

# AGROENERGIA

em REVISTA

Esta é uma publicação da Embrapa Agroenergia

Ano II, nº 3, agosto de 2011



**Sorgo sacarino:**  
**Tecnologia Agronômica**  
**e Industrial para**  
**Alimentos e Energia**

## Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia

---

Na natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma. Hodiernamente, o mundo redescobre e discute as oportunidades e ameaças para a produção e distribuição de alimentos dependente de energia, incluindo as oportunidades da energia renovável da biomassa. Isto implica em novas visões e aplicações do conceito da lei de conservação da massa, a conhecida Lei de Lavoisier.

O fator inovação é o mecanismo de competitividade com sustentabilidade do setor agroenergético e a inovação disruptiva é o elemento central para considerar este setor como um negócio, tipicamente da iniciativa público-privada. Isto implica em entender e criar domínios tecnológico e negocial, com devida apropriação intelectual de matérias-primas, processos e tecnologias, sob os aspectos técnico-científicos e legais.

A produção brasileira de açúcar é feita, fundamentalmente, a partir da extração do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). A produção agrícola de matéria-prima e o processo industrial para produção de açúcar, etanol, coprodutos e cogeração de energia tornam o empreendimento sucroenergético um negócio competitivo, profissional.

O histórico do ciclo econômico da cana-de-açúcar no Brasil colonial, e especialmente do programa cana-etanol nestes últimos 35 anos, os ganhos técnicos, econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro, implicam em uma aprendizagem robusta capaz de considerar que, para a energia de biomassa no Brasil, a "vantagem competitiva é transitória".

A planta de cana-de-açúcar, o canavial, o engenho e a indústria, as biorrefinarias tem histórico secular e evolutivo no Brasil. A implantação e a ampliação do setor sucroenergético no país, sobretudo nas regiões canavieiras tradicionais do Sudeste e Nordeste, experimentaram significativos ganhos de produtividade agrícola e industrial.

Neste particular, a agenda de produção de alimentos e energia, maximização do uso de recursos (terra, água, agricultura de baixo carbono), eficiência de processos agrícolas e industriais, renovação ou reforma de canaviais, espécies energéticas para rotação, colocam o sorgo sacarino como uma espécie

com domínio tecnológico capaz de atender às necessidades agrônômicas e biológicas da interação genótipo-ambiente em benefício do setor sucroenergético, e de produzir mais etanol e resíduos na entressafra da cana-de-açúcar.

Aliado às espécies oleaginosas com domínio tecnológico, como amendoim, girassol, soja e adubos verdes (*Crotalaria juncea* L.), o sorgo sacarino tem grande potencial para expansão de cultivo em zonas tradicionais e novas do setor sucroalcooleiro. E, a produção de etanol de sorgo sacarino deverá ser expandida em complementação ao etanol de cana-de-açúcar. Estudos e estimativas demonstram que se buscam opções para a reforma de 10-15% de área anual de cana-de-açúcar, que possam amortizar cerca de 30-40% do custo de implantação de um novo canavial. A rotação de culturas na reforma melhora em até 20% a produtividade do canavial. E, a seleção de espécies de expressão econômica deve contribuir para atender aos interesses de produção de alimentos e energia.

Além de atender a uma forte e crescente demanda do mercado por informações e negócios competitivos para o sorgo sacarino, equipes de pesquisadores e técnicos da Embrapa, em parceria organizada, tem sistematizado dados e discussões sobre o tema, em três vertentes, a saber: desenvolvimento de tecnologia agrônômica, tecnologia industrial e em estudos transversais (ciclo de vida, balanços de massa e de energia, economia de água e de carbono, socioeconomia, etc.).

A coleta e organização de dados e informações, a divulgação técnica, a transferência de tecnologia e os negócios competitivos, demonstram o acervo de conhecimento à disposição do mercado, bem como objetivam analisar e divulgar o esforço acumulado e corrente que a Embrapa realiza em seus laboratórios e campos experimentais. Apontam ainda, para novas parcerias internas e externas, e para os procedimentos em busca de melhorias no domínio tecnológico nas áreas de interesse para a inserção do sorgo sacarino no rol de matérias-primas do setor sucroenergético do Brasil. Atualmente, novos modelos de transferência de tecnologia e de negócios tecnológicos estão em andamento, na parceria público-privada, para o cumprimento desta agenda.

Em AGROENERGIA em revista, edição 3, de Agosto de 2011, técnicos e gestores tratam a temática SORGO SACARINO: Tecnologia agrônômica e industrial para a produção de alimentos e energia. Esta edição objetiva condensar um considerável acervo de informações técnicas e gerenciais sobre o sorgo sacarino

e suas aplicações para novos negócios. Entretanto, deverá desmistificar falácias antigas e errôneas sobre o sorgo sacarino e mesmo reforçar os conceitos de oportunidade e perspectivas futuras para a sua expansão em áreas selecionadas do Brasil.

No foco de desenvolvimento de tecnologia agrônômica são tratados, basicamente, três aspectos: a) o melhoramento, genética e desenvolvimento de cultivares (variedades e híbridos); b) boas práticas agrícolas e temas especiais dos sistemas de produção; e, c) descritores de planta (com viés biológico) para fins energéticos.

Em desenvolvimento de tecnologia industrial focam-se outros três temas: a) a caracterização da matéria-prima (viés industrial) para fins energéticos, nas rotas de produção de etanol (1ª-geração tecnológica), e biomassa para fins diferenciados (etanol de material lignocelulósico ou 2ª-geração, cogeração de energia, alimentação de animais ruminantes, biofertilizantes e coprodutos – novas moléculas, materiais, etc.); b) os processos de conversão “per se”, tais como protocolos analíticos de referência e utilidades para rotas tecnológicas diferenciadas; e, c) arranjos (institucionais, técnico-científicos e produtivos) visando a inserção do sorgo sacarino no complexo do setor sucroenergético, abordando reforma de canavial, plantio de entressafra da cana, cogeração, e scale up de maquinaria agrônômica e industrial, dentre outros temas.

Decididamente, neste cenário de competitividade agroindustrial do setor sucroenergético, a lei de Lavoisier é, por certo, mais adequada e robusta que os ditames de Caminha, em sua histórica carta ao Rei de Portugal, anunciando o descobrimento da Terra de Vera Cruz (Brasil) e registrando “em nela se plantando tudo dá”. E, a inserção do sorgo sacarino neste setor sucroenergético, por certo, deverá acontecer pela observância disciplinada e integrada da gestão da inovação.

Empreendedorismo, PD&I (pesquisa, desenvolvimento e inovação), governança, negócio público-privado e atividade agroindustrial estão entre as palavras-chave deste negócio temático. Ou, em síntese, reportando-se às falas de duas eminências da gestão pública e da ciência agropecuária – respectivamente, ex-Ministro do MAPA Alysso Paulinelli, e ex-Presidente da Embrapa Doutor Eliseu Roberto de Andrade Alves – que cunharam preciosidades em momentos críticos - em termos de Agroenergia, ou qualquer um de seus programas, o Brasil (ou o empresariado) precisa de “investimentos e juízo” .

**Frederico Ozanan Machado Durães**  
**Chefe-Geral**  
**Embrapa Agroenergia**

## EXPEDIENTE

Esta é a edição nº 3, de agosto de 2011, da **Agroenergia em Revista**, publicação trimestral de responsabilidade da Área de Comunicação da Embrapa Agroenergia

### **Chefe-Geral**

Frederico Ozanan Machado Durães

### **Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento**

Esdras Sundfeld

### **Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios:**

Bruno Galveas Laviola

### **Chefe Adjunta de Administração**

Maria do Carmo de Moraes Matias

### **Jornalista Responsável**

Daniela Garcia Collares  
(MTb/114/D1 RR)

### **Revisão**

José Manuel Cabral de Sousa Dias

### **Diagramação**

Maria Goreti Braga dos Santos  
Alexandre Esteves Neves

### **Capa e arte-final**

Maria Goreti Braga dos Santos

### **Fotos da capa**

RGB Comunicação  
Embrapa Milho e Sorgo

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

Permitida a reprodução das matérias publicadas desde que citada a fonte.

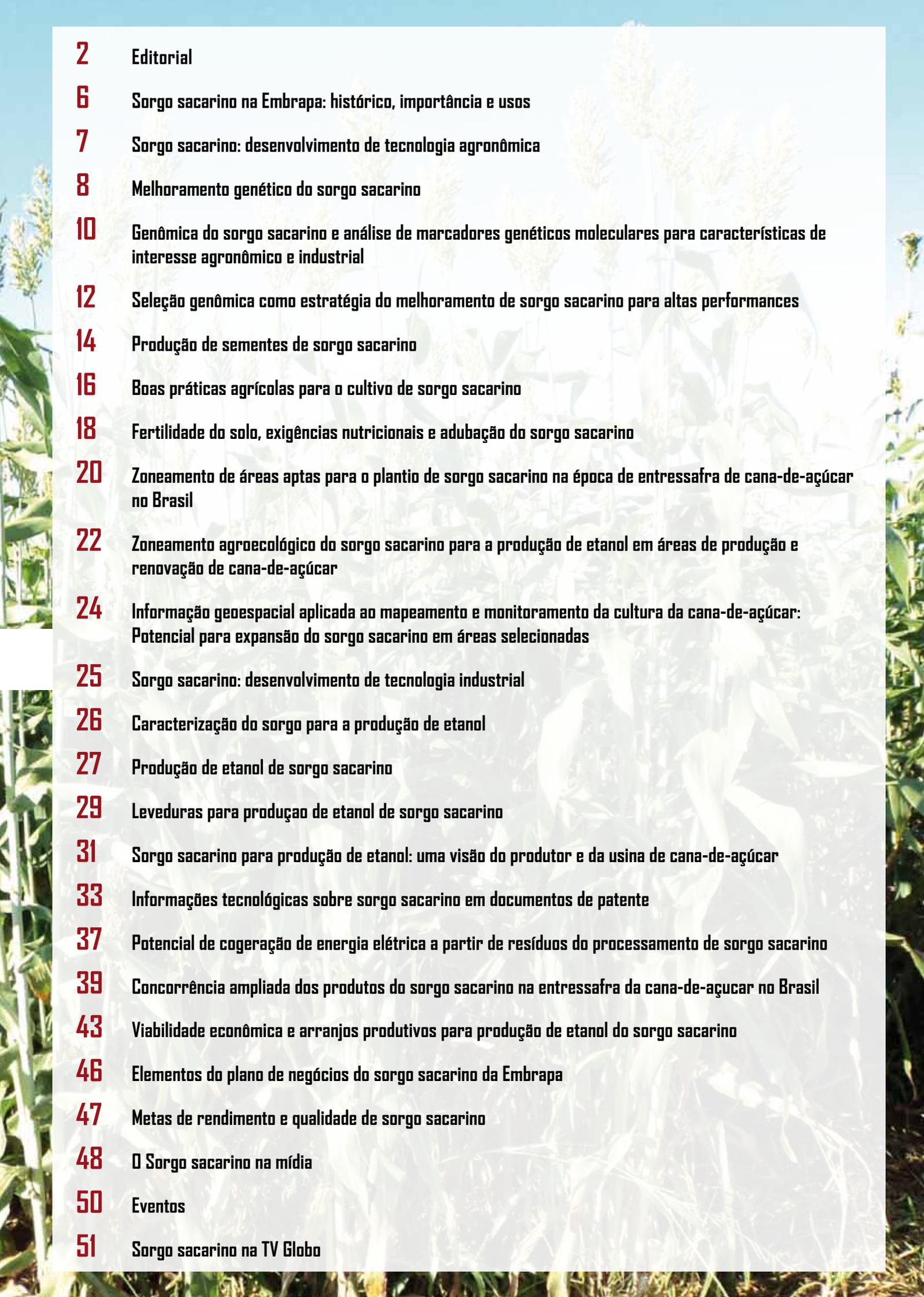
### **Embrapa Agroenergia**

Parque Estação Biológica - PqEB  
s/nº, Av. W3 Norte (final)  
Edifício Embrapa Agroenergia  
Caixa Postal: 40.315  
70770-901 - Brasília (DF)  
Tel.: 55 (61) 3448 1581  
[www.cnpae.embrapa.br](http://www.cnpae.embrapa.br)  
[sac.cnpae@embrapa.br](mailto:sac.cnpae@embrapa.br)  
<http://twitter.com/cnpae>



## Sumário



- 
- |           |  |
|-----------|--|
| <b>2</b>  | <b>Editorial</b>   |
| <b>6</b>  | <b>Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos</b>  |
| <b>7</b>  | <b>Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica</b>  |
| <b>8</b>  | <b>Melhoramento genético do sorgo sacarino</b>   |
| <b>10</b> | <b>Genômica do sorgo sacarino e análise de marcadores genéticos moleculares para características de interesse agrônômico e industrial</b>                          |
| <b>12</b> | <b>Seleção genômica como estratégia do melhoramento de sorgo sacarino para altas performances</b>  |
| <b>14</b> | <b>Produção de sementes de sorgo sacarino</b>  |
| <b>16</b> | <b>Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino</b>  |
| <b>18</b> | <b>Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino</b>   |
| <b>20</b> | <b>Zoneamento de áreas aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil</b>  |
| <b>22</b> | <b>Zoneamento agroecológico do sorgo sacarino para a produção de etanol em áreas de produção e renovação de cana-de-açúcar</b>                                     |
| <b>24</b> | <b>Informação geoespacial aplicada ao mapeamento e monitoramento da cultura da cana-de-açúcar: Potencial para expansão do sorgo sacarino em áreas selecionadas</b> |
| <b>25</b> | <b>Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia industrial</b>  |
| <b>26</b> | <b>Caracterização do sorgo para a produção de etanol</b>   |
| <b>27</b> | <b>Produção de etanol de sorgo sacarino</b>  |
| <b>29</b> | <b>Leveduras para produção de etanol de sorgo sacarino</b>   |
| <b>31</b> | <b>Sorgo sacarino para produção de etanol: uma visão do produtor e da usina de cana-de-açúcar</b>  |
| <b>33</b> | <b>Informações tecnológicas sobre sorgo sacarino em documentos de patente</b>  |
| <b>37</b> | <b>Potencial de cogeração de energia elétrica a partir de resíduos do processamento de sorgo sacarino</b>  |
| <b>39</b> | <b>Concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar no Brasil</b>   |
| <b>43</b> | <b>Viabilidade econômica e arranjos produtivos para produção de etanol do sorgo sacarino</b>   |
| <b>46</b> | <b>Elementos do plano de negócios do sorgo sacarino da Embrapa</b>   |
| <b>47</b> | <b>Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino</b>   |
| <b>48</b> | <b>O Sorgo sacarino na mídia</b>   |
| <b>50</b> | <b>Eventos</b>   |
| <b>51</b> | <b>Sorgo sacarino na TV Globo</b>  |

# Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos

Por: Antonio Álvaro Corsetti Purcino, Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

**S**orgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é nativo da África e algumas variedades atuais são originárias do continente africano. Iniciativas de introdução desta gramínea no Brasil foram realizadas em eras diferentes, mas contam os esforços de institutos de pesquisa e universidades, sobretudo a partir da década de 1950. A Embrapa iniciou um programa de melhoramento de sorgo em meados da década de 1970, acreditando no potencial desta cultura no país, e hoje a área plantada de sorgo no Brasil é de aproximadamente 1,5 milhões de hectares.

O sorgo, nos diferentes tipos (granífero, forrageiro e sacarino), apresenta-se como uma espécie bem adaptada a ambientes extremos de estresses abióticos, especialmente, de temperatura do ar e umidade do solo. Este comportamento de rusticidade às condições ambientais confere ao sorgo condições favoráveis à sua adaptação em relação a outras espécies comerciais. Apesar deste fato, o sorgo é responsivo às boas práticas agrícolas e de manejo da cultura, e, portanto, passível de inovação tecnológica competitiva para a sua utilização e usos.

Com a implementação do Programa Pró-Álcool, em meados da década de 1970, o Brasil tem se tornado um dos países pioneiros no uso de bioenergia, e é uma referência mundial com o su-

cesso da produção nacional de etanol a partir de cana-de-açúcar. Com o Pró-Álcool, a Embrapa Milho e Sorgo iniciou um programa de melhoramento de cultivares de sorgo sacarino com o objetivo de desenvolver cultivares destinadas à produção de álcool, principalmente por pequenas destilarias. Devido à eliminação dos incentivos governamentais às pequenas destilarias na década de 80, o programa de melhoramento do sorgo sacarino foi desacelerado na Embrapa. Entretanto, mais recentemente, e de acordo com o Plano Nacional de Agroenergia (PNA 2006-2011), a Embrapa tem priorizado o desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino (produção de etanol de 1ª-geração e resíduos) e de sorgo-energia (biomassa diferenciada para características lignocelulósicas para fins energéticos, com foco em etanol de 2ª-geração ou cogeração de energia).

Este novo foco requer que o programa de melhoramento da Embrapa seja redimensionado, de forma a permitir o desenvolvimento das atividades de *PD&I* nesta área. Vários projetos nacionais e internacionais já foram aprovados na área de sorgo para bioenergia, e parcerias com várias instituições tem contribuído no avanço do programa de melhoramento, manejo, e utilização de sorgo sacarino para fins agroindustriais e energéticos. ●



# Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica

**Por:** Frederico O. M. Durães, Chefe-Geral  
Embrapa Agroenergia

**E**m um processo agrícola, o ordenamento territorial, a genética e cultivares modificadas, as boas práticas agrícolas e as associações bióticas e abióticas visando ganhos de produtividade, bem como os arranjos produtivos são passíveis de complexos empreendimentos técnicos e legais.

Em termos de matérias-primas produtoras de açúcar e processos de produção de etanol, a inovação está centrada em dois grandes desafios técnico-científicos e gerenciais. Um primeiro é o aumento da densidade energética, que pode ser explorado na biodiversidade, na construção de associações biológicas dentro de espécies, ou mesmo na utilização de processos físicos, químicos ou biológicos. Neste enfoque são exemplos diferenciados o desenvolvimento de novas cultivares modificadas de cana-de-açúcar, por melhoramento genético convencional e biologia avançada, e a utilização de matérias-primas alternativas ou complementares, com domínio tecnológico, como é o caso do sorgo sacarino – *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Um segundo desafio trata da eficiência das tecnologias de aproveitamento do conteúdo energético.

Adicionalmente, os setores de pesquisa e produtivos buscam alternativas para questões de maior uso e eficiência dos recursos da natureza, incluindo os fatores clássicos de produção (terra, capital e trabalho) e os itens modernos de competitividade (inovação, insumos modernos como agroquímicos fertilizantes e protetivos, biofertilizantes, economia de água, economia de carbono, oportunidade social de uso dos recursos, viabilidade econômico-financeira e empresarial, etc.).

O setor sucroenergético busca empreender novas agendas e modelos produtivos, orientados por marco regulatório firme, visando aumentar a competitividade e os ganhos de produtividade agroindustrial.

O sorgo sacarino apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, rico em açúcares fermentescíveis, e pode servir para a produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar. Trata-se de uma espécie de ciclo rápido (quatro meses), cultura totalmente mecanizável (plantio por sementes, tratos culturais e colheita), alta produtividade de biomassa verde (60 a 80 t.ha<sup>-1</sup>), com altos rendimentos de etanol (3.000 a 6.000 l.ha<sup>-1</sup>), com bagaço utilizável como fonte de energia (vapor para industrialização e cogeração de eletricidade). Observam-se resultados de 50 a 77 litros de etanol por tonelada de massa verde

com ATR (açúcares totais recuperáveis) variando de 80 a 127 kg de açúcar extraídos por tonelada de massa verde, utilizando-se a mesma tecnologia utilizada nas usinas (homologada pelo Consecana). Ainda verificam-se que é possível ajustar a mesma estrutura para colheita e processamento da biomassa (moagem, fermentação e destilação) utilizada para cana-de-açúcar.

Adicionalmente, o sorgo sacarino produz grãos (2,5 t.ha<sup>-1</sup>), que apresentam características nutricionais similares às do milho, podendo ser utilizados na alimentação humana ou animal.

Dados técnicos mostram possibilidades de produção de etanol de sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar. Plantios realizados no início do período chuvoso (out/Nov) tornam possível a antecipação de 2 a 3 meses do período de moagem das usinas, com colheitas a partir de fevereiro e março, reduzindo assim, o período de ociosidade das destilarias, que varia de 3 a 5 meses, com impactos positivos na geração de receitas.

É fato corrente que setores da agroindústria canavieira, incluindo fazendas de cana e indústria de maquinarias agrônômica e industrial para processos de conversão, tem procurado avaliar o sorgo sacarino com foco em novos negócios, visando maior competitividade e sustentabilidade do setor sucroenergético.

