

Sensibilidade de plantas de milho aos herbicidas dicamba e triclopyr

Sensitivity of corn plants to dicamba and triclopyr herbicides

Sensibilidad de las plantas de maíz a los herbicidas dicamba y triclopyr

Recebido: 07/10/2022 | Revisado: 16/10/2022 | Aceitado: 17/10/2022 | Publicado: 22/10/2022

Jaqueline Oliveira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6655-2700>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: jaqueline_16@outlook.com.br

Carlos Henrique de Lima e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5173-5224>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: valadares_ufsj@yahoo.com.br

Jeovane Nascimento Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-1825>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: jeovaneagro@gmail.com

Leticia Carvalho Dal'Evedove

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2553-2364>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: leticiaarvd2010@gmail.com

Fernanda Pereira Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0251-8642>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: ferdsmarques@hotmail.com

Adriano Jakelaitis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0093-9846>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: adriano.jakelaitis@ifgoiano.edu.br

Resumo

O deslocamento de herbicidas auxínicos para o local não alvo resulta em prejuízos agrônômicos e ambientais. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar os efeitos de doses dos herbicidas dicamba e triclopyr aplicados nas fases fenológicas V2, V4 e V8 da cultura do milho. Foram testados em parcelas subdivididas, no arranjo 3x5, as aplicações dos herbicidas em três fases fenológicas do milho (V2, V4 e V8) e cinco doses de cada herbicida (0; 4,8; 24; 48; 96 g e.a. ha⁻¹). As doses de dicamba aplicadas na fase V4 da cultura do milho provocaram injúrias de até 16,5% aos 7 dias após a aplicação (DAA), com posterior recuperação das mesmas aos 28 DAA. Nas fases fenológicas V2 e V8, as doses de dicamba não provocaram injúrias e não afetaram o rendimento de grãos de milho. Para o triclopyr, as plantas de milho foram mais sensíveis quando o herbicida foi aplicado em V4, com incremento linear com o aumento das doses. Aos 21 DAA, os sintomas foram de 50% de fitointoxicação, porém com recuperação parcial aos 28 DAA. O triclopyr aplicado nas fases fenológicas V2 e V4 promoveu redução da produtividade do milho em relação à aplicação feita em V8. A dose de triclopyr de 4,8 g e.a. ha⁻¹ promoveu efeito de hormese no milho, com acréscimo do rendimento de grãos em relação às demais doses aplicadas.

Palavras-chave: Fases fenológicas do milho; Rendimento de grãos; Deriva; Herbicidas auxínicos.

Abstract

The displacement of auxinic herbicides to the non-target site results in agronomic and environmental damages. The objective of this research was to evaluate the effects of doses of the herbicides dicamba and triclopyr applied in the phenological phases V2, V4 and V8 on the corn crop. The treatments were arranged in split plots in a 3x5 arrangement. The herbicide applications occurred in three maize phenological phases (V2, V4 and V8) and were tested five doses of each herbicide (0; 4.8; 24; 48; 96 g ae. ha⁻¹). The doses of dicamba applied in the V4 phase of the maize crop caused injuries of up to 16.5% at 7 days after application (DAA), with subsequent recovery at 28 DAA. In the phenological phases V2 and V8, the doses of dicamba did not cause damage and did not affect the corn grain yield. For triclopyr, maize plants were more sensitive when the herbicide was applied at V4, with a linear increase with increasing doses. At 21 DAA, symptoms were 50% phytotoxic, but with partial recovery at 28 DAA. Triclopyr applied in phases V2 and V4 promoted a reduction in corn productivity in relation to the application made in V8. The triclopyr dose of 4.8 g a.e ha⁻¹ promoted hormesis effect in corn, with an increase in grain yield in relation to the other doses applied.

Keywords: Corn phenological phases; Grain yield; Drift; Auxinic herbicides.

Resumen

El desplazamiento de herbicidas auxínicos al sitio no objetivo resulta en daños agronómicos y ambientales. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de dosis de los herbicidas dicamba y triclopyr aplicados en las fases fenológicas V2, V4 y V8 en el cultivo de maíz. Los tratamientos se dispusieron en parcelas divididas en un arreglo de 3x5. Las aplicaciones de los herbicidas se realizaron en tres fases fenológicas del maíz (V2, V4 y V8) y se probaron cinco dosis de cada herbicida (0; 4,8; 24; 48; 96 g ea. ha⁻¹). Las dosis de dicamba aplicadas en la fase V4 del cultivo de maíz provocaron lesiones de hasta 16,5% a los 7 días después de la aplicación (DDA), con recuperación posterior a los 28 DDA. En las fases fenológicas V2 y V8, las dosis de dicamba no causaron daño y no afectaron el rendimiento de grano de maíz. Para el triclopyr, las plantas de maíz fueron más sensibles cuando el herbicida se aplicó en V4, con un aumento lineal con dosis crecientes. A los 21 DDA, los síntomas fueron 50% fitotóxicos, pero con recuperación parcial a los 28 DDA. El triclopyr aplicado en las fases V2 y V4 promovió una reducción de la productividad del maíz con relación a la aplicación realizada en la V8. La dosis de triclopyr de 4,8 g y ha⁻¹ promovió el efecto de hormesis en el maíz, con un aumento del rendimiento de grano en relación a las demás dosis aplicadas.

