

BIOCOMBUSTÍVEIS

Etanol de mandioca doce

Variedade de raiz açucarada reduz etapa no processo de produção do álcool combustível

DINORAH ERENO

Durante uma viagem de coleta de plantas na Amazônia o pesquisador Luiz Joaquim Castelo Branco Carvalho, da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, de Brasília, conheceu uma variedade de mandioca que em vez de amido tem grande quantidade de açúcares na raiz. Esses açúcares são, em sua maior parte, glicose, que é o substrato utilizado no processo de fermentação para a produção do etanol. A variedade descoberta pelo pesquisador é na realidade uma mutação genética, guardada e usada pelos índios brasileiros antes mesmo de os portugueses chegarem ao Brasil, para obtenção de bebida alcoólica. “Eles usavam a bebida, chamada caxirim, nas cerimônias religiosas e nas celebrações”, diz o pesquisador.

A planta mutante, após um processo tradicional de seleção de variedades e cruzamento com plantas adaptadas a algumas regiões escolhidas para futuros plantios, resultou em uma variedade que dispensa o processo de hidrólise do amido da mandioca para transformação em açúcar e conversão em álcoois, inclusive o carburante para o combustível. “A eliminação da hidrólise do amido reduz em torno de 30% o consumo de energia no processo de produção de etanol de mandioca”, diz Carvalho.

Da variedade, chamada de mandioca açucarada, a raiz é colhida, moída, prensada e o caldo sai pronto para ser usado no processo de produção do álcool, o que a diferencia das outras matérias-primas utilizadas com a mesma finalidade. “Os substratos que existem no reino vegetal ou são sacarose, da cana, da beterraba e do sorgo sacarino, por exemplo, ou amido, do milho, de raiz de mandioca, grãos de arroz e grãos



EDUARDO CESAR

Mais de 600 produtos podem ser obtidos a partir da fécula da mandioca para utilização em vários setores industriais

de sorgo. Também podemos fazer etanol de bagaço da cana, de gramíneas e resíduos de lavouras”, diz Carvalho, que tem em seu currículo, além da formação em agronomia na Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, mestrado em genética, doutorado em bioquímica e pós-doutorado em genética evolutiva e biologia molecular. Pelo processo tradicional de produção de álcool de mandioca é preciso recorrer a enzimas para transformar o amido em açúcar.

Nichos agrícolas - A proposta de produzir álcool a partir da mandioca açucarada não significa concorrência com o etanol de cana-de-açúcar, mas sim a possibilidade de ocupar outros nichos agrícolas, como a Amazônia, o Nordeste e o Centro-Oeste. Essas foram as regiões escolhidas por Carvalho para dar início ao teste de variedade, primeiro passo para saber se a característica de produzir glicose em vez de amido mantinha-se em todos os locais. Como o ciclo da mandioca, do plantio à colheita, é longo, no caso da convencional fica entre 18 e 24 meses, os testes foram realizados entre os anos de 2001 e 2004. “Para a mandioca açucarada o ideal é a colheita ser feita dez meses após o plantio”, diz Carvalho. Isso porque, como a raiz é muito macia e contém grande quantidade de açúcares, se a planta não for colhida na época certa as raízes sofrem ataque de formigas e roedores, pragas que pouco atacam as mandiocas tradicionais.

Os resultados de três anos de experimentos apontaram uma produção que variou de 8 a 60 toneladas de raiz por hectare, dependendo da variedade plantada. A que teve melhor desempenho foi utilizada para cruzamentos de autopolinização e cruzamentos convencionais com variedades

Folhas de
mandioca
de variedade
tradicional

locais, para transferir a característica de elevada quantidade de glicose para as plantas adaptadas em diferentes regiões. Dependendo do lugar, a variedade já está pronta para ser usada para produção em larga escala com a tecnologia agrícola da mandioca convencional. “Na região amazônica podemos agora fazer propagação clonal e dar início às lavouras”, diz o pesquisador. Para o Cerrado, a estimativa é que sejam necessários cerca de três anos para plantio em uma área extensa, e para o Nordeste, uns cinco anos.

