

## SELETIVIDADE DO HERBICIDA TEMBOTRIONE À CULTURA DO SORGO

FERNANDO NOBRE CUNHA<sup>1</sup>, VITOR MARQUES VIDAL<sup>1</sup>, NELMÍCIO FURTADO SILVA<sup>1</sup>,  
FREDERICO ANTONIO LOUREIRO SOARES<sup>1</sup>, PRISCILA FERREIRA BATISTA<sup>1</sup>,  
MARÍLIA ASSIS SANTOS<sup>1</sup>, WILKER ALVES MORAIS<sup>1</sup>  
e MARCONI BATISTA TEIXEIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde (IF Goiano), Rio Verde, GO, Brasil - [fernandonobrecunha@hotmail.com](mailto:fernandonobrecunha@hotmail.com),  
[vmarquesvidal@gmail.com](mailto:vmarquesvidal@gmail.com), [nelmiciofurtado@gmail.com](mailto:nelmiciofurtado@gmail.com), [fredalsoares@gmail.com](mailto:fredalsoares@gmail.com), [priscilaferreira.bio@gmail.com](mailto:priscilaferreira.bio@gmail.com), [santos.m.a.1@hotmail.com](mailto:santos.m.a.1@hotmail.com), [wilker.alves.morais@gmail.com](mailto:wilker.alves.morais@gmail.com), [marconibt@gmail.com](mailto:marconibt@gmail.com)

---

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.15, n.2, p. 281-293, 2016

**RESUMO** - Apesar de ser uma cultura de grande destaque para a produção de grãos na região dos Cerrados, poucos são os estudos referentes à seletividade de herbicidas para essa espécie. Dentre alguns herbicidas de ação graminicida com potencial para utilização na cultura do sorgo, pode-se destacar a tembotriona. Dessa forma, objetivou-se neste trabalho avaliar a seletividade do herbicida tembotrione aplicado em pós-emergência do sorgo granífero e seus efeitos na fluorescência e no teor de clorofila. O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com três repetições. Os tratamentos constituíram-se da aplicação do herbicida tembotrione nas seguintes doses: 0, 44,1, 88,2, 132,3 e 172,4 g de i. a. L<sup>-1</sup>, aplicadas no estágio fenológico da cultura do sorgo, sendo o estágio 3 (plantas com oito folhas, 31 dias após a emergência – DAE), avaliados aos 2, 4, 6, 8 e 10 dias após a aplicação – DAA. Foram feitas avaliações da fluorescência da clorofila *a*, teor de clorofila e fitotoxicidade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ajustados aos modelos de regressão, utilizando software Sisvar, e para a confecção dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot V.10 (SPSS Inc., USA). As DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> proporcionaram redução de 10% na clorofila *a* no intervalo de dois DAA. A clorofila *b* para a dose de 132,3 g L<sup>-1</sup> foi 23,9% superior à verificada na DH de 176,4 g L<sup>-1</sup>. As doses de tembotrione acima de 92 g L<sup>-1</sup> provocam no sorgo fotoinibição e na dose de 176,4 g L<sup>-1</sup> a partir do 6 DAA. A toxicidade foi maior com o aumento da dose, com valores máximos de 74% para a dose 176,4 g L<sup>-1</sup>. **Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, fitotoxicidade, fluorescência, clorofila, HPPD.

## SELECTIVITY OF THE TEMBOTRIONE HERBICIDE TO SORGHUM

**ABSTRACT** - Despite being a high-profile culture to grain production in the Cerrado region, there are few studies on the selectivity of herbicides for this species, and tembotrione is one of the graminicide action herbicides with potential for use in sorghum crop. Thus, the aim of this study was to evaluate the selectivity of tembotrione herbicide applied post-emergence of sorghum and its effects on fluorescence and chlorophyll content. The experiment was accomplished in a climatized greenhouse at the Federal Institute of Goiás - Rio Verde Campus. The design was a randomized block in a split plot scheme with three replications. The treatments consisted of the application of the herbicide tembotrione in the doses of 0, 44.1, 88.2, 132.3 and 172.4 g i. a. L<sup>-1</sup>, applied in the stage phenological 3 (plants with eight leaves, 31 days after emergence - DAE), evaluated 2, 4, 6, 8 and 10 days after application - DAA). Fluorescence of chlorophyll *a*, chlorophyll content and phytotoxicity were evaluated. The data were submitted to analysis of variance and adjusted to the regression models using the SISVAR software, and the software SigmaPlot V 10 (SPSS Inc., USA) was used for drawing the graphs. The herbicide doses (HD) 132.3 and 176.4 g L<sup>-1</sup> caused 10% reduction in chlorophyll in the two DAA intervals. Chlorophyll *b* at the dose of 132.3 U g<sup>-1</sup> was 23.9% greater than the observed in the HD 176.4 g L<sup>-1</sup>. Doses of tembotrione over 92 g L<sup>-1</sup> caused photoinhibition in sorghum, and the dose of 176.4 g L<sup>-1</sup> from 6 DAA. The toxicity increased with the increase in dose, with maximum values of 74% at 176.4 g L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, phytotoxicity, fluorescence, chlorophyll, HPPD.

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) é considerado o quinto cereal mais importante do mundo, sendo uma importante fonte calórica na alimentação humana em países em desenvolvimento no continente Africano (Mutisya et al., 2009). Contudo, no Brasil, seu uso está destinado basicamente à confecção de rações para animais, uma vez que a substituição do milho pelo sorgo não acarreta prejuízos nutricionais (Gobesso et al., 2008). Nos últimos anos, o sorgo granífero tem ganhado destaque como cultura de segunda safra, sendo indicada como alternativa viável na substituição do milho na sucessão da soja para a produção de grãos, formação de palhada ou para forragem (Tardin & Rodrigues, 2008).

Devido à sua tolerância ao estresse hídrico, o sorgo tem proporcionado aos produtores interesse para cultivo no plantio da safrinha, época marcada por instabilidades de chuvas, porém de grande potencial para a ampliação do uso de áreas agricultáveis (Almeida Filho et al., 2010; Pale et al., 2003).

