

## AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Sandro Pedroso da Cunha<sup>1</sup>, Wolmar Alípio Severo Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Curso de Especialização em Biocombustíveis - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS-Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Química e Física-Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, RS-Brasil

E-mail: wolmar@unisc.br

Recebido em 28 de julho de 2010.

Aceito em 20 de agosto de 2010.

### RESUMO

A substituição da utilização de gasolina por etanol em veículos reduz em até 90% a emissão de CO<sub>2</sub>, isto justifica o interesse na utilização de bioetanol como energia renovável. Além da cana-de-açúcar, mandioca, milho e beterraba especial destaque vem sendo dado ao sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) para produção de etanol pela sua produtividade e resistência. O sorgo é cultivado no Rio Grande do Sul com uma produção de cerca de 70.000 t/ano. A Embrapa possui um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino desde a época do Pró-Álcool e atualmente novas variedades estão sendo avaliadas. Diversos fatores têm relevância na otimização da produção como, aumento da produtividade e redução de custos na produção do etanol. Este trabalho objetivou o levantamento de dados recentes que possibilitem avaliar parâmetros produtivos de etanol a partir de sorgo. Fatores como a diminuição dos riscos de contaminação bacteriana, meios propícios aos processos fermentativos do grão ou talo de sorgo através da utilização do pré tratamento da amostra, têm sido de grande importância, pois trata-se de transformar biomassa basicamente celulósica em açúcares fermentáveis. Genótipos superiores de sorgo sacarino para produção de etanol são de suma importância, assim como processos mais adequados à conversão de açúcares em etanol. A lignina, tóxica frente aos microrganismos, impede a conversão da lignocelulose em etanol. A conversão de compostos lignocelulósicos a etanol baseia-se em: hidrólise da celulose produzindo açúcares simples e fermentação destes açúcares a etanol por via microbiológica.

*Palavras-chave:* Etanol.; Sorgo; sacarino; Hidrólise.

### INTRODUÇÃO

Dentro de um contexto de desenvolvimento econômico, a sustentabilidade é um dos desafios da indústria e da agricultura, pois os processos de produção devem ser mais limpos. Idealmente, os produtos devem ser biodegradáveis, oriundos de fontes renováveis, obtidos por processos limpos, e consumirem um baixo custo de energia, obedecendo os princípios da química verde. Quanto à produção de etanol, há o crescimento do cultivo de cana de açúcar, aumentando a produção agrícola e inserindo no mercado um número maior de indústrias que produzam álcool combustível.

Biocombustíveis, além de permitirem a redução da emissão de poluentes atmosféricos através de veículos automotores, principalmente nas grandes cidades, proporcionam uma alternativa para a redução do consumo de fontes não renováveis e um caminho para a ocorrência de um maior equilíbrio entre a produção e o consumo de CO<sub>2</sub> na natureza. O acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera devido ao grande consumo de combustíveis fósseis tem sido apontado como um dos grandes responsáveis pelo aquecimento global e mudanças climáticas<sup>[1]</sup>. A substituição da utilização de gasolina por etanol em veículos automotores reduz em até 90% a emissão de dióxido de carbono, o que

justifica o interesse na utilização de bioetanol como fonte de energia renovável e a grande atenção que este assunto tem recebido nos últimos anos [1, 2].

Além disso, a utilização do etanol alinha-se com a política energética brasileira e vem ao encontro das exigências internacionais de redução de poluentes. Considera-se que é uma excelente escolha econômica e ambiental, pois parte-se exclusivamente de fontes renováveis, aumenta-se a produção agrícola e diminui-se a dependência do país em relação às indústrias de petróleo, no entanto, este não deve ser o motivo para aumentar a devastação de florestas, pois já existe muito solo agriculturável que está ocioso. Além da cana-de-açúcar, especial destaque vem sendo dado ao sorgo sacarino para produção de etanol devido à rapidez do ciclo de produção, as facilidades de total mecanização da cultura, o teor relativamente alto de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo e a versatilidade em termos de fatores climáticos justificam esta posição de destaque em relação à cana de açúcar, podendo então o sorgo sacarino ocupar o espaço de entressafra da cana de açúcar e proporcionar então um período anual completo produzindo matéria prima para o etanol [3 - 6].

