



# O alvo é o bagaço

Subproduto abundante da indústria da cana dá vantagem competitiva ao Brasil na busca do etanol de segunda geração

FABRÍCIO MARQUES

**A** pesquisa brasileira do etanol de segunda geração conquistou uma articulação inédita. Restrita até pouco tempo atrás a experiências isoladas de empresas e de grupos de pesquisa, a busca do álcool extraído de celulose está mobilizando um número crescente de pesquisadores, estimulados por políticas de pesquisa voltadas para ampliar a produtividade do etanol de cana brasileiro. O alvo é aproveitar o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, fontes de celulose que respondem por dois terços da energia da planta, mas não são convertidos em biocombustíveis. “Há uma corrida mundial pelo desenvolvimento do etanol de segunda geração”, diz Rubens Maciel Filho, professor da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e um dos coordenadores do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (Bioen), dínamo da articulação da comunidade científica em São Paulo. “O Brasil, embora tenha uma pesquisa jovem neste campo, possui vantagens comparativas na corrida, como a disponibilidade de uma enorme quantidade de matéria-prima barata, que é o bagaço pré-colhido, e uma infraestrutura já instalada de produção de etanol”, afirma.

Resíduos como aparas de madeira, bagaço de cana ou sabugo de milho são formados por celulose e podem transformar-se em biocombustível quando submetidos a reações de hidrólise, um processo químico de quebra de moléculas. Uma grande vantagem dessa abordagem seria reduzir a competição entre biocombustíveis e alimentos, produzindo, no caso do aproveitamento do bagaço, mais etanol por área plantada. Outra quimera é o barateamento da produção do etanol – nos Estados Unidos, o álcool extraído do milho é fortemente subsidiado, ao contrário do etanol de cana brasileiro. Do ponto de vista tecnológico, há várias rotas de hidrólise testadas, mas com rendimentos e investimentos que não viabilizam economicamente a operação.

A articulação envolve iniciativas como a construção de várias plantas-piloto para desenvolver rotas tecnológicas

do etanol celulósico. A Dedini Indústrias de Base prepara uma nova planta de hidrólise ácida, processo em que a quebra de moléculas de celulose usa um ácido como catalisador. A planta vai incorporar inovações relacionadas a materiais e processos com base no conhecimento acumulado entre 2003 e 2007, período em que funcionou uma outra planta da empresa na Usina São Luiz, em Pirassununga (SP). “A experiência mostrou que precisamos atenuar algumas das condições severas em que a unidade funcionava”, diz o vice-presidente da Dedini, José Luiz Olivério. “Estamos testando materiais mais resistentes, porque as condições abrasivas do processo impunham um desgaste que acabava comprometendo o funcionamento contínuo da unidade”, afirma. Segundo Olivério, a Dedini segue acreditando na viabilidade comercial de sua tecnologia, estudada desde os anos 1980, que utiliza o processo Dedini Hidrólise Rápida (DHR), pioneiro no país. A empresa mantém um convênio de cooperação científica com a FAPESP envolvendo a pesquisa de processos industriais para fabricação do etanol.

A Oxiteno, uma das maiores empresas brasileiras do setor químico, tem interesse em dominar o processo de hidrólise do bagaço e da palha para a fabricação de produtos usados na indústria química e farmacêutica, obtidos atualmente pela rota petroquímica. Também em parceria com a FAPESP, a empresa lançou em novembro de 2006 uma chamada pública de propostas em 16 áreas temáticas de pesquisa que selecionou projetos no campo da tecnologia para a produção de açúcares, álcool e derivados. A maioria das sete propostas contempladas e em andamento, que envolvem parcerias com pesquisadores da Universidade de São Paulo, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas e do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, relaciona-se a processos vinculados ao etanol de celulose. As parcerias da Fundação com a Dedini e a Oxiteno fazem parte do programa Bioen.

