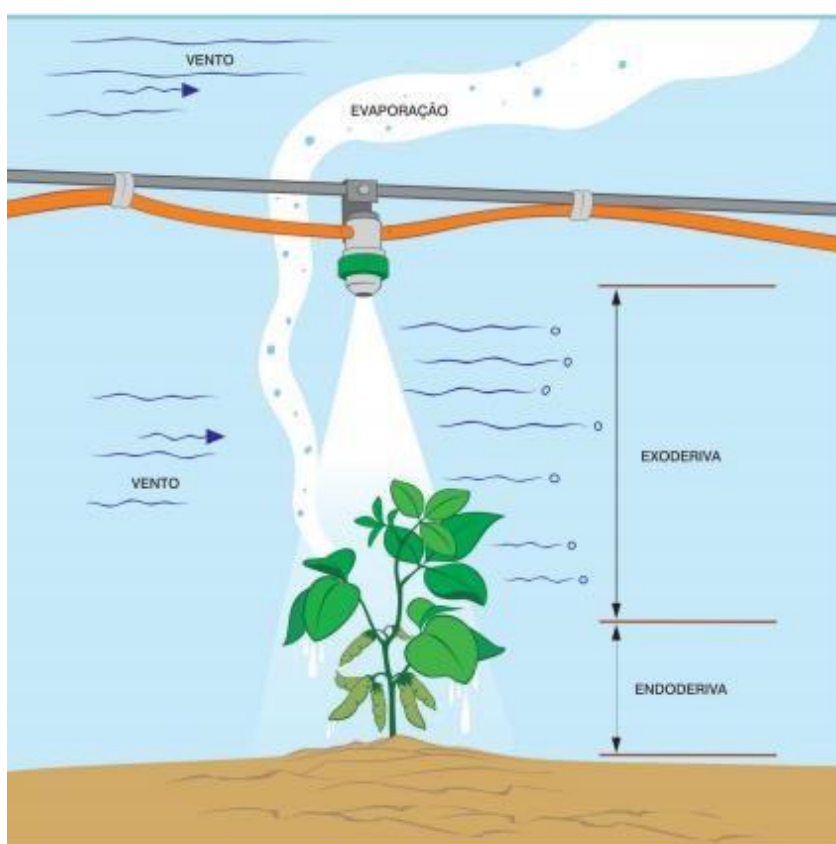
A deriva de herbicidas por meio de pulverizações pode ser definida como o movimento da molécula a partir da área-alvo para áreas onde a aplicação não foi destinada. Esse transporte ocorre pelo movimento de gotas de pulverização ou de vapores, podendo causar injúrias ou níveis de resíduos em plantas vizinhas suscetíveis, reduzindo a produtividade e afetando a morfologia dessas culturas (LUCHINI, 2004; MONQUERO e SILVA, 2021).

Considerada um dos maiores problemas da agricultura, a deriva de herbicidas reduz a dose real aplicada sobre o alvo e constitui uma das principais formas de perdas de herbicida, além da exposição dos trabalhadores ao produto químico e a contaminação ambiental (BELO et al., 2012; DE PAULA et al., 2021). Fato que, também reduz a eficácia do controle químico em plantas daninhas, pois muitas vezes é compensado com o aumento da dose dos produtos, resultando em gastos desnecessários e impactando na pressão de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes (FERREIRA et al., 2008; MONQUERO, 2014). No entanto, esse fato tem sido observado, com frequência, nos EUA. No Brasil, ainda não houve este aumento de utilização em decorrência das cultivares GM.

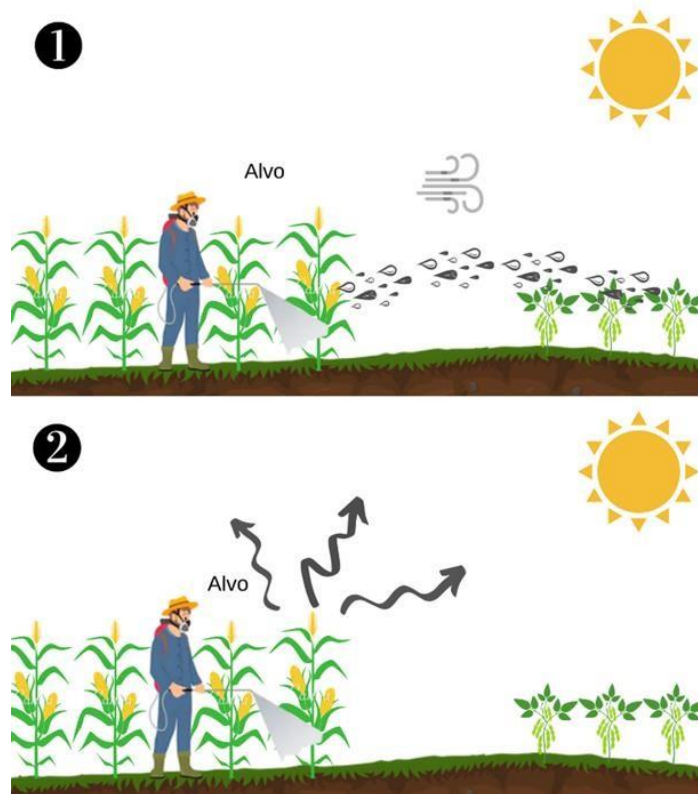
Historicamente os herbicidas auxínicos são muito utilizados em pastagem devido a sua seletividade para as gramíneas e controle eficiente em plantas de folha larga, as quais são uma das principais responsáveis pela redução da produtividade dos pastos, no entanto, a deriva de herbicidas, principalmente dos auxínicos, vêm ganhando destaque em virtude da liberação de cultivares transgênicas de milho, soja e algodão resistentes ao 2,4 D e dicamba, que somado a utilização em outras culturas resultou no aumento da utilização desses produtos. A deriva de 2,4-D e dicamba pode resultar em perdas quantitativas e qualitativas na produção de culturas sensíveis plantadas em áreas adjacentes a eventos transgênicos que utilizam esses herbicidas.

Isso ocorre pelo alto potencial desses produtos em ocasionar efeitos fitotóxicos sobre plantas suscetíveis, como, por exemplo, algodão, citros, tomate e soja convencional (EVERITT; KEELING, 2012; MONQUERO e SILVA, 2021).

Existem dois tipos de deriva, podendo ser a endoderiva ou exoderiva. A endoderiva ocorre quando há perdas do produto dentro da própria área de cultivo (Figura 2), como por exemplo, escorrimento do herbicida da folha para o solo, principalmente pelo uso de gotas muito grandes ou excesso de calda aplicada. Na exoderiva ocorre o deslocamento da molécula herbicida para fora da área da cultura tratada, podendo ser por partícula ou vapor (Figura 2). A deriva por vapor é o movimento do herbicida após este ser convertido na forma gasosa, enquanto que, a pôr partícula é o movimento das gotículas para fora da área de aplicação (Figura 3) (AZEVEDO e FREIRE, 2006; DE PAULA et al., 2021).



**Figura 2.** Dinâmica da endoderiva e exoderiva de herbicidas. Fonte: ANDEF (2010).



**Figura 3.** Dinâmica da deriva por partícula (1) e por volatilização (2) de herbicidas. Fonte: Weed Out (2020); Brochado et al. (2021).

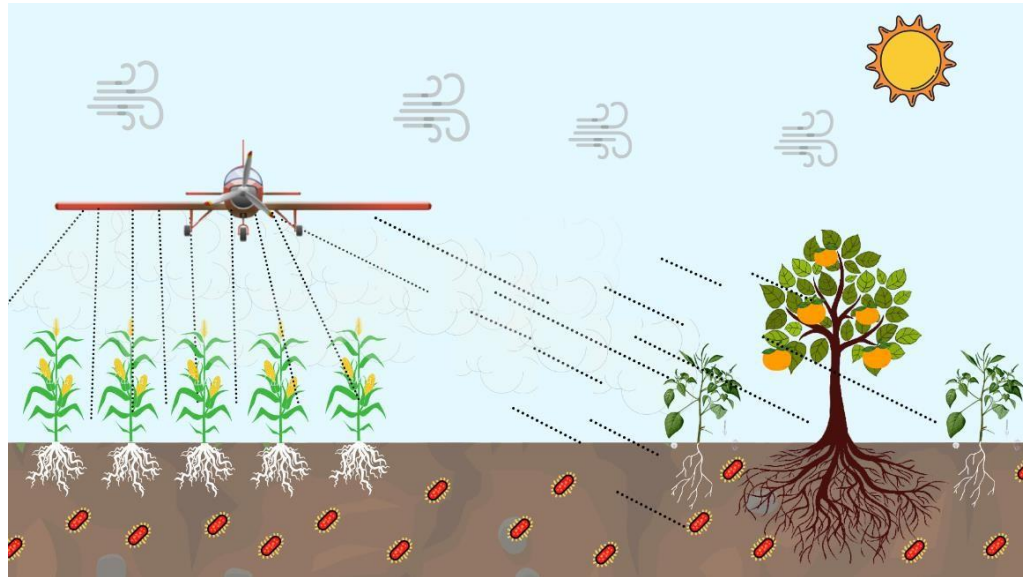
O desvio da trajetória que impede as gotas produzidas de atingirem o alvo está relacionado, principalmente, ao tamanho das gotas e às condições ambientais. De acordo com as condições locais de aplicação, é preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho, garantindo, ao mesmo tempo, eficácia biológica e segurança ambiental. Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (MURPHY et al., 2000; SUMNER, 1997; WOLF, 2000; CUNHA, 2008). Na Tabela 2 é possível observar os principais fatores envolvidos no processo de deriva de herbicidas, além das condições favoráveis à sua ocorrência.

**Tabela 2.** Principais fatores envolvidos no processo de deriva e as condições favoráveis à sua ocorrência.

<b>AMBIENTE</b>	<b>INTENSIDADE</b>
Vento	> 8 Km/h / < 2 Km/h
Temperatura do ar	> 25 °C
Umidade do ar	<50%
<b>HERBICIDA</b>	<b>INTENSIDADE</b>
Pressão de vapor	> 10 <sup>-6</sup> mPa
Solubilidade	< 50 mg/L
Constante da lei de Henry	> 2,5x10 <sup>-5</sup> Pa.m <sup>3</sup> /mol
<b>APLICAÇÃO</b>	<b>INTENSIDADE</b>
Velocidade do trator	> 8 Km/h
Altura da barra	> 50 cm
Tipo de ponta	DMV < 250 µm
Tamanho da gota	< 100 µm
Pressão	> 60 psi
Volume de calda	< 100 L/ha

Fonte: Carvalho (2013); De Paula (2021).

Um estudo realizado por Van den Berg et al. (1999) estimou a quantidade de herbicida que pode ser perdido no ambiente quando as aplicações são feitas em condições inapropriadas do equipamento aplicado e condições meteorológicas. Os autores chegaram à conclusão de que até 50% do produto aplicado pode ser perdido via evaporação, escorrimento e deriva para organismos não-alvos. Essa perda de produto por deriva pode atingir não apenas a cultura, mas a comunidade de plantas daninhas e o solo, a qual pode influenciar na microbiota do solo, visto que ficam susceptíveis as subdoses desses herbicidas (Figura 4).



**Figura 4.** Representação esquemática da deriva de herbicidas atingindo a cultura da tangerina, as plantas daninhas e o solo (microbiota do solo).

Ao realizar a aplicação de um herbicida seletivo, por exemplo, o objetivo é atingir o local de ação na planta daninha, mas não na cultura; ser metabolizado ou degradado pela cultura e não ser pela planta daninha; atingir somente a planta-alvo (MACHI et al., 2008). No entanto, se a planta daninha recebe uma subdose de herbicida, ainda não se sabe ao certo qual o comportamento a planta terá diante a doses mais baixas. Um dos possíveis efeitos que a planta daninha pode ter é o de hormesis, o qual é definida como uma resposta adaptativa de uma dose bifásica em que altas doses de um agente tóxico podem causar inibição e baixas doses do mesmo tóxico podem causar estimulação (CALABRESE, 2018).

Os herbicidas à base de auxinas são exemplos bem conhecidos de produtos químicos que aumentam o crescimento em concentrações não tóxicas, imitando a auxina, hormônio de crescimento, mas que são letais em doses mais elevadas (ALLENDER, 1997). Estudos com auxinas sintéticas, como o 2,4-D e dicamba, têm mostrado respostas horméticas em plantas. Castner et al. (2021) testaram subdosagens de dicamba na soja (*Glycine max*) sensível, os autores observaram que em torno de 12,5% das plantas avaliadas tiveram respostas horméticas as doses mais baixas de dicamba. Efeitos semelhantes foram observados por Tavares et al. (2017) com subdoses do herbicida 2,4-D em mudas de pequi (*Caryocar brasiliense*) onde a aplicação de 2,4-D causou baixa epinastia em folhas com valores entre 6,25 a 13,33% de fitotoxicidade. Porém, houve recuperação total das plantas 15 dias após a

aplicação. Portanto, as respostas horméticas em algumas características das plantas poderiam ser esperadas por meio do aumento da produção e atividade das auxinas (CEDERGREEN et al., 2007).

Por outro lado, baixas doses podem selecionar biótipos resistentes, visto que alguns herbicidas mesmo em subdoses possuem alta eficiência, como é o caso dos mimetizadores de auxina (AHRENS, 1994). Uma pesquisa recente confirmou a resistência do caruru (*Amaranthus palmeri*) ao 2,4-D e ao dicamba em uma população coletada em um campo experimental no “Agronomy Ashland Bottoms Experiment Field” (K-State) no sul do Condado de Riley, nos EUA (K-STATE, 2021). Fato que preocupa, visto que o uso desses herbicidas tem aumentado cada vez mais, podendo selecionar outros biótipos de plantas daninhas (K-STATE, 2021).

São poucos os estudos que abordam os efeitos da deriva de herbicidas na comunidade microbiana no solo, visto que a maioria elucida sobre o efeito da dose superior a recomendada. Algumas pesquisas são realizadas até com doses 10 vezes acima do recomendado, sendo escasso os estudos com subdoses. Segundo Moreira e Siqueira (2002), as dificuldades ao abordar os estudos sobre os impactos dos herbicidas sobre a microbiota e processos biológicos do solo relacionam-se com a natureza, heterogeneidade e dinâmica dos efeitos e respostas adaptativas das populações microbianas do solo.

Os microrganismos do solo influenciam diretamente a fertilidade e a produtividade vegetal por meio da ciclagem de nutrientes, supressão de fitopatógenos, produção de fito-hormônios e, ainda, a capacidade de metabolização de pesticidas (BOTTOMLEY, 2005; REIS et al., 2008). As atividades dos microrganismos estão envolvidas no ciclo biogeoquímico, visto que influenciam diretamente a disponibilidade dos nutrientes e elucidam melhor as mudanças do funcionamento do ecossistema solo (DAS et al., 2003; TÓTOLA e CHAER, 2002).

A utilização de pesticidas, em especial os herbicidas, pode influenciar a dinâmica dos microrganismos do solo (SANTOS et al., 2005; JAKELAITIS et al., 2007; REIS et al., 2008; TIRONI et al., 2009), podendo apresentar efeitos maléficos, benéficos (REIS et al., 2008; TIRONI et al., 2009) ou nulos (PEREIRA et al., 2008). Entre os indicadores do impacto de produtos xenobióticos sobre os microrganismos de solo, os mais comuns são: a evolução de CO<sub>2</sub> do solo (C-CO<sub>2</sub>), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (BROOKES, 1995; TIRONI et al., 2009). Reis et al. (2008) ao avaliar o efeito do 2,4-D na microbiota do

solo, observaram que em todas as épocas de avaliação (15, 30, 45 e 60 dias após a aplicação - DAA), o 2,4-D reduziu a densidade populacional bacteriana, demonstrando efeito negativo nas bactérias do solo. Kurenbach et al. (2015) observaram os efeitos da subdose de dicamba, 2,4-D e glyphosate em cepas de bactérias da espécie *Escherichia coli* e *Salmonella enterica*, os autores concluíram que as formulações de herbicidas comerciais induzem mudanças adaptativas negativas nas bactérias.

Não obstante, ainda há o aumento dos riscos de contaminação humana, ambiental e outros organismos não-alvos em função do uso progressivo dos herbicidas (WALLACE e BELLINDER, 1992; CAMPOS, 2017). Na safra de 2019/2020 no Estado do Rio Grande do Sul foram realizadas 171 coletas em 54 municípios, com resultados positivos para detecção do 2,4-D em 87,13% delas (SEAPDR, 2020). O maior número de caso foi no município de Estância Guatambu, uma das principais vinícolas da região. Dos 20 ha cultivados com uvas viníferas, 19 foram detectados sintomas de herbicidas hormonais (SEAPDR, 2020). A “Association of American Pesticide Control Officials” (AAPCO) no ano de 2020 recebeu mais de 250 relatos de deriva de dicamba nos EUA. Esses relatórios impactaram uma estimativa de mais de 100.000 ha afetados pela deriva desse herbicida (AAPCO, 2020).

A preocupação com a deriva desses herbicidas, não permeia somente nas questões ambientais. Um estudo realizado com aplicadores de dicamba no campo, que já estavam a mais de 20 anos expostos ao produto, mostrou que a probabilidade de ocorrência de câncer entre esses trabalhadores comparado aos que não aplicavam o herbicida, foi maior que 50% (LERRO et al., 2020). Dados semelhantes foram encontrados com trabalhadores expostos ao 2,4-D, mais de 20% foram diagnosticados com câncer, principalmente o de próstata (BURNS et al, 2011).

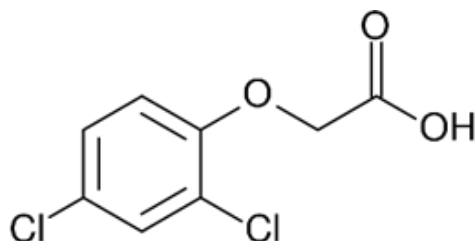
Apesar do dicamba e 2,4-D serem moléculas com mais de 40 anos de existência no mercado, ainda são poucos os estudos que mostram os efeitos que a deriva desses herbicidas podem causar. As empresas estão empenhadas a reduzir os efeitos de deriva dessas formulações, no entanto, à medida que o uso de herbicidas aumentou, a conscientização pública dos riscos também aumentou, dessa forma impulsionando a demanda por inovações no manejo de plantas daninhas e novas tecnologias de aplicação (CAMPOS, 2017). Diante disso, é de suma importância conhecer as características dessas moléculas, afim de minimizar os impactos gerados pela deriva.

#### 2.4. Características gerais do 2,4-D

O ácido (2,4-diclorofenoxi) acético (Figura 5) foi o primeiro herbicida seletivo desenvolvido ainda nos anos 1940 (SANTOS et al., 2002). Sua utilização inicial foi no âmbito militar, durante a Guerra do Vietnã, em que países, principalmente os EUA, utilizavam o citado herbicida juntamente com o 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) e o pentaclorofenol, formando o chamado “agente laranja”, utilizado como desfolhante (SANTOS et al., 2002). Este herbicida é bastante utilizado para aplicação em pós-emergência de plantas daninhas em cultivos de trigo, soja, milho, arroz, café, cana-de-açúcar e pastagens (COSTA, 2019).