## 1 MATÉRIAS PRIMAS PARA OBTENÇÃO DE ETANOL

A utilização de açúcar solúvel proveniente da cana-de-açúcar, amido (da mandioca e de grãos como milho e sorgo) e celulose contida em bagaço de cana, resíduos florestais e em biomassa de gramíneas como o sorgo, são atualmente as principais matérias-primas para produzir etanol. Contudo, há diferenças significativas no que compete à facilidade e aos custos para a produção desse composto químico. Segundo informações da Embrapa Agroenergia (Brasília-DF), unidade responsável por coordenar as pesquisas sobre o assunto, o etanol de cana-de-açúcar é o principal componente da matriz brasileira de biocombustíveis, mas existem focos de pesquisa sobre etanol de amido e de celulose, visando a sustentabilidade e a consolidação do programa de energia renovável no Brasil. Esse protagonismo da cana-de-açúcar acontece, basicamente, porque é mais barato obter etanol a partir dessa matéria-prima. Os componentes que a diferenciam na

produção do composto gerador de energia são o alto rendimento agrícola e industrial. Além disso, tanto amido quanto celulose precisam ser fermentados para obtenção de açúcares simples para só depois serem transformados em etanol, enquanto a cana dispensa esse processo. Os colmos de sorgo sacarino produzem um caldo açucarado quando moído, com um conteúdo de sacarose um pouco inferior ao caldo de cana, que pode, por sua vez, ser submetido a um processo industrial similar para obtenção de bioetanol. A Embrapa Agroenergia incluiu quatro plataformas em sua pauta de pesquisa, desenvolvimento e inovação: etanol, biodiesel, florestas e resíduos [7]. Baseando-se então nas informações anteriormente citadas, torna-se de grande interesse sócio-econômico o desenvolvimento de pesquisas na área de produção do etanol a partir do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor (L.) Moench*), para que o Rio Grande do Sul possa se inserir no contexto nacional de Estado produtor. Na figura 1 podemos observar os processos para obtenção de etanol a partir algumas matérias primas.

