

## Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 139**

# **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**

André May

Frederico Ozanan Machado Durães

Israel Alexandre Pereira Filho

Robert Eugene Schaffert

Rafael Augusto da Costa Parrella

Editores Técnicos

Embrapa Milho e Sorgo

Sete Lagoas, MG

2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

Home page: [www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)

E-mail: [sac@cnpms.embrapa.br](mailto:sac@cnpms.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Flávia Cristina dos Santos Flávio Dessaune Tardin, Eliane

Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, Guilherme Ferreira Viana e

Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Editoração eletrônica: Alexandre Esteves Neves

Arte da capa: Alexandre Esteves Neves

**1ª edição**

1ª impressão (2012)

**Todos os direitos reservados**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Milho e Sorgo**

---

Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa / editores técnicos André May ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2012.  
120 p. : il. – (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 139).

1. Sorgo. 2. Recurso energético. 3. Variedade. 4. Energia. I. May, André. II. Série.

CDD 633.174 (21. ed.)

---

© Embrapa 2012

## **Autores**

### **Alexandre Ferreira da Silva**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Produção Vegetal  
– Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e  
Sorgo/Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT,  
alexandre.silva@cnpms.embrapa.br

### **Antônio Marcos Coelho**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Solos & Agricultura  
de Precisão, Pesquisador da Embrapa Milho e  
Sorgo, Sete Lagoas, MG,  
amcoelho@cnpms.embrapa.br

### **André May**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Agronomia/  
Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo,  
Sete Lagoas, MG, andremay@cnpms.embrapa.br

### **Carlos Juliano Brant Albuquerque**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Fitotecnia,  
Pesquisador da Unidade Regional EPAMIG  
Triângulo e Alto Paranaíba, Uberaba, MG,  
carlosjuliano@epamig.br

### **Dagma Dionísia da Silva**

Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Fitopatologia,  
Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete  
Lagoas, MG, dagma@cnpms.embrapa.br

**Décio Karam**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Plantas Daninhas,  
Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo,  
decio.karam@embrapa.br

**Elena Charlotte Landau**

Bióloga, D.Sc. em Zoneamento Ecológico-  
Econômico, Agroclimatologia e Geoprocessamento,  
Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete  
Lagoas, MG, landau@cnpmc.embrapa.br

**Paulo Motta Ribas**

Engenheiro Agrônomo, Consultor Técnico da  
empresa Valor - Orientações Agropecuárias Ltda.  
pauloribas@valoragropecuaria.com.br

**Frederico Ozanan Machado Durães**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc, Post-Doctor em  
Fisiologia do Estresse Abiótico em Vegetais  
Superiores, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo,  
Sete Lagoas, MG,  
frederico.duraes@cnpmc.embrapa.br

**Evandro Chartuni Mantovani**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Mecanização  
Agrícola, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo,  
Sete Lagoas, MG, evandro.mantovani@embrapa.br

**Israel Alexandre Pereira Filho**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Fitotecnia,  
Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete  
Lagoas, MG, israel@cnpmc.embrapa.br

**Ivan Cruz**

Engenheiro Agrônomo D.Sc. em Entomologia,  
Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete  
Lagoas, MG, ivancruz@cnpmc.embrapa.br

**João Batista Guimarães Sobrinho**

Assistente de Pesquisa, área de Mecanização Agrícola/Difusão de Tecnologia. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, [sobrinho@cnpms.embrapa.br](mailto:sobrinho@cnpms.embrapa.br)

**José Magid Waquil**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Entomologia. Ex-pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, [jmwaquil@gmail.com](mailto:jmwaquil@gmail.com)

**Luciano Viana Cota**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Fitopatologia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, [lvkota@cnpms.embrapa.br](mailto:lvkota@cnpms.embrapa.br)

**Maurílio Fernandes de Oliveira**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Produção Vegetal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, [maurilio.oliveira@embrapa.br](mailto:maurilio.oliveira@embrapa.br)

**Paulo Afonso Viana**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Entomologia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, [pviana@cnpms.embrapa.br](mailto:pviana@cnpms.embrapa.br)

**Robert Eugene Schaffert**

Geneticista, Ph.D. em Genética e Melhoramento Vegetal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, [schaffer@cnpms.embrapa.br](mailto:schaffer@cnpms.embrapa.br)

**Rodrigo Véras da Costa**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Fitopatologia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, [veras@cnpms.embrapa.br](mailto:veras@cnpms.embrapa.br)

**Simone Martins Mendes**

Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Entomologia/  
Agronomia, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo,  
Sete Lagoas, MG, [simone@cnpms.embrapa.br](mailto:simone@cnpms.embrapa.br)

**Rubens Augusto de Miranda**

Economista, D. Sc. em Administração, Pesquisador  
da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG,  
[rubens@cnpms.embrapa.br](mailto:rubens@cnpms.embrapa.br)

## Apresentação

O sorgo-energia (sacarino, para bioetanol de 1ª geração e biomassa para diversos usos; e biomassa lignocelulósica, para cogeração) é uma espécie de gramínea (*Sorghum bicolor* L. Moench), similar à cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), com alta conversão de energia solar em energia química.

O potencial energético da biomassa do sorgo sacarino é alto e toda a energia dele pode ser transformada com a tecnologia atual. Genética avançada, cultivares (variedades e híbridos - *Tecnologia Qualidade Embrapa*), sistema Embrapa de produção de sorgo sacarino - *Sistema BRS1G*, negócios tecnológicos e parcerias para desenvolvimento genético e de sistemas produtivos são os focos principais para a inserção e expansão de sorgo sacarino em complemento à cana-de-açúcar para produção de bioetanol e bioenergia.

Tecnicamente, genética de qualidade associada à densidade de plantas úteis na colheita, manejo de adubação e água, e adequada logística de colheita-transporte-beneficiamento são os elementos críticos para se ampliar a garantia de êxito da utilização do sorgo sacarino como espécie complementar à cana-de-açúcar, visando plantios na entressafra e aumento da operacionalidade industrial da usina.

No momento, os ajustes de arranjos produtivos focam na disponibilidade atual de genética com produtividade de colmo, caldo e açúcares, sistemas de manejo da cultura, e adequação da logística para a implantação do sorgo sacarino em ambiente da agroindústria de cana, visando aumentos na produção de etanol e utilização da biomassa residual. Fundamentando-se no fator inovação, o sorgo-energia configura-se como um negócio típico da parceria público-privada.



Esta publicação reúne informações técnicas básicas, que visam a subsidiar os agricultores interessados no cultivo do sorgo sacarino e, ao mesmo tempo, representa uma importante contribuição da Embrapa Milho e Sorgo para o setor do agronegócio bioenergético do Brasil.

*Antonio Álvaro Corsetti Purcino*  
Chefe-Geral da Embrapa Milho

## Sumário

<b>Apresentação.....</b>	<b>7</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>11</b>
<b>Cultivares.....</b>	<b>14</b>
<b>Manejo e tratos culturais.....</b>	<b>22</b>
<b>Zoneamento agrícola.....</b>	<b>31</b>
<b>Mecanização.....</b>	<b>34</b>
<b>Adubação.....</b>	<b>42</b>
<b>Controle de plantas daninhas.....</b>	<b>50</b>
<b>Controle de pragas.....</b>	<b>57</b>
<b>Controle de doenças.....</b>	<b>68</b>
<b>Planejamento industrial.....</b>	<b>85</b>
<b>Tecnologia industrial.....</b>	<b>92</b>
<b>Custo de produção e viabilidade econômica de etanol a partir do sorgo sacarino plantado na entressafra da cana-de-açúcar.....</b>	<b>106</b>
<b>Referências.....</b>	<b>112</b>



# **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**

---

*Alexandre Ferreira da Silva  
Antônio Marcos Coelho  
André May  
Carlos Juliano Brant Albuquerque  
Dagma Dionísia da Silva  
Décio Karam  
Elena Charlotte Landau  
Paulo Motta Ribas  
Frederico Ozanan Machado Durães  
Evandro Chartuni Mantovani  
Israel Alexandre Pereira Filho  
Ivan Cruz  
João Batista Guimarães Sobrinho  
José Magid Waquil  
Luciano Viana Cota  
Maurílio Fernandes de Oliveira  
Paulo Afonso Viana  
Robert Eugene Schaffert  
Rodrigo Vêras da Costa  
Simone Martins Mendes  
Rubens Augusto de Miranda  
Rafael Augusto da Costa Parrella  
Thályta Fraga Pacheco*

## **Introdução**

André May  
Frederico Durães

A demanda mundial por combustíveis renováveis tem se expandido rapidamente nos últimos anos, devido à preocupação com a redução do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa até 2020, como determina o compromisso assumido pelo governo brasileiro na COP 15. Além disso, incertezas a respeito

da disponibilidade futura de recursos não renováveis e tensões geopolíticas em regiões produtoras de petróleo têm despertado grande interesse no mundo pelos biocombustíveis, pois estes são os mais viáveis substitutos para o petróleo, em escala significativa. Os biocombustíveis apresentam futuro promissor, pois a demanda mundial por esse tipo de energia tende a crescer e o seu uso é sustentável, além de apresentar oportunidade de aquecimento da economia agrícola.

O Brasil assume com sucesso a liderança mundial na geração e na implantação de moderna tecnologia de agricultura tropical e possui pujante agroindústria. Nesse contexto, destaca-se a cadeia produtiva do etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo, conduzida por classe empresarial dinâmica, acostumada a inovar e assumir riscos. A produção de etanol constitui, assim, um mercado em ascensão para a geração de combustível renovável e para o estabelecimento de uma indústria química de base, sustentada na utilização de biomassa de origem agrícola e renovável. Para manter esse perfil, justifica-se o estudo e o domínio da tecnologia que inclua novas matrizes (espécies vegetais) energéticas com a eficiência de produção e rendimento em álcool. Para a produção de biocombustível, diferentes matérias-primas podem ser utilizadas. No caso do etanol, quando a matéria-prima apresenta açúcares diretamente fermentescíveis, produz-se o etanol de primeira geração de tecnologia, como é o caso do caldo extraído dos colmos da cana-de-açúcar.

Ao lado da cana-de-açúcar, que é tradicionalmente empregada na produção de etanol, o sorgo sacarino apresenta-se como uma ótima opção sob o ponto de vista agrônomico e industrial. O sorgo sacarino pode oferecer, dentre outras, as seguintes vantagens: rapidez no ciclo (quatro meses); cultura totalmente mecanizável (plantio por sementes, colheita mecânica); colmos suculentos com açúcares diretamente fermentáveis (produção de 40 a 60 t ha<sup>-1</sup> de colmos); utilização do bagaço como fonte de energia para a industrialização, para a co-geração de eletricidade ou como forragem para alimentação de animais, contribuindo para um balanço energético favorável. Sendo assim, o sorgo sacarino é a espécie

hoje mais promissora para elevar a quantidade produzida de etanol anualmente no Brasil, de forma rápida e segura, uma vez que não há necessidade de mudanças estruturais e logísticas do parque industrial e operacional das usinas que o receberão. Os colmos de sorgo podem ser colhidos com a mesma colhedora da cana e a época de colheita ideal se dá justamente na entressafra de cana, ou seja, quando a produção de etanol por hectare é máxima no sorgo, a cana está muito abaixo do seu potencial máximo de produção.

Considerando-se a produção de energia, o sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que armazena açúcares simples em colmos, gerando após a extração um bagaço que pode ser usado na geração de energia térmica ou elétrica ou na produção de etanol de celulose, quando esse processo for viabilizado. Assim, o processamento industrial do sorgo sacarino para produção de etanol tem grande semelhança ao já amplamente utilizado nas usinas do país.

No entanto, o caldo de sorgo sacarino de modo geral tem uma composição de açúcares diferente em relação ao da cana-de-açúcar, possuindo relativamente mais glicose e menos sacarose (menor POL) e teor de amido até 0,5%. Desse modo, o material seria menos apto à produção de açúcar cristal e menos propenso à contaminação bacteriana no momento da fermentação. Além disso, uma vez que as panículas do sorgo sacarino são ricas em amido e que a colhedora de cana não é capaz de retirar totalmente a massa de grãos da massa de colmos no momento da colheita, o teor de amido no caldo é mais alto, o que pode alterar as condições de fermentação. Com essas mudanças de composição e parâmetros de processo, deve-se, também, avaliar o etanol produzido quanto aos padrões de qualidade exigidos. Ao se considerar o sorgo sacarino como matéria-prima auxiliar, a ser utilizada na entressafra da cana, usando a mesma infraestrutura, é absolutamente necessário, além de se avaliar seu potencial na produção de etanol, propriamente dito, caracterizar o seu bagaço quanto ao potencial termoquímico.

Por fim, com a expansão da cultura de sorgo sacarino, atendendo as projeções de 500.000 a 1,5 milhões de hectares plantados

com ela em áreas de reforma de canaviais, a demanda por sementes tende a crescer, contudo, a oferta do produto ainda é baixa. Atualmente, as companhias de sementes disponibilizam alguns híbridos, mas com qualidade ainda inferior (baixo nível de açúcares fermentáveis). As melhores variedades de sorgo sacarino da Embrapa são superiores em qualidade a esses híbridos, mas, devido ao porte alto, a colheita mecânica de sementes delas é dificultada. Dessa forma, pesquisas devem também ser desenvolvidas em sistemas de produção de sementes de sorgo sacarino, visando atender a crescente demanda do setor produtivo de forma competitiva e eficiente.

Assim, a Embrapa Milho e Sorgo tem dedicado esforços para solucionar problemas fitotécnicos importantes para o cultivo do sorgo sacarino e, para tanto, compôs esse documento, que retratará aspectos como: regiões potencialmente aptas para o cultivo, características desejáveis para uma boa cultivar, manejo cultural da lavoura, mecanização, controle fitossanitário e custo de produção em diferentes níveis de produtividade de colmos, entre outros aspectos, subsidiando a tomada de decisão dos interessados em cultivar a espécie no Brasil.

## Cultivares

Rafael Augusto da Costa Parrella  
Robert Eugene Schaffert

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] vem se destacando como uma cultura bastante promissora para produção de etanol, tanto do ponto de vista agrônomo quanto industrial, por apresentar colmos suculentos com altos teores de açúcares fermentáveis.

A produtividade de etanol das cultivares de sorgo sacarino está associada a suas características agroindustriais como rendimento de colmos por hectares, umidade da biomassa, Brix no caldo, percentagens de extração de caldo, fibra dos colmos, POL do caldo, pureza, açúcares redutores, açúcares redutores totais e açúcares

totais recuperáveis, expressos em  $\text{kg t}^{-1}$  de biomassa, as quais irão refletir em litros de etanol por tonelada de colmos (PARRELLA, 2011). Outros resultados de pesquisas também evidenciam que a produtividade de colmos das cultivares é uma característica fortemente associada à produtividade de etanol por hectare (SOUZA et al., 2012; MURRAY et al., 2008; RITTER et al., 2008), pois o caldo rico em açúcares fermentescíveis é extraído em sua totalidade dos colmos. Assim, quanto maior o rendimento de colmos maior será a produtividade de caldo por hectare e por consequência maior será o volume de etanol. É necessário que o maior volume de caldo tenha altos teores de sólidos solúveis totais ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e maiores teores de açúcares totais (MURRAY et al., 2008; RITTER et al., 2008), que são utilizados como alimentos das leveduras na produção de etanol, sendo desejáveis em maior grau possível.

Por outro lado, os grãos do sorgo sacarino drenam parte da produção de fotoassimilados, que seriam carregados para os colmos, para que houvesse uma maior produção de sólidos solúveis totais e maiores teores de açúcares totais. Além disso, as cultivares de sorgo sacarino são de porte alto ( $> 3,0 \text{ m}$ ) e o excesso de grãos nas panículas, no ápice das plantas, tende a favorecer o acamamento, que é indesejável por reduzir a qualidade da matéria-prima devido ao maior teor de impurezas na colheita das plantas acamadas.

Na Tabela 1, estão apresentadas as médias para florescimento, em dias; a altura de plantas, em m; o acamamento, em % a produção de massa verde em  $\text{t ha}^{-1}$ ; o peso de panículas, em  $\text{t ha}^{-1}$ ; os sólidos solúveis totais, em graus Brix; e a produção de sólidos solúveis totais, em  $\text{t ha}^{-1}$ , obtidas a partir da avaliação de 13 cultivares de sorgo sacarino.

**Tabela 1.** Valores médios para florescimento (Flor); altura de plantas (AP); acamamento (Acam); produção de massa verde (PMV), em  $\text{t ha}^{-1}$ ; peso de panículas (PP), em  $\text{t ha}^{-1}$ ; sólidos solúveis totais (SST), em graus Brix; e produção de sólidos solúveis totais (PSST), em  $\text{t ha}^{-1}$ , obtidos a partir da avaliação de 13 cultivares de sorgo sacarino, avaliadas em Nova Porteirinha-MG, na safra agrícola 2011/2012.



Cultivares	Flor (dias)	AP (m)	Acam (%)	PMV (t ha <sup>-1</sup> )	PP (t ha <sup>-1</sup> )	SST (°Brix)	PSST (t ha <sup>-1</sup> )						
BRS 511	67	2,80	a	0	c	47,71	a	3,25	d	18,47	b	4,40	a
BRS 509	72	2,70	b	3	c	46,28	a	2,51	d	18,43	b	4,28	a
BRS 508	70	2,87	a	9	c	36,57	c	2,14	d	21,03	a	3,84	b
BRS 506	71	2,65	b	8	c	40,57	b	3,24	d	13,27	d	2,69	c
BRS 505	66	2,82	a	14	c	40,86	b	2,67	d	17,87	b	3,67	b
BRS501	80	2,60	b	1	c	47,81	a	5,55	b	13,90	d	3,32	b
BRS 601	72	2,60	b	54	b	36,76	c	7,49	a	6,20	e	1,16	d
Híbrido A	68	2,68	b	12	c	46,38	a	6,77	b	12,97	d	3,01	c
Híbrido B	73	2,72	b	29	c	37,81	b	6,11	b	12,23	d	2,29	c
Híbrido C	68	2,95	a	56	b	40,14	b	7,33	a	10,00	d	2,03	d
Híbrido D	64	2,65	b	76	a	32,29	c	7,98	a	11,43	d	1,91	d
Híbrido E	67	2,67	b	79	a	31,72	c	6,44	b	11,23	d	1,79	d
Híbrido F	63	2,60	b	74	a	29,81	c	8,48	a	10,53	d	1,63	d
Média	69	2,74		20		43,03		4,51		14,63		3,20	

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna são iguais entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

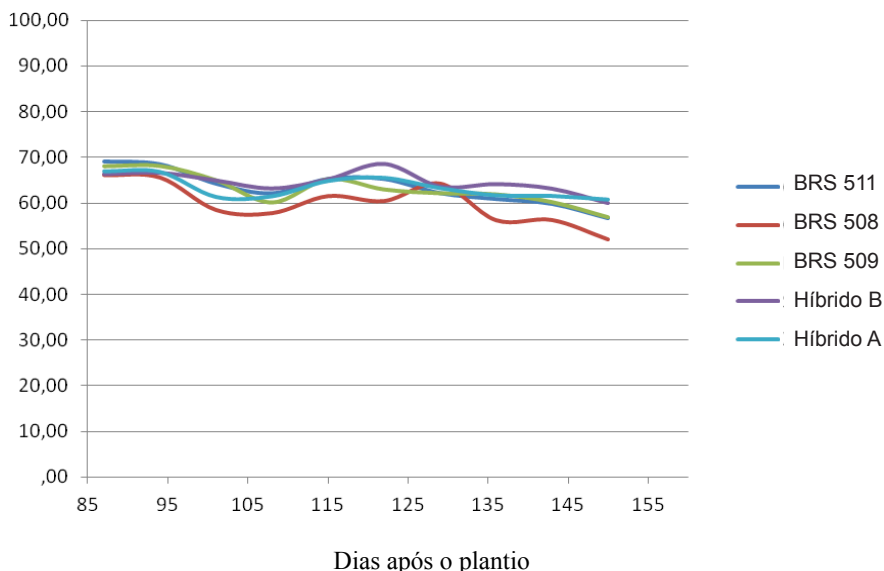
Observa-se variação de 63 a 80 dias para florescimento; de 2,60 a 2,95 metros para altura de planta; de 0 a 79% para acamamento; de 29,81 a 47,71 t ha<sup>-1</sup> para produção de biomassa verde; de 2,14 a 8,48 t ha<sup>-1</sup> para peso de panículas; de 6,20 a 21,03 °Brix para sólidos solúveis totais no caldo e de 1,16 a 4,40 t ha<sup>-1</sup> para produção de sólidos solúveis totais (Tabela 1).

Os híbridos avaliados, em geral, apresentaram baixa produtividade de colmos, alta produtividade de grãos, baixo °Brix e maiores porcentagens de acamamento. Já as variedades apresentaram maiores produtividades de biomassa, baixa produtividade de grãos, alto °Brix e baixas porcentagens de acamamento, o que é muito desejável pelo produtor e pela indústria sucroalcooleira. Estes resultados confirmam a superioridade das variedades para a produção de etanol.

Outra característica importante é o Período de Utilização Industrial (PUI) necessário para o planejamento de colheita e o processamento da matéria-prima, que deve ser o maior possível e ter mínimo de 30 dias. O PUI compreende o período em que a cultivar estará apta para colheita no campo, mantendo os padrões mínimos de rendimento estabelecidos, que viabilizem o cultivo. As metas estabelecidas pelo programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo pressupõem que as cultivares tenham uma produtividade mínima de colmos de 60 t ha<sup>-1</sup>; uma extração mínima de açúcar total de 100 kg t<sup>-1</sup> de biomassa (considerando a eficiência de extração de 90-95%); um conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; uma produção mínima de álcool de 60 L t<sup>-1</sup> de biomassa; um período de utilização industrial (PUI) mínimo de 30 dias com extração mínima de açúcar total de 80 kg t<sup>-1</sup> de biomassa.

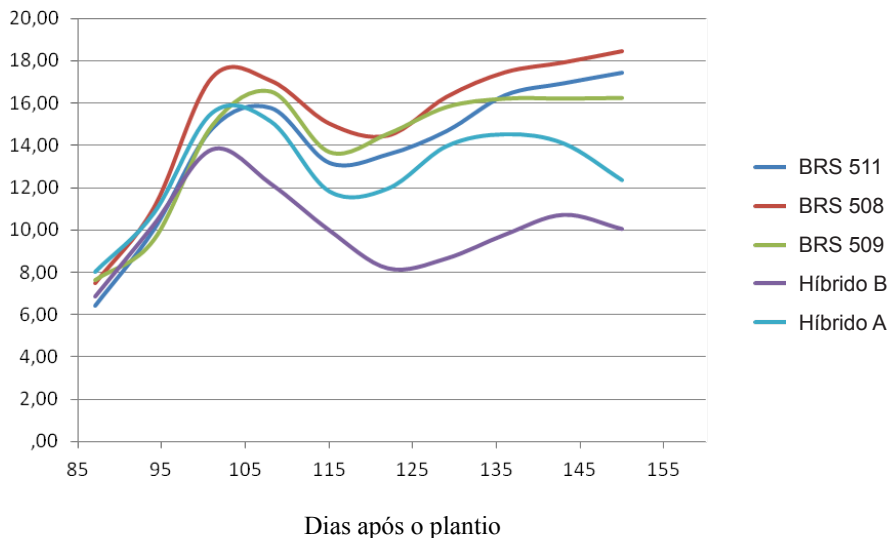
A Figura 1 apresenta a curva de extração de caldo, em porcentagem, de cinco cultivares de sorgo sacarino em diferentes períodos após o plantio. As avaliações foram feitas a cada 7 dias a partir dos 87 dias após o plantio (DAP). Observa-se, inicialmente, uma alta extração de caldo, próxima de 70%, com reduções gradativas a cada avaliação, chegando em torno de 55% na última avaliação. Verificam-se diferenças entre cultivares, com a cultivar

BRS 511 apresentando maiores valores (68 a 60%) e a cultivar BRS 508 apresentando menores valores (67 a 52%).



**Fig. 1.** Porcentagem de caldo extraída dos colmos de 5 cultivares de sorgo sacarino em diferentes períodos após o plantio, avaliadas em Sete Lagoas, na safra agrícola 2011/2012.

A Figura 2 apresenta a curva para porcentagem de sólidos solúveis totais (SST), em graus Brix, a partir de cinco cultivares de sorgo sacarino em diferentes períodos durante o ciclo da cultura. As avaliações foram feitas a cada 7 dias a partir dos 87 dias após o plantio (DAP). Observam-se, inicialmente, baixos valores de °Brix (de 6 a 8), com aumento gradativo a cada avaliação, chegando em torno de 16 a 18 °Brix na última avaliação. Houve também diferenças entre cultivares, com a BRS 511, a BRS 508 e a BRS 509 apresentando maiores valores (16 a 18°Brix) e PUI superior a 30 dias. Contudo, os híbridos avaliados apresentaram menor qualidade, com °Brix de 14 para o híbrido B e 16 para o híbrido A, ou seja, o híbrido B não apresentou qualidade mínima estabelecida (14,5 de °Brix) e o híbrido A apresentou o mínimo estabelecido, mas com PUI inferior a 10 dias.