Palabras clave: Fases fenológicas del maíz; Rendimiento de grano; Deriva; Herbicidas auxínicos.

1. Introdução

O uso de herbicidas constitui uma importante medida de controle de plantas daninhas em sistemas de produção (Silva et al. 2018; Van Bruggen et al. 2018). O glyphosate é o mais relevante dos herbicidas comercializados no Brasil e no mundo, no entanto, o seu uso repetido e inadequado tem resultado em contaminações ambientais e na seleção de plantas daninhas resistentes, muitas vezes tornando o controle ineficaz pelo mesmo (Owen, 2016, Fernandes et al., 2019). Cinquenta e seis espécies de plantas daninhas já foram relatadas com resistência ao glyphosate no mundo até setembro de 2022 e a tendência é que esse número aumente a cada ano (Heap, 2022). Desta forma, novas alternativas têm sido buscadas para o controle de plantas daninhas, como a introdução de culturas geneticamente modificadas como soja e algodão, que são tolerantes aos herbicidas auxínicos, utilizados em pós-emergência para controle de plantas daninhas dicotiledôneas (Kruger et al. 2010, Mortensen et al. 2012; Busi et al., 2018). Outra alternativa é o uso de herbicidas auxínicos, como dicamba, triclopyr e fluroxypyr na dessecação de manejo juntamente com o glyphosate, visando à implantação de culturas de alto interesse econômico, como a soja e o algodão (Ferraz et al., 2020).

O herbicida dicamba (ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzóico) é um herbicida hormonal, regulador do crescimento, que pertence à classe dos mimetizadores da auxina e ao grupo químico dos ácidos benzóicos. Isso se deve à sua semelhança funcional e estrutural com o ácido indolacético, principal hormônio natural que regula a atividade de vários genes envolvidos no crescimento das plantas (Zhou et al., 2016). O dicamba tem sido associado à volatilidade e ao deslocamento das moléculas do produto para áreas adjacentes às de aplicação, o que pode causar danos às culturas não-alvo (Joseph et al., 2018; Gazola et al. al., 2021; Cantu et al., 2021). Com a introdução da tecnologia de culturas tolerantes ao dicamba no mercado, há uma maior chance deste herbicida derivar para áreas não intencionais (Vieira et al. 2020).

O triclopyr (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético) é um herbicida auxínico, sistêmico, pertencente ao grupo químico dos ácidos carboxílicos. Este herbicida age da mesma forma que as auxinas naturais, porém, quando aplicados em doses maiores, causa ação herbicida nas plantas sensíveis (Patton et al., 2020). Nestas plantas, o herbicida causa intensa divisão celular, formando tumores, desenvolvimento de raízes aéreas, multiplicação e engrossamento de raízes e caules. Os sintomas mais característicos são epinastia, hipertrofia das raízes laterais e o encurtamento do tecido internerval (Yamashita et al., 2009). O triclopyr controla plantas lenhosas e plantas daninhas anuais e perenes dicotiledôneas em pastagens, áreas não-cultivadas, gramados e na cultura do arroz irrigado, sendo recomendado também em pré-semeadura das culturas de milho, soja e trigo (Agrofit, 2021; Anagnostopoulos et al., 2020).

Segundo Brochado et al. (2022), a deriva de agroquímicos consiste no deslocamento das moléculas pelo ar para áreas não desejadas às de aplicação. Este processo pode causar injúrias em plantas vizinhas que são sensíveis ao herbicida, além de contaminação ambiental. Desta forma, no momento da aplicação devem-se levar em considerações vários fatores como as

