

## **Alelopatia de Sorgo-Sacarino na Soja Cultivada em Sucessão**





ISSN 1679-0456

Setembro, 2016

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agropecuária Oeste  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 74***

## **Alelopatia de Sorgo-Sacarino na Soja Cultivada em Sucessão**

Rodrigo Arroyo Garcia  
Guilherme Afonso da Silva Sutier

**Embrapa Agropecuária Oeste**  
Dourados, MS  
2016

## **Embrapa Agropecuária Oeste**

BR 163, km 253,6 – Trecho Dourados-Caarapó

79804-970 Dourados, MS

Caixa Postal 449

Fone: (67) 3416-9700

Fax: (67) 3416-9721

www.embrapa.br/

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

## **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Harley Nonato de Oliveira*

Secretária-Executiva: *Silvia Mara Belloni*

Membros: *Auro Akio Otsubo, Clarice Zanoni Fontes, Danilton Luiz Flumignan, Ivo de Sá Motta, Marciana Retore, Michely Tomazi, Oscar Fontão de Lima Filho e Tarcila Souza de Castro Silva*

Membros suplentes: *Augusto César Pereira Goulart e Crébio José Ávila*

Supervisora editorial: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Revisora de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*

Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Foto da capa: *Rodrigo Arroyo Garcia*

## **1ª edição**

On-line (2016)

### **Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei N° 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Agropecuária Oeste

---

Garcia, Rodrigo Arroyo

Alelopatia de sorgo-sacarino na soja cultivada em sucessão /

Rodrigo Arroyo Garcia, Guilherme Afonso da Silva Sutier.

– Dourados, MS : Embrapa Agropecuária Oeste, 2016.

28 p. : il. color. ; 16 cm. x 21 cm. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456 ; 74).

1. Sorgoleone. 2. Raiz – Crescimento. 3. Manejo. 4. *Sorghum bicolor*. 5. *Glycine max*. I. Sutier, Guilherme Afonso da Silva. II. Embrapa Agropecuária Oeste. III. Título. IV. Série.

---

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introdução</b> .....	9
<b>Metodologia</b> .....	11
<b>Resultados e Discussão</b> .....	15
<b>Conclusões</b> .....	23
<b>Agradecimentos</b> .....	24
<b>Referências</b> .....	25



# Alelopatia de Sorgo-Sacarino na Soja Cultivada em Sucessão

---

*Rodrigo Arroyo Garcia<sup>1</sup>*

*Guilherme Afonso da Silva Sutier<sup>2</sup>*

## Resumo

Os resíduos do sorgo-sacarino, pela liberação de substâncias alelopáticas, podem afetar negativamente o desenvolvimento da cultura em sucessão. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos dos resíduos de duas cultivares de sorgo-sacarino na soja semeada em sucessão, em função de intervalos para semeadura após o manejo do sorgo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, em vasos com capacidade de 14 litros. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de sorgo (BRS 506 e BRS 511) e quatro intervalos para semeadura da soja após manejo da gramínea (0, 3, 6 e 9 dias). As plantas de sorgo foram cultivadas por 65 dias após a emergência. Vasos adicionais foram cultivados para determinação dos teores de sorgoleone no solo, raízes e parte aérea. Após o corte da parte aérea, homogeneização dos resíduos e disposição no mesmo vaso, procedeu-se a semeadura da soja (BRS 388 RR), que foi cultivada até a fase inicial de florescimento. Avaliou-se a produção de fitomassa e a taxa fotossintética da parte aérea da soja. Quanto ao sistema radicular, determinou-se a matéria seca e parâmetros

---

<sup>(1)</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

<sup>(2)</sup>Graduando do curso de Agronomia do Centro Universitário da Grande Dourados (Unigran), Dourados, MS.

morfológicas (diâmetro médio, comprimento, número de bifurcações e número de ramificações das raízes) por digitalização com scanner. Os resíduos das cultivares BRS 506 e BRS 511 de sorgo-sacarino prejudicaram o desenvolvimento da soja. As constatações também foram detectadas por sintomas visuais. Porém, a BRS 506 teve maior influência na atividade fotossintética e arquitetura do sistema radicular da leguminosa. Isso pode estar relacionado aos maiores teores de sorgoleone nessa cultivar no momento do corte das plantas. Nove dias de intervalo entre o manejo do sorgo e a semeadura da soja em sucessão são suficientes para diminuir os efeitos negativos no crescimento da soja.

Palavras-chave: palhada, sorgoleone, crescimento radicular, agroenergia.



# Sweet Sorghum Allelopathic Effects on Soybean in Succession

---

## Abstract

*Sweet sorghum plant residues, through allelopathic substances releasing, may decrease next cropping growth. Therefore, the current research aimed to investigate the effects of two sweet sorghum cultivars on soybean development, considering different periods between sorghum management and soybean sowing. The experimental design was in complete randomized blocks, with four replications, analyzed as a 2 x 4 factorial. Treatments consisted of two sweet sorghum cultivars (BRS 506 e BRS 511) combined with four intervals to soybean sowing after grass management (0, 3, 6 and 9 days). Sorghum plants were cropped up to 65 days after emergence. Additional pots were conducted to evaluate sorgoleone levels in the soil and plants (roots and shoot). After cutting, mixing and accommodation of plant residues on the soil surface, soybean was sown (BRS 388RR) and cropped until flowering stage. Soybean shoot dry matter and photosynthetic rate were evaluated. For soybean root system, dry matter and morphological parameters (average diameter, length, number of forks and number of tips) were measured through digitalized analysis. Residues of BRS 506 and BRS 511 sorghum cultivars affected soybean growth. Visual symptoms on soybean leaves also were observed. However, BRS 506 had more influence on soybean photosynthetic rate and root development. This behavior is related to*