O sorgo sacarino é uma espécie agrícola rústica, com boa adaptação a estresses ambientais, p.ex., temperatura e umidade); entretanto, ela é responsiva para a aplicação de insumos modernos (p.ex., água, corretivos e fertilizantes) em fases críticas do crescimento e desenvolvimento da cultura. A disponibilidade de sementes de qualidade de cultivares (domínio da genética de variedades e híbridos adaptados) é imprescindível para ganhos de produtividade e rendimento, e adequadas técnicas de plantio e de manejo da cultura (p.ex., profundidade de plantio) são limitantes para a melhor performance agrônômica e produtiva. A formação de caldo e a produção de açúcares totais e sacarose, bem como a tipificação dos resíduos, carecem de cuidados quanto à aplicação de processos técnicos e industriais que permitam a maximização de resultados econômicos. Estes procedimentos são relevantes ao êxito do empreendimento e requer do agricultor, canavieiro ou industrial uma adequada governança (gestão, administração e parceria) para a sua atividade empresarial.

No foco de desenvolvimento de tecnologia agrônômica são tratados, basicamente, três aspectos: a) o melhoramento, genética e desenvolvimento de cultivares (variedades e híbridos); b) boas práticas agrícolas e temas especiais dos sistemas de produção; e, c) descritores de planta (com viés biológico) para fins energéticos. ●

# Melhoramento genético do sorgo sacarino

**Por:** Rafael Augusto da Costa Parrella, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

---

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é um tipo de sorgo com alto potencial forrageiro. Ele se assemelha à cana-de-açúcar, por apresentar colmos suculentos com altos teores de açúcares fermentescíveis. O sorgo sacarino pode oferecer, dentre outras, as seguintes vantagens: rapidez no ciclo (quatro meses); cultura totalmente mecanizável, desde o plantio até a colheita; produção de grãos em torno de 2,5 t ha<sup>-1</sup>, que podem ser utilizados para alimentação humana, animal ou para a produção de biocombustível; utilização do bagaço como fonte de energia para industrialização, cogeração de eletricidade ou forragem para animais, contribuindo para um balanço energético favorável. Além disso, esta cultura pode ser utilizada para fornecimento de matéria-prima durante a entressafra de cana-de-açúcar nas destilarias, que vai de dezembro a abril, e, assim, reforçar a produção nacional de etanol e reduzir o período de ociosidade das destilarias. Ainda, a cultura do sorgo se sobressai em regiões marginais com baixa precipitação e solos ácidos, onde não se produz cana, devido ao sorgo apresentar mecanismos de tolerância à seca e ao alumínio tóxico, bem como eficiência na utilização de nutrientes.

A Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS) iniciou um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino depois da implantação do Pró-Álcool, na década de 70, antecipando uma crise energética. Neste período, houve forte incentivo do Governo Federal para o desenvolvimento de micro e minidestilarias com capacidade de 100 a 1000 L hr<sup>-1</sup>, respectivamente, as quais utilizariam o sorgo sacarino como matéria-prima. Inicialmente foram introduzidos 50 genótipos de sorgo sacarino do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), África e Índia, os quais foram caracterizados agronomicamente, além de ser estabelecido o seu período de utilização industrial (PUI).

No início dos anos 80, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) selecionou seis variedades de sorgo sacarino – BR 500, BR 501, BR 502, BR 503, BR504 e BR505 – derivadas das variedades Rio, Brandes, Roma, Theis, Dale e Wray, respectivamente, todas com produtividade de colmos superior a 40 t ha<sup>-1</sup> e teor de sólidos solúveis médios entre 18 e 20º Brix.

Posteriormente, em 1987, as primeiras variedades brasileiras foram desenvolvidas com potencial para produção de etanol, sendo o BRS 506 e BRS 507, e o híbrido BRS 601. Nessa época, projetos pilotos foram desenvolvidos em Sete Lagoas-MG, Brasília-DF, Jundiá-SP e Pelotas-RS, para processar sorgo sacarino em microdestilarias, e a tecnologia proposta para a produção de etanol a partir de sorgo foi validada nestes projetos-piloto. Contudo, com o insatisfatório êxito do Pro-Álcool e da política nacional direcionada para grandes destilarias, o foco das pesquisas com sorgo sacarino foi redirecionado para a produção de cultivares forrageiras, provocando um intervalo no desenvolvimento tecnológico do sorgo sacarino. Como as cultivares lançadas apresentavam boa produtividade e qualidade de matéria verde, estes produtos se mantiveram no mercado, comercializados como forrageiras. Atualmente apresentam-se como cultivares de dupla aptidão, sacarina e forrageira.

A Embrapa Milho e Sorgo reiniciou seu programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino a partir de 2008, devido ao potencial desta cultura na geração de energia renovável e devido à grande demanda por matéria-prima alternativa para a produção de etanol nas grandes destilarias. O programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo visa o desenvolvimento de variedades e/ou híbridos de sorgo sacarino e estabeleceu as seguintes metas de produtividade e qualidade: produtividade mínima de biomassa – de 60 t.ha<sup>-1</sup>

extração mínima de açúcar total de 120 kg t<sup>-1</sup> biomassa, considerando a eficiência de extração de 90-95%; conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; produção mínima de etanol de 60 l t<sup>-1</sup> biomassa; Período de Utilização Industrial (PUI) mínimo de 30 dias com extração mínima de açúcar total de 100 kg t<sup>-1</sup> biomassa.

Além dessas características, é utilizado como critério de seleção a resistência às principais doenças (antracnose, helmintosporiose, ferrugem, cercosporiose e míldio) e pragas (lagarta-do-cartucho e broca-da-cana). Neste contexto, atenção especial tem sido dada à broca-da-cana (*Diatrea spp.*), visando a sele-

ção de cultivares com maiores níveis de resistência. O acamamento é outra característica importante a ser considerada, uma vez que as cultivares de sorgo sacarino são de porte alto (3 a 5 m de altura) e possuem panícula com grãos no ápice da planta, fazendo com que as cultivares sejam mais propensas ao acamamento. Contudo, o manejo adequado da cultura, com a utilização de população de plantas ideal e adubação equilibrada, reduz os problemas com acamamento. O programa de melhoramento de sorgo sacarino da Embrapa está estruturado para lançar novas cultivares a partir da safra 2012/2013. ●



Foto: Robert Eugène Schaffert

▲ Na foto o autor do artigo, ao lado de uma lavoura experimental de sorgo sacarino

# Genômica do sorgo sacarino e análise de marcadores genéticos moleculares para características de interesse agrônômico e industrial

**Por:** *Cynthia Maria Borges Damasceno, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo*

---

Além das características agrônômicas favoráveis do sorgo, tais como tolerância a estresses abióticos e o fato de ser uma espécie C4 com capacidade para produção de alta biomassa, o sorgo possui uma gama de recursos genéticos disponíveis que podem auxiliar as estratégias de melhoramento clássico e biotecnológicas para torná-lo uma cultura dedicada à produção de bioenergia. De fato, o sorgo está se tornando uma gramínea modelo para análises genômicas funcionais e estruturais, por ser uma espécie diplóide de genoma relativamente pequeno e de alta endogamia, e ser geneticamente mais próximo da cana-de-açúcar e do milho, tendo divergido recentemente dessas espécies. Avanços na área de genética em sorgo podem contribuir muito para o melhoramento da cana-de-açúcar, uma espécie poliplóide de grande importância econômica cujo genoma ainda não possui sequência completa publicamente disponível, como o sorgo.

Pesquisadores contam hoje com uma grande coleção de germoplasma de sorgo, cujos acessos genéticos estão bem caracterizados, incluindo mapas genéticos e físicos saturados, amplo banco de dados de EST ("Expressed Sequence Tags"), e mais recentemente, a sequência genômica do sorgo foi finalizada permitindo estudos genômicos comparativos entre outras espécies vegetais. A coleção de germoplasma de sorgo da Embrapa inclui acessos oriundos de vários países e coleções núcleo, painéis diversos e populações avançadas de linhagens recombinantes (segregantes para características relacionadas à produção de etanol de primeira e segunda geração), além de variedades e linhagens elite de sorgo sacarino já desenvolvidas.

Na literatura científica, ao se compararem vários dos genomas de plantas (álamo, *Populus*; arroz, *Oryza*; *Arabidopsis*; e, sorgo, *Sorghum*), juntamente com estudos de expressão gênica em larga escala, uma série de genes candidatos para o melhoramento de culturas dedicadas à bioenergia foram identificados. Dentre estes genes estão os envolvidos na síntese de celulose, hemicelulose e lignina, além daqueles que influenciam características morfológicas de crescimento como altura, número de ramos/perfilhos, espessura do caule, sensibilidade a fotoperíodo, dentre outros. Em sorgo, além da busca por homologia de sequências para a identificação destes genes no genoma, outras estratégias estão sendo utilizadas por grupos de melhoramento em todo mundo, como mapeamento de QTLs, mapeamento por associação e mutagênese em escala genômica acoplada a triagens fenotípicas para características como composição geral da parede celular, digestibilidade e recalcitrância à sacarificação.

Acredita-se que a maximização da produção de biomassa por unidade de área plantada será um dos principais focos dos programas de melhoramento voltados à produção de bioenergia, a fim de se minimizar o uso de área cultivável. Apesar do aumento da biomassa por se constituir um alvo prioritário dos programas de melhoramento, o aumento do conteúdo de açúcares e maior produção de caldo também são importantes para culturas como cana-de-açúcar e sorgo sacarino. Em sorgo, vários QTLs associados com o conteúdo de açúcar no caldo foram identificados, indicando que essa é uma característica controlada por vários genes e com interações complexas. Estratégias visando alterações nas proporções e estruturas dos vários polímeros que constituem a parede celular do sorgo terá um papel crucial para a obtenção de acessos para produção de etanol de segunda geração a partir do bagaço do sorgo sacarino ou diretamente do sorgo de alta biomassa, uma vez que um dos principais problemas para a conversão de biomassa para açúcares fermentáveis é a dissociação dos vários polímeros presentes na matéria lignocelulósica. O conteúdo e composição da lignina será importante para as linhas de melhoramento visando conversão da biomassa ou co-geração de energia (bioeletricidade). Na primeira espera-se aumento de eficiência do processo com menor conteúdo de lignina ou composição diferenciada da mesma, enquanto que no último, espera-se maior produção de energia a partir de aumento calorífico da biomassa, o que pode ser atingido por aumento do conteúdo de lignina.

No caso específico do sorgo, que é uma cultura amplamente utilizada como forragem para alimentação animal, por vários anos os melhoristas têm buscado o aumento na digestibilidade de materiais de sorgo. As soluções para aumentar digestibilidade sem afetar outras características importantes dos cultivares são as de obter materiais-elite com níveis de celulose e lignina modificados. Materiais contendo mais celulose e/ou menos lignina, ou com a composição de lignina modificada, têm maior digestibilidade animal. Assim, estes mesmos materiais teriam grande potencial para apresentar maior eficiência de conversão em bioreatores, podendo ser utilizados nos programas de melhoramento de sorgo para produção de bioenergia. De fato, um mutante em sorgo que apresenta até menos 50% no conteúdo de lignina, chamado de “nervura marrom” (*bmr* ou *brown midrib*), é amplamente comercializado para uso como forragem, conferindo maior palatabilidade ao material e digestibilidade animal. Da mesma forma, avanços no melhoramento de variedades de sorgo sacarina para bioenergia tem o potencial de produzir novos materiais interessantes para o uso como alimentação animal.

Estudos publicados em 2009 compararam linhagens isogênicas de sorgo forrageiro com e sem os genes *bmr* quanto à eficiência do processo

de conversão da biomassa em glicose, verificando que as linhagens contendo os genes *bmr-6* e *bmr-12* foram igualmente eficientes na redução do conteúdo de lignina. Quando comparada à linhagem não mutante, a liberação de glicose pelos mutantes *bmr-6*, *bmr-12* e pelo duplo mutante foi mais eficiente, mostrando um aumento de glicose liberada de 27%, 23% e 34%, respectivamente. Os resultados demonstram que houve um efeito aditivo na redução de lignina com o duplo mutante *bmr-6/bmr-12*. Assim, os autores concluíram que a redução do conteúdo de lignina pode apresentar um impacto positivo na eficiência de conversão da biomassa de sorgo *bmr* em açúcares simples. Por outro lado, é importante ressaltar que a redução no teor de lignina pode reduzir o rendimento de biomassa e causar acamamento. Entretanto, estes efeitos parecem ser dependentes do background genético em que os mutantes *bmr* se encontram.

Novos avanços em métodos de genotipagem em larga escala contribuirão para a identificação mais rápida de genes e marcadores de interesse para os programas de melhoramento de espécies que apresentam uso potencial para bioenergia. A Embrapa desenvolve e aplica marcadores moleculares como ferramentas auxiliares ao programa de melhoramento genético de sorgo, para alimentos, forragem e energia. ●

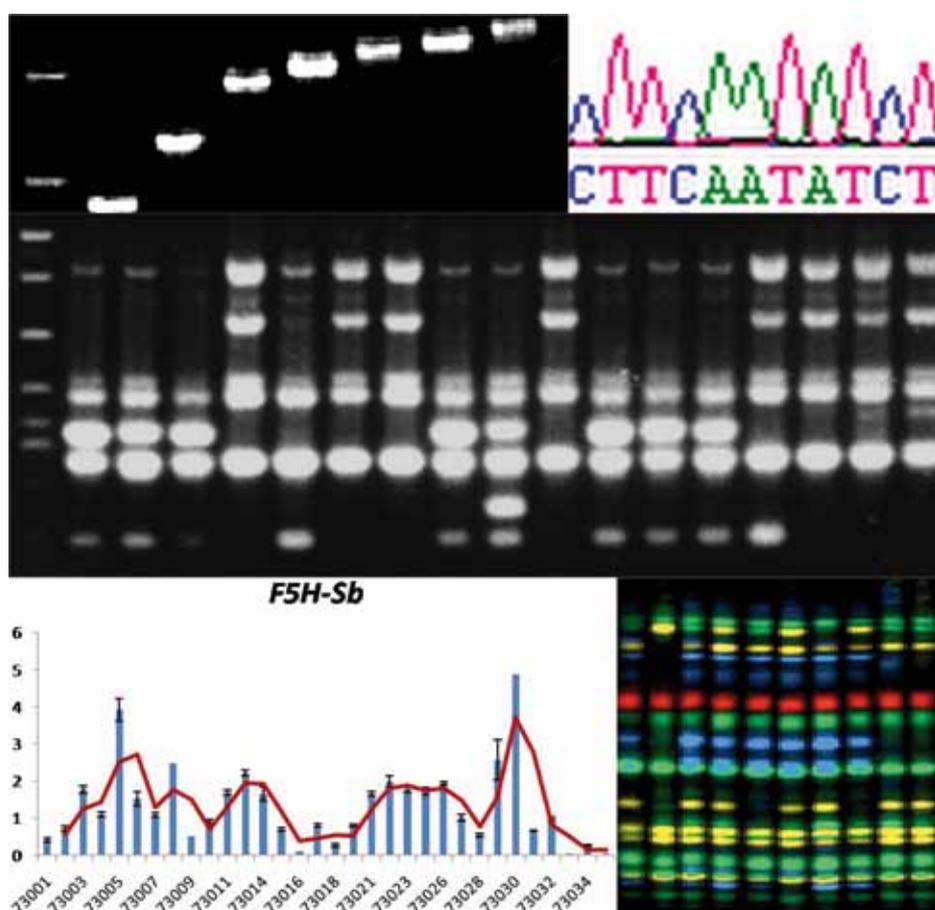


Foto: Cláudia Teixeira Guimarães

# Seleção genômica como estratégia do melhoramento de sorgo sacarino para altas performances

**Por:** *Cynthia Maria Borges Damasceno e Rafael Augusto da Costa Parrella, pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo*

---

A seleção de culturas dedicadas à bioenergia contendo características composicionais de parede celular que sejam favoráveis ao processo de conversão de biomassa é importante para tornar a produção de biocombustíveis de segunda geração economicamente viável. A implementação de seleção assistida por marcadores nos programas de melhoramento em culturas dedicadas à bioenergia deverá acelerar o desenvolvimento de novas cultivares com alta biomassa e composição adequada aos processos de produção de biocombustíveis.

Na área de genômica se encontra o maior potencial de descoberta de marcadores moleculares para características relacionadas ao uso do sorgo para produção de bioenergia, alimentação animal de melhor qualidade e na indústria química. Novos métodos de sequenciamento em larga escala, mais econômicos e rápidos, poderão identificar marcadores mais próximos aos genes de interesse sem que haja necessidade de utilização de técnicas de mapeamento laboriosas. Como exemplo, o re-sequenciamento dos genomas de todos os indivíduos de duas populações de linhagens recombinante de sorgo (RILs,  $F_{10}$ ) e de um painel diverso, está em andamento, por meio de uma colaboração da Embrapa Milho e Sorgo com o Instituto de Diversidade Genômica (IGD), pertencente à Cornell University, EUA.

Uma das populações segrega para colmo seco ou com caldo e teor de açúcares no caldo, enquanto que a segunda população segrega para tolerância à toxicidade por alumínio, além de características relacionadas à biomassa, tais como presença de caldo, altura e composição de parede celular.

O ressequenciamento do painel diverso, cujos materiais originam-se de coleções núcleo de vá-

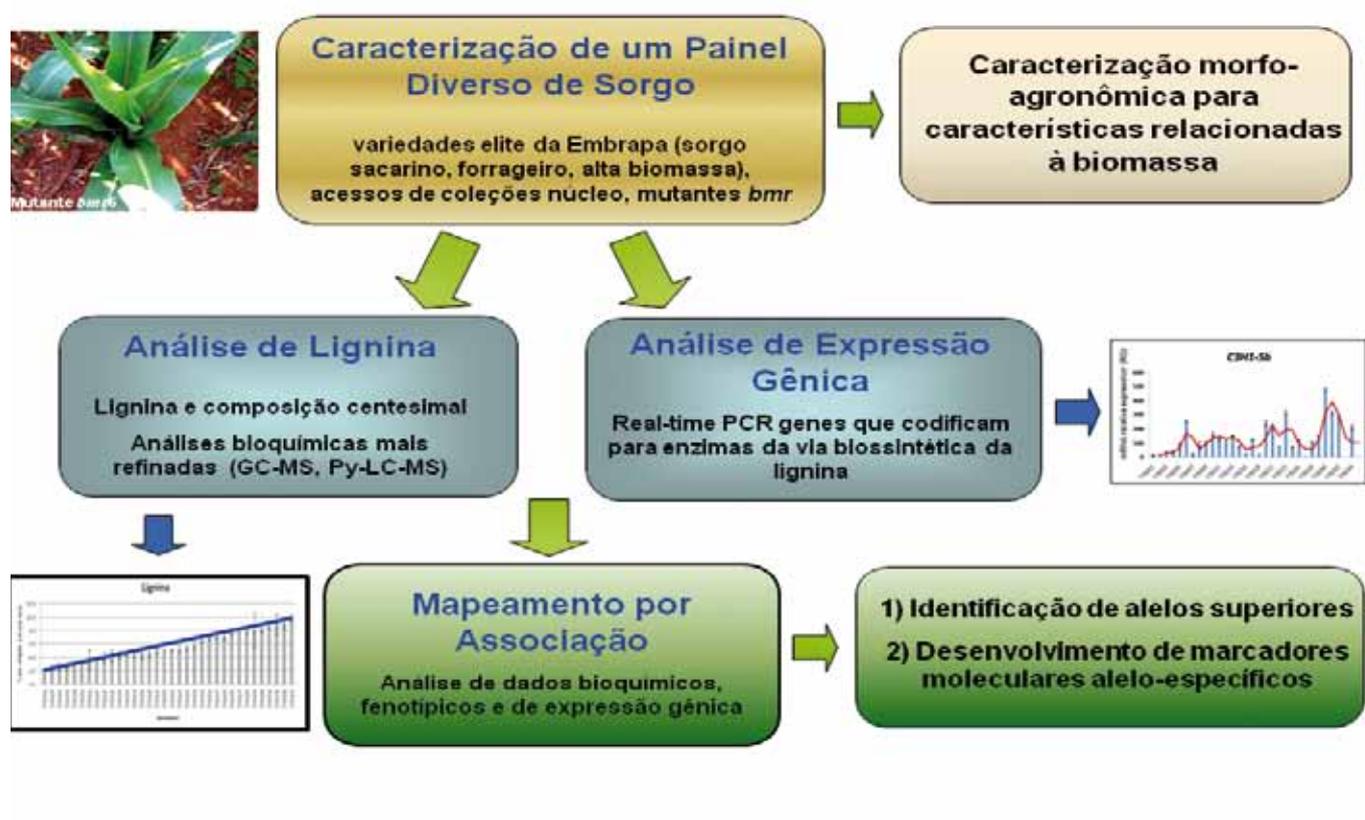
rios países, permitirá o uso de técnicas de mapeamento por associação, que apresentam resolução superior a outros métodos de mapeamento. O ressequenciamento genômico dessas populações e painel constituirá um grupo de dados de grande aplicabilidade para o descobrimento de alelos superiores e desenvolvimento de marcadores moleculares relacionados a um sorgo de melhor qualidade para produção e conversão em etanol. Entretanto, para o aproveitamento dos dados de variabilidade genética oriundos do ressequenciamento genômico, o desenvolvimento e aplicação de técnicas que permitam a fenotipagem em larga escala, como análise de composição de parede celular e teor de açúcares no caldo, se faz necessária. Colaborações em andamento com universidades brasileiras e americanas permitirão a caracterização da parede celular de sorgo nos mesmos painéis a serem ressequenciados, abrindo novas perspectivas para o melhoramento genético de sorgo.