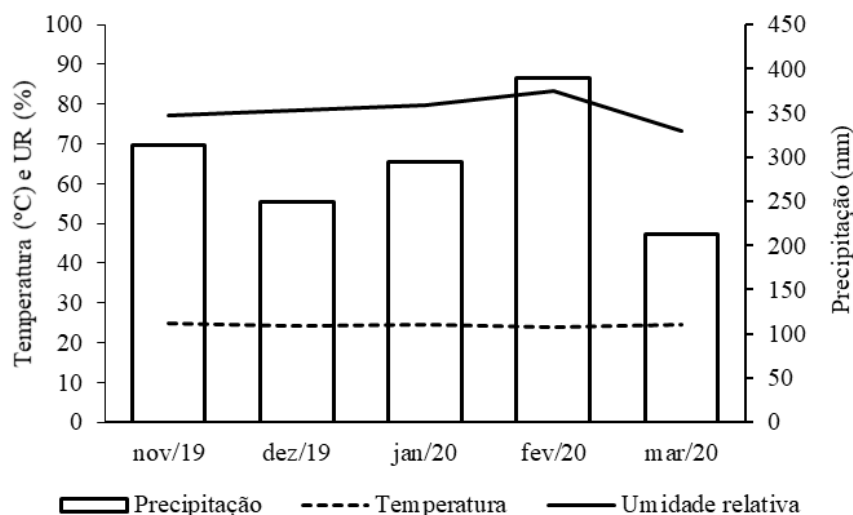
condições meteorológicas, equipamentos utilizados, além das formulações dos produtos (Mortensen et al., 2012). Alguns estudos já foram realizados, na cultura da soja, por exemplo, a fim de mensurar o efeito da deriva do herbicida dicamba em diferentes estádios fenológicos (Solomon & Bradley, 2014; Silva et al., 2018). De acordo com Griffin et al. (2013), a fase fenológica da cultura no momento que o herbicida é aplicado, consiste em um dos fatores que influenciam de maneira expressiva o crescimento e desenvolvimento das plantas. Entre as culturas afetadas pela deriva de herbicidas auxínicos têm-se: videira, tomateiro, feijão-comum, batata, eucalipto e a própria soja não tolerante aos herbicidas (Tuffi Santos et al., 2006; BASF Corporation, 2017; Bradley, 2017; Hatterman-Valenti et al. 2017; Silva et al. 2018).

Nesse contexto, o presente estudo foi desenvolvido para avaliar e caracterizar os possíveis danos causados pelo herbicida dicamba e triclopyr na cultura do milho, analisando fitotoxicidade e variáveis biométricas.

2. Metodologia

Dois ensaios foram conduzidos em condições de campo em Rio Verde (17° 48' e 67" S e 50° 54' 18" W e altitude de 754 m), GO, durante a safra 2019/20. O solo da área, caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico, apresentou na profundidade de 0 a 20 cm, a seguinte composição físico-química: pH de 6,2 (SMP), Ca de 4,64 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, Mg de 2,50 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, Al^{3+} de 0,04 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, H+Al de 4,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, CTC de 12,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, K de 0,46 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, P (Melich) de 13,1 mg dm^{-3} , matéria orgânica de 3,62 mg dm^{-3} , Zn 4,5 de mg dm^{-3} , saturação por bases de 62,8%, saturação por alumínio de 0,5%, argila de 64,5%, silte de 10,0% e areia de 25,5%. O clima da região é caracterizado como Aw tropical úmido, com chuva no verão e seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen. Os dados climáticos durante a condução do experimento são evidenciados na Figura 1 e foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Figura 1. Valores médios de precipitação, temperatura e umidade relativa (UR) durante o período de condução do experimento.



Fonte: Autores.

Antes da instalação dos ensaios, a vegetação do local foi dessecada com o herbicida glyphosate (Glyphosate Nortox® 480 SL) na dose de 2.400 g e.a. ha^{-1} e quinze dias após foi feita a semeadura no sistema de plantio direto. A semeadura do híbrido FORSEDD FS500PW com profundidade de 5 centímetros, foi realizada no dia 27/11/19, de forma mecanizada com o auxílio de uma semeadora múltipla de cinco linhas, com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 4 sementes por metro de sulco. As sementes de milho foram tratadas com Standak® Top na dose de 200 mL do produto comercial para 100 kg de sementes. A

adubação de semeadura foi de 350 kg ha⁻¹ da formulação 04-30-16 de NPK.

Nesta pesquisa de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018), o delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Para cada herbicida testado foi conduzido um ensaio. Os tratamentos foram arranjos em parcelas subdivididas no arranjo 3x5, sendo as três fases fenológicas da cultura do milho (V2, V4 e V8) onde foram aplicados os herbicidas, arranjos nas parcelas e as cinco doses do herbicida (0, 4,8; 24; 48; 96 g e.a. ha⁻¹) de dicamba ou triclopyr, nas subparcelas. As parcelas apresentaram uma área de 28 m², sendo oito linhas de sete metros de comprimento. A área útil consistiu nas cinco linhas centrais. As aplicações foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, regulado para a pressão constante de 1,5 bar, com barra equipada com bicos TT110.02, espaçados de 0,50 m e calibrados para aplicar o equivalente a 150 L ha⁻¹ de calda. As condições climáticas foram determinadas com auxílio de um termo-higro-anemômetro, sendo que a aplicação no estádio V2 a umidade relativa do ar (UR) foi de 77,6%, a temperatura do ar de 25°C e a velocidade do vento de 1,2 m s⁻¹. No estádio V4, a UR foi de 66,2%, temperatura de 28,2°C e velocidade do vento de 1 m s⁻¹. Por fim, em V8 a UR foi de 70,7%, temperatura de 26,9°C e a velocidade do vento de 1,6 m s⁻¹.