**Fig. 2.** Porcentagem de sólidos solúveis totais (°Brix) no caldo extraído dos colmos de 5 cultivares de sorgo sacarino em diferentes períodos após o plantio, avaliadas em Sete Lagoas, na safra agrícola 2011/2012.

Estas características estão relacionadas com o teor de açúcar no caldo, o qual se deseja o maior possível, uma vez que os açúcares são utilizados para produção de etanol. Contudo, deve-se associar os maiores valores de °Brix com maior extração de caldo para se obter mais matéria-prima para produção de etanol. Desta forma, conclui-se que o período ideal para colheita das variedades de sorgo sacarino foi dos 100 aos 130 DAP e para os híbridos foi dos 100 aos 110 DAP. O excesso de água da chuva provocou redução no teor de °Brix das cultivares, sendo os híbridos os mais prejudicados. Após cessar o período chuvoso, somente as variedades BRS 511, BRS 508 e BRS 509 voltaram a apresentar os teores de açúcares superiores ao mínimo estabelecido (14,5 °Brix).

Foram estudadas em outro trabalho quatro cultivares de sorgo sacarino desenvolvidas pelo programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, no qual foram avaliadas as características de florescimento, altura da planta, peso de massa verde, peso de massa seca, extração de caldo, °Brix e POL

do caldo. Em relação ao florescimento e à altura da planta, as cultivares não mostraram diferenças significativas. No peso de massa verde, as cultivares BRS 511 e BRS 509 foram as mais produtivas, já em relação ao peso de massa seca a cultivar BRS 506 apresentou o menor rendimento, mas no que se refere a extração de caldo, a mesma cultivar apresentou o maior volume. Em relação ao °Brix a cultivar BRS 508, apresentou o maior valor e a BRS 506 não atingiu o valor mínimo estabelecido que de 14,5 nesta avaliação. O Pol apresentou valores semelhantes para as cultivares BRS 511, 508 e 509 e a cultivar BRS 506 o menor valor como mostra a Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores médios para florescimento, em dias; altura, em m; produção de massa verde, em t ha<sup>-1</sup>; produção de massa seca, em t ha<sup>-1</sup>; percentagem de extração de caldo; °Brix no caldo, em °Brix; POL do caldo, em %; avaliados em Sete Lagoas-MG, 2012.

Cultivares	Flor (Dias)	Altura (m)	PMV (t ha <sup>-1</sup> )	PMS (t ha <sup>-1</sup> )	Extração (%)	Brix (°B)	POL (%)
BRS 511	88,00 a	3,53 a	56,86 a	13,81 a	65,33 b	16,17 b	11,95 a
BRS 508	90,00 a	3,52 a	47,14 b	13,00 a	58,67 b	17,73 a	12,26 a
BRS 509	92,00 a	3,47 a	53,05 a	12,96 a	62,00 b	15,60 b	10,04 a

\* Médias seguidas da mesma letra nas colunas são iguais entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

A Tabela 3 mostra que o teor de pureza das cultivares BRS 511, 508 e 509 apresentaram os mesmos percentuais; já em relação ao açúcar redutor a BRS 506 apresentou o maior valor, o que a diferenciou estatisticamente das demais. No teor de fibra, as cultivares BRS 508 e 509 apresentaram maiores percentagens. No que se refere aos teores de açúcares totais recuperáveis, a BRS 506 teve valores inferiores ao das cultivares BRS 511, 508 e 509, como evidencia a Tabela 3. Em relação aos açúcares redutores totais no caldo, as cultivares BRS 511 e 508 diferenciaram-se da BRS 506, que apresentou o menor índice percentual (9,18%). Referindo-se aos valores de produtividade de etanol em L t<sup>-1</sup> de biomassa (etanol 1) e de produtividade de etanol em L ha<sup>-1</sup> (etanol 2), as cultivares BRS 511 e BRS 508 apresentaram as maiores

médias. Entretanto, para o etanol 2, a cultivar BRS 509 não se diferenciou das BRS 511 e 508.

**Tabela 3.** Valores médios em percentagens para Pureza; AR (açúcar redutor); Fibra; ART (açúcares totais recuperáveis), em kg t<sup>-1</sup> de biomassa; ARTc (açúcares redutores totais no caldo), em %; Produtividade de Etanol (1), em L t<sup>-1</sup>; Produção de Etanol (2), em L ha<sup>-1</sup>, avaliados em Sete Lagoas-MG, 2012.

Cultivares	Pureza (%)	AR (%)	Fibra (%)	ATR (kg t <sup>-1</sup> )	ARTc (%)	Etanol 1 (L t <sup>-1</sup> )	Etanol 2 (L ha <sup>-1</sup> )							
BRS 511	73,78	A	1,11	b	11,14	b	106,45	a	13,69	a	75,35	a	4352,51	a
BRS 508	69,06	A	1,27	b	13,02	a	106,72	a	14,17	a	78,02	a	3695,64	a
BRS 509	64,41	A	1,43	b	12,42	a	91,23	a	12,00	b	66,04	b	3506,07	a
BRS 506	54,77	B	1,76	a	10,57	b	72,13	b	9,18	c	50,55	c	2062,35	b

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna são iguais entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em função dos resultados, é possível confirmar o grande potencial do sorgo sacarino como matéria-prima para produção de etanol. Esses resultados apresentaram estimativas de produtividade de álcool equivalentes a 75 litros por tonelada de biomassa e produção de álcool superior 4.325 litros por hectare. Além disso, foi possível constatar a superioridades das novas variedades de sorgo sacarino (BRS 511, BRS 509 e BRS 508) em relação à cultivar BRS 506, variedade lançada no fim da década de 90 para produção de etanol, bem como aos híbridos disponíveis no mercado atualmente.

Uma das limitações das variedades de sorgo sacarino é a produção de sementes, uma vez que as variedades são de porte muito alto (2 a 4 m de altura), o que dificulta o processo de colheita mecanizada, restringindo a obtenção de grandes quantidades de sementes. Este problema da produção de sementes poderá ser amenizado com plantios em épocas do ano com comprimento dia menor que 12 h (outono/inverno) e temperatura noturna superior a 15 °C. Nestas condições a planta tende a reduzir o porte possibilitando uma colheita mecanizada. Outra possibilidade é o uso de redutores de crescimento que tem demonstrando resultados significativos na

diminuição do porte, o que viabilizará em curto prazo, a colheita mecanizada para sementes.

## **Manejo e tratos culturais**

André May

Carlos Juliano Brant Albuquerque

Alexandre Ferreira da Silva

Israel Alexandre Pereira Filho

### **Implantação da cultura**

A implantação do sorgo sacarino é de fácil instalação, pois permite mecanização completa dos processos de cultivo e colheita da cultura. Em sistemas intensivos de cultivo, o sorgo sacarino se destaca por suas características de alta produção e boa qualidade alcançadas nos períodos mais quentes do ano. Entretanto, em relação ao cultivo dessa espécie de sorgo, a literatura é escassa no que se refere ao manejo da cultura, em especial ao espaçamento, à densidade de semeadura, à época de plantio e à profundidade de plantio, tanto em sistema de semeadura convencional quanto direta.

Contudo, para que a cultura expresse todo o seu potencial genético produtivo, são necessárias técnicas de manejos adequadas, para que se tenha um sistema de produção capaz de proporcionar altos rendimentos em diferentes condições e níveis tecnológicos sustentáveis.

### **Preparo do solo**

O solo para o cultivo do sorgo sacarino deve ser bem preparado, tanto convencionalmente quanto para semeio direto, para garantir um bom índice de germinação das sementes e um bom controle das plantas daninhas iniciais.

Quando o sorgo sacarino é cultivado em área de reforma de canaviais, deve-se proceder a eliminação das soqueiras da cultura anterior, por método químico, associando posterior subsolagem (caso haja presença de camada compactada em subsuperfície),

aração e gradagens niveladoras sequenciais, visando estabelecer um bom leito de semeadura, já que as sementes não germinam uniformemente quando não há uma boa aderência delas ao solo.

Atenção especial deve ser dada ao manejo conservacionista do solo, pois existe o risco de erosão quando o semeio do sorgo sacarino é feito em solos preparados convencionalmente, especialmente em épocas chuvosas. Por isso, deve-se planejar o terraceamento da área (base larga ou embutido) de forma a não atrapalhar o trânsito de máquinas da cultura sucessora.

### **Época de semeadura**

A semeadura na época adequada, embora não tenha efeito algum no custo de produção, seguramente afeta o rendimento e consequentemente o lucro do agricultor. Para determinar a tomada de decisão quanto à época de semeadura, é importante conhecer os fatores de riscos, que tendem a ser minimizados quanto mais eficiente for o planejamento das atividades relacionadas à produção. A cultura do sorgo sacarino pode ser semeada visando atender a demanda das usinas durante o período de entressafra da cana-de-açúcar ou durante a safra de inverno, após uma cultura de verão. O sorgo sacarino geralmente é semeado em duas situações: a) entressafra da cana-de-açúcar e b) na safrinha após o cultivo da soja.

Na entressafra da cana-de-açúcar, a época de semeadura do sorgo sacarino ocorre nos meses de outubro e novembro, para suprir a produção de etanol nos meses de dezembro a março, quando as usinas estão sem matéria-prima (cana-de-açúcar) para moagem.

Já na safrinha, ele é semeado após a cultura da soja, entre os meses de janeiro e abril. Porém, é importante salientar que o atraso na época de plantio pode acarretar perdas significativas na produtividade da cultura, em virtude do déficit hídrico e/ou por fortes limitações de radiação solar na fase final do seu ciclo.

### **Profundidade de semeadura**

O sorgo pode ser plantado por dois processos básicos: convencional e direto na palha (PD). No processo convencional,



o solo é arado, gradeado, desterroado e nivelado, enquanto no processo de semeadura direta o revolvimento do solo é localizado apenas na região de deposição de fertilizante e semente. Qualquer que seja o processo de semeadura, alguns cuidados devem ter sido tomados com relação à correção da acidez e do alumínio tóxico, bem como com o controle de plantas daninhas e insetos-pragas do solo. A semente de sorgo, por ser pequena e com pouca reserva, apresenta dificuldades no processo de germinação. Diante desse problema é importante que a semente seja depositada em uma profundidade adequada e uniforme e que tenha uma boa aderência ao solo. De um modo geral, recomenda-se que a semente de sorgo seja colocada entre 3 e 5 cm de profundidade e que o fertilizante seja depositado de 8 a 10 cm de profundidade.

### **Densidade de semeadura**

Em função dos poucos resultados de pesquisa relativos às densidades de semeadura do sorgo sacarino, recomenda-se para o semeio de verão (novembro) de cultivares que perfilham poucas densidades de 120.000 a 130.000 plantas  $ha^{-1}$ . No entanto, para as cultivares que perfilham mais, recomenda-se 110.000 plantas  $ha^{-1}$  para o semeio nos meses de fevereiro a março. No período outono/inverno, a ocorrência de déficit hídrico pode estimular um maior perfilhamento em função da cultivar utilizada. Entretanto, o produtor deve sempre optar pela densidade de semeadura recomendada pela empresa sementeira. A quantidade de sementes por hectare para se obter as densidades recomendadas varia de 5 a 8 kg  $ha^{-1}$ . No caso do uso de variedade em que os grãos são menores, recomenda-se 5 kg  $ha^{-1}$  e caso se utilizem híbridos cujos grãos são maiores, recomenda-se 8 kg  $ha^{-1}$ .

É importante salientar que o aumento na produção de biomassa (folhas + colmos) não necessariamente resulta no aumento da massa de colmo por hectare, tendo em vista que o aumento da densidade pode resultar na redução do seu diâmetro. A redução de diâmetro do colmo se correlaciona positivamente com o acamamento e quebramento de plantas. Dessa forma, os produtores devem ficar atentos à regulação das semeadoras, evitando o estabelecimento de altas populações. Altas doses de nitrogênio, associadas a altas populações de plantas, também

podem ocasionar maiores chances de acamamento, em razão do crescimento vegetativo vigoroso, resultando em plantas altas com diâmetro reduzido. Materiais com panículas grandes e pesadas são mais propícios ao acamamento, devendo ser semeados com menor população de plantas.

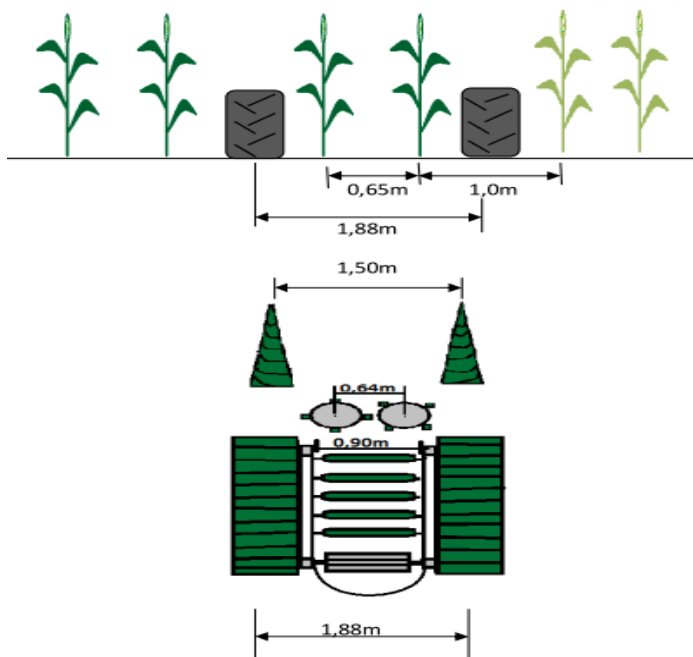
Em regiões onde ocorrem sempre ventos fortes, a escolha da densidade de semeadura e do arranjo de plantas, especialmente no período do verão, pode ocasionar sérios problemas de acamamento. Dessa forma, o uso de menores densidades de semeadura pode resultar em maior diâmetro do colmo, reduzindo as chances de acamamento. Além disso, o excesso de população de plantas também pode ocasionar o aparecimento de doenças foliares, em razão das condições microclimáticas desenvolvidas no interior da lavoura.

### **Espaçamento entrelinhas**

Uma vez definida a densidade de semeadura, a escolha do melhor arranjo de plantas é parte fundamental para o sucesso no estabelecimento da cultura, tendo em vista que o rendimento é diretamente influenciado pela interceptação da radiação solar. O arranjo pode ser manipulado pelo espaçamento entre plantas na linha de plantio (densidade) e/ou pelo espaçamento das entrelinhas. O arranjo de plantas influencia diretamente a produção de colmo (altura e diâmetro), que proporciona maior ou menor produção de caldo em função da biomassa verde, e, consequentemente, deve-se optar por arranjos de semeadura que proporcionem maior incremento dessas variáveis no momento da colheita.

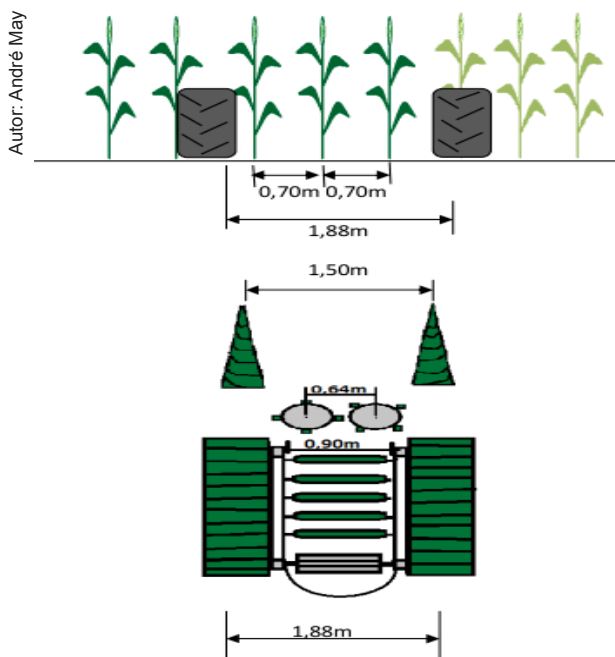
De uma maneira geral, o uso de maior número de linhas por hectare permite melhor distribuição das plantas na área, aumentando a eficiência na utilização de radiação solar, água e nutrientes; proporcionando melhor controle das plantas daninhas, em função do fechamento mais rápido do dossel; permitindo redução da erosão, pela cobertura antecipada da superfície do solo; e melhor qualidade de plantio através da menor velocidade de rotação dos sistemas de distribuição de sementes, resultando em melhor plantio com menor número de falhas duplas.

Dessa forma, no caso de utilização de colhedoras de biomassa total, tipo ensiladeiras automotrizes ou acopladas a tratores, para fins de processamento em usinas de pequeno porte, espaçamentos nas entrelinhas de 0,45 m têm apresentado maiores rendimentos em relação aos de 0,70 a 0,90 m. Entretanto, em virtude do uso de colhedoras de cana utilizadas para a colheita do sorgo sacarino, em usinas de grande porte, a escolha do espaçamento de entrelinhas acaba sendo limitada, uma vez que é necessário obedecer a bitola entre as esteiras da máquina e a distância entre os molinetes de alimentação frontal. Assim, alguns arranjos espaciais de plantas (Figura 1) vêm sendo utilizados para esta condição, sendo que o cultivo em linhas duplas tem sido o mais utilizado (1,00 x 0,65 m, resultando em 120 linhas por hectare)



**Fig. 1** Esquema de simulação da colheita de linhas duplas de sorgo sacarino no espaçamento de 1,0 x 0,65 m (120 linhas ha-1. – 10 plantas/metro)

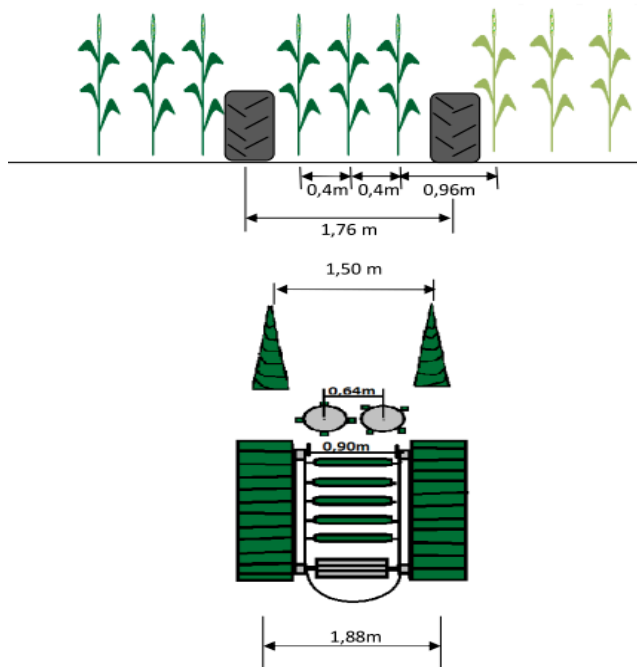
No entanto, algumas colhedoras de cana comerciais, em usinas de grande porte, permitem o uso de espaçamentos simples, (0,70 m entrelinhas) em sorgo sacarino, apesar de a máquina de colheita passar levemente por cima da linha não colhida (Figura 2). Utilizando-se o espaçamento de entrelinha de 0,70 m consegue-se obter 143 linhas por hectare, resultando em 22 linhas a mais por hectare cultivado, em relação ao espaçamento de linha dupla, normalmente utilizado.



**Fig. 2** Esquema da simulação de colheita de sorgo sacarino no espaçamento de 0,70 m entrelinhas (143 linhas ha-1 - 8,4 plantas/metro)

Para colhedoras de duas linhas de cana, pode-se utilizar o espaçamento de 0,45 m de entrelinhas, deixando-se o espaço do rodado da colhedora de 0,96 m a cada 6 linhas sequenciais de sorgo sacarino, dependendo das dimensões da máquina utilizada, resultando em 187 linhas por hectare.

Para colhedoras de cana convencionais (uma linha de cana), pode-se pensar em utilizar o semeio do sorgo sacarino em linhas triplas de  $0,4 \times 0,4 \times 0,96$  m, resultando em 170 linhas por hectare (Figura 3).

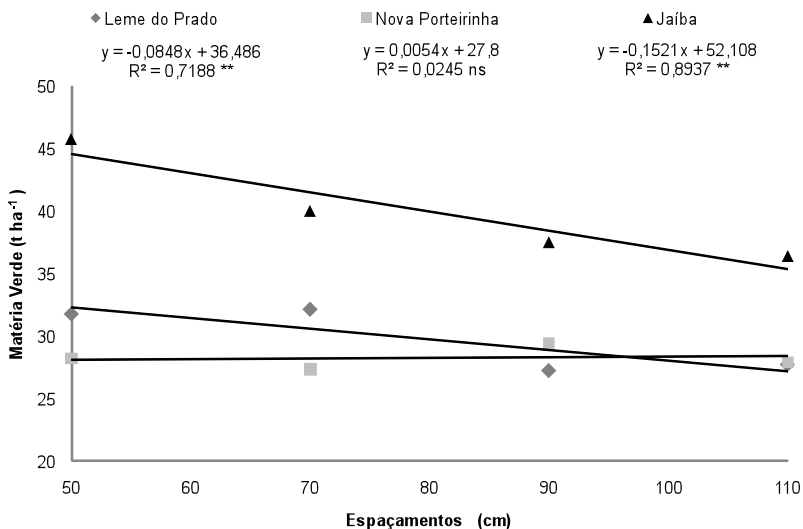


**Fig. 3** Esquema de simulação de colheita em linhas triplas  $0,4 \times 0,4 \times 0,96$  m (170 linhas ha<sup>-1</sup> - 7 plantas/metro).

**Observação:** é preciso ter cuidado, pois o cálculo errado do espaçamento de entrelinhas, conforme as dimensões do equipamento de colheita, pode ocasionar esmagamento das linhas não colhidas, resultando em perdas no rendimento de massa verde final.

Utilizando-se o sistema de  $1,0$  m x  $0,65$  m entre fileiras duplas, a produtividade de colmos por hectare tem sido reduzida, alcançando, em diferentes condições e locais de cultivo, o máximo de  $40$  t ha<sup>-1</sup> na moenda da usina, após todo o processo de corte, carregamento e transporte do material vegetal.

Ao avaliar-se os espaçamentos 0,50; 0,70; 0,90 e 1,10 m e populações de 100 mil, 150 mil, 200 mil e 250 mil plantas ha<sup>-1</sup> para as variedades de sorgo sacarino BRS 506 e BRS 507 em diferentes locais da região Norte do Estado de Minas Gerais foi constatado que a redução do espaçamento promoveu incrementos na produtividade de biomassa verde das cultivares (Figura 4). Em solos de textura arenosa e baixa disponibilidade hídrica, além de possuir menor capacidade de troca de cátions, a menor eficiência na absorção de água e nutrientes evidenciou que a utilização de espaçamentos reduzidos não se expressa em maiores produtividades, apesar da melhor distribuição das plantas na área.



**Fig. 4.** Representação gráfica das equações de regressão para a produtividade de matéria verde das cultivares de sorgo BRS 506 e BRS 507, nos quatro espaçamentos e nas diferentes localidades.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade. ns não significativo. Adaptado Albuquerque et al. (2010).

Nesse mesmo estudo, foi observado que o aumento da população em até 250 mil plantas ha<sup>-1</sup> propiciou incrementos na produtividade de biomassa verde, porém, sem elevações na massa de colmo por hectare, devido à redução do diâmetro com o aumento do número de plantas por hectare.

Para usinas de grande porte, que precisam de maior tempo de pátio dos caminhões que transportam a matéria-prima do campo para as moendas, em alguns casos passando de 12 horas entre o corte e a moagem, a colheita com automotrizes ainda precisa ser testada, devido ao maior fracionamento dos colmos. Porém, o uso de espaçamentos simples reduzidos tem proporcionado maiores rendimentos de colmo quando comparado com espaçamentos duplos. Assim, é preciso que o setor comercial de maquinário agrícola desenvolva máquinas colhedoras capazes de alto rendimento operacional e com capacidade de corte de colmos em toletes de 30 cm, visando a colheita de lavouras conduzidas em espaçamentos simples.

Em relação à densidade de semeadura e espaçamento entrelinhas (arranjo de plantio), estudos preliminares realizados na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas/MG, demonstraram que a elevação no número de plantas por hectare, quando acima de 120.000 plantas  $ha^{-1}$ , não influenciou na produtividade total de colmos. Contudo, a produção de biomassa verde foi influenciada pela redução do espaçamento entrelinhas, ou seja, maiores produções de biomassa foram obtidas nos menores espaçamentos utilizados.