O objetivo do programa de melhoramento de sorgo da Embrapa é usar estratégias para selecionar e produzir genótipos de sorgo que demonstrem características favoráveis para a produção de biocombustíveis. Na Embrapa, abordagens clássica e molecular estão sendo utilizadas no programa de melhoramento de sorgo para bioenergia, incluindo menor e maior teor de lignina (**Figura**). Uso de técnicas genômicas, como as desenvolvidas em parceria com a Cornell University para re-sequenciamento de populações de mapeamento, e análise de expressão gênica para características envolvidas com a qualidade da biomassa ou concentração de açúcares tem o potencial de orientar em qual direção o programa de melhoramento deve focar para obter predição de ganhos de seleção dessa característica.

Estudos em andamento estão caracterizando um painel geneticamente diverso de sorgo com mais de 100 acessos quanto aos níveis de lignina no colmo e de expressão dos genes envolvidos na síntese desse composto. Análises do conteúdo de lignina e outros componentes da parede celular, bem como características morfoagronômicas relacionadas à biomassa, mostraram que o painel é bastante diverso fenotipicamente e o conteúdo de lignina variou entre 2 e 12% da matéria seca total, sendo a média 5,8%. A fim de melhor entender a síntese de lignina em sorgo, nós identificamos homólogos de genes-chave da via de bios-

sintética da lignina, e usamos PCR em tempo real para estudar seus níveis de expressão. Dois destes genes, C3H e HCT, parecem estar corregulados, uma vez que apresentaram expressão altamente correlacionada entre genótipos. Futuramente, genes envolvidos na síntese de lignina que demonstrarem expressão diferencial entre acessos contrastantes para o conteúdo de lignina, serão validados por análise de associação e selecionados para uso do programa de melhoramento de sorgo para bioenergia, coordenado pela Embrapa. Abordagem semelhante será utilizada para o estudo da concentração de açúcares no caldo. ●

### Workflow das estratégias moleculares utilizadas no programa de melhoramento de sorgo para bioenergia da Embrapa para identificação de alelos superiores relacionados a uma biomassa de melhor qualidade



# Produção de sementes de sorgo sacarino

**Por:** *Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella, pesquisadora EPAMIG/CRCO e Rafael Augusto da Costa Parrella, pesquisador Embrapa Milho e Sorgo*

## ► Introdução

Com a perspectiva de crescimento da cultura do sorgo sacarino como matéria prima alternativa na produção de etanol, aumentará significativamente a demanda por sementes de alta qualidade. O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que o armazenamento do açúcar ocorre no colmo, além de fornecer bagaço para a indústria. Entretanto, ele difere de maneira acentuada da cana-de-açúcar pelo fato de ser cultivado a partir de sementes e apresentar um ciclo vegetativo bem mais curto, de 120 a 130 dias. Nesse cenário, há a necessidade de uso técnicas adequadas de produção, colheita e secagem das sementes para garantir a sustentabilidade do sistema.

## ► A cultura

O sorgo sacarino é uma planta de dia curto, de clima temperado e tropical. A formação da panícula se dá aproximadamente 30 dias após a semeadura e o florescimento da panícula se dá de cima para baixo e, em 4 a 9 dias após o início do florescimento, já se tem meia floração; nessa fase 50% do peso seco da planta já foi atingida. Após 70 dias, o grão é considerado leitoso e já atingiu metade do peso seco. O ponto de maturidade fisiológica ocorre quando há máximo acúmulo de massa seca, sendo que em sementes de sorgo sacarino, maiores índices de germinação e vigor são obtidos quando as sementes estão com a umidade em torno de 30%, correspondendo ao intervalo de 35 a 44 dias após a floração. Porém, são muitas as variações encontradas na literatura, provavelmente devido aos diferentes locais, épocas de semeadura e, principalmente, ao tipo de material utilizado. A partir da maturidade fisiológica, o acúmulo de massa seca cessa e o de massa fresca diminui. As plantas são mantidas no campo até as sementes atingirem um teor de água em torno de 18%, valor ideal para uma colheita que provoque menos danos. No momento da colheita, além do estágio de maturação, o conteúdo de água nas sementes é importante para a sensibilidade delas à temperatura de secagem, garantindo a sua qualidade ao longo do armazenamento.

## ► Produção de sementes

Na metodologia básica para a produção de sementes de sorgo sacarino existem dois processos, sendo o primeiro a obtenção da linhagem pura (variedades) e o segundo a obtenção de híbridos a partir do cruzamento

de duas linhagens. Na produção comercial de sementes de sorgo sacarino, a macho-esterilidade genético citoplasmática é uma característica que viabilizou a produção de sementes híbridas em escala comercial, pois o sorgo é uma espécie autógama com flores perfeitas. E ainda, a macho-esterilidade evita que ocorram autofecundações nas linhas onde estão sendo produzidas as sementes (linhas fêmeas). Além disso, a garantia da pureza genética das linhagens parentais e dos próprios híbridos é um pré-requisito fundamental para a expressão de todo o potencial deste tipo de cultivar e da comercialização das sementes estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento.

**Sementes híbridas** - O sorgo é uma planta monóica que apresenta flores perfeitas, sendo basicamente uma espécie autógama. Neste caso, a exploração comercial de híbridos foi possível a partir de 1954, com a descoberta do sistema de macho-esterilidade genético-citoplasmática. A esterilidade genético-citoplasmática em sorgo resulta da combinação de citoplasma Milo e genes Kafir. Os híbridos de sorgo sacarino são produzidos pelo cruzamento entre uma linhagem macho estéril e uma linhagem fértil polinizadora. A linhagem macho estéril, denominada "A", é produzida pelo cruzamento de plantas macho estéril com pólen de uma linhagem denominada mantenedora "B". As sementes produzidas pelo cruzamento entre as linhagens A e B resultarão em planta A (macho estéreis) devido ao citoplasma estéril herdado da linhagem A, ou seja, a linhagem B não restaura a fertilidade na linhagem A. As linhagens A e B são isogênicas, mas diferentes na fertilidade do pólen devido a presença de citoplasma normal.

As sementes de híbridas são produzidas pelo cruzamento entre uma linhagem A e uma linhagem restauradora de fertilidade denominada "R". Semente produzidas desse cruzamento produzirão plantas macho férteis, ou seja, a linhagem R restaura sobre a linhagem A devido a presença de genes restauradores de fertilidade no núcleo. A linhagem R não é fenotipicamente similar a linhagem A, e a combinação delas deverá resultar em um híbrido de alto potencial de rendimento. A multiplicação da linhagem A e a produção de sementes do híbrido, em larga escala, devem ser realizados em campos isolados, proporção básica de três fileiras da linhagem A para uma fileira da linhagem R, procurando proporcionar a coincidência no florescimento das duas linhagens. A multiplicação da linhagem R deve ser feita em campo isolado, utilizando os mesmos procedimentos com linhas puras. Portanto, para produção de

sementes híbridas de sorgo sacarino, necessita-se de duas gerações, sendo uma para multiplicação das sementes das linhagens A e R, separadamente, e outra para produzir a semente híbrida de A com R.

**Semente varietal** - Variedade em sorgo é constituída por uma linhagem R ou B, as quais são macho fértil. Neste caso, para a produção de sementes varietal necessita-se apenas de uma geração em campo isolado. Variedades de sorgo sacarino são de porte alto, 2 a 4m de altura, e as sementes são produzidas no ápice das plantas, nas panículas, o que dificulta o processo de colheita mecanizada. Este problema pode ser amenizado com plantios para produção de sementes nas épocas do ano com comprimento dia menor que 12h e 20min, condição que tende a influenciar variedades de sorgo sacarino a florescer mais cedo e assim, reduz seu porte possibilitando uma colheita mecanizada.

Outros fatores fundamentais devem ser observados na produção de sementes de sorgo sacarino. Esses cuidados devem começar desde a escolha da área para o plantio, no beneficiamento, armazenamento e disponibilização das sementes no comércio, passando pela semeadura, manejo de "split", tratos culturais, manejo de plantas invasoras, colheita, etc.

A escolha da área de semeadura, evitando-se sempre áreas contaminadas por pragas e patógenos que ataquem o sorgo sacarino. No caso da produção de sementes, a principal doença que causa grandes prejuízos é o "Ergot" ou mela do sorgo, causada pelo patógeno *Claviceps africana*. O sinal externo mais evidente da doença é a exsudação pelas flores infectadas, de um "melaço" ralo, viscoso e açucarado. Ocorre nas épocas mais frias do ano, e prejudica principalmente a produção de sementes híbridas, pois as linhagens fêmeas não possuem pólen, tornando-se mais susceptíveis ao fungo. Pulverizações preventivas com fungicidas e evitar semeadura em épocas em que o florescimento ocorra durante o inverno são medidas para minimizar os efeitos dessa injúria.

Na escolha da área, cuidados com isolamentos entre campos também devem ser observados para se evitar contaminação varietal. As distâncias em metros entre os campos de produção se dão em função da área em hectares e do número mínimo de linhas de bordadura do polinizador.

Outro ponto importante é quanto a necessidade de sincronismo entre o florescimento das linhagens fêmeas e macho, ou seja, *SPLIT*. Esse intervalo deve ser

o menor possível, para não prejudicar a polinização e a formação de sementes. Também são realizados "roguing", também chamada de purificação, que é a técnica usada para a eliminação manual de plantas contaminantes (atípicas e outras que não estão no padrão) em campos de produção de sementes. Sua finalidade é a de assegurar que o campo produza sementes de desejável pureza genética, varietal e física. Na realização dessa operação, são arrancadas e destruídas todas as plantas fora do tipo da cultivar em multiplicação, ou plantas pertencentes a outras cultivares e espécies, além de plantas atacadas por doenças transmissíveis pela semente.

### ► Considerações Finais

Os maiores cuidados que devem ser seguidos em campos de produção de sementes de sorgo são referentes às questões de isolamento, um eficiente roguing e semeadura correta das linhagens A, B e R. Além disso, cuidados especiais durante toda a produção devem ser seguidos para conseguir o máximo de qualidade das sementes. ●



# Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino

**Por:** André May, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Inicialmente, o sorgo sacarino tem sido recomendado para cultivo em áreas de reforma de canaviais, visando fornecer matéria-prima para a produção de etanol na entressafra de cana-de-açúcar no Brasil. O semeio é recomendado, para a maioria das áreas produtoras de cana (regiões Centro-Oeste e Sudeste), entre os meses de novembro e dezembro e a colheita é programada para março e abril, justamente quando a cana ainda não apresenta elevados valores de Brix, inviabilizando seu corte.

Sendo assim, para que se consiga adequado desenvolvimento da lavoura, almejando altas produtividades de biomassa e, conseqüentemente, elevada produção de caldo por hectare cultivado, a lavoura de sorgo sacarino demanda os mesmos preceitos recomendados para qualquer cultura, como adequado preparo de solo, boa fertilização de base e cobertura, controle de plantas daninhas e pragas.

Em decorrência das áreas potencialmente disponíveis para o cultivo da espécie (áreas de soqueira de cana), o primeiro passo a ser seguido é, sem dúvida alguma, uma boa amostragem de solo (nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, conforme o caso), visando avaliar adequadamente qual a dose a ser aplicada de calcário e dos nutrientes, e se há a necessidade de correção do solo em subsuperfície.

Contudo, o momento do preparo de solo e semeio da lavoura de sorgo sacarino é crucial para o sucesso do empreendimento. Nas regiões citadas, o grande volume de chuvas ocorre justamente no período ideal de semeio da espécie, sendo assim, a instalação da lavoura pode sofrer atrasos consideráveis, em virtude da impossibilidade da entrada de máquinas semeadoras na área, principalmente em solos mais argilosos, como os encontrados na região Centro-Leste de São Paulo. Dessa forma, deve-se programar o preparo de solo antes do período chuvoso.

Além disso, o investimento em um bom parque de máquinas é importante para que o semeio

seja feito em breve período de tempo, já que o escalonamento de semeio deve estar intrinsecamente relacionado à demanda de matéria-prima entre os meses de março e abril, associado ao período de utilização industrial (PUI) das cultivares de sorgo sacarino, que, geralmente, gira em torno de 30 dias.

A profundidade de semeadura deve ser motivo de atenção redobrada, principalmente em solos argilosos, não devendo ultrapassar cerca de 2 cm. Normalmente, utiliza-se para semear um hectare cerca de 8 kg de sementes.

Como as áreas de implantação de sorgo sacarino advêm de anos de cultivo de cana, o produtor rural deverá estar atento a vários problemas inerentes a essas áreas, como compactação de solo, reconstrução de terraços, baixa fertilidade do solo, etc., que devem ser equacionados antes do semeio do sorgo, pois após a sua colheita, nova área de cana deverá ser implantada.

Novas pesquisas estão em andamento visando esclarecer adequadamente as exigências nutricionais do sorgo sacarino, contudo, sabe-se que é uma espécie exigente, quando se pretendem elevadas produtividades de biomassa, dependendo, inclusive, da cultivar utilizada.



Foto: Rafael Parrella

Em áreas comerciais de cultivo de sorgo sacarino, é comum a aplicação de apenas uma adubação de cobertura, visando reduzir o custo da operação agrícola.

A população de plantas deve girar entre 100.000 e 120.000 plantas por hectare, contudo, o espaçamento entre linhas pode variar, conforme o equipamento de colheita que será utilizado. As pesquisas têm demonstrado maiores produtividades de caldo por área em menores espaçamentos. Contudo, dependendo da região produtora, existe o risco de acamamento, principalmente nos meses de janeiro e março, devido às tempestades com grandes ventanias, comuns nessa época. Lavouras muito adensadas e com crescimento vegetativo muito vigoroso são mais suscetíveis ao problema.

Dois graves entraves à produção de sorgo sacarino necessitam atenção especial: plantas daninhas e a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*). Atualmente, não existem herbicidas recomendados para controle de plantas daninhas em sorgo, principalmente monocotiledôneas, em pós-emergência. Recomendam-se apenas herbicidas à base de atrazine, ideal para controle de dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas, em pré-emergência. Em áreas de produção, pratica-se a aplicação, logo após semeio, com solo úmido. Contudo, decorridos cerca de 30 dias, normalmente, tem-se o aparecimento de monocotiledôneas, principalmente capim-carrapicho, capim-marmelada e capim-colchão, comumente encontradas em canaviais. Sendo assim, dependendo do grau de infestação da área, pode ser

necessária uma capina mecanizada com o auxílio de um cultivador, nas entrelinhas de sorgo. Já com relação à broca-da-cana, o manejo provavelmente se dará de forma muito próxima ao comumente utilizado em cana, através de técnicas de controle biológico.

Normalmente, as doenças comuns em sorgo sacarino (Antracnose, Helmintosporiose e Cercosporiose) aparecem apenas em final do ciclo das plantas, não prejudicando a produção de biomassa. Contudo, em lavouras mal conduzidas, o aparecimento das doenças supracitadas ocorre precocemente, afetando proporcionalmente a produtividade, conforme o grau de infestação das plantas.

Atualmente, em grandes áreas de cultivo, o sorgo sacarino tem sido colhido com colhedoras de cana, que possibilitam alto rendimento e eficiência de corte, em toletes (apenas colmos), similares à cana. No Rio Grande do Sul, onde se cultiva o sorgo sacarino para a produção de etanol em minidestilarias, é comum a colheita da biomassa produzida (planta toda) com ensiladeira de milho, contudo, existe a possibilidade de fermentação da massa colhida de forma muito mais rápida do que no primeiro modelo de colheita citado.

Sendo assim, apesar de ser uma cultura bastante antiga no Brasil, o sorgo sacarino ainda demanda muitas pesquisas e investimentos, principalmente no que tange ao sistema de produção da cultura, visando responder todas as demandas do setor produtivo. ●



Foto: Rafael Parrella

# Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino

**Por:** Antônio Marcos Coelho, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

---

O estabelecimento de condições ótimas para a produção de sorgo (sacarino, forrageiro ou granífero) envolve o reconhecimento e manejo de diversos fatores. As interações entre as características de solo, do clima, do sistema de rotação/sucessão de culturas, época de plantio, cultivar, adubação e tratos fitossanitários são determinantes do potencial produtivo.

Os esforços para aprimoramento dos sistemas de produção de sorgo sacarino devem considerar que a contribuição de cada um dos fatores mencionados varia amplamente de uma região para outra e no tempo. As recomendações ideais de manejo são sítio-específicas e, preferencialmente, deveriam ser baseadas em informações oriundas de estudos locais.

Apesar das vantagens de suas características de tolerância a estresses hídricos, um mito que deve se quebrado é que o sorgo se adapta aos solos degradados e de baixa fertilidade. Entretanto, o sorgo responde intensamente a incrementos no suprimento de água e à adubação, alcançando ou superando, em alguns casos, as produções de massa seca e de grãos normalmente obtidas com a cultura do milho.

O que se tem verificado é o desenvolvimento do sorgo ser bastante prejudicado quando a umidade no solo fica abaixo de 70-75% da água disponível na profundidade efetiva do sistema radicular. Assim, quando não é possível usar irrigação, deve-se buscar o condicionamento do perfil do solo em subsuperfície, principalmente com relação ao fornecimento de cálcio e redução da toxidez por alumínio por meio da calagem e ges-

sagem. Essa estratégia torna o ambiente edáfico favorável ao maior aprofundamento do sistema radicular, amenizando os efeitos detrimenais dos períodos de déficit hídrico sobre a produtividade.

Desse modo, a fertilidade dos solos, a nutrição e 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:

- Diagnose da fertilidade do solo;
- Requerimento nutricional do sorgo de acordo com a finalidade de exploração (grãos, forragem);
- Os padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N e K; F
- Fontes dos nutrientes;
- Manejo da adubação.

O requerimento nutricional varia diretamente com o potencial de produção. Por exemplo, os dados obtidos para sorgo forrageiro, apresentados na **Tabela**, dão uma idéia da extração de nutrientes pelo sorgo. Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produtividade, e que a maior exigência do sorgo refere-se ao nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo.

Devido ao fato de culturas com maiores rendimentos extraírem e exportarem maiores quantidades de nutrientes e, portanto, necessitarem de doses diferentes de fertilizantes, nas recomendações oficiais de adubação para a cultura do sorgo no Brasil, as doses dos nutrientes são segmentadas conforme a produtividade esperada. Isso se aplica mais apropriadamente, a nutrientes como nitrogênio e o potássio, extraídos em grandes quantidades, mas também é válido para o fósforo e, de certo modo para o enxofre. O conceito é menos importante para o cálcio e o magnésio, cujos teores nos solos, com a acidez adequadamente corrigida, devem ser suficientes para a cultura de sorgo de alta produtividade.

No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo e o nitrogênio são quase todo translo-

cados para os grãos, seguindo-se o magnésio, o potássio e o cálcio. Isso implica que a incorporação dos restos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente potássio, cálcio e magnésio, contidos na palhada. Entretanto, mesmo com a manutenção da palhada na área de produção e, em decorrência das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, faz-se necessária a reposição desses nutrientes em cultivos seguintes. O sorgo destinado a produção de forragem e o sorgo sacarino têm recomendações especiais porque todo material é cortado e removido do campo antes que a cultura complete seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior do que aquela para a produção de grãos. ●

### Extração média de nutrientes pela cultura do sorgo forrageiro em diferentes níveis de produtividades

Matéria Seca Total	Grãos	Nutrientes extraídos <sup>(1)</sup>				
		N	P	K	Ca	Mg
Kg/ha	%	Kg/ha				
7.820	37	93	13	99	22	8
9.950	18	137	21	113	27	28
12.540	16	214	26	140	34	26
16.580	18	198	43	227	50	47

<sup>(1)</sup> Para converter P em  $P_2O_5$ , K em  $K_2O$ , Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29, 1,20, 1,39 e 1,66, respectivamente.

