

Biocombustíveis



Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República

Cadernos NAE

Processos estratégicos de longo prazo

Número 2 / 2005

© NAE-Secom/PR, 2005

Biocombustíveis

Cadernos NAE: nº 2, janeiro 2005

Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República

Presidente: Luiz Gushiken, Ministro-Chefe da Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica (Secom)

Coordenador: Glauco Arbix, Presidente do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)

Secretário Executivo: Oswaldo Oliva Neto - *Coronel EB*

Projeto gráfico e diagramação: Anderson Moraes

Revisão: Nathália Kneipp

SCN Q. 2 Bl. A Corporate Financial Center, sala 1102

70712-900 Brasília, DF - Tel: (55.61) 424-9600 - Fax: (55.61) 424-9661

<http://www.planalto.gov.br/secom/nae/>

e-mail: cadernosnae@planalto.gov.br ou nae@planalto.gov.br

As opiniões, argumentos e conclusões apresentadas nos documentos que compõem este Caderno são de inteira responsabilidade dos autores e não representam as posições do Governo Brasileiro.

Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. - nº. 2 (jan. 2005). - Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005-

Irregular
ISSN 1806-8588

1. Estudos estratégicos – Brasil. 2. Desenvolvimento. 3. Políticas públicas e setoriais. 4. Energia. 5. Biocombustíveis. 6. Biodiesel. 7. Etanol.

CDU: 35:005(81)

Impresso em Brasília, 2005

Sumário

Apresentação	5
Seção 1 - Avaliação do biodiesel no Brasil	9
Resumo executivo	11
Introdução	17
Programas de biodiesel no mundo	19
Aspectos tecnológicos	25
Aspectos ambientais	31
Histórico de uso energético de óleos vegetais no Brasil	33
Mercado para biodiesel no Brasil	35
Matérias-primas para o biodiesel no Brasil	37
Aspectos econômicos	51
Conclusões	67
Recomendações	75
Observação final	81
Nota 1 – Rotas tecnológicas e matérias-primas	83
Nota 2 – Especificações e testes	89
Nota 3 – Uso energético de óleos vegetais como combustíveis no Brasil	95
Nota 4 – Palmeiras e biodiesel no Brasil	101
Nota 5 – Glicerol: mercados e perspectivas	105
Nota 6 – Geração de empregos e rendas: dendê	109
Nota 7 – Formação do preço do óleo diesel no Brasil	111
Seção 2 - Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil	113
Resumo executivo	115
Introdução	123
Parte A. Evolução e estágio atual da produção no Brasil	125
A cadeia produtiva hoje	125
Aspectos tecnológicos e ambientais	130
Geração de emprego e renda	155
Aspectos econômicos	160
Parte B. Perspectivas de evolução e competitividade para exportação nos próximos dez anos	163
Produção de etanol no mundo	163

Custos de produção e competitividade	164
Mercados para o etanol: Brasil e exterior, próximos dez anos	170
Mercados de açúcar e evolução da produção de cana	175
Impactos de um aumento substancial da produção nos próximos anos	179
Resumo e recomendações	195
Nota 1 – Correção dos custos de produção, abril 2001 – janeiro 2003	203
Nota 2 – Custos de produção de etanol de lignocelulósicos	205
Nota 3 – Custos de produção de etanol de milho (EUA) e de beterraba e trigo (UE)	211
Nota 4 – Políticas para a produção de etanol em algumas regiões selecionadas	215
Coordenadores técnicos	221
Especialistas consultados	229

Apresentação

No início de 2003, o Senhor Presidente da República determinou ao Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) que desenvolvesse uma análise técnica de temas estratégicos para o país. O conteúdo deste número dos “Cadernos NAE” apresenta uma análise de dois estudos abrangentes sobre a produção e o uso do biodiesel, junto com uma avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil. Conduzida sob a coordenação de consultores mobilizados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), esta análise constou de uma consulta a vários especialistas nesses temas, dos setores empresarial, governamental e acadêmico, além da análise de publicações recentes referenciadas no texto.

Trata-se, portanto, de material dotado de sólida metodologia de pesquisa, embasado em estudos empíricos e em consultas extensivas, e preparado como subsídio para alimentar um debate mais amplo com vistas à produção de elementos factuais e conceituais. Contribui, desta maneira, para uma informação sobre aspectos importantes da formação de uma visão governamental sobre o tema.

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversas matérias-primas e ser utilizado em estado puro ou em mistura com o diesel mineral, em diversas proporções. Quanto ao etanol, existem resultados efetivos desde sua incorporação à matriz energética brasileira, em 1975. Houve aumento da produção, visando a sua utilização para a redução de emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo no setor de transportes.

A evolução tecnológica relativa ao biodiesel mostra a tendência para a adoção da transesterificação com metanol ou etanol como processo principal para o uso em mistura com o diesel, possibilitando a sua introdução na frota atual de veículos automotivos sem nenhuma modificação dos motores.

A diversidade de matérias-primas, processos e usos é uma grande vantagem. Contudo, leva-nos à responsabilidade de analisar adequadamente os parâmetros, que variam muito, dependendo da escolha feita, tais como: os custos totais envolvidos em sua produção; as emissões no ciclo de vida; as possibilidades de geração de emprego; as disponibilidades de área e mão-de-obra adequadas, entre muitos outros fatores que foram considerados neste estudo. Verificou-se que cada caso precisa ser analisado de acordo com as suas especificidades.

Em 23 de dezembro de 2003, o Governo Federal instituiu, por meio de Decreto Presidencial, a Comissão Executiva Interministerial encarregada de implantar ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal – biodiesel, como fonte alternativa de energia. A Comissão se reporta à Casa Civil da Presidência da República e tem sua unidade executiva coordenada pelo Ministério de Minas e Energia.

No plano da evolução legislativa, e refletindo os trabalhos conduzidos no âmbito das consultas realizadas por essa Comissão, deve-se registrar a entrada em vigor, em 14 de janeiro de 2005, da Lei nº 11.097, que dispõe sobre a introdução do

biodiesel na matriz energética brasileira. A nova legislação trata da produção, estocagem, distribuição e revenda de biodiesel no Brasil, incluindo o seu uso com o combustível automotor.

Ao analisar, avaliar e propor recomendações e ações, diretrizes e políticas públicas necessárias ao processo de implementação da produção e uso de biocombustíveis, o presente trabalho se insere no conjunto de contribuições sobre os temas, na perspectiva da referida Comissão e outras iniciativas correlatas.

Brasília, janeiro de 2005

*José Dirceu de Oliveira
Ministro-Chefe da Casa Civil*

*Dilma Roussef
Ministra de Minas e Energia*

*Eduardo Campos
Ministro da Ciência e Tecnologia*

*Luiz Gushiken
Ministro-Chefe da Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica*

Seção 1

Avaliação do biodiesel no Brasil

*Isaías de Carvalho Macedo
Luiz Augusto Horta Nogueira*

Resumo executivo

1. Aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais

O diesel combustível pode ser complementado por óleos vegetais modificados sem alteração dos motores. Não existem obstáculos técnicos ou normativos para o início da utilização de biocombustíveis em adição ao diesel, mas sua utilização implica em disponibilidade dos insumos, segurança no abastecimento, capacidade de processamento pela indústria e integração final aos circuitos de distribuição.

A utilização do novo combustível depende, entre outros fatores, de uma relação positiva entre a energia consumida no processo de produção, e a energia disponibilizada pelo combustível produzido. Por exemplo, no caso do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, essa relação é de 8,3 para um. Comparativamente, nos EUA o etanol tem uma relação de apenas 1,3. No Brasil, alguns estudos efetuados para fins de biodiesel indicam uma relação de 1,4 no caso da soja, de aproximadamente 5,6 no caso do dendê, e de 4,2 para a macaúba, o que confirma o potencial das palmáceas como fonte de matéria-prima, ou seja, maior produtividade e disponibilidade de resíduos de valor energético.

O uso do biodiesel reduz as emissões associadas ao diesel de base fóssil. Trata-se de um produto não-tóxico e biodegradável. Estudos da Europa, com o biodiesel produzido da canola,

concluíram que comparado ao diesel, o biodiesel puro reduz as emissões de gases de efeito estufa em 40-60%. As reduções no Brasil, a partir da soja, não seriam maiores.

2. Aspectos de mercado

Em 2002, a demanda total de diesel no Brasil foi de 39,2 milhões de metros cúbicos, dos quais 76% foram consumidos em transportes. O país importou 16,3% dessa demanda, o equivalente a US\$ 1,2 bilhão. Como exemplo, a utilização de biodiesel a 5% no país, demandaria, portanto, um total de 2 milhões de metros cúbicos de biodiesel.

3. Matérias-Primas, tecnologia agrícola e disponibilidade de áreas no Brasil

Muitas oleaginosas podem ser usadas para a produção de biodiesel. A área para suprir 5% do diesel B5 com oleaginosas locais, e usando apenas soja, dendê e mamona, seria cerca de 3 milhões de hectares. A área de expansão possível para grãos é de pelo menos 90 milhões de hectares. As áreas aptas para o dendê atingem, na Amazônia, cerca de 70 milhões de hectares, com alta aptidão em cerca de 40%.

Se considerarmos o valor do produto, a mamona pode ser uma opção agrícola rentável para as regiões árida e semi-árida do Nordeste, independente do uso para biodiesel.

Segundo dados de 2002, a cultura da mamona no país é pequena, de 130 mil hectares. Constitui-se principalmente de pequenas unidades, de aproximadamente 15 hectares. Se considerarmos um programa de substituição a 1% do óleo diesel a partir da mamona, seria preciso multiplicar por oito a produção atual. Neste caso, seria essencial o fortalecimento da base agrícola com maior número de variedades. Teoricamente isto é possível, mas neste nível tratar-se-ia de programa muito mais voltado a atender aspectos sociais do que às necessidades de energia. O modelo proposto para a produção, de agricultura familiar “assistido” em assentamentos, deve ser bem avaliado nos seus múltiplos aspectos, com ênfase em custos totais e renda. Deve-se considerar a alternativa de exportação do óleo de mamona para usos não energéticos.

A soja conta com uma base agrícola variada e tecnologia adequada, além de uma enorme experiência da produção como cultura extensiva, de grandes áreas. Utiliza 20 milhões de hectares e dispõe de 100 milhões de hectares aptos para expansão. Não há limitações nem técnicas, nem de áreas para suportar um programa de biodiesel para misturas.

O dendê, independente de programas para biodiesel, deve merecer muita atenção. A produção mundial de óleo de dendê deverá ultrapassar a de soja no final da década. O Brasil produz apenas 0,5% do total mundial, embora tenha o maior potencial do mundo em áreas com aptidão agrícola. Existe uma experiência em curso, de agricultura familiar “assistida”, que deve ser bem avaliada. A atual oferta de variedades é adequada somente para

a pequena produção. A expansão do plantio para a produção de óleo de dendê exigirá o fortalecimento da pesquisa agrônômica.

4. Emprego e renda

O agronegócio da soja gera empregos diretos para 4,7 milhões de pessoas em diversos segmentos, de insumos, produção, transporte, processamento e distribuição, e nas cadeias produtivas de suínos e aves. Trata-se de uma produção de 52 milhões de toneladas em 20 milhões de hectares, no total, diretos e indiretos, quatro hectares por pessoa.

Para o dendê e mamona, os números de empregos diretos, e somente na produção agrícola (sem envolver toda a cadeia produtiva), são os seguintes: um exemplo para dendê, com 33 mil hectares plantados e 25 mil em produção, utiliza 3 mil empregos diretos. Na agricultura familiar “assistida”, o dendê conta com uma família para 10 hectares. Já os assentamentos previstos para mamona consideram um trabalhador para cada 10-15 ha (também apenas para a produção agrícola).

5. Custos, custos de oportunidade e competitividade

Na Europa e nos Estados Unidos o custo do biodiesel é hoje uma e meia a três vezes maior do que o diesel mineral. Não

há previsão de reduções importantes desse custo no futuro. O biodiesel é justificado por externalidades positivas como o meio ambiente, geração de emprego, segurança e balanço de pagamentos. O mesmo ocorreria no Brasil; com exceção possível no caso da mamona ou algumas oleaginosas que poderiam evoluir muito com a pesquisa agrícola. Contudo, é preciso conhecer de modo mais detalhado os custos atuais e esperados no futuro. Além de valorizar externalidades positivas importantes como a geração de empregos e renda, é importante dimensionar os níveis de subsídios necessários, decidir sobre a adequação, ou considerar alternativas.

A diferença entre custos de produção do diesel, sem impostos, e custos de oportunidade, que são os valores pagos no mercado internacional para os óleos vegetais, indica o valor do subsídio a ser pago diretamente ou por meio de renúncia fiscal. Mesmo no caso da soja, que conta com um subsídio mínimo, apenas a renúncia fiscal não seria suficiente para atingir o valor ideal para a incorporação do biodiesel como alternativa econômica ao óleo mineral. O óleo de dendê apresenta custo de produção baixo, equivalente ao do diesel mineral, sem impostos. Mas o maior custo de oportunidade do óleo torna necessário um subsídio direto mais elevado que o da soja.

A mamona parece ser um caso de difícil viabilização comercial para fins de biodiesel, uma vez que o óleo de mamona tem alto valor de mercado, com ganhos bem superiores aos da produção

de biodiesel. O mercado internacional para óleo de mamona é de cerca de 800 mil toneladas por ano; deverá ser analisado quanto à colocação da produção brasileira, e seu efeito no custo de oportunidade e volumes.

1. Introdução

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversas matérias-primas, tais como óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais, por meio de diversos processos. Pode, também, ser usado puro ou em mistura de diversas proporções com o diesel mineral.

A evolução tecnológica nos últimos anos mostra tendências para a adoção da transesterificação com metanol e etanol como processo principal para o uso em mistura com o diesel. Justifica-se pela possibilidade de introdução na frota atual de veículos automotivos, sem nenhuma modificação dos motores.

A diversidade de matérias-primas, processos e usos é uma grande vantagem, mas cada caso precisa ser analisado de acordo com as suas especificidades.

2. Programas de biodiesel no mundo

Para contextualizar alguns dos pontos que consideramos essenciais, resumimos algumas análises muito recentes, de 2004, sobre o maior programa de biodiesel do mundo, que ocorre na União Européia, e apresentamos dados concisos sobre programas selecionados em outros países.

a. União Européia

No final de 2003, a capacidade instalada na Europa ocidental e oriental era de cerca de 2,5 – 2,7 M t, com expectativas de atingir 3,3 M t no final de 2004. O direcionamento do programa de biodiesel da União Européia¹ objetiva a substituição de 2% do diesel usado para transportes em 2005; 5,75% em 2010, e 20% em 2020.

¹ IEA, Biofuels for transport: an international perspective, IEA/EET, Paris, maio 2004; comunicação ao CGEE.

A maior parte do óleo vegetal empregado neste programa vem do cultivo da colza. No momento, os custos de produção de óleo vegetal são, em média, cerca de duas vezes superiores ao do diesel mineral. Para atingir a meta de 2010 nas condições atuais, o nível de subsídios em forma de isenção de impostos seria de aproximadamente € 2,5 bilhões/ ano.

Análises recentes desse programa concluem que:

- O biodiesel é uma alternativa tecnicamente viável para o diesel mineral, mas seu custo hoje, de 1,5 a 3 vezes maior, o torna não

competitivo, se externalidades positivas, como meio ambiente local, clima global, geração e manutenção de emprego, balanço de pagamentos não forem consideradas. Esses custos já consideram todos os créditos por subprodutos (uso da torta residual; glicerina). Não são previstas possibilidades de reduções significativas no custo de produção, para os óleos vegetais usados na Europa para biodiesel. Trata-se de processos agrícolas e industriais muito conhecidos, “maduros” e eficientes. O custo de referência, de diesel mineral, sem impostos, utilizado nesta análise é de US\$ 0.22/ litro;

- Vantagens: melhora a lubricidade do diesel; menores emissões de poluentes locais e de gases de efeito estufa; não-tóxico e biodegradável; em baixas concentrações, não exige mudança nos motores; o balanço energético é sempre (na Europa) positivo, embora varie muito com a matéria-prima e com o uso dos subprodutos;
- Cuidados: os grandes volumes de glicerina previstos (subproduto) só poderão ter mercado a preços muito inferiores aos atuais; todo o mercado de óleo-químicos poderá ser afetado. Não há uma visão clara sobre os possíveis impactos potenciais desta oferta de glicerina.
- As áreas envolvidas são muito grandes. A UE precisaria mobilizar cerca de 5,5 M ha para atingir 3,2 a 4 % de biodiesel no diesel mineral.

b. Estados Unidos

O programa americano de biodiesel é bem menor que o europeu e apresenta diferenças importantes. A principal matéria-prima

utilizada é a soja, complementada com óleos de fritura usados. De acordo com o National Biodiesel Board, em 2002, foram produzidos aproximadamente 50 milhões de litros de biodiesel, usados basicamente como B20, mistura com 20% de biodiesel. Atualmente existem mais de 12 companhias produzindo este combustível nos Estados Unidos, com uma capacidade de produção da ordem de 200 mil toneladas anuais².

² McKeehan, A., National Biodiesel Board.

- Como o diesel americano possui uma menor carga tributária, apenas a renúncia fiscal não permite viabilizar o biodiesel. Além das medidas de caráter tributário, têm sido adotados incentivos diretos à produção como o Commodity Credit Corporation Bioenergy Program, que subsidia a aquisição de matérias-primas para fabricação de etanol e biodiesel, e atos normativos que determinam um nível mínimo de consumo de biocombustíveis, por órgãos públicos e frotas comerciais, como definido no Energy Policy Act (EPAAct)³.

³ Mixon, J., Dack, J., Kraucunas, I., Feng, J., The case for biodiesel, Report to Washington State Government, Seattle, June 2003.

c. Outros países

Iniciativas para a produção de biodiesel em escala comercial têm sido verificadas em outros países, como, por exemplo, Itália e Espanha, que apresentam produções crescentes deste produto.

Para fins de ilustração são brevemente comentados dois casos de implantação de programas congêneres, um bem-sucedido (China) e outro com limitações (Nicarágua), que podem ser de alguma utilidade para o desenvolvimento de um programa nacional.

Durante os anos 90 se desenvolveu na Nicarágua um projeto para biodiesel a partir do óleo de pinhão-manso (*Jatropha curcas*), uma euforbiácea bastante similar à mamona e que ocorre no Nordeste brasileiro, capaz de produzir cerca de 1.100 litros de biodiesel por hectare. Com apoio financeiro e capacitação austríaca, bem como envolvendo entidades públicas e universidades nicaragüenses, implantaram-se 1.013 ha de cultivos em pequenas unidades produtoras, distribuídas em 400 km², e uma planta industrial para produzir 8 mil toneladas anuais de biodiesel⁴.

- O projeto apresentava bons indicadores de viabilidade. Foram realizados estudos agrícolas prévios, seleção de variedades, formação de viveiros de mudas e capacitação de extensionistas.
- Após os dois primeiros anos de colheita e alguma produção de biodiesel, o projeto foi considerado inviável e encerrado. Segundo os gestores do projeto, o principal responsável pelo insucesso foi o modelo de produção agrícola, envolvendo muitos agentes, uma logística complexa e uma gestão ineficiente.
- Como os produtores haviam recebido financiamento estatal para formar os cultivos, mediante hipotecas de suas propriedades, o término do projeto provocou uma demorada crise social, resolvida com o perdão pelo Estado das dívidas existentes.

Na China, segundo informações do Professor Ji Xing⁵, cinco unidades transesterificadoras de óleo de colza e óleo de fritura usado produzem um volume de biodiesel superior à produção americana e inferior à produção europeia, atendendo as especificações similares à americana, definidas pela norma ASTM

⁴ Nogueira, L.A.H., Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central, CEPAL/GTZ, Ciudad de México, 2004.

⁵ Entrevista com Prof. Ji Xing.

D6751. A empresa Hainan Zhenghe Bio Energy Company investiu US\$ 5 milhões em uma planta industrial para uma produção anual de 45 mil toneladas de biodiesel, utilizando óleo de fritura usado.

3. Aspectos tecnológicos

Para converter óleos vegetais em combustíveis adequados o processo predominante é a transesterificação em meio alcalino, onde se fazem reagir os triglicérides com um álcool, etanol ou metanol, produzindo glicerina e ésteres dos ácidos graxos componentes do óleo vegetal. A diversidade de matérias-primas, óleos, e as alternativas de processo levam a diversos programas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Durante a década passada, a Comunidade Européia aplicou cerca de €100 milhões no Projeto de Demonstração de Biodiesel, considerado o mais relevante entre todos os programas europeus de bioenergia⁶. O programa americano de biodiesel, de menor porte, também tem recebido expressivo apoio. No curto período 1992 a 1997 foram desenvolvidos cerca de 350 projetos de pesquisa sobre biodiesel nos Estados Unidos, em um impressionante conjunto de estudos sobre produção, comercialização, uso e suas implicações⁷.

⁶ Mangan, C.L., Non-Food Crops and Non-Food Uses in EC Research Programs, Biomass for Energy and Industry, 7th. E.C.Conference, Florença, 1995.

⁷ Thyson, K.S., Biodiesel Research Progress 1992-1997, National Renewable Energy Laboratory, Golden, 1998.

De modo geral, pode-se afirmar que o biodiesel é um produto comercial. O custo não é competitivo com o diesel mineral, mas há contínuo avanço das tecnologias para a produção.

a. Rotas tecnológicas

Simplificando, os processos para conversão de óleos vegetais em combustíveis podem usar transesterificação ou craqueamento. A transesterificação, por sua vez, pode empregar catalisadores alcalinos, ácidos ou enzimáticos, e etanol ou metanol. Com as

tecnologias atuais, pode-se concluir que a transesterificação alcalina é a rota mais interessante, embora haja desenvolvimentos em processos térmicos⁸. A transesterificação etílica apesar de mais complexa que a rota metílica, poderá atingir níveis equivalentes de qualidade. A matéria-prima é importante na decisão sobre o uso de catálise ácida ou básica. A catálise enzimática, que promete algumas vantagens, como menos subprodutos, está em fase inicial de desenvolvimento. Temas relevantes quanto a tecnologias são discutidos na Nota 1.

⁸ Grupo Guascor Potencial de Tecnologia de Craqueamento para Produção de Diesel Vegetal (Biodiesel), apresentação Power Point, 2003.

b. Balanço energético

É fundamental ter um balanço energético positivo para a utilização racional de derivados de biomassa como combustíveis. A energia consumida no processo de produção, incorporada aos materiais de consumo e equipamentos, deve ser menor que do que a energia consumida pelo combustível produzido. Por exemplo, estudos detalhados de custos energéticos conduzidos para o etanol no contexto brasileiro, indicam que para cada unidade de energia investida na agroindústria canvieira, são produzidas cerca de 8,3 unidades de energia renovável⁹.

Para o biodiesel foram efetuadas diversas avaliações do balanço energético considerando o uso de soja e colza como matéria-prima, nas condições européias e americanas, indicando relações produção/consumo de energia sempre entre 2 e 3¹.

⁹ Macedo, I.C., Lima Verde Leal, R., Silva, J.E.A.R., Assessment of greenhouse gas emission in the production and use of fuel ethanol in Brazil, Secretariat of the Environment, Government of the State of São Paulo, 2004.

¹⁰ Goldemberg, J., Balanço energético da produção de combustíveis de óleos vegetais, Instituto de Física/USP, pre-print no. 323, São Paulo, 1982.

¹¹ Informado ao CGEE por Luciano Basto Oliveira, IVIG, Coppe, 2004.

¹² Martins, H., Teixeira, L.C., Balanço energético da produção de óleos vegetais transesterificados, III Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1985.

Para as condições brasileiras, alguns estudos precursores do balanço energético na produção de biodiesel foram realizados nos anos 80. Avaliando o biodiesel de soja, Goldemberg¹⁰ determinou uma relação produção/consumo de 1,42. Uma avaliação preliminar mais recente para o biodiesel de soja, sem ter em conta os subprodutos, estimou uma demanda energética de 30 MJ por litro de biodiesel, resultando em uma relação produção/consumo de 1,43¹¹.

Para o dendê e a macaúba, Martins e Teixeira¹² apresentaram, respectivamente, 5,63 e 4,20. Estes valores são muito interessantes e confirmam o potencial das palmáceas como fonte de matéria-prima, tanto pela maior produtividade como pela disponibilidade de resíduos com valor energético.

O Brasil dispõe de poucos estudos sobre o balanço energético do biodiesel. O tema é importante e deve ser melhor explorado para fundamentar decisões corretas.

c. Especificação do biodiesel

A especificação do biodiesel para uso comercial é considerada uma etapa essencial para o desenvolvimento de programas de biodiesel, como atestam a experiência europeia¹³ e americana¹⁴. Nestas condições, mesclas de diesel com biodiesel adequadamente especificado, em teores até 20%, podem ser empregadas sem problemas operacionais ou de

¹³ Nicol, B. (European Board of Biodiesel), The vegetable oils industry and biodiesel, apresentação na International Association of Seed Crushers, Rio de Janeiro, 2003.

¹⁴ Weber, J.A., Biodiesel Poised to be a Major Contributor to the US Economy, apresentação na Agência Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 2003.

desempenho em motores convencionais, sem qualquer ajuste ou modificação. Poucas exceções, limitam o emprego de biodiesel ao B5; praticamente todos os fabricantes de motores mantêm a garantia de seus equipamentos quando operam com B20¹⁵. Tais condições pressupõem sempre o atendimento da especificação do combustível. Cabe observar que a determinação dos teores de biodiesel no diesel ainda requer métodos laboratoriais sofisticados, ao contrário da avaliação dos teores de etanol na gasolina, que pode ser efetuada em campo com relativa facilidade.

A estabilidade à oxidação e a cetanagem são parâmetros do biodiesel que merecem especial atenção, tendo em vista sua importância e a virtual ausência de disponibilidade laboratorial para sua avaliação no país. A estabilidade, sobretudo em climas quentes, é relevante para assegurar que mesmo depois de algumas semanas armazenado em condições normais, o biodiesel mantenha sua adequada especificação. Já a cetanagem, medida que assegura a boa combustão em motores de ignição por compressão, é medida em poucos laboratórios, entre os quais algumas refinarias da Petrobras, Cenpes e IPT/SP, onde se adota, na falta de medições diretas, uma correlação com a densidade, expressão naturalmente válida apenas para o diesel mineral.

No Brasil, a Portaria 255/2003 da Agência Nacional de Petróleo (ANP) estabeleceu uma especificação preliminar do biodiesel, com algumas premissas considerando o uso em misturas até 20% (B20). São especificações similares à européia e americana, com alguma flexibilização para atender às características de matérias-primas nacionais.

¹⁵ Lockart, M., Growmark Corporation Press Release, 2002.

Esta especificação editada em portaria pela ANP é considerada adequada para evitar alguns problemas, inclusive observados na Europa. Para esclarecê-los, em 2003/04 foram projetados programas de testes com fabricantes de motores e autopeças cobrindo as principais tecnologias em uso:

- a. Desempenho e durabilidade nos motores da frota brasileira, com biodiesel (até B20), oriundo de diferentes matérias-primas.
- b. Estabilidade das misturas com os diferentes óleos de motores a diesel nacionais, em distintos períodos do ano.
- c. Impactos ambientais, em especial emissões de NOx.
- d. Viabilidade do processo etílico atingir a especificação do processo metílico, viscosidade, glicerina total e estabilidade à oxidação.
- e. Possibilidades de simplificação e eventuais modificações nos parâmetros da especificação.

Esses programas de testes ainda não foram iniciados. Os aspectos que ainda apresentam dúvidas e a determinação dos testes a realizar são descritos na Nota 2.

4. Aspectos ambientais

Proporcionalmente a seu teor em uma mistura com diesel, o biodiesel promove uma redução das principais emissões associadas ao derivado de petróleo, com a exceção notável dos óxidos de nitrogênio (NOx). O incremento observado nas emissões deste poluente, como indicado na Figura 1¹⁶, não é elevado, 2% a 4% para B20, mas deve ser considerado porque é um dos principais precursores do ozônio troposférico, atualmente o mais grave problema de qualidade do ar na maior cidade brasileira¹⁷. O aumento das emissões de NOx associado ao biodiesel tem sido confirmado por muitos estudos. Sua atenuação tem sido sugerida com o uso de aditivos e alterações nos motores¹⁸. Não consta desta figura o importante efeito sobre os óxidos de enxofre (SOx). Como o biodiesel não contém enxofre, as emissões destes óxidos são reduzidas com o uso do biodiesel.

As emissões de gases de efeito estufa associadas ao biodiesel têm sido avaliadas na última década, nas condições europeias, considerando o uso de colza e soja como matérias-primas e ésteres metílicos como B10 e B20. Os resultados, expressos em biodiesel puro (B100), indicam reduções de 40% a 60% das emissões correspondentes ao diesel puro¹. Resultados mais recentes mostram variação ainda maior para éster metílico de colza, em função das condições de rotação de culturas, uso de fertilizantes e uso ou não da glicerina¹⁹.

¹⁶ United States Environmental Protection Agency, A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report. EPA420-P-02-001, Washington, 2002.

¹⁷ CETESB, Relatório de Qualidade do Ar/ 2003, disponível no site www.cetesb.sp.gov.br.

¹⁸ Ver por exemplo: Marshall, W., Schumacher, L.G., Howell, S., Engine Exhaust Emissions Evaluation of a Cummins L10E When Fueled with a Biodiesel Blend, Society of Automotive Engineers, SAE Paper # 952363, 1995.

¹⁹ GM at all, GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems, 2002.

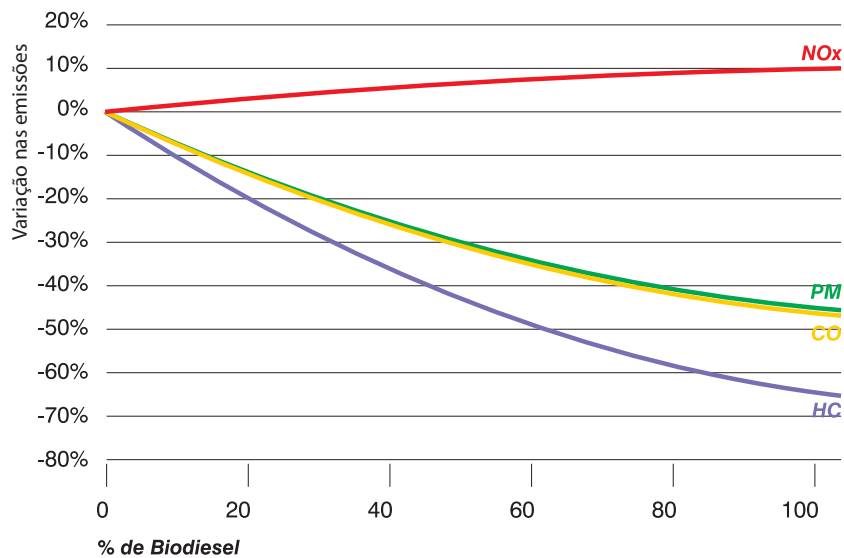


Figura 1. Efeito do biodiesel sobre as emissões associadas ao diesel¹⁶

A redução das emissões de gases de efeito estufa pode ser relevante, contudo os valores monetários associados a possíveis créditos de carbono são ainda pequenos. Para valores de crédito entre US\$ 1 e 5/ t de carbono evitado, estes valores corresponderiam a cerca de 3% do custo de produção.

5. Histórico do uso energético de óleos vegetais no Brasil

Ao longo das últimas décadas no país, houve algumas tentativas para implementar o uso de óleos vegetais como combustível sucedâneo ao diesel derivado de petróleo. Na Nota 3, verifica-se que recorrentemente os óleos vegetais foram propostos como vetores energéticos; em programas de 1950; no Pro-óleo, de 1980; e no Programa OVEG, de 1980. Sucessivamente, porém, obstáculos não superados, principalmente custos, impediram sua viabilização. Mais recentemente, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) criou a Rede de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Probiodiesel, reunindo instituições atuantes ou interessadas no tema. Essas tentativas trazem lições e apontam caminhos.

6. Mercado para biodiesel no Brasil

Como um sucedâneo do óleo diesel, o mercado potencial para o biodiesel é determinado pelo mercado do derivado de petróleo. A demanda total de óleo diesel no Brasil em 2002 foi da ordem de 39,2 milhões de metros cúbicos, dos quais 76% foram consumidos no setor de transporte, 16% no setor agropecuário e 5% para geração de energia elétrica nos sistemas isolados²⁰. A importação de diesel, em 2002, correspondeu a 16,3% do mercado e significou nos últimos anos um dispêndio anual da ordem de US\$ 1,2 bilhão, sem considerar o diesel produzido com petróleo importado, cerca de 8% do total de diesel consumido²¹.

No setor de transporte, 97% da demanda ocorre no modal rodoviário, ou seja caminhões, ônibus e utilitários, já que no Brasil estão proibidos os veículos leves a diesel. Em termos regionais, o consumo de diesel ocorre principalmente na região Sudeste (44%), vindo a seguir o Sul (20%), Nordeste (15%), Centro-Oeste (12%) e Norte (9%). O diesel para consumo veicular no Brasil pode ser o diesel interior, com teor de enxofre de 0,35% ou o diesel metropolitano, com 0,20% de enxofre, que responde por cerca de 30% do mercado²¹.

²⁰ MME/DNDE, Balanço Energético Nacional 2003, Brasília, 2003.

²¹ ANP, Anuário Estatístico 2002, Rio de Janeiro, 2003.

A geração de energia elétrica nos sistemas isolados da região amazônica consumiu 530 mil metros cúbicos de diesel, distribuídos na geração de 2.079 GWh, no Amazonas (30%), Rondônia (20%), Amapá (16%), Mato Grosso (11%), Pará (11%), Acre (6%), Roraima (3%), além de outros pequenos sistemas em

outros estados²². Estes números se referem à demanda do serviço público. Existem grandes consumidores privados de diesel para geração de energia elétrica, como as empresas de mineração localizadas na região Norte.

²² Informado ao CGEE por Manoel Nogueira, SE/MME, 2004.

Como um exercício e sem considerar eventuais dificuldades de logística ou de produção, podem ser inicialmente considerados os seguintes mercados:

- | | |
|---|----------------------|
| 1. uso de B5 no diesel metropolitano: | 0,45 Mm ³ |
| 2. uso de B5 no diesel consumido no setor agropecuário: | 0,31 Mm ³ |
| 3. uso de B5 para geração nos sistemas isolados: | 0,10 Mm ³ |
| 4. uso de B5 em todo o mercado de diesel: | 2,00 Mm ³ |

7. Matérias-Primas para biodiesel no Brasil

a. Introdução

²³ Peres, J. R., Oleaginosas para biocombustíveis, Embrapa, 2003.

²⁴ Costa, A., Agronomia aplicada às matérias-primas para produção de biodiesel, Instituto Agronômico do Paraná, 2003.

²⁵ adaptado de Nogueira, L.A.H., Lora, E.S., Dendroenergia: fundamentos e aplicações, Interciência, Rio de Janeiro, 2003.

Quanto às matérias-primas mais promissoras para utilização, deve-se referir aos estudos recentes da Embrapa²³ para levantar os cultivos e as aptidões regionais. De uma forma geral, têm sido mencionados a soja para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a mamona para o Nordeste e o dendê para a região Amazônica. Girassol, amendoim e outros também têm sido considerados. Igualmente, as palmáceas tropicais são sempre mencionadas como viáveis e potenciais produtores de biodiesel. São comentadas na Nota 4. Alguns estudos apontam perspectivas interessantes para as oleaginosas aparentemente inusitadas e pouco citadas, como o abacate (*Persea americana*), com uma produtividade estimada em 1200 litros de biodiesel por hectare²⁴. A Tabela 1 indica para as espécies mais mencionadas o potencial para produção de óleo, considerando valores de produtividade e teor de óleo de variedades comuns²⁵. A pesquisa agronômica tem mostrado que esses valores podem ser considerados conservadores.

