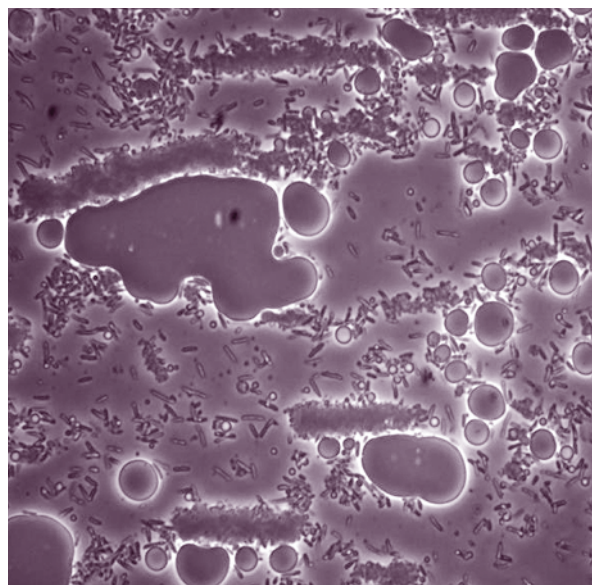


Diesel de cana

Combustível vai ser produzido por meio de transformações genéticas em leveduras

MARCOS DE OLIVEIRA

AMYRIS



Saccharomyces cerevisiae, a levedura em forma de bastão, em imagem de microscopia, na fase de fermentação

A cana-de-açúcar já não precisa ser identificada apenas pelo nome do tradicional adoçante. Essa gramínea doce já pode ser chamada também de cana de etanol, cana de energia elétrica, com a queima do bagaço que gera eletricidade, e não se pode esquecer da cana da cachaça, a bebida típica nacional. Dentro em breve ela poderá ser reconhecida também como a cana do diesel. A novidade é da Amyris-Crystalsev, uma parceria no formato *joint venture*, entre a Amyris, empresa norte-americana de biotecnologia, e a Crystalsev, uma das maiores empresas de comercialização de etanol e açúcar do Brasil, que pertence ao mesmo grupo da Usina Santa Elisa, de Sertãozinho, no interior paulista. Também participa do empreendimento a Votorantim

Novos Negócios, empresa de capital de risco que passou a investir na nova empresa. O feito tecnológico é da Amyris, que desenvolveu modificações genéticas em linhagens comerciais da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, responsável por transformar o caldo de cana em etanol durante o processo de fermentação nas usinas. A transformação faz o microorganismo secretar uma substância chamada farneseno, em vez de etanol, que pode ser utilizado em qualquer motor diesel, principalmente

em caminhões, ônibus e tratores.

Para viabilizar a tecnologia em larga escala, a Amyris precisava de parceiros que tivessem muita matéria-prima barata como fonte de açúcar e carbono. “No Brasil estamos fazendo a otimização do processo para escala industrial”, diz Roel Collier, diretor-geral da Amyris-Crystalsev. “A pesquisa básica com o desenvolvimento do microorganismo e até uma planta piloto foram feitas nos Estados Unidos.” Para o biólogo Fernando Reinach, diretor-executivo da Votorantim Novos Negócios, a decisão

da Amyris em produzir diesel de cana no Brasil se deve também ao conhecimento em fermentação em grande escala dominada pelas usinas brasileiras, no caso a Crystalsev, além do clima e de a produção ser feita de uma fonte barata de sacarose e carbono. “A produção de biocombustíveis a partir da cana tem que ser aqui porque fica caro exportar e transformar a garapa em outro lugar”, diz Reinach, que passou, em outubro, a fazer parte do conselho de administração da Amyris nos Estados Unidos. Para o novo diesel ser competitivo, o preço do barril de petróleo deve estar próximo a US\$ 60. O novo diesel não é biodiesel porque não passa pelos mesmos processos desse biocombustível. Reinach acredita que ele encontrará um bom mercado no exterior porque, além de ser uma *commodity*, o combustível é muito puro. “Ele é melhor que o melhor diesel existente hoje, principalmente porque não tem enxofre (um dos mais sérios responsáveis pela poluição do ar atmosférico) como o diesel do petróleo.” Essa característica tem um apelo ambiental forte, assim como o fato de o ciclo de dióxido de carbono (CO₂) ser favorável à cana porque as plantações, para fazer fotossíntese e crescer, absorvem esse gás para produzir novamente a sacarose que resultará no diesel.

