

# Eficácia de herbicidas inibidores da síntese de carotenoides no controle de espécies de capim-colchão

## Efficacy of herbicides inhibitors of synthesis of carotenoids in the control of crabgrass species

Leandro Tropaldi<sup>1,2\*</sup>, Ivana Paula Ferraz Santos de Brito<sup>2</sup>, Roque de Carvalho Dias<sup>2</sup>, Rosilaine Araldi<sup>3</sup>, Caio Antonio Carbonari<sup>2</sup> e Edivaldo Domingues Velini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rod. Cmte João Ribeiro de Barros, km 651, CEP 17900-000, Dracena, São Paulo, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP 18610-307, Botucatu, São Paulo, Brasil

<sup>3</sup> Fundação Educacional de Penápolis (Funep), Av. São José, nº 400, CEP 16300-000, Penápolis, São Paulo, Brasil

(\*E-mail: tropaldi@dracena.unesp.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17111>

Recebido/received: 2017.05.03

Recebido em versão revista/received in revised form: 2017.10.30

Aceite/accepted: 2017.11.13

### RESUMO

O setor sucroalcooleiro atualmente enfrenta dificuldades no manejo de plantas daninhas em áreas com ocorrência de capim-colchão. Dessa forma, objetivou-se avaliar a eficácia de herbicidas inibidores da síntese de carotenoides em três espécies de capim-colchão: *Digitaria horizontalis*, *Digitaria ciliaris*, *Digitaria nuda*. O experimento foi realizado em casa de vegetação no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para cada espécie realizaram-se ensaios de dose-resposta de isoxaflutole (N= 112,5 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e de clomazone (N= 1200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) aplicadas em pré-emergência, representadas por 0; 12,5; 25; 50 e 100% da dosagem recomendada (N) para uso na cultura da cana-de-açúcar. A eficácia dos tratamentos sobre as diferentes espécies de capim-colchão foi verificada por meio da avaliação da nota visual de controle, de acordo com uma escala realizada aos 14, 21 e 30 dias após a aplicação (DAA) e a massa seca da parte aérea (MSPA) aos 30 DAA. Os herbicidas isoxaflutole e clomazone proporcionaram altos níveis de fitointoxicação e redução na MSPA, demonstrando a eficácia destes herbicidas para o controle das plantas de capim-colchão. Além disso, verificou-se diferença na sensibilidade nas menores doses dos herbicidas utilizados em função de cada espécie.

**Palavras-chave:** Clomazone, *Digitaria ciliaris*, *Digitaria horizontalis*, *Digitaria nuda*, isoxaflutole.

### ABSTRACT

The sugarcane sector currently is difficulties in the weed management in areas with occurrence of crabgrass (*Digitaria* spp.) is very high. The objective of this study was to evaluate the efficacy of herbicides inhibitors of synthesis of carotenoids in three species of *Digitaria horizontalis*, *Digitaria ciliaris*, *Digitaria nuda*. The experiment was conducted in greenhouse in a completely randomized design with four replications. Dose-response bioassays for each species were performed with increasing doses of isoxaflutole (112.5 g i.a. ha<sup>-1</sup>) and clomazone (1200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) applied in pre-emergence, represented by 0; 12.5; 25; 50 and 100% of the dose recommended (N) for use in sugarcane cultivation. The efficacy of the treatments on the different crabgrass species was verified through the evaluation of the visual control score performed at 14, 21 and 30 days after application (DAA) and shoot dry mass (SDM) at 30 DAA. The herbicides isoxaflutole and clomazone provided high levels of fitointoxication and reduction in SDM, demonstrating the efficacy of these herbicides for the crabgrass plants. There was a difference in sensitivity in the lower doses of herbicides used as a function of each species.

**Keywords:** Clomazone, *Digitaria ciliaris*, *Digitaria horizontalis*, *Digitaria nuda*, isoxaflutole.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), havendo mais de 8,6 milhões de hectares plantados na safra 2015/2016 (Conab, 2017). Na maioria das áreas de produção de cana-de-açúcar a ocorrência de plantas daninhas, comumente denominadas de capim-colchão é frequente (Dias *et al.*, 2007; Vieira *et al.*, 2010). Essas espécies ocorrem em altas densidades, germinam e emergem logo após as primeiras chuvas da primavera, apresentam rápido crescimento e competem com a cultura pelos fatores do meio (água, luz, nutrientes, por exemplo), ocasionando prejuízos às culturas agrícolas (Kissmann e Groth, 1999). Sendo os herbicidas amplamente empregados como ferramenta de controle dessas infestantes.

As espécies encontradas nas áreas de produção de cana-de-açúcar, referidas como "complexo de capim-colchão", mais predominantes no Sudeste do Brasil são compostas por *Digitaria horizontalis* Willd, *D. ciliaris* (Retz.) Koeler e *D. nuda* Schumach. Essas espécies são morfológicamente muito semelhantes, tornando sua correta identificação difícil, sobretudo nos estádios iniciais de desenvolvimento e em condições de campo, o que pode contribuir para recomendação de herbicidas de baixa eficácia de controle (Dias *et al.*, 2005).

Embora as espécies que compõem o complexo de capim-colchão serem muito semelhantes morfológicamente, diferenças na sensibilidade de algumas espécies a algumas moléculas herbicidas já foram relatadas (Dias *et al.*, 2003; Cauwer *et al.*, 2017). A frequente utilização de herbicidas derivados de ureia em áreas de cana-de-açúcar resultou no predomínio de *Digitaria nuda* para a qual existem poucos estudos de bioecologia e controle (Dias *et al.*, 2003, 2007). Nessas áreas, espécies suscetíveis (*D. horizontalis* e *D. ciliaris*, por exemplo) foram substituída por *D. nuda*, considerada tolerante a diuron e tebuthiuron (Dias *et al.*, 2003, 2005, 2007; Tropaldi *et al.*, 2015, 2017). Portanto, em muitas áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil, requerem a utilização de herbicidas alternativos, para o controle de todas as espécies que compõem o complexo de capim-colchão.