Tabela 1 – Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel

Espécie	Origem do óleo	Conteúdo de óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em Óleo (t/ha)
Dendê (<i>Elaeis guineensis</i> N.)	Amêndoa	26	12	3,0-6,0
Babaçu (<i>Attalea speciosa</i> M.)	Amêndoa	66	12	0,4-0,8
Girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	Grão	38-48	3	0,5-1,5
Colza (<i>Brassica campestris</i>)	Grão	40-48	3	0,5-0,9
Mamona (<i>Ricinus communis</i>)	Grão	43-45	3	0,5-1,0
Amendoim (<i>Arachis hipogaea</i>)	Grão	40-50	3	0,6-0,8
Soja (<i>Glycine max</i>)	Grão	17	3	0,2-0,6

Tabela 2 - Áreas estimadas para a produção de B5

Região	Óleo vegetal para B5, 1.000 m³	Matéria-Prima	Área, 1.000 ha
Sul	7.200	Soja	600
Sudeste	15.840	Soja	1.320
Nordeste	5.400	Mamona	600
Norte	3.240	Dendê	35
Centro-Oeste	4.320	Soja	360
Total	36.000		2.916

A Tabela 2 é ilustrativa quanto às necessidades de áreas, nas diversas regiões do Brasil, para suprir 5% do diesel (B5) com oleaginosas locais, de acordo com o zoneamento da Embrapa²³. Para comparação, a área de expansão possível para grãos é avaliada, nos cerrados, em cerca de 90 M ha; e as áreas aptas para dendê atingem, na Amazônia, cerca de 70 M ha, dos quais cerca de 40% com alta aptidão²⁶. A mesma referência menciona 20 M ha desmatados e sem uso atual na Amazônia, e 2,5 M ha em terras já com infra-estrutura. A mamona teve seu zoneamento para o Nordeste concluído recentemente, sendo determinada sua aptidão em mais de 450 municípios.

²⁶ Campos, I.A. e Azevedo, G., Formulações estratégicas em energia renovável, no Fórum Sudene Energia, Campina Grande, 2003.

Como no caso da cana, onde o bagaço representa um subproduto importante, os resíduos das matérias-primas para biodiesel também podem representar um diferencial significativo entre as diversas biomassas para aplicação energética.

Analisamos a seguir a situação de cada uma das oleaginosas mais mencionadas: soja, mamona, e dendê.

b. As escalas de produção e o sistema de produção agrícola

b.1 Mamona

A mamona tem sido cultivada no Nordeste do Brasil principalmente em condições de sequeiro. A Bahia é responsável por cerca de 60% da produção regional. A produção nacional chegou a 150 mil t de bagas em 1990, caindo para níveis próximos a 40 mil t de 1993 a 1999, e voltando, em 2002, para cerca de 100 mil t. A área plantada em 2002 foi de cerca de 130 mil ha (ver a Figura 2). O teor de óleo é de cerca de 48%. A produção atual do Brasil corresponde a cerca de 50 mil t/ano de óleo. Ela é obtida, na sua maioria, em unidades pequenas de produção agrícola, até 15 ha. Estima-se que existam cerca de 250 mil ha plantados no NE, com produtividades médias inferiores aos 1000 kg/ha de bagas (muitos entre 500 e 800). As oscilações de plantio e produção são evidenciadas na Figura 2, da Embrapa.

As variedades em uso comercial, BRS 149 e BRS 188, são adequadas para altitudes entre 300 e 1500 m, temperaturas entre 20°C e 30°C, e precipitação acima de 500 mm/ ano, com chuvas apenas na fase vegetativa. São estas as condições que orientam o zoneamento da cultura no Nordeste.

De fato, a mamona tem sido indicada como uma das poucas opções agrícolas rentáveis para as regiões árida e semi-árida do Nordeste. O zoneamento concluído recentemente pela Embrapa indica que há 458 municípios no Nordeste aptos para produzir mamona, dos quais 189 são da Bahia²⁷. A severa limitação de variedades disponíveis indica que, com um esforço importante no desenvolvimento de novas variedades, novas áreas poderiam ser agregadas. Isto seria essencial para garantir um programa de porte adequado no futuro.

Por outro lado, as escalas de produção para sistemas que visem um programa agressivo de produção de biodiesel serão muito maiores. Se considerarmos, por exemplo, um programa para apenas 1% de substituição de diesel no país por mamona (B1), seria necessário multiplicar por oito a produção atual. Certamente isto é possível, após a resolução de alguns problemas, mas, neste caso, o programa visaria muito mais a atender aos importantes aspectos sociais do que às necessidades de energia.

Como uma referência de programas maiores que o nosso, note-se que a Índia tinha uma área plantada de 0,69 M ha, com produção de óleo de 0,84 M t, em 2002²⁶.

²⁷ Beltrão, N. E. M. e outros; Zoneamento e época de cultura da mamoneira no Nordeste Brasileiro, Embrapa, 2004.

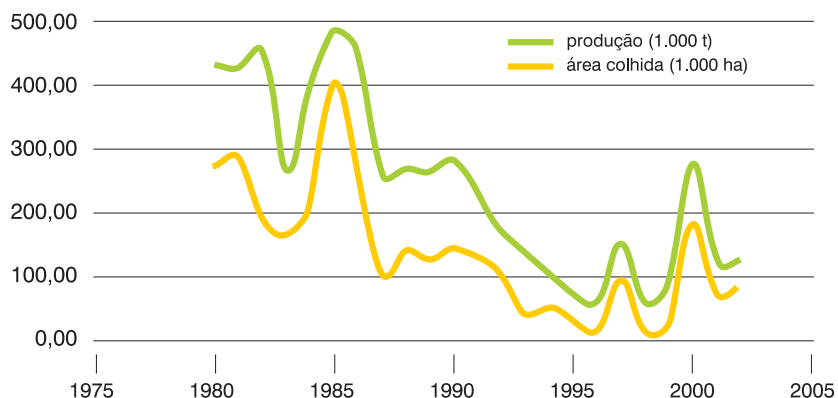


Figura 2. Área colhida e produção de mamona no Brasil

b.2 Soja

A produção mundial de soja em 2003/02 foi de 194 M t, com crescimento de 87% em relação a 1990²⁸. Ocupa cerca de 15% da área das 15 maiores culturas agrícolas. Destas, o trigo aparece com 43%, milho com 27%, colza com 5%, cana com 4%²³. A maior parte do crescimento ocorreu na América do Sul.

A soja, originalmente de clima temperado, foi “tropicalizada” e hoje pode ser plantada no Brasil em qualquer latitude, com limitações apenas em agroecossistemas adversos como a caatinga, ou a preservar, como a Amazônia e o Pantanal, ou áreas com excesso de declividade²⁹.

O cultivo da soja ocupa no Brasil pouco mais de 20 M ha. Existem cerca de 100 M ha aptos à expansão da agricultura de espécies de ciclo anual, como é o caso da soja. Adicionalmente, estima-se uma liberação potencial de área equivalente àquela plantada no momento com soja, com a elevação do nível tecnológico na pecuária.

²⁸ Ambrose, A.; GMO: Threat or Opportunity?, Int. Assoc. Seed Crushers Congress, Rio de Janeiro, 2003.

²⁹ Informado ao CGEE por Vânia Beatriz Rodrigues Castiglioni; Embrapa Soja, 2004.

Cerca de 70% da soja brasileira é destinada à exportação. O teor do óleo é de 18 a 20% do peso dos grãos. Em 2003, para a produção de 52 M t soja, com produtividade de 2,8 t/ha, a parcela convertida em óleo resultou em 5,4 M t. A utilização de B5 em todo o diesel no Brasil, se baseada em soja apenas, utilizaria cerca de 9 M t grãos em 3 M ha para 1,8 M m³ de óleo. Resultaria também em 7,2 M t torta²⁶.

As limitações climáticas, edáficas e sanitárias para expansão da soja, ocorrendo a taxas consideradas exequíveis ou razoáveis, no horizonte dos próximos 20 anos, são possíveis de serem superadas tecnologicamente. Deve-se buscar continuar na liderança da geração de tecnologia, garantindo a competitividade da cultura e a sua sustentabilidade. Embora as cultivares atuais tenham sido desenvolvidas com o objetivo de obter o maior teor de proteína, existe variabilidade genética, inclusive com recurso à biotecnologia, se necessário, para obtenção de cultivares mais adequadas para a produção de biocombustíveis²⁹.

O Brasil é praticamente auto-suficiente no desenvolvimento tecnológico para a cultura da soja em regiões subtropicais e tropicais. A continuidade desta situação é necessária para manter-se na liderança da produção mundial. Dependência em C&T está relacionada com a geração de conhecimentos básicos, entre os quais, de fisiologia vegetal, biologia molecular, e com os conhecimentos associados com pragas exóticas, normalmente obtidos em parcerias. Desde 2000 a produtividade do Brasil suplantou a da Argentina e dos Estados Unidos. Em 2003, a

Argentina usava 93% de soja transgênica, e os Estados Unidos 73%. A média mundial era de 50%.

Quanto aos sistemas de produção, cerca de 60% da soja no Brasil utiliza o plantio direto. Há variantes importantes nos sistemas usados, em função de diferenças em topografia, escalas de produção, tipo de solos, e forma de comercialização, se de cooperativas ou *tradings*.

b.3 Dendê

Em 2002, a produção mundial de óleo de dendê atingiu 25,4 M t, cinco vezes maior que a de 1980. Este aumento se mantém nos últimos anos, com forte tendência para que o óleo de dendê ultrapasse o de soja no final da década. No conjunto, a demanda por óleos vegetais, principalmente de soja e dendê, é bem maior do que o crescimento populacional no mundo, notadamente na China e Índia.

O Brasil produz somente cerca de 0,5% do total mundial, embora seja freqüentemente citado como possuidor do maior potencial de áreas com aptidão agrícola do mundo. Como referência, o primeiro produtor, a Malásia, usa 3,3 M ha para produzir 11,2 M t óleo. O Brasil, com cerca de 0,05 M ha, produz 0,10 M t óleo²⁶. Outros grandes produtores são a Indonésia e Colômbia.

Estas considerações indicam que o dendê, independente de programas para biocombustíveis, deve merecer atenção especial ao se planejar o desenvolvimento na Amazônia.

Mesmo com pequena participação na produção mundial, a tecnologia brasileira no manejo agrícola é muito respeitada, e algumas de nossas inovações são hoje copiadas em plantios de todo o mundo³⁴. O custo médio de produção no Brasil é ainda maior quando comparado com os maiores do mundo, Malásia, Indonésia e Colômbia, mais por diferenças nas taxações de produtos e serviços. Por exemplo, os encargos trabalhistas: na Malásia essas taxações incidem cerca de 50% sobre o salário; na Indonésia 30%; Colômbia, 60%; e no Brasil, acima de 100%. São relevantes, ainda, os custos de adubação e impostos diretos sobre o produto. Na comparação dos custos sem taxas somos extremamente competitivos.

c. A base genética e a produção de sementes/ mudas comerciais

c.1 Mamona

A Embrapa desenvolveu e lançou comercialmente, em colaboração com a Empresa Bahiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), duas variedades de mamona que se encontram disponíveis para plantio no país em quantidades ainda limitadas³⁰: BRS 149 Nordestina e BRS188 Paraguaçu.

Trata-se de materiais adaptados para a cultura familiar no Nordeste, pois apresentam frutos semideiscentes, que não liberam totalmente as sementes após maduros, facilitando a colheita manual. São

³⁰ Beltrão, N.E.M.B., Cultivo da mamona consorciada com feijão caupi para o semi-árido nordestino em especial o Piauí, Documentos, 97 – Embrapa, Campina Grande, 2002.

moderadamente resistentes à seca, têm porte médio, de 1,7 a 2,0 m altura, o que também facilita a colheita manual. Apresentam produtividade anual de até 1400 kg/ha, se plantadas em áreas com zoneamento e estudo de época de plantio, feito pela Embrapa para o Nordeste do país.

Observações atuais, feitas por técnicos da Embrapa, indicam colheitas de 500 a 800 kg/ha/ano por pequenos produtores na Paraíba, em condições normais de cultivo, e de cerca de 1.200-1.300 kg/ha/ano em plantios comerciais da Bahia.

Estas duas variedades apresentam de 47 a 48% de óleo em relação ao peso total dos frutos depois de colhidos. Têm-se mostrado tolerantes às principais doenças que atacam a mamona, dentre as quais se destaca o mofo cinzento (fungo *Botrytis ricini*), que ataca e destrói as flores e frutos da planta em condições de altas umidade e temperatura, provocando prejuízos de até 100% na colheita.

Nos plantios de mamona do Nordeste, em adição às variedades comerciais lançadas pela Embrapa, são utilizadas sementes de variedades de origens pouco conhecidas, além de híbridos de outros países introduzidos no Brasil. Encontra-se em sua fase inicial o programa de melhoramento genético da Embrapa Algodão, planejado para desenvolver tanto variedades como híbridos comerciais em parceria com outras empresas de pesquisa agropecuária.

As variedades são obtidas por meio de seleção e multiplicação de materiais genéticos selecionados em amostras de populações subespontâneas majoritariamente coletadas no Nordeste do país. O Banco de Germoplasma de mamona da Embrapa Algodão possui cerca de 400 amostras, portadoras de características que atendem a especificações tanto de pequenos como de médios e grandes produtores. Foi por meio desta estratégia que se desenvolveram as variedades Nordestina e Paraguaçu. Trata-se de um programa em fase inicial de seleção, com expectativas de ganhos elevados em produtividade e resistência às pragas e doenças nos próximos ciclos de seleção.

O programa de produção de híbridos simples encontra-se em estágio muito preliminar de desenvolvimento, em fase de introdução, seleção e testes de capacidade de combinação de materiais genéticos selecionados, para a produção das linhagens melhoradas que serão utilizadas para a produção de híbridos.

Os programas de melhoramento genético vegetal da Embrapa têm como principais objetivos a produção de sementes genéticas, variedades, híbridos etc. Serão multiplicados por unidades do serviço de transferência de tecnologia da Embrapa para a produção de sementes básicas. Essas sementes, por sua vez, são repassadas para que os produtores possam obter sementes certificadas e comerciais e vendê-las aos agricultores.

Trata-se de uma cadeia de multiplicação de sementes genéticas oriundas de programas de melhoramento genético,

regulamentada por legislação específica e fiscalizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Atualmente, são poucos os produtores de sementes comerciais de mamona no Nordeste.

No momento, a Embrapa possui uma quantidade muito limitada de sementes genéticas, cerca de 2 mil a 3 mil kg de sementes da variedade Nordestina, para multiplicação e produção de sementes básicas, se possível, ainda este ano. Caso esta previsão se confirme, será possível o plantio de no máximo 500 ha para a produção de sementes básicas, área capaz de ofertar ao mercado cerca de mil toneladas de sementes, suficientes para o plantio de cerca de 200 mil ha em 2005. Mesmo com esta limitação de sementes genéticas, será possível oferecer um volume considerável de sementes ao produtor em um período de 2-3 anos, com melhoria significativa no apoio e financiamento das operações requeridas da Embrapa e de seus parceiros na multiplicação de sementes.

Por outro lado, a expansão desta cultura centrada em um número muito reduzido de variedades incorre em grande risco para o produtor, em função de potencial frustração de safra causada por ataque de doenças e pragas sobre base genética tão uniforme. Poucas variedades e pouca variabilidade genética implicam em maior risco de ataque generalizado de pragas e doenças. Sob este aspecto, lembramos recente frustração total de safra de plantios de mamona em Sergipe, realizados fora das recomendações técnicas da Embrapa.

c.2 Soja

A oferta de cultivares de soja atende o espectro de diversidade de clientes, e abrange desde a questão geográfica até as características específicas de determinados nichos de mercado. O desenvolvimento de cultivares e os vários aspectos tecnológicos envolvidos na produção da soja têm merecido atenção das instituições de pesquisa. Vide o crescimento espetacular da produtividade de soja brasileira ao longo dos últimos 30 anos, a uma taxa geométrica anual superior a 1%.

Eventuais limitações tecnológicas ao cultivo podem advir de restrições sanitárias, como a introdução de pragas exóticas ou a resistência de pragas aos agrotóxicos utilizados para seu controle. A capacidade de pesquisa instalada no país reúne as qualificações necessárias para oferecer soluções adequadas para estes problemas.

No caso específico do biodiesel, a Embrapa Soja, através do banco genético dos materiais de soja sob seu domínio, do conhecimento acumulado ao longo dos anos e de sua estrutura de pesquisa, é capaz de conduzir estudo de cultivares de soja com maior teor de óleo e com perfil de ácidos graxos mais adequados ao uso como substrato energético²⁹.

c.3 Dendê

O setor produtivo considera que o trabalho realizado pela Embrapa Manaus no desenvolvimento de variedades de dendê

é de muito boa qualidade. São variedades de alta produtividade, nada deixando a desejar em relação às sementes importadas³⁴.

Será necessário redimensionar os recursos da Embrapa para ampliar as pesquisas e promover uma expansão rápida da cultura no Brasil. Tópicos julgados importantes, como a resistência a doenças e o desenvolvimento de outras espécies, com diferentes picos de produção, podem reduzir os investimentos em usinas de extração.

Houve grande progresso nos últimos anos, mas será necessário maior investimento, voltado especificamente para a base genética da planta³⁴.

8. Aspectos econômicos

a. O custo de produção do biodiesel

No Brasil hoje, como na Europa ou nos EUA, não se deve esperar que o biodiesel de mamona ou de outra fonte seja competitivo com o diesel mineral. É preciso conhecer muito bem os custos atuais e esperados no futuro, para dimensionar corretamente os níveis de subsídios envolvidos e decidir sobre sua adequação, ou considerar alternativas. Esta constatação usa como referência o custo do diesel com base no petróleo comercializado a US\$ 25/barril; as alterações em curso neste custo poderão alterar significativamente as conclusões.

Para que seja possível estabelecer comparações, as estimativas de custo do biodiesel e do diesel mineral devem considerar os dois combustíveis sem impostos. Essas comparações devem, ainda, no caso do biodiesel, incluir todos os custos da produção agrícola e industrial. Não apenas custos operacionais, mas, também, os custos relativos ao capital, custos da terra e, se for o caso, o custo dos assentamentos e suas benfeitorias. Em casos em que haja outras culturas consorciadas com a mamona, tipicamente da agricultura familiar, devem-se considerar todos os custos associados e seus retornos. Só assim é possível avaliar corretamente o valor do subsídio alocado ao biodiesel. No caso da mamona nem todos estes dados estão disponíveis. Não há experiência suficiente, por exemplo, com agricultura familiar

“assistida”, como se começa a fazer no Piauí. Da mesma forma, a experiência já mais avançada da Agropalma nesta modalidade, com o dendê, mostra que há inúmeras variantes a explorar.

Os custos de produção do biodiesel dependem essencialmente do custo da matéria-prima, do óleo vegetal ou outra substância graxa, e dos custos de processamento industrial, podendo subtrair-se os créditos decorrentes da comercialização do glicerol. Em geral, o custo do óleo vegetal corresponde a cerca de 85% do custo do biodiesel, quando este é produzido em plantas de alta capacidade. Há, portanto, interesse em reduzir os custos da matéria-prima e eventualmente obter o material graxo a partir de rejeitos industriais: óleo de fritura usado, sebo e águas servidas

No caso da mamona, há uma grande variação de conceitos nos cálculos que temos encontrado. Até certo ponto, isto é normal, mas será preciso avaliar estes custos com maior precisão e, em muitos casos, em bases mais realistas. Algumas avaliações, especificamente para o biodiesel de soja, apontam valores marginalmente factíveis ao comparar custos do biodiesel, sem tributos, com preços com tributos do derivado de petróleo. Também é freqüente se usar o custo de oportunidade do óleo vegetal, valor no mercado, para outros fins, como sendo o custo do insumo, e não o seu custo de produção. Todos estes procedimentos têm sentido, dependendo de óticas específicas, mas não podem ser usados para avaliar a competitividade do biodiesel e a sustentabilidade econômica do programa sem as devidas considerações

Dentre as avaliações atualizadas disponíveis, destacamos algumas para situar os valores relativos e as magnitudes esperadas de subsídios, diretos e/ou por renúncia fiscal.

a.1 Mamona

No momento tem-se considerado a produção de mamona no Nordeste evoluindo de unidades familiares muito pequenas, para assentamentos, ou unidades “cooperativas”, onde existe um suporte comum de sementes, insumos e comercialização. A Embrapa estimou um custo de produção da mamona neste sistema³¹. Nos moldes propostos, cerca de 15 ha/ trabalhador, estima-se uma renda de R\$ 200,00/ ha contra custos de operações agrícolas e insumos com pagamento de R\$ 0,50/ kg bagas. Atualmente, se paga em torno de R\$ 0,67/ kg bagas, e tem-se como objetivo “limite” R\$ 0,60. Em alguns casos, há garantias de preço “mínimo” de R\$ 0,40/ kg bagas. A associação com o feijão reduz a produção de mamona/ ha, mas aumenta a renda para R\$ 700,00/ ha.

³¹ Informado ao CGEE por Napoleão E. Beltrão; Custo de produção da mamona em agricultura familiar, com e sem consorciamento com feijão, Embrapa, Campina Grande, 2004.

Estes números são apenas indicativos. Não se considera o custo da infra-estrutura, inclusive da terra. Levam a uma estimativa de custo de biodiesel de R\$ 1,33/ l (US\$ 0,47/ l) com R\$ 0,50/ kg bagas e na faixa de US\$ 0,43/ l a US\$ 0,57/ l, para custos de bagas entre R\$ 0,45 e R\$ 0,60/ kg. Assume que 25% do custo final corresponde ao esmagamento, transporte e produção do biodiesel. Esta última hipótese também precisa ser avaliada.

Segundo análise do Ivig-Coppe, de 2002, com óleo de mamona a R\$2.075/ t, o biodiesel custaria US\$ 0,80/ l (Planta de 40.000 t/ ano, sem os créditos pelo glicerol). Estes valores foram baseados em preços de venda de óleo de mamona, na ocasião (custos de oportunidade); não no custo de produção.

a.2 Soja

Os custos de produção da soja, variável mais fixo, estão atualmente entre U\$ 8 e U\$ 10 por saca. Essa variação ocorre em função dos aspectos relacionados com arrendamento da terra e controle da ferrugem asiática, o que permite rentabilidade da ordem de 30% a 40%²⁹. Custos históricos de produção são de US\$ 150 – US\$ 250/ t. É difícil fazer projeções de custos futuros, destacando a influência da taxa de câmbio no custo de insumos. Ainda são necessários grandes investimentos em infra-estrutura no país, principalmente de transporte e armazenamento do produto, que são os setores responsáveis por aumentos nos custos de produção.

No processamento para óleo, a soja produz o óleo e a torta. A partição de custos do insumo entre os dois produtos é sempre arbitrária. Uma das formas usuais de distribuir os custos comuns considera o valor de mercado. Os estudos do custo do biodiesel da soja sempre usam o “custo de oportunidade” do óleo, o valor de mercado. Isto leva a uma enorme flutuação do custo do biodiesel, mas é a ótica correta para o produtor.

Nos últimos anos, a Abiove tem avaliado as condições e os custos de produção do biodiesel do óleo de soja no Brasil. Os valores de 2002³² foram atualizados com o aumento do preço do óleo de soja no mercado internacional¹¹. Estimativas³³ de custos de processamento da ordem de US\$ 10 a tonelada podem ser

³² Oliveira, L.B., Resíduos sólidos urbanos e óleos vegetais, Workshop CEEA – Coppe, Rio de Janeiro, 2002.

³³ Informado ao CGEE por Juan Diego Ferres, Abiove - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 2004.

consideradas otimistas, embora se trate de plantas de grande porte (400 t/ dia), ao comparar com os valores de outras fontes como:

1. US\$ 88 a tonelada, no estudo de uma planta na Costa Rica para 20 mil ton/ano de éster metílico de palma, com investimento de US\$ 5 milhões, adotando Processo AXENS Esterfip, do Instituto Francês do Petróleo³⁴.
2. US\$ 62 a 250 a tonelada, na avaliação da Agência Internacional de Energia, respectivamente para plantas de grande e pequeno porte³⁵.

³⁴ Recope Competitividad del Biodiesel obtenido de aceite de palma: el caso costarricense, San José, 2003.

³⁵ IEA, Liquid Fuels from Biomass: North America; Impact of Non-Technical Barriers on Implementation, prepared for the IEA Bioenergy Implementing Agreement, Task 27 Final Report, Paris, 2000.

Preliminarmente, para as condições brasileiras, se considerarmos os custos de investimento e operação de uma unidade produtora de biodiesel para cerca de 20 mil toneladas anuais, parece razoável adotar um custo de processamento de US\$ 80 por tonelada de biodiesel produzido.

No entanto, o fator mais importante é o custo atribuído ao óleo de soja. Os valores atuais da Abiove³⁶ são um custo do biodiesel de R\$1,11 a R\$1,35/ l, com base no valor de mercado do óleo de soja estimado para as seguintes condições: unidade produtora de 400 t diárias, no interior do Sudeste, sem impostos (ICMS) custo do óleo de soja bruto (valor de mercado): US\$ 427/ t (2002) a US\$ 522/ t (2003).

³⁶ Ferres, J., Competitividade econômica e marco regulatório para o biodiesel, Workshop SMA, São Paulo, 2004.

a.3 Dendê

O custo da produção do óleo de palma, segundo informações da Agropalma³⁷, encontra-se em um patamar próximo à média mundial, atualmente cerca de US\$ 200-230 por tonelada de óleo bruto. Influi nesta situação o fato das plantações já implantadas e em produção hoje no Brasil, principalmente as do Pará, encontrarem-se em zona apta de produção. Nas melhores plantações, com grandes investimentos em tecnologia, como o caso da Agropalma, este custo já é inferior aos US\$ 200/ t, com uma meta de alcançar em cinco anos um custo igual ou inferior a US\$ 170/ t, nível atingido por alguns plantios na Malásia. Não se tem informação do custo esperado para a produção de biodiesel. Poderia ser muito competitivo se o processamento ficasse em 15-20% do custo final. Mas o maior problema aqui seria o custo de oportunidade, como veremos adiante.

A indústria do dendê está se tornando muito sofisticada, com um grande número de subprodutos importantes. Segundo a Agropalma³⁷, o setor produzirá seu combustível a partir de um resíduo do refino e destilação do óleo de palma, com tecnologia inovadora. Os custos, nesse caso, ainda não são conhecidos.

Outro interessante co-produto do óleo de palma, que pode ainda melhorar as condições de viabilidade, é a energia elétrica,

³⁷ Informado ao CGEE por Marcelo Brito, Agropalma, 2004.

gerada mediante sistemas de co-geração com turbinas a vapor e utilizando os resíduos sólidos atualmente sem aplicação. Os potenciais disponíveis para esta tecnologia apontam para a auto-suficiência energética das plantas de produção de óleo e a geração de excedentes comercializáveis de eletricidade.

a.4 Referência: Diesel Mineral

Para efeitos desta comparação, o custo do diesel mineral, de refinaria, sem impostos, estava entre US\$ 0,24 e US\$ 0,26/l, com petróleo a aproximadamente US\$ 25/ barril, entre janeiro e junho de 2003. O valor nos EUA no mesmo período oscilou entre US\$ 0,29 e US\$ 0,22 para óleos com alto ou baixo teor de enxofre. A formação do preço médio no Brasil está simplificada descrita na Nota 7.

Como os preços dos combustíveis estão liberados no Brasil, existe uma razoável variação entre as regiões, que pode abrir oportunidades mais interessantes para o uso de biocombustíveis nos mercados onde os diferenciais de preço frente ao diesel forem menores. Nesta direção, deve-se observar que os valores de realização do diesel, aos quais se agregam os tributos estaduais, fretes e margens na formação do preço para o consumidor têm sido cerca de 5% inferiores no Nordeste, e 4% maiores no Centro-Oeste, isto devido à paridade de preços com o mercado internacional, e à distância desses mercados das fontes de fornecimento.

b. O custo de oportunidade para os óleos vegetais

b.1 Mamona

O óleo de mamona é muito utilizado no mundo, em diversos segmentos da indústria química e de alimentos. Os preços atingidos no mercado internacional são relativamente estáveis nos últimos dez anos. Em 1996, o preço para o óleo bruto era de US\$ 0,90/ kg e de US\$ 1,03/ kg em 2002³⁸. O óleo processado, refinado ou desodorizado, atingia pelo menos 50% a mais. O mercado mundial é de centenas de milhares de toneladas (~800.000 t). Portanto, o valor alternativo do óleo é quatro vezes maior que o custo do diesel mineral e é praticamente o dobro do custo de produção estimado. O impacto de uma grande oferta neste custo de oportunidade não tem sido quantificado, nem a possível expansão do mercado de óleo para preços menores. Este é um fator muito importante para se verificar a viabilidade de produção do biodiesel de mamona nos próximos anos.

³⁸ Chemical Market Reporter, Market Prices; volumes de 1990 a 2004.

b.2 Soja

O óleo de soja é uma *commodity*, com preços muito bem conhecidos no mercado internacional. Entre 1996 e 2002, teve oscilações de cerca de US\$ 550/ t no início do período, caiu para US\$ 315/ t em 2000. Em 2002, subiu novamente para US\$ 427/ t e em 2003 atingiu US\$ 527/ t. Este valor, de US\$ 0,53/ kg, é usado na composição do custo do biodiesel na atualidade. Convém lembrar que efetivamente se trata de um custo de oportunidade, não do custo de produção.

b.3 Dendê

O óleo de dendê também é uma *commodity* e os preços são conhecidos, com suas flutuações. O mercado tem apresentado altas nos últimos anos; no segundo semestre de 2003 o óleo de palma cru subiu de US\$ 400/ t para US\$ 500/ t³⁹, e o óleo refinado (RBD) ficou em US\$ 0,70/ kg (posto EUA). O óleo refinado tem grande número de aplicações, entre as quais a oleína e a estearina. A demanda está muito forte em razão da entrada dos mercados asiáticos da China e Índia.

³⁹ Chemical Market Reporter, volumes 1 a 12, 2003.

c. Uso da glicerina

Os excedentes de glicerina derivada do biodiesel poderão levar a grandes reduções no preço, eliminando parte da produção de glicerina de outras fontes, hoje de 0,8 a 1,0 M t/ ano. Com as reduções substanciais de preço, deverão também entrar no mercado de outros polióis, em particular o sorbitol. Na Europa¹, o aumento de biodiesel, para atingir apenas alguns pontos percentuais do diesel, cobriria grande parte da demanda atual por glicerol.

Buscam-se novas aplicações de grandes volumes para glicerina no mundo, e isto provavelmente se dará nos intermediários para plásticos, como o propanodiol - PDO, contudo não são soluções de curto prazo.

O cuidado a ser tomado, juntamente com o desenvolvimento de outros usos, é não usar nos estudos de custos os créditos para glicerina com base nos valores de mercado de hoje (Ver Nota 5)⁴⁰.

⁴⁰ Informação ao CGEE por Gabriela A. Macedo, Unicamp.

d. Geração de emprego

As estimativas disponíveis para emprego em geral referem-se com precisão maior, aos empregos diretos, tanto na produção agrícola como na produção industrial do óleo, especialmente para soja e dendê. Para a cultura da mamona, como se busca uma alternativa nova, da agricultura familiar, sustentada nos insumos, assistência técnica e comercialização, os valores são muito preliminares. As estimativas de empregos indiretos também não são precisas.

d.1 Soja²⁹

Estima-se que o agronegócio da soja é responsável pelo emprego direto de cerca de 4,7 milhões de pessoas em diversos segmentos, de insumos, produção, transporte, processamento e distribuição, e nas cadeias produtivas de suínos e aves. A produção correspondente é de 52 M t, em 20 M ha.

Nas últimas safras, graças aos bons resultados técnicos e aos preços pagos, muitos produtores têm conseguido rentabilidades superiores a 40%, em torno de R\$ 1.000/ha. A soja responde por quase metade da produção brasileira de grãos. Tem, portanto, grande participação tanto na macro como na microeconomia do país. Cerca de 70% é exportada, contribuindo com 11% da receita de exportações.

Uma estimativa da Abiove³³ com base no Modelo de Geração de Empregos do BNDES para a Indústria de Óleos Vegetais, indica para o uso de B5, cerca de 1,5 M t, a geração de 200 mil empregos diretos e indiretos,

d.2 Dendê

São muito adequados dois exemplos apresentados por uma empresa com tecnologia avançada do Pará. Eles quantificam as operações em unidade de cultura extensiva e no esquema de assentamentos familiares com participação dos Governos Federal e Estadual³⁷. Estão detalhados na Nota 6. Notamos que empregos relacionados são apenas os diretos, na produção agrícola.

- Agropalma: 33 mil hectares plantados, com 25 mil em produção plena, opera com 3 mil empregos diretos. Em 2003, pagou mais de R\$ 100 milhões em impostos, salários, compras de insumos etc. Os valores não incluem os empregos e recursos indiretos.
- Parceria Agropalma/ Governo: Projeto de assentamento para 150 famílias em que 100 já foram contempladas. A preços de hoje, estima-se que numa área de 10 hectares, cada família obtenha uma renda bruta anual de R\$ 40.000,00. Caso o manejo seja realizado somente por ele e sua família, a renda líquida anual poderá ultrapassar os R\$ 15.000,00.

Uma estimativa da Embrapa²³ indica a possibilidade de uma renda líquida anual, para uma família, de R\$ 18.000, em 5 ha.

d.3 Mamona

Ao se avaliar a proposta de produção de mamona no Nordeste, e se considerar a evolução das pequenas unidades familiares para assentamentos, ou unidades “cooperativas” onde um suporte comum de sementes, insumos e comercialização estaria disponível. A Embrapa estimou a utilização de 15 ha/ trabalhador. Isto geraria uma renda líquida de R\$ 200/ ha, receita de R\$ 0,50/ kg bagas, menos custos de operações agrícolas e insumos. Praticase hoje cerca de R\$ 0,67, e coloca-se como objetivo um preço de R\$ 0,60. Em alguns casos há garantias de preço “mínimo” de R\$ 0,40/ kg bagas. O consorciamento com feijão reduz a produtividade de mamona mas aumenta a renda para R\$ 700,00/ ha³¹. Também, neste caso, a estimativa de empregos refere-se apenas ao emprego direto na área agrícola.

e. Competitividade

As informações acima, sobre custos no Brasil, de produção do óleo vegetal, da transformação para biodiesel, custos de oportunidade do óleo vegetal e dos custos do diesel sem impostos, foram utilizadas para construir a tabela e o gráfico a seguir. Trata-se de uma abordagem preliminar, não traz valores exatos. Há faixas de variação em quase todos os itens, mas é suficiente para uma primeira análise da competitividade do biodiesel no Brasil. Evidentemente, variações no custo do petróleo e nos custos de oportunidade dos óleos têm influência decisiva.

Na linha verde estão os custos de produção dos óleos vegetais, sem impostos. Na amarela, os custos de oportunidade para os óleos vegetais, que são os valores pagos aos produtores no mercado internacional.

O Valor de Indiferença para o Produtor (VIP) de biodiesel é a soma do custo de oportunidade do óleo com os custos de processamento do óleo para biodiesel. Em princípio, este é o valor que um produtor de biodiesel espera receber por seu produto, para não ter perdas na comercialização da matéria-prima e ainda ter de agregar algum custo de processamento para vendê-lo.

As duas linhas vermelhas representam a diferença entre o custo do diesel na refinaria, sem impostos, e o preço do diesel ao consumidor, somados os impostos, custos de logística e margens. A diferença entre o VIP e o custo do diesel sem impostos na refinaria é o valor do subsídio a ser pago: parte como renúncia fiscal, mas uma parte significativa, como no caso da mamona, com subsídios mais diretos.

Mesmo no caso da soja, que conta com subsídio mínimo, apenas a renúncia fiscal não seria suficiente para atingir o VIP. O dendê é um caso muito interessante: o custo de produção é baixo, equivalente ao do diesel mineral sem impostos, mas o custo de oportunidade do óleo torna necessário um subsídio direto mais elevado que o da soja.

A mamona parece ser um caso de difícil viabilização, mas por excelentes razões: o produto tem alto valor de mercado, competindo

com a aplicação como biodiesel. O custo de oportunidade para os óleos de dendê e soja são relativos a volumes elevados (acima de 20 milhões de toneladas) enquanto para a mamona o mercado é menor (~ 800 mil toneladas, para os preços atuais). O impacto de uma grande oferta, neste caso, poderá reduzir os preços e, eventualmente, aumentar o volume. Portanto, o custo de oportunidade para o óleo de mamona seria diferente, com o aumento da produção.

Tabela 3. Custos de produção, de oportunidade e valor de indiferença para óleos vegetais de mamona, soja e dendê (valores máximos e mínimos, US\$/l).