A preparação do novo combustível exige poucas modificações no processo e no maquinário de produção tradicional de etanol. Ainda sem revelar todos os detalhes do processo, a Amyris-Crystalsev mostra em um esquema gráfico da produção que, depois da fermentação, quando o caldo de cana recebe o microorganismo modificado geneticamente pela Amyris, vem uma fase de separação, seguida de outra etapa de finalização química, quando o produto está pronto para ir ao mercado. São duas etapas que substituem as fases de destilação e desidratação do etanol.

A tecnologia biotecnológica usada pela Amyris foi a da reengenharia de metabolismo. “É modificar os genes que codificam as enzimas responsáveis por transformar o açúcar não em etanol, mas em um outro produto”, diz Reinach. Para isso, o trabalho foi quase como o de uma reengenharia reversa, em que a partir de um produto conhecido descobre-se como ele é feito. A molécula farneseno, que forma um líquido inco-

lor e é um componente do diesel fóssil, já era conhecida dos catálogos químicos e possui as mesmas propriedades do diesel, como em relação à combustão, embora seja um produto caro extraído de outras plantas como a citronela. Assim, as modificações genéticas foram direcionadas para a secreção de farneseno pela *Saccharomyces*. Os estudos começaram com os pesquisadores da empresa, que tem sede na cidade de Emeryville, no estado da Califórnia, fazendo o seqüenciamento do genoma da levedura. “Eles conheceram todos os genes da *Saccharomyces* que produzem etanol para entender também as diferenças que ela tinha com outras linhagens do mesmo microorganismo usadas em laboratório (a mesma levedura também é usada para produzir pão, cerveja e cachaça, por exemplo)”, diz Reinach. “Produzimos algumas ‘microcirurgias’ pontuais no material genético da levedura que modificou a rota metabólica do microorganismo”, diz Collier. “Foram introduzidas seqüências genéticas que incentivaram a produção de diesel em vez de etanol.” Cerca de 15 genes foram modificados. Os responsáveis pela novidade dizem

que a *Saccharomyces* é um organismo geneticamente modificado, mas não divulgam a origem dos genes nem se são de outros organismos. Isso acontece porque o processo ainda se encontra na fase de elaboração de patentes.

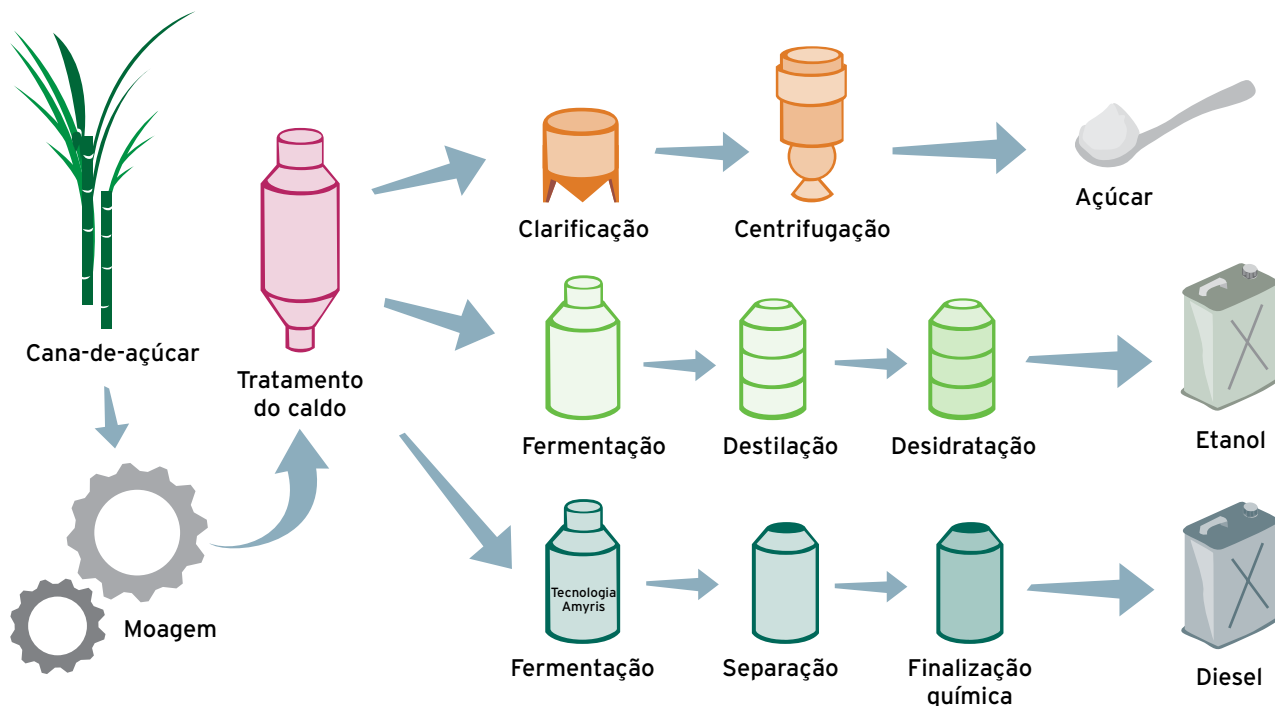
Campinas e Sertãozinho - Na atual fase do projeto Amyris-Crystalsev, o momento é de engenharia da planta industrial que deverá ser instalada na Usina Santa Elisa, em Sertãozinho, em junho de 2010. Antes, uma planta piloto estará pronta em 2009 no centro de pesquisa da empresa no Technopark, em Campinas, no interior paulista. A produção começará com 10 milhões de litros de diesel por ano. Em 2011 passará para 50 a 60 milhões de litros na Santa Elisa. A partir daí, a *joint venture* pretende ofertar a tecnologia para outros grupos sucroalcooleiros. O consumo de diesel no Brasil deve atingir 45 bilhões de litros em 2008, mas a expectativa, segundo divulgou a própria empresa com base em analistas do setor, é de 80 bilhões em 2020.