Em geral, tem-se observado que a utilização de herbicidas inibidores de carotenoides foi ampliada

nas últimas décadas na cultura da cana-de-açúcar. Correia *et al.* (2012) observaram ótimos valores de controle de *D. horizontalis* com o uso dos herbicidas isoxaflutole e clomazone, ambos inibidores da síntese de carotenoides. Os carotenoides absorvem o excesso de luz, protegendo a clorofila da foto-oxidação, e bloqueando parte do transporte de elétrons da fotossíntese, em nível de fotossistema II (Dall'Osto *et al.*, 2006, 2007). Quando os carotenoides estão ausentes e as plantas são expostas à luz, o excesso de energia não adequadamente dissipada, produzem espécies reativas de oxigênio e clorofilas no estado triplet, o que causa danos às plantas devido a peroxidação de lipídios das membranas celulares, podendo provocar até mesmo a morte das plantas (Hess, 2000; Darwish *et al.*, 2015).

O herbicida isoxaflutole atua inibindo a enzima 4-hidroxifenil-piruvato deoxigenase (HPPD), responsável pela conversão do *p*-hidroximetil-piruvato em homogentisato, reação chave de oito tococromanol diferentes (tocofenóis e tocotrienóis) e da plastoquinona, que por sua vez, é um cofator essencial para fitoeno desaturase, sendo, portanto, sua atividade necessária para a síntese de carotenoides (Dayan e Watson, 2011; Dayan e Zaccaro, 2012). Já o clomazone atua na enzima 1-desoxi-xilulose-5-fosfatase sintase (DOXP), enzima chave na via fosfato metil-eritrol (MEP), responsável pela síntese de isoprenoides plastídeos, como os carotenoides e fitol (Ferhatoglu e Barrett, 2006; Dayan e Watson, 2011; Dayan e Zaccaro, 2012). Além disso, dentre os herbicidas registrados para a cana-de-açúcar, o isoxaflutole e clomazone destacam-se por serem moléculas com características que permitem aplicações em épocas semi-secas e secas. Considerando que 80% da safra de cana-de-açúcar tem o corte realizado em períodos de baixas precipitações, a disponibilidade de moléculas alternativas para o manejo de plantas daninhas, principalmente em espécies consideradas de difícil controle é de suma importância (Azania *et al.*, 2008).

Por outro lado, é sabido que a operação de aplicação de herbicidas pode não raramente originar aplicações de doses não uniformes (Gazziero *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2007). Em geral, as doses recomendadas são estabelecidas para um excelente controle, porém sabe-se que doses abaixo da

recomendada em alguns casos também podem resultar em controle eficaz (Barros *et al.*, 2011; Zargar *et al.*, 2014; Raimondi *et al.*, 2015), durante ou após a aplicação dos herbicidas processos podem influenciar a dose que realmente é disponível para exercer o efeito herbicida nas plantas daninhas (Arias-Estévez *et al.*, 2008). Assim, condições de doses abaixo das doses recomendadas também são importantes para avaliar a eficácia de moléculas no controle de diferentes espécies de plantas, principalmente quando se pretende verificar a resposta de diferentes espécies.

Desse modo, o objetivo do estudo é avaliar a eficácia de herbicidas com mecanismo de ação alternativo, como os inibidores da síntese de carotenoides: isoxaflutole (HRAC-F2) e clomazone (HRAC-F3) por meio de ensaios de dose-resposta em pré-emergência em *D. horizontalis*, *D. ciliaris* e *D. nuda*. Considerando-se como hipótese de estudo: i) as três espécies de *Digitaria* spp. apresentam diferentes susceptibilidade aos dois herbicidas (avaliadas através dos valores de  $I_{50}$ ); ii) os ensaios de dose-resposta permitem também determinar a dose eficaz para controlar *Digitaria* spp. (valores  $I_{80}$ ).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Condições de cultivo

Os experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação (temperatura média de 28°C, umidade relativa do ar de 70% e luz natural), utilizando-se como unidades experimentais vasos com capacidade de 1 litro (10x10x10cm) preenchidos com solo Latossolo Vermelho-Escuro Distroférrico (Embrapa, 2013) de textura média, com teores de areia, silte e argila (g kg<sup>-1</sup>) de 654, 41 e 305, respectivamente. O solo foi corrigido com a adição de calcário e fertilizante a base de nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades determinadas pela análise química de fertilidade do solo. O pH em CaCl<sub>2</sub>= 4,00; os teores em mg dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, P resina e S foram de 4, 21 e 14, respectivamente. Os teores em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>=13, H+Al=70, K<sup>+</sup>=0,2, Ca<sup>2+</sup>=4, Mg<sup>2+</sup>=1, Soma de bases=5, CTC (T)=75, e V%=7.

### Tratamentos

Foram realizados dois ensaios de dose-resposta em esquema fatorial 3 x 5, utilizando-se três espécies de capim-colchão (*Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*) e cinco doses de herbicidas, sendo estas representadas por 0, 12,5, 25, 50 e 100% da dose recomendada para uso na cultura da cana-de-açúcar. No primeiro ensaio utilizou-se o herbicida isoxaflutole (Provence 750 WG, WG, 750 g L<sup>-1</sup> i.a., Bayer) na dose de recomendada de 112,5 gramas de ingrediente ativo por hectare (g i.a. ha<sup>-1</sup>) (Brasil, 2017), e no segundo, o clomazone (Gamit, CE, 500 g L<sup>-1</sup> i.a., FMC) na dose de 1200 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Brasil, 2017). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições.

