

ISSN 1677-9274

Indicações de Aspectos Tecnológicos sobre o Bioetanol de Matéria-prima Amilácea



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

Documentos 94

Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea

*José Gilberto Jardine
Ivanilde Dispatto
Mariana Rodrigues Peres*

Embrapa Informática Agropecuária
Campinas, SP
2009

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700 - Fax: (19) 3211-5754
www.cnptia.embrapa.br
sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*

Membros: *Poliana Fernanda Giachetto, Roberto Hiroshi Higa, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Marcia Izabel Fugisawa Souza, Adriana Farah Gonzalez, Neide Makiko Furukawa, Suzilei Almeida Carneiro*

Membros suplentes: *Alexandre de Castro, Fernando Attique Máximo, Paula Regina Kuser Falcão, Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Supervisor editorial: *Neide Makiko Furukawa, Suzilei Almeida Carneiro*

Revisor de texto: *Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*

Editoração eletrônica: *Neide Makiko Furukawa*

Secretária: *Suzilei Almeida Carneiro*

1ª edição on-line 2009

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Informática Agropecuária

Jardine, José Gilberto.

Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea. / José Gilberto Jardine, Mariana Rodrigues Peres, Ivanilde Dispatto. – Campinas, SP : Embrapa Informática Agropecuária, 2009.

23 p. : il. – (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária ; 94).

ISSN 1677-9274

1. Bioetanol. 2. Bioetanol amiláceo. 3. Biocombustível. 4. Agroenergia. 5. Biomassa. 6. Organização da informação. 7. Informação tecnológica. 8. Árvore de conhecimento. I. Peres, Mariana Rodrigues. II. Dispatto, Ivanilde. III. Título. IV. Série.

CDD – 22nd ed

662

669.2

Autores

José Gilberto Jardine

Pós-doutor em Bioinformática

Pesquisador A da Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo

Caixa Postal 6041 - 13083-970 - Campinas, SP

Telefone: (19) 3211-5769

e-mail: jardine@cnptia.embrapa.br

Ivanilde Dispatto

Especialista em Comunicação e Expressão

Assistente aposentada da Embrapa Informática Agropecuária

Campinas, SP

Mariana Rodrigues Peres

Estagiária da Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo

Caixa Postal 6041 - 13083-970 - Campinas, SP

Telefone: (19) 3211-5769

e-mail: mari@cnptia.embrapa.br

Apresentação

O etanol, empregado na indústria química, fabricação de bebidas e como carburante, é hoje a principal bioenergia utilizada no mundo. Os maiores produtores e consumidores do etanol são o Brasil e os Estados Unidos.

A cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia renovável do Brasil, com 12,6% de participação na matriz energética atual, considerando-se o álcool combustível (bioetanol) e a cogeração de eletricidade, a partir do bagaço.

O bioetanol pode ser obtido de diferentes matérias-primas desde que contenha quantidades significativas de carboidratos, particularmente amido ou açúcares (sacarose, glicose, frutose, maltose).a cada qual correspondendo um custo de produção e um valor de venda.

Os dados aqui apresentados se referem à obtenção de bioetanol a partir de matéria prima amilácea, especificamente milho, mandioca e mandioca doce e a partir de açúcares oriundos da beterraba e do sorgo sacarino. Esse conteúdo servirá de subsídio à elaboração de um texto sobre as alternativas tecnológicas de processos para se obter bioetanol amiláceo, no âmbito da Agência de Informação Embrapa, Árvore do Conhecimento Agroenergia.

Kleber Xavier Sampaio de Souza

Chefe-Geral

Embrapa Informática Agropecuária

Sumário

Introdução	9
Matérias-primas para a produção do bioetanol	11
Processos tecnológicos para obtenção de bioetanol derivado de matéria-prima amilácea	12
Bioetanol de milho	13
Bioetanol da mandioca	16
Mandioca doce	19
Bioetanol de outras matérias-primas	19
Beterraba açucareira	19
Sorgo sacarino	20
Referências	22

Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea

José Gilberto Jardine

Ivanilde Dispató

Mariana Rodrigues Peres

Introdução

A matriz energética mundial ainda é fortemente inclinada para as fontes de carbono fóssil, com participação total de 80%, sendo 36% de petróleo, 23% de carvão mineral e 21% de gás natural. São muitos os estudos que apontam o esgotamento das fontes de energia fóssil para as próximas quatro a cinco décadas, destacando a necessidade de buscar outras fontes alternativas de energia. Os constantes conflitos envolvendo os países do Oriente Médio, onde estão localizadas cerca de 80% das reservas de petróleo hoje conhecidas no mundo, causam instabilidade ao suprimento e oscilações nos preços dos combustíveis fósseis, forçando vários países a buscarem alternativas que possibilitem reduzir a dependência em relação às importações desse produto (BARBOSA, 2007). A crescente preocupação com o meio ambiente coloca em xeque a própria sustentabilidade do atual padrão de consumo energético. O Protocolo de Kyoto prevê a redução das emissões de CO₂ e outros gases em níveis de 5,2% inferiores aos registrados em 1990, o que deverá ser alcançado no período entre 2008-2012. Do ponto de vista ambiental, a produção de agroenergia é uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis (ALMEIDA et al., 2007).

Todos esses fatores, cuja importância varia de país para país, vêm criando oportunidades para a viabilização econômica de novas fontes de energia de biomassa. O uso do etanol, biodiesel, carvão vegetal, biogás e energia

obtida a partir de resíduos do agronegócio desperta interesse crescente em muitos países, não restando dúvidas de que ocupará posição de destaque na economia mundial em futuro próximo.

Os biocombustíveis constituem apenas um segmento das bioenergias que incluem ainda o carvão vegetal, o biogás, a lenha e a cogeração da energia elétrica e calor a partir das biomassas. Por importantes que possam vir a ser, as bioenergias como um todo constituem apenas um segmento do conjunto das produções derivadas da exploração ecologicamente sustentável do complexo da biodiversidade, que abrange florestas nativas e reservas naturais, florestas plantadas, áreas destinadas aos cultivos perenes, as destinadas aos cultivos sazonais e as pastagens.

A cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia renovável do Brasil, com 12,6% de participação na matriz energética atual, considerando-se o álcool combustível (bioetanol) e a cogeração de eletricidade, a partir do bagaço (BRASIL, 2005). O etanol, empregado na indústria química, fabricação de bebidas e como carburante, é hoje a principal bioenergia utilizada no mundo. Entre 2000 e 2004, a produção mundial de etanol cresceu 46,8%, atingindo 41 bilhões de litros, dos quais quase 73% foram usados como combustível. Os maiores produtores e consumidores do etanol são o Brasil e os Estados Unidos que, juntos, foram responsáveis por quase 70% da produção e do consumo mundial em 2004, seguidos pela China (8,9%), pela União Européia (5,3%) e pela Índia (4%), que utilizam o biocombustível misturado à gasolina em diferentes percentuais (RODRIGUES, 2005).

O crescimento da produção de etanol de cana-de-açúcar tem gerado questionamentos sobre as consequências negativas, impactos e sustentabilidade. Os aspectos positivos, como eliminação do chumbo e redução da emissão de CO₂, são comparados com os impactos negativos, como a produção em larga escala e consequentes deslocamentos de culturas alimentares, desmatamentos e outros, apresentados em estudo detalhado por Goldemberg et al., 2008.

O bioetanol pode ser obtido de diferentes matérias-primas, a cada qual correspondendo um custo de produção e um valor de venda. O preço mínimo do bioetanol para os produtores deve atender a dois pressupostos:

- a) cobrir os custos de produção que incluem os custos da matéria-prima, os custos operacionais da planta de produção e os custos de capital correspondentes aos investimentos.

b) ser igual ou superior aos resultados que seriam obtidos caso a matéria-prima se destinasse à fabricação de produtos alternativos.

Matérias-primas para a produção do bioetanol

O bioetanol pode ser obtido a partir de qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de carboidratos, particularmente amido ou açúcares (sacarose, glicose, frutose, maltose). Considerando a produção com base em biomassa açucarada, como é o caso da cana e da beterraba, o processo é mais simples, envolvendo menos operações unitárias, uma vez que os açúcares disponíveis na biomassa são diretamente fermentáveis, dispensando etapas de hidrólise, comum nas matérias-primas amiláceas. Simplificadamente, o processo consiste na extração dos açúcares (por meio da moagem e/ou da difusão), que podem seguir diretamente para a fermentação. Após a fermentação, o vinho obtido é destilado. A Figura 1