Com a variedade testada foi obtido um rendimento de 14 metros cúbicos (m^3) de álcool por hectare ao ano. Isso por um processo de fermentação que dura apenas dez horas. Pelo processo convencional de hidrólise de amido da mandioca o rendimento é em torno de $6,4 m^3$ de álcool por um processo de fermentação que dura cerca de 60 a 70 horas, enquanto o processo tradicional da cana chegou a $8 m^3$ num tempo de 48 horas. “Para chegar aos $14 m^3$ partimos para o melhoramento por meio do conhecimento de um processo biológico da planta em que ela própria hidrolisa o amido depois de certo estágio de desenvolvimento e utilizamos a biotecnologia para identificar a mutação ocorrida nos genes que deu origem ao

> O PROJETO

Influência da densidade populacional em diferentes épocas de colheita na produção e na qualidade das raízes de mandioca de mesa (Manihot esculenta Crantz)

MODALIDADE

Auxílio Regular a Pesquisa

COORDENADORA

TERESA LOSADA VALLE - IAC

INVESTIMENTO

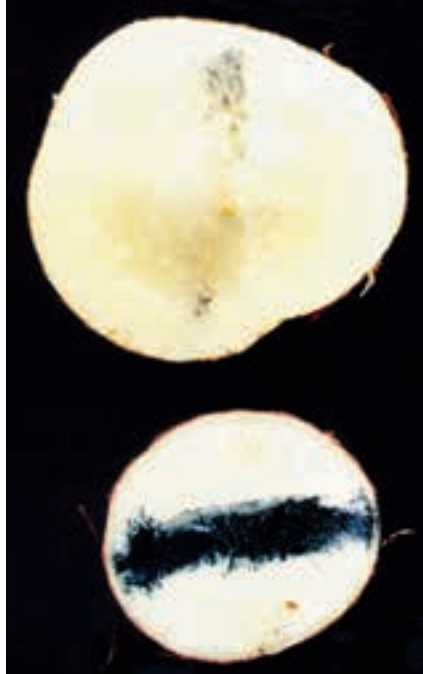
R\$ 11.250,00 e
US\$ 537,40 (FAPESP)



EDUARDO CESAR

açúcar disponível nas raízes da mandioca açucarada”, diz Carvalho. As mesmas ferramentas da biotecnologia genômica funcional e da proteômica utilizadas pela equipe da Embrapa que identificou a mutação nos genes da mandioca açucarada foram também usadas para selecionar a mesma característica nas variedades comerciais.

Alternativa viável - Produzir álcool combustível da mandioca não é novidade no Brasil. Desde os primeiros tempos da implementação do Proálcool, o programa brasileiro criado no final de 1975, a planta era considerada uma alternativa viável para a produção de etanol. Naquela época, seis usinas foram instaladas no Brasil para a produção de álcool a partir da mandioca. Entre 1978 e 1983 a Petrobras produziu o combustível em uma unidade do Maranhão. No entanto, como essas usinas foram construídas em regiões pouco tradicionais de produção da planta, tornaram-se inviáveis. “Embora existissem muitos projetos para estudos de



EMBRAPA

Teste feito com iodo indica mandioca com açúcar (*no alto*) e com amido

mandioca na época, poucos tinham base científica”, diz a engenheira agrônoma Teresa Losada Valle, pesquisadora do Instituto Agrônomo (IAC), de Campinas, no interior paulista, que há 23 anos pesquisa o tubérculo. “Além disso, inexistia uma tecnologia eficiente para o cultivo em grande escala.”

Desde então, o cenário do cultivo da mandioca sofreu modificações, com um considerável desenvolvimento tec-

nológico da cultura, principalmente nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. “Na região situada na área limítrofe dos três estados formou-se um complexo industrial que produz e processa cerca de 6 milhões de toneladas de raízes de mandioca para farinha e amido”, diz Teresa. Criou-se também uma indústria de insumos especializados para o cultivo da mandioca totalmente brasileiro, que faz da região referência mundial. “O Brasil é grande exportador de tecnologia de mandioca tanto na área agrícola como na industrial”, diz a pesquisadora, que teve recentemente um projeto aprovado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para estudar o tubérculo para a produção de álcool.