No entanto, a tecnologia da Amyris não deve se limitar ao novo diesel. “Já é possível afirmar que poderemos fazer

querosene de aviação, gasolina e avançar também no caminho da indústria petroquímica”, diz Reinach. Com microorganismos reengenheirados com biotecnologia e alimentados com açúcar, os dirigentes da empresa afirmam ser possível produzir todos esses combustíveis além de insumos para a indústria de plásticos. Todo esse processo tecnológico pela Amyris foi iniciado com pesquisa básica no Departamento de Engenharia Química e Bioengenharia da Universidade da Califórnia, em Berkeley, pelo professor Jay Keasling, sócio-fundador da empresa com outros três pesquisadores de pós-doutorado da mesma universidade, Neil Renninger, atual diretor de tecnologia, e Kinkead Reiling e Jack Newman, vice-presidentes. Keasling não participa do dia-a-dia da Amyris, mas está ligado ao conselho científico da empresa. Atualmente ele é o diretor-executivo do Joint BioEnergy Institute (JBEI) – algo como instituto reunido de bioenergia, em português –, um novo centro científico norte-americano, também situado em Emeryville, que tem a missão de avançar no desenvolvimento de novos biocombustíveis. Formado em junho de 2007, o instituto foi criado pelo

Diferenças da produção de açúcar, etanol e diesel

A levedura modificada geneticamente atua na fase de fermentação



Departamento de Energia dos Estados Unidos em parceria com o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, o Laboratório Nacional Sandia e o Laboratório Nacional Lawrence Livermore, além da Universidade da Califórnia em Berkeley e em Davis.

A Amyris Biotechnologies foi fundada em 2003 para desenvolver as plataformas tecnológicas vislumbradas pelo grupo. Além da recente participação da Votorantim Novos Negócios, a empresa já recebeu investimentos de mais quatro empresas de capital de risco, que somam no total mais de US\$ 100 milhões, como a Kleiner Perkins Caufield & Byers, que participou do nascimento do Google, da Amazon e da America Online. Também recebeu investimentos da Khosla Ventures, TPG Ventures e da eDAG Ventures.

O primeiro produto da empresa foi o desenvolvimento da síntese em laboratório da artemisinina, princípio ativo de um medicamento contra a malária muito usado na África e na Ásia. Até então ela era extraída da própria planta artemísia (*Artemisia annua*), num processo caro que exige grandes quantidades do vegetal. A equipe da Amyris conseguiu produzir a artemisinina por meio da reengenharia genética de uma bactéria muito usada em laboratório, a *Escherichia coli*. Novos genes, enzimas e açúcar num processo de fermentação fazem a bactéria modificada produzir o medicamento. Com isso o produto foi barateado em 90%, segundo a empresa. O projeto, iniciado em 2004, durou três anos e meio, foi realizado em parceria com a Universidade da Califórnia em Berkeley e teve um investimento de US\$ 42,6 milhões do Instituto OneWorld Health, da Fundação Bill & Melinda Gates. A Amyris está transferindo a tecnologia de produção da artemisinina para a Sanofi-Aventis, indústria farmacêutica de origem francesa, que vai produzir o medicamento a partir de 2010.

