

ÁLCOOL COMBUSTÍVEL



SÉRIE INDÚSTRIA EM PERSPECTIVA

BRASÍLIA

2008

SÉRIE INDÚSTRIA EM PERSPECTIVA

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Armando de Queiroz Monteiro Neto
Presidente

INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL

Conselho Superior

Armando de Queiroz Monteiro Neto
Presidente

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Carlos Roberto Rocha Cavalcante
Superintendente

ITAIPU BINACIONAL

Jorge Miguel Samek
Diretor-Geral Brasileiro

Antonio Otélo Cardoso
Diretor Técnico Executivo

João Bonifácio Cabral Júnior
Diretor Jurídico

Edésio Franco Passos
Diretor Administrativo

Margaret Mussoi Luchetta Groff
Diretora Financeira Executiva

Nelton Miguel Friedrich
Diretor de Coordenação



Confederação Nacional da Indústria
Instituto Euvaldo Lodi
Núcleo Central

ÁLCOOL COMBUSTÍVEL



SÉRIE INDÚSTRIA EM PERSPECTIVA

BRASÍLIA

2008

© 2008. INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL / NÚCLEO CENTRAL

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

IEL/NC

Unidade de Gestão Executiva – UGE

FICHA CATALOGRÁFICA

I59a

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central

Álcool combustível / IEL.Núcleo Central. – Brasília : IEL/NC, 2008.

163 p. : il. (Série Indústria em Perspectiva)

ISBN 978-85-87257-39-0

1. Álcool 2. Combustível I.Título

CDU 547.437

Instituto Euvaldo Lodi – IEL/Núcleo Central
Setor Bancário Norte, Quadra 1, Bloco B
Edifício CNC
70041-902 - Brasília
Tel.(0XX61) 3317-9080
Fax. (0XX61) 3317-9360
www.iel.org.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DO IEL

PREFÁCIO DA ITAIPU

NOTAS DO COORDENADOR

- 1. Álcool: Combustível para o Desenvolvimento Nacional e Construção da Paz Mundial, 15**
Luiz Antonio Rossafa
- 2. Produção de Álcool Combustível, 27**
Luiz Carlos Corrêa Carvalho
Julio Marcos Campanhão
- 3. Álcool e Açúcar: uma Via de Mão Dupla, 47**
Fernando Augusto Moreira Ribeiro
- 4. Álcool Combustível na Matriz Energética Brasileira, 57**
Frederico Ventorim
Giovani Machado
- 5. O Uso do Álcool Combustível nos Veículos *Flex Fuel*, 69**
Henry Joseph Junior
- 6. Geração de Eletricidade na Indústria Canavieira, 81**
Omar Campos Ferreira
- 7. Uso do Álcool Combustível e o Meio Ambiente, 95**
Alfred Szwarc
- 8. Batata-Doce: uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol, 109**
Márcio Antônio da Silveira
- 9. Produção de Etanol Combustível pela Hidrólise Enzimática, 123**
Carlos Eduardo Vaz Rossell
Gislaine Zainaghi
- 10. A Metrologia Química e o Desenvolvimento de Material de Referência Certificado para Álcool Etílico Combustível: uma Ferramenta para a Competitividade no Mercado Internacional, 139**
Vanderléa de Souza
Valnei Smarçaro Cunha
Janaína Marques Rodrigues
- 11. APLA – Referência Mundial em Desenvolvimento e Aplicação de Tecnologias em Combustíveis Renováveis, 155**
Luciano Santos Tavares de Almeida

APRESENTAÇÃO DO IEL

Ao longo de quatro décadas, o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) vem trabalhando no sentido de contribuir para o aumento da competitividade das empresas brasileiras. Seja pela oferta de cursos de formação de pessoas ou de serviços de capacitação empresarial e apoio à inovação, o IEL busca responder de forma dinâmica às demandas do setor industrial e, conseqüentemente, participar do processo de desenvolvimento do país.

Ao editar este livro, o IEL pretende estimular o debate sobre a contribuição do etanol para a solução dos problemas energéticos e ambientais do mundo, ao mesmo tempo em que cria oportunidades para o Brasil crescer, gerando renda e empregos de qualidade, o que se alinha com as diretrizes do **Mapa Estratégico da Indústria 2007-2015**.

No momento em que o mundo discute o aquecimento global e o planeta está comprometido em mitigar os gases que aumentam o efeito estufa, conforme determina o Protocolo de Kyoto, o álcool combustível desponta como alternativa ao petróleo e uma saída para os países desenvolvidos que precisam cumprir as metas do protocolo.

O Japão, por exemplo, já realizou uma compra experimental do etanol brasileiro. Se a tendência se confirmar, o Brasil terá uma grande oportunidade de aumentar sua inserção no mercado internacional. E não apenas como fornecedor do produto, mas também como exportador de *know how*, seja na produção, distribuição ou estocagem, assim como na produção de variedades de cana-de-açúcar para os países que queiram entrar no negócio, caso o álcool torne-se uma *commodity*.

Em razão de os cenários relativos às questões energéticas não estarem ainda definidos, é preciso que o Brasil fique atento para que essas oportunidades não sejam desperdiçadas. No que concerne ao etanol, é importante discutir caminhos para remover obstáculos e aproveitar o potencial de crescimento da economia brasileira.

Armando de Queiroz Monteiro Neto

Presidente do Conselho Superior do IEL

PREFÁCIO DA ITAIPU

Os biocombustíveis estão no centro de uma intensa controvérsia internacional que envolve governos, organismos internacionais, comunidades científicas e ambientalistas – além de mexer com poderosos interesses econômicos ligados à indústria petrolífera e automobilística. O Brasil é um dos principais protagonistas desse debate, credenciado pelo seu pioneirismo no desenvolvimento do álcool combustível e do biodiesel. A vertiginosa escalada do preço do petróleo no mercado internacional, que provoca pressões inflacionárias em toda parte, torna ainda mais urgente a busca de alternativas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

O grande desafio com o qual a humanidade se depara neste alvorecer do terceiro milênio é como conciliar, de forma sustentável, dois elementos essenciais para sua sobrevivência: soberania energética e segurança alimentar. O Brasil tem demonstrado ao mundo que é possível alcançar simultaneamente esses dois objetivos estratégicos, sem abrir mão de proteger a Amazônia e sua riquíssima biodiversidade. Os resultados expressivos alcançados pelo Brasil indicam claramente que o aumento da produção do álcool combustível não tem sido obtido em detrimento da produção de alimentos, que vem crescendo de forma expressiva. Isso tem sido comprovado desde que o Brasil adotou, em 1975, o Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool), em resposta à primeira grande crise do petróleo.

Neste ano, de acordo com levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), o Brasil vai colher a maior safra de cana-de-açúcar da sua história, podendo superar a marca de 630 milhões de toneladas. Este número representa um aumento de cerca de 13% em relação a 2007, quando o país colheu 558,5 milhões de toneladas. A produção de álcool deverá variar entre 26,4 bilhões a 27,4 bilhões de litros, de acordo com a projeção da Conab – um crescimento entre 15% a 19% em relação ao ano anterior.

O importante a ser ressaltado, no entanto, é que o aumento da área plantada de cana-de-açúcar não restringiu o cultivo de alimentos. Ao contrário, a produção de grãos deverá alcançar 143,4 milhões de toneladas na safra 2007/2008 – a maior de todos

os tempos. Este desempenho representa um crescimento de 9% em relação à safra 2006/2007, quando o país colheu 131,8 milhões de toneladas de grãos. A estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta uma produção ligeiramente superior, de 144,3 milhões de toneladas, confirmando o excelente momento vivido pela agricultura brasileira. O governo espera um aumento de 5% na safra 2008/2009.

Estes resultados assumem maior relevância diante da crise dos alimentos que se alastra pelo mundo, causando sofrimento e apreensão, sobretudo nos países mais pobres. O Brasil deve cuidar do seu desenvolvimento, sem deixar de manifestar solidariedade com os países em desvantagem econômica e tecnológica, a começar pelos seus vizinhos sul-americanos. O Presidente Lula tem sido um eloqüente porta-voz dos países em desenvolvimento, apontando os malefícios causados pelos subsídios agrícolas obscenos praticados pelos países desenvolvidos e denunciando com veemência a tentativa de transferir para os biocombustíveis a responsabilidade pela escassez e elevação dos preços dos alimentos.

A liderança do Brasil nesse debate foi amplamente reconhecida pelos participantes do Fórum Global de Energias Renováveis, realizado em Foz do Iguaçu (PR), no período de 18 a 21 de maio de 2008. Este evento, promovido pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUDI), em parceria com o Ministério de Minas e Energia e a Eletrobrás, reuniu representantes de mais de 50 países e ofereceu uma oportunidade singular ao Brasil para mostrar aos demais países sua invejável matriz energética. O interesse de fora é compreensível: enquanto as fontes renováveis já respondem por 44,4% da oferta interna de energia no Brasil, sua participação na matriz energética do restante do mundo é de apenas 13,2%.

O álcool combustível tem um peso crescente na matriz energética brasileira. Mas a contribuição do setor sucroalcooleiro tende a aumentar ainda mais com o aproveitamento do bagaço de cana na geração distribuída de energia elétrica. As usinas de açúcar e álcool já têm capacidade instalada para gerar 1.800 megawatts médios em excedente de eletricidade. A política governamental de incentivo ao aproveitamento da biomassa residual da cana, de um lado, e o desenvolvimento de caldeiras de alta eficiência, de outro, permitem estimar que o setor poderá atingir uma capacidade de geração de 15.000 megawatts médios até 2020 – o que significaria incorporar uma nova Itaipu ao parque gerador nacional.

A produção de etanol e bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar fortalece a vantagem brasileira na construção do novo paradigma de energia limpa e renovável, que tem como carro-chefe a hidreletricidade. E ninguém entende mais de hidreletricidade do que a Itaipu Binacional – motivo de orgulho para brasileiros e paraguaios. Afinal, com potência instalada de 14.000 megawatts, Itaipu é líder mundial em geração de energia elétrica. Os padrões de excelência alcançados na geração de energia são resultados de investimentos em desenvolvimento tecnológico e na formação de profissionais alta-

mente qualificados. Temos hoje os melhores engenheiros elétricos do mundo. Por isso, quando decidiu construir a hidrelétrica de Três Gargantas – que terá uma capacidade instalada de 22,5 mil megawatts – o governo chinês veio buscar o know-how brasileiro na construção e operação de grandes hidrelétricas. Desde 2004, quando o governo chinês firmou um acordo de cooperação técnica com a Eletrobrás, a Itaipu vem colaborando na modernização do sistema de operação e manutenção de Três Gargantas.

Não nos acomodamos com os resultados expressivos alcançados na área de geração de energia elétrica – o *core business* de Itaipu. Queremos alcançar o mesmo reconhecimento pela nossa liderança em desenvolvimento sustentável. Com esse objetivo, realizamos um processo participativo de planejamento empresarial estratégico, que levou à incorporação da responsabilidade socioambiental como uma dimensão essencial da nossa missão institucional. Três iniciativas implementadas nos últimos cinco anos merecem destaque.

A primeira delas é o Programa *Cultivando Água Boa*, lançado em 2003 e hoje implantado nos 29 municípios que integram a Bacia do Rio Paraná III, na margem esquerda do reservatório de Itaipu. Baseado em um novo modelo de gestão ambiental por microbacia hidrográfica, este programa articula mais de uma centena de projetos e ações ambientais e sócio-educativas, envolvendo uma rede de mais de dois mil atores – prefeituras, órgãos governamentais, instituições públicas, associações de agricultores familiares, cooperativas, ONGs, organizações sociais do campo, sindicatos, igrejas, universidades e escolas. O *Cultivando Água Boa* compreende tanto ações corretivas quando preventivas. Seus principais instrumentos são mobilização e participação social, educação ambiental e atuação em rede. Portanto, as próprias comunidades são protagonistas das mudanças, cujo objetivo central é promover o desenvolvimento sustentável, por meio do equilíbrio ambiental e da inclusão social. Depois de cinco anos, o programa apresenta significativos resultados quantitativos e qualitativos e já coleciona prêmios nacionais e internacionais.

A segunda iniciativa encampada pela Itaipu tem como vetor o conhecimento. Ao assumir o cargo de Diretor-Geral Brasileiro, em 2003, acreditávamos que os conhecimentos acumulados pelo gabaritado corpo técnico e gerencial de Itaipu, ao longo de mais de três décadas, poderiam ser canalizados para um projeto educacional e tecnológico inovador. Dessa idéia nasceu o *Parque Tecnológico Itaipu* (PTI), com a missão de contribuir para transformar a realidade da Região Trinacional do Iguazu – área de confluência entre Brasil, Argentina e Paraguai – articulando e fomentando ações voltadas para o desenvolvimento científico, tecnológico, econômico e social. Os antigos pavilhões que abrigaram os trabalhadores durante a construção de Itaipu – e que se encontravam abandonados há mais duas décadas – foram reformados e remodelados para abrigar modernos laboratórios e amplos espaços de aprendizagem e inovação. Hoje, o *PTI* é um parque efervescente, freqüentado diariamente por cerca de 2.500 estudantes e pesquisadores, que formam uma extraordinária comunidade de aprendizagem onde

antes só havia construções em ruína.

A terceira iniciativa que brotou desse desejo de aproveitar a capacidade institucional e as competências criadas na implantação e operação deste gigantesco empreendimento binacional – e que se articula tanto com o Programa *Cultivando Água Boa* quanto com o *PTI*, onde está abrigado – é o projeto *Plataforma Itaipu de Energias Renováveis*. Trata-se de uma resposta local para o desafio global das mudanças climáticas, associadas ao efeito estufa. Concebida como uma estratégia para promover a eficiência energética regional e o desenvolvimento sustentável, a Plataforma pretende estimular o desenvolvimento da agroenergia na região Oeste do Paraná, onde está localizado o reservatório de Itaipu. Esta região tem forte presença dos setores agropecuário e agroindustrial, que geram enorme quantidade de resíduos.

A idéia é incentivar o aproveitamento dessa biomassa residual para gerar gás metano que, por sua vez, será usado para movimentar microgeradores de energia elétrica. Já há uma unidade piloto em operação no município de São Miguel do Iguacu. A Companhia Paranaense de Energia (Copel) e a Itaipu somaram esforços para desenvolver uma solução técnica, que permite lançar a energia elétrica produzida na rede pública. Com isso, os produtores rurais e as unidades agroindustriais poderão vender a energia excedente. A *Plataforma Itaipu de Energias Renováveis* está contribuindo, assim, para viabilizar a implantação de um sistema de geração distribuída adequado ao perfil da região. A transformação está apenas começando.

A solução para o desafio do desenvolvimento sustentável passa necessariamente pelo campo. É onde está a principal fonte de energia e alimento. A Itaipu Binacional está ajudando a implantar na região Oeste do Paraná um modelo de desenvolvimento sustentável que, referenciado na realidade regional, pode servir de inspiração para iniciativas similares em outras regiões. Da mesma forma, a experiência brasileira bem sucedida de produção de etanol, a partir da cana-de-açúcar, pode encorajar outros países em desenvolvimento, altamente dependentes da importação de petróleo, a buscar fontes alternativas de energias renováveis.

Este livro é uma contribuição original para o debate. Sem oferecer todas as respostas para a complexa questão energética, mostra que a combinação de políticas públicas ousadas com investimentos em tecnologia e pesquisa agropecuária realizados nas últimas décadas colocou o Brasil numa condição excepcional para dar resposta à crise energética e à crise de alimento que o mundo enfrenta neste início do século XXI. Nenhum outro país reúne fatores tão favoráveis para garantir soberania energética com segurança alimentar. É este modelo de desenvolvimento que o governo Lula está empenhado em construir.

Jorge Miguel Samek

Diretor-Geral Brasileiro da Itaipu Binacional

Quando fui convidado para coordenar este trabalho da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e do Conselho Superior do Instituto Euvaldo Lodi (IEL), por intermédio do Diretor-Geral Brasileiro da Itaipu Binacional, Jorge Miguel Samek, já imaginava a envergadura da obra, sua importância estratégica para o futuro do país e sua significativa e oportuna contribuição para o debate sobre a alternativa brasileira para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Este tema adquire especial urgência no momento em que cientistas e líderes de todo o mundo debatem medidas para minimizar a emissão de gases causadores do efeito estufa. As mudanças climáticas associadas ao aquecimento global são uma ameaça real que exige uma resposta imediata. O Brasil está fazendo sua parte, com criatividade e inovação.

Não é tarefa simples reunir algumas das melhores cabeças pensantes deste país para debater um tema tão atual e apaixonante como é o álcool combustível. Este livro não tem a pretensão de abarcar a riqueza e a quantidade de estudos em andamento nos quatro cantos do Brasil. Seu objetivo mais modesto é apresentar ao leitor análises a partir de diferentes perspectivas e vertentes de pensamento que contribuem para o avanço da política energética. Os colaboradores exploram as enormes possibilidades que a matriz energética brasileira possui e nos oferece, graças às vantagens competitivas que temos na produção de cana-de-açúcar em relação a outros países. O etanol é uma energia limpa, líquida e abundante graças à generosidade do nosso solo verde-amarelo.

O leitor encontrará nas páginas dessa obra coletiva opiniões divergentes entre si, mas convergentes sob o prisma da defesa da soberania energética e da independência nacional; terá a percepção real de que, embora sejam discutidos e recomendados vários caminhos e estratégias para otimizar a produção de energia a partir do álcool combustível, no final prevalece um desejo compartilhado por todos os autores: construir um Brasil mais justo e mais competitivo no cenário globalizado do século XXI.

Caminhos diferentes não significam necessariamente desencontros permanentes e divergências irreconciliáveis. Os embates técnicos, políticos e até ideológicos são inerentes ao processo de construção de uma sociedade democrática, dinâmica e moderna. O direito ao contraditório está consagrado como princípio essencial do debate

democrático e, por isso mesmo, devemos exercitá-lo na discussão de questões de interesse nacional, como é a política energética. A dialética é o método científico mais eficiente para analisarmos o desenrolar da História, aprendendo com as lições do passado para projetarmos um futuro mais favorável ao bem-estar coletivo. Porque energia, na sua essência, é conforto para os cidadãos.

Por fim, esta Coletânea de Artigos – que inaugura a *Série Indústria em Perspectiva* – reflete e atende à necessidade de o país registrar a memória técnica do mundo acadêmico e do setor produtivo nacional. É um espaço privilegiado onde convergem os conhecimentos acumulados acerca do álcool combustível dos últimos 40 anos ou mais, apontando novos rumos para o aprimoramento da política de segurança energética, base para o desenvolvimento sustentável e a soberania nacional.

Luiz Antonio Rossafa

Engenheiro Agrônomo, é

Diretor de Gestão Corporativa da Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

Ex-professor universitário e ex-presidente do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do estado do Paraná.

1

Álcool: Combustível para o Desenvolvimento Nacional e Construção da Paz Mundial

Luiz Antonio Rossafa

Engenheiro Agrônomo.

Ex-professor universitário e ex-presidente do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do estado do Paraná.

Diretor de Gestão Corporativa da Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

Resumo

Este artigo apresenta uma análise atualizada da questão energética, vista sob o prisma da economia política. Defendendo vigorosamente a opção brasileira pelo etanol como substituto dos combustíveis fósseis, aponta o desafio urgente de dotar o país de uma infra-estrutura eficiente de escoamento do álcool combustível das regiões produtoras e de abastecimento dos centros consumidores, alertando para os riscos de uma expansão da produção voltada exclusivamente para o mercado externo. Adverte que a recente descoberta de novas reservas de petróleo na costa brasileira não deve desviar o país da sua política governamental de incentivo ao uso de etanol para movimentar a frota nacional de veículos automotores. Sugere, ainda, que todo o excedente de petróleo deverá ser destino à exportação, como forma de angariar divisas para o país. Por fim, propõe o aproveitamento de toda a energia potencial da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, mediante uso intensivo da biomassa residual para geração de energia elétrica.

1 Introdução

A crescente busca por fontes energéticas pelos países desenvolvidos, mormente pelo petróleo, tem levado sistematicamente essas nações a enfrentamentos bélicos

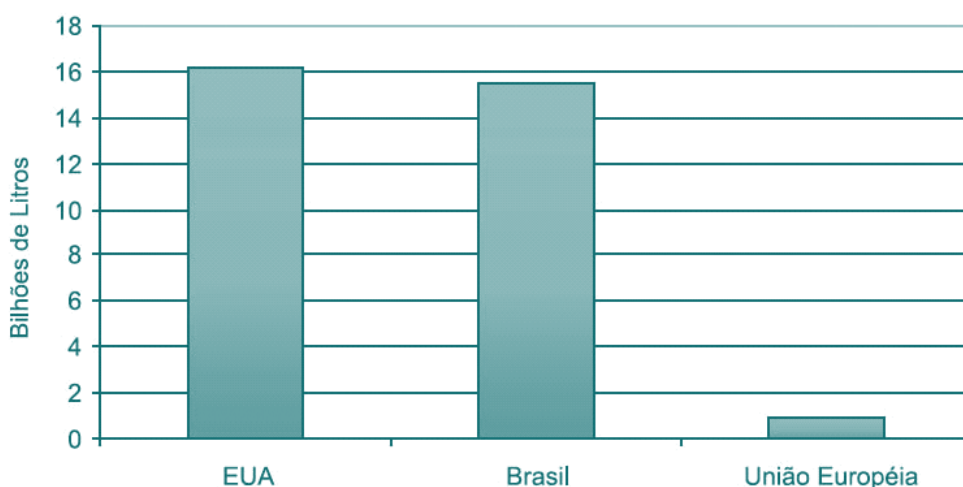
com perdas humanas condenáveis nas regiões produtoras. Os países desenvolvidos, que se engalfinham em guerras geopolíticas, fazem jorrar “sangue negro” surrupiado daqueles povos conquistados em nome de sua segurança energética. A recente invasão do Iraque e a política de guerra sem-fim, promovidas pelas potências imperialistas, ilustram bem os cenários de horror e carnificina motivados pela escassez crescente do combustível fóssil. E é neste contexto que o Brasil tem a oportunidade de intervir com o objetivo de garantir a segurança energética desses países desenvolvidos e patrocinar a paz mundial, ofertando parte da produção brasileira de derivados de petróleo à exportação e, internamente, estimulando o consumo do álcool combustível para mover os motores e a alcoolquímica, visando produzir matérias-primas que substituam gradativamente as oriundas da petroquímica. Em resumo: os brasileiros passariam a exportar produtos à base de hidrocarbonetos e a consumir produtos à base de carboidratos.

A conjuntura econômica internacional está propiciando uma liquidez formidável e favorável à captação de moedas fortes no exterior por meio de exportações. O recente anúncio histórico de que as reservas nacionais, em dólar, superaram pela primeira vez o total geral da dívida externa leva-nos a reforçar as premissas básicas e a convicção de que é exequível um projeto de desenvolvimento endógeno a partir do álcool. Com a clara perspectiva de se obter ainda mais divisas para compor o colchão das reservas nacionais, formado por moedas fortes, o Brasil pode vender parte da produção de petróleo e de derivados aos países sedentos por esse combustível e estimular o uso do etanol no mercado interno. Esse ajuste estratégico de mercado pode significar, a médio prazo, uma saúde financeira invejável em relação ao resto do mundo. Se por um lado o nosso país atingiu a auto-suficiência em petróleo, por outro tem as vantagens comparativas climáticas fundamentais para o processo de fotossíntese, que nenhuma outra nação do planeta possui para produzir o combustível verde. Se mesmo com a cotação baixa do dólar o país obteve resultados favoráveis na balança comercial, vendendo produtos primários, sem muito valor agregado, podemos imaginar o impacto econômico se apostarmos na exportação de combustíveis fósseis e no aproveitamento dos produtos derivados da cadeia do etanol, que podem ser processados em alcoolquímicas e também exportados aos países desenvolvidos. Ou seja, pela primeira vez na história, a gasolina seria jogada numa conjuntura mundial incendiária não com o propósito de promover mais fogo, mas literalmente com a finalidade de apagá-lo. Somente o Brasil é capaz da proeza de apagar fogo com petróleo!

É bom salientar que no Brasil há a cultura e a confiança de consumo do combustível etanol. Os brasileiros passaram a utilizá-lo ainda na década de 70, quando da crise mundial do petróleo, e o deixaram para trás como importante matriz energética no início da década de 1990 em virtude do fim do subsídio governamental e da concorrência da gasolina ofertada a baixo preço. Tal conjuntura mudou hoje. Embora haja notícias de descobertas de novos campos na costa brasileira, as reservas mundiais de combustíveis fósseis aproximam-se do esgotamento enquanto a demanda aumenta em

ritmo frenético. O mundo ainda não foi capaz de adaptar-se a outra fonte energética mais limpa e renovável, porém o nosso país outra vez demonstrou ser mais aberto às inovações tecnológico-culturais do que qualquer outro. O surgimento dos veículos bicompostíveis (*flex fuel*) é um bom exemplo dessa sensacional adaptabilidade de consumo dos brasileiros. Ou seja, o mundo não sabe e não está preparado para consumir o etanol. O Brasil sabe e está preparado para consumir o etanol. Traduzindo: atualmente, o álcool não tem viabilidade econômica para exportação *in natura* tanto para alimento quanto para combustível. Não há compradores de álcool, em larga escala, no mercado internacional. Além do mais, os Estados Unidos impõem pesadas barreiras alfandegárias ao produto brasileiro com elevadas sobretaxas e, ao mesmo tempo concedem, como medida protecionista, generosos subsídios aos produtores rurais norte-americanos. Tal comportamento também se repete nos países da União Européia que, embora junto com os estadunidenses, são os maiores consumidores de etanol no mundo e enxergam o nosso país como forte concorrente na agricultura e na busca da inovação tecnológica. Eles não nos vêm como fornecedores, mas como perigosos concorrentes agrícolas (**ver gráfico a seguir**). Por outro lado, levantamentos da economista Valéria Delgado Bastos indicam que a indústria do álcool substituiu no Brasil, desde 1976, mais de 1,44 bilhões de barris de petróleo e a economia de divisas com a substituição do combustível fóssil foi de cerca de US\$ 120 bilhões, entre 1979 e 2004 (73% do montante da dívida externa líquida brasileira atual).

Produção de Etanol – 2005 EUA, Brasil e União Européia



Fonte: <www.ebio.org> (junho de 2006).

Gráfico 1: Produção de Etanol – 2005 – EUA, Brasil e União Européia

2 Visão Estratégica

Desde 2006, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) e o governo do Paraná vêm trabalhando em alguns projetos que têm relação direta com o modelo de desenvolvimento estratégico imaginado pelos setores nacionalistas brasileiros. Eles (os projetos) são baseados em energias limpas e renováveis. Embora essa visão não tenha uma ligação direta com as questões rurais e agrárias, a estatal de energia paranaense está focando vários estudos no potencial rural. Atualmente, a Copel depara-se com duas conjunturas. A primeira diz respeito ao cenário mundial; o país está caminhando em direção ao desenvolvimento do setor sucroalcooleiro e mantendo uma tendência de entrar em regiões deprimidas social e economicamente, nas áreas degradadas pela pastagem em estados como Tocantins, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em tais localidades está cada vez mais difícil concentrar a produção do etanol em virtude da possibilidade de se produzir álcool e açúcar. No entanto, o jogo do mercado, a oferta e a procura, acaba sempre regulando essa questão de “duplicidade produtiva”. Ao construir grandes usinas de álcool e de açúcar, o mercado mundial pode inundar-se de açúcar e inviabilizar o negócio economicamente. Mas a situação fica diferente quando o eixo da produção concentra-se exclusivamente no álcool combustível, deslocado ao Centro-Oeste do país. Isto significa que a produção de etanol dessa região poder ser reaplicada num processo estratégico de desenvolvimento econômico endógeno. Também neste momento, é fundamental considerar que o Brasil garantiu a auto-suficiência em combustíveis fósseis, inclusive com possibilidades reais de excedentes em gás natural.

A segunda questão conjuntural está relacionada a alguns gargalos históricos relativos a um modelo exportador de matérias-primas e às deficiências de infra-estrutura. Até que ponto seria confiável trazeremos o álcool só para exportação nas condições indigentes da infra-estrutura herdada? Como faríamos para escoar o etanol produzido no Centro-Oeste do país a um custo competitivo? Se o preço do barril de petróleo recuar, a cotação do álcool sobreviverá à lei da oferta e da procura mundial? Os países desenvolvidos, Estados Unidos e alguns membros da União Européia, estão dispostos a acabar com os subsídios e as sobretaxas do etanol brasileiro? Se as respostas a estas questões forem negativas, não há chances reais de viabilidade econômica para a exportação do álcool. Se não houver um debate sério e estratégico sobre uma política pública para o setor, o país poderá entrar numa aventura extremamente cara e perigosa.

Por outro lado, podemos abastecer o mercado interno com o combustível etanol, que é limpo e renovável, ambientalmente adequado, socialmente justo, e ainda provocar o desenvolvimento em regiões deprimidas economicamente. Se tivermos este norte como política de consumo interno, estimulando-o cada vez mais, será demandada uma estrutura ímpar nunca pensada antes para o transporte de combustível líquido, que dê

conta de um projeto de interiorização da produção e do distanciamento do mar. Atualmente, o eixo da produção do etanol está concentrado no Sul e no Sudeste (Paraná e São Paulo) próximo ao mar, que lhe permite uma situação mais privilegiada de consumo e de transporte; quanto mais a produção se distancia do mar e das regiões antropizadas (vegetação natural que sofreu ação do homem), com grandes populações, mais se faz necessária uma política que garanta a distribuição e a comercialização do produto por meio de uma infra-estrutura que seja capaz de escoar a produção pelas próximas três décadas. O grande desafio, portanto, resume-se na garantia da integração entre toda a cadeia produtiva da cana.