*higher sorgoleone contents in BRS 506 cultivar at the time of sorghum cutting. Nine days between sweet sorghum management and soybean sowing are enough to decrease negative effects on soybean development.*

*Index terms: straw, sorgoleone, root growth, bioenergy.*

## Introdução

Sorgo-sacarino é o termo utilizado para descrever tipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) que possuem alta concentração de açúcares nos colmos. É cultivado em diversos países e com finalidades distintas, como alimentação humana, forragem para animais, fibra e energia. Também é caracterizado pela considerável adaptabilidade e tolerância à seca, podendo produzir cerca de 50-70 t ha<sup>-1</sup> de biomassa com os teores de açúcares variando de 16% até 23% (ALMODARES; HADI, 2009). Nesse contexto, o sorgo-sacarino pode ser uma alternativa para complementação de matéria-prima para a indústria sucroenergética, principalmente no período de reforma dos canaviais.

No entanto, o fornecimento de sorgo-sacarino para a indústria também pode ser oriundo de áreas tradicionalmente cultivadas com lavouras, como na sucessão soja-milho safrinha, predominante no Estado de Mato Grosso do Sul. Nessa situação, a substituição do milho safrinha pelo sorgo poderia ser interessante tanto para o fornecimento do sorgo à usina como para a diversificação de cultivos e produção de palha no Sistema Plantio Direto. O período de cultivo da soja mudou muito nos últimos 10 anos, com grande parte da colheita concentrando-se em janeiro/fevereiro (FIETZ et al., 2013). Com esse cenário, o sorgo-sacarino seria implantado em uma época ainda favorável para produção de biomassa (BANDEIRA et al. 2012; SORDI, 2011;), além da possibilidade da condução do rebrote até a próxima safra de soja, com considerável aporte de resíduos na superfície e no perfil do solo, pelo sistema radicular abundante e agressivo (CALONEGO; ROSOLEM, 2010).

Em contrapartida, os resíduos vegetais de algumas espécies podem afetar o desenvolvimento de outras em sucessão, limitando o seu crescimento (OLIVEIRA et al., 2014). Vale ressaltar que a alelopatia é a capacidade de um organismo produzir metabólitos que atuam inibindo ou estimulando o crescimento ou o desenvolvimento de outros organismos (GOLISZ et al., 2008; UDDIN et al., 2010). Algumas espécies do gênero *Sorghum*, como *S. bicolor*, *S. sudanense*, *S. halepense* e *S. vulgare*, possuem considerável

potencial alelopático, sendo o seu cultivo um método eficiente para o controle de algumas plantas daninhas (SANTOS et al., 2012; RECALDE et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015). Segundo Olibone et al. (2006), há indícios de que o estabelecimento e o desenvolvimento inicial da soja vêm sendo prejudicados pelos compostos alelopáticos liberados pela decomposição da palha do sorgo, como tanino, alguns ácidos orgânicos e graxos, entre outros. Os autores evidenciaram que os resíduos de sorgo-forrageiro e sorgo-de-guiné deixados no solo são capazes de prejudicar o crescimento tanto da parte aérea quanto radicular de plantas de soja cultivadas em sucessão.

O sorgo produz um complexo de proteínas e substâncias lipídicas denominadas genericamente de sorgoleone, tendo como seu principal composto o 2-hidroxi-5-metoxi-3-[(Z,Z)-8',11',14'-pentadecatrieno]-p-benzoquinona, que é naturalmente liberado para o solo a partir dos tricomas das suas raízes (SANTOS et al., 2012), sendo um dos aleloquímicos com maior embasamento na literatura (UDDIN et al., 2010; DAYAN et al., 2009). Os trabalhos de Netzly e Butler (1986) identificaram a presença de componentes hidrofóbicos em exsudatos de raízes de 25 cultivares de *S. bicolor*, em diferentes concentrações. Essa exsudação concentrava-se próxima do ápice dos pelos radiculares, mostrando-se um potente inibidor do desenvolvimento de outras plantas (TREZZI et al., 2004). Scorza Junior (2014) detectou concentrações consideráveis desse composto em raízes de plântulas de sorgo-sacarino, com teores variando de acordo com a cultivar.

O sorgoleone é amplamente conhecido como um inibidor do fotossistema II e apresenta similaridade com herbicidas do grupo das triazinas. No entanto, esses efeitos fitotóxicos são evidenciados desde à germinação e emergência das plântulas, assim como na atividade fotossintética em fases mais avançadas de desenvolvimento. Einhellig e Souza (1992) observaram ação inibitória de sorgoleone no crescimento e teor de clorofila nas folhas de soja.

Apesar de existirem informações consistentes na literatura sobre o efeito alelopático de algumas variedades de sorgo, não há trabalhos com

avaliações nos cultivos em sucessão ao sorgo-sacarino. Além disso, é importante saber o tempo necessário para proceder a semeadura da soja em sucessão para que não ocorram possíveis restrições no desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de duas cultivares de sorgo-sacarino no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular da soja em sucessão, semeada em diferentes intervalos após o manejo.

## Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS. Foram utilizados vasos com capacidade para acomodação de 14 litros de solo. A análise química por ocasião da caracterização do solo, classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, apresentou os seguintes valores: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) 4,8; 10,0 mg  $\text{dm}^{-3}$  de P (Melich-1); 35,4 g  $\text{kg}^{-1}$  de matéria orgânica; 8,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de H+Al; 0,27  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de K; 5,9  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de Ca; 1,4  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de Mg; 7,57  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de SB; 15,6  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de CTC; e 49% de saturação por bases (V). Foi aplicado calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 70%. Para isso, o solo foi acondicionado em sacos plásticos e mantido por 20 dias com a umidade próxima à capacidade de campo. Em seguida, foi seco ao ar e adubado com 500 kg  $\text{ha}^{-1}$  do formulado comercial 04-20-20, de N, P e K, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em um esquema fatorial (2 x 4), constituído pelo cultivo prévio de duas cultivares de sorgo-sacarino (BRS 506 e BRS 511) e quatro intervalos para semeadura da soja após o manejo da gramínea (0, 3, 6 e 9 dias após o corte/manejo).

Em cada unidade experimental, foram semeadas seis sementes de sorgo-sacarino, com realização de desbaste cinco dias após a emergência das plântulas, objetivando-se a condução de uma planta por vaso. O teor de água foi monitorado constantemente e corrigido sempre que necessário,

para que permanecesse próximo à capacidade de campo. Aos 20 dias após a emergência do sorgo-sacarino, aplicou-se mais 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de ureia.

Aos 65 dias após a emergência (DAE), as plantas de sorgo-sacarino foram cortadas em pedaços de aproximadamente 10 cm, e depositadas na superfície do solo. Antes disso, alíquotas foram retiradas para determinação da umidade, após desidratadas em estufa de aeração forçada. Em seguida, foi possível calcular a quantidade de matéria fresca necessária para simular uma quantia de 8 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca depositada na superfície de cada vaso. Por ocasião do manejo, as duas cultivares de sorgo-sacarino avaliadas apresentavam porte e estágio fenológico semelhantes. Em vasos adicionais, foi realizada a determinação dos teores de sorgoleone da parte aérea, do solo e das raízes para caracterização das duas cultivares. Essas análises foram realizadas no dia do corte das plantas dos demais vasos com 65 DAE, e com 15 dias após esse primeiro corte (Tabela 1), e seguiram metodologia proposta por Scorza Junior (2014).

**Tabela 1.** Caracterização dos teores de sorgoleone na parte aérea, solo e raízes das cultivares de sorgo-sacarino BRS 506 e BRS 511, por ocasião do corte das plantas aos 65 DAE e 15 dias após esse primeiro corte.

Cultivar	No corte das plantas aos 65 dias após a emergência		
	Solo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Parte aérea ( $\text{mg g}^{-1}$ )	Raiz ( $\text{mg g}^{-1}$ )
BRS 506	1,09	0,0	2,27
BRS 511	1,24	0,0	0,77
Quinze dias após o corte das plantas			
Cultivar	Solo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Parte aérea ( $\text{mg g}^{-1}$ )	Raiz ( $\text{mg g}^{-1}$ )
BRS 506	0,0	0,0	0,11
BRS 511	0,0	0,0	0,20

A semeadura da soja, cultivar BRS 388RR, foi efetuada em diferentes intervalos após o manejo supracitado, ou seja, com 0 (no dia do corte do sorgo), 3, 6 e 9 dias após o manejo do sorgo-sacarino. Foram semeadas cinco sementes por vaso; cinco dias após a emergência procedeu-se o desbaste, com o objetivo de conduzir duas plantas de soja por unidade experimental. Em função da adubação no cultivo prévio do sorgo-sacarino e pelo tempo de cultivo da soja, não foi realizada adubação na semeadura da leguminosa. Além disso, os resíduos do sorgo foram mantidos na superfície do solo, o que favoreceu a liberação de parte dos nutrientes durante a mineralização dos restos vegetais. As sementes de soja foram tratadas com inseticida e fungicida, além de inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. O teor de água foi monitorado diariamente e corrigido sempre que necessário, para que permanecesse próximo à capacidade de campo. Nos tratamentos com intervalo para semeadura da soja (3, 6 e 9 dias), o solo também foi irrigado mesmo no período em que a leguminosa ainda não havia sido cultivada.

Quando as plantas estavam iniciando a fase reprodutiva (R1), cerca de 35 dias após a emergência, foram realizadas avaliações da parte aérea e do sistema radicular. Como as plantas de todos os tratamentos foram avaliadas na mesma fase fenológica, também ocorreu uma defasagem no dia das avaliações, ou seja, houve um intervalo de 3 dias entre as avaliações dos efeitos dos tratamentos, para que fosse respeitada a fase fenológica das plantas. Exceção a esse procedimento foi adotada para avaliação da taxa fotossintética da soja, em que a leitura foi realizada no mesmo dia para todos os tratamentos, quando as plantas do tratamento 0 dias após o manejo encontravam-se em estágio R1. O tratamento com 9 dias após o manejo, por exemplo, estava em fase vegetativa V10. Objetivou-se com isso evitar influência das condições climáticas nas leituras. Caso as leituras fossem obtidas na mesma fase fenológica, haveria influência das condições distintas de temperatura, umidade e luminosidade.