O mecanismo de ação do 2,4-D é de mimetização das auxinas naturais das plantas (GROSSMAN, 2010). As auxinas sintéticas possuem ação similar à auxina natural, porém potencializada, induzindo alterações metabólicas e bioquímicas no metabolismo de ácidos nucleicos e na plasticidade da parede celular (CARVALHO, 2013), provocando crescimento descontrolado e letal nas plantas-alvo (BRADBERRY et al., 2004). Elas atuam principalmente na estimulação da produção de ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC) sintase, enzima responsável pela biossíntese do hormônio etileno. O aumento da concentração deste hormônio acelera a senescência das plantas e, ao final, a morte (GROSSMANN, 2010).

Sabe-se que todos os herbicidas mimetizadores da auxina são capazes de causar sintomas semelhantes, caracterizados por alterações no crescimento das plantas. Estes efeitos podem ser percebidos mesmo quando pequenas quantidades destes herbicidas entram em contato com plantas sensíveis (MATTE, 2021). Fato que preocupa, visto que devido as características físico-químicas do 2,4-D, possui propensão a sofrer deriva, propiciado por sua alta pressão de vapor (PV) (Tabela 3) (SILVA et al., 2002). A PV indica a capacidade de um composto alterar seu estado físico da forma sólida ou líquida para a forma gasosa, sendo assim, apresentando tendência em volatilizar mais facilmente (CARVALHO, 2013).



**Figura 5.** Fórmula estrutural da molécula de 2,4-D. Fonte: PPDB (2021).

**Tabela 3.** Propriedades da molécula do 2,4-D.

<b>Propriedades</b>	<b>Valores</b>
Nome químico (IUPAC)	Ácido (2,4-diclorofenoxi) acético
Nome comum	Ácido (2,4-diclorofenoxi) acético
Número CAS	94-75-7
Fórmula molecular	$C_8H_6Cl_2O_3$
Massa molecular	221,04 g mol <sup>-1</sup>
Classe	Herbicida
Grupo químico	Alquilclorofenoxi
Ponto de fusão	138,7 °C
Pressão de vapor (PV) a 20 °C	9 x 10 <sup>-3</sup> mPa (alta)
Constante da lei de Henry à 25 °C (K <sub>H</sub> )	4 x 10 <sup>-6</sup> Pa m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> (alta)
Solubilidade em água (S <sub>w</sub> )	24300 mg L <sup>-1</sup> (20°C) (alta)
Coeficiente de partição ácido (pK <sub>a</sub> )	3,4 (à 25 °C) (moderada)
Coeficiente de partição solo-água (K <sub>d</sub> )	0,09 a 0,22 mL g <sup>-1</sup> (móvel)
Coeficiente octanol-água (K <sub>ow</sub> )	1,51 x 10 <sup>-1</sup> (pH 7, 20°C) (baixa lipofilicidade)
Tempo de meia-vida da degradação no solo (DT <sub>50</sub> )	28 dias (Não persistente)

Fonte: Adaptado de PUBCHEM (2015) e PPDB (2021).

Parte dessa preocupação é decorrente dos seus efeitos ocorrentes em doses baixas. Hemphill e Montgomery (1981), e Gilreath et al. (2001) demonstraram isso em estudo, e verificaram que para que ocorra os efeitos fitotóxicos do 2,4-D (sal de dimetilamina) em culturas sensíveis, as doses necessárias são da ordem de 1 x 10<sup>-3</sup> em relação a dose recomendada para o controle. Há outros estudos que demonstraram o efeito de subdoses do 2,4-D em culturas específicas, como nos citros

(ROESLER et al., 2020), videiras (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2007; MOTA, 2015), algodão (CONSTANTIN et al., 2007), fumo (CONSTANTIN et al., 2003) e mamona (SEVERINO et al., 2004). Entretanto, ainda são poucos os estudos que demonstram a dimensão dos possíveis danos que este herbicida pode causar às culturas sensíveis (CONSTANTIN et al., 2007; MOTA, 2015), isso se deve à complexidade e pelos inúmeros fatores que podem estar envolvidos na deriva e seus possíveis efeitos fitotóxicos (MOTA, 2015).

O 2,4-D é registrado no Brasil para uso nas culturas da cana-de-açúcar, pastagens, arroz, café, milho, soja e trigo (AGROFIT, 2021). As formulações do 2,4-D são divididas em três tipos de co-formulantes, sendo eles: éster, amina e colina (CONTIERO et al., 2016; SKELTON et al., 2017; PINHEIRO, 2020). As formulações ésteres têm problemas de volatilização. Possivelmente por este fato que não são comercializadas no Brasil desde 2002. Quando estas formulações são aplicadas na superfície da folha penetram rapidamente a cutícula devido à afinidade com óleo, e embora insolúveis em água, logo após a absorção são convertidas em ácido e translocadas até o sítio de ação (FOLONI, 2016; PETERSON et al., 2016; PINHEIRO, 2020). A formulação amina é a mais utilizada no mundo e entre elas se destaca como a mais comum as DMA. A utilização inadequada do ingrediente ativo, bem como, o uso extensivo ainda deixa dúvidas quanto ao risco ambiental deste formulado embora haja busca por melhorias com relação à volatilização (MARCINKOWSKA et al., 2017). A formulação colina caracteriza-se como um sal de amônia quaternária que fornece maior capacidade na redução do percentual de gotas finas e volatilidade em relação às demais formulações. Em condições de laboratório, alguns autores notaram redução na deriva da pulverização em virtude de sua baixa volatilidade (SOSNOSKIE et al., 2015; CONTIERO et al., 2016; MANUCHEHRI et al., 2017; PINHEIRO, 2020). Na Tabela 4 é possível observar as plantas daninhas que são controladas pelo 2,4-D.

**Tabela 4.** Plantas daninhas controladas por 2,4-D

<b>Nome comum</b>	<b>Nome científico</b>
Carrapicho-de-carneiro	<i>Acanthospermum hispidum</i>
Angiquinho	<i>Aeschynomene denticulata</i>
Angiquinho	<i>Aeschynomene rudis</i>

Mentrasto	<i>Ageratum conyzoides</i>
Corda-de-viola	<i>Ipomoea aristolochiaefolia</i>
Nabo-bravo	<i>Raphanus raphanistrum</i>
Caruru	<i>Amaranthus hybridus</i>
Caruru	<i>Amaranthus retroflexus</i>
Losna	<i>Artemisia vertorum</i>
Picão-preto	<i>Bidens pilosa</i>
Picão-branco	<i>Galinsoga parviflora</i>
Corda-de-viola	<i>Ipomoea grandifolia</i>
Rubim	<i>Leonurus sibiricus</i>
Flor-das-almas	<i>Senecio brasiliensis</i>
Serralha	<i>Sonchus oleraceus</i>
Caruru	<i>Amaranthus deflexus</i>
Trapoeiraba	<i>Commelina benghalensis</i>
Carrapicho	<i>Desmodium tortuosum</i>
Caruru	<i>Amaranthus retroflexus</i>
Buva	<i>Conyza bonariensis</i>
Beldroega	<i>Portulaca oleracea</i>
Poaia-branca	<i>Richardia brasiliensis</i>
Guanxuma	<i>Sida rhombifolia</i>
Erva-de-touro	<i>Tridax procumbens</i>
Leiteiro	<i>Euphorbia heterophylla</i>
Fedegoso	<i>Senna obtusifolia</i>
Caruru-de-mancha	<i>Amaranthus viridis</i>
Nabiça	<i>Raphanus raphanistrum</i>
Caruru-de-espinho	<i>Amaranthus spinosus</i>
Corda-de-viola	<i>Ipomoea purpurea</i>
Cipó-de-veado	<i>Polygonum convolvulus</i>

---

Fonte: Agrofit (2021).

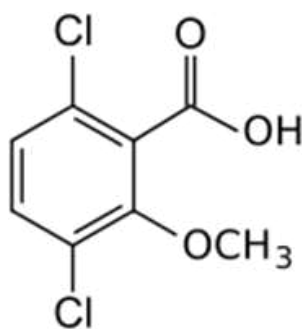
### 2.5. Características gerais do dicamba

O dicamba é um herbicida ácido benzoico (Figura 6), seletivo e tem sido usado em ambientes agrícolas, industriais e residenciais desde 1960 para o controle em pós-

emergência de plantas daninhas de folha larga e plantas lenhosas (USEPA 2006; LERRO et al., 2020; BROCHADO et al., 2021).

O mecanismo de ação do dicamba envolve a plasticidade da parede celular e o metabolismo de ácidos nucleicos – mimetizador de auxina (GROSSMANN, 2010). Senseman (2007) pressupõe que a ação do herbicida seja capaz de acidificar a parede celular dos vegetais pela maior atividade da bomba de prótons da ATPase, ligada à membrana celular. Assim, a redução do pH na região do apoplasto induz o alongamento celular por causa da maior atividade de enzimas encarregadas pelo afrouxamento das células (USEPA, 2013; SILVA, 2020). Em baixas doses, os herbicidas auxínicos possuem propriedades hormonais similares à auxina natural. Entretanto, quando a taxa de aplicação aumenta, eles causam várias anormalidades em plantas dicotiledôneas sensíveis (KELLEY e RIECHERS, 2007; MARCHI et al., 2008).

Um dos maiores problemas do dicamba está relacionado à deriva do produto, por pressão de vapor (Tabela 5), quanto por partícula. Mesmo em baixas doses, pode causar crescimento anormal e mortalidade de plantas dicotiledôneas, pois existem muitas culturas, as quais são sensíveis ao dicamba, como grande parte das hortaliças e a cultura da soja (MORTENSEN et al., 2012; BROCHADO et al., 2021).



**Figura 6.** Fórmula estrutural da molécula do dicamba. Fonte: PPDB (2021).

**Tabela 5.** Propriedades da molécula do dicamba.

Propriedades	Valores
Nome químico (IUPAC)	Ácido 3,6-dicloro-o-anísico
Nome comum	Ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico

Número CAS	1918-00-9
Fórmula molecular	$C_8H_6Cl_2O_3$
Massa molecular	221,04 g mol <sup>-1</sup>
Classe	Herbicida
Grupo químico	Ácido benzóico
Ponto de fusão	115 °C
Pressão de vapor (PV) a 20 °C	4,5 x 10 <sup>-3</sup> mPa (alta)
Constante da lei de Henry à 25 °C (K <sub>H</sub> )	1,0 X 10 <sup>-4</sup> Pa m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> (alta)
Solubilidade em água (S <sub>w</sub> )	25000 mg L <sup>-1</sup> (20°C) (Alta)
Coeficiente de partição ácido (pK <sub>a</sub> )	1,87 (à 25 °C) (alta)
Coeficiente de partição solo-água (K <sub>d</sub> )	0,32 a 2,49 mL g <sup>-1</sup> (muito móvel)
Coeficiente octanol-água (K <sub>ow</sub> )	1,32 X 10 <sup>-2</sup> (pH 7, 20°C) (baixa lipofilicidade)
Tempo de meia-vida da degradação no solo (DT <sub>50</sub> )	10 dias (Não persistente)

---

Fonte: Adaptado de PUBCHEM (2016) e PPDB (2021).

O dicamba é registrado no Brasil para uso nas culturas de cana-de açúcar, milho, milho, sorgo, trigo, sorgo, trigo, algodão e soja (AGROFIT, 2021). Existem inúmeras formulações de dicamba, incluindo sal de dimetilamina (DMA), sal de diglicolamina (DGA) e sal de sódio (NA) (EPA, 2006). Segundo Egan e Mortesen (2012) o sal DGA é oito vezes menos volátil do que o sal DMA. Behrens e Lueschen (1979) avaliaram a volatilidade relativa de diferentes formulações de dicamba em condições de laboratório. Os autores reportaram que o sal DMA de dicamba foi mais volátil do que as outras duas formulações (DGA e NA) de dicamba. No entanto, apesar do DMA ser mais volátil, os autores concluíram que todas as três formulações de dicamba causaram danos foliares em experimentos de campo. Nascimento et al. (2018) simularam a deriva de dicamba em hortaliças, em diferentes doses, para avaliar o nível de injúria causada. Os autores concluíram que o pepino e a beterraba são extremamente sensíveis ao dicamba, pois em uma dose considerada baixa (24 g. e. a. ha<sup>-1</sup>), causou injúria nas culturas. Na Tabela 6 é possível observar as plantas daninhas que o dicamba controla.

**Tabela 6.** Plantas daninhas controladas por dicamba.

<b>Nome Comum</b>	<b>Nome científico</b>
Carrapicho-de-carneiro	<i>Acanthospermum hispidum</i>
Mentrasto	<i>Ageratum conyzoides</i>
Caruru	<i>Amaranthus hybridus</i>
Caruru	<i>Amaranthus retroflexus</i>
Losna	<i>Artemisia vertorum</i>
Picão-preto	<i>Bidens pilosa</i>
Picão-branco	<i>Galinsoga parviflora</i>
Corda-de-viola	<i>Ipomoea grandifolia</i>
Rubim	<i>Leonurus sibiricus</i>
Flor-das-almas	<i>Senecio brasiliensis</i>
Serralha	<i>Sonchus oleraceus</i>
Caruru	<i>Amaranthus deflexus</i>
Trapoeiraba	<i>Commelina benghalensis</i>
Carrapicho	<i>Desmodium tortuosum</i>
Buva	<i>Conyza bonariensis</i>
Beldroega	<i>Portulaca oleracea</i>
Poaia-branca	<i>Richardia brasiliensis</i>
Guanxuma	<i>Sida rhombifolia</i>
Erva-de-touro	<i>Tridax procumbens</i>
Leiteiro	<i>Euphorbia heterophylla</i>
Fedegoso	<i>Senna obtusifolia</i>
Caruru-de-mancha	<i>Amaranthus viridis</i>
Nabiça	<i>Raphanus raphanistrum</i>
Caruru-de-espinho	<i>Amaranthus spinosus</i>
Corda-de-viola	<i>Ipomoea purpurea</i>
Cipó-de-veado	<i>Polygonum convolvulus</i>

Fonte: Agrofit (2021).

### **3. Objetivos**

#### *3.1. Objetivo geral*

Avaliar os efeitos da deriva simulada de dicamba e 2,4-D em mudas de tangerineira 'ponkan', na microbiota do solo e no caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*).

#### *3.2. Objetivos específicos*

- Avaliar e descrever os sintomas visuais relacionados às injúrias de mudas de tangerina 'ponkan' submetidas à deriva simulada de dicamba e 2,4-D.
- Determinar quais variáveis fisiológicas e biométricas da tangerineira serão afetadas pelo dicamba e 2,4-D.
- Delimitar qual a subdose do herbicida promove danos fisiológicos e visuais.
- Verificar se a deriva simulada dos herbicidas causará estresse na comunidade microbiana do solo.
- Avaliar os efeitos da deriva simulada de 2,4-D e dicamba na planta daninha caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*).

### **4. Material e métodos**

#### *4.1. Avaliações da deriva do dicamba e 2,4-D nas mudas de tangerineira 'ponkan'*

##### *4.1.1. Local de estudo*

O experimento foi executado em casas de vegetação da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) - Fruticultura Tropical e Subtropical do Setor de Fruticultura junto ao Departamento de Agronomia (DAA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situado na cidade de Viçosa, Minas Gerais. Todos os materiais utilizados foram oriundos do matrizeiro da UEPE Pomar do Fundão e da Coleção de Porta-Enxertos de Citros do DAA/UFV.

##### *4.1.2. Mudas de tangerineira 'ponkan'*

A variedade-copa utilizada foi da tangerineira 'Ponkan' (*Citrus reticulata*

Blanco), a qual caracteriza-se por possuir dossel colunar quando adulta. Quanto aos porta-enxertos, foram utilizados o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia*), por ser se caracterizar como um porta-enxerto vigoroso. As mudas de tangerineira adquiridas possuíam aproximadamente dezoito meses de idade.

#### 4.1.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em fatorial duplo (2x6), sendo o primeiro fator os herbicidas (dicamba e 2,4-D), o segundo fator as proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D) de dicamba (3, 11, 45, 180 e 720 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (9, 36, 146, 586, 2345 g e.a. ha<sup>-1</sup>) simulando a deriva. A dose recomendada do dicamba (DICAMAX) foi de 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> e 2345 g e.a. ha<sup>-1</sup> para o 2,4-D (U 46 BR).

#### 4.1.4. Padronização das mudas

As mudas foram padronizadas a 60 cm de altura e em 5 ramos, para tonar as unidades experimentais mais homogêneas. Ao homogeneizar as mudas, ocorreu o transplântio para vasos com volume de 21 L para permitir maior crescimento. Posteriormente, os vasos foram preenchidos com o solo argiloso do ponto amostral definido previamente coletado na camada de 0-15 cm. Após o transplântio, as mudas passaram por um período de aclimatação de 20 dias.

#### 4.1.5. Deriva simulada

Ao final do período de padronização das mudas, entre as 8h e 9h30 da manhã foi realizada à deriva simulada por meio da aplicação dos herbicidas com um pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, operando à pressão constante de 2,94 kgf cm<sup>-2</sup>, equipado com barra de duas pontas TT 110.15 espaçadas de 50 cm, em que a aplicação será feita com a barra na posição vertical, para que houvesse maior cobertura da planta, a uma distância de 50 cm e uma altura de 50 cm dos vasos, com um volume de calda de 170 L ha<sup>-1</sup>. Os vasos foram irrigados diariamente, mantendo-se boas condições de umidade e evitando o encharcamento do solo. Segundo a Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação situada em Viçosa-MG, as

condições ambientais no dia aplicação foram de 19,7°C de temperatura, umidade relativa do ar de 97% e velocidade do vento de 0,3 m/s<sup>-1</sup>.

#### 4.1.6. *Avaliações biométricas*

As variáveis biométricas foram realizadas por meio da contabilização do número de folhas no ramo principal (FRP), por ramo (FR) e o número de ramos (NR). Essas avaliações serão aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA) da deriva simulada. Aos 28 DAA, foi determinado a abscisão foliar das mudas em porcentagem.

#### 4.1.7. *Avaliações fisiológicas*

As plantas foram avaliadas quanto ao seu desempenho em relação às trocas gasosas, à fluorescência da clorofila a e teores de clorofila em nível de folhas.