“Com tecnologias industriais, mais de 600 produtos podem ser obtidos da fécula de mandioca para utilização em vários setores, que compreendem desde a indústria de alimentos, indústria siderúrgica, farmacêutica, alimentação animal, indústria têxtil e de papel”, diz

Domesticação indígena

Evidências obtidas em testes de DNA e estudos arqueológicos apontam a origem e a domesticação da mandioca (*Manihot esculenta*) em uma região que compreende os estados do Acre, Rondônia e Mato Grosso há cerca de 10 mil a 12 mil anos. “O ancestral da mandioca surgiu naquela região, indicando que a domesticação foi feita na Amazônia”, diz o pesquisador Luiz Joaquim Castelo Branco Carvalho, da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. O gênero *Manihot* é constituído por 98 espécies, sendo que 80 delas ocorrem no Brasil, 12 no México e o resto na América Central e do Norte. “Pela distribuição geográfica das espécies nas Américas e o número delas em locais específicos é que se formulam as hipóteses de possível domesticação”, explica Carvalho. Das 98 espécies desse gênero, somente uma delas, que ocorre no Brasil, foi domesticada e é cultivada pelo homem.

Com a tecnologia de DNA estabeleceu-se que a mandioca cultivada é derivada de uma única espécie que seria o seu ancestral, denominada *Manihot esculenta ssp. flabellifolia*. “As pesquisas arqueológicas relatam o achado de resíduos de mandioca em um sítio de mais de 8.400 anos numa região da Amazônia, na fronteira entre Brasil, Bolívia e Paraguai”,

diz Carvalho. Esse achado corrobora as pesquisas com DNA que indicaram que, em torno dessa região, foi encontrada a planta que deu origem à mandioca há cerca de 10 a 12 mil anos e, com isso, o início da domesticação pelo homem.

“A mandioca é um dos grandes legados indígenas para o mundo moderno”, diz a pesquisadora Teresa Losada Valle, do IAC. As culturas indígenas, que fizeram da mandioca a sua base alimentar, ajudaram na domesticação de plantas que na atualidade podemos identificar como sofisticados processos biológicos e bioquímicos de grande utilidade na agricultura moderna. “A raiz altamente tóxica da mandioca-brava, uma variedade que contém alto teor de ácido cianídrico, transformava-se em farinha de mandioca sem nenhum vestígio de veneno e facilmente armazenável”, diz Teresa. O mesmo processo é utilizado ainda hoje. Na região fronteira entre o Brasil e o Paraguai, tribos indígenas desenvolveram variedades mansas, com reduzidíssima quantidade de substâncias tóxicas. A mandioca tornou-se uma planta tão eficiente que virou um alimento básico na cultura da Amazônia antes do descobrimento, assim como o milho na região do México e a batata nos Andes.



Carvalho. A planta voltou a entrar na pauta de discussão para a produção de etanol desde que se intensificou a busca por combustíveis renováveis e não poluentes. O amido também é uma das matérias-primas mais cotadas para substituir os produtos de plástico fabricados com derivados de petróleo.

Com relação ao processamento, assim como todas as matérias-primas amiláceas (batata-doce, milho), a mandioca deve ter o amido quebrado em moléculas menores para que possa ser transformada em álcool pelas leveduras. Nos anos 1970, esse processo era bastante restritivo, porém atualmente as enzimas utilizadas no processo são eficientes, embora ainda com custos elevados, mas de fácil aquisição. E as perspectivas são de melhoria para o processo, uma vez que os Estados Unidos estão desenvolvendo novas tecnologias para a produção de etanol a partir do milho. “O amido é a forma de armazenamento

temporário de açúcares das plantas”, explica Teresa. A mandioca armazena esse polissacarídeo, formado pela união de várias moléculas de glicose, nas raízes para usar em caso de necessidade, como quando falta água ou luz para a planta fazer a fotossíntese – funciona como uma reserva energética.

Para a pesquisadora, enquanto a cana se desenvolveu como um sistema de produção de grande escala, assim como ocorreu com a borracha e o café anteriormente, a mandioca para a produção de etanol pode basear-se em um modelo totalmente diferente, fundamentado em pequenas propriedades agrícolas extremamente eficientes. “Podemos caminhar para isso por dois motivos: pela própria fisiologia da planta e pelo desenvolvimento tecnológico, que até agora progrediu com máquinas, equipamentos e sistemas de gerenciamento e manejo para pequenas propriedades”, diz Teresa.