As sementes das espécies estudadas foram obtidas em áreas de produção de cana-de-açúcar localizadas no município de Barra Bonita – SP, Brasil, e cultivadas separadamente para obtenção de sementes puras. As plantas foram identificadas taxonomicamente ao nível de espécie conforme chave analítica proposta por Canto-Dorow (2001), sendo que para cada espécie, exsicatas foram confeccionadas e depositadas no acervo do Herbário Irina Delanova Gemtchujnicóv (Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Unesp, Câmpus de Botucatu), sob o número de registro: BOTU 28.278 (*Digitaria ciliaris*); BOTU 28.257 (*Digitaria horizontalis*) e, BOTU 28.258 (*Digitaria nuda*).

### Semeadura e aplicação dos herbicidas

As espécies foram semeadas utilizando-se 0,2 gramas de sementes por unidade experimental a uma profundidade de 0,8 a 1,0 cm. A aplicação dos herbicidas foi realizada no dia subsequente à semeadura utilizando-se um pulverizador estacionário, localizado em ambiente fechado (temperatura de 26°C e umidade relativa do ar de 74%), equipado com uma barra de pulverização contendo quatro pontas XR110.02, espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação às plantas. O volume de calda correspondeu a 200 L ha<sup>-1</sup>, sob pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido. Logo após a pulverização, as unidades experimentais receberam simulação de chuva com lâmina de água proporcional a uma precipitação de 5 mm, utilizando-se o mesmo equipamento de

pulverização, porém com uma segunda barra, constituída por três pontas TK-SS-20 de alta vazão, espaçadas em 0,5 cm e mantidas a 1,4 m de altura do alvo.

### Avaliações

A eficácia dos tratamentos foi verificada por meio de avaliação visual de controle realizada aos 14, 21 e 30 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas, atribuindo-se notas de controle em comparação com o tratamento sem aplicação de herbicidas, considerando-se zero para ausência de sintoma (controle) e 100% para o controle total, representado pela morte da planta (SBCPD, 1995). Posteriormente, foi determinada a massa seca da parte aérea das plantas (MSPA), coletando-se apenas o tecido vivo das plantas oriundo de cada unidade experimental, seguida da secagem até peso constante em estufa de circulação de ar forçado a 60°C, e posterior aferição em balança de precisão.

### Análise estatística

Os dados de controle e MSPA em função da dose dos herbicidas foram expressos em porcentagem da testemunha (tratamento sem a aplicação de herbicidas), e submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

Para as correlações significativas entre controle e dose do herbicida, modelos de regressão não-linear de Mitscherlich foram ajustados, conforme equação:

$$Y = a[1 - 10^{(-c(X+b))}]$$

em que; Y= controle, em porcentagem; X = dose do herbicida; e "a", "b" e "c" aos parâmetros da equação. A assíntota máxima do modelo é correspondente ao parâmetro "a", o deslocamento lateral da curva ao parâmetro "b", e a concavidade da curva ao parâmetro "c". Sendo o parâmetro "a" a assíntota do modelo, e o máximo de controle ter sido atingido nos experimentos, o modelo foi adaptado, sendo seu valor fixado em 100, conforme descrito por Brito *et al.* (2016), além de ser usado para estimar os valores de  $I_{50}$  e  $I_{80}$ , ou seja, as doses necessárias para provocar 50 e 80% de fitointoxicação das plantas. O valor de  $R^2$  correspondente ao coeficiente de determinação, representa, em proporção, quanto

da variação na resposta é explicada pelo modelo de regressão em questão.

As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico Statistical Analysis System (SAS, versão portable 9.2.1) sendo os gráficos elaborados pelo SigmaPlot versão 12.5.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o herbicida isoxaflutole constatou-se interação significativa entre os fatores espécie de capim-colchão e dose do herbicida, em relação à avaliação de controle em todos os períodos avaliados (Quadro 1).

**Quadro 1** - Valores de F da análise de variância dos dados obtidos nas avaliações visuais de controle de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função das doses de isoxaflutole aos 14, 21 e 30 dias após aplicação (DAA). Botucatu, São Paulo

Fonte de Variação	Avaliação visual		
	14 DAA	21 DAA	30 DAA
Espécies (E)	105,03*	63,73**	24,89**
Doses (D)	1955,06**	2188,21**	4471,65**
Interação ExD	46,43**	26,56**	70,15**
C.V. (%)	4,84	4,61	3,64

\*\*,\*Significativo aos níveis de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F da análise de variância. C.V.= coeficiente de variação.

A correlação entre os dados de controle das plantas das três espécies de capim-colchão e a dose aplicada de isoxaflutole possibilitou o ajuste de forma adequada de modelos de regressão não-linear de Mitscherlich nos três períodos de avaliação, sendo os parâmetros das equações apresentados no Quadro 2.

As aplicações do isoxaflutole nas doses correspondentes a 50 e 100% da recomendada (56,25 e 112,5 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente), promoveram níveis de controle máximos independente da espécie de capim-colchão, aos 14, 21 e 30 dias após a aplicação (DAA) (Figura 1). Com relação às duas menores doses utilizadas, correspondentes a 12,5 e 25% da dose recomendada de isoxaflutole para a cultura da cana-de-açúcar (14,06 e 28,12 i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente), observou-se a resposta diferencial entre as espécies de capim-colchão quanto aos sintomas provocados pela aplicação desse herbicida, em todos os períodos avaliados. De maneira geral, as plantas da espécie *Digitaria ciliaris*

**Quadro 2** - Estimativa dos parâmetros dos modelos de Mitscherlich ajustados para a correlação do controle visual de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função da dose aplicada de isoxaflutole aos 14, 21 e 30 dias após a aplicação (DAA). Botucatu, São Paulo