A avaliação de trocas gasosas, selecionou-se uma folha completamente desenvolvida no terço médio da copa de cada planta. Nessa folha, foram realizadas duas leituras consecutivas com o analisador de fotossíntese IRGA (Infrared Gas Analyzer) (LCpro-SD ADC, BiScientific Ltda<sup>®</sup>, Hoddesdon, Inglaterra), sendo uma curva de luz realizada para determinar a densidade de fluxo ideal para a 'ponkan'. Com base nessa análise, foi determinada a intensidade da luz artificial ideal para densidade do fluxo de fótons. As avaliações foram realizadas no período de 8 a 11 h da manhã (FARIA-SILVA et al., 2020),

As variáveis obtidas com esta análise foram a taxa fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração foliar ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e o carbono intercelular ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

A obtenção dos valores da fluorescência da clorofila ( $F_v/F_m$ ), foram por meio de um fluorômetro portátil (Fim 1500 ADC, Analytical Development Company Ltda<sup>®</sup>, Hoddesdon, Inglaterra) e posteriormente foi selecionada e marcada uma folha completamente desenvolvida no terço médio da copa, sendo realizada uma leitura por folha. A condição de escuro foi simulada por meio do uso de pinças metálicas aderidas às folhas durante 30 min, impedindo que as mesmas ficassem expostas à luz. Nesta condição, foram avaliadas: fluorescência mínima ( $F_o$ ), máxima ( $F_m$ ) e variável ( $F_v = F_m - F_o$ ). A partir destas variáveis, foi calculado o rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) (KHALIDA et al., 2012).

As leituras do teor de clorofila na folha, foram realizadas utilizando-se o equipamento clorofilômetro (SPAD - Soil Plant Analysis Development, Minolta Corp, Japão). Três folhas foram selecionadas a partir do terço médio da planta e marcadas para medições posteriores. Nessas folhas, foram realizadas três medições e calculada a média para cada planta amostrada. Todas as avaliações fisiológicas foram aos 0, 7, 14, 21 e 28 DAA.

#### 4.1.8. Avaliação microbiana da rizosfera das mudas

Aos 28 DAA foram coletados em torno de 250 g de cada unidade experimental, a fim de determinar se a presença da deriva simulada dos herbicidas provocou perturbação na microbiota do solo. A amostra coletada foi peneirada (malha de 2 mm) e umedecida (70% da CC), sendo incubada durante 15 dias em frascos hermeticamente fechados em uma B.O.D. da marca EletroLab®, com temperatura controlada de 25°C, sem luminosidade. Posteriormente, foi quantificada a frequência respiratória da microbiota do solo, por meio do método respirométrico de avaliação do C-CO<sub>2</sub> evoluído. As avaliações ocorreram aos 1, 3, 5, 7, 10 e 15 dias após o início da incubação. O C-CO<sub>2</sub> liberado do solo foi carregado por fluxo contínuo de ar (isento de CO<sub>2</sub>) até um coletor dentro do frasco contendo 10 mL de solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>. A precipitação do carbonato formado foi realizado com a adição de 10 mL de BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup>, sendo posteriormente titulado com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup>, acrescidos de três gotas do indicador fenolftaleína a 1% (STOTZKY, 1965; CURL e RODRIGUEZ-KABANA, 1972).

Após 40 dias, 17 g de solo de cada frasco foram pesados para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) conforme Vance et al. (1987), modificado por Islam e Weil (1998). A partir dos valores obtidos de C-CO<sub>2</sub> e CBM o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado dividindo-se o C-CO<sub>2</sub> evoluído do solo pelo CBM determinado no solo (ANDERSON e DOMSCH, 1993).

#### 4.1.9. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) para avaliar a interação dos fatores pelo teste F. Quando significativos, os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para contraste das médias entre as diferentes

derivas simuladas e as épocas de aplicação dos herbicidas. Utilizou-se o software estatístico Sisvar versão 5.6. e as figuras foram plotadas no software SigmaPlot® (versão 13.0 para Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, Califórnia, EUA).

#### 4.2. Avaliação do nível de injúria da planta daninha caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) sob aplicação do 2,4-D e dicamba

##### 4.2.1. Local de estudo

Um estudo foi realizado para determinar o nível de injúria causado pelos herbicidas dicamba e 2,4-D em diferentes proporções da dose recomendada (D) simulando à deriva, na espécie de planta daninha caruru-gigante (*A. retroflexus*). O estudo foi realizado na casa-de-vegetação no DAA/UFV.

##### 4.2.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em fatorial duplo com um tratamento adicional ( $2 \times 5 + 1$ ), sendo o primeiro fator os herbicidas (dicamba e 2,4-D), o segundo fator as proporções da dose (D) recomendada (1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D), dicamba (3, 11, 45, 180 e 720 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (9, 36, 146, 586, 2345 g e.a. ha<sup>-1</sup>) simulando a deriva e uma tratamento controle (sem aplicação dos herbicidas). A dose recomendada do dicamba (DICAMAX) foi de 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> e 2345 g e.a. ha<sup>-1</sup> para o 2,4-D (U 46 BR).

##### 4.2.3. Unidade experimental

Cada unidade experimental consistiu de um vaso com volume de 300 g preenchidos com o solo argiloso do ponto amostral definido previamente coletado na camada de 0-10 cm. Cada vaso foi semeado com 10 sementes da espécie da planta daninha correspondente a uma unidade experimental. Posteriormente foi realizado o desbaste deixando apenas duas plantas por vaso, com o desenvolvimento de 6 folhas definitivas para realizar a aplicação dos herbicidas.

##### 4.2.4. Aplicação dos herbicidas

Após o desenvolvimento de 6 folhas definitivas das plantas, foi realizada a

aplicação dos herbicidas conforme o item 4.1.5. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação situada em Viçosa-MG, as condições ambientais no dia aplicação foram de 18,3 de temperatura, umidade relativa do ar de 84% e velocidade do vento de 0,4 (m/s<sup>-1</sup>). Os vasos foram irrigados diariamente, mantendo-se a umidade próxima à da capacidade de campo.

#### 4.2.5. Avaliação do nível de injúria

Aos 7, 14 e 21 DAA dos herbicidas foi avaliado o nível de injúria por meio de observações visuais e atribuição de nota que variam de 0 para as plantas normais, iguais ao controle sem aplicação de herbicidas, e 100 para as plantas mortas, conforme escala de Wells et al. (2019), conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6.** Escala de avaliação visual do nível de injúria utilizada para determinar o efeito da deriva simulada do herbicida sobre o caruru (*Amaranthus retroflexus*).

Nível de injúria (%)	Características
0	Sem efeito, planta normal.
10	Ligeiro enrugamento dos folhetos da folha terminal.
20	Cunhamento dos folíolos terminais, ligeiro enrugamento dos folíolos da segunda folha, taxa de crescimento normal.
30	Folhetos de duas folhas terminais em forma de concha, expansão da folha terminal ligeiramente suprimida.
40	Malformação e supressão de crescimento de duas folhas terminais, tamanho da folha terminal menor que a metade do controle. Novas folhas axilares se desenvolvendo a uma taxa substancialmente reduzida.
50	Sem expansão da folha terminal, tamanho da segunda folha metade do controle. Botões de folhas axilares incapazes de se abrir e se desenvolver.
60	Pequeno crescimento terminal, necrose da folha terminal e botão axilar aparente. Clorose e necrose em aglomerados de folhas axilares.
	Botão terminal morto, crescimento substancial de rebentos

70	axilares fortemente malformados.
80	Crescimento limitado do rebento axilar, folhas presentes no momento do tratamento cloróticas com ligeira necrose.
90	Planta morrendo, folhas principalmente necróticas.
100	Planta morta.

Fonte: Wells et al. (2019).

#### 4.2.6. Determinação da matéria seca

Aos 21 DAA, a parte aérea e a raiz do caruru-gigante foram coletadas e secadas em estufa (FANEM, modelo 320-SE, São Paulo, Brasil) por 72 h a 65°C, e pesadas em balança analítica de modelo AY220 (SHIMADZU, Quioto, Japão) para determinar a matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) e massa seca total (MST). A matéria seca foi corrigida para valores percentuais, considerando a massa das plantas que não receberam o herbicida, como 100% de matéria seca

#### 4.2.7. Análise estatística

Os dados foram analisados por meio do teste F da análise da variância (ANOVA), efetuadas no software Sisvar (versão 5.6.), com o objetivo de verificar a significância da interação fatorial. Quando significativos ( $p \leq 0,05$ ), os dados foram analisados com o auxílio de regressões não lineares do tipo log-logístico usando o software SigmaPlot® (versão 13.0 para Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, Califórnia, Estados Unidos).

A variável nível de injúria de controle foi ajustada ao modelo proposto por Streibig et al. (1988) conforme a equação 1:

$$y = \frac{a}{[1+(\frac{x}{b})^c]} \quad (1)$$

Em que:  $y$  = porcentagem de controle;  $x$  = dose do herbicida; e  $a$ ,  $b$  e  $c$  = parâmetros da curva, de modo que  $a$  é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva,  $b$  é a dose do herbicida que proporciona 50% de resposta da variável e  $c$  é a declividade da curva.

Para a variável matéria seca, foi adotado o modelo proposto por Seefeldt et al. (1995), conforme a equação 2.

$$y = a + \frac{b}{[1+(\frac{x}{c})^d]} \quad (2)$$

Em que:  $y$  = porcentagem residual da massa seca;  $x$  = dose do herbicida; e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  = parâmetros da curva, de modo que  $a$  é o limite inferior da curva,  $b$  é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva,  $c$  é a dose do herbicida que proporciona 50% de resposta da variável e  $d$  é a declividade da curva.

O cálculo da dose do herbicida que proporciona 50% e 80% de controle ( $C_{50}$  e  $C_{80}$ ) ou 50% e 80% de redução de matéria seca ( $GR_{50}$  e  $GR_{80}$ ) das plantas daninhas foi normalizada pelo ajuste da equação de regressão. Para isso, conforme proposto por Carvalho et al. (2005), optou-se pela inversão do modelo log-logístico, deixando-o em função de  $y$ . Assim, por meio da equação 3 foi possível determinar a  $C_{50}$  e  $C_{80}$ , por meio da equação 4 foi determinada a  $GR_{50}$  e  $GR_{80}$ , substituindo  $y$  pelo valor 50 e 80:

$$x = b * c \frac{a-1}{\sqrt{y}} \quad (3)$$

$$x = c * \sqrt[d]{\frac{b}{y-a} - 1} \quad (4)$$

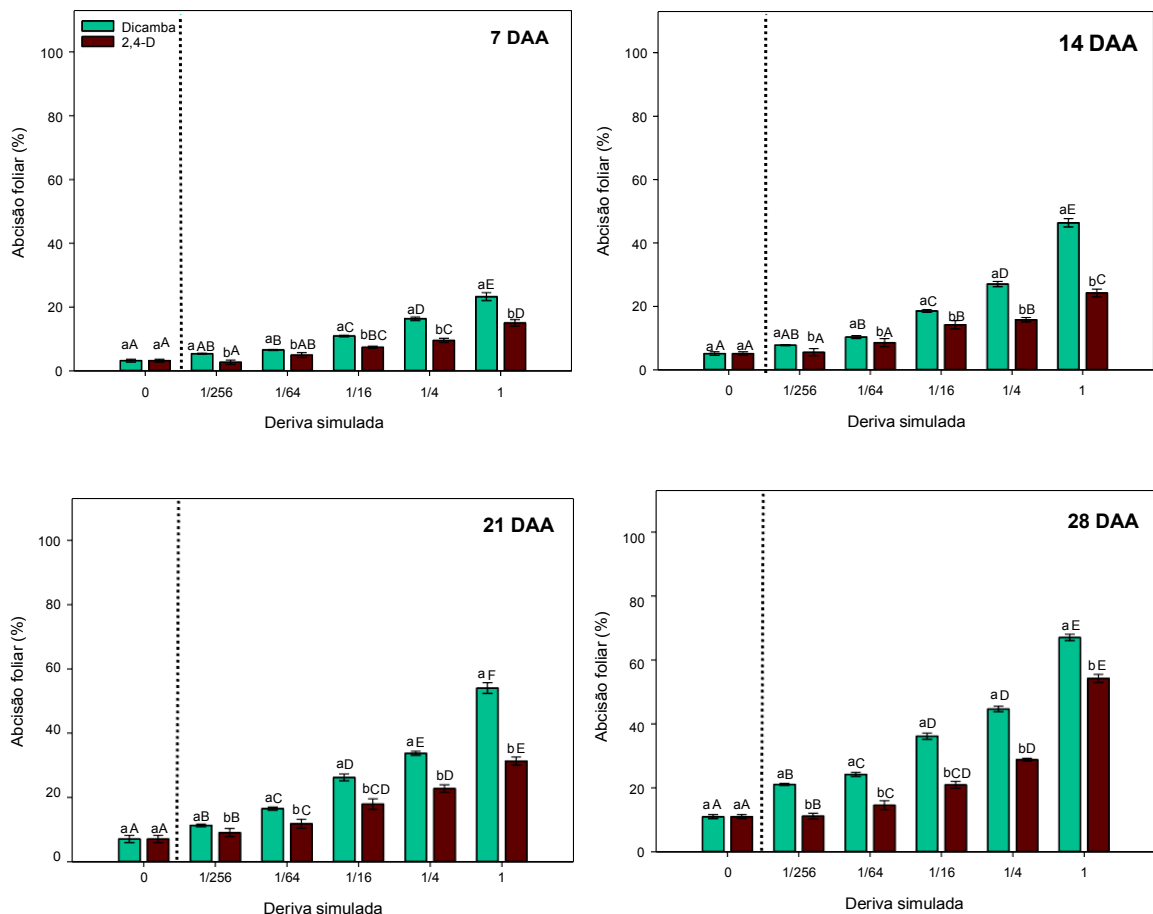
## 5. Resultados e Discussão

### 5.1. Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D nas mudas de tangerineira 'ponkan'

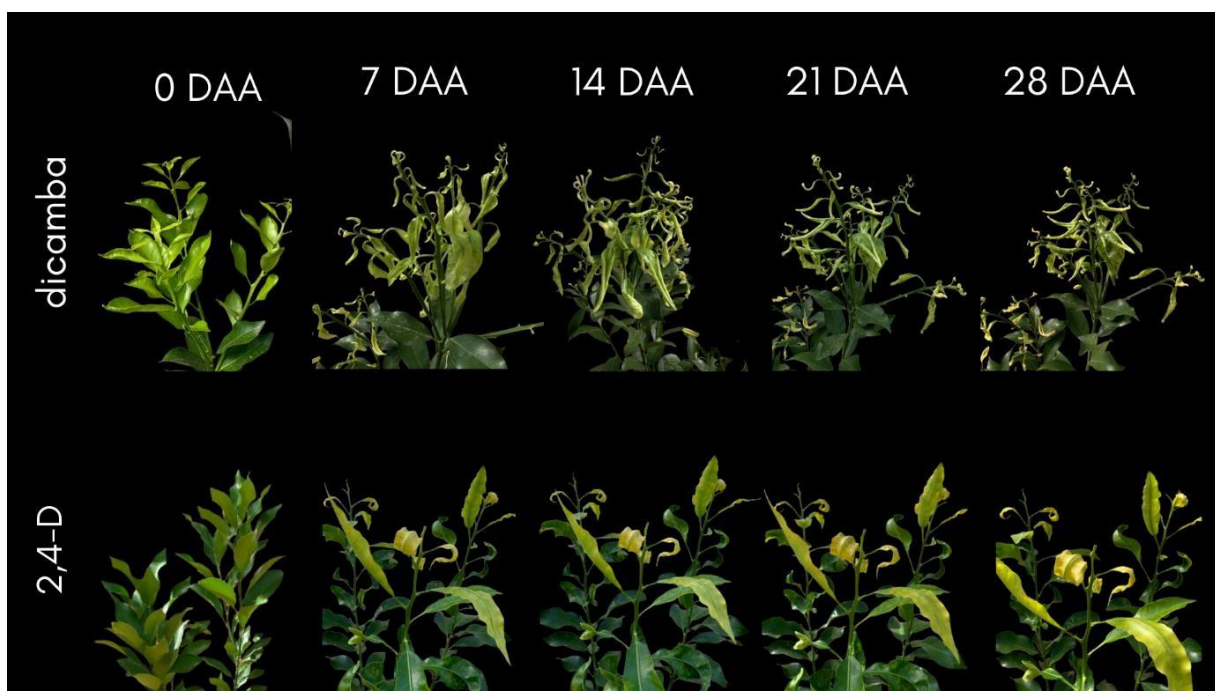
#### 5.1.1. Abscisão foliar

Houve interação entre os fatores para a variável abscisão foliar ( $F=0,03$ ;  $p<0,05$ ) (Figura 7). O dicamba mostrou-se mais tóxico em relação ao 2,4-D em todos os períodos avaliados. Independente do período de avaliação da deriva simulada, a porcentagem de abscisão foliar foi 50% maior para o dicamba em relação ao 2,4-D, a partir da menor deriva (1/256D). Ocorreu um aumento da abscisão foliar conforme aumentou a deriva simulada dos herbicidas (Figura 7). A deriva de 1/64D do dicamba, aos 7 e 14 DAA, aumentou a abscisão foliar, em relação ao tratamento controle, sem

aplicação de herbicida. O 2,4-D, aos 7 e 14 DAA, ocasionou a partir da deriva simulada de 1/16D, um aumento de 70% da abscisão foliar. Por outro lado, nas avaliações realizadas aos 21 e 28 DAA, a proporção da deriva simulada foi menor (1/256D), para ambos os herbicidas, em relação ao controle. As mudas da tangerineira 'ponkan' apresentaram sintomas de injúria, após a exposição da deriva simulada de dicamba e 2,4-D (Figura 8).



**Figura 7.** Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D na abscisão foliar das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,5$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

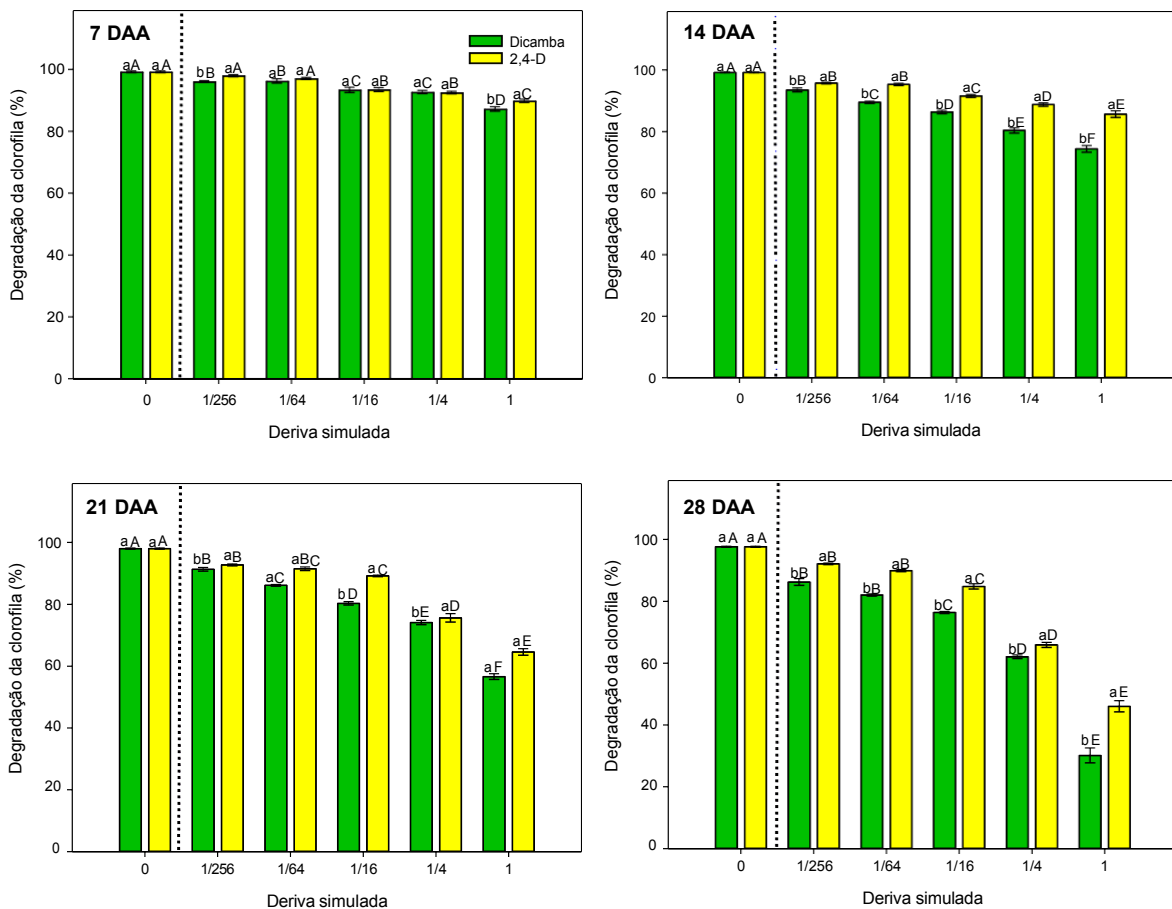


**Figura 8.** Sintomas de injúrias em mudas de tangerineira ‘ponkan’ decorrente da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na deriva simulada de 1/16D (146 e 45 g e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente) da dose (D) recomendada, aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA).