Uma das características mais marcantes da mandioca é a capacidade de produção, mesmo em condições adversas. “Em solos pobres, com baixo nível de adubação, onde outras culturas são inviáveis ou de alto risco, a planta tem um desempenho bastante satisfatório”, explica a pesquisadora. Esse comportamento é explicado pela eficiente associação de fungos com raízes da mandioca, conhecida como micorrizas, e pela associação com outros microorganismos fixadores de nitrogênio. A planta também é resistente à falta de chuvas tanto no plantio como durante o período produtivo.

Alimento bovino - A mandioca é uma planta perene e, a partir do momento em que as raízes atingem uma produção considerada satisfatória, por volta dos dois anos, podem ser colhidas, mas se ficarem no campo continuam acumulando amido. Além da raiz para etanol, é possível aproveitar as ramas para



TERESA LOSADA VALLE/IAAC

Plantio de mandioca em grande extensão de terra

Mesmo com esse resultado favorável, o principal gargalo que a mandioca enfrenta em relação à cana para a produção do etanol é a baixa produtividade agrícola. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que em 2006 a produtividade média brasileira da mandioca ficou em 14 toneladas por hectare (t/ha), enquanto a da cana apresentou rendimento de 74,4 t/ha no mesmo período. No estado de São Paulo, a produtividade média da mandioca para indústria ficou em torno de 26 t/ha, praticamente o dobro da nacional. O milho, principal matéria-prima utilizada nos Estados Unidos para a produção de etanol, apresentou produtividade média brasileira de apenas 3,4 t/ha.

Os custos de produção da cana são menores se comparados aos da mandioca. Segundo dados divulgados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo em Piracicaba, para a região de Assis, no interior paulista, o custo da tonelada da cana foi de R\$ 37,60 por tonelada na safra de 2005 a 2006, enquanto o da mandioca correspondeu a R\$ 84,52 por tonelada no mesmo período. “O fato de a mandioca não apresentar viabilidade em comparação com a cana-de-açúcar ocorre devido a elevados investimentos realizados no setor sucroalcooleiro, que favoreceram ganhos em produtividade agrícola e em rendimentos industriais”, diz o pesquisador Fábio Isaias Felipe, do Cepea, que publicou estudos conjuntos com Lucilio Rogério Aparecido Alves, da mesma instituição, sobre o álcool de mandioca como fonte de energia. O pesquisador acredita que é possível viabilizar a produção de etanol da mandioca realizando os tratamentos culturais necessários e investindo na tecnologia agrícola. “Certamente conseguiremos resultados mais favoráveis para a mandioca, mas é preciso pensar em nichos específicos de mercado, e não na concorrência com o álcool a partir da cana.” ■

alimentação animal. Para uma produção de 50 toneladas de raiz, são produzidas de 40 a 50 toneladas de rama, que ficam abandonadas no campo. “Essa rama é um excelente alimento principalmente para bovinos, porque ela tem muita fibra, amido, proteína, sais minerais e açúcares”, diz Teresa. Para usá-la, basta picar e deixar evaporar o ácido cianídrico, que é tóxico.

Uma das grandes vantagens para exploração da mandioca como produtora de etanol é que não existe no mundo um país que disponha de tanta diversidade genética dessa planta como o Brasil, porque ela foi domesticada aqui. O amido da planta é uma fonte energética bastante eficiente. “Enquanto 1 tonelada de cana produz 85 litros de álcool, 1 tonelada de mandioca com rendimento de 33% de amido e 2% de açúcares pode produzir 211 litros de álcool combustível, mas já existem variedades com 36% de amido”, diz Teresa.

O PROJETO

Dividido em três fases:

- 1 - *Coleta do germoplasma e reconhecimento do centro de origem e domesticação da mandioca (de 1996 a 2001)*
- 2 - *Geração e utilização das ferramentas biotecnológicas para identificação das mutações (2002 a 2004)*
- 3 - *Testes de funcionalidade genética das mutações e geração das variedades comerciais (de 2005 em diante)*

COORDENADOR

LUIZ JOAQUIM CASTELO BRANCO
CARVALHO - Embrapa

INVESTIMENTO

- 1 - US\$ 180 mil (Fundação Rockefeller)
- 2 - R\$ 194 mil (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia); R\$ 160 mil (CNPq)
- 3 - € 160 mil (Agência Internacional de Energia Atômica - IAEA, na sigla em inglês)