A possibilidade de construirmos um Alcoolduto para transportar etanol ao litoral não deve ser encarada nos marcos da visão exportadora, mas dentro de uma perspectiva de escoamento integrado dos modais rodoviário, ferroviário e duto. Com o transporte marítimo pode-se abastecer grandes núcleos de consumo do próprio país de forma competitiva, pois o Brasil é uma nação continental e a maioria das capitais dos estados está localizada no litoral. As que não estão na costa litorânea estão muito próximas dela, a exemplo de São Paulo e Curitiba. A integração modal é plenamente possível. Porto Alegre, Florianópolis, Vitória, Rio de Janeiro, Salvador e Aracaju podem integrar as possibilidades que a realidade geopolítica do país oferece a um planejamento a longo prazo.

Hoje, fala-se do etanol para exportação. Não há garantia ou mercado de consumo certo fora do Brasil. Os países desenvolvidos não têm o hábito de utilizar o álcool como combustível, embora haja uma crescente política de incentivos e de renúncias fiscais nesses países para que montadoras e consumidores adotem aditivos e motores de combustão movidos a etanol. Sempre escutamos a questão do carro elétrico e outros movidos a alguns combustíveis “exóticos” e alternativos. Mas é bom que fique bem claro que a indústria automobilística mundial move-se em função exclusiva do lucro e elas têm ligações muito próximas com a indústria petrolífera. Para as montadoras multinacionais nem sempre a questão ambiental pesa na hora de definir modelos de combustão dos veículos fabricados. O surgimento do veículo bicombustível (*flex fuel*) possibilitou o revigoramento do setor sucroalcooleiro no Brasil. No entanto, não é ainda uma aposta internacional. Acontecerá um dia? Talvez. E se a indústria der um salto tecnológico fantástico e passar a ter motores muito mais eficientes movidos a outros tipos de combustíveis? Conjunturalmente, o Brasil possui auto-suficiência em petróleo e a produção do etanol tem sido exponencial. O momento econômico nacional tem valorizado o fortalecimento da economia localizada, que, combinada com o poder aquisitivo crescente da população e com as políticas de consumo do álcool, poder-se-ia agregar ainda mais valor no giro dessa economia. Internamente os brasileiros passariam a consumir o etanol. A produção do petróleo e dos seus derivados seria destinada parcialmente à exportação e à obtenção de divisas.

Com a descoberta feita pela Petrobras de uma super-reserva denominada Tupi, na Bacia de Santos, o governo federal arrefeceu o projeto do etanol. Trata-se de um severo erro estratégico. Por isso, o setor sucroalcooleiro desconfia que para a Petrobras é muito mais vantagem vender gasolina do que investir num combustível alternativo. Não se tem uma produção de gasolina ou óleo diesel em função do processamento em si, mas da lei da oferta e da procura. É importante frisar que a produção do petróleo é muito diferente da produção do etanol. Na primeira há um processo de prospecção, de exploração e estratificação da reserva; na segunda é preciso cultivar a terra. Portanto, essa leitura dá-se do ponto de vista da elaboração de uma estratégia para a produção e o consumo do etanol. São dois setores – álcool e petróleo – que não se identificam. Há divergências históricas entre os produtores da cana-de-açúcar (e do álcool) e a Petrobras que podem dificultar a construção do Alcoolduto que ligará o Mato Grosso do Sul, cortando o Noroeste do Paraná até o porto de Paranaguá. Mas há torcida coletiva para que prevaleçam os entendimentos e que sejam salvaguardados os interesses maiores da nação.

É muito justo que os consumidores internos do Brasil sejam abastecidos exclusivamente pelo etanol. Mas antes é necessária uma política interna que crie de forma inteligente, racional, complementar e viável economicamente, que dê conta desse combustível sair de regiões não tradicionais como é o caso da região Centro-Oeste. Para isso o país tem todas as vantagens competitivas, embora ainda lhe falte uma infra-estrutura eficiente que garanta o escoamento do etanol produzido pelos rincões distantes do mar e que possibilite colocar em prática o projeto de maximização do desenvolvimento nacional por meio do consumo. É um momento decisivo e histórico que os brasileiros estão vivendo. E o que é novo nisso tudo? A auto-suficiência em petróleo, com possibilidades reais de excedentes. Podemos dizer que é justo que o Brasil seja abastecido preferencialmente com etanol pelo fato de ele ser aditivo, renovável e limpo. Por outro lado, também é muito justo que a Petrobras possa abastecer o mundo com combustível não renovável. Isto também pode ajudar na construção da cultura da paz no mundo.

3 Terras Agricultáveis e Mercado

Temos cerca de 200 milhões de hectares de pastagens degradados, que perderam poder produtivo e nutritivo aos rebanhos. A cana-de-açúcar pode preferencialmente ocupar essas áreas que já foram impactadas ambientalmente, que hoje não têm papel social e econômico adequados. São áreas de expansão muito importantes. Os interesses capitalistas e especulativos não devem prevalecer em detrimento de um projeto de nação, ou seja, não pode haver um único indivíduo que adquira terras para se tornar um grande latifundiário. Isso é muito ruim para a sociedade, pois é um modelo que fere o princípio da função social e, conseqüentemente, retarda o desenvolvimento pleno do campo e da cidade. Isso não é adequado e deve ser repudiado por todos os brasileiros.

O ideal é que esse processo de ocupação econômica de áreas de pastagem degradadas se dê de forma integrada com a própria estrutura fundiária existente. Não é preciso deslocar pessoas. Mesmo que as terras tenham uso inadequado, não é preciso que elas sejam expropriadas para a produção da cana.

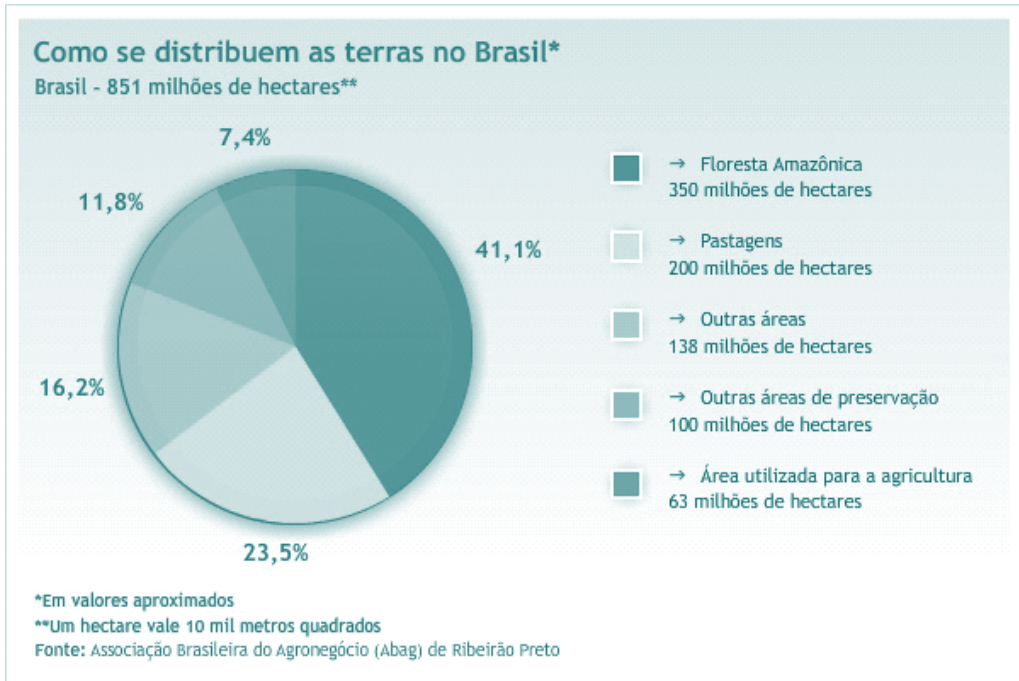


Gráfico 2: Distribuição de terras no Brasil

O mundo oscila em função de crises mundiais e de crises de petróleo. No início de 2008, a cotação petróleo nas bolsas de valores chegou a extraordinários 100 dólares por barril. Caso o câmbio estivesse de R\$ 2,50 a R\$ 3,00 por dólar, o litro da gasolina seria proibitivo aos brasileiros hoje, haja vista que a Petrobras utiliza a moeda norte-americana como referência na comercialização de seus produtos (inclusive no Brasil). Entretanto, o álcool poderia manter-se com o mesmo preço atual – independente da variação cambial. À medida que o petróleo sofre oscilações para mais, o álcool torna-se um combustível muito mais interessante. Mas é forçoso reconhecer que, se o petróleo voltar aos patamares de 60 dólares ou menos por barril, nós cruzaremos uma situação bem delicada, um período com certas turbulências para garantir uma política de consumo do etanol. Contudo, são linhas estratégicas que entendem o álcool como um processo de desenvolvimento regional e de nação. Não se trata de um projeto do álcool pelo álcool, voltado à especulação interna e ao sabor do mercado internacional, mas de uma política estratégica de consumo interno de combustíveis renováveis e limpos.

4 Pequenas Usinas

A indústria sucroalcooleira, de um modo geral, ainda não se apropriou de toda a energia potencial da cadeia produtiva da cana. Ela extrai o açúcar e o álcool, que são energias sólidas e líquidas, mas ainda despreza a biomassa que pode ser transformada em vapor, calor, energia elétrica. Há espaço para otimizar toda a energia disponível, que é muito apropriada para o consumo em escala industrial. No Paraná deverão ser construídas quatro novas usinas térmicas. São R\$ 120 milhões de investimentos iniciais, que serão duplicados se houver novos parceiros. O objetivo é ampliar o projeto da biomassa. Um exemplo prático é a questão da vinhaça, que tem quantidade fantástica de energia que pode ser adquirida em processo biológico e transformada em gás metano. O grande desafio de pequenas unidades de geração já foi vencido. É o caso da parceria com a unidade de Itaipu, em São Miguel do Iguazu (PR). Lá, 3 mil porcos geram gás metano por biodigestão e alimentam uma pequena usina de geração de energia elétrica cuja capacidade é de 50kw. Nessa mesma usina funcionam em paralelo na rede da Copel dois relógios: um que compra e outro que vende energia excedente. Isso foi possível graças a um sistema inovador de proteção tanto da unidade da pequena usina quanto da rede da estatal. O sistema revolucionário está funcionando perfeitamente em fase experimental e a Copel, num curto espaço de tempo, buscará novas parcerias e outros novos micro fornecedores de energia. Isso deverá favorecer o princípio de fortalecimento regional das potencialidades da biomassa enquanto cadeia. Convertida numa das partes da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, ela transformar-se-á em negócio rentável e permanente. As exigências e dificuldades técnicas para produzir 50kw de energia e vendê-la são enormes, mas a Companhia Paranaense de Energia vem buscando a superação dessas barreiras. Caso a estatal não receba a energia elétrica excedente, o gás metano será queimado e desperdiçado.

5 Depois das Usinas de Etanol, vêm aí as Biorefinarias

De acordo com dados de variados órgãos governamentais e não-governamentais, a plantação de cana-de-açúcar não afeta o meio ambiente nem a produção de alimentos do país. Também é fato comprovado que uma significativa parcela de 44,7% de nossa matriz energética (dados de 2005) é composta de fontes renováveis. Ou seja, temos vantagens comparativas em relação ao resto do mundo na produção de combustíveis limpos, que diminuem a poluição e reduzem a emissão de gases na atmosfera. A questão energética é estratégica e vital para a soberania nacional, seja ela de qualquer matriz. Por isso é fundamental que as forças vivas trabalhem para convencer o governo federal a estipular salvaguardas que controlem o fluxo de capitais estrangeiros nas participações de empreendimentos que envolvam o etanol, bem como outras matrizes energéticas oriundas do solo, do subsolo ou do processo de fotossíntese brasileiros.

Mister também se faz a exigência para que as empresas que atuem no setor energético brasileiro sejam signatárias dos dez princípios do Pacto Global da ONU. A saber: 1. *Respeitar e proteger os direitos humanos*; 2. *Impedir violações de direitos humanos*; 3. *Apoiar a liberdade de associação no trabalho*; 4. *Abolir o trabalho forçado*; 5. *Abolir o trabalho infantil*; 6. *Eliminar a discriminação no ambiente de trabalho*; 7. *Apoiar uma abordagem preventiva aos desafios ambientais*; 8. *Promover a responsabilidade ambiental*; 9. *Encorajar tecnologias que não agridem o meio ambiente*; e 10. *Combater a corrupção em todas as suas formas inclusive extorsão e propina*.

Outras preocupações devem nortear o planejamento nacional na área energética brasileira. Ainda na questão do etanol, é importante a regulação sobre as propriedades agrárias e das próprias usinas; cuidar para que não seja precarizada a mão-de-obra dos trabalhadores; reduzir a zero as queimadas (elas significam a destruição de energia); e industrializar o álcool em solo nacional com o objetivo de agregar valor e gerar empregos no país. Esta última questão – a industrialização do etanol – vai ao “desencontro” do pensamento atual dos produtores e do governo, que imaginam o Brasil um grande fornecedor do produto *in natura* aos Estados Unidos, à Europa e à Ásia. O fato é que, caso esses países desenvolvidos comprassem o álcool “verde-amarelo”, poderiam utilizá-lo para a produção de plásticos (PVC) e outros derivados produzidos por alcoolquímica, processo que também poderia ser realizado por aqui. Assim, seriam eles que agregariam valor à mercadoria importada, gerariam empregos em sua pátria e exportariam esses materiais industrializados a nós próprios brasileiros, por exemplo (Aconteceria o mesmo círculo vicioso que já ocorre atualmente com a soja, pois vendemos a *comodittie in natura* e importamos alguns produtos industrializados com altos valores agregados). Feitas estas considerações, depois da febre do etanol, virá a era da biomassa. Poucos conhecem essa fonte energética, mas ela já é bem conhecida pelo mundo científico desde a Primeira Guerra Mundial. Ela só não prosperou em virtude de seus custos serem elevados e da dificuldade de obtenção da matéria-prima nos países de clima temperado. Também contribuiu para o não desenvolvimento de “biorrefinarias”, nos países desenvolvidos, o relativo barateamento do preço do petróleo e sucessivas descobertas de novas reservas fósseis. A definição da palavra biorrefinarias surgiu recentemente nos Estados Unidos, pois compreende as instalações, os equipamentos e os processos que convertem a biomassa em biocombustíveis e produtos químicos e ainda podem gerar eletricidade.

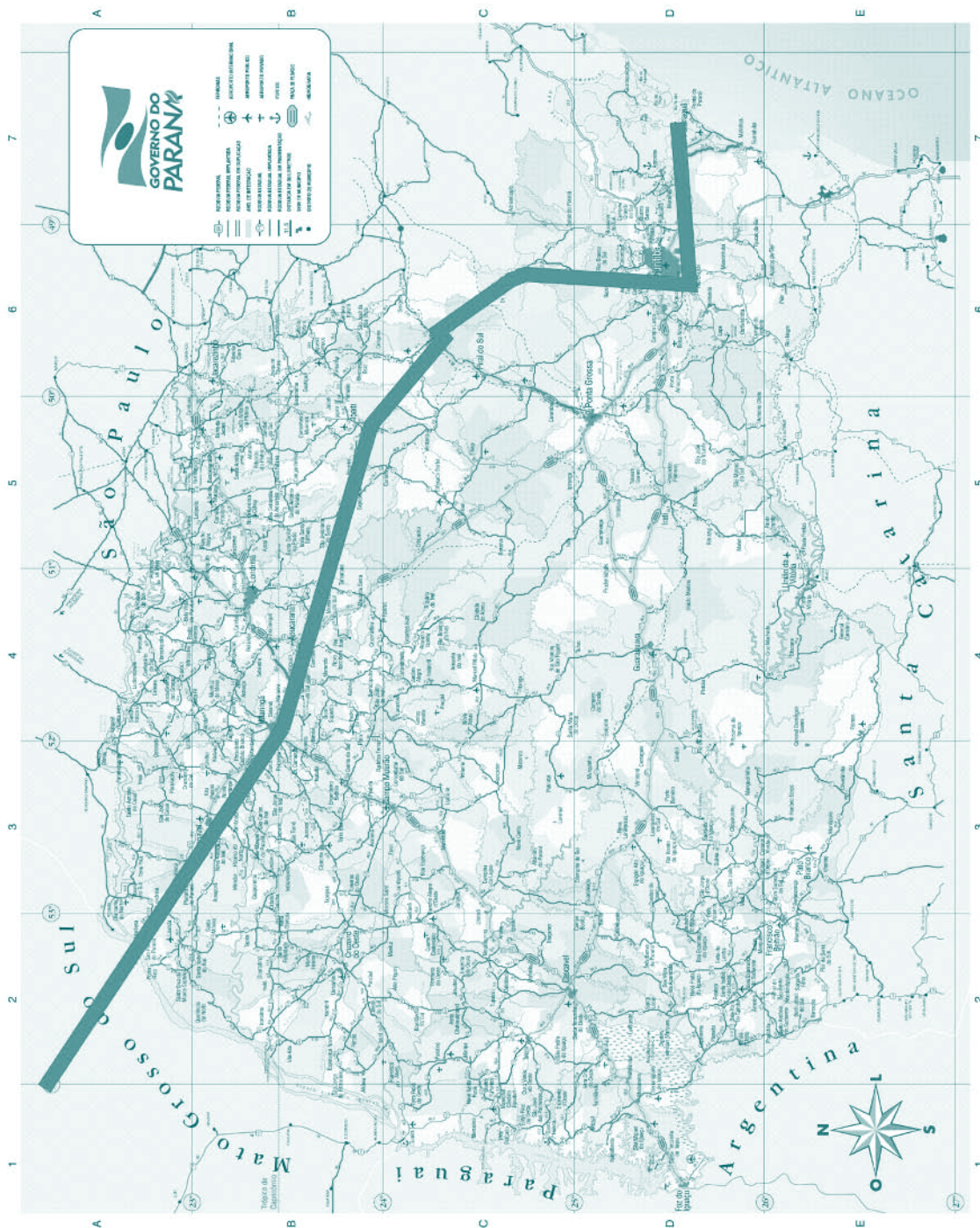
6 Alcoolduto e Alcoolquímica

A alcoolquímica é o segmento da indústria química que utiliza o álcool etílico como matéria-prima para fabricação de diversos produtos químicos. Com efeito, boa parte dos produtos químicos derivados do petróleo também pode ser obtida do etanol, em particular o eteno, matéria-prima para resinas, além de produtos hoje importados deri-

vados do etanol, como os acetatos e o éter etílico. Da mesma forma, muitos produtos químicos eram obtidos de outras fontes fósseis, como o carvão, até serem suplantados pela petroquímica como fonte principal de matérias-primas quando o modelo de produção americano calcado no petróleo barato tornou-se hegemônico. Hoje, a indústria química mundial obtém mais de 90% da matéria-prima para síntese de moléculas orgânicas com base no petróleo. A economista Valéria Delgado Bastos sugere que, no futuro, por razões econômicas, a álcoolquímica poderá substituir a petroquímica e o etanol poderá assumir o lugar do petróleo como fonte de matérias-primas. De acordo com ela, o déficit da balança comercial da indústria química brasileira, em 2006, foi cerca de 9 bilhões de dólares, o que prova a viabilidade econômica da álcoolquímica tanto do ponto de vista do comércio interno quanto do externo.

Nesta concepção de desenvolvimento endógeno, cabe a construção de uma alcooloduto (**veja mapa a seguir**) que viabilize o transporte do álcool do Centro-Oeste do país (Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, oeste de São Paulo e Paraná) até o porto de Paranaguá. Isto é a *conditio sine qua non* e estruturante para o desenvolvimento futuro de uma álcoolquímica competitiva, sediada no Litoral paranaense (Paranaguá). Ainda dentro deste projeto poderíamos aproveitar as frotas de caminhões privilegiando-as com fretes de retorno; a ferrovia identicamente poderia transportar matérias-primas para as indústrias. E o mais importante: o mercado interno das regiões costeiras poderia ser abastecido pela navegação de cabotagem e o externo facilmente atendido pela infra-estrutura portuária.

Por fim, é possível conjugar desenvolvimento endógeno com maior qualidade de vida. A economia nem sempre é a causa de todos os males se houver um planejamento racional das potencialidades. A energia é para a vida e para a paz mundial.



Mapa 1: Ilustração do trajeto do futuro Alcooloduto

REFERÊNCIAS

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL. **Estudo de pré-viabilidade técnico-econômica para a implantação do alcoolduto entre o norte do Estado do Paraná e o Porto de Paranaguá.** Curitiba, 2007.

ROSSAFA, Luiz Antonio. **Pensata, coletânea de artigos sobre a questão estratégica da energia.** Curitiba: CREA/PR, 2002.

ROSSAFA, Luiz Antonio; BOSCARDIN, Moacir; PEREIRA, Alcedino Bittencourt. **Novo modelo para o desenvolvimento do Paraná.** 2006.

BASTOS, Valéria Delgado. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias.** Rio de Janeiro: BNDES, 2007. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2501.pdf>>.

FEDALTO, Sergio Luciano; HAAG FILHO, Alexandre. **Relatório técnico Copel/Compagás, 2007.** Curitiba: COPEL. Diretoria de Gestão Corporativa. Coordenação de Desenvolvimento Tecnológico, 2007.

Luiz Carlos Corrêa Carvalho

Diretor da Canaplan Consultoria Técnica Ltda.;

Julio Marcos Campanhã

Engenheiro Agrônomo MSc., AGROCAMP – Assessoria Agronômica Ltda.

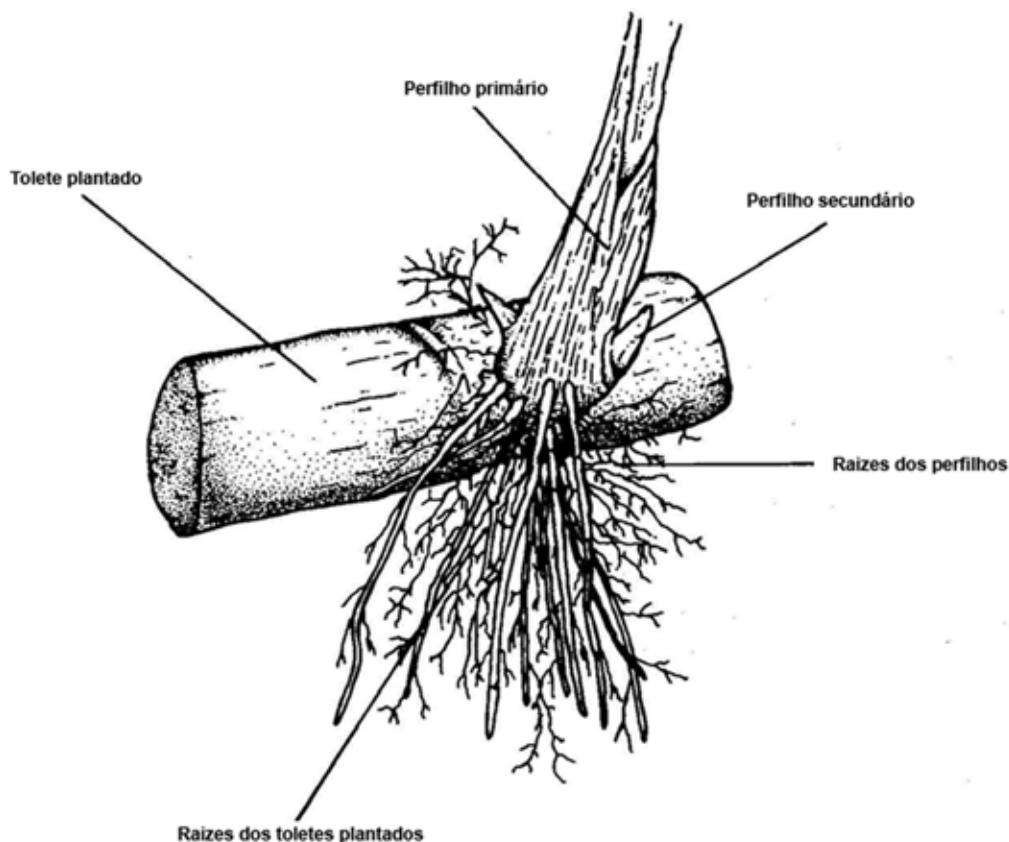
Resumo

Este artigo aborda a produção de álcool combustível no Brasil, caracterizando o estado da arte das tecnologias agroindustriais que fazem do Brasil o mais competitivo produtor de açúcar e etanol do planeta. Com foco na produção de cana e de etanol, o texto também apresenta uma análise da evolução tecnológica da produção da cana-de-açúcar e álcool, avalia as novas tecnologias em implantação e os novos mercados a atender e os atuais custos de produção. Com relação às perspectivas, procura avaliar a expansão da produção com foco nas expectativas de tecnologia e no potencial das terras brasileiras a serem incorporadas de forma sustentada no processo produtivo da agroindústria da cana-de-açúcar.

1 Introdução

A cana-de-açúcar é uma planta de grande capacidade fotossintética. Sua propagação se faz por meio do plantio de toletes (ou rebolos) com gemas (2 ou 3) que, em sendo plantadas, geram um colmo primário o qual, por sua vez, dá origem aos colmos secundários, dos quais brotam colmos terciários e assim sucessivamente, formando touceiras. Esse processo, denominado perfilhamento, é o que determina a maior ou menor produtividade agrícola, partindo-se de um plantio de 6 a 12 gemas por metro

linear de sulco (de acordo com a variedade). Isso significa que cada gema plantada dá origem a 1 ou 2 colmos. Esses perfilhos maduros são colhidos (12 a 16 meses) e rebrotam por 6 a 7 vezes, dependendo da qualidade dos solos, do clima, das condições de pragas e doenças e do processo produtivo empregado. Com todas essas condições bem trabalhadas, tem-se uma positiva sinergia “solo – planta – clima”, com produtividade elevada e boa qualidade da cana-de-açúcar.



Fonte: Bacchi, Osny O.S., *Botânica da Cana-de-Açúcar*, in *Nutrição e Adubação da Cana-de-Açúcar no Brasil*, Planalsucar, 1983.

Figura 1: Cana-planta no estágio inicial de brotação, mostrando os dois tipos de raízes: raízes do tolete plantado e raízes dos perfilhos brotados.

O rendimento final do campo, medido em açúcares totais por hectare, está regido, segundo Van Dillewijn, principalmente por cinco fatores: a energia solar (calor e luz), umidade (chuva/irrigação), condições do solo, disponibilidade de mão-de-obra e métodos de cultivo. O desenvolvimento contínuo e efetivo da mecanização do plantio e da colheita da cana-de-açúcar entra como fator chave nos métodos de cultivo, assim como fundamental é a questão do aprimoramento da mão-de-obra.

2 Cana-de-açúcar: do plantio à colheita

O plantio da cana-de-açúcar vem ocorrendo no Brasil tanto em novas áreas (expansão) via substituição quase em sua totalidade de pastagens, ou em áreas já cultivadas com esta gramínea (renovação). A implantação da cultura em novas áreas só deve ocorrer após resolução de todas as questões ambientais. Diferentemente das áreas tradicionais, nas áreas de expansão a fundação da lavoura é mais onerosa, pois envolve a limpeza das glebas, correções na superfície do terreno e a implantação de um sistema eficiente de conservação do solo e execução do levantamento topográfico através do uso de GPS.

Antes do início das operações do preparo do solo, faz-se a “tríplice amostragem” que consiste em:

- Coleta de solo para fins de avaliação da sua fertilidade;
- Coleta de solo e raízes para fins de avaliação da população de nematóides;
- Coleta de solo em anéis volumétricos para determinação de sua densidade.

Estas amostragens são fundamentais e seguem metodologia própria fundamentada em critérios técnicos. Os resultados irão definir os insumos a serem utilizados na área a ser cultivada como: calcário, gesso agrícola, fosfatos, fertilizantes, nematecidas e outros. O conhecimento da densidade do solo é importante para determinar o nível de compactação/adensamento e assim determinar a necessidade da operação de subsolagem e a profundidade a ser atingida. Após a conclusão das amostragens, a área é liberada para o preparo do solo visando ao plantio da cana-de-açúcar. Tão importante quanto isso é preparar, antes do início das operações de preparo do solo, uma série de práticas conservacionistas, como a marcação das curvas de nível seguindo critério técnico de distância vertical entre elas. As curvas alocadas servem de baliza para confecção dos terraços na área, que têm função de retenção das águas da chuva e controle da erosão. Outras práticas auxiliares também são executadas simultaneamente, como a correção de sulcos de erosão, a confecção de cacimbas retentoras de água, a retirada da água das estradas e carregadores etc.

2.1 Etapas do preparo do solo

2.1.1 Calagem

A calagem tem como principais objetivos: correção da acidez do solo, neutralização de elementos tóxicos como Alumínio (Al) e Manganês (Mn), fornecimento de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) como nutrientes e aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes, assim como melhorar as propriedades biológicas do solo. O tipo de calcário e dose a aplicar é determinado em função dos resultados da análise química do solo.