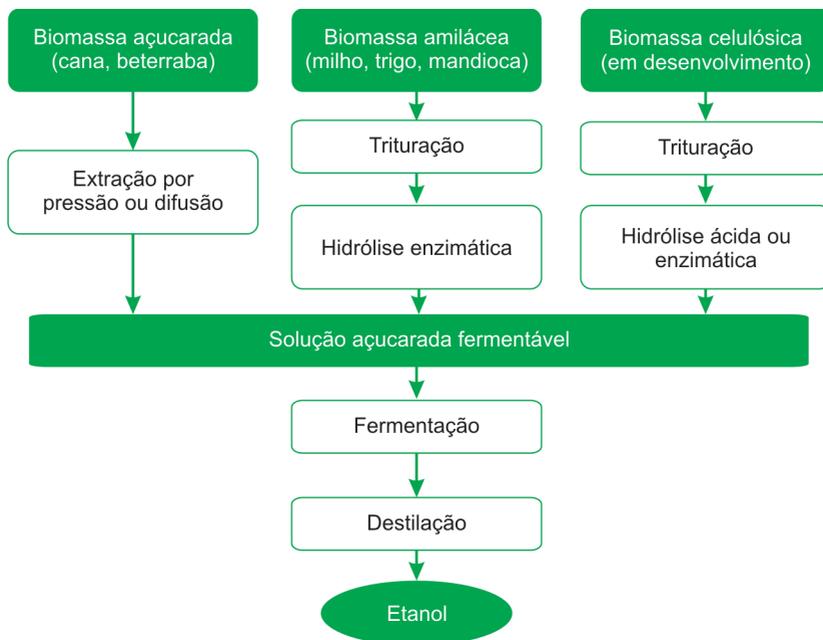


Figura 1. Rotas tecnológicas para produção de bioetanol.

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2008).

sintetiza as rotas tecnológicas para produção de bioetanol, considerando as diferentes matérias-primas. A produção de bioetanol utilizando celulose ainda está em fase de desenvolvimento nos laboratórios e plantas-piloto das instituições de pesquisa e, portanto, sem significado real no contexto energético.

Dos 51 bilhões de litros de bioetanol produzidos em 2006, a produção norte-americana, usando o milho como matéria prima e a brasileira, com base na cana –de-açúcar, representaram 70% do total, como mostrado no Gráfico 1 (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2008). Outro dado importante com referência às matérias-primas é que cerca de 53% do bioetanol produzido no mundo deriva de materiais amiláceos como milho, trigo e outros cereais e grãos.

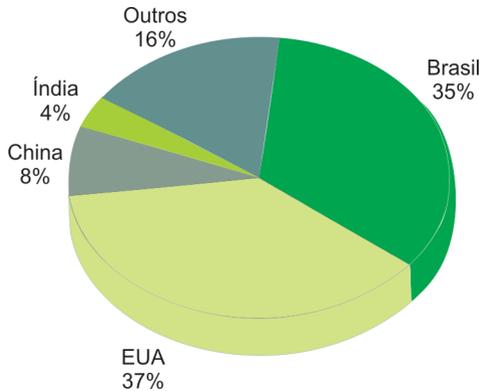


Gráfico 1. Distribuição da produção mundial de etanol em 2006.

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2008).

Processos tecnológicos para obtenção de bioetanol derivado de matéria-prima amilácea

De modo geral, o processo se inicia geralmente com a separação, a limpeza e a moagem do grão da matéria-prima. A moagem pode ser úmida, quando a matéria-prima é umedecida e fracionado antes da conversão do amido a açúcar (via úmida), ou seca, quando isso é feito durante o processo de conversão (via seca).

Em ambos os casos, o amido é convertido em açúcares por meio de um processo enzimático. Os açúcares liberados são, então, fermentados por leveduras e o vinho resultante, tal como o que ocorre com a cana-de-açúcar, é destilado para a purificação do bioetanol. Além do bioetanol, esses processos envolvem, geralmente, diversos coprodutos, que variam conforme a biomassa utilizada. Na Tabela 1, incluíram-se apenas as rotas implementadas comercialmente; as demais alternativas em desenvolvimento, como mediante à hidrólise de materiais celulósicos, serão comentadas adiante.

Tabela 1. Quadro geral dos biocombustíveis.