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo.

# Zoneamento de áreas aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil

**Por:** Elena Charlotte Landau e Robert Eugene Schaffert, pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo

---

**S**orgo sacarino representa uma alternativa promissora para a produção de etanol no Brasil, na época de entressafra da cana-de-açúcar. Plantado entre os meses de setembro e dezembro (dependendo da região produtora), o sorgo sacarino pode fornecer matéria-prima de qualidade entre os meses de janeiro a abril, época em que as usinas de beneficiamento da cana ficam ociosas e a produção de etanol diminui consideravelmente no país. Sendo o processamento dos colmos o mesmo já utilizado para a cana-de-açúcar, sorgo sacarino representa uma alternativa importante para plantio em áreas de reforma de canaviais, sem a necessidade de ocupação de novas áreas (Sorgo sacarino, 2011).

A identificação de áreas aptas para a produção de etanol em época de entressafra da cana-de-açúcar torna-se extremamente importante, fornecendo subsídios para a futura definição de estratégias de gestão territorial e formulação de políticas públicas que possibilitem a produção de etanol 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 a produção de etanol normalmente diminui, foi elaborado um mapa indicando locais potencialmente aptos para o plantio de sorgo sacarino em época de entressafra da cana-de-açúcar.

Estima-se que a exigência hídrica do sorgo sacarino para a obtenção de produção de etanol com brix do caldo entre 15 e 20% seja semelhante à do milho de ciclo normal. Considerando o plantio de sorgo sacarino em locais indicados para a produção de cana-de-açúcar, o zoneamento de áreas aptas para o plantio de sorgo sacarino em época de entressafra de cana-de-açúcar foi

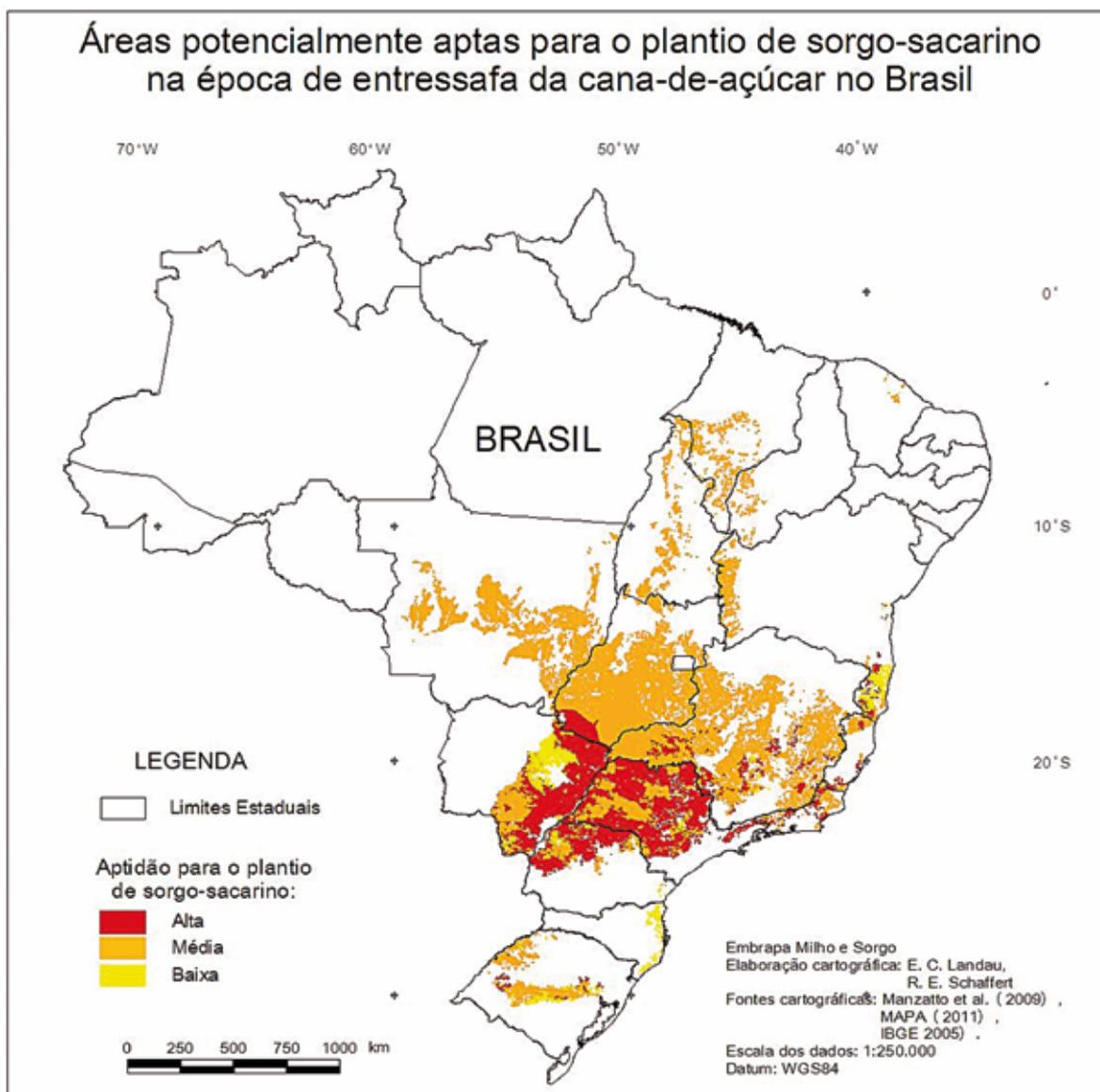
elaborado a partir da integração espacial entre o mapa resultante do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (Manzatto et al., 2009) e os mapas resultantes da representação geográfica dos municípios aptos para o plantio de milho de ciclo normal em solo argiloso, entre os meses de outubro e dezembro (MAPA, 2011).

O zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar resultou da identificação de áreas com aptidões: climática (análise do risco climático) e pedológica para a cultura de cana-de-açúcar, em que a destinação da terra para uso agrícola não apresentava restrições ambientais. O zoneamento de risco climático de plantio de milho de ciclo normal baseia-se na análise de risco climático (aptidão climática) para o plantio de milho. Estas análises foram baseadas em estudos probabilísticos de ocorrência de fatores adversos para o desenvolvimento de cada cultura considerada, baseados em séries históricas de dados climáticos registrados em estações meteorológicas do país. Na análise, fatores adversos representam riscos de ocorrência de geadas, de veranicos ou de ocorrência de quantidade insuficiente de água no solo para suprir a demanda hídrica da cultura considerada em cada fase do seu desenvolvimento. A identificação de áreas com aptidão pedológica ou edáfica baseou-se na estimativa do potencial de produção agrícola de cada classe de solo para a cultura de cana-de-açúcar sob um determinado tipo de manejo da cultura, considerando características físicas e fisiográficas da classe de solo. Para tanto, foram avaliados seis fatores de limitação: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, suscetibilidade a erosão, impedimentos à mecanização e impedimentos ao desenvolvimento do sistema radicular. Áreas com declividade superior a 12%

foram excluídas. Considerando o grau máximo de limitação de uso das terras, as áreas aptas foram representadas considerando três classes de aptidão: alta, média ou baixa. Áreas incluídas na classe de aptidão alta representam locais com aptidão preferencial. Na classe com aptidão média foram incluídas as áreas com aptidão regular e, na classe aptidão baixa, aquelas com aptidão marginal. Áreas inaptas ou com restrições ambientais não foram incluídas no zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar.

O mapa apresentando o zoneamento de áreas potencialmente aptas para o plantio de sorgo sacarino na época de entressafra de cana-de-açúcar no Brasil é apresentado na **Figura**. O mesmo representa uma primeira aproximação, conside-

rando informações atualmente existentes sobre a cultura. A partir deste, 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. Informações adicionais como a localização das usinas sucroalcooleiras em operação ou projetadas, bem como considerando a infraestrutura para viabilizar o escoamento da produção deverão ser realizadas, subsidiando a definição de áreas mais indicadas para a adoção de sorgo-sacarino para produção de etanol na época de entressafra da cana-de-açúcar. ●



# Zoneamento agroecológico do sorgo sacarino para a produção de etanol em áreas de produção e renovação de cana-de-açúcar

**Por:** Celso Vainer Manzatto, Chefe-Geral da Embrapa Meio Ambiente

O consumo crescente de combustíveis fósseis frente às reservas existentes e as previsões alarmantes de mudanças climáticas devido ao aquecimento global, causado em sua maioria, pela emissão de dióxido de carbono a partir da queima desse combustível, sinalizam para os governos a necessidade de alteração da matriz energética mundial.

Neste quadro, o Brasil tem se destacado pelo grande potencial para agricultura de energia ou agroenergia para a produção de biocombustíveis. O país acumulou importante experiência na produção de álcool como combustível e a agricultura tem se mostrado como uma das alternativas viáveis para oferta energética sustentável. Atualmente o país é um dos mais tradicionais produtores de cana-de-açúcar do mundo, estando em posição privilegiada em relação aos demais países produtores, por deter avançado conhecimento do processo produtivo da cultura e ao mesmo tempo, do ponto de vista tecnológico, no uso do etanol como alternativa energética.

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil por Martin Afonso de Souza em 1532 com a finalidade de produzir açúcar para o mercado Europeu. Cerca de 400 anos depois, em 1925, realizou-se uma experiência com um veículo movido a álcool no Brasil, revelando a potencialidade deste combustível. Essa experiência subsidiou, em 1975, o lançamento do Programa Proalcool, como alternativa energética para a crise de abastecimento de petróleo da época. Neste momento, o país começou a trilhar o caminho da liderança tecnológica no setor de biocombustíveis, sendo que o Brasil detém atualmente as melhores técnicas para o plantio e colheita da

cana-de-açúcar. Com uso de novas variedades de cana-de-açúcar, a produtividade por hectare atingiu, em média aproximadamente 80 toneladas, dependendo do regime climático anual. No lançamento do Proalcool a produtividade era de cerca de 47 toneladas por hectare. Avanços tecnológicos nas usinas permitiram que hoje, a produção seja de cerca de 80 litros de etanol de cada tonelada de cana, quando em 1975 eram produzidos aproximadamente 45 litros por tonelada. Esse expressivo ganho de produtividade nas etapas agrícola e industrial resultou em uma produção de mais de 7,5 mil litros etanol por hectare de cana colhida, contra 3 mil em 1975.

Com o lançamento dos carros flex fuel em 2003 e, com o apoio de programas do Governo Federal, o setor experimentou uma forte expansão a partir de 2006. Entretanto, mesmo com os ganhos de produção e produtividade expressivos, a produção brasileira de cana ainda não acompanha o ritmo de crescimento da demanda por etanol e açúcar, interna e externamente. Para atender o consumo, o setor necessita crescer cerca de 7% ao ano e pode piorar nos próximos anos de acordo com especialista no assunto. Com o agravante de uma sequência de safras frustradas pelo clima, baixos investimentos e produtividades pressionadas pelo envelhecimento dos canaviais, os estoques brasileiros praticamente baixaram muito, enquanto as vendas de veículos flex cresceram. Por exemplo, entre janeiro a março de 2011, as vendas de veículos subiram cerca de 8%, com a venda de cerca de 900 mil veículos no primeiro trimestre, segundo a Anfa-vea, contra cerca de 836 mil no mesmo período de 2010.

Preocupado com expansão desordenada do setor, em 2009, o Governo Federal estabeleceu novas regras de expansão da agroindústria canavieira através do Zoneamento Agroecológico Nacional da Cana-de-açúcar (ZAE Cana), um trabalho pioneiro que orientou a formulação de políticas públicas para o setor sucroenergético. O ZAE Cana inovou ao adotar critérios econômicos, ambientais e sociais que contribuam para um modelo sustentável de expansão dessa agroindústria no Brasil.

O estudo não se limitou a definir as regiões onde a produção é economicamente viável, como faz o zoneamento agrícola de outras culturas que considera apenas as condições de clima e solo.

Nenhuma outra cultura agrícola brasileira conta hoje com um estudo desse porte. Assim estamos propondo o Zoneamento Agroecológico do Sorgo Sacarino, para aumento da produção de etanol no Brasil, nas áreas indicadas pelo ZAE Cana, como alternativa na renovação de canaviais e também como produção auxiliar no fornecimento de matéria-prima que aperfeiçoe a operação das usinas no período de entressafra.

**Desta forma, o Zoneamento do Sorgo Sacarino, seguirá as mesmas orientações adotadas no ZAE Cana, ou seja:**

### ► Objetivo Geral

O objetivo geral do Zoneamento Agroecológico do Sorgo Sacarino para a produção de etanol é o de fornecer subsídios técnicos para o plantio de sorgo sacarino como alternativa para o aumento da produção de etanol e o ganho de produtividade nas agroindústrias dedicadas à produção de etanol de cana-de-açúcar.

### ► Objetivos Estratégicos

Avaliar, indicar e espacializar o potencial das terras para a produção da cultura do sorgo sacarino em regime de sequeiro (sem irrigação plena) para a produção de etanol nas áreas indicadas para produção e expansão da cana-de-açúcar indicadas pelo ZAE Cana, como base para o planejamento do uso sustentável das terras, em harmonia com a biodiversidade.

### ► Objetivos Específicos

Indicar e espacializar áreas aptas à expansão do cultivo de variedades do sorgo sacarino em regime de sequeiro (sem irrigação plena);

Disponibilizar uma base de dados espaciais para o planejamento do cultivo sustentável das terras com sorgo sacarino em harmonia com a biodiversidade e a legislação vigente;

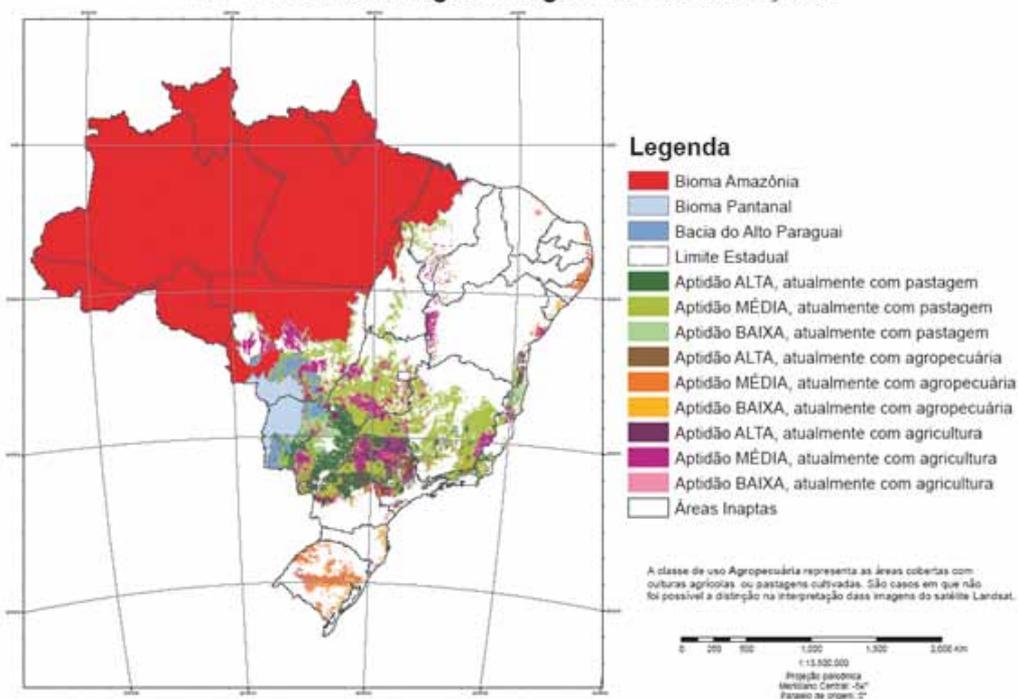
Indicar cultivares de sorgo sacarino mais adequados as características regionais da região do empreendimento.

### ► Diretrizes Gerais do Estudo

O estudo observará as seguintes diretrizes que permitirão o cultivo e a produção em rotação com a cana-de-açúcar, visando o aumento da produção de etanol pelas unidades industriais:

- Indicação de áreas com potencial agrícola para o cultivo de sorgo sacarino sem restrições ambientais;
- Indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo do sorgo sacarino em terras com declividade inferior a 12%, propiciando produção ambientalmente adequada com colheita mecânica;
- Avaliação dos impactos do cultivo de sorgo sacarino em relação a outros cultivos alimentares. ●

BR - Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar



# Informação geoespacial aplicada ao mapeamento e monitoramento da cultura da cana-de-açúcar: potencial para expansão do sorgo sacarino em áreas selecionadas

**Por:** Édson Luis Bolfe, Chefe Adjunto de P&D da Embrapa Monitoramento por Satélite

**A**tualmente as geotecnologias desempenham um relevante papel no planejamento físico-rural de propriedades agropecuárias. A utilização de sistemas de informações geográficas (SIG), sistemas de posicionamento global por satélite (GPS), imagens de satélite e fotografia aérea possibilitam caracterizar diferentes componentes vegetais de culturas agrícolas isoladas ou consorciadas. Isto é possível por meio da obtenção de dados de sensores remotos com diversas resoluções espectrais, temporais e espaciais. As análises realizadas em coberturas do solo (agrícolas, florestais e pastagens) e a detecção de suas mudanças temporais objetivam monitorar a cobertura vegetal e avaliar as condições de produção. A detecção qualitativa é estudada desde a década de 60 e, mais recentemente, a estimativa quantitativa da vegetação verde têm sido uma das principais aplicações do sensoriamento remoto na tomada de decisões econômicas e de gerenciamento agrícola.

O desenvolvimento de relações funcionais entre as características biofísicas da cultura da cana-de-açúcar e dados variáveis espectrais coletados remotamente tem sido alvo de instituições de pesquisa e empresas com atuação no meio rural. Inúmeras informações podem ser extraídas das imagens e assim estimar parâmetros da cultura da cana, como: dimensões e distribuição espacial das áreas plantadas, estrutura e fenologia da vegetação, índice de área foliar, atividade fotossintética, biomassa, produtividade, regime de irrigação, déficit hídrico, propriedades físicas e químicas do solo na superfície.

Os dados obtidos pelas imagens associados a informações edafoclimáticas dos talhões, permite subsidiar a tomada de decisão em termos de renovação de plantios e a implantação de outras culturas, como o caso do sorgo sacarino, na entressafra. Neste contexto, a informação geoespacial possibilita o levantamento, monitoramento e planejamento de áreas destinadas à cultura da cana, tendo aplicabilidade atual e promissora no campo agrônomo e econômico. ●

▼ **Fotografia aérea oblíqua de 16/12/2010 da região de Cosmópolis, SP.**



Foto: Flávia Fiorini

▼ **Fusão imagem TM, bandas 5/4/3 com imagem Pancromática CBERS-2b HRC de 28/08/2008 da região de Araras, SP.**



Montagem: Embrapa Monitoramento por Satélite.

# Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia industrial

**Por:** Frederico Ozanan Machado Durães, Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

**E**m um processo industrial que usa matéria-prima sacarídea para a produção de açúcar e etanol, a moagem dessa matéria-prima, a filtração, a fervura/centrifugação do caldo/melado, a adição de químicos, a fermentação e a destilação resultam na transformação nos produtos principais.

Em termos de matérias-primas produtoras de açúcar e de etanol, a inovação está centrada em dois grandes desafios técnico-científicos e gerenciais. Um primeiro é o aumento da densidade energética e a utilização de matérias-primas alternativas ou complementares, com domínio tecnológico, como é o caso do sorgo sacarino – *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Um segundo desafio trata da eficiência das tecnologias de aproveitamento do conteúdo energético. Neste campo, transitam as questões sobre o aumento da eficiência no processo industrial convencional (pré-tratamento, fermentação, destilação, biodigestão da vinhaça, entre outros); bem como, questões sobre o domínio de novos processos em rotas tecnológicas de conversão de biomassa em energia (hidrólise ácida e enzimática, termoquímica, gaseificação, dentre outros).

Inovação é o argumento que norteia estas novas buscas e novos negócios. E, atualmente, a Embrapa está focada nestas parcerias para negócios competitivos, embasada na demonstração de resultados da experiência agrônômica e progressos na genética, boas práticas de manejo da cultura e inserção profissional para as oportunidades de processos de conversão industrial. Adicional e complementarmente, são relevantes as informações sistematizadas sobre a caracterização de matéria-prima e qua-

lidade tecnológica do sorgo sacarino (enfoque tecnológico para processos e aproveitamento industriais).