Matéria-Prima	Custo de produção		Custo de oportunidade		Valor de indiferença para o produtor	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Mamona	0,43	0,57	0,92	0,94	0,99	1,01
Soja			0,37	0,46	0,38	0,47
Dendê	0,17	0,20	0,44	0,52	0,55	0,65

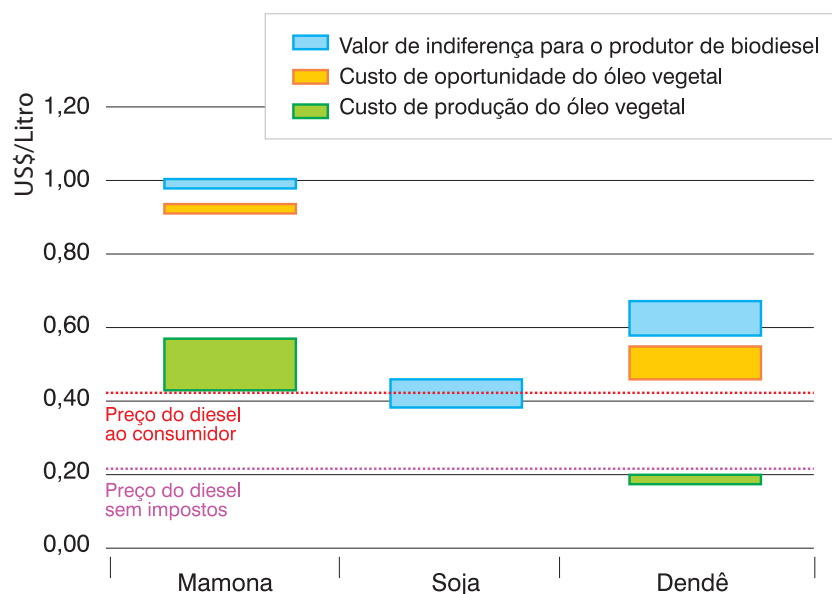


Figura 3. Estimativas de custos para biodiesel no Brasil

Segundo esta avaliação preliminar, a viabilização do B5, sem afetar os preços dos combustíveis ao consumidor, implica em um subsídio respectivamente de US\$ 0,74; US\$ 0,13 e US\$ 0,30 para cada litro de biodiesel produzido de mamona, soja e dendê. Considerou-se apenas o nível inferior da faixa de valores de indiferença para o produtor de biodiesel, frente a um preço de realização (ex-impostos) do óleo diesel de US\$ 0,25 por litro (vide Nota 7). É relevante observar que a estimativa desses valores de subsídio utilizou o valor médio do diesel no Brasil, onde ocorre grande variação de preços, principalmente nas regiões mais isoladas.

Na Europa ou nos EUA, os preços diferentes do diesel modificam os resultados e as condições de viabilidade para o biodiesel. Os preços ao consumidor de diesel na Alemanha e EUA são, respectivamente, da ordem de 0,96 e 0,39 US\$/l⁴¹; e os custos sem impostos de biodiesel, da colza e da soja, são também, respectivamente, 0,63 e 0,58 US\$/l. Em outras palavras, por conta dos elevados impostos, o diesel mineral é tão caro na Alemanha que basta a renúncia fiscal para viabilizar o biodiesel. O mesmo não ocorre nos EUA, onde como visto anteriormente, existe uma política de uso compulsório de biodiesel.

⁴¹ Ferres, J. D.; Competitividade econômica e o marco regulatório para o biodiesel no Brasil; Workshop SMA, S. Paulo, 2004.

9. Conclusões

As conclusões a seguir, apresentadas segundo a seqüência desenvolvida anteriormente, mais do que uma síntese da opinião dos autores, representam uma visão dos principais consensos existentes na comunidade atuante em biodiesel no Brasil.

a. Tecnologias

Tecnicamente, o biodiesel é hoje uma alternativa possível para o setor de transportes que muitos países vêm crescentemente adotando. Atualmente, seria mais indicado no uso em mistura com o diesel, a transesterificação, com metanol ou etanol, pois não exige nenhuma modificação dos motores. Desenvolvimentos tecnológicos podem tornar importantes outras rotas, como craqueamento, e processos, como catálise enzimática.

É muito importante assegurar que o biodiesel atenda às especificações para evitar problemas nos motores. As especificações preliminares brasileiras, estabelecidas na Portaria 255/2003 da ANP, são adequadas para o início de um programa. A implementação do programa de testes poderá esclarecer dúvidas quanto à qualidade, efeitos nos motores e estabilidade, além de permitir eventuais simplificações da especificação.

O balanço energético da produção depende muito da matéria-prima e processos. Tem sido positivo na Europa e nos Estados

Unidos, com soja e colza, ficando a relação, *output renovável/ input fóssil*, entre 2 e 3. No Brasil, há poucos e incompletos estudos que indicam valores entre 1,4 (soja) e ~5,6 (dendê). Comparativamente, o etanol no Brasil apresenta 8,3 e nos EUA, 1,3.

b. Impactos ambientais

O uso do biodiesel reduz as principais emissões locais associadas ao diesel, de PM, CO, HC e SO_x, exceto dos NO_x (+2 a 4%, com B20). É não-tóxico e biodegradável. São características muito importantes para centros urbanos no Brasil.

Com relação às emissões de GEE, resultados para biodiesel puro (B100) indicam reduções de 40 a 60% das emissões correspondentes ao diesel com colza da Europa. Dependem muito da matéria-prima e do tratamento dado aos subprodutos. Os balanços energéticos indicam que as reduções no Brasil, com soja, não seriam maiores. São relevantes, mas o valor associado a possíveis créditos de carbono é pequeno. Para o crédito entre US\$ 1 e 5/ t de carbono evitado, corresponderiam cerca de 3% do custo de produção.

c. Mercados no Brasil

Em 2002, a demanda total de diesel no Brasil foi de 39,2 Mm³, com 76% direcionados para transportes. Deste total,

16,3%, correspondente a US\$ 1,2 bilhão, foram importados. Como exemplo, o uso de B5 em todo o mercado necessitaria de 2,00 Mm³ biodiesel: 0,45 no diesel metropolitano; 0,31 no agropecuário; 0,10 para energia elétrica nos sistemas isolados. Em termos regionais, o consumo de diesel ocorre principalmente na região Sudeste (44%), seguida do Sul (20%), Nordeste (15%), Centro-Oeste (12%) e Norte (9%).

d. Matérias-Primas, tecnologia agrícola e disponibilidade de áreas no Brasil

No Brasil há um grande número de oleaginosas que poderiam ser usadas para produzir biodiesel. Considerando áreas a cultivar para suprir 5% da demanda de diesel (B5), com oleaginosas locais, de acordo com o zoneamento da Embrapa, e tomando simplificada apenas soja, dendê e mamona, estima-se uma necessidade de cerca de 3 M ha. A área de expansão possível para grãos é de 90 M ha. As áreas aptas para dendê atingem, na Amazônia, cerca de 70 M ha, dos quais cerca de 40% com alta aptidão.

A mamona, devido ao atraente valor, parece ser uma opção agrícola rentável para as regiões árida e semi-árida do Nordeste, independentemente do uso para biodiesel.

Até 2002 a mamona era uma cultura relativamente pequena, de 130 mil ha, distribuídos principalmente em pequenas unidades,

de ~15 ha na região Nordeste. A sustentabilidade de um programa de biodiesel exigirá fortalecimento substancial da base agrícola, de suporte para o desenvolvimento e disseminação de novas variedades. O modelo proposto para a produção, familiar “assistido” e assentamentos, deve ser cuidadosamente avaliado nos seus múltiplos aspectos, com ênfase em custos totais e renda. Deve também considerar a alternativa de exportação do óleo para usos não energéticos.

A soja brasileira apresenta forte base agrícola de variedades, tecnologias e uma enorme experiência na produção. Usa 20 M ha, e conta com cerca de 100 M ha aptos para a expansão. Não há limitações, nem técnicas, nem de áreas, para suportar um programa de biodiesel para misturas.

Deve-se prestar muita atenção ao dendê, independentemente de programas para biocombustíveis. Em 2002, a produção mundial de óleo de dendê atingiu 25,4 M t. Deverá ultrapassar a de soja no final da década. O Brasil produz, em 50 mil ha, apenas 0,5% do total mundial, embora seja freqüentemente citado como possuidor do maior potencial do mundo, de áreas com aptidão agrícola para esta cultura. A oferta de variedades é adequada para a pequena produção de hoje, mas a expansão da cultura exigirá fortalecimento de pesquisas de resistência a doenças e características da produção.

e. Emprego e renda

O agronegócio da soja gera empregos diretos para 4,7 milhões de pessoas em diversos segmentos, de insumos, produção, transporte, processamento e distribuição, e nas cadeias produtivas de suínos e aves. A produção correspondente é de 52 M t, em 20 M ha.

Um exemplo para o dendê (com 33 mil hectares plantados e 25 mil em produção), considerando somente os empregos diretos na produção agrícola, indica a geração de 3 mil empregos diretos, o correspondente, em agricultura familiar “assistida”, a uma família para 10 ha. Considerando-se somente os empregos diretos na produção de matéria-prima, prevê-se que os assentamentos para o plantio de mamona gerem um emprego para cada 10-15 ha.

A plena implementação do B5 poderá gerar aproximadamente 260 mil empregos diretos na fase agrícola. A esta demanda de mão-de-obra devem ser agregadas as necessidades da fase industrial e de logística do biodiesel. Para chegar a esta previsão, a Embrapa adotou uma média de 0,09 emprego por ha, valor aproximado entre os observados para a agricultura familiar e a agroindústria considerando as projeções de área a ser cultivada conforme Tabela 2.

f. Custos, custos de oportunidade e competitividade

Na Europa e EUA o custo do biodiesel hoje é 1,5 a 3 vezes maior que o do diesel mineral. Por tratar-se de processos agrícolas e industriais “maduros” e eficientes, não há expectativa de reduções importantes no custo. Uma exceção pode ser o potencial de desenvolvimento agrícola, no caso da mamona, ainda pouco explorado. O biodiesel não é competitivo se não forem consideradas externalidades positivas, como meio ambiente local, clima global, geração e manutenção de emprego e balanço de pagamentos.

No Brasil, como na Europa e nos EUA, o biodiesel não é competitivo com o diesel mineral para os custos de petróleo atuais. Portanto, é preciso conhecer bem os custos atuais e esperados no futuro, para dimensionar corretamente os níveis de subsídios envolvidos. Cabe, ainda, avaliar o valor das externalidades a serem eventualmente consideradas. O mais importante seria a geração de empregos e renda.

Segundo estudos preliminares, de avaliação da competitividade do biodiesel nas condições brasileiras, frente ao preço médio do diesel no país, os subsídios mínimos seriam de cerca de US\$ 0,74; US\$ 0,13 e US\$ 0,30 para, respectivamente, cada litro de biodiesel produzido de mamona, soja e dendê.

Notar que estes valores correspondem ao custo do diesel para petróleo a US\$ 24/barril; e que o custo de oportunidade do óleo de mamona (valor atual) poderá ser reduzido com o aumento da oferta.

Tomaram-se, como indicativos, os custos de produção dos óleos vegetais, do biodiesel derivado e dos valores de indiferença para o produtor de VIP, considerando o valor de mercado dos óleos vegetais. A diferença entre o VIP e o custo do diesel, sem impostos na refinaria, é o valor do subsídio a ser pago, como renúncia fiscal e subsídios diretos. Como um exercício referente ao B5, considerando que todo o mercado estimado de 2 Mm³ fosse abastecido com biodiesel de soja, que aparentemente demanda o menor subsídio, seria necessário um suporte anual de US\$ 260 milhões. Evidentemente, deve-se considerar que o VIP do biodiesel de soja depende essencialmente dos preços da soja no mercado internacional.

Mesmo no caso da soja, apenas a renúncia fiscal não seria suficiente para atingir o valor de indiferença e seria necessário algum aporte adicional para que a adoção do biodiesel não afete o preço ao consumidor. O dendê apresenta um custo de produção baixo, equivalente ao do diesel mineral sem impostos, mas o custo de oportunidade do óleo torna necessário um subsídio direto mais elevado que o da soja. A mamona parece ser um caso de difícil viabilização, mas por excelentes razões: o produto tem alto valor de mercado, competindo vantajosamente com a sua eventual aplicação para biodiesel. Há que se observar que a análise do nível de subsídio, pela ótica da oportunidade da mamona como matéria-prima para óleo em seu mercado tradicional, não levou em consideração a provável redução do preço deste óleo a partir do aumento da oferta.

Como a avaliação dos teores, ou mesmo da simples presença de biodiesel no diesel mineral, não pode ser efetuada de forma simplificada, a adoção de mecanismos de subsídios deve necessariamente contemplar procedimentos de acompanhamento e monitoramento.

10. Recomendações

As recomendações a seguir, elaboradas com base nas potencialidades detectadas no Brasil, na experiência internacional e nos diversos comentários coligidos durante a preparação deste estudo, devem ser consideradas como ponto de partida para uma discussão mais ampla. Foram agrupadas considerando os aspectos relacionados ao mercado para biodiesel, à sua produção, à produção das matérias-primas, e ao desenvolvimento tecnológico necessário. Naturalmente, essas medidas devem ser consideradas dentro de um programa articulado com outras ações de governo.

a. Mercado de biodiesel

Um bom sinalizador para o mercado poderia ser a implementação do programa de testes já acordado, e a autorização para uso irrestrito de misturas até B2, não compulsória, sempre com biodiesel que necessariamente atenda às especificações estabelecidas em Portaria da ANP. Mediante essa regulamentação da ANP, as distribuidoras poderiam passar a fornecer óleo diesel com até 2% de biodiesel, ficando sob sua responsabilidade o cumprimento das especificações do produto entregue ao revendedor ou ao consumidor.

Desta forma, na presente situação de custos/ preços, a diversidade de contextos de demanda de diesel no Brasil pode proporcionar o surgimento de mercados precursores.

Entre esses mercados, poderíamos ter as regiões afastadas das refinarias e com bom potencial produtor de biodiesel, como o interior do Centro-Oeste; a geração de eletricidade em sistemas isolados na Amazônia; e mesmo junto a grandes centros consumidores, quando eventualmente utilizada matéria-prima de baixo preço, como óleos de fritura e outros resíduos graxos, onde a tecnologia permitir e os custos de aquisição e coleta justificarem. As primeiras externalidades visíveis para o consumidor do biodiesel, do efeito lubrificante e do impacto ambiental positivo nos centros urbanos, podem ajudar na aceitação de um custo mais elevado.

O necessário equacionamento dos aspectos tributários (definição de alíquotas ou sua eventual isenção) deve considerar a dificuldade de se assegurar com avaliações “in loco” se existe efetivamente biodiesel em um combustível derivado de petróleo.

Em função dos entendimentos com os produtores e dentro da visão do governo, a crucial questão dos subsídios (próximo tópico) poderia oportunamente ser definida, mas as medidas para a criação do mercado seriam sinalizadoras de um suporte concreto ao biodiesel, com um reduzido impacto fiscal.

b. Produção de biodiesel

Em quase todos os casos no mundo, o biodiesel não pode competir com o diesel mineral sem contabilizar suas externalidades positivas de meio ambiente local, clima global, geração e manutenção de

emprego, balanço de pagamentos, segurança. Também não há evidências de possibilidades de redução de custos significativas, exceto para o caso de cultivos como a mamona, em relação ao qual são esperadas reduções significativas no custo de produção a partir do desenvolvimento e uso de novos materiais genéticos e melhoria nos sistemas de produção comercial. No Brasil, possivelmente a externalidade mais importante seria a geração de empregos.

Embora no Brasil as matérias-primas da mamona e dendê apresentem custos de produção próximos dos custos do diesel mineral, os respectivos custos de oportunidade exigiriam um subsídio elevado para o uso como biodiesel, mantidos os atuais preços destes óleos em seus mercados tradicionais. A principal recomendação para a meta de um mercado sustentável de longo prazo, seria a de estabelecer claramente com os produtores, em cada caso, suas expectativas de remuneração pelo biodiesel nos próximos anos. Conseqüentemente, torna-se necessário estimar os valores dos subsídios e avaliá-los de acordo com os objetivos de um programa de biodiesel no Brasil: emprego e renda; divisas; benefícios ambientais, bem como o volume prospectivo de recursos necessários e as prováveis fontes de financiamento.

Subsídios, renúncia fiscal e outros mecanismos de suporte, são legítimos em função de uma política energética e de desenvolvimento. Podem ser concedidos de diversas formas, com diferentes eficácias. Estímulos aos investimentos e à formação de capital podem ser mais adequados que a introdução de eventuais desajustes nos preços, com implicações em todo o setor energético.

c. Produção de oleaginosas

Em princípio, o elevado custo de oportunidade dos óleos de dendê e mamona não deve ser considerado um problema para o biodiesel, mas uma importante oportunidade. Notamos que o Brasil, embora com excepcionais condições para a produção desses óleos, tem presença muito pequena no mercado internacional. Independente dos usos eventuais para biodiesel, os mesmos programas de produção poderiam ser implementados a partir de um trabalho voltado para a exportação e outros usos no país. Recomenda-se um trabalho inicial de avaliação dos mercados e das nossas condições de competitividade com a mamona da Índia e o dendê da Malásia, e das estratégias para participar desses mercados em muito maior escala.

Em qualquer caso, de biodiesel ou de mercados externos para os óleos, as ações necessárias no plano de produção, devem:

- Mamona: fortalecer os programas de melhoramento genético e fitotecnia da Embrapa, no sentido de aumentar a oferta de material genético (maior número de variedades e híbridos comerciais) com avanços na produtividade e melhoria dos sistemas de produção utilizados no país.
- Dendê: capacitar a Embrapa Manaus para retomar plenamente o desenvolvimento de variedades, desde os bancos de germoplasma até o melhoramento visando resistência a pragas e doenças, distribuição de picos de produção, etc. Analisar as implicações da atual legislação ambiental, especificamente para a expansão dos cultivos de dendê, buscando alternativas de redução dos custos implicados pela legislação.

d. Apoio ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel

Para dar efetiva consistência a um programa de implementação de biodiesel no Brasil, é importante reforçar a base de conhecimento existente e fomentar estudos básicos e o desenvolvimento tecnológico. Essas medidas são importantes para o aperfeiçoamento dos processos de produção, incluindo os de produção alternativos, de craqueamento e catálise enzimática, bem como para promover pesquisas aplicadas na utilização deste biocombustível, em particular por meio do programa mínimo de testes .

Observação final

O biodiesel pode cumprir um papel importante no fortalecimento da base agroindustrial brasileira e no incremento da sustentabilidade da matriz energética nacional, com geração de empregos e benefícios ambientais relevantes. É sempre útil lembrar a experiência do etanol, evoluindo de uma situação de necessidade de grandes subsídios em 1975, para uma forte posição competitiva hoje. Há disponibilidade de terras, clima adequado e tecnologia agrônômica, mas não há competitividade, no sentido convencional. É necessário um reforço da base de variedades e cultivares, exceto para a soja, e algum aperfeiçoamento dos processos produtivos, principalmente da rota etílica. O planejamento para implementação do biodiesel requer ações de curto prazo, com a introdução cuidadosa deste biocombustível no mercado, para poder induzir à progressiva superação das dificuldades apontadas.

Nota 1 – Rotas tecnológicas e matérias-primas

Embora existam iniciativas baseadas em rotas distintas da transesterificação para a produção de combustíveis automotivos a partir de óleos vegetais, e considerável esforço tenha sido aplicado ao uso direto de misturas óleo vegetal e diesel mineral, como o processo termocatalítico desenvolvido no Brasil pela Guascor⁸, nas palavras de um especialista, tecnicamente, não há dúvidas de que a transesterificação seja o caminho que melhor combina eficiência de conversões, favoráveis a produções em larga escala e minimização de formação de subprodutos, desde que as matérias-primas empregadas mantenham um mínimo nível de qualidade⁴².

⁴² Informado ao CGEE por Lincoln Camargo Neves Neto, Westfalia Separator do Brasil, 2004.

A transesterificação ocorre em uma seqüência de três sub-reações consecutivas e reversíveis, com di e monoglicerídeos como intermediários, e as proporções estequiométricas são três moles de álcool por mol de triglicerídeo, óleo vegetal. Entretanto, algum excesso de álcool é necessário para aumentar o rendimento da conversão e permitir a posterior separação dos ésteres do glicerol⁴³.

⁴³ Schuchardt, U., Sercheli, R., Vargas, R. M., "Transesterification of Vegetable Oils: a Review", Journal of Brazilian Chemistry Society, Vol.9, No. 1, 1998.

⁴⁴ Para informações sobre a tecnologia de produção de óleos vegetais, ver, por exemplo, Moretto, E., Alves, R.F., Óleos e Gorduras Vegetais: processamento e análises, Editora da UFSC, Florianópolis, 1986.

Após a obtenção e purificação do óleo vegetal a partir das sementes ou amêndoas, geralmente mediante operações de trituração, laminação, cozimento e extração do óleo bruto⁴⁴, pode ser efetuada sua conversão em biodiesel. De uma forma simplificada, as etapas típicas em um processo de transesterificação⁴⁵, no presente estado de desenvolvimento, são:

⁴⁵ Ma, F. Hanna, M., "Biodiesel Production: a Review", Bioresource Technology, Vol. 70, 1999.

- a. Álcool e o catalisador são misturados em um tanque com um agitador.
- b. Óleo vegetal é colocado em um reator fechado contendo a mistura álcool/catalisador. O reator é usualmente aquecido à aproximadamente 70°C para aumentar a velocidade da reação, que leva entre 1 a 8 horas.
- c. Ao final da reação, quando se considera convertido um nível suficiente de óleo vegetal, os ésteres (biodiesel) e a glicerina são separados por gravidade, podendo ser adotadas centrífugas para agilizar o processo.
- d. O álcool em excesso é separado do biodiesel e da glicerina por evaporação sob baixa pressão (evaporação flash) ou por destilação. O álcool recuperado volta ao processo.
- e. O biodiesel deve ser purificado e em alguns casos, lavado com água morna para remover resíduos de catalisador e sabões.

A transesterificação etílica é significativamente mais complexa que a metílica. O aumento do tamanho da cadeia do álcool acarreta uma maior sofisticação ao processo e parte dos parâmetros do processo deve ser revista. Entretanto, trabalhando-se as quantidades estequiométricas relativas entre catalisador, álcool e óleo não transesterificado, bem como com outras variáveis de processo como temperatura, agitação, tempo de reação, acredita-se ser possível atingir qualidade similar do produto obtido via rota metílica. Apesar de que maiores quantidades de reagentes e utilidades devam ser usadas e portanto, com maiores quantidades de produtos a serem recuperados e efluentes a serem tratados. Devido ao caráter azeotrópico do etanol, o

processo de recuperação de álcool é também mais complexo e dispendioso. A possibilidade de utilização de álcool etílico na produção de biodiesel é de alto interesse, não apenas por ser menos agressivo ambientalmente que o álcool metílico, como também considerando as condições particulares do Brasil, onde são produzidos volumes expressivos de etanol de um modo sustentável e a preços competitivos. Não obstante parecer ainda necessário um esforço para o pleno desenvolvimento da rota etílica, alguns afirmam que o processo etílico já estaria pronto para operar comercialmente⁴⁶. A tabela a seguir apresenta uma comparação entre ésteres metílico e etílico⁴⁷.

⁴⁶ Segundo informações de Miguel Dabdoub, USP/Ribeirão Preto.

⁴⁷ Peterson, C.L., Hammond, B., Thompson, J., Beck, S., Performance and Durability Testing of Diesel Engines Using Ethyl and Methyl Ester Fuels, National Biodiesel Board, Idaho, September 2002.

Tabela A.1. Comparação entre ésteres metílico e etílico⁴³

Propriedade	Éster metílico	Éster etílico
Conversão (óleo → biodiesel)	97,5%	94,3%
Glicerina total no biodiesel	0,87%	1,40%
Viscosidade	3,9 a 5,6 cSt @ 40°C	7,2% superior ao éster metílico
$\Delta\%$ potência frente ao diesel	2,5% menor	4% menor
$\Delta\%$ consumo frente ao diesel	10% maior	12% maior

A transesterificação pode ser conduzida na presença de catalisadores ácidos, básicos e enzimáticos, simples ou complexos. O emprego de catalisadores ácidos, dentre os quais o ácido sulfúrico é o mais empregado, leva a cinética muito lenta de reação quando comparada ao uso de catalisadores básicos. Outro inconveniente do uso de catalisadores ácidos encontra-se na necessidade de sua remoção visando a prevenir possíveis danos às partes integrantes dos motores. A catálise básica por sua vez é muito rápida, geralmente em 15 minutos o estado

assintótico é alcançado. E leva a excelentes rendimentos, muitas vezes superiores a 90%. Contudo, o emprego de catalisadores básicos apresenta como inconvenientes a grande sensibilidade à presença de água e ácidos graxos livres, que mesmo em teores bastante reduzidos afetam o rendimento da reação, consomem o catalisador e levam à formação de géis e sabões. Tais exigências dificultam a utilização de óleos usados de frituras, cujo teor de ácidos graxos normalmente ultrapassam o índice 2 de acidez. Além disso, a separação do biodiesel do restante reacional é uma tarefa complexa e exige várias etapas de separação e neutralização, para atingir a especificação correta. Os separadores centrífugos para a separação da glicerina parecem ser os mais recomendados. Um dos parâmetros mais importantes na especificação do biodiesel é exatamente o teor máximo de glicerina, de 0,5% na proposta brasileira, e de 0,25% nas normas americanas e européias, que deve ser baixo para evitar a formação de depósitos na câmara de combustão, e a produção de teores elevados de acroleína nos gases de escapamento.

O emprego de enzimas como catalisadores oferece vantagens frente aos catalisadores ácidos e básicos, como a menor sensibilidade à presença de água, recuperação do catalisador e separação do biodiesel. No entanto, apresenta altos custos. Esta tecnologia vem sendo estudada no Brasil desde os anos 80. Em 1984, obteve-se uma patente relativa ao uso de guanidinas suportadas por polímeros orgânicos⁴⁸. Contudo, encontra-se ainda em fase de desenvolvimento e é um objeto de intenso

⁴⁸ Schuchardt, U., Lopes, O.C., "Catalisadores orgânicos para obtenção de ésteres metílicos e etílicos de óleos vegetais, sua ancoragem em polímeros e testes em reator contínuo", Simpósio Nacional sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia, Brasília, 1988.

⁴⁹ Informado ao CGEE por José Wladimir de Oliveira, Universidade Rural do Alto Uruguai, Erechim, 2004.

⁵⁰ Informações de Carlos Nagib Khalil, no Seminário de lançamento do Ecodiesel Brasil, MME, Brasília, julho de 2003.

esforço de pesquisa, podendo em médio prazo constituir-se em uma alternativa interessante⁴⁹.

O Centro de Pesquisas da Petrobras dedica-se ao desenvolvimento de rota etílica para a produção de éster de óleo de mamona, diretamente, a partir de sementes trituradas. Os resultados ainda não estão disponíveis, embora uma patente já tenha sido obtida⁵⁰.

A matéria-prima utilizada afeta os requerimentos de processo, os rendimentos e a qualidade do biodiesel produzido. No estágio atual dos processos, o biodiesel originário de palmáceas apresenta uma qualidade superior àquelas das demais oleaginosas, devido à presença de maior teor de ácidos graxos de menor peso molecular e com alto nível de saturação, como o ácido palmítico.

Nota 2 – Especificações e testes

A especificação de um combustível é um aspecto fundamental para sua adequada introdução no mercado. Deve compatibilizar e harmonizar interesses muitas vezes contraditórios, entre produtores do combustível, fabricantes de motores e de sistemas associados e órgãos ambientais.

A edição da Portaria 255/2003 da ANP, baseada em especificações européia e americana, definiu preliminarmente a especificação do biodiesel a ser utilizado no Brasil, em mesclas com óleo diesel em até 20% (B-20), atendendo às seguintes premissas:

- a. Especificar o biodiesel puro, para uso em misturas até B20.
- b. Tomar por base as propriedades do combustível, independentemente da matéria-prima utilizada.
- c. Basear-se na especificação do óleo diesel, eliminando as características não aplicáveis e incluindo as particularidades do biodiesel.
- d. Procurar alinhar-se à experiência internacional.

A tabela a seguir apresenta a especificação brasileira preliminar para o biodiesel, para ser utilizada em testes e base para a definição de uma futura especificação para comercialização. Nessa portaria se define biodiesel como sendo um combustível “composto de mono-alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais”.

Tabela A.2. Especificação preliminar do biodiesel, Portaria ANP 255/2003

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES	MÉTODOS	
			ABNT NBR	ASTM D
Ponto de fulgor, mín.	°C	100,0	14598	93
Água e sedimentos, máx.	% volume	0,050	-	2709
Viscosidade a 40°C,	mm ² /s	Anotar	10441	445
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	9842	874
Enxofre total, máx.	% massa	0,001		5453
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130
Número de Cetano, mín.	-	45	--	613
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	função da região e do mês	14747	6371
Resíduo de carbono, máx.	% massa	0,05	--	4530
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,80	14448	664
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	--	6584
Glicerina total, máx.	% massa	0,38	--	6584
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas	--	--
Destilação; 95% vol. recuperado, máx.	°C	360	--	1160
Massa específica a 20°C	kg/m ³	Anotar	7148, 14065	1298
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,5	--	--
Índice de iodo, máx.	% massa	Anotar	--	--
Monoglicerídeos, máx.	% massa	1,00	--	6584
Diglicerídeos, máx.	% massa	0,25	--	6584
Triglicerídeos, máx.	% massa	0,25	--	6584
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	10	--	--
Fósforo, máx.	mg/kg	10	--	4951
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín	h	6	--	--

Basicamente foi adotada uma especificação similar à americana⁵¹ e à européia⁵², entretanto, deixando como parâmetros livres para serem anotados, a viscosidade (a mistura B20 deve atender a especificada para o diesel) e o índice de iodo (indicador do número de ligações duplas e portanto do nível de insaturação do biodiesel). Isto visa não criar obstáculos à utilização de algumas

⁵¹ American Society for Testing and Materials, ASTM D 6751 – Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, May 2002.

⁵² Está em fase de discussão final a proposta de especificação européia prEN 14214 – Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (Fame) for diesel engines – Requirements and test methods e existem normas nacionais em quase todos países, algumas mais restritivas, como a norma alemã DIN 51606, de 1994.

⁵³ Atmosphere and Sustainable Transport Branch, National Standard for Biodiesel – Discussion Paper, Environment Australia, Canberra, 2003.

⁵⁴ Moreira, J.R., Conclusões do Workshop sobre Produção e Uso de Biodiesel, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, março de 2004.

⁵⁵ Prankl, H., Schindlbauer, H., Oxidation Stability of Fatty Acid Methyl Esters, 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry, Würzburg, 1998.

matérias-primas, como a mamona (alta viscosidade) ou a soja e girassol (alto teor de ácido linoleico, polinsaturado e portanto com alto número de iodo⁵³). A especificação europeia determina expressamente o uso de metanol para produção de biodiesel. A especificação brasileira, como a americana, não restringe o uso de álcool etílico. O ponto essencial é que a mistura de biodiesel com diesel atenda a especificação do diesel, principalmente quanto às exigências do sistema de injeção, do motor, do sistema de filtragem e de exaustão.

As críticas que eventualmente têm sido feitas a esta especificação referem-se ao excessivo rigor e à dificuldade de serem avaliados alguns parâmetros, não obstante ser uma especificação preliminar para testes⁵⁴. Os valores adotados pela ANP resultaram de um amplo processo de consulta, com fabricantes de motores e sistemas de injeção, produtores de biodiesel e diesel, universidades e centros de pesquisa. A tecnologia atual de biodiesel buscou harmonizar os diferentes pontos de vista, sob o interesse maior do consumidor. Embora os limites propostos possam ser reavaliados, é importante que determinadas características sejam efetivamente medidas, como é o caso da estabilidade à oxidação, hoje passível de avaliação apenas em um número restrito de laboratórios brasileiros. A estabilidade é um parâmetro crítico, sumamente relevante para o bom funcionamento dos motores e para a correta definição da logística a ser adotada⁵⁵. O biodiesel pode ser aditivado com compostos antioxidantes naturais ou artificiais, que reduzem sua taxa de degradação e mitigam os

efeitos do processo de oxidação. Certamente ainda cabem desenvolvimentos tecnológicos nesta direção. Outra propriedade importante, limitadamente avaliada, é a cetanagem.

Na opinião dos fabricantes de equipamentos de injeção para motores diesel, a especificação preliminar apresentada pela ANP é adequada. Seu pleno atendimento é importante para evitar os problemas observados, inclusive na Europa, que se não eliminados contribuem para a insatisfação do consumidor e podem destruir a imagem pública positiva do biodiesel⁵⁶.

⁵⁶ Informado ao CGEE por Carlos A. Boldo, Bosch, 2004.

Essa especificação preliminar deve necessariamente ser objeto de avaliações e discussões com o avanço do conhecimento sobre biodiesel no país. O objetivo é estabelecer uma especificação nacional para uso comercial. Aspectos que necessitam esclarecimento nos testes ainda por realizar:

- a. Comportamento das misturas (até B20), oriundas de diferentes matérias-primas, quanto a desempenho e durabilidade, nos motores da frota brasileira.
- b. Estabilidade das misturas com os diferentes óleos diesel nacionais, em distintos períodos do ano.
- c. Impactos ambientais, em especial como NOx.
- d. Viabilidade do processo etílico atingir a especificação do processo metílico, em particular quanto à viscosidade, teor de glicerina total e estabilidade frente à oxidação.
- e. Possibilidades de simplificação e eventuais modificações nos parâmetros da especificação, por exemplo, retirando o teor máximo de etanol possível de ser inferido pelo ponto de fulgor e reduzindo o número de glicérides especificados.

O desenho de programa de testes foi objeto de intensas discussões com praticamente todos os agentes interessados³⁹. A proposta de consenso foi da realização de um programa de testes de campo monitorados e com equipamentos protocolados. Participariam 48 veículos, 24 novos e 24 usados, com motores de diferentes configurações e rodando durante um ano inteiro. Seriam usadas misturas B2 e em seguida B5. Estimou-se um custo para o governo de US\$70 mil, e de US\$700 mil para a Bosch. O cronograma de realização dos testes prevê uma duração de, aproximadamente, dois anos, com final previsto para junho de 2005⁵⁷.

⁵⁷ Anfavea/Sindipecas/AEA, Programa de testes para uso da mistura diesel/biodiesel, apresentação ao MME, setembro de 2003.

⁵⁸ Informações prestadas por Francisco Nigro, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) propôs um programa de testes dinamométricos, com custos estimados em R\$ 1,1 milhão⁵⁸. Tem como propósito avançar nos estudos de desempenho de motores empregando biodiesel em teores mais elevados, até B20, incluindo o estudo de impactos ambientais de emissões não regulamentadas, potencialmente associadas ao biodiesel.

É importante observar que as mesclas de diesel com biodiesel adequadamente especificado, em teores até 20%, podem ser empregadas como um substituto direto do derivado de petróleo, sem problemas operacionais ou de desempenho em motores convencionais. Salvo poucas exceções, que limitam o emprego de biodiesel ao B5, praticamente todos os fabricantes de motores, na Europa, não colocam objeções a este combustível e mantêm a garantia de seus equipamentos quando operando com B20¹.

Nota 3 – Uso energético de óleos vegetais como combustíveis no Brasil

As primeiras referências ao uso de óleos vegetais no Brasil datam da década de 1920. Posteriormente, algumas pesquisas foram desenvolvidas no Instituto Nacional de Tecnologia, no Instituto de Óleos do Ministério da Agricultura e no Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais. Neste último, em 1950, registraram-se estudos sobre o uso dos óleos de ouricuri, mamona e algodão em motores diesel de 6 cilindros⁵⁹.

⁵⁹ STI/MIC, Produção de Combustíveis Líquidos a partir de Óleos Vegetais, Brasília, 1985.

A partir dos anos 70, quando o crítico cenário energético mundial nos instigou a reduzir a dependência de petróleo importado, as pesquisas sobre óleos vegetais ganharam novo impulso.

Em 1980, a Resolução nº 7, do Conselho Nacional de Energia, instituiu o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo). Entre outros objetivos, pretendia substituir óleo diesel por óleos vegetais em mistura de até 30% em volume, incentivar a pesquisa tecnológica para promover a produção de óleos vegetais nas diferentes regiões do país e buscar a total substituição do óleo diesel por óleos vegetais⁶⁰. Neste período, o país produzia cerca de 15% do petróleo consumido e os preços internacionais eram os mais elevados de toda a história, resultantes do segundo choque do petróleo. Nos primeiros anos, deu-se maior atenção à soja. A partir de 1981, ao amendoim, e em 1982 à colza e girassol. Em 1986, a ênfase

⁶⁰ Iturra, A.R., Análise Histórica do Biodiesel no Brasil, relatório apresentado ao Grupo de Trabalho Interministerial sobre Biodiesel, Casa Civil da Presidência da República, Brasília, setembro de 2003.

passou ao dendê. A meta era, em cinco anos, produzir 1,6 milhão de metros cúbicos de óleos para fins energéticos. Contudo, a viabilidade econômica era questionável: em valores para 1980, a relação de preços internacionais óleos vegetais/petróleo, em barris equivalente, era de 3,30 para o dendê; 3,54 para o girassol; 3,85 para a soja e de 4,54 para o amendoim⁶¹. Com a queda dos preços do petróleo a partir de 1985, a viabilidade econômica ficou ainda mais prejudicada e este programa foi progressivamente esvaziado, embora oficialmente não tenha sido desativado.