2.1.2 Gessagem

Como o calcário, as doses do gesso agrícola são determinadas pela análise química do solo, aplicando com o mesmo equipamento e sempre após a aplicação do calcário. Os principais objetivos desta operação são: fornecimento de enxofre (S), aumentar o teor de Cálcio (Ca) em profundidade e neutralização do Alumínio (Al) em profundidade. A presença do gesso agrícola estimula o aprofundamento das raízes da cana-de-açúcar em busca da água, ficando a planta mais tolerante ao estresse hídrico comum nas regiões agrícolas do Centro-Sul brasileiro.

Nestas etapas do preparo do solo, novas tecnologias estão sendo implantadas como a aplicação dos insumos em taxa variável, através da agricultura de precisão.

2.1.3 Erradicação da cultura anterior

Esta operação pode ser realizada de duas maneiras:

- erradicação mecânica com a utilização de grades pesadas tracionadas por tratores de maior potência;
- erradicação química através da aplicação de herbicidas dessecantes, com pulverizador acoplado a tratores de menor potência.

2.1.4 Gradagem aradora

Após a erradicação química da cultura anterior faz-se a gradagem pesada (aradora) para completar essa operação e incorporar os restos da cultura. Nesta operação, a grade utilizada trabalha a uma profundidade insuficiente para o preparo do solo visando ao plantio da cana-de-açúcar. O planejamento desta operação é muito importante e deve considerar os meses de maior precipitação pluviométrica, a declividade do terreno e a textura do solo, caso contrário haverá perdas da camada mais fértil do solo pelo efeito da erosão. Em algumas regiões, esta operação está sendo abolida, entrando com a subsolagem ou aração após a erradicação química da cultura anterior. O plantio direto sem o revolvimento do solo também é utilizado como opção dependendo de critérios técnicos.

2.1.5 Subsolagem/Aração

De acordo com os resultados da análise da densidade e textura do solo, além do histórico da área, recomenda-se ou não a operação de subsolagem na área. A aração é uma operação alternativa à subsolagem com menor rendimento e maior custo, porém apresenta melhores resultados agrônômicos de acordo com a pesquisa. Na subsolagem utiliza-se um subsolador e na aração o arado de aivecas. Em ambas as operações recomenda-se o uso de tratores com potência mínima de 180 HP. Após esta operação, conclui-se o preparo do solo e a área pode ser manejada de três formas:

- plantio de culturas anuais (soja, amendoim, milho);
- plantio de adubos verdes;
- pousio até o plantio da cana-de-açúcar.

2.1.6 Fosfatagem

Prática recomendada em áreas de solos com baixo teor de fósforo (P) e tem como finalidade a melhoria de sua fertilidade. Na aplicação são utilizados fosfatos solúveis ou parcialmente solúveis. Ainda não é uma prática comum nas unidades produtoras, mas com potencial de crescimento. Nesta operação utiliza-se os mesmos equipamentos que distribuem o calcário e o gesso agrícola, e pode ser realizada no início do preparo do solo, ou antes da gradagem niveladora pré-plantio.

2.1.7 Gradagem niveladora

Operação realizada imediatamente antes do plantio, e tem como finalidades o nivelamento da superfície, a quebra de torrões e o controle de plantas daninhas em pós-emergência. As grades utilizadas apresentam maior número de discos e de menor diâmetro.

Em situações de pousio onde houve grande repovoamento de plantas daninhas, uma nova dessecação química poderá ser realizada.

Findo o processo de preparo do solo, inicia-se o processo do plantio da cana-de-açúcar que pode ser nas seguintes épocas para a região Centro-Sul:

TABELA 1 – ÉPOCAS DE PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Plantio	Época	Requisitos
Ano e Meio	Jan./Abr.	Plantio até 30 de abril.
Outono	Maió/Jun.	Torta Filtro, Umidade (chuva, irrigação, vinhaça), Temperatura.
Inverno	Jul./Ago.	Torta Filtro, Umidade (chuva, irrigação, vinhaça), Temperatura.
Ano	Set./Nov.	Solo e Variedade.

2.2 Etapas do Plantio

2.2.1 Sulcação/Adubação

Esta operação segue um planejamento prévio, inicia-se por um terraço (na maioria das vezes) e são abertos de 2 a 3 sulcos por passada, adotando parâmetros de qualidade pré-estabelecidos como: profundidade, largura e espaçamento entre linhas. Na mesma operação faz-se a adubação de plantio com a deposição do fertilizante no fun-

do dos sulcos. Como opção de adubação no sulco de plantio, tem-se a torta de filtro *in natura* ou compostada, resultante do processamento da cana-de-açúcar. O fertilizante utilizado contém nitrogênio, fósforo e potássio e em determinadas situações micronutrientes como boro, cobre, zinco e outros.

2.2.2 Deposição das mudas nos sulcos de plantio

As empresas fazem o planejamento do plantio alocando variedades para início, meio e final da safra, considerando as condições edafoclimáticas locais, distâncias do canavial até a indústria e as características agrotecnológicas de cada variedade de cana-de-açúcar. O Brasil orgulha-se de ter o melhor programa de melhoramento genético para produção de novas variedades de cana-de-açúcar, através dos Centros de Pesquisa: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC) – variedades IAC e IACSP, CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC) – variedades CTC, a UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar) – variedades RB e futuramente a CANAVIALLIS. Os ganhos em produtividade e qualidade observados nos últimos anos no Brasil são explicados em grande parte à participação de novas variedades produzidas por estes centros através dos pesquisadores competentes que compõem a equipe. Além do melhoramento tradicional, estes Centros de Pesquisas trabalham com biotecnologia na produção de variedades mais produtivas, com alto teor de sacarose, resistentes e tolerantes às pragas e doenças e aptas à colheita mecanizada.

As mudas a serem utilizadas devem ser procedentes de viveiros secundários que foram oriundos do viveiro primário cujas mudas foram submetidas à termoterapia para controle de doenças. Na condução destes viveiros são realizadas várias inspeções fitossanitárias.

No Brasil temos dois sistemas de plantio, sendo os mais importantes:

- Manual;
- Mecanizado.

No plantio manual, a colheita das mudas no viveiro e a deposição nos sulcos de plantio são feitas por colaboradores devidamente treinados. Os caminhões com as mudas entram na banca (espaço de dois sulcos não abertos) e os colaboradores vão atirando as mudas (colmos) de cana do caminhão para dentro dos sulcos abertos do lado esquerdo e do lado direito, deixando sobre o solo as mudas suficientes para plantar os dois sulcos da banca que serão abertos na seqüência. Como prática, recomenda-se a utilização de mudas jovens, entre 9 a 12 meses, eretas, o que facilitará a distribuição e ganhos no rendimento operacional. A densidade média de plantio é de 15 gemas por metro linear de sulco.

Os colmos no interior dos sulcos são ajeitados e picados em toletes de no mínimo 40 centímetros de comprimento. Esta função é executada por um grupo de colaboradores

selecionados dentro da equipe de plantio. No corte da mudas, como na picação dos colmos no sulco, são utilizados podões que devem ser constantemente desinfectados por uma solução química, para evitar disseminação de doenças.

As mudas depositadas no sulco devem ser rapidamente cobertas com terra para garantir uma melhor brotação das gemas. Nesta operação é desejável uma camada de terra sobre os toletes de 5 a 8 cm. No momento da cobrição, faz-se a aplicação de produtos sobre as mudas, sendo o mais utilizado o inseticida para o controle das pragas do solo. O uso de nematicidas também se faz necessário se os levantamentos indicarem a presença de nematóides em populações que causem dano econômico. Como novas tecnologias em implantação na operação de cobrição temos a utilização de fungicidas, micronutrientes, bio-reguladores e condicionadores de solo. Nesta operação é utilizado cobridor de discos com rolo compactador, acoplado a tratores de menor potência.

Após a cobrição mecânica existem locais da área onde as mudas não foram devidamente cobertas e ficam expostas, necessitando de um repasse que é feito por colaboradores munidos de enxadas. O acabamento da área é feito através do uso de motoniveladora nos carregadores da área plantada.

No plantio mecanizado, as mudas do viveiro são cortadas pelas mesmas colhedoras que fazem a colheita de cana na safra, porém com adaptações para redução de injúrias nos toletes e nas gemas. A colhedora deposita os toletes em veículos denominados “transbordo” que fazem o percurso do viveiro até o plantio e transferem os toletes para a plantadora. Esta máquina faz simultaneamente a abertura dos sulcos, a adubação, a deposição dos toletes nos dois sulcos, a aplicação de produtos sobre as mudas e a cobrição dos mesmos com terra. Como no plantio manual, temos em menor proporção o repasse para recobrição dos toletes.

Findo o processo do plantio, inicia-se o processo de tratos culturais da cana planta, que na verdade é um complemento do processo de plantio. As seguintes operações são realizadas:

2.2.2.1 Aplicação de herbicidas

Esta operação visa controlar as plantas daninhas presentes na área, impedindo assim a sua competição com a cana-de-açúcar. A escolha do produto e dose leva em consideração o banco de sementes, as espécies presentes, a textura e matéria orgânica do solo, a época da aplicação e o estágio das plantas daninhas. Na aplicação do produto é desejável que já tenha ocorrido uma chuva no local para realizar o assentamento do solo nas paredes do sulco evitando assim fitoxidade do produto à cultura e o escape das ervas daninhas. Nesta operação são utilizados pulverizadores acoplados a tratores com potência igual ou maior que 75 HP.

2.2.2.2 Cultivo

Operação que deve ser realizada entre 60 a 100 dias após o plantio, de preferência no limite do fechamento da cultura, evitando assim uma nova infestação de plantas daninhas. É uma operação imprescindível para a utilização da colheita mecanizada a partir do 1º corte. Em situações particulares aproveita-se esta operação para fazer adubação de cobertura com nitrogênio, potássio ou micronutrientes. Os tratores empregados nesta operação poderão ser do preparo do solo e os cultivadores utilizados são denominados “quebra-lombo”.

2.2.2.3 Controle de pragas e invasoras

Caso haja necessidade, faz-se o controle do escape de plantas daninhas manualmente ou com herbicidas em catação química, assim como o controle das formigas cortadeiras. A broca da cana-de-açúcar deve ser constantemente monitorada e, preferencialmente, deve-se optar pelo controle biológico.

Findo o processo de tratamentos culturais da cana planta, os canaviais irão completar o seu desenvolvimento até a chegada da colheita, que segue as seguintes etapas:

2.3 Colheita

2.3.1 Planejamento da colheita

Existem no mercado softwares destinados ao planejamento da colheita que visam em resumo maximizar os rendimentos agroindustriais, respeitando as restrições impostas pelos tratamentos culturais, meio ambiente, renovação de canaviais, idade do canavial e características agrônômicas das variedades. O programa indica as melhores glebas a serem colhidas em cada mês e o refinamento dentro de mês é função dos resultados das pré-análises que indicam as variedades nas áreas com maior teor de sacarose. Atualmente os dois sistemas de colheita mais representativos na região Centro-Sul são:

2.3.1.1 Colheita semi-mecanizada de cana inteira queimada

A colheita da cana-de-açúcar é feita manualmente por colaboradores, em canaviais com queima prévia da palha. O corte é feito em eitos de cinco linhas e os colmos dispostos em bandeiras ou esteirados. O carregamento é feito por carregadeiras acopladas a tratores. Os colmos são carregados em caminhões/carretas que transportam esta matéria-prima até a indústria. Em vários estados, como São Paulo, existe lei específica que trata da queima da palha da cana-de-açúcar e impõe prazo para excluir esta modalidade de colheita do processo produtivo.

2.3.1.2 Colheita mecanizada de cana picada sem despalha a fogo

A colheita da cana-de-açúcar é feita por máquinas que cortam os colmos na base e na ponta (descarte), picam os colmos em toletes menores, extraem as impurezas minerais e vegetais e carregam simultaneamente os veículos transbordos (sobre caminhão ou tracionado por trator). Este sistema de colheita evoluiu nos últimos anos resultando em menores danos à soqueira pelo pisoteio e menor compactação do solo, assim como menor arranquio de rizomas. Os transbordos transferem a carga para as carrocerias dos caminhões transportadores (semi-reboques) que não entram nos talhões de cana-de-açúcar. O sucesso desta modalidade de colheita depende de quatro fatores: sistematização do terreno, variedade adequada, máquina e operador treinado.

Findo o processo de colheita nos talhões, inicia-se o processo de tratos culturais que tem como finalidade dar condições para a planta crescer e atingir boa produção para a próxima safra.

2.4 Tratos culturais da cana soca

Este processo de produção não depende do término da safra para seu início, e ocorre simultaneamente com a safra. Os melhores resultados são obtidos quando executados imediatamente após a colheita, no menor prazo possível até o período de secamento do solo. Consiste das seguintes etapas:

2.4.1 Cultivo tríplice operação

Na mesma operação faz-se a descompactação do solo, a adubação da soqueira e o controle de plantas daninhas. Existem no mercado cultivadores para operar em área de colheita de cana sem despalha a fogo, cultivadores para trabalhar em área de colheita de cana com despalha a fogo e cultivadores que operam nas duas situações. A fertilização da soqueira pode ser feita com adubo sólido granulado ou adubo líquido. Anualmente tem-se um percentual da área de cana soca tratada com calcário e/ou gesso agrícola, assim como com vinhaça e torta de filtro (resíduos da fabricação do açúcar e do álcool). Nos últimos anos houve uma grande evolução na concepção dos cultivadores com maior revolvimento do solo e descompactação exigindo tratores com maior potência.

2.4.2 Controle de pragas, doenças

Com o advento da colheita sem despalha a fogo, houve um incremento na população de pragas antes tidas como secundárias, que devem ser monitoradas por levantamentos populacionais, sendo necessário o uso do controle preventivo e talvez o controle curativo. Do mesmo modo da cana planta, não se pode descuidar de pragas como as formigas cortadeiras, a broca da cana-de-açúcar e outras que vierem a ocorrer.

2.4.3 Controle de plantas daninhas

O mesmo ocorreu com plantas daninhas de menor importância que foram selecionadas e tiveram aumento do nível populacional neste cenário da presença da palha residual. Esta operação visa controlar as plantas daninhas presentes na área, impedindo assim a sua competição por água, luz e nutrientes com a cana-de-açúcar. A escolha do produto leva em consideração o banco de sementes, as espécies presentes, a textura e matéria orgânica do solo, a época da aplicação, a presença ou não da palhada e o estágio das plantas daninhas. Com o advento de novos produtos para serem aplicados no período seco, aumentou o período de aplicação, reduziu o contingente de máquinas e melhorou a eficiência. Nesta operação são utilizados os mesmos equipamentos da aplicação em cana planta.

Considerações finais:

O sucesso no processo de produção agrícola da cana-de-açúcar respeitando a sustentabilidade requerida depende fundamentalmente de quatro fatores, a saber:

- Conhecimento das características químicas, físicas e biológicas do solo onde será cultivada a cana-de-açúcar;
- Conhecimento do clima, dados históricos de chuvas, temperatura, evapotranspiração potencial, determinando assim os melhores períodos de plantio, colheita e tratamentos culturais;
- Conhecimento das variedades a serem utilizadas, como função das questões de solos e clima respeitando as suas características agro-tecnológicas;
- Uso de manejo da produção e das práticas culturais; cada operação tem o seu devido tempo. Respeitar a lavoura, preservando as plantas de cana-de-açúcar de qualquer dano físico, químico e de agentes biológicos, buscando o potencial de produção.

Vários são os modelos estruturados de produção adotados, seja com fornecedores de cana responsáveis pela oferta da matéria-prima ou áreas agrícolas conduzidas pela própria indústria ou ainda um modelo misto com produção de cana por terceiros. Cada empresa procura a melhor situação para seu desenvolvimento.

3 Processamento da cana-de-açúcar

Do ponto de vista de processos, a tecnologia de produção de álcool é muito semelhante em todas as usinas brasileiras. Há variações nos tipos e qualidades dos equipamentos, controles operacionais e, principalmente, nos níveis gerenciais. O sistema de pagamento da cana-de-açúcar por qualidade estimula o produtor a entregar a sua matéria-prima nas melhores condições possíveis.

- Extração do caldo:

O processo mais utilizado é o da moagem das canas, após a recepção e o preparo da matéria prima.

Esse setor tem a finalidade de condicionar a cana (limpeza e abertura das células) e extrair o caldo, com um mínimo de perda de açúcares da cana, bem como reduzir a umidade final do bagaço.

Com o aumento da colheita mecanizada da cana em toletes e a tendência de um centro de limpeza a seco para retirada também das palhas, a atual operação de lavagem se reduzirá (e com isso será menor o volume de água por tonelada de cana).

Outro processo de extração do caldo da cana é o do difusor, que vem sendo expandido no Brasil, graças ao menor uso de energia e também boa eficiência de extração, com menores custos de manutenção.

- Utilidades:

Após a extração do caldo, o bagaço, constituído de fibra (46%), água (50%) e sólidos dissolvidos (4%) é transportado por esteiras rolantes para as caldeiras, sendo o excedente enviado ao pátio de estocagem. O bagaço é produzido numa quantidade que varia de 240kg a 280kg por tonelada de cana moída; hoje, ele se constitui o único combustível utilizado nas caldeiras a vapor, gerando toda energia necessária ao processamento de cana e, ainda, produzindo uma sobra que varia, na maioria dos casos, entre zero e 10%.

- Tratamento do caldo:

O caldo de cana, quando sai do processo de extração, contém uma quantidade de impurezas que têm que ser reduzidas para deixar o caldo numa qualidade adequada para seu processamento na fábrica de açúcar e na destilaria, através de processos físico e químico. O caldo tratado pode ser enviado à fabricação de açúcar ou de álcool.

Após passar pelo tratamento inicial, o caldo deverá passar pela pasteurização, com aquecimento e resfriamento imediato.

- Fermentação/Destilação:

A maior parte do álcool produzido é realizado por um processo de fermentação em batelada alimentada com reciclo de fermento (aproximadamente 80% do total). O restante do etanol é produzido por fermentação contínua multiestágio com reciclo de fermento; o processo é baseado na fermentação contínua proposta por Guillaume.

Na recuperação de etanol do vinho final e obtenção de AEHC (álcool etílico hidratado carburante), praticamente todas as destilarias obedecem ao mesmo padrão empregando conjunto de coluna destiladora com esgotadora, epuradora e concentradora de cabeças, sendo a retificação da flegma realizada em conjunto esgotador, retificador ou com esgotamento final da flegmaça na destiladora (Flegstil).

A produção de AEAC (álcool etílico anidro carburante) é feita em sua maior parte empregando a destilação azeotrópica, usando ciclohexano como ternário de desidratação e sem maiores recursos de otimização energética para redução dos atuais 1,5-2,0 kg de vapor por litro de etanol.

Mais recentemente, foram introduzidas a destilação extrativa com mono etileno glicol como agente extractante e o processo de absorção com peneiras moleculares, ambos com consumos energéticos significativamente menores.

- Geração de Vapor e Energia Elétrica:

Os sistemas de produção de energia elétrica atualmente utilizados na indústria sucroalcooleira são sistemas com ciclos a vapor de água, com queima direta do bagaço de cana, e operando em regime de cogeração. No setor existe hoje uma transição, evoluindo desde sistemas a vapor de média pressão (até 22 bar) para sistemas de alta pressão de vapor (até 65 e 82 bar). Isso tem permitido às indústrias do setor, além da auto-suficiência em energia elétrica, a geração de maiores excedentes para a venda.

4 Evolução tecnológica na produção de cana-de-açúcar e de álcool

4.1 Cana-de-Açúcar

- Melhoramento genético da cana-de-açúcar:

Exceto o IAC (Instituto Agrônômico de Campinas), que opera desde muito tempo, os outros programas de melhoramento são recentes: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC – antigo Centro de Tecnologia Copersucar – 1972 – variedades SP); Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA – parte do antigo Planalsucar – 1972 – variedades RB); e Canavialis (fundada em 2004). Cumprir salientar que tanto o CTC como a Canavialis (e Allelyx) são empresas privadas operando totalmente com os recursos supridos por seus mantenedores (cerca de 100 usinas e associações de plantadores de cana, no caso do CTC; e Votorantim, no caso da Canavialis). A predominância no Brasil (mais de 500 variedades comerciais) é das variedades produzidas pelo CTC e RIDESA.

No início da década de 1980, mais de 40% da área do canavial brasileiro era ocupado pela variedade NA56-79, de origem Argentina, enquanto que, em 2003, a variedade mais plantada, a RB72454, ocupava apenas 13% do canavial. É importante que cada variedade represente apenas uma fração do canavial com o objetivo de diminuir o impacto de eventuais doenças que surjam.

- Mecanização agrícola:

Houve efetiva evolução no uso da mecanização agrícola da cana-de-açúcar no Brasil. Em especial, há dois aspectos a salientar: a) as leis ambientais, que aceleram a mecanização da colheita; e b) a tendência de mecanização do plantio, hoje quase que

todo com o uso de intensivo de mão-de-obra.

De um modo geral, a mecanização agrícola tem evoluído continuamente na região Centro-Sul, mas continua inexpressiva na região Norte-Nordeste. É interessante notar que o número de empregados na área agrícola no Norte-Nordeste é 3,5 vezes maior que na região Centro-Sul, por tonelada de cana cultivada.

Em 1998, a mecanização da colheita no Centro-Sul era de 15%; na safra 04/05 era de 34%.

- Gerenciamento agrícola (GA):

O aperfeiçoamento do planejamento e a crescente introdução da informática para o gerenciamento e simulação das operações agrícolas foi um dos fatos mais impactantes na redução dos custos de produção da cana-de-açúcar no Brasil. Sistemas de controle têm permitido o melhor conhecimento das operações agrícolas, com impactos positivos em desempenho, qualidade da cana-de-açúcar e melhor uso de máquinas, equipamentos e caminhões.

- Subprodutos e uso agrícola na maioria das usinas brasileiras:

Os principais efluentes das usinas, a vinhaça e a torta de filtro, são reciclados para os canaviais em sua totalidade. A vinhaça, produzida em torno de 13 litros/L de etanol, é hoje utilizada na fertirrigação. Rico em matéria orgânica e em potássio, o seu uso tem sido fator de ganhos de produtividade.

A torta de filtro, que é produzida na quantidade média de 30-40 kg/t cana, é utilizada principalmente na adubação para o plantio da cana, satisfazendo praticamente toda a necessidade de nitrogênio e a maior parte da de fósforo.

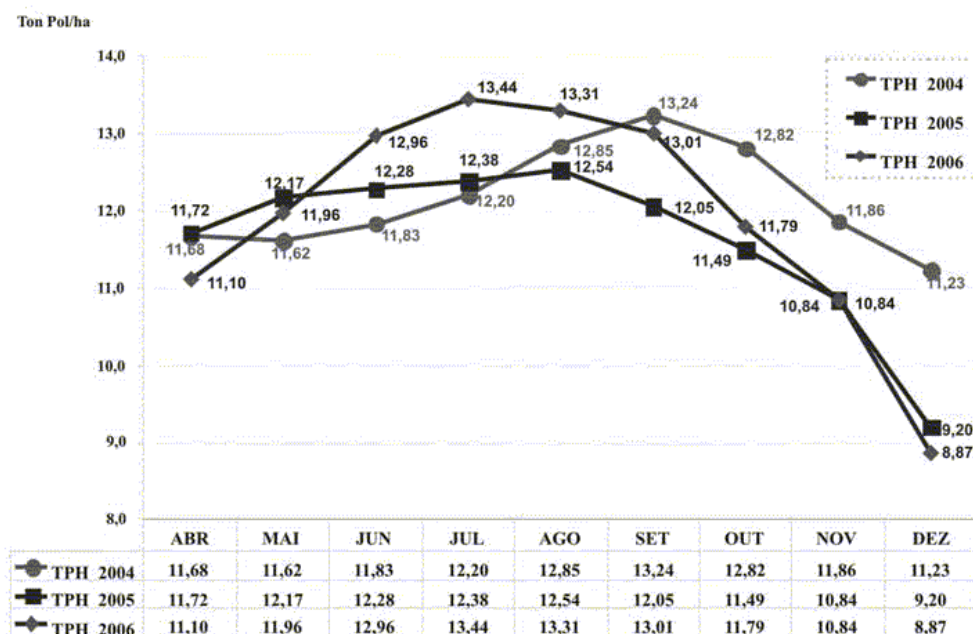
Essa prática tem reduzido a necessidade do uso de fertilizantes químicos com impactos positivos nos custos de produção e meio ambiente.

A evolução da compostagem (produtos misturados e trabalhados com novas tecnologias) irá permitir melhor impacto no uso desse sub-produto.

- Práticas agrícolas e tendências:

O conceito de ambiente de produção, que seleciona as variedades a serem plantadas, baseado nos mapas de solos e condições climáticas, inclusive com aplicação dos adubos nas quantidades otimizadas, está mudando radicalmente o dia-a-dia dos canaviais e contribuindo significativamente para a redução dos custos de produção da cana e melhoria de sua qualidade.

A consequência desse trabalho é mostrada pelos ganhos de eficiência do setor, no caso, região Centro-Sul (85% da cana-de-açúcar do país):



Fonte: Canaplan.

Gráfico 1: Toneladas de Pol por hectare (TPH) - Safras 04/05 x 06/07 – Centro-Sul.

Existem tecnologias em desenvolvimento ainda não utilizadas comercialmente nos dias de hoje, que prometem impactos positivos significativos na cultura da cana. Entre essas tecnologias merecem destaque: a) biologia molecular para melhoramento genético da cana; e b) colheita da cana sem queima, com recolhimento total ou parcial da palha da cana (ponteiros, folhas verdes e folhas secas).

5 Novas Tecnologias de Produção de Etanol

Há expectativas importantes no campo da extração do caldo através de extrator hidrodinâmico.

O sistema baseia-se no processo de difusão, porém, ao contrário do que acontece no difusor convencional, o caldo atravessa o colchão de cana desfibrada, de baixo para cima, facilitando a saída do ar aprisionado no colchão e, com isso, permitindo maiores velocidades de percolação.

Com relação à fermentação alcoólica, a meta é a de obter ganhos em rendimento, produtividade, estabilidade operacional e consumos energéticos.

Outra tecnologia interessante é o processo de concentração da vinhaça de modo a produzir fertilizantes sólidos e reduzir a aplicação do potássio em áreas com problemas para isso.

- Alcoolquímica:

Vários produtos derivados do etanol deverão agregar valor à indústria, via química. Alguns dos processos já são conhecidos; outros, como a utilização das pontas e palhas, serão foco de importante desenvolvimento no país.

- Hidrólise de materiais lignocelulósicos (teoricamente, permitirá “duplicar” a produção por hectare);
- Hidrólise Ácida - processo organosolv (Dedini).

A situação atual dos processos de hidrólise enzimática não permite em curto prazo apontar tecnologias que possam ser levadas ao estágio comercial.

- Sacarificação de fermentação alcoólica simultâneas:

Esse processo combina, numa só etapa, a hidrólise enzimática e a fermentação alcoólica dos açúcares redutores gerados.

6 Expansão da Produção

A extraordinária expansão da produção de cana, açúcar e álcool no Brasil vem ocorrendo na região Centro-Sul. A região Norte-Nordeste vem produzindo entre 55 a 60 milhões de toneladas de cana por safra há vários anos.

Um trabalho recente compara a evolução entre as safras 92/93 e 2004/05, na região Centro-Sul (Tabela 2):

TABELA 2 – CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO CENTRO-SUL

	Safra 92/93	Safra 2004/05
Número de unidades produtoras		
• Centro-Sul	251	228
• São Paulo	133	135
Moagem anual (10 ⁶ t/a)	179	329
Área colhida (1000 ha)	2.494	3.800
Dias de safra total	193	227
Dias efetivos de moagem	170	193
Moagem anual média / usina (1000 t/a)	702	1.437
ATR/ton de cana(*)	141,8	144,7

(*) ATR – Açúcares totais recuperáveis.
Fonte: UNICA.

O quadro é importante, pois revela ganhos significativos de escala industrial, extensão da safra e ganhos de qualidade da matéria-prima.

Também vale a pena perceber que parte do aumento de produção de cana foi decorrente de ganhos de produtividade, que passou de 71,8 t/ha para 86,5 t/ha no período; afinal, enquanto a moagem de cana aumentou em 85%, a área colhida cresceu apenas 52%.

Em 2005 e 2006, notou-se o início de implantação de novas unidades produtoras na mesma região do Centro-Sul. Segundo a Dedini, 40% do crescimento ocorrem nas unidades existentes e 60%, novos grupos que entram.

A implantação de um novo canavial, de acordo com o ritmo da empresa, leva de três a cinco anos. Com base nessa expectativa e no crescimento da demanda no Brasil, projetam-se para as safras 2010/11 e 2013/14 560 milhões de toneladas e 670 milhões de toneladas, respectivamente. As previsões de mercado para 2010 indicam 27,3 bilhões de litros de álcool (22,1 bilhões para o mercado interno e 5,2 bilhões para exportação) e 35 milhões de toneladas de açúcar (11 milhões para o consumo interno e 24 milhões para exportação).

As novas unidades em implantação moerão, em média, entre 1,5 milhão e 2 milhões de toneladas de cana individualmente por safra, sendo que a tendência é que produzam álcool e açúcar com um mix apontando 60% de etanol.

Os números citados do potencial de expansão e do mercado, que deverá acontecer, movimentam muitos outros atores importantes, que terão enorme peso nessa verdadeira nova revolução verde.