Apesar de a redução do espaçamento proporcionar maior produção de massa fresca, o diâmetro do colmo das plantas pode se reduzir, ocasionando altas perdas na colheita (risco de perda de toletes na exaustão da máquina), pois as colhedoras utilizadas foram desenvolvidas para a colheita de colmos de cana, que são mais pesados e apresentam maior diâmetro. Sendo assim, os benefícios com a redução do espaçamento podem ser totalmente perdidos devido à não operacionalidade da colheita, por causa de acamamento e quebraimento das plantas. No entanto, as perdas de colheita devido à exaustão de toletes podem ser reduzidas a níveis inferiores a 1%, mesmo utilizando-se espaçamentos mais adensados, bastando reduzir a rotação do exaustor para 650-750 rpm, reduzir a velocidade da máquina para 3,5 a 7,0  $km\ h^{-1}$  e desligar o extrator primário.

Portanto, uma vez definidos a cultivar e a densidade de semeadura, o arranjo espacial das plantas deve ser também em função de

características dos equipamentos de semeadura e, principalmente, de colheita disponíveis na propriedade.

## **Zoneamento agrícola**

Elena Charlotte Landau  
Robert Eugene Schaffert

A identificação das áreas potencialmente aptas para a produção de etanol em época de entressafra da cana-de-açúcar é extremamente importante, fornecendo subsídios para a futura definição de estratégias de gestão territorial e formulação de políticas públicas que possibilitem produzir esse biocombustível em épocas de renovação dos plantios de cana-de-açúcar, tornando ativas usinas de beneficiamento que estariam paradas no período. Objetivando identificar áreas potencialmente aptas para a produção de etanol nos meses em que ela normalmente diminui, foi elaborado um mapa indicando locais potencialmente aptos para o plantio de sorgo sacarino em época de entressafra da cana-de-açúcar.

Atualmente, o plantio de cana-de-açúcar predomina em grande parte dos municípios do Estado de São Paulo, em municípios situados na Mesorregião do Triângulo Mineiro (em Minas Gerais), municípios localizados no sul do Estado do Mato Grosso do Sul, no centro do Estado de Goiás e em diversos municípios situados na região costeira da Região Nordeste do Brasil (Figura 1). Preocupado com a expansão desordenada do setor, em 2009, o Governo Federal estabeleceu novas regras para a expansão da agroindústria canavieira, visando orientar a ocupação de áreas com base no Zoneamento Agroecológico Nacional da Cana-de-Açúcar – ZAE Cana (MANZATTO, 2011). Integrando critérios econômicos, ambientais e sociais, o zoneamento propõe um modelo sustentável de expansão dessa agroindústria, apresentando três classes de aptidão: alta, média e baixa. Áreas incluídas na classes de aptidão alta representam locais com aptidão preferencial. Na classe com aptidão média foram incluídas as áreas com aptidão regular e na classe com aptidão baixa, aquelas com aptidão marginal (MANZATTO et al., 2009). Assim,

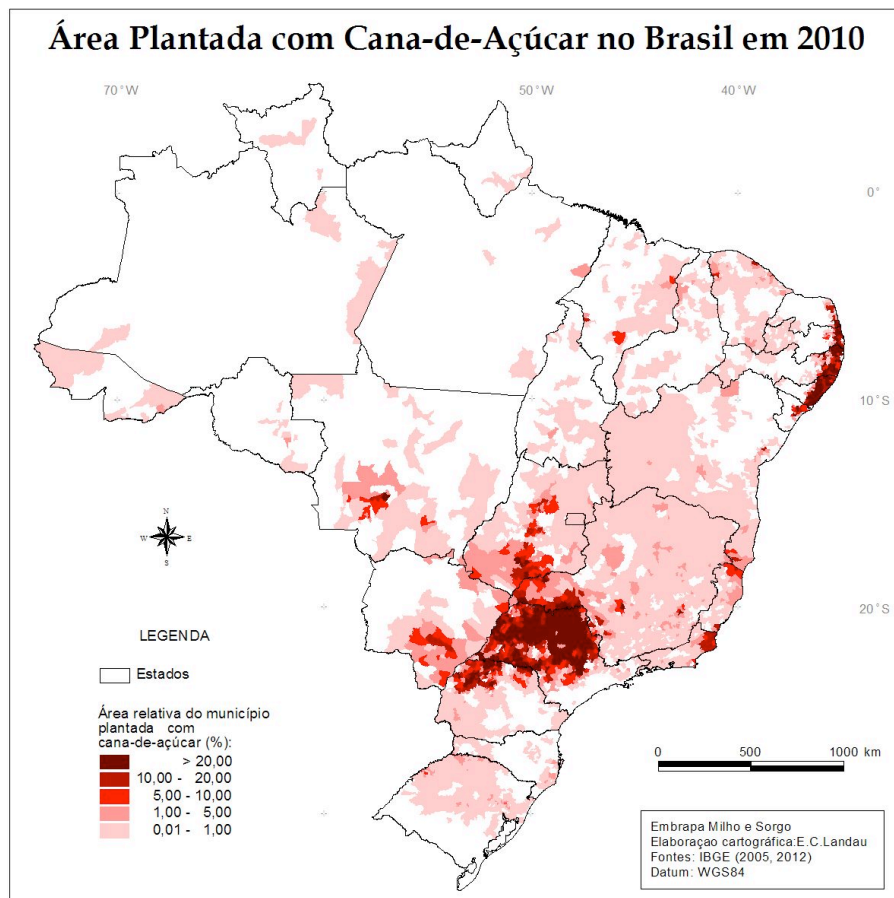


é esperada uma tendência futura de concentração dos plantios de cana-de-açúcar nas áreas consideradas agroecologicamente aptas pelo ZAE Cana.

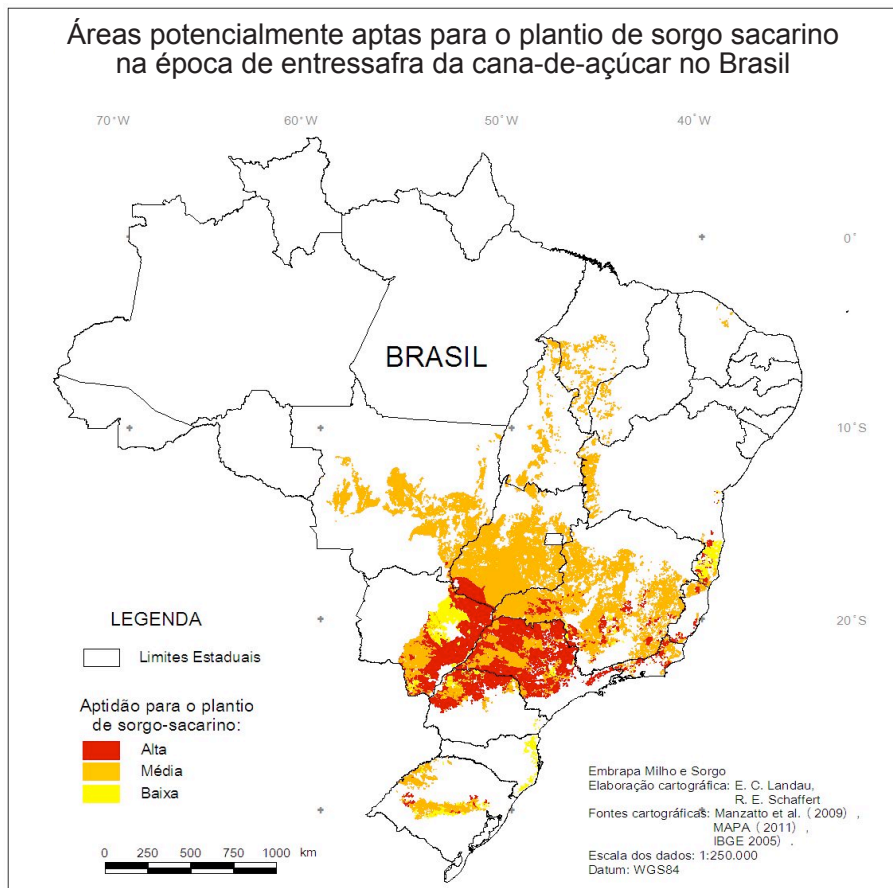
Quanto à cultura de sorgo sacarino, estima-se que a exigência hídrica dela para possibilitar a obtenção de etanol com Brix entre °15 e °20 seja semelhante à do milho de ciclo normal (LANDAU; SCHAFFERT, 2011). O zoneamento de risco climático para o plantio de milho baseia-se na análise da aptidão edafoclimática para o plantio da cultura em diferentes épocas do ano (decêndios). A análise é baseada em estudos probabilísticos de ocorrência de fatores climáticos adversos para o desenvolvimento da cultura, considerando-se séries históricas de dados climáticos registrados em estações meteorológicas do país. Também é considerado o nível de influência desses fatores climáticos em áreas com diferentes características edáficas, indicando a probabilidade de ocorrência de geadas, veranicos ou de quantidade insuficiente de água no solo para suprir a demanda hídrica da cultura em cada fase de desenvolvimento das plantas.

O zoneamento de áreas potencialmente aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar (Figura 2), pressupondo a obtenção de Brix mínimo desejado para viabilizar economicamente a geração de etanol durante o período de interesse, resultou da integração espacial entre o mapa resultante do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (MANZATTO et al., 2009), informação de que o período de entressafra da cana-de-açúcar ocorre predominantemente entre outubro e dezembro e mapas reunindo os municípios considerados aptos para o plantio de milho de ciclo normal em solo argiloso entre os meses de outubro e dezembro (BRASIL, 2011). Observa-se que as áreas com maior aptidão concentram-se no Estado de São Paulo, noroeste do Estado do Paraná, leste do Estado do Mato Grosso do Sul e sudoeste do Estado de Goiás. A maior parte das áreas com aptidão intermediária concentram-se nos Estados de Minas Gerais e Goiás. Este zoneamento representa uma primeira aproximação, considerando informações atualmente disponíveis sobre as culturas. Informações sobre a demanda

hídrica em diferentes fases de desenvolvimento da cultura de sorgo sacarino, dados sobre a localização e a capacidade das usinas sucroalcooleiras em operação ou projetadas, dados econômicos relacionados com a produção em cada local, etc. possibilitarão o aprimoramento futuro do zoneamento, subsidiando a definição de áreas aptas para a produção de etanol a partir de sorgo sacarino.



**Fig. 1.** Área relativa dos municípios brasileiros destinada para cultivo de cana-de-açúcar em 2010.



**Fig. 2.** Áreas potencialmente aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra da cana-de-açúcar no Brasil.

## Mecanização

Evandro Chartuni Mantovani

Paulo Motta Ribas

João Batista Guimarães

O interesse atual das usinas de álcool pela cultura do sorgo sacarino tem sido muito grande, principalmente para a

complementação da cultura da cana-de-açúcar, no período de entressafra. Um dos problemas da instalação do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar é a semeadura direta na palhada da cana. Por isso, há necessidade de se buscar informações sobre o sistema de mecanização objetivando viabilizar o sistema de produção da cultura, dando ênfase principalmente ao plantio direto e à colheita mecanizada.

A cultura sorgo sacarino é totalmente mecanizável e usa os mesmos equipamentos de plantio e cultivo utilizados para o sorgo granífero ou silageiro. Já na colheita, são usados equipamentos de colheita de cana e colhedoras de forrageiras. Mas a cultura também pode ser conduzida manualmente, e sua adaptação a sistemas utilizados por pequenos produtores é muito boa.

### **Semeadura direta do sorgo sacarino na palhada da cana-de-açúcar**

A regulagem das máquinas de plantio para a cultura do sorgo sacarino, nos aspectos de quantidade de adubo/hectare, número de sementes/hectare e profundidade de plantio, segue os mesmos procedimentos para outras culturas. Entretanto, o plantio direto do sorgo sacarino na palhada da cana-de-açúcar vai demandar alguns cuidados: o plantio direto (PD) do sorgo sacarino pode ser realizado na palhada de cana-de-açúcar utilizando-se um disco de corte na parte da frente da semeadora, para facilitar a abertura do sulco de plantio e a adubação, como mostra a Figura 1.

Foto: Evandro C. Mantovani



**Fig. 1.** Disco de corte de palhada e abertura de sulco de plantio.

No sistema convencional de manejo, o solo é arado e gradeado, visando estabelecer condições adequadas para o plantio da semente, enquanto que no processo de semeadura direta, o revolvimento do solo é localizado apenas na região de deposição de fertilizante e semente.

Qualquer que seja o processo de semeadura, alguns cuidados devem ter sido tomados em relação à correção da acidez e do alumínio tóxico, bem como com o controle de plantas daninhas e insetos-pragas do solo.

### Densidade de semeadura

Uma boa semente de sorgo sacarino no Brasil deve ter, no mínimo, 75% de poder germinativo (padrão federal). No entanto, as mais conceituadas empresas de sementes já distribuem sementes de sorgo sacarino com padrão mínimo de 80% (Figura 2). Portanto, para uma boa regulagem do equipamento de plantio, o produtor deve procurar saber qual o padrão de qualidade (poder germinativo e vigor) da semente que está adquirindo e exigir o boletim de análise do produtor da semente. Para iniciar o procedimento de regulagem da plantadeira, além dessa informação, o produtor deve procurar saber qual o disco adequado que se adapta à sua semente e ao equipamento de que dispõe.

**Fig. 2.** Semente escolhida para o plantio e adequação de disco para plantio.



O produtor deve sempre seguir as instruções do fabricante da máquina, que normalmente indica o número de furos e seu diâmetro para semear sorgo. Além disso, tornam-se necessários os procedimentos técnicos normais de testes de campo para saber se os discos estão liberando a semente em mais de 90% das células (furos). Por exemplo, se o disco tem 30 furos, pelos menos 27 sementes deverão estar sendo liberada na área teste, ou seja, no solo.

Via de regra, o produtor deve se basear nas indicações de densidade de plantas recomendadas pelo produtor da semente da cultivar que vai ser plantada. De acordo com May et al. (2012), a população de plantas atualmente mais recomendada para o sorgo sacarino é de 120.000 a 130.000 plantas ha<sup>-1</sup>, para semeio de materiais que perfilham pouco no verão (semeio em novembro), devendo ser reduzido para 110.000 plantas ha<sup>-1</sup> quando o semeio for realizado a partir de fevereiro/março, em razão da maior probabilidade de perfilhamento das plantas no outono/inverno.

May et al. (2012) indica que em virtude do uso de colhedoras de cana utilizadas para a colheita do sorgo sacarino, em usinas de grande porte, a escolha do espaçamento entrelinhas acaba sendo limitado, uma vez que é necessário obedecer à bitola entre as esteiras da máquina e a distância entre os molinetes de alimentação frontal. Dessa forma, o cultivo em linhas duplas tem sido o mais utilizado (1,00 x 0,65 m). Contudo, dependendo das dimensões da colhedora (algumas colhedoras capazes de colher duas linhas de cana), é possível o uso de espaçamentos simples. Mas é preciso cuidado e planejamento adequado, porque o espaçamento entrelinhas, de acordo com as dimensões do equipamento de colheita, pode ocasionar esmagamento das linhas não colhidas no processo de colheita do sorgo sacarino.

**Fig. 4.** Colheitadeira de cana Case IH A8000 utilizada para colher sorgo sacarino.  
Fonte: <http://www.agrocim.com.br/noticia/Case-IH-lanca-series-A8000-e-A4000-de-colhedoras-de-cana.html>



O sorgo sacarino também poderá ser colhido por máquinas de silagem, tanto na linha como transversalmente, com comprimento de corte de até 8 cm, e o arranjo de fileiras obedece a recomendação técnica de espaçamento para maior rendimento da cultura. Neste sentido, o semeio em espaçamentos simples de 0,70 m entrelinhas tem possibilitado os melhores rendimentos de colmos, utilizando-se colhedora do tipo ensiladeiras, com rendimentos de colheita entre 140-150 t ha<sup>-1</sup>, segundo informações fornecidas pelas empresas CNH e John Deere (2012), visando o processamento para qualquer porte de usina.

**Fig. 5.** Forrageiras autopropelidas JD 7350 e CNH FR9060 utilizadas para colheita de sorgo sacarino.  
Fonte: Foto Evandro C. Mantovani.  
([www.newholland.com/na](http://www.newholland.com/na)),



## Profundidade de plantio

A planta de sorgo é muito frágil do estágio de emergência até os 20 dias de idade. A semente de sorgo tem poucas reservas de alimentos para promover o arranque inicial da plântula, que é lento até que o sistema radicular esteja bem desenvolvido e que a jovem planta passe a absorver nutrientes do solo. Para se obter boa e uniforme emergência, é importante que a semente seja depositada também em uma profundidade adequada e uniforme. De um modo geral, recomenda-se semear sorgo entre 3 e 5 cm de profundidade, e que o fertilizante seja depositado de 8 a 10 cm de profundidade. Neste sentido, há necessidade de o equipamento de plantio ter um bom sistema de controle de profundidade (Figura 6) e permitir um cobrimento adequado das sementes, para, em seguida, permitir que as rodas compactadoras coloquem a pressão do contato solo/semente.

Foto: Evandro C. Mantovani



**Fig. 6.** Sistema de controle de profundidade de sementes com as rodas compactadoras em V.

## Velocidade de plantio

A maioria dos equipamentos de plantio comercializados no Brasil apresenta uma altura de queda da semente do sistema distribuidor acima de 40 cm. Quando a semente é liberada do disco de plantio nesta altura, ela cai em queda livre e, dependendo da velocidade da semeadora adubadora, ela percorre o percurso em um zigue-zague, alterando a distribuição longitudinal prevista



no solo com espaçamentos maiores entre plantas e com sementes muito próximas. Pacheco et al. (1996) observaram que à medida em que se aumentou a velocidade de avanço e, conseqüentemente, a velocidade periférica do disco dosador, as sementes tenderam a ter seu ponto de impacto inicial próximo da extremidade superior do tubo e com ângulo de impacto cada vez maior. Conseqüentemente, maior seria o número de rebotes das sementes dentro do tubo condutor, ocasionando maior variabilidade no tempo de distribuição e maior desuniformidade na distribuição longitudinal de sementes.

Alguns fabricantes vêm disponibilizando tubos de queda de semente de forma a evitar que este zig zag ocorra, e, ao invés de o grão cair em queda livre, o faça deslizar em um tubo com formato curvo, até o solo. Mesmo assim, os mecanismos atuais de distribuição de semente de discos têm problemas de trabalhar adequadamente com velocidade de avanço da semeadora-adubadora acima de 6 km/h. Já nas semeadoras-adubadoras a dedo prensos ou a vácuo, pode-se realizar uma boa operação de plantio com velocidade um pouco maior (até 8 km/h), desde que as condições do solo, como topografia do terreno, umidade e textura permitam desenvolver essa velocidade.

Até 20 dias de idade da lavoura, o produtor deve tomar a decisão de replantá-la se os estandes não estiverem satisfatórios. Como regra prática e geral, toda vez que o estande inicial for reduzido em mais de 20% em relação à recomendação para determinada cultivar, o produtor deve fazer o replantio. Se a redução do estande for igual ou inferior a 20% do ideal, não há necessidade de replantio. As plantas remanescentes compensarão a redução.

### **Colheita**

O ponto ideal para colheita e o período de utilização industrial são determinados através dos valores de Brix, açúcares redutores e totais e percentagem de caldo, na curva de maturação de cada cultivar, ao longo do tempo, a partir do décimo dia após o florescimento até o estágio do grão maduro, e no caso das variedades, de 30 a 60 dias após o florescimento. De acordo

com Schaffert et al. (1980), o sorgo sacarino, após atingir o florescimento, inicia o processo de acúmulo de açúcares em uma taxa mais elevada, até alcançar a maturação fisiológica dos grãos. Nessa época, normalmente, ocorre o máximo no conteúdo de açúcares redutores e totais no caldo e na percentagem de caldo extraível. Estes dois parâmetros, entretanto, constituem um método aproximado de determinação do ponto ótimo de colheita, que pode variar de acordo com a cultivar e as condições ambientais.

Os híbridos, que estão se mostrando aptos para colheita com 100 a 110 dias, são mais precoces que as variedades, que estão prontas para colheita com 110 a 120 dias. É preciso fazer uma pré-análise das lavouras nos períodos acima mencionados, para aferir a qualidade do material quanto aos valores ART, que devem estar com um valor mínimo de 12,5 para iniciar a colheita.

Atualmente, ainda não se dispõe de máquinas adequadas para a colheita mecânica, mas já existem equipamentos que estão sendo projetados/desenvolvidos e em testes no Brasil. Sendo assim, para atender os cultivos em grande escala no momento, os equipamentos de colheita utilizados são de outras culturas, como a cana-de-açúcar e o milho para silagem. Naturalmente, esta adequação sempre traz problemas, como perda de material no campo, excesso de folhas e corte do colmo, sem uma padronização adequada para a moenda. Por isso, como já mencionado anteriormente, o plantio tem sido feito de acordo com o espaçamento necessário para o trânsito destes equipamentos na cultura e, no caso da cana, o espaçamento duplo de 0,60 m/0,90 m tem sido o mais comum. No caso das ensiladeiras, como a colheita pode ser feita tanto na direção da linha como transversalmente, o espaçamento simples de 0,70 m tem sido mais utilizado e mais indicado e, no momento, o comprimento de colmos cortados pode ser feito com até 8 cm, com apenas regulagem do equipamento. Com a demanda do setor industrial para processamento do material colhido (colmo com comprimento de 20 cm) para produção de álcool, os ajustes nos cilindros de corte estão sendo feitos e, futuramente, os cortes poderão ser realizados atendendo as exigências das usinas.

A recomendação de corte de colmos pelos equipamentos de colheita é de 20 cm, considerando que os campos de produção situam-se um pouco distante das moendas, ocorrendo fermentação dos colmos e perda de qualidade do material extraído, se a demora for grande após o corte.

## Adubação

Antonio Marcos Coelho

Considerando-se o gerenciamento da fertilidade do solo, das exigências nutricionais e do manejo da adubação do sorgo sacarino, pode-se dizer que sua eficiência no incremento da produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste dos fatores de construção da produtividade. Assim, a fertilidade dos solos, a nutrição e a adubação são componentes essenciais para a construção de um sistema de produção eficiente. A disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com o requerimento da cultura, em quantidade, forma e tempo. Um programa racional de adubação envolve as seguintes considerações: a) diagnose da fertilidade do solo e histórico de uso das glebas; b) requerimento nutricional do sorgo sacarino; c) padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N, P e K; d) fontes dos nutrientes; e) manejo da adubação.

### **Diagnósticos da fertilidade dos solos e do estado nutricional das plantas**

A Figura 1 esquematiza as diferentes metodologias disponíveis para avaliar a fertilidade dos solos e a nutrição do sorgo da pré-semeadura à colheita. Em geral, a análise de solo é a ferramenta básica e fundamental para determinar os níveis de fertilidade dos solos e diagnosticar as necessidades de aplicação de corretivos e fertilizantes. As análises dos tecidos vegetais possibilitam integrar os efeitos do solo e do ambiente sobre a nutrição das plantas, ampliando a base do diagnóstico, e são de particular importância para os nutrientes cuja dinâmica no solo é complexa, a exemplo do nitrogênio e dos micronutrientes. As informações complementares utilizadas para o

diagnóstico da necessidade de adubação incluem as características do clima da região de cultivo, do manejo do solo e da cultura.

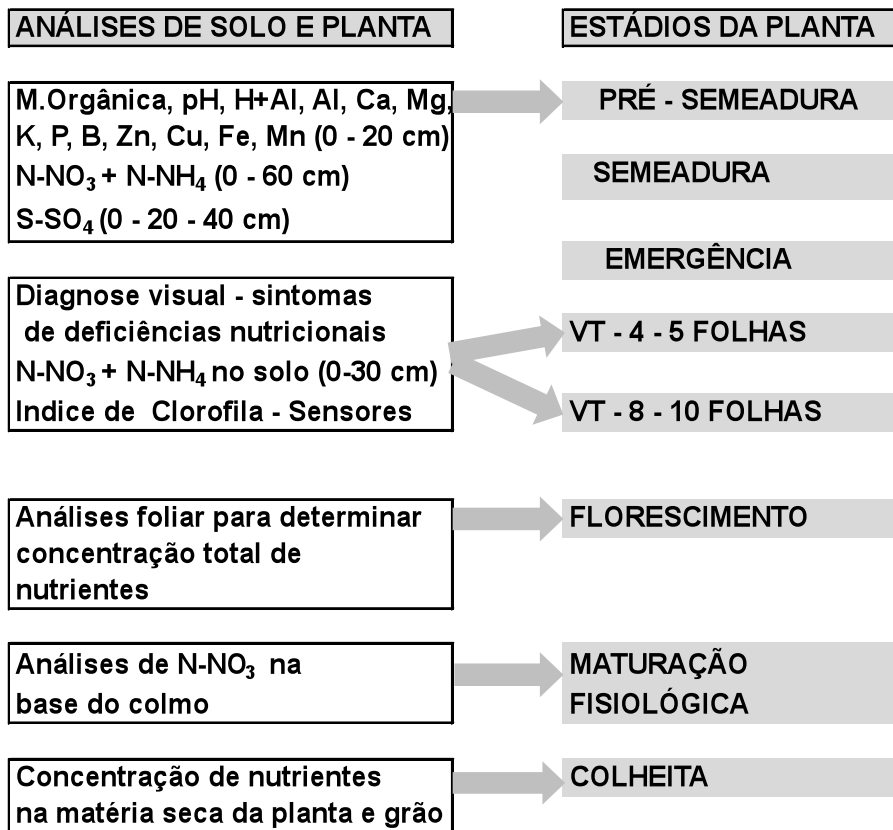


Fig. 1. Metodologias disponíveis para avaliar a fertilidade dos solos e a nutrição do sorgo da pré-semeadura à colheita.