Biocombustível	Matéria-prima	Redução na emissão de gases de efeito estufa	Custo de produção	Produção de biocombustível por hectare	Terras utilizadas
Bioetanol	Grãos (trigo, milho)	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	Terras férteis
Bioetanol	Cana-de-açúcar	Alto	Baixo	Alto	Terras férteis
Biodiesel	Óleos de sementes (canola, soja, etc.)	Moderado	Moderado	Baixo	Terras férteis
Biodiesel	Óleo de palma	Moderado	Moderado a baixo	Moderado	Terras litorâneas e úmidas

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2008).

Bioetanol de milho

Assim como a cana, o milho (*Zea mays* spp.) é uma planta C4 da família das gramíneas, com ciclo produtivo anual. Originário do México, o milho é cultivado atualmente em todos os continentes e ocupa, aproximadamente, 147 milhões de hectares, nos quais foram produzidos cerca de 725 milhões de toneladas em 2004 (FAO, 2009), constituindo um importante componente da oferta de alimentos em vários países, como alimento humano e animal.

O bioetanol pode ser produzido de milho por meio de dois processos, adotando moagem úmida ou seca. A via úmida era a opção mais comum até os anos 1990, mas, hoje em dia, a via seca, uma opção com custos de investimento e operacionais mais baixos, reduzindo consideravelmente o custo final do bioetanol se consolidou como o processo mais utilizado para a produção do bioetanol (NOVOZYMES, 2002). No processo úmido, apresentado na Figura 2, as diferentes frações do grão do milho são separadas, possibilitando a recuperação de diversos produtos, como proteínas, nutrientes, gás carbônico (utilizado em fábricas de refrigerantes), amido e óleo de milho. Enquanto o óleo de milho é o produto mais valioso, o amido e, por conseguinte, o bioetanol, é aquele produzido em maior volume, com rendimentos ao redor de 440 litros de bioetanol por tonelada seca de milho. Já no caso da via seca, o único coproduto do bioetanol é um suplemento protéico para alimentação animal conhecido como DDGS (*distillers dried grains*

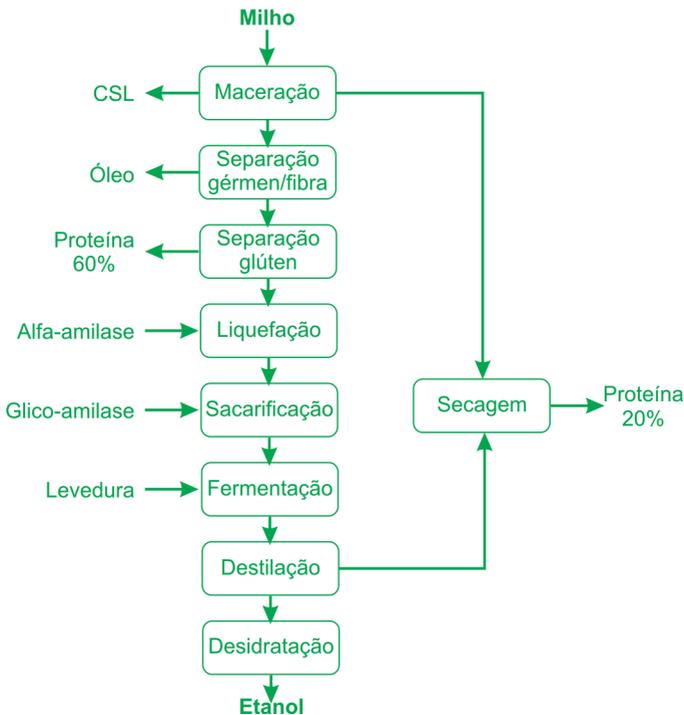


Figura 2. Fluxograma geral do processo de obtenção de bioetanol de milho (via úmida).

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2008).

with solubles). A Figura 3 apresenta o fluxograma básico para obtenção do bioetanol pela via seca.