Apesar de ser uma cultura de grande destaque para a produção de grãos na região dos Cerrados, poucos são os estudos referentes à seletividade de herbicidas para essa espécie (Abit et al., 2009). O controle de plantas daninhas é uma prática importante para a obtenção de altos rendimentos em qualquer exploração agrícola, uma vez que a busca por produtividade e rentabilidade de grandes culturas esbarra na interferência das plantas daninhas, as quais tendem a aumentar o custo de produção, reduzir as margens de lucro e diminuir a qualidade do produto (Constantin & Oliveira, 2005). Entre os métodos de controle de plantas daninhas, o químico é o com maior nível de crescimento devido à escassez e ao elevado custo de mão-de-obra e por permitir a aplicação em tempos específicos com alta eficiência (López-Ovejero et al., 2003). Em cultivo de campos de produção de semen-

tes, o uso do herbicida tornou-se uma necessidade para mantê-los livres de plantas daninhas e cumprir os padrões técnicos estabelecidos (Martins et al., 2006). A matocompetição no sorgo, como em qualquer outra cultura, pode comprometer negativamente seu rendimento final. Estima-se que, até a quarta semana após a emergência, a presença dessas invasoras pode promover uma redução de 40% a 90% no rendimento de grãos (Dan et al., 2010).

Para a cultura do sorgo, existem poucos herbicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) destinados ao controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência. São herbicidas do grupo das triazinas (atrazine, cyanazine e simazine) e são utilizados na cultura do sorgo, sobretudo, para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas (folhas largas) e algumas gramíneas (folhas estreitas). Atrazine está registrada para a modalidade de uso em pré-emergência e também para pulverizações em pós-emergência inicial, proporcionando também bons níveis de controle das folhas largas e algumas folhas estreitas. Como o princípio ativo atrazine controla folhas largas em geral e apenas algumas espécies de folhas estreitas, um dos principais entraves na cultura do sorgo é o controle de folhas estreitas (Oliveira & Karam, 2012).

Dentre alguns herbicidas de ação graminicida com potencial para utilização na cultura do sorgo, pode-se destacar a tembotriona {2-[2-cloro-4-(metilsulfonil)-3-((2,2,2-trifluoroetooxi) metil)-benzoil]-1,3-ciclohexanodiol}. Esta molécula, que é facilmente absorvida pelos tecidos meristemáticos de folhas e raízes, apresenta translocação via apoplástos e se acumula nos cloroplastos (Constantin et al., 2006). Este herbicida pertencente à família das tricetonas, cujo mecanismo de ação inibe a enzima 4-hidroxi-fenilpiruvato dioxigenase (4-HPPD), causando bran-

queamento nas folhas (Abit et al., 2009) devido à degradação oxidativa da clorofila e da membrana plasmática, o que causa o extravasamento do conteúdo celular, levando à necrose dos tecidos (Grossmann & Ehrhardt, 2007).

Recentemente lançado no Brasil, o herbicida tembotrione vem apresentando desempenho satisfatório no controle de plantas daninhas em cultivos de milho, principalmente controlando gramíneas, devido à sua seletividade, ocorrendo uma clorose leve em altas dosagens nas primeiras semanas e uma recuperação a partir da terceira semana, não ocorrendo mais qualquer sintoma de fitointoxicação sobre a cultura de milho (Constantin et al., 2006). O mesmo ocorre para a cultura do milheto, sendo sua seletividade dependente da dose utilizada e do estágio fenológico no momento da aplicação (Dan et al., 2010). Este herbicida foi desenvolvido com o fitoprotetor isoxadifen-etil, que confere maior seletividade para as culturas de milho e milho pipoca (Waddington & Young, 2006).

Atualmente, o sorgo atua como uma cultura de grande destaque para a produção de grãos. Porém, poucos são os estudos referentes à seletividade de herbicidas para o controle de plantas daninhas nessa cultura, ressaltando a importância de mais estudos, principalmente no que se refere ao controle de gramíneas (Dan et al., 2010).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a seletividade do herbicida tembotrione aplicado em pós-emergência no sorgo granífero e seus efeitos na fluorescência e no teor de clorofila.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada do laboratório de irrigação do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, durante o mês de novembro de 2014. A semeadura ocorreu no dia 04 de outubro de 2014 e foi utilizado o cultivar de sorgo granífero Buster, que possui como principais características a precocidade, a sanidade e o rendimento.

Foram utilizados vasos de 8 kg de solo preparado a partir da mistura de duas partes de solo do tipo latossolo vermelho distroférrico típico coletado em uma área sem histórico de uso de herbicidas que pudesse comprometer o cultivo do sorgo e uma parte de areia. As características físico-químicas do solo estão descritas na Tabela 1.

As plantas foram semeadas diretamente no vaso, a 3 cm de profundidade, onde foram depositadas quatro sementes; logo após a emergência (sete dias após o plantio - DAP), foi realizado um desbaste de forma a obter uma população final de duas plantas por vaso. A adubação de fundação do solo foi realizada, conforme recomendação de Novais et al. (1991), por meio de diluição, com MAP e KCl na quantidade de 0,86 e 0,58 g Kg<sup>-1</sup> de solo respectivamente, e ureia parcelada em duas aplicações, aos 20 e aos 40 dias após emergência, sendo que cada aplicação no experimento um constou de 0,9 g vaso<sup>-1</sup>.

O delineamento foi em blocos casualizados, analisado em esquema de parcela subdividida, com

**Tabela 1.** Características físico-químicas do solo utilizado nos vasos.

Densidade	Porosidade		Silte	Argila	Complexo Sortivo				N	pH <sub>ps</sub>
	Total	Areia			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
g cm <sup>-3</sup>	%		g kg <sup>-1</sup>		cmolc kg <sup>-1</sup>				%	-
1,21	53,03	46,3	17,4	32,2	3,55	3,26	0,13	0,58	0,19	5,72

Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0

três repetições. Os tratamentos constituíram-se da aplicação do herbicida tembotrione (Soberan®) nas seguintes doses: 0 (controle), 44,1, 88,2 (dose recomendada para milho), 132,3 e 172,4 g de i. a. L<sup>-1</sup>, aplicadas no estágio fenológico da cultura do sorgo, sendo o estágio 3 (plantas com oito folhas, 31 dias após a emergência – DAE), avaliados aos 2, 4, 6, 8 e 10 dias após a aplicação – DAA. As aplicações do herbicida foram feitas utilizando um pulverizador costal com pressurização por CO<sub>2</sub>, munido de barra de 2 m, contendo quatro pontas de pulverização do tipo TT 110-02 (0,5 m entre pontas), aplicando volume de calda equivalente a 200 L ha<sup>-1</sup>. As condições ambientais no momento das aplicações eram as seguintes: média de 28,8 °C, UR média de 77% e velocidade do vento média de 2,4 km h<sup>-1</sup>. As aplicações foram realizadas no mesmo horário (8 h 30 min), período que reuniu as melhores condições climáticas para as aplicações, pois os vasos foram retirados da casa de vegetação para receber a pulverização da calda contendo o herbicida e, em seguida, foram repostos no seu local de origem.