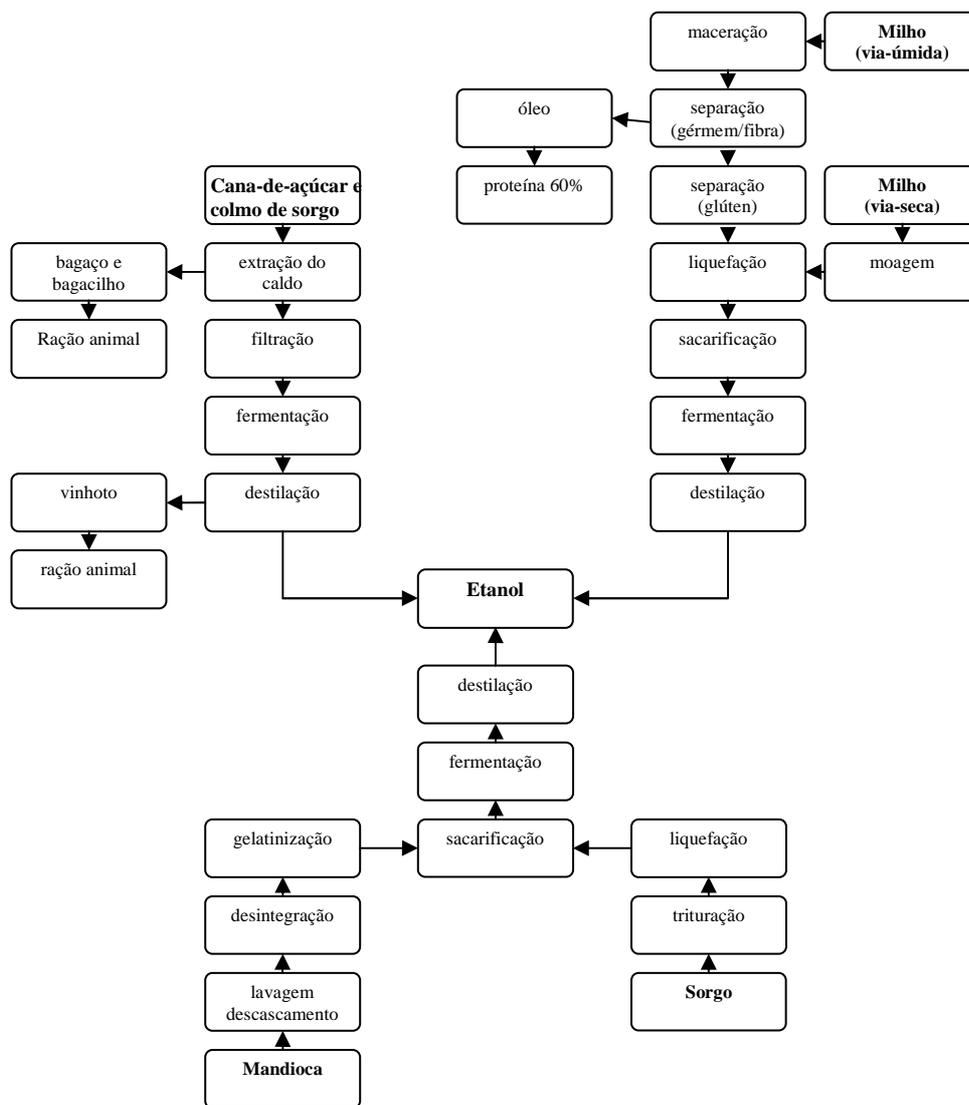


Figura 1: Fluxograma simplificado de etapas de obtenção do etanol a partir de cana de açúcar, milho, mandioca e sorgo<sup>[2,7]</sup>.

## 2 CULTIVO DO SORGO

O sorgo é cultivado no Rio Grande do Sul durante o verão, ocupa uma área que vem se situando ao redor de 35.000 ha com uma produção de cerca de 70.000 t. Esta produção ocorre em uma região definida do Rio Grande do Sul, no sul do Estado, onde condições de clima favorecem a sua competitividade frente a outras culturas. O sorgo é uma espécie de origem tropical e se adapta, com relativa facilidade, a condições existentes entre 30° de latitude norte até 30° de latitude sul, sendo uma planta de clima quente que apresenta mecanismos eficientes de tolerância à seca, possuindo variedades adaptadas às mais diferentes zonas climáticas. Necessita que nesses locais ocorra estação estival quente com condições capazes de permitir o desenvolvimento da cultura sendo que sua produtividade está relacionada com diversos fatores integrados (interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência na translocação de produtos da fotossíntese para os grãos, capacidade de dreno), assim como com a variedade de cultivares, as quais apresentam diferenças nas características da planta e do grão[4, 6]. Na tabela 1 observa-se comparativo entre composição do caldo de sorgo e melação de cana de açúcar.

Quanto aos fatores climáticos podemos ressaltar que a temperatura ótima para o desenvolvimento do plantio está intimamente interligada a cultivar em questão, de uma forma geral sabe-se que temperaturas superiores a 38°C ou inferiores a 16°C limitam o desenvolvimento da maioria das cultivares, sendo que um aumento 5°C na temperatura ótima noturna pode reduzir a produtividade em até 33% devido ao aumento da taxa de respiração noturna, pois a cada 1°C de aumento da temperatura noturna causa um excedente de 14% na respiração da planta[6].

O sorgo pertence ao grupo de plantas C4, gerando como primeiro produto da fotossíntese um composto com 4

carbonos, o que proporciona um metabolismo mais eficiente minimizando a perda de água pela regulação da abertura dos estômatos e possibilita maior tolerância a elevados níveis de radiação solar respondendo com altas taxas fotossintéticas. Pode-se dizer então que o aumento da intensidade luminosa implica em maior produtividade, desde que as demais condições sejam favoráveis, pois embora seja uma cultura resistente a estresse hídrico, o sorgo também sofre efeito do déficit hídrico, o que pode causar uma considerável redução na produtividade[6,8].