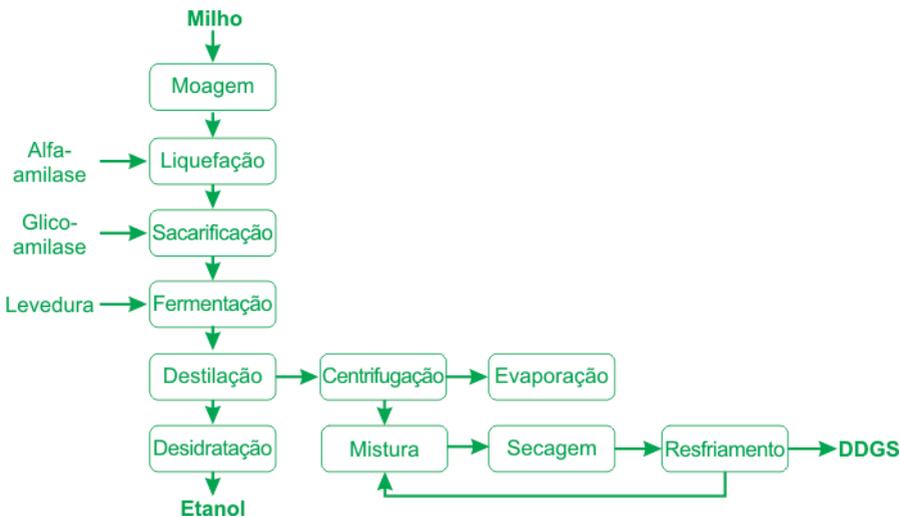


Figura 3. Fluxograma geral do processo de obtenção de bioetanol de milho (via seca).

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2008).

A etapa crítica do processo é aquela referente à hidrólise do amido a açúcares fermentáveis que pode chegar até a 72 horas. Processo desenvolvido recentemente reduz drasticamente esse tempo e consiste em se ter a sacarificação e a fermentação ocorrendo simultaneamente.

Como no caso do bioetanol de cana, na fermentação, a glicose é transformada em bioetanol pela ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae* e o “vinho” obtido segue para a destilação. As etapas da destilação são semelhantes às efetuadas no processo utilizado para o bioetanol de cana no Brasil, com a diferença de que, nos EUA, o processo mais utilizado para desidratação e obtenção do bioetanol anidro é a filtração molecular (ultrafiltração).

Para cada tonelada de matéria seca de milho são obtidos cerca de 460 litros de bioetanol anidro e 380 kg de DDGS (WYMAN,1996). A Figura 4 mostra uma instalação industrial para produção de bioetanol de amido de milho.



Figura 4. Planta de produção de bioetanol de amido de milho nos EUA.

Fonte: Dedini Indústrias de Base (2008).

Bioetanol da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma planta arbustiva, com um ciclo de vida longo, típica do continente americano e apresenta mais de 300 variedades.

O Brasil possui aproximadamente 2 milhões de hectares destinados ao cultivo da mandioca e é o segundo maior produtor mundial, com produção anual de 23 milhões de toneladas de raízes frescas. O rendimento da produção está entre 12 e 25 t/ha (NATURAL COMUNICAÇÃO, 2008).

Cultivada em regiões de clima tropical e subtropical, a mandioca teve seu maior desenvolvimento nos estados do Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Tem baixa resistência ao frio - temperaturas inferiores a 15°C prejudicam o desenvolvimento da planta – mas pode ser plantada em altitudes que variam entre o nível do mar e até 1.000 m.

A cultura da mandioca é de fácil propagação, tolerante à seca e possui ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo. Solos arenosos ou permanentemente alagados não são adequados ao cultivo da mandioca, sendo mais adequados os profundos de boa drenagem.

Quando considerada a produtividade por tonelada da mandioca em relação à cana-de-açúcar na fabricação do etanol, a mandioca tem um melhor de-

sempenho. Enquanto uma tonelada de cana-de-açúcar, com 140 kg de açúcar total recuperável (ATR), produz 85 litros de álcool, uma tonelada de mandioca, com 25% de amido, pode produzir 170 litros de álcool. Considerando a produtividade agrícola média em torno de 18 toneladas por hectare, implica um rendimento industrial de 3.060 litros de bioetanol por hectare. Além da vinhaça, efluente do processo de destilação, não se identificaram coprodutos de valor significativo nesse processo (TRINDADE, 1985). Apesar de seu custo mais elevado que o da mandioca, a batata-doce também poderia ser processada de forma similar e tem sido avaliada como matéria-prima para a fabricação de bioetanol, pelas instituições de P&D do Brasil.

A mandioca foi considerada uma matéria-prima promissora na produção de bioetanol durante a primeira fase do Proálcool, o programa brasileiro de bioetanol, nos anos 1970. Entretanto, tais projetos não tiveram êxito, principalmente devido ao preço elevado do bioetanol obtido de mandioca comparado ao bioetanol de cana-de-açúcar além da irregularidade no fornecimento da matéria-prima. Nos últimos anos, em países asiáticos, principalmente na Tailândia a mandioca tem sido utilizada para produção de bioetanol (KOISUMI, 2009).