A Amyris na sua sede em Emeryville deverá atingir o número de 200 funcionários até o final de 2008. No Brasil, na empresa Amyris-Crystalsev, já são 20 pesquisadores, sendo 50% com doutorado. “Entre janeiro e março de 2009 nós vamos contratar mais pesquisadores para implementar a usina piloto e a futura usina industrial”, diz Collier, da Amyris-Crystalsev. ■

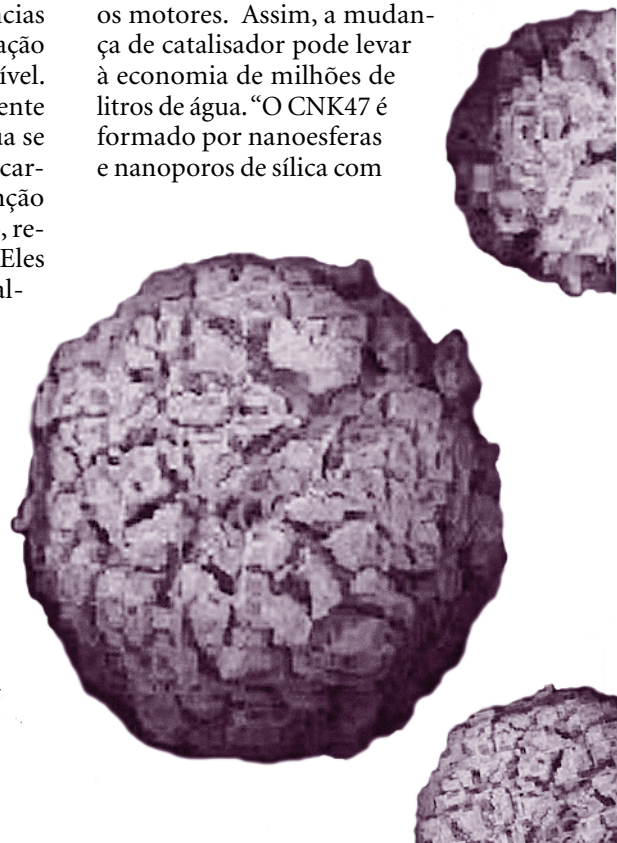
Menos desperdício

Dois estudos resultam em catalisadores que podem tornar a produção de biodiesel mais eficiente e limpa

Produto de origem vegetal fabricado com plantas oleaginosas, principalmente a soja, o biodiesel está presente em 3% do diesel vendido nas bombas de combustível do país e já coloca o Brasil na terceira posição mundial com uma produção de 557 mil metros cúbicos (m^3) entre janeiro e julho deste ano, atrás da Alemanha e dos Estados Unidos. Mas o aumento da produção não vem acompanhado de uma evolução tecnológica. Mesmo no exterior o processo de produção de biodiesel ainda revela problemas para um biocombustível que teoricamente deveria apresentar uma produção mais limpa e eficiente. Dois desses problemas são o uso excessivo de água no processo e a utilização de catalisadores como soda cáustica (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH), substâncias usadas para acelerar a transformação do óleo vegetal em biocombustível. Os dois catalisadores são altamente contaminantes do solo e da água se não tiverem um adequado descarte. Problema que mereceu a atenção de dois estudos e, como solução, resultou em novos catalisadores. Eles podem se transformar numa alternativa tecnológica para esse processo, tornando a produção mais eficiente e sustentável do ponto vista ambiental.

No Departamento de Física e Química da Universidade Federal de Itajubá (Unifei), o professor Alvaro Antonio Alencar de Queiroz e o aluno Rafael Silva Capaz, do curso de engenharia ambiental, desenvolveram um catalisador inorgânico nano-

estruturado alcalino chamado de CNK47. Com ele é possível fazer a catálise no processo de produção de biodiesel reutilizando a substância em até cinco sessões diferentes de produção até atingir a saturação. Ao contrário dos catalisadores convencionais chamados de homogêneos, o CNK47 é sólido e não se mistura ao produto. Ele pode ser reutilizado várias vezes e não é necessário lavar o biodiesel para a retirada de restos de catalisadores como acontece numa situação convencional. Com o uso de soda cáustica na produção de biodiesel é preciso gastar, por exemplo, 500 litros de água além dos mil litros produzidos de biodiesel para que o produto final fique totalmente limpo. Além do perigo da contaminação, qualquer remanescente de soda no biocombustível pode se tornar um forte corrosivo para os motores. Assim, a mudança de catalisador pode levar à economia de milhões de litros de água. “O CNK47 é formado por nanoesferas e nanoporos de sílica com



elevado conteúdo de potássio disponibilizado na forma de um pó”, diz o professor Queiroz, do Instituto de Ciências Exatas da Unifei.