Para avaliação da fitomassa seca da parte aérea da soja, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo e submetidas a desidratação com

aeração forçada a 60 °C por 72 horas e, em seguida, pesadas em balança analítica. A taxa fotossintética foi analisada no período da manhã (8h30min até 9h30min), por um Portable Photosynthesis System (LICor, modelo LI-6400, “IRGA”), com radiação fotossintética ativa de 1.000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Utilizou-se o terceiro trifólio plenamente desenvolvido a partir do ápice das plantas. Foram realizadas duas leituras por unidade experimental.

Para avaliação das raízes, o solo foi despejado em peneiras com malha de 1 mm e lavado com jatos de água dirigidos, para a retirada de todo o solo das amostras. Utilizou-se uma pinça para separar as raízes de impurezas. Para todas as amostras de raízes coletadas, o mesmo operador ficou responsável pela lavagem e coleta das raízes, minimizando os erros. Em seguida, as amostras foram acondicionadas e armazenadas sob refrigeração de 5 °C para serem posteriormente submetidas às análises. As amostras de raízes devidamente processadas foram analisadas em um “scanner” de leitura ótica (modelo Scanjet 4C/T, marca HP), na resolução de 350 dpi, e tiveram suas imagens digitalizadas e analisadas com o programa “Win Mac Rhizo” versão 2012b (Regente Instruments Canada Inc.). Determinaram-se o comprimento radicular, o diâmetro médio radicular, o número de bifurcações e o número de extremidades. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de aeração forçada a 60 °C por 72 horas, para determinação da matéria seca produzida pelo sistema radicular.

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade para comparar os efeitos de cultivar, e análise de regressão para verificar o efeito dos intervalos após o manejo. Para todas as variáveis foi feito o desdobramento, mesmo na ausência de interação significativa. Adotou-se como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de regressão significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ).



## Resultados e Discussão

Por meio da análise de variância, verifica-se efeito significativo de cultivar, intervalo para semeadura da soja e interação desses fatores nas variáveis analisadas na parte aérea e no sistema radicular das plantas de soja (Tabela 2). As Figuras 1, 2 e 3 mostram o efeito dos resíduos de sorgo-sacarino na soja cultivada em sucessão, com os sintomas sendo diagnosticados a partir da fase V2 de desenvolvimento da soja. Destaca-se que esses sintomas visuais apresentam estreita relação com o intervalo entre o manejo do sorgo e a semeadura da soja, ou seja, foram mais intensos na soja semeada no dia do manejo do sorgo. No intervalo de 9 dias não havia sintomas visuais nas folhas da soja. Quanto à cultivar, esse padrão de sintomas foi diagnosticado na soja cultivada nos resíduos dos dois genótipos de sorgo-sacarino.

Os resultados de fotossíntese da soja indicam efeito do intervalo entre o manejo do sorgo e a implantação da leguminosa (Figura 4A). De forma geral, para as duas cultivares, maior atividade fotossintética foi obtida quando a semeadura da soja foi realizada nove dias após o corte do sorgo-sacarino. No entanto, esses incrementos foram mais expressivos para a BRS 506. Destaca-se também que no primeiro intervalo os valores da BRS 511 foram significativamente superiores, com média de  $11,81 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , contra  $6,70 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  da BRS 506 (Figura 4A). Isso pode estar relacionado aos teores de sorgoleone provenientes da BRS 506 (Tabela 1). No momento do corte das plantas, os teores desse composto nas raízes eram maiores nessa cultivar, apesar de no solo cultivado e na parte aérea os valores serem nulos somente na parte aérea para as duas cultivares. Comportamento parecido foi observado para a produção de matéria seca da parte aérea da soja cultivada em sucessão às duas cultivares de sorgo (Figura 4B). Quanto maior o intervalo entre o manejo do sorgo e a semeadura da soja, maior a produção de fitomassa da parte aérea da soja, indicando menor efeito prejudicial dos resíduos do sorgo-sacarino.

**Tabela 2.** Probabilidade do teste F e coeficiente de variação para variáveis das plantas de soja, em função do intervalo para semeadura após o manejo de duas cultivares de sorgo-sacarino

Fonte de variação	TF	Altura	MSPA	DMR	CR	NB	NE	MSR
Cultivar (C)	0,0458	0,6153	0,4401	0,3322	0,0624	0,0003	0,0086	0,0141
Intervalo (I)	0,0002	0,0002	0,0010	0,4232	0,0731	0,7645	0,0124	0,0002
CxI	0,0228	0,9428	0,0327	0,4182	0,1613	0,0013	0,0097	0,0010
C.V	14,74	7,72	9,55	7,28	15,73	13,84	13,93	10,26

TF: taxa fotossintética; MSPA: matéria seca da parte aérea; DMR: diâmetro médio de raízes; CR: comprimento radicular; NB: número de bifurcações; NE: número de extremidades; MSR: matéria seca de raízes.

