

Revista de **Política** **Agrícola**

ISSN 1413-4969
Publicação Trimestral
Ano XV - Nº 3
Jul./Ago./Set. 2006

Publicação da Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel

Pág. 5

**Futuro para
o álcool
brasileiro**

Pág. 19

**Etanol,
meio ambiente
e tecnologia**

Pág. 51

**Ponto de Vista
Campeões de
desmatamento**

Pág. 83

Sumário

Conselho editorial
Eliseu Alves (Presidente)
Edilson Guimarães
Ivan Wedekin
Elísio Contini
Hélio Tollini
Antônio Jorge de Oliveira
Regis N. C. Alimandro
Bíramar Nunes Lima
Paulo Magno Rabelo
Marlene de Araújo

Secretaria-geral
Regina M. Vaz

Coordenadoria editorial
Mierson Martins Mota
Antônio Jorge de Oliveira

Cadastro e distribuição
Cristiana D. Silva

**Revisão de texto e
tratamento editorial**
Raquel Siqueira de Lemos

Normalização bibliográfica
Celina Tomaz de Carvalho

Projeto gráfico e capa
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Impressão e acabamento
Embrapa Informação Tecnológica

Carta da Agricultura

O crescimento recente do agronegócio brasileiro 3

Luis Carlos Guedes Pinto

Programa Nacional para a Produção e Uso do
Biodiesel – Diretrizes, desafios e perspectivas 5

Frederique Rosa e Abreu / José Nilton de Souza Vieira / Simone Yuri Ramos

Futuro para o álcool brasileiro 19

Paulo Morceli

Aproveitamento de dejetos de animais
para geração de biogás 28

Airton Kunz / Paulo Armando V. de Oliveira

Custos de produção de biodiesel no Brasil 36

*Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros / Ana Paula Silva / Leandro Augusto
Ponchio / Lucílio Rogério Aparecido Alves / Mauro Osaki / Mariano Cenamo*

Etanol, meio ambiente e tecnologia –
Reflexões sobre a experiência brasileira 51

Alexandre Betinardi Strapasson / Luís Carlos Mavignier de Araújo Job

Produção de álcool combustível
a partir de carboidratos 64

Cristina Maria Monteiro Machado / Frederique Rosa e Abreu

Agroenergia veicular 79

Henry Joseph Jr.

Ponto de Vista

Campeões de desmatamento 83

Evaristo Eduardo de Miranda

Interessados em receber esta revista, comunicar-se com:

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Secretaria de Política Agrícola

Esplanada dos Ministérios, Bloco D, 7^o andar
CEP 70043-900 Brasília, DF
Fone: (61) 3218-2505
Fax: (61) 3224-8414
www.agricultura.gov.br
spa@agricultura.gov.br

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Secretaria de Gestão e Estratégia

Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4336
Fax: (61) 3347-4480
Mierson Martins Mota
mierson.mota@embrapa.br

Esta revista é uma publicação trimestral da Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, com a colaboração técnica da Secretaria de Gestão e Estratégia da Embrapa e da Conab, dirigida a técnicos, empresários, pesquisadores que trabalham com o complexo agroindustrial e a quem busca informações sobre política agrícola.

É permitida a citação de artigos e dados desta Revista, desde que seja mencionada a fonte. As matérias assinadas não refletem, necessariamente, a opinião do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tiragem

5.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

Revista de política agrícola. – Ano 1, n. 1 (fev. 1992) - . – Brasília
: Secretaria Nacional de Política Agrícola, Companhia Nacional
de Abastecimento, 1992-

v. ; 27 cm.

Trimestral. Bimestral: 1992-1993.

Editores: Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento, 2004-

Disponível também em World Wide Web: <www.agricultura.gov.br>
<www.embrapa.br>

ISSN 1413-4969

1. Política agrícola. I. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e
Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. II. Ministério da
Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

CDD 338.18 (21 ed.)

O crescimento recente do agronegócio brasileiro

Luis Carlos Guedes Pinto¹

O crescimento recente do agronegócio brasileiro é resultado da competência dos nossos agricultores, da ampla disponibilidade de terras agricultáveis de baixos preços, da geração e incorporação de tecnologias produtivas mais eficientes, particularmente para regiões tropicais. O governo federal fez a sua parte ao ajustar a macroeconomia para estimular investimentos e, na política agrícola, ao disponibilizar crédito e criar outros instrumentos para minimizar riscos, inerentes à atividade agrícola.

O agronegócio abasteceu, de forma regular e a preços decrescentes, o amplo mercado brasileiro de alimentos e de outros produtos agropecuários. Alimentos mais baratos ajudaram no combate a fome e fortaleceram a renda, particularmente dos mais pobres, permitindo maior participação no consumo de outros produtos e serviços não agrícolas.

A competitividade do setor impulsionou as exportações de US\$ 20,6 bilhões em 2000 para US\$ 43,6 em 2005 e para US\$ 48,3 bilhões, nos últimos 12 meses (novembro de 2005 a outubro de 2006). O saldo comercial do agronegócio tem sido crescente, atingindo US\$ 38,5 bilhões somente em 2005, num total de US\$ 137 bilhões entre 2001 e 2005. Nos últimos 12 meses (novembro de 2005 a outubro de 2006), o saldo comercial do setor alcançou US\$ 41,9 bilhões. Esses resultados permitiram ao Brasil superar os graves problemas de suas contas externas, em passado recente, e permitiram a importação de tecnologia e insumos fundamentais para o seu processo de desenvolvimento.

Nem tudo são louros no caminho do desenvolvimento. Muitos agricultores ficaram à margem do mercado, outros viram sua renda ser reduzida, comprometendo o nível de vida de suas famílias. Enfrentamos secas em vastas regiões de produção de grãos, nos 2 últimos anos. Há questões relativas à sustentabilidade ambiental que ainda precisam ser resolvidas. Doenças animais, como a febre aftosa e a ameaça da influenza aviária, restringiram nosso potencial produtivo e exportador. Muitos países, por razões sanitárias ou protecionistas, criaram embargos à carne brasileira. Observa-se que a crise não foi generalizada, pois setores importantes como o açúcar e o álcool, a citricultura, o café, madeira e celulose, e carnes continuaram a crescer e a remunerar seus produtores.

Para minimizar os efeitos das secas, que atingiram os produtores de grãos, o governo prorrogou dívidas e ampliou recursos oficiais de crédito, com o objetivo de sustentar o nível de produção e manter os agricultores na atividade. Implementou medidas de erradicação e controle das doenças animais. Junto com o setor privado, promove a qualidade dos produtos brasileiros e combate ações protecionistas de nossos potenciais concorrentes. Há sinais claros de que o setor começa a superar a crise. Estimativas de plantio para a próxima safra (dados de final de outubro/2006), tanto do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), confirmam que a próxima safra deverá ficar próxima de valores obtidos em 2005–2006. A venda de maquinaria

¹ Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

agrícola e fertilizantes começa a aumentar as vendas. Esses sinais comprovam o acerto das medidas de política, adotadas pelo governo federal, no último ano.

A agricultura brasileira é competitiva e tem alto potencial de expansão, pois dispõe de terra em abundância – barata nos padrões internacionais – e detém um bom estoque de tecnologias para emprego em regiões tropicais e subtropicais. A redução dos custos tanto pela escala de produção quanto pela logística e transporte aumentará significativamente a participação do Brasil no mercado agroalimentar mundial.

Na área de agroenergia, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em parceria com os Ministérios de Minas e Energia,

da Ciência e Tecnologia e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, definiu as Diretrizes de Política de Agroenergia e, à luz dessa política, elaborou o Plano Nacional de Agroenergia, envolvendo, na sua execução, os setores privado e governamental.

A política agrícola brasileira procura sempre conciliar a busca do crescimento da agropecuária com os objetivos sociais e ambientais. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento; qualidade e segurança alimentar; infra-estrutura; esforços de promoção dos produtores brasileiros, vendas e distribuição; maior acesso aos mercados-chave serão sempre uma constante nas políticas e ações do governo para a manutenção da competitividade do agronegócio brasileiro.

Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel

Diretrizes, desafios e perspectivas

Frederique Rosa e Abreu¹
José Nilton de Souza Vieira²
Simone Yuri Ramos³

Introdução

O Brasil é hoje uma das principais referências mundiais no que diz respeito à produção e utilização de fontes renováveis de energia. Isso se explica pelos pesados investimentos para a eficiente exploração de suas vantagens naturais, como uma bacia hidrográfica privilegiada e a vocação natural para a produção de biomassa agrícola. Essa combinação de fatores levou a números expressivos no que tange à participação de energias renováveis na matriz energética brasileira. Conforme dados do Ministério de Minas e Energia, as hidrelétricas respondem por 14% da energia produzida internamente, enquanto a biomassa representa outros 27%.

No segmento de biomassa há que se destacar o êxito do Programa Nacional do Álcool. O combustível renovável hoje representa 40% do consumo pelos veículos do ciclo Otto. Adicionalmente, de uma situação de auto-suficiência energética, muitas usinas sucroalcooleiras já ofertam excedentes crescentes de energia elétrica, a partir da co-geração, com a queima do bagaço da própria cana.

Apesar do êxito do setor sucroalcooleiro na produção de etanol, a dependência em relação ao óleo diesel, onde os mais de 38 milhões de metros cúbicos consumidos em 2005 representam 57,7% do consumo de combustíveis líquidos, ainda é um problema. Ao mesmo tempo em que o País exporta excedentes crescentes de gasolina, continua dependendo de importações desse combustível, a fim de atender à demanda doméstica.

Para contornar o problema, já vinham sendo feitos estudos com foco na produção e mistura do biodiesel ao combustível mineral. Além de permitir a redução da dependência externa, o biodiesel também cumpriria importante papel ambiental, ao melhorar o processo de queima do diesel fóssil, tal como ocorre na mistura do álcool à gasolina.

A baixa atratividade econômica, uma vez que o preço de mercado dos óleos vegetais ainda é maior do que o do diesel mineral, sempre foi um entrave. Entretanto, para dar impulso ao programa, o governo adicionou a componente social, de forma a permitir que o processo de produção de matérias-primas se transforme num vetor de inclusão social, gerando oportunidades de

¹ Engenheiro químico, Doutor em Química, pela Universidade de Brasília (UnB), com tese em produção de biocombustíveis. Ocupa o cargo de coordenador-geral de Agroenergia, do Departamento de Cana-de-açúcar e Agroenergia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); frederique@agricultura.gov.br

² Economista, com mestrado em Economia Industrial e Tecnologia, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Membro da carreira de Especialistas em Políticas Públicas e Gestão Governamental desde 1998. Assessor do Departamento de Cana-de-açúcar e Agroenergia do Mapa; josensv@agricultura.gov.br

³ Engenheira agrônoma, com mestrado em Economia Aplicada, pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Integrou a equipe do Departamento de Cana-de-açúcar e Agroenergia entre março de 2005 e abril de 2006. Atualmente integra a carreira de Técnicos de Planejamento Agrícola, da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).

ocupação e renda para os segmentos mais pobres do meio rural, em especial a agricultura familiar do Semi-Árido Nordestino.

Cabe destacar que o sucesso do programa poderá permitir que o País também se consolide como grande exportador do produto. As diretivas da União Européia, com foco no cumprimento do Protocolo de Kyoto, sugerem que parte da demanda por biocombustíveis no Velho Continente venha a ser suprida por fornecedores externos. Da mesma forma, os Estados Unidos, que consomem um quarto do petróleo mundial, também poderão recorrer às importações para regular a oferta doméstica.

Além de uma gigantesca oportunidade para alavancar a atividade agrícola, o biodiesel também deverá permitir a maior agregação de renda a partir do aproveitamento de subprodutos e resíduos de biomassa, bem como da captação de recursos internacionais por meio dos mecanismos previstos no Protocolo de Kyoto, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Comércio de Emissões.

Dentro dessa perspectiva, o atual governo lançou, em dezembro de 2004, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). O PNPB prevê a implementação de um conjunto de iniciativas: estabelecimento do marco regulatório do novo combustível; estruturação da base tecnológica relacionada à produção de biodiesel; definição de linhas de financiamento; e organização das cadeias produtivas. Esses elementos serão tratados mais detalhadamente a seguir.

Políticas públicas para o biodiesel no Brasil

Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel

O Brasil vem desenvolvendo pesquisas com o biodiesel desde a década de 1970, em que o óleo de dendê era a principal matéria-prima. O uso energético de óleos vegetais foi proposto em 1975, dando origem ao Plano de Produção de

Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo), cujo objetivo era gerar um excedente de óleo vegetal capaz de tornar seus custos de produção competitivos com os do petróleo. Previa-se uma mistura de 30% de óleo vegetal no óleo diesel, com perspectivas para sua substituição integral em longo prazo.

Tais estudos colocaram o País como um dos pioneiros nas pesquisas com biodiesel, sendo o primeiro a registrar a patente relativa ao seu processo de produção, em 1980. Em 1983, o governo brasileiro, motivado pelo aumento do preço do petróleo, determinou a implantação do Programa de Óleos Vegetais (Projeto Oveg), no intuito de testar o uso do biodiesel puro e em diferentes níveis de mistura ao diesel mineral. Tal iniciativa foi coordenada pelo Ministério da Indústria e Comércio (atual Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio) e teve forte participação das indústrias automobilística, de autopeças, de óleos vegetais, de combustível e lubrificantes, além de diferentes centros de pesquisa.

Mais recentemente, em dezembro de 2004, o governo federal lançou o Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que tem por objetivo estimular a produção e uso do biodiesel no País, de forma técnica e economicamente sustentável. Trata-se de um programa interministerial, que conta com a participação de 14 ministérios, cujas principais diretrizes são: a) implantar um programa sustentável, promovendo a inclusão social e o desenvolvimento regional; b) garantir preços competitivos, qualidade e regularidade na oferta do novo combustível; c) estimular a utilização de diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas.

O programa foi resultado do esforço de um Grupo de Trabalho Interministerial, instituído pelo Decreto de 2 de julho de 2003. O grupo apresentou seu relatório no final daquele ano, sugerindo a constituição de uma Comissão Executiva Interministerial (CEI) e de um Grupo Gestor, responsáveis pela execução das atividades de competência da esfera pública, especialmente no que diz respeito à estruturação do marco regulatório e a condução das atividades consideradas prioritárias para equacionar os entraves verificados no estudo.

As recomendações do GT foram acolhidas e a CEI e o Grupo Gestor foram formalmente criados por um Decreto não numerado, do dia 23 de dezembro de 2003. A CEI assumiu a competência pela elaboração, implementação e monitoramento do programa, propondo os atos normativos e definindo as ações de governo e diretrizes de política públicas. O Grupo Gestor é responsável pela execução das ações propostas pela CEI.

A Comissão Interministerial subordina-se à Casa Civil da Presidência da República e é integrada por dois (um titular e um suplente) representantes dos seguintes órgãos:

- Casa Civil da Presidência da República, que a coordenará.
- Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica da Presidência da República.
- Ministério da Fazenda (MF).
- Ministério dos Transportes (MT).
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).
- Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).
- Ministério de Minas e Energia (MME).
- Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG).
- Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).
- Ministério do Meio Ambiente (MMA).
- Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA)
- Ministério da Integração Nacional (MI).
- Ministério das Cidades (MC).

O Grupo Gestor, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, é integrado por dois (um titular e um suplente) representantes de cada órgão listado a seguir:

- Ministério de Minas e Energia (MME).
- Casa Civil da Presidência da República (CC).
- Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

- Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA).
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).
- Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG).
- Ministério da Fazenda (MF).
- Ministério do Meio Ambiente (MMA).
- Ministério da Integração Nacional (MI).
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).
- Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Os principais desafios para a implementação do programa, levantados pelo GT, são resumidos na Fig.1. Nela, fica explícita a necessidade do trabalho articulado entre os diferentes órgãos de governo, a fim de que todas as restrições possam ser superadas de forma concomitante. Assim, compete à Comissão Executiva Interministerial o monitoramento dos trabalhos de forma a assegurar que cada um dos órgãos integrantes vem executando as tarefas que lhes foram delegadas.

Ainda em termos de estrutura, foi criada a Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel (RBTB), formada por entidades de pesquisa localizadas em 23 estados da Federação, com o objetivo de prover o serviço de assistência técnica e realizar pesquisas nas diversas áreas que envolvem a produção e comercialização de biodiesel e dos co-produtos e subprodutos oriundos de sua produção.

O programa contempla as especificidades de cada região geográfica do Brasil, em termos de opções de matérias-primas e necessidade de desenvolvimento regional, como ilustra a Fig. 2. Ele também contempla a produção de biodiesel a partir de diferentes rotas tecnológicas, como o craqueamento e a transesterificação etílica ou

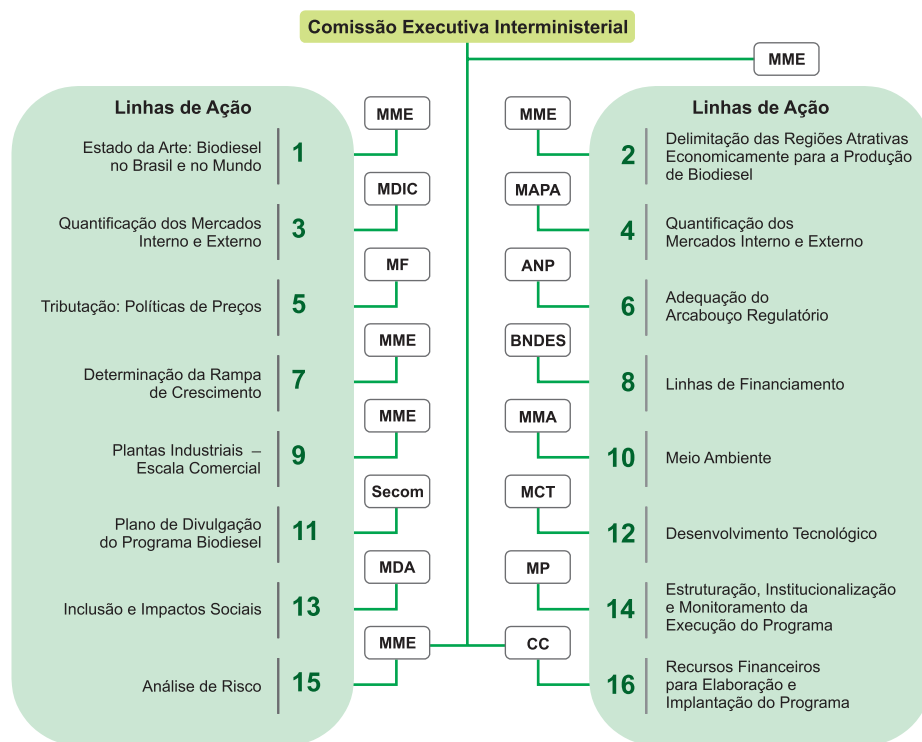


Fig. 1. Plano de trabalho dos órgãos integrantes do PNPB.

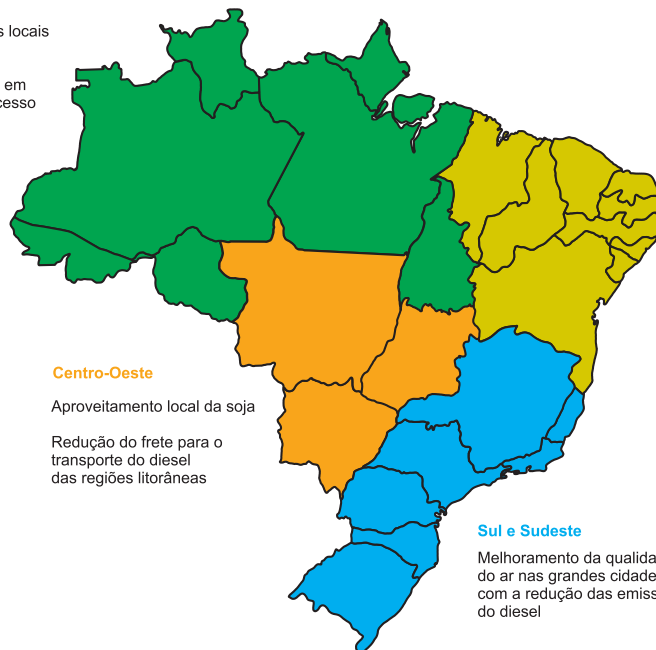
Fonte: Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (2006).

Norte

Aproveitamento de espécies locais (palma, babaçu, etc.)

Geração de energia elétrica em áreas remotas e de difícil acesso

Barcos e embarcações



Nordeste

Produção de mamona por meio da agricultura familiar

Promoção de políticas públicas de inclusão social

Centro-Oeste

Aproveitamento local da soja

Redução do frete para o transporte do diesel das regiões litorâneas

Sul e Sudeste

Melhoramento da qualidade do ar nas grandes cidades com a redução das emissões do diesel

Fig. 2. Motivações regionais para a produção de biodiesel.

metélica. Com isso, espera-se a complementaridade entre o agronegócio e a agricultura familiar no fornecimento de matérias-primas, num contexto de estímulo ao aproveitamento das vocações regionais. Entretanto, independente da oleaginosa e da rota tecnológica, o biodiesel deve atender às mesmas especificações técnicas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo.

Essa estrutura busca o equilíbrio entre os aspectos econômico, ambiental e social. Ou seja, a meta é introduzir na matriz energética brasileira um combustível cuja produção seja economicamente viável (custos competitivos), que possa, ao mesmo tempo, proporcionar ganhos ambientais (redução das emissões líquidas) e criar oportunidades de geração de postos de trabalho no meio rural, especialmente nos estabelecimentos de agricultura familiar (inclusão social).

Seguindo essas diretrizes, o governo federal criou um pacote de normativos, compreendendo as regras que tratam dos percentuais de mistura de biodiesel no diesel, o regime tributário aplicado ao combustível e os critérios para a obtenção do “Selo Combustível Social”. Esse último, com o objetivo de tornar mais atrativa a aquisição de matérias-primas produzidas por agricultores familiares. Espera-se, com isso, estimular a maior geração de postos de trabalho e renda no meio rural. Essas medidas serão detalhadas a seguir.

Procedimentos para a inserção do biodiesel na matriz de combustíveis líquidos

O primeiro passo para a construção do marco regulatório do PNPB foi a Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004, que criou a figura jurídica do biodiesel na matriz energética brasileira, delegando competência à ANP para fiscalizar a sua produção e comercialização. Isso abriu caminho para que a agência também pudesse colocar em consulta pública as minutas de portarias tratando das especificações técnicas, tanto do biodiesel puro quanto do combustível já misturado.

A partir de uma consulta à indústria automotiva, acertou-se que a mistura voluntária começa-

ria em 2%, percentual que dispensaria a realização de testes prévios. Entretanto, ao tramitar no Congresso, a MP 214 recebeu um conjunto de emendas, inclusive a que definia o uso compulsório. Essa obrigatoriedade, embora tenha como benefício a redução das incertezas para o investidor privado, impõe a necessidade de montagem da estrutura produtiva, num espaço de tempo relativamente curto, especialmente em virtude do estágio embrionário de desenvolvimento das tecnologias de produção.

A referida MP foi convertida na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de 5% de biodiesel ao óleo diesel, em qualquer parte do território nacional. Tal percentual teria um prazo até 2013 para ser cumprido. Mas, em 2008, a mistura já deveria atingir 2%, representando uma demanda por aproximadamente 800 milhões de litros anuais de biodiesel. Estima-se que, nessa primeira fase, em que as oleaginosas disponíveis apresentam baixo rendimento, será necessária uma área de aproximadamente 1,5 milhão de hectares para produzir matéria-prima suficiente para a adição dos 2%. Isso equivale a 1% da área disponível para a agricultura no País (150 milhões de hectares).

Numa situação de mistura facultativa, os empresários teriam que competir entre si e buscar eficiência, pois o limite superior de seus preços de venda estaria balizado pelo preço do diesel mineral. Com a obrigatoriedade, esse referencial perde força, podendo transferir para o consumidor os custos eventualmente mais elevados.

Para reduzir as incertezas, o Conselho Nacional de Política Energética, por meio da Resolução nº 3, de 23 de setembro de 2005, antecipou para 1º de janeiro de 2006 a obrigatoriedade da mistura. Essa antecipação se dará no limite da produção por empresas que detenham o Selo Combustível Social, as quais devem concorrer em leilões públicos para comercializar o produto.

Os leilões, cujo objetivo é garantir a viabilização econômica dos empreendimentos já

em curso, são definidos e realizados pela ANP. Podem participar a empresa já instalada e possuidora do Selo Social, ou a sociedade detentora de projeto de produção que reúna os requisitos necessários à obtenção desse selo. Para tanto, o interessado deve estar devidamente registrado na ANP e na Secretaria da Receita Federal.

Aspectos do modelo tributário

No Brasil, o regime tributário federal sobre combustíveis foi definido pela Emenda Constitucional nº 33 e pela Lei nº 10.336, que criaram a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide). Tais normativos, no entanto, não contemplaram a possibilidade de existência do biodiesel, de modo que a incidência daquela contribuição sobre esse combustível dependeria de nova Emenda Constitucional.

A alternativa adotada para compensar uma eventual perda de arrecadação no âmbito federal, decorrente da impossibilidade de cobrança da Cide, foi a definição de alíquotas mais elevadas do Programa de Integração Social (PIS) e da Contribuição para Seguridade Social (Cofins). Tal como no caso daquela contribuição, a Lei nº 11.116 fixou as alíquotas máximas desses tributos, delegando ao Poder Executivo o mandato para alterá-las dentro desse limite. Assim, o Decreto nº 5.297 estabeleceu benefícios fiscais para empresas que utilizem os óleos de mamona ou palma (intensivas em mão-de-obra), ou mesmo outras matérias-primas, desde que produzidas por agricultores familiares enquadráveis no Programa Nacional de Apoio à Agricultura Familiar (Pronaf). Tais benefícios são ainda maiores se a produção dessas matérias-primas ocorrer nas regiões Norte e Nordeste e no Semi-Árido.

Também ficou estabelecido que a soma dos impostos federais incidentes sobre o biodiesel (PIS e Cofins) não poderá ser maior do que a dos que incidem sobre o combustível fóssil (PIS, Cofins e Cide). Os coeficientes de redução dessas alíquotas são aplicados segundo a origem das matérias-primas utilizadas pela indústria produtora. No caso extremo (palma ou mamona, produzidas por agricultores familiares, nas regiões Norte ou

Nordeste e Semi-Árido), o coeficiente de redução é igual a 1, significando ausência de tributação federal.

Outro Decreto, o de nº 5.298, de 6 de dezembro de 2004, estabeleceu a isenção de cobrança do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). Dessa forma, os incentivos fiscais podem ser assim resumidos:

1. Redução de 32% para o biodiesel fabricado a partir da palma e da mamona produzidas nas regiões Norte, Nordeste e no Semi-Árido.
2. Redução de 68% para biodiesel fabricado com matérias-primas produzidas pela agricultura familiar em qualquer região do País.
3. Redução de 100% para o biodiesel fabricado com palma ou mamona produzidas pela agricultura familiar nas regiões Norte, Nordeste e no Semi-Árido.

A Tabela 1 fornece os valores dos tributos aplicados ao biodiesel e diesel de petróleo. Cabe destacar que o modelo tributário institui alíquotas diferenciadas de PIS/Pasep e Cofins, segundo a região em que se cultiva a matéria-prima da qual se origina o biodiesel e a utilização de produtos da agricultura familiar.

Selo Combustível Social

Uma das diretrizes estabelecidas pelo governo federal para o PNPB foi o foco no vetor social. Os incentivos fiscais têm como finalidade o estímulo à maior participação da agricultura familiar como fornecedora de matérias-primas. Como não há uma definição legal para o termo “agricultura familiar”, foram utilizados os critérios de enquadramento para os beneficiários do Programa Nacional de Apoio à Agricultura Familiar (Pronaf).

Foi criado, por meio do Decreto nº 5.297, o “Selo Combustível Social”. Esse selo é o requisito indispensável para que o produtor de biodiesel possa gozar dos benefícios fiscais, na proporção da matéria-prima adquirida dos agricultores familiares. Com isso, os critérios para a obtenção do selo foram definidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, o qual editou a

Tabela 1. Tributos aplicados ao biodiesel e ao diesel de petróleo.

	Biodiesel				Diesel de petróleo
	Agricultura familiar no Norte, Nordeste e Semi-Árido, com mamona ou palma	Agricultura familiar em geral	Agricultura intensiva no Norte, Nordeste e Semi-Árido, com mamona ou palma	Regra geral	
	R\$/L	R\$/L	R\$/L	R\$/L	R\$/L
Cide	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente	0,07
PIS/Cofins	0,0	0,07	0,148	0,218	0,148
Somatório dos tributos federais	0,0	0,07	0,148	0,218	0,218

Instrução Normativa nº 1, de 5 de julho de 2005, para esse fim.

O objetivo é estimular a parceria entre as empresas e a agricultura familiar, o que envolve, além da garantia de compra da matéria-prima a preços previamente acordados, a prestação de serviços de assistência técnica e o apoio à organização desse segmento de agricultores. Para receber o selo, a empresa precisa comprovar essa parceria, bem como adquirir desses agricultores percentuais mínimos de matéria-prima a ser processada, quais sejam: 50% para a região Nordeste e Semi-Árido, 30% para as regiões Sudeste e Sul e 10% para as regiões Norte e Centro-Oeste.

Além dos benefícios tributários, a empresa também pode ter acesso a programas de financiamento em condições privilegiadas, bem como participar dos leilões de compra do biodiesel até que passe a vigorar a obrigatoriedade da mistura. O selo representa um status de parceria para com o agricultor familiar, podendo ser utilizado como instrumento de marketing.

A preocupação em apoiar a agricultura familiar se baseia em estudos elaborados pelos Ministérios do Desenvolvimento Agrário, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, da Integração Nacional e das Cidades, os quais concluíram que a substituição de 1% do diesel consumido no País, por biodiesel produzido a partir de matérias-primas vindas da agricultura familiar, permitiria

gerar cerca de 45 mil empregos no campo, a um custo médio pouco superior a R\$ 4.900,00 por emprego (HOLANDA, 2004).

Admitindo-se que, para cada emprego no campo, são gerados até três empregos no restante da cadeia produtiva, podem ser criados até 180 mil empregos para cada um ponto percentual de substituição do combustível fóssil. A produção de matérias-primas seria uma atividade complementar à agricultura de subsistência, representando uma forma de obtenção de renda monetária e ocupação da força de trabalho familiar por mais tempo, no próprio estabelecimento.

É importante destacar que na agricultura empresarial emprega-se, em média, um trabalhador para cada 100 hectares cultivados, enquanto na agricultura familiar a relação é de 10 hectares por trabalhador. Adicionalmente, calcula-se que cada R\$ 1,00 aplicado na agricultura familiar gera R\$ 2,13 adicionais na renda bruta anual para o produtor rural. Daí a justificativa para o apoio à inserção dos agricultores familiares como fornecedores de matérias-primas.

Linhas de crédito para a cadeia do biodiesel

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Banco do Brasil

possuem linhas de crédito voltadas à produção e comercialização de biodiesel, compreendendo financiamentos tanto para a indústria quanto para a produção agrícola. No caso da agricultura familiar, os recursos podem ser obtidos no âmbito do Pronaf, que colocou à disposição desse segmento, em 2005, cerca de R\$ 100 milhões, com taxas de juros que variaram de 1% a 4% ao ano.

O Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel, do BNDES, prevê o financiamento de até 90% dos itens passíveis de apoio para projetos com o Selo Combustível Social e de até 80% para os demais projetos. Os financiamentos são destinados a todas as fases de produção do biodiesel, inclusive o armazenamento, a logística e o beneficiamento de subprodutos. Nas operações para micro, pequenas e médias empresas, os empréstimos são corrigidos pela TJLP mais 1% (projetos com o Selo Combustível Social) ou 2% ao ano. Para grandes empresas, a taxa é a TJLP mais 2% ao ano (projetos com o Selo) ou 3% ao ano. Há flexibilização em relação às garantias reais, com possibilidade de dispensa quando houver contrato de longo prazo de compra e venda de biodiesel.

O BB Biodiesel, do Banco do Brasil, visa apoiar a produção, a comercialização e o uso do biodiesel. Por meio dele são oferecidas linhas de crédito tanto para a produção agrícola (custeio, investimento e comercialização, disponíveis para o produtor rural familiar e empresarial), quanto para a industrial (BNDES Biodiesel, Pronaf Agroindústria, Prodecoop e Crédito Agroindustrial para aquisição de matéria-prima).

Para minimizar os riscos das operações, os bancos costumam exigir a garantia de comercialização, o que se faz por meio da comercialização. Significa que o produtor rural só deve pleitear financiamento para investir na produção de determinada oleaginosa caso já tenha um comprador para a sua produção. Da mesma forma, a indústria também deve manter vinculações contratuais com

os distribuidores de combustíveis, responsáveis pela mistura e distribuição do biodiesel.

Produção de biodiesel no Brasil

O biodiesel é um combustível sintetizado a partir de óleos vegetais, novos ou residuais, gorduras animais ou ácidos graxos oriundos do refino dos óleos vegetais e pode ser obtido por meio de uma série de processos tecnológicos, como a transesterificação⁴, o craqueamento⁵ e a esterificação⁶. No Brasil, em virtude da grande disponibilidade do etanol, as pesquisas vêm priorizando a sua utilização como regente no processo de transesterificação. Nesse processo, utiliza-se como catalisador o hidróxido de sódio ou de potássio, obtendo-se como subproduto a glicerina (Fig. 3).

Cabe destacar que a maior parte do biodiesel no Brasil deverá ser produzida por meio da transesterificação, inclusive nos casos de produção para autoconsumo. Entretanto, há casos de produção por esterificação (como a Agropalma, que utiliza a borra do refino do óleo de dendê como matéria-prima), e poderá haver projetos especiais de craqueamento, voltados para comunidades isoladas.

Apesar do interesse em desenvolver a rota etílica, o processo de transesterificação também poderá utilizar o metanol, num processo mais conhecido e aplicado industrialmente em diversos países. Essa rota metílica facilita a reação quando se utiliza o óleo de mamona como matéria-prima. Portanto, deve estar mais presente na Região Nordeste e no Semi-Árido.

Entretanto, com o avanço das pesquisas, espera-se que o Centro-Sul do País possa se valer da abundância relativa do etanol, que já não enfrenta restrições técnicas quando combinado com os óleos de soja, girassol ou nabo forrageiro. Eventualmente, o metanol poderá ser necessário nas plantas que venham utilizar o sebo bovino,

⁴ Transesterificação: reação química de triglicerídeos (óleos e gorduras vegetais ou animais, em que os ácidos graxos formam ésteres com o glicerol) com álcoois (metanol ou etanol), na presença de um catalisador (ácido, base ou enzima), resultando na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo do etanol ou metanol.

⁵ Craqueamento catalítico ou térmico: reação que provoca a quebra de moléculas por aquecimento a altas temperaturas, formando uma mistura de compostos químicos com propriedades muito semelhantes às dos derivados de petróleo.

⁶ Esterificação: reação que envolve a obtenção de ésteres (biodiesel) a partir de álcoois e ácidos graxos ou seus derivados.

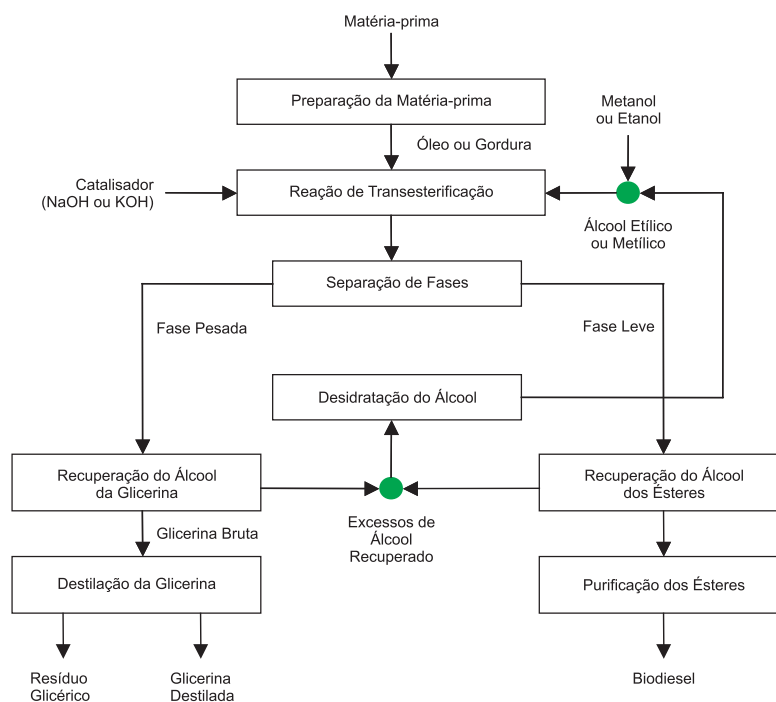


Fig. 3. Processo de obtenção de biodiesel por transesterificação.

Fonte: Holanda (2004).

embora as pesquisas para superar os entraves à utilização do etanol já estejam bem adiantadas.

Além dessas frentes de pesquisas, a Petrobras anunciou recentemente uma tecnologia para a utilização de óleo vegetal refinado no processo de purificação do diesel de petróleo. Tal tecnologia, conhecida como HBio, poderá ser outra importante forma de inserção dos óleos vegetais na matriz de combustíveis líquidos.

Desse modo, pode-se dizer que, num curto espaço de tempo, o biodiesel está deixando de ser um produto puramente experimental, para se transformar em alternativa energética de fato. A produção ainda é incipiente, mas as estimativas da ANP indicam que a atual capacidade instalada para a produção já chega a 1,2 bilhão de litros ao ano.