A fluorescência da clorofila *a* foi realizada no segundo par de folhas totalmente expandidas, entre as 8 h 30 min e as 10 h 30 min. Em cada folha, foi utilizada sempre a mesma área para obtenção dos dados. As avaliações ocorreram nos seguintes tempos 2, 4, 6, 8 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), perfazendo cinco análises.

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada utilizando um fluorômetro portátil modulado, modelo MINI-PAM (Walz®, Effeltrich, Germany), equipado com pinça especial para suporte da folha, modelo 2030-B (Bilger et al., 1995). O rendimento quântico potencial do fotossistema II (Van Kooten & Snel, 1990) será calculado após 30 min de adaptação ao escuro, utilizando a equação  $F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m$ ; onde  $F_0$  é o rendimento da fluorescência mínima,

excitado por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade (0,03 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), e  $F_m$  é a fluorescência máxima, obtida pela aplicação de um pulso de 0,8 s de luz actínica saturante (> 6000 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>).

O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Genty et al., 1989) foi determinado por meio da sobreposição de um pulso de saturação em folhas previamente adaptadas à luz ambiente, sendo calculado como  $Y_{II} = (F_m' - F) / F_m'$ ; onde  $F$  é o rendimento da fluorescência máxima durante o pulso de saturação,  $F_m'$  é o rendimento da fluorescência máxima após a luz de saturação e  $F_0'$  é a fluorescência inicial após adaptação no claro. O  $Y_{II}$  será utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) de acordo com Bilger et al. (1995), mediante o uso da equação  $ETR = \Delta F / F_m' \times DFF \times 0,5 \times 0,84$ , onde  $DFF$  é a densidade de fluxo de fótons (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) incidente sobre a folha; 0,5 é o valor correspondente à fração da energia de excitação distribuída para o FSII (Laisk & Loreto, 1996). O coeficiente de extinção não fotoquímica de Stern-Volmer foi calculado como  $NPQ = (F_m - F_m') / F_m'$  (Bilger & Bjorkman, 1990).

As variáveis de fluorescência foram calculadas, tendo o  $q_N = F_m - F_m' / F_m - F_0'$  é a extinção não fotoquímica da fluorescência da clorofila variável (Bilger & Schreiber, 1986). O  $q_L = q_P * (F_0' / F)$  é a fração dos centros de reações que estão abertos, em que se baseia o modelo de organização do pigmento antena do PSII (Genty et al., 1989). O  $q_P = F_m' - F / F_m' - F_0'$  é extinção fotoquímica da fluorescência da clorofila variável, ou seja, resultados de fotoinibição da fase fotoquímica PSII (Bilger & Schreiber, 1986). Os rendimentos quânticos não regulamentado ( $Y(NO)$ ) e regulado de energia em PSII ( $Y(NPQ)$ ) foram calculados como  $Y(NO) = F_s / F_m$  e  $Y(NPQ) = F_s / F_m' - F_s / F_m$  (Hendrickson et al., 2004; Genty et al., 1996).

O teor de clorofila foi realizado aos 2, 4, 6, 8 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), avaliado através do medidor portátil ClorofiLOG1030® (Falker®, Porto Alegre, Brasil), sendo obtidos os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, expressos no índice Clorofilog.

As avaliações de fitointoxicação foram realizadas aos 2, 4, 6, 8 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), utilizando-se escala percentual de 0% a 100%, em que 0 representa ausência de sintomas e 100% a morte de todas as plantas, utilizando-se a escala E.W.R.C. “European Weed Research Council”, modificada por Frans (1972).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ajustados aos modelos de regressão, utilizando o software Sisvar, e para a confecção dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot V.10 (SPSS Inc., USA).

## Resultados e Discussão

Os fatores isolados e a interação de DH e DAA proporcionaram efeito significativo para clorofila *a*, *b* e total (Tabela 2). No desdobramento, foi evidenciada

a diferença da clorofila *a* aos 6, 8 e 10 DAA dentro de cada dose do herbicida e nas doses de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> dentro dos DAA (Figura 1). Ainda houve diferença das clorofilas *b* e total aos 4, 6, 8 e 10 DAA dentro de cada dose do herbicida e nas doses de 88,2, 132,3, e 176,4 g L<sup>-1</sup> dentro dos DAA (Figuras 2 e 3).

As clorofilas *a*, *b* e total apresentaram um comportamento linear decrescente em função dos fatores, uma vez que houve redução destas na medida em que se aumentaram as DH e foram estendidas as avaliações nos DAA (Figuras 1, 2 e 3).

Com base na estimativa dos modelos, a clorofila *a* apresentou redução de 3,31, 3,35 e 3,84 mg g<sup>-1</sup> aos 6, 8 e 10 DAA, respectivamente, em função do aumento de 44,1 g L<sup>-1</sup> da DH (Figura 1A).

As DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> proporcionaram redução de 10,5 e 10,7%, respectivamente, quando avaliada a clorofila *a* no intervalo de dois DAA. Consequentemente, os valores de clorofila *a* decresceram nas doses de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> à medida que estenderam a avaliação nos DAA; os valores de clorofila *a* mínimos foram verificados nos 10 DAA, com valores de aproximadamente 19 e 17 mg g<sup>-1</sup> para as doses de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1B).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para os fatores dose de Herbicida (DH) e dias após a aplicação (DAA) na cultura do sorgo.