Em um estudo realizado por Roesler et al. (2020) foi observado que a biomassa seca de mudas de laranja pêra (*Citrus sinensis*) reduziu em plantas tratadas com subdoses de dicamba e 2,4-D. Segundo os autores, a biomassa foi reduzida principalmente devido a abscisão foliar das mudas, o mesmo comportamento observado no presente estudo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Wells et al. (2019), o qual avaliou os efeitos da deriva simulada de 2,4-D e dicamba em árvores de noqueira-pecã (*Carya illinoensis*), ao decorrer do período de avaliação, foi observado a deformação da folhagem, folhagem morta, galhos mortos e interrupção do desenvolvimento da castanha da noqueira-pecã. Sendo assim, os resultados encontrados podem sugerir que a ação de herbicidas auxínicos em plantas sensíveis é evidenciada por anormalidades de crescimento e inibição, que podem levar desbalanços fisiológicos, dessecação e necrose do tecido (GROSSMANN, 2000).

### 5.1.2. Parâmetros fisiológicos

Houve interação entre os fatores para a variável degradação da clorofila ( $F=0,04$ ;  $p<0,05$ ) (Figura 9). A partir da menor deriva simulada estudada (1/256D), foi possível observar o aumento da degradação da clorofila para ambos os herbicidas avaliados e em todas as épocas de avaliação. Além disso, a partir dos 7 DAA, também na dose de 1/256D, observou-se a diferença do dicamba, em que proporcionou maior degradação comparado ao 2,4-D, até aos 28 DAA. Com o aumento da dose, observou-se também a maior redução de pigmentos da clorofila nas mudas tratadas com 2,4-D e dicamba observados aos 28 DAA (Figura 10). Na dose comercial, notou-se a degradação da clorofila de 70% e 52% para o dicamba e 2,4-D, respectivamente, aos 28 DAA (Figura 10).



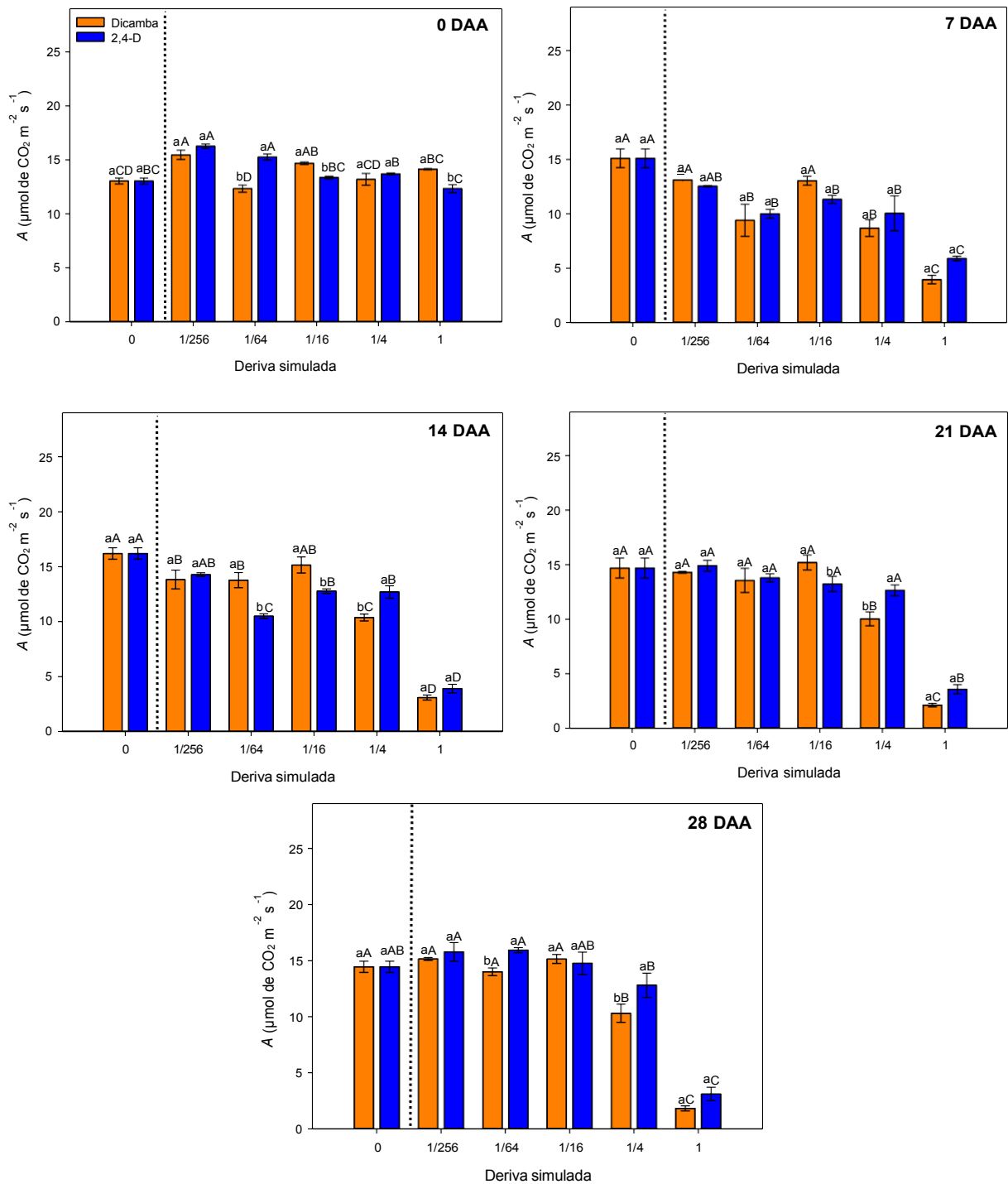
**Figura 9.** Efeito do dicamba e 2,4-D na degradação da clorofila das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 7, 14, 21 e 28 DAA nas proporções da dose (D) recomendada (0D,1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).



**Figura 10.** Sintomas de injúrias em mudas de tangerineira 'ponkan' devido a degradação da clorofila decorrente da deriva simulada de dicamba e 2,4-D nas mudas de tangerineira 'ponkan' aos 28 dias após a aplicação (DAA), nas proporções da dose (D) recomendada (0D,1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D).

A degradação da clorofila observada nesse estudo ocorreu devido ao fato de que os herbicidas em geral inibem a enzima comum entre a via de síntese de clorofila e citocromo, que causam a formação de uma tetrapirrolina intermediária que evita a formação do pigmento de clorofila (LINU e GIRIJA, 2020). Além disso, a degradação da clorofila por herbicidas auxínicos propicia a estimulação de etileno e ácido abscísico, hormônios de amadurecimento vegetal, que estão intimamente ligados a redução da taxa A (SOBIECH et al., 2020), comportamento este também notado no presente estudo.

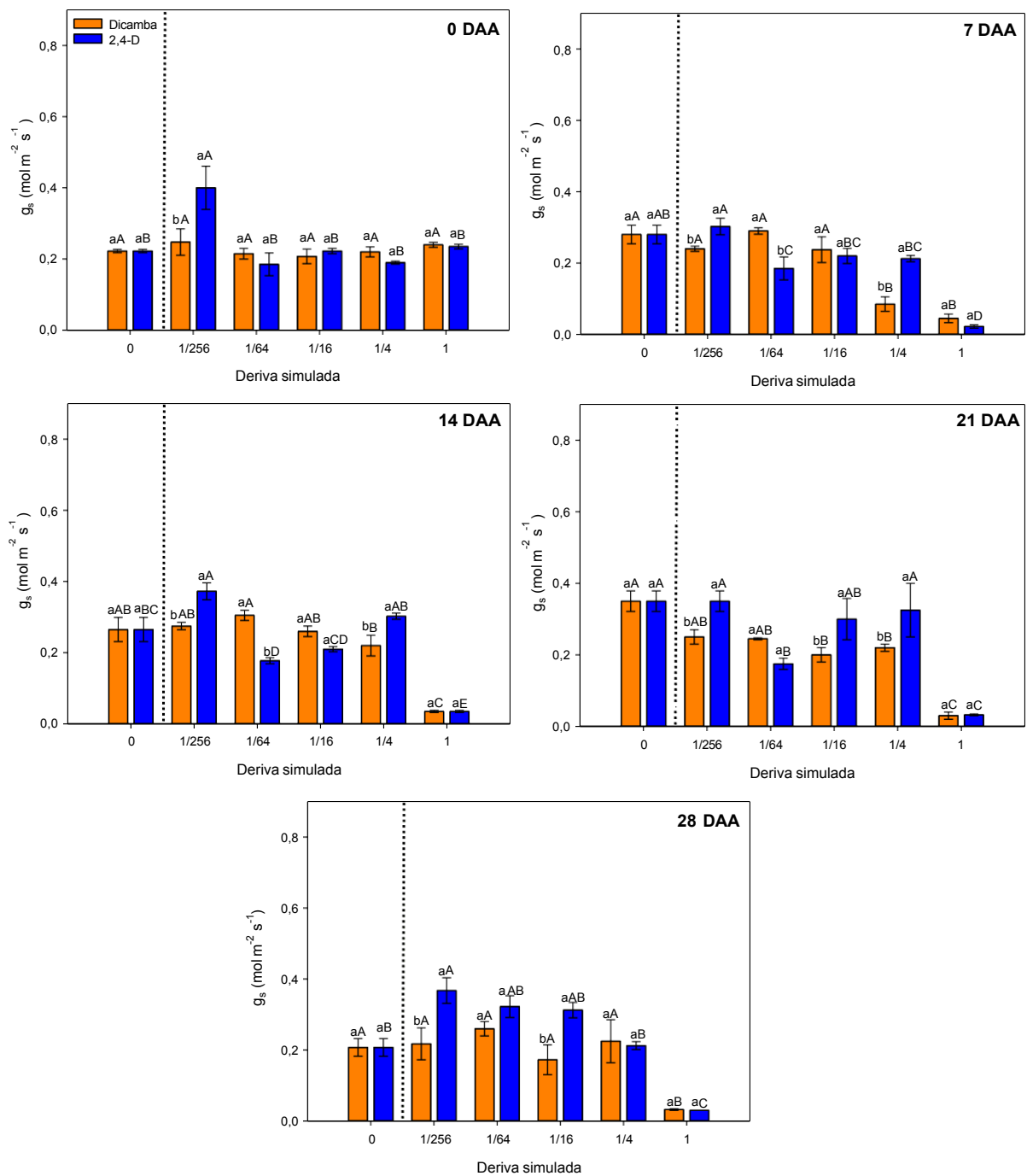
Quanto a variável A, foi observado a interação entre os fatores avaliados ( $F=0,02$ ;  $p<0,05$ ) (Figura 11). Aos 14 DAA, A reduziu com a aplicação de 2,4-D em relação ao dicamba, na deriva simulada de 1/64D. A partir da deriva simulada de 1/64D observou-se decréscimo da A em relação ao tratamento controle, para o dicamba e 2,4-D, aos 7 e 14 DAA. Aos 21 e 28 DAA, foi possível perceber o maior impacto de injúria dos herbicidas para as maiores doses (1/16D, 1/4D e 1D).



**Figura 11.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na taxa fotossintética (A) das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

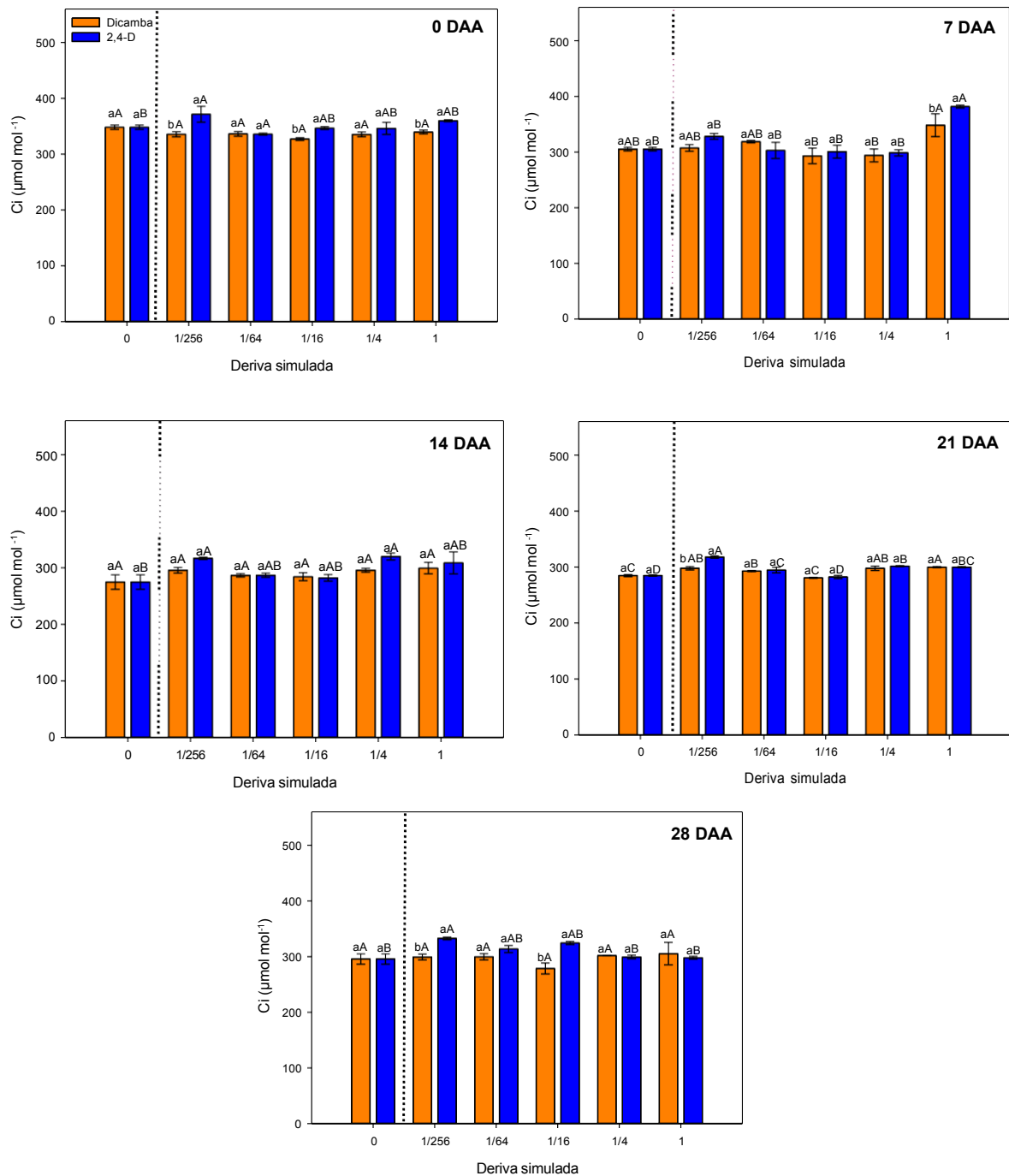
Em geral, os efeitos dos herbicidas auxínicos nas plantas podem ser divididos em três fases consecutivas da planta: estimulação do crescimento anormal e expressão gênica; inibição do crescimento e respostas fisiológicas como redução da fotossíntese, fechamento estomático, e, por fim, a senescência e morte celular (GROSSMANN, 2009). Durante a fase de estimulação, os herbicidas auxínicos estimulam o aumento da produção de etileno e a biossíntese do ácido abscísico (ABA) (HANSEN e GROSSMANN, 2000; GROSSMANN et al., 2001; KRAFT et al., 2007). Os níveis crescentes de ABA inibem o crescimento da planta fechando os estômatos, o que limita a assimilação de dióxido de carbono e leva ao acúmulo de peróxido de hidrogênio em plantas tratadas com herbicida (efeitos de segundo estágio) (KRAFT et al., 2007). Esse acúmulo de espécies reativas de oxigênio é provavelmente um fator importante no dano tecidual e na morte celular associada ao tratamento com herbicida (efeitos de terceiro estágio) (GROSSMANN, 2009). Nesse sentido, pode-se inferir que os resultados encontrados no presente estudo corroboram com as fases consecutivas dos efeitos tóxicos dos herbicidas auxínicos.

Uma das respostas fisiológicas também da aplicação de herbicidas auxínicos, pode ser visto nesse estudo em que houve redução da condutância estomática ( $g_s$ ) (Figura 12). A interação entre os fatores de  $g_s$  ( $F= 0,02$ ;  $p<0,05$ ) foi observada aos 7 DAA, observou-se um decréscimo da  $g_s$  para o 2,4-D, em relação ao dicamba na menor deriva simulada (1/256D). Enquanto que para o fator dose, houve redução de 35% para o 2,4-D na deriva simulada de 1/64 D e só foi possível observar diferença para o dicamba, na deriva de 1/4D (Figura 12).



**Figura 12.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na condutância estomática ( $g_s$ ) das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

Outra resposta fisiológica estimulada por altos níveis de auxina na planta é a redução da fixação de carbono no processo fotossintético (COBB e READ, 2010). A aplicação dos herbicidas ocasionou maiores concentrações de carbono intercelular ( $C_i$ ) (Figura 13). Não houve interação entre os fatores ( $F=0,34$ ;  $p>0,05$ ). Aos 7 DAA, só houve diferença para os herbicidas nas doses recomendadas. Aos 21 DAA, na menor deriva simulada (1/256D), a  $C_i$  do 2,4-D aumentou significativamente em relação ao dicamba, e este comportamento foi observado até os 28 DAA. Em relação às doses, apenas aos 21 DAA ocorreu diferença entre os tratamentos na menor deriva simulada (1/256D), para ambos os herbicidas.



