



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

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

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

## Tecnologia Industrial

Thályta Fraga Pacheco

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Colheita e processamento

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

### Transporte do material

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

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

### **Preparo para extração**

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

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

### **Extração**

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

#### **a) moagem**

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

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

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

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

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

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

#### **b) difusão**

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

#### **Análise de POL**

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

#### **Retirada das impurezas**

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

#### **Clarificação**

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

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

### **Decantação**

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

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

### **Preparo do mosto**

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

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

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

### **Preparo do inóculo**

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



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

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

### **Condução da fermentação**

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

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

### **Rendimento**

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

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

### **Controle de contaminações**

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

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

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

#### **Processo fermentativo**

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

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

#### **Produtos secundários**

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

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

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

### **Separação do fermento**

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

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

### **Destilação**

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

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

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

#### **Utilização da vinhaça**

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

#### **Considerações finais**

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

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

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

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

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

Rubens Augusto de Miranda

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

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