FV	GL	QM		
		Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila <i>Total</i>
Bloco	2	3,9429 <sup>ns</sup>	0,4276 <sup>ns</sup>	5,0777 <sup>ns</sup>
DH (a)	4	204,55 <sup>**</sup>	73,5355 <sup>**</sup>	482,9795 <sup>**</sup>
Resíduo (a)	8	7,3257	2,0429	15,4462
DAA	4	103,5933 <sup>**</sup>	37,5005 <sup>**</sup>	262,8485 <sup>**</sup>
DH * DAA	16	28,9969 <sup>**</sup>	7,8329 <sup>**</sup>	55,5051 <sup>**</sup>
Resíduo (a)	40	3,9402	0,7743	5,0992
CV(%) (a)		9,52	16,32	10,57
CV(%) (b)		6,98	10,05	6,07

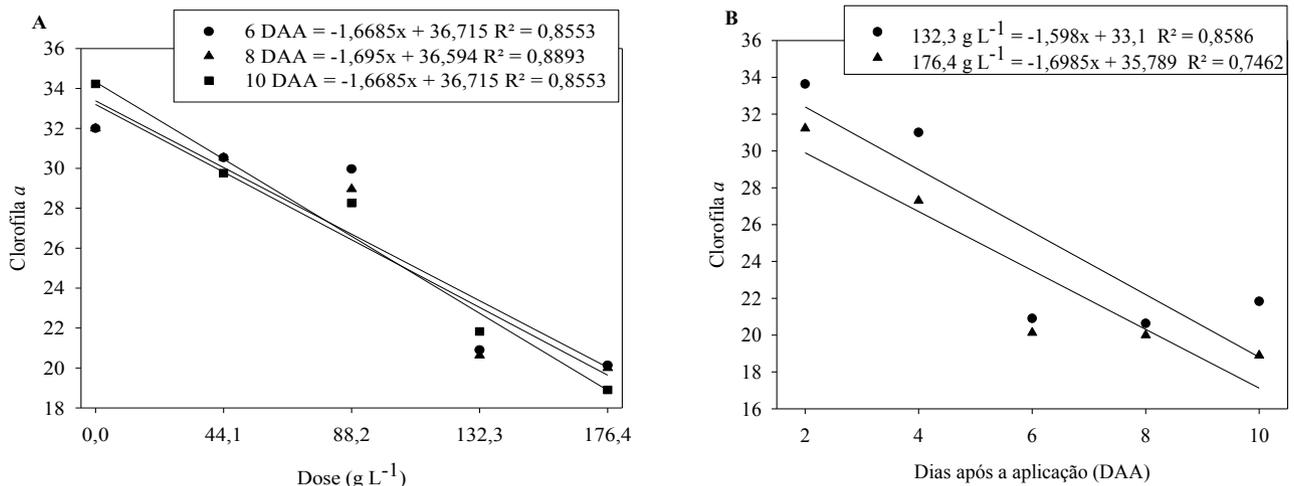
\*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns – Não significativo, FV – Fonte de variação, GL – Graus de liberdade, QM – Quadrado médio, CV – Coeficiente de variação.

A clorofila *b* apresentou redução de 6,1, 14,3, 17 e 18,2%, aos 4, 6, 8 e 10 DAA, respectivamente, em função do aumento de 44,1 g L<sup>-1</sup> da DH (Figura 2A). Desta forma, pode-se observar que estes decréscimos foram menos acentuados, principalmente no 4 DAA.

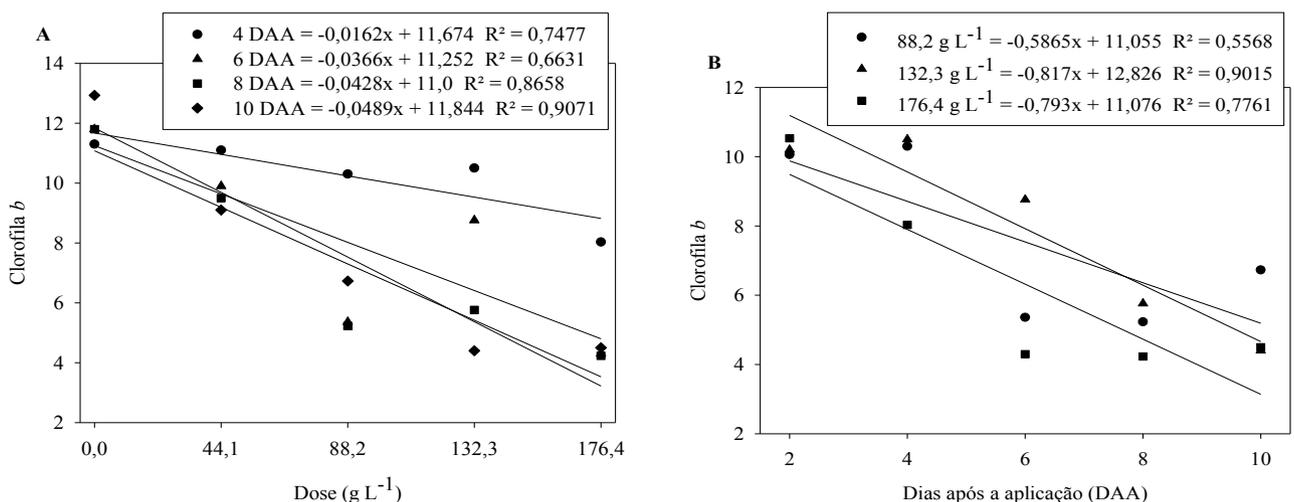
As DH de 88,2, 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> proporcionaram redução de 11,9, 14,6 e 16,7%, respectivamente, quando avaliada a clorofila *b* no intervalo

de dois DAA. A interseção na clorofila *b* ocorreu aproximadamente no 8 DAA; neste DAA, a clorofila *b* é equivalente para as doses de 88,2 e 132,3 g L<sup>-1</sup>, enquanto que, entre essas duas doses e a DH de 176,4 g L<sup>-1</sup>, verificou-se uma diferença de 23,9% (Figura 2B).

A clorofila total apresentou redução de 3,5, 11,1, 11,9 e 13% aos 4, 6, 8, e 10 DAA, respectiva-



**Figura 1.** Clorofila *a* em função dos dias após aplicação dentro das doses de herbicida (A) e doses de herbicida dentro dos dias após aplicação (B).



**Figura 2.** Clorofila *b* em função dos dias após aplicação dentro das doses de herbicida (A) e doses de herbicida dentro dos dias após aplicação (B).

mente, em função do aumento de 44,1 g L<sup>-1</sup> da DH (Figura 3A).