Estudo recente da UNICAMP indica que, devido às suas dimensões continentais, o Brasil possui uma elevada diversidade de classes de solos e de tipos climáticos que resultam em uma grande variação no potencial produtivo de suas terras. Essa diversidade, aliada às limitações de uso da terra (regiões sensíveis – Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica, reservas ecológicas etc.) e à declividade do solo, cria a necessidade de sobrepor tais informações geo-referenciadas e determinar as regiões que apresentam diferentes potenciais de produtividade e uso para as atividades agropecuárias desenvolvidas no país e, em especial, para o cultivo da cana-de-açúcar.

Ressalte-se que há possibilidade de cultivo de cana-de-açúcar em áreas com declividade um pouco acima de 12%, principalmente para o sistema de cana queimada, colhida manualmente. No entanto, com apenas a utilização de até 12% de declividade, procura-se atender à tendência de se expandir o sistema de plantio e de colheita mecanizada.

As áreas com declividade igual ou menor a 12% são, no total, 361,6 milhões de hectares.

7 Conclusão

As áreas que serão beneficiadas pela expansão da produção de cana estão localizadas nos estados do Centro-Sul (MT, MS, MG e GO) e Norte-Nordeste (MA, PI, TO e BA), que dispõem de grandes quantidades de terras férteis ainda não ocupadas pela agricultura. Isso faz com que a região N-NE, que vem assistindo a um progressivo declínio de sua importância relativa no contexto nacional, deverá voltar a ocupar, a partir de novas bases, parte do espaço perdido.

TABELA 3 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA E DE ÁLCOOL (*).

Safr	Cana (MT)			Álcool (mil m3)		
	N-NE	C/S	Total	N-NE	C/S	Total
00/01	50,5 (19,6%)	207,1 (80,4%)	257,6	1.528,7 (14,4%)	9.034,3 (85,6%)	10.593,0
05/06	60,2 (15%)	340,2 (85%)	400,4	1.740,1 (10,9%)	14.221,8 (89,1%)	15.961,9
09/10	76,8 (16,3%)	410,9 (83,7%)	487,7	3.155,8 (14,6%)	18.408,7 (85,4%)	21.564,9
14/15	104,5 (18,1%)	473,9 (81,9%)	578,4	5.503,7 (19,0%)	23.530,5 (81,0%)	29.034,2
19/20	210,5 (25,2%)	625,1 (74,8%)	835,6	14.516,0 (28,5%)	36.377,4 (71,5%)	50.893,4
24/25	570,2 (35,6%)	1.128,90 (66,4%)	1.699,10	45.108,7 (36,3%)	79.207,6 (63,7%)	124.316,3

(*) Safra 05/06 em diante são projeções.
Fonte: UNICAMP/CTC, dez/2005.

A produção de cana-de-açúcar brasileira deverá ser multiplicada por um fator de quatro em um período de 20 anos, de forma que a taxa de crescimento médio dessa produção ficará por volta de 7,7% ao ano.

Há, logicamente, uma efetiva expectativa de continuidade na redução dos custos de produção da cana e do etanol no Brasil. Com base em uma produtividade agrícola média de 85 ton/ha e eficiência industrial equivalente a 85 litros de etanol anidro por tonelada de cana, o custo atual total de produção, na região Centro-Sul brasileira, é apresentado na Tabela 4:

TABELA 4 – CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL (R\$ /M3).

Item	Destilaria Autônoma
Matéria-prima (cana)	460,00
Custo industrial	158,00
Custo administrativo	52,00
Total	670,00

Fonte: Canaplan.

REFERÊNCIAS

- BACCHI, O. O. S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Rio de Janeiro: IAA; PLANALSUCAR, 1983. (Coleção Planalsucar, 2).
- CANAPLAN CONSULTORIA TÉCNICA LTDA. **Relatório Projeto Safra**. Piracicaba, SP, 2007.
- KAMPEN, W.H. Ethanol dehydration at Usina da Pedra. **Sugar y Azúcar**, New Jersey, n. 10, p.32-36, 1993.
- LEGRAND, F. Concentrated fuel alcohol production using a boiling point elevation loop. **Sugar y Azúcar**, New Jersey, v. 8, p.29-44, 1992.
- LIGERO, E. L.; RAVAGNANI, T. M. K. Dehydration of ethanol with salt extractive distillation: a comparative analysis between processes with salt recovery. **Chemical Engineering and Processing**, v. 42, n. 07, p. 543-552, 2003.
- MACEDO, I. **Estado da arte e tendências das tecnologias para energia**. Brasília: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE, 2003. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br>>.
- OLIVÉRIO, J.L.; PROENÇA, A.G.H. DHR-Dedini Hidrólise Rápida (Dedini Rapid Hydrolysis): revolutionary process for producing alcohol from sugar cane bagasse. **International Sugar Journal**, Kent, v. 106, p. 168-172, 2004.
- PASZNER, L. L.; CHANG, P.C. **Processo de sacarificação de alta eficácia**. PI 8207243.
- PIZAIA, W. Steam Economy in the Sugar Mills. In: HASSUANI, S. J. (Ed.) **Biomass power generation: sugar cane and trash**. Piracicaba, SP,: PNUD-CTC, 2005. p. 130-131. (Série Caminhos para a Sustentabilidade.). Disponível em: < http://www.mct.gov.br/upd_blob/1594.pdf>.
- ROSSEL, C. E. V. et al. Saccharification of sugarcane bagasse for ethanol production using the organosolv process. **International Sugar Journal**, Kent, v. 107, n. 1275, p. 192-195, 2005.

Álcool e Açúcar: uma Via de Mão Dupla

Fernando Augusto Moreira Ribeiro

Economista, formado pela UFRJ; MBA pela A.G.S.I.M, EUA, com ênfase em marketing, tendo trabalhado no setor desde 1979 tanto no Brasil quanto no exterior

Resumo

Desde o berço, a produção de açúcar e de álcool no Brasil andam juntas – primeiro, pela produção de etanol a partir do melaço residual do processamento do açúcar e, mais tarde, pela produção de álcool a partir do caldo da cana. Isso só foi possível com o desenvolvimento da indústria de álcool combustível, nascida dos sucessivos choques do petróleo nos anos 1970. O país conta com vasta experiência de mistura de etanol na gasolina, iniciada na década de 1930, e hoje com a produção de veículos movidos exclusivamente a álcool hidratado ou *flex fuel*. Hoje, quando o mundo se vê às voltas com questões fundamentais, como a segurança energética, diante da necessidade de diminuir a dependência do petróleo para não queimar divisas e do aquecimento global, o etanol brasileiro surge como um exemplo bem-sucedido a ser seguido por países que têm esses interesses. O Brasil dispõe da melhor matéria-prima para produzir o álcool – a cana-de-açúcar – que prospera em regiões de clima tropical, não tolerando nem o clima temperado nem o das regiões equatoriais, como a Amazônia, em que as chuvas abundantes são um empecilho à colheita. É preciso, no entanto, investir em novas tecnologias, como a de álcool de celulose, que garantam o maior aproveitamento da cana.

1 Introdução

A familiaridade do Brasil com a cana-de-açúcar vem de berço. Seu cultivo foi a primeira atividade agrícola do país, sendo introduzida pelo governador-geral Martinho Afonso de Sousa, na capitania de São Vicente, em 1532. O colonizador português viu nas terras brasileiras o potencial para a produção da cana-de-açúcar, tornando o país ponto de partida para a exportação. Em pouco tempo, o Brasil se transformou no maior fornecedor mundial de açúcar, uma das maiores riquezas dos séculos XVI e XVII.

O processamento da cana deixava um subproduto, a garapa azeda, remanescente dos tachos de rapadura, que produzia uma espécie de vinho ao ser fermentada. A sua destilação resultou na cachaça, bebida que se transformou em moeda para a compra de escravos na África.

2 A produção de açúcar e álcool industrial no Brasil

A produção de açúcar e álcool numa mesma unidade industrial no Brasil vem desde a época dos engenhos, marcando o período colonial, e estendeu-se até chegar às usinas, que começaram a surgir no século XIX. No entanto, o uso do álcool como combustível só começou a ganhar destaque no Brasil no século XX. Embora os primeiros testes com veículos movidos a gasolina misturada a álcool datem de 1925, foi na década de 1930 que seu uso como combustível ganhou fôlego. Em sua ascensão ao poder, Getúlio Vargas determinou que o Ministério da Agricultura estabelecesse uma linha de crédito para a montagem de bombas nos postos de abastecimento de combustíveis e para a aquisição de frota para o abastecimento dessas bombas.

O resultado dessa política foi sentido no ano seguinte quando, pela primeira vez, foi definida a mistura de 5% álcool na gasolina – mistura que se tornou uma prática constante no Brasil desde então, apenas com variação dos teores entre 5% de álcool e 10% até os anos 1970.

Foi o começo da intervenção estatal direta. A desorganização do setor devido à crise econômica mundial de 1929 levou à criação, em 1933, do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA). Dessa forma, o governo assumiu, com exclusividade, atividades como o planejamento da atuação privada setorial (o que incluía, entre outras determinações, a fixação de cotas de produção e de comercialização interna de açúcar e de álcool); o direito de confiscar produtos excedentes; o exercício exclusivo das exportações de açúcar, por monopólio; as autorizações para exportações de álcool; a concessão de autorizações para importar açúcar e álcool; o controle dos preços de ambos, como também os da cana que lhes servia de matéria-prima; a cobrança de taxas para financiar o custeio da intervenção na atividade privada e os programas de apoio às lavouras de cana e à indústria; a mediação em assuntos dos agentes particulares; a fiscalização do

cumprimento das normas; a aplicação de sanções, entre outras medidas.

Se a mistura de etanol aliviou a pressão sobre os gastos com as importações de petróleo nos anos 1930, também provou ser de grande ajuda para a balança comercial na Segunda Guerra Mundial (1939-1945), diante das dificuldades de importação de gasolina. Muitas usinas, especialmente as que já processavam o álcool, passaram a produzi-lo em maior quantidade para acompanhar o aumento da mistura.

Qualquer proposta de tornar o álcool carburante, o combustível brasileiro por excelência, foi abandonada no pós-guerra, uma vez que as décadas de 1950 e 1960 foram de crescimento econômico, de petróleo farto a preço módico – em média US\$ 3,16 o barril. Essas condições favoreceram o aumento da dependência brasileira do combustível fóssil, que passou de 28% em 1952 para 45% em 1972.

No início dos anos 1970, o Brasil vivia o “milagre econômico”, com o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) na faixa de 12% ao ano. Esse pique de desenvolvimento, embalado a óleo diesel e gasolina – com um sistema de transportes em sintonia com os derivados de petróleo – aparentava ser consistente. A dívida externa não ultrapassava US\$ 6 bilhões.

O abalo veio em 1973, com o primeiro choque do petróleo, quando, depois da Guerra do Yom Kippur, os membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) iniciaram um embargo aos seus clientes. Houve racionamento em alguns países e os preços do petróleo dispararam de US\$ 2,84 para US\$ 13 o barril, no início de 1974.

Foi nesse momento que chegou a conta do crescimento econômico brasileiro, uma vez que 77% do fornecimento de petróleo do país, na época, de 753 mil barris diários, vinham do exterior. Em 1975, a dependência passou a 80%, com uma demanda de 874 mil barris diários. O Brasil não contava com reservas em moeda forte para cobrir essa despesa e o déficit da balança comercial foi inevitável.

A primeira solução encontrada para o problema foi o endividamento, uma vez que, na época, o crédito internacional era abundante e os juros baixos. A segunda opção foi a substituição das importações, seja pela prospecção de jazidas de petróleo em território nacional (incluindo a plataforma continental), seja pelo desenvolvimento de combustíveis alternativos.

Nesse contexto, nasceu o ProÁlcool, em novembro de 1975, com o propósito de tirar partido da tecnologia de produção de álcool carburante existente no país a partir da cana-de-açúcar. O programa surgiu em um momento delicado para o mercado do açúcar, de grande oferta, grandes estoques e preços baixos.

Numa primeira fase, houve a substituição de parte do consumo de combustível nos veículos leves pelo aumento da adição de álcool anidro na gasolina. Em 1979, chegaram ao mercado os motores movidos exclusivamente a álcool. Esse também foi um momento histórico, já que coincidiu com o segundo choque do petróleo, resultado da

revolução no Irã, quando o preço do petróleo saltou para US\$ 30 o barril.

O ProÁlcool, fundamental no desenvolvimento da indústria sucroalcooleira, tanto em termos industriais como para as variedades de cana, terminou em 1984. Havia cumprido o seu papel de estimular a produção de etanol, que passou a ser produzido também a partir do suco da cana, e não mais exclusivamente do melaço. Também foi o responsável pelo desenvolvimento de novas variedades agrícolas comerciais – de seis em meados dos anos 1970 para mais de 400 atualmente. A média hoje é de 15 variedades de cana por fazenda. E mais: a curva de aprendizado do setor na produção de álcool dobrou a produtividade de cana por área em 30 anos e reduziu o custo de produção em cerca de 80%.

Trinta anos depois da criação do ProÁlcool, o Brasil registrou, como resultado, o consumo de 275 bilhões de litros de etanol apenas para fins combustíveis, equivalentes a 240,8 bilhões de litros de gasolina – ou 1,51 bilhão de barris. Isso equivale a 11,6% das reservas atuais provadas de petróleo e condensadas do Brasil.

Nesse período, o consumo de etanol combustível permitiu uma economia de divisas de US\$ 69,1 bilhões em importações evitadas e de US\$ 126,4 bilhões, quando computados os juros da dívida externa referentes a essas importações.

Tais números são muito expressivos para um país que apresentava reserva de divisas de US\$ 58 bilhões e um PIB de US\$ 715 bilhões, em 2004.

O modelo de intervenção estatal, porém, estava com os dias contados. Era preciso, em primeiro lugar, dar cumprimento a dispositivo da Constituição Federal de 1988 (artigo 174), segundo o qual o planejamento governamental para o setor privado, em vez de determinante, deve ser apenas indicativo. A extinção do IAA foi determinada pela Medida Provisória nº 151, de 15 de março de 1990. Em meados de 1988, um Decreto-Lei já se encarregara de proibir, a partir de 1º de junho de 1989, o uso de recursos do Tesouro Nacional em operações de compra e venda de açúcar para exportação e determinava ao Poder Executivo que procedesse à reformulação da organização do setor sucroalcooleiro, com a redução da dependência da agroindústria canavieira de recursos do Tesouro Nacional e da intervenção estatal.

A desregulamentação levou o setor à auto-gestão e à busca constante de mais eficiência. O Brasil, pioneiro no uso de etanol em escala continental, tornou-se exemplo de indústria de combustível renovável para vários outros países.

3 Expansão do setor produtivo de açúcar e álcool no Brasil

O Brasil é o maior produtor mundial de cana e de açúcar, perdendo o primeiro lugar na produção de álcool para os Estados Unidos, em 2006. Na safra 2004/2005, era líder incontestável, representando 33,9% da produção mundial de cana, 18,5% da de açúcar e 36,4% da produção de álcool. Nesse período, foi o maior exportador de açúcar,

respondendo por 37,4% do mercado e 50,4% do mercado livre de álcool (combustível e para outros fins).

A produção de etanol permitiu maior capitalização da agricultura, sendo registrados ganhos médios de produtividade agroindustrial de 3,77% ao ano, desde 1976. Vale ressaltar que as regiões canavieiras do estado de São Paulo são também as maiores geradoras de renda agrícola em comparação com outras culturas.

Quando se fala em expansão do setor produtivo de açúcar e álcool no Brasil, não demora muito para aparecer um velho chavão – o de que o país vai se transformar num imenso canavial. Essa afirmação peca por falta de base. A realidade brasileira é outra. De acordo com informação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a área colhida com cana-de-açúcar era de 5,8 milhões de hectares em todo o Brasil. Esse número corresponde a 10,3% das terras cultiváveis, em comparação com os 11,5 milhões de hectares de milho (20,5%) e 22,9 milhões de hectares cultivados com soja – 40,7% do total.

TABELA 1 - QUANTIDADE PRODUZIDA, VALOR DA PRODUÇÃO, ÁREA PLANTADA E ÁREA COLHIDA DA LAVOURA TEMPORÁRIA.

Lavoura temporária	Variável x Ano													
	Quantidade produzida		Valor da produção (Mil Reais)		Valor da produção (Percentual)		Área plantada (Hectare)		Área plantada (Percentual)		Área colhida (Hectare)		Área colhida (Percentual)	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Total	-	-	89.982.658	75.073.935	100	100	56.662.542	57.957.489	100	100	55.703.140	56.387.346	100	100
Abacaxi (Mil frutos)	1.477.299	1.528.313	673.677	814.309	0,75	1,08	59.353	61.992	0,1	0,11	59.163	61.787	0,11	0,11
Algodão herbáceo (em caroço) (Tonelada)	3.798.480	3.666.160	5.185.011	6.072.514	5,76	8,09	1.159.677	1.265.618	2,05	2,18	1.150.040	1.258.308	2,06	2,23
Alho (Tonelada)	85.597	86.199	265.752	231.203	0,3	0,31	10.517	10.362	0,02	0,02	10.517	10.362	0,02	0,02
Amendoim (em casca) (Tonelada)	236.488	315.239	232.019	281.708	0,26	0,38	105.434	136.429	0,19	0,24	104.501	136.048	0,19	0,24
Arroz (em casca) (Tonelada)	13.277.008	13.192.863	7.750.355	5.014.251	8,61	6,68	3.774.215	3.999.315	6,66	6,9	3.733.148	3.915.855	6,7	6,94
Aveia (em grão) (Tonelada)	459.526	522.428	132.441	152.305	0,15	0,2	349.176	369.961	0,62	0,64	347.126	367.921	0,62	0,65
Batata-doce (Tonelada)	538.503	513.646	198.255	209.319	0,22	0,28	47.338	45.332	0,08	0,08	46.844	45.311	0,08	0,08
Batata inglesa (Tonelada)	3.047.083	3.130.174	1.719.657	1.879.496	1,91	2,5	142.781	142.623	0,25	0,25	142.704	142.219	0,26	0,25
Cana-de-açúcar (Tonelada)	415.205.835	422.956.646	12.149.902	13.148.658	13,5	17,51	5.633.700	5.815.151	9,94	10,03	5.631.741	5.805.518	10,11	10,3
Cebola (Tonelada)	1.157.562	1.137.684	600.872	491.347	0,67	0,65	58.361	58.499	0,1	0,1	58.361	58.388	0,1	0,1
Centeio (em grão) (Tonelada)	4.315	6.109	1.578	2.356	0	0	3.402	4.683	0,01	0,01	3.402	4.543	0,01	0,01

TABELA 1 - QUANTIDADE PRODUZIDA, VALOR DA PRODUÇÃO, ÁREA PLANTADA E ÁREA COLHIDA DA LAVOURA TEMPORÁRIA.

Lavoura temporária	Quantidade produzida	Variável x Ano											
		Valor da produção (Mil Reais)		Valor da produção (Percentual)		Área plantada (Hectare)		Área plantada (Percentual)		Área colhida (Hectare)		Área colhida (Percentual)	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Cevada (em grão) (Tonelada)	397.160	157.418	113.045	0,17	0,15	142.194	144.511	0,25	0,25	142.144	144.511	0,26	0,26
Ervilha (em grão) (Tonelada)	10.839	12.101	6.133	0,01	0,01	3.957	2.061	0,01	0	3.957	2.061	0,01	0
Fava (em grão) (Tonelada)	13.897	19.151	16.837	0,02	0,02	37.241	35.172	0,07	0,06	36.179	34.452	0,06	0,06
Feijão (em grão) (Tonelada)	2.967.007	3.082.348	3.475.946	3,43	4,63	4.325.777	3.965.847	7,63	6,84	3.978.660	3.748.656	7,14	6,65
Fumo (em folha) (Tonelada)	921.281	3.632.214	3.545.303	4,04	4,72	462.391	494.318	0,82	0,85	462.265	493.761	0,83	0,88
Girassol (em grão) (Tonelada)	-	-	36.023	-	0,05	-	48.668	-	0,08	-	47.792	-	0,08
Juta (fibra) (Tonelada)	2.326	1.626	4.105	0	0,01	1.513	4.183	0	0,01	1.513	4.168	0	0,01
Linho (semente) (Tonelada)	10.338	7.397	9.218	0,01	0,01	11.171	21.914	0,02	0,04	11.171	21.914	0,02	0,04
Malva (fibra) (Tonelada)	10.319	5.781	15.760	0,01	0,02	7.174	12.628	0,01	0,02	7.094	12.489	0,01	0,02
Mamona (baga) (Tonelada)	138.745	168.802	96.440	0,15	0,13	176.090	242.057	0,31	0,42	172.704	230.911	0,31	0,41
Mandioca (Tonelada)	23.926.553	4.954.660	4.081.973	5,51	5,44	1.776.967	1.929.672	3,14	3,33	1.754.875	1.901.535	3,15	3,37

TABELA 1 - QUANTIDADE PRODUZIDA, VALOR DA PRODUÇÃO, ÁREA PLANTADA E ÁREA COLHIDA DA LAVOURA TEMPORÁRIA.

Lavoura temporária	Variável x Ano													
	Quantidade produzida		Valor da produção (Mil Reais)		Valor da produção (Percentual)		Área plantada (Hectare)		Área plantada (Percentual)		Área colhida (Hectare)		Área colhida (Percentual)	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Melancia (Tonelada)	1.719.392	1.505.133	382.480	420.695	0,43	0,56	81.281	81.418	0,14	0,14	80.889	80.641	0,15	0,14
Melão (Tonelada)	340.863	293.842	260.154	199.045	0,29	0,27	15.505	14.108	0,03	0,02	15.499	14.081	0,03	0,02
Milho (em grão) (Tonelada)	41.787.558	35.113.312	11.595.513	9.459.161	12,89	12,6	12.864.838	12.249.101	22,7	21,13	12.410.677	11.549.425	22,28	20,48
Rami (fibra) (Tonelada)	1.196	1.158	1.571	1.573	0	0	539	539	0	0	539	539	0	0
Soja (em grão) (Tonelada)	49.549.941	51.182.074	32.627.677	21.750.332	36,26	28,97	21.601.340	23.426.756	38,12	40,42	21.538.990	22.948.874	38,67	40,7
Sorgo granífero (em grão) (Tonelada)	2.158.872	1.522.839	408.367	280.254	0,45	0,37	939.371	814.457	1,66	1,41	931.061	789.186	1,67	1,4
Tomate (Tonelada)	3.515.567	3.452.973	1.685.933	1.785.842	1,87	2,38	60.365	60.639	0,11	0,1	60.152	60.526	0,11	0,11
Trigo (em grão) (Tonelada)	5.818.846	4.658.790	2.102.426	1.413.409	2,34	1,88	2.810.874	2.363.390	4,96	4,08	2.807.224	2.360.696	5,04	4,19
Triticale (em grão) (Tonelada)	-	278.333	-	65.375	-	0,09	-	136.085	-	0,23	-	134.868	-	0,24

1 Os municípios sem informação para pelo menos um produto da lavoura temporária não aparecem nas listas;

2 A partir do ano de 2001 as quantidades produzidas dos produtos **melancia** e **melão** passam a ser expressas em toneladas. Nos anos anteriores eram expressas em mil frutos;

3 Os produtos **girassol** e **triticale** só apresentam informação a partir de 2005.

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal

Outro ponto importante a se ressaltar é o fato de a cana-de-açúcar ser uma planta restrita aos tópicos. Não tolera geadas nem umidade constante. Esse último ponto faz com que seu plantio em regiões de florestas, como a Amazônia, seja inviável. Não se colhe cana com chuva, sob o risco de perder o açúcar contido na planta. Para apresentar uma boa produção, a cana precisa de sol e chuvas abundantes em seu período vegetativo, bem como da estação da seca durante a colheita.

Em que pese a possibilidade de expansão do cultivo da cana no cerrado brasileiro – segundo dados da Embrapa, existem 90 milhões de hectares disponíveis para a atividade agrícola – o forte, mesmo, são as regiões de pastagens, de terras degradadas. O Brasil dispõe de 200 milhões de hectares de terras nessas condições e a tendência é que parte delas venha a ser ocupada por atividades agrícolas. Afinal, chega a ser um desperdício de recursos contar com apenas uma cabeça de gado por hectare. As novas tecnologias permitem criar mais animais na mesma área.

A expansão acelerada da indústria canavieira observada nos últimos anos é resultado direto da introdução dos veículos *flex fuel* no mercado. Depois de passar pela turbulência da fase de adaptação ao livre mercado, em que fatores como grande produção, grandes estoques e sucateamento da frota de carros movidos exclusivamente a álcool colaboraram para derrubar os preços do produto, o setor viu a maré virar. Os baixos preços do álcool levaram ao uso informal do “rabo-de-galo” – a mistura de álcool hidratado em carros a gasolina. Isso foi um sinal verde para a indústria automobilística colocar nas ruas e nas estradas a tecnologia *flex*. A reação positiva do consumidor fez com que a participação do etanol (anidro e hidratado) na demanda de combustíveis para veículos leves passasse de 40% para 45%. É um grande mercado a ser conquistado.

Com o aumento da eficiência, o Brasil conquistou novos mercados para o álcool e o açúcar. O açúcar brasileiro teve suas exportações elevadas de algo entre 1 milhão a 2 milhões de toneladas no mercado internacional no início dos anos 1990 e para 18,9 milhões em 2006. O etanol, por sua vez, tem atraído a atenção mundial diante das preocupações com o alto preço do petróleo, com a segurança energética, com a economia de divisas e com o aquecimento global.

Em 2006, o Brasil chegou à auto-suficiência de petróleo – resultado de investimentos pesados na prospecção de petróleo em águas profundas da plataforma continental e da adoção ampla do etanol. Nesse ponto, o álcool combustível teve um papel fundamental ao substituir parte do petróleo importado. E mais: o etanol representou vantagem de primeira grandeza ao poupar reservas de petróleo que poderiam ser consumidas a toque de caixa.

O fato de o Brasil produzir açúcar e etanol a partir da mesma matéria-prima, o caldo da cana-de-açúcar, representa um dos principais ativos da indústria, que não depende de um produto só. É uma competitividade verdadeira. Em outros países produtores de cana, a situação é semelhante, já que produzem álcool a partir do melaço residual do processamento do açúcar.

Açúcar e álcool não são produtos concorrentes, mas complementares. O açúcar tem um mercado consolidado. Seu consumo *per capita* no Brasil é de 54 quilos ao ano, sendo um mercado de crescimento vegetativo – apenas acompanha o crescimento da população. Cerca de 60% da produção brasileira de açúcar é exportada. No mercado externo, o crescimento também é modesto, sendo mais sensível nos países asiáticos.

Quanto ao etanol, as previsões não são tão simples. Há parte do mercado de gasolina a ser ocupada – a produção do Brasil e dos Estados Unidos juntas não cobrem 2% desse total. Mais e mais países desenvolvem programas de mistura de etanol na gasolina, como Colômbia, Índia, China, Tailândia, Suécia, dentre outros. A relação do mix de produção entre açúcar e álcool, hoje praticamente meio a meio, tende a aumentar em favor do álcool.

A diversificação de uma indústria não é prática condenada pela Organização Mundial do Comércio (OMC), ainda que dela resultem reduções de custos. As economias de escala decorrem das próprias dimensões dos mercados domésticos de açúcar e álcool no Brasil. Cerca de 60% dos açúcares totais recuperáveis produzidos em cada safra são consumidos localmente, na forma de açúcar e álcool.

4 Conclusão

A produção simultânea de açúcar e álcool dá grande flexibilidade e musculatura à indústria brasileira. A margem de manobra a favor de um ou outro produto varia de 10% a 20% por unidade industrial, o que não representa perigo de desabastecimento para nenhum dos dois produtos. Há anos que o mix de produção apresenta equilíbrio – praticamente dividido ao meio entre açúcar e álcool. No entanto, a balança tende a pender mais para o etanol nos próximos anos, diante da demanda maior. Essa flexibilidade representa um item entre tantos – do uso do bagaço da cana para gerar energia ao clima favorável, passando pelo avanço tecnológico até chegar ao menor custo de produção – que garante ao Brasil o posto de líder da indústria canavieira mundial. Tal posto, para ser mantido, dependerá da capacidade de investimento e da criatividade para desenvolver novas tecnologias.

Álcool Combustível na Matriz Energética Brasileira

Frederico Ventorim

Assessor de Superintendência de Gás Natural e Biocombustíveis da Empresa de Pesquisa Energética, Pós-Graduado em Gestão de Negócios de Energia – FGV e Engenheiro Mecânico – UFES

Giovani Machado

Assessor de Superintendência de Petróleo da Empresa de Pesquisa Energética, Doutor em Planejamento Energético – COOPE/UFRJ

Resumo

As perspectivas de mercado para o álcool combustível são bastante promissoras. No Brasil, a introdução do veículo *flex* tem levado à forte recuperação do mercado de álcool hidratado, que havia se retraído após a crise de abastecimento de 1989/1990. No mundo, a expectativa é de crescimento significativo do mercado de álcool anidro (aditivo para a gasolina). Os principais fatores que impulsionam o álcool combustível no mercado internacional de combustíveis são: a redução da dependência de petróleo e a necessidade de redução das emissões de gases de efeito-estufa. As condições agrícolas favoráveis e a capacitação tecnológica acumulada pelas empresas nacionais tornam o álcool combustível brasileiro muito competitivo no mercado internacional, criando boas oportunidades de negócios para o país.