**Bagaço em usina no interior paulista: matéria-prima promissora para o álcool de celulose**



FOTOS EDUARDO CESAR

A Petrobras investe em hidrólise enzimática, que utiliza, no lugar de ácidos, enzimas produzidas por microrganismos capazes de quebrar o açúcar da celulose, transformado em álcool combustível após o processo de fermentação. Uma planta-piloto instalada no Cenpes, centro de pesquisa da empresa localizado na Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro, começou a operar em 2007. A intenção da empresa é alcançar o domínio da tecnologia e exportar etanol de celulose na próxima década.

Em Campinas, no interior paulista, será construído até meados do ano que vem uma planta-piloto que servirá a pesquisadores de todos os estados. Símbolo da articulação de esforços, a planta vai ser instalada no recém-criado Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia, e terá uma estrutura de seis módulos, que vão do tratamento físico do material lignocelulósico à fermentação, passando pela produção de microrganismos e a hidrólise enzimática. A ideia é que pesquisadores possam fazer experiências diversas usando pedaços específicos de uma mesma plataforma. “O objetivo é permitir avanços simultâneos que ajudem a superar os vários gargalos tecnológicos ligados ao etanol de segunda geração”, explica Carlos Eduardo Vaz Rossell, coordenador da planta-piloto do CTBE.

A pesquisa básica relacionada ao etanol de segunda geração também vem ganhando impulso. Pesquisadores da Embrapa Agroenergia, por exemplo, desenvolvem estudos para caracterizar a parede celular da cana-de-açúcar. Os trabalhos estão em andamento no Laboratório de Genética Molecular da

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em parceria com o Instituto de Botânica da USP. O objetivo é compreender melhor a composição e a estrutura da parede celular da cana, para manipulá-la de maneira específica visando aumentar a produção de etanol de segunda geração.

Países como os Estados Unidos, Canadá e a Suécia têm uma produção científica mais destacada que a do Brasil no desenvolvimento do etanol de segunda geração. Os Estados Unidos, que são o principal produtor de etanol do mundo, enfrentam críticas por haver apostado no milho, fonte de alimentação humana, para extrair o biocombustível, que ainda recebe pesados subsídios para ter um preço razoável. A procura do etanol de celulose, explorado a partir de resíduos agrícolas ou de plantas que não servem para comer, pretende garantir o suprimento do combustível renovável sem prejudicar a segurança alimentar do país.

O interesse brasileiro pelo etanol de celulose tem um pano de fundo diferente. Busca tornar ainda mais competitivo o etanol de cana, ampliando sua produção sem precisar aumentar na mesma proporção a área plantada de cana-de-açúcar. Estudos conduzidos no âmbito do Projeto Bioetanol, uma rede de pesquisa financiada pelo governo federal, apontam que uma destilaria que produz hoje 1 milhão de litros de etanol por dia do caldo da cana poderia inicialmente, com a tecnologia de hidrólise, gerar um adicional de 150 mil litros de etanol do bagaço. Em 2025, com a técnica aperfeiçoada, a mesma produção poderia ter um acréscimo de 400 mil litros prove-

nientes do bagaço recuperado. A palha da cana é outra fonte potencial para a extração de etanol. Com o abandono da prática das queimadas, tende a ser utilizada como fonte de celulose.

No caso brasileiro, a tecnologia precisa reduzir custos a ponto de compensar a mudança do uso, já eficiente, que se faz hoje do bagaço de cana, baseado na queima para gerar eletricidade nas usinas de álcool e açúcar. Rubens Maciel Filho, da Unicamp, lembra que não basta encontrar soluções tecnologicamente viáveis – é essencial que elas tenham um custo baixo. “Não é uma tarefa fácil justificar grandes investimentos para melhorar o álcool de primeira geração, porque o processo já tem uma produtividade bastante elevada, e ainda existe o desafio de produzir álcool de segunda geração a preços competitivos”, diz. No entanto, é importante ressaltar que a tecnologia de primeira geração ainda tem margem de aperfeiçoamento. Ao mesmo tempo que investe no desenvolvimento do processo de hidrólise, a Dedini não parou de apostar em tecnologias incrementais, que vão desde a criação de usinas de etanol autossuficientes em água até a produção de um biofertilizante que incorpora resíduos diversos, como vinhoto e fuligem. “A cana tem uma condição imbatível no armazenamento de energia”, diz Olivério, da Dedini.