Em relação ao solo, o sorgo apresenta boa tolerância e pode ser cultivado satisfatoriamente desde solos argilosos até ligeiramente arenosos, porém desenvolve-se melhor em solos bem preparados, planos, ricos em matéria orgânica, pH entre 5,5 e 6,5 e com umidade adequada pois solos mal drenados não são recomendados para esta cultura. As exigências nutricionais irão variar diretamente com o potencial de produção, o requerimento de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumentam linearmente com a produtividade sendo que a maior exigência do sorgo refere-se ao nitrogênio e potássio, seguidos por cálcio, magnésio e fósforo[6]. Segundo Rafael Parrela[9], pesquisador da área de melhoramento genético de sorgo, a Embrapa Milho e Sorgo possui um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino (figura 2) desde a época do Pró-Álcool, sendo que três cultivares de sorgo sacarino foram lançadas pela Empresa na década de 1980 (a variedade BRS 506 e os híbridos BRS 601 – que ainda permanece no mercado – e o BRS 602) e que têm rendimento aproximado de quatro mil litros de etanol por hectare.

Na tabela 2 observa-se a similaridade entre a composição da planta de sorgo sacarino e da cana de açúcar.

**Tabela 1:** Principais características na composição do caldo cru de sorgo sacarino e de melação de cana.

Características	Variedade de sorgo sacarino (caldo)							Melaço de cana
	KKU40	Keller	SSV 84	Bj248	Wray	Madhura	NSSH 104	
pH	4,9	-	-	-	-	-	-	4,9
Sólidos sol. Tot. (°Bx)	18	-	-	-	-	-	-	85
Açúcar total (g L <sup>-1</sup> )	173,02	210,50	210,00	204,40	197,40	186,20	191,00	696,04
Glicose (g L <sup>-1</sup> )	20,85	-	-	-	-	-	-	95,42
Frutose (g L <sup>-1</sup> )	16,80	-	-	-	-	-	-	169,79
Sacarose (g L <sup>-1</sup> )	124,05	196,90	185,70	194,10	184,20	161,40	170,90	387,53
<b>Fonte:</b>	5	4	4	4	4	4	4	5



Figura 2: Planta de sorgo sacarino[10].

**Tabela 2:** Composição da planta de sorgo sacarino e da cana de açúcar (características)[11].

Características	Sorgo Sacarino	Cana de açúcar
Ciclo vegetativo	120 a 130 dias	12 a 18 meses
Rendimento (t/ha)	48,0	65,0
Umidade (%)	67,9	68,7
Açúcares redutores (%)	5,6	3,0
Açúcares red. totais (ART/t)	96,3	105,0
Álcool a 100° GL (L/t)	62,4	67,9

### 3 AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA OBTENÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Normalmente a fermentação do etanol é processada sob condições normais de gravidade (misturas contendo 20-24% de sólidos dissolvidos). Para aumentar a produtividade e otimizar custos de produção do etanol, condição de gravidade muito alta (misturas contendo 27% ou mais de sólidos dissolvidos) tem sido avaliada. Esta tecnologia tem como principais vantagens para a aplicação industrial o aumento na concentração de etanol e no grau de fermentação, fatores que reduzem os custos de produção, custos de energia por litro de álcool e diminui os riscos de contaminação bacteriana[1, 5].

A habilidade do fermento em produzir etanol depende de muitos fatores tais como fatores de crescimento e condições ambientais. Além disso, também depende da concentração inicial de açúcar no meio de fermentação, sendo que para aumentar a concentração de etanol, uma concentração inicial de açúcar acima de 20% pode ser utilizada, porém, pode ocorrer a inibição do substrato sob esta condição. Cabe ressaltar que sob condições ambientais e

nutricionais apropriadas *Saccharomyces cerevisiae* poderia produzir e tolerar altas concentrações de etanol[1].

Com o objetivo de tornar mais disponível o grão de sorgo para a fermentação pode-se proceder a exposição destes ao vapor como medida prévia, isto possibilita o rompimento da matriz protéica que envolve os grânulos, tornando mais suscetível a hidrólise da alfa-amilase que envolve estes e favorecendo significativamente a hidrólise. Este hidrolisado apresenta um teor 33% maior em açúcares reduzidos quando comparado às amostras sem este tratamento. O rendimento na conversão de etanol pode ser 44,2% mais alto do que o obtido sem este procedimento, chegando a apresentar-se com rendimentos semelhantes aos obtidos pela fermentação do milho[2].