Foto: Rodrigo Arroyo Garcia



Foto: Rodrigo Arroyo Garcia

**Figura 1.** Sintomas do efeito alelopático nas folhas de soja, semeada no dia do manejo do sorgo-sacarino.

Foto: Rodrigo Arroyo Garcia

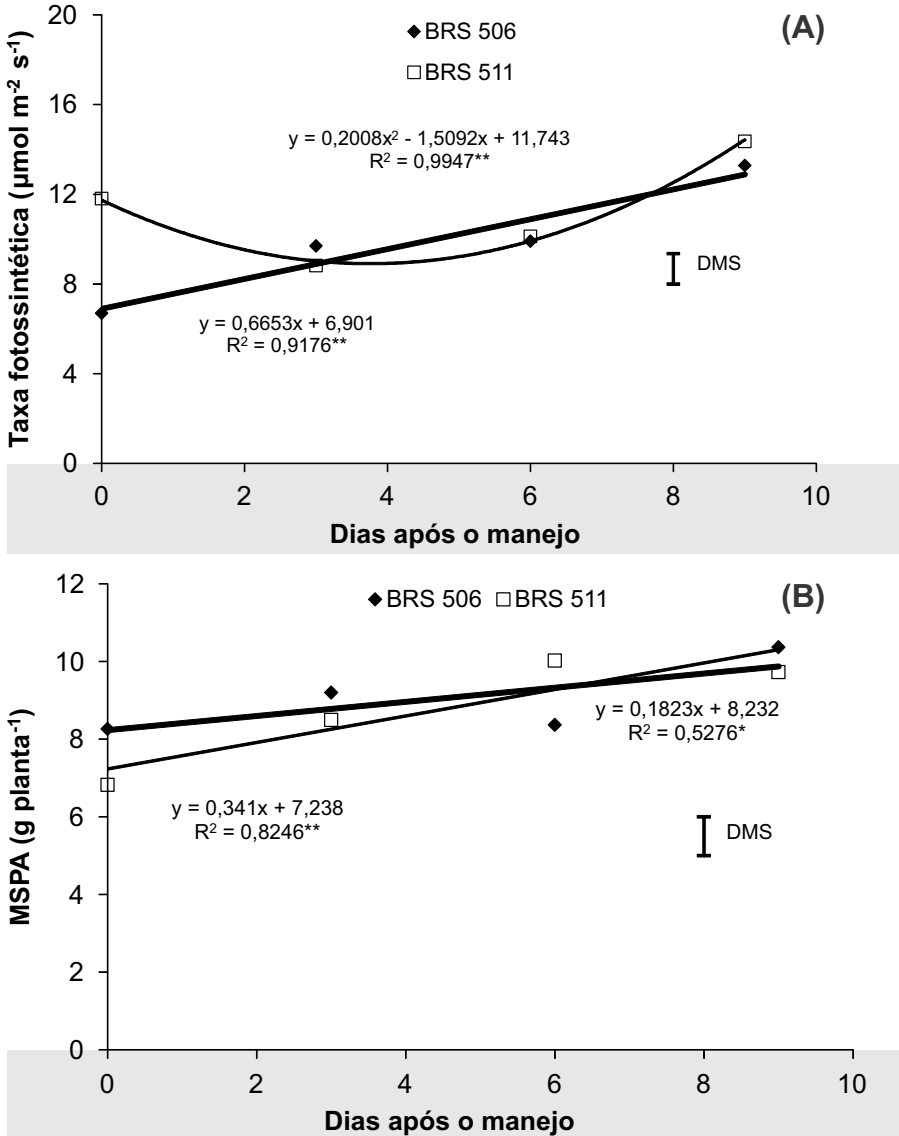


**Figura 2.** Sintomas do efeito alelopático nas folhas de soja, semeada aos três dias após o manejo do sorgo-sacarino.

Foto: Rodrigo Arroyo Garcia



**Figura 3.** Sintomas do efeito alelopático nas folhas de soja, semeada aos seis dias após o manejo do sorgo-sacarino.



**Figura 4.** Taxa fotossintética (A) e matéria seca da parte aérea (B) das plantas de soja na fase inicial de florescimento (R1), em função do intervalo para semeadura após o manejo de duas cultivares de sorgo-sacarino.

DMS: diferença mínima significativa. \* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