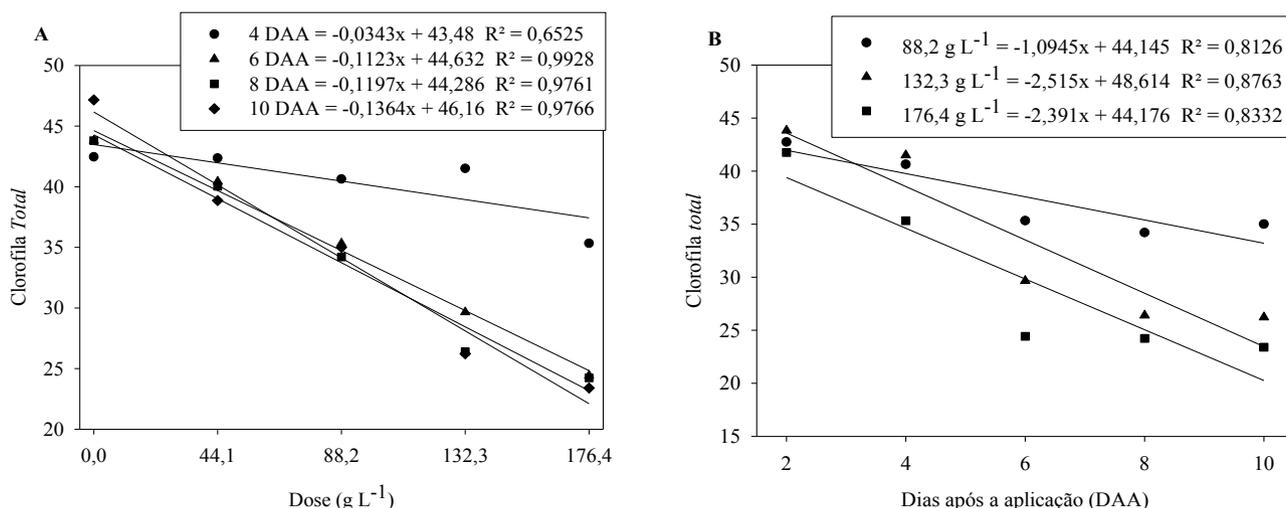
As DH de 88,2, 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> proporcionaram redução de 5,2, 11,5 e 12,1%, respectivamente, quando avaliada a clorofila *total* no intervalo de dois DAA; ainda, a menor e a maior diferenças entre a resposta da clorofila *total* foram verificadas entre as doses de 88,2 e 132,3 g L<sup>-1</sup> no quarto DAA, com valor de 3%, e entre as doses de 88,2 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, com valor de 10,2%, respectivamente (Figura 3B).

Zera et al. (2011), trabalhando com tolerância de diferentes cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas, verificaram que aos 15 DAA o teor de clorofila total de todas as cultivares foi reduzido pelo clomazone, o que causou manchas brancas nas folhas.

De acordo com o resumo da análise de variância, a relação Fv / Fm apresentou diferença em função da interação entre os fatores (Tabela 2), sendo que o efeito foi verificado aos 8 e aos 10 DAA dentro das doses do herbicida e nas doses de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> em função dos DAA avaliados (Figura 4).

Ainda, o NPQ não apresentou diferença em função dos fatores estudados e as variáveis  $\Delta F / F_m'$  e ETR apresentaram diferença em função dos fatores isolados e da interação (Tabela 3), uma vez que verificou-se no desdobramento para  $\Delta F / F_m'$  e ETR (Figuras 5 e 6) efeito significativo nas doses de 176,4 e 88,2 g L<sup>-1</sup>, respectivamente, dentro dos DAA e no 10º DAA dentro de cada dose do herbicida.

A relação Fv / Fm apresentou comportamento quadrático no 8 e 10 DAA, respectivamente, em função das DH, sendo que no 8 DAA o menor valor razão Fv / Fm igual a 0,76 foi estimado na DH de 112,5 g L<sup>-1</sup>, considerando o máximo e o mínimo Fv / Fm, os quais ocorreram na DH 112,5 e 0 g L<sup>-1</sup>; pode-se verificar que a maior diferença foi de 6,3%, entretanto estes valores são considerados normais, indicando que o sorgo aos 8 DAA não sofreu efeito negativo do tembotrione. Já no 10 DAA, o valor máximo da razão Fv / Fm foi de 0,83 na DH de 41,67 g L<sup>-1</sup> (Figura 4A); os valores da razão Fv / Fm ficaram acima de 0,75 até a DH de 92 g L<sup>-1</sup>; consequente-



**Figura 3.** Clorofila *total* em função dos dias após aplicação dentro das doses de herbicida (A) e doses de herbicida dentro dos dias após aplicação (B).

mente, doses de tembotrione acima desta provocam no sorgo fotoinibição.

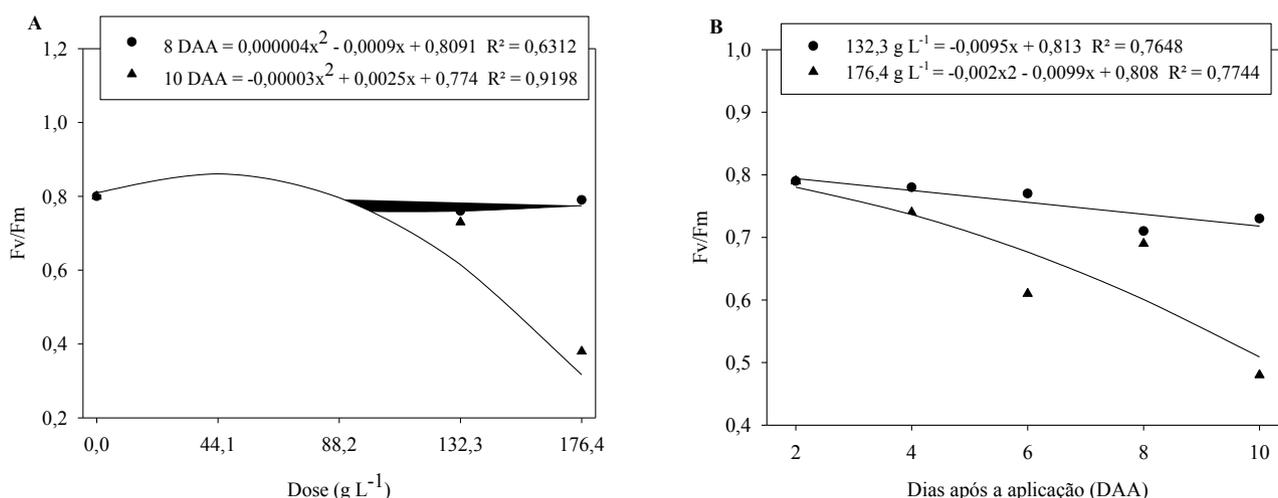
Para a maioria das espécies, os valores da razão Fv / Fm estão entre 0,75 e 0,85, quando as plantas não estão sob condições estressantes. Contudo, valores menores que 0,75 seriam indicativos da exposição da planta ao estresse, indicando a ocorrência de fotoinibição no aparato fotossintético (Bolh ar-Nordenkampf et al., 1989; Ronquim et al., 2009).

Verificou-se na relação Fv / Fm comportamento linear e quadrático nas DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, respectivamente, em função dos DAA, uma vez que, na dose de 132,3 g L<sup>-1</sup>, houve redução de 0,019 no intervalo de dois DAA e a menor e a maior diferenças com relação às DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> foram verificadas no 2 DAA com valor de 1,7% e no 10 DAA com valor de 29%, respectivamente (Figura 4B).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os fatores Dose de Herbicida (DH) versus Dias Após a Aplicação (DAA) na cultura do sorgo.

FV	GL	QM			
		Fv/Fm	�F/Fm'	ETR	NPQ
Bloco	2	0,0512 <sup>ns</sup>	0,0077 <sup>ns</sup>	3514,35 <sup>ns</sup>	0,2920 <sup>ns</sup>
DH (a)	4	0,0551 <sup>ns</sup>	0,0287 <sup>**</sup>	7425,41 <sup>*</sup>	0,2195 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	8	0,0218	0,0035	588,04	0,3079
DAA	4	0,0190 <sup>ns</sup>	0,0568 <sup>**</sup>	2953,49 <sup>**</sup>	0,3092 <sup>ns</sup>
DH * DAA	16	0,0272 <sup>**</sup>	0,0166 <sup>*</sup>	3980,87 <sup>*</sup>	0,1863 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	40	0,0106	0,0084	1990,91	0,1358
CV(%) (a)		19,68	23,71	21,82	57,03
CV(%) (b)		13,78	36,50	40,15	37,67

\*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, \* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns – Não significativo, FV – Fonte de variação, GL – Graus de liberdade, QM – Quadrado médio, CV – Coeficiente de variação. Rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv / Fm); Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( F / Fm'); Taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) e dissip  o não fotoquímica (NPQ).



**Figura 4.** Rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv / Fm) em função dos dias após aplicação dentro das doses de herbicida (A) e doses de herbicida dentro dos dias após aplicação (B).

Para a DH de 176,4 g L<sup>-1</sup>, o maior e o menor Fv / Fm foram verificados aos 2 DAA com valor de 0,78 e aos 10 DAA com Fv / Fm de 0,51, respectivamente; ao mesmo tempo, verificou-se decréscimo mínimo de Fv / Fm aos 2 e aos 4 DAA, com valor de 5,6%, enquanto que a máxima diferença foi observada entre os 8 e os 10 DAA, com valor de 15,3%. Os valores da razão Fv / Fm ficaram abaixo de 0,75 a partir do DAA de 6,6 e 3,4 para as DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, respectivamente.

No 10 DAA, o rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F / Fm'$ ) apresentou aumento até a DH de 62,5 g L<sup>-1</sup>, com valor máximo de 0,38 (Figura 5A), de tal modo que a partir desta dose de tembotrione as reduções do  $\Delta F / Fm'$  foram mais acentuadas, sendo de 22,7% entre a DH de 88,2 e 132,3 g L<sup>-1</sup> e de 56,6% entre a DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, indicando que o sorgo está em uma condição de muito estresse.

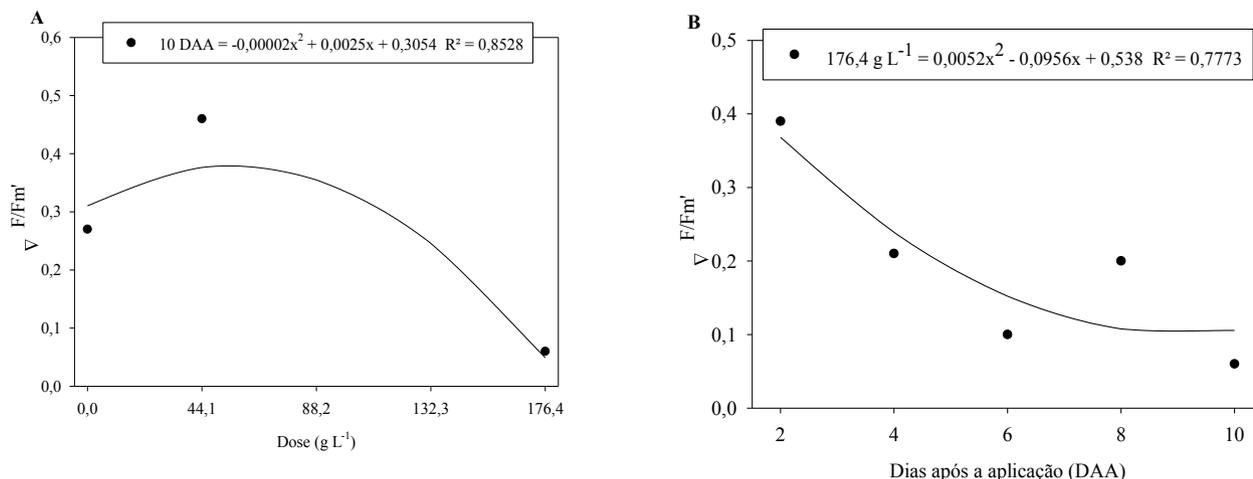
A variável  $\Delta F / Fm'$ , em função dos DAA, reduziu de forma relevante até o 9,2 DAA e posteriormente estabilizando-se, indicando que a partir deste período o sorgo permaneceu sob grande estresse; a maior variação foi constatada entre os dias 2 e 4 após

aplicação do herbicida, com uma redução de aproximadamente 35% (Figura 5B).