1 Introdução

O mercado do álcool combustível no Brasil vem atravessando um período de mudanças significativas devido, principalmente, a dois fatores: a introdução do veículo *flex* (que aceita tanto gasolina quanto álcool hidratado em qualquer proporção) e as perspectivas de exportação desse combustível renovável.

O primeiro fator aumenta de forma significativa a demanda potencial por álcool hidra-

tado no Brasil à medida que a frota de veículos *flex* cresce, e ainda delega ao consumidor final, no momento do abastecimento, a decisão de qual combustível será utilizado. Na atual conjuntura, com o patamar dos preços do petróleo (em particular, da gasolina) e os ganhos de produtividade do setor sucroalcooleiro brasileiro, o álcool hidratado é bastante competitivo, levando o consumidor a optar por esse combustível (a demanda potencial torna-se efetiva).

O segundo fator de fornecimento ao mercado externo, em especial do álcool anidro (aditivo para a gasolina), traz oportunidades singulares para o Brasil devido ao seu potencial de produção de biomassa, com alta competitividade.

Os principais fatores que impulsionam o etanol no mercado internacional de combustíveis são as políticas energéticas desenvolvidas de modo a reduzir a dependência de petróleo e também as emissões de gases de efeito-estufa.

Em síntese, as perspectivas para os biocombustíveis, em geral, e para o álcool combustível, em particular, são extremamente promissoras, tanto no mercado doméstico quanto no internacional.

Para discorrer melhor sobre o tema, este artigo será dividido em duas seções principais. Primeiro, aborda-se o processo de inserção do etanol na matriz energética brasileira. Em seguida, discutem-se as perspectivas e desafios de mercado para o álcool combustível e as oportunidades para o Brasil.

2 Inserção do álcool na matriz energética brasileira

No Brasil, o álcool combustível (anidro e hidratado) responde por 3-4% da matriz energética final, representando cerca de 14% do mercado de combustíveis automotivos (EPE, 2007). No mundo, a participação do etanol no mercado de combustível ainda é pequena, mas as perspectivas são de forte crescimento.

Atualmente, é inquestionável que o álcool combustível encontra-se consolidado na matriz energética brasileira e com boas perspectivas de expansão. Não obstante, até chegar a esse posicionamento competitivo privilegiado, o processo de inserção do álcool no mercado de combustível foi longo e árduo (com avanços e retrocessos). Esse processo demandou também uma participação efetiva de diferentes agentes econômicos nacionais: o governo, a indústria sucroalcooleira, a indústria de bens de capital (máquinas e equipamentos agrícolas e industriais), os distribuidores e revendedores de combustíveis, a indústria automobilística, os institutos/centros de pesquisa e desenvolvimento (públicos e privados) e as universidades.

O álcool foi utilizado como combustível automotivo no Brasil pela primeira vez antes da Segunda Guerra Mundial. Tal experiência consistia na adição de álcool anidro à gasolina: inicialmente, em 5% de volume (Decreto N° 20.169/1931) e, posteriormente, até 10% do volume (Decreto N° 59.190/1966). Como afirma Leite (1997), ainda que a

participação do álcool na matriz energética fosse insignificante, iniciava-se nesse período um importante processo de aprendizado tecnológico no país.

Apesar dessa experiência inicial, o marco efetivo da entrada do álcool na matriz energética brasileira é o lançamento do ProÁlcool, em 1974, como reação ao primeiro choque do petróleo. Em sua fase inicial, o programa focou o aumento progressivo do percentual de álcool anidro na mistura, à medida que incentivava a expansão da produção doméstica de álcool. A meta almejada era de 20% de adição de álcool anidro à gasolina.

Com o segundo choque do petróleo, em 1979, ampliou-se o programa com um passo mais ambicioso: a adaptação de automóveis a ciclo Otto para rodar com álcool hidratado. Além do crédito ao plantio da cana-de-açúcar e às destilarias, os incentivos fiscais à aquisição de veículo a álcool hidratado e ao preço deste combustível promoveram o rápido crescimento desse mercado no Brasil. As vendas de veículos leves (automóveis e comerciais leves) a álcool hidratado no mercado interno passaram de 3.114 unidades em 1979 para 645.551 unidades em 1985 (ANFAVEA, 2006). Isso representava uma forte mudança no perfil de vendas da indústria automobilística no Brasil: a participação de veículos a álcool hidratado nas vendas totais de veículos leves passou de 0,3% em 1979 e para 92,2% em 1985 (ANFAVEA, 2006). Para atender essa demanda, a produção de álcool hidratado teve que crescer de 527 milhões de litros em 1979 para cerca de 8,4 bilhões de litros em 1985 (EPE, 2007).

Apesar da consecução de suas metas, o ProÁlcool iniciou um processo de perda de dinamismo no mercado do álcool hidratado a partir da queda do patamar de preços internacionais do petróleo – marcada pelo denominado contra-choque do petróleo em 1986. As mudanças nos condicionantes de mercado nessa fase resultaram num desequilíbrio entre a evolução de oferta e demanda de álcool hidratado, levando à crise de abastecimento de 1989. A redução do preço da gasolina e, sobretudo, a desconfiança por parte dos consumidores em relação ao abastecimento levaram a uma significativa retração no mercado de álcool hidratado nos anos 90.

As vendas de veículos leves a álcool hidratado no mercado interno caíram de 697.049 unidades (88,6% das vendas), em 1986, para 399.529 unidades (56,8% das vendas) em 1989, e para 81.996 unidades (12,4% das vendas) em 1990 (ANFAVEA, 2006). Ainda que o percentual de vendas de veículos leves a álcool hidratado tenha registrado recuperações pontuais, como em 1991-1993 (devido à alta nos preços da gasolina associada à Guerra do Golfo), a tendência nos anos 90 foi de queda, convergindo para um percentual abaixo de 1% na segunda metade desta década (ANFAVEA, 2007). As implicações dessas modificações na estrutura da demanda se refletiram nos volumes consumidos de álcool hidratado para uso automotivo: de 11,1 bilhões de litros em 1989 para 5,4 bilhões de litros em 2000 (EPE, 2007). Na verdade, a tendência de retração do consumo de álcool hidratado não se inverteu até 2003 (3,8 bilhões de litros), quando

os veículos *flex fuel*, que aceitam álcool hidratado e gasolina em qualquer proporção, foram lançados no mercado interno.

O efeito da crise do ProÁlcool sobre a indústria sucroalcooleira só não foi maior porque a substituição de álcool hidratado por gasolina aumentou a demanda por álcool anidro na proporção da mistura e o mercado de açúcar se aqueceu. Na verdade, a recuperação do preço internacional do açúcar também contribuiu para a crise de abastecimento, à medida que levou os usineiros a optarem por uma maior produção de açúcar ao invés de álcool. Afora o período da crise de abastecimento em 1989/1990 (quando se reduziu o teor da mistura para 18% e, depois, a 13%, na tentativa de aumentar a oferta de álcool hidratado), a proporção de álcool anidro na gasolina manteve-se acima de 20% (LEITE, 1997) nos anos 90. Ressalte-se, nessa fase de crise, o papel do Programa de Controle da Poluição Veicular (Proconve), estabelecido em 1986, para a valorização do álcool por motivação ambiental (redução das emissões de poluentes locais, como o monóxido de carbono, enxofre e voláteis). Em alguns momentos, nos anos 90, foi necessário importar álcool (metanol) para manter o teor de álcool anidro na mistura, conforme estabelecia a legislação.

De fato houve, nos anos 90, uma mudança na motivação para a inserção do álcool na matriz energética brasileira. A queda do patamar de preços da gasolina, nos anos 90, minimizou o caráter estratégico do álcool para a redução da dependência externa do petróleo. Os custos econômicos do programa se elevaram (a queda do preço do petróleo reduziu as vantagens estratégicas do ProÁlcool), a despeito dos consideráveis ganhos de produtividade nas fases agrícola e industrial do álcool, o que tornou o programa insustentável nos moldes originais.

Por outro lado, as virtudes ambientais do álcool passaram a justificar incentivos governamentais como forma de reduzir os custos ambientais da gasolina não capturados pelos preços de mercado (as assim chamadas externalidades). Primeiro, percebeu-se os benefícios ambientais do álcool associados à redução de poluentes locais. Todavia, com a tomada de consciência pela comunidade internacional da questão das mudanças climáticas globais, passou-se a notar também o potencial de redução de emissões de gases de efeito-estufa do álcool combustível. No caso do álcool de cana-de-açúcar produzido no Brasil, esse potencial é particularmente relevante por causa da produtividade agrícola do país e do aproveitamento de rejeitos de processo, como o bagaço de cana e o vinhoto (como biofertilizante), em substituição direta ou indireta a combustíveis fósseis (MACEDO; LEAL; SILVA, 2004; IEA, 2005).

A partir de 2003, as perspectivas já favoráveis do álcool combustível brasileiro foram reforçadas por dois fatores: o lançamento dos veículos *flex fuel* no mercado doméstico e o recrudescimento de problemas de geopolítica de petróleo.

Com a inovação do veículo *flex fuel*, lançado no Brasil em março de 2003, resolveu-se a principal barreira para a retomada do uso automotivo de álcool hidratado: a ga-

rância de abastecimento para o consumidor. A crise de abastecimento de 1989/1990 havia abalado fortemente a credibilidade do veículo a álcool hidratado¹. A dinâmica de mercado do setor sucroalcooleiro, que se insere tanto no mercado de açúcar quanto no de álcool, dificultava a garantia de abastecimento. A proposta de expandir os estoques reguladores (além do nível necessário para acomodar a sazonalidade anual), frequentemente sugerida, sempre esbarrou em custos econômicos elevados no Brasil, devido ao patamar das taxas de juros. Assim, a inovação do veículo *flex fuel*, ao permitir que o proprietário do veículo migre para a gasolina em casos de eventuais desabastecimentos no mercado de álcool hidratado e vice-versa, ou quando o preço da gasolina estiver mais competitivo (ou seja, quando a relação entre os preços do álcool e da gasolina for superior a 70%), harmonizou novamente os interesses dos consumidores, dos usineiros e da indústria automobilística. Mais precisamente, o veículo *flex* permitiu, simultaneamente: i) a garantia de abastecimento almejada pelo consumidor; ii) a flexibilidade de mercado desejada pelo setor sucroalcooleiro; e iii) a estabilidade produtiva e de mercado para a indústria automobilística (favorecendo economias de escala e custos nas linhas de montagem: não é preciso mais diferenciar a demanda de veículos a álcool hidratado e à gasolina).

Não por acaso, o licenciamento de veículos novos *flex fuel* no Brasil já no ano de seu lançamento (2003) alcançou 48.178 unidades (3,5% do licenciamento total de veículos). Nos anos seguintes, segundo ANFAVEA (2007; 2008), o licenciamento de veículos novos *flex fuel* registrou um crescimento vertiginoso: 328.379 unidades (20,2% do total) em 2004, 812.104 unidades (47,4% do total) em 2005, 1.430.334 unidades (74,2% do total) em 2006 e 2.032.361 (81,7% do total) em 2007. Ou seja, em cerca de quatro anos o licenciamento acumulado de veículos novos *flex fuel* no país já ultrapassou a marca de 4.650.000 unidades.

Superada a barreira da aquisição do veículo pelo consumidor, o mercado internacional de petróleo gerou o incentivo econômico que faltava para a retomada do crescimento do consumo de álcool hidratado no Brasil: a alta do preço do petróleo e seus derivados. Investimentos em expansão de capacidade de produção e refino de petróleo aquém do crescimento da demanda mundial (puxada, sobretudo, por China, Índia e EUA) associados ao recrudescimento de problemas de geopolítica levaram o mercado de petróleo a ficar “apertado”, criando uma pressão sobre os preços do petróleo, em geral, e da gasolina, em particular.

Tal conjunção de fatores levou o consumo de álcool hidratado a voltar a crescer no Brasil, passando de 3,8 bilhões de litros em 2003 para 7,1 bilhões de litros em 2006 (EPE, 2007).

O álcool combustível no Brasil tornou-se um estudo de caso internacional, despertando o interesse de vários países. O patamar de preços do petróleo, as incertezas de abastecimento por fatores geopolíticos e a necessidade de redução das emissões de

gases de efeito-estufa nos transportes têm colocado o álcool combustível no centro das discussões de política energética no mundo. O recente processo de banimento do *Methyl Tert-Butyl Ether* (MTBE), um éter utilizado como aditivo na gasolina (papel que o álcool anidro desempenha no Brasil) em diversos países, é outro fator que incrementa o interesse internacional pelo álcool. Dessa forma, a conjuntura atual é extremamente favorável para um grande salto, como se abordará na seção a seguir.

3 Perspectivas e desafios de mercado para o álcool combustível

A produção mundial de álcool para todos os usos gira em torno de 50 bilhões de litros anuais, dos quais cerca de 70% são utilizados como combustível para transporte (F.O.LICHT, 2006). Observa-se que em meados da década de 1970 a sua utilização como energético na área de transporte era inferior a 10%.

Atualmente, o volume comercializado de álcool entre países é de apenas cerca de 10% da produção mundial (LICHT, 2006). O fato de o mercado internacional ser pequeno em relação à produção total pode ser explicado por dois motivos principais. O primeiro é que o etanol pode e tem sido produzido em praticamente qualquer parte do mundo e com utilização preferencial no mercado do país produtor. O segundo motivo é que a escala de produção de álcool no mundo ainda é pequena em comparação ao mercado automotivo de Ciclo Otto, que seria o maior mercado potencial a despeito dos outros setores (industrial e de bebidas).

Além disso, atualmente, apenas o Brasil possui excedentes de produção que permitem a exportação de álcool em volume considerável. Resultado disso é que o país figura como o maior exportador mundial de etanol, com cerca de 40% do mercado internacional. Outra característica importante é a grande concentração da produção de álcool no continente americano, onde se verifica cerca de três quartos da produção mundial, sendo o Brasil e os EUA os dois países responsáveis por esses números.

Nos próximos dez anos, é bem possível que outros países elevem suas produções de álcool, devido ao mercado combustível, fazendo com que a participação percentual de Brasil e EUA como produtores diminua para algo em torno de 60%.

4 Motivações atuais e dimensionamento dos maiores mercados

Dois fatos importantes têm influenciado fortemente o mercado de álcool: os altos preços do petróleo e as questões ambientais. Os maiores consumidores de derivados de petróleo mundiais têm buscado opções de abastecimento com outros combustíveis, notadamente os renováveis, cujos processos produtivos foram viabilizados pelos altos preços do petróleo. Além disso, as questões ambientais passaram a se sobrepôr às econômicas em função da necessidade de redução das emissões de gases de efeito

estufa na atmosfera, de modo a reduzir o processo de aquecimento global. O último relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), painel estabelecido no âmbito do sistema das Nações Unidas, divulgado no início de 2007, reforçou as análises científicas anteriores sobre a relação das atividades humanas com o processo de aquecimento global; pior, revelou evidências de que o processo está ocorrendo mais rápido do que se considerava (IPCC, 2007).

Conseqüentemente, os Estados-membro da União Européia, bem como os Estados Unidos da América (EUA) estão revendo suas ações no sentido de reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, principal gás gerador de efeito estufa. No conjunto dessas ações, encontra-se a substituição de uma parcela dos combustíveis derivados de petróleo, principalmente do diesel e da gasolina no setor de transporte.

Algum progresso já vem sendo conduzido com vistas à substituição dos combustíveis na área de transporte, a exemplo dos EUA, que vêm aumentando sua produção e utilização de etanol para esse fim. No período do ano 2000 a 2006, os EUA aumentaram em cerca de 150% sua produção, de 7,6 bilhões para algo em torno de 19 bilhões de litros de etanol. No início de 2007, o presidente americano George W. Bush anunciou que os EUA deverão substituir 20% de sua gasolina por etanol nos próximos dez anos, meta bem superior àquela de 28,4 bilhões de litros em 2012 estabelecida na lei americana *Energy Policy Act* (EPACT, 2005).

O desdobramento deste anúncio foi a elaboração de um projeto de lei pelo Congresso Americano, o H.R.6, e posterior aprovação do mesmo, em dezembro de 2007, pelo presidente norte-americano, convertendo-o em lei. Ficou então conhecida por *Energy Independence and Security Act 2007*, a qual estabelece uma meta de alcançar, em 2022, uma utilização de 136 bilhões de litros de combustível renovável nos EUA. Vale observar que este montante contempla o etanol produzido a partir de celulose e uma pequena parcela de biodiesel.

Para se ter idéia do quão arrojada é a nova meta estabelecida na nova legislação americana, estas representam uma demanda quase três vezes superior à produção total de álcool do mundo, cerca de 50 bilhões de litros. Lembrando que esse montante atende a todos os fins, energéticos e não energéticos, de todos os países do mundo.

Na União Européia, o consenso até então, segundo a Diretriz para Combustíveis Renováveis de 2003, era da utilização de 2% de renováveis em 2006, biodiesel ou etanol, em relação ao volume de diesel e gasolina. Esse percentual seria aumentado para 5,75% em 2011. É importante citar que as metas não são obrigatórias, mas apenas indicativas.

Os Estados-membro ampliaram o horizonte de tais metas e esse percentual foi aumentado para 10% até 2020 (EU, 2007). Note-se, contudo, que, diferentemente do que ocorre nos EUA, a meta não distinguiu etanol e biodiesel, deixando a cargo de cada Estado-membro a escolha pelo tipo de biocombustível que desejar. A conseqüência

disso é que o percentual de 10% de substituição de combustível fóssil por renováveis na área de transporte representa cerca de 31 bilhões de litros, que pode ser suprido por etanol e/ou biodiesel. Sendo assim, existe uma incógnita quanto ao comportamento da demanda por etanol e por biodiesel, pois volumes de diesel substituídos significam volumes de gasolina que não precisam ser substituídos e vice-versa. Face ao percentual de veículos à gasolina na frota europeia, estima-se que o mercado potencial para o álcool combustível na Europa seja de 13 bilhões de litros de álcool potenciais.

Em 2005, a União Europeia consumiu cerca de 700 milhões de litros de etanol no setor de transporte.

Outro mercado importante é o do Japão, que vem sinalizando intenção de adicionar até 10% de etanol na gasolina, o que representaria uma demanda de cerca de 6 bilhões de litros por ano do combustível renovável (EPE, 2007).

5 Oportunidades e desafios para o álcool brasileiro

O aumento de demanda nos níveis apontados acima está fundamentado em uma hipótese de tomada de ações efetivas de substituição de combustíveis fósseis por renováveis, por parte dos países de maior consumo.

Caso sejam alcançadas as metas de utilização de biocombustíveis nos mercados citados acima, a demanda anual seria aumentada para algo em torno de 150 bilhões de litros ao longo dos próximos 13 anos.

Não obstante a discussão sobre a viabilidade de atendimento a essa demanda expressiva, é certo que o mercado mundial para o etanol provavelmente experimentará um crescimento significativo. É importante citar que, além dos mercados analisados, outros países de mercados menores podem significar oportunidades de exportação para o Brasil.

Ao considerar que o aumento da demanda por biocombustíveis decorre, principalmente, de preocupações ambientais, pode-se imaginar que as barreiras de cunho técnico ou mercadológico podem ser derrubadas por decisões políticas dos países, ou bloco de países, citados acima. É aí que o Brasil pode encontrar sua janela de oportunidade, pois se diferencia nesse mercado pelo conhecimento técnico adquirido ao longo desses 30 anos de experiência bem sucedida na inserção do álcool combustível na matriz energética, e pela disponibilidade de vastas áreas agricultáveis. Tal *expertise* é, inclusive, reconhecida internacionalmente (IEA, 2005).

Os desafios para os empreendedores brasileiros são muitos como, por exemplo, o incremento da produção nacional com responsabilidade sócio-ambiental (evitando “justificativas” para a colocação de barreiras não-tarifárias), a manutenção da competitividade mundial e a implantação de uma logística de grande escala para o escoamento da produção até os portos, bem como a própria capacidade destes. Além disso, é de

suma importância que haja o entendimento dos mercados internacionais, com suas características plurais e suas inércias políticas, legais e técnicas, para que, então, possa haver uma relação de parceria entre os empreendedores brasileiros e os clientes internacionais.

Nota

1. Há evidências de que mesmo a recuperação das vendas de veículos a álcool hidratado após 1999 estava mais associada às vantagens fiscais para a aquisição de veículos a álcool do que ao seu uso. Esse paradoxo se explica pelo gás natural veicular (GNV). Isso porque o GNV entrou no mercado automobilístico nacional via instalação do kit gás em veículos de ciclo Otto, tornando o automóvel com kit gás um veículo bi-combustível. Assim, aproveitavam-se as vantagens fiscais para a aquisição de veículos a álcool hidratado e para o uso do GNV, bem como se superava o risco de um eventual desabastecimento de álcool (via uso de GNV). Os dados de consumo de álcool hidratado, que continuaram caindo de 1999 a 2003, parecem corroborar essa tese (EPE, 2007). Ademais, as vendas de veículos a álcool hidratado permaneceram modestas: no melhor ano, 2002, representaram apenas 3,3% das vendas de veículos leves (AN-FAVEA, 2007).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA - IEA (França). **Biofuels in transportation**. Paris, 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA . **Anuário da indústria automobilística brasileira 2007**. São Paulo, 2006.

_____. **Estatísticas da indústria automobilística brasileira, 2008**. São Paulo: ANFAVEA, 2007.

DEPARTMENT OF ENERGY (Estados Unidos da América). **The energy policy act of 2005: what the energy Bill means to you**. Washington, DC, 2005. Disponível em: <<http://www.energy.gov/taxbreaks.htm>>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco energético nacional 2007: ano base 2006**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <http://www.ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_Versao_Completa.pdf>

_____. **Plano decenal de energia 2007/2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

LICHT, F.O. **World ethanol markets: the outlook to 2015**. Kent, UK, 2006.

MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Balanco das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2004.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - IPCC (Suíça). **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers** (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC). Geneva, 2007.

O Uso do Álcool Combustível nos Veículos *Flex Fuel*

Henry Joseph Junior

Gerente de Desenvolvimento de Motores da Volkswagen do Brasil

Presidente da Comissão de Energia e Meio Ambiente do ANFAVEA

Resumo

Hoje, o mundo procura um meio de se livrar da dependência do petróleo, mas não se espera que uma frota de um bilhão de veículos seja substituída por outra que não use derivados de petróleo de um dia para o outro. Portanto, misturar novos produtos aos combustíveis tradicionais será um meio rápido de estender a disponibilidade dos derivados de petróleo e do uso dos veículos existentes. Esse é o caminho que o Brasil adotou no passado e, atualmente, colhe bons frutos. Há 30 anos, frente a uma situação internacional de forte redução na oferta de petróleo, se optou por uma alteração profunda da nossa matriz energética. Desde então, pesquisadores, produtores de álcool, indústria automobilística e de componentes vêm trabalhando para atingir essa nossa posição atual. O lançamento do Gol Total *Flex*, em março de 2003, primeiro veículo *flex fuel* brasileiro, foi um marco histórico no mercado de combustíveis alternativos do nosso país. Meses depois, outras montadoras também lançaram modelos *flex fuel* e essa tecnologia se disseminou. Hoje, a indústria automobilística brasileira já produziu 5 milhões de veículos flexíveis e a previsão é que a participação dessa tecnologia no mercado de veículos leves alcance 90%. Pode-se, portanto, imaginar o surgimento de um mercado internacional de combustíveis renováveis, criando alternativas socioeconômicas para muitos países e alternativas energéticas para outros.

1 Introdução

No aspecto energia, não há como negar que o Brasil é um país privilegiado! Enquanto o mundo procura um meio de se livrar da dependência do petróleo, combustível usado por mais de um bilhão de veículos, finito por natureza e cujo preço vem aumentando de modo exponencial, o nosso país se dá ao luxo de oferecer aos Estados Unidos da América, ao Japão e ao Mercado Comum Europeu – países economicamente e tecnologicamente mais desenvolvidos – a possibilidade de importar combustíveis alternativos, tais como o álcool e o biodiesel, que fazemos com enorme competência e em grande quantidade. Tais países estão demonstrando enorme interesse nessa possibilidade, a ponto de nos enviarem seguidas delegações compostas por técnicos, financistas e políticos, muitas chefiadas por altos mandatários que aqui vêm conhecer a habilidade do Brasil nessa área.

Esse é apenas um exemplo do potencial que os combustíveis renováveis, produzidos a partir da biomassa, terão no mundo nos próximos anos e da competência que o Brasil terá em responder à procura por combustíveis que possam ser integrados aos combustíveis convencionais. Ninguém espera que essa frota de um bilhão de veículos a circular pelo mundo seja substituída por uma outra que não use derivados de petróleo de um dia para o outro, ou, ainda, que os 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 e da tecnologia existentes, uma vez que adicionar álcool à gasolina, ou óleo vegetal transesterificado ao 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 que esse gás será obtido de modo ambientalmente correto e sustentável. Porém, existe um enorme deserto a atravessar entre a realidade de hoje e o 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. Além disso, a indústria automobilística mundial, por absoluta falta de opções viáveis (economicamente ou tecnicamente), continua a fabricar 65 milhões de veículos com motores de combustão interna por ano, ecologicamente poluentes e termodinamicamente pouco eficientes, porém confiáveis e acessíveis. Ou seja, ao invés de diminuir o consumo de petróleo, a humanidade está indo celeremente na direção contrária.

2 Novos caminhos

O Brasil adotou um caminho diferente e, hoje colhe bons frutos. Anualmente, nosso país produz para o mercado interno cerca de dois milhões de veículos leves, que também são dotados de motores de combustão interna como os dos outros países, mas que estão adaptados para queimar álcool puro ou uma gasolina misturada com 20% a 25% de álcool. Mesmo para os motores a diesel, usados em caminhões, ônibus, tratores ou *pick-up*, já está previsto o uso de um óleo diesel contendo de 2% a 5% de óleo vegetal transesterificado (sem glicerina), sendo que, no futuro, esse teor irá aumentar para 15% ou 20%, ou talvez até mesmo 100%.

Assim, apesar de estarmos fabricando veículos convencionais, na realidade estamos criando uma frota de veículos que é mais independente da necessidade de petróleo e que tem permitido ao país, além de fazer significativa economia de divisas, preparar-se melhor para atravessar o deserto acima referido. Enquanto as montadoras e a comunidade científica internacional trabalham para desenvolver e produzir o mencionado veículo do futuro, o Brasil vai minimizando suas necessidades de derivados de petróleo através do uso de combustíveis derivados da biomassa. Provavelmente, muitos outros países vão nos seguir em tal caminho.

Essa nossa posição favorável não foi alcançada de graça e nem de imediato. Há 30 anos, frente a uma situação internacional de forte redução na oferta de petróleo, se fez uma opção por uma alteração profunda da nossa matriz energética e, desde então, mesmo com a alternância de momentos positivos e negativos, frente a cenários promissores e outros nem tanto, pesquisadores, produtores de álcool, indústria automobilística, de componentes etc. vêm trabalhando bastante para manter tais conquistas.

A introdução do álcool etílico (etanol) na nossa matriz energética, de modo responsável, padronizado, consistente e sistemático, começou na década de 1970, através dos chamados ProÁlcool I (Decreto Federal nº 76.593, 1975) e ProÁlcool II (Decreto Federal nº 83.700, 1979). Porém, desde o início do século XX, por ser o Brasil um grande produtor de açúcar (o álcool é um subproduto), a adição do álcool à gasolina já era feita de forma aleatória e inconstante, sendo que durante a Segunda Guerra Mundial, devido à dificuldade de importação e ao racionamento, a mistura de álcool à gasolina se intensificou e, para espanto de muitos, com bons resultados.

À época do ProÁlcool I, a indústria automobilística brasileira ainda não tinha se envolvido diretamente, visto que a visão de então era de que não havia necessidade de se modificar os veículos para uma gasolina misturada com álcool. Contudo, com o advento do ProÁlcool II, a manifestação do governo de aumentar o teor de álcool na gasolina, e de se ter veículos próprios para o combustível 100% álcool, a indústria automobilística começou a trabalhar no desenvolvimento de uma tecnologia adequada a esse novo combustível. Como não havia experiência internacional para o uso do eta-

no, as montadoras decidiram fazer tal desenvolvimento no Brasil. Sem dúvida, esse foi um grande impulso para o crescimento da engenharia automotiva nacional.

Com o apoio de setores do governo federal e dos governos estaduais, de diversos institutos de pesquisa, universidades, empresas fornecedoras de autopeças e dos produtores de combustíveis, as montadoras conseguiram, em pouco tempo, modificar os veículos a gasolina para uma gasolina com alto teor de etanol (20% a 25%), bem como desenvolver veículos aptos a usar 100% de álcool combustível (Figura 1). Para isso, foi necessário superar as dificuldades referentes à corrosão de materiais, ataque a materiais plásticos e borrachas, dificuldade de partida do motor em dias frios, perda de dirigibilidade e aumento exagerado de consumo do combustível.

Após vários anos de sucesso, com mais de cinco milhões de veículos a álcool produzidos entre 1979 e 1993 (sendo que, em 1986, a venda de 700 mil unidades significou 89% do total vendido de veículos leves), o interesse dos consumidores por esse combustível passou a diminuir significativamente. Em 1995 foram vendidos menos de 50 mil veículos a álcool e em 1997 somente 1120 veículos (menos de 0,1% das vendas totais de veículos leves).