Perfil da produção segundo as regiões geográficas do País

A extensão territorial, a posição geográfica e as condições edafoclimáticas fazem do Brasil o

país com maior vocação natural para a produção de energia a partir da biomassa de origem agrícola. No caso do biodiesel, as alternativas vegetais para a produção de óleo são diversas e constituem num dos muitos diferenciais positivos para a estruturação de um programa de produção.

O programa coloca o desafio de aproveitar as potencialidades regionais, especialmente num contexto em que a abundância de terras agricultáveis contribui para a redução das pressões pela busca de maior eficiência técnica. Em meio a isso, o viés social obriga que seja dada ênfase à inserção competitiva das cadeias produtivas baseadas na maior intensividade do uso do fator trabalho, em especial, a palma e a mamona.

Assim, há o natural conflito entre a promoção do desenvolvimento regional, explicitada no modelo tributário, e a necessidade de busca de maior eficiência econômica, o que sugere a priorização de alternativas tecnologicamente mais amadurecidas, como a soja, que representa 90% da produção atual de óleos. Em meio a isso, cada região do País possui o que se pode chamar

de cesta de opções, impondo a necessidade de rigor técnico na estruturação de ações de fomento que contemplem essa diversidade. Essa problemática será abordada a seguir.

Região Norte

A Região Norte possui características bastante peculiares. Ela detém a maior extensão territorial, onde ainda predomina cobertura por floresta nativa. Embora haja espaços para a prática da agricultura intensiva (arroz, milho, soja) e de subsistência (principalmente feijão e mandioca), seu maior potencial se concentra na exploração da riqueza florestal, especialmente pelo predomínio do clima equatorial úmido. Com isso, as palmáceas assumem a condição de melhor alternativa para a produção de biodiesel.

Além da grande diversidade de palmáceas nativas, a Amazônia brasileira possui o maior potencial para o plantio da palma africana (dendê) no mundo, com área estimada de 70 milhões de hectares. Isso representa um potencial de produção equivalente a 350 milhões de metros cúbicos de petróleo ao ano.

Na região, existem cerca de 40 mil comunidades, parte das quais pode vislumbrar o biodiesel como alternativa energética local. Por não estar conectada ao Sistema Elétrico Integrado, depende do óleo diesel como combustível para geradores estacionários. Conforme salientam Zylberstajn et al. (1996), esses geradores têm nas longas distâncias em relação às refinarias de petróleo um importante fator de risco de desabastecimento. Assim, o óleo de dendê, que pode ser produzido localmente, é uma alternativa de grande relevância.

A palma pode ser vista como opção para a exploração econômica de grande parte da área de florestas já desmatada, especialmente no Estado do Pará, que responde por mais de 80% da produção nacional de óleo de dendê. De acordo com Peres et al. (2005), ele é a alternativa que apresenta maior produtividade, com um rendimento de 4 a 6 toneladas de óleo por hectare. Além do óleo de palma, pode-se extrair o óleo de

palmiste, oriundo da amêndoa, tendo como subproduto a torta, que se destina à ração animal. No processamento dos frutos são produzidos resíduos sólidos, que podem gerar energia térmica ou elétrica para a própria unidade industrial ou para o uso nas comunidades locais.

Há também espaço para a exploração de variedades nativas, em regimes de extrativismo e de manejo agroflorestal. Essas são atividades tipicamente intensivas em mão-de-obra, o que permite a mobilização de um grande universo de agricultores familiares. No caso do cultivo da palma, há a necessidade de desenvolvimento de atividades complementares, especialmente as lavouras de subsistência, em função do longo ciclo de maturação dos investimentos.

Além da substituição do diesel em geradores estacionários e embarcações fluviais, pelo potencial apresentado, a região poderá ser uma importante base de exportação do biodiesel. Nesse sentido, há a necessidade de estruturar programas de fomento à produção, bem como programas de teste do biodiesel nos diferentes tipos de motores, de forma a identificar os limites técnicos de mistura.

Por fim, deve-se destacar que a cultura do dendê é elegível, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, previsto no Protocolo de Kyoto, para o recebimento de investimentos provenientes dos créditos de carbono. Outro fator que poderá contribuir de forma significativa para a viabilização dos projetos de investimento. Dessa forma, se coloca o desafio da organização produtiva das comunidades locais, seja em regime de extrativismo simples ou de exploração agroflorestal.

Região Nordeste

A Região Nordeste responde por aproximadamente 15% do diesel consumido no País e é conhecida pelo pioneirismo nas pesquisas com o biodiesel. Atualmente, em virtude da conotação social dada ao programa, seu foco de pesquisas tem sido a mamona. Isso se reflete nas plantas já instaladas e nos projetos de produção comercial.

Apesar dos registros de grande expansão na área cultivada com mamona, há a necessidade de explorar outras alternativas, bem como deve ser intensificado o esforço para aumentar a capacidade de processamento.

A região é caracterizada pela grande diversidade climática. Embora historicamente seja subdividida em três macrorregiões (Zona da Mata, Semi-Árido e Sertão), nela também há importantes áreas de Cerrado, apresentando também características de clima equatorial úmido, na transição para a Região Amazônica. Essa diversidade climática se reflete nas alternativas para a produção de matérias-primas.

A Zona da Mata, região mais desenvolvida, tem um histórico de agricultura mercantil, baseada na monocultura da cana-de-açúcar, responsável por aproximadamente 15% da produção nacional. A área cultivada é de aproximadamente 1 milhão de hectares. Nela há espaço para o cultivo de oleaginosas, especialmente nas áreas de renovação dos canaviais. Isso representa um potencial anual de 200 mil hectares, ou uma produção de até 100 mil toneladas de óleo, dependendo da alternativa escolhida.

Entretanto, um dos fatores limitantes relaciona-se à falta de tradição no cultivo de lavouras complementares, sendo necessário quebrar o tabu da monocultura, o que envolve não apenas a capacitação dos agricultores, como também os investimentos em capital fixo. Outro importante aspecto a ser considerado é que faltam pesquisas para identificar alternativas agrícolas e, a partir daí, desenvolver variedades mais apropriadas às características climáticas da região. Embora o girassol, o amendoim e o gergelim venham sendo pensados, ainda não há plantios experimentais, especialmente com foco na integração da produção sucroalcooleira ao biodiesel.

Em relação ao Semi-Árido, as adversidades climáticas constituem-se num fator inibidor da incorporação de capital e tecnologia, de modo que a agricultura sempre esteve baseada na exploração de culturas mais rústicas, como a mamona e o algodão mocó, ou lavouras de ciclo

curto, voltadas para a subsistência, como o feijão, o milho e a mandioca. Pela capacidade produtiva no Semi-Árido, constituindo alternativa para os estabelecimentos de agricultura familiar, a mamona tem sido o carro-chefe na fase inicial do PNPB e a principal opção de cultura oleaginosa no Nordeste. Peres et al. (2005) salientam que a mamona é uma cultura de forte apelo social, pois, além de produzir óleo, pode ser consorciada com outras culturas, como feijão, amendoim e milho.

A região possui uma área superior a 3 milhões de hectares aptos para o cultivo da mamona, que em condições de sequeiro pode produzir 1.200 quilos de bagas por hectare, com um teor de óleo de 47% (PERES et al., 2005). O Nordeste responde por 96% da produção brasileira de mamona (200 mil toneladas). O principal estado produtor é a Bahia, onde a mamona consolidou-se como importante alternativa, especialmente na região central. No estado, a área cultivada é de aproximadamente 130 mil hectares, com uma produção superior a 90 mil toneladas de baga, o que representa 70% da produção nacional.

Além do potencial da Zona da Mata e o interesse social pela viabilização econômica do Semi-Árido, há que se considerar as áreas de Cerrado, em especial o Oeste Baiano e o sul dos estados do Maranhão e Piauí, bem como a região de transição para Amazônia, onde palmáceas, como o babaçu, podem se constituir em importantes alternativas. No Maranhão, ele ocupa cerca de 18 milhões de hectares. No entanto, embora o óleo seja de excelente qualidade, o babaçu tem como restrições o custo de extração, já que o óleo representa de 4% a 5% do fruto, o qual é envolto por uma casca muito dura, e o fato de a produção ainda ser baseada no extrativismo, com baixo padrão de organização.

No caso do Cerrado, tem sido observado grande crescimento da produção agrícola, especialmente da soja, num padrão de agricultura altamente tecnificada. Há também cultivos experimentais de mamona, em regime mecanizado, com potencial agrônomo significativamente superior ao observado no Semi-Árido.

Entretanto, ainda são incipientes as pesquisas no desenvolvimento de novas variedades, bem como de tecnologias de manejo.

Cabe considerar, adicionalmente, que embora a produção regional de óleo de soja ainda seja inferior ao consumo alimentício, com o ritmo acelerado de expansão da produção agrícola, acompanhado de investimentos no processamento industrial, o quadro deve se reverter, de modo que essa oleaginosa poderá complementar as necessidades de suprimento de matéria-prima nas unidades produtoras de biodiesel.

Centro-Sul

Para efeitos desse estudo, as análises a seguir consideram as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, aqui chamadas de Centro-Sul. Isso por causa de um conjunto de características comuns, que se reproduzem na exploração agrícola da mesma cesta de produtos. É o caso da soja, principal produto da agricultura dos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e no Centro-Oeste, e da cana-de-açúcar, principal atividade da agricultura paulista, que vem adquirindo importância crescente no Paraná, Minas Gerais e no Centro-Oeste.

Do ponto de vista das alternativas para o biodiesel, a região também apresenta grande potencial para o amendoim, o girassol, culturas já tradicionais, embora com uma área cultivada ainda restrita, e a mamona. Quanto a essa última, as experiências no Estado do Mato Grosso e as pesquisas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) vêm obtendo resultados satisfatórios com as chamadas “variedades anãs”, que, além da alta produtividade de campo (até 4 toneladas de baga por hectare), podem ser colhidas mecanicamente.

Apesar da diversidade de opções, as duas principais alternativas no curto prazo são o sebo bovino (apresenta os menores custos) e a soja (maior disponibilidade de oferta). Na última safra, a produção regional dessa leguminosa ultrapassou os 45 milhões de toneladas, com uma área pouco inferior a 20 milhões de hectares. Por se tratar da principal fonte de óleo disponível e considerando

os problemas de logística para escoamento da produção nas novas fronteiras agrícolas (norte de Mato Grosso, por exemplo), a alternativa do biodiesel tem despertado grande atratividade.

Notadamente, o óleo é um produto secundário. Com isso, tão importante quanto estimular o processamento do grão nessas regiões mais distantes dos portos é criar condições para o desenvolvimento da cadeia de carnes e conseqüente aproveitamento do farelo também no âmbito local. Algumas empresas alimentícias já estão revendo suas estratégias, não apenas deslocando suas bases de processamento de carnes para essas fronteiras, como também investindo no aproveitamento de resíduos, como o sebo bovino e gorduras de aves para alimentar as caldeiras das unidades frigoríficas.

O sebo bovino, por sinal, é a matéria-prima mais barata atualmente. Isso tem motivado não apenas os frigoríficos como também unidades industriais de produção de biodiesel a considerar a sua utilização, inclusive em mistura com óleos vegetais. Entretanto, por se tratar de um subproduto, sofre de restrições de oferta e poderá ter os preços elevados com o aumento da demanda.

Há que se destacar, também, a proximidade entre a produção do biodiesel e a atividade sucroalcooleira. De um lado, as áreas de renovação dos canaviais podem ser utilizadas para o plantio de oleaginosas, como a própria soja, o girassol e o amendoim. Do outro, como as unidades industriais já dispõem de álcool e energia, insumos indispensáveis à produção do biodiesel, há vantagens técnicas e econômicas em se acoplar plantas de transesterificação a essas unidades.

Cabe destacar, ainda, que tanto o óleo de soja quanto o de girassol e do amendoim já têm um mercado desenvolvido, onde o processo de formação de preços é transparente. Desse modo, a produção do biodiesel compete com a alternativa de colocar esses óleos no mercado alimentício, inclusive externo. Isso acaba por se tornar um fator de insegurança para os empreendedores, mesmo na Região Centro-Sul,

que representa quase 80% do consumo nacional de óleo diesel.

A necessidade de priorizar os aspectos sociais leva ao conflito entre a questão energética e a econômica. Isso porque no marco regulatório os incentivos fiscais para a produção do biodiesel na região são mais restritos. Desse modo, embora o potencial produtivo seja grande, a tendência é de que os investimentos priorizarão o auto-consumo, especialmente nas fazendas de grãos e em algumas unidades sucroalcooleiras, distantes das refinarias e dos centros de distribuição e mistura de combustíveis.

Conclusão

O Brasil é uma das referências mundiais na produção e uso de fontes renováveis de energia. Nesse campo, o setor agropecuário ocupa papel de destaque, seja com a madeira (carvão vegetal e lenha representando 13,2% das fontes primárias de energia) ou com a cana-de-açúcar (álcool e bagaço representando outros 13,5%). Esses números refletem a eficiência do País na exploração de uma vocação natural das regiões tropicais: a produção de energia de biomassa.

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel objetiva criar as condicionantes para a consolidação dessa posição de liderança na utilização de fontes renováveis de energia. E, mais do que isso, lança o desafio de ter na matriz energética uma alternativa para o óleo diesel, que possa ocupar o mesmo papel de destaque ocupado pelo álcool em relação à gasolina.

Entretanto, diferentemente do Programa Nacional do Álcool, onde a conotação econômica se sobrepôs à social, o programa do biodiesel tem como uma das prioridades a criação de condicionantes para a competitiva inserção da agricultura familiar na base da cadeia produtiva. Mais do que isso, objetiva assegurar a participação da matéria-prima produzida nas regiões de menor desenvolvimento relativo, como a Região do Semi-Árido, de forma a contribuir para a reversão do quadro histórico de empobrecimento em que se encontram.

Tal propósito, apesar de incontestavelmente legítimo, encontra como grande entrave a disponibilidade de terras agricultáveis em outras regiões do País, com maior aptidão para a agricultura intensiva. Desse modo, ao definir um modelo tributário que confere benefícios fiscais para o biodiesel produzido nessas condições especiais (matérias-primas intensivas em mão-de-obra, produzidas em estabelecimentos de agricultura familiar, especialmente nos estados mais pobres), há o risco da baixa eficiência econômica nesse processo.

Com isso, considerando que a carga tributária federal sobre o diesel mineral não é tão elevada quanto sobre a gasolina, a desoneração para o biodiesel produzido no contexto de inclusão social pode não ser suficiente para permitir a sua competitividade em relação àquele baseado no uso de matérias-primas provenientes da agricultura empresarial. Significa que mesmo não oferecendo benefícios fiscais para o biocombustível produzido empresarialmente, ele ainda poderá ser mais competitivo do que aquele baseado na matéria-prima oriunda da agricultura familiar.

Destaque-se que em outros países, como Alemanha, França e Estados Unidos, o combustível renovável goza não apenas de um regime tributário diferenciado, como também, em alguns casos, da subvenção direta à sua produção. Essa prevalência da componente ambiental, combinada com a questão da segurança energética, no entanto, não deverá ser observada na fase inicial de implantação do programa brasileiro.

Há que se considerar, também, a necessidade de pensar o biodiesel num escopo mais amplo. A obrigatoriedade da mistura, definida pela Lei nº 11.097/2005, cria uma demanda compulsória para uma pequena fração do mercado potencial. Com isso, há espaço para ações mais concretas para viabilizar níveis mais elevados de substituição do diesel em segmentos específicos de mercado. É o caso dos geradores estacionários, em regiões remotas, o auto-consumo, nos estabelecimentos rurais distantes dos centros de refino e distribuição do combustível fóssil e alguns segmentos de grandes consumidores, como empresas de transporte de cargas.

Enfim, o biodiesel representa um grande potencial de negócios para o meio rural brasileiro, permitindo a conciliação de ações de fomento voltadas para a maior inserção da agricultura familiar no processo de produção de matérias-primas, com medidas de natureza mais econômica e energética, visando assegurar a efetiva inserção do novo combustível como vetor de redução da dependência em relação ao diesel mineral.

As diretrizes para a etapa inicial já estão estabelecidas, mas, certamente, muitos ajustes deverão ser feitos para promover essa harmonização de interesses no âmbito do tripé econômico, ambiental e social. O próprio processo de desenvolvimento tecnológico poderá trazer novas respostas para questões ainda em aberto. É o caso das oportunidades oferecidas pela tecnologia do Hbio, do craqueamento e as pesquisas visando ao pleno domínio da rota etílica no processo de transesterificação.

Cabe ao poder público estar atento e flexível para tomar as medidas oportunas para reduzir os riscos para o investidor e os custos para os consumidores finais. Quanto mais efetiva e eficaz a ação governamental, mais rápido e menores tendem a ser os custos do processo de aprendizado.

Referências

PERES, J. R. R.; FREITAS JUNIOR, E.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis: uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, ano XIV, n. 5, p. 31-46, jan./fev./mar. 2005.

PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL. **O programa**. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em: 25 jul. 2006.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004. 200 p. (Caderno de Altos Estudos, 1).

ZYLBERSTAJN, D.; COELHO, S. T.; IENO, G. O. **Potencial de geração de eletricidade na Amazônia a partir de resíduos agrícolas**. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia, 1996.

Futuro para o álcool brasileiro

Paulo Morceli¹

De maneira geral, nos 2 últimos anos o agronegócio brasileiro tem passado por momentos difíceis, com poucos setores conseguindo até mesmo sobreviver. Por sua vez, o setor sucroalcooleiro vive momentos de esplendor, com os seus produtos (açúcar e álcool) altamente valorizados nos mercados interno e externo. É preciso uma análise profunda quanto às razões que levam a tal posição, pensando, inclusive, na continuidade de crescimento e qual o futuro do setor.

Na verdade, com o Protocolo de Kyoto, abriu-se uma janela para o agronegócio brasileiro na área de biomassas (etanol, biodiesel, cogeração, etc.) e com o País tendo a obrigação de manter esta janela aberta. Neste trabalho, pretende-se chamar a atenção dos agentes envolvidos com a cadeia produtiva do etanol para que se preparem para tirar proveito do excelente momento, diga-se de passagem, porém breve.

Vem se acentuando a busca para reduzir a poluição ambiental e pela auto-sustentabilidade do setor produtivo, especialmente o agrícola. A cada dia acentuam-se as pressões para que a produção agropecuária utilize modelos com menor ou até nenhuma agressão ao meio ambiente. Na produção e uso de energia, especialmente a embarcada, a busca tem sido pela que polua menos, que dê o maior rendimento por unidade e que tenha o menor custo, ou seja, por fontes que tenham uma maior relação custo/benefício.

No presente momento, o Brasil, por ter grandes extensões de terras que podem ser agricultáveis sem desmatamento (o desmatamento não é mais admitido), tendo um excelente regime

climático, com um sol maravilhoso, pode tirar proveito no fornecimento de etanol e de gorduras (animal e vegetal) para o biodiesel. Entretanto, os cientistas continuam trabalhando com afinco, tendo a certeza de que a descoberta de uma fonte de energia que não dependa da natureza não está longe de ser conseguida. Portanto, é hora de aproveitar o momento.

Para que se entenda o que propõe este texto, será feita uma incursão no passado, visitando um pouco a história do álcool no Brasil, entrando posteriormente pela situação presente, ou seja, qual o posicionando atual, e, finalmente, analisando o futuro que se apresenta.

O passado

Analisando os dados da história recente, não se pode deixar de considerar que a indústria sucroalcooleira teve um desempenho econômico e tecnológico brilhantes, não correspondendo, no entanto, ao sentimento que prevalece na opinião pública brasileira. Como pode ser visto na Fig. 1, na safra 1970–1971, do total de cana-de-açúcar produzido naquele período, 82,22% foi destinado para a produção de açúcar, em grande parte para o consumo interno. Foram produzidos, ainda, 252 mil metros cúbicos de álcool anidro (o Brasil já utiliza álcool anidro misturado à gasolina desde 1931) e mais 385 mil metros cúbicos de álcool hidratado para usos gerais, especialmente na indústria farmacêutica. Nessa ocasião, o Brasil esmagou 79,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, ou seja, apenas 18,85% do que é industrializado atualmente.

¹ Superintendente substituto de Gestão da Oferta - Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), SGAS 901, Conjunto A, Lote 69, 2º Andar, Sala A-201, 70390-010 - Brasília, DF; paulo.morceli@conab.gov.br

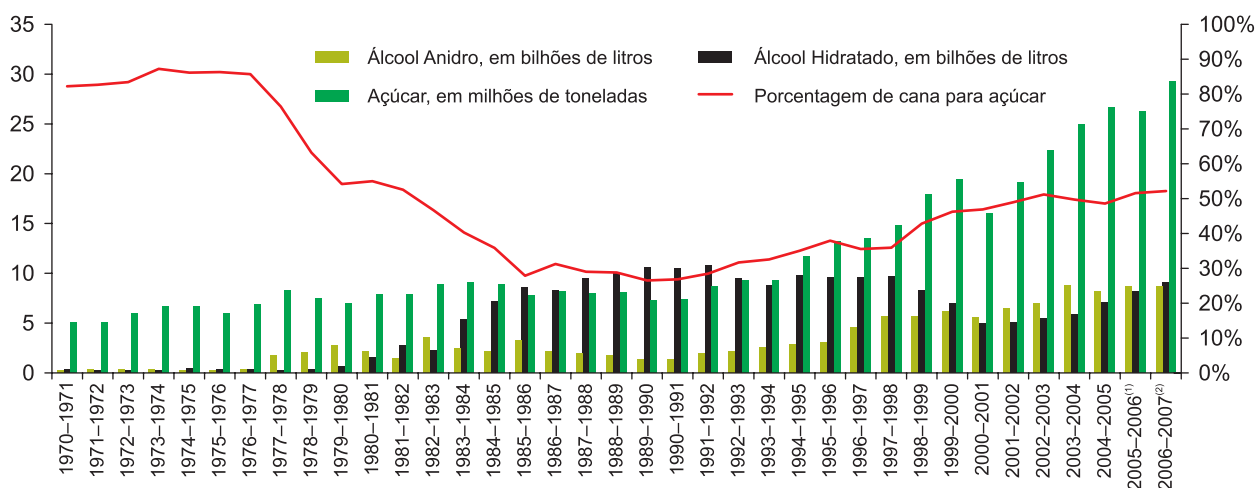


Fig. 1. Cana-de-açúcar no Brasil: quantidade moída, açúcar e álcool produzidos.

⁽¹⁾ Estimativa, ⁽²⁾ Previsão.

Com o surgimento do carro leve movido a álcool em fins da década de 1970 e o aumento do percentual de mistura, na safra 1979/80, foram colhidos 138,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, havendo uma redução importante da participação do açúcar já que, apenas 54,16% foram destinadas à fabricação desse produto. Nessa ocasião, foram produzidos 2.712 mil metros cúbicos de álcool anidro, pois os percentuais de mistura tinham sido elevados e variaram entre 20% e 23%, e 671 mil metros cúbicos de álcool hidratado, pois já estavam presentes no mercado os primeiros carros com essa tecnologia totalmente brasileira.

Com o crescimento da frota de veículos leves movidos a álcool, conforme mostrado na Fig. 2, além do crescimento substancial da quantidade colhida de cana-de-açúcar, o perfil dos produtos gerados também foi modificado. Na safra 1985-1986, época em que foi maior a relação das vendas de carros a álcool em comparação com os a gasolina, foram produzidas 224,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo 27,87% utilizados para fabricação de açúcar, com o restante originando 3.208 mil metros cúbicos de álcool anidro e 8.612 mil metros cúbicos de hidratado. Nessa ocasião, 85,51% de todos os carros leves vendidos no Brasil eram a álcool, correspondendo a 697.049 unidades.

A maior safra do combustível de cana-de-açúcar ocorreu na safra 1991-1992, quando fo-

ram produzidos 228,8 milhões de toneladas de cana, incremento de 64,72% em relação ao início do uso de álcool combustível. Apenas 28,50% da matéria-prima foi utilizada para a fabricação de 8,7 milhões de toneladas de açúcar, ou seja, apresentou um crescimento de apenas 24,64%. O grande incremento deu-se na produção de álcool, com o anidro reduzindo-se em 26,84% e o hidratado crescendo 1.460,95%, resultando, dessa forma, em aumento de 248,20% no álcool total, sempre em relação à produção de 1979-1980. Esse fato ocorreu em decorrência da mudança do perfil da frota brasileira com maior participação dos carros a álcool hidratado, em detrimento dos carros a gasolina.

Em fins da década de 1980, ocorreu o primeiro movimento que trouxe descrédito à capacidade de suprimento da frota brasileira de carros com combustíveis da biomassa. Sem entrar na análise de quem foi a responsabilidade, é certo que o consumidor sentiu-se lesado ao adquirir um veículo a álcool, pois, ao buscar as fontes de suprimento do combustível, viu-se impossibilitado pela falta do mesmo. O descrédito chegou a tal ponto que, em 1986, do total de veículos comercializados no Brasil, 85,51% eram a álcool, caindo em 1997, para apenas 0,08%. Como agravante, a falta de álcool nos postos de abastecimento trouxe ao mercado a idéia de que o empresário deste setor era pouco confiável, movido especificamente pelo lucro e não tendo qualquer ou ne-

nhum compromisso com o consumidor. Esse sentimento ainda é muito enraizado nos usuários brasileiros, que vem à tona sempre que ocorrem elevações de preços sem uma explicação convincente, como as que ocorreram em fevereiro de 2003 e janeiro a março de 2006. Para minimizar os efeitos danosos, no primeiro caso, o governo brasileiro fez um acordo com o setor produtivo, que o cumpriu integralmente, superando a crise; no segundo momento, a despeito de um acordo envolvendo quatro ministros de Estado (Agricultura, Casa Civil, Fazenda e Minas e Energia) o setor não cumpriu tal acordo e os preços voltaram a subir naturalmente, deixando o consumidor brasileiro com o prejuízo e a péssima sensação de ter feito um mau negócio ao comprar um carro flex fuel (a indústria sucroalcooleira "vende" a idéia de que esse carro é a álcool, o que não é verdade, sendo este outro fato negativo com relação ao fornecimento de combustíveis da biomassa no Brasil).

Entretanto, não se pode esquecer que o Brasil, por meio das indústrias alcooleira e automobilística, apoiado em programas governamentais e

de pesquisas, foi capaz de "inventar" um combustível substituto do petróleo que, além de utilizar insumos, em sua maior parte, nacionais, tem um grande apelo ecológico. Em relação ao balanço de pagamentos brasileiro, contabiliza-se que no período de 1979 a 2000 houve economia de US\$ 43,5 bilhões com a redução das importações de petróleo. Tal fato torna-se mais relevante se for levado em conta que foi durante esse período que o Brasil teve os piores momentos de sua história, com a falta de moeda externa para aquisições imprescindíveis ao seu desenvolvimento.

O presente

Analisando a Fig. 2, tem-se uma visão errônea do momento atual. A partir do ano 2000, em razão de alguns programas de incentivos governamentais, como, por exemplo, a chamada "frota verde", em que o uso de carros a álcool foi incentivado para aumentar o consumo desse combustível, percebe-se crescimento, embora insipiente, nas suas vendas, de modo que, em 2003, já aparece a comercialização de 4,61% do total

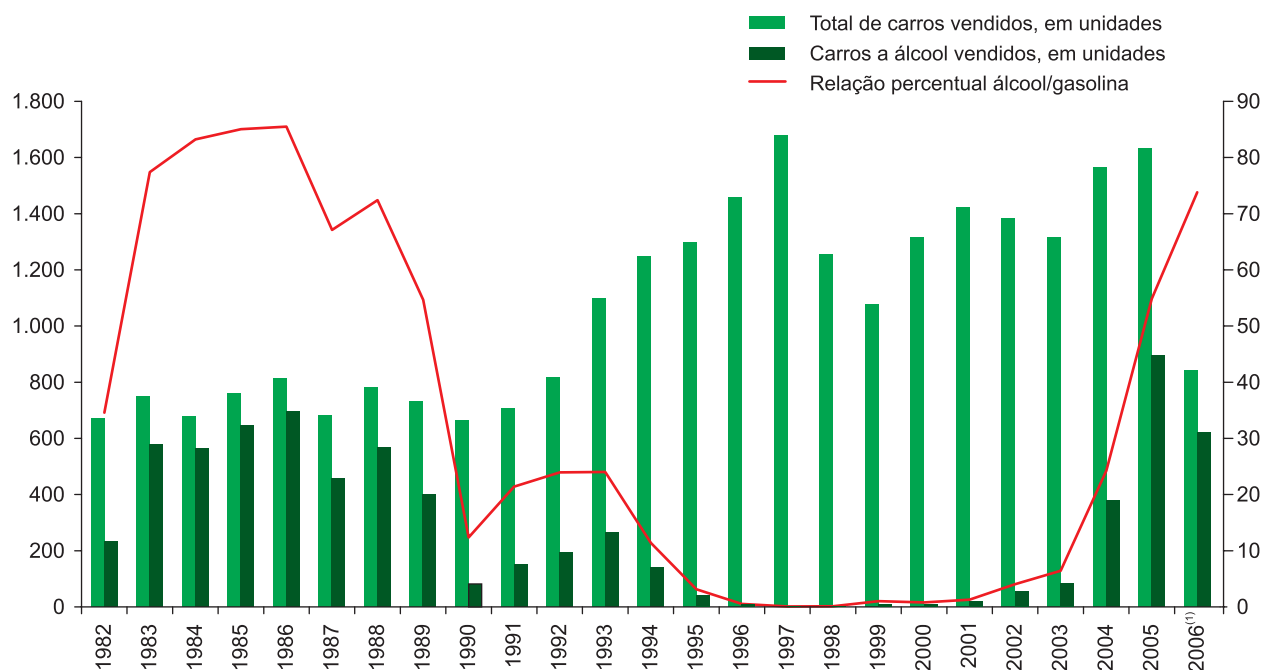


Fig. 2. Carros leves: volume de vendas em carros a álcool e a gasolina C.

Elaboração: Conab - ⁽¹⁾ até junho de 2006.
Fonte: Anfavea.

de automóveis vendidos naquele ano. Um fato marcante que ocorreu nesse exercício foi o lançamento do carro flex fuel, em novembro, pela Volkswagen. A partir de então, cresceu substancialmente o volume de vendas de carros que pode consumir gasolina C ou álcool hidratado, de modo que, em 2005, das 1.631.217 unidades vendidas internamente, 895.002 unidades eram a álcool ou flex fuel, ou seja, 54,87%. Em 2006, tomando-se por base os dados de janeiro e junho, esse percentual atingiu 73,80%, com 622.508 unidades a álcool ou flex fuel, para o total de 843.521 carros comercializados no período.

O crescimento atual, no uso de carros "a álcool", apresenta grandes diferenças em relação ao passado. Em primeiro lugar, o fato de que o carro flex fuel não foi fabricado para utilizar álcool como combustível, a despeito dos produtores de álcool "venderem" a idéia. A tecnologia foi desenvolvida para dar flexibilidade aos consumidores para que estes não fiquem dependentes de um único combustível, podendo, dessa maneira, escolher aquele que melhor lhe atendesse, econômica ou ecologicamente. Outro ponto importante foi a motivação da indústria automobilística. No passado, o lançamento e a produção do carro a álcool tiveram forte imposição institucional, com o governo federal sendo o grande indutor na sua implementação.

Atualmente, são as montadoras que têm interesse nesse tipo de tecnologia, já que "descobriram" um grande apelo de marketing ao dar esse tipo de opção ao consumidor e uma excelente vantagem tecnológica, pois deixam de se preocupar em ajustar o motor às diferentes misturas de álcool a gasolina, ante as constantes alterações dos padrões de misturas adotadas. O consumidor, na verdade, não tem muita escolha, pois a indústria, para um bom número de modelos, só fornece a "opção" do motor bicomcombustível. Esse é o embrião do motor universal, onde a mesma plataforma pode ser utilizada em países que misturam 20% de álcool, como no Brasil; 10%, 5,7% ou nada como é nos EUA; 3% como proposto para o Japão; ou nada como acontece na maior parte dos países.

Na visão dos produtores de álcoois combustíveis, o sucesso do motor flex fuel traz a importante possibilidade de ampliação do mercado demandante desse combustível. Com essa incorporação à frota de carros a álcool, que já estava no processo de descarte por obsolescência, há um novo alento no consumo do álcool hidratado no Brasil. Como pode ser visto na Fig. 1, na safra 2006–2007, a produção de álcool hidratado será superior à de álcool anidro, fato esse que não ocorria desde a safra 1999–2000.

Entretanto, a frota de carros com dupla aptidão pode induzir os produtores de álcool a sérios erros. Não se pode esquecer que os proprietários desses automóveis estão se conscientizando, ainda que aos poucos, de que não são possuidores de um carro a álcool, mas sim de um veículo que oferece a opção de utilizar o combustível que estiver mais barato, sem qualquer prejuízo para o seu bem. É diferente de quando a frota tinha o motor próprio para álcool e, se houvesse majoração dos preços, o consumidor não tinha outra opção senão desembolsar um valor maior para abastecer seu veículo, ou pior, quando faltava o combustível nos postos de abastecimento.

Nesse sentido, é bom dar uma olhada na Fig. 3, onde são apresentados os preços comparativos do álcool hidratado no Estado de São Paulo, maior produtor do combustível e dono da maior frota de veículos leves do País, assim como o Distrito Federal que, embora tenha uma frota representativa, importa todo combustível que consume. Nota-se que em boa parte do período sob análise os proprietários paulistas deram preferência para o álcool, já que existe alguma vantagem financeira com o seu uso. Já para o Distrito Federal, geralmente, o proprietário de carro flex fuel só irá abastecê-lo com álcool se quiser ter uma atitude politicamente correta em relação ao meio ambiente, não se preocupando em gastar um pouco mais, ou ainda, não atentando para esse aspecto, no uso do próprio bem.

Outra questão importante no mercado de combustíveis diz respeito à transmissão de preços entre os agentes da cadeia. Tomando por base os dois estados anteriormente referidos, vê-se na

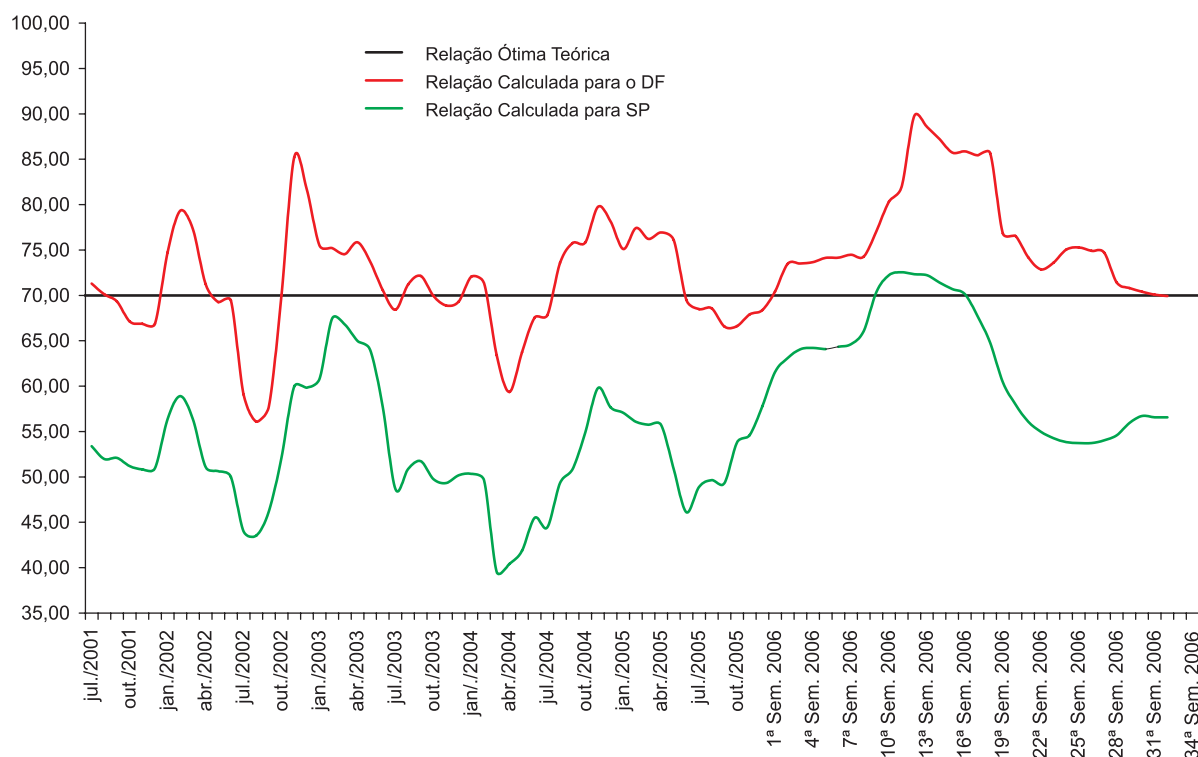


Fig. 3. Álcool hidratado carburante e gasolina tipo C: relação entre os preços dos combustíveis, em %.
Fonte: ANP - Elab.: Conab.

Fig. 4 os efeitos das mudanças de preços no álcool na indústria, partindo-se do Índice Esalq, e o que ocorre nas distribuidoras e postos de abastecimentos, segundo dados disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). É fácil notar que em São Paulo, dada a proximidade entre indústrias, distribuidoras e postos, as mudanças nos preços são refletidas com rapidez em toda cadeia. No Distrito Federal, por ter que importar o combustível consumido, o tempo de entrega, de disponibilização e de venda faz com que a transmissão das mudanças de preços aconteçam em ritmo mais lento.