Também no início dos anos 80, a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio (STI/MIC), desenvolveu e lançou o Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal⁶², com algumas linhas de ação relacionadas aos óleos vegetais combustíveis, que levaram ao Programa OVEG⁶³, voltado especificamente para a comprovação técnica do uso dos óleos vegetais em motores ciclo Diesel, com a participação de institutos de pesquisa, órgãos técnicos do governo federal, fabricantes de motores, fabricantes de óleos vegetais e empresas de transportes. Foram desenvolvidos testes com ésteres puros (metílico e etílico) e misturas com 30% de éster metílico de óleo de soja, matéria-prima selecionada por sua maior disponibilidade. Uma boa síntese dos trabalhos realizados nesse período e dos avanços conseguidos foi apresentada por Carioca e Arora⁶⁴.

Em 1985, o Secretário de Tecnologia Industrial do MIC, Lourival Carmo Mônaco, afirmou com relação à substituição do diesel: “do

⁶¹ Homem de Melo, F., Óleos Vegetais como Alternativa ao Diesel, 1982.

⁶² STI/MIC, Programa Tecnológico Industrial de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal, Brasília, 1979.

⁶³ STI/MIC, Óleos Vegetais - Experiência de Uso Automotivo Desenvolvida pelo Programa OVEG I, Brasília, 1985.

⁶⁴ Carioca, J.O.B., Arora, H.L., Biomassa: fundamentos e aplicações tecnológicas, Editora da UFC, Fortaleza, 1984.

ponto de vista técnico, está comprovado que os óleos vegetais constituem o substituto mais adequado, por não exigirem grandes modificações nos motores e apresentarem alto rendimento energético, segundo demonstraram inclusive testes de rodagem em caminhões e ônibus que acumularam mais de um milhão de quilômetros percorridos”. Quanto às limitações e benefícios, constatava: “embora os custos de produção e de transformação, calculados com base em culturas oleaginosas tradicionais de ciclo anual, sejam atualmente desfavoráveis em relação aos derivados de petróleo, não há dúvida de que os óleos vegetais extraídos de culturas perenes, pouco ou ainda não exploradas no país, poderão representar uma possibilidade interessante na substituição parcial ou total das frações mais leves do petróleo, principalmente o óleo diesel. Ademais, sua produção maciça irá resultar em grandes benefícios sociais decorrentes do alto índice de geração de emprego por unidade de capital investido”⁶⁰.

No início dos anos 80, como resultado dessa primeira fase do biodiesel no Brasil, a empresa cearense Produtora de Sistemas Energéticos (Proerg) obteve a primeira patente brasileira de biodiesel, e produziu cerca de 300 mil litros de biodiesel utilizados nos testes. Essa empresa também desenvolveu um querosene aeronáutico à base de óleo vegetal, homologado no Centro Técnico Aeroespacial (CTA) em 1983⁶⁵.

⁶⁵ Parente, E.J.S., Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado, Fortaleza, 2003.

Nos últimos anos, com a valorização dos aspectos ambientais e da sustentabilidade dos sistemas energéticos, bem como motivado pela consolidação do programa europeu de biodiesel, o interesse

neste combustível foi retomado no Brasil. Diversas instituições passaram a desenvolver atividades neste campo e algumas ações governamentais foram tomadas. Em 2002, o MCT constituiu a Rede de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Probiodiesel, com representantes da academia, do governo, da indústria automotiva e de potenciais produtores de biodiesel. Essa rede promoveu diversas reuniões e por intermédio de quatro grupos técnicos procurou avançar na avaliação das perspectivas do biodiesel para as condições brasileiras. Nos estudos preliminares realizados não houve consenso quanto às matérias-primas e processos a considerar.

Projetos promovidos ou acompanhados pelo Centro de Referência em Bioenergias (Cenbio) nos últimos anos, têm utilizado óleos vegetais “in natura” para o suprimento de energia elétrica em comunidades isoladas da Amazônia, empregando motores convencionais adaptados ou motores especiais para estes combustíveis. Foram implementados na Reserva Extrativista do Carauari, no Médio Juruá, localidade a 10 dias de barco de Manaus (Motor Elsbett, óleo de andiroba) e em comunidades relativamente próximas de Belém, no Município de Moju (Motor Elsbett, óleo de dendê) e na Vila Soledade (Motor MWM turbinado adaptado, óleo de dendê). Os resultados ainda não são conclusivos, mas já se acumula razoável experiência, inclusive em aspectos de gestão⁶⁶.

No âmbito empresarial, especificamente atuando em biodiesel transesterificado em processos metílicos, atualmente, podem

⁶⁶ Informações prestadas por Orlando Cristiano da Silva, Centro Nacional de Referência em Bioenergia (Cenbio).

ser citadas pelo menos cinco empresas brasileiras: a Ceralit, de Campinas, São Paulo, que atua há muitos anos em oleoquímica para produção de insumos industriais; a Ecomat – Ecológica, de Cuiabá, Mato Grosso, que produz o AEP-102, um éster metílico de soja e co-solvente para misturas álcool-diesel; a Tecnologias Bioenergéticas de Fortaleza (Tecbio), sucessora da empresa Proerg; a Biolix, de Rolândia, Paraná e a SoyMinas Biodiesel, de Cássia, Minas Gerais.

Nota 4 – Palmeiras e biodiesel no Brasil

Conhecido pelos indígenas como Pindorama ou Terra das Palmeiras, o Brasil apresenta uma grande variedade de espécies nativas e aptidão edafo-climática para outro extenso número de espécies exóticas de palmáceas. Em sua obra sobre palmeiras no Brasil, Lorenzi informa que existem cerca de 3.500 espécies de palmáceas em todo o mundo, listando 132 espécies brasileiras e 152 espécies cultivadas, introduzidas por outros países⁶⁷. As palmeiras são características da flora tropical. Como produzem inúmeros produtos de valor econômico, despertam interesse para o fornecimento de matéria-prima de fabricação de biodiesel, não apenas por sua adequação às condições locais. Também por permitirem diversificar a base agrícola, aspecto importante em agricultura tropical, e fornecer volumes importantes de subprodutos de interesse energético, que podem auxiliar no fornecimento de energia para o processo industrial.

⁶⁷ Lorenzi, H. et alli, *Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas*, Editora Plantarum, Nova Odessa, 1996.

Além do dendezeiro, freqüentemente apontado como um dos vetores energéticos preferenciais para a obtenção do biodiesel, possivelmente outras espécies de palmeiras também podem apresentar viabilidade e serão brevemente apontadas na presente nota. De modo geral, o conhecimento agrônomo das palmáceas nativas é relativamente reduzido. Mais estudos poderão orientar a adequada seleção de espécies produtoras de óleo, bem como desenvolver técnicas de cultivo e manejo. Salvo indicação, a referência básica para esta nota foi o trabalho de Lorenzi e colaboradores⁶¹.

1. Babaçu (*Attalea Speciosa M.*): cresce em grupamentos de grande extensão, principalmente no Maranhão e Piauí, mas também ocorre espontaneamente desde o Amazonas até a Bahia e Mato Grosso, sendo uma das mais importantes palmeiras brasileiras. Sua altura média é 20 m e produz frutos cujas sementes pesam 7% do total do fruto. Contêm de 65% a 68% de um óleo similar ao óleo de dendê. Calcula-se que cada palmeira é capaz de produzir cerca de 4 a 8 kg de óleo por ano. Considerando como adequada a um adensamento de 100 árvores por ha, resulta uma produtividade anual de 0,4 a 0,8 t/ha de biodiesel. Estes valores são estimados e podem variar. Estudos da Secretaria de Tecnologia Industrial (STI) indicaram uma produtividade de frutos de babaçu de 2,5 t/ha⁶⁸. O endocarpo do fruto serve como combustível e os resíduos de sua industrialização são usados para fins forrageiros, ou como fertilizante nitrogenado e fosfatado. Praticamente não existe cultivo sistemático de babaçu e a produção extrativista provém de palmeiras espontâneas, assumindo-se que os babaçuais brasileiros ocupam cerca de 17 milhões de ha. Contudo, a área onde há concentração suficiente de palmeiras exploráveis é bem menor, certamente inferior a 100 mil ha⁶⁹, localizados às margens dos rios do Piauí, Maranhão e Ceará.

2. Macaíba ou macaúba (*Acrocomia intumescens D.*): palmeira nativa no Nordeste, com até 10 metros de altura, ocorre principalmente nas zonas litorâneas e nos brejos de altitude de Alagoas, Ceará, Paraíba e Pernambuco. É considerada uma

⁶⁸ Secretaria de Tecnologia Industrial, Coco de babaçu: matéria-prima para produção de álcool e carvão, Ministério de Indústria e Comércio, Brasília, 1977.

⁶⁹ Peres, J. R., Oleaginosas para biocombustíveis, Embrapa, 2003.

espécie promissora, avaliada com um potencial produtivo de 12 t/ha de frutos secos em plantios programados, que levaria a uma produção de 1.800 litros/ha de biodiesel e a um significativo volume de subprodutos energéticos, relativos a uma disponibilidade energética quase três vezes superior a do óleo vegetal⁷⁰.

⁷⁰ STI/MIC, Potencialidades do fruto da *Acrocomia Intumescens* para fins energéticos, Simpósio Nacional sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia, Brasília, 1988.

3. Ouricuri ou Licuri (*Syagrus coronata M.*): palmeira de 3 a 10 metros, comum na vegetação da caatinga, cujos frutos fornecem um óleo comestível de boa qualidade. Penetra no cerrado e restingas, de Alagoas, Bahia, Pernambuco e norte de Minas Gerais. Em 1950, o Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais realizou ensaios em motores com o óleo dos frutos dessa palmeira⁷¹.

⁷¹ STI/MIC, Produção de Combustíveis Líquidos a partir de Óleos Vegetais, Brasília, 1985.

4. Coco-da-bahia (*Cocos nucifera L.*): palmeira largamente encontrada na costa atlântica nordestina do Brasil, principalmente nas restingas entre o Rio Grande do Norte e a Bahia, com variedades anã e gigante, até 30 metros de altura. Trata-se de um cultivo comercial e com bom nível de informações agrônômicas. Cerca de 6 a 7 mil cocos produzem uma tonelada de copra, como se denomina o albume sólido seco⁷². A copra apresenta um teor de óleos de 60% e sua gordura é explorada industrialmente em muitos países. Considerando condições médias no Brasil, estimou-se uma produtividade anual média de 1,3 a 1,9 t/ha de gordura de coco⁷³.

⁷² Pimentel Gomes, Enriqueça com um coqueiral, Melhoramentos, São Paulo, 1967.

⁷³ CAEEB, Substituição Integral do Óleo Diesel por Óleos Vegetais, Departamento de Estudos de Novas Fontes Alternativas, Rio de Janeiro, 1980.

5. Outras palmeiras: no interior do Brasil, diversas espécies são utilizadas em escala artesanal para produção de óleos comestíveis

ou para iluminação pela população local, e eventualmente poderão ter interesse para a diversificação de fontes de matéria-prima para o biodiesel. Como exemplo, podem ser citadas as seguintes espécies: bacaba-do-azeite (*Oenocarpus bacaba M.*), do Amazonas e Pará, bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus M.*), do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins, carandaí (*Trithrinax brasiliensis M.*), endêmica no sul brasileiro, catolé ou pindoba (*Attalea humilis M.*), da Mata Atlântica de São Paulo até a Bahia, macaúba (*Acrocomia aculeata Lodd*, não confundir com a *Acrocomia intumescens*), das encostas de morros da região Sudeste e Centro-Oeste, tucumã (*Astrocaryum vulgare M.*), do Nordeste e Centro-Oeste e o indaiá (*Attalea oleifera B.R.*) de toda a região costeira do Sudeste ao Nordeste. Os nomes populares variam bastante e o conhecimento agrônomo dessas espécies é ainda elementar. Em alguns casos, o Ibama aponta riscos de extinção. Para nenhuma destas palmeiras se identificou um potencial de interesse imediato para fins energéticos.

Nota 5 – Glicerol: mercados e perspectivas⁴⁰

O Glicerol é produzido por via química ou fermentativa. Tem uma centena de usos, principalmente na indústria química. Os processos de produção são de baixa complexidade tecnológica. A produção por síntese microbiana predominou até que a síntese química, de subproduto do propileno, avançou em 1950. Agora, com o declínio na produção de polipropileno, as fermentações voltaram a ocupar espaço no mercado. O mercado de volumes e preços oscilou muito na última década.

Entre 1995-2003, os preços oscilaram entre US\$ 1.08/ lb e US\$ 0.60/ lb, com tendência, nos últimos anos⁷⁴, para US\$ 1.00/ lb.

⁷⁴ Chemical Marketing Reporter, março, 2003.

As aplicações principais hoje são:

- Síntese de resinas, ésteres 18%
- Aplicações farmacêuticas 7%
- Uso em cosméticos 40%
- Uso alimentício 24%
- Outros 11%

A demanda cresce mais nos mercados de uso pessoal e higiene dental, e alimentos, onde o produto tem maior pureza e valor. Corresponde a 64% do total. Em alimentos, a demanda de glicerina e derivados cresce em 4% ao ano.

Depois de fortes oscilações na década de 90, desde 2000 o mercado para glicerina volta a crescer. Uma grande fonte agora na Europa e nos Estados Unidos é a glicerina proveniente do biodiesel.

Drogas

O glicerol é atualmente um dos ingredientes mais utilizados na indústria farmacêutica na composição de cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes e emolientes para cremes e pomadas, antibióticos e anti-sépticos.

Cosméticos

Por ser não-tóxico, não-irritante, sem cheiro e sabor, o glicerol tem sido aplicado como emoliente e umectante em pastas de dente, cremes de pele, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens.

Tabaco

O glicerol tem sido empregado no processamento de tabaco a fim de tornar as fibras do fumo mais resistentes e evitar quebras. É empregado na composição dos filtros de cigarros e como veículo de aromas.

Têxteis

Amaciar e aumentar a flexibilidade das fibras têxteis.

Outros

Pode ainda ser empregado como lubrificante de máquinas processadoras de alimentos, fabricação de tintas e resinas, fabricação de dinamite etc.

Alimentos e bebidas

O glicerol pode ser usado como umectante e para conservar bebidas e alimentos tais como refrigerantes, balas, bolos, pastas de queijo e carne, ração animal seca. Todas estas aplicações utilizam hoje principalmente sorbitol. É possível que o glicerol venha a tomar parte dos mercados de sorbitol, se os preços caírem nos próximos anos em função de super-produção, com o biodiesel.

Aplicação exclusiva do glicerol: por ser um componente estrutural de lipídeos tem sido utilizado em preparações de molho para salada, coberturas de doces e sobremesas geladas.

Outro mercado muito importante, e exclusivo, que provavelmente vai se desenvolver com a maior oferta de glicerol, é a aplicação deste para a síntese de moléculas de alto valor agregado. Entre estas está o PDO (propanodiol), a partir de fermentação do glicerol, para uso em plásticos. Matéria-Prima do futuro para fermentações de: 1,3 propanodiol e dihidroxiacetona.

Se o glicerol tiver um grande crescimento de oferta com redução de preços em função da produção de biodiesel, e grande parte do mercado de sorbitol for substituído por glicerol nas aplicações de drogas, cosméticos e outros, teríamos uma nova demanda de glicerol estimada em 300 mil t por ano.

Muitas aplicações de sorbitol em alimentos poderão ser substituídas pelo glicerol. Do ponto de vista tecnológico, existem poucas aplicações para as quais a glicerina não entraria no mercado de sorbitol.

A produção de glicerol foi de 800 mil t/ano em 2000; a produção advinda de biodiesel (Europa e EUA) em 2000 já era de 10% do total; em 2002, estimava-se em 200 mil t/ ano.

Nota 6 – Geração de empregos e renda: dendê

A experiência da Agropalma com cultura extensiva e com cultura familiar assistida em assentamentos é a seguinte³⁷:

- Agropalma: 33 mil hectares plantados e 25 mil em produção plena, gerando 3 mil empregos diretos. Mais de R\$ 100 milhões injetados na economia paraense, somente em 2003, por meio de impostos, salários, compras de insumos etc. Não estão incluídos empregos e injeções de terceiros inerentes ao andamento da empresa.
- Parceria Agropalma/ Governo: Trata-se de um plano de assentamento para 150 famílias, onde 100 já foram contempladas: a Agropalma entra com as mudas, assistência técnica e preparação da infra-estrutura agrícola inicial. Garante a compra de toda a produção a preços internacionais, conforme contrato firmado. O governo do Pará fornece a área. O Banco da Amazônia paga um salário mínimo mensal para cada família por sete anos, quando se alcança a produção plena e os insumos necessários para este cultivo. A prefeitura de Moju é responsável pela seleção das famílias e pela contratação de um agrônomo permanente. Quando começar a produção, a Agropalma irá reter 20% do valor a ser pago a cada família a fim de quitar o empréstimo do Basa. A preços de hoje, estima-se que numa área de 10 hectares, cada família obtenha uma renda bruta anual na casa de R\$ 40 mil. Caso o manejo seja realizado somente por ele e sua família, a renda líquida anual poderá ultrapassar os R\$ 15 mil.

Nota 7 – Formação do preço do óleo diesel no Brasil

⁷⁵ Agência Nacional do Petróleo, www.anp.gov.br, 2004

Conforme dados mais recentes da ANP⁷⁵, e considerando a legislação tributária no Decreto nº 4.565, de 1º de janeiro de 2003, os preços médios do diesel no Brasil são:

- Consumidor (1,388 R\$/litro; variando bastante conforme a região).
- Distribuidor (1,288 R\$/litro; incluindo ICMS, variável entre os estados, margem da distribuidora e os custos de logística).
- Refinaria (0,965 R\$/litro; incluindo tributos federais, Cide/PIS/Cofins de 0,218 R\$/litro).

Retirando os impostos, temos um valor de realização de R\$0,747/l, cerca de US\$ 0,25/l. Esses preços variam entre os diversos mercados. São 5% inferiores no Nordeste e 4% mais caros na região Centro-Oeste, baseados no preço de oportunidade do produto importado e nas distâncias dos pontos de oferta.

Seção 2

Avaliação da expansão da produção do etanol no Brasil

*Isaías de Carvalho Macedo
Luiz Augusto Horta Nogueira*

Resumo executivo

1. Visão histórica da produção de etanol no Brasil

Desde sua efetiva incorporação à matriz energética brasileira, em 1975, até a atualidade, o etanol conseguiu importantes resultados:

- A produção e a demanda ultrapassaram largamente as expectativas colocadas no início do Programa Nacional do Álcool.
- A implementação de tecnologias e avanços gerenciais tornaram este combustível renovável competitivo com os combustíveis fósseis.
- As características de sua produção o tornam a melhor opção, no momento, para a redução de emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes, em todo o mundo. Este estudo avalia quais seriam as vantagens e as dificuldades a resolver para expandir sua produção no Brasil, visando inclusive a mercados externos nos próximos dez anos.

2. Atual situação da cadeia produtiva do etanol de cana

O uso de etanol e a exportação de açúcar triplicaram a produção de cana no Brasil desde 1975. Presente em todos os Estados, a cana ocupa 8% da área de cultivo, utiliza 300 usinas e 60 mil produtores de cana. Graças à evolução tecnológica e gerencial, o Brasil é hoje, no plano mundial, imbatível em termos de custos

de produção de etanol e de açúcar a partir da cana. Os custos prometem diminuir ainda mais, com melhorias na produção, inovações radicais em variedades transgênicas, novos processos industriais e novos produtos, entre os quais, energia elétrica a partir do bagaço e da palha de cana.

Os benefícios se manifestam igualmente no terreno da redução de emissões de gases de efeito estufa. O setor promove redução equivalente a aproximadamente 18% das emissões dos combustíveis fósseis no país. O etanol respondeu por grande redução na poluição atmosférica em centros urbanos. Com relação à gasolina, houve eliminação do chumbo, de todos os compostos de enxofre, particulados com carbono e sulfatos (etanol a 100%). Compostos orgânicos voláteis passaram a ter menores emissão e toxicidade. Houve redução de 70% do CO (E100 antigos) e 40% do CO nos E-22. A partir de 2001, o custo social evitado em função desses benefícios ambientais seria da ordem de R\$ 0,5 bilhão por ano.

Do ponto de vista ambiental, podem ser listados benefícios como: a cultura não é irrigada; recicla todos os efluentes industriais, vinhaça, torta, cinzas; utiliza em larga escala controles biológicos de pragas; tem conseguido reduzir o uso de fertilizantes minerais e defensivos. Nas regiões de maior produção, estão em curso programas para a redução gradual da queima da cana, e o mesmo deverá ocorrer com a proteção de nascentes e a redução da captação de água para uso industrial. A experimentação com transgênicos é limitada pela legislação vigente.

Em termos econômicos, observa-se que, em 1991, a renda média do trabalhador na cultura de cana era superior a de outras culturas agrícolas no país. O investimento médio por emprego direto era inferior à metade do investimento equivalente médio nos 35 maiores setores da economia. Em 1997, havia 1,08 milhão de empregos diretos e indiretos (60% diretos) e cerca de 1,8 milhão “induzidos”. O avanço da mecanização agrícola conduzirá a reduções no emprego por unidade de produto nos próximos dez anos.

Em janeiro de 2003, o custo de produção sustentável, econômica, social e ambientalmente para o Centro-Sul brasileiro em usinas “mais eficientes”, era de R\$ 0,52/l etanol hidratado, sendo competitivo, portanto, frente à gasolina (US\$ 0,21/l, a partir do petróleo com o preço estimado em US\$ 24 o barril). Os recentes aumentos sucessivos no preço do petróleo bruto tornam a produção de etanol ainda mais competitiva.

3. Perspectivas de evolução e competitividade externa para a próxima década

A produção atual de etanol no mundo é de cerca de 33 milhões de m³, sendo 58% para combustível. O Brasil produz 13,5 milhões de m³ (41%). Os custos equivalentes a produtos alternativos são superiores fora do Brasil. Nos Estados Unidos, o custo para o milho está entre 29 e 33 centavos de dólar por litro. Na Alemanha, para o trigo e a beterraba, o custo se aproxima de 51 centavos de

dólar por litro. Em 2010, graças a avanços tecnológicos, como no caso de hidrólise de lignocelulósicos, os Estados Unidos poderá ter US\$ 0,30 e, em 2020, US\$ 0,20. O custo de produção do etanol no Brasil dificilmente será atingido por outros países neste período.

Estimativas para o mercado do etanol no Brasil indicam um consumo potencial de 22 milhões de m³ em 2013. A demanda mundial, por sua vez, deverá atingir 35-50 milhões de m³ em 2010. O Brasil poderia suprir parte desta demanda externa, conservadoramente, 4,4 milhões de m³ em 2013. Quanto ao açúcar, o mercado interno, incluindo usos para outros produtos, poderá chegar a 12,8 milhões de toneladas em 2013. O Brasil manteria sua posição no mercado “livre” externo (40%), atingindo 20,9 milhões de toneladas/ano.

A demanda mundial potencial deve levar em conta o impacto do protocolo de Quioto e o uso de combustíveis renováveis, e também o protecionismo dos países ricos nessa área, para preservação do emprego interno. Os aumentos globais, internos e externos, nas duas vertentes da cana, corresponderiam a dobrar a produção atual de etanol e aumentar em cerca de 44% a produção de açúcar. Essas estimativas levariam à necessidade de aumento de 230 milhões de toneladas de cana/ano, até 2013. Devemos considerar, portanto, impactos de aumentos na faixa de 150-230 milhões de toneladas de cana, o que representa algo em torno de 2,2 a 3 milhões de hectares adicionais de plantio.

A base genética atual, no setor privado e público, é suficiente para o desenvolvimento contínuo de novas variedades, de modo a proteger as áreas produtoras de novas doenças ou pragas. Além disto, o Brasil lidera no mundo a biotecnologia de cana, junto com a Austrália e a África do Sul. É necessário garantir a continuidade e expansão desses programas, hoje subfinanciados, e tornar mais ágeis os controles na área de biotecnologia.

Não há zoneamento específico para a cana no país. A experiência com a cultura, em quase todo o Brasil, e a adaptação de cultivares em áreas de expansão indicam que nas áreas de expansão livres, hoje, de 90 milhões de hectares apenas em cerrados, seria possível utilizar sem conflitos os 2,5-3 milhões de hectares necessários. Esta possibilidade é ainda maior com o uso de melhoramento genético específico para estas áreas. A indústria nacional tem capacidade para suprir totalmente, nos prazos previstos, a demanda de destilarias completas e sistemas de geração de energia associados. A estrutura logística para a exportação precisará de investimentos em armazenamento, melhoria de ferrovias, vagões, desvios, terminais nos portos e dutos. A melhoria da estrutura rodoferroviária precisa ser considerada pelo setor público, e a participação da Petrobras, com dutos e tancagem, deve ser integrada.

Estima-se em 125 mil empregos diretos e 136 mil indiretos a demanda para cada 100 milhões de toneladas de cana, considerando as reduções de emprego por mecanização agrícola no final do processo de modernização. Uma produção de apenas

400 milhões de toneladas de cana manteria o nível de empregos de 1997. A expansão do setor trará aumentos no número absoluto e melhoria na qualidade de empregos. Para 500 milhões de toneladas de cana corresponde 1,3 milhão de empregos diretos e indiretos.

Finalmente, a expansão da produção deve ser acompanhada pela adoção de tecnologias modernas de geração de energia elétrica, incluindo o uso parcial da palha. Cada 100 milhões de toneladas de cana adicionais podem fornecer aproximadamente 9 mil GWh de energia excedente à rede, cerca de 3% do consumo. É preciso uma ação clara do governo para aproveitar esta oportunidade e abrir espaço para esta co-geração distribuída, com energia renovável.

4. Recomendações

É importante buscar um novo ciclo de expansão para a agroindústria canavieira durante os próximos dez anos, para aproveitar as oportunidades do mercado externo do açúcar e do etanol, e atender à crescente demanda interna. Isto exige um esforço coordenado dos setores público e privado no sentido de consolidar o programa de etanol e ampliar a oferta de empregos com maior qualidade.

É essencial manter e reforçar as condições de sustentabilidade econômica, social e ambiental já existentes, e também mediante a agregação de novas tecnologias. Para isso, recomenda-se:

- 4.1. Manter o esforço de P&D nos setores privado e público e ampliá-lo com um programa para novas áreas, considerando a aptidão agrícola e novas variedades, que pode ser conduzido pela Embrapa. Buscar maior envolvimento dos órgãos governamentais ligados ao controle dos experimentos e futuramente a liberação de variedades transgênicas, inclusive visando a tornar mais ágeis os procedimentos.
- 4.2. O governo federal deve abrir espaço para a geração distribuída de energia elétrica a partir das usinas, com o uso de contratos de longo prazo e com garantia de preços adequados, como sinalizado a partir da primeira fase do Proinfa. Com esta premissa, poderemos ter toda a expansão com base em geração eficiente; esta energia será muito importante para auxiliar no atendimento à demanda nos próximos anos.
- 4.3. Investimentos públicos na melhoria da rede rodoferroviária, dutos e tanques, inclusive nos Centros de Coleta da Petrobras, cuja participação é importante, porque sua posição exige uma visão de médio e longo prazos. É necessário buscar maior agilidade nos trâmites de processos relativos às licenças ambientais nos empreendimentos em portos, mantendo as exigências técnicas quanto à proteção ambiental.
- 4.4. A sustentabilidade ambiental exige o trabalho conjunto dos órgãos do governo e do setor produtivo para, a exemplo de São Paulo (disposição da vinhaça e a queima da cana), chegar a regulamentar e definir cronogramas adequados para os níveis de captação de água para uso industrial nas usinas e para a proteção de nascentes e cursos de água.
- 4.5. A expansão das exportações brasileiras deve continuar e exigirá um trabalho maior do setor público nas negociações, envolvendo

uma grande diversidade de produtos e interesses. A posição do Brasil no mercado de açúcar é assustadora para produtores da UE e EUA, o que ocorre também com a eventual ampliação da exportação de etanol. Será preciso negociar cotas e prazos que tragam alguma segurança para uma gradual adaptação dos produtores nestes países, buscando compensações em outras áreas. Mas não se pode deixar de avançar continuamente na introdução desses dois produtos, e os setores envolvidos, governo e setor privado, precisam estar coordenados nestas ações.

4.6. Além de planejar a expansão do etanol, o governo federal tem de formular uma política para o setor de combustíveis automotivos, o que não foi feito desde a desregulamentação de preços dos combustíveis na década de 90.

1. Introdução

Esta Nota apresenta as conclusões preliminares do diagnóstico realizado no âmbito da atividade de prospecção tecnológica em biocombustíveis coordenada pelo NAE e conduzida sob a responsabilidade de consultores mobilizados pelo CGEE. Para chegar a este diagnóstico sobre a oportunidade e possibilidades de expansão da produção de etanol no Brasil, procedeu-se a uma consulta a cerca de 20 especialistas em áreas relacionadas ao tema, dos setores empresarial, governamental e acadêmico, além da análise de dezenas de publicações recentes sobre o tema, referenciadas no texto.

Desde sua efetiva incorporação à matriz energética brasileira em 1975, até a atualidade, o etanol conseguiu importantes resultados:

1) a produção e a demanda ultrapassaram largamente, em volumes e escopo, as expectativas colocadas no início do Programa Nacional do Alcool (PNA); 2) a implementação de tecnologias e avanços gerenciais tornaram este combustível renovável competitivo com os combustíveis fósseis; e, 3) as características de sua produção o tornam a melhor opção, no momento, para a redução de emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo no setor de transportes. Sob estes pressupostos, pretende-se neste trabalho avaliar quais seriam as vantagens e as dificuldades a resolver para expandir sua produção no Brasil, visando inclusive a mercados externos nos próximos dez anos.

Em uma primeira parte foi avaliada a atual situação da cadeia produtiva do etanol de cana, sendo apresentados seus principais indicadores e considerados os aspectos tecnológicos, ambientais, sociais e econômicos. Na parte seguinte, foram tratadas as perspectivas de evolução e competitividade para a próxima década, buscando estabelecer o contexto necessário para efetivar o relevante cenário de oportunidades que se configura.

Parte A. Evolução e estágio atual da produção no Brasil

2. A cadeia produtiva hoje

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 5 milhões de hectares no Brasil, em todas as regiões geográficas do país. Em 2003, atingiu uma produção de aproximadamente 345 milhões de toneladas, um quarto da produção mundial. Cerca de 50% foi utilizada para a produção de açúcar (23,4 x 10⁶ t) e 50% para etanol (13,9 x 10⁶ m³)¹. Portanto, considerando a área total ocupada pela cana para fins industriais, a produção de etanol no Brasil ocupa hoje cerca de 2,5 M ha, ao redor de 4% da superfície agrícola e 0,5% da superfície agricultável.

¹ Nastari, P.; O Desenvolvimento do Mercado de Álcool e o Potencial para GD, no VI Sem. Int. GD WADE – INEE, Rio de Janeiro, 2003.

Entre 1975 e 1985, a produção de cana aumentou de 120 para cerca de 240 milhões de toneladas, principalmente em função do PNA, estabilizando neste patamar entre 85 e 95. A partir desse ano, iniciou-se outro ciclo de expansão agrícola, basicamente motivado pela exportação de açúcar. Em 1990, a exportação de açúcar foi de 1,2 M t, ascendendo a 13,4 M t em 2003, mostrando o extraordinário aumento da competitividade do produto brasileiro.

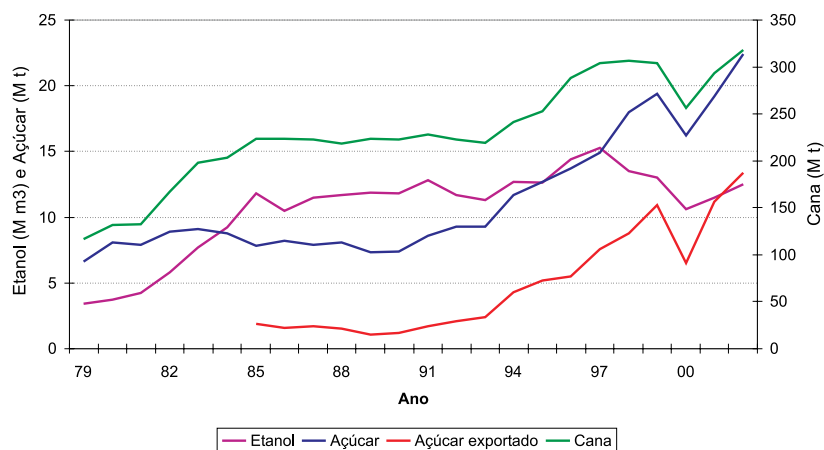


Figura 1. Produção de cana, açúcar e etanol no Brasil

O sistema de produção envolve 308 usinas, com capacidades muito diferentes, de 0.6 a 6.0 M t cana processada/ano. Em média, as usinas possuem cerca de 70% de terras próprias². O restante, 30%, é feito por cerca de 60 mil produtores, a grande maioria utilizando menos de dois módulos agrícolas.

Regionalmente, nesses 30 anos aumentou fortemente a participação do Centro-Sul do país na oferta de etanol, com a redução relativa da produção no Nordeste. Atualmente, apenas o Estado de São Paulo produz cerca de 60% da cana no país. Em 2000, a produção total de 335 M t de cana se distribuiu entre as regiões brasileiras conforme indicado na tabela a seguir³.

² Macedo, I. C.; Biotecnologia e Energia, Encontro Anual da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 2004.

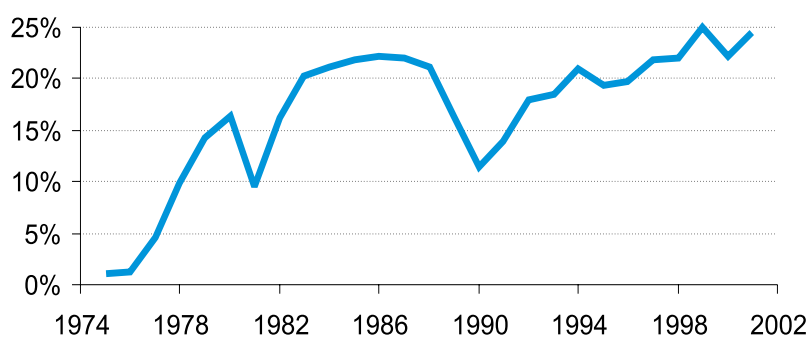
³ Peres, J. R. R.; Embrapa; Cana-de-açúcar: Potencial de expansão da fronteira agrícola e inovação tecnológica; Seminário Alcool – BNDES, Rio de Janeiro, 2003.

Tabela 1. Distribuição regional da produção de cana no Brasil, 2000

Região	Produção (M t cana)	%
Norte	0,8	0%
Nordeste	57,4	17%
Sudeste	222,4	66%
Sul	27,5	8%
Centro-Oeste	26,7	8%
Brasil	334,8	100%

Institucionalmente, deve-se destacar que os controles governamentais, de cotas de produção e exportação, tabelamento de preços e concessão de subsídios à produção e à movimentação, tanto para açúcar quanto para etanol, foram eliminados, em um regime de transição iniciado em meados dos anos 90 e concluído em 2002. Atualmente a presença governamental existe na regulamentação da especificação do álcool hidratado e anidro e na definição do teor de etanol na gasolina⁴, situado na maior parte dos últimos anos em 24%, como mostra a Figura 2.

⁴ Agência Nacional do Petróleo, Portaria ANP 126 - Especificação do álcool combustível, Rio de Janeiro, 2002.

**Figura 2.** Evolução do teor de etanol anidro na gasolina

A Figura 3 apresenta a evolução da produção de etanol no Brasil, segundo dados informados pelo Departamento de Açúcar e

Álcool do Ministério da Agricultura, a partir de informações dos produtores⁵. Segundo estes dados, a capacidade instalada de produção de etanol no Brasil é da ordem de 15,5 Mm³, correspondente à mesma produção de 1997. Pode-se observar também o crescimento da importância relativa do etanol anidro durante este período, associado à expansão da frota de veículos a gasolina e ao sucateamento do parque consumidor de etanol hidratado, sendo que apenas nos últimos anos o mercado deste tipo de etanol volta a retomar sua expansão, mais recentemente associado às vendas de veículos multicomcombustível.

⁵ Agência Nacional do Petróleo, Anuário Estatístico 2003, Rio de Janeiro, 2004.