Tecnologias de pré-tratamento têm sido desenvolvidas para aumentar o grau de bioconversão de biomassa basicamente celulósica em açúcares fermentáveis, entre estas estão o método de extrusão de amostras, degradação enzimática, químicos e microbianos entre outros, sendo que a extrusão tem sido largamente utilizada nestes processos. Na extrusão a amostra é submetida ao aquecimento, mistura e fatiamento provocando mudanças físico-químicas ao passar pelo extrusor. As maiores vantagens da extrusão são o aumento da digestibilidade, redução do peso molecular de biomoléculas, geração de açúcares livres, mudanças na estrutura nativa de biomoléculas e redução da viscosidade do meio fermentativo. A extrusão com fluido super crítico (SCFX) não só supera muitas das limitações da extrusão típica, mas também tem a vantagem do alto poder de solvatação em temperatura razoavelmente baixa. A injeção de gás carbônico como fluido super crítico durante processo de extrusão pode quebrar as ligações entre grânulos de goma e a matriz protéica, resultando em uma maior disponibilidade da goma do sorgo para a fermentação. Sendo assim, a extrusão é um processo efetivo para aperfeiçoar o grau de bioconversão da polpa de sorgo[3].

Segundo Parrella[9], 25 novas variedades de sorgo sacarino estão sendo avaliadas pela Embrapa Milho e Sorgo em diversas regiões brasileiras. Estas variedades são bastante promissoras e apresentam produtividade em torno de 50 toneladas por hectare de biomassa verde por ciclo e boa sanidade de folhas. Novas linhagens estão sendo desenvolvidas e serão utilizadas para a confecção de híbridos experimentais sacarinos, que serão avaliados em todas as regiões brasileiras.

Segundo Ratnavathi, et al.[4], e Audilakshmi, et al.[12] para um bom processo fermentativo é importante identificar genótipos superiores de sorgo para produção de etanol em termos de graus brix, extratibilidade do suco, açúcares fermentáveis totais, rendimento de etanol e eficiência da fermentação. Em estudo realizado por Ratnavathi, et al.[4] a variabilidade da produção de etanol foi observada em diferentes genótipos de sorgo sacarino utilizando um fermentador de laboratório. Seis genótipos (Keller, SSV 84, Wray, Madhura, NSSH 104 e BJ 248) de Sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) foram avaliados para produção de etanol a partir do suco dos talos. O caldo de sorgo sacarino difere principalmente do caldo de cana por

seu conteúdo mais alto de goma e ácido de acônítico. Foram coletados dados de rendimento de biomassa, rendimento de açúcar no talo e produção de etanol e foi possível verificar

que as variedades SSV 84 e NSSH 104 foram as mais indicadas para o emprego em cultivos de maior escala, como pode ser observado na Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3:** Dados sobre o rendimento de variedades e híbridos de sorgo sacarino para produção de etanol<sup>[4]</sup>.

Variedade/híbrido	Extração de caldo (%)	Caldo (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Açúcar total (t.ha <sup>-1</sup> )	Etanol (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
Keller	39,7	21,12	4,66	2,95
<b>SSV 84</b>	<b>45,9</b>	<b>34,36</b>	<b>7,35</b>	<b>4,50</b>
Bj 248	47,6	23,04	4,14	2,55
Wray	44,3	20,73	4,81	1,57
Madhura	45,1	20,56	4,01	2,00
<b>NSSH 104</b>	<b>47,1</b>	<b>30,14</b>	<b>6,14</b>	<b>3,04</b>

Makanda, et al.[13] visando identificar genótipos superiores de sorgo sacarino, geraram 64 híbridos a partir de 16 linhagens de sorgo sacarino utilizadas na Carolina do Norte (nos Estados Unidos). Estes híbridos foram cultivados e avaliados na África (Moçambique e África do Sul), sendo identificadas as linhagens que produziram híbridos com satisfatório aumento de biomassa nos talos e melhoramento em termos de oBrix, em relação às cultivares de linhagens puras. Este estudo verificou que o teor de oBrix nos talos é controlado tanto por genes com efeitos aditivos como com efeitos não aditivos.