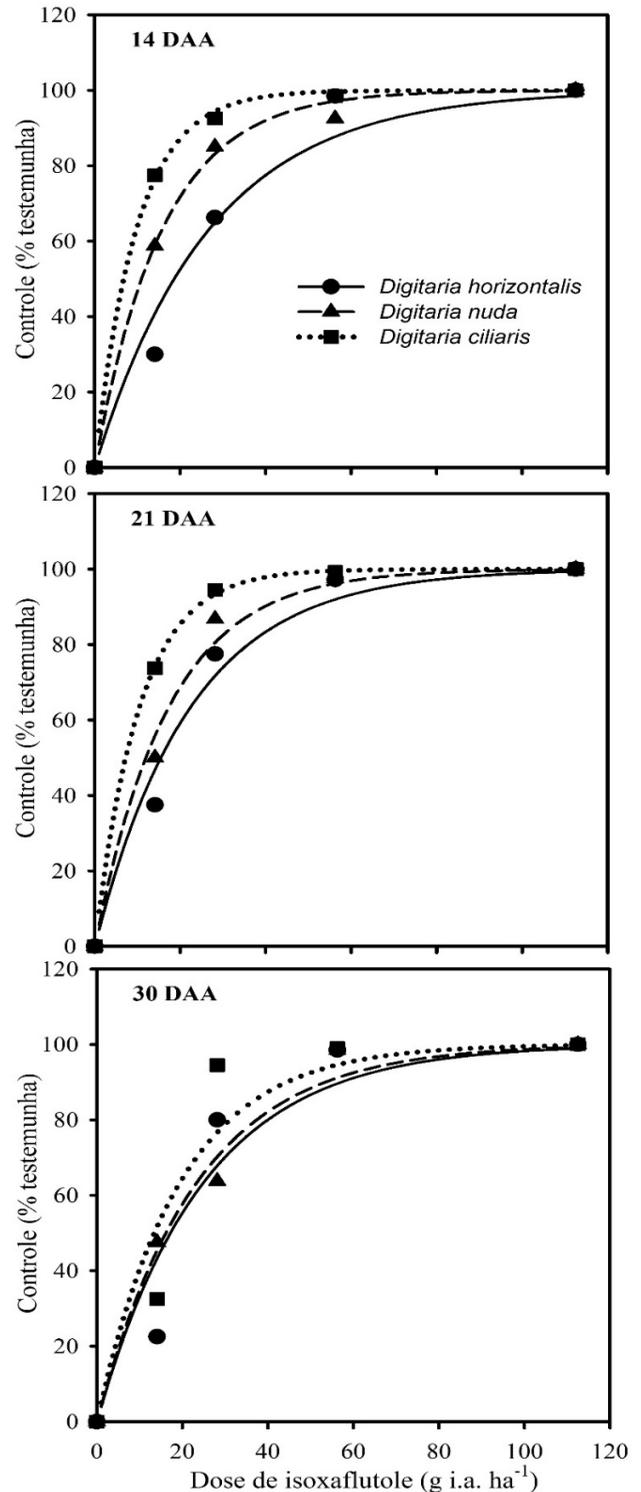
Estimativa dos parâmetros	14 DAA		
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
a	100	100	100
b	0	0	0
c	0,0447	0,0162	0,0275
R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99
21 DAA			
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
a	100	100	100
b	0	0	0
c	0,0420	0,0195	0,0253
R <sup>2</sup>	1,00	0,99	0,99
30 DAA			
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
a	100	100	100
b	0	0	0
c	0,0225	0,0175	0,0187
R <sup>2</sup>	0,97	0,97	0,99

mostraram-se mais sensíveis que as de *D. horizontalis* e *D. nuda* (Figura 1).

Ao estimar os valores de  $I_{50}$  e  $I_{80}$  (as doses necessárias para provocar 50 e 80% de fitointoxicação pelo modelo ajustado), as plantas de *D. ciliaris* necessitaram de doses menores do herbicida ( $I_{50} = 6,73$ , e  $I_{80} = 15,64$ , ambos aos 14 DAA) em todas as épocas de avaliação em comparação às demais espécies (Quadro 3), indicando sua maior sensibilidade ao isoxaflutole.

**Quadro 3** - Estimativa de dose necessária para provocar 50 e 80% de fitotoxicidade ( $I_{50}$  e  $I_{80}$ , respectivamente) pelo modelo de Mitscherlich (doses - g i.a. ha<sup>-1</sup>) em *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* aos 14, 21 e 30 dias após aplicação (DAA) de isoxaflutole. Botucatu, São Paulo

Espécies	$I_{50}$ (g i.a. ha <sup>-1</sup> )		
	14 DAA	21 DAA	30 DAA
<i>D. ciliaris</i>	6,73	7,17	13,38
<i>D. horizontalis</i>	18,58	15,44	17,20
<i>D. nuda</i>	10,95	11,90	16,10
	$I_{80}$ (g i.a. ha <sup>-1</sup> )		
<i>D. ciliaris</i>	15,64	16,64	31,07
<i>D. horizontalis</i>	43,15	35,84	39,94
<i>D. nuda</i>	25,42	27,63	37,38



**Figura 1** - Modelos de Mitscherlich ajustados para o controle visual de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função das doses de isoxaflutole aos 14, 21 e 30 dias após aplicação (DAA). Botucatu, São Paulo.

No entanto, para as plantas de *D. horizontalis* esse herbicida mostrou-se menos eficaz em relação ao controle, com valores de  $I_{50}$  (15,44 aos 21 DAA) e  $I_{80}$  (35,84 aos 21 DAA) foram superiores nessa espécie (Quadro 3). Desse modo, dentre as três espécies de capim-colchão estudadas, a *D. horizontalis* foi a que demonstrou ser menos sensível ao herbicida isoxaflutole. Porém, vale ressaltar que essas doses representaram, quando muito, cerca de 40% da dose recomendada.

A avaliação de massa seca da parte aérea (MSPA), não apresentou interação significativa entre os fatores avaliados na análise de variância, contudo, as doses do isoxaflutole afetaram as espécies isoladamente (Quadro 4).