### Acidez do solo e necessidade de calcário e gesso

As recomendações de calagem objetivam corrigir a acidez do solo e tornar insolúvel o alumínio. Elas, aliadas a outras práticas de manejo da fertilidade, têm a função de elevar a capacidade produtiva dos solos. As quantidades de corretivos da acidez do solo são determinadas por diferentes metodologias e visam o retorno econômico das culturas em médio prazo (4 a 5 anos). Como a

calagem é uma prática que envolve sistemas de rotação e sucessão de culturas, na sua recomendação, deve-se priorizar a cultura mais sensível à acidez do solo. Assim, pelos seus efeitos e por sua importância nos diferentes níveis tecnológicos dos diversos sistemas de produção usados no Brasil, o desenvolvimento ou a adaptação de cultivares mais tolerantes à acidez do solo, via melhoramento genético, não elimina o uso do calcário na agricultura.

### **Cálculo da necessidade de calagem**

Os critérios para o cálculo da necessidade da calagem mais utilizados atualmente no Brasil são: “Método da neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis” e “Método da Saturação por Bases”.

### **Método da neutralização do $Al^{3+}$ e da elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$**

Neste método, consideram-se ao mesmo tempo características de solo e exigências das culturas. Ele é mais indicado para solos com  $CTC_{pH7} < 5,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ . A necessidade de calagem é assim calculada:

$$NC = Y[Al^{3+} - m_t \cdot t/100] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \cdot x[100/PRNT] \text{ ----- equação 1.}$$

Sendo: **NC** = necessidade de calcário em t/ha;

**Y** = valor da capacidade tampão da acidez do solo, o qual varia de acordo com a textura do solo: Arenoso: 0,0 a 1,0; Textura média: 1,0 a 2,0; Argiloso: 2,0 a 3,0; Muito argiloso: 3,0 a 4,0;

**$m_t$**  = máxima saturação por  $Al^{3+}$  tolerada pela cultura, em %.

Para a cultura do sorgo este valor é de no máximo 15 %;

**t** = CTC efetiva (somatório de  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ;

**X** = requerimento de Ca + Mg pelas culturas. Para a cultura do sorgo, considerar como adequado o teor de Ca + Mg =  $3,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ .

**PRNT** = poder relativo de neutralização total do corretivo.

### Método da saturação por bases

Neste método, considera-se a relação existente entre o pH e a saturação por bases ( $V$ ) dos solos. Ele é o mais indicado para solos com  $CTC_{pH7} > 5,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ . A necessidade de calagem é assim calculada:

$$NC = [(V_2 - V_1) \times CTC] / PRNT \text{ ----- equação 2.}$$

Sendo: **NC** = necessidade de calcário em t/ha;

$V_2$  = saturação de bases desejada. Para o sorgo, utilizar o valor de  $V_2 = 60 \%$ ;

$V_1$  = saturação de bases atual do solo em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

**CTC** =  $CTC_{pH7}$  em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ .

**PRNT** = poder relativo de neutralização total do corretivo.

### Cálculo da necessidade de gesso agrícola

Embora a toxidez de alumínio na superfície do solo (0 a 20 cm) possa ser corrigida pela aplicação de calcário, sua baixa solubilidade e movimentação no solo impedem, em um curto período de tempo, a eliminação ou redução do alumínio tóxico no subsolo (> 40 cm).

A presença de camadas subsuperficiais com baixos teores de Ca e/ou elevados teores de Al trocáveis pode determinar a perda de safras, principalmente em regiões susceptíveis à ocorrência dos “veranicos”, uma vez que conduzem ao menor aprofundamento do sistema radicular, refletindo em menor volume de solo explorado, ou seja, menos água e nutrientes disponíveis para a planta.

Assim, deve-se buscar o condicionamento do perfil do solo em subsuperfície, principalmente com relação ao fornecimento de cálcio e à redução da toxidez por alumínio por meio da calagem e gessagem. Essa estratégia torna o ambiente edáfico favorável a um maior aprofundamento do sistema radicular, amenizando os efeitos detrimenais dos períodos de déficit hídrico sobre a produtividade.

A tomada de decisão sobre o uso do gesso agrícola deve sempre ser feita com base no conhecimento de algumas características químicas e na textura do solo da camada subsuperficial (20 a 40 cm). Haverá maior probabilidade de resposta ao gesso quando a saturação por  $Al^{3+}$  da CTC efetiva for maior que 20% e/ou o teor de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) menor que  $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  de solo. A necessidade de

gessagem, ou seja, as doses a serem recomendadas para camadas subsuperficiais de 20 cm de espessura, de acordo com o teor de argila dessas camadas, são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Necessidade de gesso de acordo com o teor de argila de uma camada superficial de 20 cm de espessura.

Classe textural	Teor de argila (%)	Doses de gesso (t/ha)
Arenosa	≤ 15	0,0 a 0,4
Média	16 a 35	0,4 a 0,8
Argilosa	36 a 60	0,8 a 1,2
Muito argilosa	61 a 100	1,2 a 1,6

Fonte: Alvarez et al. (1999).

### Recomendação e manejo da adubação

A taxa de aplicação de fertilizantes depende de uma variedade de fatores, incluindo o tipo de solo, o clima, a rotação e sucessão de culturas, a disponibilidade de irrigação, a viabilidade das tecnologias, os programas governamentais e os preços dos fertilizantes e das commodities. Dos fatores que afetam o uso de fertilizantes, a rotação e sucessão de culturas podem ser consideradas as mais importantes devido às diferenças nas exigências nutricionais e à ciclagem dos nutrientes.

Com a introdução do conceito de adubação dos sistemas de produção e não por culturas específicas, pode-se dizer que o manejo dos corretivos da acidez do solo (calcário e gesso), fertilizantes fosfatados, potássicos e micronutrientes são bem definidos. De acordo com as necessidades dos solos e das culturas, estes podem ser manejados através da aplicação a lanço, na pré-semeadura como adubação corretiva no sulco de semeadura, como adubação de manutenção, e em uma combinação desses métodos. Assim, pode-se considerar que em áreas de renovação do canavial, as tecnologias de recuperação da fertilidade dos solos preconizadas para a cana-de-açúcar (calagem, gessagem, adubação fosfatada e potássica corretivas) atendem perfeitamente a cultura do sorgo sacarino.

As sugestões para recomendação de fertilizantes na cultura do sorgo devem seguir tabelas estaduais ou mesmo regionais, pois estas

são adaptadas experimentalmente àquelas. Todavia, neste tópico são apresentadas as recomendações sugeridas pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, e estão resumidas na Tabela 2. Entretanto, devido ao fato de o sorgo sacarino estar ainda em fase de introdução e devido à falta de informações específicas para esta cultura, as recomendações têm sido adaptadas com base nas recomendações para o sorgo forrageiro.

Quando o sorgo for semeado em áreas de renovação do canavial, em que predomina uma grande quantidade de palha de cana crua, com alta relação C/N, deve-se utilizar na sementeira um mínimo 40 kg de N/ha. A adubação nitrogenada em cobertura deve ser efetuada quando as plantas atingirem entre 30 a 40 centímetros de altura (estádio de desenvolvimento V5 a V7 folhas). Nas adubações em coberturas convencionais, se o fertilizante usado for a ureia, esta deve ser incorporada com implementos apropriados a uma profundidade de 5 cm para redução das perdas. Nos casos de uso constante de formulações concentradas e em áreas sem aplicação do gesso agrícola, sugere-se a aplicação de 30 Kg/ha de enxofre por cultivo, utilizando-se uma fonte nitrogenada, como o sulfato de amônio (24% S).

**Tabela 2.** Recomendação de adubação para o sorgo sacarino em função dos teores de fósforo e potássio no solo e expectativas de produtividades de biomassa total.

Produtividade de biomassa	Dose de N (semeadura)	Disponibilidade de fósforo			Disponibilidade de potássio			N (cobertura)
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	
(t/ha)	(kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			K <sub>2</sub> O (kg/ha)			(kg/ha)
< 50	20 - 40	70	50	30	75	60	30	70
50 - 60	20 - 40	80	60	40	100	90	60	100
> 60	20 - 40	90	70	50	150	120	90	140

Fonte: modificada de Alves et al. (1999).

Na adubação fosfatada e potássica de manutenção para a cultura do sorgo, em solos em que os teores de fósforo e potássio



“disponíveis” enquadram-se na classe alta (Tabela 2), pode-se utilizar o conceito da aplicação da dose de acordo com a quantidade removida no produto colhido.

Para o fósforo, considera-se que para cada tonelada de grãos produzida, são exportados de 8 a 10 kg de  $P_2O_5$ . Esse mesmo valor pode ser considerado quando se cultiva o sorgo para produção de biomassa, visto que a exportação de fósforo, quando se cultiva o sorgo para esta finalidade, é semelhante àquela para a produção de grãos, onde se encontra mais de 80% do fósforo absorvido pela cultura.

Para o potássio, as quantidades exportadas variam de acordo com o nível de produtividade. Assim, para produtividades inferiores a 6,0 t de grãos  $ha^{-1}$  tem-se uma exportação média ao redor de 4 kg de  $K_2O$  por tonelada de grãos e para produtividades acima de 8,0 t de grãos  $ha^{-1}$ , a exportação é de 6 kg de  $K_2O$  por tonelada de grãos. Quando o sorgo for destinado à produção de biomassa, a extração média é de aproximadamente 13 kg de  $K_2O$  por tonelada de matéria seca produzida.

Em solos de textura arenosa ou em casos onde a recomendação da adubação potássica for superior a 80 kg de  $K_2O/ha$ , sugere-se que metade da dose deve ser aplicada por ocasião da semeadura e a outra metade juntamente com a adubação nitrogenada de cobertura.

A sensibilidade à deficiência de micronutrientes varia conforme espécie vegetal, cultivares e condições edafoclimáticas. De um modo geral, pode-se classificar o sorgo como tendo uma alta sensibilidade à deficiência de zinco e ferro, média à de boro, manganês e cobre, e baixa sensibilidade à de molibdênio. Malavolta (1994) apresenta a extensão das deficiências de micronutrientes no Brasil. Para cada cultura há um número que expressa uma ideia aproximada da sua frequência. A escala é de 1:10. Por exemplo, no caso do sorgo, Zn e Fe representam a maior frequência, com uma escala de sete.

No Brasil, o zinco é o micronutriente mais limitante à produção do sorgo, sendo a sua deficiência muito comum na região central do

país, onde predominam os solos originalmente sob vegetação de cerrado. Contudo, não se exclui a possibilidade de vir a ocorrer resposta do sorgo aos demais micronutrientes, principalmente em solos arenosos. Na prática, a análise de solo (Tabela 3) é a ferramenta mais importante para o diagnóstico da deficiência de micronutrientes.

**Tabela 3.** Interpretação da análise de solo para micronutrientes

Nível	B <sup>1/</sup>	Cu	Mn	Zn	Fe
Extrator Mehlich1 – mg/dm <sup>3</sup>					
Baixo	< 0,30	< 0,50	< 2,0	< 1,0	< 5,0
Médio	0,30 – 0,50	0,50 – 0,80	2,0 – 5,0	1,0 – 1,6	5,0 – 12,0
Alto	> 0,50	> 0,80	> 5,0	> 1,6	> 12,0
Extrator DTPA – mg/dm <sup>3</sup>					
Baixo	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 1,2	≤ 0,5	≤ 4,0
Médio	0,21 – 0,60	0,30 – 0,80	1,3 – 5,0	0,6 – 1,2	5,0 – 12,0
Alto	> 0,60	> 0,80	> 5,0	> 1,2	> 12,0

<sup>1/</sup>Boro em água quente. Fonte: adaptada de Galvão (2002).

Em solos com teores baixos de micronutrientes (Tabela 3), deve-se aplicar a lanço na semeadura 6 kg/ha de zinco, 2 kg/ha de boro, 2 kg/ha de cobre e 6 kg/ha de manganês. A dose desta adubação poderá ser dividida em três partes iguais aplicadas no sulco de semeadura em três cultivos sucessivos. Quando os teores de micronutrientes no solo se enquadrarem no nível médio (Tabela 3), aplicar ¼ das doses recomendadas para aplicação a lanço, e quando os teores no solo estiverem no nível alto, dispensa-se a adubação com micronutrientes (GALRÃO, 2002). O efeito residual esperado é de quatro a cinco cultivos tanto para a adubação a lanço como para aquela feita parceladamente no sulco de semeadura. Deve-se fazer análise foliar e de solo a cada

três cultivos para verificar se há necessidade de reaplicação dos micronutrientes.

Quando a deficiência é detectada na cultura em desenvolvimento, a correção poderá ser feita com duas pulverizações nos estádios de desenvolvimento vegetativo de V4 e V7 folhas, respectivamente, com 400 l/ha de solução contendo 0,5% de sulfato de zinco, 0,5% de bórax ou 0,3% de ácido bórico, 0,5% de sulfato de cobre, 0,5% de sulfato de manganês (GALRÃO, 2002). As soluções, exceto a de bórax, devem ser neutralizadas com a adição de 0,25% de cal extinta ou cal hidratada.

De acordo com Havlin et al. (1999), a deficiência de ferro é a mais difícil de ser corrigida no campo. Aplicação de fontes inorgânicas de ferro no solo não é eficaz devido à precipitação do Fe em forma insolúvel ( $\text{FeOH}_3$ ). Assim, a deficiência de Fe pode ser corrigida com aplicação foliar de solução de 2% de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ). Entretanto, dependendo do grau de severidade da deficiência, podem ser necessárias de duas a três aplicações com intervalo de sete a 14 dias.

## Controle de plantas daninhas

Décio Karam

Maurilio Fernandes de Oliveira

Alexandre Ferreira da Silva

Um dos principais entraves para a cultura do sorgo tem sido o controle de plantas daninhas, que prejudicam o desenvolvimento da cultura não apenas pela competição por água e luz, mas também pelos nutrientes, principalmente o nitrogênio. As plantas daninhas têm gerado, quando em alta infestação, alto grau de interferência (ação conjunta da competição e da alelopatia) podendo a redução de grãos alcançar até 70% (SILVA et al., 1986) a 84,6 % (RODRIGUES et al., 2010).

O manejo integrado de plantas daninhas, independentemente da cultura a ser implementada, deve ter como objetivos: reduzir as

perdas de produção impostas pela interferência destas plantas, reduzir as perdas indiretas na colheita ocasionadas pela presença das plantas daninhas, reduzir o banco de sementes no solo e proteger o meio ambiente. Dentre os métodos existentes para se utilizar o manejo integrado, temos:

### **Método Preventivo**

O controle preventivo objetiva evitar a introdução ou a disseminação de plantas daninhas na área de produção. Neste caso, o produtor deve ter o cuidado de utilizar sementes de qualidade e boa procedência, livres de sementes de plantas daninhas, de fazer a limpeza de máquinas e equipamentos agrícolas antes de movimentá-los de um campo para outro e de interromper o ciclo reprodutivo das invasoras presentes em cercas, pátios, estradas, terraços, canais de irrigação ou em qualquer outro lugar da propriedade

### **Método Cultural**

O método cultural deve ser utilizado como uma técnica de manejo importante, pois em relação aos demais possui baixo custo e faz parte, naturalmente, dos sistemas de produção. O método cultural visa a aumentar a capacidade competitiva das plantas de sorgo em relação às plantas daninhas. Para isso, podem ser empregados: espaçamento mais reduzido entre as fileiras de plantio; maior densidade de semeadura; época adequada de plantio; variedades adaptadas às regiões de cultivo; coberturas mortas; adubações adequadas.

### **Método Mecânico**

#### **Capina Manual**

É um método amplamente utilizado em pequenas propriedades: são usadas de duas a três capinas com enxada durante os primeiros 40 a 50 dias da lavoura. A partir daí, o crescimento do sorgo contribuirá para a redução das condições favoráveis à germinação e ao crescimento/desenvolvimento das plantas daninhas. A capina deve ser realizada com o solo seco, preferencialmente em dias quentes. Cuidados devem ser tomados para se evitar danos às plantas, principalmente às suas raízes.

### **Capina Mecânica**

Cultivadores (tracionados por animal ou trator) ainda são equipamentos utilizados no controle de plantas daninhas na cultura do sorgo. O cultivo mecânico apresenta as desvantagens de causar prejuízos ao sistema radicular e não eliminar as plantas daninhas na fileira de plantio. O cultivo mecânico é incompatível também com o sistema de plantio direto, ficando restrito aos plantios no sistema convencional de aração e gradagem.

### **Controle Químico**

O método de controle químico consiste na utilização de produtos herbicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Em alguns casos, as Secretarias Estaduais de Agricultura podem baixar portarias proibindo o uso de determinados produtos. Os herbicidas registrados no MAPA para uso na cultura do sorgo estão apresentados na Tabela 1. As espécies que possuem registro de controle para a cultura do sorgo encontram-se apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 1.** Produtos comerciais registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para uso na cultura do sorgo.

Produto Comercial	Ingrediente ativo (Grupo Químico)	Concentração.	Classe toxicológica	Classe ambiental	Dose P.C. <sup>1</sup> (l ou kg ha <sup>-1</sup> )	Modo de Aplicação
Atranex WG <sup>2</sup>	atrazina (triazina)	900 g kg <sup>-1</sup>	I	III	2,0 – 3,0	Pós-emergência
Atrazina Nortox 500 SC	atrazina (triazina)	500 g l <sup>-1</sup>	II	II	3,0 – 6,5	Pré/Pós-emergência
Coyote WG <sup>2</sup>	atrazina (triazina)	900 g kg <sup>-1</sup>	I	III	2,0 – 3,0	Pós-emergência
Gesaprim GrDa <sup>3</sup>	atrazina (triazina)	880 g kg <sup>-1</sup>	II	II	2,0 – 3,0	Pré/Pós-emergência
Gesaprim 500 Ciba-Geigy <sup>3</sup>	atrazina (triazina)	500 g l <sup>-1</sup>	IV	II	4,0 – 5,0	Pré/Pós-emergência
Herbitrin 500 BR <sup>4</sup>	atrazina (triazina)	500 g l <sup>-1</sup>	II	II	4,0 – 5,0	Pós-emergência inicial
Proof	atrazina (triazina)	500 g l <sup>-1</sup>	IV	II	4,0 - 5,0	Pré/Pós-emergência

**Adaptado de:** Brasil (2012)

<sup>1</sup>P.C. – produto comercial

<sup>2</sup>Adicionar 1,0 l ha<sup>-1</sup> de óleo vegetal agrícola

<sup>3</sup> não aplicar em pré-emergência do sorgo quando em solos arenosos

<sup>4</sup>Adicionar 0,5 a 1,5 l ha<sup>-1</sup> de óleo vegetal agrícola

**Tabela 2.** Relação de espécies registradas com possibilidade de uso de controle químico na cultura do sorgo.

Espécies	Atranex WG	Atrazina Nortox 500 SC	Coyote WG	Gesaprim GrDa	Gesaprim 500Ciba- Geigy	Herbitrin 500 BR	Proof
Acanthospermum australe	X		X				
Acanthospermum hispidum	X	X	X		X	X	X
Ageratum conyzoides	X		X		X	X	X
Alternanthera tenella	X		X		X	X	X
Amaranthus hybridus	X	X	X		X	X	X
Amaranthus viridis		X					
Avena strigosa	X		X				
Bidens pilosa	X	X	X		X	X	X
Brachiaria plantaginea	X	X	X		X	X	X
Cenchrus echinatus		X					
Commelina benghalensis	X		X		X	X	X
Cyperus sesquiflorus		X					
Desmodium adscendens		X					
Desmodium tortuosum	X		X		X	X	X
Digitaria horizontalis	X	X	X				
Eleusine indica	X	X	X				
Emilia sonchifolia	X		X		X	X	X
Euphorbia heterophylla	X		X		X	X	X
Gallinsoga parviflora	X		X		X	X	X

continuação Tabela 2

Espécies	Atranex WG	Atrazina Nortox 500 SC	Coyote WG	Gesaprim GrDa	Gesaprim 500Ciba- Geigy	Herbitrin 500 BR	Proof
<i>Glycine max</i>	X		X				
<i>Hyptis lophanta</i>	X		X		X	X	X
<i>Hyptis suaveolens</i>					X	X	X
<i>Indigofera hirsuta</i>					X		X
<i>Ipomoea aristolochiaefolia</i>					X	X	X
<i>Ipomoea grandifolia</i>	X		X				
<i>Ipomoea purpurea</i>					X	X	X
<i>Melampodium divaricatum</i>		X					
<i>Melampodium perfoliatum</i>		X					
<i>Murdannia nudiflora</i>						X	
<i>Nicandra physaloides</i>	X		X		X	X	X
<i>Portulaca oleracea</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Raphanus raphanistrum</i>	X	X	X		X	X	X
<i>Richardia brasiliensis</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Sida cordifolia</i>		X					
<i>Sida rhombifolia</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Spermacoce latifolia</i>	X		X				
<i>Triticum aestivum</i>	X		X				

Adaptado de: Brasil (2012)



## Efeito Residual

De acordo com a estrutura química e com as condições edafoclimáticas, os herbicidas podem ser totalmente degradados ou podem deixar resíduos no solo que podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento das culturas em sucessão. No caso da cultura do sorgo, considerada, em alguns casos, planta-teste em estudos de resíduo de herbicidas, deve-se tomar cuidados especiais observando-se sempre os herbicidas utilizados na cultura antecessora. Este é o caso de dinitroanilinas (pendimethalin e trifluralin), imidazolinonas (imazaquin e imazethapyr), sulfonilureias (chlorimuron-ethyl e nicosulfuron), dentre outros. Resíduos destes herbicidas, acumulados ou não ao longo de várias aplicações, podem reduzir o sistema radicular do sorgo e, conseqüentemente, a sua produtividade.

## Plantio direto

Na escolha de se implementar a cultura em sistema de plantio direto o manejo de plantas daninhas poderá ser realizado através de métodos mecânicos, como o rolo faca, o picador de palha ou a roçadeira ou, ainda, através da dessecação com herbicidas de manejo. Na maioria dos casos, os herbicidas utilizados para o manejo após a colheita são à base de glyphosate, 2,4D, paraquat e paraquat + diuron. Alguns produtores têm utilizado, para complementar o espectro de controle das plantas daninhas, associações com outros herbicidas, como chlorimuron-ethyl, carfentrazone-ethyl e flumioxazin, ou mesmo a mistura formulada de glyphosate + imazethapyr. Neste caso, deve-se lembrar sempre da questão do efeito residual, visto que o sorgo é uma planta sensível a vários herbicidas.

As aplicações dos herbicidas, para que os produtores tenham uma melhor eficácia deverão, na maioria das vezes, ser realizadas quando as plantas não estiverem em estresse hídrico, em temperatura ambiente no momento nunca inferior a 10 °C e superior a 35 °C, sendo a temperatura ideal entre 20 e 30 °C, com umidade relativa do ar não inferior a 60% e nunca com ventos superiores a 10 km/h.

A utilização de herbicidas deve ser acompanhada por um técnico responsável e os produtos utilizados devem estar registrados no

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e cadastrados na secretaria de Agricultura de cada estado.

### **Normas gerais para o uso de defensivos agrícolas**

Antes da aquisição de qualquer herbicida, deve ser feita uma avaliação correta do problema e da necessidade da aplicação. Não se deve adquirir nenhum defensivo agrícola sem receituário agrônomo. Deve-se verificar a data de validade, evitando comprar produtos vencidos e com embalagens danificadas. Lembrar de que embalagens vazias de defensivos devem ser retornadas a locais apropriados e definidos (buscar orientação com o vendedor do defensivo).

## **Controle de pragas**

Simone Martins Mendes

Paulo A. Viana

Ivan Cruz

José Magid Waquil

O sorgo sacarino tem-se mostrado bastante sensível ao ataque de insetos-pragas durante o ciclo de cultivo. Como a parte de interesse econômico da planta é o colmo para extração do caldo, apenas as espécies-pragas que atacam o sorgo durante sua instalação e seu desenvolvimento vegetativo têm ameaçado o sucesso dessa cultura. Um dos fatores-chave no sistema de produção é manejar a ocorrência dessas pragas de forma a minimizar os prejuízos com a adoção de estratégias de manejo eficientes.