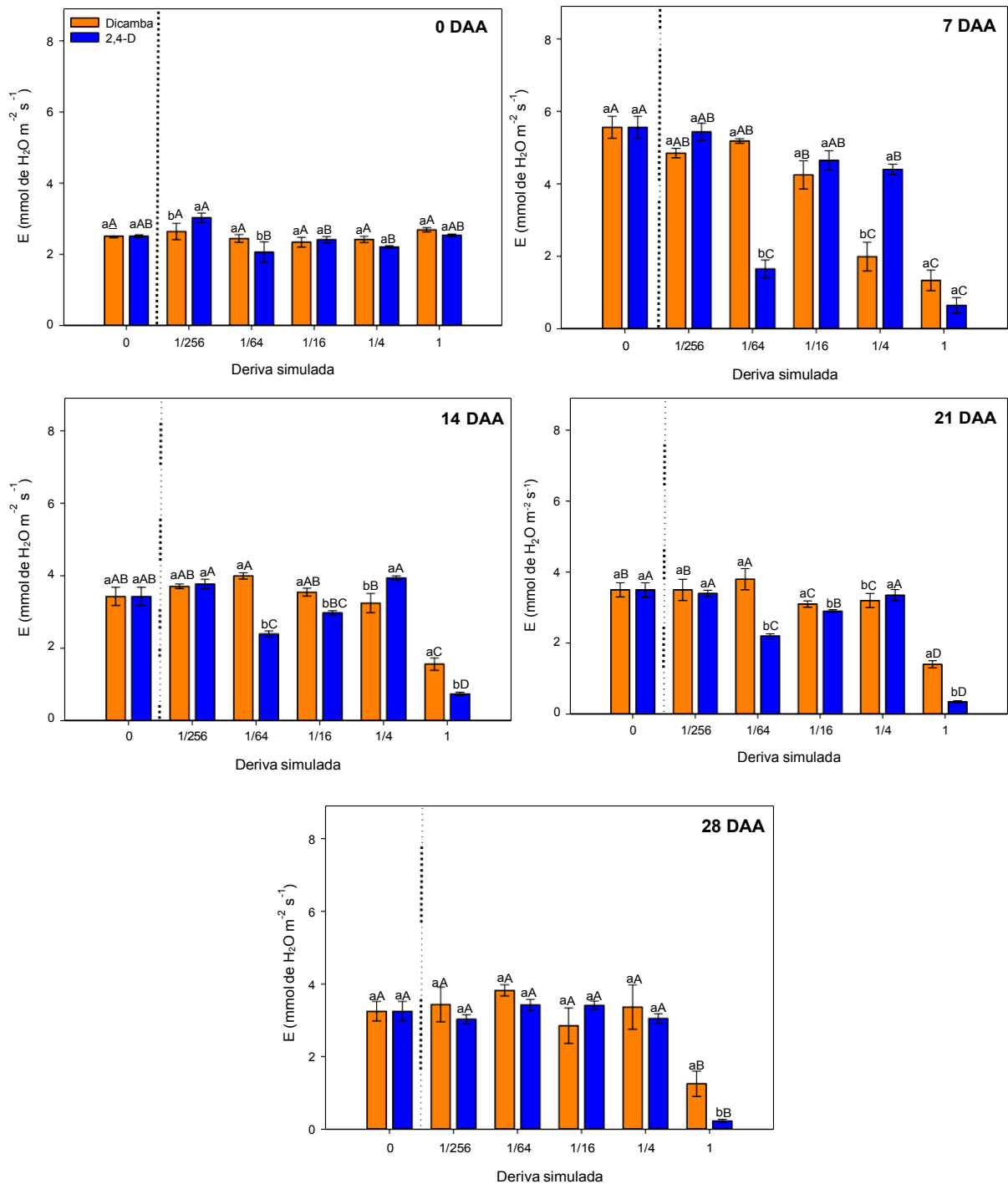
**Figura 13.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci) das mudas de tangerineira ‘ponkan’, aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

O mecanismo fotossintético das plantas de citros é C<sub>3</sub>, devido essa característica, a fixação de carbono dessas plantas está relacionada principalmente nos sítios da enzima rubisco (COBB e READ, 2010). Uma inibição da atividade da

rubisco carboxilase pode ser devido a não fixação de carbono, comprometendo todo processo fotossintético. Em consequência disso, se o carbono não é fixado, maior será o  $C_i$ , visto que ele estará mais disponível na planta (KINGSTON-SMITH e FOYER 2000; ROMERO-PUERTAS et al., 2002). Romero-Puertas et al. (2004) relataram os efeitos de subdoses de 2,4-D em folhas de oliveira (*Pisum sativum*), em que os autores afirmaram que a partir da dose correspondente de 1/256D houve aumento em 44% a concentração de  $C_i$  em relação ao tratamento controle, e esses resultados corroboram com os encontrados no presente estudo.

O fechamento estomático acarretado pelos herbicidas auxínicos, interfere não somente nas concentrações de  $C_i$ , mas também na redução das taxas transpiratórias (E) (ROSSOUW et al., 2019), consequência observada nas análises de E desse estudo.

Houve interação entre os fatores para a variável E ( $F= 0,02$ ;  $p<0,05$ ) (Figura 14). Aos 7 DAA, observou-se a diferença de 68% de redução da E para a aplicação de 2,4-D, em relação ao dicamba, na deriva simulada de 1/64D. A partir da deriva de 1/16D, foi observado a decréscimo significativo de 65% em relação controle. Enquanto que para o 2,4-D, essa diferença foi mais expressiva e observada na menor deriva, de 1/64 D, com 70% de diferença em relação ao controle. Esse comportamento se manteve até aos 21 DAA. Aos 28 DAA houve uma tendência dos valores de E retornar aos observados no período antecedendo a aplicação das doses de deriva dos herbicidas (0 DAA).



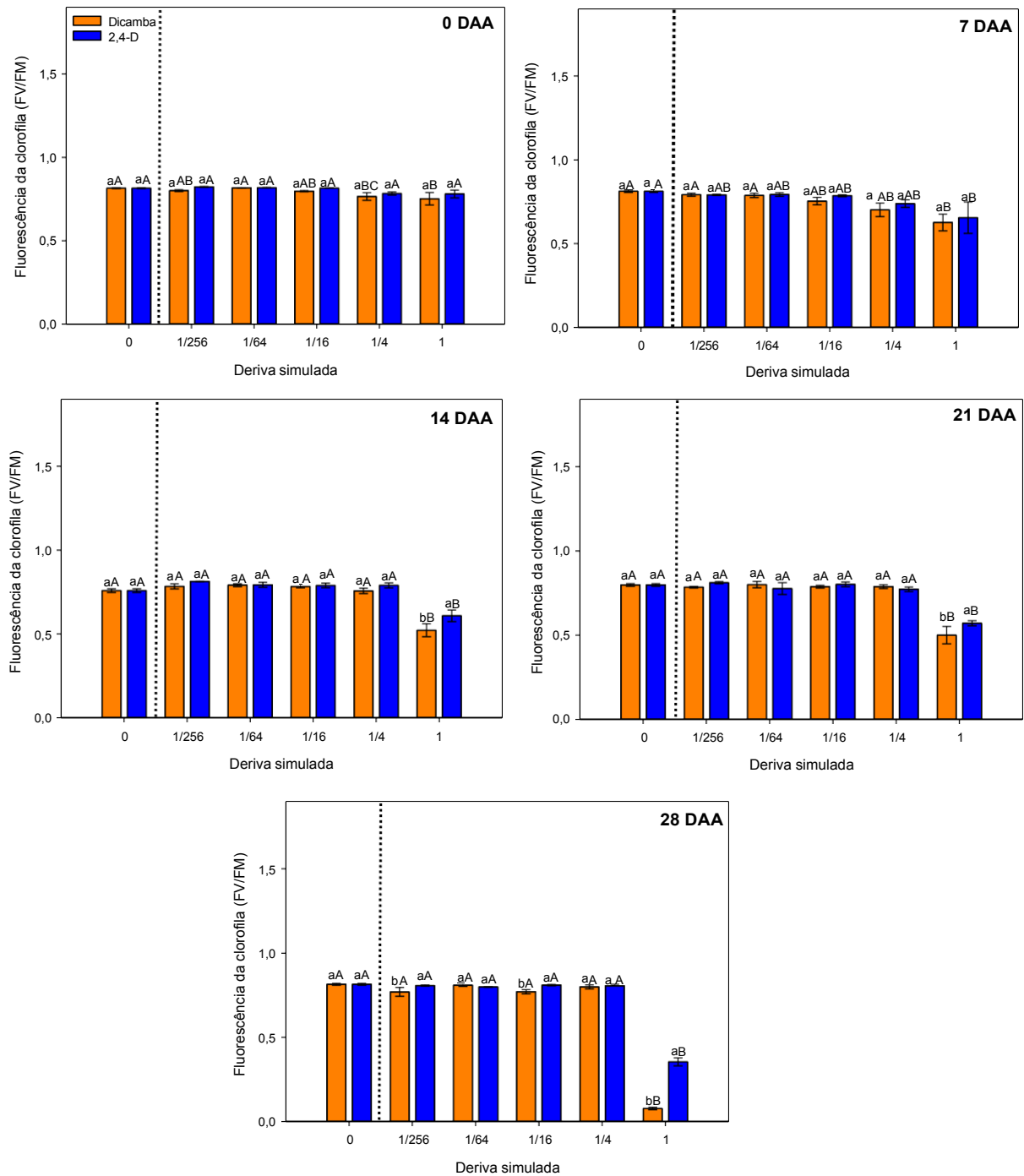
**Figura 14.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na transpiração (E) das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

A deriva de herbicidas auxínicos pode causar não apenas fechamento estomático, mas também obstrução dos estômatos, devido ao crescimento desordenado da planta, em resposta ao fechamento estomático se tem a redução da taxa de E (BODADA et al., 2011). Um estudo realizado por Bodada et al. (2011), ao avaliar a deriva de 2,4-D em folhas de videiras (*Vitis vinifera*), os autores observaram que a subdose de 2,4-D provocou alterações nos estômatos reduzindo as taxas transpiratórias da planta.

Em pesquisas sobre *A*, a fluorescência da clorofila é um dos métodos utilizados, tanto em estudos básicos como ecofisiológicos. Este é um método indireto, rápido, não destrutivo, de fácil reprodutibilidade, com praticidade para processar os dados e reportar os resultados, também permite a obtenção de informações qualitativas e quantitativas sobre as condições fisiológicas do aparato fotossintético (BAKER et al., 2008; FARIAS, 2014). Em relação aos resultados de fluorescência da clorofila, com exceção da dose recomendada, não foi observado interação entre os fatores ( $F=0,56$ ;  $p>0,05$ ), a maior dose reduziu a fluorescência da clorofila dos 7 aos 28 DAA (Figura 15).

Isso confere que as menores taxas fotossintéticas observadas se devem principalmente a ordem bioquímica, ou seja, observados pela menor  $g_s$  e menor *A*, e não por alterações na FV/FM a qual está ligada intimamente a etapa fotoquímica da fotossíntese (BYRD et al, 2020), o que no presente estudo não sofreu alterações.

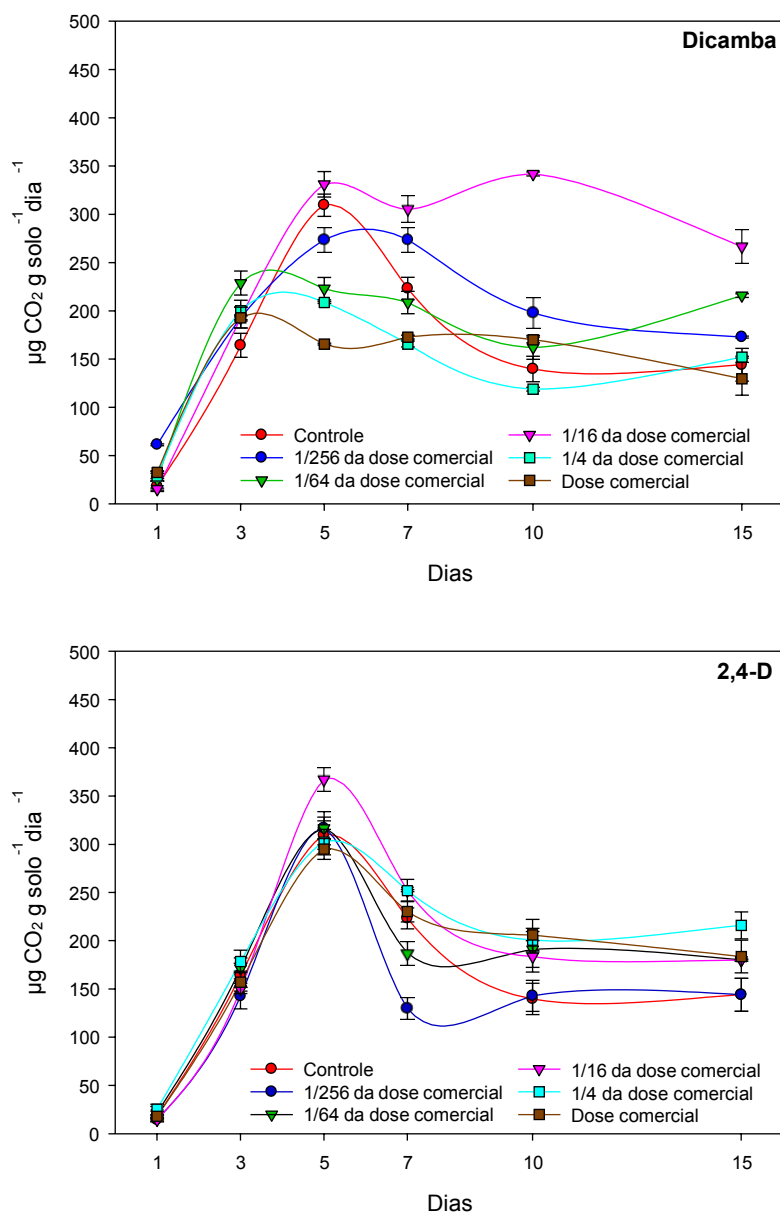
De maneira geral, nos estudos de deriva de herbicidas, geralmente são observados apenas os efeitos vinculados a cultura avaliada. No entanto, a deriva pode afetar diretamente a comunidade microbiana do solo, acarretando em alterações e perturbações que podem comprometer não apenas a produtividade da cultura, mas o ecossistema como um todo.



**Figura 15.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na fluorescência da clorofila (FV/FM) das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

### 5.1.3. Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D na microbiiana do solo da rizosfera nas mudas de tangerineira 'ponkan'

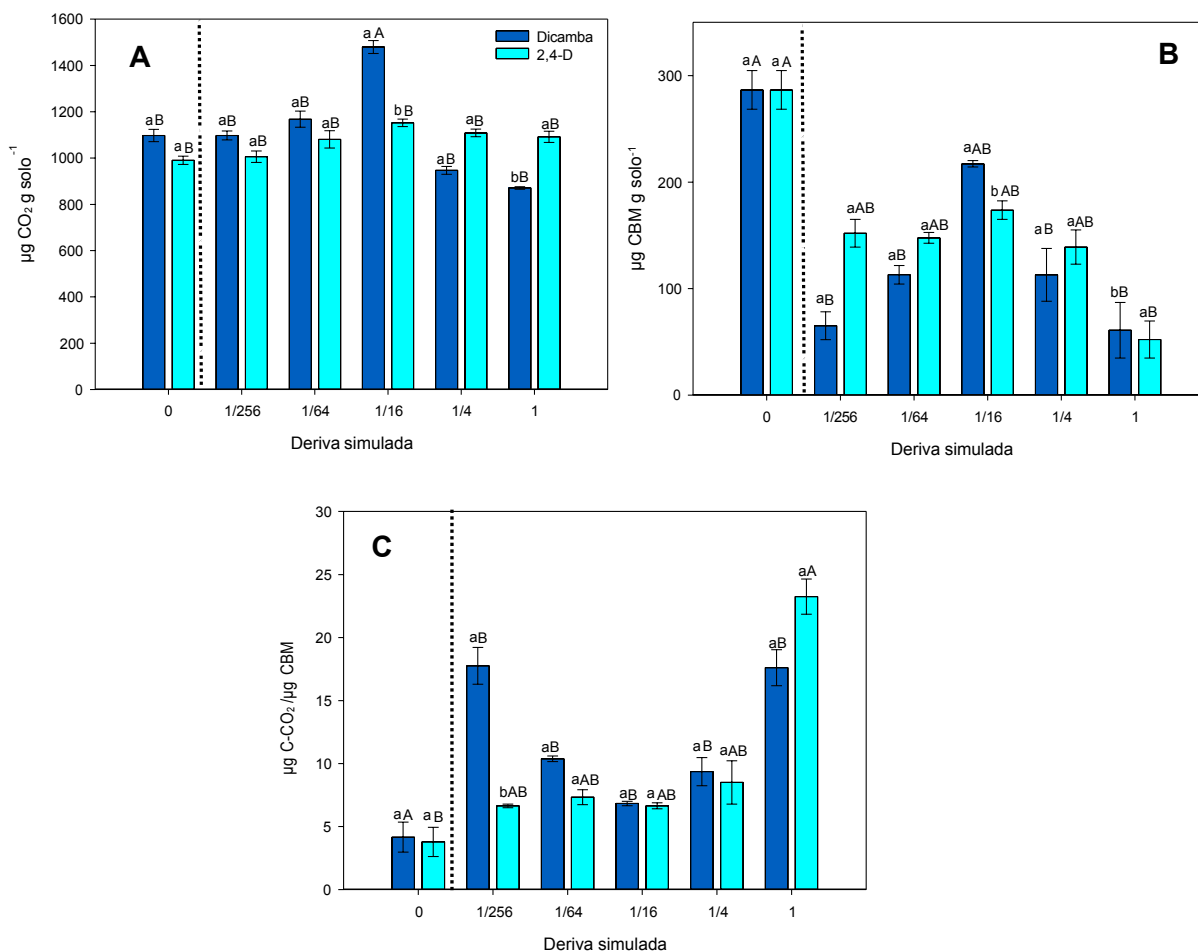
Ocorreu interação entre os fatores para a frequência respiratória da microbiota do solo (C-CO<sub>2</sub>) (F=0,01; *p*<0,05) (Figuras 16 e 17A). Na deriva simulada de 1/16D do dicamba, observou-se diferença, sendo maior a C-CO<sub>2</sub> para essa dose, em relação ao 2,4-D (Figuras 16 e 17A). Na dose recomendada, o efeito foi o contrário, o 2,4-D aumentou a C-CO<sub>2</sub>, em relação ao dicamba. Também na deriva de 1/16D do dicamba, ocorreu aumento de 37% da respiração em relação ao controle (Figuras 16 e 17A).