**Quadro 4** - Médias da massa seca da parte aérea (expressa em porcentagem da testemunha) de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função das doses de isoxaflutole aos 30 dias após aplicação (DAA) e análise de variância. Botucatu, São Paulo

Dose (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Massa seca (% testemunha)		
	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. nuda</i>
0	100,00 c	100,00 c	100,00 c
14,06	31,16 b	27,77 b	27,50 b
28,12	7,27 a	1,95 a	5,00 a
56,25	0,00 a	0,00 a	0,00 a
112,5	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Espécies (E)	0,38 <sup>ns</sup>		
Doses (D)	539,8 <sup>**</sup>		
Interações ExD	0,17 <sup>ns</sup>		
C.V. (%)	23,83		

<sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> Não significativo e significativo ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F da análise de variância. C.V.= coeficiente de variação. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Do mesmo modo verificado nas avaliações de controle, a MSPA apresentou decréscimo superior a 92% em relação a testemunha (sem aplicação de herbicida), inclusive com a aplicação da dose de 28,12 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Quadro 4), demonstrando a eficácia de controle desse herbicida nessas dosagens independente das espécies de capim-colchão.

Os dados obtidos no experimento com o herbicida clomazone demonstraram haver interação significativa entre os fatores espécie de capim-colchão e dose do herbicida, em relação ao controle aos 21 e 30 DAA (Quadro 5).

**Quadro 5** - Valores de F da análise de variância dos dados obtidos nas avaliações visuais de controle das plantas de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função das doses de clomazone aos 14, 21 e 30 dias após aplicação (DAA). Botucatu, São Paulo

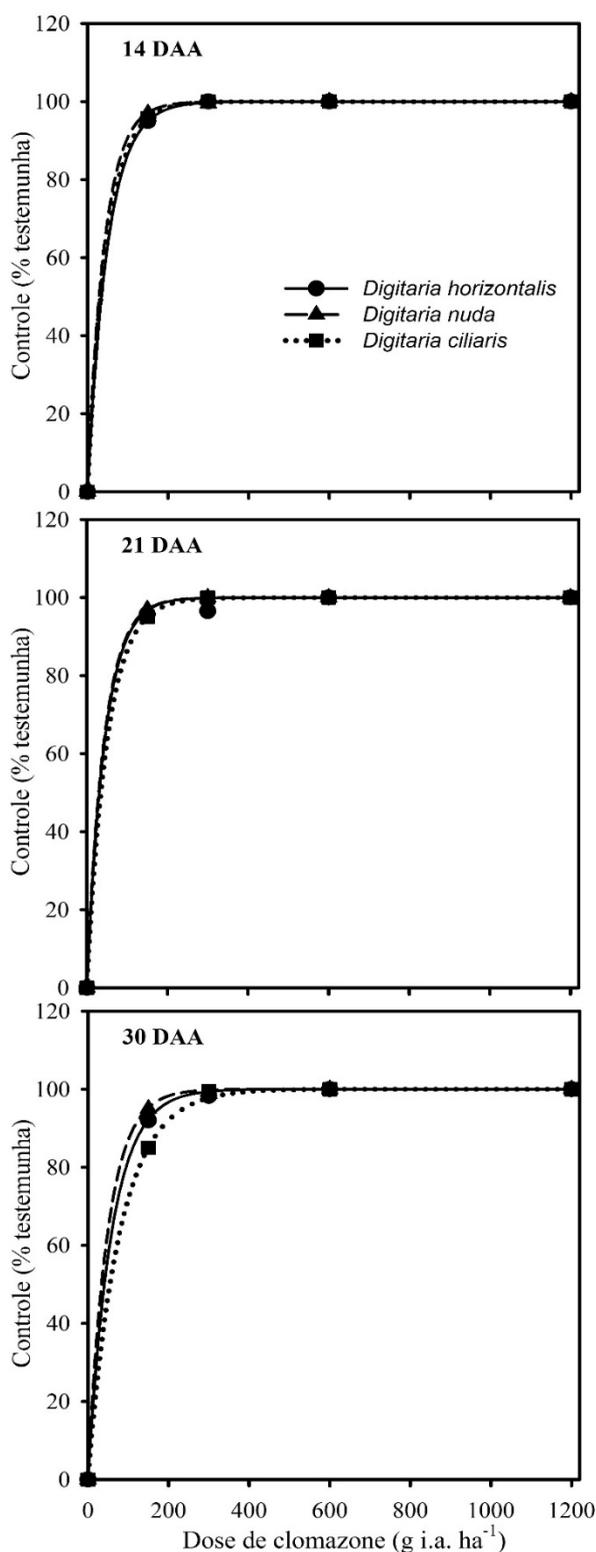
Fonte de Variação	Avaliação visual		
	14 DAA	21 DAA	30 DAA
Espécies (E)	0,73 <sup>ns</sup>	4,47 <sup>*</sup>	32,05 <sup>**</sup>
Doses (D)	38155,56 <sup>**</sup>	23023,83 <sup>**</sup>	42133,34 <sup>**</sup>
Interação ExD	1,60 <sup>ns</sup>	3,90 <sup>**</sup>	41,08 <sup>**</sup>
C.V. (%)	0,99	1,28	0,95

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> Não significativo, significativo aos níveis de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F da análise de variância. C.V. (%) = coeficiente de variação.

Assim como nos dados do experimento com o isoxaflutole, foi possível ajustar modelos de regressão não-linear de Mitscherlich nos três períodos de avaliação, para a correlação entre o controle das plantas de *Digitaria* e a dose de clomazone aplicada, sendo os parâmetros das equações apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6** - Estimativa dos parâmetros dos modelos de Mitscherlich ajustados para a correlação do controle visual de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função da dose aplicada de clomazone aos 14, 21 e 30 dias após a aplicação (DAA). Botucatu, São Paulo

Estimativa dos parâmetros	14 DAA		
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
a	100	100	100
b	0	0	0
c	0,00911	0,0087	0,0103
R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99
21 DAA			
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
a	100	100	100
b	0	0	0
c	0,0086	0,0098	0,0101
R <sup>2</sup>	0,99	0,99	1,0
30 DAA			
	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. nuda</i>
a	100	100	100
b	0	0	0
c	0,0055	0,0074	0,0088
R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99



**Figura 2** - Modelos de Mitscherlich ajustados para o controle visual de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função das doses de clomazone aos 14, 21 e 30 dias após aplicação (DAA). Botucatu, São Paulo.