Antes de se iniciar o plantio da lavoura é importante verificar o histórico da incidência de pragas na região e em cada gleba, inclusive nas lavouras de cana-de-açúcar, milho e milheto, tanto em cultivos anteriores como em áreas adjacentes, pois as principais espécies-pragas são comuns a essas culturas. Uma etapa fundamental nesse processo é o reconhecimento das espécies de insetos fitófagos com potencial de causar danos nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, bem como de seus principais inimigos naturais.

A diferença de suscetibilidade das plantas em cada estágio de desenvolvimento aponta para as possíveis espécies de insetos-pragas associadas. Assim, os insetos fitófagos, que podem atacar a cultura do sorgo sacarino, foram separados em dois grupos: a) pragas iniciais e b) pragas da fase vegetativa.

### Pragas iniciais

São considerados insetos-pragas da fase inicial aqueles que atacam desde a semente até as fases V2/V3. Essas pragas podem ser divididas em dois subgrupos:

1- Insetos-pragas que atacam a parte subterrânea das plantas que, normalmente, são mais difíceis de serem observados. Os danos causados por estas pragas contribuem de várias maneiras para a redução da produtividade. A destruição de semente e da plântula provoca redução na população de plantas. Também pode ocorrer a redução do vigor da planta e a redução do sistema radicular, contribuindo para o maior acamamento e diminuição drástica do índice de colheita. As principais pragas subterrâneas são: peludinha (*Astyllus variegatus*); larva-aramé (*Conoderus scalaris*) (Figura 1); corós ou bicho-bolo, que são larvas de várias espécies de besouros dos gêneros *Eutheola*, *Dyscinetus*, *Stenocrates*, *Diloboderus*, *Cyclocephala*, *Phytalus* e *Phyllophaga* (Figura 2) e larvas de *Diabrotica* (*Diabrotica speciosa* e *D. viridula*).

**Fig. 1** Pragas subterrâneas: peludinha (*Astyllus variegatus*) e larva-aramé (*Conoderus scalaris*).



Foto: Paulo Viana

Foto: Charles M. de Oliveira



**Fig. 2** Corós (larvas de besouros dos gêneros *Eutheola*, *Dyscinetus*, *Stenocrates*, *Diloboderus*, *Cyclocephala*, *Phytalus* e *Phyllophaga*).

Foto: Paulo Viana



**Fig. 3.** Lagarta-elasma.

2- Insetos-pragas que atacam a planta na fase inicial de desenvolvimento dela, como a lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*) e formigas. O sintoma de dano típico da lagarta-elasma é o coração-morto, que pode aparecer nos estádios V5/V6 e que se caracteriza pelas folhas novas centrais murchas e pelas velhas externas normais, resultando na seca das folhas centrais e morte ou perfilhamento da plântula (Figura 4). Os danos causados pelas formigas caracterizam-se por plantas cortadas na superfície do solo ou por folhas recortadas sempre a partir das bordas do limbo foliar.

Foto: Paulo Viana



**Fig. 4** Planta com sintoma de coração-morto causado por elasma (*Elasmopalpus lignosellus*).

## Medidas de controle

O procedimento para se detectar a presença do coró ou bicho-bolo é semelhante ao usado para a larva-aramé e pode ser feito simultaneamente. Antes do preparo do solo ou do semeio, amostras de 30 x 30 cm de solo devem ser observadas, passando-as por uma peneira. A média de uma larva por amostra é suficiente para causar dano significativo. Neste caso, o tratamento do solo com inseticidas é necessário. As seguintes medidas culturais de controle podem ser adotadas: o preparo antecipado da área pela exposição à predação ou dessecação das larvas, a eliminação de hospedeiros alternativos e plantas voluntárias ou a destruição dos restos de cultura anteriores após a colheita. Já para mitigação do problema das pragas iniciais, recomenda-se a realização do tratamento de sementes. Existem no mercado atualmente dois produtos para esse tratamento do coró e da larva-aramé na lavoura de sorgo, cujos princípios ativos são: *imidacloprido* (neonicotinoide) + *tiodicarbe* (metilcarbamato de oxima) e *tiodicarbe* (metilcarbamato de oxima) (BRASIL, 2012). A medida de controle inicial é essencial, visando a manutenção do estande recomendado e a obtenção do potencial produtivo.

## Pragas da fase vegetativa

### Pulgões

Duas espécies de pulgões são encontradas em lavouras de sorgo sacarino: o pulgão-verde (*Schizaphis graminum*) e o pulgão-do-milho (*Rhopalosiphum maidis*). A reprodução deles ocorre num período de tempo relativamente curto. Assim, como os insetos possuem alto potencial biótico, podem formar grandes colônias e causar danos expressivos. Os danos podem ser diretos, devido à sucção de seiva das plantas, ou indiretos, pela transmissão de vírus, como o do mosaico-da-cana-de-açúcar, induzidos pelos pulgões adultos e alados durante a picada de prova no início da colonização ou na dispersão na lavoura.

### **Pulgão-verde (*S. graminum*)**

Apresenta coloração verde-limão, com três riscas mais escuras no dorso e alimenta-se na face inferior ou bainha das folhas mais maduras das plantas (Figura 5). Na face superior das folhas, podem ser observadas manchas bronzeadas ou necrosadas. Devido à intensa sucção de seiva, os insetos produzem um volume significativo de excrementos, que cobrem as folhas inferiores, deixando-as pegajosas ou cobertas com uma camada escura denominada fumagina. Tanto os adultos como as ninfas do pulgão-verde sugam a seiva das folhas e introduzem toxinas que provocam bronzeamento e morte da área afetada ou, dependendo da infestação, podem causar a morte da planta. Esses insetos demoram em torno de 11 a 12 dias para completar a fase jovem.

Foto: Octavio G. Araújo



**Fig. 5** Pulgão-verde (*S. graminum*).

### **Pulgão-do-milho (*R. maidis*)**

Apresenta coloração verde-escuro, com tonalidade que vai da azulada à negra, e extremidades das pernas muito escuras (quase pretas) (Figura 6). Adultos e ninfas dessa espécie preferem infestar as região meristemática da planta, permanecendo, na maioria das vezes, no cartucho. Durante a alimentação, posiciona-se na face superior da folha. Esta espécie completa a fase jovem em plantas do sorgo sacarino em cerca de 6 dias e coloca de 6 a 7 ninfas por dia na fase adulta.

Fig. 6 Pulgão-do-milho (*R. maidis*).



Foto: Simone Mendes

## Lepidópteros-praga

### Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*)

A lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) tem sido diagnosticada como uma das mais nocivas pragas em lavouras de sorgo sacarino no Brasil. Esses insetos são lagartas de mariposas encontradas, normalmente, dentro do cartucho das plantas durante o dia e com atividade intensa durante a noite. As fêmeas, depois do acasalamento, depositam massas de ovos (aproximadamente 150 ovos/postura) nas folhas. Após a eclosão, as lagartas de primeiro ínstar raspam o limbo foliar e migram para o cartucho da planta ovipositada e das plantas adjacentes (Figura 7). As folhas novas são danificadas dentro do cartucho e quando se abrem apresentam lesões simétricas nos dois lados do limbo foliar (Figura 8). Nos dois últimos ínstares, as lagartas consomem grande quantidade de alimento e provocam os maiores danos.

Fig. 7 Lagarta-do-cartucho.



Foto: Simone Mendes

Foto: Simone Mendes



**Fig. 8** Planta de sorgo atacada pela lagarta-do-cartucho.

Ensaio preliminares realizados na Embrapa Milho e Sorgo mostraram que os insetos levaram cerca de 20 dias desde a fase de ovo até a fase adulta, em plantas de sorgo sacarino. É possível perceber que os sintomas de danos e a sobrevivência dessa praga são variáveis de acordo com a cultivar de sorgo sacarino utilizada. Assim, uma alternativa viável para o produtor é a utilização de mais de uma cultivar de sorgo sacarino na mesma área, além de considerar o monitoramento como medida auxiliar de verificação da existência da lagarta em cada cultivar ou área plantada.

### **Broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*)**

Os adultos desta praga são mariposas que ovipositam nas folhas do sorgo e de outras *Poaceae* (gramíneas), sendo também praga importante nas culturas da cana-de-açúcar, do milho e do arroz. Após a eclosão, as lagartas raspam o limbo foliar e dirigem-se internamente para a base da bainha das folhas, por onde penetram no colmo e, ao se alimentarem, formam galerias. Estas galerias normalmente são verticais e ascendentes ou podem ser circulares, seccionando o colmo. Em ambos os casos, as galerias podem ser contaminadas por fungos que provocam uma reação vermelha no interior do colmo, contribuindo para aumentar os danos (Figura 9).



**Fig. 9** Colmos da planta de sorgo sacarino atacados pela broca-do-colmo.



Foto: Simone Mendes

No início de desenvolvimento da cultura, os danos são semelhantes aos causados pela lagarta-elasmó, cujo sintoma é conhecido como coração-morto. Em plantas mais desenvolvidas, os danos podem causar tombamento das plantas, com sintomas conhecidos como pescoço-de-ganso, ou plantas com colmos quebrados.

A broca-da-cana-de-açúcar é polífaga, isto é, pode ser encontrada em cerca de 65 espécies vegetais, incluindo pastagens de importância econômica, além de cana-de-açúcar, milho, milheto, sorgo sacarino, trigo, entre outras, causando perdas econômicas consideráveis nesses cultivos. A broca provoca danos diretos e indiretos, sendo os diretos decorrentes da alimentação dela dos tecidos da planta, que podem apresentar perda de peso, abertura de galerias, morte da gema apical, tombamento dos colmos, encurtamento do entrenó, enraizamento aéreo e germinação das gemas laterais. Esses danos podem ocorrer isolados ou associados. Já os danos indiretos estão relacionados com a entrada de microrganismos oportunistas, como os fungos *Fusarium moniliforme* e *Colletotricum falcatum*, que promovem a inversão da sacarose e a diminuição da pureza do caldo, levando a um menor rendimento de açúcar e a contaminações da fermentação alcoólica, com menor rendimento em etanol. Além disso, há quebraimento das plantas, que pode ser agravado por ventos fortes e plantios muito adensados.

## Medidas de controle

Para o controle da broca-da-cana-de-açúcar, como não existe o NDE (Nível de Dano Econômico) estabelecido para sorgo sacarino, as recomendações são no sentido de minimizar os danos causados pela infestação desse inseto-praga. A utilização do controle biológico deve ser a estratégia de manejo prioritária e tem mostrado relativo sucesso nas lavouras acompanhadas até o momento. Ainda não existem inseticidas registrados para o controle dessa praga de sorgo sacarino.

O monitoramento das lavouras deve ser implementado, para verificar a ocorrência de insetos em cada lavoura. Na vistoria realizada pelo monitoramento na áreas ou lavouras, recomenda-se caminhar em zigue-zague, sobretudo no estágio inicial (1º mês), observando a ocorrência de lagartas desfolhadoras, como a *S. Frugiperda*, sugadores, como os pulgões *R. maidis* e *S. Graminum*, e sintomas do ataque da broca-da-cana (*D. saccharalis*).

Além disso, recomenda-se, com a ajuda de especialista na área, a utilização de armadilhas contendo ferômonio sintético para monitorar os adultos dessas espécies e assim inferir sobre a população de *S. frugiperda* e de *D. saccharalis*. A recomendação é de uma armadilha para cada 5 hectares, para ambos os casos. Contudo, na impossibilidade de fazê-lo nessa proporção, é importante que se tenham os dados de monitoramento dos adultos por talhão, pois serão úteis na tomada de decisão sobre usar ou não determinada medida de controle.

Como os níveis de dano econômico ainda não estão estabelecidos, e para otimizar os resultados encontrados, recomenda-se atenção no monitoramento e no controle geral das pragas.

Com relação à lagarta-do-cartucho, a semelhança do ataque no milho e das perdas ocasionadas sugerem para o sorgo sacarino níveis de controle semelhantes aos adotados para a cultura do milho, ou seja, em torno de 20% de plantas com lagartas pequenas. Para o eficiente controle químico dessa praga, é importante que o

produto atinja o interior do cartucho da planta. Portanto, recomenda-se a pulverização com inseticidas em alto volume. Produtos com ação de profundidade tendem a ser mais eficientes no controle de *S. frugiperda*. Deve-se estar atento para usar produtos seletivos como forma de evitar o desequilíbrio biológico, pois isso pode resultar numa alta infestação na planta do sorgo sacarino pelo pulgão-verde.

As opções de produtos disponíveis para o controle podem ser consultadas no site [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons) (BRASIL, 2012).

Para o manejo da broca, como não existe o NDE (Nível de Dano Econômico) estabelecido para sorgo sacarino, as recomendações são no sentido de minimizar os danos causados pela infestação desse inseto-praga. A utilização do controle biológico deve ser a estratégia de manejo prioritária e tem mostrado relativo sucesso nas lavouras acompanhadas até o momento, sobretudo porque não existem inseticidas registrados para o controle dessa praga, na cultura do sorgo, até a presente safra.

A utilização de liberações inundativas de parasitoides de ovos com *Trichogramma* spp, na fase inicial da infestação, é uma medida que promove a redução da infestação de lagartas na lavoura, uma vez que o ciclo da cultura é curto e não suporta medidas de controle tardias. Além disso, o parasitoide de larvas *Cotesia* spp. deve compor as liberações, com o intuito de reduzir a infestação na área cultivada. Nesse caso, as avaliações com armadilhas de feromônio são importantes para monitorar o funcionamento e a necessidade das liberações com parasitoides.

É importante ressaltar que o sorgo apresenta problemas de fitotoxidez a algumas moléculas. Sendo assim, deve-se evitar o uso de parathion e produtos não registrados para a cultura. Além disso, o sorgo é uma cultura que naturalmente é visitada por grande número de inimigos naturais, que contribuem para a manutenção das pragas abaixo do NDE, por isso, deve-se priorizar a aplicação de produtos seletivos a esses insetos.

## Principais inimigos naturais

Entre os inimigos naturais mais importantes no agroecossistema durante o desenvolvimento do sorgo, pode-se destacar predadores como a tesourinha (*Doru luteipes*), crisopídeos (*Chrysoperla externa*), larvas de Syrphidae, percevejos (*Orius insidiosus* (Figura 10) e *Geocoris* sp.) e várias espécies de Coleoptera das famílias Coccinelidae, joaninhas (Figura 11) e Carabidae. Existem, também, várias espécies de parasitoides (um ou vários indivíduos que se desenvolvem em um único hospedeiro) e microrganismos (fungos, bactérias, vírus, nematoides, etc.) que desempenham papel importante no controle de espécies-alvo para o sorgo. Neste grupo, deve-se dar ênfase à ação dos parasitoides do gênero *Aphidius*, que desempenham papel importante no controle de pulgões. Entretanto, nos levantamentos realizados em lavouras comerciais de sorgo, é preponderante o papel dos predadores na redução da população de pulgões.

Foto: Simone Mendes



**Fig. 10** Ninfa do percevejo predador *Orius insidiosus* se alimentando de *Spodoptera frugiperda*.

Foto: Simone Mendes



**Fig. 11** Joaninha da família Coccinelidae.

## Controle de doenças

Dagma Dionísia da Silva

Luciano Viana Cota

Rodrigo Vêras da Costa

As doenças que atacam a cultura do sorgo sacarino são praticamente as mesmas que infectam os outros tipos de sorgo (granífero, pastejo e silageiro), as quais, dependendo do grau de infestação, podem ser limitantes à produção, de acordo com as condições ambientais e a suscetibilidade de cada cultivar. Em função das condições climáticas e da região em que o sorgo sacarino for cultivado, pode ocorrer o ataque de patógenos causadores de doenças foliares e da panícula, de agentes causais de doenças sistêmicas e de fungos de solo causadores de podridões radiculares e viroses. Dentre as doenças que afetam a cultura, em especial a do sorgo sacarino, no Brasil, destacam-se como importantes a antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), o míldio (*Peronosclerospora sorghi*), a helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*), a ferrugem (*Puccinia purpurea*), o ergot ou doença açucarada (*Claviceps africana*) e a podridão seca (*Macrophomina phaseolina*).

Na sequência, será apresentada uma breve descrição das principais doenças da cultura do sorgo sacarino no Brasil, focando nos aspectos de importância e distribuição, sintomatologia, epidemiologia e controle das doenças.

### **Doenças da parte aérea**

#### **Antracnose (*Colletotrichum sublineolum*)**

A antracnose é uma das doenças mais importantes da cultura, estando presente em praticamente todas as áreas de plantio no Brasil. As perdas na produção podem ser superiores a 70%. Ela tem sido constatada em cultivares suscetíveis, em anos e locais favoráveis ao desenvolvimento e à disseminação da doença.

Os sintomas típicos dela são lesões de forma elíptica a circular, com até 5 mm de diâmetro, de coloração palha, com margens

avermelhadas, alaranjadas, púrpura-escuras ou castanhas, dependendo da cultivar, no centro das quais desenvolvem-se numerosos acérvulos. As Figuras 1A, 1B e 1C, mostram as diversas formas como a doença ataca a planta.

Fotos: Luciano Viana Cota



**Fig. 1** Antracnose foliar com lesões coalescentes (A), Antracnose na nervura central da folha (B) e plantas completamente necrosadas pelo ataque do patógeno (C).

### Fatores que favorecem a doença

A antracnose ataca mais severamente as plantas durante períodos prolongados de temperatura e umidade elevadas, principalmente se estas fases coincidirem com a formação dos grãos. O agente etiológico da doença, o fungo *C. sublineolum*, pode sobreviver em restos de cultura e em sementes infectadas. A disseminação do patógeno ocorre através de vento e de respingos de chuvas.

### Medidas de controle

A principal medida de manejo da doença é o plantio de cultivares geneticamente resistentes, à qual se deve associar o uso da rotação de culturas e a eliminação de restos culturais e de outras

gramíneas hospedeiras da antracnose. A rotação de híbridos tem sido uma estratégia eficiente para o manejo da antracnose em híbridos suscetíveis e para o aumento da vida útil dos resistentes. Existem fungicidas eficientes no controle da doença, que não são registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para a cultura do sorgo.

### **Helmintosporiose (*Exserohilum turcicum* )**

A helmintosporiose ocorre com maior frequência antes da emergência da panícula e pode ocasionar perdas superiores a 50% na produção. O sorgo sacarino poderá ser severamente atacado por esta doença em função da época de plantio (verão) visando cobrir a entressafra da cana. Os sintomas da doença são lesões alongadas de formato elíptico, púrpuro-avermelhadas ou cinza-amareladas, que se desenvolvem inicialmente nas folhas inferiores (Figura 2A). Em ataques severos, pode ocorrer queima de toda a parte aérea das plantas (Figura 2B).

**Fig. 2** Sintomas da helmintosporiose em folha de sorgo (A) e em plantas de sorgo sacarino (B).



Fotos: Luciano Viana Coita

### **Fatores que favorecem a doença**

O fungo *E. turcicum* sobrevive como micélio e conídios em restos culturais infectados deixados no solo. Os conídios podem ser transportados a longas distâncias pelo vento e são responsáveis pela disseminação da doença, que é favorecida por temperaturas amenas, entre 18 e 27 °C, e pela ocorrência de chuvas. Pelo fato de ela ser favorecida por temperaturas baixas, a doença tem se tornando umas das principais doenças do sorgo, especialmente em plantios fora de época.

## Medidas de controle

O manejo da doença é realizado com plantio de cultivares resistentes e rotação de culturas com hospedeiros não suscetíveis. O controle químico é eficiente para esse monitoramento, no entanto, a exemplo da antracnose não existem produtos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

## Míldio-do-sorgo (*Peronosclerospora sorghi*)

O míldio é uma doença com ampla faixa de adaptação climática, sendo encontrada em todas as regiões de plantio de sorgo sacarino, e de outros tipos, no Brasil.

A doença ocorre na forma de infecção sistêmica e localizada, sendo que no primeiro caso os sintomas típicos de infecção são a formação de faixas paralelas em tecidos verdes alternadas com áreas de tecidos cloróticos. As Figuras 3A, 3B e 3C mostram as várias formas de infecção da doença.

Fotos: Luciano Viana Cota



**Fig. 3** Infecção sistêmica (A), infecção localizada (B), estágio mais avançado da infecção sistêmica (C).

## Fatores que favorecem a doença

O patógeno produz, em plantas com infecção sistêmica, estruturas de resistência denominadas oósporos, os quais são liberados ao solo através das folhas e nele sobrevivem por longos períodos e irão infectar plantas suscetíveis no próximo plantio. Outro agente de disseminação são os conídios, que disseminam a doença dentro de uma lavoura.



### Medidas de controle

O manejo da doença é realizado com uso de sementes saudáveis e a utilização de cultivares resistentes. A aração profunda pode favorecer a decomposição dos oósporos presentes no solo. O tratamento de sementes com produtos à base de metalaxyl é eficiente para o controle do patógeno.

### Ferrugem (*Puccinia purpurea*)

A ferrugem está distribuída por todas as áreas de plantio de sorgo do Brasil, sendo maior a sua incidência na região Sudeste. Os sintomas típicos da doença são a formação de pústulas de coloração castanho-avermelhada com cerca de 2,0 mm de comprimento que se distribuem paralelamente e entre as nervuras das folhas. Pústulas mais desenvolvidas rompem-se liberando o patógeno infeccioso (Figura 4).

Fig. 4. Ferrugem-do-sorgo.



Foto: Luciano Viana Cota

### Fatores que favorecem a doença

Os uredósporos de *P. purpurea* têm vida curta na ausência do hospedeiro vivo e são disseminados pelo vento. As mesmas condições que favorecem a antracnose são também favoráveis à ocorrência da ferrugem.

### Medidas de controle

O controle é realizado com o plantio de cultivares resistentes, medida mais eficiente de manejo em áreas de alta incidência da doença.

### **Cercosporiose (*Cercospora fusimaculans*)**

A cercosporiose é encontrada em áreas onde predominam condições quentes e úmidas, durante o ciclo da cultura. Esta doença pode causar danos na área foliar do sorgo em cultivares suscetíveis.

Os sintomas aparecem, principalmente, após o florescimento. As lesões nas folhas são alongadas, limitadas pelas nervuras e de coloração vermelho-escura ou amarelada, dependendo da cultivar. O sintoma típico consiste no aparecimento, no interior das lesões, de pequenas áreas necrosadas circulares, dando à lesão a aparência de uma corrente ou de um rosário (Figura 5).



Foto: Luciano Viana Cota

Fig. 5. Cercosporiose-do-sorgo.

### **Fatores que favorecem a doença**

O fungo sobrevive no solo em restos de cultura infectada, em plantas remanescentes de sorgo, em sementes e em espécies de sorgo silvestre. Condições quentes e úmidas favorecem o desenvolvimento e a disseminação do patógeno. O fungo é disseminado pelo vento e pela chuva.

### **Medidas de controle**

A cercosporiose é controlada eficientemente pela rotação de culturas e pelo uso de cultivares resistentes.

### **Mancha-de-ramulispora (*Ramulispora sorghi*)**

A doença tem se manifestado esporadicamente no Brasil, porém, a incidência e a severidade da mancha-de-ramulispora têm

aumentado de importância principalmente nos plantios de sucessão à cultura de verão e em regiões onde as condições de temperatura e umidade altas prevalecem durante o ciclo da cultura (plantios de janeiro e fevereiro). O patógeno infecta somente as espécies de sorgo, tais como *S. bicolor*, *S. halepense* e *S. purpureosericeum*. Os sintomas característicos desta doença são lesões necróticas de forma elíptica, alongadas. A presença de halo amarelado nas lesões e de numerosos pontos negros confere à planta um aspecto fuliginoso (Figura 7), e é o que diferencia a mancha-de-ramulispورا da helmintosporiose.

Fig. 7. Mancha-de-ramulispورا.



Foto: Luciano Viana Cota

### Fatores que favorecem a doença

O patógeno sobrevive no solo e em restos de cultura na forma de escleródios. Em condições favoráveis, estes germinam, produzindo grande quantidade de conídios, que são disseminados pelo vento e pela chuva para as folhas novas e para outras plantas.

### Medidas de controle

Para o controle da mancha-de-ramulispورا, recomenda-se a utilização de cultivares resistentes e rotação de culturas. Eliminação ou enterrio dos restos de cultura são importantes para a redução do inóculo inicial para o desenvolvimento da doença.

## **Doenças do colmo e do pedúnculo do sorgo** **Antracnose-do-colmo (*Colletotrichum sublineolum*)**

Antracnose no colmo é uma das mais importantes doenças da cultura do sorgo comum e sacarino, por causa da sua ocorrência generalizada e sua capacidade de reduzir, sensivelmente, a produção e a qualidade dos colmos e grãos. No Brasil, ela está presente em todas as áreas de plantio de sorgo, podendo causar perdas superiores a 70% na produção de colmos e de grãos em cultivares suscetíveis e sob condições ambientais favoráveis.