Não houve uma única causa, pois vários fatores se somaram a esse desinteresse do consumidor pelo veículo a álcool e pelo uso do álcool:

1. A partir dos anos 80, com o aumento da estabilidade política no Oriente Médio e com a maior abertura econômica nos países da Cortina de Ferro, o preço internacional do petróleo diminuiu, fazendo com que a relação entre o preço da gasolina e o do álcool ficasse mais favorável ao primeiro. Além disso, com o sucesso obtido com a exploração do petróleo em águas profundas, na Bacia de Campos – RJ, a participação do óleo nacional no total processado pela Petrobras aumentou, diminuindo o impacto desse produto nas contas externas brasileiras. Isso também permitiu uma diminuição nos preços dos derivados.

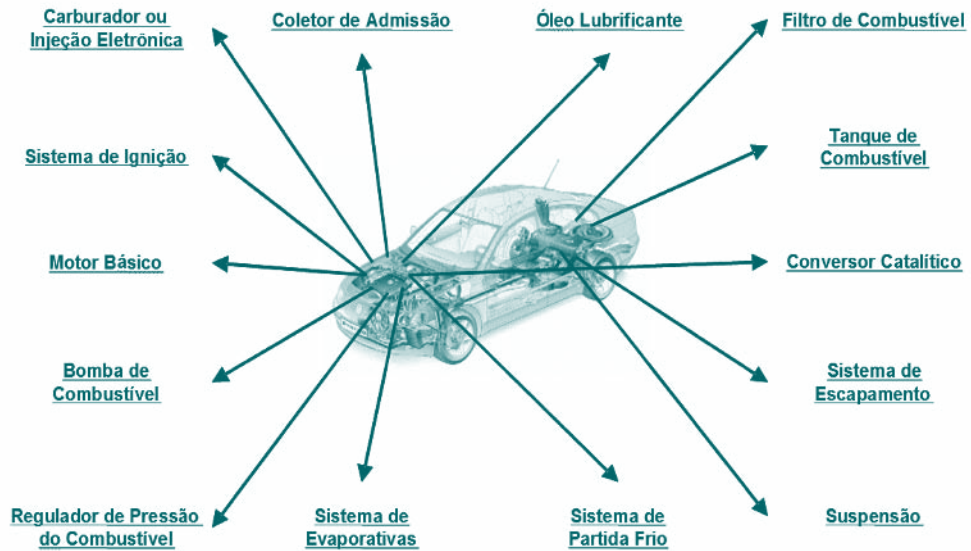


Figura 1: Componentes modificados para uso de 100% de álcool. Fonte: Volkswagen.

2. No início dos anos 90, o preço internacional do açúcar atingiu valores bastante atraentes, levando muitos usineiros a preferirem produzir açúcar para exportação a produzir álcool para o mercado doméstico.

3. O governo brasileiro passou a incentivar, através da tributação, a produção dos veículos ditos “populares”, com motores de até 1 litro de capacidade volumétrica, sem criar nenhuma isenção específica para que esse motor fosse a álcool. Isso levou as montadoras a lançar somente veículos populares a gasolina, cujos projetos, já existentes no exterior, eram de mais simples nacionalização.

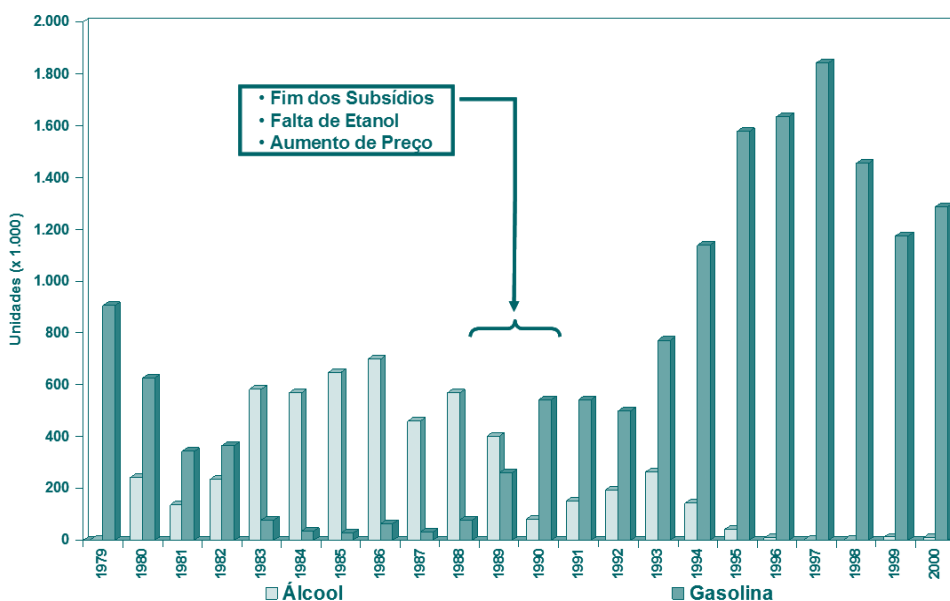
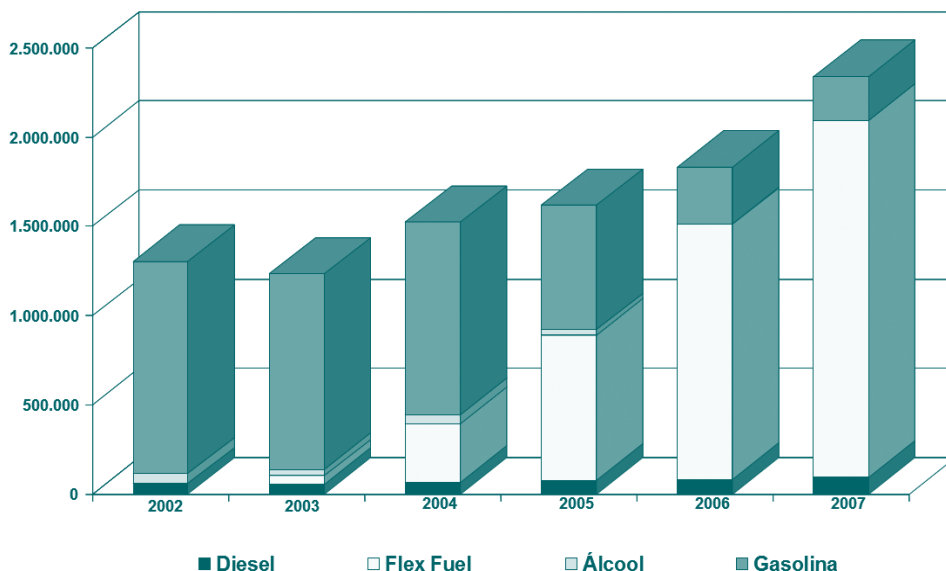


Gráfico 1: Vendas de veículos leves de 1979 a 2000 (somente álcool e gasolina). Fonte: Anfavea.

3 O veículo *flex fuel*

O lançamento do Volkswagen Gol Total *Flex*, em março de 2003, o primeiro veículo *flex fuel* fabricado e lançado no Brasil, foi um marco histórico e um ponto de inflexão no mercado de combustíveis alternativos do nosso país. O sucesso foi tão expressivo que logo em seguida outros fabricantes também começaram a entrar neste mercado. Popularmente chamados de bi-combustíveis, a indústria automobilística brasileira já produziu, desde março de 2003 até dezembro de 2007, mais de 4,6 milhões de veículos flexíveis, e este segmento continua crescendo. Hoje, nove fabricantes estão oferecendo mais de 80 modelos de veículos flexíveis no mercado brasileiro, com preços similares aos dos veículos convencionais.



Fonte: ANFAVEA.

Gráfico 2: Vendas de veículos leves de 2000 a 2007.

A previsão da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, é de que mais fabricantes entrem nesse mercado, aumentando ainda mais o rol de modelos ofertados e fazendo com que a participação dessa tecnologia no mercado de veículos leves novos fique próxima dos 90%. Essa porcentagem só não será maior porque se deve descontar a participação dos veículos importados e dos veículos leves comerciais a diesel.

A bem da verdade, os veículos *flex fuel* não foram inventados no Brasil. Os primeiros veículos com essa tecnologia, que possibilita o abastecimento indistinto com combustíveis diferentes, foram apresentados nos Estados Unidos da América nos anos 80. Devido ao aumento do preço do petróleo em 1975, aquele país adotou um programa de redução de consumo de combustível (chamado “*Corporate Average Fuel Economy*”, CAFE) que impôs regras rígidas aos fabricantes de veículos, obrigando-os a desenvolver veículos mais econômicos. Porém, esse mesmo programa permitia algumas exceções para os fabricantes que oferecessem veículos movidos a combustíveis alternativos (o que, para os americanos, naquela época, era o metanol com 15% de gasolina, chamado M-85). Como era difícil encontrar o M-85 nos postos de abastecimento, o que dificultava o comércio de veículos movidos exclusivamente a esse combustível, as montadoras americanas desenvolveram automóveis que podiam usar tanto gasolina como M-85 – os chamados *flex fuel*. Mais tarde, com o crescimento da produção de álcool a partir do milho, os Estados Unidos abandonaram o uso do metanol e passaram a usar o etanol (E-85).

A tecnologia, desenvolvida pelos fabricantes dos Estados Unidos para esses veículos *flex fuel*, foi baseada num sensor de identificação do tipo de combustível. Esse sensor, localizado em algum ponto da tubulação que liga o tanque ao motor, analisa continuamente qual combustível está passando (e sendo usado pelo veículo) e informa ao computador de bordo. A partir desta informação, o computador ajusta os sistemas de injeção e de ignição para as melhores condições de queima daquele combustível, fazendo com que o veículo possa se adequar.

Apesar de eficiente, essa tecnologia é bastante cara, complicada e totalmente dependente da vida útil do sensor de identificação. Devido ao seu custo, essa tecnologia só pode ser usada em veículos caros, de modo a não impactar demais o preço final para o consumidor. Nos Estados Unidos, esse conceito tecnológico vingou devido ao interesse dos fabricantes em oferecer veículos movidos por combustível alternativo para, em troca, poder se beneficiar das exceções previstas pelo CAFE para os veículos convencionais.

Uma vez que o mercado brasileiro de automóveis é dominado por veículos compactos e de baixo custo, seria impensável adotar a cara tecnologia *flex fuel* americana no Brasil. Portanto, quando as montadoras brasileiras começaram a discutir a possibilidade de lançar localmente esse modelo de veículo, um dos pré-requisitos foi o de se desenvolver um conceito que evitasse o uso do sensor de identificação de combustível.

Nesse ponto, a criatividade brasileira e a enorme experiência adquirida após 25 anos produzindo veículos movidos a 100% álcool se manifestou.

Baseando-se nas diferenças existentes em duas das características físico-químicas do álcool e da gasolina (octanagem e relação estequiométrica), e usando os mesmos diversos sensores funcionais que todos os veículos modernos já têm (sensores de pressão e temperatura do ar, de vazão do combustível, de carga, rotação e de detonação do motor e de oxigênio do gás de escapamento), os engenheiros brasileiros desenvolveram um sistema *flex fuel* completamente novo. Pelo sistema brasileiro (Figura 2), o combustível é primeiro queimado na câmara de combustão e, uma fração de segundo depois, avaliando-se as conseqüências daquela queima através dos sensores existentes e comparando-se com um banco de dados existente na memória do computador de bordo, já é possível identificá-lo e ajustar o motor, sem a necessidade do sensor de identificação de combustível. Desse modo, tem-se um veículo *flex fuel* por, praticamente, o mesmo preço de um veículo a álcool, que nós já sabemos fazer tão bem.

A Volkswagen, em parceria com um de seus fornecedores de sistemas eletrônicos de injeção de combustível, a Magneti Marelli, foi a primeira montadora brasileira a lançar um veículo com esse conceito *flex fuel* no mercado brasileiro.

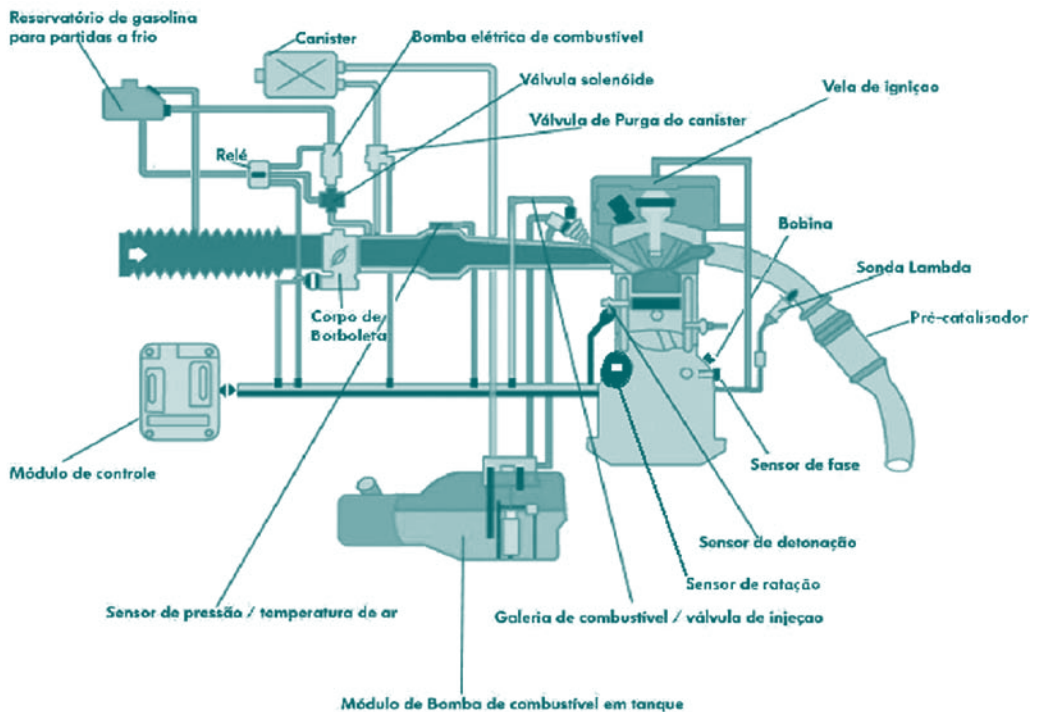


Figura 2: Esquema do sistema *flex fuel* brasileiro.

Isso ocorreu no dia 30 de março de 2003, na fábrica da Via Anchieta, em São Bernardo do Campo, na festa de comemoração de 50 anos de fundação da Volkswagen no Brasil. O lançamento foi na presença do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, o qual, junto com o Governador de São Paulo, Geraldo Alckmin, abasteceu o primeiro Gol Total *Flex* simultaneamente com álcool e gasolina e, depois, deu a partida.

Meses depois, outras montadoras também começaram a lançar modelos *flex fuel* e, a partir daí, essa tecnologia se disseminou e alcançou o sucesso que conhecemos.

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

Paralelamente, esses últimos anos também foram marcados pela retomada de aumento do preço do petróleo no mercado internacional, passando de 25 dólares o barril, em 2003, para mais de 70 dólares em 2006. Isso colocou os refinadores de petróleo brasileiros numa situação difícil frente ao álcool, uma vez que, com os carros flexíveis, o consumidor pode passar com facilidade de álcool para gasolina ou vice-versa, levando os responsáveis pela formulação de preços a ter que pensar muito antes de repassar os aumentos de custo do óleo para os derivados, sob pena de perder mercado.

4 Combustíveis renováveis

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 aumentando (por culpa dos gases resultantes da queima de combustíveis fósseis), várias medidas foram tomadas para amenizar os efeitos advindos desse problema. Uma delas foi o Protocolo de Quioto, no qual os países desenvolvidos signatários comprometem-se a reduzir as emissões desses gases. Por outro lado, a comunidade científica parte em busca de 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. Ao contrário do combustível fóssil (petróleo ou gás natural), finito por natureza, o homem sempre poderá produzir mais combustível renovável, 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. O fato de ser o gás CO₂, emitido pela queima de qualquer combustível e principal causa do aquecimento atmosférico, re-absorvido por fotossíntese pelas plantas usadas para produzir os combustíveis renováveis, torna neutro o seu uso. Assim, o CO₂ 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 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 para breve 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, 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 a base de chumbo ou de outros metais pesados.

Atualmente, acredita-se que o meio mais adequado de gerar a energia elétrica 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 potencial explosivo, procura-se evitar a idéia de transportar o próprio gás hidrogênio em cilindros no veículo.

5 Conclusão

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 novos desenvolvimentos.

Devido às 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.

Ao contrário dos países que temem um futuro difícil, o Brasil aguarda, ansiosamente, a oportunidade de poder melhor usufruir de sua matriz energética.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA - IEA (França). **Biofuels for transport: an international perspective**. Paris, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira 2006**. São Paulo: Anfa-vea, 2006.

MAGALHÃES, J. P. da Almeida; KUPERMAN, N.; MACHADO, R. C. **ProÁlcool: uma avaliação global**. Rio de Janeiro: ASTEL, 1991.

RIBEIRO, S. K. **O álcool e o aquecimento global**. Brasília: CNI, 1997.

WORLD ENERGY COUNCIL – WEC. **Statement 2000: energy for tomorrow's world - acting now!** London, 2000.

Geração de Eletricidade na Indústria Canavieira

Omar Campos Ferreira

Co-editor – Economia e Energia – OSCIP

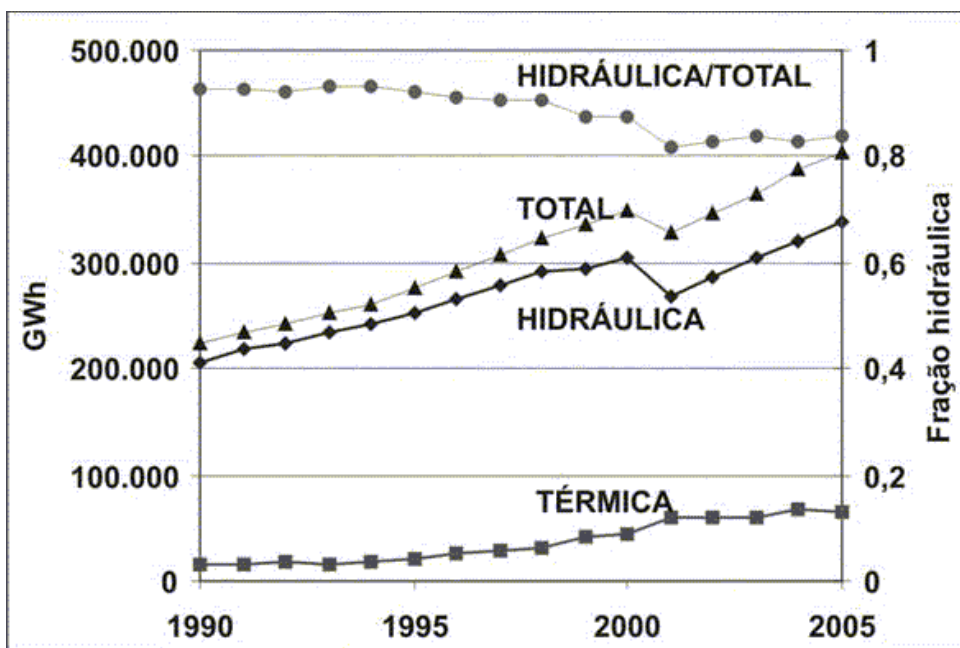
Resumo

Este trabalho trata da contribuição potencial do Setor Sucroalcooleiro para a geração de eletricidade, dos custos de geração e dos reflexos socioeconômicos dessa contribuição. Apresenta gráficos referentes à distribuição da geração pelas fontes hidráulica e térmica, a evolução da produtividade agrícola e industrial do setor e a destinação da cana entre a produção de açúcar e de álcool. Também discute o potencial de geração por nível de tecnologia, considerando a tecnologia de co-geração de eletricidade e de vapor de processo já implantada, utilizando caldeiras de alta pressão e ciclo com extração e condensação do vapor, e a tecnologia de gaseificação do bagaço e da palha da cana, ainda em desenvolvimento, para alimentar um ciclo combinado gás-vapor. Projeta, ainda, com base nos dados históricos, a produção da cana até 2030, e avalia a energia elétrica gerada segundo a tecnologia adotada. Conclui apontando que, produzindo cerca de 700 milhões de tonelada naquele ano, o setor poderá contribuir para o suprimento de eletricidade com 135 TWh, usando o ciclo a vapor, e com 210 TWh, usando o ciclo combinado. Finalmente, compara a geração potencial com o déficit de geração hídrica, de cerca de 700 TWh/ano, decorrente dos obstáculos impostos pela legislação ambiental, à exploração do potencial remanescente e pela carência de recursos para investimento na geração.

1 Introdução

De acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE, 2030), editado pela Empresa de Pesquisas Energéticas, em 2006, a demanda de energia elétrica em 2030 deverá situar-se entre 776TWh e 1300 TWh. O plano contempla três cenários de crescimento econômico, com as respectivas projeções de demanda. No cenário B1, considerado como de referência, o valor da demanda seria de 1095 TWh, o que corresponde ao acréscimo de 700 TWh sobre a demanda de 2005. Para atender a esse aumento somente com a geração hidrelétrica, seria necessário instalar cerca de 145 GW adicionais, chegando-se a 215 GW instalados, o que supera o potencial considerado como tecnicamente viável, no qual se incluem vários aproveitamentos de difícil licenciamento ambiental. Além disso, o investimento necessário, incluído o encargo financeiro, seria da ordem de 160 BUS\$₂₀₀₅, equivalente a cerca de 1,0% do PIB acumulado no intervalo e a 4,6% de todo o investimento na economia.

Até o início do Plano Real, a hidreletricidade respondeu por mais de 90% da geração, caindo para cerca de 84% em 2005 (Gráfico 1). Ao longo do plano, a contenção dos investimentos, conjugada com o aumento da demanda e com a privatização do setor, levou à superutilização dos estoques reguladores das usinas hidrelétricas, causando o racionamento de 2001, que implicou a perda de 1,7% do PIB daquele ano. Além disso, a reserva de água para a regulação hídrica foi reduzida de 2 anos para cerca de 6 meses, aumentando o risco de novos racionamentos. A instalação de novos aproveitamentos tem sido dificultada pela legislação ambiental, que afeta principalmente aqueles com grandes reservatórios com capacidade de regulação.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do Balanço Energético Nacional/2005.

Gráfico 1: Geração de eletricidade no Brasil.

O planejamento oficial tem contemplado a complementação da geração hídrica por usinas termelétricas a combustíveis fósseis (gás natural, carvão, óleo diesel e óleo combustível), todos eles sujeitos a reparos, seja pela questionável racionalidade desse uso, pela escassa autonomia de suprimento, pela concorrência com usos térmicos industriais, através dos quais se contorna a sofrível eficiência dos ciclos termodinâmicos envolvidos na geração de eletricidade, ou pela baixa qualidade do combustível, além da possível penalização pela emissão de gases de efeito estufa¹. Acresce que os custos de geração devem aumentar no compasso dos preços dos combustíveis e das taxas de desconto adotadas no financiamento do parque de geração, sendo necessário planejar cuidadosamente a composição do parque gerador, tendo em conta as restrições financeiras, a autonomia no suprimento da energia primária e os reflexos sociais, econômicos e ambientais de cada opção.

Seria prudente, portanto, examinar alternativas de geração que contornem as restrições enunciadas, o que leva à consideração dos combustíveis da biomassa, em particular da co-geração de eletricidade e de vapor de processo, já praticada na indústria sucroalcooleira para suprir o uso próprio. Com a modernização de alguns equipamentos e desenvolvimento de tecnologia, isso pode gerar energia excedente a ser fornecida à rede elétrica.

A bem sucedida experiência com o ProÁlcool, criado pelo Governo Federal em 1975 para atenuar a crise de preço do petróleo, assistido pela infraestrutura de gestão dos

Ministérios envolvidos (MME; MIC – atual MDIC –; MCT), pela Universidade, Centros de Tecnologia, empresas públicas e privadas, autoriza esperar-se igual sucesso com a geração de eletricidade usando resíduos da cana-de-açúcar.

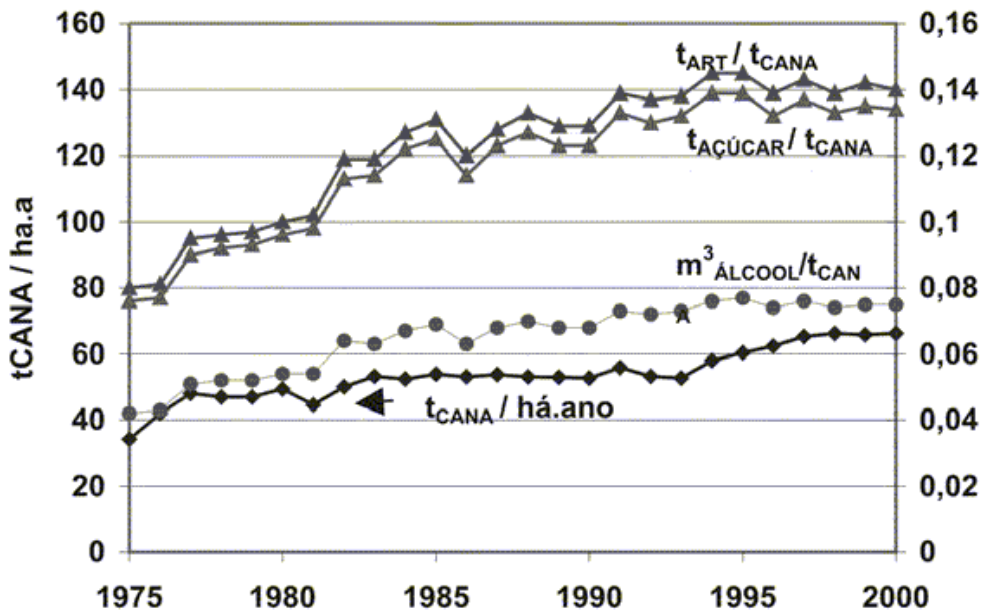
As vantagens de tal programa já foram apontadas por diversos autores, sendo de se realçar as seguintes:

- a estrutura de produção já existe, é eficiente e vem realizando significativos ganhos de produtividade (Gráfico 2);
- a produção é distribuída, o que implica em menor distância média para a transmissão da eletricidade gerada;
- a indústria canavieira gera empregos com baixo investimento unitário (Tabela 1 *apud* Patusco, 2002);
- a safra de cana coincide com o período de baixa afluência de água aos reservatórios das usinas hidrelétricas da Região Sudeste-Centro Oeste;
- alguns dos problemas ambientais, outrora alegados como deméritos da produção de álcool combustível foram resolvidos (caso do vinhoto) ou estão sendo tratados (caso da queima da palha);
- a demanda de álcool hidratado está em recuperação no mercado interno;
- o álcool anidro para mistura à gasolina está na pauta do comércio exterior;
- ainda existe espaço para o desenvolvimento da tecnologia de exploração dos subprodutos da cana;
- vários projetos de negociação de créditos de carbono estão em andamento.

TABELA 1 – EMPREGO POR MILHÃO DE R\$ DE ATIVO (*APUD* PATUSCO, 2002)

Setores	Emprego por milhão R\$ de ativo
Aço	1,3
Alumínio	2,0
Extração e refino de petróleo	0,7
Geração e distribuição de eletricidade	1,0
Couros e calçados	30,1
Veículos e autopeças	25,1
Turismo	24,0
Agropecuária	22,9
Saúde	18,7
Eletrônicos	16,3
Informática	16,1
Cana, açúcar e álcool	14,6

Fonte: Balanço anual – Gazeta Mercantil.



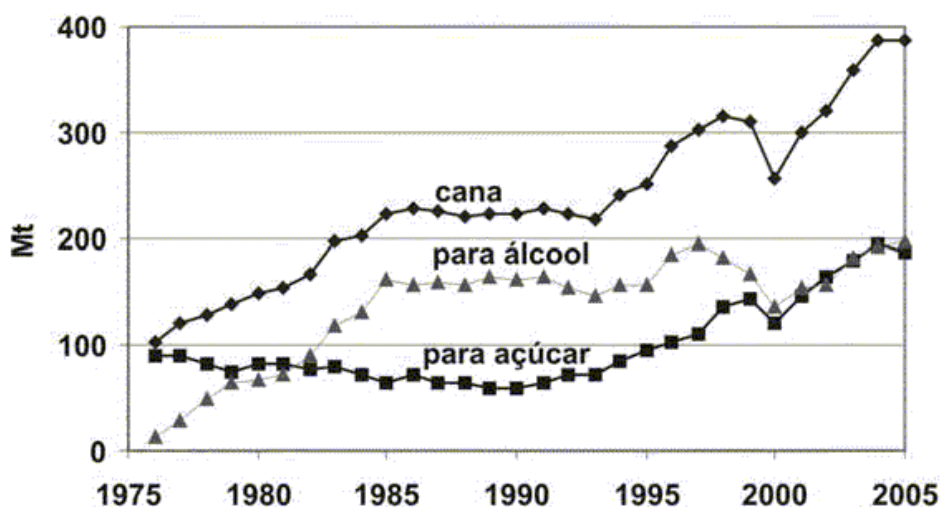
Fonte: Elaborado com dados do Informativo DATAGRO, ano 2004/ número 08P.

Gráfico 2: Evolução da produtividade da indústria canavieira.

2 Evolução da produção de cana

O Gráfico 3 mostra a evolução da produção e destinação da cana para açúcar e para álcool no Brasil, a partir de 1976, segundo o Informativo Datagro.