Em relação às aplicações de clomazone, em doses iguais ou superiores a 25% da que tem sido recomendada para a cultura da cana-de-açúcar (300 g i.a. ha<sup>-1</sup>), os níveis de controle máximos foram alcançados, independente da espécie de capim-colchão, nos três períodos avaliados (Figura 2). A aplicação da dose de 150 g i.a. ha<sup>-1</sup> aos 30 DAA apresentou eficácia de controle variada sobre as espécies de capim-colchão. A espécie *D. ciliaris* mostrou-se menos sensível que as demais espécies quando utilizado 12,5% da dose recomendada do herbicida clomazone.

Estimando-se os valores de I<sub>50</sub> e I<sub>80</sub> (as doses necessárias para alcançar 50 e 80% de fitointoxicação pelos modelos de Mitscherlich ajustados), as plantas de *D. nuda* necessitaram de doses menores do herbicida em todas as épocas de avaliação em comparação às demais espécies (Quadro 7), indicando sua maior sensibilidade ao clomazone. De maneira geral, os valores de I<sub>50</sub> e I<sub>80</sub> foram superiores para a *D. ciliaris* (I<sub>50</sub>= 33,04 e I<sub>80</sub>= 76,73 aos 14 DAA), quando comparada com as demais espécies estudadas, mas mesmo assim, foi necessário máximo, em torno de 11% da dose recomendada.

**Quadro 7** - Estimativa de dose necessária para provocar 50 e 80% de fitotoxicidade (I<sub>50</sub> e I<sub>80</sub>, respectivamente) pelo modelo de Mitscherlich (doses – g i.a. ha<sup>-1</sup>) *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* aos 14, 21 e 30 dias após aplicação (DAA) de clomazone. Botucatu, São Paulo

Espécies	I <sub>50</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )		
	14 DAA	21 DAA	30 DAA
<i>D. ciliaris</i>	33,04	34,84	54,83
<i>D. horizontalis</i>	34,84	30,65	40,79
<i>D. nuda</i>	29,23	29,80	34,17

Espécies	I <sub>80</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )		
	14 DAA	21 DAA	30 DAA
<i>D. ciliaris</i>	76,73	80,90	127,32
<i>D. horizontalis</i>	80,90	71,18	94,71
<i>D. nuda</i>	67,86	69,20	79,34

Quanto a avaliação de MSPA, realizada aos 30 DAA, não houve interação significativa entre os fatores, porém, as doses do herbicida clomazone afetaram isoladamente a MSPA (Quadro 8), como no ensaio com o isoxaflutole. A mesma tendência verificada nos dados de controle foi observada para MSPA, com alta eficácia das doses testadas mesmo em doses baixas.

**Quadro 8** - Médias da massa seca da parte aérea (expressa em porcentagem da testemunha) de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* em função das doses de clomazone aos 30 dias após aplicação (DAA) e análise de variância. Botucatu, São Paulo

Dose (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Massa seca (% testemunha)		
	<i>D. horizontalis</i>	<i>D. ciliaris</i>	<i>D. nuda</i>
0	100,00 b	100,00 c	100,00 b
150	7,47 a	15,30 b	3,42 a
300	0,00 a	0,00 a	0,00 a
600	0,00 a	0,00 a	0,00 a
1200	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Espécies (E)		0,78 <sup>ns</sup>	
Doses (D)		624,80 <sup>**</sup>	
Interações ExD		0,78 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)		27,98	

<sup>ns</sup> e <sup>\*\*</sup> Não significativo e significativo ao nível de 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F da análise de variância. C.V. (%) = coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p≤0,05).

Em geral, os altos índices de controle e a redução na MSPA das plantas de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda* que foram expostas aos herbicidas isoxaflutole e clomazone demonstraram a sensibilidade dessas plantas aos produtos. Os efeitos observados após a aplicação de ambos os herbicidas se deve ao processo de inibição da síntese de carotenoides, que resulta no sintoma de branqueamento do tecido foliar (Hess, 2000; Ferhatoglu e Barret, 2006; Dayan e Zaccaro, 2012).

Estudos realizados por Lopes-Ovejero *et al.* (2006) e Machado *et al.* (2016) concluíram que o clomazone na dose de 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> foi eficaz no controle de plantas das espécies *D. ciliaris* e *D. horizontalis*. Quanto ao isoxaflutole, os resultados de eficácia obtidos corroboram com os descritos por Dias *et al.* (2005), os quais constataram o controle de *D. nuda* com a aplicação da dose de 112 g i.a. ha<sup>-1</sup>.

Comparando-se os efeitos dos herbicidas em relação às espécies de capim-colchão, verificou-se que tanto o isoxaflutole quanto o clomazone apresentaram elevada eficácia de controle sobre as três espécies avaliadas, sendo observadas diferenças entre as espécies apenas nas doses abaixo das recomendadas, conforme observado nas Figuras 1 e 2, respectivamente para isoxaflutole e clomazone, apenas demonstrando a elevada eficácia desses herbicidas no controle das espécies de capim-colchão estudadas. Embora ambos os herbicidas utilizados nesse estudo interfiram na síntese de carotenoides, o sítio de ação é distinto um do outro. Esse aspecto é relevante quando se considera que o uso de herbicidas com diferentes sítios de ação é fundamental para evitar a evolução de plantas daninhas resistentes aos herbicidas (Norsworthy *et al.*, 2012). Assim, o risco de ocorrência de resistência pode ser reduzido quando realiza-se o uso alternado ou combinado do clomazone com isoxaflutole, devido a uma menor pressão de seleção, pois os sítios de ação são distintos.