O patógeno da antracnose incide nas folhas, no pedúnculo, no colmo, na panícula, nos grãos e nas raízes. Várias espécies de gramíneas, entre as quais as várias espécies de sorgo, cultivados e selvagens, são hospedeiras de *C. sublineolum*

Os sintomas de infecção no colmo e no pedúnculo aparecem normalmente no período de maturação da planta. Esses órgãos infectados adquirem, internamente, uma coloração avermelhada ou amarelada, com pontuações brancas correspondentes aos pontos de penetração do fungo (Figura 8).

Fotos: Luciano Viana Cofa



**Fig. 8** Podridão causada por antracnose em colmo de sorgo

### **Fatores que favorecem a doença**

O inóculo primário contribui para o desenvolvimento de epidemias causadas pela antracnose do colmo e é constituído por conídios produzidos nas espécies selvagens de sorgo, em plantas remanescentes ou em restos de culturas. A

disseminação da doença dá-se por meio do vento e de respingos de chuva. A sobrevivência do fungo, de um ano para outro, ocorre nos restos de cultura, em espécies selvagens e em sementes. As condições favoráveis para o aparecimento da antracnose são a alta umidade e temperatura em torno de 25 a 30 °C.

### **Medidas de controle**

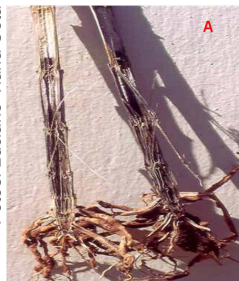
A sobrevivência do fungo é drasticamente reduzida quando se faz um enterrio dos restos culturais. Recomenda-se a rotação de cultura, a eliminação de gramíneas hospedeiras e o tratamento de sementes.

### **Podridão-seca-do-colmo (*Macrophomina phaseolina*)**

A podridão-seca-do-colmo ou podridão por *Macrophomina* é uma doença importante em regiões quentes e sujeitas à déficit hídrico. No Brasil, a doença assume maior importância em plantios de sorgo extemporâneo (safrinha) no Centro do país e em áreas do Nordeste, principalmente quando o período de enchimento dos grãos coincide com temperatura elevada e déficit hídrico. Sob estas condições climáticas, principalmente em plantios de híbridos de sorgo, as perdas na produção de grãos e colmo podem ser superiores a 50%, devido a problemas de acamamento.

O patógeno é capaz de infectar mais de 400 espécies de plantas. A infecção na planta ocorre nos primeiros estádios de seu desenvolvimento, causando queima e tombamentos das plântulas: os sintomas, geralmente, aparecem em plantas adultas. As raízes doentes apresentam lesões com aspecto encharcado de coloração castanha ou preta. O colmo entra em estado de putrefação devido à desintegração da medula, causada pelo fungo permanecendo somente os vasos sobre os quais se podem notar numerosos esclerócios pretos e pequenos. (Figura 9A). A desintegração do colmo facilita a ocorrência de acamamento, o sintoma mais típico da doença no campo (Figura 9B).

Fotos: Luciano Viana Cota



**Fig. 9** Podridão-seca-do-colmo (A) e acamamento de plantas de sorgo (B) causados por *Macrophomina*. Foto: Alexandre da Silva Ferreira

### Fatores que favorecem a doença

Altas temperaturas e baixa umidade do solo após o florescimento são os fatores que predispõem as plantas à infecção pelo fungo e ao desenvolvimento da doença. O patógeno sobrevive no solo na forma de esclerócios, os quais podem permanecer viáveis por períodos de dois a três anos.

### Medidas de controle

A incidência da podridão-seca pode ser reduzida pela manutenção de níveis adequados de umidade no solo a partir do florescimento. A utilização de cultivares resistentes ao acamamento, tolerantes à seca e não senescentes pode reduzir as perdas causadas pela doença, bem como a utilização de níveis adequados de N e K.

### Podridão-vermelha-do-colmo (*Fusarium verticillioides*)

A doença é comum em todas as regiões onde se cultiva o sorgo. A redução na produção e qualidade de grãos e de forragem é atribuída a ela por afetar o enchimento dos grãos e provocar o enfraquecimento do colmo, causando, geralmente, o tombamento e/ou quebraimento dele. O patógeno pode infectar as raízes, o colmo e o pedúnculo da planta, comprometendo a firmeza do tecido interno. Esse fungo pode causar, também, podridão de sementes e morte das plântulas.

Os sintomas da doença podridão-vermelha-do-colmo causada pelo *Fusarium verticillioides* Sacc. Nirenberg são evidenciados, normalmente, após o florescimento das plantas. Elas secam prematuramente e tombam com facilidade. Internamente, os tecidos do colmo e do pedúnculo infeccionados adquirem uma coloração

avermelhada, que progride de forma uniforme e continua do ponto inicial da infecção em direção à parte superior da planta (Figura 10).

**Fig. 10** Podridão-vermelha em colmo de sorgo.

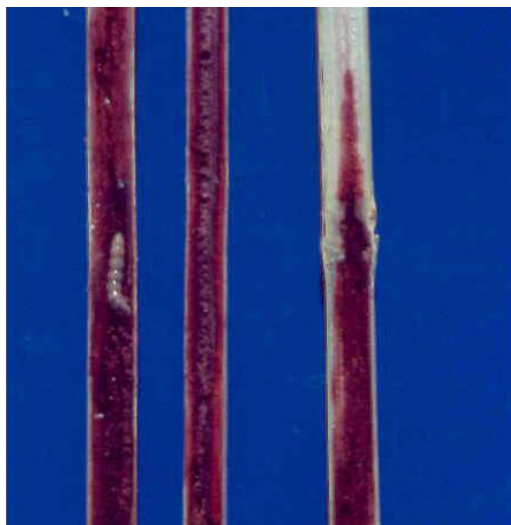


Foto: Alexandre da Silva Ferreira

### Fatores que favorecem a doença

*F. verticillioides* sobrevive no solo em restos de cultura, em várias espécies de plantas hospedeiras, nas formas de conídios, de micélio e de clamidósporos. O fungo penetra nas raízes e no colmo através de aberturas naturais ou de ferimentos provocados por insetos, máquinas e nematoides. Entre o estágio de florescimento e o de maturação da planta, a severidade da doença pode aumentar sob condições de baixa temperatura e alta umidade seguidas de um período de alta temperatura e baixa umidade.

### Medidas de controle

O uso de cultivares resistentes, a população de plantas adequada e a aplicação de adubações equilibradas, são medidas recomendadas para o controle da podridão-vermelha-do-colmo.

### Doença açucarada do sorgo (*Sphacelia sorghi*)

O ergot, ou a mela da panícula, é uma doença que tem ocorrido de maneira severa e generalizada em todas as regiões do Brasil, tornando-se um sério problema para as indústrias de sementes

e para os produtores de grãos e/ou forragens de sorgo. Como o patógeno infecta somente o ovário não fertilizado, durante a antese, todos os fatores ambientais e biológicos que afetam a produção e o vigor do pólen e/ou impedem a abertura normal das anteras vão favorecer o patógeno a induzir e desenvolver a doença.

O agente causal dessa doença é o fungo *Sphacelia sorghi*, cujos primeiros sintomas podem ser observados no ovário, de três a cinco dias após a infecção. O ovário infectado apresenta-se enrugado, com uma coloração cinza, em contraste com o verde-escuro e arredondado de um ovário sadio e fertilizado. Com a evolução da infecção, a base do ovário é substituída por uma estrutura estromática, que gradualmente estende-se para cima. Externamente, os sintomas evidenciam-se ao redor de 5 a 10 dias após a inoculação na forma de gotas de coloração rósea, pegajosas, adocicadas, que exsudam dos ovários infectados (Figura 11).

Fotos: Luciano Viana Cota



**Fig. 11** Doença-açucarada-do-sorgo (ergot)

### **Fatores que favorecem a doença**

Os conídios provenientes de hospedeiros secundários, de panículas de sorgo infectadas de plantas remanescentes ou de restos de cultura são inóculo ou fonte de infecção primária.



A disseminação secundária da doença ocorre de 5 a 10 dias após a infecção primária no sorgo por meio de conídios que são produzidos aos milhares e disseminados de uma flor a outra de uma mesma panícula ou entre diferentes panículas. O patógeno é disseminado, rapidamente, levado pelo vento, por respingo de chuva e por insetos. As condições meteorológicas favoráveis ao desenvolvimento da doença açucarada, durante o florescimento, são temperaturas mínimas de 13 a 19 °C e umidade relativa entre 76 a 84%.

### **Medidas de controle**

A indisponibilidade de genótipos de sorgo resistentes a *S. sorghi* e o estabelecimento da doença só em flores não fertilizadas fazem com que se adotem medidas de controle que associam técnicas de manejo cultural e a utilização de fungicidas, dentre as quais:

1. Uso de cultivares bem adaptadas à região de plantio e mais tolerantes a baixas temperaturas.
2. Semeadura em épocas adequadas, de modo a se evitar que o período de florescimento coincida com baixas temperaturas.
3. Remoção de plantas remanescentes e de plantas hospedeiras secundárias do patógeno.
4. Adequação da proporção de linhagens macho-estéreis e restauradoras em campos de produção de sementes para garantir uma boa disponibilidade de pólen, uma vez que a infecção não ocorre em flores fertilizadas.
5. Programação do plantio a fim de que haja uma boa coincidência de florescimento entre as linhagens macho e fêmea para garantir uma rápida fertilização.
6. Aplicação de fungicidas à base de tebuconazole. A aplicação de fungicida deve ser realizada durante o período de florescimento. Esta medida de controle deve ser restrita à área de produção de sementes.

### **Mosaico-da-cana-de-açúcar (vírus SCMV)**

O mosaico-da-cana-de-açúcar é uma doença virótica do sorgo que causa, em cultivares suscetíveis, mosqueado ou necroses nas folhas, raquitismo e esterilidade parcial ou total da planta, resultando em redução na produção de grãos, colmo e produção

de forragem. A doença é causada pelo vírus do mosaico-da-cana-de-açúcar (*SCMV - Sugar Cane Mosaic Virus*), que ataca, além da cana-de-açúcar e do sorgo, outras gramíneas como milho, milheto, capim-sudão, cevada, trigo, centeio, arroz.

O vírus provoca o aparecimento de dois sintomas: o do mosaico típico e o do necrótico. O típico aparece, nas folhas mais novas, nas áreas verde-claras entremeadas com áreas verde-escuras, podendo desaparecer com o envelhecimento da planta. O necrótico aparece nas folhas com áreas necrosadas de cor avermelhada ou amarelada, dependendo da cultivar atacada (Figura 12). A planta do sorgo pode morrer quando a infecção ocorrer prematuramente.

Fotos: Luciano Viana Cota



Fig. 12 Mosaico-da-cana-de-açúcar.

### Fatores que favorecem a doença

O vírus é transmitido de maneira não persistente por pelo menos sete espécies de afídeos. O pulgão-do-milho (*Rhopalosiphum maidis*) é o principal vetor do *SCMV*. Os afídeos, geralmente, adquirem o vírus a partir da cana-de-açúcar ou de gramíneas perenes infectadas e depois o transmitem para outras plantas. O manejo da doença é realizado com a utilização de cultivares resistentes ou tolerantes. O controle da doença por meio do controle de vetores não tem sido satisfatório, tanto do ponto de vista econômico quanto da eficiência de controle.

### Doenças causadas por nematoides

Podem ocorrer outras doenças, como as causadas por nematoides do gênero *Tylenchorhynchus* e das espécies *Meloidogyne*, *M.*

*incognita* *Pratylenchus* spp. *P. brachyurus*. Esta última espécie é um potencial problema para a sucessão cana e sorgo, pois pode atacar as duas culturas.

### Controle dos nematoides

O controle dos nematoides parasitas de sorgo envolve várias estratégias:

1. Práticas culturais tais como pousio, rotação de cultura e época de plantio; a aração e a gradagem, por propiciarem a exposição do solo aos raios solares, podem ser efetivas na redução da população de várias espécies de nematoides;
2. Uso de cultivares resistente permite um controle efetivo e econômico de nematoides em sorgo. Diversas cultivares de sorgo podem apresentar tolerância ao nematoide da espécie *Meloidogyne* spp, formador de galhas
3. O uso de produtos com ações nematicidas, como os dos grupos químicos dos carbamatos e organofosforados, podem ser eficazes no controle químico de nematoides em áreas de altas infestações. No entanto, este é um tratamento de custo elevado, podendo não ser viável economicamente.
4. Atenção especial deve dada à escolha de culturas para serem plantadas na sucessão ao sorgo. Em áreas infestadas com o nematoide da espécie *M. incognita*, deve-se evitar o plantio de cultivares de soja e algodão suscetíveis à espécie citada. No caso da sucessão entre a cana-de-açúcar e o sorgo, atenção poderá ser necessária para os nematoides do gênero *Pratylenchus*, que atacam ambas as culturas.

### Recomendações para o controle químico de doenças em cultivares de sorgo sacarino

Quanto à decisão sobre a aplicação de fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura do sorgo, dois pontos devem ser considerados: 1) a fase do ciclo da cultura na qual as plantas são mais sensíveis ao ataque de patógenos e 2) o período de ocorrência das principais doenças. As plantas de sorgo durante a fase vegetativa são mais sensíveis à helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*) e após o florescimento a antracnose foliar (*Colletotrichum sublineolum*) torna-se a doença mais importante. Sendo assim,

a recomendação para o controle químico de doenças deve considerar a ocorrência das doenças e a fase do ciclo da cultura. Se considerarmos que o período residual máximo dos fungicidas dos grupos das estrobilurinas e triazóis está em torno de 15 a 20 dias, e que as doenças mais importantes ocorrem após o florescimento, em genótipos suscetíveis será necessária a realização de, pelo menos, duas aplicações de fungicidas, definidas em função do monitoramento das parcelas ou talhões.

Durante o monitoramento é importante a correta diagnose e a identificação das doenças presentes na lavoura. As moléculas de fungicidas disponíveis no mercado têm especificidade de controle para alguns patógenos. Por exemplo, os fungicidas à base de Tebuconazol (Tabela 1) têm registro para uso na cultura do sorgo para o controle de ergot, mas ele também tem efeito sobre as ferrugens e a helmintosporiose. No entanto, os tebuconazoles apresentam baixa eficiência no controle da antracnose foliar. Por outro lado, fungicidas à base de Carbendazim (Tabela 1) têm sido amplamente utilizados por agricultores para o controle de antracnose (devido ao seu baixo custo), no entanto, esta molécula é pouco eficaz contra os fungos causadores das ferrugens e da helmintosporiose. Dos produtos disponíveis no mercado, as misturas de Triazol + Estrobilurinas (Tabela 1) apresentam um maior espectro de ação para o controle de doenças foliares do sorgo. Vale ressaltar que, à exceção do Tebuconazol, nenhuma outra molécula possui registro no Ministério da Agricultura para uso na cultura do sorgo com o intuito de controlar doenças de parte aérea.

**Tabela 1** Fungicidas com potencial para a utilização no controle de doenças na cultura do sorgo sacarino. Sete Lagoas, MG – 2012.

Produto Comercial	Princípio Ativo	Dose (P.C.)	Doenças controladas
Maxim XL	Metalaxil-M + Fludioxonil	100 mL/100Kg sementes	Tratamento sementes
Constant*	Tebuconazol	1L/ha	Ergot, Ferrugem, Helmintosporiose
Folicur 200 EC*	Tebuconazol	1L/ha	Ergot, Ferrugem, Helmintosporiose

Produto Comercial	Princípio Ativo	Dose (P.C.)	Doenças controladas
Triade*	Tebuconazol	1L/ha	Ergot, Ferrugem, Helmintosporiose
Elite*	Tebuconazol	1L/ha	Ergot, Ferrugem, Helmintosporiose
Opera*	Epoconazol + Piraclostrobina	0,75L/ha	Antracnose, Helmintosporiose, Ferrugem
Priori Xtra*	Azoxistrobina + Ciproconazol	0,3L/ha	Antracnose, Helmintosporiose, Ferrugem
Nativo*	Tebuconazol + Trifloxistrobina	0,6-0,75L/ha	Antracnose, Helmintosporiose, Ferrugem
<u>Stratego 250 EC*</u>	Propiconazol + Trifloxistrobina	0,6-0,8L/ha	Helmintosporiose, Ferrugem
Derosal 500SC*	Carbendazim	0,6L/ha	Antracnose

Fonte: Brasil (2012)

\*Adicionar óleo mineral 0,5% do volume de calda.

P.C. Produto comercial.

De modo geral, os equipamentos utilizados na pulverização são pulverizadores de arrasto, autopropelidos e aeronaves. No caso dos pulverizadores de arrasto, as pulverizações podem ser realizadas em plantas com até 100 cm de altura. Nesse caso, deve-se dar preferência para o plantio de cultivares que apresentam bom nível de resistência às principais doenças, pois em situações de condições favoráveis ao desenvolvimento das doenças e de uso de cultivares suscetíveis, a aplicação de fungicidas muito cedo provavelmente será insuficiente para o controle adequado delas, com consequentes perdas na produtividade. Os equipamentos autopropelidos, cuja altura de eixo é de, aproximadamente, 120 cm, permitem a realização de aplicações em fases mais avançadas do ciclo, quando comparados aos pulverizadores de arrasto. As pulverizações realizadas com aviões, embora apresentem um custo mais elevado, não apresentam as limitações mencionadas anteriormente, e os resultados de trabalhos de pesquisa têm mostrado que a eficiência dessa modalidade de aplicação é equivalente àquela observada nos pulverizadores terrestres.

## Planejamento Industrial

Robert Eugene Schaffert  
Rafael Augusto da Costa Parrella

A produção econômica e sustentável de etanol a partir do sorgo sacarino requer níveis mínimos de produção de açúcar e teor de açúcar total (ART) no caldo. Um ART mínimo de 12,5% é desejável porque a levedura pode converter completamente este nível de açúcar em etanol dentro de 6 a 10 horas. Concentrações de ART menores que 12,5% resultarão em uma baixa eficiência de utilização dos tanques de fermentação, aumentando assim os custos industriais. Com a experiência, verifica-se que a extração de 80 kg de açúcar por tonelada de colmos (com base em prensa hidráulica padrão) produzirá 2.200 a 2.500 litros de etanol por hectare nas usinas, com rendimentos de biomassa de 40 t ha<sup>-1</sup>.

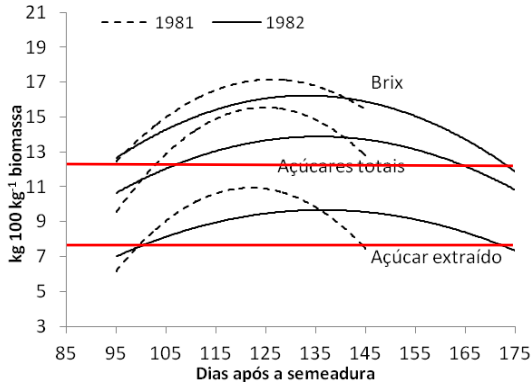
O período de utilização industrial (PUI) é o número de dias em que uma cultivar apresenta ART acima de 12,5% e extração de açúcar superior a 80 kg t<sup>-1</sup> com base na extração de açúcar a partir de uma amostra de 500 gramas, utilizando uma prensa hidráulica (245 kg cm<sup>-2</sup> durante 60 segundos). Recomenda-se um período mínimo de 30 dias desses limites inferiores, para cada cultivar, para o planejamento e a gestão industrial da destilaria.

Nossos resultados de pesquisas já demonstraram que as cultivares de sorgo sacarino (variedades) têm consistentemente períodos de PUI melhores e mais longos quando comparadas aos híbridos. A razão disso é que a maioria ou todos os híbridos são derivados de linhagens fêmeas com colmos suculentos sem açúcar, encontradas nas coleções das linhagens fêmeas de sorgo desenvolvidas para a produção de híbridos graníferos e forrageiros. Além de possuírem colmo sem açúcar, essas linhagens foram desenvolvidas para máxima produção de grãos, o que é indesejável para o sorgo sacarino. Alta produção de grãos em sorgo sacarino aumenta as chances de acamamento, bem como um possível dreno da produção de açúcar, via fotossíntese, para a produção de amido. A experiência tem demonstrado que o caldo extraído de híbridos

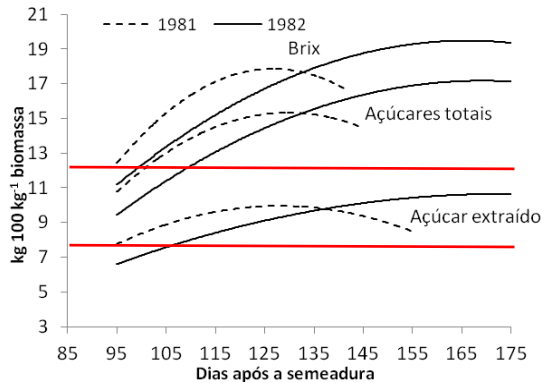
sacarinos apresenta °Brix e teor de açúcares muito inferiores aos das variedades. Como consequência, o rendimento de etanol a partir de híbridos sacarinos é sempre menor do que o das variedades.

A curva de maturação deve ser caracterizada durante um período de 60 dias, a partir de 10 a 20 dias após o florescimento, com amostragens em intervalos de 7 dias para determinação do PUI de cada cultivar de sorgo sacarino a ser recomendada. Esta caracterização deve ser realizada no ambiente no qual a cultivar será cultivada. Deve-se ter em mente também que um ART de 12,5% corresponderá a aproximadamente um °Brix de 14,25 a 14,5.

As Figuras 1 e 2 mostram a interação entre °Brix, ART e açúcar extraído para as variedades Brandes (BR 501) e Wray (BR 505). Brandes é uma variedade desenvolvida para a produção de xarope e é caracterizada por apresentar alto ART e baixo teor de sacarose. Wray é uma variedade desenvolvida para a produção de açúcar cristal e é caracterizada por apresentar altos valores de ART e sacarose elevada. Pesquisas realizadas na Embrapa Milho e Sorgo indicam que variedades com maiores valores de POL e pureza apresentam PUI mais longo, como pode ser visto abaixo. As Figuras 3 e 4 demonstram a interação entre extração de caldo e teor de fibras destas duas variedades ao longo do tempo.

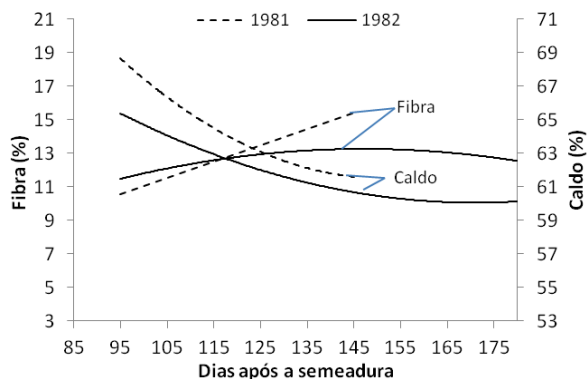


**Fig. 1** °Brix, açúcares totais e açúcar extraído para a cultivar Brandes, em Araras (SP). Embrapa Milho e Sorgo, 1981 e 1982. Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



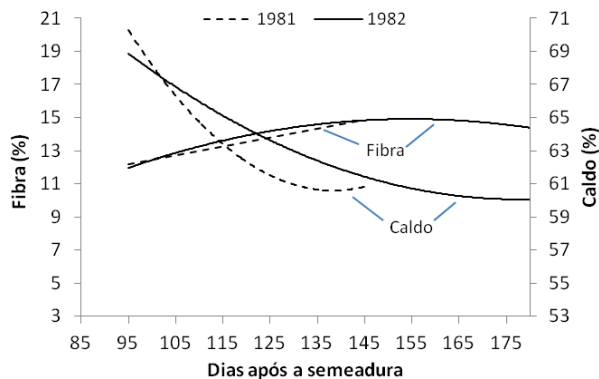
**Fig. 2** °Brix, açúcares totais e açúcar extraído para a cultivar Wray, em Araras (SP). Embrapa Milho e Sorgo, 1981 e 1982. Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).





**Fig.3** Porcentagem de fibra e extração de caldo da cultivar Brandes, em Araras (SP). Embrapa Milho e Sorgo, 1981 e 1982.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



**Fig. 4** Porcentagem de fibra e extração de caldo da cultivar Wray, em Araras (SP). Embrapa Milho e Sorgo, 1981 e 1982. Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).