**Figura 16.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na frequência respiratória do solo das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 40 dias após incubação, nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias (*n*=3).

Não ocorreu interação entre os fatores para carbono da biomassa microbiana (CBM) ( $F=0,36$ ;  $p>0,05$ ). O 2,4-D reduziu o CBM, na deriva simulada de 1/16D, em relação ao dicamba (Figura 17B). A dose correspondente à deriva simulada de 1/256D do dicamba reduziu em 76% o CBM, comparado ao controle. Muito similar ao decréscimo da dose recomendada do dicamba, que foi de 77%, também comparado ao tratamento controle (Figura 17B). Na dose recomenda do 2,4-D, houve redução de 81% do CBM em relação ao tratamento controle (Figura 17B).

Não ocorreu interação entre os fatores para quociente metabólico ( $qCO_2$ ) ( $F=0,49$ ;  $p>0,05$ ). Na menor deriva simulada (1/256D) o  $qCO_2$  foi menor do 2,4-D, em relação ao dicamba (Figura 17C). O dicamba provocou acréscimo no  $qCO_2$ , em todas as derivas simuladas, em todas as épocas, comparado ao tratamento controle. Sendo o maior aumento observado na menor deriva (1/256D), com 77% de acréscimo. O 2,4-D apresentou diferença na dose recomendada, a qual aumentou em 85% o  $qCO_2$ , em relação ao tratamento controle.



**Figura 17.** Efeito da deriva simulada de dicamba e 2,4-D na frequência respiratória ( $\text{C-CO}_2$ ) (A), no carbono da biomassa (CBM) (B) e quociente metabólico ( $\text{qCO}_2$ ) (C) do solo das mudas de tangerineira 'ponkan' aos 40 dias após incubação, nas proporções da dose (D) recomendada (0D, 1D, 1/4D, 1/16D, 1/64D e 1/256D). Letras minúsculas iguais entre os herbicidas e maiúsculas iguais entre as doses da deriva simulada não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=3$ ).

A atividade microbiológica do solo pode ser estimada por meio de algumas reações fisiológicas dos microrganismos tais como  $\text{C-CO}_2$ , CBM e a relação entre essas razões que é o  $\text{qCO}_2$  (NANNIPIERI et al., 1990). O aumento dos valores da respiração microbiana após a aplicação de herbicidas pode indicar ou não algum tipo de distúrbio nas populações microbianas do solo (NASCIMENTO et al., 2009). No entanto, segundo Islam e Weil (2000), a análise de frequência respiratória não deve ser feita isoladamente e, sim, em conjunto, com a CBM, pois alta respiração e baixo CBM indica que ocorreu perturbações negativas na microbiota do solo, efeitos observados no presente estudo, podendo ser confirmado por meio do  $\text{qCO}_2$ .

Maiores valores de  $qCO_2$  sugerem condições desfavoráveis aos organismos do solo, e menores valores indicam maior eficiência da CBM na utilização dos recursos do ecossistema, ou seja, menos carbono (C) é perdido como  $CO_2$  e maior proporção de C é incorporada nas células microbianas (SAKAMOTO e OBO, 1994; BRAGA et al., 2013). No presente estudo, observou-se que houve uma tendência ao aumento do  $qCO_2$ , o que indica que os herbicidas provocaram impacto negativo na microbiota do solo. Um estudo realizado por Wardle e Parkinson (1991) foi avaliado os efeitos de 2,4-D e glyphosate na microbiota do solo, e os autores concluíram que os herbicidas aumentaram C- $CO_2$ , reduziram o CBM e por fim provocaram o aumento do  $qCO_2$ . Outros estudos, como o de Reis et al. (2008) com subdoses de 2,4-D, foi encontrado os mesmos efeitos negativos na microbiota do solo, assim como o de Voos e Groffman (1997), com o dicamba e 2,4-D, e o de Kurenbach et al. (2015) com subdoses de 2,4-D, dicamba e glyphosate.

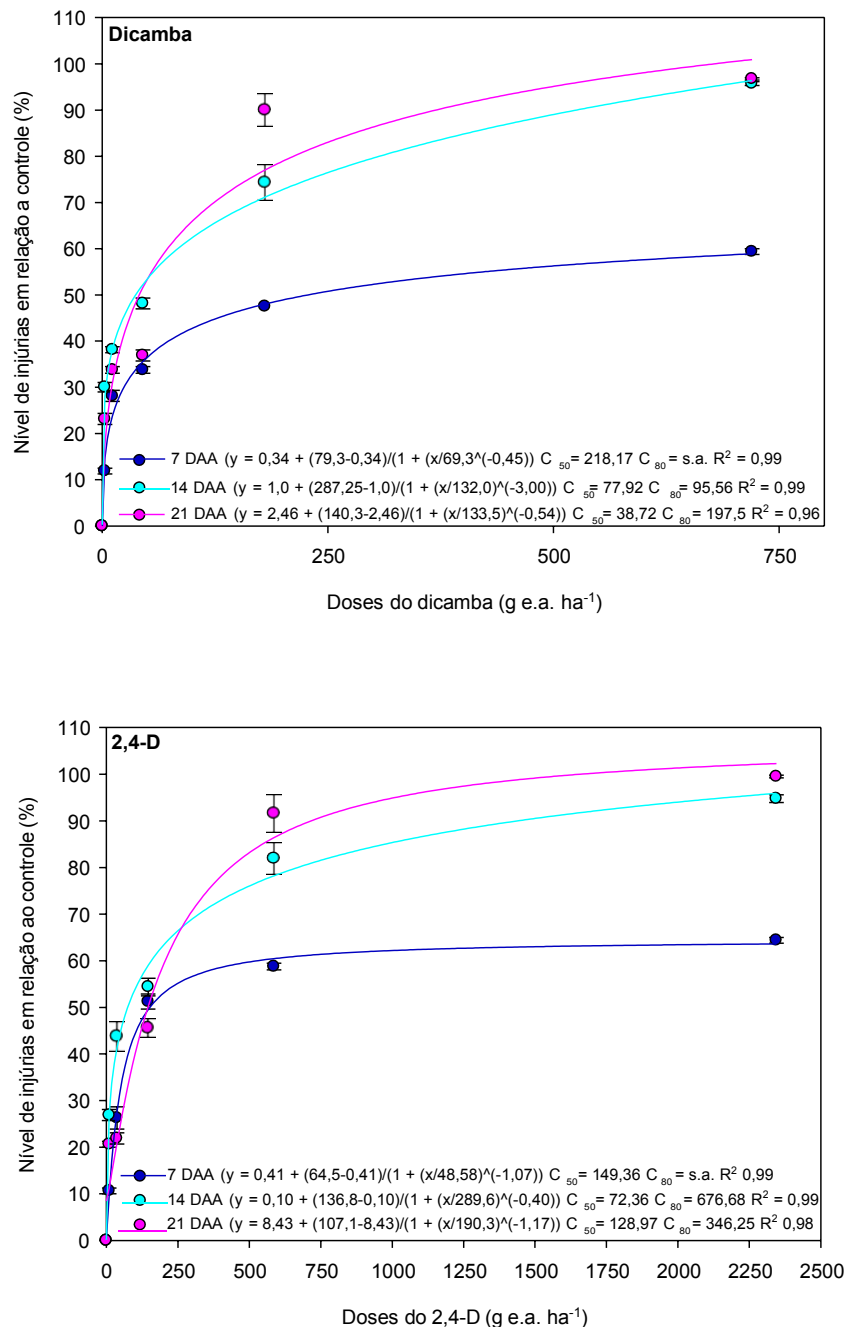
## 5.2. Efeito da deriva simulada do dicamba e 2,4-D em caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*)

Além de afetar a microbiota do solo, a deriva pode também atingir a comunidade de plantas daninhas, em torno das culturas. E seus efeitos podem ser diversos, desde a estimulação dessa comunidade de plantas, com efeitos horméticos; à seleção de biótipos resistentes e morte da planta, mesmo em subdose.

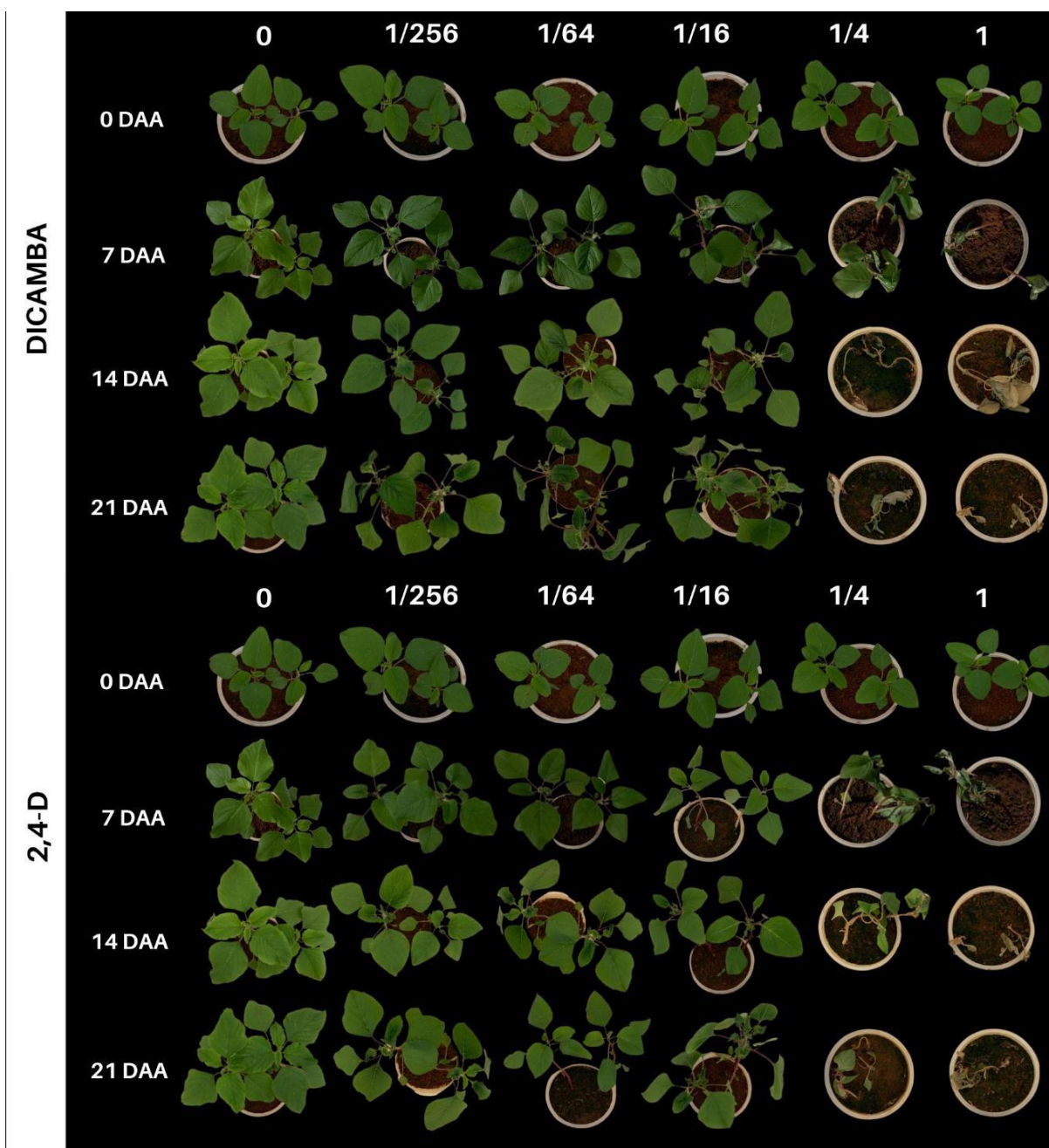
Houve interação entre os fatores estudados no nível de injúria de *A. retroflexus* em relação ao controle ( $F=0,03$ ;  $p<0,05$ ). As doses crescentes da deriva simulada de 2,4-D e dicamba promoveram aumento nos níveis de injúria de *A. retroflexus* nas três épocas de avaliação (Figuras 18 e 19). O crescimento desordenado do caule (Figura 20A) e folhas terminais em formato de concha (Figura 20B) foram observados para ambos os herbicidas. Entretanto, os níveis de injúria de *A. retroflexus* foram semelhantes em todas as épocas de avaliação nas doses 9,16 e 2,8 g e.a.  $ha^{-1}$  (1/256D), para 2,4-D e dicamba, respectivamente. Nenhuma dose de deriva simulada foi suficiente para causar 100% de injúria aos 7 DAA, independente do herbicida aplicado. Aos 14 e 21 DAA, foram observados níveis de injúria próximos a 100% a partir das doses de 586 e 180 g e.a.  $ha^{-1}$  (1/4D), para o 2,4-D e dicamba, respectivamente. A  $C_{50}$  estimada aos 21 DAA para o controle de *A. retroflexus* foi de

128,97 e 38,52 g e.a. ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. A C<sub>80</sub> para o controle do *A. retroflexus* foi de 346,25 e 197,5 g e.a. ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. O *A. retroflexus* foi mais sensível ao dicamba quando comparado ao 2,4-D e necessitou de doses 70 e 43% menores para atingir a C<sub>50</sub> e C<sub>80</sub>, respectivamente.

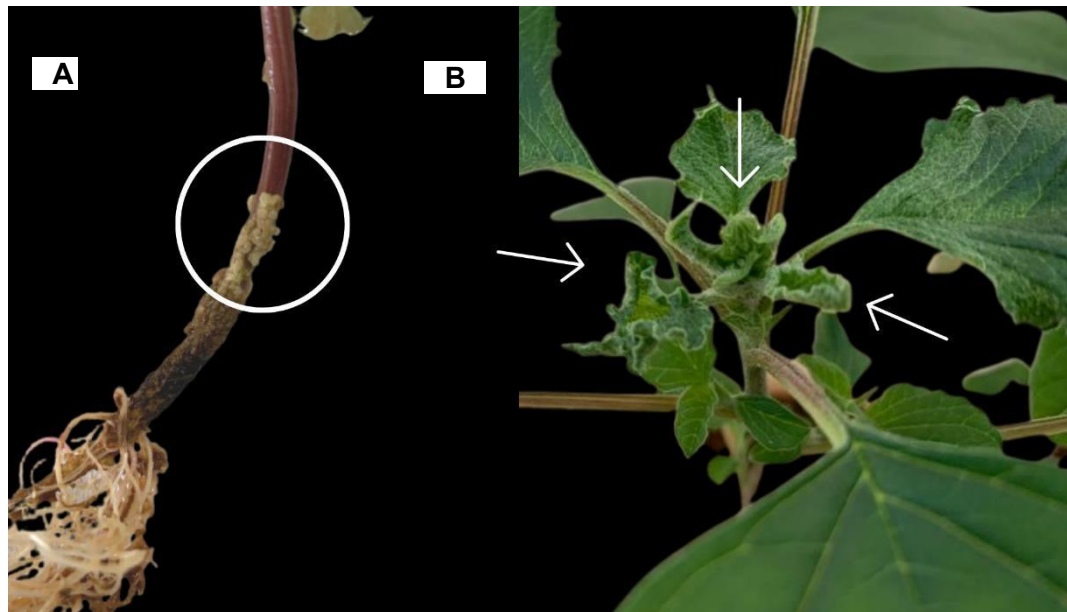
O controle de plantas daninhas pode ser alcançado com a utilização de subdoses de dicamba e 2,4-D, como relataram Soares et al. (2012) em que a C<sub>50</sub> para o controle de buva (*Conyza bonariensis*) foi de 226,41 e 320,31 g e.a. ha<sup>-1</sup> de dicamba e 2,4-D, respectivamente. As subdoses reportadas pelos autores equivalem a aproximadamente 1/3 e 1/7 da dose recomendada de dicamba e 2,4-D, respectivamente. Além disso, os autores relatam que o dicamba necessitou de doses menores para alcançar a mesma eficiência de controle do 2,4-D. Em estudo sobre o controle de plantas daninhas em soja resistente ao dicamba, Underwood et al. (2014) relataram que doses de 300 g e.a. ha<sup>-1</sup> foram suficientes para controlar 100% do *A. retroflexus* por até 8 semanas após a aplicação. Osipe (2018) verificou o potencial de utilização do dicamba e 2,4-D no manejo das plantas daninhas poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), corda-de-viola (*Ipomoea nil*) buva (*Conyza* spp.), erva-quente (*Spermacoce latifolia*), guanxuma (*Sida rhombifolia*), e o autor verificou que 1/4D dos herbicidas, atingiu a C<sub>50</sub>, aos 30 DAA.



**Figura 18.** Nível de injúria de controle de caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) sob diferentes doses de deriva simulada de dicamba e 2,4-D aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) de dicamba (3, 11, 45, 180 e 720 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (9, 36, 146, 586, 2345 g e.a. ha<sup>-1</sup>). As doses correspondem a proporção de 0, 1, 1/4, 1/16, 1/64 e 1/256 da dose comercial. As barras verticais em cada símbolo representam o desvio padrão das médias ( $n=5$ ).