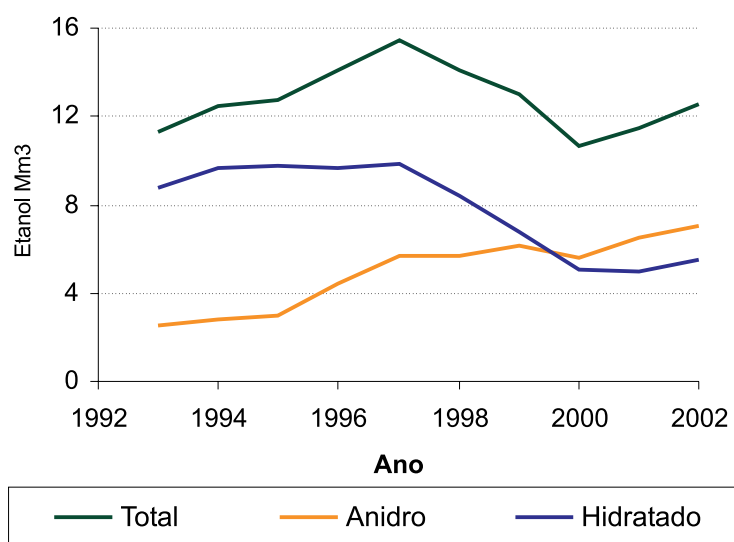


Figura 3. Produção de etanol anidro, hidratado e total

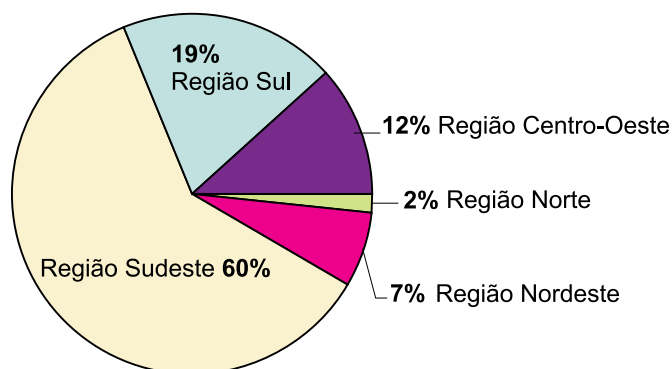


Figura 4. Vendas de etanol hidratado, por região brasileira, 2002

Os estoques de etanol são administrados essencialmente no âmbito dos produtores, já que as distribuidoras em geral possuem tancagem para poucos dias. Segundo a ANP, nas 428 bases de distribuição de combustíveis existentes no país, dispõe-se de um volume de armazenamento para etanol de 668 Mm³, dos quais 50% e 21% localizam-se, respectivamente, na região Sudeste e Nordeste. Uma parte da produção de etanol é comercializada com evasão tributária, portanto não contabilizada oficialmente, o que explica o fato de parte da movimentação total de etanol hidratado informada pelas distribuidoras corresponder a 68% da produção, dividindo-se entre as regiões brasileiras como apresentado na Figura 4⁵.

Os preços estão liberados em todos os níveis da cadeia de comercialização e o etanol é vendido, anidro em mistura com a gasolina ou hidratado para uso puro, nos quase 28 mil postos de distribuição de todo o território brasileiro. No nível do consumidor, os preços do etanol hidratado têm historicamente sido inferiores a 70% do preço da gasolina.

Como um sinal da vitalidade do mercado aberto de etanol, a implantação do mercado de contratos futuros de álcool anidro (para entrega física ou negociação) na Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo registrava, em meados de 2003, uma movimentação mensal média de mais de 4 mil contratos (cada contrato corresponde a 30 m³), correspondentes a 34 milhões de reais⁶. Mais que transações físicas, este mercado permite obter proteção frente à volatilidade dos preços ou a obtenção de ganhos econômicos associados à mesma volatilidade.

⁶ Bolsa de Mercadorias e Futuros, Resenha 156, São Paulo, 2003.

3. Aspectos tecnológicos e ambientais

3.1 Evolução dos indicadores técnicos, valores atuais, potenciais

A implantação e o desenvolvimento da produção de álcool combustível em larga escala no Brasil trouxe a oportunidade e a necessidade de um grande desenvolvimento tecnológico para a agroindústria da cana.

O desenvolvimento e transferência de tecnologia neste período caracterizaram-se inicialmente por uma grande ênfase em produtividade. Entre 1975 e 1985, para atender aos aumentos de demanda, de capacidade nos sistemas de moagem e destilação, de grandes ganhos na produtividade das fermentações, e de crescimento constante da produtividade agrícola. A partir de 80, os programas foram voltados para a obtenção de maior eficiência de conversão, tendência reforçada desde 1985 com o advento

da estabilização da produção. Os melhores exemplos na área industrial são os ganhos em rendimento fermentativo e extração. Mas sem dúvida a entrada das variedades da cana desenvolvidas no Brasil, pelo Planalsucar e Copersucar, foram responsáveis pelas maiores reduções de custo. Após 1985, novas ferramentas tecnológicas para o gerenciamento da produção agroindustrial passaram a ter importância crescente: programas para otimização da reforma de canaviais, acompanhamento da safra, controle operacional de processos, controle mútuo e simulação dos balanços de massa e energia, entre muitos outros. Estas três fases coexistem, em parte, em muitas usinas.

Os resultados do desenvolvimento e apropriação de tecnologias, no país e exterior; com participação majoritária do setor privado, podem ser vistos pela variação de alguns indicadores de produtividade desta agroindústria durante o período 1975/2000, conforme mostra a Tabela 2⁷. Estes resultados podem ser sintetizados pelo expressivo crescimento da conversão agroindustrial média, que evoluiu de 2.024 para 5.500 litros de etanol por hectare.

⁷ Macedo, I. C.; Commercial Perspectives of Bioalcohol in Brazil, 1st. World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 2000.

Tabela 2. Indicadores de produtividade da agroindústria canavieira no Brasil, 1975/2000 (*1985/2000)

Indicador	variação
Produtividade agrícola	+ 33%
Teor médio de sacarose na cana*	+ 8%
Eficiência na conversão sacarose a etanol	+ 14%
Produtividade na fermentação (m ³ etanol/ m ³ reator-dia)	+ 130%
Conversão agroindustrial média	+ 172%

3.1.1 Produção de cana

Uma análise mais detalhada da atual situação da tecnologia agrônômica indica uma evolução contínua da produtividade⁸, em particular para a situação do Centro-Sul, conforme mostra a Figura 5. Considerando 105 unidades produtoras no Centro-Sul, a produtividade média atingiu 84 (máxima 109) t cana/ha, e o teor de sacarose médio foi de 14.6% (máximo 16.6), na safra de 2003/04.

⁸ Comunicação ao CGEE, S. J. Hassuani e L.A. Dias Paes, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004.

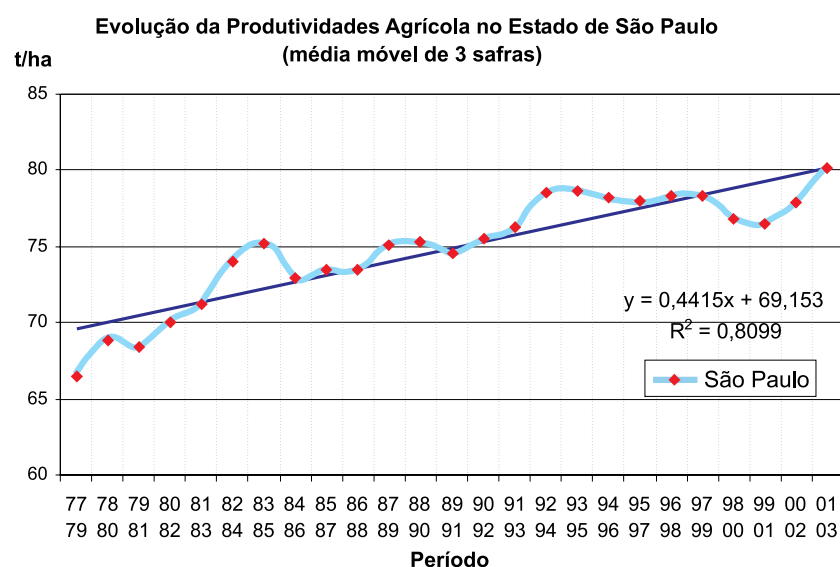


Figura 5. Evolução da produtividade agrícola, São Paulo (IBGE)

Não apenas a produção de cana por hectare se incrementou, como também sua qualidade. A variação do teor de sacarose da cana, para um conjunto de usinas em São Paulo (Copersucar) é mostrada na Figura 3⁸.

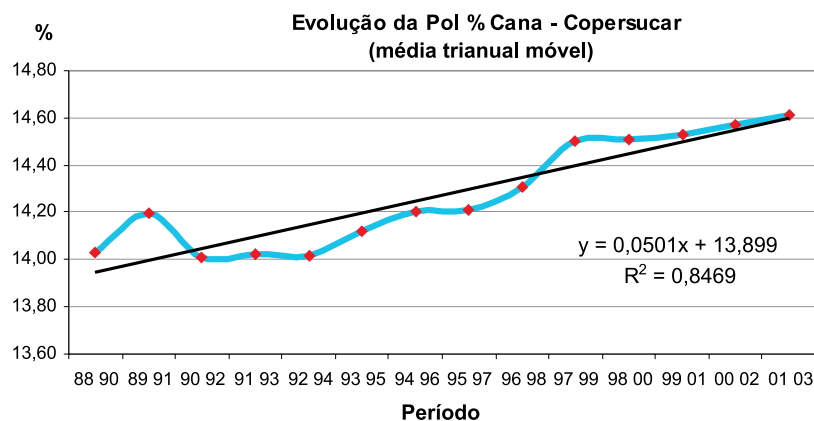


Figura 6. Evolução do teor de sacarose, Usinas da Copersucar (São Paulo)

A evolução na área agrícola, nos últimos anos, indica um crescente nível de mecanização da colheita, tendência que particularmente em São Paulo se associa à progressiva redução da queima pré-colheita, conforme implementação de um cronograma ajustado com o governo. A previsão é que na região Centro-Sul, que produz 60% da cana do país, os índices da atual safra estejam como indica a Tabela 3, estimada com base nos dados de 105 unidades produtoras⁸.

Tabela 3. Produtividade agrícola, níveis de mecanização na colheita e de corte sem queima: atual e previsão (Centro-Sul, Safra 03/04)⁸

Parâmetro	Atual		Futuro
	média	máxima	(10 anos)
Produtividade (t cana/ ha)	84,3	108,8	89
Pol % Cana	14,6	16,6	15,1
Pol (t/ha)	12,2	15,8	13,4
Colheita mecanizada (%)	34%	89%	85%
Colheita sem queima (%)	21%	87%	80%

Um aspecto importante para a expansão da produção alcooleira é que a atual produtividade no Brasil é aproximadamente 15% inferior à paulista⁹. Há, portanto, um espaço significativo para incremento da produtividade geral com tecnologias já existentes, naturalmente considerando sua adaptação para regiões de menor produtividade.

Os ganhos de eficiência no transporte também são relevantes. Alguns parâmetros selecionados para o transporte de cana até a usina indicam, para uma amostra de 17 usinas, capacidades diárias de carga atingindo 184 (média) – 286 (máximo) t cana/dia para as tecnologias mais comuns, caminhão e reboque, simples de cana inteira, e até 370 (média) – 513 (máximo) t cana/dia para as melhores tecnologias, rodotrem, cana picada.

Para a mesma amostra, em 2003/03, a área que utilizava ferti-irrigação com vinhaça era de 32,1% (média) e 63,8% (máximo); e a aplicação de maturadores atingiu 19,6% (média) e 37,6% (máximo).

A disponibilidade de variedades geneticamente melhoradas foi um fator muito importante para o incremento de produtividade, que ocorreu mesmo com a expansão para áreas menos favoráveis¹⁰. Há cerca de 20 anos quase 50% da área cultivada com cana em São Paulo era ocupada com uma única variedade. Atualmente são cultivadas no país centenas de variedades de cana-de-açúcar diferentes, sendo que a variedade mais cultivada não ultrapassa 10% da área plantada⁹. Essas variedades foram produzidas por dois programas de melhoramento genético: o da

⁹ Comunicação ao CGEE por Marcos G. A. Landell, IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, 2004.

¹⁰ Comunicação ao CGEE por William L. Burnquist, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004.

Copersucar e o da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (Ridesa). Um terceiro programa ativo, o do Instituto Agrônomo de Campinas, historicamente de grande importância para o setor, foi reestruturado e tem liberado algumas variedades promissoras⁹. Recentemente foi constituída uma empresa privada, para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, a Canavialis. Deste modo, pode-se afirmar que existem no Brasil quatro programas de melhoramento e seleção de variedades de cana, componentes essenciais para o esforço de incrementar a produtividade, e também auxiliar no adequado controle fitossanitário contra pragas e doenças.

Os dois programas de melhoramento mais ativos foram estabelecidos em 1970, quando se cultivava aproximadamente 1,5 milhão de hectares de cana-de-açúcar no país. Esses programas foram suficientes para atender a grande expansão da área, e o desenvolvimento de variedades de cana adaptadas foi importante para que essa expansão tivesse sucesso. Os programas evoluíram para um estágio atual de desenvolvimento de variedades transgênicas de cana, ainda não comerciais, mas os programas convencionais de melhoria são a base da produção hoje. A importância dessa área para os próximos anos é discutida no item 10.1 deste estudo.

3.1.2 Produção de etanol

O processamento industrial da cana para etanol, como realizado hoje, é uma tecnologia que já atingiu sua maturidade plena. Houve

grandes avanços entre 1970 e 1990, mas nos últimos anos os ganhos de produtividade e eficiência foram pequenos¹¹. A Tabela 4 traz valores médios e máximos dos principais indicadores de desempenho das usinas no Centro-Sul, para os diversos setores industriais e avaliados em termos das quantidades de açúcar equivalente no produto e no insumo. Considerando cana com pol de 14,5% e açúcares redutores de 0,55%, os valores dessa tabela levam a eficiências globais de 89 a 92% de açúcar convertido em álcool anidro por t cana, equivalentes 85,5 a 88,4 l etanol por t cana, para as situações média e máxima, respectivamente.

¹¹ Comunicação ao CGEE por Manoel R. L. Verde Leal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004.

Tabela 4. Eficiências de conversão, estimativas para usinas da Região Centro-Sul; 2004¹¹

Eficiência	Média (%)	Máxima (%)
Extração	96,2	97,5
Tratamento do caldo	99,2	99,8
Fermentação	91,1	93,0
Destilação	99,6	99,6

As reduções de custos com melhorias graduais da tecnologia atual, em um horizonte de dez anos, serão modestas; a difusão de tecnologias existentes para todo o setor (aproximando os desempenhos médios dos máximos) também não trará impactos importantes. Deste modo, o setor industrial deverá evoluir de forma mais destacada, incorporando tecnologias mais radicalmente diferentes e certamente com a implementação de novos produtos.

As melhorias nas práticas gerenciais e administrativas nas usinas levarão também a algumas reduções de custos de produção. Entre as tecnologias que poderão influir em custos, na próxima década, destacam-se¹¹ os desenvolvimentos em extração hidrodinâmica (redução de 25% no uso de energia em preparo e moagem, com menores investimentos); em sistemas avançados de controle da fermentação (lógica fuzzy, redes neurais e sistemas especialistas); na redução dos consumos específicos de energia e água no processamento; mediante o uso de membranas e resinas de troca iônica para o tratamento do caldo e do xarope; uso de peneiras moleculares e membranas na destilação, destilação extrativa e outros¹².

¹² Comunicação ao CGEE por Henrique V. Amorim, Fermentec, 2004.

O desenvolvimento de novos produtos da sacarose é um dos dois caminhos mais promissores para a evolução do setor, podendo vir a trazer soluções para agregar valor às *commodities* tradicionais (açúcar e etanol). Hoje, o baixo custo da sacarose viabiliza a produção comercial no país de ácido cítrico, aminoácidos como a lisina e treonina e o MSG, extratos de leveduras e derivados. Vários produtos como o sorbitol, plásticos (polilático, polihidroxibutirato: já semicomerciais, o primeiro no Brasil) e mesmo alguns dos produtos da alcoolquímica dos anos 80 (principalmente eteno) estão sendo avaliados para produção em território nacional. A competitividade do açúcar do Centro-Sul (ver item 6) e as possibilidades de integração de novas fábricas com as usinas, usando energia excedente dos processos (ver item 3.2) favorecem muito estas alternativas.

Ainda na direção de diversificar a gama de produtos e agregar maior valor aos subprodutos, algumas usinas têm associado a produção de alimentos ao seu processo convencional, seja mediante a utilização de bagaço excedente na engorda de bovinos, seja mediante o uso de resíduos da fermentação. O potencial de ganhos é interessante e existem diversas possibilidades de integração da produção de energia e alimentos a partir da cana¹³.

Na interface entre a produção de cana e a industrialização está outra grande oportunidade: a geração de grandes excedentes de energia nas usinas, tema que será tratado a seguir.

3.2 Tecnologias atuais e futuras para geração de energia

As tecnologias tipicamente em uso nas usinas produzem energia elétrica e térmica suficiente para os processos industriais. O uso de processos mais eficientes, geração e uso da energia, está levando o setor a tornar-se um gerador de excedentes de energia elétrica; por outro lado, competindo pelo mesmo combustível renovável (bagaço e palha da cana) nos próximos dez anos poderemos ver a implantação de sistemas para a produção de etanol adicional com a hidrólise e fermentação destes resíduos. O autoconsumo de energia elétrica da usina (12 kWh/t cana) e o uso de energia mecânica (16 kWh/t cana) correspondem a uma potência instalada de cerca de 2,4 GW. Além disto, as usinas utilizam cerca de 330 kWh/t cana de energia térmica. Praticamente toda a energia térmica e cerca de 95% da elétrica são produzidas na própria usina com sistemas de co-geração a bagaço.

¹³ Caballero, J.M.G, Lora, E.E.S., Nogueira, L.A.H., "Diversificación de Proceso y Productos en la Industria Cañera: Modelo Económico para Optimización", Taller Internacional Caña de Azúcar, FAO, Santo Domingo, outubro de 1999.

Cada tonelada de cana (colmos) produz 140 kg (massa seca, MS) de bagaço, das quais 90% são usados para produzir energia (térmica e elétrica) na usina; adicionalmente, contém 150 kg de açúcar (usado para açúcar, etanol e agora plásticos); e 140 kg (MS) de palha, que hoje é perdida (queimada no campo). Apenas o bagaço disponível na cana atualmente colhida é equivalente a 11,0 milhões t óleo combustível; 25% da palha, se recolhidos, seriam equivalentes a 3,2 milhões t óleo¹⁴.

¹⁴ Macedo, I. C.; Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento, Relatório para o MCT, Brasília, 2001.

Trabalhos realizados no Brasil, que buscam tecnologia para a colheita/ transporte da palha, incluindo a avaliação de sua disponibilidade real, têm concluído que é possível recuperar 40% a 50% da palha, com custos de 0.6 – 1.0 US\$/GJ, dependendo do processo¹⁵. A legislação que restringe gradualmente a queima pré-colheita deverá atuar positivamente para que este resíduo seja incorporado ao sistema de geração de energia nos próximos anos. Por outro lado, tecnologias comerciais podem levar, comprovadamente a redução de consumos na área de processos da usina resultando em excedentes de bagaço de até 45%.

¹⁵ Relatórios do Projeto Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash, UNDP-GEF/ Copersucar, Centro de Tecnologia Copersucar, 2003.

Estes volumes de excedentes (bagaço e palha) são muito grandes. É de se esperar que nos próximos anos sua utilização para energia (com a competição entre energia elétrica e a produção de etanol de hidrólise) seja implementada em larga escala. Os custos destes resíduos no Brasil são menores que os custos em geral de biomassa para energia em outros países (ver item 9).

3.2.1 Energia elétrica

Entre 1980 e 2000, as usinas de açúcar e álcool no Brasil evoluíram de uma dependência de 40% a 50% da energia elétrica da rede pública para a auto-suficiência e, atualmente, cresce a geração de excedentes para a venda. A auto-suficiência e a produção de excedentes firmaram-se no final dos anos 90, motivadas pelas mudanças na regulamentação do setor elétrico. Segundo a Aneel, existem cadastrados 184 autoprodutores do setor sucroalcooleiro, que somavam em 2003 uma capacidade instalada de 1582 MW, cerca de 10% da capacidade termelétrica brasileira¹⁶. Em 2002 foram comercializados 5.36 TWh de excedentes (1.6% do consumo de eletricidade no Brasil); apenas uma concessionária (CPFL) tinha 291 MW em contratos de compra em 2003¹⁷.

O avanço para tecnologias comerciais de co-geração mais eficientes na conversão termoelétrica está ocorrendo rapidamente (sistemas de co-geração, operando na safra, a 60-80 bar, com bagaço). Na seqüência deverá ser iniciado o uso de parte da palha da cana (talvez até 50%); e os sistemas com operação anual, usando ciclos de condensação-extração. Todas estas tecnologias estão disponíveis no país¹⁸.

A Tabela 5 dá um quadro das estimativas do potencial teórico para as três principais tecnologias comerciais com queima direta e uma quarta tecnologia avançada, ainda não comercial, que é a gaseificação da palha/bagaço integrada com turbina a gás (BIG/GT). As condições consideradas para estas estimativas foram:

¹⁶ Agência Nacional de Energia Elétrica, Banco de Dados de Geração de Energia Elétrica, disponível em www.aneel.gov.br, Brasília, 2003.

¹⁷ Comunicação ao CGEE por Arnaldo C. Silva Walter, Unicamp, 2004.

¹⁸ Comunicação ao CGEE por Manoel R. L. Verde Leal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004.

1) consumo de vapor de processo a 2,5 bar/saturado, 2) moagem anual de 350 milhões de toneladas de cana, 3) fatores de carga de 50% para operação na safra e 85% para operação o ano todo e 4) consumo de energia elétrica de 321,6 GWh/ano¹⁹.

¹⁹ Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional 2003, Secretaria de Energia, Brasília, 2003.

Tabela 5. Geração de energia elétrica excedente – potencial teórico

Tecnologia	Operação	Consumo Processo kgv/tc	Energia excedente kWh/tc	Potencial		% Consumo Brasil
				TWh	MW	
1. TG contrapressão 22 bar-300°C	Safra	500	0-10	3.5	800	1.1
2. TG contrapressão 80 bar-480°C	Safra	500	40-60	21.0	4 800	6.5
3. TG extr. condensação 80 bar-480°C	Ano todo	340	100-150	52.5	7 000	16.3
4. BIG/GT	Ano todo	< 340	200-300	105.0	14 000	32.6

Com a tecnologia 1 as usinas atingiram a auto-suficiência, com equilíbrio entre a disponibilidade de bagaço e as necessidades energéticas da fábrica (energia elétrica e térmica). É possível ter excedentes até 10 kWh/t cana, operando em co-geração pura; algumas usinas, principalmente as de menor porte, irão permanecer neste nível tecnológico por muitos anos.

A evolução que ocorre no momento é equivalente à tecnologia 2, em vários casos com pressões de 60 bar; os sistemas ainda operando em co-geração pura podem atingir excedentes de energia elétrica de até 60 kWh/t cana, com todo o bagaço, no período de safra.

Para a tecnologia 3, utilizando turbogeradores de extração-condensação (ainda não usada no Brasil em usinas de açúcar) a geração de excedentes ocorre durante o ano todo; níveis de 150 kWh/t cana podem ser atingidos. A indústria nacional está apta a fornecer todos os equipamentos necessários; mas há necessidade de se ter um combustível para complementar o bagaço (no Brasil, provavelmente com a palha da cana) e reduzir os consumos de energia térmica nos processos.

A tecnologia da gaseificação/turbina a gás (BIG/GT) é a grande promessa para a geração de energia a partir de biomassa; espera-se dobrar a energia gerada pela mesma quantidade de biomassa quando comparada aos ciclos a vapor com queima direta mais eficientes em uso hoje. Esta tecnologia não deverá estar comercial e competitiva em menos de 10 anos^{18,20}.

Uma avaliação subjetiva¹⁸, considerando os potenciais acima, o perfil conservador do setor, e as diferenças tecnológicas e de capacidade entre as usinas, indica um potencial realizável entre 4 e 5 GW, para 350 milhões t cana/ ano. Os preços de energia oferecidos (mercado, governo) serão o fator decisivo. A tendência mais forte é de que nos próximos dez anos haverá usinas apenas auto-suficientes, ou com pequenos excedentes; outras gerando apenas na safra e um grupo com geração durante o ano todo, usando a palha da cana para complementar o bagaço. Neste período, dificilmente haverá a introdução comercial, em larga escala, de gasificação.

²⁰ Comunicação ao CGEE por E. Larson, Princeton University – CEES, 2004.

O avanço tecnológico nos últimos três anos foi concentrado na substituição de caldeiras obsoletas com pressão de vapor igual ou inferior a 22 bar por unidades com pressão acima de 60 bar e eficiência térmica em torno de 85%. Predomina ainda a co-geração pura e os níveis de excedentes estão atingindo 40 kWh/t cana nas usinas que realizaram a substituição total das caldeiras. A recuperação de palha para suplementação ainda é incipiente.

Nos próximos dez anos a disposição do governo em ampliar a base de geração termoelétrica será um fator decisivo. Houve, inicialmente, uma certa frustração com a primeira fase do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), Lei 10.438 de 2002, quando se fixou, durante o primeiro semestre de 2004, a remuneração para energia da biomassa em R\$93/MWh, com outras alternativas atingindo até R\$200/MWh. Mesmo assim, com os 600 MW de excedentes já instalados, o valor total da capacidade disponível das usinas para as concessionárias deve exceder 1.500 MW até 2006. Se de fato, na segunda fase do Proinfa for implantada uma competição livre entre as energias alternativas (até 10% da energia nova) a geração por biomassa nas usinas de açúcar e álcool poderá atingir os potenciais indicados acima.

Com tecnologias comerciais, a geração de excedentes ficará limitada a aproximadamente 150 kWh/ t cana (com o uso apenas de resíduos da cana); para 50 kWh/ t cana e com o valor atual do Proinfa a remuneração seria de R\$ 4,60/ t cana. Hoje o faturamento com açúcar e álcool é de cerca de R\$ 60/ t cana. Também os

eventuais ganhos com comercialização dos certificados de redução de emissões de CO₂ (ver item 3.3) serão muito pequenos quando comparados com estes valores.

A gaseificação tem um potencial técnico muito atraente, com grande possibilidade de gerar o dobro dos excedentes conseguidos com a melhor tecnologia convencional. Contudo, as dificuldades de penetração no mercado, devido a seu alto custo inicial de implantação, podem atrasar sua chegada ao setor, aumentando o risco de encontrar o mercado já saturado com as mudanças para a tecnologia convencional mais moderna. Um programa de introdução da tecnologia BIG/GT no mercado das usinas precisa ser concebido e avaliado para eventual implementação em um prazo razoável sob risco de se perder o grande potencial inerente a esta tecnologia.

3.2.2 Etanol da hidrólise de resíduos da cana: situação no Brasil

O consumo próprio de energia elétrica da usina (12 kWh/t cana), o uso de energia mecânica (16 kWh/ t cana), e de energia térmica (330 kWh/ t cana) são atendidos mediante sistemas de co-geração com muito menos combustível do que a palha e o bagaço podem fornecer. Considerando ainda ser desejável que a evolução natural das usinas ocorra de forma a: 1) aumentar a eficiência na geração com bagaço; 2) reduzir os consumos internos de energia; e, 3) desenvolver a colheita/utilização da palha, ao longo do tempo deverá ampliar os excedentes de bagaço, que poderão alternativamente ser utilizados para gerar energia elétrica

(como visto no tópico anterior) ou servir de matéria-prima para a produção de etanol, mediante processos de hidrólise ainda em desenvolvimento.

Em todo o mundo há um grande interesse na utilização de resíduos celulósicos para a produção de etanol. Diversas rotas ácidas e enzimáticas são testadas, sempre em busca de processos eficientes para converter a celulose e a hemicelulose de resíduos respectivamente em hexoses e pentoses fermentáveis. Uma das dificuldades da hidrólise é que a lignina restringe o acesso dos reagentes à celulose e eventualmente sua remoção ataca o açúcar formado, impondo técnicas complexas e multifásicas. No Brasil, a tecnologia em desenvolvimento é o processo DHR (Dedini Hidrólise Rápida, um desenvolvimento conjunto da Dedini e Copersucar); este processo é uma variante dos processos que utilizam solvente orgânico. Atualmente, obtém-se cerca de 100 l de etanol por tonelada de bagaço hidrolisado, esperando-se atingir uma produtividade 80% superior com o aperfeiçoamento da tecnologia. No estágio atual, não se recupera para etanol os açúcares derivados de hemicelulose; mas as análises técnico-econômicas são animadoras, quando este processo é utilizado nas usinas em associação com o sistema convencional existente²¹. Um processo avançado (conversão de todos os açúcares) poderia levar a aumentos de mais de 30% no faturamento da usina, se 50% da palha fosse utilizada. Este assunto será tratado novamente mais adiante, na

²¹ Comunicação ao CGEE por Olivério, J.L. Codistil-Dedini, 2004.

Nota 2, que aborda aspectos de custo desta tecnologia.

3.3 Impactos no uso final: clima global

Os produtos energéticos da cana, etanol e bagaço têm contribuído largamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, por meio da substituição de combustíveis fósseis, respectivamente gasolina e óleo combustível.

No plantio, colheita, transporte e processamento da cana são consumidos combustíveis fósseis que geram emissões de GEE. É necessário fazer um balanço energético e de GEE. É para se avaliar quais os resultados líquidos no ciclo completo de produção do álcool de cana-de-açúcar e seu uso como combustível no setor de transporte. O balanço completo (ciclo de vida) tem sido realizado no Brasil e foi recentemente atualizado²².

No balanço energético foram considerados três níveis de fluxos energéticos para facilitar a comparação com outros balanços:

Nível 1 – Consideram-se apenas os combustíveis consumidos ou a energia elétrica adquirida (insumos energéticos diretos).

Nível 2 – Acrescenta-se a energia necessária à produção de outros insumos para a lavoura ou processo industrial (fertilizantes, calcário, mudas, ácido sulfúrico, lubrificantes, etc.).

Nível 3 – Acrescenta-se a energia necessária para a produção e manutenção de equipamentos e instalações.

Os fluxos de energia são avaliados no Cenário 1 para valores

²² Macedo, I. C.; Leal, M. R. L. V.; Silva, J. E.; Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção e uso de etanol no Brasil: situação atual (2002), SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo, 2004.

médios de consumo de energia e insumos, enquanto no Cenário 2 se tomam os melhores valores praticados (valores mínimos de consumo com o uso da melhor tecnologia existente e praticada na região). Incorporando todos os fluxos energéticos, uma síntese dos resultados para as usinas do Centro-Sul consta da Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do balanço energético da produção de etanol de cana

Item	Fluxos de energia (Mcal/t cana)	
	Cenário 1 valores médios	Cenário 2 melhores casos
Consumo na fase agrícola	48.21	45.86
Consumo na fase industrial	11.80	9.51
Produção de etanol	459.10	490.10
Produção de bagaço excedente	20.30	75.60
Relação produção/consumo	8.3	10.2

Para o balanço de GEE, as emissões foram divididas em dois grupos: emissões devidas ao uso de energia fóssil e emissões de outras fontes, não reabsorvidas pela fotossíntese no crescimento da cana (gases não CO₂ na queima da palha, decomposição de fertilizantes, etc).

Para o primeiro grupo, os valores calculados para os Cenários 1 e 2 foram de 19,2 kg CO₂ eq./t cana e 17,7 kg CO₂ eq./t cana, respectivamente, e, para o segundo grupo foram de 12,6 kg CO₂ eq./t cana para ambos os cenários.

Como resultado líquido, as emissões evitadas pela substituição da gasolina pelo etanol e óleo combustível pelo bagaço excedente, subtraídas dos valores acima, são de 2,6 e 2,7 t CO₂ eq./m³ de

etanol anidro e 1,7 e 1,9 t CO₂eq./m³ de etanol hidratado, para os Cenários 1 e 2, respectivamente.

Esses resultados são muito relevantes. Nessas condições, que refletem a situação atual no Brasil, a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar é muito superior a qualquer outra tecnologia para produzir combustível de biomassa no mundo, pela relação energia renovável obtida/ energia fóssil usada e pelo altíssimo coeficiente de redução das emissões de GEE. A título de comparação, a relação de energias no caso do etanol de milho, nos EUA, hoje, não atinge 1,4, enquanto no Brasil é, em média, 8,3.

Para uma produção brasileira de etanol de cerca de 14 milhões de m³ por ano, sendo, aproximadamente, a metade em anidro, os valores acima indicam que o etanol é responsável pela redução de cerca de 30,1 milhões t CO₂ equivalente, ou 8,2 milhões t Carbono equivalente. O setor de cana-de-açúcar traz ainda uma outra parcela considerável de contribuição para mitigar emissões com o uso do bagaço (na usina) para a produção de açúcar.

Esta é uma razão muito forte para a importância que o etanol brasileiro adquire para o mercado externo e interno, com os avanços recentes na direção da implementação do Protocolo de Quioto.

É importante acrescentar que a evolução esperada do setor energético das usinas (conforme visto nos itens 3.2.1, Energia elétrica, e 3.2.2, Etanol de hidrólise), com o uso da palha e com redução nos consumos internos, poderia ocasionar

grandes avanços adicionais na redução de emissões de GEE. Seria possível ter até 100-150 kWh/ t cana excedentes, ou alternativamente até 30% de etanol, com um aumento mínimo na energia fóssil adicional usada (para coleta da palha).

3.4 Impactos no uso final: poluição em centros urbanos

Quando instituído, em 1975, o Programa do Etanol visava, principalmente, a reduzir os custos com a importação de petróleo e evitar perdas com os baixos preços do açúcar no mercado internacional. Grandes benefícios na redução da poluição nos centros urbanos ficaram evidentes a partir de 1980²³. Resumidamente, pode-se dizer que os usos do etanol, em mistura (E 22) ou nos motores a etanol puro (E 100) proporcionaram, neste período:

- Eliminação total dos aditivos com Pb (desde 1990).
- Eliminação de 100% do SO, particulados de Carbono e Sulfato nos E100 e de ~22% nos E 22.
- VOCs com menor toxicidade e reatividade.
- CO: redução de ~70% nos antigos E 100 e até 40% nos E 22, comparados com E0.

O custo social evitado, associado a estas reduções, foi estimado em 2001 para os anos seguintes em cerca de US\$ 500 milhões por ano, em cenários que incluem um crescimento modesto da frota de carros a álcool (~100 mil carros/ ano)²⁴.

²³ Carvalho, L.C.C.; Understanding the Impact of Externalities: Brazil, Int. Development Seminar on Fuel Ethanol, Dec 2001, Washington DC.

²⁴ M B Associados e Fipe; Relatório para a Única, Cenários para o Setor de Açúcar e Alcool, São Paulo, 2001.

Como combustível, as características do etanol quanto a emissões derivam de: possuir baixa toxicidade, comparado com o diesel e gasolina; ter 34,7% de oxigênio, exigindo menor relação ar/ combustível, gerando emissões menores; não ter enxofre; ter menor reatividade fotoquímica que os HC no diesel e gasolina, reduzindo as emissões de precursores de *smog* fotoquímico; como molécula única, com baixo teor de carbono, quase não forma particulados; ser biodegradável. Finalmente, como elevador de octanagem, substitui aditivos como o MTBE, ETBE, Pb, TEL e outros com emissões indesejáveis²⁵.

Testes realizados pela Cetesb para todos os modelos E-100, em 2001, conduziram às seguintes médias (U.S. FTP-75 *driving cycle*): CO: 0,66 g/km; HC: 0,15 g/km; NOx: 0,08 g/km; Aldeídos: 0,017 g/km. As emissões evaporativas (U.S. *shed test*) ficaram em 1,3 g/km, sem a necessidade de uso de *canisters* de carbono ativado.

3.5 Impactos ambientais da produção agrícola

Não são feitos de maneira homogênea, no Brasil, estudos abrangentes de todos os aspectos relativos à sustentabilidade ambiental da cultura da cana-de-açúcar. Há um enorme volume de trabalhos, em vários aspectos, mas a sistematização – incluindo, por exemplo, as novas áreas para a incorporação na produção, as novas práticas agrícolas na colheita de cana e a extensão da ferti-irrigação – não é completa. Provavelmente pelo entendimento de que há uma experiência de centenas de anos na cultura da cana

²⁵ Comunicação ao CGEE por Alfred Schwarz, Consultor (Meio Ambiente), 2004.

no Brasil, e que as práticas agrícolas não têm conduzido em geral a resultados ambientalmente prejudiciais. Isto é reforçado pelo conhecimento de que o uso de pesticidas, herbicidas e fertilizantes é relativamente pequeno, comparado a outras culturas. Trata-se de uma cultura irrigada e que recicla seus resíduos principais.