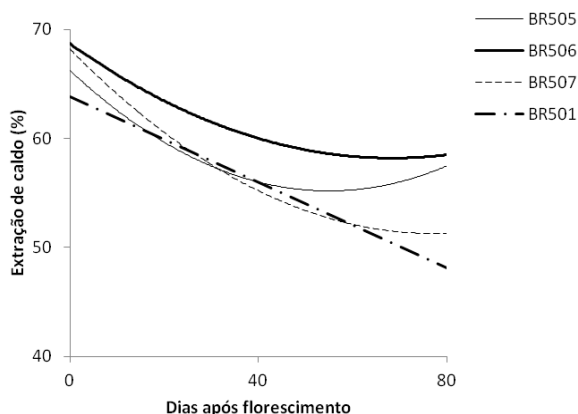
As curvas de maturação de duas variedades desenvolvidas pela Embrapa lançadas em 1985, BRS 506 e BRS 507, em comparação com a BR 501 (Brandes) e BR 505 (Wray) são apresentadas nas Figuras 5 a 10. Açúcar, biomassa e rendimento de etanol dessas quatro variedades estão apresentadas na Tabela 1. Observa-se que os rendimentos de açúcar e etanol de híbridos desenvolvidos com linhagens fêmeas, com colmos suculentos mas não doces, são

similares em produtividade de biomassa à BR 501, mas ainda assim inferiores em produção de etanol.

**Tabela 1** Produção de biomassa e etanol de duas novas cultivares, BRS 506 e BRS 507, comparadas com Brandes e Wray.

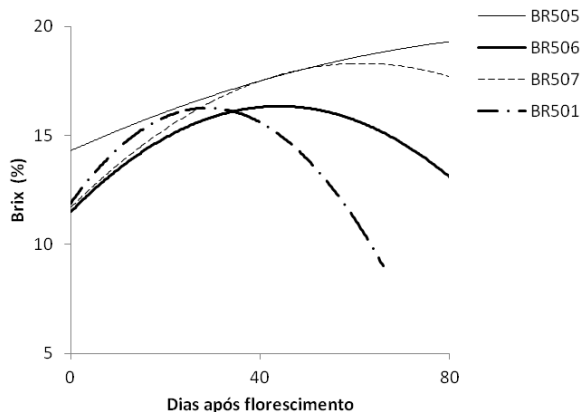
Cultivar	Produção de biomassa (t ha <sup>-1</sup> )	Produção de açúcar extraído		Produção de Etanol		
		Kg 100 kg <sup>-1</sup>	(t ha <sup>-1</sup> )	Ideal	81% de eficiência	Relativo
Brandes (BR 501)	47.4	7.2	3.4	2208	1788	75
Wray (BR 505)	44.6	10.9	4.6	2946	2386	100
BRS 506	48.8	9.7	4.7	3062	2481	104
BRS 507	52.0	9.6	5.0	3231	2617	110

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



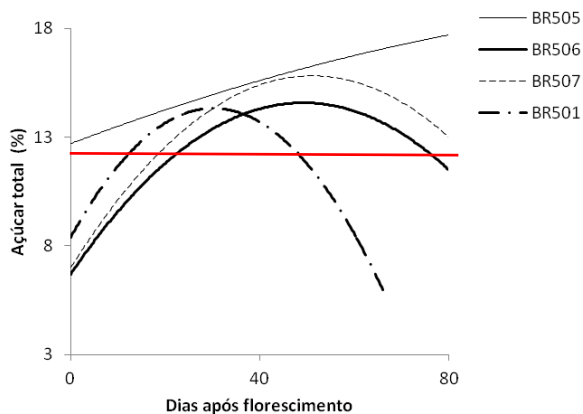
**Fig. 5** Porcentagem de extração de caldo de quatro cultivares de sorgo sacarino na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1986.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



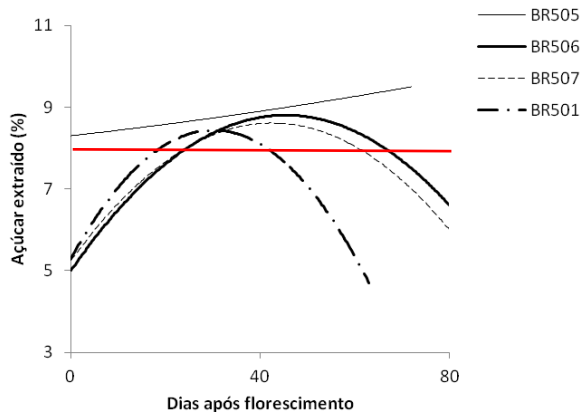
**Fig. 6** Porcentagem de Brix no caldo de quatro cultivares de sorgo sacarino na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1986.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



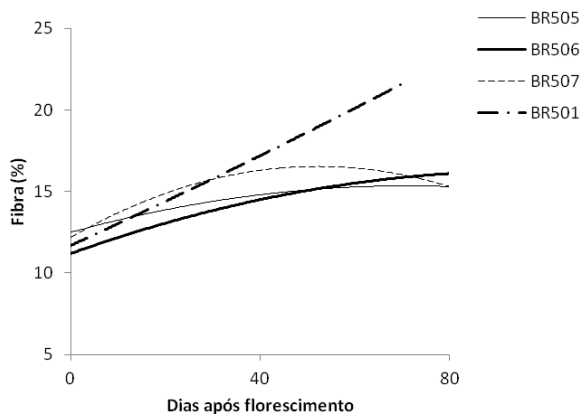
**Fig. 7** Porcentagem de açúcar total no caldo de quatro cultivares de sorgo sacarino na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1986.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



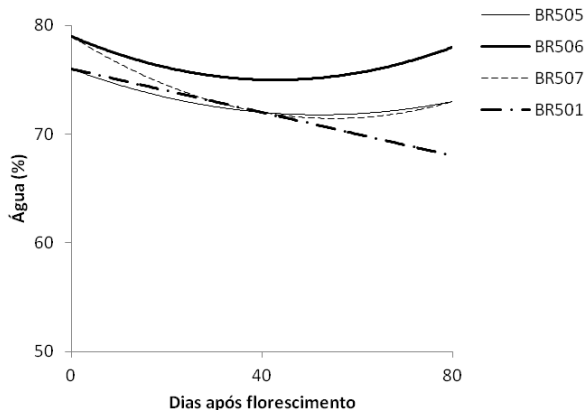
**Fig. 8** Açúcar extraído ( $\text{kg } 100 \text{ kg}^{-1}$ ) de quatro cultivares de sorgo sacarino na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1986.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



**Fig. 9** Porcentagem de fibra de biomassa fresca de quatro cultivares de sorgo sacarino na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1986.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).



**Fig.10** Porcentagem de água na biomassa de quatro cultivares de sorgo sacarino na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 1986.

Fonte: (Adaptado de SCHAFFERT et al., 1986).

Com base no PUI de cada cultivar, a data ou as datas de plantio das cultivares a serem utilizadas pode(m) ser programada(s) para que se produza matéria-prima de sorgo sacarino diariamente durante o período desejado. Resultados de pesquisas da Embrapa Milho e Sorgo indicam que o PUI dos híbridos são significativamente mais curto que o das variedades, raramente passando de 10 dias. Observou-se também que cultivares de menores teores de pureza e sacarose, e maiores teores de açúcares redutores, tais como a cultivar BR 501 (Brandes), em relação à BR 505 (Wray), à BRS 506 e à BRS 507, também apresenta PUI mais curto.

## Tecnologia Industrial

Thályta Fraga Pacheco

Do ponto de vista de processamento industrial, a utilização do sorgo sacarino pouco se diferencia da cana-de-açúcar para a produção de etanol.

Ao chegar à indústria, a matéria-prima é quantificada e amostrada, quando são retiradas aleatoriamente amostras para determinação de sua qualidade através de ensaios laboratoriais. As análises realizadas no sorgo sacarino nesta etapa podem seguir o procedimento já adotado na usina. Ensaio feitos segundo o Manual de Instruções da Consecana – SP (2006) mostram-se parcialmente adequados para a quantificação desta matéria-prima. A principal diferença reside na presença de interferentes na leitura sacarimétrica e na clarificação do caldo prensa quando se utiliza Octapol como agente clarificante. O sorgo sacarino demanda quantidade três a quatro vezes maior desse agente quando comparado à cana. Se a presença de interferentes resultar em distorção das análises, recomenda-se determinação do ART (açúcares redutores totais) pelo método do digestor, para comparação. Não se observam dificuldades relacionadas à amostragem dos caminhões, não necessitando, nesta etapa, adaptação do setor.

Mesmo realizando, no momento da colheita, o corte das panículas e a soproagem para retirada de folhas, a porcentagem de impureza vegetal das amostras, a depender da regulagem das colheitadeiras, pode ser significativamente maior que na cana-de-açúcar. Entretanto, isso não resulta em interferência no processo produtivo. Indústrias que processaram o sorgo sacarino observaram variações de 1 a 12% de impureza vegetal nas amostragens. A quantidade de impureza mineral se mantém na média do processamento de cana-de-açúcar e está relacionada principalmente às condições de colheita.

Na Tabela 1 são mostrados valores médios dos principais parâmetros de interesse industrial para o sorgo sacarino e a cana-de-açúcar.

**Tabela 1** Parâmetros de interesse industrial para sorgo sacarino e cana-de-açúcar.

*Parâmetros	Sorgo Sacarino	Cana-de-Açúcar
Brix caldo	15 - 19	18 - 25
Pureza	60 - 75	80 - 90
Fibra (%)	12 - 20	10 - 15
Sacarose caldo (%)	8 - 13	14 - 22
AR caldo (%)	1 - 3	0,5 - 1
Glicose caldo (%)	0,5 - 2	0,2 - 1
Frutose caldo (%)	0,5 - 1,5	0 - 0,5
ART caldo (%)	12 - 17	15 - 24
Amido caldo (%)	até 0,5	0,001 - 0,05

\***Brix** - indica a quantidade de sólidos solúveis presentes na amostra, em peso.

**Pureza** - relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contida em uma solução açucarada.

**Fibra** - porcentagem em massa de matéria seca insolúvel presente na biomassa.

**AR** (Açúcares Redutores) - determinam a quantidade de açúcar invertido, compreendendo glicose, frutose e demais substâncias redutoras presentes na amostra.

**ART** (Açúcares Redutores Totais) - determinam a quantidade de açúcares redutores totais presentes na amostra, obtida pela hidrólise total da sacarose.

### Colheita e processamento

Recomenda-se que a colheita seja realizada em sincronia com o processamento, evitando acúmulo e possível deterioração da matéria-prima. Experimentos para avaliação do tempo de pátio do sorgo sacarino indicaram que, em 12 horas de armazenamento, o sorgo não sofreu alteração considerável de suas características químicas.

### Transporte do material

Os caminhões contendo sorgo picado são basculados nas mesas alimentadoras. Estas mesas apresentam grande inclinação, formando, no descarregamento dos caminhões, uma camada

regular do material. Se o material é colhido e picado, é comum a realização da limpeza a seco. Esta consiste na sopragem de ar nas mesas de recebimento, que possuem peneiras e fundo falso, onde se acumulam as impurezas.

### **Preparo para extração**

Inicia-se o preparo do sorgo para extração com o objetivo de aumentar a densidade do material e, conseqüentemente, a capacidade de moagem. Sobre a esteira são instalados picadores que dividem o material em pedaços pequenos e aumentam sua densidade. Na seqüência, o material passa pelo desfibrador, que força a passagem dos colmos por uma pequena abertura ao longo de uma placa desfibradora. Nesta etapa, os colmos são rasgados e desfibrados, promovendo o máximo rompimento das células (open cell) para liberação do caldo nelas contido, aumentando a densidade do material e melhorando a eficiência de embebição. O índice de preparo (relação percentual entre o açúcar das células rompidas e o açúcar total) observado nas indústrias que processaram o sorgo nas últimas safras foi comparável ao obtido com a cana nestas mesmas usinas (de 90 a 94%).

Após o preparo, o espalhador descompacta o sorgo desfibrado em uma camada fina e uniforme, que passa pelo eletro-ímã. Esse retira os materiais ferrosos que estejam acidentalmente presentes no material, protegendo principalmente os rolos da moenda. O sorgo está pronto para a extração, que visa retirar o açúcar contido no caldo.

### **Extração**

Em nível industrial existem dois diferentes processos para extração: a) moagem e b) difusão. Ambos os equipamentos são eficientes na extração e apresentam custos competitivos.

#### **a) moagem**

A moagem consiste em deslocar o caldo pela pressão dos rolos. São utilizados de quatro a sete ternos de moenda, sendo cada um deles formado por três rolos principais dispostos entre si: rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída, além de um quarto, denominado rolo de pressão, que melhora a eficiência da



extração. No primeiro terno da moenda ocorre cerca de 70% da extração global.

Para que a extração se complete, adiciona-se água ao bagaço remanescente, aumentando a diluição do caldo ainda presente no bagaço e melhorando a extração no terno seguinte. Este processo, denominado embebição, é feito com água ou caldo, de forma simples, composta ou com recirculação. Na embebição composta, praticada na grande maioria das indústrias, a vazão de água é aplicada no último terno da moenda, e o caldo é bombeado, em contracorrente com o bagaço, até o segundo terno. Portanto, a concentração do caldo no segundo terno é maior do que no último. O processo de embebição normalmente é feito com água em torno de 70 °C. Esta temperatura aumenta a diluição do caldo residual contido no bagaço e diminui a umidade do bagaço final. O bagaço que deixa o último terno é enviado à caldeira para geração de energia. A eficiência de extração da moenda varia de acordo com seu ajuste e características do material, sendo recomendável estar entre 94 e 97%.

Como o teor de fibra do sorgo pode variar em função de condições climáticas e agrônômicas, assim como na cana-de-açúcar, pequenos ajustes na moenda e embebição podem ser necessários para que se evitem problemas de embuchamento e se garanta alta eficiência de extração, além de umidade ideal do bagaço. Análises realizadas nas indústrias, de sorgos cultivados em diferentes locais, apresentaram teor de fibra variável de 12 a 20%.

Usinas que já processaram sorgo sacarino conseguiram a regulação das moendas para otimização da extração. O volume de água de embebição utilizado também foi variável, mas se estabeleceu, em média, em 30% a 40% do volume do caldo. A concentração de açúcares no bagaço, caso a moenda opere em condição otimizada, mantém-se em aproximadamente 2%. Estas condições forneceram bagaço final na umidade usual da cana, de 50 a 52%. O poder calorífico inferior médio do bagaço de sorgo é da ordem de 2.000 kcal/kg, comparável ao da cana.

Problemas operacionais na moagem diminuem a eficiência de extração, aumentam a umidade do bagaço final, dificultando sua queima, e elevam a concentração de açúcares no bagaço, aumentando as perdas. Foram observadas, no processamento industrial do sorgo, perdas de até 10% por problemas na operação de extração.

### **b) difusão**

Não se tem conhecimento, até o momento, do emprego de difusores no processo de extração do açúcar contido no sorgo sacarino, mas acredita-se, pelas características deste, que semelhante índice de extração será obtido com a cana-de-açúcar caso o índice de preparo seja comparável.

### **Análise de POL**

Somente a análise de POL (porcentagem de sacarose em uma solução açucarada, determinada através de uma polarização direta ou simples de solução de peso normal em um sacarímetro) do bagaço pode apresentar interferentes. É indicada uma adequação da análise do bagaço para determinação também do ART.

### **Retirada das impurezas**

Como até então o caldo de sorgo sacarino é utilizado exclusivamente na produção de etanol, e não de açúcar, o caldo do primeiro terno, conhecido como caldo primário (mais concentrado em sacarose, pois foi extraído sem diluição) pode ser misturado com o caldo misto (obtido pela adição da água de embebição). O caldo obtido na extração apresenta elevada quantidade de impurezas solúveis e insolúveis que devem ser retiradas antes do processamento. A primeira etapa do tratamento, conhecida como tratamento primário, visa retirar os sólidos insolúveis do caldo. As peneiras rotativas e fixas separam o caldo do bagacilho (pequenas frações de bagaço) e demais impurezas. O caldo isento de sólidos grosseiros em suspensão segue o tratamento e o bagacilho retorna à moenda.

### **Clarificação**

Após o tratamento primário, inicia-se a etapa de clarificação, com adição de agentes químicos. A clarificação é uma combinação

de processos que variam segundo a variedade do material e sua destinação. Os métodos mais comuns de clarificação do caldo são a sulfitação e a caleação, seguidos de aquecimento e decantação. A sulfitação e a caleação, para destilarias autônomas (produção exclusiva de etanol), são muitas vezes dispensadas. Nesse caso, o caldo é encaminhado do peneiramento diretamente para aquecimento em trocadores de calor até 105 °C, com os objetivos de reduzir a carga microbiana e a espuma na fermentação, facilitar a coagulação dos colóides e emulsificar graxas e ceras, aumentando a eficiência da decantação.

### **Decantação**

A decantação conclui a etapa de purificação do caldo, na qual são removidas as impurezas floculadas nos tratamentos anteriores, auxiliada pela adição de agentes floculantes. O tempo de residência do caldo no decantador varia de 15 minutos a 4 horas, em função do tipo de equipamento. As impurezas sedimentadas constituem o lodo, que sofre adição de bagacilho e é destinado aos filtros rotativos, que objetivam recuperar o açúcar contido no lodo. O material retido no filtro, denominado torta, é enviado à lavoura. Um sistema de filtração é considerado eficiente quando a perda de açúcar na torta é menor que 1% e o caldo filtrado apresenta baixa turbidez.

As etapas de tratamento e decantação seguem o mesmo padrão do processamento da cana-de-açúcar. Em alguns casos, pode-se observar necessidade de maior dosagem de substâncias floculantes e maior volume de lodo. O processamento industrial do sorgo sacarino apresentou teores de açúcar na torta de 1 a 3%.

### **Preparo do mosto**

A seguir inicia-se a etapa de preparo do mosto, suspensão açucarada, em concentração adequada, que alimenta a dorna de fermentação. Usualmente utiliza-se concentração de 18 a 22% de açúcares. O sorgo sacarino demandou, em avaliações industriais, evaporação para que a concentração de açúcar atingisse tal valor. Não necessariamente a etapa de evaporação deve fornecer um caldo com o teor de açúcar especificado. Menores concentrações

de açúcar tornam a fermentação mais rápida, porém, diminuem a produtividade. É necessário avaliar a viabilidade econômica e o gasto energético para optar por evaporação do mosto até alta concentração de açúcares ou fermentação com baixa concentração de açúcares. O processamento do sorgo sacarino no início da safra 2012/2013 apresentou concentração média de açúcar no mosto de 12%, com leve aumento do consumo de vapor. Nas fases preliminares de preparo de inóculo são utilizadas concentrações mais baixas de açúcar. Para que seja alimentado à dorna (biorreator onde a fermentação se processa), o mosto é resfriado a uma temperatura entre 28 e 32 °C.

Se o mosto não apresentar os componentes necessários ao desenvolvimento da levedura, deve ser suplementado. Como a concentração de nitrogênio amoniacal ou assimilável no sorgo sacarino é menor que na cana-de-açúcar, foram executados experimentos em escala laboratorial e industrial para avaliar a necessidade de suplementação com nitrogênio amoniacal, principalmente na fase de crescimento do fermento. Observou-se que esta suplementação não contribuiu no crescimento a ponto de justificar o investimento. Pode-se inferir que o sorgo sacarino, exceto em situações excepcionais, não demanda suplementação de nutrientes.

### **Preparo do inóculo**

É denominado inóculo ou pé-de-cuba o volume de suspensão de microrganismos em concentração ideal capaz de garantir a fermentação do mosto. Seu preparo se dá a partir de uma cultura pura ou de um fermento liofilizado. Inicia-se a multiplicação em meio com baixo teor de sacarose e, à medida que a concentração de leveduras no meio aumenta, eleva-se também o teor de açúcar e o volume do mosto a ser inoculado, até que se atinja concentração desejada de leveduras. Recomenda-se que a inoculação do mosto aconteça na fase exponencial de crescimento, com uma cultura altamente ativa. O volume de inóculo a ser usado e sua concentração de leveduras dependem do processo de fermentação. Em uma fermentação alcoólica estabelecida, a concentração de leveduras é, em média, 10 a

12% do volume da dorna. A utilização de altas concentrações de levedura resulta em fermentações mais rápidas e maior controle sobre contaminantes, entretanto, há maior competição pelos nutrientes, diminuindo a viabilidade do fermento.

Em aerobiose, as leveduras se reproduzem intensamente, além de produzirem gás carbônico e água. Já em anaerobiose, ou fermentação, as leveduras produzem etanol e gás carbônico, além de apresentarem um pequeno crescimento. Por essa razão, quando se deseja ativar o crescimento das leveduras, é recomendável o emprego de aeração.

### **Condução da fermentação**

Na produção industrial de etanol, os processos fermentativos podem ser contínuo ou em batelada alimentada. No processo batelada alimentada, o substrato é alimentado sob condições controladas até atingir o volume do reator, permitindo o controle da concentração de açúcar, minimizando os efeitos da inibição pelo substrato e permitindo sua adição em momentos propícios durante a fermentação. Trata-se de um processo antigo, porém eficiente e satisfatório. Este sistema é considerado mais confiável por apresentar assepsia mais fácil. Após o enchimento, a fermentação continua até a total conversão do açúcar, etapa conhecida como tempo de morte da dorna. Vinho fermentado é encaminhado para a dorna volante, de onde seguirá para centrifugação.

O processo contínuo possui uma alimentação contínua do meio de cultura a uma determinada vazão, igual a da retirada do vinho fermentado, mantendo-se em estado estacionário. Esse processo, quando operado nas condições ótimas, garante maior produtividade e uniformidade do produto e menores custos de instalação e operação, entretanto, é mais suscetível à contaminação bacteriana por não haver frequente limpeza das dornas. Além disso, apresenta dificuldade de operação (manutenção do estado estacionário). A escolha entre produção a partir do sistema batelada ou contínuo é bastante polêmica, mas o sistema batelada domina o mercado de etanol no país.

## **Rendimento**

O rendimento estequiométrico é de 0,511 g de etanol/g de glicose. Considerando a sacarose, o rendimento teórico é de 0,538 g de etanol/ g de sacarose consumida. Em condições industriais, o rendimento médio é da ordem de 91% do rendimento teórico. Esta diferença é utilizada no crescimento celular e na formação de subprodutos. A existência de microrganismos contaminantes no meio fermentativo também diminui o rendimento.

O rendimento da fermentação é afetado por diferentes fatores físicos, químicos e microbiológicos. Em uma fermentação industrial, a levedura pode estar exposta a diversos fatores de estresse, tais como alta temperatura, acidez do meio, alto teor alcoólico e contaminação bacteriana. A faixa de temperatura recomendada para fermentação está entre 30 e 35 °C. Temperaturas inferiores ao limite retardam a fermentação, e superiores favorecem o aparecimento de contaminações, reduzem a viabilidade do fermento e aumentam a acidez. A fermentação libera grande quantidade de calor, por essa razão, realiza-se o resfriamento do vinho, mantendo-se a temperatura da dorna constante em aproximadamente 32 °C.

## **Controle de contaminações**

O teor de açúcares redutores do sorgo sacarino é pouco maior que na cana-de-açúcar, entretanto, este fato não representou prejuízo nem ocasionou contaminações em processamentos industriais. Sob condições normais, as células contaminantes se mantiveram em concentração máxima de  $10^6$  células/mL. As experiências de processamento industrial foram conduzidas em reatores em batelada alimentada, mantendo-se o nível de contaminações em faixas usuais desse tipo de fermentação.

O tratamento térmico do caldo reduz sua carga microbiana, porém, não o isenta de contaminantes. Pode ocorrer, por essa razão, uma redução do rendimento fermentativo pois os microrganismos contaminantes consomem parte do substrato disponível. Em caso de altos níveis de contaminantes, é comum a utilização de antissépticos para criar um ambiente favorável ao desenvolvimento das leveduras e desfavorável a outros microrganismos.

Também com o objetivo de conter as contaminações, é comum o uso de antibióticos nas fermentações industriais. Seu uso é esporadicamente recomendado, somente em casos de grande contaminação, em razão da possibilidade de os microrganismos criarem resistência a eles e das exigências severas nos níveis de resíduos de antibióticos nas leveduras desidratadas vendidas no mercado. Vários produtos naturais têm sido empregados na substituição dos antibióticos sintéticos. Recomenda-se a utilização de antibióticos quando se tem uma contagem de contaminantes maior que  $10^6$  a  $10^7$  células/mL, para uma concentração de leveduras menor que  $10^8$  células/mL. O caldo de sorgo sacarino, em condições normais, não apresenta elevada carga microbiana e não há interferência na viabilidade do fermento. Esta se manteve maior que 98% durante as fermentações avaliadas. Nos processamentos industriais do sorgo sacarino, o emprego de antibióticos foi feito apenas no início da propagação do fermento, assim como na cana.

### **Processo fermentativo**

As leveduras demonstram boa adaptação ao mosto de sorgo sacarino, garantindo baixa concentração residual de açúcar nas dornas. O teor de amido nas dornas se manteve em aproximadamente 3-4 g/L, não interferindo no processo produtivo.