## **Em desenvolvimento de tecnologia industrial focam-se outros três temas:**

- A caracterização da matéria-prima (viés industrial) para fins energéticos, nas rotas de produção de etanol (1ª-geração tecnológica), e biomassa para fins diferenciados (etanol de material lignocelulósico ou 2ª-geração, cogeração de energia, alimentação de animais ruminantes, biofertilizantes e coprodutos – novas moléculas, materiais, etc.);
- Os processos de conversão “*per se*”, tais como protocolos analíticos de referência e utilidades para rotas tecnológicas diferenciadas; e,
- Arranjos (institucionais, técnico-científicos e produtivos) visando a inserção do sorgo sacarino no complexo do setor sucroenergético, abordando reforma de canavial, plantio de entressafra da cana, cogeração, e aproveitamento ou adaptação de maquinaria agrônômica e industrial, dentre outros temas.

Em termos competitivos e sustentáveis, o gerenciamento dos arranjos institucionais, técnico-científicos e produtivos é definidor da estratégia e oportunidade para a produção e utilização do etanol e cogeração de energia. E, a administração do conhecimento e da disponibilidade das matérias-primas, processos e arranjos constitui-se no elemento operacional fundamental para justificar as vantagens comparativas de unidades industriais, empresas, regiões, ou países no negócio sucroalcooleiro. ●

# Caracterização do sorgo para a produção de etanol

**Por:** *Angélica Gomes<sup>2</sup>, Dasciana Rodrigues<sup>1</sup> e Patrícia Oliveira<sup>1</sup>, <sup>1</sup>pesquisadoras da Embrapa Agroenergia e <sup>2</sup>analista da Embrapa Agroenergia*

---

Com as preocupações crescentes de poluição ambiental, segurança energética e futuros suprimentos de petróleo, a comunidade global está buscando combustíveis alternativos para aumentar a eficiência do uso de energia. Ao contrário dos combustíveis fósseis, o etanol é uma fonte de energia renovável produzida através da fermentação de açúcares. Atualmente, o país enfrenta um momento em que é necessário aumentar a produção de etanol para atender a demanda interna e externa. Além disso, o elevado preço do etanol durante a entressafra da cana-de-açúcar também é um fator relevante apresentado no cenário brasileiro. Diante deste quadro, diversas culturas energéticas estão sendo buscadas para produção de álcool carburante. Dentre elas, vem se destacando o sorgo sacarino, uma fonte potencial para baixo custo de produção de biocombustíveis.

A utilização de sorgo sacarino para a produção de etanol tem sido profundamente investigada e o desenvolvimento de novas variedades e híbridos vem sendo realizado com o objetivo de aumentar a produção de etanol por hectare. O aproveitamento de toda a matéria-prima (caldo, bagaço e folhas) é um dos fatores mais importantes para viabilizar a produção de etanol. A composição de cada uma destas frações definirá as etapas do processo a ser utilizado para a conversão da biomassa em etanol.

Como a matéria-prima representa o início da cadeia fabril, esta deve ser submetida a um controle de qualidade para garantir uma produção com maior rendimento e, portanto, com maior eficiência. Para que haja uma uniformidade e controle na produção de etanol a partir do sorgo sacarino, a caracterização do caldo extraído torna-se de grande importância. O bagaço produzido após a moagem e extração do caldo também deve ser caracterizado de acordo com a sua finalidade: cogeração de energia ou produção de etanol de segunda geração.

O teor de água nos diferentes tipos de sorgo é uma característica que deve ser destacada, pois influencia diretamente nos valores de concentração de açúcares fermentescíveis presente no caldo, o qual deve ser máximo para que a concentração final de etanol seja suficientemente alta para viabi-

lizar economicamente a destilação deste produto. Quanto às demais frações do sorgo, para que haja aproveitamento máximo destas em processos rápidos, com pouca ou nenhuma geração de resíduos e elevados rendimentos, é desejável que o teor de lignina seja mínimo.

Vários estudos mostram que os principais açúcares livres no caldo de sorgo sacarino são: glicose, sacarose e frutose. O sorgo sacarino possui maior teor de açúcares redutores em comparação com caldo de cana, entretanto estudos apontam que não há diferença significativa entre a quantidade total de açúcares solúveis. Desta forma, os métodos analíticos e os parâmetros utilizados para o estabelecimento de indicadores de controle de qualidade, podem ser os mesmos utilizados para a cana-de-açúcar, entre eles: sólidos solúveis (Brix em %), sacarose (Pol do caldo em %), fibra industrial na cana (%), pureza do caldo (%), porcentagem bruta de açúcar (PCC), pH.

Seguindo a mesma linha, pode-se estender as mesmas metodologias empregadas para avaliar a cana-de-açúcar para o etanol de sorgo sacarino de segunda geração. Os métodos analíticos para avaliação de biomassa lignocelulósica devem possibilitar a quantificação dos açúcares estruturais provenientes da celulose e hemicelulose. Desta forma, as metodologias utilizadas para a análise do bagaço do sorgo sacarino podem ser as mesmas que as desenvolvidas para bagaço de cana-de-açúcar e milho, como aquelas propostas pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) nos Estados Unidos. O NREL desenvolveu uma série de protocolos com métodos validados para análise de diferentes tipos de biomassa lignocelulósica os quais estão sendo utilizados pela Embrapa Agroenergia.

Para a produção de etanol a partir do caldo de sorgo sacarino, as principais análises de controle de qualidade são aquelas já utilizadas rotineiramente das usinas. Entretanto, com a viabilização da produção do etanol de celulose, haverá a necessidade de desenvolvimento de métodos analíticos rápidos e de menor custo, tanto para a caracterização de biomassa quanto para o monitoramento de parâmetros de qualidade dos processos de pré-tratamento e hidrólise. ●

# Produção de etanol de sorgo sacarino

**Por:** *Cristina Maria Monteiro Machado, pesquisadora da Embrapa Agroenergia*

---

**A** via fermentativa é o método utilizado na obtenção de etanol no Brasil e na maior parte dos países do mundo. Por esse processo, qualquer produto que contenha uma quantidade considerável de carboidratos constitui-se em matéria-prima potencial para obtenção de etanol. De acordo com os tipos de carboidratos presentes, as matérias-primas podem ser classificadas em:

## ► **Materiais açucarados**

Contêm açúcares simples, ou seja, carboidratos com seis (monossacarídeos) ou doze átomos de carbono (dissacarídeos), como glicose, frutose e sacarose. Estes açúcares são diretamente fermentados, produzindo etanol, levando, dessa forma, a um processo mais barato. Ex.: cana-de-açúcar, beterraba açucareira, melaços e sorgo sacarino.

## ► **Materiais amiláceos**

Contêm carboidratos mais complexos, como o amido, que podem ser quebrados em glicose pela hidrólise ácida ou ação de enzimas num processo denominado malteação ou sacarificação. Uma vez que para a produção de etanol a partir dos materiais amiláceos é necessária esta etapa adicional no processo, seu uso sempre terá um custo da fase industrial mais alto, se comparado aos materiais açucarados. Ex.: grãos amiláceos (milho, trigo, arroz) raízes e tubérculos (batata, batata-doce, mandioca).

## ► **Materiais celulósicos**

São constituídos de celulose, e estão disponíveis em grande quantidade, muitos deles sendo, inclusive, resíduos agro-industriais. No entanto, seu uso na produção de etanol não é, por enquanto, economicamente viável, uma vez que para obterem-se açúcares fermentáveis e, portanto, etanol, a biomassa deve passar por um processo complexo de pré-tratamento físico químico e posterior hidrólise enzimática, que ainda

são bastante onerosos. Ex.: palha, madeira, bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de sorgo sacarino, resíduos agrícolas e de fábricas de papel.

O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que armazena de 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. Deste modo, o processamento industrial do sorgo sacarino para produção de etanol seria o mesmo já amplamente utilizado nas usinas do país, possivelmente com pequenos ajustes de processo.

Como em qualquer processo agroindustrial, a composição da matéria-prima afeta o rendimento da produção de etanol. Nesse caso, o fator mais importante é a quantidade e composição de açúcares no caldo. No sorgo sacarino, em experimentos feitos pela Embrapa Milho e Sorgo, foram encontrados materiais com teor de açúcares solúveis entre 15 e 21%, concentrações muito próximas à cana-de-açúcar. Porém uma diferença importante está na composição desses açúcares no caldo. Enquanto na cana, estes são majoritariamente sacarose, no sorgo sacarino há uma concentração relativamente alta de açúcares redutores – glicose e frutose. Essa diferença afeta o processo de duas formas: (i) na produção de açúcar, o sorgo sacarino teria um rendimento menor do que a cana, ou seja, essa matéria-prima deverá ser usada especialmente para a produção de etanol; (ii) na produção de etanol, possivelmente haverá maior risco de contaminação, uma vez que as bactérias contaminantes do meio normalmente fermentam prioritariamente a glicose. Portanto, na produção de sorgo sacarino possivelmente serão necessários cuidados adicionais com a contaminação do meio.

Outra diferença entre o sorgo sacarino e a cana-de-açúcar está na composição do bagaço obtido a partir da extração do caldo. Nos materiais

analisados pela Embrapa Milho e Sorgo, tem-se encontrado teores de lignina abaixo de 12%, enquanto no bagaço de cana-de-açúcar, os valores médios estão entre 20 e 22%. Essa diferença é importante, quando se considera o uso do bagaço para produção de etanol em processo de 2ª geração. A parede celular das plantas é uma mistura complexa e dinâmica de componentes, principalmente de polissacarídeos (celulose e hemicelulose), seguidos em quantidade pela lignina, que possui a função estrutural e dá resistência à planta a umidade e ataques biológicos. Embora muito importantes para as plantas, estas propriedades da lignina dificultam a conversão enzimática em cadeias menores de açúcares, que podem ser fermentados a etanol. Assim, nesses processos, se o material possui um teor menor de lignina como o sorgo sacarino, ele provavelmente será mais susceptível à hidrólise, e, conseqüentemente gerará mais açúcares para a produção de etanol.

Trabalhando nesse sentido, a Embrapa Agroenergia está comparando o potencial de diversas alternativas de biomassa para produção de etanol de celulose em um processo-modelo, desenvolvido pela própria Unidade. Nesse trabalho, diferentes variedades de capim elefante, braquiária, *panicum*, eucalipto, sorgo, bagaço de cana-de-açúcar e bagaço de sorgo sacarino estão sendo avaliados quanto ao potencial de produção de etanol. Nesses testes, a hidrólise enzimática do bagaço de sorgo sacarino demonstrou o melhor desempenho se comparado aos materiais analisados até o momento (ver Figura), revelando-se uma boa alternativa também quando se considera a produção de etanol de celulose. ●

### Hidrólise enzimática de bagaços pré-tratados

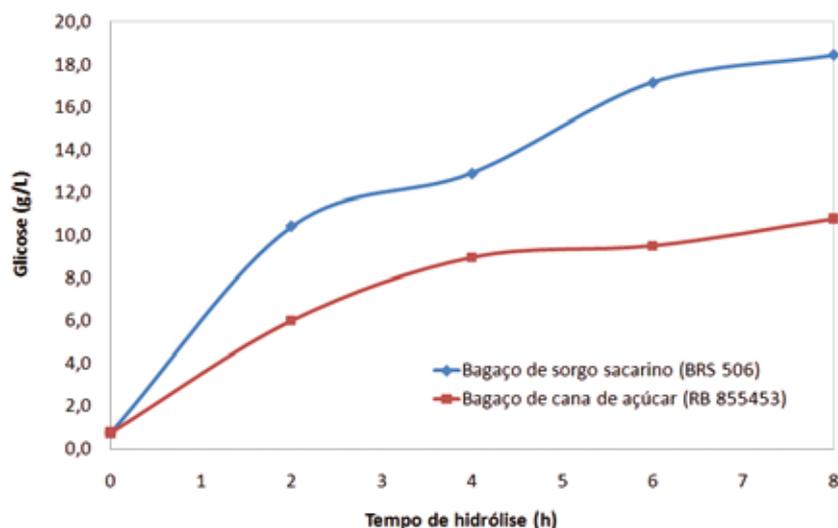


Foto: André May

# Leveduras para produção de etanol de sorgo sacarino

**Por:** João Ricardo Moreira de Almeida e Léia Cecília de Lima Fávoro, pesquisadores da Embrapa Agroenergia

O Brasil produziu 28.202 milhões de m<sup>3</sup> de etanol em 2010 (ANP - Anuário Estatístico 2011) com base na conversão da sacarose da cana de açúcar, o chamado etanol de primeira geração. No processo a cana de açúcar é esmagada e o caldo extraído, rico em sacarose, é convertido a etanol pela fermentação alcoólica. Os talos de cana esmagada, chamado bagaço, são queimados para fornecer eletricidade e vapor para a refinaria de etanol, simultaneamente evitando a eliminação de resíduos. Apesar da grande produção, a demanda brasileira e mundial por combustíveis renováveis tem aumentado consideravelmente nos últimos anos tanto por razões econômicas, isto é, preço de combustíveis fósseis, como por razões sócio-ambientais. Para suprir essa demanda de etanol, grandes esforços têm sido feitos para o desenvolvimento de processos de produção de etanol a partir de biomassas alternativas, incluindo biomassa lignocelulósica, a qual engloba resíduos agroindustriais, lixo urbano, resíduos florestais, etc. Entretanto, tecnologias para produção de etanol lignocelulósico ou etanol de segunda geração ainda estão sendo desenvolvidas.

O sorgo sacarino tem se mostrado como uma excelente alternativa para a produção de etanol. Dentre as várias qualidades dessa matéria-prima destaca-se seu curto ciclo de vida em períodos da entre safra da cana-de-açúcar, e principalmente a facilidade de extração de açúcares para a fermentação, tal como ocorre com a cana de açúcar. Isto é, os açúcares presentes no sorgo sacarino podem ser facilmente liberados pela prensagem e com isso serem fermentados. Além disso, o bagaço de sorgo sacarino também poderá vir a ser utilizado para produção de etanol lignocelulósico. Com isso, espera-se que microrganismos semelhantes possam ser utilizados nos processos fermentativos a partir de cana-de-açúcar e sorgo sacarino.

As leveduras são os microrganismos responsáveis pela conversão de açúcares a etanol nos processos fermentativos de produção tanto de cana-de-açúcar como de sorgo sacarino. Leveduras do gênero *Saccharomyces* são utilizadas na indústria brasileira de etanol e podem ser consideradas as principais responsáveis pela produção desse combustível no Brasil. As linhagens utilizadas na indústria foram selecionadas ao longo de vários anos e são altamente eficientes na fermentação de sacarose, glicose e frutose presentes nos caldos e extremamente adaptadas à fermentação do caldo de cana de açúcar. Fermentações do caldo de sorgo sacarino por algumas linhagens de *Saccharomyces* têm sido realizadas e os resultados demonstram mais uma vez a eficiência dessas linhagens na conversão de açúcares a etanol. A utilização das mesmas linhagens para fermentação de caldos de cana e de sorgo sacarino facilitará a utilização deste último em usinas de etanol no país, pois não existirá a necessidade de desenvolvimento

## Leveduras na produção de etanol

### Etanol de primeira geração



### Etanol de segunda geração



de novas linhagens para o processo e, ao mesmo tempo, reduzirá os riscos de contaminação.

Para a produção de etanol de segunda geração, vários açúcares liberados a partir da hidrólise da celulose e hemicelulose precisam ser fermentados. Como linhagens de *Saccharomyces* não são capazes de converter todos os açúcares provenientes da hemicelulose, incluindo a abundante xilose, outras espécies de leveduras têm sido analisadas para a produção de etanol. Leveduras de gêneros sabidamente conhecidos como capazes de consumir xilose, tais como *Pichia*, *Candida*, *Pachysolen*, já foram avaliadas quanto à capacidade de crescimento e produção de etanol a partir de xilose.

Na Embrapa Agroenergia, mais de 500 novas linhagens de leveduras de diferentes espécies têm sido avaliadas quanto à capacidade de crescimento e fermentação de xilose, glicose e hidrolisados lignocelulósicos de bagaço de cana. Novas linhagens com potencial fermentativo têm sido identificadas e poderão vir a ser utilizadas em processos fermentativos. Apesar do potencial das linhagens desenvolvidas para fermentação de hidrolisados de bagaço de cana também serem utilizadas na fermentação de

hidrolisados de bagaço de sorgo sacarino, análises mais detalhadas deverão ser realizadas, já que diferentes hidrolisados impõem diferentes concentrações de açúcares e inibidores do metabolismo microbiano, o que afeta profundamente o potencial fermentativo da levedura. De qualquer forma, resultados recentes de Kurian e colaboradores (2010) demonstram que *Pichia stipitis* e *Debaryomyces hansenii* são capazes de fermentar hidrolisados hemicelulósicos de bagaço de sorgo sacarino.

Atualmente leveduras *Saccharomyces* são utilizadas na produção de etanol de primeira geração com cana de açúcar. Essas mesmas linhagens deverão ser utilizadas na produção de etanol de sorgo sacarino, mantendo o alto rendimento do processo. Para produção de etanol de segunda geração linhagens diferentes para hidrolisados de bagaço de cana e de sorgo sacarino podem vir a ser necessárias. Pois a composição desses hidrolisados pode variar tanto quanto pela quantidade e tipo de açúcares quanto pela presença de compostos inibidores. A identificação e o desenvolvimento de novas linhagens de leveduras para o processo estão em andamento. ●

## Método para seleção em larga escala de linhagens capazes de crescer em hidrolisados lignocelulósicos



Foto: João R. M. Almeida

► Linhagem 7 crescendo em placa de Petri com YPD

Foto: Carolina Poletto



# Sorgo sacarino para produção de etanol: uma visão do produtor e da usina de cana-de-açúcar

**Por:** René de Assis Sordi, assessor de tecnologia do Grupo São Martinho

A procura de alternativas para produção de biomassa e energias renováveis é um caminho sem volta nos tempos atuais. A utilização do sorgo sacarino para a produção de etanol é conhecida já há algum tempo no país. Há quatro décadas, no início do PROALCOOL, essa alternativa foi pesquisada e estava voltada principalmente às microdestilarias. Recentemente, essa possibilidade foi reativada devido à crescente demanda de etanol e bioeletricidade.

São vários os atrativos que fizeram os produtores e usinas de cana-de-açúcar a testar novamente o sorgo sacarino para aumentar a oferta de etanol, assim como verificar se o seu processamento propiciaria um balanço energético positivo, de maneira a oferecer também energia elétrica excedente pela queima de seu bagaço nas caldeiras. Um forte atrativo é o de se poder usar para o sorgo a mesma estrutura de colheita mecanizada e o mesmo processo industrial da cana, amortizando grandes custos fixos. Outras motivações são o ciclo e o custo de produção menor do sorgo, assim como possibilidade do aumento da área explorada, utilizando pastagens e outras não cultivadas com cana, agregando e atraindo produtores de outras cadeias.

Com relação ao período de moagem, avaliou-se que seu melhor aproveitamento seria na antecipação da safra da cana, focando-se, no caso da região Centro-Sul, a colheita no mês de março. Para tanto, com as atuais variedades e híbridos disponíveis e suas interações de ciclo vegetativo com o fotoperíodo, o sorgo deve ser plantado em dezembro. Não se descarta, contudo, um maior período de aproveitamento industrial, antecipando-se o plantio para outubro/novembro (correndo-se nesse caso o risco de colheita num período mais chuvoso) ou até mesmo postergando-se o plantio para março/abril, o que se poderia chamar de “sorgo sacarino safrinha”, para ser colhido junto com a cana, de junho a



▲ Desenvolvimento do sorgo sacarino em espaçamento duplo na Usina Boa Vista (GO), janeiro de 2011.

carino, principalmente ao conseguir-se também aumentar o período útil de industrialização (PUI).

Suas características de altos teores de açúcares redutores (AR%) e, conseqüentemente, de baixos níveis de pureza (proporção de sacarose em relação aos sólidos solúveis totais), além das suas altas concentrações de amido, não nos permite a fabricação de açúcar com qualidade. Isso fez com que direcionássemos o seu processamento somente para produção de etanol.

Alguns aspectos industriais e agrônômicos puderam ser notados nas primeiras áreas de sorgo sacarino plantadas em larga escala pelas usinas de cana-de-açúcar nessa safra.

O plantio e tratos culturais exigem uma estrutura de máquinas e implementos diferentes da cana. Como o ciclo do sorgo é bem mais curto, o manejo e as práticas culturais e, conseqüentemente, as intervenções agrônômicas gerenciais acontecem mais rápido do que na cana. Percebe-se então a necessidade de uma equipe técnica dedicada ao sorgo.