Com o crescimento econômico de importantes países e as novas regras impostas pela Organização Mundial do Comércio (OMC) à União Européia, o Brasil desponta como grande fornecedor de açúcar para os próximos anos. Segundo projeções do International Sugar Organization, MECAS(05)20, November 2005, para o total de exportações, na safra 2005–2006 (outubro a setembro), de 46,5 milhões de toneladas, base açúcar em bruto, o Brasil contribuirá com 19,1 mi-

lhões, portanto 41,08% do total. Nesse sentido, as cotações nas bolsas internacionais deram mais força na remuneração do setor, pois as cotações do contrato Sugar 11, por exemplo, na NYBOT, chegaram a atingir US\$ 19,30 por libra-peso em 3/2/2006, enquanto nesta mesma data, no ano passado, estava em US\$ 8,94 por libra-peso, portanto uma valorização de 115,88%.

Efetivamente, as exportações brasileiras de açúcar seguem em ritmo acelerado. Em 2005, foram embarcadas 18,1 milhões de toneladas ao preço médio de US\$ 215,95 por tonelada, tendo sido faturado US\$ 3,9 bilhões. No ano anterior, os embarques totalizaram 15,8 milhões de toneladas ao preço médio de US\$ 167,89 por tonelada, com receita total de US\$ 2,6 bilhões. Esses dados dão a perfeita idéia de como o mercado remunerou bem o setor sucroalcooleiro, nas exportações do açúcar.

Com relação ao mercado de álcool, o aumento da frota de veículos que tecnologicamente estão preparados para utilizar esse tipo de combustível, diretamente no tanque, já é fator para o



Fig. 4. Álcool hidratado carburante: transmissão de preços entre indústria, distribuidoras e postos do DF e SP, em R\$/L.

Fonte dos dados básicos: ANP e Esalq/Cepea - Elaboração: Conab.

crescimento da demanda interna. Além disso, o mundo está descobrindo o álcool como um excelente aditivo à gasolina e tem buscado no Brasil a fonte de suprimento. Em 2004, os embarques desse produto atingiram 2,4 milhões de metros cúbicos, que, ao ser faturado pelo preço médio de US\$ 322,94 por metro cúbico, obteve a receita total de US\$ 497,4 milhões. No ano passado, os embarques totalizaram 2,6 milhões de metros cúbicos (aumento de apenas 8,33%). Os preços médios foram de US\$ 459,95 por metro cúbico (aumento de 42,43%), com o faturamento de US\$ 765,5 milhões. (incremento de 53,90%).

A comparação do desempenho do comércio exterior desse produto já dá para se ter uma idéia de quanto os empresários do setor estão motivados para novos investimentos. Segundo o Informativo Única, de janeiro/fevereiro de 2006, a safra 2006–2007 contará com mais 19 novas indústrias na Região Centro-Sul, sendo 11 delas só no Estado de São Paulo. Segundo o Relatório do JBIC, sobre o potencial do mercado de

bioenergia brasileiro, existem 50 novas unidades sendo construídas nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo, onde, na safra 2011–2012, processarão 75,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Existem informações de que o total de usinas que estariam prontas recentemente em montagem, em projeto e em consulta totalizaria 104 unidades na Região Centro-Sul.

Pode-se dizer, portanto, que para as próximas safras, haverá empresários interessados em implantar cerca de 150 indústrias de açúcar e álcool no Brasil, com capacidade para moer algo como 225 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A grande questão é: qual será o destino a ser dado a essa produção? Considerando, em termos médios, estima-se que, se fosse mantida a relação de uso da matéria-prima para açúcar e álcool atuais, seriam produzidas 14,6 milhões de toneladas de açúcar e 10,1 bilhões de litros de álcool. A capacidade de crescimento do mercado interno é limitada para ambos os produtos. No

caso do açúcar, o crescimento é inexpressivo, abaixo do crescimento vegetativo da população, e o do álcool, mesmo que os carros flex fossem abastecidos apenas com álcool, certamente o aumento da demanda não seria suficiente para absorver toda a oferta, podendo trazer à tona, momento como o que ocorreu em maio de 1999, quando o álcool hidratado foi vendido nas destilarias por R\$ 0,16532 o litro.

O futuro

Embora seja crescente a demanda mundial por açúcar, em função do crescimento e desenvolvimento de países que estavam à margem do consumo de alimentos e bebidas que utilizam esse produto como matéria-prima, seu potencial de expansão é mais limitado, diferentemente do álcool como aditivo à gasolina. Desta feita, o grande mercado para os produtos do setor sucroalcooleiro está na rota dos combustíveis da biomassa para atender ao mercado externo.

Com relação ao álcool como aditivo, com a implementação do Protocolo de Kyoto e com a preocupação crescente da população mundial com respeito à questão da poluição atmosférica, a oferta de um combustível que agrida menos o meio ambiente é muito bem-vinda, política e ecologicamente. Segundo dados do governo americano disponíveis no site <http://www.eia.doe.gov/ipm/demand.html>, no primeiro trimestre de 2006 foram consumidos, em média, 85,3 milhões de barris de petróleo por dia. Fazendo as devidas conversões, pode-se estimar o consumo de 998,0 bilhões de litros de gasolina por ano no mundo. Se considerarmos a possibilidade, bastante viável, de uma mistura média de 10% de álcool anidro à gasolina, tem-se uma demanda total desse aditivo de 99,8 milhões de metros cúbicos por ano.

Como foi ressaltado anteriormente, o apelo do álcool como aditivo é em relação à preocupação com o meio ambiente. Nesse sentido, vale a pena dar algumas indicações aproximativas. Segundo estudos, cada metro cúbico de álcool anidro evita a emissão de 2,7 toneladas equivalentes de CO₂. Se tomar a demanda total estimada anteriormente, resulta em 269,5 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ que serão retira-

das da atmosfera todo ano. Imagine o mundo do futuro, do qual serão retirados os valores anteriores calculados de dióxido de carbono, anualmente, e o que isso significa em termos de melhoria ao meio ambiente.

Para que o álcool venha se tornar o aditivo utilizado pela grande maioria dos países em substituição ao Metil-Tércio-Butil-Éter (MTBE), muito tem que ser feito no setor, conforme ressaltado com detalhes no trabalho, *Internacionalização do Álcool Anidro para Uso como Aditivo à Gasolina*. Em linhas gerais vale citar:

a) Criar credibilidade: combustível é um bem estratégico em qualquer país do mundo. Os aditivos atualmente em uso têm suas fontes de suprimento já estabilizadas, estando associadas às mesmas regras de fornecimento dos derivados do petróleo. Dificilmente um governante vai modificar sua matriz energética se não puder contar com contratos de longo prazo, com garantia de suprimento e com regras de preços estabelecidas. O setor deve, portanto, atentar que a facilidade relativa em alterar os produtos que pode produzir em sua unidade industrial, embora seja uma vantagem de curto prazo, pode não trazer bons resultados no futuro. O cenário de preços deste ano, no Brasil, com os produtores descumprindo o acordo com o governo federal e obrigando a redução da mistura de 25% para 20% de álcool anidro à gasolina, trouxe graves prejuízos na credibilidade do setor, interna e externamente. É o segundo momento ruim para o setor em termos de perda de confiança como fonte segura na produção de combustível. Tal fato tem que mudar para que o Brasil seja visto pelos tomadores de decisões como um fornecedor seguro e confiável.

b) Necessidade de parcerias: Num empreendimento desta magnitude não é possível o setor sucroalcooleiro brasileiro ser o único fornecedor mundial. É preciso associar-se com os demais países que têm potencial para o plantio da cana-de-açúcar, com vistas à produção de álcool anidro, eliminando a idéia de dependência de fornecedor único. A agregação de várias fontes de fornecimento trás a idéia de que o Brasil não dominará o fornecimento do álcool, dando mais segurança quanto à disponibilidade do produto e da não formação de cartel de preços. Além disso, o atendimento da demanda global implicará uma

necessidade que, por um bom tempo, estará fora do alcance do Brasil, e a adesão de outros países produtores facilitará, sobremaneira, a tomada de decisão quanto ao uso do álcool como aditivo pelos países em que a segurança no suprimento ainda é um fator preponderante. Neste processo, como o Brasil domina as fases das tecnologias agrícola, industrial e logística, poderá tirar proveito, vendendo-as aos interessados, tendo, desta feita, mais um ramo de negócios bastante lucrativo.

c) Melhoria das tecnologias de produção: atualmente, as tecnologias utilizadas no setor sucroalcooleiro permitem produzir a média de 6 mil litros de álcool anidro por hectare, com o País contando com mais de 60 milhões de hectares de terras ociosas que podem ser dedicadas ao plantio da cana-de-açúcar (essa área já está disponível, sem a necessidade de qualquer agressão ao meio ambiente). Entretanto, se o Brasil for fornecedor de 30% do total de álcool calculado anteriormente, terá que plantar, com o rendimento atual, cerca de 5 milhões de hectares de cana-de-açúcar, que somados aos 3 milhões atuais totalizam 8 milhões, podendo ser considerada uma grande área para uma única cultura. Atualmente, já existem tecnologias agrícola e industrial que permitem praticamente dobrar a produção por hectare, portanto o Brasil poderia exportar algo em torno de 30 milhões de metros cúbicos e apenas incorporar 1/3 de áreas novas cultivadas com cana-de-açúcar.

d) Solução das questões de logística: atualmente, o escoamento do álcool é feito basicamente por meio de caminhões. É um meio de transporte que tem suas vantagens, sendo, no entanto, caro e de baixa capacidade de carga. Para uma operação no volume que se estima é necessário que o Brasil adote um sistema de transporte de grande eficiência e baixo custo. A melhor idéia é utilizar a infra-estrutura já disponível nos corredores de dutos da Transpetro, construindo um alcoolduto em paralelo. A rede de dutos da Transpetro parte de Brasília, passando pelo triângulo mineiro, pela principal região produtora de cana-de-açúcar de São Paulo, chegando ao Porto de Santos, no Terminal da Alemoa, e ao Porto de São Sebastião, ambos especializados em logística de combustíveis, como mostra a Fig. 5.

Com o uso dessa rota, várias questões já estariam solucionadas: não haveria necessidade de licenciamento ambiental, tendo em vista que essa autorização já existe para os dutos de petróleo; a Transpetro já tratou da questão de segurança desses dutos quando construiu os dutos atuais; as desapropriações já foram feitas, não necessitando de novos e maiores gastos; há um operador do transporte de combustível altamente especializado e eficiente. Com isso, o álcool alcançaria os portos com baixo custo e alta eficiência, permitindo que o setor sucroalcooleiro fizesse contratos de grandes volumes com preços altamente remuneradores e competitivos em relação aos derivados de petróleo.

e) Segurança institucional: a partir do início da década de 1990, o Brasil adotou a total desregulamentação do setor sucroalcooleiro e de fornecimento de combustíveis da biomassa. É por esse motivo que vez por outra têm ocorrido dificuldades no cumprimento da meta de abastecer os veículos brasileiros a preços aceitáveis. É possível, e desejável, que na questão das exportações sejam mantidas as mesmas regras, ou seja, sem qualquer interferência institucional do governo. Entretanto, caso exista alguma dificuldade, indicando que o ganho de mercado estaria ocorrendo em ritmo menor do que o esperado, seria criada uma espécie de joint venture entre o governo federal e a iniciativa privada com a função de buscar e dar garantias a todos os negócios de exportação de álcool para uso como combustível. Teria, também, a função de buscar países parceiros para atuar na produção e exportação de álcool, no fornecimento das tecnologias necessárias à atividade e na busca de compradores do álcool.

Conclusão

Os agentes do agronegócio sucroalcooleiro estão em um momento espetacular. Os dois produtos pelos quais são responsáveis estão com a demanda em alta, especialmente no comércio exterior. Os cenários de crescimento no mercado internacional são muito bons, especialmente para o álcool anidro. Entretanto, questões como credibilidade, parcerias, desenvolvimento



Fig. 5. Exportação de álcool pelo Brasil - Rede de Dutos da Transpetro.

Fonte: www.transpetro.com.br/portugues/empresa/dutosTerminais/mapas/mpdctcs.gif

tecnológico e soluções de logística estão postas à mesa e necessitam de soluções rápidas. Se o setor não tiver soluções prontas quando, pelo menos, a metade das novas indústrias estiver em operação, a possibilidade de queda de preços a patamares indesejáveis é muito grande. É uma questão fundamental para que o setor, apoiado pelo governo, busque sua equalização.

Deve-se atentar que a janela para uso de combustível líquido de origem da biomassa está aberta e tem um tempo curto para ser utilizada. As pesquisas na busca de alternativas mais eficientes e baratas estão aceleradas. Os cientistas têm dezenas de projetos em suas bancadas e não demora muito surgirá uma alternativa muito mais econômica e muito melhor sob o ponto de vista ecológico que inviabilizará totalmente o uso do

álcool ou de qualquer outro combustível líquido embarcado. As idéias já estão fervilhando em vários centros de pesquisas, e dentro de 20 a 30 anos estarão disponíveis. Assim, se o Brasil e os industriais do setor quiserem aproveitar e obter bons lucros com a exportação de um produto em que o País pode ser o líder, este é o momento. Tem-se que ir à luta rapidamente e com muita eficiência. O Brasil foi privilegiado pela natureza e pode contribuir com a redução da poluição mundial, fornecendo o melhor combustível para veículos leves já idealizado pelo homem e, ainda assim, obter um excelente lucro. Para tanto, precisa unir forças de governantes e iniciativa privada, para, juntos, buscarem desse mercado. Espera-se, portanto, que os brasileiros, de fato, estejam preparados para essa empreitada.

Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás

Airton Kunz¹
Paulo Armando V. de Oliveira²

Resumo: As fortes transformações dos sistemas de produção de animais confinados (SPACs) têm trazido avanços significativos ao setor, no entanto isso também tem causado problemas ambientais fruto da concentração e aumento de escala da atividade. Isso cria a necessidade de busca de novas alternativas para mitigar o problema e também agregar valor aos resíduos gerados. A geração e o aproveitamento do biogás a partir desses resíduos se mostra como uma alternativa interessante, pois permite o aproveitamento do biogás gerado nas propriedades rurais como fonte de energia térmica e elétrica, reduzindo os custos provenientes da demanda energética das propriedades rurais.

Palavras-chave: impacto ambiental, energia, resíduos animais.

Introdução

A produção de animais têm sofrido grandes modificações nas últimas décadas, passando de um sistema de criação extensivo para um modelo intensivo de confinamento. O sistema de produção de animais confinados (SPACs) visa principalmente reduzir os custos de produção e aumentar a eficiência do processo. O Brasil tem se destacado internacionalmente nesse contexto, aumentando suas exportações e gerando divisas para o País. No entanto, os problemas ambientais também têm se intensificado, em função dessa alta concentração, criando-se a necessidade de alternativas que permitam minimizar o problema e, na medida do possível, agregar algum valor aos resíduos dos SPACs. Nesse sentido, a geração e utilização de biogás apresenta-se como uma alternativa interessante para contribuir na mitigação desses problemas ambientais.

A biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás para a conversão em ener-

gia de cozimento, iluminação e como biofertilizante é muito popular nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia.

O interesse pelo biogás, no Brasil, intensificou-se nas décadas de 1970 e 1980, especialmente entre os suinocultores. Programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores focados, principalmente, na geração de energia e na produção biofertilizante e diminuição do impacto ambiental. O objetivo dos programas governamentais era reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração), bem como reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores. Infelizmente, os resultados não foram os esperados e a maioria dos sistemas implantados acabaram sendo desativados.

A conjugação de uma série de fatores foi responsável pelo insucesso dos programas de biodigestores nesse período, entre os quais podemos citar:

¹ Químico industrial, Dr., pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Caixa Postal 21, 89700-000, Concórdia, SC., airton@cnpa.embrapa.br.

² Engenheiro agrícola, Dr., pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Caixa Postal 21, 89700-000, Concórdia, SC., paolive@cnpa.embrapa.br

a) Falta de conhecimento tecnológico sobre a construção e operação dos biodigestores.

b) Custo de implantação e manutenção elevados (câmaras de alvenaria, concreto ou pedra, gasômetros de metal).

c) O aproveitamento do biofertilizante continuava a exigir equipamentos de distribuição na forma líquida, com custos de aquisição, transporte e distribuição elevados.

d) Falta de equipamentos desenvolvidos exclusivamente para o uso do biogás e a baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para a conversão do biogás em energia (queimadores, aquecedores e motores).

e) Ausência de condensadores para água e de filtros para os gases corrosivos gerados no processo de biodigestão.

f) Disponibilidade e baixo custo da energia elétrica e do GLP.

g) Não resolução da questão ambiental, pois biodigestores, por si só, não são considerados como um sistema completo de tratamento. Outros fatores, como erros grosseiros de dimensionamento, construção e operação, foram determinantes para o insucesso dos biodigestores.

Passados aproximadamente 30 anos os biodigestores ressurgem como alternativa ao produtor, graças à disponibilidade de novos materiais para a construção dos biodigestores e, evidentemente, da maior dependência de energia das propriedades em função do aumento da escala de produção, da matriz energética (demanda da automação) e do aumento dos custos da energia tradicional (elétrica, lenha e petróleo). Sem dúvida, o emprego de mantas plásticas na construção de biodigestores, material de alta versatilidade e baixo custo, é o fator responsável pelo barateamento dos investimentos de implantação e da sua disseminação (OLIVEIRA, 2005).

Biodigestão anaeróbica

O entendimento do processo de obtenção do biogás é de grande importância para o suces-

so da tecnologia de aproveitamento do biogás, haja vista que são complementares e, caso não se tenham os devidos cuidados na geração, a utilização estará seriamente prejudicada.

O mecanismo de decomposição anaeróbica se desenvolve pela ação de um consórcio de microrganismos, em que um dos produtos finais da degradação é o metano (Fig. 1). O biogás, produto da degradação anaeróbica, é composto majoritariamente por metano (50%–70%) e CO_2 . Esse gás pode ser coletado dos sistemas de degradação anaeróbica e utilizado como combustível (geração de calor ou energia). Os sistemas mais representativos para tratamento de dejetos animais via degradação anaeróbica são os biodigestores.

Os biodigestores são sistemas fechados de degradação anaeróbica em que os gases produzidos são coletados e armazenados em compartimentos chamados gasômetros para posterior utilização ou simples queima. Vários modelos de biodigestores têm sido desenvolvidos e adaptados para se buscar um aumento da eficiência des-

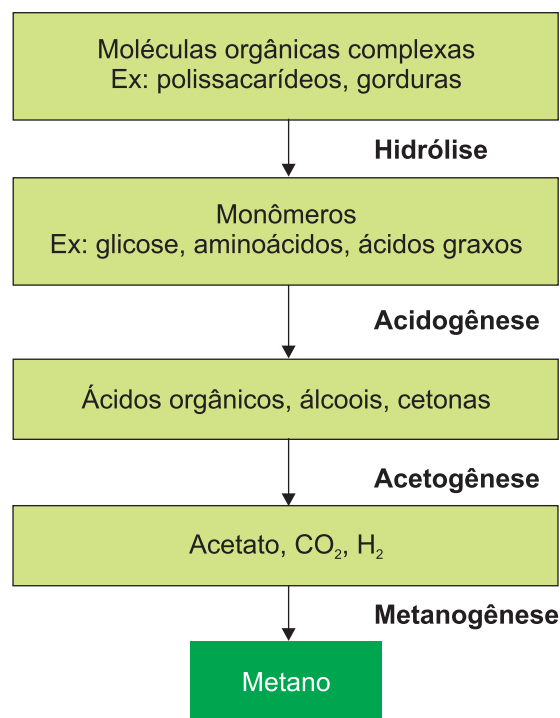


Fig. 1. Etapas da degradação anaeróbica.
Fonte: Bitton, 2005.

ses sistemas aliado a uma redução de custos dos equipamentos (REUNIÃO TÉCNICA SOBRE BIODIGESTORES PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS E USO DE BIOGÁS, 2006).

Os principais modelos de biodigestor são o indiano, chinês e canadense, sendo este último bastante utilizado recentemente, principalmente pelo desenvolvimento de geomembranas que facilitam a instalação dos biodigestores.

Os biodigestores podem apresentar problemas de eficiência influenciados por um manejo incorreto ou pela influência da temperatura ambiente. Esta última variável pode alterar a temperatura da biomassa no interior do biodigestor e, nos meses de inverno, reduzir a atividade dos microrganismos, já que estes apresentam uma temperatura ótima de crescimento por volta de 35°C (OLIVEIRA, 2005). No Brasil isso é mais significativo nos estados do Sul, que têm maior amplitude térmica e invernos mais rigorosos, conseqüentemente quando se tem as maiores demandas por energia térmica (KUNZ et al. 2005).

Um cuidado que deve ser tomado com a utilização de biodigestores diz respeito ao efluente líquido que sai do sistema (Tabela 1), não podendo ser descartado nos corpos receptores, pois ainda apresenta um alto potencial poluidor, principalmente quando considerado nitrogênio e fósforo.

Tabela 1. Médias (g L⁻¹) das determinações de carga orgânica e nutrientes para a alimentação e o efluente do biodigestor.

Parâmetro	Entrada	Saída
DQO	66,9 ± 13,5	8,5 ± 1,0
DBO ₅ ²⁰	34,8 ± 7,4	3,2 ± 1,2
N-NH ₃	2,6 ± 0,8	2,3 ± 0,7
N _{Total}	4,8 ± 1,1	3,2 ± 0,5
P _{Total}	1,60 ± 0,41	0,22 ± 0,14
Sólidos Voláteis	41,7 ± 15,6	9,7 ± 4,9

Fonte: Kunz et al. (2004).

Capacidade de geração de biogás em função de diferentes resíduos

A geração de biogás a partir de resíduos animais é dependente, além da temperatura, pH, alcalinidade e do manejo adotado no SPAC, também da própria característica do resíduo, que é o substrato para o crescimento dos microrganismos no biodigestor (Tabela 2).

Essa diferença na capacidade de geração de biogás está associada a vários fatores, como dieta dos animais e sistema digestivo, que fazem com que sejam produzidos resíduos de características distintas com potencialidades distintas na produção de biogás.

Desenvolveu-se um trabalho para avaliação da produção de biogás, durante os meses de julho a dezembro de 2004, em propriedade com 400 suínos nas fases de crescimento e terminação e com um biodigestor modelo canadense, com volume da câmara de digestão para 100 m³ de biomassa (OLIVEIRA, 2004; OLIVEIRA et al., 2005). No biodigestor, a câmara de biomassa foi escavada no solo e revestida com vinimanta de PVC com espessura de 0,8 mm, sendo o depósito de biogás coberto, também com vinimanta de PVC, com espessura de 1 mm. O biodigestor foi projetado para um Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) de 30 dias, sendo então alimentado diariamente com 2,45 m³ de dejetos. O biogás gerado foi registrado com um medidor modelo Liceu MG-4, com capacidade para a medição máxima de 4 m³/hora. Semanalmente, eram coletadas amostras de dejetos na entrada e na saída do biodigestor para análise físico-química dos dejetos. No período observado, a média e o desvio-padrão das medições semanais da densidade (kg/m³) dos dejetos de suínos na entrada do biodigestor foi de 1.032,15 ± 15,38, sendo, na saída do biodigestor, de 1.010,32 ± 2,24. A densidade média observada na entrada do biodigestor (sólidos totais de 8,77 %) pode ser considerada elevada quando comparada com os valores médios de sólidos totais 2,5%, observados em propriedades produtoras de suínos, no Oeste Catarinense. Essa densidade foi obtida em função de um manejo adequado dos dejetos de suínos nas instalações (raspagem a seco e limpeza somente na saída dos animais) e o uso de novos

Tabela 2. Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.

Animal (Peso vivo)	Kg esterco/Animal/dia	m ³ biogás/kg esterco	m ³ biogás/Kg SV	m ³ biogás/animal/dia
Bovino (500 kg)	10–15	0,038	0,094–0,31	0,36
Suíno (90 kg)	2,3–2,8	0,079	0,37–0,50	0,24
Aves (2,5 kg)	0,12–0,18	0,050	0,31–0,62	0,014

Fonte: Oliveira (1993). SV: Sólidos voláteis.

bebedouros que desperdiçam o mínimo possível de água. Os valores de densidade estão correlacionados diretamente com os valores dos ST e SV, então quanto maior a densidade maior a concentração de ST e SV. A temperatura média da biomassa observada no biodigestor foi de 23°C, o que indica que na digestão anaeróbica da biomassa ocorreu predominantemente a presença de bactérias mesofílicas. A média e o desvio-padrão, na entrada do biodigestor para a concentração de ST, observados foi de 65,12 g/L ± 23,7, e para os SV foi de 53,1 g/L ± 20,8. A produção de biogás mínima registrada foi de 40 m³ em agosto e máxima de 60 m³ em dezembro (OLIVEIRA et al., 2005).

Utilizou-se o modelo matemático desenvolvido por Chen (1983), descrito em LA FARGE, 1995, com os valores de carga de alimentação do biodigestor, para estimar a produção de biogás para o biodigestor usado neste trabalho (100 m³). Na Fig. 2, pode-se observar os valores da produção de biogás estimada pelo modelo de Chen (1983), para a faixa de temperatura (23°C) de operação do biodigestor, para diferentes concentrações de carga.

O biodigestor instalado na propriedade produtora de suínos, quando manejado adequadamente, pode produzir biogás com uma eficiência de produção variando entre 0,35 a 0,60 m³ de biogás por m³ de biomassa. Para uma produção economicamente aceitável de biogás, o manejo dos dejetos na unidade produtora de suínos deve buscar obter a maior concentração possível de sólidos voláteis e evitar a diluição dos dejetos com a mistura de água de chuva, água desperdiçada pelos bebedouros e água de limpeza das instalações (OLIVEIRA et al., 2005).

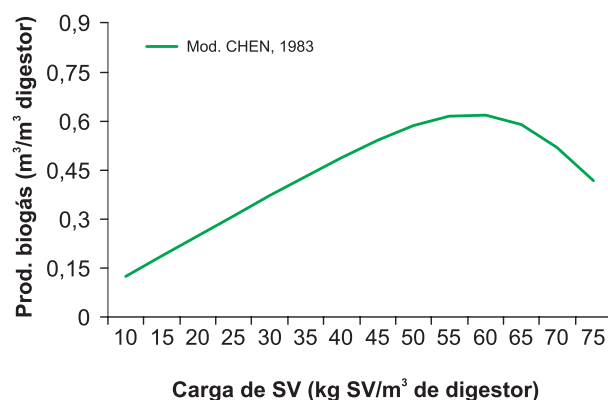


Fig. 2. Produção específica de biogás (m³/m³ de biomassa) estimada pelo Modelo de CHEN (1983), usando-se os valores observados de temperatura, sólidos voláteis (g/L), vazão de dejetos (litros/dia) e carga de alimentação do biodigestor.

Fonte: Oliveira et al. (2005).

Utilização de biogás

Geração de energia térmica

O grande desafio das regiões com alta concentração de animais é a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e principalmente a utilização do metano (CH₄) como fonte de energia térmica em substituição ao Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) nos sistemas de produção de suínos e de aves. A Embrapa Suínos e Aves, uma das Unidades de pesquisa da Embrapa, desenvolveu um trabalho de utilização do biogás como fonte de aquecimento do ambiente interno de um aviário, em julho de 2004. A propriedade possui 400 suínos nas fases de crescimento e terminação e um aviário com 12 m x 100 m (1200 m²), com 14.400 aves (12 aves/m²) (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

A propriedade possui um biodigestor modelo canadense. No aviário, foram usadas oito campânulas, fabricadas para o uso do GLP, as quais foram adaptadas para o uso do biogás, em que modificou-se o diâmetro do injetor de gás para 1,50 mm (1,7672 mm²) e adotou-se o seguinte manejo das campânulas no aviário: durante o dia (12 horas), eram acionadas 5 campânulas e durante a noite, as 8 campânulas (12 horas). A pressão da linha de alimentação de biogás utilizada para as campânulas foi de 0,517 kg/cm² (523,85 Pa) (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

O calor gerado pelo biogás foi testado no aquecimento do ambiente interno de um aviário para a produção de frango de corte. As temperaturas foram observadas a cada 15 minutos, com o uso de datalogger modelo Testo-175. A temperatura da biomassa observada no biodigestor situou-se em 25°C. A média e o desvio-padrão da concentração de ST, observada na entrada do biodigestor, foi de 75,12 g/L \pm 16,7, e para os SV foi de 56,31 g/L \pm 18,8, sendo a produção média de biogás verificada no período de observação (julho, 2004) de 52 \pm 10 m³. O consumo médio de biogás registrado por campânulas foi de 0,226 m³/h (totalizando em média 35,256 m³/dia).

A temperatura média de bulbo seco observada no interior do aviário foi de 28,09°C, sendo observada uma máxima de 32,86°C e mínima de 21,68°C. No exterior do aviário, a temperatura média de bulbo seco observada foi de 11,29°C, sendo registrada uma máxima de 22,5°C e mínima de 2,47°C. O fluxos de calor foram estimados em função dos valores observados das temperaturas, umidade relativa e velocidade do ar e a massa corporal dos animais, sendo o fluxo de calor total de 42,52 W/m², o fluxo de calor sensível de 76,51 W/m² e o fluxo de calor latente de 23,17 W/m² (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Na Fig. 3, pode-se observar as temperaturas de bulbo seco (°C), interna e externa, verificadas no aviário de produção de frango de corte, dos 14 aos 21 dias de criação.

O trabalho desenvolvido por Oliveira e Higarashi (2006) demonstrou que o biogás produzido diariamente pelos dejetos gerados por 400 suínos na fase de crescimento e terminação pode

substituir o GLP que é utilizado como fonte de calor, sendo capaz de gerar energia térmica suficiente para aquecer o ambiente interno de um aviário, mantendo a temperatura na faixa de conforto térmico, para a produção de 14.400 frangos de corte.

Geração de energia elétrica

Os sistemas de produção de suínos geram grandes quantidades de dejetos que podem ser tratados convertendo-se matéria orgânica em biogás, que é uma fonte alternativa de energia, para alimentação de geradores de eletricidade. Salienta-se, porém, que, apesar das perspectivas favoráveis, a utilização de biodigestores em propriedades rurais não foi bem difundida, em virtude da falta de conhecimento e de informações tecnológicas a seu respeito.

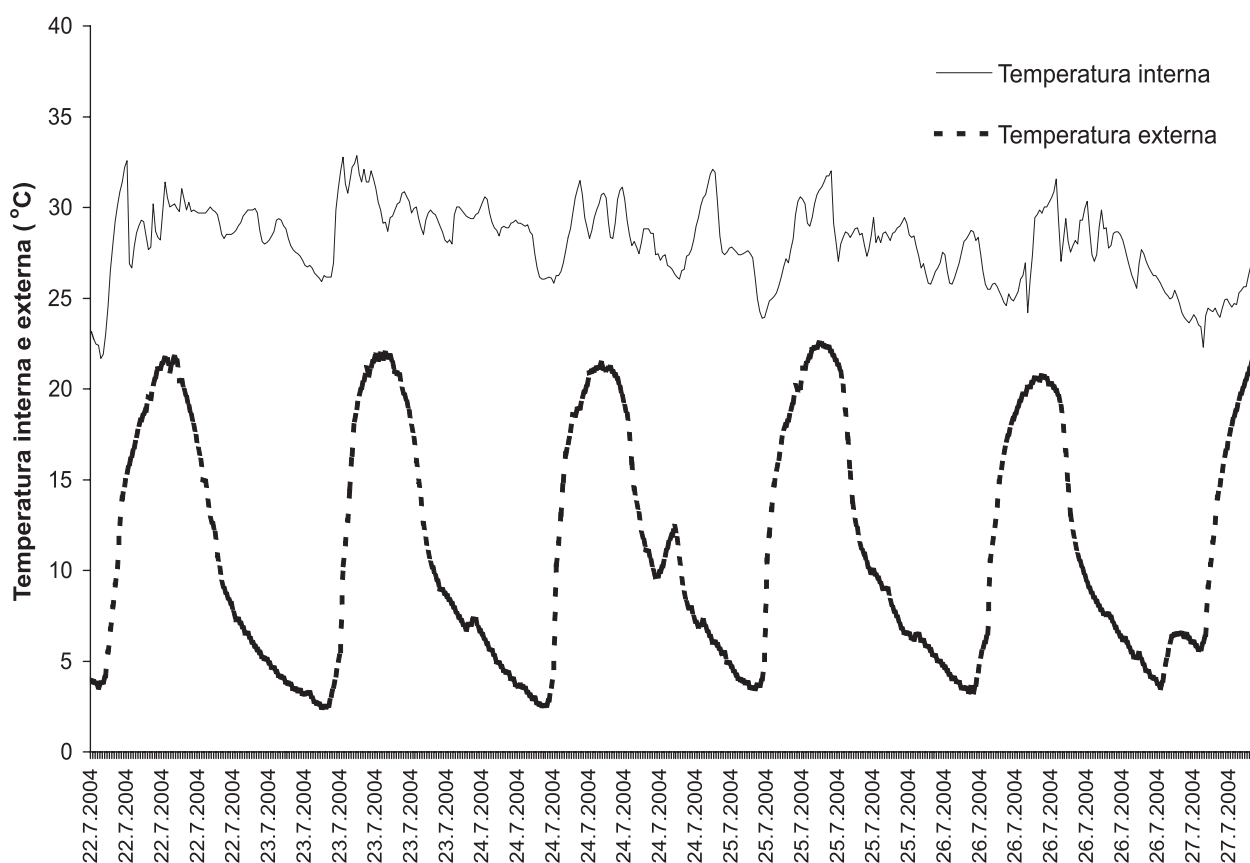
Estudos desenvolvidos por La Farge (1995) e Bleicher (2000), que avaliaram a geração de energia elétrica com o uso do biogás, em propriedades produtoras de suínos, concluíram a viabilidade técnica e econômica deste tipo de geração de energia.

A geração de energia elétrica com o uso de biogás como combustível pode ser dividida nas seguintes tecnologias disponíveis no momento, segundo OLIVEIRA, 2004:

1- Conjunto Gerador de Eletricidade – Consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (álcool, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade, independente da rede de energia elétrica da concessionária local.

2- Conjunto Gerador Economizador de Eletricidade – Consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (álcool, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um motor assíncrono, de dois ou quatro pólos, que passa a gerar energia ao ser conectado à rede de energia elétrica da concessionária local.

No primeiro caso, o conjunto é independente da rede de energia elétrica local, gerando energia dentro de propriedade com o sistema de



Observações da temperatura no período de 6 dias (Julho de 2004)

Fig. 3. Temperatura de bulbo seco interna e externa (°C), observada no aviário de produção de frango de corte, dos 14 aos 21 dias de criação.

Fonte: Oliveira e Higarashi (2006).

distribuição interno isolado. No segundo caso, o equipamento gera energia somente se estiver conectado à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, deixando de funcionar se a mesma sofrer interrupção, o que elimina possibilidades de acidentes quando técnicos estiverem trabalhando na manutenção nas redes elétricas externas. Neste caso, a energia gerada é distribuída na propriedade e na rede externa até o transformador mais próximo.

Estudo desenvolvido por Zago (2003), avaliando o potencial de produção de energia integrada por meio do biogás, na Região do Meio-oeste Catarinense, concluiu que o consumo médio de energia nas propriedades é de (600 a 1.800 kWh/mês), tomando como base apenas a criação

de suínos, (produção média de 50 m³ de biogás/dia). Teoricamente, a capacidade de gerar energia por propriedade é de 2.700 KVA/mês, o que equivale aproximadamente a 2.160 kWh/mês. Com essa produção, as propriedades podem se tornar auto-suficientes em energia elétrica, adotando um sistema que seja capaz de gerar 25 KVA/h de potência elétrica.

Em alguns países da Comunidade Européia e também na Austrália existe legislação específica para a produção de energia de fonte renovável. Na Austrália, por exemplo, as concessionárias de energia elétrica devem contabilizar no mínimo 2% de energia de fonte renovável. Isso faz com que o valor de mercado para esse tipo de energia seja melhor remunerado.

O consumo de biogás observado gira entre 16 e 25 m³/hora no sistema gerador/motor estacionário para a geração de energia elétrica, dependendo da potência elétrica gerada.

Deve-se salientar que o rendimento, quando existe transformação da energia contida no biogás em energia elétrica, gira em torno de 25% contra 65%, quando transformada em energia térmica. A seu favor, a energia elétrica tem o fato de ser um tipo de energia de fácil utilização e também, no caso, o biogás tem seu custo de produção bastante baixo.

Uma propriedade, produtora de suínos, com capacidade de gerar de 80 a 100 m³/dia de biogás, poder transformar essa quantidade de biogás em energia elétrica, produzindo entre 120 e 150 KVAh/dia. Considerando que uma propriedade gaste em média 1.000 kWh/mês, teria uma capacidade ociosa em torno de 3.000 kVAh/mês, isso com o conjunto trabalhando 6 horas/dia, em média. Para viabilizar o investimento, o agricultor teria que encontrar formas de gastar esse excesso de energia produzida, ou vender o excesso para a concessionária de energia, o que tecnicamente é possível. Segundo estimativas, o empreendimento passa a ser viável economicamente quando a propriedade possui capacidade de produção de 200 m³/dia de gás, o que daria uma produção aproximada de 300 kVAh/dia (ZAGO, 2003). Como a grande maioria dos suinocultores não se enquadra nessas condições, para esse tipo de empreendimento os equipamentos poderiam ser adquiridos em forma de cooperativas de produtores, gerando, neste caso, uma situação em que todos sairiam ganhando. Os suinocultores, como uma forma de agregar valor à sua produção, como mais uma fonte de renda; o governo, como alternativa em momentos de crise do setor energético; o meio ambiente, pela redução da poluição. O uso de biodigestores com geração de energia elétrica pode servir de incentivo aos pequenos suinocultores, para o manejo e tratamento mais adequado dos dejetos dos animais produzidos na propriedade (OLIVEIRA, 2004).