No estádio V3 foi aplicado para o controle de plantas daninhas os herbicidas glyphosate (Roundup Original®) na dose de 960 g e.a. ha⁻¹ mais atrazine (Atrazina Nortox 500®) na dose de 1.000 g ha⁻¹. No estádio V5 foi feita a aplicação de ureia de forma manual e em cobertura na dose de 120 kg ha⁻¹ de N. Em V6 foi aplicado os inseticidas clorantropilprole + lambda-cialotrina (Ampligo®) na dose de 150 mL ha⁻¹ para o controle de *Spodoptera frugiperda* e o fungicida piraclostrobina + epoxiconazol (Opera®SE) na dose de 0,75 L ha⁻¹ para o controle de manchas foliares.

As avaliações de fitointoxicação provocadas pela simulação de deriva foram feitas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), através de avaliações visuais e atribuições de notas que variam de 0% a 100%, onde 0 representa nenhuma injúria e 100 representa a morte da planta, conforme a escala EWRC, modificada por Frans (1972). As avaliações de altura de planta e de inserção de espigas foi realizado através da medição biométrica, tomando como referência a superfície do solo e a folha bandeira. A medição do diâmetro do colmo foi feita com o auxílio de um paquímetro a 5 cm do solo. Ambas as avaliações foram feitas no florescimento da cultura em cinco pontos aleatórios em cada subparcela.

Realizou-se a contagem do número de plantas para determinar a população na área útil de cada subparcela. As espigas foram colhidas de forma manual nas subparcelas e dispostas em uma trilhadeira mecanizada, para a retirada dos grãos. A determinação do teor de água dos grãos foi realizada através do método padrão de estufa. Posteriormente, foi feito a correção de umidade e determinou-se o rendimento de grãos e a massa de cem grãos, a 13% de umidade.

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) pelo teste F, e quando significativos, os resultados foram submetidos ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação entre as fases fenológicas e à análise de regressão entre as doses testadas.

3. Resultados e Discussão

Para o herbicida dicamba foram observados efeitos de fitointoxicação nas plantas de milho para a interação entre as doses e as fases fenológicas. As doses aplicadas nas fases fenológicas V2 e V8 não provocaram sintomas de fitointoxicação no milho, mas apenas àquelas aplicadas em V4 (Tabela 1). Neste caso, a fitotoxicidade foi crescente com o aumento das doses do dicamba em avaliações feitas entre os 7 e os 21 DAA, com recuperação das plantas aos 28 DAA (Tabela 1).

Tabela 1. Fitointoxicação (%) aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) do herbicida dicamba em função de doses e das fases fenológicas de plantas de milho.

Fases fenológicas (A)	Doses (g e.a. ha ⁻¹) (B)					Regressão
	0	4,8	24	48	96	
7 DAA						
V2	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	0 a	3,75 a	10 a	16,25 a	$\hat{Y} = -0,1462 + 0,1778x, r^2 = 98,13 *$
V8	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
CV(A) = 12,89%						
CV(B) = 9,70%						
14 DAA						
V2	0 a	0 b	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	1,75 a	3,5 a	4 a	5 a	$\hat{Y} = 1,3212 + 0,0442x, r^2 = 76,62 *$
V8	0 a	0 b	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
CV(A) = 19,16%						
CV(B) = 9,60%						
21 DAA						
V2	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	0,5 a	3,25 a	4 a	5 a	$\hat{Y} = 0,7972 + 0,00507x, r^2 = 81,92 *$
V8	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
CV(A) = 12,90%						
CV(B) = 14,23%						
28 DAA						
V2	0	0	0	0	0	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0	0	0	0	0	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V8	0	0	0	0	0	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * Modelo significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Os sintomas de injúrias aos 7, 14 e 21 DAA foram considerados leves (< 20%) e explicados por modelos lineares simples, com aumento dos sintomas de 0,17; 0,04; 0,005%, respectivamente, para cada grama por hectare de equivalente ácido do dicamba aplicado. A fitotoxicidade visual geralmente está relacionada à dose, onde níveis mais altos podem intensificar os sintomas. Os principais sintomas observados nas plantas de milho tratadas com dicamba foram nas doses mais altas e foram caracterizadas como enrugamento das folhas e tortuosidade no crescimento do colmo, a partir da base. Porém, este efeito não resultou em plantas de menor porte, quebradas ou acamadas.

Os herbicidas reguladores de crescimento atuam na síntese de etileno como inibidores da divisão celular, induzindo sintomas de crescimento desorganizado do meristema, enrugamento, clorose, necrose de folhas e galhos e, posteriormente, senescência (Foster & Griffin, 2018; Dintelmann et al., 2020). Contudo, nesta pesquisa os sintomas provocados pelo dicamba não influenciaram as demais variáveis vegetativas ou reprodutivas mensuradas na cultura (Tabela 2). Os tratamentos não influenciaram a altura de plantas, altura de espigas, diâmetro do colmo, população final de plantas, massa de cem grãos e rendimento de grãos. De acordo com Egan et al. (2012), após serem expostas a baixas doses de herbicidas que mimetizam auxinas, certas espécies de plantas têm a capacidade de se recuperar de sintomas de lesão de baixa a moderada fitointoxicação.