A sua sensibilidade à maioria das moléculas de herbicidas, excetuando-se as atrazinas, causa algum problema no controle de plantas daninhas, pois o espaçamento utilizado, visando a colheita mecanizada com colhedoras de cana, deixa uma área maior de entrelinhas. São necessárias pesquisas para se determinar a melhor população de plantas por local, de maneira a aumentar a produtividade agrícola, melhorar o controle de ervas e permitir uma perda menor na colheita já

que esta foi comparativamente maior do que a registrada na cana.

A alta incidência de pragas comuns à cana, como a broca *Diatraea*, causou uma forte preocupação, tanto pelas perdas agrícolas, mas, principalmente, pelas perdas industriais, sendo que o complexo broca/podridão vermelha mostrou-se agravado no sorgo, prejudicando o rendimento fermentativo.

A qualidade e especificação do etanol produzido, assim como o poder calorífico de seu bagaço queimado nas caldeiras, foram perfeitamente compatíveis com o que se consegue com a cana. O balanço energético também foi positivo. Ou seja, sua fibra e os rendimentos de extração geraram bagaço suficiente para seu processamento. Deve-se, contudo, avaliar em maior escala a quantidade real de energia elétrica adicional proporcionada.

De uma maneira geral obtiveram-se, em escala comercial, rendimentos agrícolas e industriais aquém do previsto ou daqueles conseguidos na experimentação. A solução de alguns problemas aqui apontados, com certeza, poderá melhorar o resultado alcançado. Avalia-se, pelos custos de produção e o preço dos produtos, que uma produtividade atrativa ao sorgo seria a partir de 3 mil litros de etanol por hectare, o que o colocaria como uma forte opção de fonte complementar a produção de etanol. ●

#### ▼ O quadro aponta algumas oportunidades de melhorias a curto e médio prazo:

Oportunidades de melhorias para o sorgo sacarino

- Aumentar produtividade agrícola pela otimização de número de plantas por área;
- Desenvolver variedades/híbridos resistentes à broca, a herbicidas e ao tombamento;
- Usar transgenia para controlar broca;
- Diminuir perdas na colheita;
- Desenvolver variedades/híbridos para limitar florescimento e isoporização;
- Desenvolver variedades/híbridos para “safriinha” e novas regiões;
- Desenvolver variedades/híbridos com maior diâmetro dos colmos.



▲ Desenvolvimento do sorgo sacarino na Usina Boa Vista (GO), abril de 2011. Na foto o autor do artigo.



▲ Colheita do sorgo sacarino na Usina Boa Vista (GO), abril de 2011.



▲ Processamento do sorgo sacarino na Usina Boa Vista (GO), abril de 2011.

# Informações tecnológicas sobre sorgo sacarino em documentos de patente

**Por:** Emerson Léo Schultz<sup>1</sup>, Gilmar Souza Santos<sup>1</sup>, Maria Iara Pereira Machado<sup>2</sup>, Frederico O M Durães<sup>1</sup>. <sup>1</sup>Pesquisador da Embrapa Agroenergia; <sup>2</sup>Analista da Embrapa Agroenergia.

**B**uscas de documentos de patentes foram realizadas na base Derwent Innovations Index com o objetivo de encontrar documentos de patentes, publicados entre 1995 e 2011, sobre sorgo sacarino relacionados com a tecnologia agrícola e com a tecnologia industrial de etanol de primeira e de segunda gerações. Os dados dos documentos obtidos foram tratados no software VantagePoint, para avaliação de informações como principais depositantes, ano de publicação e países nos quais foram depositados os pedidos de patente.

## ► Tecnologia agrônômica

Na busca realizada sobre a tecnologia agrícola do sorgo sacarino foram encontrados 22 documentos. Os depositantes relacionados com tecnologia agrícola são apresentados na Tabela 1 em função do ano de publicação do documento.

Na Tabela 2 é apresentada a relação dos depositantes e os países nos quais os seus pedidos de patente foram depositados. Entretanto, o prazo legal para depósito em outros países de muitos documentos de patente pode não ter expirado e, portanto, o número de países no qual foram depositados os pedidos de patente pode aumentar.

De acordo com a Tabela 2, os principais países nos quais os pedidos de patente foram depositados são China e Estados Unidos. No Brasil, três pedidos de patente foram depositados por South African Sugar Association, University of Queensland e Yan Mixed Seed & Herbicide Inc.

## ► Tecnologia industrial para etanol de primeira geração

Uma busca relacionada com a tecnologia industrial de etanol de primeira geração foi realizada, encontrando-se 29 documentos de patente.

**Tabela 1.** Depositantes e ano de publicação dos documentos de patente relacionados com tecnologia agrícola do sorgo sacarino.

Depositantes	Ano										
	1998	2000	2001	2004	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
SOUTH AFRICAN SUGAR ASSOC			1				1			1	
AGRIGENETICS INC					1				1		
BIOTECHNOLOGY RES INST CAAS										2	
NAGARJUNA							1			1	
UNIV QUEENSLAND				1					1		
BEIJING GOLDENWAY BIO TECH CO LTD									1		
BO L								1			
CHEN Q									1		
INST CROP SCI CHINESE ACAD AGRIC SCI								1			
NADEL B, NADEL D, NADEL M						1					
PIONEER HI-BRED INT INC		1									
SYNGENTA PARTICIPATIONS AG								1			
TEMASEK LIFE SCI LAB LTD									1		
UNIV RUTGERS STATE NEW JERSEY									1		
UNIV SHANGHAI JIAOTONG					1						
YAN'S HETEROISIS & HERBICIDE INC	1										

**Tabela 2.** Depositantes e os países em que foram depositados os documentos de patente relacionados com tecnologia agrícola do sorgo sacarino.

Depositantes	Sigla dos Países											
	CN	US	AU	IN	EP	MX	BR	ZA	FR	JP	PH	CA
SOUTH AFRICAN SUGAR ASSOC	1	1	1	1			1	1	1			
AGRIGENETICS INC		2										
NAGARJUNA	1	1	1	1	1	1		1				
UNIV QUEENSLAND	1	1	1	1	1	1	1			1		
BIOTECHNOLOGY RES INST CAAS	2											
SYNGENTA PARTICIPATIONS AG	1		1		1	1						1
PIONEER HI-BRED INT INC		1										
NADEL B, NADEL D, NADEL M		1										
INST CROP SCI CHINESE ACAD AGRIC SCI	1											
CHEN Q	1											
BO L	1											
BEIJING GOLDENWAY BIO TECH CO LTD	1											
UNIV SHANGAI	1											
YAN MIXED SEED & HERBICIDE INC	1	1	1	1	1		1				1	
TEMASEK LIFE SCI LAB LTD		1	1	1								
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

CN – China; US – Estados Unidos da América; AU – Austrália; IN – Índia; EP – Europa; MX – México; BR – Brasil; ZA – África do Sul; FR – França; JP – Japão; PH – Filipinas; CA – Canadá.

Empregando o software VantagePoint diversas informações foram obtidas, como os principais depositantes e o ano de publicação dos pedidos de patente, os quais são mostrados na Tabela 3.

Na Tabela 4 apresentam-se os países nos quais os principais depositantes, apresentados na Tabela 3, fizeram o depósito dos seus respectivos pedidos de patente. Os depósitos realizados na Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), publicados com a sigla WO, não foram computados, pois eles não representam um país específico, mas o depósito no sistema PCT (Patent Cooperation Treaty), para posterior entrada nas fases nacionais nos países que o depositante tiver interesse.

Através dos dados da Tabela 4, verifica-se que a maioria dos depositantes optou por depositar os pedidos de patente apenas na China, sendo que quatro depositantes são chineses. A empresa indiana Praj Ind. depositou um dos seus pedidos apenas na Índia, sendo que o outro foi depositado no sistema PCT da OMPI, o qual não aparece na Tabela 4. A empresa Syngenta depositou um pedido em vários países (China, Canadá, Europa,

México e Austrália), enquanto o outro pedido foi depositado apenas na Europa. Nenhum pedido de patente foi depositado no Brasil.

### ► Tecnologia industrial para etanol de segunda geração

A busca realizada na base Derwent, para os anos de 1995 a 2011, resultou em 35 documentos de patente relacionados com etanol de segunda geração. Os dados dos documentos foram tratados no software VantagePoint.

A relação entre os principais depositantes e o ano de publicação dos respectivos documentos de patente relacionados com etanol de segunda geração é mostrada na Tabela 5.

Na Tabela 6 mostram-se os países nos quais foram depositados os pedidos de patentes dos principais depositantes. A BP (British Petroleum) depositou apenas nos Estados Unidos. As empresas DSM e Nagarjuna Energy depositaram em mais de um país. Nenhum pedido de patente de etanol de segunda geração foi depositado no Brasil.

**Tabela 3.** Relação entre principais depositantes e ano de publicação dos respectivos documentos de patente relacionados com etanol de primeira geração.

Depositante	Ano			
	2006	2008	2009	2010
COFCO GROUP			2	
ZTE ENERGY				2
UNIV TIANJIN				2
UNIV QINGHUA		1	1	
SYNGENTA			1	1
PRAJ IND	1			1

**Tabela 4.** Países nos quais os principais depositantes de patente de etanol de primeira geração fizeram depósito.

Depositantes	Sigla dos Países					
	CN	CA	EP	MX	IN	AU
COFCO GROUP	2					
ZTE ENERGY	2					
UNIV TIANJIN	2					
UNIV QINGHUA	2					
SYNGENTA	1	1	2	1		1
PRAJ IND					1	

CN – China; CA – Canadá; EP – Europa; MX- México; IN – Índia; AU - Austrália

**Tabela 5.** Relação entre os principais depositantes e o ano de publicação dos respectivos documentos de patente relacionados com etanol de segunda geração usando sorgo sacarino.

Depositantes	Ano			
	2008	2009	2010	2011
BP			5	3
DSM			1	1
UNIV QINGHUA		2		
WANG M	1	1		
NAGARJUNA ENERGY	2			

**Tabela 6.** Países nos quais os principais depositantes fizeram o depósito dos pedidos de patente relacionados com etanol de segunda geração.

Depositantes	Sigla dos Países									
	CN	US	EP	CA	AU	JP	IN	KR	MX	ZA
BP		8								
DSM		1	1	1	1				1	
UNIV QINGHUA	2									
WANG M	2									
NAGARJUNA ENERGY	2	2	2	2	2	2	2	2		1

CN – China; US – Estados Unidos da América; EP – Europa; CA – Canadá; AU – Austrália; JP – Japão; IN – Índia; KR – Coreia do Sul; MX- México; ZA – África do Sul.

### ► Considerações finais

Das informações relacionadas com **tecnologia agrícola** do sorgo sacarino, obtidas dos documentos de patente, pode-se concluir que:

- Os principais depositantes são South African Sugar Assoc, Agrigenetics Inc., Biotechnology Res Inst CAAS, Nagarjuna e Universidade de Queensland.
- Existe uma tendência de aumento de depósitos de patente relacionados com a tecnologia agrícola do sorgo sacarino.
- China e Estados Unidos são os principais países nos quais os pedidos de patente foram depositados.
- Os principais códigos da Classificação Internacional de Patentes (CIP) são C12N (engenharia genética ou de mutações) e A01H (novas plantas ou processos para obtenção das mesmas).

Em relação à **tecnologia industrial de etanol de primeira geração**, conclui-se que:

- Na busca realizada foram encontrados 6 depositantes com 2 documentos de patente cada.
- Houve um aumento no número de documentos de patente publicados a partir de 2008.
- China foi o país que mais recebeu depósito de patentes.
- Os principais códigos da CIP são C12P (Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado) e C12R (microrganismos).

Para **tecnologia industrial de etanol de segunda geração**, conclui-se que:

- Cinco depositantes com dois ou mais documentos de patente foram encontrados na busca realizada, sendo que a empresa BP (British Petroleum) é a principal depositante.
- O número de documentos de patente publicados tem aumentado desde 2008.
- China é país que mais recebe depósito de pedidos de patente, seguido pelos Estados Unidos.
- C12P (Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado) e C12M (aparelhos para enzimologia ou microbiologia) são os principais códigos da classificação internacional de patentes (CIP) dos documentos de relacionados com etanol de segunda

É importante ressaltar que ainda não houve pedido de patente, depositado no Brasil, relacionado à produção de etanol de primeira ou segunda geração a partir do sorgo sacarino. ●



Foto: Cynthia Maria Borges Damasceno

# Potencial de cogeração de energia elétrica a partir de resíduos do processamento de sorgo sacarino

**Por:** Elaine Virmond, analista da Embrapa Agroenergia

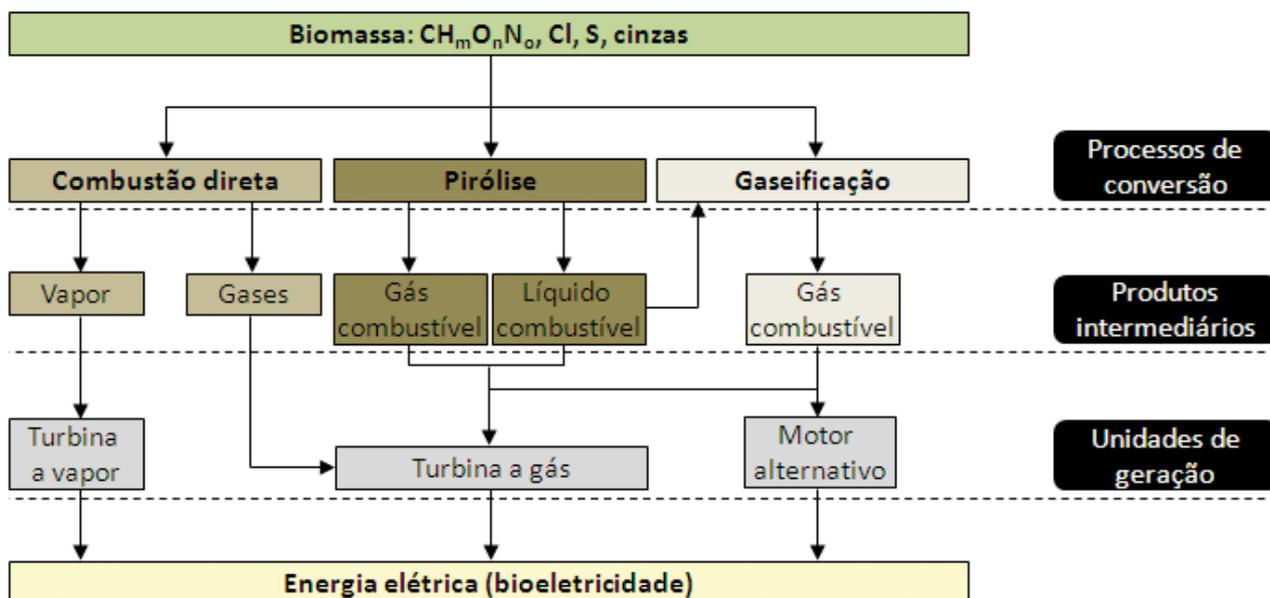
A produção de bioeletricidade no Brasil vem acompanhando o crescimento da produção de etanol. Dados elaborados por UNICA, Koblitz e Cogen em 2009 e apresentados por Silvestrin (2009) indicaram que o potencial de mercado da cogeração de bioeletricidade excedente em 2008/2009 utilizando bagaço de cana-de-açúcar e palha de cana-de-açúcar (considerando-se a utilização de 75% do bagaço disponível e 5% da palha disponível) foi estimado em 1800 MW médios. Projeções para 2015/2016 indicam crescimento para 8158 MW médios e em 2020/2021 estima-se chegar a 13158 MW médios, nesses dois casos considerando-se a utilização de 75% do bagaço e 70% da palha de cana-de-açúcar.

Com o crescente interesse e o aumento dos investimentos para a utilização do sorgo sacarino como matéria-prima alternativa na biorrefinaria de cana-de-açúcar para a produção de etanol, o aumento da quantidade de resíduos (bagaço e palha de sorgo sacarino) será maior. Dada a similaridade de composição e de potencial energético entre o bagaço de cana-de-açúcar (teor de fibra de cerca de 11% a 15% em massa, em base seca, e poder calorífico de aproximadamente 15 MJ/kg), o potencial de geração de bioeletricidade desse setor poderá ser ainda maior.

A Figura apresenta um esquema simplificado das alternativas tecnológicas atualmente consideradas para a geração de eletricidade a partir de biomassa.

O ciclo tradicional consiste na cogeração *topping* a vapor em contrapressão e nas alterações possíveis para aumento do potencial de geração. Nesses sistemas, o bagaço é queimado diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção de vapor que acionará turbinas de acionamento mecânico do processo e turbinas para geração de energia elétrica. Opcionalmente, os gases originados da combustão do bagaço podem ser utilizados para o acionamento de uma turbina a gás para geração de energia elétrica (Corrêa Neto et al., 2002). Parte dessas tecnologias convencionais atualmente utilizadas em sistemas de cogeração apresentam baixas eficiências no aproveitamento do bagaço

## Esquema simplificado das alternativas tecnológicas para geração de eletricidade a partir de biomassa



Fonte: Corrêa Neto et al. (2002) modificada.

de cana-de-açúcar por meio de sua combustão, além de utilizarem unidades de geração de energia elétrica igualmente ineficientes.

A pirólise de biomassa pode ser aplicada para a produção do bio-óleo (líquido combustível), o qual pode ser queimado em um motor alternativo ou em uma caldeira, e os gases alimentados a uma turbina a gás para geração de energia elétrica, assim como o gás combustível produto da pirólise. Outra opção é a utilização da pirólise como pré-tratamento da biomassa para obtenção do bio-óleo seguida da gaseificação desse o gás produzido pode então ser queimado em um motor alternativo ou alimentado a turbinas a gás para geração de energia elétrica.

Essas tecnologias têm evoluído bastante, com destaque para a tecnologia de gaseificação de biomassa integrada a ciclos combinados, na qual se tem o aproveitamento da energia térmica dos gases de exaustão originados de uma turbina a gás para gerar vapor a média e a alta pressão e posterior utilização do vapor em uma turbina a vapor para aumento da potência e da eficiência global do ciclo. Diversas plantas piloto já estão em operação no mundo com essa tecnologia e apresentam futuro promissor, no entanto, a mesma ainda não está totalmente desenvolvida para aplicação industrial. Sistemas desse tipo podem apresentar eficiência de até 50% comparativamente a eficiências de aproximadamente 30% alcançadas em sistemas de cogeração convencionais por meio de combustão.

Embora essa tecnologia já tenha se mostrado viável, ainda necessita superar obstáculos antes de se tornar comercialmente competitiva, o que deve acontecer em pouco tempo dado o potencial que apresenta. A maior atratividade dos ciclos integrados de gaseificação de biomassa com turbinas a gás e a vapor está relacionada a mercados específicos, ou nichos de mercado, tais como áreas com restrições a combustíveis fósseis ou com custos elevados, áreas com prioridade de desenvolvimento rural, áreas com disponibilidade de rejeitos ou resíduos diversos e áreas nas quais os custos da biomassa são relativamente baixos.

Entretanto, o alto investimento inicial requerido para a construção e operação inicial de uma planta de cogeração pode ser justificado somente se acordos e contratos formais de fornecimento e de compra de bioeletricidade de longo

prazo e de definição de preço forem firmados com concessionárias de energia elétrica, o que vem sendo regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Outro ponto importante é a alta dependência da qualidade da matéria-prima e da garantia de seu fornecimento nos períodos de entressafra de cana-de-açúcar (atualmente a principal fonte de matéria-prima) para garantia da geração de bioeletricidade durante o ano todo.

Considerando-se que a cultura do sorgo sacarino é complementar ao período de entressafra da cana-de-açúcar, tanto etanol quanto energia elétrica podem ser fornecidos durante grande parte do ano. Além da demanda crescente por etanol, essa necessidade é ainda maior dado que o consumo de energia das usinas nos períodos de entressafra de cana tem aumentado pela inclusão de novos processos, tais como fabricação de embalagens, produtos químicos, papel, tratamento de efluentes e plantas de produção de biogás (ISO, 2009).

Dessa forma, há grande potencial de desenvolvimento do setor de cogeração de energia elétrica a partir de biomassa, especialmente de sistemas de gaseificação de biomassa integrados a ciclos combinados. Além de bioeletricidade, o gás de síntese produto da gaseificação (uma mistura de monóxido de carbono e de hidrogênio), após recuperação de calor e limpeza, pode ser enviado para reatores químicos para a fabricação de produtos de elevado valor agregado, como combustíveis líquidos tais como metanol, etanol, diesel e gasolina, fertilizantes, monômeros e diversos outros produtos químicos.