Estudos de curvas dose-resposta dos diferentes herbicidas em diversas espécies de plantas daninhas foram fundamentais para caracterizar os diferentes níveis de sensibilidade das espécies as moléculas estudadas. Outras espécies e herbicidas também já foram estudados, como Gonzalez-Torralva *et al.* (2010) que encontraram diferenças significativas na suscetibilidade do glyphosate em três espécies de *Conyza*. As curvas de dose-resposta exibiram valores de I<sub>50</sub> de 2,9, 15,7 e 34,9 g e.a. ha<sup>-1</sup> respectivamente para plantas de *C. sumatrensis*, *C. bonariensis* e *C. canadenses* no estado de roseta (6-8 folhas) (Gonzalez-Torralva *et al.*, 2010). Cauwer *et al.* (2017) concluíram haver diferenças de sensibilidade em populações de espécies de *Digitaria* comuns em áreas de cultivo de milho na Bélgica (*D. sanguinalis* e *D. ischaemum*) e espécies naturalizadas recentemente (*D. aequiglumis* e *D. ciliaris* subsp. *nubica*) aos herbicidas mesotrione, sulcotrione, tembotrione.

Além disso, os resultados sugerem que o estudo é importante na determinação da linha de base da sensibilidade (base-line) das espécies de capim-colchão importante para estudos futuros sobre o risco de resistência, principalmente após introdução de variedades geneticamente modificadas tolerantes

aos herbicidas inibidores de HPPD, esperados no futuro próximo (Owen *et al.*, 2009; Green, 2014).

## CONCLUSÕES

Os herbicidas isoxaflutole e clomazone nas doses recomendadas (112,5 e 1200 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente) apresentaram eficácia para o controle de *Digitaria ciliaris*, *D. horizontalis* e *D. nuda*, demonstrando serem alternativas para o controle dessas espécies de plantas daninhas.

As doses abaixo das recomendadas foram essenciais para distinção das respostas entre as espécies, demonstrando diferenças na sensibilidade entre as espécies, particularmente ao isoxaflutole.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Edital MCT/CNPq N°70/2009) pelo apoio financeiro por meio de uma cota de bolsa. À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Thais Scotti do Canto-Dorow (UFMS – Santa Maria, RS) pela confirmação da identificação das espécies de capim-colchão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias-Estévez, M.; López-Periagoa, E.; Martínez-Carballob, E.; Simal-Gándarab, J.; Juan Mejuto, J. & García-Río, L. (2008) – The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 123, n. 4, p. 247-260. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.011>
- Azania, C.A.M.; Rolim, J.C. & Azania, A.A.P.M. (2008) – Cana-de-açúcar. In: Dinardomiranda, L.L. *et al.* (Eds.) – *Cana-de-açúcar*. Campinas, Instituto Agrônômico, p. 465-490.
- Barros, J.C; Basch, G.; Calado, J.G & Carvalho, M. (2011) – Reduced doses of herbicides to control weeds in barley crops under temperature climate conditions. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 6, n. 2, p. 197-202. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i2a814>
- Brasil (2017) – *Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários – AGROFIT*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. [cit. 2017-06.28]. <http://bit.ly/2gmNSs7>
- Brito, I.P.F.S.; Marchesi, B.B.; Pucci, C.; Carbonari, C.A. & Velini, E.D. (2016) – Variation in the sensitivities of hairy beggarticks (*Bidens pilosa*) plants and their progenies to glufosinate ammonium. *Weed Science*, vol. 64, n. 4, p. 570-578. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-D-16-00014.1>
- Canto-Dorow, T.S. (2001) – *O gênero Digitaria Haller (Poaceae – Panicoideae – Poniceae) no Brasil*. Tese de Doutorado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 386 p.
- Cauwer, B.; Dendauw, E.; Claerhout, S.; Biesemans, N. & Reheul, D. (2017) – Sensitivity of recently naturalised *Digitaria* spp. populations to 4-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase- and acetolactate synthase-inhibiting herbicides in maize. *Weed Research*, vol. 57, n. 2, p. 101-111. <http://dx.doi.org/10.1111/wre.12242>
- Conab (2017) – Cana-de-açúcar. *Séries Históricas*. Companhia Nacional de Abastecimento. [cit.2017-02-15]. <http://bit.ly/2xr1Vau>
- Correia, N.M.; Perussi, F.J. & Gomes, L.J.P. (2012) – S-metolachlor efficacy on the control of *Brachiaria decumbens*, *Digitaria horizontalis*, and *Panicum maximum* in mechanically green harvested sugarcane. *Planta Daninha*, vol. 30, n. 4, p. 861-870. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000400021>
- Dall'Osto, L.; Fiore, A.; Cazzaniga, S.; Giuliano, G. & Bassi, R. (2007) – Different roles of  $\alpha$ - and  $\beta$ -branch xanthophylls in photosystem assembly and photoprotection. *Journal of Biological Chemistry*, vol. 282, n. 48, p. 35056-35068. <http://www.jbc.org/content/282/48/35056>
- Dall'Osto, L.; Lico, C.; Alric, J.; Giuliano, G.; Havaux, M. & Bassi, R. (2006) – Lutein is needed for efficient chlorophyll triplet quenching in the major LHClI antenna complex of higher plants and effective photoprotection in vivo under strong light. *BMC Plant Biology*, vol. 6, n. 1, p. 32. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-6-32>