O tempo de fermentação varia de quatro a dez horas. Tempos muito longos implicam necessidade de agitação, menor rendimento e maior formação de glicerol, enquanto tempos curtos resultam em alta vazão de  $\text{CO}_2$  e muita espuma. O teor alcoólico do vinho fermentado varia em função da concentração de açúcar no mosto, capacidade fermentativa e de manutenção de viabilidade da cepa utilizada. Teores alcoólicos muito altos reduzem a vinhaça, porém, acarretam perdas associadas à evaporação do caldo e tempo de fermentação mais longo. Teores alcoólicos muito baixos resultam em maior dimensionamento dos equipamentos, maior custo energético e maior quantidade de vinhaça.

### **Produtos secundários**

Além do etanol e do gás carbônico, são formados produtos secundários de interesse metabólico relacionados com a adaptação

e sobrevivência da levedura. Dentre os principais subprodutos formados tem-se o glicerol, ácidos orgânicos, óleo fúsel e os carboidratos de reserva trealose e glicogênio. A quantidade de cada subproduto formada é dependente do estresse causado às leveduras, geralmente por contaminação bacteriana, altas temperaturas, carência ou excesso de nutrientes e tratamento ácido incorreto. O glicerol é o composto secundário encontrado em maior quantidade. É formado em decorrência de estresses físicos (pressão osmótica), químico (presença de sulfito no mosto) e microbiológico (contaminação bacteriana). Em geral, é uma resposta ao estresse osmótico quando se trabalha com altas concentrações de açúcares ou sais no mosto. São formados dezenas de ácidos orgânicos, sendo o ácido succínico o de maior expressão. Ele atua principalmente como agente antibacteriano natural em ação conjunta com o etanol. A trealose é importante para a manutenção da viabilidade celular, produzida quando os níveis de glicose estão próximos do esgotamento e as células entram na fase estacionária de crescimento. Ela atua como protetor contra estresses em levedura, incluindo calor, desidratação e alta pressão osmótica, aumentando a resistência celular a condições extremas. A formação de óleo fúsel depende de fatores como pH, concentração de açúcares, tipo de levedura utilizada, condições de temperatura e nível de aeração, ocorrendo sua maior produção em temperaturas mais altas e pH baixo.

Os níveis de formação de subprodutos observados são semelhantes aos do caldo de cana, e ocorrem em função de diversos parâmetros de condução da fermentação. A fermentação do sorgo sacarino, se conduzida sob condições similares ao processamento da cana-de-açúcar, apresenta formação de subprodutos semelhantes - e consequente diminuição do rendimento fermentativo.

### **Separação do fermento**

Terminada a fermentação, as leveduras são separadas do vinho por centrifugação. O concentrado, denominado creme de leveduras, passa por tratamento que normalmente consiste em diluição com água e adição de ácido sulfúrico até pH entre 2 e 3. Esta mistura permanece em agitação durante uma a duas horas nas cubas, com o objetivo



de reduzir a carga microbiana contaminante. Após tratamento, o fermento é recirculado às dornas. Esta recirculação eleva o rendimento da fermentação, pois insere nas dornas leveduras já adaptadas ao meio. Se ocorre alto crescimento celular, o excedente de levedura é retirado por sangria. Cerca de 10% do total da levedura centrifugada não é recirculada, é recuperada e desidratada para ser destinada à composição de ração para alimentação animal. Uma centrifugação bem operada contribui no controle microbiológico da fermentação, pela remoção de grande quantidade de bactérias no sobrenadante, denominado vinho delevedurado.

### **Destilação**

O vinho delevedurado segue então para o setor de destilação, que promoverá a separação do etanol pela diferença de volatilidade com os demais componentes. Para produção de álcool hidratado, com teor alcoólico de 96° GL, são empregadas duas colunas, uma operando como esgotamento do vinho e outra como seção de enriquecimento e retificação da flegma. O vinho é aquecido e alimentado na parte superior da primeira coluna, da qual se retiram a flegma como produto de topo, com teor médio de 50° GL, e a vinhaça, resíduo com concentração alcoólica desprezível. A flegma alimenta diretamente a segunda coluna, da qual se retiram etanol a 96° GL, como produto de topo, e a flegmaça, como produto de fundo. Esta pode voltar para alimentação da primeira coluna, ser misturada à vinhaça para fertirrigação ou ser empregada na lavagem de equipamentos.

Para que o etanol produzido possa ser adicionado à gasolina, precisa ser desidratado até atingir cerca de 99,5° GL. Este acréscimo de concentração não pode ser feito por destilação simples, pois na concentração do etanol hidratado, a mistura binária hidroalcoólica apresenta ponto de ebulição comum, conhecido como ponto de azeotropia. Portanto, para produção de álcool anidro, é necessário introduzir no sistema um artifício que possa fracionar a mistura azeotrópica, alterando sua composição. São utilizados três processos industriais de desidratação do etanol: destilação azeotrópica, destilação extrativa e utilização de peneiras moleculares. O álcool hidratado ou anidro produzido é armazenado em tanques nas usinas até ser comercializado.

A produção de etanol anidro e hidratado dentro da especificação ocorre em função da operação eficiente da destilação, não se relacionando com a matéria-prima nesse caso. Entretanto, se o sistema de destilação operar em condições ótimas, a perda de etanol na vinhaça e na flegmaça pode ser considerada desprezível, semelhante às perdas associadas à cana.

### **Utilização da vinhaça**

Para o processamento da cana-de-açúcar, a vinhaça, resíduo rico em minerais e com alta carga orgânica, após resfriada, é utilizada na lavoura como fertilizante. São retirados de 8 a 13 litros de vinhaça por litro de etanol produzido. Não se tem conhecimento de análises do desempenho da fertirrigação com vinhaça de sorgo sacarino. Sua aplicação deve ser ajustada para atendimento da norma que fixa a dosagem de vinhaça no solo.

### **Considerações finais**

Grande parte das avaliações do sorgo sacarino em escala industrial, até o momento, aconteceu na fase de propagação do fermento. Nesse caso, ocorre maior consumo dos açúcares fermentescíveis em favor do crescimento do fermento, diminuindo o rendimento em etanol. No caso de processos fermentativos já estabilizados, o sorgo apresenta comportamento muito parecido com o da cana, com rendimento fermentativo semelhante. Obteve-se, nas avaliações do processamento industrial feitas até o momento, um rendimento de até 60 litros de etanol por tonelada de sorgo sacarino processada. Para a cana-de-açúcar são produzidos, em média, 85 litros por tonelada.

Estes rendimentos foram obtidos em usinas que processaram o sorgo pela primeira ou segunda vez. O entendimento das particularidades desta matéria-prima e a experiência adquirida no processamento, além da utilização de novas variedades com maior teor de açúcares no colmo, certamente elevarão os níveis de produtividade nas safras seguintes.

Há também potencial de aumento da produção de etanol de sorgo sacarino pelo aproveitamento das panículas, ricas em amido.

Neste caso, seria feita a sacarificação do amido com a utilização de enzimas, para posterior fermentação. Entretanto, caso o amido não seja devidamente hidrolisado, o desempenho das centrífugas pode ser prejudicado, além do acúmulo de matéria inerte com o fermento, que diminuiria a eficiência de conversão no processo fermentativo. Se o teor de amido for suficientemente elevado, pode ocorrer gelatinização dele após o aquecimento, o que diminuiria a eficiência da decantação.

## **Custo de produção e viabilidade econômica de etanol a partir do sorgo sacarino plantado na entressafra da cana-de-açúcar**

Rubens Augusto de Miranda

O sorgo sacarino, por possuir o colmo rico em açúcares, tem potencial para produzir etanol em quantidades economicamente viáveis na entressafra de cana-de-açúcar. A inserção e expansão do sorgo sacarino em complemento à cana-de-açúcar para a produção de bioetanol podem estabilizar a oferta de etanol combustível no Brasil, ao longo do ano. Tal fato tem criado interesse crescente e aberto novas possibilidades para a cultura. Por ser uma iniciativa recente, o sistema de produção do sorgo sacarino encontra-se em fase de ajustes para explorar o máximo possível o potencial produtivo das cultivares disponíveis. O presente trabalho tem por objetivo mensurar os custos de produção e analisar a viabilidade econômica da produção de etanol a partir do sorgo sacarino, explorando as expectativas de melhoramento de cultivares associadas às boas práticas de manejo da cultura.

Para a mensuração e análise da produção de etanol a partir do sorgo sacarino foram utilizadas 5 etapas de custeio: 1) preparo do solo; 2) plantio; 3) condução da lavoura; 4) colheita e transporte; e 5) produção industrial. A partir do entendimento de que o sorgo sacarino será plantado, nesta primeira etapa de expansão da

cultura, preferencialmente, na entressafra da cana-de-açúcar ou em área de reforma de canaviais, desconsiderou-se a depreciação do capital e dos custos de oportunidade, utilizando-se apenas os coeficientes técnicos e os preços unitários dos fatores de produção. Foram considerados apenas os custos operacionais da cultura, seguindo Duarte *et al* (1992).

A produtividade em termos de biomassa por hectare e o rendimento de etanol por tonelada são fundamentais na avaliação dos custos de produção e da receita obtida pelo produtor. Neste trabalho foram utilizadas informações relativas às metas de rendimento de sorgo sacarino estabelecidas pela Embrapa Milho e Sorgo (SCHAFFERT *et al*, 2011). A partir disso, definiram-se quatro cenários para o rendimento de biomassa (ton/ha): baixo, 40 ton/ha; médio-baixo, 50 ton/ha; médio-alto, 60 ton/ha; alto, 80 ton/ha. Adicionalmente, também foram estabelecidos quatro cenários para o rendimento na produção de etanol (L/ton de biomassa): baixo, 40 L/ton; médio-baixo, 60 L/ton; médio-alto, 70 L/ton; alto, 85 L/ton. Essas projeções permitiram montar um quadro totalizando 16 cenários, para os quais foi calculada a rentabilidade econômica do etanol a partir do sorgo sacarino plantado na entressafra da cana-de-açúcar.

Como simplificação, tomou-se como premissa que os aumentos dos rendimentos de biomassa e de etanol decorrem do desenvolvimento e do melhoramento de variedades e híbridos de sorgo sacarino, definidos pelos referidos cenários, e a adequada utilização de insumos no sistema de produção, visando contribuir para a expansão da produtividade física de biomassa (tonelada por hectare) e qualidade da matéria-prima quanto à taxa de conversão (litros de etanol por tonelada de biomassa) de sorgo sacarino. Assim, no cálculo dos custos de produção, as variações ocorreram apenas em decorrência do maior rendimento de biomassa, impactando assim o custeio da colheita/transporte e o custeio da produção industrial de etanol. A **Tabela 1** apresenta o custo de produção do etanol considerando uma produtividade de 40 toneladas por hectare de biomassa do sorgo sacarino. Avaliando esse cenário de baixa produtividade, o custeio do plantio, respondendo por 26,35% dos custos operacionais totais, consistiu

na etapa mais onerosa do processo produtivo, seguida pelo custeio de colheita e transporte, com 23,85%. O custo operacional total ficou em R\$ 2.610,36. Os preços referem-se àqueles cotados entre outubro e novembro de 2011 (época de plantio do sorgo no sistema de produção do etanol) e disponibilizados nos *sites* do Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA), União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) e da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB).

**Tabela 1** Custo de produção de etanol a partir do sorgo sacarino

Custeio do Preparo de Solo por hectare					
Descrição do Custo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor de uso	Participação no Custo Total (%)
Gradagem pesada					
trator 240 cv	h/m	1	R\$ 90,34	R\$ 90,34	3,40%
Distribuição de calcário					
trator 180 cv	h/m	0,5	R\$ 69,57	R\$ 34,79	1,31%
calcário	ton	1	R\$ 95,00	R\$ 95,00	3,57%
Grade niveladora					
trator 180 cv	h/m	0,25	R\$ 69,57	R\$ 17,39	0,65%
<b>Total do custeio de preparo de solo</b>				<b>R\$ 237,52</b>	<b>8,93%</b>

Custeio do Plantio por hectare					
Descrição do Custo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor de uso	Participação no Custo Total (%)
<b>Semeadura</b>					
trator 85 cv com plantadeira de 9 linhas	h/m	0,8	R\$ 82,81	R\$ 66,25	2,49%
fórmula 04-30-16	ton	0,45	R\$ 1.178,50	R\$ 530,33	19,94%
mão de obra	d/h	0,10	R\$ 37,17	R\$ 3,72	0,14%
<b>Semente</b>					
BRS 506	kg	4	R\$ 18,56	74,24	2,79%
<b>Tratamento das sementes</b>					
Inseticida-Cropstar	litros	0,1	R\$ 169,00	R\$ 16,90	0,64%
mão de obra	d/h	0,25	R\$ 37,17	R\$ 9,29	0,35%
<b>Total do custeio do plantio</b>				<b>R\$ 700,72</b>	<b>26,35%</b>
Custeio de Condução da Lavoura por hectare					
Descrição do Custo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor de uso	Participação no Custo Total (%)
<b>Aplicação de Herbicidas</b>					
trator 120 cv	h/m	0,6	R\$ 43,71	R\$ 26,23	0,99%
Herbicida-Atrazina	litros	2	R\$ 8,20	R\$ 16,40	0,62%
<b>Aplicação de Fungicida</b>					
trator 120 cv	h/m	0,6	R\$ 43,71	R\$ 26,23	0,99%
Fungicida-Opera	litros	0,75	R\$ 74,00	R\$ 55,50	2,09%
<b>Aplicação de Inseticida</b>					
trator 120 cv	h/m	0,6	R\$ 43,71	R\$ 26,23	0,99%
Inseticida-Lannate	litros	1,2	R\$ 16,70	R\$ 20,04	0,75%

Custeio de Condução da Lavoura por hectare (cont.)					
Descrição do Custo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor de uso	Participação no Custo Total (%)
Adubação de cobertura					
trator 160 cv - adubadeira	h/m	0,5	R\$ 68,38	R\$ 34,19	1,29%
Fórmula 20-00-20	t <sup>-1</sup>	0,4	R\$ 1.068,00	R\$ 427,20	16,06%
mão de obra	d/h	0,0625	R\$ 37,17	R\$ 2,32	0,09%
<b>Total de custeio de condução da lavoura</b>				<b>R\$ 585,26</b>	<b>22,42%</b>
Custeio de Colheita e Transporte por hectare					
Descrição do Custo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor de uso	Participação no CT (%)
Corte de sorgo					
colheitadeira	h/m	0,66	R\$ 280,00	R\$ 184,80	6,95%
Reboque de sorgo					
Reboque de julietas	ton	40	R\$ 1,98	R\$ 79,20	2,98%
Transporte de sorgo					
Transporte terceirizado	ton	40	R\$ 8,57	R\$ 342,86	18,89%
<b>Total de custeio da colheita</b>				<b>R\$ 606,86</b>	<b>22,82%</b>
Custeio da Produção Industrial por hectare					
Descrição do Custo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor de uso	Participação no CT (%)
Custos e despesas industriais totais	R\$/ton	40	R\$ 12,00	R\$ 480,00	18,05%
<b>Custo Operacional total</b>			<b>R\$ 2.659,43</b>		

Fonte: Autor

Os custos de produção relativos às produtividades de biomassa de 50, 60 e 80 ton/ha, foram, respectivamente, R\$ 3.110, R\$ 3.336 e R\$ 3.674. Considerando que, por premissa, os aumentos de produtividade impactam apenas o custeio de colheita e transporte e o custeio de produção industrial, conforme o rendimento de

biomassa aumenta, as referidas etapas de custeio aumentam a sua participação relativa. Por isso, ao avaliarmos o cenário de rendimento de 80 toneladas de biomassa por hectare as duas etapas de custeio mais onerosas são justamente a de colheita e transporte e a de produção industrial, respondendo por 29,44% e 27,76%, respectivamente.

A colheita do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar ocorre no mês de março, na região Centro-Sul do Brasil. Assim, no cálculo da receita total obtida pelo produtor, utilizou-se uma média dos preços do etanol anidro recebido pelo produtor em São Paulo<sup>1</sup> nos meses de março e abril, que ficou em R\$ 1,277. Esse preço foi utilizado para o cálculo da receita por hectare para os cenários de rendimento definidos. A **Tabela 2** apresenta a rentabilidade da utilização do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar para cada um dos 16 cenários. Prejuízos ocorreram apenas no cenário de baixa produtividade de biomassa (40 ton/ha) e rendimento de etanol médio-baixo e baixo, 40 e 60 L/ton, respectivamente.

**Tabela 2** Viabilidade econômica do sorgo sacarino em relação aos cenários de rendimento (R\$/ha)

		Rendimento de biomassa (t ha <sup>-1</sup> )			
		Baixo	Médio-baixo	Médio-alto	Alto
Rendimento de etanol (L t <sup>-1</sup> de biomassa)	Alto	R\$ 1426,97	R\$ 3.019,14	R\$ 3.815,23	R\$ 5.009,36
	Médio-alto	R\$ 405,37	R\$ 1.486,74	R\$ 2.027,43	R\$ 2.838,46
	Médio-baixo	-R\$ 105,43	R\$ 720,54	R\$ 1.133,53	R\$ 1.753,01
	Baixo	-R\$ 616,23	-R\$ 45,66	R\$ 239,63	R\$ 667,56

Fonte: Autor

<sup>1</sup>Os preços do etanol anidro recebido pelo produtor no Estado de São Paulo são divulgados pela UNICA sem frete e sem impostos.



As estimativas de rentabilidade para a produção de etanol a partir do sorgo sacarino, quando utilizado como complemento a cana-de-açúcar, apontam para um potencial favorável da cultura. Terminada a etapa de adequação e ajustes do sistema de produção, há a expectativa de que a produção de biomassa se situe nos cenários de médio rendimento, que se mostraram rentáveis, segundo as estimativas. Os programas de melhoramento de cultivares de sorgo sacarino foram retomados recentemente no Brasil; e, incluindo o potencial de contribuição de empresas privadas produtoras de sementes, há uma grande expectativa de oferta no mercado, em futuro próximo, de variedades e híbridos de sorgo sacarino mais produtivos, condizentes com os cenários de maior produtividade. Ademais, com o aumento da escala de produção agroindustrial, melhores ajustes e adequações nas práticas de manejo da cultura serão implementadas, nos campos de cultivo. Os resultados esperados deverão produzir maiores lucratividade e rentabilidade do empreendimento agroindustrial de sorgo sacarino *per se*, com impactos positivos no aumento da operacionalidade das usinas e na oferta de etanol e melhor aproveitamento de resíduos e coprodutos para cogeração e outras finalidades.

## Referências

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PARRELA, R. A. C.; TARDIN, F. D.; BRANT, R. S.; SIMÕES, D. A.; FONSECA, W. B.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. de J. Potencial forrageiro de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade**: resumos expandidos... Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

AMADUCCI, S.; MONTI, A.; VENTURI, G. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. **Industrial Crops Products**, v. 20, n. 1, p. 111-118, 2004.

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.

ALVAREZ, V. H. V.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. Uso do gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 67-78.

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E. de. Sorgo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 325-327.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)> Acesso em: 15 jul. 2012

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento de risco climático**: milho 2010/2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/portarias-segmentadas-por-uf>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

BROADHEAD, D. M.; FREEMAN, K. C. Stalk and sugar yield of sweet sorghum as affected by spacing. **Agronomy Journal**, Madison, n. 72, p. 523-524, 1980.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja o doutor do seu sorgo**. Piracicaba: Potafós, 2002. 24 p. (Arquivo do Agrônomo, 14).

COSTA, R. V.; COTA, L. V.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; LANZA, F. E. **Controle químico da antracnose do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 117).

COSTA, R. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; PARREIRA, D. F. **Uso integrado da resistência genética e aplicação de fungicidas para o manejo da antracnose do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 143).

COTA, L. V.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; PARREIRA, D. F. **Recomendação para o controle químico da helmintosporiose do sorgo (*Exserohilum turcicum*)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 149).

COTA, L. V.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; LANZA, F. E. **Recomendação para o controle químico da antracnose foliar do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 171).

COWLEY, O. H.; SMITH, B. S. Sweet sorghum as a potential sugar crop in south Texas. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGY, 14., 1971, New Orleans. **Proceedings**. New Orleans: [s.n.], 1972. p. 628-633.

DUARTE, J. O.; FREITAS, J. A. D. **Custo de produção: o caso do Cará-da-Costa em Parnaíba**. Parnaíba: –EMBRAPA-CNPAl, 1992. 11 p. (EMBRAPA-CNPAl. Comunicado técnico, 92).

EPAMIG. **Relatório interno de pesquisa/FAPEMIG: arranjo de plantas para o sorgo sacarino na região semiárida de Minas Gerais**. Nova Porteirinha, 2011.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 185-226.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499 p.

KUMAR, S. R.; SHROTRIA, P. K.; DESHMUKH, J. P. Characterizing nutrient management effect on yield of sweet sorghum genotypes.

**World Journal of Agricultural Sciences**, Prades, v. 4, n. 6, p. 787-789, 2008.

LANDAU, E. C.; SCHAFFERT, R. E. Zoneamento de áreas aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 18-19, 2011.

LUESCHEN, W. E.; PUTNAM, D. H.; KANNE, B. K.; HOVERSTAD, T. R. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 4, n. 4, p. 619-625, 1991.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994. 153 p.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (Org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Embrapa Solos. Documentos, 110).

MANZATTO, C. V. Zoneamento agroecológico do sorgo sacarino para a produção de etanol em áreas de produção e renovação de cana-de-açúcar. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 3, n. 2, p. 20-12, 2011.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, A. F. **Arranjo de plantas de sorgo sacarino**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. No prelo.

MURRAY, S. C.; SHARM, A.; ROONEY, W. L.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E., MITCHELL, S. E. ; KRESOVICH, S. Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: I. QTL for Stem Sugar and Grain Nonstructural Carbohydrates. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 2165-2179, 2008.

PACHECO, E. P.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação de uma semeadora-adubadora de

precisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p.9-14, 1996.

PARRELLA, R. A. da C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, ano 2, n. 3, p. 8-9, ago. 2011.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JAIN, N.; JOSHI, H. C. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. **Energy and Fuels**, Washington, v. 21, p. 2415-2420, 2007.

RATNAVATHI, C. V.; CHAKRAVARTHY, S. K.; KOMALA, V. V.; CHAVAN, U. D.; PATIL, J. V. Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. **Sugar Tech**, v. 13, n. 4, p. 399-407, 2011.

RIBAS, P. M. **Implantação da cultura do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 94).

RITTER, K. B.; JORDAN, D. R.; CHAPMAN, S. C.; GODWIN, I. D.; MACE, E. S.; LYNNE, C. Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet 3 grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 22, n. 3, p. 367-384, 2008.

RODRIGUES, A. C. P.; COSTA, N. V.; CARDOSO, L. A.; CAMPOS, C. F.; MARTINS, D. **Períodos** de interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 23-31, 2010.

RODRIGUES, E. F.; LEITE, I. C. Crescimento de genótipos de sorgo plantados nos sentidos norte-sul e leste-oeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 173-179, 1999.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R.; MAY, A.; DURÃES, F. O. M. Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, ano 2, n. 3, p. 47, ago. 2011.

SCHAFFERT, R. E. Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. In: GOMEZ, M. I.; HOUSE, L. R.; ROONEY, L. W.; DENDY, D. A. V. (Ed.). **Utilization of sorghum and millets**. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1992. p. 131-137.

SCHAFFERT, R. E.; SANTOS, F. G.; BORGONOV, R. A.; SILVA, J. B. Aprenda a plantar sorgo sacarino. **Agroquímica**, São Paulo, v. 13, p. 10-14, 1980.

SCHAFFERT, R. E. Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. In: GOMEZ, M. I.; HOUSE, L. R.; ROONEY, L. W.; DENDY, D. A. V. (Ed.). **Utilization of sorghum and millets**. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1992. p. 131-137.

SILVA, J. B.; PASSINI, T.; VIANA, A. C. Controle de plantas daninhas na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 144, p. 43-45, 1986.

SNIDER, J. L.; RAPER, R. L.; SCHWAB, E. B. The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plant stand characteristics of non-irrigated photoperiod-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Industrial Crops and Products**, v. 37, p. 527-535, 2012.

SORGO sacarino: a “safrinha” da cana-de-açúcar. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 1 folder.

SOUZA, V. F.; PARRELLA, R. A.; PORTUGAL, A. F.; TARDIN, F. D.; DURÃES, N. N. L.; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no norte de Minas Gerais visando a produção de etanol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. **Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil**. [Búzios]: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.

TEETOR, V. H.; DUCLOS, D. V.; YOUNG, K. M.; CHAWHUAYMAK, J.; RILEY, M. R.; RAY, D. T. Effects of planting date on sugar and

ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**, v. 34, p. 1293-1300, 2010.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; DARCY, A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 248-251, 1997.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; NICOLELLA, G.; ZARONI, M. H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1601-1606, 1999.

WORTMANN, C. S.; LISKA, A. J.; FERGUNSON, R. B.; LYON, D. J.; KEIN, R. N.; DWEIKAT, I. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, n. 102, p. 319-326, 2010.



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