Considerações finais

A utilização de biodigestores para geração de biogás nas propriedades rurais e para geração

de calor e energia é uma alternativa viável e tem despertado a atenção dos produtores rurais, pela possibilidade de agregação de valor aos resíduos animais. No entanto, as questões envolvendo a disposição final dos efluentes dos biodigestores devem ser abordadas dentro de critérios técnicos, para se evitar o impacto ambiental deste no meio ambiente, haja vista que o resíduo final ainda apresenta um alto potencial poluidor.

Referências

- BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York: Ed. Willey-Liss, 2005., New York, NY.
- KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente. **Comunicado Técnico**, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 416, 1-5, 2005. 5 p. (**Comunicado Técnico, 416**).
- KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A.V.O Reunião técnica sobre biodigestores para tratamento de dejetos de suínos e uso de biogás. **Documentos**, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, n. 106, 1-53, 2006.
- KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R; BORTOLI, M.; MENOZZO, G. F. **Utilização de biodigestão anaeróbia para o tratamento de dejetos de suínos**. Trabalho apresentado na 28ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Poços de Caldas, 2004.
- LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995. 237p.
- OLIVEIRA, P. A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. 188 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos nº 27).
- OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Cap. 4, p.43-55.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; MATEI, R. M.; MENDES, G. L. Uso dos resíduos de sistema de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 12., 2005, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira dos Veterinários Especialistas em Suínos, Fortaleza, CE, 2005. p. 512-513.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Utilização do biogás no aquecimento ambiental de aviário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., julho/agosto, 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, João Pessoa, PB. João Pessoa: SBEA, 2006.

OLIVEIRA, P. A. V.. Projeto de biodigestor e estimativa da produção de biogás em sistemas de produção. **Comunicado Técnico**, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 416, 1-6, 2005.

REUNIÃO TÉCNICA SOBRE BIODIGESTORES PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS E USO DE BIOGÁS, 2006, Concórdia. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 53 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 106). Coordenação de: Airton Kunz e Paulo A. V. de Oliveira.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do meio oeste catarinense**. 2003. 103 f. Dissertação de (Mestrado). Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Blumenau, SC, 2003. 103 p.

Custos de produção de biodiesel no Brasil¹

Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros²
Ana Paula Silva³
Leandro Augusto Ponchio³
Lucilio Rogério Aparecido Alves³
Mauro Osaki³
Mariano Cenamo³

Resumo

Este estudo apresenta cálculos e análises dos custos de produção do biodiesel partindo da agricultura até a usina. Foi considerada a produção do biocombustível a partir de seis matérias-primas agrícolas, nas cinco macrorregiões do País, em três escalas industriais. Numa das frentes, calculou-se o custo considerando-se a inserção da matéria-prima agrícola a custo de produção e, noutra instância, partindo do seu preço regional de mercado. O trabalho considera unidades industriais que integram o esmagamento da matéria-prima agrícola para a obtenção de óleo e o processamento do biodiesel propriamente. Os cálculos e análises do biodiesel foram feitos considerando o custos e receitas dos “subprodutos” tanto da etapa de esmagamento quanto de elaboração do biodiesel na contabilidade total, sejam esses positivos ou negativos, sem incluir margem de comercialização. Neste caso, portanto, ora o valor do biodiesel pode aumentar para compensar os prejuízos de subprodutos ora ser reduzindo por assimilar lucro com derivados do processo. Os resultados gerais apontam que o biodiesel a partir de caroço de algodão no Nordeste é o mais barato do Brasil.

Palavras-chave: biodiesel; biocombustível; energia renovável; análise econômica; custo de produção; comercialização.

Abstract

This study presents calculations and analyzes of the biodiesel production costs, from farming to processing. It was considered the biofuel produced from six agricultural raw materials, in the five regions of Brazil, in three industrial scales. In one of the fronts, it was calculated the cost by taking into account the insertion of the agricultural raw material as production cost and, in the other, starting from its regional market price. The study takes into consideration processing plants that integrate the raw material crushing to obtain the oil and also the biodiesel processing. The calculus and the analysis of biodiesel were also processed, which involves costs and yields of the byproducts during the processing and the elaboration of the biodiesel in the total calculation, positive or negative, without considering the markup. In the second case, the biodiesel value can increase to compensate the loss of byproducts produced during the processing or decrease as it incorporates

¹ Artigo elaborado com base da parte I do trabalho *Biodiesel: Análise de Custos e de Tributos nas Cinco Regiões do Brasil Suporte à Tomada de Decisão e à Formulação de Políticas*, realizado pelo Cepea/Esalq/USP (parte I) e pelo Pólo Nacional de Biocombustíveis (parte II - tributação), com apoio da Dedini Indústria de Base.

² Professor Titular do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP. Coordenador Científico do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea); gscbarro@esalq.usp.br.

³ Pesquisadores do Cepea-Esalq/USP. Caixa Postal 132, CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP; apsilva@esalq.usp.br, laponchi@esalq.usp.br, lualves@esalq.usp.br, mosaki@esalq.usp.br, mariano@esalq.usp.br.

gains with byproducts selling. The general results show that the biodiesel produced from the cottonseed, in the Northeastern of Brazil, is the most competitive in the country.

Key-words: biodiesel; biofuel; renewable energy; economic analyze; production cost; trade.

Introdução

O objetivo deste trabalho é calcular o custo de produção do biodiesel no Brasil a partir de diferentes matérias-primas agrícolas nas cinco macrorregiões do Brasil, em plantas industriais de diferentes escalas. Apresenta-se este trabalho com a intenção de que seja uma referência para a formulação de políticas relacionadas ao biodiesel. Reconhece-se que sua amplitude implica a utilização de médias de algumas variáveis, o que dificulta a precisão dos resultados, mas, por sua vez, guarda o mérito de ser um direcionamento imparcial em termos de custos do biodiesel a todos os interessados.

No escopo deste trabalho, não foi incluída análise dos impactos intersetoriais e inter-regionais que decorreriam da instalação de usinas de biodiesel. Para avaliação desses impactos, recomenda-se análise de equilíbrio geral.

Para cada região foi considerado o uso de matérias-primas compatíveis com suas respectivas vocações agrícolas. Isso significa que foi estudada a produção de biodiesel a partir das seguintes origens vegetais: Região Sul: soja e girassol; Região Sudeste: soja, girassol e amendoim; Região Centro-Oeste: soja, caroço de algodão e girassol; Região Nordeste: soja, caroço de algodão e mamona; Região Norte: soja, mamona e dendê.

Em cada região, os cálculos foram feitos para plantas industriais de biodiesel de três escalas de produção: 10 mil toneladas de biodiesel por ano, 40 mil toneladas de biodiesel por ano e 100 mil toneladas de biodiesel por ano. Independentemente da escala, são adotadas para o estudo unidades industriais integradas, ou seja, que realizam a extração de óleo e também o processamento de biodiesel.

O local de instalação da indústria foi definido com base principalmente na maior disponibilidade de matérias-primas agrícolas para a ge-

ração de óleo. Para tanto, procede-se a exame detalhado dos calendários agrícolas das cinco regiões, bem como das produções médias nas safras de 1999–2000 a 2003–2004 (dados da safra 2004–2005 não consolidados para todas as culturas em junho/05).

O passo seguinte foi o cálculo detalhado dos custos de produção de cada matéria-prima agrícola – custo do produto in natura ao chegar na unidade de extração de óleo. Paralelamente, serão levantados os preços de mercado dos mesmos produtos para análises comparativas dos custos finais do biodiesel quando formados a partir de uma forma ou de outra de aquisição – ou seja, se via custo de produção ou por preço de mercado.

Posteriormente à análise do segmento agrícola, são agregados para análise os centros de custos industriais, subdivididos nas etapas de esmagamento e de processamento do biodiesel, propriamente. Todos os custos e receitas dos “subprodutos” tanto do processo de extração do óleo quanto de elaboração do biodiesel são computados na análise.

Além dessas considerações iniciais, este trabalho está subdividido em outras sete partes. Na segunda parte se apresenta o calendário agrícola das culturas consideradas neste trabalho e em seguida (parte três) a localização das unidades industriais em cada região. Os procedimentos metodológicos são descritos na parte quatro e as considerações sobre custos de produção agrícola, esmagamento e processamento do biodiesel na parte cinco. Na parte seis, os resultados são descritos e discutidos. Nas considerações finais, parte sete, sumariza-se este trabalho com algumas recomendações.

Calendário agrícola

A Tabela 1 compila os períodos de colheita – oferta – das matérias-primas selecionadas para este estudo. Para sua elaboração combinaram-se

informações de entidades de pesquisas, instituição governamental e empresas privadas.

Para a soja e o algodão, informações oficiais, claramente validadas pelo mercado, foram consideradas de forma direta; já para amendoim, girassol, mamona e dendê, os períodos de colheita, especialmente os percentuais de cada mês, foram estimados com base no conjunto de informações das fontes já citadas.

A esquematização dos períodos de colheita deixa claro que a oferta de matérias-primas se concentra no primeiro semestre. Dadas as facilidades de estocagem do caroço de algodão e da soja em grão, já de início pressupõe-se que essas deverão ser as bases de suprimento das indústrias de biodiesel no segundo semestre no Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. De forma complementar, portanto, nessas quatro regiões, a produção de biodiesel no primeiro semestre contará com uma maior mistura de oleaginosas. Na região Norte, estima-se, em princípio, que a oferta de soja será consumida paulatinamente no correr de

todos os meses, mas sempre de forma complementar ao dendê, que é a base efetiva considerada nesta região. Entrementes, vale salientar que neste trabalho não foi feito estudo sobre as misturas de matérias-primas com a finalidade de encontrar a *mix* que proporcionaria um menor custo em cada período do ano.

Análise da oferta de matéria-prima agrícola

Os montantes indicados a seguir são baseados em informações das safras 1999–2000 e 2003–2004, publicadas pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), este último no caso específico do dendê. Os valores oficiais para a última safra (2004–2005) não foram incluídos por serem ainda preliminares para alguns produtos na época de elaboração deste trabalho (Tabela 2).

Acredita-se que a tomada de cinco safras para os cálculos das ofertas mínimas, médias e

Tabela 1. Períodos de colheita da soja, girassol, algodão, amendoim, mamona e dendê nas cinco macrorregiões do Brasil.

Região	Cultura	Períodos de colheita (%)											
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Sul	Soja Girassol ⁽¹⁾	15,5	32,8	34,5	17,2								
Sudeste	Soja Girassol ⁽¹⁾		20,5	39,2	29,5	10,8							
	Amendoim águas Amendoim secas	16,2	33,1	33,8	16,9		12,1	44,3	36,5	7,1			
Centro-Oeste	Soja Girassol ⁽¹⁾	4,3	23,5	42,1	24,4	5,8							
	Algodão		0,2	1,5	2,2	8,8	29,7	36,9	19,1	1,6			
Nordeste	Soja		14,5	36,9	33,0	13,1	2,6						
	Algodão				3,6	30,1	31,5	31,3	2,2	0,6	0,4	0,3	
	Mamona	23,6	47,6	25,0	1,9	1,0	0,4	0,3	0,2				
Norte	Soja		27,2	43,3	22,8	6,7							
	Dendê	10,0	9,0	10,0	9,0	12,0	9,0	8,0	7,5	6,5	5,5	4,5	9,0

Elaboração dos autores

⁽¹⁾ Não foram encontradas informações precisas o suficiente

Fontes: Conab (2005), IBGE (2005), Unicamp (2005), Embrapa Amazônia Oriental (2005) e Ferrari (2004).

máximas de cada matéria-prima em questão seja um indicativo seguro de patamares a serem considerados por uma unidade de biodiesel. Acredita-se que em cinco safras é possível amenizar o impacto de variações abruptas de um único ciclo, ocasionadas, por exemplo, por fatores climáticos extraordinariamente adversos ou favoráveis.

Uma das grandes restrições à produção do biodiesel pode ser a garantia de abastecimento de matéria-prima nas diversas regiões pesquisadas. Somente a soja e o caroço de algodão, nas regiões analisadas, mostraram-se suficientes para abastecer o ano todo uma fábrica de 100 mil toneladas de biodiesel. Cinco plantas conjuntamente gerariam 435 milhões de litros de biodiesel, ou 435 mil metros cúbicos.

Assumindo que o consumo médio de diesel entre os anos de 2000 e 2004 foi de 37,2 milhões de metros cúbicos ao ano, os 435 mil metros cúbicos representariam 1,7% dessa demanda. Contudo, a partir de 2008, segundo a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, todo diesel comercializado no País poderá ter em sua composição 2% de biodiesel, o que implicaria uma demanda estimada de 743 milhões de metros cúbicos de biodiesel,

que seriam processadas, no mínimo, no equivalente a oito indústrias com capacidade de 100 mil toneladas por ano. É preciso observar ainda que a partir de 2013 a lei prevê mistura com 5%.

Localização das unidades industriais de biodiesel

O critério principal, mas não único, para se definir a localização das unidades de esmagamento e produção de biodiesel (integradas) foi a disponibilidade de matéria-prima vegetal em cada região. Essa análise foi feita a partir do exame detalhado do calendário de colheita e dos volumes produzidos nas últimas safras.

Outro fator considerado foi a estrutura de bases coletoras das distribuidoras cadastradas na Agência Nacional de Petróleo (ANP). No caso do álcool, não é monopólio da Petrobras a coleta desse combustível; mesmo a mistura de álcool anidro à gasolina pura (tipo A) para a composição da gasolina C pode ser feita pelas diversas distribuidoras cadastradas. Para o biodiesel, a legislação é semelhante, já que refinarias e distribuidoras

Tabela 2. Produções de matéria-prima – Safras 1999–2000 a 2003–2004 (em toneladas).

Região	Cultura	Mínimo	Máximo	Média	kg/ha
Sul	Soja	3.900	10.400	6.880	1.300
	Girassol	12.614.900	21.340.600	160.415.060	2.385
Sudeste	Soja	2.569.700	4.474.400	3.487.600	2.512
	Girassol	2.600	3.000	2.820	1.531
	Amendoim águas ⁽¹⁾	129.000	162.300	144.120	2.188
	Amendoim secas ⁽¹⁾	18.700	26.500	23.140	696
Centro-Oeste	Soja	14.945.300	24.613.100	20.097.720	2.746
	Girassol	46.300	90.800	63.680	1.476
	Caroço de algodão	760.700	1.371.800	1.020.380	2.011
Nordeste	Soja	2.064.000	3.538.900	2.458.820	2.267
	Caroço de algodão	127.300	467.500	226.440	765
	Mamona	68.100	104.500	84.620	770
Norte	Soja	150.700	913.700	441.700	2.431
	Dendê	361.656	729.184	579.334	14.500

⁽¹⁾ Amendoim: sem casca.

Fontes: Conab (2005) e IBGE (2005).

ras cadastradas à ANP são autorizadas a fazerem a mistura dos 2% do biodiesel ao diesel de petróleo (elaboração do B2).

As plantas industriais para estudos econômicos foram consideradas nas seguintes localidades:

- Região Sul – Rio Grande do Sul – Carazinho.
- Região Sudeste – São Paulo – Piracicaba.
- Região Centro-Oeste – Mato Grosso – Rondonópolis.
- Região Nordeste – Bahia – Luiz Eduardo Magalhães.
- Região Norte – Pará – Marabá.

Procedimentos metodológicos

A estrutura do trabalho realizado pode ser visualizada como a integração de três centros

principais de custos: custos agrícolas, custos de esmagamento (obtenção do óleo) e da indústria de biodiesel, conforme pode ser visualizado na Fig. 1.

A definição dos custos agrícolas envolve todos os insumos de produção, incluindo o custo de arrendamento da terra e depreciações do maquinário, mas sem considerar assistência técnica nem as remunerações do produtor e do capital investido. Esse cálculo foi feito para a soja, girassol, amendoim, mamona e dendê. Para o caroço de algodão, em vez de custos, consideraram-se os preços de mercado. Esclarece-se que, numa segunda frente de cálculos, todas as matérias-primas agrícolas foram imputadas também a preços de mercado.

Ao se tratar da aquisição da matéria agrícola via custo de produção, foi definido previamente que seria feita diretamente de produtor rural, o que implica o cenário mais oneroso em termos de impostos (2,3% de INSS).

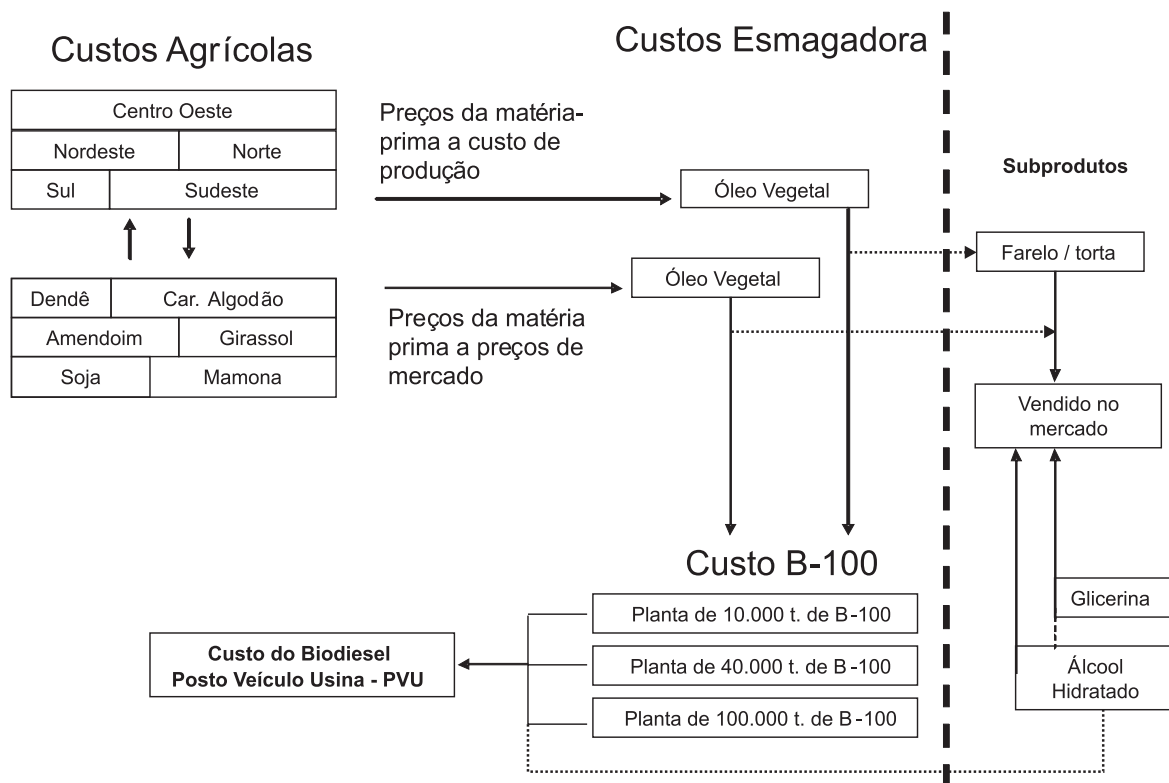


Fig. 1. Esquematização dos centros de custos para os cálculos de custo do biodiesel – Posto Veículo Usina (PVU).
Fonte: Dados da pesquisa.

A estrutura de custo que se apresenta é utilizada correntemente pelos institutos de pesquisa, como o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), exposta com frequência à análise de agentes de todos os segmentos do agronegócio, alcançando suas validações. Os cálculos dos custos de soja e girassol em todas as regiões foram obtidos pela técnica de painéis⁴ (reuniões) com produtores e técnicos das regiões. Alguns coeficientes, contudo, foram coletados via agentes de mercado e adaptados na planilha para homogeneizar os cálculos, principalmente em algumas regiões onde não foi possível a realização de painéis. Os custos do amendoim vêm da Cooperativa Agrícola Mista da Alta Paulista (Camap), de Tupã, SP, e os de mamona e dendê partem de coeficientes técnicos (sobre as quantidades utilizadas) publicados especialmente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com algumas colaborações da empresa Agropalma, no caso do dendê.

Os preços dos insumos, por sua vez, foram obtidos no Cepea (2005) em cada uma das regiões, considerados com pagamento à vista. Dadas as localizações das unidades industriais estipuladas anteriormente, privilegiou-se o levantamento dos preços nos estados onde serão – teoricamente – instaladas as plantas.

O critério de custo de produção utilizado é o do Custo Operacional Total. Por esse critério, são computados os custos variáveis (insumos, mão-de-obra, combustíveis e manutenção de equipamentos) e a depreciação de máquinas e equipamentos. Não são computados, portanto, a remuneração de fatores fixos diversos, como depreciação de instalações diversas, remuneração e o custo de oportunidade do empresário, e outros custos fixos e semifixos, notadamente custos administrativos. Contudo, os itens considerados são bastante característicos aos processos produtivos e, portanto, menos heterogêneos entre produtores.

O custo das máquinas e implementos é alocado para cada cultura segundo o tempo que os mesmos são utilizados em cada lavoura, inclu-

indo-se também a mão-de-obra requerida para a atividade. Consideram-se também os custos de manutenção, depreciação e combustível. A mão-de-obra segue o mesmo raciocínio de utilização das máquinas, qual seja o de considerar o tempo que o trabalhador estará se dedicando a determinada lavoura.

Deve-se acrescentar também o custo de arrendamento da terra na região em estudo. Apenas a título de análise comparativa, foram feitas simulações também excluindo-se o arrendamento.

A estrutura industrial tomada para estudo é integrada, melhor dizendo, reúne na mesma planta as etapas de extração do óleo e as de produção efetiva do biodiesel (rota etílica). Todos os coeficientes desses processos industriais foram fornecidos pela empresa Dedini S/A Indústrias de Base. Ressalta-se que, para a produção de biodiesel, foram consideradas três plantas contínuas com capacidade de geração de 10 mil toneladas de biodiesel por ano, 40 mil e 100 mil toneladas por ano. Já para o processo de esmagamento, os coeficientes industriais fornecidos foram os mesmos para as esmagadoras integradas às diferentes escalas de usinas de biodiesel.

O trabalho se estendeu até o cálculo dos custos de produção do biodiesel na indústria, na condição PVU – Posto Veículo Usina, considerando todos os insumos a preços pagos no varejo.

Custos de produção agrícola, esmagamento e processamento de biodiesel

Nesta seção, são apresentados resumos de custos de produção econômicos da soja, girassol, amendoim, mamona e dendê, nas diferentes regiões. Quanto ao caroço de algodão, serão levados em conta apenas seus preços médios nominais à vista no período de março a junho de 2005 (Tabela 3).

Para os cálculos do custo de produção industrial do óleo vegetal a ser usado para o biodiesel,

⁴ DEBLITZ, C. The International Farm Comparison Network (IFCN).

Tabela 3. Custos de campo e produtividades nas cinco macrorregiões.

	Custo	Produtividade kg/ha
Soja	R\$/sc 60 kg	
Sul	36,98	2.400
Sudeste	30,28	2.700
Centro-Oeste	24,67	3.120
Nordeste	35,53	2.500
Norte	29,42	2.500
Girassol	R\$/sc 60 kg	
Sul	38,14	1.600
Sudeste	36,84	1.800
Centro-Oeste	24,69	1.800
Amendoim	R\$/sc 25 kg	
Sudeste	18,68	3.500
Mamona	R\$/sc 60 kg	
Nordeste	35,17	770
Dendê	R\$/t (CFF⁽¹⁾)	
Norte	135,93	14.500

⁽¹⁾ CFF: cacho de fruto fresco.

Nota: custo não inclui INSS, frete nem armazenagem.

Fonte: Dados da pesquisa.

pode-se partir da matéria-prima agrícola a custos de produção ou do seu preço de mercado. Se a compra for feita de cooperativa ou de pessoa jurídica, considera-se o preço de mercado.

Para o caroço de algodão e mamona, caso a indústria compre a matéria-prima de cooperativa (mercado disponível), no valor do negócio já estão inclusos 3,65% de PIS/Cofins, mas que dão ao comprador o direito de ressarcir os mesmos 9,25% que incidem sobre o vendedor pessoa jurídica.

O preço de mercado considerado neste trabalho é uma média do produto agrícola no estado onde a unidade industrial está no período de junho/04 a julho/05. O caroço de algodão, como dito, entra sempre a preço de mercado, também com 9,25% de PIS/Cofins. Para esse produto, os preços de mercado representam média de março a junho/05, apenas – série disponível do Cepea (2005). Para o dendê, os preços de mercado são de agosto/05.

Na Tabela 4 estão apresentados os custos e os preços de mercado das matérias-primas agrícolas considerados para comparação dos preços finais do biodiesel.

Tabela 4. Custos de produção e preços de mercado das matérias-primas.

Estado	Matéria-prima	Custo de produção ⁽²⁾ (safra 2004/05)	Custo de mercado (média jun./2004 – jun./2005)
RS	Soja	R\$ 39,10/sc de 60 kg	R\$ 34,60/sc 60 kg
	Girassol	R\$ 40,31/sc de 60 kg	R\$ 20,30/sc 60 kg
SP	Soja	R\$ 32,32/sc de 60 kg	R\$ 33,94/sc 60 kg
	Girassol	R\$ 38,95/sc de 60 kg	R\$ 21,10/sc 60 kg
	Amendoim	R\$ 22,33/sc de 25 kg	R\$ 25,50/sc 25 kg
MT	Soja	R\$ 27,72/sc de 60 kg	R\$ 29,80/sc 60 kg
	Girassol	R\$ 26,06/sc de 60 kg	R\$ 24,70/sc 60 kg
	Caroço de algodão	-	R\$ 214,25/t ⁽¹⁾
BA	Soja	R\$ 37,56/sc de 60 kg	R\$ 28,57/sc 60 kg
	Mamona	R\$ 37,21/sc de 60 kg	R\$ 54,00/sc 60 kg
	Caroço de algodão	-	R\$ 180,00/t ⁽¹⁾
PA	Soja	R\$ 31,36/sc de 60 kg	R\$ 28,05/sc 60 kg
	Dendê	R\$ 135,93/t de CFF	R\$ 150,00/t ⁽³⁾

⁽¹⁾ Preços do caroço de algodão: de fevereiro a maio/05 (período de negociações mais intensas).

⁽²⁾ Custos incluem INSS, frete e armazenagem.

⁽³⁾ Preços do dendê: apenas agosto/05.

Fontes: Cepea (2005) (soja e caroço de algodão), Conab (2005) (girassol, Centro-Oeste e mamona, Nordeste), Instituto de Economia Agrícola (2005) (Girassol e amendoim, SP) e Paraná (2005).

Os coeficientes dos processos industriais – de esmagamento para obtenção de óleo vegetal, bem como para a geração de biodiesel propriamente – foram fornecidos pela empresa Dedini S/A Indústrias de Base. Ressalta-se que não foram considerados ganhos de escala no processo de extração do óleo; para todas as plantas de biodiesel (10 mil, 40 mil e 100 mil toneladas por ano) computaram-se custos e rendimentos idênticos de extração⁵.

Para a soja, caroço de algodão e mamona, o processo considerado é de extração química. Para o amendoim e girassol, a extração se dá por prensa seguida por ação química e, no caso do dendê, usa-se prensa mais extração a vapor.

Para o dendê, o volume de informações disponíveis no Brasil é muito menor que para as outras culturas, em relação a praticamente todos os processos. Por esse motivo, este trabalho foi conduzido com base em estimativas feitas pela Dedini e Cepea, a partir de informações conseguidas em empresas ativas neste mercado.

Neste estudo, o processo e custos de esmagamento correspondem à extração do óleo com finalidade única à produção de biodiesel. Isso é distinto do que se tem no mercado, já que as empresas processadoras de dendê se focam em óleos mais refinados e, portanto, obtidos a partir de outros processos.

Quanto ao custo do processamento do biodiesel, parte-se, aqui, do óleo degomado neutralizado. Nesta seção, os cálculos são divididos de acordo com as escalas industriais de processamento de biodiesel (10 mil, 40 mil e 100 mil toneladas de biodiesel por ano).

Os coeficientes industriais variam de acordo com a escala da planta; também os preços de alguns insumos usados na produção direta do biodiesel são distintos entre as regiões. Neste trabalho, contudo, todos os cálculos levaram em conta os valores de químicos, reparos e manutenção de máquinas, mão-de-obra, depreciação (10 anos) e outros custos no processamento. A soma desses itens totaliza R\$ 278 por tonelada de biodiesel processado em uma planta de 10 mil toneladas por ano, R\$ 168,01 por tonelada de

biodiesel processado em uma planta de 40 mil toneladas por ano e R\$ 136,00 por tonelada de biodiesel processado em uma planta de 100 mil toneladas por ano.

Ao se examinar a produção de biodiesel, é necessário atentar para os subprodutos gerados no processo de extração de óleo e também no de elaboração do biodiesel propriamente. O procedimento adotado neste estudo compreende três etapas:

- a) Cálculo do custo de produção da matéria-prima agrícola.
- b) Cálculo do valor do óleo vegetal.
- c) Cálculo do custo do biodiesel.

Em (a) pode-se valer, como exposto, do custo propriamente ou do preço de aquisição da matéria-prima no mercado. Em (b) parte-se do custo da matéria-prima; então, primeiro, adicionam-se os custos de industrialização e, depois, subtraem-se os valores (a preços de mercado) dos subprodutos. Com isso obtém-se o valor do óleo vegetal. Analogamente, em (c) parte-se do valor do óleo vegetal; então, adicionam-se os custos industriais e, a seguir, subtraem-se os valores (a preços de mercado) dos subprodutos. Assim, chega-se ao custo do biodiesel.

Resultados e discussão

Nesta seção, analisam-se os custos do biodiesel na usina (PVU) em duas situações quanto ao valor da matéria-prima: a custo de produção e a preços de mercado.

Nestas reflexões teóricas, é importante acrescentar que a implantação de uma usina que processe qualquer uma das matérias-primas deve inflacionar os preços locais, daí a importância estratégica de se ter uma base de custos de produção.

Região Sul

Apesar da grande tradição da soja no Rio Grande do Sul, esta oleaginosa é menos compe-

⁵ Rendimento industrial para soja (19% de óleo e 72% de farelo); caroço de algodão (16% de óleo e 52% de torta); girassol (39% de óleo e 53% de farelo); amendoim (44% de óleo e 50% de torta); mamona (42% de óleo e 54% torta); dendê (17% de óleo e 80% de farelo).

titiva que o girassol no Sul do País. Aliás, o biodiesel com base em soja atinge nesta região o maior custo entre todas as matérias-primas: O cálculo integrado da unidade industrial, que tem como ponto de partida o custo de produção agrícola, o biodiesel de soja custaria na planta de 40 mil toneladas por ano R\$ 2.053 por tonelada (ou R\$ 1,786/litro). Com o grão considerado a preço de mercado, o biodiesel custaria 25% menos. Ver Tabela 5.

Outra oleaginosa selecionada neste estudo foi o girassol. O biodiesel a partir dessa matéria-prima mostrou-se, na média das três plantas industriais, 7,6% mais barato que o derivado de soja. Uma grande vantagem do girassol perante a soja é o seu rendimento em óleo, aqui estimado em 39%, enquanto a soja apresenta apenas 19%.

No caso do girassol, um entrave para o seu desenvolvimento como fonte para produção de biodiesel é a irregularidade da oferta. Na safra 2003–2004 foram produzidas no Sul do País 10.400 toneladas de girassol, suficientes apenas para abastecer 141 dias de uma fábrica de 10 mil toneladas por ano ou menos de 35 dias de uma fábrica de 40 mil toneladas por ano.

O processamento da soja requer uma quantidade maior de capital por tonelada de biodiesel produzida que o girassol. Numa unidade industrial de 10 mil toneladas por ano, seriam necessários R\$ 4.652,00 por tonelada, incluindo-se o dispêndio com o grão e com todos os insumos utilizados

para o processamento industrial (esmagadora mais usina de biodiesel). Já com girassol, a operação seria coberta por R\$ 2.819,00 por tonelada na mesma planta.

No caso do girassol, o custo do biodiesel pode ser reduzido em até 47%, passando de R\$ 1,58/litro para R\$ 0,83/litro na planta de 100 mil toneladas por ano. Com a aquisição da matéria-prima no mercado, o girassol se mantém mais competitivo que a soja – cerca de 37% numa planta de 40 mil toneladas por ano (a custo de produção a diferença é de 29%).

Muito importante é notar que, a preços de mercado, o industrial (médias das três escalas) reduz 9,2% a necessidade de capital ao processar biodiesel a partir de soja e em 32,3% ao movimentar girassol. A contrapartida é o risco de abastecimento da indústria, uma vez que está sujeito às variações do mercado.

Região Sudeste

Considerando-se o custo de produção da matéria-prima, uma tonelada de biodiesel a partir de amendoim custa R\$ 1.990,00 por tonelada (R\$ 1,732/litro), considerando-se a escala de 10 mil toneladas por ano. Na planta de 100 mil toneladas por ano, o custo cai 12% (Tabela 6). O biodiesel a partir de soja é o mais competitivo no Sudeste, quando contabilizados todos os custos e todas as receitas dos subprodutos (R\$ 1.432,00 por tonelada ou R\$ 1,25/litro para 40 mil toneladas).

Tabela 5. Custos do biodiesel a partir de custos de produção agrícola e a preços de mercado para a produção em três escalas industriais, no Sul.

Sul – Carazinho, RS	10.000 t/ano		40.000 t/ano		100.000 t/ano	
	Soja	Girassol	Soja	Girassol	Soja	Girassol
Matéria-prima a custos da produção agrícola						
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	2.195,81	2.036,04	2.053,07	1.894,99	1.970,21	1.815,41
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,910	1,771	1,786	1,649	1,714	1,579
Matéria-prima a preços de mercado						
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.775,46	1.153,25	1.637,12	1.021,48	1.562,79	959,87
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,545	1,003	1,424	0,889	1,360	0,835

Nota: assume-se lucro zero por parte da indústria integrada.
Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 6. Custos do biodiesel a partir de custos de produção agrícola e a preços de mercado para a produção em três escalas industriais, no Sudeste.

Sudeste Piracicaba, SP	10.000 t/ano			40.000 t/ano			100.000 t/ano		
	Soja	Amendoim	Girassol	Soja	Amendoim	Girassol	Soja	Amendoim	Girassol
Matéria-prima a custos da produção agrícola									
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.569,01	1.990,94	1.903,14	1.432,83	1.850,37	1.763,48	1.362,68	1.771,72	1.686,60
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,365	1,732	1,656	1,247	1,610	1,534	1,186	1,541	1,467
Matéria-prima a preços de mercado									
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.714,24	2.297,63	1.118,45	1.576,54	2.153,84	987,04	1.503,45	2.068,96	927,12
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,491	1,999	0,973	1,372	1,874	0,859	1,308	1,800	0,806

Nota: assume-se lucro zero por parte da indústria integrada.
Fonte: Dados da pesquisa.

Com a matéria-prima avaliada a preço de mercado, todavia, a vantagem vai para o girassol de forma contundente: custos de biodiesel (R\$ 987 por tonelada ou R\$ 0,86/litro) mais de 50% inferiores aos verificados para o amendoim e 35% aos calculados no caso da soja.

Em termos comparativos, portanto, o amendoim é o menos competitivo e o girassol tem um desempenho intermediário na Região Sudeste. Ambos têm ainda problemas de oferta em larga escala e com regularidade, principalmente o girassol. Ainda que essa cultura tenha um grande potencial de desenvolvimento na região, na safra 2003/04, a produção dos cerca de 2 mil hectares plantados na Região Sudeste seria suficiente apenas para 40 dias de operação de uma usina de 10 mil toneladas por ano.

O girassol ainda é uma cultura pouco explorada no Brasil. Investimentos e incentivos privados e governamentais poderiam torná-la uma fonte viável economicamente para a produção de biodiesel na Região Sudeste.

A soma total do amendoim produzido no Sudeste, por sua vez, conseguiria atender uma planta de 40 mil toneladas por ano – a produção da safra 2003–2004 foi de 188.800 toneladas (Conab) –, caso conseguisse superar a concorrência da indústria alimentícia humana por essa matéria-prima.

Em relação à necessidade de caixa, o girassol requer a menor quantia para cada tonela-

da de biodiesel produzida, cerca de R\$ 2.700,00 numa planta de 10 mil toneladas por ano. Neste valor, já estão inclusos o dispêndio com o grão e com todos os insumos utilizados para o processamento industrial (esmagadora mais usina de biodiesel). Isso significa que uma planta de 10 mil toneladas por ano, caso operasse com girassol, movimentaria R\$ 27 milhões por ano. No outro extremo, uma indústria de 100 mil toneladas por ano que processe grão de soja para obter biodiesel movimentará no ano R\$ 375 milhões, ou seja, só de CPMF geraria R\$ 1,42 milhão.

Região Centro-Oeste

No Centro-Oeste, considerou-se uma planta instalada na região de Rondonópolis (MT), processando óleo degomado neutralizado de soja, de girassol e de caroço de algodão (Tabela 7).

Independentemente da escala da usina de biodiesel, a utilização do óleo de soja favorece a obtenção do menor custo do biodiesel, seguido da utilização dos óleos originados do girassol e do caroço de algodão. Numa planta de 100 mil toneladas por ano, por exemplo, o custo do biodiesel a partir da soja seria R\$ 0,829/litro. Esse custo vai para R\$ 0,90/litro quando o valor do grão corresponde a seu preço de mercado. Enquanto o custo de produção da soja era de R\$ 27,72/sc de 60 kg, o preço de compra no mercado foi de R\$ 29,80/sc de 60 kg.

Em relação à oferta de matéria-prima, não se vê problema em relação à soja e ao caroço de algodão – não se estudaram aqui, contudo, impactos do crescimento da demanda por conta da produção de biodiesel. No entanto, a oferta de girassol (até safra 2003–2004) não seria suficiente para atender a necessidade anual das usinas de 40 mil toneladas por ano e de 100 mil toneladas por ano. No máximo, considerando a oferta média dos anos-safras de 1999–2000 a 2003–2004, seria possível a instalação de duas usinas de 10 mil toneladas por ano de biodiesel.