Conforme Zhan, et al.[14] fatores como genótipo, ambiente, local, e as interações entre estes fatores têm efeito significativo nas características finais de qualidade do grão de sorgo sacarino (*Sorgo bicolor L. Moench*). Nesta pesquisa estudaram[14] o efeito do genótipo de sorgo sacarino conforme o ambiente de produção do etanol. Oito variedades de sorgo de duas localizações foram utilizadas e fermentadas por *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 24860) e os resultados mostraram que tanto o genótipo quanto o local tiveram um efeito significativo nos rendimentos de etanol (variações de 5%). A produção de etanol está fortemente ligada composição química e propriedades físicas de amostras do grão de sorgo, pois a produção de etanol aumenta com o aumento do teor de goma no grão, e diminui com o aumento do teor de proteína o que indica então que tanto o genótipo quanto o ambiente de produção têm efeito significativo no rendimento da produção de etanol[14 - 16].

Avaliando a produtividade de linhagens genéticas na produção de etanol a partir do grão de sorgo, Wang, et al.[16] salientam que linhagens genéticas com alta e baixa eficiência para a fermentação e produção de etanol e outros atributos específicos podem ser manipulados para melhorar a taxa de bioconversão na utilização do sorgo para fermentação etanólica. Em geral, o aumento da produção de etanol aumenta com o teor de amido. No entanto, não identificaram nenhuma relação linear entre o teor de amido e a eficiência de fermentação, o que pode indicar que os principais fatores que afetam a produção de etanol a partir do grão de sorgo incluem a digestibilidade da proteína, o nível

de proteínas extraíveis, proteína e amido de interação, viscosidade, quantidade de compostos fenólicos, proporção de amilose amilopectina, e formação de complexos amilose-lipídios na mistura[16].

Abd El-Razek e Besheit[17] avaliaram o desempenho de 14 variedades de sorgo no Egito em relação a data de plantio no início da estação (5 de maio) e plantio tardio (25 de maio). Verificaram que existe diferença significativa na produtividade tanto em termos de tempo quanto em termos de variedade de sorgo, e que a utilização de plantio no início da estação proporcionou maior índice de sacarose, açúcares fermentáveis, Brix e maior pureza do caldo. Importante salientar que fatores como maior intensidade luminosa e maior foto período influem decisivamente nas características ideais apresentadas pelas culturas de início de estação e por uma maior produtividade destas em etanol[17, 18].

Em processos de conversão de açúcares em etanol a imobilização de células microbianas fermentativas oferece vantagens em relação aos sistemas que utilizam células em suspensão[19]. Objetivando aperfeiçoar processos de fermentação para obtenção de etanol a partir do suco dos talos de sorgo sacarino, Liu e Shen[20] avaliaram o desempenho de *Saccharomyces cerevisiae* (CICC 1308) imobilizado em alginato de sódio. Estes experimentos demonstraram que o rendimento de etanol aumentou de 75,79% para 89,89% a medida que a temperatura de fermentação foi aumentada de 28 para 37°C. Em certos níveis o aumento da temperatura resulta em aumento na concentração de etanol, sendo que a temperatura ideal para a fermentação por *Saccharomyces cerevisiae* livre está acima de 30°C, para a levedura imobilizada as temperaturas ideais estão acima desta[20].

Tan, et al.[21] visando a obtenção de melhores taxas de fermentação e consequentemente maior grau de produção de etanol, utilizaram metodologia de superfície de resposta (RSM), que utiliza análise de correlação matemática para avaliar o desempenho fermentativo. A equação de regressão demonstrou que a máxima produtividade de etanol (119,12g L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) foi observada em meio de cultura contendo 0,77g L<sup>-1</sup> de fósforo, 2,15g L<sup>-1</sup> de nitrogênio e pH 6,9.