Cerca de apenas um terço do potencial energético da cana-de-açúcar é utilizado na produção de etanol de primeira geração. Os outros dois terços estão no bagaço e na palha. Há grande potencial de expansão da geração de bioeletricidade no Brasil dada a grande quantidade de biomassa (bagaço, palha e ponteiros) de cana-de-açúcar atualmente disponível (na última safra apenas cerca de 30% do bagaço foi utilizada para geração de bioeletricidade). Bagaço e palha de sorgo sacarino devem ser somados à biomassa de cana-de-açúcar a ser disponibilizada com o aumento da participação dessa cultura no setor alcooleiro. ●

# Concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar no Brasil

Por: Gilmar Souza Santos, pesquisador da Embrapa Agroenergia

O sorgo sacarino é cultivado em diversas partes do mundo. O seu principal uso tem sido a produção de grãos e forragens para alimentação animal. Segundo Durães (2011), o sorgo sacarino, um tipo de *Sorghum bicolor* (L.) Moench, com alto potencial forrageiro, apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, rico em açúcares fermentescíveis e pode servir para a produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar. Trata-se também de uma das alternativas para reforma ou substituição de canaviais. A seleção de espécies de expressão econômica deve contribuir para atender aos interesses de produção de alimentos e energia. Neste contexto, por meio de um estudo da concorrência ampliada de Porter (2004), aplicada aos produtos do sorgo sacarino (etanol e bioeletricidade), algumas propostas são apresentadas e discutidas como contribuições para uma melhor competitividade desta cultura na entressafra da cana.

## ► A concorrência ampliada

Porter preconiza que o sucesso de uma empresa está ligado a dois fatores: o desempenho do setor em que a empresa atua e o posicionamento da empresa nesse setor. Podemos estender esse conceito para os produtos gerados do sorgo sacarino, considerando os diversos agentes que atuam na cadeia produtiva desta cultura, como também as diversas estratégias para o seu uso competitivo na entressafra da cana-de-açúcar.

Pelo conceito de concorrência ampliada, fornecedores, clientes, investidores, culturas e produtos substitutos, assim como novos entrantes podem ter maior ou menor importância, dependendo do contexto avaliado. Neste estudo, considera-se o posicionamento dos produtos gerados do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar como também na reforma de canavial. Concorrência, neste sentido mais amplo, pode ser definida como rivalidade e oportunidade ampliada. Sendo assim, o objetivo é avaliar a cooperação do sorgo sacarino com a cana, em termos de ser uma opção alternativa e viável, plantada como rotação de culturas nas áreas de reforma de cana-de-açúcar em outubro e novembro, para colheita em março e abril. É possível um melhor aproveitamento do parque industrial no ano, produção de etanol em um período de baixos estoques e ainda possibilitar ganhos de produtividade na própria produção de cana-de-açúcar ao proporcionar sua colheita em um período mais favorável. Na Figura 1 são



Figura 1. Indicadores Sorgo Sacarino x Cana

apresentados alguns indicadores das duas culturas, a exemplo da água utilizada, produção do etanol, biomassa e custo por hectare.

A Monsanto/Canavialis indica que, além do uso do sorgo como alimento, as variedades que apresentam colmo succulento e a presença de açúcares são uma alternativa para suplementar a safra de cana-de-açúcar, como matéria-prima para produção de etanol. Assim como a cana-de-açúcar, o sorgo pode produzir bagaço, que também é uma fonte interessante para geração de energia elétrica. Além disto, o sorgo sacarino pode ser produzido utilizando-se os mesmos equipamentos e estrutura utilizados para a cana-de-açúcar. A principal diferença está no plantio: ele é realizado com plantadoras de sementes semelhantes às utilizadas para plantios de milho, usando-se o sistema de plantio convencional ou plantio direto com os mesmos espaçamentos adotados para a cultura da cana. Após o plantio, todas as operações de aplicação de herbicidas e inseticidas e todas as atividades de colheita, carregamento e transporte podem ser feitos com os mesmos equipamentos utilizados para a cana, com pequenas regulagens.

### ► A cadeia de agronegócio do sorgo sacarino

Conforme adaptação da metodologia proposta pela Embrapa, a cadeia de agronegócio do sorgo sacarino é apresentada na Figura 2. Contempla fornecedores de insumos e equipamentos para a fase agrícola e também para a fase industrial. Usinas e agricultores como agentes produtores da fase agrícola (plantio, cultivo, colheita, transporte) e da industrial (moagem, produção de etanol e de bioeletricidade). Os atacadistas são representados pelos postos de gasolina,

distribuidoras e também pelas concessionárias de energia elétrica. O mercado consumidor, por sua vez, consome os produtos gerados do sorgo, a exemplo de etanol e bioeletricidade.

Também existe um ambiente institucional que determina obrigações legais a serem seguidas e um ambiente organizacional, representado por empresas de pesquisas, investidores e reguladores. Para uma melhor análise da cadeia de agronegócio do sorgo sacarino, torna-se necessário entender como esses diversos agentes (fornecedores, produtores, empresas de pesquisa, clientes etc.) se interagem no processo, considerando os diversos aspectos das estratégias genéricas de custos e de diferenciação. A escolha de um segmento de mercado para o sorgo sacarino (ex. etanol na entressafra) pode ser avaliado sob o ponto de vista dos custos de produção e diferenciação (ex. ciclo de vida curto) em relação às outras culturas de entressafra da cana-de-açúcar (ex. soja, amendoim) para se tornar a opção ideal como safrinha, tendo atributos valorizados pelos fornecedores, produtores, investidores e clientes. Assim, um estudo de concorrência ampliada torna-se importante, conforme item seguinte.

### ► A concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino

Considerando todo o mercado, a concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino é formada por concorrentes do setor, fornecedores, novos entrantes, investidores, clientes, produtos substitutos e governo, conforme Figura 3 (adaptação do autor das 05 forças competitivas de Michael Porter).

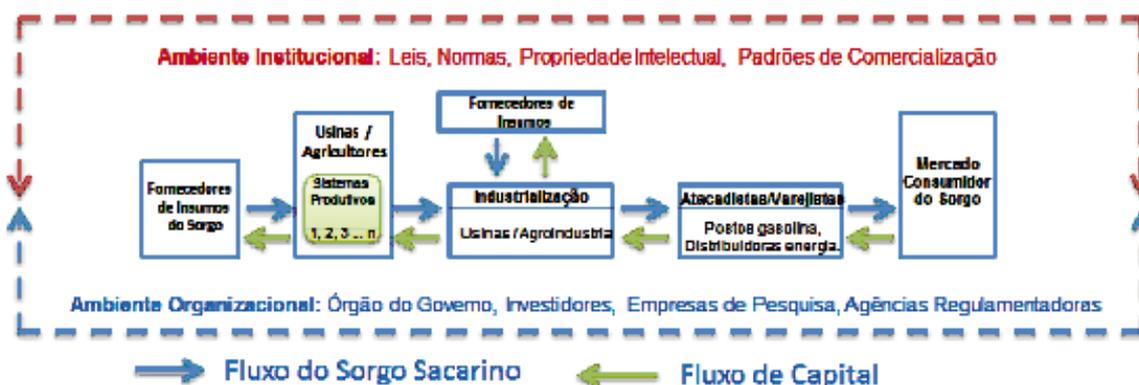


Figura 2. Agronegócio sorgo sacarino

Um exemplo da influência da concorrência ampliada é a decisão de plantar ou não o sorgo na entressafra da cana-de-açúcar. O mercado, neste caso, pode ser diretamente afetado de forma positiva. Outro aspecto é que o mercado de sorgo sacarino está se tornando atrativo com novas empresas e investidores entrando na cadeia do seu agronegócio, trazendo novas capacidades, competências de ganhar margens melhores e recursos financeiros.

Atualmente já existem bons investimentos em sorgo sacarino no Brasil, como por exemplo os realizados pela Embrapa e pela Monsanto/Canavialis. Com parceria da Canavialis, a Usina Cerradinho, de Catanduva (SP), cultivou 1,2 mil hectares de sorgo sacarino e produziu 1,4 milhão de litros de etanol no final de março/2011, conforme informação divulgada pelos próprios investidores. O negócio faz parte de um projeto desenvolvido desde 2004 com híbrido do sorgo. No momento, os testes com as novas sementes estão sendo realizadas em mais 11 usinas, totalizando 3,1 mil hectares de plantio. A previsão é atingir 35 mil hectares até 2012, segundo dados da Monsanto/Canavialis.

Por outro lado, a Embrapa Milho e Sorgo trabalha com variedades de sementes de sorgo sacarino desde a década de 70. A Embrapa vem

desenvolvendo desde 1976 um programa de pesquisa com esta cultura, abrangendo as áreas de Fitopatologia, Entomologia, Fertilidade, Genética e Melhoramento, entre outras. Na safra de 1981, foram instaladas microdestilarias nas Embrapa Arroz e Feijão, Embrapa Gado de Corte e Embrapa Milho e Sorgo com as cultivares BR 500 (Rio), BR 501 (Brandes) e BR 602. Atualmente, a Embrapa mantém no mercado duas cultivares do sorgo sacarino (BRS 601 e BRS 602), cujos testes em laboratório mostraram que é possível chegar a aproximadamente 4 mil litros de etanol por hectare. Novas variedades de sorgo sacarino estão sendo avaliadas pela Embrapa Milho e Sorgo em diversas regiões brasileiras. Conclui-se que o mercado do sorgo está bastante atrativo e não existem barreiras consideráveis para que um novo negócio se estabeleça no setor. Esperam-se novos entrantes e grande volume de investimentos nesta cultura nos próximos anos.

Outro aspecto a destacar são os diversos substitutos para os produtos do sorgo sacarino na entressafra, não considerando o etanol da cana-de-açúcar. Um exemplo é o plantio do amendoim, concorrendo ainda na fase agrícola. Na fase industrial, a bioeletricidade a partir do bagaço não utilizado da safra de cana ou até mesmo o biogás, gerado a partir de



**Figura 3.** Concorrência ampliada do sorgo sacarino

biodigestores, concorrem com o sorgo sacarino e são exemplos de produtos substitutos. Por outro lado, as políticas do governo impactam diretamente o mercado dos produtos gerados do sorgo, a exemplo das regulações, políticas agrícolas e também, de linhas de crédito do BNDES e do Banco do Brasil, com taxas de juros mais baixas que as praticadas no mercado, como as que anunciadas em agosto/2011 para o etanol. Quanto aos fornecedores, os insumos e equipamentos são bem próximos da cultura da cana. Neste aspecto, deve ser considerada a cultura na entressafra da cana para que não ocorra uma concorrência desta força competitiva. Deve-se aproveitar a capacidade instalada das usinas e também o poder de negociação já implantado.

Quanto aos compradores, na visão de Porter, se forem poucos e poderosos, certamente forçarão as condições de compra e os preços para baixo. Neste aspecto, a cultura do sorgo sacarino atua de forma positiva, possibilitando suprir eventuais problemas de oferta de etanol, como também estabilizar o seu preço na entressafra, como também manter competitivo o mercado de bioeletricidade.

### ► **Considerações finais**

O Brasil está vivendo aumentos dos preços de etanol e riscos de desabastecimento nos períodos de entressafra. Os problemas de estoque e de alta nos preços do etanol continuarão a ocorrer nos períodos de entressafra. Neste contexto, o sorgo sacarino, que produz etanol usando a mesma levedura que a cana e é plantado justamente na fase de entressafra pode ser uma solução. A cultura do sorgo sacarino é uma alternativa viável sob os pontos de vista agrônomo e industrial, para a produção de etanol e bioeletricidade.

A cultura do sorgo sacarino na entressafra é uma estratégia indicada para elevar a produção de etanol sem concorrência com a cultura de cana. A colheita do sorgo utiliza os mesmos equipamentos da cana, reduzindo o período de ociosidade da indústria. Mesmo com produtividade menor em relação à cana-de-açúcar, a alternativa é viável considerando o ciclo completo de produção das duas culturas. Essa decisão estratégica poderá mitigar os riscos de falta de etanol, ajudar na estabilização dos preços deste produto e reduzir a importação de etanol e gasolina. Do ponto de vista da análise da concorrência ampliada é uma estratégia perfeitamente viável. Um exemplo da influência da concorrência ampliada é a decisão de plantar ou não o sorgo na entressafra da cana-de-açúcar. O mercado, neste caso, pode ser diretamente afetado de forma positiva. Outro aspecto é que o mercado de sorgo sacarino está se tornando atrativo com novas empresas e investidores entrando na cadeia do seu agronegócio, trazendo novas capacidades, competências de ganhar margens melhores e recursos financeiros. ●

# Viabilidade econômica e arranjos produtivos

**Por:** Alice Medeiros de Lima<sup>1</sup>, Daniela Tatiane dos Santos<sup>1</sup> e João Carlos Garcia<sup>2</sup>, analistas da Embrapa Agroenergia<sup>1</sup> e pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo<sup>2</sup>.

## ► Custos unitários da produção de etanol a partir de sorgo sacarino

A produção de etanol a partir do sorgo sacarino tem sido considerada viável devido à semelhança com a cana-de-açúcar, ao alto teor de açúcares fermentescíveis, além do processamento poder ser feito nas usinas de cana-de-açúcar. Um ponto importante é a possibilidade de produção de etanol no período da entressafra da cana-de-açúcar utilizando-se o sorgo sacarino. Entretanto, há poucos estudos e informações sobre a viabilidade técnico-econômica da produção de etanol a partir do sorgo sacarino.

Alguns fatores possuem importantes efeitos sobre os custos de produção de etanol a partir do sorgo, como o preço das matérias-primas, o preço do etanol e do gás natural e os fatores de conversão. O potencial mínimo de geração de etanol de sorgo sacarino está estimado em 3.223 L/ha, com uma produtividade que gira em torno de 55 t/ha, o que representa cerca de 58,6 L/t. A Tabela 1 ilustra estimativas para o custo unitário de produção do etanol do sorgo sacarino. A Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás (FAEG) publica os custos da produção agrícola do sorgo granífero, que podem ser tomadas como uma primeira aproximação para o sorgo sacarino. Entretanto, as estimativas no país sobre o processamento em escala industrial do etanol a partir do sorgo sacarino é de mais difícil acesso, estando limitadas às empresas produtoras, que somente recentemente deram margem a esta iniciativa. Neste sentido, tomou-se como parâmetro para o custo de produção do sorgo sacarino (matéria-prima), o preço da matéria-prima convencional, ao passo que os dados para o processamento do sorgo sacarino basearam-se em estimativas para a produção do sul dos Estados Unidos (LINTON et al, 2011). Ainda que este procedimento não esteja livre de incongruên-

cias, trata-se de uma aproximação para avaliar o potencial deste mercado.

**Tabela 1.** Estimativas dos custos de produção de etanol a partir do sorgo sacarino.

Descrição	Preço Unitário (R\$/litro)
Fator de Conversão de sorgo em etanol (0,03505 m <sup>3</sup> /t)	
Custo da matéria-prima	R\$ 0,48
Custo fixo/L	R\$ 0,17
Custo de processamento/ L	R\$ 0,34
Custo Total	R\$ 0,99

Fonte: FAEG (2011) e Linton et al (2011).

Os custos de produção agrícola do sorgo em janeiro de 2011 estiveram em torno de R\$ 927/ha. Entretanto, para estimar o custo total de produção em termos de R\$/L seria necessário transformar este valor por meio do fator de conversão do substrato em etanol. Linton et al (2011) utilizam um fator de conversão de 0,03505 m<sup>3</sup>/t, ou seja, cada tonelada de biomassa verde de sorgo geraria 35,05 litros de etanol. Multiplicando-se este fator pela produtividade por hectare do sorgo (55 t/ha), tem-se um total de 1.920 L/ha. Assim, poderia se afirmar que o custo unitário da matéria-prima estaria em torno de R\$ 0,48/L, sem incluir quaisquer custos de transporte.

Por outro lado, com base no trabalho de Linton et al (2011), estimou-se que os custos fixos unitários seriam de R\$ 0,17/L e os custos de processamento, R\$ 0,34/litro<sup>1</sup>. Deste modo, tendo em vista os parâmetros aqui adotados, o custo total de produção de etanol do sorgo sacarino seria de aproximadamente R\$ 0,99/L.

## ► Comparação da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino

A comparação da produção de etanol a partir de cana-de-açúcar e sorgo sacarino foi feita a partir da simulação utilizando-se um modelo simplificado com o balanço de massa de uma usina convencional. Este modelo é capaz de calcular, além da quantidade de etanol (1ª e 2ª geração), a quantidade de açúcar e eletricidade gerados a partir da cana-de-açúcar e/ou sorgo sacarino.

<sup>1</sup> Estes valores foram convertidos, considerando-se a taxa de câmbio do dólar de R\$ 1,6.

**Tabela 2.** Dados utilizados nas simulações.

Parâmetros	Sorgo sacarino (SS)	
	1SS	2SS
Produtividade (t/ha)	55	80
Brix do caldo (%)	15	21
ART do caldo (%)	13	20
Pureza do caldo (%)	55	80
ART do colmo (%)	11,5	16,5
Fibra do colmo (%)	10	19
Composição do bagaço (assumindo-se que a composição do bagaço da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino são semelhantes)		
Lignina	9,98	
Celulose	23,74	
Hemicelulose	14,28	
Rendimento etanol de segunda geração (L/t bagaço)*		

\*Hexoses: 80% recuperação, fermentação: 91%; Pentoses: 78,5% recuperação, fermentação: 0%, destilação: 99,75%.

Fonte: Santos, F. G. (2007); Lee et al (2007); Durães, F. O. M. (2011).

O cenário padrão utilizado para as simulações neste estudo foi de 1,0 ha, considerando-se o caldo e o bagaço produzindo apenas etanol anidro. Os dados utilizados nas simulações de quatro cenários estão mostrados na Tabela 2.

Os resultados obtidos com a simulação dos quatro cenários propostos (dois para sorgo sacarino e dois para cana-de-açúcar) estão indicados na Tabela 3. Também são calculados os custos e

a receita líquida de etanol a partir do sorgo sacarino, bem como a produção que poderia ser obtida de etanol de segunda geração utilizando-se o bagaço.

Pode-se observar que à medida que se aumenta a quantidade de Brix, ART e fibra nas cultivares analisadas (cana-de-açúcar e sorgo sacarino), a produção de etanol aumenta consideravelmente, tanto de primeira quanto de segunda geração. A produtividade de etanol a partir do sorgo sacarino (cenário 2SS) poderia atingir níveis similares aos da cana-de-açúcar (cenário 1C), o que representaria maior oferta de etanol no período da entressafra da cana-de-açúcar, bem como na safra. Esse aumento na oferta de etanol teria impactos significativos nos preços de mercado deste produto.

Os custos de produção do etanol de sorgo sofreram grandes alterações em função das variações na produtividade, com valores mínimo e máximo oscilando entre R\$ 3.190/ha (cenário 1SS) e R\$ 5.448/ha (cenário 2SS). Admitindo-se que o preço de venda deste produto esteja em torno de R\$ 1,2/L, preço do etanol nas usinas canavieiras, a margem de lucro seria de R\$ 0,21/L. A produtividade total dos fatores (relação entre receita e custos totais), uma medida da eficiência deste sistema produtivo situaria em 1,2, enquanto a taxa de retorno do investimento (receita líquida sobre custo total) seria de 21,2%, apontando para níveis de rentabilidade que se sustentam ao preço de venda considerado. Logicamente, que uma avaliação mais aprofundada deveria ser realizada considerando a variação destes parâmetros ao longo do tempo.

**Tabela 3.** Estimativa de produtividade, produção de etanol, custos e receita líquida para sorgo sacarino e cana-de-açúcar.

	Cenário - Produtividade (t/ha)	Produção de Etanol de 1ª geração (L/ha)	Custos (R\$/ha)	Receita líquida (R\$/ha)	Produção de Etanol de 2ª geração (L/ha)	Produção Total (L/ha)
Sorgo Sacarino	1SS - 55	3.223,00	3.190,77	676,83	1.079,00	4.302,00
	2SS - 80	5.504,00	5.448,96	1.155,84	2.983,00	8.487,00
Cana	1C - 80	5.921,00	4.677,59	2.427,61	1.413,00	7.334,00
	2C - 90	7.098,00	5.607,42	2.910,18	2.296,00	9.394,01

Fonte: FAEG (2011); Linton et al (2011); Santos, F. G. apud Durães, F. O. M. (2011); Lee et al (2007).

Segundo estimativas da Embrapa, a produtividade da biomassa verde do sorgo sacarino pode chegar a 80 t/ha, com rendimento aproximado de 6.000 L/ha, o que representa uma receita líquida de R\$1.555/ha, com custo agrícola e industrial estimado em R\$5.448/ha.