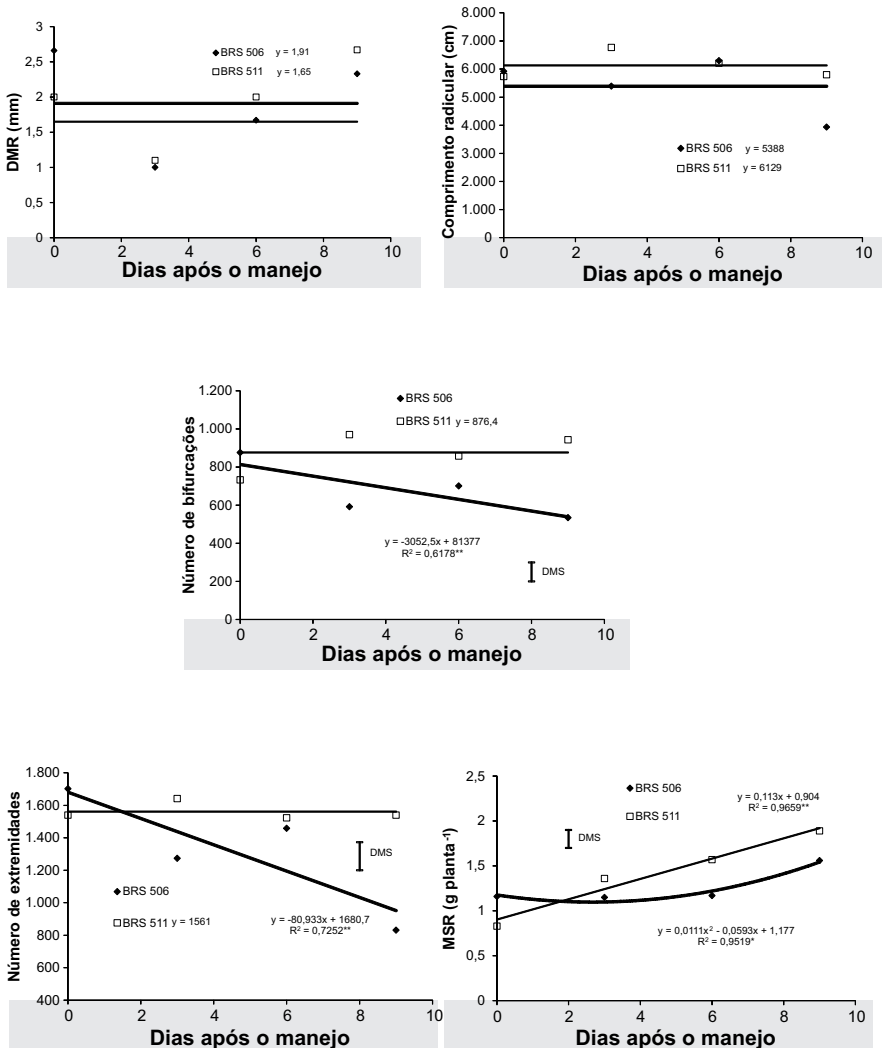
Um dos mecanismos de indução de sorgoleone é a inibição da fotossíntese por interações com componentes do fotossistema II (YANG et al., 2004). Além disso, este composto também atua no transporte de elétrons mitocondrial, interferindo na atividade da H<sup>+</sup>-ATPase e absorção de água do solo (DAYAN et al., 2009). Os componentes do fotossistema II servem como uma armadura incorporada à membrana. Esta armadura organiza os elementos que se ligam a uma rede por excitação de pigmentos e outros cofatores que aprisionam, transferem e utilizam a energia solar para dirigir reações hidrolíticas (WEIR et al., 2004). Em estudos utilizando cloroplastos intactos e membranas tilacoides, o sorgoleone inibiu especificamente a cadeia transportadora de elétrons nos cloroplastos, atuando de forma semelhante aos herbicidas do grupo das triazinas. De fato, o sorgoleone atua de forma semelhante à inibição dos sítios de ligação do fotossistema II à atrazina. Este tipo de inibição é característica de herbicidas diuron e outros herbicidas tais como triazinas, fenilureas, triazinonas, ureas, uracilas, biscarbamatos e piridazinonas (NIMBAL et al., 1996).

Muitos componentes semelhantes ao sorgoleone, tal como o 5-ethoxysorgoleone, são formados em menores quantidades nos exsudados de sorgo, mas de toda forma têm sido caracterizados com propriedades inibitórias do fotossistema II (WEIR et al., 2004). Em concentrações equivalentes àquelas dos herbicidas sintéticos, o sorgoleone demonstrou inibir a p-hidroxifenilpiruvato dioxigenase rompendo a biossíntese de carotenoides, o que resulta no branqueamento foliar (MEAZZA et al., 2002), como pode ser constatado nas Figuras 1, 2 e 3. Apesar de outros análogos ao sorgoleone também serem produzidos pelas raízes de algumas espécies, todos foram identificados atuando conjuntamente na inibição do fotossistema II nas plantas alvo (KAGAN et al., 2003; MARCHI et al., 2008).

Outro fator que chama a atenção é que, num curto intervalo de tempo após o manejo, ou seja, nove dias, os prejuízos ao desenvolvimento das plantas de soja foram consideravelmente diminuídos (Figuras 4A e 4B). De outra forma, provavelmente, após serem absorvidos pelas plantas, esses

compostos atuaram por mais tempo, pois as avaliações foram realizadas por volta do início do florescimento e as diferenças entre as épocas ainda eram significativas (Figura 4). Nesse sentido, acredita-se que os compostos tornam-se indisponíveis às plantas no solo em um curto intervalo de tempo. No entanto, se absorvidos em fases iniciais, impactam no desenvolvimento das plantas de soja até a fase reprodutiva. A segunda avaliação de caracterização dos teores de sorgoleone, aos 15 dias após o manejo, indicam a drástica redução nos teores do sistema radicular das duas cultivares. Ademais, os teores do solo eram nulos, evidenciando a rápida degradação/indisponibilização do composto no solo (Tabela 1). De acordo com Gimsing et al. (2009), em alguns solos avaliados nos Estados Unidos, parte da sorgoleone é rapidamente mineralizada e atacada pelos microrganismos, que a usam como fonte de energia. Quantidade significativa também pode estar adsorvida no complexo coloidal do solo. Com relação ao diâmetro médio radicular e comprimento de raízes da soja, as fontes de variação não resultaram em efeitos significativos (Tabela 2; Figuras 5A e 5B).

Esses parâmetros são de extrema importância na eficiência de absorção de nutrientes e maior exploração do perfil do solo. Nesse sentido, o estado nutricional das plantas provavelmente não foi afetado por limitações de crescimento das raízes, mesmo com prejuízos na produção de fitomassa da parte aérea, já que essa pode estar mais relacionada com a taxa fotossintética das plantas (Figuras 4A e 4B). As raízes, ao encontrarem uma camada de impedimento, se entortam e crescem paralelamente à superfície do solo. Isto causa um desenvolvimento superficial e raso, prejudicando o suprimento de água, de nutrientes e enfraquecendo a sustentação da planta (CALONEGO; ROSELEM, 2010). Porém, em condição de vaso, essas limitações são minimizadas, além da amostragem ser realizada com todo o sistema radicular das plantas contido nos recipientes, e não com estratificação de camadas, o que pode ter contribuído para a ausência de efeitos.



**Figura 5.** Diâmetro médio radicular (A), comprimento radicular (B), número de bifurcações (C), número de extremidades (D) e matéria seca de raízes (E) de soja na fase inicial de florescimento (R1), em função do intervalo para semeadura após o manejo de duas cultivares de sorgo-sacarina.

DMS: diferença mínima significativa. \* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para as variáveis número de bifurcações, número de extremidades e matéria seca do sistema radicular, ocorreu efeito significativo decorrente dos tratamentos adotados, indicando alterações na massa e arquitetura das raízes das plantas (Tabela 2; Figuras 5C, 5D e 5E). No processo de lavagem das raízes foi tomado o devido cuidado para preservar a integridade das raízes, de maneira a possibilitar a avaliação da ramificação do sistema radicular. Para o número de bifurcações e número de extremidades ocorreu comportamento similar para as cultivares em função do aumento do intervalo para a semeadura da soja, ou seja, ausência de efeito nas raízes da soja decorrente dos resíduos da BRS 511 e decréscimo linear, em função do aumento do intervalo para semeadura da soja nos resíduos da BRS 506 (Figuras 5C e 5D).

Portanto, mudanças na arquitetura do sistema radicular da soja cultivada nos resíduos do sorgo BRS 506 foram mais significativas e podem ser relacionadas aos maiores teores de sorgoleone determinados nas raízes dessa cultivar (Tabela 1). Scorza Junior (2014) caracterizou os teores de sorgoleone nas raízes de plântulas de sorgo-sacarino das variedades BRS 506 e BRS 511, obtendo valores de 21,9 e 8,7 mg por grama de raiz seca, respectivamente. As avaliações do trabalho supracitado foram realizadas nas raízes de plântulas do sorgo sacarino, ou seja, em um estágio em que há maior produção de sorgoleone. No entanto, no trabalho em questão, as diferenças entre essas cultivares foram mantidas mesmo com 65 dias após a emergência (Tabela 1).

No intervalo zero, houve maior ramificação das raízes da soja, com essa tendência diminuindo conforme se incrementou o período de defasagem da semeadura, até nove dias (Figuras 5C e 5D). Esse comportamento é justificado por Materechera et al. (1992); esses autores concluíram que as plantas emitem maior quantidade de raízes laterais, que são mais finas, com o objetivo de explorarem o perfil do solo de forma mais eficiente, ajudando a superar algumas limitações do solo. Porém, isso não foi, necessariamente, uma vantagem no experimento em questão, pois apesar de maior ramificação não houve incremento no comprimento radicular da raiz de soja cultivada nos resíduos do sorgo-sacarino BRS 506 (Figura 5B).



Nove dias de intervalo para a semeadura da soja são suficientes para diminuir esse efeito no crescimento do sistema radicular da leguminosa. A matéria seca das raízes de soja também indica essa tendência para os resíduos das duas cultivares de sorgo (Figura 5E). A matéria seca da parte aérea e do sistema radicular (Figura 4B e 5E, respectivamente) evidenciaram comportamento similar em função do atraso da semeadura para as duas cultivares de sorgo.

Alguns trabalhos com alelopatia de sorgoleone destacam os efeitos em condições de laboratório, com avaliações de comprimento da parte aérea e raízes de plantas em fases iniciais de desenvolvimento, onde, segundo os autores, há maior impacto por causa do menor tamanho do sistema radicular das plantas e maior contato com os compostos (OLIVEIRA et al., 2015). No presente trabalho, mesmo em condições de vaso, com maior volume de solo, os efeitos também foram significativos. A utilização de intervalos superiores a nove dias poderiam continuar sendo responsivos para o crescimento da soja. No entanto, acredita-se que em condições de campo, intervalos superiores a esse começariam a inviabilizar o cultivo da soja em sucessão. Além do mais, o ataque microbiano e a diluição desses compostos seriam maiores, diminuindo os impactos negativos nas plantas de soja.

## Conclusões

- 1) Um intervalo de nove dias, entre o manejo do sorgo e a semeadura da soja em sucessão, é suficiente para diminuir os efeitos negativos no crescimento da soja em sucessão, viabilizando o cultivo dessa leguminosa.
- 2) Os resíduos do sorgo-sacarino influenciam o desenvolvimento da soja em sucessão. A parte aérea e o sistema radicular são prejudicados, o que pode resultar em diminuição do potencial produtivo da soja. Esse comportamento está relacionado ao efeito alelopático da sorgoleone, presente nos resíduos do sorgo.

- 3) Os resíduos das duas cultivares de sorgo-sacarino afetaram o desenvolvimento da soja. No entanto, a BRS 506 teve maior influência na atividade fotossintética e arquitetura do sistema radicular da soja. Isso pode estar relacionado aos maiores teores de sorgoleone nessa cultivar logo após o corte das plantas.

## **Agradecimentos**

Ao pesquisador Rômulo Penna Scorza Junior, pelas determinações de sorgoleone no Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas da Embrapa Agropecuária Oeste.