A conversão de compostos lignocelulósicos a etanol é dividida em dois principais processos: a hidrólise da celulose para produzir açúcares simples, e a fermentação destes por via microbiológica a etanol[22, 23].

A hidrólise de biomassa vegetal presente em resíduos lignocelulósicos é um processo que envolve as celulases, enzimas envolvidas na hidrólise enzimática de biomassa de origem vegetal. A lignina é conhecida por impedir a conversão da lignocelulose em etanol devido a sua toxicidade frente aos microrganismos e inibição da hidrólise enzimática. Torna-se de grande interesse econômico o desenvolvimento de metodologias para redução do conteúdo de lignina na biomassa de sorgo sacarino, visando diminuir os custos de produção e proporcionar melhoras significativas na obtenção de etanol a partir desta matéria prima. O desenvolvimento então de linhagens geneticamente modificadas e a identificação de linhagens mutantes naturais contendo teores de lignina mais baixos, possibilita acréscimo no rendimento de obtenção do etanol a partir da biomassa de sorgo sacarino[22, 23].

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de combustíveis a partir de biomassa tem se estabelecido como um desafio que transita desde políticas governamentais, sustentabilidade ambiental, reflexos sociais, econômicos e obrigatoriamente pesquisas em diferentes áreas do conhecimento humano. A dependência dos combustíveis fósseis, a propalada extinção da matéria prima petróleo e o comprometimento da qualidade de vida no planeta, têm motivado a busca por diferentes alternativas.

O Brasil tem se constituído de um exemplo, desde o advento da utilização de álcool como combustível, obrigatório desde a década de 70, como através da implementação de outras matrizes para obtenção de etanol ou mesmo a exploração de biocombustíveis para equacionar o problema da necessidade de novas fontes de energia.

Nesta revisão demonstramos algumas perspectivas atuais para exploração de um cultivar alternativo, o sorgo sacarino. Alguns indicativos estão discutidos neste trabalho, pesquisas com variedades geneticamente modificadas e ou diferenciadas naturalmente; economicamente viável em comparação a cana-de-açúcar, mandioca entre outras culturas. Aprimoramentos tecnológicos em fermentação, conversão celulósica e conversão química de carboidratos em álcool têm sido exaustivamente exploradas. O sorgo quando comparado às outras fontes para obtenção de etanol citadas neste trabalho, demonstra um potencial promissor, uma vez que, seus colmos demonstram boa similaridade em relação à cana-de-açúcar possibilitando complementação na produtividade de etanol e uma possibilidade de aumento na geração de renda para o setor primário pela diminuição do tempo ocioso de terras produtivas.

A produção de etanol a partir do sorgo sacarino, além de permitir a otimização da produção de biocombustíveis pela utilização complementar da área cultivada com cana-de-açúcar, devido á complementariedade temporal destas culturas, permite a expansão do setor

produtivo. A utilização destas culturas em rotação permite então, a expansão da produção sem o comprometimento do meio ambiente pela expansão indiscriminada de terras de cultivo oriundas de áreas de desmatamento e de degradação ambiental.

Significativamente pode-se afirmar que muitos fatores devem ser avaliados para a otimização, aumento da produtividade e redução de custos na produção do etanol. O empreendimento em agricultura, genética, biotecnologia e química serão fundamentais para consolidação de uma proposta que seja viável econômica, ambientalmente aceitável e efetiva para inversão dos paradigmas a cerca de combustíveis no planeta.