Na fabricação de etanol proveniente da mandioca, é necessária uma etapa de conversão do amido presente nas raízes em açúcar (glicose), e então promover a fermentação e a produção do álcool.

O processo de produção de etanol de mandioca segue as seguintes etapas:

- **Pesagem – lavagem – descascamento:** depois de pesadas, as raízes devem ser lavadas e descascadas para remoção de impurezas como terra e areia.
- **Desintegração:** esse processo é feito para aumentar a superfície, facilitando a penetração de calor, necessário para a gelatinização do amido e a catálise das enzimas na conversão do amido em glicose (açúcar).
- **Gelatinização:** é o aquecimento do amido da mandioca e água, para tornar os grânulos de amido suscetíveis à ação das enzimas na etapa de sacarificação, gerando uma pasta viscosa. Em processamentos industriais o cozimento é feito com vapor, sob pressão e em processo contínuo. Quanto menor quantidade de água utilizada, menor é o gasto energético para o cozimento. É necessário que todos os grânulos sejam gelatinizados, o que demanda certa quantidade de tempo de aquecimento, geralmente entre 30 e 60 minutos mantendo uma fervura leve, em pressão

atmosférica. O aumento da pressão do processo de gelatinização diminui o tempo e aumenta a temperatura do processamento.

- **Sacarificação:** ocorre a hidrólise do amido, produzindo um mosto ou vinho, que é uma solução rica em açúcar. Essa etapa é realizada através da adição de ácidos ou pela ação de enzimas. Na hidrólise ácida, a adição de ácido concentrado, geralmente ácido clorídrico (HCl). A elevação da temperatura aumenta a velocidade da reação. O ácido deve ser adicionado ao gel de amido com concentração em torno de 50%, na proporção de 0,1% a 0,2% sobre o peso seco do amido. A hidrólise enzimática é feita pelo emprego de preparados enzimáticos. As enzimas alfa-amilase e beta-amilase, quando utilizadas conjuntamente, catalisam a hidrólise do amido, convertendo cerca de 85% em maltose e dextrina. A enzima glucoamilase converte a maltose, a dextrina e o amido restante em glicose, podendo chegar a 100% de rendimento. No processo de sacarificação da mandioca, a hidrólise ácida é mais utilizada que a enzimática, porém, podem ocorrer problemas como a corrosão dos equipamentos e a necessidade de neutralização da solução açucarada, o que pode provocar a destruição de moléculas de açúcar.
- **Fermentação:** na fermentação, leveduras transformam o açúcar proveniente da hidrólise do amido da mandioca em bioetanol, liberando gás carbônico. A levedura mais empregada é a *Saccharomyces cerevisiae Hansen*, que é a mesma empregada na produção de álcool de cana-de-açúcar. Para iniciar a fermentação, é necessário misturar o inóculo de leveduras à solução açucarada, mantendo as condições adequadas para o desenvolvimento dos microorganismos e produção do bioetanol. Temperatura, pH, disponibilidade de nutrientes e concentração da levedura são alguns itens que afetam o rendimento da fermentação, e devem ser ajustados para que não haja desequilíbrio e pouca conversão em etanol no processo. A temperatura ótima para a etapa de fermentação se situa entre 26°C e 32°C. O pH deve ser baixo para inibir a ação de bactérias e deve estar entre 4,0 e 4,5. A concentração do mosto deve estar entre 12% e 14% para não inibir a ação da própria levedura ao decorrer da fermentação.
- **Destilação:** As etapas da destilação são equivalentes ao processo utilizado para o bioetanol de cana no Brasil.
- **Secagem:** ao final do processo, o álcool obtido ainda contém uma pequena quantidade de água e é chamado de álcool hidratado. Há a possibilida-

de de realizar uma secagem desse álcool e torná-lo anidro. Esse processo demanda uma grande quantidade de energia e, na maioria das vezes, não é vantajoso.

Mandioca doce

Nova variedade de mandioca descoberta na região amazônica pode tornar o processo de produção de bioetanol mais lucrativo.

A mandioca doce, uma planta mutante, tem grande quantidade de açúcares na raiz e menor quantidade de amido, reduzindo a etapa de hidrólise do amido na produção de álcool.

Também chamada de mandioca açucarada, essa planta é moída, prensada, e o caldo vai direto para a fermentação, reduzindo em torno de 30% o consumo de energia quando comparado ao processo que inclui a etapa da quebra do amido. O tempo total do processo também é menor. Enquanto o processo de produção de etanol da mandioca comum leva em torno de 60 horas, o da mandioca doce dura 10 horas.

Pesquisas estão sendo conduzidas objetivando introduzir essa variedade de mandioca no sistema de produção agrícola do Brasil.

Bioetanol de outras matérias-primas

Beterraba açucareira

Entre os cultivos que produzem açúcar fermentável, além da cana-de-açúcar, a beterraba açucareira (*Beta vulgaris*) tem sido utilizada para a fabricação de sacarose e bioetanol. Essa hortaliça tem uma raiz tuberosa com cerca de 18% de sacarose na qual acumula quantidades elevadas de açúcar, apresentando produtividade entre 50 e 100 toneladas por hectare (RURAL INDUSTRIES RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION, 2007), podendo alcançar índices de produtividade agroindustriais bastante elevados, da ordem de 7.500 litros de bioetanol por hectare, similares à cana-de-açúcar.

O processamento industrial da beterraba açucareira se inicia com sua limpeza, corte e extração da sacarose pelo processo de difusão em água

aquecida. A solução aquosa obtida contém aproximadamente 16% de sólidos solúveis sendo então processado de forma análoga ao caldo de cana-de-açúcar, para a obtenção de açúcar ou para obtenção de bioetanol. Uma tonelada de beterraba açucareira produz 86 litros de bioetanol e 51 kg de torta fibrosa que pode ser utilizada para alimentação animal (ELSAYED et al., 2003).

Sorgo sacarino

Ainda não há produção significativa de bioetanol utilizando sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). A utilização do sorgo para a fabricação de bioetanol poderia ser integrada à agroindústria canavieira, estendendo o período usual de safra com diversas semelhanças quanto ao processamento.

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.

Considerando uma produtividade industrial de 40 litros de bioetanol por tonelada de sorgo processado (REDDY, 2004) e os valores de produtividade agrícola de 50 toneladas por hectare, observados em áreas plantadas com o cultivar BR 505, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, objetivando a produção de bioetanol (TEIXEIRA et al., 1997), chega-se a uma produtividade agroindustrial de 2.500 litros de bioetanol por hectare. O uso do sorgo sacarino ainda apresenta dificuldades que precisam ser superadas antes de sua efetiva adoção como matéria-prima para obtenção de bioetanol, como sua reduzida resistência à degradação após a colheita, a limitada base de germoplasma, a pouca adaptabilidade ambiental e a baixa resistência a pragas e doenças (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2008; VENTURI; VENTURI, 2003).

Na escolha de uma matéria-prima para a fabricação de bioetanol, é fundamental considerar os pressupostos de eficiência. Assim, cabe priorizar as culturas que minimizem os requerimentos de terra, água e aportes externos de agroquímicos, entre outros aspectos. Tão importante quanto deve-se considerar a viabilidade econômica havendo pouco sentido em propor o uso de cultivos nobres e de bom valor de mercado como fonte de bioenergia.

A matéria-prima representa entre 60% e 70% do custo final do bioetanol e, portanto, a busca de matéria-prima de baixo custo é fundamental para a viabilidade do processo. A existência de coprodutos e subprodutos, de valor comercial, é igualmente importante, na medida em que estes podem conferir uma desejável flexibilidade na produção bioenergética, associando a disponibilidade de biocombustíveis a outras fontes de valor econômico (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2008).

Outro fator absolutamente importante para a adequada seleção de matéria-prima para produção de bioetanol é o balanço energético de cada uma delas, ou seja, a relação entre a energia produzida e a energia (direta e indireta) consumida para produzir essa energia. No Gráfico 2 é apresentado uma relação comparativa entre bioetanol obtido de diferentes matérias-primas. Pode-se observar que o rendimento médio é maior quando se utiliza matéria-prima composta por açúcares como é o caso da cana-de-açúcar e da beterraba. Das matéria-prima amiláceas o milho é que apresenta rendimento superior.

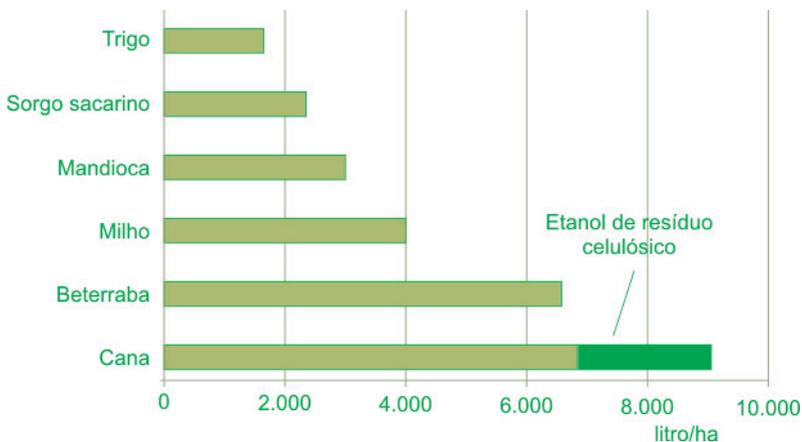


Gráfico 2. Rendimento médio de bioetanol para diferentes culturas.

Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2008).

Referências

ALMEIDA, E. F. de; BOMTEMPO, J. V.; SILVA, C. M. de S. *The performance of Brazilian bio-fuels: an economic, environmental and social analysis*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. 91 p. Disponível em: <<http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DiscussionPaper5.pdf>>. Acesso em: out. 2009.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento Sustentável*. Rio de Janeiro : BNDES; CGEE, 2008. 316 p.

BARBOSA, L. M. *Agroenergia, biodiversidade, segurança alimentar e direitos humanos*. [Belo Horizonte: PUC Minas], 2007. 7 p. (Cenários PUC Minas. Conjuntura Internacional). Disponível em: <http://www.pucminas.br/imagetdb/conjuntura/CNO_ARQ_NOTIC20070926161639.pdf> Acesso em: out. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011*. Brasília, DF, 2005. 120 p.

DEDINI INDÚSTRIAS DE BASE. *DHR Dedini Hidrólise Rápida*. Disponível em: <<http://www.dedini.com.br/pt/dhr.html>>. Acesso em: ago. 2008.

ELSAYED, M. A.; MATTHEWS, R.; MORTIMER, N. D. Production of ethanol from sugar beet (Appendix Q). In: ELSAYED, M. A.; MATTHEWS, R.; MORTIMER, N. D. *Carbon and energy balance for a range of biofuels options*. Sheffield: Sheffield Hallam University, 2003. 341 p. (DTI Project B/B6/00784).

FAO. *FAOSTAT*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: junho de 2009.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, June 2008.

NATURAL COMUNICAÇÃO. *Mandioca brasileira: sistema de informações agroindustriais da mandioca brasileira*. Disponível em: <http://www.mandioca.agr.br>. Acesso em: maio de 2008.

NOVOZYMES. *Fuel ethanol production: technological and environmental improvements*. [S. l.]: Novozymes & BBI International, 2002.

REDDY, B. V. S. *ICRISAT develops sweet sorghum for ethanol production*. 2004. Disponível em: <<http://www.icrisat.org/media/2004/media13.htm>>. Acesso em: maio 2008.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. *Annual Industry Outlook 2008: changing the climate*. Washington, D. C., 2008. 28 p. Disponível em: <http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/RFA_Outlook_2008.pdf>. Acesso em: jun. 2009.

RODRIGUES, A. P. de. *Etanol combustível - balanço e perspectivas: um balanço de 30 anos de Proálcool*. [S.l.]: Única, 2005. 35 slides. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br/proalcohol/Palestras/16/Antonio%20de%20Padua%20Rodrigues.ppt>>. Acesso em: 28 mar. 2006.

RURAL INDUSTRIES RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. *Sugar beet preliminary feasibility of ethanol production from sugar beet in NE Tasmania*. Canberra: Department of Primary Industries, Water and Environment, Rural Industries Research and Development Corporation, 2007.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; BEISMAN, D. A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 17, n. 3, set./dez. 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611997000300011>. Acesso em: out. 2009.

TRINDADE, S. C. *Fuel ethanol issues in Thailand: ethanol production, stillage disposal and market penetration*. New York: UN/DTCD, 1985. (draft).

VENTURI, P.; VENTURI, G. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*, v. 25, n. 3, p. 235-255, Sept. 2003.

WYMAN, C. E. *Handbook on bioethanol: production and utilization*. Washington, D. C.: Taylor & Francis, 1996. (Applied Energy Technology Series).

Embrapa

Informática Agropecuária

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