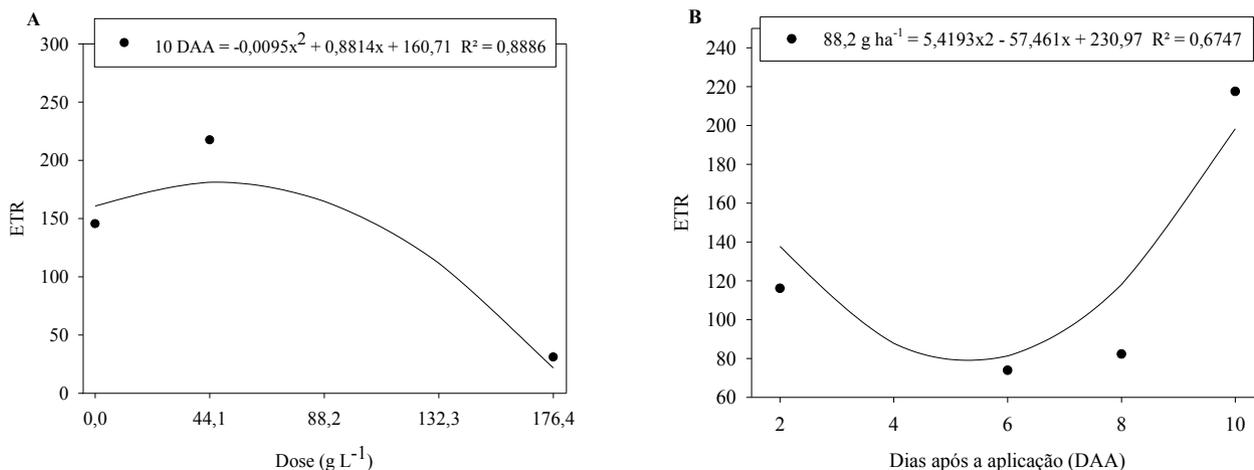
A ETR em função da DH e para o 10 DAA, a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) apresentou acréscimo até a DH de 46,39 g L<sup>-1</sup>, com valor máximo de ETR de 181,1 (Figura 6A); neste valor de ETR, quando comparado com o valor mínimo, o qual ocorreu na DH de 176,4 g L<sup>-1</sup>, verificou-se um decréscimo de 88,6%.

A ETR mínima em função dos DAA foi verificada aos 5,3 DAA, com valor de 78,6, o qual é 42,9, 10,5, 3,3, 33,4 e 60,4% menor do que o ETR verificado aos 2, 4, 6, 8 e 10 DAA, respectivamente (Figura 6B).

Após aplicação de tembotrione, sintomas de branqueamento nas folhas foram observados, principalmente nas maiores doses, sendo estes semelhantes aos sintomas descritos por Abit et al. (2009), Dan et al. (2010) e Silveira et al. (2012). O tembotrione, inibidor da enzima 4-hidroxifenilpiruvatodioxigenase (HPPD), que atua na síntese de carotenóides desenvolvendo uma intensa coloração esbranquiçada nas folhas das plantas, evoluindo para uma seca e morte subsequente (Karam et al., 2009).



**Figura 5.** Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F / Fm'$ ) em função dos dias após aplicação dentro das doses de herbicida (A) e doses de herbicida dentro dos dias após aplicação (B).

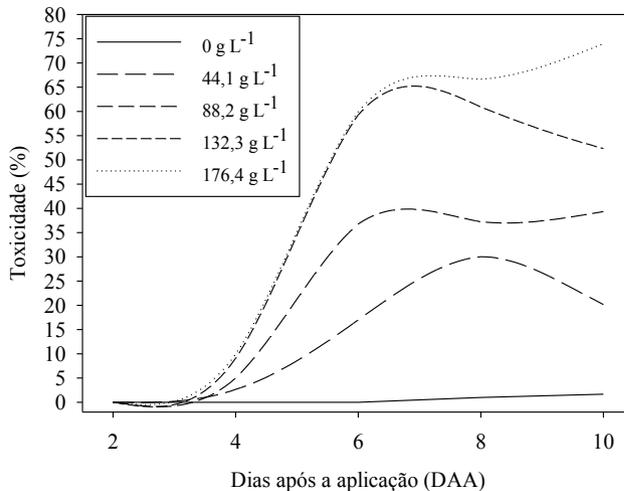


**Figura 6.** Taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) em função dos dias após aplicação dentro das doses de herbicida (A) e doses de herbicida dentro dos dias após aplicação (B).

A toxicidade no 2 DAA para a DH de 44,1, 88,2, 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> pouco variou em relação à DH, não apresentando sintomas de toxicidade. A partir do 4 DAA, podem-se verificar maiores valores de toxicidade nas DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> do que nas DH de 44,1 e 88,2 g L<sup>-1</sup>, mas ainda valores menores que 1; logo, ausência de sintomas de toxicidade. Já no 6 DAA, a toxicidade é de 17, 36,8, 59,3 e 60% para a DH de 44,1, 88,2, 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, sendo os sintomas considerados como ausentes, leves, duvidosos e duvidosos, respectivamente; aos 8 DAA, a toxicidade é de 30, 37, 60,9 e 66,7% para a DH de 44,1, 88,2, 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, sendo os sintomas considerados como muito leves, leves, duvidosos e quase fortes, respectivamente; enquanto que, aos 10 DAA, a toxicidade é de 20, 39, 52 e 74% para a DH de 44,1, 88,2, 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup>, sendo os sintomas considerados como ausentes, leves, moderados e fortes, respectivamente.

Dan et al. (2010) observaram que, embora a porcentagem de fitointoxicação seja diretamente relacionada à dose aplicada de tembotrione, plantas que receberam o herbicida no estágio de três folhas apre-

sentaram incrementos sobre a porcentagem de fitointoxicação, indicando que as plantas em estádios mais avançados de desenvolvimento toleram mais a ação desse herbicida.



**Figura 7.** Médias referentes à toxicidade em função dos Dias Após a Aplicação (DAA) para as doses de tembotriona.

A toxicidade, de maneira geral, foi maior com o aumento da dose, com valores máximos de 30, 39, 60,9 e 74% para as doses de 44,1, 88,2, 132,3 e 176,4

g L<sup>-1</sup>, respectivamente, os quais são considerados como muito leves, leves, duvidosos e quase fortes. Alguns genótipos de sorgo granífero apresentaram 60% de fitointoxicação quando submetidos ao herbicida mesotrione (Miller & Regehr, 2002; Abit et al., 2009).

### Conclusão

O uso de tembotrione na cultura do sorgo granífero mostrou-se uma alternativa viável até a dose de 92 g L<sup>-1</sup>.

As DH de 132,3 e 176,4 g L<sup>-1</sup> proporcionaram redução de 10% na clorofila *a* no intervalo de dois DAA.