É difícil prever em quanto tempo o etanol de celulose terá viabilidade econômica, dadas as dificuldades de conhecer em detalhes os avanços obtidos por empresas, protegidos por sigilo. “Mas se houvesse um processo de fato competitivo para transformar bagaço de cana em etanol, ele já estaria disponibilizado para o mercado e as usinas o estariam

utilizando”, afirma Rubens Maciel, da Unicamp. O pesquisador calcula que o Brasil tem cinco anos para vencer os desafios tecnológicos. “Caso contrário, estaríamos dependentes de processos e insumos importados. Mas o esforço vale a pena porque levamos a vantagem de ter a matéria-prima, que é o bagaço, disponível na unidade de produção de etanol”, diz, referindo-se ao preço da tonelada de bagaço de cana seco, de cerca de US\$ 15, comparado ao da mesma quantidade de resíduo disponível nos Estados Unidos, que custa US\$ 35. Até nos custos de transporte há vantagens, pois o bagaço não precisa ser levado até a usina – está disponível lá mesmo.

O bagaço e a palha são constituídos por celulose, um polímero da glicose formado por seis carbonos, as hexoses; por hemicelulose, composta por açúcares de cinco carbonos, chamados de pentoses e não aproveitados ainda para a produção de açúcar; e pela lignina, um material estrutural da planta, associado à parede vegetal celular, responsável pela rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques aos tecidos vegetais. Para que as biomassas possam ser utilizadas como matérias-primas para processos químicos e biológicos, elas precisam ser submetidas a um pré-tratamento capaz de desorganizar o recalcitrante complexo lignocelulósico. A lignina é um grande obstáculo nesse processo. Sua quebra libera substâncias que inibem a fermentação.

Para chegar a um processo economicamente viável, há vários gargalos que necessitam ser superados. O primeiro deles tem a ver com o pré-tratamento do bagaço e da palha. “As matérias-primas têm decomposição lenta. O desafio é fazer um pré-tratamento dessa estrutura que a torne mais lábil. Os primeiros processos eram muito destrutivos e levavam à perda de muito açúcar”, diz Rossell, do CTBE. “Nós não temos domínio completo das propriedades químicas, físicas e mecânicas do bagaço, da palha e de suas frações. É preciso conhecer melhor a matéria-prima e assim desenvolver futuramente processos que sejam eficientes”, afirma.

**A tonelada do bagaço seco custa US\$ 15, menos da metade do que fontes disponíveis nos EUA**

Um segundo gargalo tem a ver com os catalisadores usados para decompor a celulose. No caso da hidrólise ácida, é preciso melhorar a eficiência do processo, que não permite um controle tão preciso da quebra das ligações químicas. “Enquanto o ácido sulfúrico destrói parte do açúcar formado, o ácido clorídrico, mais eficiente, tem um problema ligado à corrosividade, exigindo ligas de metal de custos elevados”, afirma Rossell. Já no caso do processo de hidrólise enzimática, o entrave é o custo das enzimas, além da quantidade

delas exagerada necessária para provocar o desdobramento da celulose em glicose. Um dos desafios da pesquisa é encontrar microrganismos capazes de produzir enzimas mais produtivas.