Tabela 2. Alturas de plantas, de espigas, diâmetro do colmo, população, massa de cem grãos e rendimento de grãos de plantas de milho em função de doses de dicamba e das fases fenológicas de plantas de milho.

Fases Fenológicas (A)	Doses (g e.a. ha ⁻¹) (B)				
	0	4,8	24	48	96
Altura de plantas (m)					
V2	2,06	2,05	2,08	2,05	2,07
V4	1,98	2,01	2,02	2,08	2,02
V8	2,02	2,03	1,96	2,00	2,03
CV(A) = 3,06%					
CV(B) = 2,91%					
Altura de espigas (m)					
V2	1,13	1,17	1,16	1,15	1,15
V4	1,11	1,15	1,13	1,14	1,13
V8	1,12	1,12	1,08	1,12	1,10
CV(A) = 4,27%					
CV(B) = 3,75%					
Diâmetro de colmo (mm)					
V2	24,06 a	25,52 a	24,88 a	24,68 a	26,74 a
V4	25,62 a	24,03 a	24,92 a	24,74 a	23,67 b
V8	23,31 a	23,93 a	24,69 a	25,28 a	24,68 b
CV(A) = 6,81%					
CV(B) = 5,21%					
População (plantas ha ⁻¹)					
V2	65.760,87	71.739,13	79.891,30	71.739,13	69.565,22
V4	69.021,74	76.086,96	69.565,22	61.956,52	62.500,00
V8	65.760,87	64.673,91	67.391,30	63.043,48	66.304,35
CV(A) = 10,42%					
CV(B) = 10,07%					
Massa de cem grãos (g)					
V2	36,43	36,50	34,76	33,63	35,68
V4	36,94	36,04	35,97	34,90	35,44
V8	38,05	34,88	35,46	38,98	35,85
CV(A) = 9,62%					
CV(B) = 9,25%					
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)					
V2	8.797,55	9.233,59	9.609,30	8.860,63	8.068,08
V4	8.956,61	9.905,47	9.362,48	7.911,76	7.994,03
V8	8.583,65	9.677,85	9.335,06	9.740,93	9.601,07
CV(A) = 18,17%					
CV(B) = 11,55%					

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Os efeitos do herbicida triclopyr sobre as plantas de milho foram mais intensos em relação ao dicamba. Foram observados sintomas de fitointoxicação para a interação entre as doses e as fases fenológicas, com destaque para a fase fenológica V4 (Tabela 3). Nesta fase, os sintomas de fitointoxicação aumentaram linearmente com o acréscimo das doses, apresentando sintomas moderados, que atingiram 50% aos 21 DAA (Tabela 3). Os aumentos nos sintomas foram de 0,177; 0,369; 0,525 e 0,193% para cada grama por hectare de equivalente ácido do triclopyr aplicado, aos 7, 14, 21 e 28 DAA, respectivamente, com recuperação parcial dos sintomas aos 28 DAA. Nas plantas de milho, os sintomas foram enrolamento de folhas, aumento do número de raízes aéreas anormais com hipertrofia, colmos tortuosos e quebradiços e morte de plantas.

Tabela 3. Fitointoxicação (%) aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) do herbicida triclopyr em função de doses e das fases fenológicas de plantas de milho.

Fases Fenológicas (A)	Doses (g e.a. ha ⁻¹) (B)					Regressão
	0	4,8	24	48	96	
7 DAA						
V2	0 a	0 a	0 b	0 b	0 a	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$ $\hat{Y} = -1,9640 + 0,1778x, r^2 = 96,28 *$ $\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	0 a	1,25 a	13,75 a	27,5 b	
V8	0 a	0 a	0 b	0 b	0 a	
CV(A) = 22,17%						
CV(B) = 18,35%						
14 DAA						
V2	0 a	0 a	0 a	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$ $\hat{Y} = -3,1038 + 0,3690x, r^2 = 92,00 *$ $\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	0 a	2,75 a	10,75 a	35 a	
V8	0 a	0 a	0 a	0 b	0 b	
CV(A) = 58,34%						
CV(B) = 36,04%						
21 DAA						
V2	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$ $\hat{Y} = 4,5746 + 0,5259x, r^2 = 92,40 *$ $\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	5 a	20 a	38,75 a	50 a	
V8	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	
CV(A) = 31,89%						
CV(B) = 18,36%						
28 DAA						
V2	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0$ $\hat{Y} = -0,1724 + 0,1931x, r^2 = 97,24 *$ $\hat{Y} = \bar{Y} = 0$
V4	0 a	0 a	3,75 a	11,25 a	17,5 a	
V8	0 a	0 a	0 b	0 b	0 b	
CV(A) = 17,14%						
CV(B) = 21,15%						

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * Modelo significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Mesmo com os sintomas destacados em folhas e nos colmos, não foram observados efeitos dos tratamentos sobre as alturas de plantas e de inserção de espigas, diâmetro do colmo e massa de cem grãos (Tabela 4). Por outro lado, verificou-se reduções na população final de plantas, quando o herbicida foi aplicado na maior dose nas fases fenológicas V2 e V4 em relação a V8. Em V2, a população de plantas apresentou comportamento quadrático em relação as doses de triclopyr, com queda acentuada na população a partir da dose de 20 g e.a. ha⁻¹ (Figura 2). Não foram observados efeitos no rendimento de grãos para a interação doses de triclopyr e fases fenológicas em que foram aplicadas as doses, apenas efeitos isolados de tratamentos. Quando as doses de triclopyr foram aplicadas em V2 e V4 os valores do rendimento de grãos foram inferiores aos aplicados em V8, que foi a fase fenológica que as plantas de milho foram mais tolerantes às doses do herbicida (Figura 3A).