A clorofila *b* para a dose de 132,3 g L<sup>-1</sup> foi 23,9% superior à verificada na DH de 176,4 g L<sup>-1</sup>.

As doses de tembotrione acima de 92 g L<sup>-1</sup> provocam no sorgo fotoinibição, sendo a fotoinibição observada mais inicialmente a partir do 6 DAA na dose de 176,4 g L<sup>-1</sup>.

A toxicidade foi maior com o aumento da dose, com valores máximos de 74% para a dose de 176,4 g L<sup>-1</sup>.

### Referências

- ABIT, J. M.; AL-KHATIB, K.; REGEHR, D. L.; TUINSTRA, M. R.; CLAASSEN, M. M.; GEIER, P. W.; STAHLMAN, P. W.; GORDON, B. W.; CURRIE, R. S. Differential response of grain sorghum hybrids to foliar-applied mesotrione. **Weed Technology**, Champaign, v. 23, n. 1, p. 28-33, 2009. DOI: 10.1614/WT-08-086.1.
- ALMEIDA FILHO, J. E. D.; TARDIN, F. D.; SOUZA, S. A. D.; GODINHO, V. D. P. C.; CARDOSO, M. J. Desempenho agrônomo e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 1, p. 51-64, 2010. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v9n1p51-64.
- BILGER, W.; SCHREIBER, U. Energy-dependent quenching of darklevel chlorophyll fluorescence in intact leaves. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 10, n. 3, p. 303-308, 1986. DOI: 10.1007/BF00118295.
- BILGER, W.; BJORKMAN, O. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 25, n. 3, p. 173-185, 1990. DOI: 10.1007/BF00033159.
- BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, Berlin, v. 102, n. 4, p. 425-432, 1995. DOI: 10.1007/BF00341354.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989. DOI: 10.2307/2389624.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; BLAINSKI, E.; HOMEM, L. M. Seletividade e eficácia agrônoma do novo herbicida tembotrione para a cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25., 2006, Brasília, DF. **Convivendo com as plantas daninhas**: resumos. Brasília, DF: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas: UnB: Embrapa Cerrados, 2006.
- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, R. S. Dessecação antecedendo a semeadura direta pode afetar a produtividade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 109, p. 14-15, 2005.
- DAN, H. A.; BARROSO, A. L. L.; DAN, L. G. M.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA FILHO, W. C.; MENEZES, C. C. E. Tolerância do sorgo granífero ao herbicida tembotrione.

- Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p. 615-620, 2010.  
DOI: 10.1590/S0100-83582010000300019.
- FRANS, R. W. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). **Research methods in weed science**. Puerto Rico: Weed Science Society, 1972. p. 28-41.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.  
DOI: 10.1016/S0304-4165(89)80016-9.
- GENTY, B.; HARBINSON, J.; CAILLY, A. L.; RIZZA, F. Fate of excitation at PS II in leaves: the non-photochemical side. In: BBSRC ROBERT HILL SYMPOSIUM ON PHOTOSYNTHESIS, 3., 1996, Sheffield. **Abstracts**. Sheffield: University of Sheffield, 1996. p. 28.
- GOBESSO, A. A. O.; D'AURIA, E.; PREZOTTO, L. D.; RENNO, F. P. Substituição de milho por sorgo triturado ou extrusado em dietas para equinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 11, p. 2011-2016, 2008.  
DOI: 10.1590/S1516-35982008001100017.
- GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, Sussex, v. 63, n. 5, p. 429-439, 2007.  
DOI: 10.1002/ps.1341.
- HENDRICKSON, L.; FURBANK, R. T.; CHOW, W. S. A simple alternative approach to assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 82, p. 73-81, 2004.  
DOI: 10.1023/B:PRES.0000040446.87305.f4.
- KARAM, D.; SILVA, J. A. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MAGALHÃES, P. C. **Características do herbicida tembotrione na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 129).
- LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO<sub>2</sub> exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 110, n. 3, p. 903-912, 1996.
- LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A. E.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade de herbicidas para a cultura de milho (*Zea mays*) aplicados em diferentes estádios fenológicos da cultura. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 413-419, 2003.  
DOI: 10.1590/S0100-83582003000300009.
- MARTINS, C. C.; NAKAGAWA, J.; MARTINS, D. Seletividade de herbicidas sobre a produtividade e a qualidade de sementes de sorgo granífero. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v. 27, n. 1, p. 37-42, 2006.
- MILLER, J. N.; REGEHR, D. L. Grain sorghum tolerance to postemergence mesotrione applications. **Weed Science**, Champaign, v. 57, n. 2, p. 136-143, 2002.
- MUTISYA, J.; SUN, C.; ROSENQUIST, S.; BAGUMA, Y.; JANSSON, C. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 166, n. 4, p. 428-434, 2009.  
DOI: 10.1016/j.jplph.2008.06.017.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253. (Embrapa-SEA. Documentos, 3).
- OLIVEIRA, M. F.; KARAM, D. Plantas daninhas. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).
- PALE, S.; MASON, S. C.; GALUSHA T. D. Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 4, p. 1047-1053, 2003.  
DOI: 10.2134/agronj2003.1047.

RONQUIM, C. C.; PRADO, C. H. B. A.; SOUZA, J. P. Growth, photosynthesis and leaf water potential in young plants of *Capaifera langsdorffii* Desf. (*Caesalpinaceae*) under contrasting irradiances. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 197-208, 2009. DOI: 10.1590/S1677-04202009000300004.

SILVEIRA, H. M.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B. dos; CASTRO NETO, M. D.; FERREIRA, E. A.; CARVALHO, F. P. de; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T. Sensibilidade de cultivares de mandioca ao herbicida mesotrione. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 24-31, jan./abr. 2012. DOI: 10.7824/rbh.v11i1.128.

TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivares. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 25, n. 3, p. 147-150, 1990. DOI: 10.1007/BF00033156.

WADDINGTON, M. A.; YOUNG, B. G. Interactions of herbicides and adjuvants with AE 0172747 on postemergence grass control. **Weed Science**, Champaign, v. 61, n. 4, p. 108-115, 2006.

ZERA, F. S.; AZANIA, C. A. M.; SCHIAVETTO, A. R.; LORENZATO, C. M.; AZANIA, A. A. P. M. Tolerância de diferentes cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) A herbicidas. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p. 591-599, 2011. DOI: 10.1590/S0100-83582011000300013.