Região Nordeste

Nesta região, foram avaliados os custos do biodiesel a partir da mamona, da soja e do caroço de algodão. Na Tabela 8, apresentam-se os resultados do custo do biodiesel a partir do custo de produção agrícola e do preço do mercado da matéria-prima.

O biodiesel a partir de caroço de algodão no Nordeste é o mais barato do Brasil. Considerando-se o processo completo, ou seja, todas as despesas e receitas da unidade industrial integrada (esmagadora + usina), um litro de biodiesel é produzido a R\$ 0,662 numa planta de 100 mil toneladas por ano.

A produção de biodiesel com base em caroço de algodão no Nordeste é ainda favorecida

pela oferta da matéria-prima na região. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), na safra 2003/04, foram geradas 467.500 toneladas de caroço, suficientes para suprir plantas de 10 mil e de 40 mil toneladas por ano, já que essas demandariam, em 1 ano, cerca de 66 mil e 260 mil toneladas por ano, respectivamente, deixando uma sobra para outras alocações.

Para que a mamona fosse tão competitiva, partindo-se do seu custo de produção, quanto o caroço de algodão, num cálculo integrado, seria necessária uma produtividade de 2.500 kg/ha ou que o preço de mercado da saca de 60 kg do fruto fosse obtido a R\$ 12,35, muito abaixo do preço mínimo estipulado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

A soja, por sua vez, é a matéria-prima menos competitiva no Nordeste. O custo do biodiesel a partir da soja é mais que o dobro do obtido a partir de caroço de algodão. Em comparação com o biodiesel de mamona, a vantagem do caroço também fica próxima aos 100%. Novamente, a explicação vem do dispêndio com a matéria-prima agrícola. A soja perde por sua produtividade baixa (2.500 kg/ha ou 41 sc/ha) na região e o caroço leva vantagem por ter preço de mercado reduzido.

Para que a soja se tornasse a mais competitiva do Nordeste – superasse o caroço de algodão e também a mamona –, o grão deveria ser

Tabela 7. Custos do biodiesel a partir de custos de produção agrícola e a preços de mercado para a produção em três escalas industriais, no Centro-Oeste.

Centro-Oeste Rondonópolis, MT	10.000 t/ano			40.000 t/ano			100.000 t/ano		
	Soja	Girassol	Car. algodão	Soja	Girassol	Car. algodão	Soja	Girassol	Car. algodão
Matéria-prima a custos da produção agrícola									
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.146,44	1.321,78	1.258,04	1.014,68	1.188,23	1.120,48	953,11	1.123,18	1.061,35
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	0,997	1,150	1,094	0,883	1,034	0,975	0,829	0,977	0,923
Matéria-prima a preços de mercado									
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.226,59	1.575,93	1.258,04	1.094,00	1.439,70	1.120,48	1.030,81	1.369,48	1.061,35
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,067	1,371	1,904	0,952	1,253	0,975	0,897	1,191	0,923

Nota: assume-se lucro zero por parte da indústria integrada.
Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 8. Custos do biodiesel a partir de custos de produção agrícola e a preços de mercado para a produção em três escalas industriais, no Nordeste.

Nordeste Luiz Eduardo Magalhães, BA	10.000 t/ano			40.000 t/ano			100.000 t/ano		
	Soja	Girassol	Car. algodão	Soja	Girassol	Car. algodão	Soja	Girassol	Car. algodão
Matéria-prima a custos da produção agrícola									
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	2.061,45	1.962,08	947,62	1.920,10	1.821,81	817,95	1.839,96	1.743,72	760,42
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,793	1,707	0,824	1,670	1,585	0,712	1,601	1,517	0,662
Matéria-prima a preços de mercado									
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.225,73	2.698,83	947,62	1.093,14	2.550,82	817,95	1.029,95	2.457,74	760,42
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,066	2,348	0,824	0,951	2,219	0,712	0,896	2,138	0,662

Nota: assume-se lucro zero por parte da indústria integrada.
Fonte: Dados da pesquisa.

adquirido pela esmagadora por R\$ 25,00/sc ou menos, valor possível caso se considere a compra no mercado – em vez do custo de produção.

Assumindo os custos agrícolas da soja, numa planta de 40 mil toneladas por ano, o biodiesel custaria R\$ 1,67/litro, ao passo que, via mercado, o litro do biodiesel sairia por R\$ 0,95.

Região Norte

Seguindo a tendência observada no centro de custos da esmagadora, principalmente em virtude do baixo custo e da alta produção agrícola,

o biodiesel a partir da soja se mostrou mais competitivo. O custo do biodiesel foi estimado em R\$ 1,17/litro numa planta de 40 mil toneladas por ano. Esse valor cai para R\$ 0,90 se a matéria-prima for avaliada a preço de mercado (R\$ 28,05/sc, valor médio de junho/04 a julho/05). Ver Tabela 9.

Quanto à necessidade de matéria-prima e área de plantio, cabe destacar a grande diferença do dendê em relação à soja e às demais culturas analisadas. Para o abastecimento de uma planta de 10 mil toneladas por ano de biodiesel a partir de soja, são necessários 22.161 hectares cultivados, enquanto para o dendê, bastam 4.270 ha.

Tabela 9. Custos do biodiesel a partir de custos de produção agrícola e a preços de mercado para a produção em três escalas industriais, no Norte.

Norte – Marabá, PA	10.000 t/ano		40.000 t/ano		100.000 t/ano	
	Soja	Dendê	Soja	Dendê	Soja	Dendê
Matéria-prima a custos da produção agrícola						
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.476,09	1.550,75	1.340,88	1.414,83	1.272,62	1.345,16
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,284	1,349	1,167	1,231	1,107	1,170
Matéria-prima a preços de mercado						
Custos do biodiesel – PVU em R\$/t	1.168,33	1.659,41	1.036,34	1.522,35	974,33	1.450,48
Custos do biodiesel – PVU em R\$/L	1,016	1,444	0,902	1,324	0,848	1,262

Nota: assume-se lucro zero por parte da indústria integrada.
Fonte: Dados da pesquisa.

Resumo dos resultados finais

As Fig. 2 e 3 resumem os custos de produção em unidades industriais de 40 mil toneladas por ano. Os valores apresentados foram obtidos em cálculos que consideraram a inserção de matéria-prima agrícola a custo de produção, o qual inclui arrendamento da terra, e, nas etapas industriais, assumiu-se a possibilidade de venda do álcool hidratado resultante do processamento do biodiesel – sem coluna de desidratação, portanto.

Algumas simulações aqui apresentadas apontaram que, ao se desconsiderar o arrendamento da terra no custo da produção agrícola, o custo final do biodiesel na usina (PVU) – sem considerar subprodutos – fica em média 8% menor, nas plantas de 40 mil toneladas por ano. Ao se instalar coluna de desidratação do álcool, também ocorre redução dos custos: em média, de 12% nas plantas de 40 mil toneladas por ano.

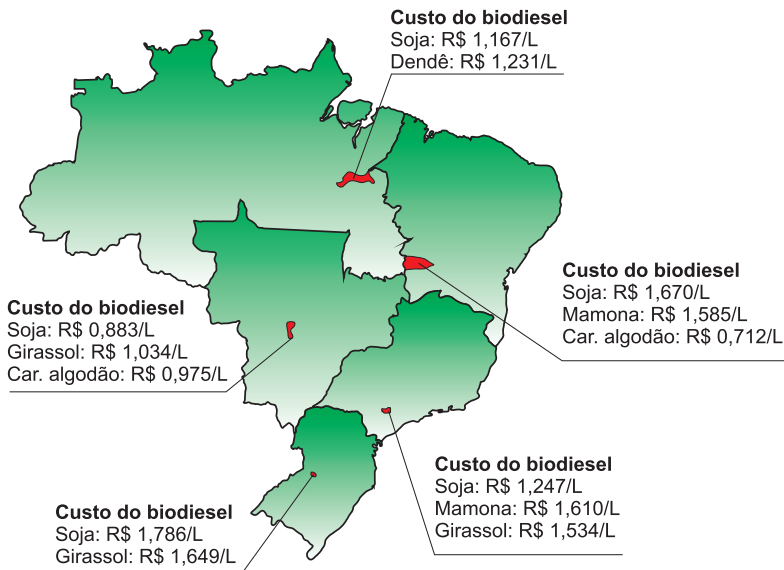


Fig. 2. Biodiesel a partir de matéria-prima agrícola a custo de produção agrícola (com arrendamento) em planta de 40 mil toneladas por ano – Safra 2004–2005.

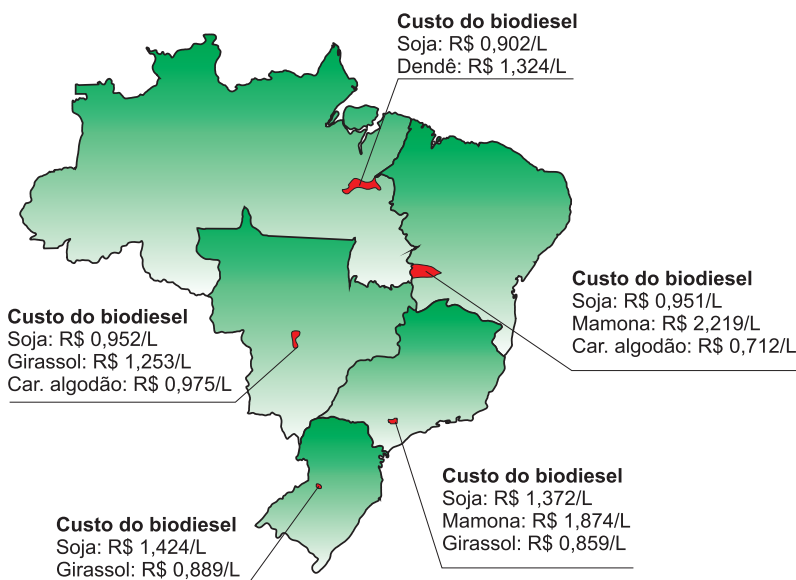


Fig. 3. Biodiesel a partir de matéria-prima agrícola comprada no mercado em planta de 40 mil toneladas por ano – Safra 2004–2005.

Considerações finais

Este trabalho objetivou servir de referência de custos de produção do biodiesel a partir de seis matérias-primas agrícolas – soja, girassol, amendoim, mamona, dendê e caroço de algodão – nas cinco macrorregiões do País. Reconhecem-se algumas limitações inerentes a essa abrangência, mas destaca-se também o pioneirismo de se calcular os custos do biodiesel em todo o País e a importância desses valores como parâmetros para políticas do setor.

Uma das dificuldades para a efetivação do trabalho foi a obtenção de dados de campo sobre custos de produção e produtividade de mamona e dendê. Como alternativa, baseou-se em números da literatura especializada e em informações coletadas com agentes do setor. Também as informações industriais de extração do óleo de dendê, bem como do seu processamento em biodiesel, se deram a partir de estimativas, elaboradas pela Dedini S/A.

Cita-se que não foi incluída no escopo deste trabalho análise dos impactos intersetoriais e inter-regionais que decorreriam da instalação de uma usina de biodiesel. Para avaliação desses impactos, recomenda-se análise de equilíbrio geral.

Não se procedeu tampouco a uma análise do custo financeiro do capital investido, para verificar a viabilidade e longevidade do negócio de biodiesel. Tais limitações podem ser superadas em próximas pesquisas, que aprimorariam orientações a agentes da iniciativa privada e do governo, sobretudo para a condução de investimentos e definição de regras do Programa Nacional de Biocombustível.

Os custos de produção agrícolas apontados podem estar um pouco acima do efetivo dos produtores de algumas regiões pelo fato de os preços dos insumos computados terem sido levantados em lojas agropecuárias, ao passo que alguns produtores conseguem valores menores ao serem comprados em grandes quantidades.

Quanto aos preços de mercado, observa-se que, para conferir máxima atualidade ao estudo, optou-se por trabalhar com valores referentes

à média de junho de 2004 a julho de 2005, período de cotações baixas, especialmente da soja e do algodão. Ressalta-se, portanto, que os resultados que se apresentam são condicionados aos preços médios desse período, em específico. Ante essa delimitação temporária, foram feitos cálculos, para o caso da soja, considerando-se também o preço médio desse grão nos últimos 5 anos – desde janeiro de 2000 – nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Nesse caso, o custo do biodiesel mostrou-se menor em todas as unidades e regiões pesquisadas, ou seja, o biodiesel gerado à base de soja imputada com preço médio de janeiro/2000 a julho/2005 ficou 3,19% mais barato que o obtido com o grão a preço da safra 2004–2005.

Neste estudo considerou-se a possibilidade de a usina de biodiesel poder comercializar o álcool hidratado resultante do processo, apesar de ser sabido que essa operação, por enquanto, não está regulamentada. Por esse motivo, foram feitos cálculos também levando em conta a alternativa técnica de instalação adicional na indústria de biodiesel de coluna de desidratação do álcool (subproduto). Dados os investimentos necessários para esse equipamento, ele foi considerado somente em plantas de 40 mil e 100 mil toneladas por ano.

Ao se trabalhar com coluna de desidratação de álcool, diminui a quantidade do insumo álcool anidro outros fins imputado no início do processo de biodiesel, mas é intensificado o uso de energia elétrica e mão-de-obra, além de ser necessário mais capital investido. Analisando apenas o impacto sobre os custos do biodiesel, constata-se que, com a coluna, eles diminuem por volta de 4%. Apesar dessas diminuições, os cálculos aqui executados não são suficientes para recomendar a viabilidade econômica do uso de coluna de desidratação.

Paralelamente à análise de custos do biodiesel, interessados nesse mercado devem analisar também a disponibilidade de matéria-prima, levando em conta sobretudo a competição com outros mercados que enfrentará, inclusive com a própria alimentação humana.

Isso implica um alto custo de oportunidade do óleo como fonte de matéria-prima para o

biodiesel. No caso do óleo de mamona, seu preço no mercado internacional foi de US\$ 1.091/t na média de junho/04 a julho/05, ou seja, cerca de R\$ 2.980,00 a tonelada (câmbio considerado: R\$ 2,73/US\$ – média do mesmo período). Segundo a Conab, o preço de paridade de importação desse óleo em julho de 2005 foi de US\$ 916,09/t (R\$ 2.160/t; câmbio médio do período: R\$ 2,36/US\$). Valores que deixariam o biodiesel, na porta da usina, a valores superiores a R\$ 2,35/L.

Outro custo que não pode ser esquecido, na análise da planta integrada, é o administrativo, que envolve desde a mão-de-obra especializada até a infra-estrutura utilizada, que deve estar de acordo com o negócio. Contudo, neste trabalho, não foram avaliados tais dispêndios. Da mesma forma não estão incluídos cálculos de viabilidade econômico-financeira do projeto. Na verdade, foi levado em conta basicamente o custo de produção operacional do biodiesel, em diferentes escalas de produção para as regiões e matérias-primas previamente selecionadas para o trabalho.

A consideração da estrutura integrada desde a agricultura tida como estratégica para o abastecimento da indústria de biodiesel deve pesar também nos custos administrativos de uma estrutura com tamanha verticalização e o montante de capital investido – instalações e fluxo de caixa.

A planta de 40 mil toneladas por ano é a que apresentou a melhor relação custo/benefício, dado que obtém significativo ganho perante a unidade de 10 mil, mas não muito expressivos ao ser comparada à de 100 mil, que requer capital e volume de matéria-prima muito maiores, além da ampliação dos riscos.

Nos casos da soja no Sul, Nordeste e Norte, e do girassol, no Sul e Sudeste, a aquisição da matéria-prima se mostrou mais viável a preços de mercado – análise condicionada à safra 2004–2005. Mesmo assim, seria importante considerar uma integração ao menos parcial com a agricul-

tura, tendo em vista sobretudo a grande facilidade de comercialização das matérias-primas elencadas neste trabalho para outras finalidades. No mercado de soja, por exemplo, não são raros os casos de rompimento de contratos com produtores. Negociações via cooperativas podem ser uma alternativa para diminuir esses riscos e custos.

Quanto ao aspecto ambiental, chama atenção o volume de farelo/torta gerado no processo de esmagamento. Uma avaliação mais precisa da alocação desses “subprodutos”, especialmente da torta de mamona, ainda deve ser feita, tanto pelo lado ambiental como pelo econômico.

Referências

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia aplicada. **Indicadores de preços**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 15 ago. 2005.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras 1990/91 a 2004/05** – Séries Históricas. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso: 26 set. 2005.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Disponível em: <<http://www.cpatu.embrapa.br>>. Acesso: 20 ago. 2005.

FERRARI, R. V. Girassol está invadindo. **Bunge no Campo**, Ano 1, n. 5, p. 2-3, jul. 2004. Disponível em: <<http://www.bunge.com.br/shared/files/campo/BNC5.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 18 ago. 2005.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). **Preços agrícolas**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2005.

DEBLITZ, C. **The International farm comparison network (IFCN): bridging the gap between farmers, science and policy**. Federal Agricultural Research Centre (FAL) Disponível em: <<http://www.macauley.ac.uk/elpen/work2/cdsab.html>>. Acesso em: 10 ago 2005.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Preço**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/seab>>. Acesso em: 14 ago. 2005.

UNICAMP. Universidade estadual de Campinas. Centro de Pesquisa Meteorológica e Climática Aplicada a Agricultura (Cepagri). **Zoneamento agrícola Brasil**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/zonbrasil>>. Acesso em: 14 ago. 2005.

Etanol, meio ambiente e tecnologia

Reflexões sobre a experiência brasileira

Alexandre Betinardi Strapasson¹
Luís Carlos Mavignier de Araújo Job²

Resumo: O trabalho apresenta uma breve reflexão sobre os principais aspectos ambientais e tecnológicos da experiência brasileira voltada à produção e ao uso de etanol a partir da cana-de-açúcar. Ao se analisar toda a cadeia produtiva do etanol, observa-se que o aproveitamento estratégico de todos os subprodutos da cana-de-açúcar é condição essencial para a sustentabilidade do processo produtivo. Por sua vez, a queima da cana-de-açúcar para colheita e a expansão da monocultura canavieira são fatores que requerem maior atenção. O trabalho demonstra que a produção de etanol de cana-de-açúcar contribui para a sustentabilidade ambiental e que seu uso como combustível renovável é favorável em relação aos combustíveis fósseis.

Palavras-chave: álcool, cana-de-açúcar, meio ambiente, energia.

Abstract: The purpose of this paper was to present a reflection about the main environmental and technological aspects of producing and consuming ethanol from sugar cane in Brazil. By analyzing the whole production processes of ethanol from sugar cane it became clear that the strategic use of byproducts is essential for the sustainability of the production chain. On the other hand, the burning of the sugar cane before harvesting and the expansion of the cane monoculture are still two issues that need to be addressed. The paper demonstrates that ethanol production from sugar cane contributes to the environment sustainability and that the use of this renewable fuel is favorable regarding fossil fuels.

Key-words: ethanol, sugar cane, environment, energy.

Introdução

A iminente escassez do petróleo anuncia para as próximas décadas tem impulsionado o crescimento de diversas fontes de energias renováveis no mundo, tais como: a biomassa, o hidrogênio e as energias solar e eólica. Em 2005, o consumo mundial de petróleo foi de 81,1 milhões de barris/dia e o total de reservas provadas

de 1.201 bilhões de barris, ou seja, considerando-se a relação reservas/produção, haveria petróleo somente para os próximos 40,6 anos (BRITISH PETROLEUM, 2006). Contudo, em uma análise mais precisa, é necessário também se relevar outros fatores, dentre eles: aumento da participação de outras fontes de energia na matriz energética mundial; descobrimento de novas reservas; aumento ou redução do consumo de pe-

¹ Coordenador-geral de Açúcar e Álcool - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Esplanada dos Ministérios, bloco D, sala 724; alexandrestrapasson@agricultura.gov.br

² Gestor Governamental - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Esplanada dos Ministérios, bloco D, sala 734; luisjob@agricultura.gov.br

tróleo nos próximos anos; contratos de compra e venda; custos de extração; preços de revenda; conflitos internacionais; limitações de logística; crescimento da economia mundial; compromissos ambientais; avanços tecnológicos; eficiência energética; e o reaproveitamento de campos antigos com o uso de novas tecnologias.

Na prática, é difícil precisar qual será a real sobrevida do petróleo, mas seja ela 40, 60 ou 100 anos, aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética mundial torna-se necessário e urgente. É possível que algumas reservas específicas sejam até mesmo preservadas no futuro, caso seu custo de exploração for muito acentuado, ou em virtude de restrições ambientais, como as mudanças climáticas.

No caso do Brasil, as reservas totais recuperáveis de petróleo somam cerca de 24 bilhões de barris. Estudo desenvolvido por Ferreira (2005) estima que o pico da produção ocorrerá em 2011, o que possibilitaria uma auto-suficiência entre 8 e 13 anos, segundo modelagem matemática amparada em “Curva de Hubbert”.

Do total do consumo mundial de petróleo, cerca de 50% é destinado ao setor de transportes, onde o petróleo é responsável por mais de 95% da demanda energética (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2004). O cenário torna-se ainda mais crítico ao se observar que a demanda mundial de petróleo tende a crescer até 2030, inclusive no setor de transportes, sobretudo em países em desenvolvimento como China e Índia (FULTON, 2004). Portanto, encontrar fontes complementares e substitutas à gasolina e ao diesel é uma questão de segurança e de estratégia global.

Como a frota mundial de veículos utiliza basicamente combustíveis líquidos e sua renovação é lenta e gradual, os biocombustíveis tornam-se os substitutos naturais dos combustíveis fósseis, em um período de transição global de motores convencionais, Ciclos Otto e Diesel, para veículos de uma nova geração tecnológica. Nesse sentido, o etanol tem se mostrado como um dos produtos mais viáveis e estratégicos para esse processo de transição, podendo eventualmente também integrar tecnologias futuras em longo prazo.

Com o aumento das preocupações ambientais, o etanol reúne vantagens significativas em relação aos combustíveis fósseis, em especial à gasolina, nos três pilares que compõem o desenvolvimento sustentável, quais sejam: ambiental, social e econômico.

O Brasil é líder na produção e consumo de biocombustíveis em larga escala. Na área do etanol são mais de 30 anos de experiência comercial. Na última safra de cana-de-açúcar, 2005–2006, foram colhidas 426 milhões de toneladas, sendo 384 milhões de toneladas destinadas à produção de açúcar e álcool e o restante para outros usos, como ração animal, produção de cachaça e mudas para formação de novo canavial. Foram produzidos 15,8 milhões de metros cúbicos de etanol, sendo 7,7 milhões de metros cúbicos de álcool anidro (misturado à gasolina) e 8,1 milhões de metros cúbicos de álcool hidratado. Desse total, 13,5 Mm³ foram destinados ao mercado interno, a outra parte foi exportada e uma pequena parcela incorporada a estoques de passagem. No entanto, a tendência é que o Brasil amplie tanto o seu consumo interno de etanol quanto a sua capacidade de exportação, a exemplo do que já vem ocorrendo nos últimos anos. A idéia é transformar o etanol em uma grande commodity internacional, em cooperação com outros países.

Nesse sentido, o governo federal lançou, em 2005, o Plano Nacional da Agroenergia (BRASIL, 2005a), coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a fim de expandir ainda mais a produção de biocombustíveis no Brasil, de forma planejada e sustentável. A agroenergia consiste na produção agrícola de biomassa voltada à geração de energia, merecendo destaque o etanol, o biodiesel, as florestas energéticas plantadas e o aproveitamento de resíduos agrossilvipastoris. O plano prevê crescimento da participação dessas fontes de energia na matriz energética nacional, especialmente o etanol, um produto já consolidado e economicamente viável.

A agroenergia representa um novo paradigma para a energia e agricultura mundiais,

podendo ser produzida em quase todos os países do globo, sejam eles desenvolvidos ou em desenvolvimento, com relevante potencial de redução da dependência internacional de petróleo. Portanto, a agroenergia contribui para uma maior distribuição de renda entre os países, bem como para a redução de conflitos internacionais ligados à energia, em harmonia com o desenvolvimento sustentável e a geração de empregos, principalmente no meio rural.

O presente trabalho não é exaustivo, devendo ser resguardadas as devidas limitações das análises apresentadas. Trata-se de uma simples consolidação de informações sobre os principais aspectos ambientais e tecnológicos relacionados à agroindústria canavieira, a fim de dar elementos a uma reflexão sistêmica sobre o etanol. Não foi intenção realizar uma análise científica ou conceitual sobre o tema, bem como sobrepor discussões de ordem política ou econômica.

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi realizar uma breve reflexão sobre os principais aspectos ambientais e tecnológicos relacionados à cadeia produtiva do etanol no Brasil, bem como das limitações e potencialidades à expansão sustentável da agroindústria canavieira.

Etanol, meio ambiente e tecnologia

A seguir, são apresentadas as principais vantagens e desvantagens ambientais relacionadas à produção e ao consumo de etanol em larga escala, assim como os aspectos tecnológicos envolvidos em suas três principais fases: agrícola; industrial; distribuição e consumo.

Fase agrícola

O etanol proveniente da cana-de-açúcar se diferencia pelo seu reduzido impacto ambiental em relação às fontes fósseis de energia. Inicialmente, cabe salientiar que qualquer forma de agri-

cultura apresenta algum impacto ambiental, haja vista sua interferência na dinâmica natural da biodiversidade local. Contudo, isso não invalida seu uso estratégico e sustentável. Utilizando-se práticas adequadas de manejo e respeitando-se critérios ambientais específicos para cada cultura e região, pode-se reduzir muito os possíveis impactos ambientais gerados e garantir a sustentabilidade do meio às gerações futuras.

A produção de cana-de-açúcar, quando feita sob orientação agrônômica, protege o solo contra a erosão, melhorando sua conservação. Por ser uma gramínea cultivada em regime adensado, o solo não se torna exposto após o desenvolvimento da lavoura, especialmente em virtude da sua elevada taxa de crescimento, típica de plantas do tipo C4, característica relacionada à eficiência fotossintética. Mesmo depois da colheita, desde que não haja utilização de queimada, o solo permanece protegido da erosão, pois praticamente toda a palha é deixada sobre o solo, cobrindo-o parcial ou totalmente, dependendo da técnica utilizada. Esse material contribui para a melhoria da quantidade de matéria orgânica do solo, com reflexos positivos sobre o balanço de nutrientes e para a microbiologia pedológica. Conforme Bertoni et al. (1972), as perdas de solo são da ordem de 12,5 t/ha/ano, sendo bastante inferiores às da soja, algodão, feijão, mamona, dentre outras culturas.

A presença da palha no campo também reduz a incidência de energia luminosa sobre o solo, inibindo o processo de fotossíntese e a germinação de algumas plantas daninhas, presentes no banco de sementes do solo. Mesmo as plantas que não respondem ao estímulo luminoso para quebra de dormência do processo germinativo, sem haver fotossíntese, não há energia suficiente para transpor a cobertura vegetal somente com as reservas energéticas da semente, com exceção de algumas espécies. No caso da cana-de-açúcar, as reservas acumuladas nas raízes e no colmo do tolete, além de possibilitarem a rebrota natural da cana, viabilizam a transposição da cobertura vegetal. Em média, faz-se 5 cortes da cana, o primeiro (cana-planta) aos 15-18 meses e os posteriores (cana-soca) a cada 12 meses, o que evita o revolvimento do solo até a renovação completa do canavial.

Por sua vez, a utilização de queimadas, como técnica de eliminação da palha para facilitar o processo de colheita manual ou mecânica, elimina quase a totalidade dos resíduos agrícolas que ficariam sobre o solo. Entretanto, a colheita de cana crua, sem queima, reduz significativamente a eficiência do corte manual de cana e aumenta os riscos de acidentes de trabalho. Com isso, observa-se que a proibição da queimada tem estimulado o avanço da colheita mecânica, gerando ganhos ambientais, mas também a redução de empregos no campo. Em média, cada colhedora de cana substitui cerca de 70 trabalhadores.

Com base em dados históricos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), estima-se que o setor sucroalcooleiro gere atualmente cerca de um milhão de empregos formais diretos no Brasil. A maior parte se refere a trabalhadores rurais contratados para a execução de atividades de corte e manejo da cana, em período de colheita, possuindo baixo nível de escolaridade e qualificação profissional. Apesar disso, a remuneração média, em geral, é superior à obtida em atividades similares no meio rural. O desafio é ampliar o nível de formalização da mão-de-obra, bem como dar melhores condições de vida aos cortadores de cana. Destaca-se, porém, que o setor sucroalcooleiro, assim como organizações não-governamentais, Ministério Público e Poder Executivo, tem obtido avanços significativos nesse sentido nos últimos anos, embora muito ainda precise ser feito, especialmente em termos de conscientização e ética empresarial.

No que se refere ao aspecto ambiental, a queima gera ainda intensa carga poluente na atmosfera, com impactos diretos sobre a população de cidades próximas aos canaviais, sobretudo problemas ligados ao trato respiratório. Os principais poluentes atmosféricos gerados são: óxidos de nitrogênio (NOx) e enxofre (SOx); monóxido de carbono (CO); compostos aromáticos; materiais particulados; e hidrocarbonetos. Alguns poluentes ainda são precursores de ozônio troposférico quando expostos à radiação solar.

Quanto aos óxidos de nitrogênio e enxofre, além de seu impacto direto sobre a saúde humana, ao reagirem com a umidade atmosférica, são convertidos em ácidos, que podem ser arrastados

a longas distâncias de seu local de origem, antes de serem depositados na forma de chuva. Por conseguinte, a então “chuva ácida” pode ocasionar a acidificação de rios e lagoas, a corrosão de estruturas, bem como prejudicar a agricultura e a dinâmica natural do meio ambiente. A queima da palha também gera a emissão de aerossóis, que ao serem transportados à alta atmosfera podem interferir no equilíbrio do sistema climático, até mesmo em longas distâncias. Ademais, o uso do fogo afeta a biodiversidade local, especialmente ao eliminar predadores naturais de espécies indesejáveis à produção agrícola.

No Estado de São Paulo, foi instituída a Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, que estabelece a proibição gradativa da queima de cana-de-açúcar. Segundo a mencionada Lei, após 2021, não poderá haver mais queimadas em áreas mecanizáveis e, após 2031, também em áreas não-mecanizáveis. Em ambos os casos, a eliminação das queimadas deverá atender a um calendário de redução gradual até os prazos mencionados acima.

Medidas similares têm sido estudadas por outros estados, contudo, observa-se que há uma tendência natural de expansão da colheita mecânica, sem prática de queima, tanto em áreas antigas quanto em áreas de expansão. A maior dificuldade para se reduzir a utilização da queima controlada se dá em áreas com declividade superior a 12%, onde a colheita mecânica torna-se limitada, prevalecendo, portanto, o corte manual. No entanto, novas colhedoras já estão sendo desenvolvidas para trabalhar em áreas de maior declividade.

No âmbito nacional, o Decreto Federal nº 2.661, de 8 de julho de 1998, que regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, conhecida como Código Florestal, estabelece normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agrossilvipastoris, porém não estabelece regulamentação específica para a cana-de-açúcar nesse sentido.

Outro problema ambiental que pode ser observado na fase agrícola é a compactação de solo, desde que não aplicadas técnicas agronômicas adequadas. O intenso fluxo de maquinário pesado no processo de plantio e colheita pode

ocasionar a compactação do solo, podendo ser mitigada com aração profunda ou até subsolagem, em casos extremos. Contribuem para a redução desse tipo de impacto a utilização de maquinários mais leves e modernos, com rodados especiais, bem como a rotação de cultura e a manutenção da palha no solo.

A rotação de cultura também contribui para um maior equilíbrio da biologia do solo, evitando a excessiva pressão de seleção sobre a biodiversidade local e, conseqüentemente, o surgimento intenso de pragas e doenças. Além disso, com plantas leguminosas, a rotação de cultura promove a fixação de nitrogênio no solo, através da simbiose entre bactérias e o sistema radicular desses vegetais.

Quanto à utilização de agrotóxicos, a cana-de-açúcar requer poucas aplicações, em relação a outras culturas de produção extensiva, em razão de sua robustez e adaptação às condições edafoclimáticas em que são cultivadas no Brasil. Os herbicidas são o grupo mais utilizado. O consumo de inseticidas é relativamente baixo, sendo quase nulo o de fungicidas. Além disso, muitos produtores já utilizam controle biológico em escala comercial. A produção orgânica também tem aumentado, em face do crescimento do mercado de açúcar orgânico, tanto no Brasil quanto no exterior.

Em áreas de declividade acentuada, indica-se a prática de terraceamento, a fim de se evitar perdas de solo e assoreamento de recursos hídricos. No caso de áreas de alta declividade e topos de morro, recomenda-se a manutenção de floresta nativa ou o plantio de espécies perenes, sob amparo da legislação ambiental vigente. A proteção de mata ciliar na bordadura dos recursos hídricos e a manutenção de reserva legal na área rural são obrigatórias por força de lei. É fundamental que as áreas protegidas estejam conectadas umas às outras, formando os chamados “corredores ecológicos”, contribuindo para a migração e reprodução das espécies locais, especialmente das endêmicas. O Brasil possui uma das legislações ambientais mais rigorosas do mundo, porém ainda precisa avançar mais em atividades de fiscalização, controle, monitoramento e educação ambiental.

A despeito das limitações e dos problemas descritos, observa-se que o plantio de cana-de-açúcar tem ocorrido em áreas tradicionalmente cultivadas com a mesma, como a Região da Zona da Mata Nordestina, ou em áreas anteriormente ocupadas com pecuária extensiva e culturas como soja, milho, laranja e café, a exemplo da Região Centro-Sul do Brasil. Portanto, raramente a cana-de-açúcar se encontra em áreas de fronteira agrícola. A principal razão para isso é que a cana, no caso do Brasil, é cultivada em um raio de aproximadamente 30–40 quilômetros ao redor da usina receptora, em virtude do crescente custo de transporte para colheita em distâncias maiores. Por sua vez, a usina requer condições adequadas de logística para escoamento da produção, optando por áreas com infra-estrutura já instalada e proximidade a portos e centros consumidores. Dessa forma, as novas unidades industriais têm buscado se instalar justamente em áreas com essas características, além da presença de condições edafoclimáticas adequadas.

No caso da Região Amazônica, observa-se uma condição bastante precária em termos de logística, além de grande distância aos grandes centros consumidores, o que implica maiores custos de transporte. Ademais, as variedades de cana atuais não são adaptadas às condições de clima amazônico. O ciclo fenológico da cana requer um período de estresse hídrico para inibição de seu crescimento e concentração de sacarose, o que não ocorre na Amazônia, em função do regime de chuvas regulares ao longo do ano. Com isso, a cana-de-açúcar cresce em demasiado, mas acumula pouca sacarose em seu colmo. Portanto, atualmente a Região Amazônica não tem sido alvo da expansão da agricultura canavieira, mas sim áreas já ocupadas com agricultura e pastagem ou em áreas degradadas, nas Regiões Centro-Sul e Nordeste, com destaque para o oeste paulista, triângulo mineiro e sul de Goiás.

O grande desafio para contenção do desmatamento da Amazônia é a redução da expansão desregulada da pecuária extensiva e a exploração ilegal de madeira, dando outras oportunidades para o desenvolvimento sustentável da região. Nesse sentido, o governo federal tem ob-

tido resultados expressivos nos últimos anos, ao reduzir em mais de 60% a taxa de desmatamento, no acumulado de 2005 e 2006, embora muito ainda se precise avançar.

A Embrapa estima haver cerca de 90 milhões de hectare disponíveis para expansão da agricultura no Brasil, que possui um território total de 852 milhões de hectares. A atual área plantada com cana-de-açúcar é pouco superior a 6 milhões de hectares (safra 2005–2006), ou seja, menos de 1% do território nacional. Ademais, mais de 30 milhões de hectares ocupados com pastagens extensivas subaproveitadas poderão ser liberados nos próximos anos para exercício de outras atividades agrícolas, sem prejuízo às produções de carne e leite, fato já constatado para o Estado de São Paulo.

Sendo assim, no Brasil, em curto e médio prazos, a agroenergia não necessariamente concorrerá com a agricultura de alimentos. Além disso, no caso da cana-de-açúcar, há ainda uma produção consorciada de energia e alimento. No entanto, em âmbito mundial, essa é uma discussão estratégica, especialmente no que se refere a países do Sudeste Asiático, Oceania, América do Norte e Europa, onde quase não há mais novas fronteiras agrícolas, e as demandas por energia e alimentos são crescentes. A utilização energética da biomassa precisa ser vista dentro de um conceito maior. Nesse novo paradigma energético, deve-se buscar uma Civilização das Energias Renováveis e não somente da biomassa.

Embora ainda existam grandes áreas para a expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil, no caso do Estado de São Paulo, responsável por cerca de 62% da produção nacional de cana-de-açúcar, e em algumas regiões dos Estados do Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, a expansão canavieira gera certa preocupação, pelo excesso de monocultura intensiva em determinadas áreas, fato também observado na Região da Zona da Mata Nordestina, sobretudo nos Estados de Pernambuco, Alagoas e Paraíba (CANASAT, 2006).

Além da cana-de-açúcar, a produção de etanol pode ser feita por meio de outras culturas, tais como: mandioca, milho, sorgo, trigo e beterraba. Logo após a criação do Programa Nacional do Álcool (Proalcool), em 1975, foram estimula-

das a produção de etanol de várias matérias-primas. No entanto, observou-se que a cana-de-açúcar apresentava melhor produtividade agrícola e rendimento industrial dentre as demais. Embora alguns países produzam álcool de outras fontes, é o caso do milho nos EUA e do trigo em países da União Européia, a eficiência energética da cana-de-açúcar é sensivelmente superior em relação às demais culturas (Tabela 1), sobretudo em virtude da utilização de seus próprios resíduos no processo produtivo.