- Darwish, M.; Vidal, V.; Lopez-Lauri, F.; Alnaser, O.; Junglee, S.; Maataoui, M.E.; Sallanon, H. (2015) – Tolerance to clomazone herbicide is linked to the state of LHC, PQ-pool and ROS detoxification in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) *Journal of Plant Physiology*, vol. 175, n. 1, p. 122-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2014.11.009>
- Dayan, F.E. & Watson, S.B. (2011) – Plant cell membrane as a marker for light-dependent and light-independent herbicide mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 101, n. 3, p. 182-190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.09.004>
- Dayan, F.E. & Zaccaro, M.L.M. (2012) – Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 102, n. 3, p. 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.01.005>
- Dias, A.C.R.; Carvalho, S.J.P.; Nicolai, M. & Christoffoleti, P.J. (2007) – Problemática da ocorrência de diferentes espécies de capim-colchão (*Digitaria* spp.) na cultura da cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, vol. 25, n. 3, p. 489-499. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582007000300008>
- Dias, N.M.P.; Christoffoleti, P.J. & Tornisielo, V.L. (2005) – Identificação taxonômica de espécies de capim-colchão infestantes da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e eficácia de herbicidas no controle de *Digitaria nuda*. *Bragantia*, vol. 64, n. 3, p. 389-396. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000300008>
- Dias, N.M.P.; Regitano, J.B.; Christoffoleti, P.J. & Tornisielo, V.L. (2003) – Absorção e translocação do herbicida diuron por espécies suscetível e tolerante de capim-colchão (*Digitaria* spp.). *Planta Daninha*, vol. 21, n. 2, p.293-300. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582003000200015>
- Embrapa (2013) – *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, 154 p.
- Ferhatoglu, Y. & Barrett, M. (2006) – Studies of clomazone mode of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 85, n. 1, p. 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.10.002>
- Gazziero, D.L.P.; Maciel, C.D.G.; Souza, R.T.; Velini, E.D.; Prete, C.E.C & Oliveira Neto, W (2006) – Deposição de glyphosate aplicado para controle de plantas daninhas em soja transgênica. *Planta Daninha*, vol. 24, n. 1, p. 173-181. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000100022>
- Gonzalez-Torralva F.; Cruz-Hipolito, H.; Bastida, F.; Müllleder, N.; Smeda R.J. & de Prado, R. (2010) – differential susceptibility to glyphosate among the *Conyza* weed species in Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 58, n. 7, p. 4361-4366. <https://doi.org/10.1021/jf904227p>
- Green, J.M. (2014) – Current state of herbicides in herbicide-resistant crops. *Pest Management Science*, vol. 70, n. 9, p. 1351-1357. <https://doi.org/10.1002/ps.3727>
- Hess, D. (2000) – Light-dependent herbicides: an overview. *Weed Science*, vol. 48, n. 2, p. 166-170.
- Kissmann, K.G. & Groth, D. (1999) – *Plantas Infestantes e Nocivas*. 2.ed. São Paulo, BASF, 978 p.
- Lopes-Ovejero, R.F.; Penckowski, L.H.; Podolan, M.J.; Carvalho, S.J.P. & Christoffoleti, P.J. (2006) – Alternativas de manejo químico da planta daninha *Digitaria ciliaris* resistente aos herbicidas inibidores da ACCase na cultura de soja. *Planta Daninha*, vol. 24, n. 2, p. 407-414. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000200026>
- Machado, F.G., Jakelaitis, A., Gheno, E.A., De Oliveira Jr, R.S., Rios, F.A., Franchini, L.H.M. & Lima, M.S. (2016) – Performance de herbicidas para o controle de plantas daninhas no sorgo. *Revista Brasileira de Herbicidas*, vol. 15, n. 3, p. 281-289. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v15i3.476>
- Norsworthy, J.K.; Ward, S.M.; Shaw, D.R.; Llewellyn, R.S.; Nichols, R.L.; Webster, T.M.; Bradley, K.W.; Frisvold, G.; Powles, S.B.; Burgos, N.R.; Witt, W.W. & Barrett, M. (2012) – Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science*, vol. 60, n. 1, p. 31-62. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1>
- Owen, M.J.; Owen, R.K. & Powles, S.B. (2009) – A Survey in the Southern grain belt of Western Australia did not find *Conyza* spp. resistant to glyphosat. *Weed Technology*, vol. 23, n. 3, p. 492-494. <https://doi.org/10.1614/WT-08-166.1>
- Raimondi, M.A.; Oliveira Jr., R.S.; Constantin, J.; Rios, F.A.; Gemelli, A. & Raimondi, R.T. (2015) – Dose-response curve to soil applied herbicides and susceptibility evaluation of different amaranthus species using model identity. *Planta Daninha*, vol. 33, n. 1, p. 137-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582015000100016>
- SBPCD (1995) – *Procedimentos para Instalação, Avaliação e Análise de Experimentos com Herbicidas*. Sociedade Brasileira de Ciência das Plantas Daninhas, Londrina. 42 p.

- Souza, R.T.; Velini, E.D. & Palladini, L.A. (2007) – Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. *Planta Daninha*, vol. 25, n. 1, p. 195-202. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582007000100022>
- Tropaldi, L.; Araldi, R.; Brito, I.P.F.S.; Silva, I.P.F.; Carbonari, C.A. & Velini, E.D. (2017) – Herbicidas inibidores do fotossistema II em pré-emergência no controle de espécies de capim-colchão. *Revista Brasileira de Herbicidas*, vol. 16, n. 1, p. 30-37. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i1.528>
- Tropaldi, L.; Velini, E.D.; Carbonari, C.A.; Araldi, R.; Corniani, N.; Giroto, M. & Silva, I.P.F. (2015) – Detecção da tolerância de diferentes espécies de capim-colchão a herbicidas inibidores do fotossistema II utilizando a técnica da fluorescência. *Ciência Rural*, vol. 45, n. 5, p. 767-773. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140506>
- Vieira, V.C.; Alves, P.L.C.; Picchi, S.C.; Lemos, M.V.F. & Sena, J.A.D. (2010) – Molecular characterization of accessions of crabgrass (*Digitaria nuda*) and response to ametryn. *Acta Scientiarum Agronomy*, vol. 32, n. 2, p. 255-261. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.3841>
- Zargar, M.; Pakina, E.N. & Romanova, E.V. (2014) – Herbicide doses and application times in weed suppression on different red bean varieties. *APCBEE Procedia*, vol. 8, p. 75-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.03.004>