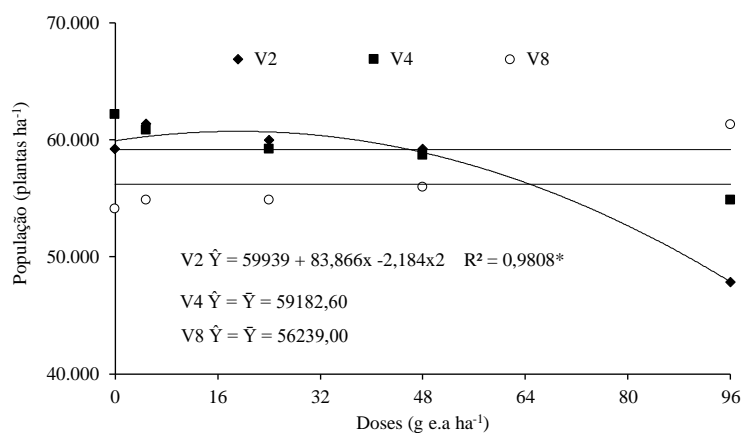
Por outro lado, não foi possível ajustar um modelo de regressão que explicasse o comportamento do rendimento de grãos em relação às doses, em decorrência do efeito de hormese manifestada na dose de 4,8 g e.a. ha⁻¹ (Figura 3B). Herbicidas auxínicos quando aplicados em doses não tóxicas podem estimular o crescimento das plantas, como a auxina – hormônio de crescimento produzida naturalmente pelas plantas (Tavares et al., 2017). Porém, estas substâncias são letais em doses elevadas (Belz et al., 2018). Portanto, as respostas de estímulo podem ser vistas por meio do aumento do rendimento de grãos, ou de outras características das plantas pelo efeito de hormese (Cedergreen et al., 2007).

Tabela 4. Alturas de plantas, de espigas, diâmetro do colmo, população e massa de cem grãos de plantas de milho em função de doses de triclopyr e das fases fenológicas de plantas de milho.

Fases fenológicas (A)	Doses (g e.a. ha ⁻¹) (B)				
	0	4,8	24	48	96
Altura de plantas (m)					
V2	2,08	2,14	2,11	2,11	2,08
V4	2,03	2,13	2,12	2,12	2,15
V8	2,12	2,06	2,09	2,12	2,00
CV(A) = 4,51%					
CV(B) = 3,47%					
Altura de espigas (m)					
V2	1,16	1,17	1,18	1,17	1,16
V4	1,16	1,18	1,18	1,15	1,17
V8	1,16	1,16	1,15	1,19	1,12
CV(A) = 4,31%					
CV(B) = 4,04%					
Diâmetro de colmo (mm)					
V2	23,88	23,70	22,85	22,31	22,68
V4	22,27	22,30	23,15	22,11	22,93
V8	22,08	21,59	22,30	22,05	21,94
CV(A)=3,45					
CV(B)=7,74					
População (plantas ha ⁻¹)					
V2	59.239,13 a	61.413,04 a	60.000,00 a	59.239,13 a	47.826,09 b
V4	62.217,39 a	60.869,57 a	59.239,13 a	58.695,65 a	54.891,30 ab
V8	54.630,43 a	54.891,30 a	54.891,30 a	55.978,26 a	61.304,35 a
CV(A) = 11,46%					
CV(B) = 11,40%					
Massa de cem grãos (g)					
V2	38,58	38,42	37,20	35,58	34,34
V4	36,69	37,97	36,63	36,57	37,21
V8	40,20	40,06	37,57	39,69	39,37
CV(A) = 8,33%					
CV(B) = 9,49%					