Tabela 1. Eficiência energética de diferentes matérias-primas utilizadas na produção de etanol.

Matéria-prima para a produção de etanol	Balanco energético (output/input)
Trigo ⁽¹⁾	1,2
Milho (EUA) ⁽¹⁾	1,3 - 1,8
Beterraba (UE) ⁽¹⁾	1,9
Cana-de-açúcar (Brasil) ⁽²⁾	8,3

⁽¹⁾ F. O. Licht (2004).

⁽²⁾ Macedo (2005).

A eficiência energética da produção de etanol de cana-de-açúcar pode avançar ainda mais, sobretudo ao se considerar potenciais avanços em melhoramento genético e biotecnologia, bem como a extração de álcool do bagaço de cana (ex: hidrólise lignocelulósica), o melhor aproveitamento da palha, a utilização de equipamentos e processos mais eficientes para a conversão de energia, e o melhor aproveitamento de resíduos industriais.

Atualmente, extraem-se, em média, cerca de 6.500 litros de etanol por hectare. Para se produzir 1 bilhão de litros de etanol, são necessários aproximadamente 200 mil hectares, já incluindo as áreas para produção de mudas e as de renovação dos canaviais. Esses rendimentos tendem a crescer nos próximos anos, com a adoção de melhores práticas de manejo e utilização de novas tecnologias.

Fase industrial

A industrialização da cana-de-açúcar gera grandes quantidades de resíduos. Quando esses não recebem tratamento adequado, podem ocasionar sérios danos ambientais. No entanto, com

o desenvolvimento de pesquisas e a crescente preocupação ambiental, o gerenciamento de resíduos da cana-de-açúcar tem avançado muito. Os dois principais resíduos da produção canavieira, o bagaço e a vinhaça, ou vinhoto, se tornaram grandes aliados do processo produtivo como um todo. O aproveitamento desses resíduos é condição essencial para se garantir uma produção sustentável de cana-de-açúcar e etanol.

Da massa total de cana colhida, cerca de um terço se refere à palha deixada sobre o solo ou então queimada no processo de colheita, o outro um terço, ao caldo que será destinado à produção de açúcar e álcool, e um terço final, ao bagaço, resíduo sólido resultante da moagem da cana no primeiro estágio do processo industrial (HASSUANI et al., 2005).

No caso do caldo, após seu aproveitamento industrial, resta um efluente líquido como resíduo, a vinhaça. Durante décadas, a vinhaça foi descartada indevidamente sobre o solo e recursos hídricos nas proximidades das usinas. Dada a sua elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o despejo indevido de vinhaça em recursos hídricos ocasionava drástica redução da vida aeróbia, além de ocasionar eutrofização pelo excesso de nutrientes. Contudo, atualmente, a vinhaça é aplicada sobre o solo de forma controlada, como um fertilizante orgânico, deixando de ser um produto indesejável. Normalmente, aplica-se a vinhaça nas próprias áreas colhidas, localizadas nas proximidades das usinas, por meio de sistemas de irrigação por bombeamento ou canal. Deve-se evitar a aplicação concentrada em uma mesma área, para que não haja excesso

de nutrientes e a eventual contaminação de lençol freático em áreas saturadas.

A vinhaça é um composto rico em macro e micronutrientes necessários ao crescimento vegetal, com destaque para o potássio (K_2O). Como a maioria das regiões cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil apresenta solos deficientes em potássio, reduz-se a necessidade de adubação química e os custos de produção, internalizando ao processo produtivo o que antes era uma externalidade ambiental.

A vinhaça também pode ser fermentada em biorreatores que, por intermédio da decomposição anaeróbia, produz gás metano, mas sem reduzir significativamente a concentração de nutrientes presentes na vinhaça, mantendo assim seu uso como fertilizante, conforme apresentado na Tabela 2. Dentre os possíveis usos desse biogás, destaca-se a sua utilização como fonte de energia adicional ao próprio sistema industrial, podendo também ser convertido na forma de energia elétrica, passível de ser exportada ao sistema elétrico interligado.

Há também estudos em desenvolvimento voltados à concentração da vinhaça, transformando-a em um novo produto comercial, de fácil transporte, o qual poderia ser tanto utilizado como fertilizante agrícola quanto comercializado para outros fins na indústria química. Embora o Brasil tenha equacionado o problema da vinhaça, ela ainda é um resíduo indesejável em vários países, especialmente naqueles que produzem cana em pequenas áreas, muitas vezes distantes das unidades industriais. O maior desafio para avanço

Tabela 2. Concentração dos principais compostos da vinhaça, antes e após a biodigestão.

Parâmetro	Unidade	Bruto	Sedimentado	Digerido	% de remoção
STS	g/L	20	6	0,3	98
DQO	g/L	25	22	4	84
DBO	g/L	12	10	0,5	96
pH	-	3,5	3,5	7	-
Alc	meq/L	-80	-80	40	-
AGV	meq/L	120	120	2,5	98
N	mg/L	250	250	230	8
P	mg/L	200	200	190	5
K	mg/L	1.000	1.000	1.000	1
Temperatura	°C	95	30	30	-

Fonte: Haandel e Lier (2006).

comercial dessa tecnologia está na demanda de energia necessária para desidratação da vinhaça, que pode ser equacionado com fontes energéticas do próprio processo produtivo, como o bagaço de cana.

Da mesma forma que a vinhaça, o bagaço de cana não era devidamente aproveitado décadas atrás. Atualmente, o bagaço é utilizado para produção de energia – térmica, mecânica e elétrica – necessária à fabricação de açúcar e álcool e à manutenção das demais atividades das usinas, tornando-as auto-suficientes e, em muitos casos, até mesmo exportadoras de energia elétrica ao sistema elétrico interligado. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005b), os produtos resultantes da cana representam 15,4% da matriz energética brasileira, em termos de produção de energia primária. O bagaço de cana-de-açúcar é responsável por 1,8% da energia elétrica ofertada no País, considerando a eletricidade consumida pelas próprias usinas, que em média chega a 80% do total gerado.

A despeito da magnitude da geração atual, há um potencial não aproveitado muito superior a essa capacidade, haja vista a utilização recorrente de sistemas e equipamentos obsoletos. Estudo desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) (Projeto BRA96/G31) e coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (HASSUANI et al., 2005), estima um potencial adicional de geração de energia da ordem de 700 MW a 12 mil MW, dependendo da tecnologia utilizada, considerando-se desde caldeiras convencionais a vapor de 22bar/300°C, até tecnologias de Gaseificação de Biomassa Integrada a Turbinas a Gás (BIG-GT, sigla em inglês), incluindo a utilização parcial de palha. Os mesmos autores avaliam que cerca de 50% da palha deixada sobre o solo após a colheita da cana poderia ser destinada à produção adicional de energia, sem ônus à produção final de cana. A quantidade remanescente no campo seria suficiente para garantir os mencionados benefícios da presença da palha sobre o solo. O desafio está em viabilizar o custo de transporte da palha até a usina, dada sua baixa densidade volumétrica. A atual capacidade instalada de energia tende a au-

mentar ainda mais com a construção de novas unidades industriais já em curso e em previsão.

Outros usos têm sido pesquisados para o bagaço e a palha de cana-de-açúcar, como a extração de álcool de celulose, bem como a obtenção de outros produtos químicos, como o bioóleo e compostos para a indústria química. Essas tecnologias possibilitarão aumentar ainda mais a eficiência energética da cana-de-açúcar.

Os demais subprodutos do processo industrial, como a torta de filtro e os resíduos de levedura, também possuem valor comercial. A torta de filtro é utilizada como adubo orgânico no próprio canavial. Já os resíduos de levedura possuem alto valor protéico e são normalmente utilizados para alimentação animal, em misturas à ração. O dióxido de carbono (CO₂) resultante do processo de fermentação alcoólica ainda tem sido pouco utilizado, mas pode ser aproveitado para produção de “gelo seco”, na produção de refrigerantes na indústria de bebidas, ou até mesmo como substância para a indústria química, haja vista seu alto nível de pureza.

A utilização de energia renovável proveniente da agroindústria canavieira também possibilita a obtenção dos chamados “créditos de carbono”, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ao se evitar a emissão adicional de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), em relação a um cenário tendencial de linha de base, pode-se obter um certificado equivalente às emissões evitadas pelo projeto, chamado Certificado de Redução de Emissões (CER, sigla em inglês), bem como comercializá-lo no mercado internacional de carbono, seja pela sua venda direta, ou em bolsa de valores e mercados futuros.

A elaboração de um projeto de MDL requer também alguns procedimentos básicos. Inicialmente, é necessário haver uma metodologia de cálculo, para se mensurar as emissões do projeto, que deverá ser aprovada no Conselho Executivo do MDL, órgão internacional da Convenção do Clima, lotado em Bonn, Alemanha. Em seguida, prepara-se um documento intitulado Documento de Concepção do Projeto (PDD, sigla em inglês),

que juntamente com a Carta de Validação do projeto, elaborada por uma entidade credenciada junto ao mesmo conselho, chamada Entidade Operacional Designada (EOD), é submetido à aprovação da Autoridade Nacional Designada (DNA, sigla em inglês) do país hospedeiro do projeto. No caso do Brasil, essa autoridade é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, que analisará o projeto do ponto de vista de sua sustentabilidade ambiental e, se aprovado, emitirá uma Carta de Aprovação, reconhecendo também a voluntariedade do país nesse processo. Posteriormente, toda a documentação é submetida ao Conselho Executivo do MDL para registro. Uma vez registrado, o projeto passa a ser monitorado por uma segunda EOD e, após o período comprobatório das emissões reduzidas, podem-se requerer os CERs, que validam o direito a um “crédito de carbono”, calculado em dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), a ser incorporado ao balanço de emissões de gases de efeito estufa do país comprador.

No Brasil, a maioria dos projetos aprovados pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima se refere à área de agroenergia e ao aproveitamento de biogás proveniente da decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, ainda com amplo potencial de crescimento (BRASIL, 2004). Dentre os projetos de agroenergia, destaca-se a co-geração com bagaço de cana, que representa 32% dos projetos aprovados. Esses projetos normalmente pleiteiam créditos pelas emissões evitadas da não utilização de outras fontes de energia para atender às demandas da unidade industrial, por exemplo: diesel; óleo combustível; e eletricidade da rede de transmissão, que em parte provém de geração fóssil.

A despeito de a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar ser um dos principais projetos submetidos à referida Comissão Interministerial, ao se observar o número de usinas de açúcar e álcool cadastradas no País, cerca de 360 unidades, verifica-se que muito pouco ainda foi explorado. Dessa forma, observa-se mais uma contribuição ambiental da agroindústria canieira, o combate ao aumento do efeito estufa em escala global e, por conseqüência, das mudanças climáticas, maior problema ambiental global do século 21.

A título de ilustração, no caso do biogás de dejetos suínos, que representam 26% do total de projetos de MDL já aprovados, após biodigestão desse resíduo, obtêm-se como principais resultantes: o metano, que pode ser utilizado para a geração renovável de energia térmica ou elétrica; adubo orgânico; e efluente líquido de baixa DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Projetos de reflorestamento e de aproveitamento de resíduos de biomassa ainda têm sido insipientes, embora haja alguns projetos em fase inicial e um grande potencial a ser explorado.

A Fig. 1 mostra um perfil dos projetos de MDL em curso no Brasil, já aprovados pela referida Comissão, que em junho de 2006 já somavam 81 projetos, desde a ratificação do Protocolo de Kyoto, em fevereiro de 2005.

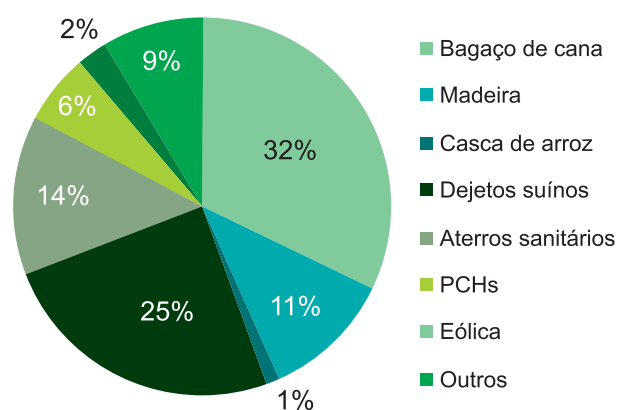


Fig. 1. Perfil dos projetos de MDL aprovados pelo governo brasileiro.
Fonte: Brasil (2006).

Outra questão importante de ser relatada na fase industrial é o potencial de uso químico ao etanol. Os preços elevados do petróleo tendem a estimular a retomada da indústria alcoolquímica, desenvolvida ainda nas décadas de 1970 e 1980, onde eram produzidos compostos como: dicloroetano, ácido acético, aldeído acético, acetato de vinila e acetato de etila. Na década de 1990 havia aproximadamente 30 produtos sendo produzidos no Brasil, com destaque para o dicloro etileno, LD polietileno, etil-benzeno, cloreto de vinila e HD polietileno (BOTO, 1988; MACEDO et al., 2005).

Distribuição e consumo

O álcool etílico é biodegradável, miscível em água, higroscópico e volátil quando exposto ao ar. Sendo assim, eventuais vazamentos ou derrames de álcool em operações de armazenamento e transporte, tanto por via terrestre ou marítima, apresentam impactos ambientais inferiores aos do petróleo e seus derivados. Ressalva feita para casos de vazamento de misturas de gasolina e álcool no solo, especialmente em postos de abastecimento, onde, por meio de “efeito de co-solubilidade”, o álcool potencializa a contaminação do lençol freático pelo combustível e a migração dos compostos mais perigosos e solúveis da gasolina, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (CORDAZZO et al., 2006).

No que se refere ao consumo de álcool combustível, as emissões de gases poluentes são, em geral, inferiores às da gasolina. Cabe destacar que os poluentes provenientes das emissões veiculares são os principais responsáveis pelos impactos negativos sobre a qualidade do ar urbano.

Há países que ainda utilizam chumbo tetraetila como aditivo à gasolina, o qual pode ser descartado com a utilização de álcool anidro. O Brasil foi o primeiro país do mundo a eliminar totalmente o chumbo da gasolina, em 1992, embora desde 1989 a maior parte do petróleo refinado no País já não usasse mais esse aditivo. A contaminação e exposição continuada ao chumbo podem causar graves danos à saúde humana, podendo deixar seqüelas permanentes ou até mesmo levar o paciente a óbito, em casos de contaminação extrema.

Dados apresentados por Blumberg e Walsh (2004) mostram que há uma relação direta entre a concentração média de chumbo verificada na corrente sanguínea da população urbana e a quantidade de chumbo presente na gasolina. Os autores avaliaram dados relativos aos Estados Unidos, no período de 1976 e 1991, ano em que o chumbo foi retirado da gasolina americana, e observaram que a concentração deste metal na corrente sanguínea da população caiu drasticamente, em 78%.

Ademais, com a mistura de etanol à gasolina, também não há necessidade de se utilizar aditivos como o MTBE (metil tércio butil éter) e o

ETBE (etil tércio butil éter), evitando assim os impactos ambientais específicos de suas emissões.

Em relação à gasolina, o consumo de etanol apresenta emissões inferiores de monóxido de carbono, dióxido de enxofre e particulados. Segundo Apace Research (1998), estudos conduzidos na Austrália, com misturas de 10% de etanol na gasolina, identificaram reduções nos níveis de emissões nas seguintes proporções: 32% para CO, 12% para hidrocarbonetos totais (THC) e 7% para CO₂. As emissões de óxidos de nitrogênio são similares para ambos os combustíveis.

No caso de aldeídos, as emissões do etanol são ligeiramente maiores do que as da gasolina, mas não superiores ao diesel. Ainda assim, segundo Szwarc (2006) grande parte das emissões de aldeído provenientes do etanol é do tipo acetaldeído, produto menos tóxico do que os tipos emitidos pela gasolina e pelo diesel. Estudos conduzidos em Denver (ANDERSON, 1997) e Califórnia (CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD, 1999), com misturas de 10% de etanol na gasolina, constataram que a concentração atmosférica de aldeídos praticamente não se alterou quando comparada a uma situação de consumo de gasolina sem mistura. Em contrapartida, essas emissões podem ser facilmente evitadas com a utilização de catalisadores. No Brasil, desde 1992, esses equipamentos são obrigatórios em veículos novos.

Além disso, o etanol também pode ser utilizado em misturas ao diesel, em pequenas proporções, com o uso de aditivos específicos. Segundo Ahmed (2002), testes realizados com misturas de 10% e 15% de etanol no diesel, em caminhões utilizados no transporte rodoviário dos Estados Unidos, apresentaram reduções significativas para a maioria dos gases poluentes, se comparadas às do diesel puro, conforme apresentado na Fig. 2. Resultados similares foram obtidos em simulações realizadas no Brasil, assim como a redução das emissões de enxofre, em projeto intitulado Projeto Mistura Álcool Diesel AEP102 e MAD-08, apoiado pelo governo federal e desenvolvido em parceria com instituições de pesquisa e entidades ligadas ao setor sucroalcooleiro.

Quanto às emissões de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono, emiti-

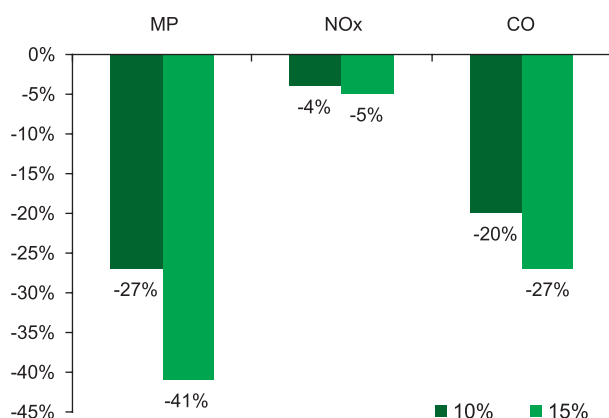


Fig. 2. Redução de emissões em mistura álcool/diesel (10% e 15%), em relação ao diesel puro.

Fonte: Ahmed (2002).

dos durante a combustão do etanol, salienta-se que seu efeito é praticamente nulo, uma vez que o mesmo provém de um processo renovável, onde durante o crescimento da cana-de-açúcar há fixação de gás carbônico por meio da fotossíntese. Adicionalmente, ao se evitar o consumo de gasolina, o etanol mostra-se como uma importante estratégia para redução das emissões de gases de efeito estufa em escala global (Macedo et al., 2004)

Misturas de etanol à gasolina ou o consumo direto de etanol são uma forma relativamente simples de se reduzir emissões de gases de efeito estufa, sobretudo no caso de países desenvolvidos com metas no âmbito do Protocolo de Kyoto. Cabe destacar que o setor de transportes é responsável por cerca de 25% das emissões globais de CO₂, (IPCC, 2001). Macedo et al. (2005) estimam que para cada 100 milhões de toneladas de cana poderiam ser evitadas 12,6 milhões de toneladas CO₂eq, considerando-se o uso de etanol, bagaço e energia elétrica adicional.

Misturas inferiores a 10% não requerem quaisquer ajustes nos tradicionais veículos a gasolina, exceto em veículos com carburação, onde são mais indicadas misturas inferiores a 5%, conforme mostra a Tabela 3. No Brasil, a Lei nº 10.464, de 24 de maio de 2002, estabelece a obrigatoriedade da mistura entre 20% e 25%.

Com o surgimento dos veículos *flex fuel* na frota brasileira, os quais podem utilizar quaisquer

misturas de álcool à gasolina, de 0% a 100%, a demanda interna de etanol aumentou muito nos últimos anos, tendendo a crescer ainda mais em curto e médio prazos. Em 2005, 50,2% dos novos veículos leves vendidos no Brasil foram *flex fuel*, e em junho de 2006 esse valor atingiu 76,3% das vendas (CARTA DA ANFAVEA, 2006).

Tabela 3. Modificações possivelmente necessárias em veículos leves, Ciclo Otto, segundo diferentes percentuais de mistura de álcool anidro à gasolina.

Parte do motor / Percentual de mistura	Sistema de partida a frio													
	Carburador	Injeção de combustível	Bomba de combustível	Dispositivo de pressão do combustível	Filtro de combustível	Sistema de ignição	Sistema evaporativo	Tanque de combustível	Conversor catalítico	Motor básico	Óleo do motor	Sistema de alimentação	Sistema de exaustão	Sistema de partida a frio
< 5%														
5% - 10%														
10% - 25%														
25% - 85%														

Fonte: Anfavea (2006a).

Considerações finais

A produção de cana-de-açúcar e etanol apresenta reduzido impacto ambiental, especialmente quando acompanhada de medidas de fiscalização, controle e planejamento. Os impactos ambientais do etanol devem ser analisados em toda sua cadeia produtiva e não de forma isolada, assim como os combustíveis fósseis. Sendo assim, observa-se que o etanol propicia diversos benefícios ao meio ambiente, à economia e à sociedade como um todo.

Ainda que dois dos principais problemas ambientais relativos à produção do etanol tenham sido resolvidos, em virtude do uso da vinhaça e do bagaço, em etapas de sua cadeia produtiva, restam ainda alguns problemas que requerem maior atenção, tais como: a queima da cana-de-açúcar no processo de colheita; e o avanço da cultura em regiões saturadas. O problema das queimadas pode diminuir em grande parte, na medida em que o Estado de São Paulo priorize o cronograma de redução de queimadas estabelecido em Lei, já que tal estado responde pela mai-

or parcela da produção canavieira nacional, embora outros estados também precisem avançar nesse sentido.

Por sua vez, não se deve ocultar o efeito desfavorável da redução de postos de trabalho ocasionado indiretamente pela eliminação das queimadas. A despeito de ser um trabalho extremamente árduo e de caráter temporário, o corte de cana muitas vezes é a única oportunidade de trabalho para um grande contingente de mão-de-obra, a maioria sem qualificação para conseguir empregos com remuneração semelhante em outras atividades. Portanto, devem-se buscar medidas de controle ambiental, associadas à qualificação e à inserção desses trabalhadores em outras atividades, com cidadania e inclusão social.

Quanto ao avanço da cana-de-açúcar, é preciso evitar uma excessiva concentração dessa cultura em áreas saturadas, a exemplo de alguns estados das regiões Centro-Sul e Nordeste, com destaque para os estados de São Paulo, Alagoas e Pernambuco, a fim de se evitar maiores problemas agrônômicos e ambientais, bem como reduzir a vulnerabilidade econômica e fitossanitária desses estados a eventuais crises agrícolas com a cultura canavieira. Apesar da maior parte dos novos investimentos estar ocorrendo justamente no estado de São Paulo, já se observa também um crescente número de investimentos em outros estados, notadamente Goiás e Minas Gerais. Novos pólos de desenvolvimento da agroindústria canavieira poderiam ser mais bem explorados, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins.

Merecem destaque alguns mecanismos importantes ao desenvolvimento sustentável da agroindústria canavieira, quais sejam: o zoneamento agroecológico para a cultura da cana-de-açúcar, no âmbito nacional; a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE); a orientação federal aos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (Oemas), no âmbito do processo de licenciamento ambiental de usinas e destilarias; a ampliação orientada da infra-estrutura e logística; e o desenvolvimento de políticas de incentivo voltadas à expansão sustentável da cana-de-açúcar em áreas consideradas estratégicas.

As perspectivas para o etanol são bastante promissoras, tanto para no âmbito nacional quanto internacional. O etanol tem se mostrado uma importante alternativa ao petróleo no plano global, dentre diversas outras fontes. Ademais, pesquisas voltadas ao desenvolvimento comercial de tecnologias para a obtenção de álcool a partir de celulose e a biotecnologia prometem dar um novo impulso à produção mundial de etanol nas próximas décadas.

Com base nas informações apresentadas neste trabalho, pode-se observar que o etanol de cana-de-açúcar, produzido no Brasil, é um produto consolidado e viável. Tanto sua produção quanto seu consumo em larga escala mostram que o etanol é competitivo e estratégico, contribuindo para a redução da demanda por combustíveis fósseis, em prol de uma matriz energética mais limpa e renovável, da geração de emprego e renda à população, e da sustentabilidade ambiental às gerações futuras.

Referências

- AHMED, I. **Oxygenated Diesel**: Emissions and Performance Characteristics of Ethanol-Diesel Blends in CI Engines. 2002. Disponível em: <<http://www.pure-energy.com>>. Acesso em: 12 jul. 2006.
- ANDERSON, L. G.; LANNING, J. A.; WILKES, E.; WOLFE, P.; JONES, R. H. **Effects of Using Oxygenated Fuels on Monoxide, Formaldehyde and Acetaldehyde Concentrations in Denver**. Paper 97-RP139.05, For presentation at the Air & Waste Management Association's 90th Annual Meeting & Exhibition, June 8- 13, 1997, Toronto, Ontário, Canada. Disponível em: <<http://carbon.cudenver.edu/~landerso/97rp13905.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2006.
- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Biocombustíveis no Brasil**. Apresentação em mesa redonda proferida por Henry Joseph Júnior, no XI Congresso Brasileiro de Energia - CBE, Rio de Janeiro, RJ, 16 de agosto de 2006a.
- APACE RESEARCH. **Intensive Field trial of ethanol/petrol blend in vehicles**. Sydney, 1998. (Energy Development Research Corporation. Project , 2511).
- BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 1972. 56 p. (IAC. Circular, 20).

- BLUMBERG K.; WALSH M. P. **Status Report Concerning the Use of MMT in Gasoline**. 2004. Disponível em: <http://www.cleantransportcouncil.org>. Acesso em: 13 jul. 2006.
- BOTO, D.R. **A Alcoolquímica no Brasil**. Simpósio Internacional de Avaliação Socioeconômica da Diversificação do Setor Canavieiro. Águas de São Pedro-SP: IAA e PNUD, 1988.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional da Agroenergia**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005a.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima**. Disponível em: <www.mct.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2006.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional, ano base 2004**. Brasília, DF, 2005b.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente de aterros sanitários em regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil**. Brasília, DF, 2004. 1 CD-ROM. Elaboração, CEPEA/ESALQ/USP – Projeto PNUD-MMA.
- BRITISH PETROLEUM (BP). **British Petroleum Statistical Review of World Energy**: 2006. Londres, 2006.
- CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD. **Air Quality Impacts of the Use of Ethanol in California Reformulated Gasoline**. Sacramento, California: ERD/LLNL. 1999.
- CANASAT. **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/mapdsr>. Acesso em: 13 jul. 2006.
- CARTA DA ANFAVEA. São Paulo: Anfavea, n. 242, jun. 2006.
- CORDAZZO, J.; MALISKA, C. R.; CORSEUIL, H. X. **Solução numérica do problema de derramamento de gasolina acrescida de álcool no solo**. Artigo técnico disponível em: <http://www.sinmec.ufsc.br>. Acesso em: 13 jul. 2006.
- FERREIRA, D. **Curva de Hubbert: uma análise das reservas brasileiras de petróleo**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Energia)—Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- FULTON, L. **Reducing oil consumption in transport: combining three approaches**. Paris: International Energy Agency, 2004.
- HAANDEL A V.; LIER J. B. **Tratamiento de la vinaza para producción de energía y protección ambiental en las destilerías de alcohol**. Trabajo presentado en el Taller Internacional Producción y Usos del Etanol, 19 a 21 de junho de 2006, Havana, Cuba.
- HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba, SP: PNUD: Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. 216 p. (Série Caminhos para a Sustentabilidade). Projeto MCT-PNUD BRA/96/G31.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook**: 2004. Paris, 2004.
- IPCC. **Climate Change 2001: Mitigation**. [S.l.]: WMO-UNEP, 2001. (IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001, v. 3).
- LICHT, F. O. **World Ethanol and Biofuel Report**. UK: F. O. Licht, 2004.
- MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2004.
- MACEDO, I. C. (Org.). **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Unica, 2005.
- SZWARC, A. Aspectos Ambientais do Uso de Biocombustíveis. In: ENCONTRO INTERAMERICANO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., São Paulo, 10 de Maio de 2006. **Anais...** Brasília, DF: MAPA, 2006. 1 CD-ROM.

Produção de álcool combustível a partir de carboidratos

Cristina Maria Monteiro Machado¹
Frederique Rosa e Abreu²

Resumo: Desde os primeiros momentos da indústria automobilística, o álcool tem sido considerado como um combustível viável. De fato, o primeiro modelo desenvolvido por Henry Ford tinha seu motor adaptado para funcionar tanto com álcool como gasolina. Entretanto, como a gasolina tornou-se mais barata e disponível que o álcool, este combustível deixou de ser considerado prioridade até as crises econômica de 1929 e do petróleo dos anos de 1970. Assim, inicialmente a produção de etanol foi justificada por aspectos políticos. Atualmente, a ênfase em redução da poluição e limitação do aquecimento global também têm sido fortes motivações para a continuidade de produção e uso desse combustível renovável. Embora no Brasil o uso de cana-de-açúcar para produção de álcool seja muito bem-sucedido, outras matérias-primas devem ser consideradas futuramente, seja para possibilitar a produção em regiões sem vocação agrícola para aquela cultura, seja para inclusão de pequenos produtores usando materiais amiláceos como mandioca e batata-doce, ou com a utilização de materiais lignocelulósicos quando esta tornar-se uma realidade. Dessa forma, este trabalho fala de aspectos técnicos da produção de etanol a partir de carboidratos, considerando as principais vantagens, dificuldades e inovações técnicas em seu uso.

Palavras-chave: álcool, produção, combustíveis renováveis, carboidratos

Abstract: Since the beginning of automobilist industry, ethanol has been considered as a viable fuel. In fact, Henry Ford developed his motor adapted for functioning with alcohol and gasoline. However, as gasoline became cheaper and more available than alcohol, this fuel weren't considered as viable until the economic and petroleum crisis of 1929 and 1970's, respectively. Thus, initially, political aspects justified the ethanol production. Now, the emphasis is on reducing pollution and limiting the global warming. Although in Brazil the sugar cane use for ethanol producing is very successful, other raw materials should be considered in the future, for enabling its production in regions without agricultural vocation for that culture, or inclusion of small farmers using amilaceous products as cassava and sweetpotato, or, with the utilization of lignocellulosic materials when it becomes a commercial reality. Therefore this paper treats of the technical aspects of fuel-alcohol production using carbohydrates, considering the main advantages, difficulties and technical innovations in their use.

Key-words: ethanol, manufacture, renewable fuels, carbohydrates

Introdução

O álcool etílico (etanol) é caracterizado como um líquido incolor, de odor ardente, facilmente inflamável, de chama azulada, e muito

higroscópico. No estado desidratado é perfeitamente solúvel em diversas substâncias orgânicas ou minerais, como ésteres, carburantes, acetonas, etc. Sua solubilidade diminui com o aumento da presença de água. Em uma mistura com água, o

¹ Doutora em Processos Biotecnológicos, pesquisadora da Embrapa Hortaliças, Rod. BR 060 Km 09, CP 218, 70359-970, Brasília, DF, cristina@cnph.embrapa.br.

² Doutor em Química, coordenador-geral de Agroenergia, Ministério da Agricultura, Pecuária, e Abastecimento, frederique@agricultura.gov.br.

álcool tem ponto de congelamento mais baixo do que a mesma.

O etanol é um excelente combustível automotivo: apresenta um índice de octanagem superior ao da gasolina e tem uma pressão de vapor inferior, resultando em menores emissões evaporativas. A combustão no ar é inferior à da gasolina, o que reduz o número e a severidade de fogo nos veículos. O etanol anidro tem poder calorífico inferior e superior de 21,2 e 23,4 megajoule por litro, respectivamente, contra 30,1 e 34,9 megajoule por litro da gasolina.

As propriedades do etanol como combustível levaram ao desenvolvimento de motores a álcool e motores para a mistura álcool-gasolina no Brasil. Até 1988, os desenvolvimentos foram realizados pela indústria automobilística (GM, Ford, Volkswagen, Fiat) para sistemas carburados; atualmente, encontram-se disponíveis para todos os motores sistemas com injeção eletrônica, e mais recentemente, bicombustíveis.

No Brasil, o etanol combustível é utilizado de duas maneiras: o álcool anidro e o álcool hidratado. O anidro possui menos água em sua composição, sendo mais adequado para a mistura carburante com a gasolina. A adição do álcool carburante à gasolina eleva em 2% o volume métrico consumido. Assim, para cada 100 L de gasolina misturada existirá uma proporção de 81,6 L de gasolina e 20,4 L de álcool anidro. Assim, 20,4 L de álcool anidro podem poupar 18,4 L de gasolina. O Brasil foi o primeiro país a eliminar totalmente o chumbo tetraetila de sua matriz de combustíveis em 1992, embora, desde 1989, cerca de 99% do petróleo refinado no País já não usasse esse aditivo. Essa conquista deu-se graças ao uso do álcool como aditivo à gasolina. Adicionado à gasolina, o álcool anidro confere-lhe poder antidetonante, tendo em vista sua elevada octanagem. Assim, revela-se um bom substituto ao chumbo tetraetila ou MTBE, possibilitando a eliminação dos efeitos danosos provocados por esses compostos ao meio ambiente.

O álcool hidratado é adequado para os veículos movidos exclusivamente à álcool ou aos bicombustíveis. Por sofrer um menor número de

operações produtivas, o álcool hidratado é, em média, 4,5% mais barato do que o álcool anidro. O rendimento motor do álcool hidratado é de 20% a 27% menor do que a gasolina. Isso significa que para cada quilômetro rodado com gasolina requer-se um consumo volumétrico de álcool com essa proporção. Para compensar esse diferencial, atualmente, o preço do álcool é 21,4 % menor do que a gasolina. As principais propriedades da gasolina e do álcool estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades e características dos combustíveis.

	Gasolina	Etanol
Calor específico (kJ/kg)	34.900	26.700
Número de octano (RON/MON) ⁽¹⁾	91/80	109/98
Calor latente de vaporização (kJ/kg)	376 ~ 502	903
Temperatura de ignição (°C)	220	420
Razão estequiométrica Ar/Combustível	14,5	9

⁽¹⁾ Research Octane Number (RON); Motor Octane Number (MON)
Fonte: Goldemberg e Macedo (1994).

Histórico

Desde os primeiros momentos da indústria automobilística, o álcool tem sido considerado como um combustível viável. De fato, o primeiro modelo desenvolvido por Henry Ford tinha seu motor adaptado para funcionar tanto com álcool quanto com gasolina. Em 1917, Alexander Graham Bell já proclamava os benefícios do álcool como combustível em um artigo publicado na National Geographic. O inventor cita a grande quantidade de matérias-primas passíveis para a produção de álcool, incluindo “serragem, sabugo de milho, e a maior parte dos vegetais, até mesmo sementes... os resíduos de nossas fazendas... e mesmo o lixo urbano”.

Entretanto, como a gasolina tornou-se mais barata e disponível que o etanol, esse combustível deixou de ser considerado. Porém, em 1929, a grande crise internacional colocou em xeque as economias de todos os países e, no Brasil, fal-

tavam divisas para a aquisição de combustível líquido. A primeira destilaria de álcool anidro foi instalada, e o governo federal, em 1931, estabeleceu a obrigatoriedade da mistura de 5% de etanol à gasolina (Decreto nº 19.717), como medida de economia na importação de combustível e para amparar a lavoura canavieira. Também nessa época, pelos mesmos motivos, o álcool passou a participar em uma fração do mercado de combustíveis em outros países, como Estados Unidos, Alemanha, Nova Zelândia e França.

O Programa Nacional do Álcool, o Proálcool, foi criado em 1975, 2 anos depois da conclusão da guerra árabe-israelense, quando, no espaço de 1 ano, os preços do petróleo mais do que triplicaram, trazendo um forte impacto sobre a Balança Comercial brasileira. Em face desse contexto, o governo federal lançou uma ampla política de superação do chamado “gargalo energético”, na qual se incluiu o Proálcool. A Comissão Nacional do Álcool (Cenal), em meados dos anos 70, elencou os cinco objetivos básicos do Proálcool:

- Economia de divisas mediante a redução da importação do petróleo para a produção da gasolina e de matérias-primas.
- Redução das disparidades regionais de renda mediante o alargamento da produção para diferentes regiões do Brasil com baixo nível de ocupação produtiva. Nesse item, previa-se a produção de álcool de mandioca o que, de certo modo, democratizaria o programa, visto que essa raiz é produzida majoritariamente por pequenos produtores.
- Redução das disparidades individuais de renda por meio da maior ocupação da mão-de-obra no setor agrícola em uma atividade que pagaria salários mais elevados que a média do setor agrícola.
- Crescimento da renda interna com uma ocupação mais intensiva da terra e da mão-de-obra até então vistas como ociosas.
- Expansão da indústria de bens de capital (tratores, máquinas agrícolas, fábricas produtoras e construtoras de destilarias, indústria química,

etc.) mediante a elevação da demanda do setor alcooleiro.

Pode-se ver, portanto, que na origem do Proálcool havia um conjunto de objetivos de ordem social articulado com as metas econômicas mais imediatas, como a redução do consumo do petróleo e a superação do colapso energético, por exemplo. Por sua vez, quando da primeira fase do Proálcool não foi mencionado nenhum objetivo ambiental, que somente viria a ganhar relevância anos mais tarde.

Outro aspecto que merece destaque é que o Proálcool, em sua primeira fase, previa a produção de álcool derivado de outros produtos vegetais, no caso a partir da mandioca, produto que no Brasil é cultivado em sua maioria por pequenos produtores. O uso dessa raiz viabilizaria a construção de destilarias menores capazes de propiciar uma auto-suficiência energética no transporte no meio rural. Seis usinas de álcool de mandioca chegaram a ser construídas no Brasil, na década de 1980, com financiamento público e incentivos fiscais. Porém, foram instaladas em regiões não tradicionais, ou em fim de ciclo do pólo mandioqueiro, o que fez com que o empreendimento se tornasse inviável e a idéia fosse abandonada.