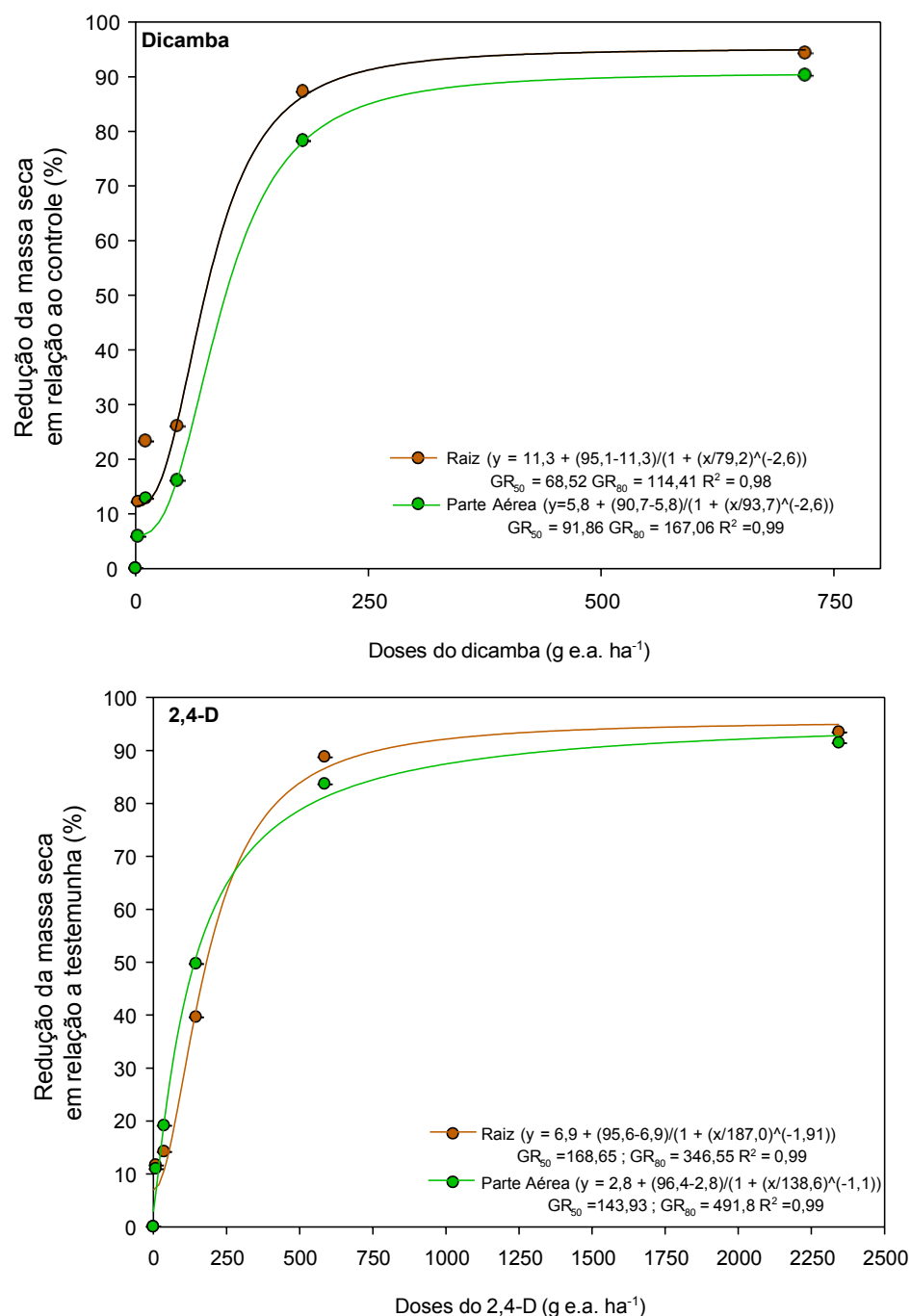


**Figura 19.** Sintomas de injúrias em caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) causadas pelo dicamba e 2,4-D na deriva simulada de 0, 1, 1/4, 1/16, 1/64 e 1/256 da dose recomendada (D), aos 21 dias após a aplicação (DAA).



**Figura 20.** Efeitos da deriva simulada dos herbicidas dicamba e 2,4-D no caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) aos 21 dias após a aplicação (DAA). (A) círculo representa o crescimento desordenado do caule e (B) setas representam as folhas terminais em formato de concha.

Houve interação entre os fatores estudados na redução da matéria seca de *A. retroflexus* em relação ao controle ( $F=0,04$ ;  $p<0,05$ ). De acordo com os valores da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) do *A. retroflexus* com aplicação da deriva simulada de 2,4-D e dicamba (Figura 21), nenhuma dose, de ambos os herbicidas. Na proporção de 1/4D da deriva simulada, tanto o dicamba quanto o 2,4-D, foram capazes de reduzir em torno de 80% da MSPA e MSR. A GR<sub>50</sub> da raiz estimada aos 21 DAA para o *A. retroflexus* foi de 168,65 e 68,52 g i.a. ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. A GR<sub>80</sub> da raiz para o controle do *A. retroflexus* foi de 346,55 e 114,41 g e.a. ha<sup>-1</sup> de 2,4-D e dicamba, respectivamente. A GR<sub>50</sub> e GR<sub>80</sub> da parte aérea para controle de *A. retroflexus* com 2,4-D foi de 143,93 e 491,07 g e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A GR<sub>50</sub> e GR<sub>80</sub> da parte aérea para o dicamba foi de 91,89 e 167,06 g e.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 21.** Redução (%) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) do caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) em relação ao tratamento controle, aos 21 dias após a aplicação (DAA) de dicamba (3, 11, 45, 180 e 720 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (9, 36, 146, 586, 2345 g e.a. ha<sup>-1</sup>). As doses correspondem a proporção de 0, 1, 1/4, 1/16, 1/64 e 1/256 da dose comercial. As barras verticais no topo da coluna representam o desvio padrão das médias ( $n=5$ ).

Os herbicidas mimetizadores de auxina, são capazes de causar efeitos como epinastia, bloqueio do desenvolvimento de folhas terminais, crescimento desordenado, dentre outros sintomas. Além disso, esses efeitos estão intimamente ligados a matéria seca total (MST) das plantas, pois são sintomas que prejudicam o desenvolvimento das plantas daninhas, fazendo com que haja maior controle (MACHI et al., 2008). A aplicação de 280 g e.a ha<sup>-1</sup> de dicamba foi eficiente para controlar 94% de biótipos de *Conyza canadensis* resistente ao glyphosate, além de reduzir sua densidade e a cobertura do solo (ZIMMER et al., 2018). O uso de 280 g e.a do dicamba promoveu redução de aproximadamente 50% no acúmulo de biomassa de *Amaranthus rudis* (SPAUNHORST et al., 2018). O uso de 1120 g e.a ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 1/2D, de 2,4-D proporcionou controle de 80% de *Amaranthus palmeri* (MERCHANT et al., 2014). Doses de 420 g e.a ha<sup>-1</sup> foram suficientes para controlar 60% da espécie *A. rudis* (ROBINSON et al., 2012). Nesse sentido, a utilização de subdoses do dicamba e 2,4-D também são eficientes para reduzir a matéria seca de diversas plantas daninhas em pós-emergência.

Portanto, foi observado que subdoses do 2,4-D e dicamba podem, não só causar injúrias severas na cultura dos citros, mas também impactar negativamente na microbiota do solo, bem como na comunidade infestante.

## 6. Conclusão

No geral, o dicamba foi mais tóxico que o 2,4-D para os parâmetros biométricos, variáveis fisiológicas e microbiota do solo, mesmo sendo do mesmo mecanismo de ação dos herbicidas nas plantas. E a partir da menor deriva simulada do dicamba, já houve interferência nas mudas de tangerineira e na microbiota do solo. Enquanto, que o 2,4-D só houve interferência nas mudas, a partir da deriva de 1/64 da dose recomendada e na microbiota não houve interferência. Em relação ao caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) na deriva simulada de 1/4 da dose recomendada de ambos os herbicidas foi capaz de controlar 80% a planta daninha. Não foi observado efeito de hormesis nas mudas de tangerineira 'ponkan' e *A. retroflexus*.

São poucos os estudos que avaliam os efeitos da deriva dos herbicidas nas culturas e na microbiota do solo. Não foi encontrado até o presente momento na literatura científica disponível, estudos com o efeito da deriva na comunidade de plantas daninhas. Sendo assim, os resultados desse estudo irão contribuir para os profissionais das ciências agrárias e produtores com informações minimizar os riscos

de deriva, com os possíveis efeitos que podem causar. Ademais, as derivas de dicamba e 2,4-D podem causar efeitos negativos quando aplicados em áreas agricultáveis com culturas geneticamente modificadas próximas do cultivo de tangerineira 'ponkan'.

## 7. Referências

- AAPCO - Association of American Pesticide Control Officials. 2005. **Pesticide Drift Enforcement Survey Report.** Disponível em: <http://aapco.org/documents/surveys/DriftEnforce05Rpt.html>. Acesso em: 03. jul. 2021.
- AAPCO - Association of American Pesticide Control Officials. 2020. **Survey Dicamba.** Disponível em: <https://aapco.org/wp-content/uploads/2020/09/dicamba-sept-2020-survey-final.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.
- ABRANTES, T. C. **Análise da deriva simulada de herbicidas auxínicos em soja através de índices de vegetação RGB obtidos por VANT.** 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- ACOSTA, O.; CHAPARRO, A. Genetically modified food crops and public health. Genetically modified food crops and public health. **Acta Biologica Colombiana**, v. 13, n. 3, p. 3-26, 2008.
- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira (Citrus/Laranja).** São Paulo, Brasil: Informa Economics FNP. 2020. 59 p.
- AGROFIT - **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários.** Disponível em: [http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 20 jul. 2021.
- ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; SILVA, A. F. M.; BARROSO, A. A. M. Manejo de organismos geneticamente modificados tolerantes a herbicidas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas.** 1ª ed. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, v. 1, p. 506-547, 2021.
- ALLENDER, W. J. Effect of trifluoperazine and verapamil on herbicide stimulated growth of cotton. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 20, p. 69-80, 1997.
- ALMEIDA, V. E. S. D., FRIEDRICH, K., TYGEL, A. F., MELGAREJO, L., CARNEIRO, F. F. Uso de sementes geneticamente modificadas e agrotóxicos no Brasil: cultivando perigos. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3333-3339, 2017.
- ALVES, G. S.; KRUGER, G. R.; CUNHA, J. P. A. R. D. Spray drift and droplet spectrum from dicamba sprayed alone or mixed with adjuvants using air-induction nozzles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 693-702, 2018.

- ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 12-19, 2011.
- ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. São Paulo: ANDEF, 2010. 52 p.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2039-2043, 2010.
- AZEVEDO, F. R.; FREIRE, F. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2006. 48 p.
- BEHRENS, M. R.; MUTLU, N.; CHAKRABORTY, S.; DUMITRU, R.; JIANG, W. Z.; LAVALLEE, B. J.; WEEKS, D. P. Dicamba resistance: enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. **Science**, v. 316, n. 5828, p. 1185-1188, 2007.
- BEHRENS, R.; LUESCHEN, W. E. Dicamba volatility. **Weed Science**, v. 27, n. 5, p. 486-493, 1979.
- BELO, M. S. D. S. P.; PIGNATI, W.; DE CARVALHO; D. E. F. G.; MOREIRA, J. C.; PERES, F. Uso de agrotóxicos na produção de soja do Estado do Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. **Revista Brasileira Saúde Ocupacional**, v. 37, n. 125, p. 78-88, 2012.
- BOTEON, M., NEVES, E. M. Citricultura brasileira: aspectos econômicos. In.: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (ORG.) **Citros**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, FUNDAG, p. 20-36, 2005.
- BOTTOMLEY, P. J. Microbial ecology. In.: SYLVIA, D. M. **Principles and applications of soil microbiology**. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey: Upper Saddle River, p. 463-488, 2005.
- BRADBERRY, S. M.; PROUDFOOT, A. T.; VALE, J. A. Poisoning due to chlorophenoxy herbicides. **Toxicological Reviews**, v. 23, n. 2, p. 65-73, 2004.
- BRAGA, R.; COSTA, S. S.; FERREIRA, E.; SANTOS, J.; SILVA, D. Atividade microbiana de solos contaminados com picloran e cultivados com *Urochloa brizantha*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 324-331, 2013.

- BRASIL. **Lei nº 10.688, de 13 de junho de 2003**. Estabelece normas para a comercialização da produção de soja da safra de 2003 e dá outras providências. Diário Oficial da União, 16 jun. 2003.
- BROCHADO, M. G. D. S.; MENDES, K. F.; PAULA, D. F. D.; SOUZA, P. S. R. D.; INOUE, M. H. Novas perspectivas para utilização do dicamba na agricultura brasileira. In: SILVA-MATOS, R. R. S. D.; MACHADO, N. A. F., CORDEIRO, K. V. (Org.). **Sistemas de Produção nas Ciências Agrárias**. 1ª ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, p. 161-179, 2021.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996–2015: impacts on pesticide use and carbon emissions. **Crops and Food**, v. 8, n. 2, p. 117-147, 2017.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy-metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 4, p. 269-279, 1995.
- BURNS, C.; BODNER, K.; SWAEN, G.; COLLINS, J.; BEARD, K.; LEE, M. Cancer incidence of 2,4-D production workers. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 9, p. 3579-3590, 2011.
- BURNSIDE, O.C. Rationale for developing herbicide resistant crops. **Weed Technology**, v.6, n.3, p.621-625, 1992.
- BYRD, S. A.; SNIDER, J. L.; GREY, T. L.; CULPEPPER, A. S.; WHITAKER, J. R.; ROBERTS, P. M.; COLLINS, G. D. Chlorophyll a fluorescence parameters do not detect yield-limiting injury from sub-lethal rates of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) in cotton (*Gossypium hirsutum*). **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 46, n.3, p. 34-48, 2020.
- CALABRESE, E. J. Hormesis: path and progression to significance. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 10, p. e2871, 2018.
- CAMPOS, H. B. N. **Tecnologia de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas**. 2017. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2017.
- CARVALHO, G. P., SILVA, A. A., NUNES, T. V., BARBOSA, F. A., SILVA, J. I. C., CERQUEIRA, F. B., ERASMO, E. A. L., SARMENTO, R. A. Deriva simulada de triclopyr e fluroxypyr + triclopyr no desenvolvimento de mudas de clones de Eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 165-173, 2014.
- CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. 1ª edição. Lages, SC: Edição do Autor, 2013. 72 p.

- CARVALHO, S. J. P.; LOMBARDI, B. P.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; MEDEIROS, D. Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 535-542, 2005.
- CASTNER, M. C; NORSWORTHY, J. K; BARBER, T.; GBUR, E.; ROBERTS, T. Does dicamba exposure elicit a hormetic response in sensitive soybean? **Crop, Forage and Turfgrass Management**, v. 34, n. 3, p. 123-129, 19 jul. 2021.
- CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J. C.; KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K.; DUKE, S. O. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Dose-Response**, v. 1, n. 5, p. 150-162, 2007.
- CENCI, S. A. Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura Familiar. **Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar**. v.1, p. 67-80, 2006.
- CENTNER, T. J. Creating a compensation program for injuries from dicamba spray drift and volatilization. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 51, n. 3, p. 13-19, 2021.
- CEOLIN, B. C.; KEMMERICH, M.; NOGUERA, M. M.; CAMARGO, E. R.; AVILA, L. A. D. Evaluation of an alternative sorbent for passive sampling of the herbicides 2,4-D and dicamba in the air. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.54, n.2, p. 1-10, 2021.
- CIB - Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Quando foram desenvolvidos os primeiros transgênicos**. Disponível em: <https://cib.org.br/faq/quando-foram--desenvolvidos-os-primeiros-transgenicos/>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- COBB, A. H.; READE, J.P.H. Auxin-Type Herbicides. In: COBB, A. H.; READE, J.P.H. **Herbicides and plant physiology**. Shropshire: John Wiley and Sons, p. 133-156, 2011.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. D.; BRANDÃO FILHO, J. U.; CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; DE ARANTES, J. G. Efeitos de subdoses de 2,4-D na produtividade de fumo e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. esp., p. 30-34, 2003.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. D.; FAGLIARI, J. R.; PAGLIARI, P. H., ARANTES, J. G.; CAVALIERI, S. D.; GONÇALVES, D. A. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função

- de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 4, p. 24–29, 2007.
- CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, R. S. de; BRAZ, G. B. P.; LUCIO, F. R.; SCHLEIER, J. J. Effects of nozzle types and 2,4-D formulations on spray deposition. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 51, n. 12, p. 888-893, 2016.
- COSTA, E. M. **Deriva simulada de Dicamba e 2,4-D: Efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja recém-colhidas e armazenadas**. 2019. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, 2019.
- COSTA, J. H.; BAZIOLI, J. M.; MORAES P. J. G.; FILL, T. P. *Penicillium digitatum* infection mechanisms in citrus: What do we know so far? **Fungal Biology**, v. 123, n. 8, p. 584-593, 2019.
- CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. **Liberações Comerciais: Plantas geneticamente modificadas aprovadas para Comercialização**. Disponível em: <http://ctnbio.mctic.gov.br/liberacao-comercial>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- CUNHA, J. P. A. R. D. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 1616-1621, 2008.
- CURL, E.A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY. **Research Methods in Weed Science**. Atlanta: SWWS, p. 162–194, 1972.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. D. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 506-513, 2015.
- DAS, A. C.; DEBNATH, A.; MUKHERJEE, D. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**, v. 53, n. 3, p. 217-221, 2003.
- DE PAULA, D. F.; MENDES, K. F.; BROCHADO, M. G. S. D.; LAUBE, A. F. S.; RAVE, L. A. B. Técnicas para evitar a deriva e volatilização de herbicidas. In: TORRE, K. A. P. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável, Interdisciplinaridade e Ciências Ambientais**. 2ª ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 2, p. 89-116, 2021.

- DOUTOR, E. E. H. A. P.; SILVA, V. P. D. **Organismos geneticamente modificados: uma abordagem comparada entre Brasil e União Europeia**. Porto Alegre: Direito do Ambiente, 2021. 285 p.
- EGAN, J. F.; MORTENSEN, D. A. Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, n. 5, p. 1023-1031, 2012.
- EVERITT, J. D.; KEELING, J. W. Weed control and cotton (*Gossypium Hirsutum*) response to preplant Applications of dicamba, 2,4-d, and diflufenzopyr plus dicamba. **Weed Technology**, v. 21, n.2, p. 506-510, 2007.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Perspectivas de cosechas y situación alimentaria**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/giews/reports/crop-prospects/es/>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- FARIAS, M. E. **Estudo da cadeia de transporte de elétrons fotossintético em folhas destacadas de ervilha**. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Curso de Fisiologia Vegetal, Ciências Agrárias, Universidade Federal de Pelotas, RS, 2014.
- FARIA-SILVA, L.; GALLON, C. Z.; SILVA, D. M. Photosynthetic performance is determined by scion/rootstock combination in mango seedling propagation. **Scientia Horticulturae**, v. 265, p. e109247, 2020.
- FAVARO, C. G. **Influência da área de controle de plantas daninhas na laranjeira ‘pera rio’**. 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, SP, 2016.
- FERREIRA, E. A. Glyphosate translocation in hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) biotypes. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 637-643, 2008.
- FOLONI L. L. **O herbicida 2,4-D: Uma visão geral**. 1ª ed. Ribeirão Preto, Brasil: Labcom Total, 2016. 252 p.
- FRANCISCHINI, A. C.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; SANTOS, G.; TAKANO, H. K.; FRANCHINI, L. H. M.; BRAZ, G. B. P. Curvas de dose-resposta e eficácia de herbicidas inibidores da enzima ALS aplicados em pré-emergência sobre espécies de *Amaranthus*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 1, p. 68-77, 2013.
- GIAGRO - **Sistema de gestão de registro de agrotóxicos**. Versão C.2.13.0. Disponível em: <http://www.giagro.com.br/>. Acesso em 15 jul. 2021.