O novo catalisador é instalado num reator com uma coluna impregnada com o CNK47, num sistema de fluxo contínuo em que o óleo já misturado ao álcool (no processo de transesterificação necessário para a produção de biodiesel), no caso o metanol, passa pelo catalisador, que não se dissolve, antes de se transformar em biodiesel e glicerina, um subproduto da fabricação do biodiesel (ver Pesquisa FAPESP nº 149). A nanoestrutura do produto, como qualquer outro material nanométrico – medida equivalente a um milímetro dividido por um milhão de vezes –, possui elevada área superficial porque grande parte das moléculas existentes nos nanoporos está em contato, no caso, com a mistura de óleo e álcool, facilitando a reação química.

Escala industrial - “Os nossos estudos foram realizados em laboratório com óleo de soja e metanol (os ingredientes mais utilizados no país). O ideal agora é fazer o experimento em projetos piloto em escala industrial com quantidades maiores dos produtos, o que já está sendo realizado por uma empresa paulista.

▶ O PROJETO

Processo catalítico baseado em peneiras moleculares para reações de transesterificação, úteis na produção de biodiesel

MODALIDADE

Programa de Apoio à Propriedade Intelectual (Papi)

COORDENADOR

DÍLSON CARDOSO - UFSCar

INVESTIMENTO

R\$ 6.000,00 (FAPESP)

Eles estão realizando os testes desde setembro deste ano e, por contrato de sigilo, nós não podemos divulgar o nome da empresa”, diz Queiroz. Após a confirmação dos resultados em escala industrial será formulada uma patente pela Unifei e pela empresa com âmbito internacional. O trabalho ficou conhecido ao ganhar o primeiro lugar da 16ª Edição do Prêmio da Sociedade Mineira de Engenheiros de Ciência e Tecnologia de 2007.

Um outro catalisador heterogêneo foi inventado por pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e da Universidade de Ribeirão Preto (Unaerp). Nele também existe a preocupação de tornar o processo mais limpo e diminuir etapas da produção de biodiesel, eliminando o uso de água. É formado por um composto de silicatos, argilas, alumínio e zeólitas, um tipo de mineral poroso que serve de base para o catalisador. “As zeólitas possuem poros nanométricos como uma peneira molecular onde acontece a reação química”, diz o professor Dílson Cardoso, do Departamento de Engenharia Química da UFSCar. Ele trabalha há 28 anos com catálise principalmente ligada a processos industriais das áreas de combustíveis e química fina.

Nanoesferas e detalhe em microscopia eletrônica do catalisador CNK47 idealizado em Itajubá

“Há nove anos começamos a trabalhar com catalisadores para combustíveis líquidos e desenvolvemos um que aumenta a octanagem da gasolina, fator que melhora a qualidade desse combustível.” É um produto para ser utilizado nas refinarias, na obtenção de uma gasolina que melhora o desempenho do veículo.

“Em 2006, com o início da produção de biodiesel no Brasil, resolvemos utilizar as zeólitas também na reação de transesterificação, necessária para a produção desse combustível porque possuíamos experiência no uso desse mineral e até uma patente de um catalisador com base nas peneiras zeolíticas voltado para as indústrias químicas e farmacêuticas. Desenvolvemos outro catalisador para a produção de biodiesel e já entramos com pedido de patente no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI)”, diz Cardoso, que possui como co-autores os alunos de doutorado Leandro Martins, com bolsa da FAPESP, e Demian Fabiano, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). “Agora trabalhamos na estabilidade do produto para que possa ser reutilizado várias vezes”, diz Cardoso.

Os catalisadores heterogêneos formulados por Queiroz e Cardoso apresentam muitas vantagens em relação aos produtos convencionais, como não precisar usar água no processo e eliminar os efluentes danosos ao ambiente, mas também mostram algumas dificuldades a serem superadas. Entre as desvantagens, Queiroz aponta a necessidade de temperaturas elevadas para o processo desenvolvido na Unifei, que necessita de 80° Celsius (C) para funcionar, fator que exige gasto de energia elétrica ou de outras fontes. O catalisador de Cardoso funciona a 50°C. O processo de síntese dessas substâncias também exige altas temperaturas. O catalisador CNK47 foi sintetizado em 600°C por 24 horas. “Ainda é caro fazer isso no país principalmente em pequenas quantidades.” Mesmo com dificuldades, o futuro da produção de biodiesel é promissor e dependente de novas tecnologias e da evolução de pesquisas e inventos, como mostraram os estudos recentes desses dois grupos de pesquisadores ■

IMAGENS UNIFEI