Trinta anos depois do início do Proálcool, o Brasil vive agora uma nova expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. O plantio avança além das áreas tradicionais, do interior paulista e do Nordeste, e espalha-se pelo Cerrado. A tecnologia dos motores flex fuel veio dar novo fôlego ao consumo interno de álcool. O carro que pode ser movido a gasolina, álcool ou com uma mistura dos dois combustíveis foi introduzido no País em março de 2003 e conquistou rapidamente o consumidor. A velocidade de aceitação pelos consumidores dos carros bicombustíveis, ou flex fuel, foi muito mais rápida do que a indústria automobilística esperava. As vendas desses veículos já superaram as dos automóveis movidos a gasolina. Os bicombustíveis representaram 49,5% do total de automóveis e comerciais leves vendidos no mês, enquanto a participação dos movidos a

gasolina ficou em 43,3%, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). A preferência do mercado levou a Câmara Setorial de Açúcar e do Alcool, órgão ligado ao governo, a rever suas projeções e indicar que a participação da nova tecnologia deverá atingir 75% dos carros vendidos em 2006.

Aspectos ambientais e econômicos

A principal vantagem do etanol em relação à gasolina é ser renovável e, em princípio, um combustível completamente sustentável e menos poluente. O ponto mais importante é que o CO₂ liberado pela combustão do etanol foi recém-fixado pelas plantas, que são sua matéria-prima, de forma que se pode considerar que não há contribuição líquida ao aquecimento global. Entretanto, há requerimento de energia (em sua maior parte proveniente de combustíveis fósseis) em todas as etapas do processo, incluindo produção (plantio, fertilização, colheita) da matéria-prima, fermentação para transformação em etanol e destilação. No Brasil, com o bagaço da cana sendo utilizado como combustível, a geração de energia pelo etanol produzido excede à energia gasta em um fator de até duas vezes.

As críticas iniciais à produção de etanol no Brasil eram concernentes à baixa eficiência e problemas ambientais em virtude da cultura da cana-de-açúcar. Quanto ao primeiro aspecto, com os avanços das pesquisas, a produção de etanol no Brasil tem crescido a uma taxa de aproximadamente 4% ao ano (Fig. 1) e os custos têm sido reduzidos em cerca de 3% ao ano desde a introdução do Próalcool, em razão das melhores variedades de cana desenvolvidas, técnicas mais adequadas de manejo e melhoria no processo industrial de fermentação, extração e destilação.

Em relação a problemas ambientais em função da agricultura intensiva, pode-se considerar que, com o tempo, a produção de cana no Brasil se tornou um exemplo importante de agricultura sustentável, em especial no Estado de São Paulo: é a atividade agrícola que apresenta um dos mais baixos índices mundiais de erosão de solos, e apre-

senta também um dos mais baixos índices mundiais de uso de defensivos e insumos químicos, realizando controle biológico de pragas e fertirrigação do solo com os resíduos do processamento industrial da cana. O uso de pesticidas e herbicidas é relativamente baixo, em função dos programas de controle biológico. O uso de doses específicas desses insumos para cada local, a prática de deixar cobertura de palha em locais adequados e técnicas derivadas dos cultivos “orgânicos” poderão melhorar ainda mais esse quadro. O uso de fertilizantes minerais é menor que nas culturas de milho e soja, e o melhor gerenciamento do resíduo praticado hoje de resíduos (torta de filtro, vinhoto e alguma palha) pode levar ainda a uma substancial redução. Na proteção de solos e águas, os problemas iniciais são atenuados pelo crescimento rápido da cultura, pelo uso de culturas de rotação e por vários cortes. O consumo de água in natura para o cultivo da cana praticamente não é utilizado; a água é suprida, basicamente, pelos vários efluentes gerados no processo produtivo (tratados ou não), e em função da precipitação das chuvas. Ainda assim, é necessário aumentar a implantação de proteção a áreas de reserva permanente e adotar técnicas (conhecidas) para a redução da captação de água para uso na indústria sucroalcooleira. A poluição provocada pelas usinas diminuiu drasticamente desde que se passou a aproveitar o bagaço da cana como combustível, e o vinhoto e a torta de filtro como fertilizante, evoluindo ambos da categoria de resíduos à de valiosos insumos.

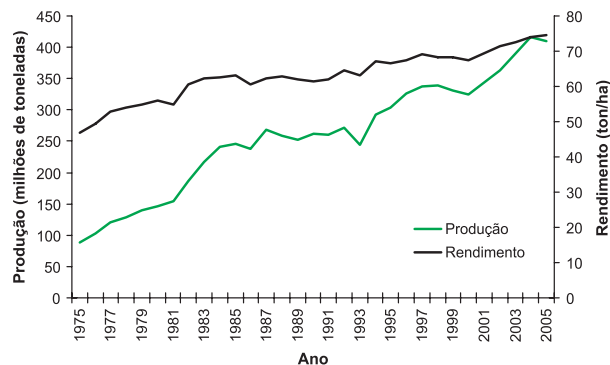


Fig. 1. Evolução da produção e rendimento da cana-de-açúcar nos últimos 30 anos.

Fonte: IBGE (2006).

Vias de obtenção

O etanol pode ser obtido de duas diferentes formas: por síntese química e por fermentação.

Na síntese química, o etanol é produzido a partir de hidrocarbonetos insaturados, como eteno e etino, e de gases de petróleo e hulha. Esse processo apenas possui significado econômico em países com grandes reservas de petróleo e indústria petroquímica avançada. Obviamente, o etanol obtido dessa forma não vem de matéria-prima renovável nem pode ser considerado como combustível alternativo.

Assim, a via fermentativa é o método utilizado na obtenção de etanol no Brasil e na maior parte dos países. Esse processo é constituído de três partes: preparo do substrato, fermentação e destilação do fermentado. No preparo do substrato, a matéria-prima é tratada para dela se obterem os açúcares fermentescíveis. Essa etapa depende do tipo de matéria-prima utilizada, como será descrito a seguir. A fermentação é o processo pelo qual os carboidratos serão transformados em álcool e gás carbônico pela ação de microrganismos. Finalmente, na destilação, o etanol é separado do caldo de fermentação e purificado.

Etapas do processo

Há um grande número de variáveis na fabricação de etanol. De fato, o processamento pode ser radicalmente diferente, de acordo com a matéria-prima e microrganismo utilizados. De modo geral, envolve as etapas de *upstream*, fermentação e *dowstream*. A etapa *upstream* abrange todos os procedimentos necessários para que a fermentação ocorra com sucesso, seguida da recuperação do produto ou etapa *dowstream*. Dessa forma, a produção de álcool envolve as seguintes etapas, que serão descritas, separadamente, neste trabalho: preparo do substrato, preparo do inóculo, fermentação, destilação e retificação.

Matérias-primas

Qualquer produto que contenha uma quantidade considerável de carboidratos (açúcares)

constitui-se em matéria-prima para obtenção de álcool. Entretanto, para que seja viável economicamente, é preciso que se considere o seu volume de produção, rendimento industrial e o custo de fabricação. De acordo com o tipo de carboidratos presentes nas matérias-primas elas podem ser classificadas em três tipos descritos a seguir:

Materiais açucarados – Contêm açúcares simples, ou seja, carboidratos com seis (monossacarídeos) ou 12 átomos de carbono (dissacarídeos), como glicose, frutose e maltose. Os monossacarídeos se limitam aos sucos de frutas e são diretamente fermentescíveis, sendo utilizados apenas na produção de álcool em bebidas como vinho e sidra. Já os dissacarídeos são fermentados após uma hidrólise ocorrida pela ação da enzima invertase, produzida pelo próprio agente de fermentação. Ex.: cana-de-açúcar, beterraba açucareira, melaços, mel de abelhas e frutas.

Materiais amiláceos – Contêm carboidratos mais complexos como amido e inulina que podem ser quebrados em glicose pela hidrólise ácida ou ação de enzimas num processo denominado malteação ou sacarificação. Ex.: grãos amiláceos (milho, sorgo, cevada, trigo), raízes e tubérculos (batata, batata-doce, mandioca).

Materiais celulósicos – São constituídos de celulose, e, apesar de estarem disponíveis em grande quantidade, não oferecem, por enquanto, condições econômicas na produção de etanol, pois, para tornarem-se fermentescíveis, devem passar por um processo complexo de hidrólise ácida. Ex.: palha, madeira, resíduos agrícolas e de fábricas de papel.

Na Tabela 2, serão comparados alguns substratos potenciais para produção de etanol no Brasil, considerando-se produtividade nas regiões características de produção e quantidade média de carboidratos totais. Deve-se ter em mente que esses não devem ser os únicos parâmetros para escolha de uma matéria-prima, pois os custos da produção de etanol dependem também dos custos de cultivo, transporte e processamento, além de outros aspectos não econômicos a serem considerados.

Tabela 2. Potencialidade de algumas matérias-primas açucaradas e amiláceas em carboidratos e etanol.

Matéria-prima	Carboidratos totais (%)	Produtividade agrícola (t/ha)	Produtividade carboidrato (t/ha)	Potencialidade em etanol (m ³ /ha)
Araruta	28,9	12	3,5	2,5
Batata	12	20	2,4	1,6
Batata-doce	26,1	17	4,4	3,2
Beterraba	15	15	2,2	1,6
Cana-de-açúcar	12-17	77	9,2-13	6,0 - 9,0 ⁽¹⁾
Inhame	26,8	25	6,7	4,8
Mandioca	34,	13,5	6,8	4,9
Milho	66	3,5	2,3	1,6
Sorgo	67	2,3	1,6	1,1
Trigo	65	2,3	1,5	1,1

⁽¹⁾ Produção real de etanol a partir da cana-de-açúcar.
Fontes: Leonel e Cereda (2002); BNDES (2003); IBGE (2006).

Preparo do substrato (mosto)

Tecnologicamente, todo líquido suscetível à fermentação é denominado mosto. Para o preparo do mosto natural, deve-se extrair os carboidratos (açúcares) da matéria-prima, e, se necessário, torná-los disponíveis para fermentação. Conhecendo-se as propriedades fisiológicas e as exigências nutricionais das leveduras, pode-se propiciar condições ótimas para esses microrganismos e favorecer a fermentação alcoólica, a fim de que esta seja mais regular, homogênea e pura. Isso se consegue adicionando ao mosto os nutrientes necessários, corrigindo a reação do meio, empregando anti-sépticos ou antibióticos e conduzindo a fermentação à temperatura adequada. Os elementos nutricionais, a quantidade e a necessidade de se adicionar ou não outros elementos corretivos dependem da matéria-prima utilizada.

Materiais açucarados

Como dito anteriormente, substratos que contenham sacarose ou glicose requerem um menor número de etapas para a produção de etanol que os outros tipos de substrato. De fato, melaços e outros xaropes com alta concentração de açúcar só precisam ser diluídos e ter seu pH ajustado antes da fermentação. Para outros materiais, como frutas, beterraba e cana-de-açúcar, é necessária uma etapa de extração, feita, normalmente, pela prensagem e posterior filtração do material.

Frutas – A seguir, a concentração média de açúcar em algumas frutas: uva, 15%; banana, 13,8%; maçã, 12,2%; abacaxi, 11,7%; laranja 5,4%; melão, 2,5% e tomate, 2,0%. Supondo uma extração de 75% de eficiência em maçãs, por exemplo, se teria cerca de 9 % de material fermentescível a partir do produto inicial. Assim, 1 t de maçãs levaria produção de 56 L de álcool. Em qualquer caso, a percentagem de açúcar no substrato é baixa, de forma que não se faz necessária diluição, pelo contrário, esta é indesejável. Ou seja, no preparo de mostos de frutas, apenas é feita a extração do suco, e então o pH é ajustado. Entretanto, a fermentação alcoólica de frutas não é usada para produção de etanol combustível, e sim para produção de bebidas, onde o alto custo da matéria-prima justifica-se pelas características de aroma e sabor geradas no processo.

Melaços – O melaço é um licor de cor escura (marrom a preto), de composição variável, sendo um subproduto da produção de açúcar, tanto de cana como de beterraba. Esse material, se disponível, é um excelente substrato para produção de álcool, pois contém de 50% a 55% de açúcares fermentescíveis, ou seja, uma tonelada produziria de 250 a 300 L de álcool. Para preparo do mosto é apenas necessário fazer a diluição e correção do pH. Em casos especiais, adicionam-se fosfatos e sais de amônio na proporção de 1 g/L de mosto.

Cana-de-açúcar – A cana-de-açúcar contém de 12% a 17% de açúcares totais. A eficiência da extração é de 95% e o resíduo sólido é o

bagacho. Para a produção de etanol, o caldo da cana é aquecido até 110°C para reduzir a contaminação microbiana, decantado, concentrado por evaporação (se necessário) e, usualmente, adicionam-se superfosfatos e sulfato de amônio (1 g/L de mosto), sais de magnésio (0,1 g/L) e sais de manganês e de cobalto (0,01 g/L). Após a diluição e adição de nutrientes, ajustam-se a temperatura e o pH.

Beterraba – A beterraba pode ser um excelente material para a produção de etanol, por sua alta concentração de açúcares (15%). O suco pode ser extraído por prensagem, e por conter um pouco de amido, a adição de uma pequena quantidade de malte (1% a 2% em peso) leva a um aumento significativo no rendimento do processo. O ajuste de pH é necessário. Uma tonelada de beterrabas pode levar a um rendimento de cerca de 100 L de álcool.

Materiais amiláceos

Os materiais amiláceos podem ser divididos em amiláceos (grãos) e feculentos (raízes e tubérculos). No primeiro grupo é necessária uma moagem inicial, para expor o amido. Eles contêm boa quantidade de material com potencial fermentativo, compensando, em muitos casos, as diversas etapas de processamento. O conteúdo médio de amido conversível e açúcar em alguns grãos típicos é: cevada, 50%; milho, 66%; aveia, 50%; centeio, 59%; sorgo, 67% e trigo, 65%. A produtividade de álcool depende de quão completa é a conversão do amido, mas normalmente é de 260 a 380 litros por tonelada. Quanto às raízes e aos tubérculos, uma vantagem é que podem ser utilizados materiais de refugo, fora de tamanho, machucados e até mesmo com brotação desenvolvida. De fato, a existência de brotos reduzirá a quantidade de malte (ou enzimas) necessária para a malteação. As batatas contêm entre 15% e 18% de material fermentescível, as batatas-doces contêm cerca de 22% de amido e 5% a 6% de açúcares redutores, e a mandioca contém 30% a 35% e todos esses materiais feculentos são uma fonte tradicional de álcool. Em média, 1 t de batatas leva a uma produção de 85 L a 95 L de álcool, e de batata-doce, até 150 L.

Todos os materiais amiláceos requerem um processo de cozimento para diluição e gelatinização do amido, e, em seguida, de sacarificação ou hidrólise no qual o amido é transformado em açúcares fermentescíveis. Essa hidrólise pode ser por maltagem, por adição de enzimas ou pela ação de ácidos. Cada um desses métodos tem suas vantagens, desvantagens e aplicações, e serão discutidos a seguir.

Cozimento – Todos os materiais amiláceos deverão ser cozidos em água, para que sejam dissolvidos os amidos solúveis em água e, na medida do possível, que estes sejam gelatinizados. Em processamentos industriais o cozimento é feito com vapor, quase sempre sob pressão e em processo contínuo. A pressão serve para diminuir o tempo e a temperatura de processamento. Para processos em escala menor, o cozimento pode ser feito a pressão atmosférica, mantendo-se o material em uma fervura leve de 30 a 60 minutos (em geral, os grãos levam mais tempo para gelatinizar que as raízes e os tubérculos). Uma vez que é necessária grande quantidade de energia para o cozimento, é melhor que este seja feito com a menor quantidade de água possível. Assim, a concentração adequada para fermentação será alcançada pela posterior adição de água no caldo obtido.

Hidrólise ácida – Apresenta como vantagens o pequeno tempo de sacarificação, porém tem como desvantagens evidentes os problemas de corrosão dos equipamentos e a necessidade de neutralização da solução açucarada após a hidrólise, além de provocar certa destruição dos açúcares. Acrescenta-se a isso o fato de o processo gerar açúcares não fermentescíveis, o que diminui o rendimento da fermentação. De fato, esse processo é mais usado para a hidrólise de materiais celulósicos, e será detalhado na seção que trata desse tipo de matéria-prima.

Maltagem – O malte é um cereal germinado em condições especiais de umidade, temperatura e aeração. Durante a germinação, ocorrem diversas modificações físicas, bioquímicas e químicas no cereal, sendo uma delas a ação de enzimas (amilases), que converterão o amido em

uma forma de açúcar fermentescível chamado maltose. Todo cereal em grãos produz essas enzimas em maior ou menor grau, podendo-se usar o malte do próprio substrato a ser fermentado (se esse for grão), ou de cevada, que, por conter maior concentração de amilases, tem um uso mais econômico. Na conversão de amido a maltose, as enzimas do malte atuam de duas formas: a liquefação e a sacarificação. A intensidade dessas duas atividades depende da temperatura do processamento. A liquefação é mais intensa a 70°C, começa a diminuir a 80°C e cessa a 93°C. Já a sacarificação ocorre a temperaturas mais baixas (50°C–55°C), tornando-se inativa a 80°C. Como ambas as ações são desejáveis, o processo de conversão é feito, usualmente, a 65°C. O material é mantido nessa temperatura por um certo tempo e então, quando a conversão estiver completa, o material será resfriado a 20°C–24°C e poderá se iniciar a fermentação. A quantidade de malte usada e o tempo para a conversão dependerá da matéria-prima. Para a malteação, milho e trigo precisarão de 8 %–10% de malte (em peso); centeio, de 10%–12%, e outros grãos, entre esses valores; já para raízes e tubérculos é necessária uma razão de apenas 3%–4% de malte. A conversão será completa após 5–15 minutos para o trigo, 30 minutos para milho, 30–60 minutos para cevada e de 15–20 minutos nas raízes e tubérculos. Para se determinar exatamente o tempo de malteação assim como a quantidade mínima de malte necessária para uma boa conversão, o ideal é que sejam feitos alguns testes com a matéria-prima antes de se definir o processo.

Uso de microrganismos produtores de enzimas – O farelo enzimático provém do cultivo de microrganismos que produzem enzimas capazes de realizar a hidrólise do material amiláceo, a exemplo do *Aspergillus oryzae*, cujo crescimento se dá sobre farelos de milho, trigo, arroz ou cevada previamente gelatinizados. O farelo enzimático, além de ser facilmente produzido, apresenta altos rendimentos em glicose equivalente (percentagem da produção de glicose em relação à quantidade de amido presente em um material) quando comparado ao malte. Porém,

para sistemas em pequena escala, é mais compensador o uso de enzimas industriais.

Uso de enzimas industriais – As enzimas contidas em malte são produzidas, normalmente, pela fermentação dos microrganismos *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus awamori* e estão comercialmente disponíveis produzidas por diferentes empresas. Os procedimentos para seu uso são bem parecidos com os da sacarificação por maltagem. As vantagens do uso desse método é que os extratos enzimáticos são normalmente mais baratos e, por serem especialmente projetados para esse trabalho, produzem resultados mais previsíveis e rendimentos mais altos. As três enzimas comercialmente disponíveis são α e β -amilase e glucoamilase. A α -amilase quebra o amido para produzir a dextrose e a β -amilase produz a maltose (ambos açúcares fermentescíveis). Juntas, essas duas enzimas podem converter aproximadamente 85% do amido. A glucoamilase converte o amido restante, e o uso das três enzimas pode alcançar conversão quase total do amido.

Materiais celulósicos

A disponibilidade de resíduos celulósicos, representados por palhas, folhas, resíduos da exploração madeireira e outros, despertou o interesse para seu uso como matéria-prima para a produção de álcool. As vantagens desses substratos são sua grande disponibilidade, baixo custo (frequentemente gratuitos) e, mais recentemente, questões ambientais. Os materiais celulósicos são compostos de lignina, hemicelulose e celulose em diferentes proporções (Tabela 3) e são, por isso, também chamados de lignocelulósicos.

Uma das principais funções da lignina é prover suporte estrutural para a planta. Assim, árvores contêm maior quantidade de lignina do que gramíneas. Infelizmente, a lignina, que não possui açúcares, reveste as moléculas de celulose e hemicelulose, dificultando seu acesso. As moléculas de celulose consistem de longas cadeias de moléculas de glicose ligadas entre si, assim como o amido, tendo, porém, uma configuração estrutural diferente. Essa diferença estrutural, além do

Tabela 3. Conteúdo de celulose, hemicelulose e lignina de alguns materiais.

Materiais lignocelulósicos	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Tronco de árvore	40-55	25-40	18-35
Casca de nozes	25-30	25-30	30-40
Espiga de milho	45	35	15
Capim	25-40	35-50	10-30
Papel	85-99	0	0-15
Palha de trigo	30	50	15
Folhas	15-20	80-85	0
Jornal	40-55	25-40	18-30
Esterco sólido de gado	1,6-4,7	1,4-3,3	2,7-5,7

Fonte: Sun e Cheng (2002).

revestimento pela lignina, torna materiais celulósicos mais difíceis de hidrolisar que materiais amiláceos. A hemicelulose é também composta por longas cadeias de moléculas de açúcar, mas contém, em adição à glicose (um açúcar de 6 carbonos), pentoses (açúcar de 5 carbonos), um problema: na hidrólise, a composição exata de açúcares na hemicelulose varia, de acordo com o tipo de planta. Uma vez que pentoses contêm uma maior percentagem de açúcares disponíveis, a habilidade de recuperar e fermentá-los é importante para a eficiência e economia do processo. O tratamento dos materiais celulósicos para fermentação pode ser feito pelo uso de enzimas ou pela hidrólise ácida. Os dois tipos de processos serão detalhados a seguir.

Uso de enzimas

Esse método é, provavelmente, o que apresenta maior potencial de desenvolvimento, porém ainda é muito caro. Para que a ação das enzimas seja eficiente, é necessário que elas tenham acesso às moléculas a serem hidrolisadas. Assim, inicialmente, é necessário um pré-tratamento que quebre a estrutura cristalina da lignocelulose e remova a lignina para expor as moléculas de celulose e hemicelulose. Podem ser usados métodos físicos, como temperatura e pressão, moagem, radiação ou congelamento, ou métodos químicos com solventes para quebrar e dissolver a estrutura da lignina.

Então, o material deverá ser misturado a uma quantidade de água suficiente para formar

uma massa espessa, o pH é ajustado entre 4,5 e 6,0 e as enzimas são adicionadas. Em geral, usa-se um consórcio de enzimas (endoglucanase, exoglucanase e β -glucosidase) coletivamente conhecidas como celulase, e que, juntas, levam a uma conversão próxima de 100%. A temperatura ótima de processamento é de 60°C e a mistura deverá ser mantida nessa temperatura por cerca de 16 horas. Antes de se iniciar a fermentação, poderá ser necessário um ajuste de pH.

Além do custo das enzimas, uma dificuldade nesse processo é conhecer o teor de celulose e hemicelulose em uma dada matéria-prima, para se estimar a quantidade de enzimas a ser adicionada para uma eficiência adequada. O procedimento mais comum é fazer testes iniciais, partindo-se de 2% de enzimas em peso. Por sua vez, esse processo tem diversas vantagens, como: alta eficiência e pequena produção de resíduos; gastos com energia relativamente baixos e condições brandas de processamento que não exigem materiais de construção caros.

Processo ácido

O processo ácido é relativamente simples e pode ser realizado usando-se soluções diluídas ou concentradas de ácido, conforme descrito a seguir.

Ácido diluído e temperatura relativamente alta – Basicamente, é feita com ácido sulfúrico diluído a 1%–4% peso/peso adicionado ao substrato e aquecido a uma temperatura de cerca de 175°C (pressão de 10 atm). O material é

então neutralizado com hidróxido de cálcio, ou alguma outra base, e lavado. Possui a limitação do custo dos equipamentos, pois estes devem suportar a alta temperatura e pressão. O processo é conduzido sob alta temperatura e pressão (150°C–250°C) e tem tempo de reação na ordem de segundos ou minutos, o que facilita o processo contínuo. Como exemplo, um processo com celulose pura em um reator contínuo, com 1% de ácido sulfúrico e temperatura de 237°C, leva a uma conversão próxima de 50% em açúcares em um tempo de residência de 0,22 minuto. O problema desse processo é que a combinação de alta temperatura e pressão obriga o uso de materiais especiais, o que torna o reator caro. Além disso, a conversão é relativamente baixa (próxima dos 50%). A maior vantagem desse processo, principalmente para processos em média e grande escala, é a rápida taxa de reação, o que facilita o processo contínuo.

Ácido forte e temperatura relativamente baixa – Inicialmente, o material é misturado com ácido sulfúrico diluído (10%) e aquecido a 100°C por 2 a 6 horas no primeiro reator de hidrólise. As baixas temperatura e pressão minimizam a degradação dos açúcares. Para recuperarem-se os açúcares, o material hidrolisado no primeiro reator é lavado com água diversas vezes. O resíduo sólido do primeiro estágio é, então, seco e adicionado de ácido sulfúrico numa concentração de 30% a 40% por 1 a 4 horas para a etapa de hidrólise da celulose. O material é drenado e filtrado para remoção dos sólidos e recuperação do açúcar e do ácido. A solução com ácido e açúcar do segundo estágio é reciclada para a primeira etapa. Os açúcares da hidrólise da segunda etapa são, então, recuperados no líquido da primeira etapa de hidrólise. A principal vantagem do processo ácido concentrado é a eficiência na recuperação de açúcares, que pode chegar a 90% para celulose e hemicelulose. As baixas temperaturas e pressões permitem o uso de materiais com menor custo, como fibra de vidro. Infelizmente, é um processo relativamente lento que exige um controle rígido. Além disso, é necessário que haja um sistema efetivo para recuperação do ácido. Sem essa etapa, quantidades muito grandes de base teriam que ser utilizadas para neutralizar

a solução de açúcares antes da fermentação. Essa neutralização forma sais (mais comumente sulfatos de sódio ou cálcio) que requerem tratamento, e causam uma despesa adicional.

Fermentação

As leveduras são fungos normalmente unicelulares, apresentando células de forma arredondada. Apesar de não ser o único microrganismo capaz de produzir álcool, as propriedades específicas das leveduras, como tolerância a altas concentrações de álcool e CO₂, o crescimento rápido e a capacidade de fermentação as tornam os microrganismos mais adequados para a operação em escala industrial. As cepas mais importantes para a produção de álcool são as *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces carlsbergensis*. Sua biomassa pode ser recuperada como subproduto da fermentação e transformada em levedura seca, que se constitui em matéria-prima para fabricação de ração animal ou suplemento vitamínico humano. Existem várias linhagens (raças) desse microrganismo que foram selecionadas ao longo do tempo, para maior tolerância a variações de pH, maior resistência ao álcool e rendimento da fermentação. As características genéticas que as leveduras devem ter para uma boa produção industrial de álcool são: alta produção (relação entre o álcool produzido e o açúcar disponível à levedura); alta velocidade de fermentação; alta tolerância ao álcool; tolerância a altas temperaturas e estabilidade (essas características devem ser mantidas em uma linhagem de levedura por várias gerações).

Tudo o que é necessário para iniciar a fermentação é misturar o inóculo de leveduras e manter as condições adequadas para o seu crescimento e produção de etanol. O tempo de fermentação pode variar com a matéria-prima, o microrganismo, o pH, a temperatura e diversos outros fatores, levando, normalmente, de 2 a 5 dias. Diversos fatores físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana) afetam o rendimento da fermentação, ou seja, a efi-

ciência da conversão de açúcar em etanol. Geralmente, as quedas na eficiência fermentativa decorrem de uma alteração no equilíbrio do processo, levando à maior formação de produtos secundários (especialmente glicerol, ácidos orgânicos e biomassa), ou por contaminação de outros microrganismos, como bactérias, que competem pelo substrato para produção de outros produtos.

Destilação

O mosto fermentado (vinho) que vem da fermentação possui, em sua composição, 7% a 10% em volume de álcool, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. O álcool presente nesse vinho é recuperado pela destilação, processo de separação de componentes de uma mistura baseado nas suas capacidades de evaporação (volatilidades) em uma dada temperatura e pressão. Na destilação, a mistura é aquecida até a ebulição, e os vapores são resfriados até sua condensação. Esse processo baseia-se no fato de que, numa solução de líquidos voláteis, o fracionamento dos mesmos se dá de tal forma que os que apresentam pontos de ebulição mais baixos se separam primeiro, seguidos pelos outros componentes em uma seqüência correspondente às suas respectivas volatilidades. Assim, o efeito final é o aumento da concentração do componente mais volátil no vapor e do componente menos volátil no líquido. Em virtude da diferença de gravidade entre a fase líquida e vapor, o líquido desce à coluna de destilação enquanto o vapor sobe, sendo recolhidos separadamente.

No caso de uma mistura homogênea (como a da água e álcool), o destilado terá a composição dos dois componentes, mas com predominância do mais volátil. Então, para se fazer a separação, usa-se um processo em série, que leva ao progressivo enriquecimento em álcool da corrente de líquido ascendente. Por esse processo obtém-se, a partir de um vinho de 7% a 9% de teor alcoólico, um teor próximo a 96% em etanol. A partir desse ponto, ocorre um fenômeno físico denominado “azeotropia” e a destilação fracionada não funciona mais. A mistura nessa compo-

sição é chamada “mistura azeotrópica”. A formação de um azeótropo na destilação determina a existência de duas classes de álcool: álcool hidratado e álcool anidro ou absoluto. As especificações para os tipos de álcool hidratado e do anidro dependem basicamente da aplicação que será dada ao álcool.

Secagem do álcool

O álcool hidratado, produto final dos processos de destilação e retificação, é uma mistura binária álcool-água que atinge um teor da ordem de 96°GL. Isso ocorre em consequência da formação de uma mistura azeotrópica, fenômeno físico no qual os componentes não são separados pelo processo de destilação. Esse álcool hidratado pode ser comercializado dessa forma ou pode sofrer um processo de desidratação. De fato, sendo a secagem do álcool mais uma etapa de fabricação que requer adicionais trabalho, gastos e energia, deve-se considerar muito seriamente as vantagens e desvantagens de se fabricar álcool hidratado ou anidro. Atualmente, três métodos principais são usados na obtenção de etanol anidro:

Destilação azeotrópica – Consiste na adição de um terceiro componente na corrente de produtos de topo, que irá formar um outro azeótropo de ponto de ebulição mais baixo. O uso desse método iniciou-se nos anos 1970, utilizando-se benzeno como o terceiro componente. Atualmente, 65% do álcool anidro brasileiro é obtido com esse método, usando-se, especialmente, ciclo-hexano, que há mais de 15 anos substituiu o benzeno, com vantagens de saúde ocupacional e ambiental. No entanto, esse processo é considerado demasiadamente energético.

Destilação extrativa – A técnica da utilização da destilação extrativa na desidratação do etanol não é nova, e foi utilizada no Brasil até meados da década de 1970, quando veio ser substituída pela destilação azeotrópica com benzeno, por esta representar um custo de instalação menor. Nesse método adiciona-se monoetilenoglicol (MEG) ou glicerina na corrente de produtos de

fundo, como separador de fases, eliminando o álcool anidro pelo topo da coluna. Apesar de ter um custo inicial um pouco elevado, esse processo passa a ser vantajoso se for contabilizada, por exemplo, a economia de um terço da energia (vapor e água) consumida pelo ciclo-hexano. Além disso, esse processo produz álcool de qualidade superior, a operação da planta é mais simples e o solvente pode ser facilmente recuperado. Dessa forma, com o desenvolvimento de tecnologias para adaptação de plantas que operam por destilação azeotrópica para destilação extrativa, o uso dessa última tem aumentado ano a ano. Atualmente, esse processo é responsável por 25% da produção nacional de álcool anidro, mas estima-se que até o final da safra 2004–2005, 33% da produção será por destilação extrativa.

Destilação com peneiras moleculares – Este sistema foi desenvolvido na década de 1970 nos Estados Unidos. É o processo com menor consumo energético, porém exige alto investimento inicial. Consiste da adsorção em zeólitos (material microporoso, semelhante a uma cerâmica), sendo a água depois extraída do zeólito pela aplicação de vácuo. Com a utilização da peneira molecular, não há uso de qualquer insumo químico, obtendo-se um álcool anidro sem traços desses produtos. Dessa forma, esse álcool é especificamente indicado para aplicações mais exigentes, como o uso em indústrias farmacêuticas, químicas e de alimentação. O custo de produção de álcool anidro (R\$/m³ de álcool) com a destilação com peneiras moleculares é de cerca de 30% maior que a destilação azeotrópica e o dobro da destilação extrativa.

Aproveitamento dos subprodutos de fermentação

Uso da vinhaça

A vinhaça, resíduo final da fabricação do álcool etílico por via fermentativa, é também conhecida por vinhoto, restilo, caldo ou garapão, dependendo da região. Para cada litro de álcool produzido, são produzidos de 10 a 15 L de vinhaça. Sua composição é bastante variável, dependen-

do, principalmente, da composição do vinho, o qual, por sua vez, depende de fatores como a natureza e a composição da matéria-prima, o sistema usado no preparo do mosto, o método de fermentação adotado, o equipamento e método usados na destilação e o tipo de flegma separado.

É caracterizada como um efluente de destilarias com alto poder poluente (cerca de cem vezes a do esgoto doméstico), que decorre da sua riqueza em matéria orgânica e por possuir três importantes componentes: nitrogênio, fósforo e potássio. Apesar de tal potencial, por muito tempo a vinhaça foi simplesmente evacuada em rios e canais abertos, o que provocava um comprometimento significativo de flora e fauna das regiões próximas às usinas.

Com o início da sistemática de controle da poluição dos órgãos públicos, algumas medidas transitórias foram adotadas e a vinhaça passou a ser armazenada em solo. Logo surgiram, porém, as áreas de sacrifício, que acabaram comprometendo a qualidade da terra e das águas subterrâneas e foi necessário realizar um maior aprimoramento da questão. Enfim, a grande concentração de potássio observada na vinhaça estimulou estudos integrados para o aproveitamento do produto na área agrícola como fonte de adubação dos canaviais. Hoje essa prática é realizada em muitas unidades e sua utilização in natura, através da fertirrigação em quantidades racionais, além de contribuir positivamente na atividade produtiva, evita o despejo do resíduo em cursos d'água.

Uma outra alternativa é a combustão direta ou incineração total da vinhaça. Esse processo consiste na queima da vinhaça e na recuperação econômica de alguns sais, como o potássio, que posteriormente pode ser reutilizado nas práticas de fertilização da lavoura. Esse método apresenta basicamente três benefícios: elimina por completo esse efluente poluente, possibilita a recuperação econômica de alguns sais para posterior uso agrícola e possibilita a geração de energia a partir da queima.

A biodigestão anaeróbica da vinhaça é uma outra alternativa ainda pouco utilizada nas usi-

nas. Consiste no tratamento desse material em reatores anaeróbicos, um processo largamente conhecido e empregado no tratamento de efluentes urbanos domésticos. Tem como vantagem um baixo consumo de energia, pequena produção de descartes (lodo), grande eficiência na diminuição da carga orgânica e a produção de etanol envolvida no processo pode ser capturada e convertida em gerar energia. Além disso, a vinhaça tratada nesse sistema apresenta baixíssimo potencial poluidor quando reutilizada na fertirrigação.

Uso do resíduo das matérias-primas

Após a extração do açúcar ou amido, em geral, tem-se produtos com uma composição rica em minerais e, geralmente, altamente energéticas e facilmente digeríveis. Dessa forma, na maior parte das vezes podem ser utilizados na alimentação animal em complementação à ração.

Usos diferentes têm sido estudados para as matérias-primas mais comuns na produção de álcool, como beterraba, cana-de-açúcar e grãos, especialmente milho. A seguir, serão feitas considerações sobre esses materiais.

Beterraba – A polpa constitui um elemento de grande valor nutricional para a produção de carne e leite. É assim um subproduto destinado às indústrias de alimentação animal. Pode ser disponibilizada no estado seco ou granulada, em ambos os casos com um teor de matéria seca na ordem dos 90%, ou, alternativamente, no estado úmido (polpa prensada), com um teor de matéria seca de aproximadamente 22%.

Cana-de-açúcar – O bagaço da cana-de-açúcar é um subproduto do processo de extração do caldo, seja este para a produção de açúcar ou de álcool. A principal característica do bagaço da cana é o seu teor de fibra, uma vez que a quantidade de bagaço que se obtém por unidade de massa de cana depende do teor de fibra. Em comparação a outros resíduos da agroindústria, o bagaço é considerado um subproduto nobre utilizado historicamente como combustível em caldeiras, visando à produção de vapor de processo e

energia elétrica para os processos de industrialização do açúcar e do álcool. De fato, 1 t de cana moída gera aproximadamente 250 kg de bagaço, que, revertido em energia calórica, representa o equivalente a 560 mil kcal. Essa mesma quantidade de cana produz 70 L de álcool que proporcionam em torno de 392 mil kcal de energia, ou seja, existe mais energia embutida no bagaço da cana do que no álcool isoladamente. Comparada a queima do bagaço com outros combustíveis fósseis, ela é mais limpa, gerando menor impacto ambiental uma vez que praticamente não libera compostos com bases de enxofre, como SO_2 ou SO_3 , relativamente comum na queima de óleos combustíveis. Além disso, sua queima é lenta com uma baixa temperatura de chama proporcionando pouca formação de óxido nitroso. O bagaço pode ainda ser empregado como fertilizante orgânico e como matéria-prima para a produção de papel, celulose, aglomerados e chapas de madeira. Recentemente, com o desenvolvimento de técnicas de hidrólise de compostos celulósicos, também têm sido feitos estudos para seu uso como substrato para a produção de álcool.