As atividades de produção de cana e sua industrialização são, como todas as outras, regulamentadas por um conjunto de leis. Em particular, seu impacto ambiental é controlado por cerca de 50 leis, resoluções, portarias, decretos e normas técnicas mais relevantes, nos setores agrícola e industrial. É um conjunto dinâmico, com freqüentes revisões em função de avanços técnicos e novas situações.

Nos últimos anos, experimentos comerciais de produção de cana sem herbicidas, pesticidas e fertilizantes minerais, devidamente certificados, são conduzidos em escala em grandes fazendas. É o caso da Usina São Francisco em Barrinha, São Paulo. É possível que a evolução nesta área venha a ser muito acentuada, inclusive por fatores econômicos (redução de insumos com agricultura de “precisão” e novas práticas, por exemplo). Análises nos últimos 20 anos indicam que o uso de herbicidas, pesticidas e fertilizantes pela cana tem sido equivalente, e em alguns casos muito menor que o de outras culturas de grande volume. É prática corrente o reciclo de resíduos (vinhoto e torta de filtro) para a lavoura, reduzindo a necessidade de fertilizantes externos (principalmente potássio). Em 1977, o uso médio de fertilizantes minerais pela

cana, soja e milho no Brasil era, aproximadamente igual, por hectare²⁶. A otimização no uso dos resíduos (torta e vinhoto) e a possibilidade de deixar parte da palha no campo podem levar a reduções significativas dos fertilizantes minerais externos. Uma fração deste potencial começa a ser utilizada.

O reciclo da vinhaça tem sido extensamente analisado, de modo a otimizar os benefícios e evitar problemas ambientais (contaminação do lençol freático, salinização). Resultados de uma pesquisa, cobrindo mais de 30 anos de uso deste resíduo, apontaram as operações adequadas de armazenamento, transporte por canais e aplicações de vinhaça²⁷, na sua maioria já em prática.

O baixo nível de uso de pesticidas e herbicidas deve-se, em parte, à incorporação de um extenso programa de controle biológico do principal predador da cana, a broca. No momento, introduz-se o controle biológico da cigarrinha. No caso de herbicidas, a posição da cana com relação a outras culturas em 1997, mostrada na Tabela 7, tem melhorado nos últimos anos.

Tabela 7. Herbicidas em milho, soja e cana-de-açúcar, 1997²⁶

Cultura	Área (milhões ha)	Herbicidas (1000 t)
Cana-de-açúcar	4.9	22.6
Milho	13.6	15.1
Soja	11.5	65.6

O uso de controle biológico para a broca da cana (prática comum na maioria das áreas) reduziu a infestação ao nível de

²⁶ Comunicação de J. Donzelli; Centro de Tecnologia Copersucar, 2002.

²⁷ Gloria, N. A.; Demattê, J. L.; Elia Neto, A. e outros; Proposta para adequação da aplicação de vinhaça no solo, apresentada pela Única à Cetesb, São Paulo, 2003.

²⁸ IBGE, Censo Agropecuário, Rio de Janeiro, 1997.

²⁹ Andef, Relatório Anual, São Paulo, 2000.

2% a 3%, contra valores iniciais (1980) de 10% a 11%. O uso total de inseticidas em 1997 atingia cerca de 0,36 kg/ha, contra 1,17 para soja e 0,26 para milho^{28,29}. Inseticidas são usados em cana principalmente para insetos do solo e formigas. Há incertezas quanto ao aumento futuro de predadores das partes aéreas da planta, com a limitação de queima da cana; controles biológicos específicos estão sendo testados. É possível que o uso de variedades transgênicas possa introduzir resistência a insetos e reduzir ainda mais o uso de inseticidas.

A proteção do solo e águas deve ser cuidadosamente observada. O crescimento rápido da cana, e a prática de culturas de rotação, assim como o ciclo de cinco cortes, permitem a proteção do solo na maior parte do tempo, reduzindo a erosão. São desenvolvidas e utilizadas técnicas especiais de contenção de águas pluviais.

A Lei 4.771/65 do Código Florestal estabelece as obrigações quanto ao reflorestamento e proteção de águas e define as áreas de preservação. Além disto, o conceito de “reserva legal”, estabelecido na Lei 7803/89 (20% da área total deve ser reflorestada), está sendo analisado, depois da Lei Agrícola 8171/91, nas suas implicações legais, ambientais e econômicas. Também estão em elaboração legislações estaduais. Principalmente em São Paulo, milhares de hectares de áreas reflorestadas foram estabelecidos em áreas de cana (proteção de cursos de água, encostas, etc); mas será necessário estimular avanços significativos nos próximos anos.

No final da década de 90, a captação e uso de água nas usinas de açúcar ainda eram muito elevadas. Em 1997, em São Paulo, uma amostra de 36 usinas processando 60 milhões de t cana indicou uma média de 5 m³ de água captada por t cana processada (variando de 0.7 a 20.0). Este valor pode ser substancialmente reduzido, baseado na otimização de reutilização interna da água. Esta evolução deverá ocorrer simultaneamente, em vários setores industriais, comerciais e no setor doméstico.

Desde 1980, a preocupação com possíveis riscos para a saúde com as queimadas de cana motivou muitos estudos. O assunto foi tratado em pelo menos duas câmaras setoriais com os interessados, trabalhadores, produtores, órgãos de proteção ambiental e da saúde pública, e representantes da população. O Estado de São Paulo, com a maior concentração da produção, estabeleceu nestas câmaras a legislação adequada com a implantação gradual das áreas sem queima, obedecendo a um cronograma que respeita o estágio atual e avanços da tecnologia de colheita, as áreas de risco, a necessidade de manter níveis de emprego e treinamento da mão-de-obra e a segurança e bem-estar da população.

A tecnologia básica para a transformação genética de cana é dominada no Brasil (Copersucar, Allelyx, Ridesa) e está avançando significativamente também em outros países. O estabelecimento do mapa genético da cana levou à implantação de vários projetos envolvendo análise funcional do genoma. Os resultados são esperados nos próximos anos (ver item 10.1). A legislação

brasileira é pelo menos tão restritiva quanto a de outros países, e nos últimos dez anos todos os trabalhos em curso, para a cana-de-açúcar, têm se mantido estritamente dentro das normas de segurança.

A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) tem competência para opinar sobre a desregulamentação para o plantio comercial do material. Embora já exista autorização para cerca de 50 plantios experimentais de várias culturas (milho, soja, cana, algodão, milho doce, fumo), nenhum requerimento de desregulamentação foi ainda considerado. Para cana-de-açúcar, isto deverá ocorrer nos próximos anos. No começo, há interesse no uso de genes para conferir resistência a pragas e doenças, mas no futuro há intenção de melhorar propriedades mais complexas como o teor de açúcar, tempo de maturação, produtividade etc.

4. Geração de emprego e renda

4.1 Aspectos gerais

A geração de empregos agrícolas e industriais tem sido um dos pontos fortes da indústria da cana. Há grandes diferenças regionais, e as características do emprego têm mudado nos últimos trinta anos, mas o fato é que o programa do álcool ajudou a reverter a migração para as áreas urbanas e melhorar a qualidade de vida em muitas localidades.

A produção de etanol e açúcar em larga escala no Brasil, na verdade, é composta por um número grande de unidades industriais (acima de 300), com áreas de produção de cana variando de 5 a 50 mil ha. No entanto, essa produção de cana é muito mais fragmentada, com cerca de 30% da cana sendo suprida por 60 mil produtores independentes.

Outra consideração de interesse para a criação e qualidade dos empregos é a sazonalidade. A cana é um produto de safra, que dura entre 6 a 8 meses. A duração da safra e o nível da tecnologia agrícola determinam as necessidades relativas à mão-de-obra para os dois períodos do ano agrícola, safra e entressafra. Alta sazonalidade implica geralmente em empregos temporários, gerando alta rotatividade, dificuldade de treinamento e conseqüentemente baixos salários. Tanto na agricultura quanto na indústria, o número de empregos e sua qualidade são muito influenciados pelo nível de tecnologia usado. No Brasil, houve grandes diferenças regionais neste aspecto, e alguma diferença ainda perdura. Entre os empregos indiretos, os sistemas de distribuição de etanol são idênticos aos da distribuição de combustíveis do petróleo, contribuindo para a geração de postos de trabalho na proporção do uso do combustível.

Em síntese, a produção de etanol necessariamente gera empregos como um grande número de pequenas e grandes agroindústrias, especialmente por conta do fornecimento de matéria-prima. Deste modo, na produção de etanol de cana o número de empregos gerados por unidade de energia produzida é cerca de 100 vezes

³⁰ Nogueira, L.A.H. e Lora, E.E.S., Dendroenergia: fundamentos e aplicações, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2ª. edição, 2003.

maior que na indústria do petróleo³⁰, com as vantagens adicionais da diversificação e descentralização.

4.2 Evolução

O contexto brasileiro nos anos 80 registra um desemprego oficial baixo: a média foi 5% (mínimo de 3%, 1989, e máximo de 8%, 1981)³¹. Havia sem dúvida desemprego não oficialmente registrado. Em 1988, 44% dos trabalhadores na agricultura, 6% na indústria e 15% em serviços recebiam menos que o salário mínimo, na época, de US\$ 53.

No mesmo ano, somente 20% dos trabalhadores na indústria e serviços e 5% na agricultura recebiam mais que US\$ 265 ao mês. Havia grandes diferenças regionais nas principais áreas produtoras de cana, de salários muito menores no Nordeste do que no Sudeste. Entre as famílias brasileiras, 36,1% recebiam menos que US\$ 106/ mês; 67,3% menos que US\$ 265/mês; e 94,3% abaixo de US\$ 1060/ mês. Considerando este quadro, a situação da agroindústria da cana em 1991 pode ser resumida como abaixo³².

³¹ Borges, J.M.; Geração de Empregos na Agroindústria canavieira, Desenvolvimento em Harmonia com o Meio Ambiente, F. B. C. N. - Rio de Janeiro, 1992.

³² Borges, J.M.; The effect on Labor and Social Issues of Electricity Sales in the Brazilian Sugarcane Industry, Proceedings of the International Conference on Energy from Sugarcane, Winrock International; Hawaii, 1991.

Em 1991, estimou-se em 800 mil empregos diretos e 250 mil indiretos o número de postos de trabalho associados à agroindústria do etanol. Em São Paulo, 72% dos empregos diretos encontravam-se na agricultura. Cerca de 30% do total encontram-se trabalhadores especializados (lavoura e indústria), 10% possuíam treinamento médio (motoristas, por exemplo) e 60% tinham pouca qualificação (cortadores de cana, entre outros). Nos 357 municípios com

destilarias de etanol, estas proporcionavam 15% a 28% do total de empregos. Diferenças regionais em mecanização, automação e produtividade determinavam que no Nordeste, comparada a uma usina no Sudeste, necessitava-se de três vezes mais trabalhadores por unidade de produção. Em São Paulo, o cortador de cana recebia mais do que 86% dos trabalhadores agrícolas no país. Mais que 46% dos trabalhadores industriais, e mais do que 56% dos trabalhadores em serviços. A renda familiar média de dois cortadores de cana, dois trabalhadores por família, era superior a 50% das famílias no país. O coeficiente de sazonalidade era de cerca de 2.2 em 1980; 1.8 em 1990, e cerca de 1.3 em 1995. O investimento para a criação de empregos na produção de etanol foi avaliado em US\$ 11 mil por emprego (Nordeste) e US\$ 23 mil, em São Paulo (excluindo o custo da terra). A média nos 35 maiores setores da economia em 1991 era de US\$ 41 mil.

Dez anos depois, em 2001, análises feitas com base em 1997³³ indicaram cerca de 654 mil empregos diretos e 427 mil indiretos. Nos “indiretos” é importante evitar a contagem dupla (“diretos” na produção de cana e “indiretos” na industrialização do açúcar e etanol). O número de empregos “induzidos” é muito elevado (cerca de 1,8 milhão, para cana, açúcar e etanol) mas não será usado nas considerações neste contexto. A redução de empregos diretos deveu-se principalmente a terceirizações, aumento de produtividade e mecanização/automação. No Nordeste, há cerca de quatro vezes mais trabalhadores por unidade de produto, evidentemente com perfis diferentes, como indicado na

³³ Guilhoto, J. M. M.; Geração de emprego nos setores produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool no Brasil e suas macrorregiões; Relatório Cenários para a produção de açúcar e álcool, MB Associados e Fipe, São Paulo, 2001.

Tabela 8. Na ocasião, o Nordeste usava 38,1% da mão-de-obra para atender a 18% da produção.

Tabela 8. Distribuição dos trabalhadores da agroindústria da cana por nível de escolaridade

Anos de escolaridade	Brasil %	Sudeste %	Nordeste %
4 a 7	28.0	36.4	14.7
1 a 3	27.3	29.1	27.6
> 8	13.2	17.4	8.9
< 1	31.5	17.1	48.8

Tomando como base a produção de petróleo no Brasil, a geração de empregos por unidade de energia equivalente é quatro vezes maior no carvão, três vezes com a energia hidrelétrica, e 150 vezes com o etanol²³.

4.3 Tendências atuais

A experiência com o etanol no Brasil indica ser possível ter impactos positivos e importantes na geração e qualidade de empregos para programas similares com biomassa. Usando tecnologia adequada, podem ser feitos ajustes no número de empregos ou em sua qualidade para acomodar os mercados locais. A tendência irreversível no Brasil é seguir incorporando tecnologia e gerando menos empregos com maior qualidade. Esta tendência fica clara com a redução estimada de empregos na área de colheita da cana, nas regiões onde a limitação da queima ou a topografia adequada favorecem a colheita mecânica. Um estudo recente avalia³⁴ que a introdução da colheita mecânica poderia levar, quando completa, a uma redução de cerca de 50 a 60% dos empregos diretos na área agrícola da cana. Esta redução

³⁴ Guilhoto, J. M. M. e outros: Mechanization Process of the Sugar Cane Harvest and its Direct and Indirect Impact over the Employment in Brazil and in its 5 Macro-Regions, Relatório Esalq – Cepea, Piracicaba, 2002.

estaria concentrada nos trabalhadores de menor escolaridade, 40% entre aqueles com menos de 3 anos de escola, 15% entre os que têm 4 e 7 anos de escolaridade. As diferenças regionais são grandes, também, neste aspecto. As implicações estimadas são apresentadas no item 10.5.

5. Aspectos econômicos

O custo de produção do Etanol deve se referir a uma produção sustentável dos pontos de vista econômico, social e ambiental. Como os aspectos ambientais e sociais relevantes são conhecidos e o setor tem se situado de forma satisfatória neste contexto, busca-se avaliar os custos atuais e os esperados para uma empresa economicamente saudável nos próximos anos.

Os efeitos positivos dos avanços tecnológicos, agrícola e industrial, e dos avanços em gerenciamento nos últimos dez anos são evidenciados na contínua queda de custos do açúcar e álcool, mas ainda existem ganhos significativos a realizar, nos próximos 10 a 20 anos.

Uma avaliação recente³⁵ dos custos de produção de etanol no Centro-Sul determinou o custo de produção sustentável economicamente, incluindo a remuneração adequada do capital; utilizou valores para a média das usinas mais eficientes, com tecnologia praticada hoje. Consideraram-se usinas com diferentes capacidades, características de gestão, localização e qualidade de terras. Foram também considerados dados da FGV

³⁵ Borges, J.M.M.; Alternativas para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, Fipe – M B Associados, Unica, Vol. 2, São Paulo, 2001.

(série histórica, até 97/98), atualizados para verificação da sua consistência. Tal estudo analisou ainda as diferenças advindas de diversos conceitos de custo (base caixa, econômico, contábil), variações na produtividade agrícola, nos preços dos fatores de produção, mão-de-obra em particular, e outros, para estimar quais os custos de produção de etanol seriam economicamente sustentáveis para os próximos dez anos.

Em valores de abril de 2001, a Tabela 9 apresenta as principais hipóteses adotadas e os custos resultantes para dois cenários: as usinas eficientes e as usinas em uma perspectiva futura de evolução tecnológica. Com efeito, mantida a tendência atual de redução de custos, com aprimoramento de tecnologia e gerenciamento, nos próximos anos, é razoável esperar uma continuidade na curva de custos, que tem-se mostrado declinante. O detalhamento e as hipóteses adotadas na atualização destes valores para janeiro de 2003 constam da Nota 1.

Tabela 9. Custos de produção de cana e processamento para etanol, (em abril de 2001)

Parâmetros e custos	Cenários	
	usinas eficientes	usinas prospectivas
Produtividade agrícola, t cana/ ha	85	90
Qualidade da cana, %pol/ cana	14,5%	15
Produtividade industrial, l etanol/ t cana	85	90
Eficiência industrial na produção de etanol	88 a 89%	90
Custo médio da cana, (posta na usina), R\$/ t cana	23.50	22.60
Custo de processamento industrial, R\$/ t cana	15.10	15.10
Custo do etanol, R\$/ t cana	38.60	37.70

Empregando índices que buscam refletir a realidade dos vários segmentos (mão-de-obra, máquinas e equipamentos, combustíveis, serviços de terceiros, etc.), a correção a ser efetuada para trazer estes custos a valores de janeiro de 2003 é de 15,10% (vide Nota 1), implicando que os custos do etanol hidratado ficariam entre R\$ 0,523 a R\$ 0,482/l, claramente competitivos com os combustíveis derivados de petróleo, cujos preços no *rack* das refinarias têm historicamente se situado acima de US\$ 0,20/l. Notar que estes valores correspondem a usinas “eficientes”, não à média nacional.

Parte B. Perspectivas de evolução e competitividade para exportação nos próximos dez anos

6. Produção de etanol no mundo

O etanol é empregado no mundo como combustível, como insumo industrial (grande diversidade de aplicações) e na área de bebidas. É produzido por fermentação (93%, em 2003) ou síntese química. Estimativas para o período 2000-2002³⁶ indicam que a produção mundial de etanol para os diversos fins estava em torno de 33 M m³/ano, sendo 19 M m³ para combustível, 9 como insumo industrial e 4,5 para bebidas. Neste período, produtores importantes foram:

³⁶ Saka, S.; Current situation of Bio-ethanol in Japan; Workshop "Current State of Fuel Ethanol Commercialization", IEA Bioenergy Task 39, Denmark, 2003.

³⁷ Tuite, J.; The internationalization of fuel ethanol, II Datagro International Conference, São Paulo, 2002.

³⁸ Maniatis, K.; European Commission: Prospects for Bioethanol Commercialization in the EU, IEA Bioenergy Task 39, Denmark, 2003.

Países	M m ³	
Brasil	13,5	(2003)
EUA	6,5	(2001) ³⁷
China	3,0	
UE	0,25	(2000) ³⁸ ,
	0,4	(2002) ⁴⁴
Rússia	1,3	
Índia	1,7	
África do Sul	0,4	
Arábia Saudita	0,4	

7. Custos de produção e competitividade

7.1 Estimativas do custo do etanol (exterior)

Em geral, é difícil avaliar o custo real de produção do etanol em situações em que há grandes subsídios de naturezas diferentes, como é o caso dos EUA e UE. Por exemplo, nos EUA, não há nada, nem mesmo nas melhores estimativas, que considere os subsídios de infra-estrutura, drenagem, entre outros, na produção de grãos que levam ao etanol. Outra dificuldade vem das estimativas dos créditos por subprodutos e co-produtos, nos casos em que os processos não estão implementados em larga escala. Nos parágrafos seguintes são apresentadas estimativas recentes para custos de etanol do milho (glucose – EUA), do etanol de beterraba (sacarose – UE) e de trigo (glucose – UE).

Uma análise da necessidade e do potencial de redução de custos com o desenvolvimento tecnológico do etanol de material lignocelulósico, com todas as incertezas inerentes ao processo, é vista na Nota 2. Um resumo é apresentado adiante. A inclusão desta análise deve-se ao fato de estes processos serem de grande importância para que o etanol se transforme, no futuro, em uma opção energética forte: os países de regiões temperadas não teriam outro modo de tornarem-se produtores, com custos aceitáveis.

7.1.1 Custo do etanol de milho (glucose) nos EUA

Buscamos obter valores indicativos para situações normais; não são representativos de muitos outros casos específicos. Há uma flutuação constante nos preços dos subprodutos, que influenciam os resultados, como aliás é o caso em qualquer produto agrícola.

³⁹ Henniges, O.; Zeddies, J.; Fuel ethanol production in the USA and Germany – a cost comparison, F. O. Licht's World Ethanol and Biofuels Report, Vol 1, No. 11; 2003.

⁴⁰ Comunicação ao CGEE por O. Henniges, 2004

⁴¹ Fulton, L. e Hodges, A.; Biofuels for Transport: An International Perspective; IEA/EET, 2004.

A análise de uma planta³⁹ para 53 M m³/ano (2003), usando o processo *dry milling* e produzindo etanol anidro (ver Nota 3), considerando créditos para subprodutos (DDGS) e sem subsídios estadual e federal (North Dakota) leva a um custo de produção de US\$ 0.33/l. A atualização destes valores mais gerais, e para 2004, deve considerar que⁴⁰ plantas maiores devem se beneficiar de redução de custos por escala de produção. Por outro lado, ultimamente o milho teve aumentos de preço de quase 50%, e muito possivelmente também os seus subprodutos. Análises anteriores para plantas maiores, citadas recentemente⁴¹, chegam a US\$ 0.29/l.

7.1.2 Custos de etanol de trigo e beterraba (Europa)

Analisar os custos de produção na Europa, a partir de trigo e beterraba, é mais difícil pela complexidade dos sistemas de subsídio. Estimativas realizadas para plantas hipotéticas de 50 e 200 M litros/ ano³⁹ (2003), na Alemanha, elucidam alguns pontos (ver Nota 3). As plantas operariam 214 dias/ano, 90 dias (safra) com beterraba e o restante com trigo (64% do etanol vem do trigo, 36% da beterraba).

Trigo e beterraba são considerados como de plantios em áreas *set aside*, como culturas não alimentares, e com margem bruta comparável à que seria obtida se fossem *fallowed* (para o custo). Os custos para a planta de 200 M l/ ano (para 50 M l/ano os custos de etanol seriam cerca de 13% maiores) indicam 0,5068 US\$/ l anidro. Este custo considera créditos por subprodutos (DDGS, do trigo e polpa, da beterraba). A atualização para 2004⁴⁰ indica custos aproximadamente iguais (0,50/l, para uma planta de tamanho médio).

O mesmo estudo indica que os custos calculados para a França são iguais. No entanto, estima-se que seria possível reduzir estes custos em cerca de US\$ 0.07/l etanol anidro, atingindo cerca de US\$ 0.43/l anidro, com avanços em variedades de plantas, economia de energia nos processos e economias de escala.

7.2 Custos (futuros) do etanol de hidrólise de lignocelulósicos

Trata-se de avaliar, em âmbito mundial, o estágio atual e as perspectivas das tecnologias em desenvolvimento nesta área. É um assunto de certa forma controverso. De fato, a hidrólise de celulose eficiente e com custos baixos, para permitir o uso competitivo dos açúcares resultantes, tem sido o sonho de grande número de cientistas e engenheiros, nos últimos 40 anos. É um desenvolvimento essencial para que o etanol seja produzido e comercializado como *commodity*, porque estenderia a sua produção para praticamente todos os países do mundo. Grandes volumes de recursos são investidos, mas ainda não há aplicação

realmente comercial. Plantas de demonstração devem operar em 2004, com tecnologias e matérias-primas diferentes, mas estão longe de serem competitivas.

Resumidamente, pontos importantes para o custo final do etanol são:

1. O custo da biomassa.
2. O custo do processamento.
3. As taxas de conversão da biomassa para os produtos.

O custo do processo e taxas de conversão estão relacionados (ver Nota 2); leveduras simples (*Saccharomyces cerevisiae*) só converteriam o açúcar derivado da celulose; uma fermentação mais complexa e cara, por exemplo, com o *Clostridium thermocellum*, poderia converter também a xilose. Há muitas opções de processo em estudo, com vários pré-tratamentos (remoção da lignina e separação da hemicelulose, em alguns casos). Todos estes processos estão em fase de desenvolvimento e, apesar da insistência de vendedores, mesmo as plantas a serem operadas neste ano são experimentais. Sua operação será essencial para o desenvolvimento final de sistemas comerciais, e para o estabelecimento dos custos reais.

O potencial de avanço destes processos tem sido muito analisado. Uma avaliação⁴² feita em 2001, com quantificação das expectativas futuras, indica que os processos com catálise ácida apresentam hoje melhor resultado – em termos de custos finais –, mas os

⁴² Nieves, R., Enzyme based biomass to ethanol Technology: an update, NREL International Development Seminar on Fuel Ethanol, Washington DC, 2001.

enzimáticos parecem ter maior potencial de redução de custos, nos próximos anos. Considerando o desenvolvimento de um processo que inclua pré-hidrólise com ácido (diluído); sacarificação (enzimática) e fermentação simultâneas; produção local da enzima (celulase); queima da lignina para energia; em uma planta para 200 mil m³ etanol/ano, os resultados esperados são:

Custos atuais, incorporando tecnologia em fase final de desenvolvimento:

Etanol: US\$ 0,38 /l (0,44 – 0,36)

Resultados esperados, no futuro:

Até 2010: US\$ 0,29 – 0,32/l

Logo após 2010 (Comercial): US\$ 0,28/l

Após 2020: US\$ 0,20/l

Para comparação, o custo estimado para o etanol de sacarose (Brasil; Centro-Sul, como visto anteriormente é de US\$ 0,15/l, com câmbio de 1US\$ = 3,2 R\$). Ou seja, os custos alcançados hoje no Brasil não seriam batidos nem em 2020 com as tecnologias de hidrólise, mesmo admitindo extenso desenvolvimento, com os custos de biomassa previstos para o Hemisfério Norte.

A relação de custos do etanol obtido a partir de hidrólise no Hemisfério Norte versus etanol de cana no Brasil reflete a relação entre os custos dos respectivos açúcares. Estes resultados “esperados” supõem um avanço tecnológico extremamente ambicioso, principalmente na área biológica, com a redução

do custo de enzimas (com ótimos resultados, recentemente), e desenvolvimento de microorganismos “estáveis” para a complexa fermentação simultânea; mas podem exigir mais tempo. Entre os avanços previstos está a possibilidade de ter biomassa a US\$ 25/t de MS (US\$ 1.25/ GJ). Estes custos de biomassa, no Hemisfério Norte, só poderão ser conseguidos, por muitos anos, em situações especiais, com volumes limitados, utilizando, por exemplo, resíduos da colheita do milho. A redução do custo de biomassa, especificamente para energia, nos EUA e Hemisfério Norte em geral, em volumes maiores, só ocorrerá com consideráveis avanços tecnológicos. Seria necessário atingir os custos de produção abaixo:

Tabela 10. Custo a atingir para a biomassa, EUA

Ano	2000	2005	2010	2020
Custo US\$/GJ	2,4	1,8	1,4	1,2

A título de comparação, no Brasil, os custos para madeira, em São Paulo⁴³, são de US\$ 1,16/GJ para a situação atual (com 44,8 m³/ha.ano, e 21,4 km de média de transporte) e de US\$ 1,03/GJ no futuro (com 56 m³/ha.ano, mesma distância). Valores calculados em reais, para 2000, com o câmbio desse ano. Estes valores são considerados excepcionalmente baixos hoje e menores que as expectativas para 2020, no Hemisfério Norte.

Os custos de recuperação da palha da cana em, São Paulo, já estão abaixo de US\$ 1.0/GJ (chegando a 0.7). Isto abre excelentes possibilidades para o crescimento de uma indústria baseada também nos açúcares derivados desta biomassa, aumentando a

⁴³ Damen, K.; Future Prospects for Biofuel Production in Brazil, Report NW&S-E-2001-31, Universiteit Utrecht, 2001.

flexibilidade de operação das usinas. Com estes níveis de custo no Centro Sul do Brasil, qualquer processo avançado de hidrólise (para aplicação em grande escala) que se tornar viável, o será primeiramente em usinas processadoras de cana-de-açúcar.

7.3 Custo da gasolina

Para as comparações e verificação da competitividade, tem sido aceito um custo de gasolina (na refinaria, sem aditivos, sem impostos) de US\$ 0.21/ l (petróleo a US\$ 24/ barril) a US\$ 0.25/ l (petróleo a US\$ 30/ barril).

8. Mercados para o etanol: Brasil e exterior nos próximos dez anos

Atualmente o comércio internacional de etanol é de cerca de 3,3 M m³/ ano (2002), tendo ficado acima de 3 M m³/ ano desde 1998. O Brasil duplicou sua exportação de 2001 para 2002 (de 0,32 para 0,76 M m³), sendo hoje o líder do mercado com 25% do total⁴⁴. Este mercado deve crescer muito nos próximos anos. As diversas análises de potencial têm sempre considerado dois pontos básicos:

- A provável implementação do Protocolo de Quioto, aumentando a demanda de combustíveis renováveis no mundo.
- A enorme resistência dos países desenvolvidos (em particular, na UE e EUA) em reduzir barreiras comerciais para a entrada de etanol externo, tendo em vista seu interesse em manter o nível de emprego interno.

⁴⁴ Carvalho, E. P.; Demanda externa de etanol, Seminário BNDES "Álcool: Gerador de divisas e emprego", Rio de Janeiro, 2003.

Estes dois pontos, conflitantes para a maioria dos países do Hemisfério Norte, têm norteado as políticas na UE, EUA, Japão e outros, com ponderações específicas em cada caso.

No caso do Brasil, em função de ter hoje os menores custos de produção de etanol e de açúcar do mundo, para avaliar o espaço possível para expansão sustentável da produção nacional deve considerar inicialmente quatro pontos, no horizonte dos próximos dez anos:

- O mercado interno para etanol.
- Os mercados internacionais para etanol.
- Os mercados internacionais de açúcar.
- O mercado interno para açúcar.

O terceiro ponto é importante porque o momento é decisivo no que se refere a definições sobre regras no comércio internacional, no qual até uma vitória pontual, como a decisão na OMC sobre o subsídio ao açúcar exportado pela Europa, terá enormes conseqüências sobre a nossa produção de cana (somando-se a expansões para etanol).

8.1 Mercado interno para etanol

O consumo de etanol no Brasil não será revisto em detalhes nesta seção por ser muito conhecido. É adequado dizer que nos últimos 12 anos, até 2002, ficou relativamente estável, em torno de 12 M m³; mas ocorrendo uma transição contínua de etanol hidratado para anidro, em decorrência da quase extinção da venda de

carros E100 novos, e ao aumento geral da frota com carros E22 (os teores de etanol variaram de 20% a 25%, ao longo dos anos). Na década de 80 os veículos a etanol puro chegaram a atingir 96% das vendas totais, caindo a quase zero na década seguinte; mas o volume total de vendas de veículos saiu de 600-800 para 1200-1800 mil unidades. O aumento (sobre os 12 M m³) nos dois últimos anos ocorreu porque o preço muito baixo do etanol provocou misturas com maior porcentagem de etanol e porque no último ano ocorreu a introdução dos carros *flex-fuel*, que têm respondido por quase 30% das vendas.

Este último fato poderá causar uma mudança sensível no consumo de etanol nos próximos anos⁴⁵. Alguns modelos têm sido elaborados para simular a evolução do consumo de etanol; uma verificação básica é que quando a relação de preço AEHC/ Gasolina for menor que 0,7 o consumidor utiliza álcool, se possível. Esta condição tem sido mantida nos principais mercados no país.

Uma implicação interessante dos veículos flex-fuel é que, para permitir a mistura de etanol hidratado e gasolina (na realidade uma mistura gasolina-etanol), em quaisquer teores, a gasolina deverá ter sempre um teor mínimo de etanol, sob risco de separação de fases. Assim, de certo modo, a tecnologia bicomcombustível trouxe um revigoramento ao mercado de etanol hidratado mas introduziu uma rigidez na demanda de anidro.

Os resultados de simulações conduzidas pela Datagro com um modelo desenvolvido para a Comissão de Reexame da Matriz

⁴⁵ Nastari, P.; Projeções de demanda de açúcar e álcool no Brasil no médio e longo prazos; III Conferência Internacional Datagro sobre Açúcar e Álcool, São Paulo, 2003.

⁴⁶ Comunicação ao CGEE por Luiz C. Correia Carvalho, 2004.

Energética⁴⁵ (considerando o crescimento da frota, venda de veículos novos atingindo 40% de carros E100 ou bicombustível usando etanol, e mantendo 26% de etanol na gasolina) são: em 2013 a demanda de etanol (mercado interno) seria de 22,04 M m³, sendo 9,4 anidro, 11,54 hidratado combustível e 1,10 M m³ para outros fins. Uma avaliação feita pela Câmara Setorial da Cadeia Produtora do Açúcar e Álcool⁴⁶ indica demanda interna de 16,9 M m³ (2010) e 26,3 M m³ (2015). Outra estimativa para 2010, apresentada em 2003⁴⁴, situa entre 15 e 18 M m³ a demanda de etanol combustível. Estas estimativas convergem para cerca de 22 M m³ em 2013; uma incógnita é a posição relativa do GNV, que tem um crescimento forte no momento, mas poderá ter um redirecionamento mais saudável para transportes coletivos.

8.2 Mercados externos para etanol

Estes mercados são avaliados ao se considerar o teor das políticas agrícolas internas de cada país ou região, o seu compromisso formal ou esperado com o Protocolo de Quioto, sua demanda de combustíveis etc. É uma área com muitas incertezas.

Vários países que têm programas estabelecidos formalmente para a produção de etanol carburante (ver Nota 4) promovem, em alguns casos, políticas que são explícitas ao impedir a importação de etanol (visando claramente o etanol brasileiro, com custos de produção muito abaixo de qualquer outro, na escala prevista). Na Nota 4 são resumidas as posições atuais da UE e dos EUA, neste sentido.

Uma estimativa da Única para 2010, apresentada em 2003⁴⁴, indica que as demandas totais seriam:

- EUA 18-20 M m³
- Japão 6-12 M m³
- UE 9-14 M m³
- Leste Europeu 1-2 M m³
- Canadá 1-2 M m³

Uma avaliação recente da Agência Internacional de Energia (AIE)⁴¹ confirma estas expectativas: considerando as metas já estabelecidas nos programas da UE, EUA e Canadá, juntamente com expectativas para o Brasil, a avaliação indica a demanda de cerca de 66 M m³ etanol em 2010, a partir dos 33 M m³ em 2003.

Os estudos para estimar que parcela deste mercado seria possível ocupar com etanol brasileiro refletem as incertezas sobre o encaminhamento das negociações em curso para a redução, ou mesmo eliminação, das barreiras comerciais. Embora esteja claro que o etanol brasileiro não tem competidor em custo no mundo, acordos bilaterais, entre outros, poderão garantir parte do mercado a outros participantes (Tailândia, Austrália, Guatemala, etc). Uma posição conservadora, adotada em estudo da Datagro⁴⁵, considera que:

- O mercado da UE estará fechado para importações.
- O mercado japonês poderá importar 5,5 M m³, a partir de 2007.
- A Coreia poderá importar 1 M m³.
- Os EUA, através do Caribe e da América Central (CBI: ver Nota 4) poderiam importar 1,3 M m³, em 2011 (dependendo de aprovação da RFS).

O Brasil poderia participar neste mercado externo com cerca de 4,4 M m³ anuais, em 2013. Uma avaliação feita na Câmara Setorial da Cadeia Produtora do Açúcar e Álcool⁴⁶, refletindo problemas de infra-estrutura deficiente para a exportação e maior dificuldade com barreiras tarifárias externas, indica a exportação de 2,2 a 3,2 M m³ etanol/ ano, em 2010 e 2015.

9. Mercados de açúcar e evolução da produção de cana

Para avaliarmos as possibilidades de crescimento da produção de cana-de-açúcar no Brasil, é preciso considerar o mercado de açúcar (etanol e açúcar são co-produtos no país, e poderão sê-lo na Índia, Tailândia, Austrália, etc). Não seria possível tratar, no escopo deste estudo, de um assunto vasto como este (todos os países do mundo são consumidores; cerca de 80 são produtores); mas a posição ímpar do Brasil – como o mais competitivo produtor no mundo – permite algumas simplificações na análise. Os dados “macro” são considerados a seguir, e pretende-se apenas uma indicação das possibilidades previstas para os próximos anos.

9.1 Mercado interno de açúcar

Os dados a seguir são de uma recente análise apresentada pela Datagro⁴⁵. Nos últimos 20 anos, o consumo mundial de açúcar cresceu 2,12 % ao ano, e 2,40% ao ano, no Brasil. Nos últimos sete anos, a taxa caiu para 2,1% (valor da média mundial). Esta redução está diretamente ligada à redução da taxa de aumento da população. De fato, nesses 20 anos tem-se mantido o quociente 1,6 entre as taxas de crescimento do consumo de açúcar e da população. Ao assumirmos que este quociente será mantido, em 2013 o consumo estará crescendo a 1,55% ao ano, atingindo 11,4 M t (FIBGE: população de 198 M pessoas, portanto o consumo per capita evoluiria de 53,8 kg em 2003 para 57,5 kg em 2013).