Entretanto, as baixas escalas de produção do etanol de sorgo sacarino ainda restringiriam a obtenção de custos de produção menos elevados. Mesmo com custos de produção por hectare menores que o da cana-de-açúcar<sup>2</sup>, os níveis reduzidos de produtividade teriam grandes efeitos sobre a quantidade de etanol de primeira geração que pode ser obtido. As disparidades no potencial de produção entre as duas alternativas (sorgo sacarino e cana) estão traduzidas nas diferenças de receitas líquidas a serem auferidas. Para ilustrar, com produtividade de 80 t/ha, a receita líquida do etanol de sorgo seria apenas 1/2 daquela obtida pela cana-de-açúcar.

Ainda assim, o estabelecimento de arranjos produtivos entre cana-de-açúcar e sorgo sacarino seria uma forma relevante de aproveitar as terras disponíveis em áreas de plantação de cana, notadamente na renovação do canavial. Este tipo de arranjo já ocorre com outras culturas como amendoim, soja e milho, embora os custos de produção destas culturas estejam bem acima dos custos verificados para o sorgo, cerca de R\$ 1.610/ha para a soja e R\$ 2.544/ha para o milho. Certamente, as estimativas para o sorgo sacarino apontam para um potencial favorável de geração de receitas. O cenário torna-se ainda mais promissor quando se consideram as limitações advindas da extrema dependência da produção de etanol a partir de uma só cultura. As dificuldades na oferta de etanol no Brasil e as variações no preço deste combustível, com efeito, poderiam ser minimizadas na presença de fontes alternativas de biocombustíveis como o sorgo sacarino, o que aumentaria e regularizaria a produção. ●

<sup>2</sup> Os altos custos de produção da cana-de-açúcar atribuem-se parcialmente aos elevados preços de arrendamentos de terras em regiões canavieiras, notadamente na região Centro-Sul, com efeitos consideráveis sobre o custo de produção desta cultura.



Fotos: Cristina Maria Monteiro Machado

### ► Referências

FAEG – Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás. **Custo de Sorgo**, 2011. Site disponível em <[http://www.site.sistemafaeg.com.br/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=12:custo-de-sorgo](http://www.site.sistemafaeg.com.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=12:custo-de-sorgo)>. Acesso em: 01 setembro 2011.

LEE, D. et al. **Composition of herbaceous biomass feedstocks**. Preparado por North Central Sun Grant Center. Universidade Dakota do Sul, 2007.

LINTON, J. A. et al. Economic feasibility of producing sweet sorghum as an ethanol feedstock in the southeastern United States. **Biomass and Bioenergy**, n. 35, p. 3050-57, 2011.

SANTOS, F. G. Culturas com potencial para produção de álcool no Rio Grande do Sul: sorgo sacarino. In: Simpósio Estadual de Agroenergia, Pelotas, RS, 2007.

# Elementos do plano de negócios do sorgo sacarino da Embrapa

**Por:** Antonio Álvaro Corsetti Purcino, Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo, Frederico O. M. Durães, Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia

No início dos anos 80, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo – CNPMS selecionou variedades de sorgo sacarino, todas com produtividade de colmos superior a 40 t / ha e teor de sólidos solúveis médios entre 18 e 20º Brix. Em 1987, as primeiras variedades brasileiras foram desenvolvidas com potencial para produção de etanol (BRS 506 e BRS 507, e o híbrido BRS 601). Estes materiais apresentaram rendimentos entre 2.500 e 3.500 l etanol por hectare. Como as cultivares lançadas apresentavam boa produtividade e qualidade de matéria verde, estes produtos se mantiveram no mercado, comercializados como forrageiras.

A Embrapa reiniciou seu programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino a partir de 2008, devido ao potencial desta cultura na geração de energia renovável e devido a grande demanda por matéria-prima alternativa para a produção de etanol nas grandes destilarias. O programa de melhoramento da Embrapa, coordenado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo visa o desenvolvimento de variedades e/ou híbridos de sorgo sacarino e estabeleceu as seguintes metas de produtividade e qualidade: uma produtividade mínima de biomassa de 60 t / ha; extração mínima de açúcar total de 120 kg / t biomassa, considerando a eficiência de extração de 90-95%; conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; produção mínima de álcool de 60 l / t biomassa; Período de Utilização Industrial (PUI) mínimo de 30 dias com extração mínima de açúcar total de 100 kg / t biomassa.

## ► Elementos para o Plano de Negócios de Sorgo Sacarino da Embrapa:

Em síntese, o plano de negócios para o sorgo sacarino está estruturado em três **background** genéticos e três nichos territoriais, e tem como estratégia o compartilhamento de ações de PD&I e negociais, a saber:

### Background genético (3):

- Materiais antigos: produção de sementes e performance agrônômica e industrial de cultivares registradas no RNPC (variedades BRS

506 e BRS 507), em função de disponibilidade de sementes, histórico de rendimento de etanol de 2.500 a 3.500 litros por hectare, e busca de novos índices agrônômicos e industriais;

- Materiais atuais: lançamento de novos cultivares (1-3 variedades BRS, a partir da safra 2012-2013), em complemento à estratégia dos materiais antigos. Para cada um desses background genéticos está previsto a determinação de meta negocial, ciclo de vida da cultivar, e a natureza e magnitude do empreendimento;
- Materiais modernos: desenvolvimento e lançamento de novos híbridos, em horizonte temporal de 2-5 anos, de forma compartilhada ou não com a iniciativa privada, e com estratégia complementar de novo background genético e boas práticas agrícolas e gerenciais para os sistemas produtivos sustentáveis.

### Nichos territoriais (3):

- Áreas canavieiras tradicionais: produção complementar de etanol e resíduos na entressafra da cana e/ou áreas de reforma de canaviais;
- Áreas de expansão canavieira: como alternativas para produção de etanol e resíduos para agroenergia;
- Áreas antropizadas de expansão e/ou substituição agrícola: como alternativas para a produção de etanol e resíduos para agroenergia em áreas distintas ou remotas da região sucroalcooleira tradicional, p.ex., região centro-oeste do Brasil.

### Parcerias em cooperação científica e/ou técnica (3):

- Acordos de cooperação científica para desenvolvimento de novos cultivares;
- Acordos de cooperação técnica para licenciamento de genótipos de interesse técnico ou comercial;
- Acordos de cooperação técnica para agregação de valor a genótipos, processos e sistemas produtivos, incluindo a obtenção de descritores botânicos e de caracterização agrônômica de genótipos e materiais comerciais, bem como de índices de indústria (caracterização planejada de matérias-primas, processos e produtos).

A Embrapa disponibiliza os termos básicos (padrão) de cooperação científica e técnica para os negócios competitivos. E recomenda que, para cada assunto específico e cada instituição ou empresa interessada, sejam formalizados um termo de confidencialidade e a definição de contrapartes institucionais de negociação para firmar acordos específicos, em momentos oportunos dos trabalhos conjuntos. ●

# Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino

**Por:** Robert Eugene Schaffert<sup>1</sup>, Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>1</sup>, André May<sup>1</sup>, Frederico O. M. Durães<sup>2</sup>, pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo<sup>1</sup> e Chefe-Geral da Embrapa Agroenergia<sup>2</sup>

No início dos anos 1980, a Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) selecionou variedades de sorgo sacarino, com produtividade de colmos superior a 40 t / há e teor de sólidos solúveis médios entre 18 e 20º Brix. Posteriormente, em 1987, as primeiras variedades brasileiras foram desenvolvidas com potencial para produção de etanol, sendo o BRS 506 e BRS 507, e o híbrido BRS 601. Projetos-piloto de microdestilarias para produção de etanol se valeram destas variedades. O Pro-Álcool incentivou a expansão da cana-de-açúcar e as espécies alternativas, como o sorgo sacarino e a mandioca, tiveram seus programas paralisados. Como as cultivares lançadas apresentavam boa produtividade e qualidade de matéria verde, estes produtos se mantiveram no mercado, comercializados como forrageiras. Atualmente apresentam-se como cultivares de dupla aptidão, sacarina e forrageira. A Embrapa

reiniciou seu programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino a partir de 2008, devido ao potencial desta cultura na geração de energia renovável e devido a grande demanda por matéria-prima alternativa para a produção de etanol nas grandes destilarias.

O programa de melhoramento da Embrapa visa o desenvolvimento de variedades e/ou híbridos de sorgo sacarino e estabeleceu as seguintes metas de produtividade e qualidade: uma produtividade mínima de biomassa de 60 t / ha; extração mínima de açúcar total de 120 kg / t biomassa, considerando a eficiência de extração de 90-95%; conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; produção mínima de álcool de 60 l / t biomassa; Período de Utilização Industrial (PUI) mínimo de 30 dias com extração mínima de açúcar total de 100 kg / t biomassa. ●

**Metas de Rendimento e Qualidade de Sorgo Sacarino**  
Característica

Característica	Alvo Mínimo		
	1975	2011	(Futuro)
Rendimento Mínimo de Biomassa* t ha <sup>-1</sup> e, ( t h <sup>-1</sup> / mês )	40 (10)	50-60 (12-15)	80 (20)
Brix mínimo* (grauº, 245 kg cm <sup>-1</sup> / 60 seg)	16 - 17	18 - 19	20-22
Pico Brix (grauº)	21	23	23
Mínimo de Extração de Açúcar Total* (kg t <sup>-1</sup> biomassa)	80	100 - 120	120-150
Eficiência de extração (%)**	60 - 65	90 - 95	95
Teor mínimo de açúcar total no caldo (%)**	12,5	14	14-16
Rendimento mínimo de Álcool*** ( l t <sup>-1</sup> biomassa )	40	60-70	70-85
Eficiência de fermentação (%)**	90	95	95
Eficiência da destilação (%)**	90	95	95
Eficiência industrial (%)**	81	90	90
Periodo de Utilização Industrial (PUI, dias)*	30	30	30
Tipo de cultivar*	variedade	variedade	variedades e híbridos

Parâmetros: \* Agrônômico; \*\* Industrial

Fonte: Modificado de Schaffert, R.E. et al., Embrapa Milho e Sorgo ([www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br))

# O sorgo sacarino na mídia

**Por:** Daniela Collares<sup>1</sup> e José Heitor Vasconcellos<sup>2</sup>, jornalista da Embrapa Agroenergia<sup>1</sup> e Embrapa Milho e Sorgo<sup>2</sup>

Em dezembro de 2010, Beatriz Emygdio, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS) publicou pequeno artigo denominado "Produção de etanol a partir de sorgo sacarino" ([http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_4/Sorgo/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/Sorgo/Index.htm)) que foi precursor de várias matérias jornalísticas publicadas em 2011, em diversos sites, revistas e até mesmo na TV.

A presença do sorgo sacarino na mídia intensificou-se quando a Canavialis anunciou, em abril de 2011, que estava produzindo etanol a partir desse cereal, na Usina Cerradinho em Catanduva (<http://www.canavialis.com.br/src/sorgo.php>)

A partir desse anúncio, diversas notícias foram veiculadas, enfatizando a possibilidade de utilizar sorgo sacarino na reforma dos canaviais, aumentando a produção de etanol sem aumentar a área ocupada com matérias-primas.



**INOVAÇÃO** UNICAMP

**Entressafra da cana-de-açúcar**

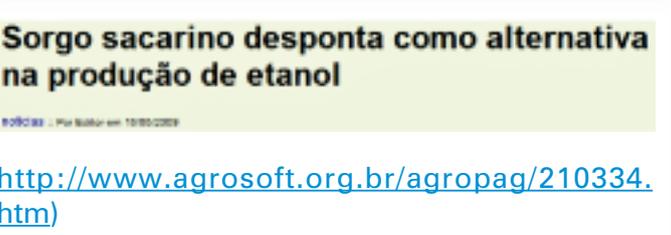
### Monsanto desenvolve híbrido de sorgo sacarino como alternativa para produção de etanol

Usina Cerradinho, em Catanduva (SP), produziu 1,4 milhão de litros de etanol usando a planta

5/5/2011

Janaina Simões

<http://www.inovacao.unicamp.br/noticia.php?id=925>



### Sorgo sacarino desponta como alternativa na produção de etanol

10/05/2011 - Por Nubia em 10/05/2011

<http://www.agrosoft.org.br/agropag/210334.htm>



**Canavialis**

Empresa Melhoramento Genético Biotecnologia Sistema de Gestão Varietal

### O Conceito

A Canavialis, marca comercial, de melhoramento e tecnologias em cana-de-açúcar da Monsanto, está liderando a introdução do sorgo sacarino na cultura da cana-de-açúcar, uma nova tecnologia que tem como principal objetivo a antecipação da operação industrial e consequente produção de etanol pelas usinas, aumentando o período de produção de etanol e reduzindo os custos fixos das unidades.

Cultura de ciclo rápido, ou seja, de 120 dias, o sorgo sacarino produz biomassa e açúcares fermentáveis que, uma vez industrializados, transformam-se em etanol. A proposta da cultura do sorgo sacarino não é competir com a cana-de-açúcar para a produção de etanol no Brasil, mas ser uma opção alternativa e viável, plantada como rotação de culturas nas áreas de reforma de cana-de-açúcar em outubro, para colheita em fim de fevereiro / março.



**GADO & GRÃO**

SEGUNDA-FEIRA, 22 DE MAIO DE 2011

### Sorgo sacarino é alternativa para produção de etanol durante entressafra

O preço elevado do etanol durante a entressafra da cana e o custo do maquinário parado nos galpões da fazenda no período em que não se produz a cana é um dos grandes motivadores para que as empresas busquem alternativas para a produção de etanol.

A Usina Cerradinho, de Catanduva (SP), cultivou 1,2 mil hectares de sorgo sacarino e consegue produzir 1,6 milhão de litros de etanol no final do março.

<http://gadoegrao.blogspot.com/2011/05/sorgo-sacarino-e-alternativa-para.html>

## Sorgo sacarino pode reforçar produção de etanol no Brasil

O sorgo que alimentava o gado agora ganha a atenção dos pesquisadores. Na entrevista de zana, a planta reaperta período de produção das usinas.

De: Maria Clara



Quando se fala em sorgo, a primeira coisa que vem à cabeça é aquela planta que produz grãos e forragem para alimentar o gado. No entanto, nos últimos anos, com o mundo cada vez mais virado por fontes de energia renováveis, um outro tipo de sorgo voltou a despertar a atenção dos pesquisadores, o sorgo sacarino que assim como a cana serve para fazer etanol.

O sorgo sacarino já foi assunto das primeiras reportagens da Globo Rural no

começo da década de 1960. Na época, assim como a cana-de-açúcar, o sorgo sacarino fazia parte do Proálcool - o Programa Nacional do Alcool - lançado pelo governo em 1975 para tentar substituir parte dos combustíveis derivados do petróleo.

<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/06/sorgo-sacarino-pode-reforcar-producao-de-etanol-no-brasil.html>

## Cresce cultivo de sorgo para etanol no País

Sorgo sacarino é o novo alvo dos produtores brasileiros de etanol

De: Redação  
07/06/2011 10:42



Foto: Argenteo  
Sorgo sacarino é novo alvo dos produtores para produção de etanol

Historicamente tratado como o "primo pobre" do milho no mercado de rações para aves e suínos, o sorgo está ganhando novas roupagens em regiões agrícolas do país. Com novos grãos do que o sorgo destinado à alimentação animal - o granífero - o sorgo sacarino é o mais novo "convidado de honra" dos produtores brasileiros de etanol, e com isto conseguiu até ressuscitar pesquisas de melhoramento genético que foram paralisadas antes na época do Proálcool.

Desde o ano passado, despertam experimentos de plantio de sorgo sacarino em terras de São Paulo, Goiás e Minas Gerais para seu uso na produção do etanol. Em outubro de 2010, pelo menos sete grupos sucroalcooleiros, entre eles os maiores do segmento, cultivaram 3,1 mil hectares com híbridos da multinacional americana Monsanto, que com a marca Caravello está entre as três empresas privadas que apostam na recuperação dos estados desse tipo de sorgo no país.

[http://www.correiodeestado.com.br/noticias/cresce-cultivo-de-sorgo-para-etanol-no-pais\\_120315/](http://www.correiodeestado.com.br/noticias/cresce-cultivo-de-sorgo-para-etanol-no-pais_120315/)

Entrevista ao site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Empresa Milho e Sorgo

Empresa Brasil - País: Brasil - Localização: 24 Nov 2011 - Hora do Dia: Inglês - 810x470

### Parcerias vão avalar sorgo sacarino para produção de etanol

20/11/2011 15:00:00



Sorgo sacarino é alternativa promissora para produção de etanol

A Empresa Milho e Sorgo (Emsu - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) avallará a possibilidade de suas culturas de sorgo sacarino para produção de etanol em escala industrial. Para isso, está estabelecendo parcerias com dois grupos de grandes empresas visando em diferentes partes do Brasil.

O objetivo do trabalho é avaliar as características agroindustriais das cultivares e a produtividade de etanol por hectare, avalia o pesquisador Rafael Fariello. A parceria tem o intuito de estabelecer um sistema de produção de sorgo sacarino em grande escala.

Em 2010, a Emsu lançou três novas cultivares de sorgo sacarino. A demanda pelas matérias-primas tem crescido paralelamente à demanda mundial por

combustíveis renováveis.

<http://www.cnpms.embrapa.br/noticias/mostra-noticia.php?codigo=667>

Entrevista ao site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Empresa Milho e Sorgo

Empresa Brasil - País: Brasil - Localização: 24 Nov 2011 - Hora do Dia: Inglês - 810x470

### Parceria prevê estímulos ao sorgo sacarino

18/06/2011 10:00:00



Sorgo sacarino pode contribuir para abastecimento de etanol de usinas e parcerias com a cana-de-açúcar

Uma proposta de convênio entre instituições de Minas Gerais e a Universidade do Paraná (UNIPAR) vem sendo discutida pelo desenvolvimento de um programa de pesquisa e treinamento na área de bioenergia que esteja focado no aperfeiçoamento dos diferentes tipos relacionados à produção de bioetanol. Essa foi um dos principais resultados de uma reunião realizada no final da última semana entre representantes da Empresa Milho e Sorgo (Emsu - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação Superior de Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa e Universidade Federal de Uberlândia. Em maio de 2011, um acordo foi assinado entre a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação Superior do Estado de Minas Gerais e Paraná, confirmando o interesse de ambas as instituições em estabelecer uma parceria nessa área.

<http://www.cnpms.embrapa.br/noticias/mostra-noticia.php?codigo=672>

## Raízen inicia plantio de sorgo sacarino em Goiás

21/6/2011



<http://oestadodoparana.pron.com.br/agronegocio/noticias/34890/?noticia=raizen-inicia-plantio-de-sorgo-sacarino-em-goias>

# Sorgo sacarino na TV Globo

**N**o programa Globo Rural de 19 de junho, foi veiculada matéria sobre a cultura, com duração total de 15 minutos. O programa relembra o uso do sorgo na década de 1980 e traz as novidades que estão sendo introduzidas pela Embrapa na Região Sudeste (Embrapa Milho e Sorgo) e na Região Sul (Embrapa Clima Temperado). Assista ao vídeo em:

<http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM1539830-7823-SORGO+SACARINO+PODE+REFORCAR+PRODUCAO+DE+ETANOL+BRASILEIRA,00.html>



# Eventos

A utilização do sorgo sacarino para produção de etanol será abordada em alguns eventos no segundo semestre de 2011.

<http://www.cnpms.embrapa.br/>

PARA MAIS INFORMAÇÕES  
Tânia Itara  
31 3027-1323  
tania@cnpm.embrapa.br

COORDENAÇÃO  
André May  
Embrapa Milho e Sorgo

José Nelson Vasconcelos  
Embrapa Milho e Sorgo

Rafael Augusto da Costa Pereira  
Embrapa Milho e Sorgo

Robert Eugene Donatelli  
Embrapa Milho e Sorgo

Patrocinadores  
CanaVialis BLADE ADVANTA  
FAPED BUG

Realização  
Embrapa Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento BRASIL

etanol

seminário temático

SORGO sacarino

PERÍODO  
20 e 21 de Setembro/2011

LOCAL  
MÁ - Embrapa Milho e Sorgo  
Rodovia MG 424 - km 48  
Sete Lagoas - MG

PROGRAMAÇÃO



3º Dia Quinta-feira, 22 de setembro de 2011

## Matérias Primas Alternativas

### 11:30 Utilização de matérias-primas alternativas para produção de etanol de primeira e segunda geração no Brasil

- Análise agrônômica e industrial sorgo sacarino, características e vantagens desta opção
- Regiões de plantio e utilização do sorgo sacarino em mini e microdestilarias para a produção de etanol
- Tecnologias para obtenção de etanol de mandioca, as peculiaridades desta alternativa e avanços da produção em escala industrial
- Vantagens, estudos e avanços no uso do Etanol Celulósico

Frederico Ozanan Machado Durães  
Pesquisador  
Embrapa Agroenergia



**Embrapa**

**Agroenergia**



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA