

Brasília, DF
Abril, 2011

Autor

Thályta Fraga Pacheco
Engenheira Química,
Mestre em Engenharia
Química, Analista da
Embrapa Agroenergia,
DF, thalyta.pacheco@
embrapa.br.

Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?

A Importância da Produção de Etanol

O etanol tem sido considerado uma alternativa para diminuir problemas ambientais e energéticos no mundo em razão da escassez e alta dos preços dos combustíveis fósseis e da poluição por eles causada. Comparado aos combustíveis fósseis, o etanol apresenta as vantagens de ser uma fonte renovável de energia, e de contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono.

O Brasil encontra-se em uma posição favorável no que se refere à produção de etanol, por apresentar vantagens na tecnologia de produção, possibilidade de liderança na agricultura de energia e mercado de biocombustíveis sem ampliar área desmatada ou reduzir a área destinada à produção de alimentos, diversidade de matérias-primas em diferentes biomas. Além disso, a matriz energética brasileira já é um exemplo de sustentabilidade, pois enquanto a média mundial é o uso de apenas 14% de fontes renováveis, o Brasil utiliza 46,8% (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010).

A cana-de-açúcar para produção de álcool é o insumo que garante a maior produtividade com custo de produção consideravelmente inferior ao etanol produzido nos demais países. O custo de produção do etanol brasileiro é de US\$ 0,22/L contra US\$ 0,35/L para esse combustível produzido pelos Estados Unidos, a partir do milho, por exemplo (VIEGAS, 2010).

O mercado consumidor de etanol crescerá ainda mais, tanto nacional quanto mundialmente, em um futuro próximo, devido às legislações ambientais que obrigam o uso de biocombustíveis em meios de transporte, ao cumprimento das exigências do Protocolo de Kyoto, à mistura do biocombustível na gasolina e a disponibilização crescente de automóveis bicombustíveis.

O setor sucroalcooleiro brasileiro acredita que será um dos supridores mundiais de álcool combustível e de tecnologias modernas para fornecimento de destilarias em outros países do mundo. Especialistas alertam que ganhos de eficiência na produção do etanol serão fatores preponderantes para competitividade em mercados mundiais (ABARCA, 2005).

No período 1975-1994, por exemplo, foi incrementada a capacidade de moagem em 100%, o processo de extração elevou sua eficiência de 93% para 97%, enquanto que a eficiência do processo de fermentação aumentou de 80% para 91%. Por outro lado, a recuperação geral na produção de álcool aumentou em 30% e o consumo de vapor na destilação foi reduzido em 44%. Esses ganhos foram alcançados, exclusivamente, a partir de inovações incrementais, instalação de equipamentos periféricos e novos procedimentos operativos, que resultaram na expressiva elevação do rendimento industrial (ABARCA, 2005).

A experiência adquirida pelo Brasil no cultivo de cana-de-açúcar e processamento industrial elevou fortemente os índices de produção pela ampliação da produtividade e otimização do uso da terra. Enquanto a área plantada cresceu

85% desde a safra 90/91, a produção de etanol aumentou em 130% e a de açúcar em 350% (VILLEN, 2009).

Nesse cenário, tecnologias capazes de melhorar o desempenho da produção no setor ganham importância fundamental no país. Esse aumento de produção, do ponto de vista de processamento industrial, pode se dar de duas formas: por aperfeiçoamentos das tecnologias para produção de etanol de primeira geração, a partir da sacarose da cana; ou pelo desenvolvimento científico e tecnológico de produção do etanol de segunda geração, ou etanol lignocelulósico, produzido a partir da conversão da celulose e hemicelulose em etanol.

Etanol de Primeira Geração

Apesar de a produção de etanol a partir da sacarose ser um processo bem estabelecido atualmente, com os menores custos e maior produtividade do mundo, ainda há espaço para crescimento e redução de custos. A produção do etanol de cana-de-açúcar demanda menos de 1% das terras cultiváveis do país, podendo facilmente ser expandida sem representar competição com a produção de alimentos (UNICA, 2011).

Existem ainda diversas possibilidades de investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação que visem o aperfeiçoamento do processo de produção de etanol a partir do caldo da cana, elevando-se o rendimento e reduzindo-se os custos. São exemplos de possíveis estudos de otimização da produção de etanol de primeira geração:

- Aplicação de melhores práticas agrônômicas, desenvolvimento de melhores variedades para novas áreas e de cultivares mais produtivas e resistentes;
- Seleção de linhagens e melhoria das características de microorganismos que garantam alta eficiência fermentativa, ou seja, que apresentem maior velocidade de fermentação, maior eficiência de conversão, resistência ao álcool, pH e antissépticos, além de estabilidade genética;
- Desenvolvimento de tecnologia de fermentação a baixa pressão e extração a

vácuo do etanol, que evita a redução da produtividade em decorrência da inibição pelo produto, reduz equipamentos e utilidades para troca térmica, diminui os custos de destilação e a quantidade de vinhaça produzida, pois tem-se um vinho mais concentrado em etanol;

- Redução dos níveis de formação de subprodutos no processo fermentativo, e consequente elevação do rendimento, conseguidas evitando-se que ocorra estresse celular;
- Estabelecimento de estratégias de auto-imobilização dos microorganismos no interior do fermentador, permitindo operá-lo com maior densidade celular, que garante aumento da produtividade de etanol. Além disso, esse sistema dispensa as etapas de centrifugação e tratamento químico da suspensão de microorganismos e diminui o investimento de capital na construção de plantas. Segundo Andrietta et al. (2008), o emprego dessa nova tecnologia representará uma economia entre R\$ 0,02 e R\$ 0,03 por litro de etanol produzido, o que é muito significativo para as usinas. A eliminação dos estágios de centrifugação e reciclo representa uma economia de 16% nos custos de processamento e de 10% para os custos de instalação. A utilização de leveduras flocculantes em reatores de leito fixo, operando nas condições otimizadas, fornece uma produtividade de aproximadamente $15 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{L.h}$, enquanto uma fermentação contínua convencional, usual de um processo industrial, em que se utilizam separadoras centrífugas, reatores de mistura e células de leveduras não flocculantes, geralmente opera com produtividade de aproximadamente $8 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{L.h}$ quando melaço é utilizado como matéria-prima (PACHECO, 2010; VIEGAS, 2003);
- Integração energética eficiente da planta de produção de etanol, com estabelecimento de redes de energia mínima, visando maior aproveitamento energético e redução dos custos de instalação e manutenção das utilidades;

- Modificações na configuração usual dos fermentadores e otimização das condições de operação, tornando o processo mais eficiente. Usualmente, em fermentações alcoólicas industriais, utilizam-se reatores de mistura não agitados mecanicamente, sendo comum a sedimentação das leveduras na parte cônica do fermentador. Essa diminuição do contato dos microorganismos com o substrato, em razão da sedimentação, implica em diminuição da produtividade (PARAZZI, 2007). O emprego de biorreatores de leito fluidizado pode ser uma excelente alternativa para alta produtividade e estabilidade. Além disso, a depender das condições de operação, o líquido escoar em um biorreator de leito fluidizado de forma empistonada, o que é extremamente vantajoso principalmente em reações que sofrem inibição pelo produto, como é o caso da fermentação alcoólica (GÓDIA; SOLÁ, 1995). Segundo Liu et al. (2009) um reator contínuo de leito fluidizado com células imobilizadas demonstra significativo aumento da produtividade volumétrica quando comparado com sistemas batelada tradicionais ou outros reatores contínuos;
- Implantação de caldeiras de maior pressão e temperatura, que aumentam a pressão de saída do vapor e reduzem o consumo de bagaço, provocando geração de maior excedente energético ou disponibilizando mais bagaço para a produção de etanol lignocelulósico. Além disso, pode-se aproveitar calor de outras etapas do processo para secagem do bagaço, garantindo-lhe maior poder calorífico;
- Aprimoramento da tecnologia de digestão anaeróbia para aproveitamento da vinhaça e produção de biogás a partir desse subproduto, que apresenta elevada carga orgânica;
- Racionalização do uso de água na produção de etanol e estudo de métodos mais eficientes de tratamento de água residuária. O processo produtivo tem evoluído operacionalmente nesse sentido: a captação de água pelas usinas declinou de 5 m³ para cada tonelada de cana processada no início da década de 1990 para 1,8 m³/tonelada de cana em 2005.

A taxa média de reutilização de água na década de 1990 era de 62,7%, elevando-se para 87,8% em 2005 (LEITE, 2008).

Etanol de Segunda Geração

O mundo se depara atualmente com a perspectiva de um significativo aumento na demanda por etanol. Para evitar que haja o limite da oferta ou a competição pelo uso da terra para a geração de energia e produção de alimentos, especialmente em locais que não dispõem de clima favorável ou extensão territorial para cultivo, torna-se necessário investir no desenvolvimento de tecnologias de segunda geração de produção de etanol. Essa nova geração representa uma alternativa para o uso energético da biomassa, apresentando vantagens ambientais e econômicas, por ser o etanol produzido a partir de lignocelulose, presente em resíduos de origem vegetal. A produção de etanol da lignocelulose é feita com tecnologias ainda em fase de aperfeiçoamento.

O Brasil apresenta vantagens competitivas em relação aos outros países também no etanol de segunda geração, como o menor custo e a fácil disponibilidade de grandes quantidades de matéria-prima, especialmente diante da possibilidade de uso do bagaço e da palha da cana nestes novos processos. Essa tecnologia poderá, então, ser integrada à estrutura existente nas unidades produtoras, reduzindo os custos de instalação e operação. Além disso, a gradual implantação da colheita mecanizada, a proibição da queima da palha da cana e a tendência de utilização de caldeiras de alto desempenho resultarão em excedentes de bagaço e palha que poderão ser transformados em etanol de segunda geração.

Dois terços da cana são constituídos de material lignocelulósico, indicando seu imenso potencial para energético. A estimativa é de que o aproveitamento do bagaço e parte das palhas e pontas da cana-de-açúcar eleve a produção de álcool em 30 a 40%, para uma mesma área plantada.

As demais matérias-primas para a qual se buscam tecnologias de processamento, tais como capim-elefante, braquiárias, panicuns e árvores de crescimento rápido podem representar alternativas competitivas e eficientes para locais onde não se cultiva cana-de-açúcar.

O material lignocelulósico é constituído de três tipos de polímeros: celulose, hemicelulose e lignina, que se encontram em associação por pontes de hidrogênio ou ligação covalentes. A celulose é formada por subunidades de D-glicose, unidas por ligação glicosídica. A hemicelulose é uma estrutura bem mais complexa por ser constituída por diferentes tipos de pentoses, hexoses e açúcares ácidos unidos entre si. A lignina é associada à parede vegetal, conferindo à planta resistência a ataques microbiológicos e mecânicos, além de rigidez e impermeabilidade.

Diversas são as rotas tecnológicas pesquisadas para produção de etanol a partir de material lignocelulósico. Uma delas, por exemplo, consiste primeiramente de um pré-tratamento, opcional, que efetua a separação da hemicelulose. O melhor pré-tratamento, nesse caso, é aquele que não desestrutura a celulose e a lignina. A fermentação das pentoses geradas a partir da hemicelulose requer microorganismos específicos, e é ainda uma barreira a ser superada pelos muitos estudos dedicados ao etanol de segunda geração.

A celulose é então hidrolisada e em seguida fermentada. Esta hidrólise é feita pela ação de enzimas, produzindo glicose. Ainda não são conhecidos os microorganismos e as condições que produzam enzimas hidrolíticas de forma eficiente e econômica. A glicose obtida no processo de hidrólise é fermentada segundo procedimento usual já estabelecido, produzindo etanol.

A lignina separada nos tratamentos tem alto potencial calórico, então seu destino é a queima em caldeiras para produção de energia, que pode ser utilizada nos próprios processos do etanol ou comercializada.

O mundo ainda não é capaz de produzir comercialmente o etanol de segunda geração, porém vários países têm investido recursos no desenvolvimento e estabelecimento de tecnologias que permitam processar diferentes resíduos vegetais para produção desse biocombustível. Acredita-se que, em no máximo uma década, o processo ganhe escala e tenha um custo de produção ainda menor que o produto atual.

A combinação das rotas de primeira e segunda gerações na produção de etanol permitirá obter

uma maior quantidade de combustível sem aumentar o volume de matéria-prima cultivada. Em consequência, ter-se-á menor disponibilidade de bagaço para geração de energia elétrica. No momento em que a tecnologia de segunda geração estiver em escala comercial, as usinas seguirão o comportamento do mercado, voltando sua produção para eletricidade ou etanol, semelhante ao que ocorre com a destinação do caldo, que a depender da demanda produz mais etanol ou açúcar.

Apenas um terço da energia elétrica gerada nas usinas mais modernas é consumido nos processos de fabricação. Consideradas em conjunto, a capacidade de geração instalada supera 3 Giga watts/hora, ou aproximadamente meia Itaipú. Esta produção excedente representa 4% da capacidade de geração instalada no país e mais de 10% do faturamento total da atividade sucroalcooleira (PACCINI, 2008; BOSCO, 2009). Pode-se perceber que a energia elétrica produzida pelo setor sucroalcooleiro no país é bastante expressiva e contribui para a estabilidade da matriz elétrica. Vários pesquisadores defendem a ideia de que, no momento, o Brasil precisa mais de energia elétrica do que de combustível líquido, e que a utilização de bagaço para produção de etanol seria menos benéfica, visto que o país sofreu, há pouco tempo, uma restrição no crescimento econômico devido à falta de energia elétrica.

Conclusão

Baseado no exposto, pode-se perceber que o etanol tem papel primordial na segurança e proteção ambiental e climática, e será decisivo na matriz energética futura. É imprescindível que o Brasil mantenha sua liderança mundial no campo dos biocombustíveis e garanta produção suficiente para atendimento da demanda. Para isto, é necessário que se somem esforços de melhoria do processo atual, que ainda apresenta amplas possibilidades de ganho e redução de custos, e que se estabeleça a produção de etanol lignocelulósico, com viabilidade econômica comparável ao processo usual.

O etanol produzido pela fermentação do caldo da cana é um processo dominado, lucrativo e extremamente vantajoso para o Brasil, que dispõe de vasta área a ser disponibilizada ao cultivo de cana-de-açúcar sem comprometer a produção de

alimentos. Dessa forma, se o objetivo for elevar os índices de produção de etanol, o país obteria mais benefícios a curto prazo se investisse no melhoramento desse processo.

Entretanto, para que o país continue a ter vanguarda nesta área, tanto em produção como disponibilização de tecnologias, é necessário que possa dominar também o conhecimento de novas rotas de produção e o emprego de novos insumos, principalmente de resíduos celulósicos sem valor agregado.

O etanol produzido a partir de celulose, presente em matérias-primas ou resíduos vegetais, é uma alternativa fundamental para países que desejam elevar os níveis de produção de etanol sem aumentar a área plantada, sendo complementar à produção de alimentos. Entretanto, trata-se de tecnologia ainda em desenvolvimento, com perspectivas de atingir viabilidade econômica e industrial nos próximos anos, mas que ainda demanda intenso investimento em PD&I.

O desenvolvimento tecnológico do etanol de segunda geração não exclui a tecnologia em uso; ambas podem coexistir e ser complementares. É possível continuar com os avanços sobre a tecnologia em uso e atingir grandes ganhos com tecnologias em desenvolvimento.

Portanto, a produção de etanol com alta eficiência e sustentabilidade será resultado da integração e otimização de ambos os processos: primeira e segunda gerações, e envolvem grupos multidisciplinares de pesquisa trabalhando em diferentes áreas de PD&I.

Referências

ABARCA, C. D. G. **Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil**. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro; Ouro Preto: DEPRO, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

ANDRIETTA, S. R.; STECKELBERG, C.; ANDRIETTA, M. G. S. Study of flocculent yeast performance in tower reactors for bioethanol production in a continuous fermentation process with no cell recycling. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 3002 – 3008, 2008.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Brasília: MME, 2010.

BOSCO, F. Novo status para o bagaço. **Revista Alcoolbrás**, n. 121, 2009.

GÒDIA, F.; SOLÁ, C. Fluidized bed bioreactors. **Biotechnology Progress**, Barcelona, v. 11, n. 5, p. 479-497, 1995.

LEITE, H. T. C. **Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar**. Campinas: Proamb Engenharia, 2008. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas.

LIU, C. Z.; WANG, F.; OU-YANG, F. Ethanol fermentation in a magnetically fluidized bed reactor with immobilized *Saccharomyces cerevisiae*in magnetic particles. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, p. 878-882, 2009.

PACCINI, H. **Biocombustíveis de segunda geração**. Estocolmo: Royal Institute of Technology, 2008

PACHECO, T. F. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

PARAZZI, C. **Floculação da levedura na fermentação etanólica**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, 2007. Disponível em: < <http://www.cca.ufscar.br/~vico/Floculacao%20de%20leveduras%20na%20fermentacao%20etanolica.pdf> >. Acesso em: abr. 2011.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Brasil poderá quase dobrar exportações de etanol para o Japão**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7BBBD256852-25D4-4CDA-BD54-F47DDCD89A6A%7D>>. Acesso em: 29 mar. 2011.

VIEGAS, M. C. **Otimização de sistema de fermentação alcoólica contínua utilizando reatores tipo torre e leveduras com características floculantes**. 2003. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

VIEGAS, T. **Competitividade internacional do etanol brasileiro: oportunidades e ameaças**. Rio de Janeiro: Infopetro, Instituto de Economia: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

VILLEN, R. A. **Mauá: biotecnologia: histórico e tendências**. Mauá: Escola de Engenharia de Mauá, 2009. Apostila.

**Circular
Técnica, 04**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Agroenergia
Endereço: Parque Estação Biológica - PqEB s/n,
Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4246
Fax: (61) 3448-1589
E-mail: sac.cnpae@embrapa.br

1ª edição
Versão eletrônica (2011)

**Comitê de
publicações**

Presidente: José Manuel Cabral de Sousa Dias.
Secretária-Executiva: Rachel Leal da Silva.
Membros: Betânia Ferraz Quirino, Daniela Garcia Collares, Esdras Sundfeld.

Expediente

Supervisão editorial: José Manuel Cabral de Sousa Dias.
Revisão de texto: José Manuel Cabral de Sousa Dias.
Editoração eletrônica: Maria Goreti Braga dos Santos.
Normalização bibliográfica: Maria Lara Pereira Machado.