Nos últimos seis anos o consumo de açúcar para outros produtos (sucro-químicos: aminoácidos, ácidos orgânicos) aumentou em 0,45 M t. Estima-se que este valor poderá chegar, em dez anos, a 1,4 M t. Desta forma, uma estimativa da demanda interna de açúcar é de cerca de 12,8 M t/ ano, em 2013⁵⁸.

9.2 Mercado externo de açúcar

Estas estimativas são mais imprecisas ainda, pelo fato de dependerem muito de decisões políticas no âmbito da OMC e de acordos bilaterais, e da evolução em cada país. Recentemente, uma das grandes comercializadoras⁴⁷ do setor apresentou uma visão balanceada das diversas regiões do mundo (do ponto de vista de produção/ consumo de açúcar),

⁴⁷ Drake, J.; Cargill Sugar; The future of trade flows in the World Sugar Trade, III Conferência Internacional Datagro sobre Açúcar e Alcool, São Paulo, 2003.

mantendo o foco nos fluxos. Foram considerados os fatores políticos, as mudanças relativas nas posições competitivas dos países produtores, as variações de fretes, e ainda os fatores determinantes do consumo:

- Taxas de crescimento populacional.
- Níveis de urbanização; taxas de câmbio.
- Distribuição de idade da população.
- Crescimento econômico (PIB per capita).
- Disponibilidade de adoçantes alternativos (HFCS, sacarina).

Dez regiões do mundo foram analisadas, para um horizonte de dez anos, até 2014. Os resultados são:

As exportações no mundo podem crescer 26 M t (de 45 para 71 M t/ ano) e o Brasil deverá conseguir a maior parte deste aumento do mercado, ficando com 40% do mercado mundial. Os maiores crescimentos do mercado ocorrerão no Oriente Médio e Ásia Central. E a África Ocidental passará a África do Norte. O Brasil está geograficamente muito bem posicionado para atender estas demandas.

Com base em uma posição assumidamente mais conservadora, apresentada na mesma ocasião pela Datagro⁴⁵, supôs-se que se o Brasil mantivesse sua posição no mercado mundial (cerca de 40%, hoje), mas que se este mercado representasse 27% do consumo mundial (como hoje), em 2013 as exportações chegariam a 20,9 M t.

9.3 Evolução da produção de cana

Para atender as demandas previstas de açúcar e etanol, nos mercados interno e externo, conforme resumido abaixo, em 2013:

- Açúcar Mercado interno 12,8 M t
 Mercado externo 20,9 M t
- Etanol Mercado interno 22,0 M m³
 Mercado externo 4,4 M m³

Teríamos a necessidade de uma produção de matéria-prima de:

- Cana-de-açúcar 572 M t cana/ ano⁴⁵

Este valor representa um incremento de cerca de 230 M t cana em dez anos. Por duas vezes (uma nos anos 70-80, com o PNA; outra, nos anos 90, com o aumento da exportação de açúcar) o Brasil já obteve aumentos de cerca de 100 M t cana/ ano em intervalos de cinco anos.

O aumento corresponderia a dobrar a produção atual de etanol e aumentar em cerca de 44% a produção de açúcar. Mesmo que esta demanda não venha a ocorrer com os valores previstos, é preciso avaliar os impactos (benefícios e dificuldades a vencer) visando aumentos de pelo menos 150 M t cana, nos próximos dez anos. Estes 150 – 230 M t cana/ ano corresponderiam a cerca de 2,2 – 3 M ha adicionais.

A pergunta agora é: será possível repetir estes crescimentos, sustentavelmente, no futuro próximo? Quais os principais desafios a serem enfrentados, no campo agrônomo e industrial? Estes assuntos serão discutidos a seguir.

10. Impactos de um aumento substancial da produção nos próximos anos

Aumentos de produção de cana como os considerados anteriormente devem ser planejados tendo em conta diversos fatores. No Brasil, a experiência acumulada desde 1975 facilita a identificação de alguns pontos essenciais a avaliar:

- A sustentabilidade da base agrônoma: variedades e tecnologia agrícola.
- A disponibilidade de áreas livres adequadas.
- A existência de capacidade industrial para implementação de destilarias.
- A logística, incluindo a exportação.
- Os possíveis efeitos na geração de energia elétrica.
- Os efeitos na geração de empregos.

Os dois últimos itens não são dificuldades a vencer: são vantagens que merecem ser contabilizadas.

10.1 Sustentabilidade da base agronômica: variedades e tecnologia agrícola

10.1.1 Variedades e melhoramento genético convencional

A preocupação atual é: o país possui hoje uma base genética suficiente para o desenvolvimento contínuo de novas variedades, de modo a suprir as áreas produtoras e ter a certeza de que novas doenças ou pragas poderão ser controladas com perdas aceitáveis?

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 5 milhões de hectares no Brasil, nas 27 unidades da Federação. No período de 1971 a 1997, a produção de cana-de-açúcar⁴⁸ cresceu a uma taxa média de 5,5% ao ano. A área de cultivo cresceu 3,9% ao ano e a produtividade 1,6% ao ano de forma relativamente uniforme. As taxas de incremento de produtividade, mesmo com a expansão para áreas menos favoráveis, podem ser atribuídas, em grande parte, à disponibilidade de variedades geneticamente melhoradas, adaptadas a estas novas condições. Entre 1976 e 1994 (PCTS, São Paulo), os ganhos totalizaram 1,4 kg de açúcar/t cana, a cada ano. Nesses últimos dez anos as novas variedades proporcionaram um novo avanço qualitativo.

São cultivadas no país mais de 550 variedades de cana-de-açúcar. Nos últimos dez anos foram liberadas 51 variedades novas⁹ e as 20 principais ocupam 70% da área. Estas variedades foram produzidas principalmente por dois programas de melhoramento genético: o da Copersucar (variedades SP)

⁴⁸ Comunicação ao CGEE por William L. Burnquist, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004..

e o da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro-Ridesa (ex.: Planalsucar, com variedades RB). Um terceiro programa ativo, o do Instituto Agrônomo de Campinas, historicamente de grande importância para o setor, foi reestruturado e tem liberado algumas variedades promissoras. Recentemente foi constituída uma empresa privada para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, a Canavialis. Portanto, o Brasil conta com duas empresas privadas e duas públicas para o melhoramento genético de variedades de cana.

Os dois programas de melhoramento mais ativos (SP e RB) foram criados em 1970, quando se cultivava aproximadamente 1,5 milhão de hectares de cana-de-açúcar no país. Estes programas atenderam a contento a grande expansão da área a partir desta época. A expansão dos anos 70-80 se deu principalmente para regiões com condições edafoclimáticas menos favoráveis. O desenvolvimento de variedades de cana adaptadas contribuiu muito para que esta expansão tivesse sucesso. Nesse período, os programas estabeleceram uma ampla base física para o melhoramento genético convencional. O banco de germoplasma da Copersucar⁴⁸ conta com mais de 3 mil genótipos, incluindo uma ampla coleção de espécies “selvagens”, entre as quais destacam-se *Saccharum officinarum* (423 genótipos), *S. spontaneum* (187 genótipos) *S. robustum* (65 genótipos), *S. barberi* (61 genótipos) e *S. sinense* (32 genótipos), espécies precursoras das modernas variedades de cana-de-açúcar e fontes da grande variabilidade genética encontrada no gênero. A Copersucar conta com uma

estação de quarentena própria (aprovada e fiscalizada pelo Ministério da Agricultura) por onde importa anualmente 40 novas variedades de diversos programas de melhoramento do mundo. Os programas de melhoramento contam com estações experimentais localizadas nas principais regiões canavieiras do país e complementam sua rede de estações com áreas cedidas por unidades produtoras.

O Brasil possui duas estações experimentais de hibridação, onde são realizados os cruzamentos: Camamu, na Bahia, e Serra D'Ouro, em Alagoas. Estima-se que a cada ano os programas brasileiros de melhoramento produzam 1.420.000 *seedlings*.

Comparando com outros importantes centros de pesquisa de cana no mundo, da Austrália, África do Sul, Colômbia e Maurício, pode-se afirmar que os programas brasileiros de melhoramento genético são mais prolíficos, e o produtor brasileiro mais rápido para adotar novas variedades de cana-de-açúcar. Importantes epidemias foram controladas com a rápida substituição de variedades. Isto ocorreu com o carvão de cana (1980-1985), com a ferrugem (1987-1992) e o vírus do amarelecimento (1994-1997). Hoje, as principais variedades ocupam cada uma no máximo 10% a 15% da área total de cana em cada usina, o que minimiza o risco de perdas causadas por patógenos exóticos, até que uma efetiva proteção com variedades geneticamente resistentes possa ser desenvolvida. De fato, esta tem sido a principal defesa contra patógenos externos nas usinas brasileiras⁹.

Não existe ainda uma evidente contribuição da resistência varietal para minimizar as perdas causadas por algumas pragas: nematóides, cigarrinha-da-raiz, broca-do-colmo, migdolus.

Os programas de melhoramento genético também se mostram eficientes para desenvolver variedades adaptadas a novas condições de manejo. Recentemente, no Estado de São Paulo, tem-se observado um aumento relativo do uso da colheita mecânica de cana crua sem queimar, que proporciona uma condição biológica muito diferente à cultura. Não tem sido difícil desenvolver variedades adaptadas a estas novas condições.

Com o sucesso dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no passado, e a ampla base física instalada, consideramos que o setor poderá contar com variedades adequadas para seguramente suportar a manutenção, e futura expansão da cultura, em qualquer condição edafoclimática do país. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados. Por exemplo, a expansão para áreas ainda não visadas especificamente pelos principais programas deverá envolver novos investimentos.

O investimento nessa área de pesquisa totaliza, em São Paulo, cerca de R\$15 milhões/ ano; possivelmente, no Brasil, R\$20 milhões/ ano⁹. Isto corresponde a 1,14 US\$/ha cultivado anualmente; na Austrália, o B.S.E.S. opera com cerca de 12 US\$/ha cultivado, para gerar variedades; em Maurício, 82,2 US\$/ha. Em parte, este subinvestimento é compensado pelo envolvimento de dezenas de empresas do setor sucroalcooleiro nas fases finais

de avaliação. Isso pode significar mais 10 a 15% de investimento na área de experimentação, além de gerar ganhos adicionais no uso mais rápido dos resultados. Mesmo considerando o nosso fator de escala benéfico, é preciso investir mais em certas áreas. Uma deficiência clara é a falta de renovação dos quadros de profissionais⁹. Também é pertinente ressaltar que o surgimento de uma nova empresa na área deu-se em função de certo esvaziamento de um dos dois principais programas, o Ridesa. O Centro de Tecnologia Copersucar passa no momento por uma reestruturação. Espera-se que isso não venha a comprometer sua atuação na área.

10.1.2 Biotecnologia da cana nos próximos dez anos

Nos últimos dez anos no Brasil, assim como na Austrália e África do Sul, tem-se observado um significativo desenvolvimento da biotecnologia de cana-de-açúcar. Em 1997, o Centro de Tecnologia Copersucar foi pioneiro na criação de variedades transgênicas de cana-de-açúcar, e no plantio experimental dos resultados destas pesquisas. A Comissão Técnica de Biossegurança (CTNBio) do MCT conferiu ao CTC o certificado de qualidade em biossegurança (uso de área experimental restrita para variedades resistentes a herbicidas, pragas, doenças e ao florescimento, obtidas por meio de modernas técnicas de biotecnologia).

O Projeto Genoma Cana, financiado pela Copersucar e Fapesp de 2000 a 2003, para identificar os genes expressos em cana-de-

açúcar, contou com a colaboração de 200 pesquisadores de mais de 20 grupos e resultou em conquistas significativas. Cerca de 300 mil seqüências genéticas expressas em cana foram analisadas e agrupadas em aproximadamente 40 mil genes. Alguns grupos de pesquisa já utilizam estes genes em programas de melhoramento genético. O trabalho continua, agora com o projeto genoma funcional iniciado em 2004, também financiado pela Copersucar e Fapesp.

Os resultados preliminares são promissores para o desenvolvimento de variedades mais resistentes a pragas e doenças e alguns estresses importantes como seca e frio, que poderiam inclusive estimular a expansão da cultura em regiões hoje consideradas inaptas para a cana-de-açúcar.

Os grupos de pesquisa se queixam da indefinição e complexidade da legislação brasileira na área. Para o plantio de um campo experimental de cana transgênica, há necessidade da aprovação do projeto em órgãos de três ministérios distintos: CTNBio, MCT; Ibama, MMA e DDIV, Mapa. O tempo para avaliação de propostas tem inviabilizado alguns projetos. Não há definição clara sobre o protocolo a ser seguido por empresas interessadas em registrar o produto transgênico para uso comercial⁴⁹.

⁴⁹ Comunicação ao CGEE por William Burnquist, C.T.Copersucar, 2004.

A capacitação técnica interna coloca o Brasil em posição de vanguarda mundial no emprego da moderna biotecnologia no desenvolvimento de novas variedades de cana. No entanto, um grande esforço precisa ser feito na regulamentação da pesquisa

e uso comercial destas tecnologias para que o país se beneficie economicamente nos próximos 10 anos.

10.2 Disponibilidade de áreas livres adequadas

A cultura da cana existe há séculos no país. Um estudo da Embrapa³ mostra que entre 1976 e 2000, todas as unidades da Federação continuaram a participar, embora com produtividades médias diferentes na evolução da produção. Houve um aumento relativo da participação da região Sudeste. Em 1976, a cana era cultivada em 484 microrregiões; passou a ser cultivada em 495, em 2000. Das 484 microrregiões de 1976, 453 permaneceram até 2000 (86%); e 42 novas entraram.

Nesse período, a área de plantio da cana passou de 2,1 para 4,9 M ha (133%); a produção, de 105 para 334 M t cana (219%); e correspondentemente a produtividade de 50 para 68 t cana/ ha. Em 2000, as dez microrregiões de maior produtividade estavam com 88,7 t cana/ ha; destas, sete estavam no Sudeste, duas no Centro-Oeste e uma no Nordeste.

Com esta distribuição, vê-se que a cana-de-açúcar pode ser cultivada em áreas de todas as regiões do país, adaptando-se com variedades adequadas. De fato, há microrregiões onde a cultura se estabeleceu melhor; mas, de certa forma, isto foi um processo realimentado pelo desenvolvimento específico de variedades para estas regiões (em particular, Sudeste e Nordeste). Estas foram as regiões contempladas nas duas últimas décadas pelos grandes programas da Copersucar e Ridesa. Provavelmente, seria possível

avançar muito com variedades específicas para outras regiões. Futuros desenvolvimentos devem considerar estas opções.

⁵⁰ Comunicação ao CGEE por Vânia Beatriz R. Castiglioni, Embrapa, 2004.

De acordo com a Embrapa⁵⁰, existem aproximadamente 100 milhões de hectares aptos à expansão da agricultura de espécies de ciclo anual. Adicionalmente, estima-se uma liberação potencial de área equivalente a 20 milhões de hectares, proveniente da elevação do nível tecnológico na pecuária, com maior lotação por hectare, o que tornaria disponíveis áreas atualmente ocupadas por pastagens para outros cultivos. São áreas próprias, sem restrições ambientais. Grandes áreas estão disponíveis nos cerrados, cuja concentração se dá de modo importante nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste do país, em grande parte com disponibilidade de variedades de cana adequadas.

As expectativas de aumentar em 150 – 230 milhões de toneladas de cana a produção nacional, exigindo áreas novas de 2,2 – 3 M ha, seriam atendidas com cerca de 2% desta área de expansão, e portanto não se vê limitação neste sentido. A localização deve ser considerada em função da logística, para a fração correspondente ao etanol e açúcar exportados.

10.3 Capacidade industrial para a implantação de destilarias

Para um programa de expansão como o considerado, é preciso avaliar a capacidade do setor de produção de equipamentos para suprir a implantação de novas unidades de produção de etanol, incluindo sistemas de co-geração (convencionais, pressão de operação 60-80 kgf/cm²) para produzir excedentes de energia

elétrica. Esta exigência sobre co-geração eficiente apenas reflete a tendência que as usinas deverão seguir, dentro de uma política saudável de aumento da geração distribuída com sistemas eficientes de co-geração.

A indústria brasileira de equipamentos para a produção de álcool e co-geração de energia tem hoje um índice de nacionalização de quase 100%. Cresceu desde 1975 com o PNA, nos anos 90 foi estimulada com o grande impulso da exportação de açúcar e evoluiu, ultimamente, para sistemas de co-geração mais eficientes e uso integral da energia da cana. Como visto anteriormente, os estágios de evolução da agroindústria canavieira foram os grandes aumentos de capacidade; aumentos nas taxas de conversão e o uso integral do potencial da cana (em curso), que rebateram necessariamente sobre esta indústria de bens de capital. Vários exemplos são marcantes neste processo⁵¹. A velocidade de desenvolvimento, e principalmente de implementação de soluções, evoluiu para os pacotes *turn-key* no fornecimento de destilarias e sistemas completos de co-geração.

Os principais fornecedores brasileiros produziram cerca de 200 destilarias autônomas, e 200 plantas de co-geração correspondentes, com uma média “histórica” de cinco usinas por mês. Os dois maiores fabricantes, Dedini e Zanini, produziram, considerando os “picos” de fabricação, 96 ternos de moenda em um ano, 81 destilarias em um ano, e uma média de 63 caldeiras por ano entre 1973 e 1982.

⁵¹ Olivério, J. L.; DEDINI; Fabricação nacional de equipamentos para a produção de álcool e co-geração; Seminário BNDES, Álcool: potencial gerador de divisas e empregos, Rio de Janeiro, 2003.

A experiência acumulada do maior fabricante (Dedini, 80% dos equipamentos) é comprovada com a produção de 726 destilarias (unidades de destilação), 106 usinas completas; 112 plantas de co-geração e 1.200 caldeiras, sendo 16 destilarias completas para o exterior.

Os principais fabricantes de equipamentos e sistemas no país são⁵¹:

- Produção de etanol:
Dedini; Simisa; Mefsa; Acip; Sermatec; Renk; NG; Santin; Conger; JW.
- Co-geração:
Dedini; Sermatec; Renk; Caldema; Equipalcool; TGM; Turbimaq;
Dresser Rand; Alstom; Mause; Weg; Gevisa.
- Instrumentação/controlado:
Smar; Fertron.

Recentemente, a capacidade nacional de fabricação de unidades completas para uma expansão da produção de etanol foi estimada para duas alternativas de capacidades de usinas⁵¹:

- Usina 1: 1 M t cana/ safra: 40 usinas/ ano + 3,2 M m³ anidro
- Usina 2: 2,16 M t cana/safra 24 usinas/ ano + 4,3 M m³ anidro

Complementando:

- Plantas de co-geração:
40 plantas, 30 MW + 1,2 GW/ ano

Para os níveis de expansão considerados, a indústria nacional poderá atender à demanda de equipamentos e sistemas.

10.4 Logística para a exportação de etanol

O Brasil iniciou a exportação de volumes mais significativos de etanol na segunda metade dos anos 90. Os volumes exportados cresceram de 0,26 M m³/ano (1996) para 0,63 M m³ em 2002, ano em que o Centro-Sul foi responsável por 73% desta exportação. Em 2003, o volume ficou acima de 0,72 M m³ e 28% do etanol foi exportado para combustível, principalmente para a Suécia e EUA, via Caribe. O comércio mundial foi de cerca de 2 M m³, com o Brasil atingindo cerca de um terço. O crescimento rápido foi um teste inicial para a capacidade da infra-estrutura existente. No caso de ocorrer o aumento do consumo de etanol no país, como previsto, a infra-estrutura logística, de armazenagem e transporte, deverá passar por aumentos nos próximos anos. A adição de 5 M m³ para exportação será somada a esta necessidade, acrescentando-se a estrutura portuária de terminais e tancagem.

A estrutura de coleta e distribuição interna do etanol⁵² no mercado brasileiro movimenta atualmente cerca de 1 M m³/ mês. A maior distribuidora (BR) opera com 60 bases de distribuição de combustíveis, em geral 27,1 M m³. Existem nove Centros Coletores para etanol (sete em São Paulo e Paraná; um no NE; um no CO) e o Terminal Ferroviário de Paulínia. Há quatro terminais portuários no Centro-Sul e seis no Norte-Nordeste.

Cerca de 70% da distribuição de etanol no país é feita por transporte rodoviário; mas há utilização dos sistemas multimodais, incluindo

⁵² Cunha, F.; Petrobras Distribuidora; A logística atual de transportes das distribuidoras e a infra-estrutura para a exportação do álcool, Seminário BNDES, Álcool: potencial gerador de divisas e empregos, Rio de Janeiro, 2003.

oleodutos, ferrovias e rede fluvial. Destacam-se, no sistema, os políodos Brasília – Ribeirão Preto – Paulínia – Duque de Caxias, e o trecho Araucária – Iguazu. A malha ferroviária que cobre a região produtora de etanol compreende trechos de Paulínia para Brasília, Campo Grande, Alto Taquari e Londrina; e de Paranaguá para Maringá e Guarapuava.

A infra-estrutura existente para exportação, ligada à Petrobras, compreende:

- Os oito centros coletores, interligação ferroviária; capacidade de tancagem para 0,09 M m³.
- Terminal de Paulínia, interligado à malha dutoviária.
- Portos: Duque de Caxias; Santos/ São Sebastião; Paranaguá.

Na avaliação da Petrobras⁵², os incrementos previstos na exportação de etanol exigem investimentos em algumas áreas:

- Tancagem e melhorias nos Centros Coletores.
- Melhorias nas ferrovias: vagões, desvios, etc.
- Portos: tancagem e dutos; adaptações.
- Alcooldutos exclusivos, usando áreas de servidão dos oleodutos.

Estes problemas são avaliados pelo setor privado, que hoje exporta 0,7 M m³/ ano. As exportações são feitas com embarque em terminais para granéis líquidos (com muitas outras cargas); navios de 0,02-0,03 M m³. Alguns grupos produtores (Crystalsev, Copersucar, Cosan, Alcopar) e exportadoras têm planejado investimentos nesta área. Em alguns casos tem havido

dificuldades de cumprir as exigências ambientais.

A Crystalsev⁵³ é o maior exportador nos últimos anos. Este ano concluirá a primeira fase de um terminal para etanol em Santos, com acesso ferroviário. Nesta fase, o terminal tem tancagem para 0,040 M m³, podendo movimentar 1 M m³/ ano. A capacidade deverá dobrar em uma segunda fase, já prevista para 2005. Caberá ao governo investir na malha rodoferroviária.

Todos os agentes envolvidos com questões logísticas do etanol, Petrobras, produtores, exportadores, concordam que, para volumes de aproximadamente 5 M m³ de etanol exportado, há necessidade de investimentos nos itens vistos acima. Investimentos do governo na infra-estrutura básica, complementados por ações como as que o setor privado iniciou, poderão capacitar o país nos prazos adequados para um programa exportador importante.

10.5 Impactos na geração de empregos e no potencial de energia elétrica excedente

10.5.1. Geração de empregos

É possível que a produção de cana-de-açúcar no Brasil aumente entre 100 e 200 milhões de toneladas/ ano, em 10–15 anos, para atender a demandas de etanol e açúcar. Uma avaliação do impacto deste crescimento na geração de empregos e no potencial de geração de energia (neste caso, simplificada, energia elétrica) deve ser feita a partir de hipóteses conservadoras.

⁵³ Ferraz, J. C. F.; A experiência brasileira com a exportação de álcool, Seminário BNDES, Álcool: potencial gerador de divisas e empregos, Rio de Janeiro, 2003.

A geração de empregos em 1997³³, sem considerar os induzidos, foi, para uma produção de cana de 304 milhões de toneladas:

- Diretos: 654 mil. (510 mil em cana; 56 mil em álcool, 88 mil em açúcar)
- Indiretos: 427 mil (109 mil em cana; 318 mil na indústria)

Com hipóteses relativamente fortes (ganhos de produtividade de 20% no corte de cana manual e mecânico; avanço da colheita mecânica até 50% no Nordeste, e 80% no Centro-Sul) foi estimada³⁴ uma perda de 273 mil empregos diretos, e de 12 mil empregos indiretos na produção de cana. Por outro lado, não são esperadas alterações na oferta de empregos na indústria (diretos e indiretos).

Portanto, para uma produção futura, nas condições acima descritas poderá gerar, para cada 100 milhões de tonelada de cana:

- Diretos: 125 mil (77 mil em cana; 47 mil na indústria)
- Indiretos: 136 mil (32 mil em cana; 104 mil na indústria)

Mesmo considerando os avanços tecnológicos, bastaria uma produção total de aproximadamente 400 milhões t cana por ano para manter o nível de empregos diretos e indiretos de 1997. A qualidade dos empregos seria superior.

10.5.2. Geração de excedentes de energia elétrica

Como indicado, tecnologias comerciais de co-geração mais eficientes estão sendo adotadas nas novas instalações. A maioria, hoje, é de sistemas de co-geração, operando na safra, a 60-80 bar, com bagaço. Deve ser iniciada a utilização de parte da

palha, a redução dos consumos internos de vapor e de ciclos de condensação-extração anuais (11 meses/ ano). Estes avanços, inclusive a “extensão” do período de geração, dependem principalmente de ser implementada no país uma política real de expansão da geração térmica distribuída, com co-geração. De qualquer modo, seria um desperdício injustificável iniciar uma expansão da produção (destilarias e fábricas de açúcar novas) baseada em unidades de geração (novas) ineficientes.

Considerando que as novas unidades, ou expansões de antigas, ao longo de dez anos, serão de dois tipos:

1. Operação na safra, 60-80 bar, contra-pressão, uso de 500 kg vapor/t cana nos processos.
2. Operação em 11 meses, 80 bar, extração-condensação, uso de 340 kg vapor/t cana nos processos, uso de parte da palha.

Teremos, no primeiro caso, 40-60 kWh/ t cana excedentes, e no segundo 100-150 kWh/t cana. Variações correspondem aos níveis de pressão ou quantidade de palha utilizada. De fato deverá ocorrer uma combinação de alguns dos fatores (vapor usado nos processos; uso da palha).

Para verificar aproximadamente o valor de excedentes que pode ser esperado, usaremos como média 90 kWh/ t cana. Neste caso, para cada 100 M t cana adicionais, teríamos 9000 GWh de energia excedente (cerca de 2 GW efetivos, em operação sazonal, ou alternativamente 1,1 GW em operação por 11 meses).

11. Resumo e recomendações

Apresenta-se, a seguir, uma breve síntese deste estudo, separadas as visões retrospectiva e prospectiva da agroindústria canavieira. Algumas recomendações são feitas no sentido de viabilizar a expansão necessária para atender as oportunidades de mercado que se configuram.

11.1. Evolução e estágio atual da produção no Brasil

- O uso de etanol e a exportação de açúcar triplicaram a produção de cana no Brasil desde 1975; ela ocupa 8% da área de cultivo, está presente em todos os Estados, utiliza 300 unidades industriais e 60 mil produtores de cana.
- A evolução tecnológica agroindustrial, nos últimos 30 anos, levou aos menores custos de produção de cana, etanol e açúcar no mundo. Custos de produção podem continuar decrescentes nos próximos anos com melhorias incrementais na área de produção agrícola, e com inovações mais radicais em variedades (transgênicas), novos processos industriais, e novos produtos. Entre os novos produtos em comercialização, destaca-se a energia elétrica excedente.
- A produção e uso de etanol no Brasil apresentam excelentes resultados na redução de emissões de gases de efeito estufa (30 Mt CO equivalente por ano, somente com etanol). O setor (incluindo açúcar) promove redução equivalente a 18% das emissões dos combustíveis fósseis no país, aproximadamente.
- Desde 1980, o uso do etanol promoveu grande redução na

poluição atmosférica em centros urbanos: com relação à gasolina, houve a eliminação do chumbo, de todos os compostos de enxofre, particulados com carbono e sulfatos (E100); compostos orgânicos voláteis passaram a ter menores emissão e toxicidade; e redução de 70% do CO (E100 antigos) e 40% do CO nos E-22. O custo social evitado, desses benefícios ambientais, a partir de 2001, seria da ordem de R\$ 0,5 bilhão por ano.

- Os impactos ambientais negativos da produção de cana são relativamente pequenos, com um controle eficiente a partir de cerca de 50 leis, decretos e regulamentações. A cultura não é irrigada; recicla todos os efluentes industriais (vinhaça, torta, cinzas); utiliza em larga escala controles biológicos de pragas; tem conseguido reduzir o uso de fertilizantes minerais e defensivos. Estão em curso, nas regiões de maior produção, programas para a redução gradual da queima da cana. O mesmo deverá ocorrer com a proteção de nascentes e a redução da captação de água para uso industrial. A experimentação com transgênicos é controlada pela legislação vigente.
- Em 1991, a renda média do trabalhador na cultura de cana era superior a de outras culturas agrícolas no país. O investimento médio por emprego direto era inferior à metade do investimento equivalente médio nos 35 maiores setores da economia. A evolução da tecnologia determinou certa redução na geração de empregos registrada em 1991; em 1997 havia 1,08 milhão de empregos diretos e indiretos (60% diretos), e cerca de 1,8 milhão “induzidos”. O avanço da mecanização agrícola, entre outros fatores, deverá conduzir a reduções no emprego (agrícola) por unidade de produto nos próximos dez anos.

- O custo de produção sustentável (econômica, social e ambientalmente) em janeiro de 2003, para usinas eficientes no Centro-Sul brasileiro, é de R\$ 0,52/ l etanol hidratado, portanto competitivo frente à gasolina a US\$ 0,21l, para petróleo a US\$ 24 o barril.

11.2. Perspectivas de evolução e competitividade para exportação nos próximos dez anos:

- A produção atual de etanol no mundo é de cerca de 33 M m³, sendo 58% para combustível. O Brasil produz 13,5 M m³.
- Os custos de produção fora do Brasil são hoje: milho nos Estados Unidos: US\$ 0,29 – 0,33/ l; trigo e beterraba, na Alemanha: US\$ 0,51/ l. Com tecnologia em desenvolvimento, hidrólise de lignocelulósicos, EUA: US\$ 0,36 – 0,44 (não comercial); com grandes avanços tecnológicos, US\$ 0,30 (2010) e talvez US\$ 0,20 (2020). Portanto, o custo de produção do etanol no Brasil dificilmente será atingido por outros neste período.
- As avaliações mais recentes do mercado para etanol no Brasil indicam ~22 M m³ em 2013; e a demanda mundial externa deverá atingir 35 - 50 M m³, em 2010. O Brasil poderia suprir parte desta demanda (conservadoramente, 4,4 M m³ em 2013).
- O mercado interno de açúcar, incluindo os usos (1,4 M t) para outros produtos, poderá chegar a 12,8 M t em 2013. O Brasil manteria sua posição no mercado “livre” externo (40%) atingindo 20,9 M t/ ano.
- Estas estimativas levariam à necessidade de aumento de 230 M t cana/ ano, até 2013. Portanto, devemos considerar os impactos de aumentos na faixa de 150 – 230 M t cana.

- A base genética atual (setor privado e público) é suficiente para o desenvolvimento contínuo de novas variedades, de modo a proteger as áreas produtoras de novas doenças ou pragas. Isto foi demonstrado algumas vezes nos últimos 20 anos. Além disto, o Brasil lidera a biotecnologia de cana no mundo (com a Austrália e África do Sul), abrindo grandes possibilidades para o futuro. No entanto, é necessário garantir a continuidade e expansão destes programas (subfinanciados hoje) e tornar mais ágeis os controles na área de biotecnologia.
- Não há zoneamento específico para cana no país; a experiência com a cultura em quase todo o país, e a adaptação de cultivares em áreas de expansão, indicam que nas áreas de expansão livres hoje (90 M ha, apenas em cerrados) seria possível utilizar sem conflitos os 2,5 – 3 M ha necessários. Esta possibilidade é ainda maior com o uso de melhoramento genético específico para estas áreas.
- A indústria nacional tem capacidade para suprir totalmente, nos prazos previstos, a demanda de destilarias completas e sistemas de geração de energia associados. Já no período 1973-1982 a média de cinco usinas/ mês havia sido atingida. Uma avaliação recente indica a possibilidade de implantação de novas unidades industriais, com uma capacidade instalada de produzir plantas para processar adicionalmente 40 – 52 M t cana por ano, suficiente para agregar uma produção anual de 3,2 – 4,3 M m³ etanol e 1,2 GW de capacidade de geração.
- A estrutura logística para a exportação (lembrando que também será necessária para a movimentação relativa ao aumento da demanda de etanol interna) precisará de investimentos em tancagem (centros coletores), melhoria de ferrovias (vagões e

desvios, etc), terminais nos portos e alcooldutos. O setor privado está investindo em terminais (em curso: 2 M m³, até 2005; outros em análise). A melhoria da estrutura rodoferroviária precisa ser considerada pelo setor público, e a participação da Petrobras (dutos, tancagem) deve ser integrada.

- Considerando as reduções de emprego por mecanização agrícola, estima-se em 125 mil empregos diretos e 136 mil indiretos a demanda para cada 100 M t cana, no final do processo de modernização. Uma produção de apenas 400 M t cana manteria o nível (absoluto) de empregos de 1997. A expansão do setor trará aumentos no número absoluto de empregos (1,3 milhão de empregos diretos e indiretos, para 500 M t cana) e melhoria na qualidade dos empregos.
- A expansão da produção deve ser acompanhada pela adoção de tecnologias modernas (comerciais) de geração de energia elétrica, incluindo o uso parcial da palha. Cada 100 M t cana adicionais podem fornecer aproximadamente 9000 GWh de energia excedente à rede (cerca de 3% do consumo). Esta oportunidade precisa ser aproveitada, exigindo para isto uma ação clara do governo, abrindo espaço para esta co-geração distribuída, com energia renovável.

11.3. Recomendações

É importante buscar um novo ciclo de expansão para a agroindústria canavieira durante os próximos dez anos, com vistas a aproveitar as excelentes oportunidades no mercado externo de açúcar e etanol, a atender uma crescente demanda interna, e a consolidar o programa de etanol no país, ampliando a oferta de empregos com maior

qualidade. Isso exige um esforço coordenado dos setores público e privado. Nesta direção é essencial manter e reforçar as condições de sustentabilidade (econômica, social, ambiental) já existentes, também mediante a agregação de novas tecnologias. Para isso, recomenda-se:

- 1** Manter o esforço de P&D nos setores privado (CTC, indústrias de insumos e equipamentos, Allelix - Canavialis) e público (IAC e Ridesa) pelo menos nos níveis de dez anos atrás (algumas áreas têm sido reduzidas); ampliar com um programa visando às áreas novas (considerando a aptidão agrícola e novas variedades) que poderia ser conduzido pela Embrapa. Buscar maior envolvimento (positivo) dos órgãos governamentais ligados ao controle dos experimentos e futuramente a liberação de variedades transgênicas, inclusive visando tornar mais ágeis os procedimentos.
- 2** O governo federal deve abrir espaço para a geração distribuída de energia elétrica a partir das usinas, com o uso de contratos de longo prazo e com garantia de preços adequados, como sinalizado a partir da primeira fase do Proinfa. Com esta premissa poderemos ter toda a expansão com base em geração eficiente; esta energia será muito importante para auxiliar no atendimento à demanda nos próximos anos.
- 3** Embora o setor privado já tenha iniciado os investimentos na infraestrutura para exportação de etanol na parte mais crítica (terminais) é necessário que o setor público apóie decididamente e invista na melhoria da rede rododiferroviária, dutos e tanques (inclusive nos Centros de Coleta da Petrobras). A participação da Petrobras é importante, pois sua posição, atualmente, exige uma visão de médio e longo prazos sobre toda a infra-estrutura ligada à movimentação de combustíveis no país. Mantendo as exigências técnicas quanto

à proteção ambiental, é necessário buscar agilidade muito maior nos trâmites de processos relativos às licenças ambientais nos empreendimentos em portos.