Grãos – Os resíduos de grãos após a extração do amido têm sido utilizados, com sucesso, como complemento em dietas de suínos, aves, ovinos e gado. Esses resíduos são fonte de vitamina B e possuem um teor protéico relativamente alto.

Uso das leveduras

As leveduras secas, provenientes da fermentação do álcool, constituem excelentes rações para animais, substituindo com vantagens o farelo de soja. Podem ser utilizadas também como fermento na indústria de panificação, farmacêutica e de bebidas.

Novas tecnologias na produção de etanol combustível

Grande parte da tecnologia de produção de etanol combustível foi desenvolvida há 30–40 anos. Entretanto, existem muitas pesquisas sendo

feitas, principalmente relacionadas à viabilização do uso de materiais celulósicos e resíduos agroindustriais como matérias-primas. De fato, nos processos utilizados atualmente, a matéria-prima chega a custar 40% do valor de produção do etanol. Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias adequadas para o uso de matérias-primas mais baratas, como materiais lignocelulósicos, será uma contribuição significativa na redução dos custos de produção e maior universalização do uso de etanol combustível. A seguir, serão descritas algumas dessas novas tecnologias.

Enzimas imobilizadas

Uma das mais importantes áreas de pesquisa atualmente trata do uso de enzimas na conversão de amido e celulose em açúcares fermentescíveis. Como já discutido neste trabalho, o uso de enzimas traz uma alta conversão, operação relativamente simples e baixo consumo de energia. Entretanto, as enzimas são caras e extremamente sensíveis, além do que, com a tecnologia atualmente usada, são misturadas no caldo e não podem ser recuperadas para reutilização. Uma solução que tem sido estudada envolve a imobilização de enzimas, isto é, "prendê-las" em um substrato inerte. Como resultado, após a conversão, o caldo poderia ser filtrado, e as enzimas recuperadas e usadas novamente, levando a considerável economia.

Pré-tratamento da celulose

Para a lignocelulose ficar disponível para fermentação, ela deve ser tratada de modo que sejam liberados açúcares de cadeia curta, que podem ser, então, convertidos em etanol por microrganismos. Atualmente, não existe nenhum pré-tratamento completamente eficiente para essa conversão, porém diversos métodos têm sido estudados e otimizados.

Explosão a vapor (auto-hidrólise)

A explosão a vapor é um método razoavelmente comum de pré-tratamento de materiais

lignocelulósicos. Nesse método, a biomassa moída é tratada com vapor saturado a alta pressão seguido por uma redução abrupta da pressão, o que faz o material entrar em decompressão explosiva. A explosão a vapor é normalmente operada a temperaturas iniciais entre 160°C–260°C (correspondendo a pressões entre 0,69–4,83 MPa) por alguns segundos, e, então, o material é exposto a pressão atmosférica. Com esse método pode-se ter uma alta eficiência na conversão da celulose. As limitações desse método incluem a destruição da fração de xilana, disrupção incompleta da matriz lignina-carboidrato e geração de compostos que podem ser inibidores do crescimento do microrganismo.

Sacarificação e fermentação simultâneas

Nesse processo, as enzimas que transformarão a lignocelulose em açúcares fermentescíveis e o microrganismo que vai fermentar o material são adicionados simultaneamente no mesmo reator, à medida que a lignocelulose é transformada em açúcares de cadeia curta pelas enzimas, estes são transformados em etanol pelo microrganismo. Esse processo aumenta a conversão de etanol pela diminuição da produção de compostos inibidores do crescimento dos microrganismos, assim como elimina a necessidade de dois reatores diferentes para a sacarificação (conversão de lignocelulose em açúcares de cadeia curta) e fermentação. Ademais, a maior limitação do processo ocorre pelas diferentes temperaturas ótimas de sacarificação (50°C) e fermentação (35°C). Além disso, o etanol produzido pode exercer alguma inibição no processo de sacarificação.

Modificação genética

A falta de microrganismos que tenham a capacidade de, por um lado, fermentar açúcares de cadeia longa, e, por outro, produzir etanol em concentrações viáveis é o grande problema do uso de materiais lignocelulósicos como substrato para a fermentação alcoólica. Dessa forma, um objetivo importante da engenharia genética tem sido desenvolver tal microrganismo, combinando as vantagens de diferentes espécies.

Considerações finais

O álcool é conhecido há muito tempo, sendo, talvez, o mais antigo produto obtido pela biotecnologia tradicional. Em suas aplicações incluem-se o álcool potável, químico e combustível. De fato, carros abastecidos com etanol foram planejados por Henry Ford já na década de 1880, quando ele desenvolveu seu primeiro modelo, Ts, que funcionava com etanol feito de milho. Entretanto, no século 20, os combustíveis derivados de petróleo, chamados "combustíveis fósseis", apareceram e rapidamente dominaram o mercado. Os preços menores de combustíveis persistiram por bastante tempo, até a crise do petróleo, na década de 1970. Essa crise realçou a importância do uso de fontes alternativas de energia, entre elas o etanol.

Além da questão econômica, sob o ponto de vista ambiental, são pacificamente reconhecidas as vantagens do álcool, seja quando empregado isoladamente sob a forma de álcool hidratado, seja quando misturado à gasolina sob forma de álcool anidro. Em ambos os casos, apresenta imensa vantagem de reduzir a emissão de monóxido de carbono e de dispensar o emprego do chumbo tetraetila como aditivo, um dos elementos mais tóxicos no ar das grandes cidades. Graças ao álcool, o Brasil não contribui para o aumento do efeito estufa e foi o primeiro país a se livrar do chumbo tetraetila. Além dessa vantagem, o álcool combustível propicia redução na emissão de poluentes primários e também redução considerável nas chamadas emissões poluidoras reativas. Em termos gerais, portanto, o álcool gera uma energia cada vez mais "limpa", característica invejável e cada vez mais atrativa num mundo onde cresce a preocupação com o total de poluentes emitidos.

Há mais de 20 anos, a primeira Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, patrocinada pela Organização das Nações Unidas (ONU), determinou, como condição da boa convivência internacional, o estabelecimento de uma relação

mais equilibrada do homem com o meio ambiente. Desde então, a procura por esse equilíbrio tornou-se uma tendência irreversível em todo o Planeta. Alguns países já criaram impostos sobre a emissão de CO₂. Uma série de mecanismos permitirá que as quantias arrecadadas sejam investidas em projetos que contribuam para diminuir o total de gás emitido. O álcool, pela sua contribuição positiva à questão ambiental, poderá ser beneficiado por mecanismos semelhantes.

As tecnologias em uso atualmente para a produção de etanol são baseadas em culturas vegetais, utilizando-se substratos como cana-de-açúcar e amido de milho. Por serem matérias-primas alimentares, e que precisam de manejo agrícola, esses materiais podem representar até 40% do custo de produção do etanol. Dessa forma, a completa utilização da tecnologia existente e os novos desenvolvimentos, principalmente no tocante ao uso de materiais lignocelulósicos como matéria-prima, tornarão a produção de etanol muito mais econômica e promissora em um futuro próximo.

Referências

- BNDES. Documento de base para discussão sobre um programa de ampliação da produção de álcool no Brasil com vistas à exportação. 2003. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/alcool_discussao.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2006
- GOLDEMBERG, J. E MACEDO, I. Brazilian Alcohol Program: na overview. Energy for Sustainable Development, [S.l.] n. 1, p. 17-22, 1994.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 15 out. 2006
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Physicochemical characterization of some starchy tubers. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.
- SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology, Essex, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.

Agroenergia veicular

Henry Joseph Jr.¹

Não há como negar: o Brasil é hoje um país privilegiado!

Enquanto o mundo procura um meio para se livrar da dependência do petróleo, combustível hoje usado por quase 1 bilhão de veículos e que algum dia, de modo inexorável, vai acabar, o nosso país se deu ao luxo, no começo deste ano, de reduzir a quantidade de álcool misturado na gasolina, porque o consumo de álcool puro aumentou tanto, em decorrência do seu baixo preço e da grande venda e aceitação dos veículos flex fuel, que a produção não acompanhou a demanda, obrigando-nos a gastar mais do combustível fóssil para economizar o renovável.

Isto seria absolutamente lamentável, se fosse para sempre. Mas não: após poucos meses, a produção de álcool está crescendo num ritmo tal que se pode afirmar que a normalidade será alcançada em breve. Além disso, o País alcançou a auto-suficiência na extração e produção de petróleo, permitindo que essas mudanças ocorram sem afetar a balança de pagamentos.

Este é um bom exemplo do potencial que os combustíveis renováveis, produzidos a partir da biomassa, terão no mundo nos próximos anos e da facilidade que o Brasil terá em responder à procura por um novo combustível que possa ser integrado aos combustíveis convencionais, pois ninguém espera que essa frota de 1 bilhão de veículos seja substituída por uma que não use derivados de petróleo de um dia para o outro, ou que seus proprietários se conformem em deixá-los na garagem por falta de combustível. Portanto, misturar novos produtos aos combustíveis tradicionais será um meio rápido de estender a disponibilidade dos derivados de petróleo e, conseqüentemente, do uso dos veículos existentes, uma

vez que 10% de álcool na gasolina ou 5% de óleo vegetal no óleo diesel significa economizar muito petróleo.

É absolutamente certo quando se diz que os veículos do futuro serão silenciosos, dotados de motores elétricos não poluentes, que usarão hidrogênio para gerar energia e este gás será obtido de modo ambientalmente correto e sustentável.

Porém, existe um enorme deserto a se cruzar entre a realidade que hoje vivemos e este mundo perfeito de amanhã, uma vez que a frota que usa derivados de petróleo continua crescendo – vide China, Índia e todo potencial de crescimento dos países em desenvolvimento – e a indústria automobilística mundial, por absoluta falta de opções econômica ou tecnicamente viáveis, continua a fabricar 65 milhões de veículos por ano com motores de combustão interna, ecologicamente poluentes e termodinamicamente pouco eficientes, porém confiáveis e acessíveis. Ou seja, ao invés de diminuir o consumo de petróleo, a humanidade está celeremente indo na direção contrária.

A única exceção, atualmente, neste panorama, é o Brasil.

O nosso país produz para o mercado interno cerca de 1,5 milhão de veículos leves por ano que, como o dos outros países, também são dotados de motores de combustão interna, mas que estão adaptados para queimar álcool puro ou uma gasolina misturada com mais de 20% de álcool. Mesmo para os motores a diesel, usados em caminhões, ônibus, tratores ou picapes, já é previsto o uso de um óleo diesel contendo de 2% a 5% de óleo vegetal transesterificado (sem glicerina), e

¹ Presidente da Comissão de Energia e Meio Ambiente da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), diretor da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA) e gerente do Laboratório de Motores e Emissões da Volkswagen do Brasil.

no futuro este teor irá aumentar para 15% ou 20%, ou talvez até mesmo 100%.

Assim, apesar de aparentemente estarmos fabricando veículos convencionais, na realidade estamos constituindo uma frota de veículos que são mais independentes da necessidade de petróleo e que têm permitido ao País fazer significativa economia de divisas e melhor se preparar para atravessar o deserto citado. Enquanto as montadoras e a comunidade científica internacional trabalham para desenvolver e produzir aquele mencionado veículo do futuro, o Brasil vai estar minimizando suas necessidades de derivados de petróleo, por meio do uso em larga escala de combustíveis derivados da biomassa. E, provavelmente, muitos outros países vão seguir esse mesmo caminho.

Essa nossa posição não foi conseguida de graça nem de imediato. Há 30 anos, ante uma situação momentânea internacional de forte redução na oferta de petróleo, fez-se uma opção por uma alteração profunda da nossa matriz energética e, desde então, alternando momentos positivos e negativos diante de cenários promissores e de outros nem tanto, pesquisadores, produtores de álcool, indústria automobilística, de componentes, etc. têm trabalhado bastante para atingirmos essa posição atual.

Sem dúvida, o lançamento em março de 2003 dos veículos *flex fuel*, popularmente chamados de bicombustíveis, foi um marco histórico na nossa matriz energética e um ponto de inflexão no mercado de combustíveis alternativos do nosso país. Após vários anos do sucesso do Proálcool, quando 5 milhões de veículos a álcool foram produzidos até 1992, a indústria automobilística brasileira produziu neste período de 3 anos 1,5 milhão de veículos flexíveis. Hoje, sete fabricantes estão oferecendo mais de 70 modelos "flex" no mercado brasileiro, a preço equivalente aos dos veículos similares convencionais.

Graças à enorme aceitação desses veículos e ao seu preço competitivo perante a gasolina, a produção brasileira de álcool, que vinha diminuindo 11% ao ano, tomou um violento impulso e passou a crescer a mais de 10% ao ano.

Entretanto, mesmo com esse crescimento, a demanda nos últimos meses foi maior que a oferta, pressionando o preço do álcool e levando o governo a tentar intervir nesse mercado, fazendo acordos para estabelecimento de preços máximos e reduzindo o teor de álcool na gasolina para aumentar sua disponibilidade. Tudo em vão, pois o preço não abaixou conforme esperado. Como em mercado livre o que vale é a lei da oferta e da procura, finalmente, com o início da safra e aumento da produção, o preço do álcool começa a se reduzir e a distribuição volta a se normalizar.

Paralelamente, estes últimos anos também foram marcados pelo galopante aumento do preço do petróleo no mercado internacional, que passou de US\$ 25 o barril para mais de US\$ 70 dólares, o que coloca os refinadores brasileiros numa saia justa ante o álcool, uma vez que com os carros flexíveis o consumidor pode passar com facilidade de álcool para gasolina e vice-versa, levando os formuladores de preços a ter que pensar muito antes de repassar os aumentos de custo do óleo cru para os derivados, sob pena de perder mercado.

Entretanto, não é somente a questão do aumento do preço e a preocupação com o esgotamento das reservas que têm levado pesquisadores de todo o mundo a procurar alternativas para os derivados do petróleo. Desde que se descobriu que a temperatura da Terra vem crescendo por culpa dos gases resultantes da queima dos combustíveis fósseis, o que levou vários países desenvolvidos a assinar o famoso Protocolo de Kyoto, onde se comprometem a reduzir as emissões desses gases, a comunidade científica busca outra fonte de energia veicular que possa ser usada sem aumentar o aquecimento global. E, mais uma vez, os combustíveis renováveis produzidos a partir da biomassa, entre eles o álcool, ganham um papel importante.

A expressão "combustíveis renováveis" é usada para definir aqueles combustíveis feitos a partir de produtos agrícolas ou da fermentação de matéria orgânica, uma vez que, ao contrário do combustível fóssil (petróleo ou gás natural), que quando acabar, acabou, o homem sempre pode-

rá produzir mais, de acordo com suas necessidades. Basta plantar ou fermentar.

Mas há uma outra particularidade que torna a expressão renovável mais significativa e que tem apontado os combustíveis renováveis como uma salvadora solução para o aquecimento global. É o fato de que o gás CO_2 , emitido pela queima de qualquer combustível e principal causa do aquecimento atmosférico, é reabsorvido por fotossíntese pelas plantas usadas para produzir os combustíveis renováveis, tornando neutro o seu uso. Assim, o CO_2 emitido na queima se renova, sem agredir o ambiente.

Por essas características de facilidade de uso em tecnologias veiculares existentes, substituição do moribundo e caro petróleo e redução no impacto ambiental, é que os combustíveis renováveis feitos a partir da biomassa têm obtido espaço e têm levado outros países a se interessar por sua aplicação.

Do mesmo modo que existem países interessados em usar os combustíveis renováveis, também existem países interessados na sua produção para exportação, uma vez que por razões climáticas e geográficas são países com inclinação agrícola e enxergam nessa produção uma oportunidade econômica.

Portanto, pode-se imaginar brevemente o surgimento de um mercado internacional de combustíveis renováveis, criando alternativas socioeconômicas para muitos países e alternativas energéticas para outros, pelo menos até que se desenvolva um novo conceito de veículo, mais limpo, acessível, confiável, para ser produzido em larga escala e que substitua os atuais automóveis com motor de combustão interna.

E quais são as novas tecnologias mais promissoras em desenvolvimento?

Basicamente, todos os estudos em andamento apontam para um mesmo caminho, que é o do uso de motores elétricos, pois são eficientes, silenciosos, potentes, não emitem poluentes e são simples. Porém, são duas as questões ainda em aberto: como gerar a energia elétrica para movimentar o motor de modo seguro e não poluente e

como levar a bordo essa energia em quantidade suficiente para o veículo ter uma boa autonomia.

Gerar energia de modo seguro e não poluente passa pela análise dos riscos que envolvem usinas nucleares ou térmicas, e levar quantidade suficiente de energia a bordo significa qualquer coisa que não seja a conhecida e pesada bateria à base de chumbo ou de outros metais pesados.

Atualmente, acredita-se que o meio mais adequado de gerar a energia elétrica necessária seria pela troca iônica obtida na passagem de hidrogênio por um conjunto de membranas eletrolíticas, a chamada célula de combustível (ou fuel cell), acrescida de um reformador catalítico que possa extrair o hidrogênio de uma substância rica nesse gás, tal como o gás natural (rico em metano), ou, preferencialmente, devido à facilidade de abastecimento e transporte, de um líquido, tal como um álcool (metanol ou etanol). Devido à sua baixíssima densidade e explosividade, procura-se evitar a idéia de transportar o próprio gás hidrogênio em cilindros, no veículo.

Assim, como se pode observar, o Brasil continua um país privilegiado no futuro da tecnologia veicular, pois o uso de álcool para gerar hidrogênio, que em outros países é o metanol, obtido a partir do gás natural (fóssil e finito) ou de madeira (péssimo rendimento), no nosso caso será o etanol, que já sabemos fazer como ninguém.

Juntando-se tudo, temos um quadro bastante promissor.

Estamos substituindo nossa frota de veículos por automóveis flexíveis, que podem usar gasolina ou álcool, o que nos permite flutuar de um combustível para outro conforme os preços e a disponibilidade. Também estamos introduzindo o óleo vegetal misturado ao óleo diesel, o que reduzirá nossa dependência do petróleo na medida em que a produção desse biodiesel atingir escala suficiente. Apesar de mais atrasados, outros países também estão seguindo caminhos semelhantes, o que levará a um mercado internacional de combustíveis renováveis, dando ao Brasil mais segurança energética e abrindo espaço para no-

vos desenvolvimentos. Em virtude de suas características de sustentabilidade, por unir aspectos econômicos, sociais e ambientais, e de redução de emissão de gases que causam o aquecimento global, o mercado de combustíveis renováveis será muito atraente para investimentos internacionais. Existe enorme potencial de aplicação dos combustíveis renováveis nas futuras tecnologias

veiculares. Alcançamos a auto-suficiência na produção de petróleo e ainda temos disponibilidade de gás natural para ser incluído na matriz energética.

Portanto, ao contrário dos países que temem pelo futuro, o Brasil aguarda ansioso pela oportunidade de poder melhor usufruir do potencial de sua matriz energética.



Campeões de desmatamento

Evaristo Eduardo de Miranda¹

Há 8 mil anos, o Brasil possuía 9,8% das florestas mundiais. Hoje, o País detém 28,3%. Dos 64 milhões de quilômetros quadrados de florestas existentes antes da expansão demográfica e tecnológica dos humanos, restam menos de 15,5 milhões, cerca de 24%. Mais de 75% das florestas mundiais já desapareceram. Com exceção de parte das Américas, todos os continentes desmataram, e muito, conforme revela o estudo da Embrapa Monitoramento por Satélite sobre a evolução das florestas mundiais².

A Europa, sem a Rússia, detinha mais de 7% das florestas do Planeta e hoje tem apenas 0,1%. A África possuía quase 11% e agora 3,4%. A Ásia já deteve quase um quarto das florestas mundiais (23,6%), agora possui 5,5% e segue desmatando. No sentido inverso, a América do Sul, que detinha 18,2% das florestas, agora detém 41,4%, e o grande responsável por esses remanescentes, cuja representatividade cresce ano a ano, é o Brasil.

Longe de estar encerrada no passado, essa tendência se mantém e se o desflorestamento mundial prosseguir no ritmo atual, o Brasil – por ser um dos que menos desmataram – deverá deter no futuro quase metade das florestas primárias do Planeta. O paradoxo é que, ao invés de ser reconhecido pelo seu histórico de manutenção da cobertura florestal, o País vem sendo severamente criticado pelos campeões do desmatamento e paulatinamente alijado da própria memória.

Na maioria dos países europeus, africanos e asiáticos, a defesa da natureza é um fenômeno re-

cente. Mas a preocupação com a preservação florestal no Brasil vem de longa data. Desde o século 16, no início do povoamento português, as Ordenações Manuelinas e Filipinas estabeleceram regras e limites para exploração de terras, águas e vegetação. Em 1550, já havia uma lista de árvores reais, protegidas por lei, o que deu origem à expressão madeira-de-lei. O *Regimento do Pau-Brasil*, de 1600, estabeleceu o direito de uso sobre as árvores mas não sobre as terras, consideradas reservas florestais da Coroa. Elas não podiam ser destinadas à agricultura. Essa legislação garantiu a manutenção e a exploração sustentável das florestas de pau-brasil até 1875, quando entrou no mercado a anilina³. Ao contrário do que muitos pensam e propagam, a exploração racional do pau-brasil manteve boa parte da Mata Atlântica até o final do século 19 e não foi a causa do seu desmatamento, fato bem posterior.

O mesmo ocorreu com os manguezais. Em 1760, um alvará real de Dom José I os protegeu. As Câmaras Municipais foram notificadas e chamadas a aplicá-lo. Em 1797, uma série de cartas régias consolidou as leis ambientais daquele tempo: pertencia à Coroa toda mata à borda da costa, de rio que desembocasse imediatamente no mar ou que permitisse a passagem de jangadas transportadoras de madeiras. A criação dos cargos de Juizes Conservadores, aos quais coube aplicar as penas previstas na legislação, foi outro marco em favor das florestas. As penas eram de multa, prisão, degredo e até pena capital para os incêndios dolosos⁴. No final do século 19, surgiu o *Regimento de Cortes de Madeiras*,

¹ Doutor em ecologia, chefe-geral da Embrapa Monitoramento por Satélite (mir@cnpm.embrapa.br).

² www.cnpm.embrapa.br.

³ MIRANDA, Evaristo Eduardo de. Natureza, conservação e cultura. Ensaio sobre as relações homem natureza no Brasil. Metalivros. São Paulo, 2002.

⁴ A primeira lei de crimes ambientais da era republicana só foi promulgada em 1999.

estabelecendo regras rigorosas para a derrubada de árvores, além de outras restrições à implantação de roçados.

O desmatamento, dos séculos 17 ao 19, limitou-se a alguns pontos da faixa costeira. Em junho de 1808, D. João VI criou a primeira unidade de conservação florestal, o Real Horto Botânico do Rio de Janeiro, com mais de 2.500 ha⁵. Uma ordem, de 9 de abril de 1809, deu liberdade aos escravos que denunciasses contrabandistas de pau-brasil e o Decreto de 3 de agosto de 1817 proibiu o corte de árvores nas áreas circundantes às nascentes do Rio Carioca. Em 1830, o total acumulado de áreas desmatadas no Brasil era inferior 30 mil quilômetros quadrados⁶. Hoje, desfloresta-se mais do que isso a cada 2 anos.

Em 1844, após uma grande seca, o ministro Almeida Torres propôs desapropriações e plantios de árvores para salvar os mananciais do Rio de Janeiro. Em 1854 e 1856, começaram a ser desapropriados sítios com essa finalidade pelo ministro Couto Ferraz. Em 1861, pelo Decreto Imperial nº 577, de D. Pedro II, foram criadas (e plantadas) as Florestas da Tijuca e das Paineiras.

O pensamento e a crítica ambiental brasileira de hoje resultam de uma continuidade histórica de séculos, uma tradição intelectual única⁷. A política florestal da Coroa portuguesa e brasileira logrou, por diversos mecanismos, manter a cobertura vegetal preservada até o final do século 19. O desmatamento brasileiro é fenômeno do século 20. Entre 1985 e 1995, a Mata Atlântica perdeu mais de 1 milhão de hectares, mais do que toda área desmatada no período da Coroa portuguesa. Em São Paulo, Santa Catarina e no Paraná, a marcha para o oeste trouxe grandes desmatamentos. As florestas de araucárias foram entregues pela *Ré-pública* aos construtores anglo-americanos de ferrovias, junto com as terras adjacentes (15 a 30 km de cada lado!).

Na Amazônia, por 4 séculos, a presença humana limitou-se a cidades ribeirinhas e ao extrativismo. A ocupação desenvolveu-se na segunda metade do século 20 com migrações, crescimento da população, construção de estradas de rodagem, hidrelétricas e outras obras de infra-estrutura. Há 30 anos, as taxas anuais de desmatamento na Amazônia têm variado de 15 mil a 20 mil quilômetros quadrados, com picos de 29 mil e 26 mil quilômetros quadrados, respectivamente em 1995 e 2003, porém com tendência de queda nos últimos 2 anos, passando agora para 11 mil quilômetros quadrados por ano, segundo estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)⁸.

O estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) indica que, apesar do desmatamento dos últimos 30 anos, o Brasil é um dos países que mais mantêm sua cobertura florestal. Dos 100% de suas florestas originais, a África mantém hoje 7,8%, a Ásia 5,6%, a América Central 9,7% e a Europa – o pior caso do mundo – apenas 0,3%. Embora deva-se mencionar o esforço de reflorestar para uso turístico e comercial, não é possível ignorar que 99,7% das florestas primárias europeias foram substituídas por cidades, cultivos e plantações comerciais.

O continente que mais mantém suas florestas originais é a América do Sul, com 54,8%. Com invíveis 69,4% de suas florestas primitivas, o Brasil tem grande autoridade para tratar desse tema ante as críticas dos campeões do desmatamento mundial. Há que ter também responsabilidade para reavivar, por meio de políticas e práticas duradouras, a eficácia das medidas históricas de gestão e exploração que garantiram a manutenção das suas florestas primárias. Um bom começo seria recolocar sob responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento as florestas cultivadas para produção comercial.

⁵ Hoje, o Jardim Botânico do Rio de Janeiro foi republicanamente reduzido a pouco mais de 100 ha.

⁶ CASTRO, Carlos Ferreira de Abreu. Gestão Florestal no Brasil Colônia. UNB, Brasília, 2002.

⁷ PADUA, José Augusto. Um sopro de destruição, pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravista (1786-1888). Zahar, Rio de Janeiro, 2002.

⁸ Projeto PRODES – www.obt.inpe.br/prodes/index.html

Instrução aos autores

1. Tipo de colaboração

São aceitos, por esta Revista, trabalhos que se enquadrem nas áreas temáticas de política agrícola, agrária, gestão e tecnologias para o agronegócio, agronegócio, logística e transporte, estudos de casos resultantes da aplicação de métodos quantitativos e qualitativos aplicados a sistemas de produção, uso de recursos naturais e desenvolvimento rural sustentável que ainda não foram publicados nem encaminhados a outra revista para o mesmo fim, dentro das seguintes categorias: a) artigos de opinião; b) artigos científicos; d) textos para debates.

Artigo de opinião

É o texto livre, mas bem fundamentado sobre algum tema atual e de relevância para os públicos do agronegócio. Deve apresentar o estado atual do conhecimento sobre determinado tema, introduzir fatos novos, defender idéias, apresentar argumentos e dados, fazer proposições e concluir de forma coerente com as idéias apresentadas.

Artigo científico

O conteúdo de cada trabalho deve primar pela originalidade, isto é, ser elaborado a partir de resultados inéditos de pesquisa que ofereçam contribuições teórica, metodológica e substantiva para o progresso do agronegócio brasileiro.

Texto para debates

É um texto livre, na forma de apresentação, destinado à exposição de idéias e opiniões, não necessariamente conclusivas, sobre temas importantes atuais e controversos. A sua principal característica é possibilitar o estabelecimento do contraditório. O texto para debate será publicado no espaço fixo desta Revista, denominado Ponto de Vista.

2. Encaminhamento

Aceitam-se trabalhos escritos em Português. Os originais devem ser encaminhados ao Editor, via e-mail, para o endereço reginavaz@agricultura.gov.br.

A carta de encaminhamento deve conter: título do artigo; nome do(s) autor(es); declaração explícita de que o artigo não foi enviado a nenhum outro periódico para publicação.

3. Procedimentos editoriais

a) Após análise crítica do Conselho Editorial, o editor comunica aos autores a situação do artigo: aprovação, aprovação condicional ou não-aprovação. Os critérios adotados são os seguintes:

- adequação à linha editorial da revista;
- valor da contribuição do ponto de vista teórico, metodológico e substantivo;
- argumentação lógica, consistente, e que ainda assim permita contra-argumentação pelo leitor (discurso aberto);
- correta interpretação de informações conceituais e de resultados (ausência de ilações falaciosas);
- relevância, pertinência e atualidade das referências.

b) São de exclusiva responsabilidade dos autores, as opiniões e os conceitos emitidos nos trabalhos. Contudo, o editor, com a assistência dos conselheiros, reserva-se o direito de sugerir ou solicitar modificações aconselhadas ou necessárias.

c) Eventuais modificações de estrutura ou de conteúdo, sugeridas aos autores, devem ser processadas e devolvidas ao Editor, no prazo de 15 dias.

d) A seqüência da publicação dos trabalhos é dada pela conclusão de sua preparação e remessa à oficina gráfica, quando então não serão permitidos acréscimos ou modificações no texto.

e) À Editoria e ao Conselho Editorial é facultada a encomenda de textos e artigos para publicação.

4. Forma de apresentação

a) Tamanho – Os trabalhos devem ser apresentados no programa *Word*, no tamanho máximo de 20 páginas, espaço 1,5 entre linhas e margens de 2 cm nas laterais, no topo e na base, em formato A4, com páginas numeradas. A fonte é *Times New Roman*, corpo 12 para o texto e corpo 10 para notas de rodapé. Utilizar apenas a cor preta para todo o texto. Devem-se evitar agradecimentos e excesso de notas de rodapé.

b) Títulos, Autores, Resumo, *Abstract* e Palavras-chave (*key-words*) – Os títulos em Português devem ser grafados em caixa baixa, exceto a primeira palavra ou em nomes próprios, com, no máximo, 7 palavras. Devem ser claros e concisos e expressar o conteúdo do trabalho. Grafar os nomes dos autores por extenso, com letras iniciais maiúsculas. O resumo e o abstract não devem ultrapassar 200 palavras. Devem conter uma síntese dos objetivos, desenvolvimento e principal conclusão do trabalho. É exigida, também, a indicação de no mínimo três e no máximo cinco palavras-chave e *key-words*. Essas expressões devem ser grafadas em letras minúsculas, exceto a letra inicial, e seguidas de dois pontos. As Palavras-chave e *Key-words* devem ser separadas por vírgulas e iniciadas com letras minúsculas, não devendo conter palavras que já apareçam no título.

c) No rodapé da primeira página, devem constar a qualificação profissional principal e o endereço postal completo do(s) autor(es), incluindo-se o endereço eletrônico.

d) Introdução – A palavra Introdução deve ser grafada em caixa-alta-e-baixa e alinhada à esquerda. Deve ocupar, no máximo duas páginas e apresentar o objetivo do trabalho, importância e contextualização, o alcance e eventuais limitações do estudo.

e) Desenvolvimento – Constitui o núcleo do trabalho, onde que se encontram os procedimentos metodológicos, os resultados da pesquisa e sua discussão crítica. Contudo, a palavra Desenvolvimento jamais servirá de título para esse núcleo, ficando a critério do autor empregar os títulos que mais se apropriem à natureza do seu trabalho. Sejam quais forem as opções de título, ele deve ser alinhado à esquerda, grafado em caixa baixa, exceto a palavra inicial ou substantivos próprios nele contido.

Em todo o artigo, a redação deve priorizar a criação de parágrafos construídos com orações em ordem direta, prezando pela clareza e concisão de idéias. Deve-se evitar parágrafos longos que não estejam relacionados entre si, que não explicam, que não se complementam ou não concluem a idéia anterior.

f) Conclusões – A palavra Conclusões ou expressão equivalente deve ser grafada em caixa-alta-e-baixa e alinhada à esquerda da página. São elaboradas com base no objetivo e nos resultados do trabalho. Não podem consistir, simplesmente, do resumo dos resultados; devem apresentar as novas descobertas da pesquisa. Confirmar ou rejeitar as hipóteses formuladas na Introdução, se for o caso.

g) Citações – Quando incluídos na sentença, os sobrenomes dos autores devem ser grafados em caixa-alta-e-baixa, com a data entre parênteses. Se não incluídos, devem estar também dentro

do parêntesis, grafados em caixa alta, separados das datas por vírgula.

- Citação com dois autores: sobrenomes separados por “e” quando fora do parêntesis e com ponto-e-vírgula quando entre parêntesis.
- Citação com mais de dois autores: sobrenome do primeiro autor seguido da expressão et al. em fonte normal.
- Citação de diversas obras de autores diferentes: obedecer à ordem alfabética dos nomes dos autores, separadas por ponto-e-vírgula.
- Citação de mais de um documento dos mesmos autores: não há repetição dos nomes dos autores; as datas das obras, em ordem cronológica, são separadas por vírgula.
- Citação de citação: sobrenome do autor do documento original seguido da expressão “citado por” e da citação da obra consultada.
- Citações literais que contenham três linhas ou menos devem aparecer aspeadas, integrando o parágrafo normal. Após o ano da publicação acrescentar a(s) página(s) do trecho citado (entre parênteses e separados por vírgula).
- Citações literais longas (quatro ou mais linhas) serão destacadas do texto em parágrafo especial e com recuo de quatro espaços à direita da margem esquerda, em espaço simples, corpo 10.

h) Figuras e Tabelas – As figuras e tabelas devem ser citadas no texto em ordem seqüencial numérica, escritas com a letra inicial maiúscula, seguidas do número correspondente. As citações podem vir entre parênteses ou integrar o texto. As Tabelas e Figuras devem ser apresentadas no texto, em local próximo ao de sua citação. O título de Tabela deve ser escrito sem negrito e posicionado acima desta. O título de Figura também deve ser escrito sem negrito, mas posicionado abaixo desta. Só são aceitas tabelas e figuras citadas efetivamente no texto.

i) Notas de rodapé – As notas de rodapé devem ser de natureza substantiva (não bibliográficas) e reduzidas ao mínimo necessário.

j) Referências – A palavra Referências deve ser grafada com letras em caixa-alta-e-baixa, alinhada à esquerda da página. As referências devem conter fontes atuais, principalmente de artigos de periódicos. Podem conter trabalhos clássicos mais antigos, diretamente relacionados com o tema do estudo. Devem ser normalizadas de acordo com a NBR 6023 de Agosto 2002, da ABNT (ou a vigente).

Devem-se referenciar somente as fontes utilizadas e citadas na elaboração do artigo e apresentadas em ordem alfabética.

Os exemplos a seguir constituem os casos mais comuns, tomados como modelos:

Monografia no todo (livro, folheto e trabalhos acadêmicos publicados).

WEBER, M. **Ciência e política**: duas vocações. Trad. de Leônidas Hegenberg e Octany Silveira da Mota. 4. ed. Brasília, DF: Editora UnB, 1983. 128 p. (Coleção Weberiana).

ALSTON, J. M.; NORTON, G. W.; PARDEY, P. G. **Science under scarcity**: principles and practice for agricultural research

evaluation and priority setting. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 513 p.

Parte de monografia

OFFE, C. The theory of State and the problems of policy formation. In: LINDBERG, L. (Org.). **Stress and contradictions in modern capitalism**. Lexington: Lexington Books, 1975. p. 125-144.

Artigo de revista

TRIGO, E. J. Pesquisa agrícola para o ano 2000: algumas considerações estratégicas e organizacionais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 9, n. 1/3, p. 9-25, 1992.

Dissertação ou Tese

Não publicada:

AHRENS, S. **A seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de pinus taeda L. através de um modelo de programação dinâmica**. 1992. 189 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Publicada: da mesma forma que monografia no todo.

Trabalhos apresentados em Congresso

MUELLER, C. C. Uma abordagem para o estudo da formulação de políticas agrícolas no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 8., 1980, Nova Friburgo. **Anais...** Brasília: ANPEC, 1980. p. 463-506.

Documento de acesso em meio eletrônico

CAPORAL, F. R. **Bases para uma nova ATER pública**. Santa Maria: PRONAF, 2003. 19 p. Disponível em: <<http://www.pronaf.gov.br/ater/Docs/Bases%20NOVA%20ATER.doc>>. Acesso em: 06 mar. 2005.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). **Brasil visto do espaço**: Goiás e Distrito Federal. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 1 CD-ROM. (Coleção Brasil Visto do Espaço).

Legislação

BRASIL. Medida provisória nº 1.569-9, de 11 de dezembro de 1997. Estabelece multa em operações de importação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 1997. Seção 1, p. 29514.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 42.822, de 20 de janeiro de 1998. **Lex**: coletânea de legislação e jurisprudência, São Paulo, v. 62, n. 3, p. 217-220, 1998.

5. Outras informações

a) O autor ou os autores receberão cinco exemplares do número da Revista no qual o seu trabalho tenha sido publicado.

b) Para outros pormenores sobre a elaboração de trabalhos a serem enviados à Revista de Política Agrícola, contatar diretamente o coordenador editorial, Mierson Martins Mota, ou a secretária-geral, Regina Mergulhão Vaz, em:

mierson.mota@embrapa.br; telefone: (61) 3448-4336

reginavaz@agricultura.gov.br; telefone: (61) 3218-2209

Colaboração



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Secretaria de
Política Agrícola

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