- GILREATH, J. P.; CHASE, C. A.; LOCASCIO, S. J. Crop injury from sublethal rates of herbicide. **HortScience**, v. 36, n. 4, p. 669-673, 2001.
- GODINHO JR, J. D. D; RUAS, R. A. A.; REIS, M. R.; FILHO, A. C.; FARIA, V. R. Redução na deriva de pulverização de 2,4-D em tomate utilizando-se pontas hidráulicas com indução de ar e adjuvante LI-700. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 134–139, 2018
- GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010.
- GROSSMANN, K.; KWIATKOWSKI, J.; TRESCH, S. Auxin herbicides induce H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> overproduction and tissue damage in cleavers (*Galium aparine* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 362, p. 1811-1816, 2001.
- GROSSMANN, K.; SCHELTRUP, F.; KWIATKOWSKI, J.; CASPAR, G. Induction of abscisic acid is a common effect of auxin herbicides in susceptible plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 149, n. 3-4, p. 475-478, 1996.
- GUARDIOLA, J. L.; GARCÍA-LUIS, A. Increasing fruit size in Citrus: thinning and stimulation of fruit growth. **Plant Growth Regulation**, v. 31, p. 121-132, 2000.
- HANSEN, H.; GROSSMANN, K. Auxin-induced ethylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. **Plant Physiology**, v. 124, n. 3, p. 1437-1448, 2000.
- HAZEN, J. L. Adjuvants - Terminology, Classification, and Chemistry. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 773-784, 2000.
- HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/Home.aspx>. Acesso em: 04 jul. 2021.
- HEMPHILL, D. D.; MONTGOMERY, M. L. Response of vegetable crops to sublethal application of 2,4-D. **Weed Science**, v. 29, n. 6, p. 632–635, 1981.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Produção Agrícola Municipal**. 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam\\_2019\\_v46\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2019_v46_br_informativo.pdf). Acesso em: 26 jun. 2021.
- IAC- INSTITUTO AGRONOMOICO DE CAMPINAS. **Citros: principais informações e recomendações de cultivo**. p. 1-9. 2005. Disponível em: [http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/43.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/43.pdf). Acesso em: 22 ago. 2021.
- INACIO, E. M. **Impactos da deriva do herbicida 2,4-D em culturas sensíveis**.

2016. 94 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2016.
- ISAAA - International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. **Global status of Commercialized biotech/GM Crops 2014**. Disponível em: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/44/executivesummary/default.asp>. Acesso em: 15. jul. 2021
- ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. **Report on global status of Biotech/GM crops**. Disponível em: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/51/pptslides/default.asp>. Acesso em: 28 jun. 2021.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.
- JAKELAITIS, A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R.; SILVA, A. A. Atividade microbiana e produção de milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 71-78, 2007.
- JONES, G. T.; NORSWORTHY, J. K.; BARBER, T. Off-target movement of diglycolamine dicamba to non-dicamba soybean using practices to minimize primary drift. **Weed Technology**, v. 33, n. 1, p. 24-40, 2019.
- KELLEY, K. B.; RIECHERS, D. E. Recent developments in auxin biology and new opportunities for auxinic herbicide research. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 89, p. 1-11, 2007.
- KELLY, S.; AVERY JR, G. S. The effect of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid and other physiologically active substances on respiration. **American Journal of Botany**, p. 421-426, 1949.
- KHALIDA, Z.; YOUCEF, A.; ZITOUNI, B.; MOHAMMED, Z.; RADOVAN, P. Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the effect of chromium on activity photosystem II at the alga *Scenedesmus obliquus*. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, v. 12, n. 2, p. 304-314, 2012.
- KINGSTON-SMITH, A. H.; FOYER, C. H. Bundle sheath proteins are more sensitive

- to oxidative damage than those of the mesophyll in maize leaves exposed to paraquat or low temperatures. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 342, p. 123-130, 2000.
- KNEZEVIC, S.Z.; OSIPITAN, O.A.; SCOTT, J. Sensitivity of grape and tomato to micro-rates of dicamba-based herbicides. **Journal of Horticulture**, v. 5, n. 1, p. 327-345, 2018.
- KRAFT, M.; KUGLITSCH, R.; KWIATKOWSKI, J.; FRANK, M.; GROSSMANN, K. Indole-3-acetic acid and auxin herbicides up-regulate 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene expression and abscisic acid accumulation in cleavers (*Galium aparine*): interaction with ethylene. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 6, p. 1497-1503, 2007.
- KSTATE - KANSAS STATE UNIVERSITY. **Resistance *Amaranthus palmeri* to 2,4D and dicamba confirmed in Kansas.** Disponível em: [https://webapp.agron.ksu.edu/agr\\_social/article/palmer-amaranth-resistance-to-2-4-d-and-dicamba-confirmed-in-kansas-734-2](https://webapp.agron.ksu.edu/agr_social/article/palmer-amaranth-resistance-to-2-4-d-and-dicamba-confirmed-in-kansas-734-2). Acesso em: 18. jul. 2021
- KURENBACH, B.; MARJOSHI, D.; AMÁBILE-CUEVAS, C. F.; FERGUSON, G. C.; GODSOE, W.; GIBSON, P.; HEINEMANN, J. A. Sublethal exposure to commercial formulations of the herbicides dicamba, 2,4- Dichlorophenoxyacetic Acid, and glyphosate cause changes in antibiotic susceptibility in *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. **MBio**, v. 6, n. 2, p. 9-15, 2015.
- LERRO, C. C.; HOFMANN, J. N.; ANDREOTTI, G.; KOUTROS, S.; PARKS, C. G.; BLAIR, A.; ALBERT, P.; LUBIN, J. H.; SANDLER, D. P.; FREEMAN, L. B. Dicamba use and cancer incidence in the agricultural health study: an updated analysis. **International Journal of Epidemiology**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2020.
- LINU, C.; GIRIJA, T. Physiological response of rice to herbicide application. **Journal of Weed Science**, v.52, n.3, p.270-275, 2020.
- LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M. GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância econômica dos citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 20, n. 20, p. 1-2, 2011.
- LUCHINI, L. C. Dinâmica ambiental dos agrotóxicos. In: RAETANO, C. G.; ANTUNIASSI, U. R. **Qualidade em tecnologia de aplicação**. Botucatu: Fepaf, p. 36- 39, 2004.

- MANUCHEHRI, M. R.; DOTRAY, P. A.; KEELING, J. W. Enlist™ weed control systems for Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in Texas high plains cotton. **Weed Technology**, v. 31, n. 6, p. 793-798, 2017.
- MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 34 p.
- MARCINKOWSKA, K.; PRACZYK, T.; GAWLAK, M.; NIEMCZAK, M.; PERNAK, J. Efficacy of herbicidal ionic liquids and choline salt based on 2, 4-D. **Crop Protection**, v. 98, p. 85-93, 2017.
- MARTINEZ-GHERSA, M. A.; WORSTER, C. A.; RADOSEVICH, S. R. Concerns a weed scientist might have about herbicide-tolerant crops: a revisitation. **Weed Technology**, v. 17, n. 1, p. 202- 210, 2003.
- MATTE, W. D.; SILVA, V. F. V.; MACHADO, F. G.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. **2,4-D**. 2021. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/2-4-d-polemico-desde-sempre-imprescindivel-como-nunca>. Acesso em: 01 Jul. 2021.
- MATTOS JR, D.; CARLOS, E.F. The role of the International Society of Citriculture on the world citrus industry. **Citrus Research e Technology**, v. 38, n. 2, p. 228-232, 2019.
- MERCHANT, R. M.; CULPEPPER, A. S.; EURE, P. M.; RICHBURG, J. S.; BRAXTON, L. B. Controlling glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in cotton with resistance to glyphosate, 2, 4-D, and glufosinate. **Weed Technology**, v. 28, n. 2, p. 291-297, 2014.
- MONQUERO, P. A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 517-531, 2005.
- MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. 1ª ed. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, v. 1, p. 253-294, 2021.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUIERA, J. O. Xenobióticos no Solo. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUIERA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, p. 243-284, 2002.
- MOTA, A. A. B. **Espectro de gotas e potencial de deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D amina em misturas em tanque**. 2015. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2015.
- MURPHY, S. D.; MILLER, P. C. H.; PARKIN, C. S. The effect of boom section and

- nozzle configuration on the risk of spray drift. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, v. 75, p. 127-137, 2000.
- NANNIPIERI, P.; GRECO, S.; CECCANTI, B. Ecological significance of the biological activity in soil. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. (Eds). **Soil biochemistry**. New York, N.Y.: Marcel Dekker, v.6. p. 293-355, 1990.
- NASCIMENTO, A. L.; REIS, M. R.; AQUINO, L. A.; RUAS, R. A. A. **Deriva de herbicidas auxínicos (2,4-D e dicamba) em olerícolas**. Boletim informativo Universidade Federal de Viçosa, Rio Parnaíba, n. 1, maio de 2018.
- NRC - National Research Council. **Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States**. 2010. Disponível em: <https://www.nap.edu/catalog/12804/the-impact-of-genetically-engineered-crops-on-farm-sustainability-in-the-united-states>. Acesso em: 16. jul. 2021
- OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.; CARREIRA, S. A. M.; ROSO, A. C. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. esp., p. 35–40, 2007
- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA J. R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, p. 263-304, 2011.
- OLIVEIRA, R. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. In: CAMPOS, A.; SCIVITTARO, W. B.; SOUZA, P. V.; ROCHA, P. S. G. **Raleio manual e químico em citros**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 26 p.
- PEREIRA, J. L.; PICANÇO, M. C.; SILVA, A. A.; SANTOS, E. A.; TOMÉ, H. V. V.; OLARTE, J. B. Effects of glyphosate and endosulfan on soil microorganisms in soybean crop. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 825-830, 2008.
- PETERSON, M. A.; MCMASTER, S. A.; RIECHERS, D. E.; SKELTON, J.; STAHLMAN, P. W. 2, 4-D Past, Present, and Future: a review. **Weed Technology**, v. 30, n. 2, p. 303-345, 2016.
- PINHEIRO, Guilherme Henrique Rodrigues. **Hormesis na cultura da soja em resposta à aplicação de 2,4-D sal colina**. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Departamento Ciências Agrárias, Universidade

- Federal de Goiás, Jataí, GO, 2020.
- PUBCHEM - The PubChem Project. **2,4-D**. 2015. Disponível em: [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2\\_4-Dichlorophenoxyacetic-acid](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_4-Dichlorophenoxyacetic-acid). Acesso em: 02 jul. 2021.
- PUBCHEM - The PubChem Project. **Dicamba**. 2016. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/dicamba>. Acesso em: 02 jul. 2021.
- REIS, M. R.; SILVA, A. A.; GUIMARÃES, A. A.; COSTA, M. D.; MASSENSINI, A. M.; FERREIRA, E. A. Ação de herbicidas sobre microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico em solo rizosférico de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 333-341, 2008.
- ROESLER, G. D.; JONCK, L. C. G.; SILVA, R. P.; JERONIMO, A. V.; HIRATA, A. C. S.; MONQUERO, P. A. Decontamination methods of tanks to spray 2,4-D and dicamba and the effects of these herbicides on citrus and vegetable species. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 8, p. 1302-1309, 2020.
- ROMERO-PUERTAS M.C.; PALMA J.M.; GÓMEZ M.; DEL RÍO L.A.; SANDALIO L.M. Cadmium causes the oxidative modification of proteins in pea plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 5, p. 677-686, 2002.
- ROMERO-PUERTAS, M. C.; MCCARTHY, I.; GÓMEZ, M.; SANDALIO, L. M.; CORPAS, F. J.; DEL RIO, L. A.; PALMA, J. M. Reactive oxygen species-mediated enzymatic systems involved in the oxidative action of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid. **Plant, Cell and e Environment**, v. 27, n. 9, p. 1135-1148, 2004.
- ROSÁRIO, R. R.; DAVID, É. C.; PEREIRA, A. G. C.; VIANA, J. A. S.; TAVARES, T. S. C.; SANTOS JUNIOR, L. N.; OLIVEIRA, S. M.; SOUZA, L. C.; BARROS, M. N. R.; SILVA JUNIOR, O. G. Avaliação do desempenho produtivo e especialização da laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) no Pará no período de 2008 a 2018 utilizando métodos de análise de desenvolvimento regional associados a geotecnologias. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. 1-12, 2021.
- ROSSOUW, G. C.; HOLZAPFEL, B. P.; ROGIERS, S. Y.; GOUOT, J. C.; SCHMIDTKE, L. M. Repercussions of four herbicides on reproductive and vegetative development in potted grapevines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 25, n. 3, p. 316-326, 2019.
- SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship

- between CO<sub>2</sub> evolution and total soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, v. 17, n. 1, p. 39-44, 1994.
- SANTOS, I. C.; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A., MIRANDA, G. V.; SANTOS, L. D. T. Eficiência do 2, 4-D aplicado isoladamente e em mistura com glyphosate no controle da trapoeiraba. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 299-309, 2002.
- SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; COSTA, M. D.; SILVA, A. F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.
- SCHÜTTE, G.; ECKERSTORFER, M.; RASTELLI, V.; REICHENBECHER, W.; RESTREPO-VASSALLI, S.; RUOHONEN-LEHTO, M.; MERTENS, M. Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. **Environmental Sciences Europe**, v. 29, n. 1, p. 1-12, 2017.
- 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: [Lhttps://www.agricultura.rs.gov.br/levantamento-constata-deriva-de-2-4-d-em-87-13-das-amostras-na-safra-atual](https://www.agricultura.rs.gov.br/levantamento-constata-deriva-de-2-4-d-em-87-13-das-amostras-na-safra-atual). Acesso em: 05 jul. 2021.
- SEEFELDT, S. S; JENSEN, J. E; FUERST, P. Loglogistic analysis of herbicide dose response relationships. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.
- SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. 14 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2007. 458p.
- SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. D. L.; BELTRÃO, N. E. D. M.; CARDOSO, G. D. Sintomas de fitotoxicidade causada pelo herbicida 2,4-D em plântulas de mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 785–787, 2004.
- SILVA, C. H. L. **Deriva simulada de dicamba na cultura do eucalipto**. 2020. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Departamento de Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, 2020.
- SILVA, M. M. **Sensibilidade de genótipos de milho geneticamente modificados a herbicidas**. 2019. 80 f. Tese (Doutorado Produção vegetal) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2019.
- SIQUEIRA, D.L.; SALOMÃO, L.C.C. **Citros – do plantio à colheita**. Viçosa: Editora

- UFV, 2017.27 8p.
- SKELTON, J. J.; SIMPSON, D. M.; PETERSON, M. A.; RIECHERS, D. E. Biokinetic analysis and metabolic fate of 2,4-D in 2,4-D resistant soybean (*Glycine max*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 29, p. 5847-5859, 2017.
- SOARES, D. J.; OLIVEIRA, W. S.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Control of glyphosate resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) with dicamba and 2, 4-D. **Planta Daninha**, v. 30, p. 401-406, 2012.
- SOBIECH, Ł.; GRZANKA, M.; KURASIAK-POPOWSKA, D.; RADZIKOWSKA, D. Phytotoxic effect of herbicides on various camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz] genotypes and plant chlorophyll fluorescence. **Agriculture**, v. 10, n. 5, p. 185, 2020.
- SOSNOSKIE, L. M.; CULPEPPER, A. S.; BRAXTON, L. B.; RICHBURG, J. S. Evaluating the volatility of three formulations of 2,4-D when applied in the field. **Weed Technology**, v.29, n. 2, p. 177-184, 2015.
- SPADOTTO, C. **Avanços na tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários**. Botucatu: FEPAF, 2015. 109 p.
- SPAUNHORST, D. J.; BRADLEY, K. W. Influence of dicamba and dicamba plus glyphosate combinations on the control of glyphosate-resistant waterhemp (*Amaranthus rudis*). **Weed Technology**, v. 27, n. 4, p. 675-681, 2013.
- STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. **Weed Research**, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.
- SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. Saint Joseph: ASAE, p. 17, 1999.
- TAVARES, C. J.; PEREIRA, L. S., ARAÚJO, A. C. F.; MARTINS, D. A.; JAKELAITIS, A. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2, 4-D. **Brazilian Journal of Forest Research**, v. 37, n. 89, p.8-22, 2017.
- TIRONI, S. P.; BELO, A. F.; FIALHO, C. M. T.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A., COSTA, M. D.; BARBOSA, M. H. P. Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 27, n.1, p. 995-1004, 2009.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: VENEGAS, V. H. A.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo Viçosa**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 195-276.
- UNDERWOOD, M. G.; SOLTANI, N.; HOOKER, D. C.; ROBINSON, D. E.; VINK, J.P.;

- SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P.H. Benefit of tank mixing dicamba with glyphosate applied after emergence for weed control in dicamba-and glyphosate-resistant soybean. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 97, n. 5, p. 891-901, 2017.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Reregistration Eligibility Decision for Dicamba and Associated Salts**. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2006. 8 p.
- USEPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Introduction to pesticide drift**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2013. 63p.
- USSD - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service**, January. Citrus: World Markets and Trade. p. 1–13. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usdaesmis/files/w66343603/00000g55g/kp78h0193/citrus.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.
- VAN DEN BERG, F.; KUBIAK, R.; BENJEY, W.; MAJEWSKI, M.; YATES, S.; REEVES, G.; SMELT, J.; VAN DER LINDEN, A. Emission of pesticides into the air. In: DIJK, H. F. G. V.; PUL, W. A. J. V.; VOOGT, P. **Fate of Pesticides in the Atmosphere: Implications for Environmental Risk Assessment**. New York: Springer, p. 195-218, 1999.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Microbial biomass measurements in forest soils: determination of  $k_c$  values and tests of hypotheses to explain the failure of the chloroform fumigation-incubation method in acid soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 689-696, 1987.
- VIDAL, R. A.; MERROTO JR. **A Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152 p.
- VIDAL, R. **Ação dos herbicidas**. 1ª edição. Cidade Porto Alegre: Editora Ribas Vidal, p. 70 - 75, 2002.
- VOOS, G., GROFFMAN, P.M. Relationships between microbial biomass and dissipation of 2,4-D and dicamba in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, p. 106-110, 1997.
- WALLACE, R. W.; BELLINDER, R. R. Alternative tillage and herbicide options for successful weed control in vegetables. **Horticulture Science**, v. 27, n. 7, p. 745-749, 1992.
- WARDLE, D. A.; PARKINSON, D. Relative importance of the effects of 2,4-D, glyphosate and environmental variables on the soil microbial biomass. **Plant**

- Soil**, v. 134, p. 209-219, 1991.
- WEED OUT. **Deriva de herbicidas: seu dinheiro pode estar voando por aí!**  
Disponível em: <https://weedout.com.br/deriva-de-herbicidas-seu-dinheiro-pode-estar-voando-por-ai/>. Acesso em: 01 jul. 2021.
- WELLS, M. L.; PROSTKO, E. P.; CARTER, O. W. Simulated single drift events of 2,4-D and dicamba on pecan trees. **Horttechnology**, v. 29, n. 3, p. 360-366, 2019.
- WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p.
- WRIGHT, T. R.; SHAN, G.; WALSH, T. A.; LIRA, J. M.; CUI, C.; SONG, P.; ZHANG, Z. 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
- ZHOU, X.; ROTONDARO, S. L.; MA, M.; ROSSER, S. W.; OLBERDING, E. L.; WENDELBURG, B. M.; CLEMENTS, B. Metabolism and residues of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in DAS-40278-9 maize (*Zea mays*) transformed with aryloxyalkanoate dioxygenase-1 gene. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 40, p. 7438-7444, 2016.
- ZIMMER, M.; YOUNG, B. G.; JOHNSON, W. G. Weed control with halauxifen-methyl applied alone and in mixtures with 2, 4-D, dicamba, and glyphosate. **Weed Technology**, v. 32, n. 5, p. 597-602, 2018.