- 4** A sustentabilidade ambiental exige um trabalho em conjunto dos órgãos do governo e do setor produtivo para regulamentar e definir cronogramas adequados nos níveis de captação de água para uso industrial nas usinas, e também para a proteção de nascentes e cursos de água.
- 5** A expansão das exportações brasileiras deverá continuar, e exigirá um trabalho cada vez maior do setor público nas negociações, pois envolve uma grande diversidade de produtos e interesses. A posição do Brasil no mercado de açúcar (custos imbatíveis, capacidade de expansão virtualmente ilimitada) é assustadora para os produtores da UE e EUA. Da mesma forma que a eventual ampliação da exportação de etanol seria motivo de preocupação entre esses produtores. Será preciso negociar cotas e prazos que tragam alguma segurança para uma gradual adaptação dos produtores nestes países, buscando compensações em outras áreas. Mas não se pode deixar de avançar continuamente na introdução deste dois produtos, e os setores envolvidos (governo e setor privado) precisam estar coordenados nestas ações.
- 6** Até hoje, desde a desregulamentação de preços dos combustíveis na década de 90, não foi formulada e aplicada uma política para o setor de combustíveis automotivos.

Isto é essencial não só para o etanol, mas para todos os envolvidos. Deve haver empenho do Governo Federal neste sentido.

Nota 1 – Correção dos custos de produção, abril 2001 a janeiro 2003

A correção dos custos em reais para o período de abril de 2001 a janeiro de 2003 inclui uma inflação relativamente alta e foi elaborada a partir de diversos índices, buscando refletir a realidade dos vários segmentos (mão-de-obra, máquinas e equipamentos, combustíveis, serviços de terceiros, etc). O resumo abaixo indica a composição de custos e os índices utilizados. Foram avaliados para uma usina de porte médio, adquirindo cerca de 50% da cana de terceiros.

⁵⁴ Comunicação de J. Perez Rodrigo Filho e Luis Rodrigues, Centro de Tecnologia Copersucar, 2003.

Evolução dos custos de produção: abril 2001 – janeiro 2003⁵⁴

Itens de custo	Part.(%)	Índice	abr/01	dez/02	var(%)	Total
Mão-de-obra	37%	RMPO Nom SP	884,200	997,400	12,80%	4,73%
Compra de cana + arrendamento	23%	Cana	0,196	0,250	27,49%	6,27%
Máquinas, equipamentos e instalações	19%	Bens de Capital	124,300	105,200	-15,37%	-2,96%
Materiais diversos	8%	Não Duráveis	100,000	106,500	6,50%	0,51%
Combustíveis e lubrificantes	4%	IGP DI	199,374	270,692	35,77%	1,25%
Serviços de terceiros	5%	RMPO Nom SP	884,200	997,400	12,80%	0,63%
Peças, fretes, lic/seg, com/eletr, viagens, cpd	5%	IGP DI	199,374	270,692	35,77%	1,71%
	100%					12,14%
Sem a deflação de máq./equip./inst.						15,10%

Todos os índices obtidos da conjuntura econômica (exceto cana)

RMPO = Rendimento Médio do Pessoal Ocupado em SP

Cana = Atualização pelo valor do ATR safra 00/01 contra estimativa para 02/03

Bens de capital = Indicadores industriais por categoria de uso

Bens de consumo não-duráveis = Indicadores industriais por categoria de uso

IGP DI = Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna

Opções

Opção p/ mão-de-obra: utilizar IPCA no lugar de RMPO (18,78% de variação)

Opção para compra de cana e arrendamento: utilizar variação do preço do álcool (~34%)

As opções acima levariam a correção para 19,09%. Optamos por manter as hipóteses da tabela, assim como por “expurgar” a deflação (máquinas, equipamentos e instalações) ocorrida no período, por entender que ela corresponde a uma oscilação temporária.

Nota 2 – Custos de produção de etanol de lignocelulósicos

A eventual competição da sacarose da cana com açúcares derivados de material lignocelulósico (resíduos de produção agrícola, plantações para energia ou resíduos da produção e uso da madeira) para etanol, poderá ocorrer, mas aparentemente não nos próximos anos. E poderá ser transformada em uma excelente oportunidade para as usinas de açúcar no Brasil.

Nos últimos anos, o interesse mundial pela produção de etanol tem acelerado a pesquisa e desenvolvimento da sacarificação e da fermentação desses materiais. Seria a única perspectiva atraente para que os países temperados pudessem expandir a produção de etanol. Incluiria, também, a possibilidade de avançar na sucroquímica, visando a substituir derivados de petróleo e desenvolver novos produtos. O volume de recursos investidos pelos EUA e Europa é grande, mas ainda não há aplicação realmente comercial com avanços significativos. Em 2004, teremos quatro plantas experimentais em início de operação (EUA: 10 – 20 milhões de galões/ano), com tecnologias diferentes (duas com ácido diluído, dois estágios; uma com ácido concentrado; uma com catálise enzimática). As matérias-primas serão bagaço de cana, lixo urbano, resíduos agrícolas, e resíduos da indústria de madeira. Mesmo nestes “nichos” especiais (matéria-prima barata), provavelmente ainda não serão competitivas.

No Brasil há um processo que estará em fase piloto neste ano: Dedini-Copersucar, tipo organo-solv, em usina de açúcar, visando a conversão da celulose do bagaço.

Resumidamente, os processos estão em desenvolvimento e as perspectivas para os próximos 20 anos são:

- As matérias-primas lignocelulósicas (resíduos agrícolas, resíduos de madeira, plantações para energia) têm 30-50% de celulose, 20-30% de hemicelulose e 20-25% de lignina. Para obter os açúcares da celulose, principalmente a glucose, e da hemicelulose, principalmente a xilose, é preciso um pré-tratamento do material que remova a lignina, e então uma hidrólise, quebrando as ligações nos polímeros e liberando os monômeros (glucose, xilose, etc).
- Fatores importantes no custo dos produtos finais são, como esperado:
 1. O custo da biomassa.
 2. O custo do processamento.
 3. As taxas de conversão da biomassa para os produtos.

O custo do processo e as taxas de conversão estão relacionados. Como a levedura *Saccharomyces cerevisiae* não pode converter xilose, há duas opções: conversão apenas da glucose (que vem da celulose) e uso da xilose para outro produto (o mais imediato seria furfural); ou uma fermentação mais complexa e cara, por exemplo com o *Clostridium thermocellum*, para converter a xilose também em etanol. A produção de furfural correspondente a grandes escalas de produção de etanol não teria mercado hoje. Há

inúmeras opções de processo, todas elas com um pré-tratamento do material. Pré-tratamentos (remoção da lignina e separação da hemicelulose, em alguns casos) são físicos (picadores, moagem) físico-químicos (auto-hidrólise: decompressão com vapor, com amônia ou com CO₂) químicos (com ozônio, ácidos diluídos ou concentrados, alcalino) ou com solventes (para dissolver a lignina, como no processo Dedini-Copersucar). A hidrólise pode ser feita com catálise ácida ou enzimática; em alguns processos a hidrólise (sacarificação) e a fermentação são feitas simultaneamente SSF. Todos estes processos estão em fase de desenvolvimento e, apesar da insistência de vendedores, mesmo as plantas a serem operadas neste ano são experimentais. Sua operação será essencial para o desenvolvimento final de sistemas comerciais, e para o estabelecimento dos custos reais.

Tem sido muito analisado o potencial de avanço desses processos, visando a produção de açúcares (glucose e xilose, principalmente). A xilose não poderia ser usada nos processos hoje desenvolvidos para a sacarose ou amido. Uma avaliação⁴², feita em 2001, com quantificação das expectativas futuras, indica que os processos com catálise ácida apresentam hoje melhor resultado – em termos de custos finais – mas os enzimáticos parecem ter maior potencial de redução de custos, nos próximos anos.

Resultados:

Processo considerado: pré-hidrólise com ácido (diluído); sacarificação (enzimática) e fermentação simultâneas; produção local da enzima (celulase); queima da lignina para energia; planta para 200 mil m³ etanol/ano; investimento (capital): US\$ 234 milhões.

Resultados, hoje, incorporando tecnologia em fase final de desenvolvimento:

Etanol: US\$ 0,38/litro (0,44 – 0,36)

Resultados esperados no futuro:

Até 2010: US\$ 0,29 – 0,32/l

Logo após 2010 (Comercial): US\$ 0,28/l

Após 2020: US\$ 0,20/l

Os resultados “esperados” supõem um avanço tecnológico extremamente ambicioso, principalmente na área biológica, com a redução do custo de enzimas (com ótimos resultados, recentemente), e desenvolvimento de microorganismos “estáveis” para a complexa fermentação simultânea; mas podem exigir mais tempo. Entre os avanços previstos estão:

1. Desenvolvimentos na produção de enzima;
2. Microorganismos para a fermentação simultânea de glucose e xilose, estáveis, operando a 50°C;
3. Integração dos processos e uso de biomassa a US\$ 25/t (MS) (US\$ 1,25/ GJ).

Estes custos de biomassa, no Hemisfério Norte, só poderão ser obtidos, por muitos anos, em situações especiais, com volumes limitados, utilizando, por exemplo, resíduos da colheita do milho. Só ocorrerá redução do custo de biomassa nos EUA e Hemisfério Norte em geral, com consideráveis avanços tecnológicos. Seria necessário atingir os custos de produção abaixo:

Custo de biomassa a atingir, EUA, (US\$/GJ)

Ano	2000	2005	2010	2020
Custo	2,4	1,8	1,4	1,2

Nota 3 – Custos de produção de etanol de milho (EUA) e de beterraba e trigo (UE)

Custo do etanol de milho (glucose) nos EUA

Uma análise recente feita em seminário da F. O. Licht 39 (2003) indica custos de produção para o etanol nos EUA. Entendemos que há uma flutuação constante nos preços dos subprodutos, que influenciam os resultados, como aliás é o caso em qualquer produto agrícola.

Planta de etanol: 53 M m³/ano (170 mil t milho, a 67 US\$/t); South Dakota

Processo: *dry milling* do milho, até etanol anidro. Depreciação: 20 anos (prédios) e 10 anos (equipamentos); juros de 5% ao ano.

	US\$/l anidro	%
Prédios	0.0039	
Máquinas e equipamentos	0.0340	
Mão-de-obra	0.0283	
Seguros, taxas, manutenção	0.0061	
Matéria prima (milho)	0.2093	53.0
Outros custos operacionais	0.1131	
Custo de produção	0.3948	100.0
Venda de subprodutos (*)	-0.0671	- 17.0
Custo de produção líquido	0.3277	(**)

(*) DDGS, vendido sem secagem, armazenado por até três dias.

(**) Subsídio federal (0,13737 US\$/l) e estadual (até 0.10567 US\$/l) se incluídos baixam o "custo" quando o etanol for usado para fins combustíveis nos EUA, em mistura de 10% v/v na gasolina.

Custos de etanol de beterraba e trigo na Europa

Analisar os custos de produção na Europa, a partir de trigo ou beterraba, é muito mais difícil pela complexidade dos sistemas de subsídio. Estimativas realizadas para plantas hipotéticas de 50 e 200 M litros/ano³⁹ (2003), na Alemanha, elucidam alguns pontos.

Hipóteses principais:

Operação em 214 dias/ano, 90 dias (safra) com beterraba e o restante com trigo (64% do etanol vem do trigo, 36% da beterraba).

Matéria-Prima: Trigo a € 109/t; beterraba a € 32,7/t, correspondendo a plantios em áreas *set aside*, como culturas não alimentares, e com margem bruta comparável à que seria obtida se fossem *followed*.

Para a planta de 200 M l/ano (para 50 M l/ano os custos de etanol seriam cerca de 13% maiores):

	Fração trigo	Fração beterraba
	\$/l anidro	\$/l anidro
Prédios	0.0082	0.0082
Máquinas e equipamentos	0.053	0.053
Mão-de-obra	0.014	0.014
Seguros, taxas, manutenção	0.0102	0.0102
Matéria-Prima (trigo, beterraba)	0.2775	0.3510
Outros custos operacionais	0.1868	0.1593
Custo de produção	0.5496	0.5957
Venda de subprodutos (*)	-0.0680	- 0.0720
Custo de produção líquido	0.4816	0.5237 (**)

(*) DDGS, trigo, polpa de beterraba

(**) O custo médio, para 64% de etanol do trigo, é de US\$ 0,4968/l anidro.

Isto indica que a beterraba deverá custar menos (cerca de € 26/t) para competir com o trigo. A mesma referência indica que os custos calculados para a França são iguais. No entanto, estima-se que seria possível reduzir estes custos em cerca de US\$ 0,07/l etanol anidro, atingindo ~ US\$ 0,43/l anidro, com avanços em variedades de plantas, economia de energia nos processos e economias de escala.

Nota 4 – Políticas para a produção de etanol em algumas regiões selecionadas

Entre os países e regiões que têm programas para a produção de etanol combustível propostos destacam-se³⁷: Austrália, Guatemala, União Européia, Índia, Japão, Nova Zelândia, Nicarágua e Tailândia. Os importadores tradicionais são os EUA, a UE, Japão e Coréia. É importante conhecer e acompanhar a evolução das perspectivas desses mercados, seja pela natural oportunidade de demandarem etanol brasileiro, como também porque poderiam ser um mercado interessante para tecnologia e equipamentos.

Os Estados Unidos são o segundo maior produtor (7,2 M m³, 2002) e protegem sua produção (etanol de milho) com uma tarifa de importação de US\$ 0,14/ l. Um acordo comercial (CBI: Caribbean Basin Initiative, assinado em 1983 e válido até 2008) permite a importação de etanol processado no Caribe e América Central (mesmo originário de outras regiões) até o limite de 7% da demanda nos EUA, sem a taxa de importação. Desde 2002, o etanol brasileiro passou a dominar nesta cota, que antes era suprida por excedentes de vinho da Europa. Se a legislação do senado americano, intitulada “Renewable Fuels Standards (RFS) Proposal” for aprovada no Congresso dos EUA, a demanda de etanol poderá atingir 19 M m³ em 2012, abrindo espaço para 1,33 M m³ de importação (7%). Segundo este tratado, existem outras duas formas de exportar etanol centro-americano aos Estados

Unidos em condições favorecidas, uma delas sem limites, desde que pelo menos 50% da matéria prima seja nacional. Atualmente estes países negociam o TLC, Tratado de Livre Comércio com os EUA, com o qual se pretende reproduzir de uma forma geral o CBI, sem restrições de prazo⁵⁵.

A UE tem sua política com relação a biocombustíveis norteada por duas diretrizes:

- Diretiva 2003/30/EC, promoção de biocombustíveis líquidos para transporte: atingir 2,5% (em 2005) e 5,75% (em 2010).
- Diretiva 2003/96/EC, eliminando taxas sobre biocombustíveis.

A promoção de políticas baseadas nessas diretivas permite metas diferenciadas entre países. Há consenso sobre os combustíveis a utilizar. Nos prazos propostos, somente etanol, biodiesel e biometano estão em condições de implantação.

A intenção clara de proteger os produtores locais pode ser vista nos cenários analisados pela European Commission em 2003:

Cenário 1: As barreiras de proteção aos produtores de etanol nos países membros são quebradas pela ação dos países exportadores na WTO ou na EC. O mercado de etanol na UE colapsa, e os países membros se voltam para o biodiesel ou aguardam desenvolvimentos futuros (via gasificação).

Cenário 2: As importações de etanol inundam o mercado na UE, os ministros da UE retornam com as taxas sobre bioetanol para evitar que seus recursos subsidiem os países exportadores. Os

⁵⁵ Nogueira, L.A.H.,
Perspectivas de un Programa
de Biocombustibles en
América Central, Cepal/GTZ,
Ciudad de México, 2004.

países membros se voltam para o biodiesel ou aguardam outras opções futuras.

Cenário 3: É desenvolvido um mercado estruturado, com algum etanol importado e vários países membros produzindo localmente. O mercado de etanol se desenvolve, em competição “limpa” com outros biocombustíveis, e os objetivos políticos são alcançados.

Esta visão é complementada pela posição dos produtores agrícolas, que apóiam os programas para biocombustíveis mas não a concorrência com etanol importado. O biodiesel ocupa, hoje, um espaço quatro vezes maior que o etanol.

O Japão apresenta condições peculiares. É o segundo consumidor de gasolina do mundo (56 M m³, em 1999) e importa quase todo o combustível que utiliza (99,5% do petróleo). Em 2001, proibiu a utilização de MTBE. É signatário do Protocolo de Quioto. Em 2000, exportou 3,8 M veículos de passageiros, a maioria para os EUA e UE, portanto em condições de usar E5 e E10.

Conclui-se que o cenário é favorável à importação de etanol. Além disto, desde outubro de 2003 restrições severas ao diesel em centros urbanos têm indicado a possibilidade de adição de até 15% de etanol no diesel⁵⁶. Em abril de 2003, o “Renewable Portfolio Standard Act” estabeleceu metas para a substituição de combustíveis fósseis por renováveis. Uma das metas é ter 3,5 M de veículos “limpos” em circulação em 2010. Todo o esforço de produção local de etanol é voltado para o desenvolvimento de processos de hidrólise de resíduos agrícolas, florestais e lixo

⁵⁶ Miranda, C.; Coimex Trading: Esforços e perspectivas para o uso de álcool no Japão; II Conf. Internacional Datagro, “A internacionalização do álcool combustível”, São Paulo, 2002.

urbano (poderia levar, no limite, a 6 M m³ etanol). Estes processos, como visto acima, são ainda muito caros.

A demanda de etanol do Japão poderá atingir, com os planos atuais, 5,5 M m³ para adição de 10% na gasolina e adicionalmente 6 M m³ para mistura de 15% no diesel. Os entendimentos com o Brasil objetivam buscar segurança de fornecimento a longo prazo. É possível que os volumes atinjam alguns M m³ l de etanol.

A China⁵⁷ é o terceiro produtor mundial de etanol. Até 2001, a produção não era usada como combustível (o principal mercado é o de bebidas). Na safra 2003/03, a produção de cana foi de 58 M t, e a de beterraba 8,4 M t. A produção de açúcar foi de 9 M t. O governo chinês tem estabelecido planos para o aumento da produção de etanol e seu uso como combustível. Atualmente, há produção em Jilin (milho); Henan (trigo); e Anhui (arroz); mas os critérios de expansão com redução de custos devem levar ao uso da cana. Planos indicam 1 M t etanol (2005) e 2 – 4 M t etanol (2010). A Tailândia apresenta condições diferentes: grande dependência de petróleo importado; grande aumento na produção de cana (hoje: 50 M t cana), e interesse em estabilizar o mercado de açúcar (e o de raspas de mandioca); sérios problemas de poluição urbana. Em 2002, foram aprovadas oito licenças para a produção de etanol de melação e mandioca (0,5 M m³/ ano)⁵⁷.

Em 2004, há indícios de forte interesse da indústria na produção de etanol da cana. A Índia, produzindo 290 M t cana/ ano em

⁵⁷ Carvalho, L. C. C.; Evolução da produção e do consumo na China; o programa de etanol na Tailândia; II Conf. Internacional Datagro, "A internacionalização do álcool combustível", São Paulo, 2002.

⁵⁸ Nastari, P; Perspectivas de desenvolvimento de mercado a Índia, e seus impactos no Mercado de açúcar; II Conf. Internacional Datagro, "A internacionalização do álcool combustível", São Paulo, 2002.

2002, 4,58 M ha; 91,7% irrigada; 31 milhões de fornecedores)⁵⁸, estabeleceu um programa de etanol que em 2003 poderia ser resumido como:

Fase 1: E5 em dez estados.

Fase 2: E5 em todo o país.

Fase 3: E10 em todo o país.

Fase 4: MAD15 em todo o país (mistura etanol 15% no diesel).

O cronograma não é claro. O programa poderia representar alguma importação do Brasil no início, mas em longo prazo seria suprido internamente. Para exemplificar, o seu cumprimento integral equivaleria a usar o equivalente a cerca de 8 M t açúcar (o país produz hoje 18 M t açúcar).

Três países centro-americanos, Guatemala, El Salvador e Costa Rica, desenvolveram experiências com etanol automotivo durante os anos 80 e atualmente retomaram de forma intensa o interesse nesse combustível. Empresários do setor canavieiro constituíram uma entidade regional para a promoção do etanol, a Asociación de Combustibles Renovables de Centroamérica⁵⁹. Estão sendo elaboradas leis e especificações, esperando-se, em curto prazo, iniciar um cronograma de introdução do uso de etanol em misturas (E5) nesses países. A região tem tradição na produção de açúcar como na produção de etanol para bebidas. Estimativas preliminares indicam que apenas utilizando como matéria-prima o mel esgotado disponível seria possível produzir etanol suficiente para substituir cerca de 5% da demanda de gasolina (0,18 M m³

⁵⁹ Poncian, Rolando; Programa de Oxigenación de Combustibles con Alcohol Carburante, Asociación de Combustibles Renovables de Centroamérica, Guatemala, 2003.

etanol/ano). A Guatemala corresponde a metade deste mercado, possuindo uma agroindústria canavieira com bons indicadores de produtividade, processando anualmente aproximadamente 17 M t cana⁵⁵.

Outro país latino-americano que está iniciando um programa de utilização de etanol é a Colômbia. Com uma produção anual de 20 M t cana, a agroindústria canavieira colombiana é tecnologicamente bem desenvolvida e apresenta elevadas produtividades. No recente Plano Energético Nacional, visando especificamente “ampliar e garantir a oferta interna de energéticos com preços eficientes e adequada qualidade”, propõe-se implementar o uso de etanol como oxigenante da gasolina colombiana. Esperam-se benefícios ambientais, estímulo a atividades produtivas e geração de empregos na zona rural. Existe uma lei aprovada e um cronograma para a progressiva adoção de etanol à gasolina, até setembro de 2005, para atender Bogotá, Cali, Medellín e Barranquilla. Foi assegurado aos produtores um preço mínimo de aproximadamente US\$0,34/ l etanol⁶⁰.

⁶⁰ Nogueira, L.A.H.,
Perspectivas de Sostenibilidad
Energética en los Países de la
Comunidad Andina, informe
para Cepal, Santiago de Chile,
2004.

Coordenadores técnicos

Isaias de Carvalho Macedo

Data e local de nascimento: 22 de janeiro de 1945, Rio Verde, GO

Nacionalidade: Brasileiro

Endereço: Unicamp – NIPE (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético)

CEP: 70712 900, Campinas, SP

Telefone: (19) 3289 4801

e-mail: isaiasmacedo22@aol.com

Títulos Acadêmicos: Graduação em Engenharia Mecânica – ITA-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1967; Mestrado – Energia, Engenharia Mecânica, ITA, 1969; Ph D, Mechanical Engineering, Thermal Sciences: University of Michigan, Ann Arbor, USA, 1971; Post-Doctoral Fellow, University of Michigan, Thermal Sciences, USA, 1971.

Histórico:

Isaias de Carvalho Macedo foi organizador do grupo de instrumentação científica do Inpe, São José dos Campos, em 1968. Em 1969 transferiu-se para o ITA como Professor Assistente (1969-1971). Após o doutorado em energia, na University of Michigan (1969-1971) permaneceu por seis meses como Post-Doctoral Fellow no mesmo departamento, trabalhando no desenvolvimento de superfícies especiais para trocadores de calor compactos.

Regressando dos EUA, continuou no ITA como Professor Associado (1971-74), na Divisão de Engenharia Mecânica. Neste período assessorou o Ministério do Planejamento na elaboração do primeiro programa brasileiro para o desenvolvimento técnico-científico de alternativas energéticas, que motivou a criação de núcleos no ITA, Unicamp, Coppe, e no Nordeste. Transferiu-se, em 1974, para a Unicamp, onde juntamente com o prof. João Alberto Meyer organizou o programa de energia, reunindo áreas de engenharia e física; este programa foi responsável por um grande volume de trabalhos em energia de biomassa, solar, e hidrogênio por duas décadas. Foi Professor Associado da Unicamp (Engenharia Mecânica) entre 1974-77, e professor Titular de 1977-84, tendo neste período orientado projetos e várias teses de mestrado e doutorado. Neste período, foi consultor (ONU-Unep) para Fontes Alternativas de Energia na América Latina, (México, 1978); e Attaché de Recherche, Pirdes – CNRS, Paris, 1979-1980 (análise de programas de energia alternativa). Foi também consultor por seis meses na área de energia da Société Bertin (Plaisir, França), no projeto de motores Stirling. Transferiu-se para o setor privado em 1981, para dirigir a área industrial do Centro de Tecnologia Copersucar (1981-1994) e posteriormente o Centro de Tecnologia Copersucar (1994-2001). Nestes 20 anos, dedicou-se principalmente à gestão dos programas de desenvolvimento tecnológico da indústria do açúcar e etanol; o CTC foi o maior centro de tecnologia na área, no mundo; seus programas envolviam a participação de muitas dezenas de instituições de pesquisa no país e exterior. É membro do Roster of

Experts, Global Environment Facility (GEF) Scientific and Technical Advisory Panel; (Global Warming); desde maio, 1993. Foi membro da Comissão Nacional do PACTI – GPGE (1997-1999) e de diversos conselhos (C. Administração ABTLus; Uniemp; Comitê Gestor, CTenerg). Recebeu o “First EUBIA Award”, concedido pela European Biomass Industry Association (Bruxelas) pela atuação no avanço tecnológico da indústria de produção e uso da biomassa (Sevilha, 2000). Recebeu o Prêmio “Personalidade da Tecnologia 2001”, outorgado pelo SE-ESP (São Paulo, 2001). Desligou-se da Copersucar em 2001; foi assessor da Reitoria da Unicamp nas áreas de energia e gestão de tecnologia, entre 2001 e 2002; e hoje é pesquisador associado no Nipe (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético), ainda na Unicamp, onde coordena projetos em energia. Desde 2001 é consultor de alguns grupos do setor privado, sempre nas áreas de energia, biomassa e novos produtos (Única: União da Agroindústria de Cana do Estado de São Paulo; Datagro-Crystalsev, grupo de indústrias na produção de etanol e açúcar); e assessora o CGEE nas áreas de energia.

Publicações Seleccionadas: É autor e co-autor de uma centena de publicações científicas e tecnológicas no campo de energia, com concentração em energia renovável (energia solar e biomassa) e implicações em mudanças no clima global.

- 1 Macedo, I. C. e Yang, W. J.; Acoustic Effects on Gas Bubbles in the Flow of Viscous Fluids and Whole Blood. Journal of the Acoustical Society of America, vol. 53, may 1973. Sumário no “Current Physics Advanced Abstracts”.

- 2 Macedo, I. C. e Yang, W. J.; The Drag of Air Bubbles Rising in Non-Newtonian Liquids. *Japanese Journal of Applied Physics*, v. 13, n. 8, march 1974.
- 3 Macedo, I. C. e Altemani, C. A.; Experimental Evaluation of Natural Convection Solar Air Heaters; *Journal of the International Solar Energy Society*, feb. 1978, 367/370
- 4 Macedo, I. C. e Alves, C. L.; Studies on Radiation Intensity Distribution in the focus of Compound Parabolic Concentrators; *Journal of the International Solar Energy Society*, v. 30, n. 1, 1983.
- 5 Macedo, I. C. e Nebra, S.; Pneumatic drying of bagasse, *International Sugar Journal*, v. 91 n. 1081, january 1989.
- 6 Macedo, I. C.; Greenhouse Gas Emissions and Energy Balances in Bio-Ethanol Production and Utilization in Brazil (1996); *Biomass and Bioenergy*, v.14, n.1, p. 77-81, 1998
- 7 Macedo, I. C.; Leal, M. R.; Hassuani, S.; Sugar Cane Residues for Power generation in the Sugar / Ethanol Mills in Brazil; *Energy For Sustainable Development*, v. 5, n. 1, march 2001.
- 8 Macedo, I. C.; Leal, M. R.; Research and Development Management at the Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), *Proc. Australian Soc. Sugar Cane Technologists*, 23: april, 2001.
- 9 Macedo, I. C.; Pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil: desafios e oportunidades; *Relatório para a Embrapa*, nov 2001
- 10 Macedo, I. C.; Energy as an instrument for socio-economic development, Chapter 10: Converting biomass to liquid fuels: making ethanol from sugarcane in Brazil, p.107-112; UNDP, New York, 1995 (Ed: J Goldemberg e T. B. Johansson).

Luiz Augusto Horta Nogueira

Data e local de nascimento: 10 de novembro de 1956, Cruzeiro, SP

Nacionalidade: Brasileira

Endereço: Instituto de Recursos Naturais

Universidade Federal de Itajubá

357000-050 Itajubá MG

Telefone: (35) 3629 1442

e-mail: horta@unifei.edu.br

Títulos Acadêmicos

Graduação em Engenharia Mecânica – Unesp, 1978; Mestrado – Engenharia Térmica e Flúidos – Unicamp, 1981; Especialização (Planejamento Energético) – Instituto de Economia Energética/ Argentina; Doutorado - Engenharia Térmica e Flúidos – Unicamp, 1987.

Histórico

Luiz Augusto Horta Nogueira formou-se técnico mecânico no Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá em 1973, escola onde iniciou suas atividades docentes enquanto cursava a Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (Unesp). Obteve o diploma de engenheiro em 1978. No ano seguinte, começou a lecionar na Escola Federal de Engenharia de Itajubá e a cursar o programa de mestrado em Engenharia Mecânica da Unicamp, apresentando, em 1981, sua dissertação sobre análise teórica e experimental da estratificação em tanques de armazenamento térmico. No ano seguinte deu início ao programa de doutoramento na mesma

universidade, concluído em 1987 com a defesa da tese sobre o consumo de energia na produção de etanol de cana, incluindo o balanço energético e a modelagem e simulação de sistemas de co-geração nessa agroindústria. Durante 1985 realizou o curso de especialização em economia e planejamento energético, no Instituto de Economía Energética (Bariloche, Argentina), formação complementar que lhe permitiu agregar à abordagem técnica dos sistemas energéticos o componente econômico e social. Tais cursos reforçaram sua vocação para o estudo das bioenergias e do uso racional de energia, empregando o ferramental termodinâmico e econômico, em um sentido amplo e buscando sempre a sustentabilidade e a efetiva aplicação dos conceitos. Horta Nogueira realizou consultorias e estudos para empresas do setor energético e instituições brasileiras e do exterior, como Ministério de Minas e Energia, Ministério da Ciência e Tecnologia, PNUD, FAO, Cepal, Olade, GTZ e Usaid. Em 1988 trabalhou junto ao Ministério de Energia e Minas do Peru na definição de um programa para promoção das bioenergias e entre 1992 a 1996 coordenou a Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Dendroenergía, patrocinada pela FAO e envolvendo instituições e pesquisadores da região. De 1997 a 1998 estagiou como *visiting scientist* junto ao Departamento Florestal da FAO, Roma, desenvolvendo e implementando uma base de informações em bioenergia. A partir de 1998 e por dois mandatos, até 2003, desempenhou o cargo de Diretor Técnico da Agência Nacional do Petróleo, implantando o novo modelo do mercado de combustíveis. Nessa época acompanhou a retirada dos subsídios e a liberação

dos preços, implementando os Programas de Monitoramento da Qualidade e dos Preços dos Combustíveis e gerindo a revisão das especificações técnicas dos combustíveis brasileiros, entre outros temas. Ao longo de sua carreira acadêmica, L. A. Horta Nogueira publicou três livros e cerca de 200 trabalhos científicos, entre capítulos de livros, artigos em periódicos nacionais e internacionais e anais de eventos científicos. Como orientador de dissertações e teses acadêmicas, teve 22 trabalhos concluídos, sempre voltados para a temática das bioenergias e do uso racional da energia. Luiz Augusto Horta Nogueira atualmente é Professor Titular do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá.

Publicações selecionadas: É autor e co-autor de diversas publicações no campo da termodinâmica aplicada, bioenergia, uso racional de energia e co-geração, incluindo:

- 1 NOGUEIRA, L.A.H. (2004) Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central, Cepal Comisión Económica para a América Latina y el Caribe, Ciudad de México, 98.
- 2 NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. (2003) Dendroenergia: fundamentos e aplicações, (2a. ed.) Editora Interciência, Rio de Janeiro, 199.
- 3 NOGUEIRA, L.A.H. (2002) Produção e Processamento de Petróleo e Gás Natural no Brasil: perspectivas e sustentabilidade nos próximos 20 anos, Seminário sobre Energia e Sustentabilidade Energética no Brasil, Academia Brasileira de Ciências e Unicamp, Campinas, 17.
- 4 NOGUEIRA, L.A.H.; M.A. TROSSERO; COUTO, L.; COUTO, L.C. (1998) Wood fuels for household consumption and industrial energy in relation to global fiber supplies, Unasyuva, 193, v. 49, Roma.

- 5 NOGUEIRA, L.A.H., TROSSERO, M.A.; ETHERINGTON, T.J. (1998) Wood Energy Situation and Trends, in Energy in Developing Countries, World Energy Council, Houston, 32.
- 6 NOGUEIRA, L.A.H.; PERES, C.A. (1996) Efficiency of Small Boilers fuelled by Biomass, IX European Conference on Bioenergy, Copenhagen.
- 7 NOGUEIRA, L.A.H.; CARVALHO, F.R. (1996) Thermoeconomic studies applied to Maintenance of Power Plants, ECOS Efficiency, Costs, Optimization and Simulation of Energy Systems Conference, Stockholm.
- 8 NOGUEIRA, L.A.H. (1993) Marco Legal y Características Económicas de la Producción Combinada de Calor y Energía Eléctrica (Cogeneración) en Brasil, OLADE - Organización Latinoamericana de Energía, Quito, 106.
- 9 NOGUEIRA, L.A.H. (1992) La Dendroenergía en Brasil, FAO - Food and Agricultural Organization, Santiago, 78.
- 10 NOGUEIRA, L.A.H. (1988) Biomasa energética en el contexto latino-americano, Revue de l'Energie, v. 39, n. 406, Paris.

Especialistas consultados

ADOLFO EDUARDO CARPENTIERI
Companhia Hidroelétrica do São Francisco - Chesf

ARNALDO CÉSAR DA SILVA WALTER
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

EDELCLAITON DAROS
Universidade Federal do Paraná - UFPR

GABRIELA ALVES MACEDO
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

HELOISA BURNQUIST
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Esalq

HERMANN HOFFMANN
Universidade Federal de São Carlos - Ufscar

JAYME BUARQUE DE HOLLANDA
Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE

JOAQUIM J. M. GUILHOTO
Universidade de São Paulo - USP

JOSÉ ANTÔNIO SCARAMUCCI
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

JOSÉ JACSON BACELAR N. XAVIER
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

JOSÉ ROBERTO MOREIRA
Universidade de São Paulo - USP

JOSÉ VLADIMIR DE OLIVEIRA
Universidade Regional Integrada Campus Erechim - Uricer

LUCIANO BASTO OLIVEIRA
Universidade Federal do Rio De Janeiro - UFRJ

LUIZ AUGUSTO HORTA NOGUEIRA
Universidade Federal de Itajubá - Unifei

LUIZ PEREIRA RAMOS
Universidade Federal do Paraná - UFPR

MANOEL NOGUEIRA
Ministério de Minas E Energia - Mme

MARCOS GUIMARÃES DE A. LANDELL
Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo - IAC

MOZART SCHMITT DE QUEIROZ
Petróleo Brasileiro S.A - Petrobras

NAPOLEÃO BELTRÃO E MÁIRA MILANI
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

OSCAR BRAUNBECK
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

VÂNIA BEATRIZ R. CASTIGLIONI
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República

Objetivos, atribuições, competências e funcionamento:

O NAE tem como objetivo processar, em tempo hábil, informações qualificadas, de modo a preparar a tomada de decisão pela Presidência da República.

Faz parte de suas atribuições articular a inteligência nacional para o tratamento de temas estratégicos, desenvolver atividades de informação, de prospecção, de análise e de simulação.

O NAE não desenvolve, porém, qualquer função executora de projetos correntes e de ações de governo, cuja responsabilidade primeira continua a estar nas mãos dos ministérios e secretarias. O NAE cumpre suas funções em estreita sintonia com os ministérios e secretarias, de modo a otimizar as competências e o conhecimento acumulado nos distintos órgãos do governo.

O NAE também está aberto a contatos com os institutos e centros de altos estudos da Câmara Federal e do Senado, de modo a melhor qualificar os debates sobre temas relevantes para o País.

Participam dos trabalhos do NAE, institucionalmente ou de forma *ad hoc*, ministros de Estado, funcionários do governo,

integrantes da comunidade científica e lideranças expressivas da sociedade civil, eventualmente participando de fóruns consultivos especialmente criados para apoiar e fornecer referências para a sua atuação. Os órgãos de governo diretamente ligados a um tema em pauta têm responsabilidade especial nas suas definições.

Os trabalhos de estudo e a mobilização de competências voltados para as atividades de prospecção do NAE envolvem articulação com a comunidade científica, governamental e empresarial, e consulta aos ministros, com o objetivo de processar estudos técnico-científicos, análises de viabilidade, projeções de impacto, considerando os diversos atores sociais e políticos na arena nacional e internacional.

Presidente: Luiz Gushiken, Ministro-Chefe da Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica

Coordenador: Glauco Arbix, Presidente do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Secretário Executivo: Oswaldo Oliva Neto, Coronel EB