## Referências

ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.

BANDEIRA, A. H.; BIONDO, J. C.; BIALAZOR, A.; SILVA, N. G.; MEDEIROS, S. L. P.; EMYGDIO, B. M. Desempenho de genótipos de sorgo sacarino cultivados em diferentes épocas de semeadura na região Central do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos**. Campinas: Instituto Agronômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p. 2367-2371. 1 CD-ROM.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 242-249, Oct. 2010.

DAYAN, F. E.; HOWELL, J. L.; WEIDENHAMER, J. D. Dynamic root exudation of sorgoleone and its in planta mechanism of action. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 7, p. 2107-2117, May 2009.

EINHELLIG, F. A.; SOUZA, I. F. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. **Journal of Chemical Ecology**, v. 18, n. 1, p. 1-11, 1992.

FIETZ, C. R.; COMUNELLO, E.; CECCON, G.; FLUMIGNAN, D.; SENTELHAS, P. C. Risco climático do consórcio milho com braquiária em Mato Grosso do Sul. In: CECCON, G. (Ed.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 89-112.

GIMSING, A. L.; BAELUM, J.; DAYAN, F. E.; LOCKE, M. A.; SEJERØ, L. H.; JACOBSEN, C. S. Mineralization of the allelochemical sorgoleone in soil. **Chemosphere**, v. 76, n. 8, p. 1041-1047, Aug. 2009.

GOLISZ, A.; SUGANO, M.; FUJII, Y. Microarray expression profiling of *Arabidopsis thaliana* L. in response to allelochemicals identified in buckwheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 11, p. 3099-3109, Aug. 2008.

KAGAN, I. A.; RIMANDO, A. M.; DAYAN, F. E. Chromatographic separation and *in vitro* activity of sorgoleone congeners from the roots of *Sorghum bicolor*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 26, p. 7589-7595, Dec. 2003.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; WANG, G.; MCGIFFEN, M. Effect of age of a sorghum-sudangrass hybrid on its allelopathic action. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 707-716, out./dez. 2008.

MEAZZA, G.; SCHEFFLER, B. E.; TELLEZ, M. R.; RIMANDO, A. M.; ROMAGNI, J. G.; DUKE, S. O.; NANAYAKKARA, D.; KHAN, I. A.; ABOURASHED, E. A.; DAYAN, F. E. The inhibitory activity of natural products on plant p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Phytochemistry**, v. 60, n. 3, p. 281-288, June 2002.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, v.144, p. 297-303, 1992.

NETZLY, D. H.; BUTLER, L. G. Root of sorghum exude hydrophobic droplets containing biologically active components. **Crop Science**, v. 26, n. 4, p. 775-778, July/Aug. 1986.

NIMBAL, C. I.; YERKES, C. N.; WESTON, L. A.; WELLER, S. C. Herbicidal activity and site of action of the natural product sorgoleone. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 54, n. 1, p. 73-83, Jan. 1996.

OLIBONE, D.; CALONEGO, J. C.; PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 255-261, abr./jun. 2006.

OLIVEIRA, JUNIOR, R. S.; RIOS, F. A.; CONSTANTIN, J.; ISHII-IWAMOTO, E. L.; GEMELLI, A.; MARTINI, P. E. Grass straw mulching to suppress emergence and early growth of weeds. **Planta Daninha**, v. 32, n. 1, p. 11-17, Jan./Mar. 2014.

OLIVEIRA, J. S.; PEIXOTO, C. P.; POELKING, V. G. C.; ALMEIDA, A. T. Avaliação de extratos das espécies *Helianthus annuus*, *Brachiaria brizantha* e *Sorghum bicolor* com potencial alelopático para uso como herbicida natural. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 3, p. 379-384, July/Sept. 2015.

RECALDE, K. M. G.; CARNEIRO, L. F.; CARNEIRO, D. N. M.; FELISBERTO, G.; NASCIMENTO, J. S.; PADOVAN, M. P. Weed suppression by green manure in an agroecological system. **Revista Ceres**, v. 62, n. 6, p. 546-552, nov./dez. 2015.

SANTOS, I. L.V.L.; SILVA, C. R. C.; SANTOS, S. L.; MAIA, M. M. D. Sorgoleone: benzoquinona lipídica de sorgo com efeitos alelopáticos na agricultura como herbicida. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 135-144, jan./mar. 2012.

SCORZA JUNIOR, R. P. **Metodologia para quantificação de sorgoleona em raízes de sorgo sacarino**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 200).

SORDI, R. A. Sorgo sacarino para produção de etanol: uma visão do produtor e da usina de cana-de-açúcar. **Agroenergia em Revista**, ano 2, n. 3, p. 31-32, ago. 2011.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II - Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2004.

UDDIN, M. R.; PARK, K. W.; KIM, Y. K.; PARK, S. U.; PYON, J. Y. Enhancing sorgoleone levels in grain sorghum root exudates. **Journal of Chemical Ecology**, v. 36, n. 8, p. 914-922, Aug. 2010.

WEIR, T. L.; PARK, S. W.; VIVANCO, J. M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 4, p. 472-479, Aug. 2004.

YANG, X.; SCHEFFLER, B. E.; LESLIE, A. Weston SOR1, a gene associated with bioherbicide production in sorghum root hairs. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 406, p. 2251-2259, Oct. 2004.



---

*Agropecuária Oeste*

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



CGPE 13177