A movimentação dos mercados de açúcar e de álcool nas três décadas cobertas pelos dados, bem como sua natural interconexão, recomenda prudência na elaboração de projeções sobre a produção de cana. O Gráfico 3 mostra diferentes estágios: aumento da produção entre 1975 e 1985, associado com o uso do álcool combustível; estagnação por cerca de 10 anos; e episódios de aumento e queda até 2005. Para projetar a produção até 2030 e assim calcular o potencial de geração de eletricidade, usamos o método de projeção logística (FERREIRA, 2002), chegando à produção de 700 Mt. Estimativas elaboradas pelo Setor Canavieiro contemplam a produção dessa massa já em 2013².



Fonte: Informativo DATAGRO, ano 2004/número 08P.

Gráfico 3: Produção e destinação da cana-de-açúcar.

3 Tecnologias de co-geração

O estágio atual da tecnologia compreende a queima do bagaço *in natura*, no decorrer da safra (tipicamente 6 a 7 meses), para gerar vapor em caldeira de baixa pressão (22 bar, 300°C), distribuído entre o uso nos processos de produção (92% da energia térmica total) e na geração de eletricidade (8%) para uso próprio³. A seqüência de melhoramentos no uso da energia no setor considera a revisão do projeto das instalações, com a substituição de alguns equipamentos, e o uso de caldeira de maior pressão (80 bar, 480°C), para gerar eletricidade durante a safra, queimando somente bagaço, ou durante todo o ano com uso de bagaço e de palha da cana. O último estágio consistiria na gaseificação do bagaço e da palha e o emprego do ciclo combinado gás-vapor. As etapas de melhoramento estão mostradas na Tabela 2.

TABELA 2 – TECNOLOGIAS DE CO-GERAÇÃO
(PROCESSAMENTO DE 300 MT DE CANA/ANO).

Tecnologia	Operação	C. Processo		Potencial	
		kgvapor/ tcana	En. Excedente kW/tcana	MW	TWh
Estágio atual: 22 bar/300°C – contrapres- são, bagaço	Safra	500	0-10	700	3
Estágio 1: 80 bar/480°C – contrapres- são, bagaço	Safra	500	40-60	4.500	18
Estágio 2: 80 bar/480°C – condensação e extração, bagaço e palha	Ano todo	340	100-150	6.000	45
Estágio 4: Gaseificação – bagaço e palha	Ano todo	< 340	200-300	12.000	90

Fonte: Elaborada com dados de “Processos de Co-Geração – Equipamentos, Custos e Potenciais”, Leal, M. R. L. V; Copersucar/União, 2003.

Considera-se que a modernização gradual das usinas em operação, de vida útil estimada em 20 anos, e a orientação dos novos projetos, permitem chegar-se a 2030 com toda a geração sendo feita no Estágio 2 (Tabela 3: caldeira de 80 bar, turbina de extração e condensação, operação durante todo o ano), caso em que a energia elétrica excedente chegaria a 105 TWh, contribuindo substancialmente para o suprimento da demanda.

TABELA 3 – CUSTOS DE CO-GERAÇÃO.

Tecnologia	Investi- mento	JDC	Fator. rec.	C. anual	O&M	F. C.	C. gera- ção
	US\$/kW	US\$/kW	capital	US\$/kW.a	US\$/ kW.a		US\$/ MWh
Estágio atual	600	36	0,134	85,15	10,00	0,46	23,61
Estágio 2	800	48	0,134	113,53	10,00	0,86	16,40
Gaseifica- ção	2.500	309	0,134	376,11	16,00	0,86	52,05

Obs.: Vida útil 20 anos, tempo de construção 2 anos para ciclo a vapor e 3 anos para ciclo combinado, taxa de desconto 12% aa., custo nulo do combustível (para o uso da gaseificação será necessário contabilizar o custo correspondente).

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Leal, M. R. L. V. Processos de Co-Geração – Equipamentos, Custos e Potenciais. Coopersucar/União, 2003.

Os custos de geração foram calculados usando o método padrão de cálculo e os investimentos constantes (Tabela 4).

TABELA 4 – DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA E CONTRIBUIÇÃO DA CO-GERAÇÃO.

Ano	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Demanda TWh/ano	371	480	606	787	1010	1300
Geração térmica	63	79	103	134	192	273
Produção cana – Mt/a	386	509	594	647	676	692
22 bar, c.pressão, safra	3,9	5,1	5,9	6,5	6,8	6,9
80 bar, c.pressão, safra	23	31	36	39	41	41
80 bar, ext/cond, ano	58	76	89	97	101	104

Os custos de geração calculados são francamente competitivos com os das alternativas térmicas e até mesmo com os da hidreletricidade, no caso do ciclo a vapor. A gaseificação do bagaço ainda não está completamente desenvolvida para unidade de grande potência, de forma que o custo calculado é apenas estimativo. O investimento unitário parece elevado, ultrapassando o investimento em centrais nucleares. Além disso, o custo da operação de gaseificação não está claramente definido, de forma que

ainda não se pode atribuir um custo ao gás de biomassa, o que aumenta a incerteza no cálculo de custo para essa modalidade de co-geração.

A estrutura produtiva para a co-geração evoluirá conforme a prática de comercialização da energia elétrica e do crédito de carbono pela emissão evitada de gases de efeito estufa. No início, supõe-se que as próprias usinas de açúcar e de álcool se encarregarão da geração; no futuro, dependendo das conveniências das empresas envolvidas, a geração poderá ser executada por empresa do ramo elétrico, adquirindo os resíduos das destilarias. O cálculo de custos considerou a primeira hipótese, atribuindo custo nulo ao bagaço já disponível na usina, ou seja, os custos dos resíduos seriam assumidos pela produção de açúcar e de álcool em troca do vapor de processo fornecido como co-produto da geração de eletricidade. Também não foram incluídos impostos e taxas, mantendo a sistemática adotada para outras modalidades de geração. A consolidação do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) estabelece a garantia de financiamento pelo BNDES à taxa composta pela taxa básica de juros acrescida de *spread* de 2% a 3% e a compra da energia gerada pelo prazo de 20 anos pela Eletrobrás.

4 Perspectivas de penetração da co-geração com resíduos da cana

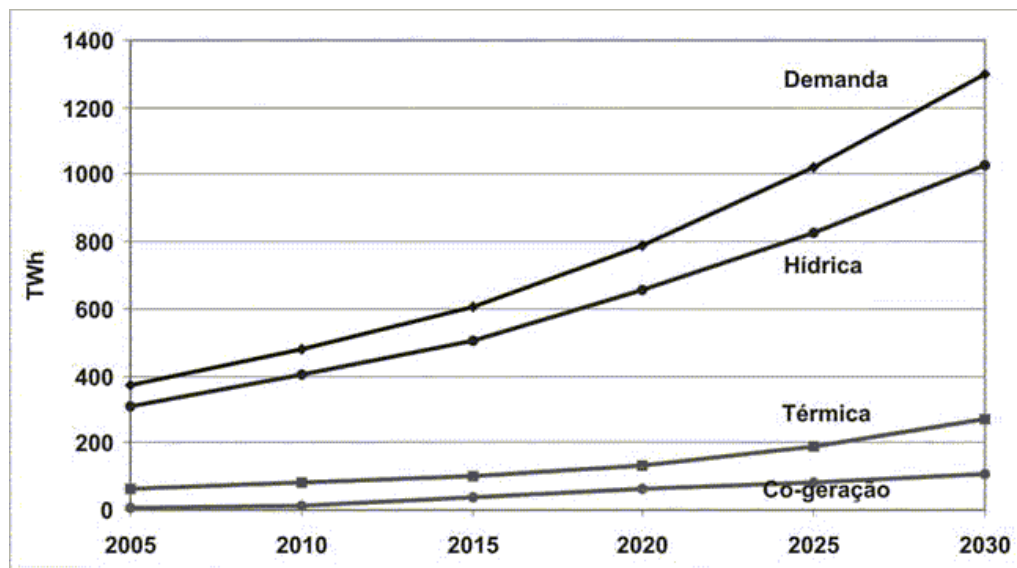
A primeira chamada de projetos do PROINFA destinou à biomassa 1/3 da capacidade de geração a ser contratada, ou 1.100 MW. Entretanto, apesar dos incentivos oferecidos pelo Programa, não foi atingida a meta estabelecida, pois apenas cerca de 680 MW foram contratados. As explicações oferecidas por autoridades do Governo e por especialistas do Setor Sucroalcooleiro são divergentes: tratar-se-ia de desinteresse do Setor pela geração, motivado pelo aumento da demanda de álcool nos mercados interno e de exportação, segundo aquelas, e da inadequação do preço oferecido à energia da biomassa, segundo estes (os preços para a eletricidade eólica e das pequenas centrais hidrelétricas seria cerca de 20% a 30% superiores aos da energia da biomassa). Além disso, os produtores consideram os riscos do mercado de eletricidade, em face da transição institucional do Sistema Elétrico.

Segundo informação pessoal, a maioria das novas destilarias está instalando caldeiras de baixa pressão. Todavia, o aumento da disponibilidade de bagaço e de palha, a alta do preço do gás natural e o elevado custo do déficit poderão promover maior participação da co-geração pelo Setor Canavieiro. A Tabela 5 e o Gráfico 4 mostram a evolução provável da demanda de energia elétrica e da geração termelétrica, bem como a contribuição da co-geração com resíduos da cana, limitada à tecnologia que se considera viável até 2030.

TABELA 5 – DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA E CONTRIBUIÇÃO DA CO-GERAÇÃO.

Ano	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Demanda TWh/ano	371	480	606	787	1010	1300
Geração térmica	63	79	103	134	192	273
Produção cana – Mt/a	386	509	594	647	676	692
22 bar, c. pressão, safra	3,9	5,1	5,9	6,5	6,8	6,9
80 bar, c. pressão, safra	23	31	36	39	41	41
80bar, ext/cond, ano	58	76	89	97	101	104

O Gráfico 4 mostra a ascensão da geração térmica total (273 TWh) e a participação da co-geração com resíduos da cana, que poderia atingir cerca de 39% (105 TWh) em 2030.



Fonte: Elaborado com dados de O Futuro do Sistema Elétrico Brasileiro, Disponível em: <<http://www.ecn.com>>, nº. 49, abr / mai, 2005).

Gráfico 4: Demanda e geração de eletricidade.

5 Créditos de carbono

Para avaliar a importância dos créditos de carbono no custo da energia gerada, foi tomada como referência a geração a gás natural em ciclo combinado, com eficiência termodinâmica de 50%, cujo teor de carbono referido ao poder calorífico inferior corresponde a $15,5 \text{ t}_C / \text{TJ}^4$, ou $0,0558 \text{ t}_C / \text{MWh}_{\text{térmico}} = 0,116 \text{ t}_C / \text{MWh}_{\text{elétrico}}$. O valor médio do crédito era de 16,5 euros por tonelada de carbono, em agosto de 2006 (Disponível em: <www.carbonobrasil.com>), ou cerca de US\$ 21₂₀₀₇/t_C. Portanto, a emissão evitada de $0,116 \text{ t}_C / \text{kWh}_{\text{elétrico}}$, pela substituição da geração a gás natural pela co-geração com resíduos da cana, valeria cerca de US\$ 2,43₂₀₀₇, ou seja, cerca de 15% do custo de geração na tecnologia do Estágio 2 (Tabela 4: caldeira de 80 bar e turbina com extração e condensação, com geração no ano todo). Percebe-se existir um grande potencial de captação de créditos através da co-geração com resíduos da indústria de açúcar e de álcool. Observe-se que o valor do crédito tem aumentado rapidamente à medida que se consolida a percepção dos riscos associados ao efeito estufa: de 2005 para 2006, o crédito variou de 5 euros a 18 euros, e a tendência é de alta continuada, especialmente depois da divulgação do “*Climate Report*”, do IPCC, que desfez a maioria das dúvidas sobre a causa do aquecimento global.

Notas

1. Brasil, Rússia, China e Índia seriam, segundo o noticiário internacional, incluídos na lista de países sujeitos a restrições após o término do prazo de vigência do Protocolo de Quioto, em 2012.

2. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Potencial de co-geração com resíduos da cana-de-açúcar**: sua compatibilidade com o modelo atual. São Paulo, 2002. Apresentação em Power Point, diversos slides.

3. Em 2003, a energia elétrica excedente para venda externa era estimada em 3 TWh/a para o conjunto das usinas em operação.

LEAL, M. R. L. V. **Processos de co-geração**: equipamentos, custos e potenciais. São Paulo: Coopersucar/União, 2003.

4. FERREIRA, O. C. Estimativa do teor de carbono no gás natural seco. **Economia e Energia**, Brasília, nº. 48, fev./mar., 2005. Disponível em: <<http://ecen.com>>.

REFERÊNCIAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco energético nacional 2005:** ano base 2004. Rio de Janeiro: EPE, 2005.

FERREIRA, O. C. Prospecção tecnológica. **Economia e Energia**, Brasília, nº. 30, jan./ fev. 2002. Disponível em: <<http://www.ecen.com>>.

_____. Estimativa do teor de carbono no gás natural seco. **Economia e Energia**, Brasília, nº. 48, fev./mar., 2005. Disponível em: <<http://ecen.com>>.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation**. Piracicaba, SP; PNUD; CTC, 2005.

LEAL, M. R. L. V. **Processos de cogeração:** equipamentos, custos e potenciais. Rio de Janeiro: BNDES, 2003. Apresentação em PowerPoint. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/alcool6.pdf>>.

_____. **Processos de co-geração:** equipamentos, custos e potenciais. São Paulo: Coopersucar/União, 2003.

O FUTURO do Sistema Elétrico Brasileiro. **Economia e Energia**. Brasília, ano IX, nº. 49, abr./maio 2005. Disponível em: <http://ecen.com/eee49/eee49p/editorial_sist_eletrico.htm#quioto>.

7

Uso do Álcool Combustível e o Meio Ambiente

Alfred Szwarc

Engenheiro Mecânico, MSc. em Controle da Poluição Ambiental

Diretor da ADS Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável

Consultor da UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar

Resumo

Este trabalho focaliza a questão da poluição do ar por veículos automotores e enfatiza a importância do uso de combustíveis limpos e renováveis, tanto para reduzir a poluição do ar, principalmente em áreas urbanas, como em nível global, para a mitigação da intensificação do efeito estufa. Além de mostrar a importância do etanol nesse contexto, apresenta dados, medidos no Brasil, de emissão de veículos operando com etanol e gasolina misturada com etanol. Finalmente, faz uma rápida análise sobre os benefícios ambientais do etanol.

1 Introdução

Há várias décadas, a poluição do ar tem representado um problema sério para os países industrializados, atingindo, mais recentemente, inúmeros países em desenvolvimento. Os efeitos danosos da poluição atmosférica à saúde humana, aos ecossistemas e à economia são bastante conhecidos e estão descritos em centenas de trabalhos científicos. Embora haja diversas fontes importantes de poluentes atmosféricos¹, geralmente a principal causa da poluição do ar nas grandes aglomerações urbanas é o consumo intenso de combustíveis fósseis no transporte de passageiros e de cargas. Frotas crescentes de automóveis, picapes, vans, caminhões, ônibus e motocicletas

são normalmente as principais fontes de emissão de poluentes nessas regiões. É comum a ocorrência de altas concentrações de poluentes gerados pelo uso de veículos em áreas urbanas, especialmente em zonas centrais e nas vizinhanças de vias de tráfego intenso. Como, em geral, se trata de localidades com alta densidade demográfica, a população fica exposta aos riscos e impactos negativos dessa poluição; esse quadro, por si preocupante, é freqüentemente agravado por condições desfavoráveis de dispersão dos poluentes, causadas por efeitos meteorológicos e topográficos e pela influência das edificações urbanas na ventilação local.

Monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV)², óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx), material particulado (MP), ozônio troposférico (O₃ – oriundo de reações na atmosfera que envolvem, principalmente, COV e NOx em presença de energia solar)³ e metais pesados – como chumbo, níquel, cádmio e manganês – são poluentes freqüentemente associados à atividade de transporte.

Os principais efeitos associados à poluição do ar por veículos são os seguintes:

- Dor de cabeça e enjôo;
- Sensação de falta de ar e de desconforto físico;
- Irritação dos olhos, nariz e garganta;
- Alergias e redução das defesas orgânicas;
- Doenças cardiorrespiratórias, neurológicas e oncológicas;
- Danos na vegetação urbana e redução da produtividade agrícola;
- Intoxicação crônica e contaminação da cadeia alimentar (metais pesados etc.);
- Danos aos materiais (sujeira, desgaste prematuro, corrosão etc.);
- Redução da visibilidade ambiente;
- Acidificação das chuvas e ocorrência de outras formas de precipitação ácida (neblina, granizo, partículas, neve etc.);
- Perda do valor de bens imobiliários em áreas muito poluídas;
- Redução da atividade produtiva em função de faltas ao trabalho e escola resultantes dos efeitos da poluição sobre a saúde;
- Aumento dos custos públicos e privados com faltas ao trabalho, medicamentos, cuidados médicos e hospitalares.

Além da escala urbana, a poluição do ar pode atingir uma dimensão regional e, em determinados casos, se tornar um problema continental, criando, inclusive, problemas entre países. Ocorrência de chuvas ácidas, formação de O₃ e deposição de MP a centenas de quilômetros da área de emissão têm sido observados em várias partes do mundo. Em termos de poluição global, os veículos são uma fonte importante dos principais gases que contribuem para a intensificação do Efeito Estufa (GEE), responsável pelo aumento das temperaturas no planeta e pelas mudanças climáticas. Os principais GEE

relacionados com o transporte rodoviário são o dióxido de carbono (CO_2)⁴, o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o CO e o O_3 . Com base em diversas avaliações existentes (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2005, e outras), pode-se afirmar que a contribuição do transporte rodoviário para a emissão global de CO_2 se situa entre 20% e 25% e que os veículos são a fonte de CO_2 que cresce mais rapidamente no mundo.

Apesar de avanços importantes terem ocorrido nas últimas décadas para a melhoria da qualidade do ar, os desafios para que se possa atingir e manter padrões de ar limpo, principalmente nas grandes cidades, são enormes. Essa situação é mais crítica nos países em desenvolvimento, onde tem havido um crescimento muito rápido da frota de veículos e do seu uso, sem a adoção, na mesma rapidez, de medidas eficazes que neutralizem o aumento da emissão de poluentes. No que se refere a medidas para a redução da emissão de GEE por veículos, pouco tem sido feito. O Brasil é uma das exceções nesse campo devido ao uso em grande escala do etanol como combustível automotivo.

As três principais estratégias adotadas nos países mais desenvolvidos para combater a poluição de origem veicular são:

- Estabelecimento de limites de emissão para veículos e motores novos, que estimulam o desenvolvimento de tecnologias capazes de reduzir significativamente a emissão de poluentes.
- Mudança nas características dos combustíveis com o objetivo de reduzir o potencial de poluição desses combustíveis. Esta estratégia também é utilizada para viabilizar o uso de sistemas avançados de controle de poluição, que de outra forma não poderiam ser utilizados. Por exemplo, a redução do teor de enxofre, além de reduzir a emissão de SO_x , permite dotar os veículos de conversores catalíticos de última geração (muito sensíveis à presença de enxofre no combustível), e que possibilitam o controle das demais emissões com alta eficiência⁵.
- Inspeção periódica da emissão dos veículos em circulação, para verificação do estado de manutenção do veículo e da adequação da sua emissão em condições normais de uso.

Destas, a utilização de combustíveis de melhor qualidade, com potencial poluidor reduzido, é a estratégia que tem efeito praticamente imediato na frota em circulação, pois traz benefícios assim que o combustível é introduzido no mercado. Esse é um dos principais motivos que levam inúmeros especialistas e entidades nacionais e internacionais de prestígio a recomendarem a utilização de combustíveis alternativos – preferencialmente de origem renovável, com baixo teor de carbono, concentração praticamente nula de enxofre, baixa toxidez e potencial reduzido para geração de poluentes.

O álcool etílico combustível, ou etanol, como é mais conhecido no mundo, é um produto que se encaixa perfeitamente nesse perfil, e o Brasil tem sido o grande laboratório mundial e exemplo de eficiência em larga escala no seu uso. A partir de 1977, em cum-

primento aos objetivos do Programa Nacional do Álcool, a adição do etanol à gasolina ganhou escala nacional e importância estratégica. A legislação vigente estabelece que o conteúdo de etanol na gasolina deve estar na faixa de 20% a 25% em volume (essa mistura é denominada “*gasolina C*” pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP). Com exceção da gasolina de aviação, toda gasolina comercializada no país contém etanol. Além disso, desde 1979, o etanol também tem sido utilizado como combustível exclusivo nos veículos com motor a álcool, tendo sido fabricados no país mais de cinco milhões de unidades desses veículos. Os veículos *flex fuel* (capazes de operar exclusivamente com etanol, gasolina ou qualquer de suas misturas) foram introduzidos no mercado em março de 2003 e ganharam rapidamente a preferência dos consumidores. Em 2007, a sua participação nas vendas de veículos novos atingiu 86%, com mais de dois milhões de unidades comercializadas no país (ANFAVEA, 2008).

2 Etanol

O etanol é um líquido de baixa toxidez, com odor característico, incolor e inflamável. Diferentemente da gasolina, contém oxigênio em sua estrutura química e, por isso, é freqüentemente chamado de **combustível oxigenado**. Essa característica possibilita que a queima do combustível no motor ocorra de forma mais completa e, portanto, resulte em menor emissão de poluentes.

É produzido principalmente a partir de fontes renováveis, por meio da conversão de açúcares (cana-de-açúcar, beterraba, uvas etc.) ou de amido (milho, trigo, batata, mandioca etc.). No Brasil, o produto para uso combustível é produzido exclusivamente de cana-de-açúcar. Com os avanços observados na área de biotecnologia, é provável que dentro de uma década seja possível produzir etanol em escala comercial e a custos competitivos a partir de materiais que contêm celulose e hemi-celulose, como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, possibilitando aumento substancial na produtividade.

Dois tipos de etanol são utilizados como combustível nos motores de combustão interna: hidratado e anidro. O etanol hidratado contém aproximadamente 95% de etanol em volume e o restante é água. É apropriado para uso como combustível exclusivo nos motores de ignição por faísca (motores do Ciclo Otto) e, se misturado com aditivos adequados, pode ser também usado em motores de ignição por compressão (motores do Ciclo Diesel). A produção do etanol anidro requer uma etapa adicional de desidratação, que segue a de destilação, e o produto final contém 0,4% de água, em volume. A desidratação é necessária para possibilitar que o etanol forme uma mistura homogênea com a gasolina, e que não ocorra a *separação de fase* no tanque de armazenagem do combustível ou no tanque do veículo. Trata-se de um fenômeno físico indesejável, mais suscetível de ocorrer em temperaturas ambiente baixas, como nos EUA e na Suécia, e

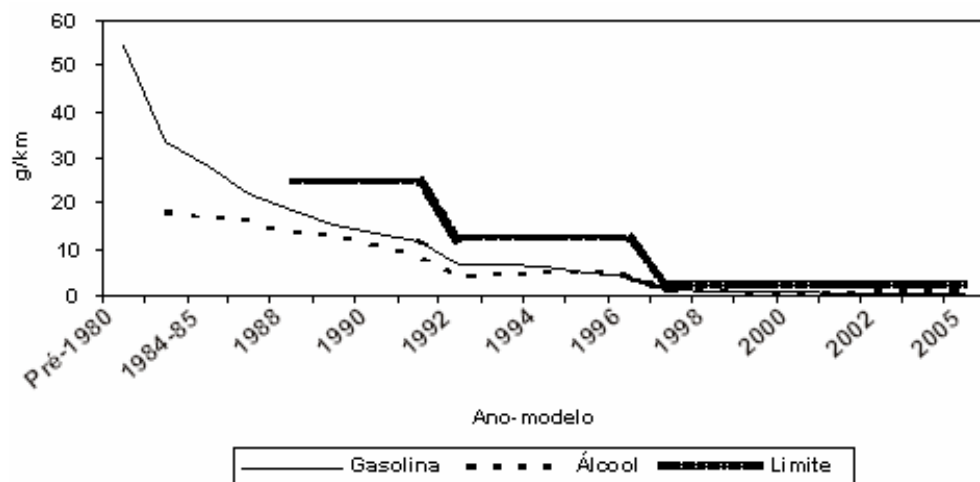
que traz risco de danos ao motor caso haja admissão de água dissociada. Entretanto, a possibilidade desse fenômeno ocorrer no Brasil é remota; além da gasolina conter de 20% a 25% de etanol anidro⁶, as temperaturas médias no país são mais elevadas.

3 Uso do etanol e a emissão de poluentes por veículos

Embora o Programa Nacional do Álcool não tenha sido concebido com o propósito específico de reduzir a emissão de poluentes por veículos automotores, a mistura de etanol com a gasolina e o uso direto do etanol nos veículos a álcool possibilitou a redução significativa da emissão de poluentes, contribuindo para benefícios ambientais importantes. Esse fato teve importância especial nas décadas de 80 e 90, período em que se registrou crescentes níveis de poluição ambiental nas principais regiões urbanas do país e os requisitos do Programa de Controle da Poluição por Veículos Automotores – PROCONVE⁷ ainda estavam em níveis menos rígidos que os atuais.

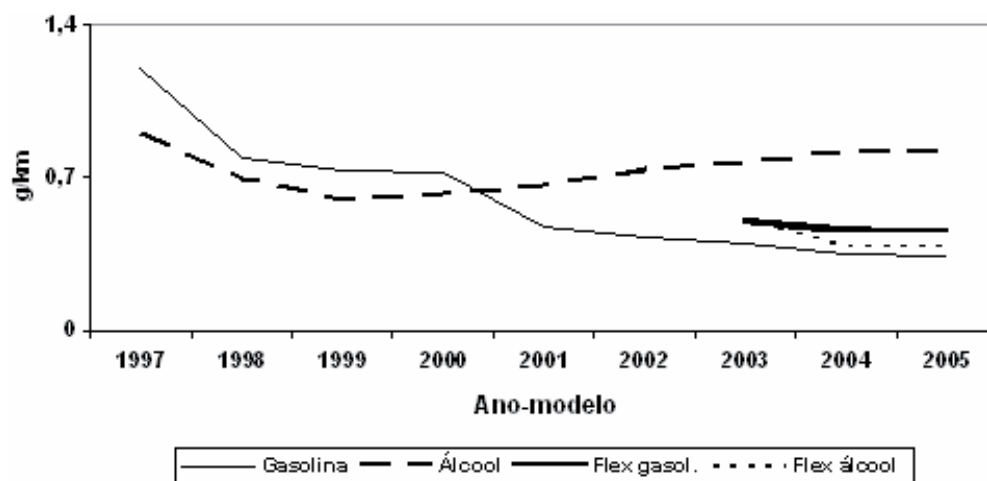
A diminuição na emissão de CO, HC e NOx pode ser observada nas Figuras 1 a 3, que apresentam a variação da emissão desses poluentes até 2005. São mostrados os níveis médios de emissão de veículos novos movidos a gasolina pura (somente para os veículos pré-1980), “gasolina C de referência” (78% de gasolina e 22% de etanol anidro) e etanol hidratado (CETESB, 2005). O Gráfico 2 apresenta também dados de emissão dos veículos *flex fuel*.

Como se pode observar, o uso do etanol possibilitou reduções significativas de emissão para os veículos a álcool em relação aos seus congêneres à gasolina, especialmente até meados da década de 1990. Nesses casos contribuiu para que os limites legais de controle de emissão definidos no âmbito do PROCONVE fossem plenamente atendidos.



Fonte: CETESB.

Gráfico 1: Emissão média de CO para veículos novos.



Fonte: CETESB.

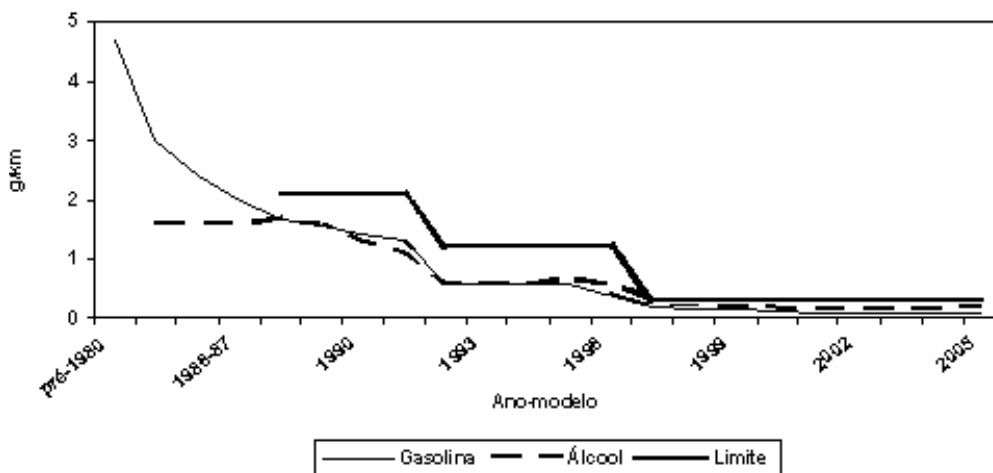
Gráfico 2: Emissão média de CO – detalhes 1997/2005.

No caso dos veículos *flex fuel*, a utilização de misturas de gasolina C e etanol hidratado traz benefícios intermediários aos observados para cada um desses combustíveis.