Os Estados Unidos apostam numa técnica chamada bioprocessamento consolidado, no qual as quatro transformações biológicas envolvidas na produção do bioetanol (produção de enzimas, sacarificação, fermentação de hexoses e fermentação de pentoses) acontecem numa só fase. Microrganismos geneticamente modificados



produzem anaerobicamente enzimas com melhor atividade que as utilizadas pelos outros processos (leia entrevista na página 21). “Tais microrganismos precisam ser bem testados, pois, mesmo quando funcionam em laboratório, podem ser atacados por outros que sobrevivem melhor no ambiente”, diz Maciel. “Mas não podemos ficar de fora do desenvolvimento de microrganismos sofisticados, pois eles podem nos ajudar a compreender melhor os processos, além de trabalharem a nosso favor.”

**H**á ainda gargalos como o aproveitamento dos açúcares de cinco carbonos, as chamadas pentoses. “Não há rota eficiente para transformar esses açúcares em etanol. A maior parte das leveduras não possui essa rota ou possui em magnitude tão pequena que não tem impacto”, diz Rossell. “A criação de novas leveduras ou outros microrganismos é crítica para a transformação de pentoses em etanol. Hoje, do ponto de vista comercial, só teríamos o álcool de hexoses.” Restam ainda outras pendências a resolver, como a necessidade ainda elevada de consumo de água no processo de pré-tratamento e a destinação do vinhoto, resíduo da destilação para recuperação do etanol. Ocorre que, quando a produção do etanol é proveniente de hidrólise, o resíduo não contém potássio e fósforo e perde sua vantagem como fertilizante. Poluente, deverá ter uma outra destinação segura.

Rossell vê as perspectivas com otimismo. “O número de pesquisadores e técnicos envolvidos com a pesquisa tende a crescer de forma exponencial”, afirma. Para Maciel, da Unicamp, a articulação de esforços é fundamental para fazer valer as vantagens competitivas do país. “Em toda linha de pesquisa, é bom haver certa dose de redundância para comparação das diferentes formas de abordar o problema. No caso do etanol de celulose, porém, talvez não precisemos de muitas plantas-piloto. Com algumas plantas, e a mobilização integrada de muitos pesquisadores, podemos chegar a melhores resultados”, conclui. ■

MIGUEL BOYAVAN



## União pela sustentabilidade

*Workshop* reúne norte-americanos, brasileiros e argentinos para debater impacto dos biocombustíveis sobre o uso da água e da terra

Existe um amplo espaço no qual pesquisadores do Brasil, da Argentina e dos Estados Unidos podem somar esforços para compreender e reduzir impactos das tecnologias de produção de biocombustíveis sobre o uso da água e da terra. Mas, para viabilizar as colaborações, será preciso superar obstáculos como a falta de um padrão de dados que lastreie estudos comparativos, construir modelos capazes de explicar os efeitos de fenômenos complexos ou encontrar formas de analisar cientificamente correlações como as que sugerem a influência do aumento da área plantada com milho nos Estados Unidos no desmatamento da Amazônia brasileira. Essa conclusão emergiu nas discussões finais de um *workshop*, realizado em agosto, que mobilizou cientistas de três países com grande interesse em biocombustíveis – enquanto Brasil e Estados Unidos são os principais produtores de bioetanol, um derivado da cana-de-açúcar e o outro do milho, a Argentina tem um enorme potencial para a produção tanto de etanol quanto de biodiesel.

“Juntos, esses países do continente americano querem definir estratégias que permitam usar ciência de alta qualidade a fim de que os recursos naturais sejam utilizados de forma sustentável”, diz Marcos Buckeridge, professor do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, coordenador do *workshop*. Realizado no âmbito do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (Bioen), o evento foi organizado e patrocinado por agências financiadoras como a FAPESP, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a norte-americana National Science Foundation, além de instituições como a Universidade de São Paulo, a Universidade de Buenos Aires e a Universidade do Estado de Iowa. “O uso da água e da terra associado à produção de biocombustíveis tem consequências sociais, econômicas e ambientais importantes, além de questões tecnológicas complexas. Novos modelos, com equipes multidisciplinares e multinacionais, são necessários para investigar esse tema”, disse Robert Anex, professor da Universidade de Iowa.