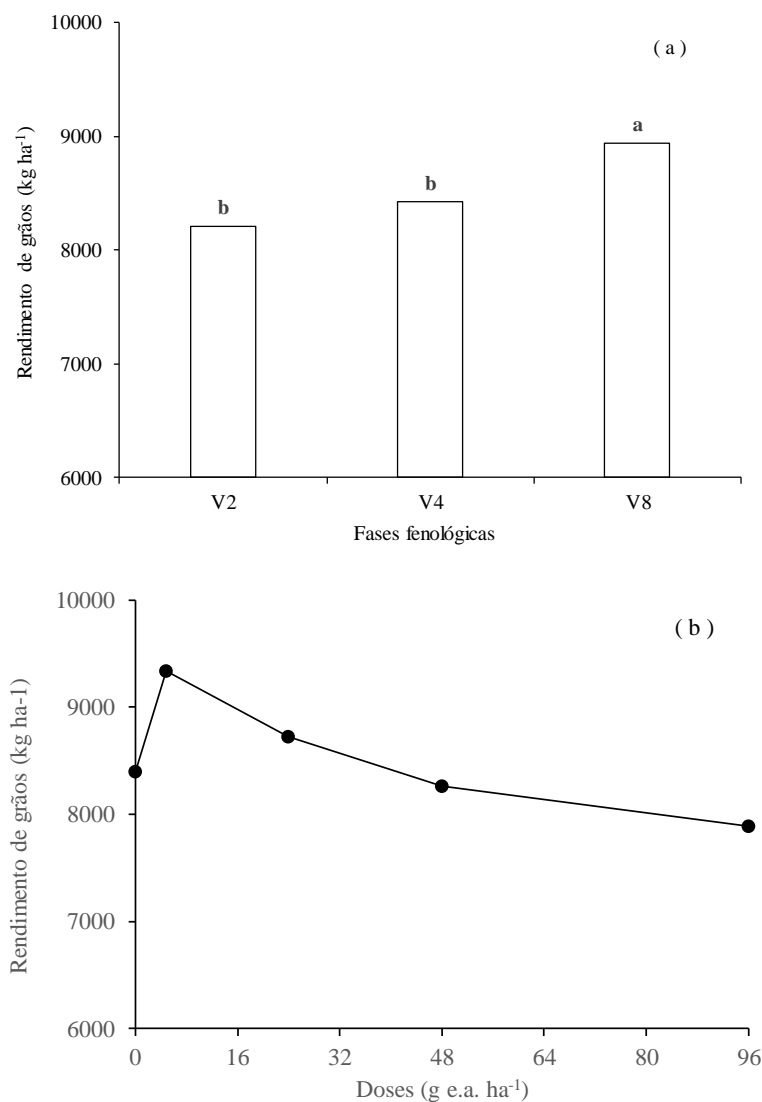
Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Figura 2. População de plantas de milho tratadas com doses de triclopyr aplicadas nas fases fenológicas V2, V4 e V8 das plantas de milho.



Fonte: Autores.

Figura 3. Rendimento de grãos de milho em função das fases fenológicas (a) e das doses de triclopyr (b) aplicadas nas plantas de milho. Letras diferentes nos histogramas são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autores.

4. Conclusão

As plantas do milho híbrido FORSEDD FS500PW tratadas com dicamba na fase fenológica V4 apresentaram sintomas leves de intoxicação, com recuperação das plantas aos 28 DAA.

Quando tratadas com triclopyr, as plantas do milho híbrido FORSEDD FS500PW apresentaram moderada fitointoxicação, que resultou na redução da população de plantas e do rendimento de grãos, principalmente quando o herbicida foi aplicado em V2 e V4.

Na dose de 4,8 g e.a ha⁻¹ ocorreu estímulo na produção de grãos pelo efeito de hormese.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Referências