---

#### TECHNOLOGICAL ADVANCES IN THE OBTAINING OF ETHANOL FROM Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

**ABSTRACT:** Replacing the use of gasoline by ethanol in vehicles reduces by 90% the emission of CO<sub>2</sub> which justifies the interest in the use of bioethanol as renewable energy. Besides sugar cane, cassava, maize and sugar beet there have been given emphasis to sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to produce ethanol by its productivity and resistance. Sorghum is cultivated in Rio Grande do Sul with a production of about 70,000 t / year. Embrapa has had a cultivars development program of sorghum since the Pro-Alcohol time and currently new varieties are being evaluated. Several factors have relevance in production optimization such as the productivity increasing and cost reduction in the ethanol production. This work aimed to survey recent data that allow to assess evaluation parameters in the production of ethanol from sorghum. Some factors have been of great importance such as the reduction of the bacterial contamination risk, propitious means to the fermentation processes of grain or stalk of sorghum through the use of pre-treatment sample, because they mean turning pure cellulose biomass into fermentable sugars. Superior genotypes of sweet sorghum to the ethanol production are of paramount importance, even as more suitable processes to the conversion of sugars into ethanol. Lignin, which is toxic against microorganisms, prevents conversion of lignocellulose into ethanol. The conversion of lignocellulosic compounds into ethanol is based on: hydrolyze of the cellulose producing simple sugars and fermentation of these sugars into ethanol through the microbiology.

**Keywords:** Ethanol. Sorghum. Hydrolysis.

---

#### REFERÊNCIAS

- [1] LAOPAIBOON, P., LAOPAIBOON, L., KHONGSAY, N. *Biotechnology.*, Vol. 9 (1), p. 9-16, 2010.

- [2] SERNA-SALDIVAR, S. O., PEREZ-CARRILLO, E., CHUCK-HERNANDEZ, C. Elsevier. *Journal of Cereal Science.*, Vol. 50, p. 131–137, 2009.
- [3] WANG, D., et al. Elsevier. *Industrial Crops and Products.*, Vol. 23, p. 304–310, 2006.
- [4] RATNAVATHI, C. V., et al. Elsevier. *Biomass and Bioenergy* (2010), doi:10.1016/j.biombioe.2010.02.002.
- [5] LAOPAIBOON, L., et al. Elsevier. *Bioresource Technology.*, Vol. 100, p. 4176–4182, 2009.
- [6] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_4\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/index.htm)
- [7] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. <http://www.cnptia.embrapa.br/files/doc94.pdf>
- [8] WOODS, J. *Energy for Sustainable Development.* Vol. 5, No. 1, p. 31-38, 2001.
- [9] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
<http://www.embrapa.br/search?SearchableText=sorgo+sacarina&x=5&y=7>
- [10] Sinuelo Agropecuária.  
<http://www.sinueloagropecuaria.com.br/produtos.aspx?subcatid=35>
- [11] TEIXEIRA, C. G., JARDINE, J. G., BEISMAN, D. A. *Cienc. Tecnol. Alim.*, Vol. 17, n.3, p. 248-251, 1997.
- [12] AUDILAKSHMI, S., et al. Elsevier. *Biomass and Bioenergy* (2010), doi:10.1016/j.biombioe.2010.01.025.
- [13] MAKANDA, I., TONGOONA, P., DERERA, J. Elsevier. *Field Crops Research.*, Vol. 114, p. 272–279, 2009.
- [14] WANG, D., et al. Elsevier. *Industrial Crops and Products.*, Vol. 18, p. 245-255, 2003.
- [15] LEMAUX, P. G., et al. Elsevier. *Journal of Cereal Science.*, Vol. 49, p. 73–82, 2009.
- [16] WANG, D., et al. Springer. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, Vol. 35, p. 313–320, 2008.
- [17] Abd EL-RAZEK, A. M., BESHEIT, S. Y. Springer. *Sugar Tech.*, Vol. 11(3), p. 239-245, 2009.
- [18] STICKLEN, M. B., DEVI, P., MAQBOOL, S. B. In *Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.*, Vol. 37, p. 504-515, 2001.
- [19] LIU, R., LI, J., SHEN, F. Elsevier. *Renewable Energy.*, Vol. 33, p. 1130–1135, 2008.
- [20] LIU, R., SHEN, F. Elsevier. *Bioresource Technology.*, Vol. 99, p. 847–854, 2008.
- [21] TAN, T., ZHANG, X., YU, J. Elsevier. *Biomass and bioenergy.*, Vol. 33, p. 521–526, 2009.
- [22] DIEN, B. S., et al. Springer. *Bioenerg. Res.*, Vol. 2, p. 153–164, 2009.
- [23] LEE, J. S., et al. Elsevier. *Bioresource Technology.*, Vol. 101, p. 4801–4805, 2010.