- AGROFIT. *Sistema de agrotóxicos fitossanitários*. (2021). http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- Anagnostopoulos, C., Stasinopoulou, P., Kanatas, P., & Travlos, I. (2020). Differences in metabolism of three *Conyza* species to herbicides glyphosate and triclopyr revealed by LC-MS/MS. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(1), 100-107.
- BASF Corporation. 2017. *Engenia specimen herbicide product label*. Reg. no. 7969-345.
- Belz, R. G., Farooq, M. B., & Wagner, J. (2018). Does selective hormesis impact herbicide resistance evolution in weeds? ACCase-resistant populations of *Alopecurus myosuroides* Huds. as a case study. *Pest Management Science*, 74(8), 1880-1891.
- Bradley, K. (2017). A final report on dicamba-injured soybean acres. *Integrated Pest and Crop Manage*. 27: 2.
- Busi, R., Goggin, D. E., Heap, I. M., Horak, M. J., Jugulam, M., Masters, R. A., & Wright, T. R. (2018). Weed resistance to synthetic auxin herbicides. *Pest Management Science*, 74(10), 2265-2276.
- Brochado, M. G. S., Mielke, K. C., de Paula, D. F., Laube, A. F. S., Alcántara-de la Cruz, R., Gonzatto, M. P., & Mendes, K. F. (2022). Impacts of dicamba and 2,4-D drift on 'Ponkan' mandarin seedlings, soil microbiota and *Amaranthus retroflexus*. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 6, 100084.
- Cantu, R. M., Albrecht, L. P., Albrecht, A. J., Silva, A. F., Danilussi, M. T., & Lorenzetti, J. B. (2021). Herbicide alternative for *Conyza sumatrensis* control in pre-planting in no-till soybeans. *Advances in Weed Science*, 39: e2021000025
- Cedergreen, N., Streibig, J. C., Kudsk, P., Mathiassen, S. K., & Duke, S. O. (2007). The occurrence of hormesis in plants and algae. *Dose-response*, 5(2), 150-162.
- Dintelmann, B. R., Warmund, M. R., Bish, M. D., & Bradley, K. W. (2020). Investigations of the sensitivity of ornamental, fruit, and nut plant species to driftable rates of 2,4-D and dicamba. *Weed Technology*, 34(3), 331-341.
- Egan, J. F., & Mortensen, D. A. (2012). Quantifying vapor drift of dicamba herbicides applied to soybean. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(5), 1023-1031.
- Fernandes, G., Aparicio, V. C., Bastos, M. C., De Gerónimo, E., Labanowski, J., Prestes, O. D., & Dos Santos, D. R. (2019). Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. *Science of the Total Environment*, 651, 1377-1387.
- Ferraz, W. J., Pass, R. L. P. T., Muller, A. L., Gerhardt, K. L., Brustolin, D. B., Hubner, R., & Francisco, C. A. (2020). Aplicação de diferentes herbicidas para o controle de *Conyza* spp. resistentes ao glyphosate. *Revista Cultivando o Saber*, 13(2), 1-8.
- Foster, M. R., & Griffin, J. L. (2018). Injury criteria associated with soybean exposure to dicamba. *Weed Technology*, 32(5), 608-617.
- Frans, R. E. Measuring plant response. In: Wilkinson, R.E. (Ed.). Research methods in weed science [S.l.]: Southern Weed Science Society, 1972. p.28-41.
- Gazola, J. G., Barbieri, G. F., Piasecki, C., Mazon, A. S., & Agostinetti, D. (2021). Chemical control of wild radish and volunteer Enlist™ soybean and selectivity to wheat crop. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(3), e413.
- Griffin, J. L., Bauerle, M. J., Stephenson, D. O., Miller, D. K., & Boudreaux, J. M. (2013). Soybean response to dicamba applied at vegetative and reproductive growth stages. *Weed Technology*, 27(4), 696-703.
- Hatterman-Valenti, H., Endres, G., Jenks, B., Ostlie, M., Reinhardt, T., Robinson, A., & Zollinger, R. (2017). Defining glyphosate and dicamba drift injury to dry edible pea, dry edible bean, and potato. *Hort Technology*, 27(4), 502-509.
- Heap, I. *The International Herbicide-Resistant Weed Database*. (2022). www.weedscience.org.
- Joseph, D. D., Marshall, M. W., & Sanders, C. H. (2018). Efficacy of 2, 4-D, dicamba, glufosinate and glyphosate combinations on selected broadleaf weed heights. *American Journal of Plant Sciences*, 9(6), 1321-1333.
- Kruger, G. R., Davis, V. M., Weller, S. C., & Johnson, W. G. (2010). Control of horseweed (*Conyza canadensis*) with growth regulator herbicides. *Weed Technology*, 24(4), 425-429.
- Mortensen, D. A., Egan, J. F., Maxwell, B. D., Ryan, M. R., & Smith, R. G. (2012). Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *BioScience*, 62(1), 75-84.
- Patton, A. J., Weisenberger, D. V., & Liu, W. (2020). Efficacy of triclopyr and synthetic auxin herbicide mixtures for common blue violet (*Viola sororia*) control. *Weed Technology*, 34(4), 475-481.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. (1ª. ed.) –Santa Maria, RS: UFSM, NTE.
- Silva, D. R. O. D., Silva, E. D. N. D., Aguiar, A. C. M. D., Novello, B. D. P., Silva, A. A. A. D., & Basso, C. J. (2018). Drift of 2, 4-D and dicamba applied to soybean at vegetative and reproductive growth stage. *Ciência Rural*, 48(8), e20180179.
- Solomon, C. B., & Bradley, K. W. (2014). Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean. *Weed Technology*, 28(3), 454-464.
- Tavares, C. J., Pereira, L. S., Araújo, A. C. F., Martins, D. A., & Jakelaitis, A. (2017). Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37(89), 81-87.

Tuffi Santos, L. D., Ferreira, L. R., Ferreira, F. A., Duarte, W. M., Tiburcio, R. A. S., & Machado, A. F. L. (2006). Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. *Planta Daninha*, 24, 521-526.

Van Bruggen, A. H., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris Jr, J. G. (2018). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, 616, 255-268.

Vieira, B. C., Luck, J. D., Amundsen, K. L., Werle, R., Gaines, T. A., & Kruger, G. R. (2020). Herbicide drift exposure leads to reduced herbicide sensitivity in *Amaranthus* spp. *Scientific Reports*, 10(1), 1-11.

Yamashita¹, O. M., Betoni, J. R., Guimarães, S. C., & Espinosa, M. M. (2009). Influência do glyphosate e 2, 4-D sobre o desenvolvimento inicial de espécies florestais. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 7438-7444.

Zhou, X., Rotondaro, S. L., Ma, M., Rosser, S. W., Olberding, E. L., Wendelburg, B. M., & Clements, B. (2016). 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*, 64(40), 7438-7444.