Em virtude da necessidade de atendimento a limites de emissão cada vez mais severos a partir de 1986, os veículos a gasolina passaram a ser equipados com sistemas de controle de emissão mais avançados, principalmente a partir de 1997. Como consequência, houve uma substancial redução na emissão de poluentes, praticamente aos mesmos níveis observados nos veículos a álcool. Nessa época, em função de vários fatores, principalmente preços relativamente baixos do petróleo, a indústria automobi-

lística perdeu interesse pelos veículos a álcool, o que ocasionou redução de investimentos para o seu aprimoramento tecnológico e limitou o progresso do seu desempenho ambiental. O efeito dessa situação pode ser mais bem visualizado na Gráfico 2.

É importante notar que, embora a emissão de HC seja quantitativamente equivalente para a gasolina C e o etanol (Gráfico 3), a emissão resultante do uso exclusivo de etanol apresenta menor toxidez e reatividade fotoquímica⁸, e esses fatos devem ser levados em consideração em qualquer análise sobre o assunto.



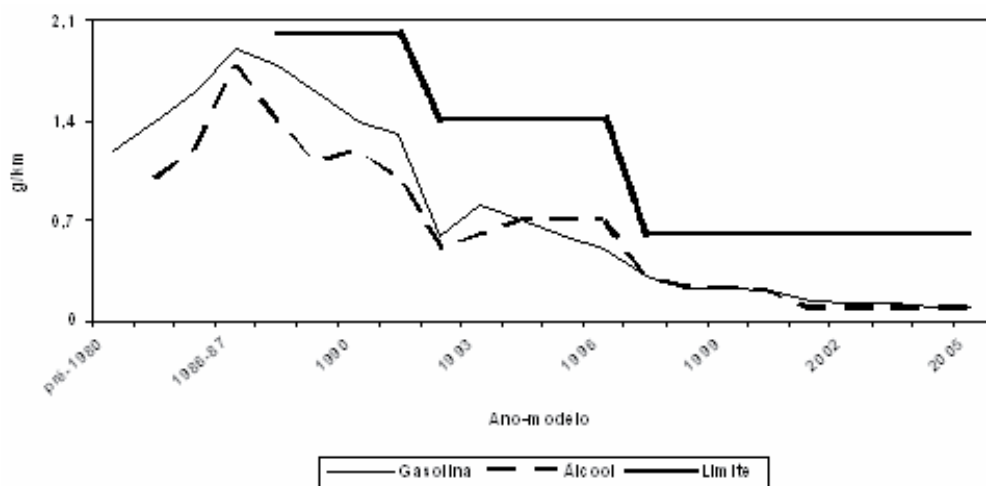
Fonte: CETESB.

Gráfico 3: Emissão média de HC para veículos novos.

Um outro benefício importante do etanol foi a eliminação do uso dos aditivos à base de chumbo. Temidos por sua elevada toxidez, aditivos como o *chumbo tetraetila* foram largamente empregados no país para a elevação da octanagem⁹ da gasolina. Pelo fato de o etanol ter uma octanagem muito alta¹⁰, a sua adição à gasolina em volumes elevados tornou desnecessário o uso desses aditivos, que em 1990 tiveram o seu uso banido. Esse fato fez do Brasil o primeiro país do mundo a eliminar completamente esses aditivos da gasolina automotiva e trouxe benefícios ambientais relevantes. A medida reduziu rapidamente as concentrações de compostos tóxicos de chumbo na atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) em 75% e viabilizou o uso dos conversores catalíticos¹¹, tecnologia muito eficaz no controle da emissão de poluentes.

A utilização de altos teores de etanol na gasolina tornou desnecessárias modificações onerosas nos processos de refino do país para aumento da octanagem da gasolina, e que poderiam elevar o teor de hidrocarbonetos aromáticos no combustível. Esses hidrocarbonetos – benzeno, tolueno, xileno e outros – são tóxicos e apresentam alta reatividade fotoquímica; não é por outra razão que a sua concentração vem sendo substancialmente diminuída nas gasolinas utilizadas nos países mais desenvolvidos.

Independentemente dos sistemas de controle de emissão, o uso do etanol contribuiu para a redução da poluição do ar. Nos veículos à gasolina, a emissão de SOx é reduzida de 20% a 25%, dependendo do teor de etanol no combustível. Caso o combustível utilizado seja exclusivamente etanol, a emissão de SOx chega a ser até 100 vezes menor que a da gasolina¹²; nos veículos *flex fuel*, quanto maior o uso do etanol, maior será a redução de SOx. Raciocínio análogo pode ser feito para diversos compostos orgânicos da gasolina que apresentam reatividade fotoquímica superior e são bastante tóxicos, caso do benzeno e do 1-3 butadieno. Como o etanol tem em sua fórmula apenas dois carbonos, a emissão de MP é praticamente nula. Essa qualidade é importante, pois as partículas finas¹³, emitidas principalmente pelos veículos diesel, são consideradas atualmente como a forma de poluição mais agressiva à saúde.

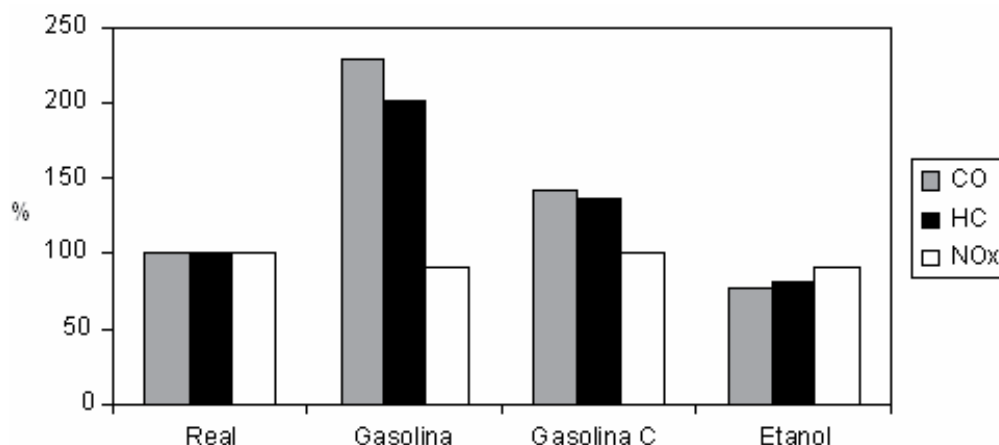


Fonte: CETESB.

Gráfico 4: Emissão média de NOx para veículos novos.

É oportuno mencionar os resultados de um estudo (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 1989) que avaliou a importância ambiental do etanol na RMSP. O trabalho estimou a emissão de poluentes por veículos em diferentes cenários de uso de combustível: com etanol, com gasolina C e com gasolina pura. Como referência, foi adotada a situação real da frota de veículos leves à época, formada por 76% de veículos alimentados com gasolina C e 24% somente com etanol (Gráfico 5). Os resultados mostram que se a frota fosse operada exclusivamente com gasolina pura, haveria um aumento de 130% na emissão de CO, de 100% na de HC e uma redução de 10% na emissão de NOx em relação ao cenário de referência. No caso do uso exclusivo da gasolina C, haveria aumento de 40% para a emissão de CO e de 37% para HC, sem alteração na emissão de NOx. Finalmente, se o cenário considerasse somente o uso do etanol, haveria uma redução de 23% para CO, 20% para HC e 10% para NOx.

O estudo evidenciou a importância ambiental do uso do etanol, seja em mistura com a gasolina ou não, e demonstrou o acerto da decisão para a sua utilização em larga escala. Pode-se inferir desse trabalho que os níveis de poluição atmosférica da RMSP, que na época eram bastante elevados, particularmente para CO, teriam sido ainda mais críticos que os observados sem o uso do etanol.



Fonte: CNI, 1989.

Gráfico 5: Cenários de emissão para RMSP.

3.1 Aldeídos

A emissão de aldeídos (R-CHO) merece uma análise à parte, pois é um tema frequentemente mal compreendido. Embora seja verdade que a combustão do etanol gera aldeídos, isso também é verdade para outros combustíveis automotivos como a gasolina pura, óleo diesel e gás natural, apesar desse fato não ser muito conhecido. Um primeiro ponto que merece esclarecimento é que os combustíveis fósseis geram uma variedade de aldeídos que apresentam elevada toxidez e alta reatividade fotoquímica na atmosfera, caso do formaldeído, enquanto que a combustão do etanol gera principalmente o acetaldeído, produto de toxidez mais baixa e de menor impacto ambiental (Tabela 1).

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DOS ALDEÍDOS.

Parâmetro	Formaldeído	Acetaldeído
Reatividade fotoquímica incremental máxima (g O ₃ / g substância)*	6,2	3,8
Limite para exposição ocupacional** (ppm)	2,0	100,0

Fonte: Brandberg, A., 1991* e U.S. Occupational Safety and Health Administration**.

De todo modo, graças aos avanços da tecnologia automotiva, a emissão de aldeídos tem sido bastante reduzida ao longo dos anos. No caso dos veículos a álcool, a média observada em 1992 (0,035 g/km) é inferior ao nível registrado no final da década de 1970 para os veículos à gasolina pura (0,05 g/km); em 2003 os veículos a álcool e gasolina C apresentaram, respectivamente, emissão média de 0,020 g/km e 0,004 g/km. Já em 2006, com os veículos *flex fuel*, a emissão média foi de 0,014 g/km, usando apenas etanol, e 0,003 g/km com gasolina C (CETESB, 2005). Esses valores são substancialmente inferiores aos limites vigentes e futuros para emissão de aldeídos¹⁴. Além do mais, diversos levantamentos realizados pela CETESB¹⁵ demonstram que o uso em larga escala do etanol não tem resultado na presença de concentrações de aldeídos no ambiente que possam trazer risco significativo para a população.

No que se refere aos aldeídos emitidos por outros combustíveis, é oportuno mencionar dois estudos. O primeiro estudo (ABRANTES, 2003) desmistificou a crença de que o uso do etanol é a principal causa desse tipo de emissão. Essa pesquisa, realizada com veículos comerciais leves a diesel, mostrou que a emissão de aldeídos variou de 0,022 g/km a 0,160 g/km; ou seja, tomando os dados de emissão de 2003 como base, pode-se dizer que os veículos diesel testados apresentaram emissão de aldeídos que pode chegar a ser até oito vezes maior que a de um veículo a álcool ou até 40 vezes maior que um veículo alimentado com gasolina C. O segundo estudo (CORREA, 2003), realizado pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro, mostra uma relação direta e muito próxima entre a curva de crescimento da frota convertida para gás natural veicular na cidade do Rio de Janeiro e o aumento na concentração ambiente de formaldeído.

3.2 Emissão de CO₂

A emissão de CO₂ é um outro tema que merece atenção especial, em virtude da sua importância para o aquecimento global e mudanças climáticas. O etanol produzido no Brasil de cana-de-açúcar é considerado atualmente uma das melhores alternativas para a redução da emissão de GEE. Quando comparado com etanol produzido em outros países a partir de diferentes matérias-primas, e com o biodiesel, o produto brasileiro apresenta a maior redução de GEE e o menor custo por tonelada de GEE evitado (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2005). Estimativa feita para o ano de 2003 indica que a substituição da gasolina pelo etanol no Brasil, mais a substituição do óleo combustível pelo bagaço de cana na indústria da cana-de-açúcar evitou a emissão de 32 milhões de toneladas equivalentes de CO₂¹⁶ (o uso do etanol representa 85% da emissão evitada), quantidade equivalente à emitida pela Noruega naquele ano. Os principais fatores que tornam o etanol produzido no Brasil uma opção viável para a mitigação dos GEE são:

- É produzido a partir da cana-de-açúcar, matéria-prima renovável, de crescimento

rápido e de safra anual, com alto poder de fixação do CO₂ ambiente por meio da fotossíntese.

- A produção de etanol é muito eficiente em termos energéticos, gerando 9,3 kJ de energia renovável para cada 1,0 kJ de energia fóssil consumida (BIOMASS AND BIOENERGY, 2008).
- A emissão de CO₂ do etanol é menor que a dos combustíveis fósseis e, se considerado o ciclo de produção-uso do etanol, pode ser considerada nula.
- O canavial, durante o seu crescimento, absorve quantidade de CO₂ equivalente àquela gerada no ciclo de produção-uso do etanol; é por isso que se diz que o balanço de carbono do etanol é neutro.
- Os combustíveis fósseis não dispõem de um sistema natural de reciclagem do CO₂ como o etanol. O carbono que é retirado do subsolo, na forma de gás natural e derivados de petróleo, aumenta o estoque de carbono existente no ar ao ser lançado na atmosfera.
- É um produto produzido em escala comercial e economicamente competitivo.

4 Custos sociais da poluição do ar

Uma questão de fundamental importância na presente discussão é o impacto das emissões veiculares sobre a saúde pública e os custos sociais resultantes. Inúmeras pesquisas têm comprovado que existe uma relação direta entre a poluição do ar, efeitos sobre a saúde e mortes prematuras. Um exemplo é a relação entre asma e poluição do ar nas proximidades de vias de trânsito. A literatura sobre o tema é farta e identifica SO_x, MP e ozônio, poluentes associados sobretudo aos combustíveis fósseis, como os principais desencadeadores de crises de asma (ENVIRONMENTAL DEFENSE). Pesquisa realizada na Europa mostra que os custos sociais da poluição do ar por MP podem atingir até 190 bilhões de euros por ano, considerando mortes prematuras e doenças associadas. O estudo ressalta a contribuição dos veículos diesel para o problema, que respondem por cerca de um terço da emissão de MP fino na região (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2005). Um levantamento feito no Canadá (VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE, 2002) estima que o custo ambiental médio para automóveis movidos com gasolina pura e óleo diesel se situa entre 0,6 centavos de dólar e 5 centavos de dólar por quilômetro.

Um dado alentador nesse quadro são os estudos realizados por várias instituições, dentre as quais se destacam o Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Universidade de São Paulo e a agência ambiental da Suécia, que mostram que o vapor e gases da combustão do etanol são menos tóxicos que os da gasolina. É possível inferir desses estudos que os custos sociais em função das emissões geradas pelo uso do etanol são menores que os resultantes do uso de combustíveis fósseis.

5 Comentários finais

É importante lembrar que, ao contrário da gasolina e do óleo diesel, o etanol é um produto biodegradável em condições ambientes normais, o que lhe dá grande vantagem ambiental em relação aos combustíveis fósseis, em casos de derramamentos acidentais e vazamentos. No caso do etanol, além dos impactos nos ecossistemas serem menos intensos, a recuperação da qualidade das águas e dos solos ocorre muito mais rapidamente e, em geral, não requer medidas de remediação.

Com base no que foi exposto, é possível afirmar que a utilização do etanol em larga escala no Brasil tem contribuído de forma relevante para a melhoria da qualidade do ar e para a mitigação do aquecimento global. Desta forma, o seu uso contribui para uma matriz energética em linha com os preceitos do desenvolvimento sustentável.

Notas

1. Indústria, geração de energia, comércio, construção civil, serviços, transporte aéreo e por embarcações, queima de resíduos, transporte de poluentes de outras regiões etc.

2. Os COV são também freqüentemente denominados *hidrocarbonetos* (HC).

3. Também conhecidas como reações fotoquímicas; além do ozônio troposférico, (que é gerado na baixa atmosfera, diferentemente da “camada de ozônio”, que ocorre naturalmente na alta atmosfera e atua como escudo da radiação ultravioleta) geram também outros poluentes como aldeídos, ácidos orgânicos etc.

4. O CO₂ é considerado o principal GEE.

5. A presença de enxofre no combustível é indesejável, pois resulta na formação dos SOx e contamina os conversores catalíticos utilizados no controle de emissão, podendo reduzir significativamente a sua eficiência operacional ou mesmo impedir o seu uso.

6. Pelo fato de o etanol ser infinitamente miscível com a água, quanto maior o seu teor na mistura tanto maior é a tolerância à presença de água e menor o risco de separação de fase. É justamente essa situação que permite a mistura de etanol hidratado à gasolina C nos veículos *flex fuel*.

7. O PROCONVE é um programa de abrangência nacional estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

8. Característica que favorece a formação do ozônio troposférico e outros poluentes.

9. Parâmetro de qualidade da gasolina que indica a sua resistência à pré-ignição (batida de pino).

10. 109 a 115 octanas pelo método RON (*Research Octane Number*).

11. Os aditivos a base de chumbo contaminam os conversores catalíticos e, por conseguinte, impedem o seu uso.

12. Admitindo teor médio de enxofre no etanol de 3 ppm e na gasolina de 300 ppm.

13. Partículas com diâmetro médio menor que 2,5 microm. (µm).

14. Atualmente o limite para aldeídos (soma de acetaldeído e formaldeído) deve ser inferior a 0,03 g/km, devendo, em 2009, ser reduzido para 0,02 g/km.

15. Agência de proteção ambiental do Estado de São Paulo.

16. Estimativa feita pelo Prof. Isaias Macedo, da UNICAMP.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, R. **A emissão de aldeídos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de veículos comerciais a diesel**. São Paulo: SIMEA, CETESB, 2003.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA - IEA (França). **Biofuels for transport: an international perspective**. Paris, 2004.

CARTA DA ANFAVEA. São Paulo: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA, n.º. 249, fev. 2007.

CNI. **Veículos automotores: o ProÁlcool e a qualidade do ar**. Rio de Janeiro, 1990. p.

CORRÊA, S. M. **A poluição do ar das grandes cidades e o uso do GNV**. Rio de Janeiro: UERJ, 2003.

ENVIRONMENTAL DEFENSE. **Motor vehicle air pollution and public health: asthma and other respiratory effects**. New York, [2003]. Disponível em: <http://www.environmentaldefense.org/documents/2655_MotorAirPollutionAsthma.pdf>.

MACEDO, I.; SEABRA, J. E. A., SILVA, J. E. A. R. da. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and the prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.32, Feb. 2008.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**. São Paulo, 2006.

VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE. **Transportation costs and benefit analysis: air pollution costs**. In: _____. Transportation and benefit analysis. Victoria, BC, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Regional Office for Europe. **European Union can save up to E 161 billion a year by reducing air-pollution deaths**. Bonn, 2006. Disponível em: <http://www.euro.who.int/mediacentre/PR/2005/20050414_1>.

Batata-Doce: uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol

Márcio Antônio da Silveira

Prof. Pesquisador da Universidade Federal do Tocantins - UFT

Engenheiro Agrônomo, Doutor

Coordenador de Pesquisa do Projeto 'Batata Doce: A Bioenergia na Agricultura'

Resumo

O presente artigo tem por objetivo apresentar uma tecnologia para produção de etanol tendo como fonte de matéria prima a batata-doce. Esta tecnologia envolve o desenvolvimento de novas cultivares de batata-doce com elevado teor de amido, resistência a insetos de solo, nematóides das galhas e principalmente elevada produtividade agrícola. Um outro componente importante foi o estabelecimento de um bioprocessamento específico para a cultura que pudesse apresentar resultados significativos do ponto de vista industrial, como rendimentos de etanol por tonelada de matéria-prima utilizada. O texto mostra que a partir de pesquisas realizadas pela equipe da Universidade Federal do Tocantins – UFT desde 1997, chegou-se ao desenvolvimento de cultivares de batata-doce para a produção de etanol assim como o estabelecimento de um bioprocessamento adequado e eficiente para produção de etanol compatível e competitivo com outras fontes de matéria-prima. A utilização da batata-doce como fonte de matéria prima para produção de etanol se mostrou viável economicamente com rendimentos de 170 litros de etanol por tonelada de raiz, considerando a possibilidade de obtenção de produtividades de 40 a 60 t/ha com as cultivares desenvolvidas pela UFT, o que permitiria rendimentos de 6800 a 10200 litros/há. A sustentabilidade ambiental da batata-doce para produção de etanol foi outra característica observada, em face da não obtenção de resíduo tóxico. Após o processo de produção de etanol é possível obter 170 kg de “resíduo”, cuja composição é adequada à alimentação animal, com o teor de proteína

variando entre 17 a 23%. Por fim um ponto marcante da tecnologia é o componente social. A batata-doce se mostrou uma ótima alternativa para agricultura familiar, onde os pequenos produtores podem implantar miniusinas em sistemas de associações e/ou cooperativas em face de viabilidade econômica do produto (etanol, do co-produto-resíduo), que pode integrar a criação animal (gado de leite, suinocultura, piscicultura e outras). Neste contexto, a batata-doce passa a ser uma nova alternativa de matéria-prima que possibilita a entrada da agricultura familiar neste importante mercado dos biocombustíveis, principalmente com a utilização de terras de baixa a média fertilidade, com valores de mercado inferiores aos que a cana-de-açúcar ocupa hoje. Assim, a batata-doce poderá se constituir numa das importantes alternativas para produção de biocombustíveis de segunda geração, ocupando faixas de terra onde não seria possível a produção de outras matérias-primas mais exigentes, principalmente em fertilidade de solo.

1 Introdução

A principal matriz energética mundial continua calcada no elemento propulsor de emissão de CO₂, que se baseia no uso intensivo dos recursos fósseis não-renováveis. No entanto, os impactos negativos produzidos por esse modelo têm sido constantemente citados por pesquisadores de todo o mundo, fato que, aliado à finitude das reservas, impõe a busca de alternativas a uma transição segura para um ambiente de oferta energética sustentável.

Trata-se de um quadro que reforça a necessidade de se pensar, estudar e promover uma diversificação da matriz bioenergética brasileira, que pode ser impulsionada, ainda, em razão da variabilidade das condições de solo e clima e, sobretudo, da situação econômica, social e ambiental em que cada estado se encontra hoje. Uma única matéria-prima não conseguirá atender a toda a demanda gerada, principalmente na Amazônia, região que precisa ser pensada de forma diferenciada, tendo a sustentabilidade como a tônica de seus programas de desenvolvimento.

A busca por novas matérias-primas para produção de etanol, assim como a tecnologia industrial utilizada para fontes amiláceas, já faz parte da agenda dos países detentores de alta tecnologia, como Alemanha, Dinamarca, Bélgica, Suécia, França e Estados Unidos, desde o final da década de 90. No caso dos EUA, mesmo com uma agricultura subsidiada, foram deixados de lado os questionamentos acerca da eficiência da produção de etanol a partir do milho, optando-se por investimentos maciços em toda a cadeia, tanto no campo da ciência e tecnologia como no incentivo à produção propriamente dita.

Por essas razões, os americanos acabaram de ultrapassar o Brasil na produção de etanol e já estabeleceram a meta de aumentar o consumo de 7,5 bilhões, em 2012,

para 35 bilhões, em 2017. Isso significa aumentar o consumo de 28 bilhões de litros de etanol para reduzir em 20% o consumo de gasolina. Entretanto, tal cenário de aumento dos biocombustíveis já vinha sendo desenhado há mais de 40 anos.

O Brasil, que desde a década de 20 já acumulava experiência da produção e uso de etanol (álcool anidro para mistura à gasolina), saiu na frente dos demais países. Os investimentos no campo da bioenergia começaram na década de 70, com a implantação do Programa Nacional do Álcool (ProÁlcool), voltado para a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Em 1975, o programa se consolida como alternativa capaz de diminuir a vulnerabilidade energética do país, dando início, assim, à revolução no setor dos biocombustíveis.

Durante o ProÁlcool, fontes de matéria-prima como a mandioca e a batata-doce, entre outras, foram cogitadas para a produção de etanol. Contudo, os projetos nessas áreas pouco avançaram, muito provavelmente em razão de algumas limitações agrônômicas, dentre as quais a produtividade e a incidência de pragas e doenças. Por ocasião do uso da mandioca para a produção de etanol, a batata-doce também foi escolhida como fonte promissora em razão, principalmente, do seu ciclo curto de produção (4 meses a 5 meses). Na década de 80, a destilaria Santa Maria, em Lençóis Paulista (SP), produziu etanol de batata-doce, obtendo um rendimento de 150 litros por tonelada de raiz. Em 1978, os pesquisadores do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Divisão de Açúcar e Fermentações, obtiveram em condições laboratoriais um rendimento médio de 158 litros de álcool por tonelada de raiz.

Em função desses resultados, essa cultura se mostrou promissora para a fermentação alcoólica – assim como a mandioca, o sorgo e a cana-de-açúcar – por apresentar em sua composição 20% de carboidratos fermentescíveis, o que otimiza a concentração de enzimas, proporcionando, assim, grande economia no processo. Entretanto, apesar dos pontos fortes, havia um gargalo tecnológico que limitou – praticamente excluiu – essa cultura da matriz bioenergética. Isso ocorreu em função da sua baixa produtividade agrícola, que na época girava em torno de 11 toneladas a 13 toneladas por hectares.

No Brasil, a batata-doce, considerando o seu potencial, foi pouco estudada em termos de melhoramento, com o registro de alguns programas iniciados na década de 50. Na realidade, salvo raras exceções, foi uma cultura esquecida pelos órgãos de pesquisa e de fomento.

2 Premissas para a busca de novas fontes de matérias-primas

A busca por novas fontes de matérias-primas para produção de etanol deve ser realizada dentro de um cenário que envolve três vetores fundamentais. O primeiro a considerar seria o tipo da cultura, seu potencial energético, ou seja, sua capacidade

de transformar energia solar em energia química. O segundo diz respeito ao poder de adaptação da cultura escolhida às condições de solo e clima sobre as quais ela será, de fato, utilizada no processo de produção de etanol. Nessa situação, devemos observar, principalmente, o valor da terra (solo), onde a cultura será implementada, e os possíveis impactos produzidos no ambiente, desde o plantio até a colheita. Um outro ponto fundamental dessa questão é a obtenção de uma alta produtividade em condições de solo de baixa a média fertilidade. O terceiro vetor a ser considerado são os resíduos produzidos, ou seja, a qualidade e quantidade desse resíduo, os impactos ambientais e/ou seu destino final.

Fundamentado nesses parâmetros, um grupo de pesquisa da Universidade Federal do Tocantins - UFT acabou por escolher a cultura da batata-doce, em 1997, como fonte para produção de etanol. Ela é uma raiz tropical, sendo aceita de forma geral como originária do sul do México ao norte da América do Sul – portanto, bem adaptada às condições de solo e clima diversificados do Brasil. É uma das plantas mais eficientes na conversão de energia solar em química. Um dos pontos fortes dessa cultura é a sua rusticidade, sua elevada capacidade de produzir em solos onde não seria possível produzir outras culturas mais exigentes.

Além dessa característica, uma vantagem competitiva da batata-doce é o seu curto ciclo de produção (5-6 meses), permitindo que sejam conduzidas duas safras por ano. Talvez um dos pontos fortes dessa cultura seja a sua vocação natural voltada para pequenas e médias propriedades. Em função de sua rusticidade e das exigências de terras de baixa a média fertilidade (preços menores) e do ciclo curto, essa é uma planta que se enquadra perfeitamente no sistema de agricultura familiar.

Todos os tratamentos culturais, desde o plantio até o processamento do etanol, se encaixam no modelo familiar de produção. Esse fato foi decisivo para a escolha dessa matéria-prima, uma vez que a cana-de-açúcar, que já vinha sendo estudada há mais de 30 anos no Brasil, com o processo de produção de etanol mais que consolidado, está voltada para a agricultura de larga escala, feita em grandes propriedades.

O programa de melhoramento genético da batata-doce, que contou com apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia, através do CNPq, com o propósito claro de explorar a variabilidade da cultura para a produção de etanol, começou a ser desenvolvido no Tocantins a partir de 1997-2007. Alguns anos depois, duas cultivares foram lançadas destinadas para o consumo *in natura* (Palmas e Canuanã), com resistência aos nematóides, insetos de solo, e com alta produtividade agrícola. O objetivo para indústria, contudo, ainda não tinha sido alcançado e, por essa razão, tem-se a continuidade do programa de melhoramento dessa cultura.

Nos últimos dez anos, 102 clones de batata-doce da coleção da Universidade Federal do Tocantins foram avaliados, sendo selecionadas dez cultivares com elevada produtividade, alto teor de amido, resistência aos nematóides das galhas e tolerância aos

insetos de solo. Os materiais selecionados apresentaram produtividade variando entre 28 t/ha a 65 t/ha para as condições do estado do Tocantins, com teores de amido entre 24% a 30%. Esses resultados evidenciam uma superioridade em termos de produtividade entre 154% a 400% em relação à produtividade obtida na década de 70, quando a batata-doce foi utilizada para produção de etanol e depois excluída em função de seu baixo rendimento agrícola.

3 A opção pela batata-doce como matéria-prima potencial para produção de etanol

O cultivo da batata-doce está distribuído em todo país. Isso se deve, além da riqueza nutricional, à sua capacidade de produção em solos com baixa a média fertilidade. É uma hortaliça típica das regiões tropicais e subtropicais, que apresenta custo de produção relativamente baixo, com investimento mínimo e preços nem sempre atrativos para os produtores. Esta situação é válida para a batata-doce destinada à mesa. Neste caso, o que se verificou nos últimos cinco anos (2003-2007) foi uma redução de 42% do volume comercializado no CEAGESP. Neste mesmo período houve também uma redução de 58% nas exportações de batata-doce e outros tubérculos. Este fato acaba por corroborar uma tendência que a batata-doce apresentou no período de 1970-2000, onde houve uma drástica redução na área plantada.

Em 1970 o Brasil tinha uma área próxima a 180.000 há, em 2000 reduziu para aproximadamente 50.000 ha e segundo dados do IBGE, em 2002 a cultura da batata-doce ocupava uma área de 43.959 há. Estes fatos refletem a falta de assistência técnica para os produtores e os preços declinantes das últimas décadas. Entretanto, com a perspectiva da utilização da batata-doce para produção de etanol, este cenário negativo pode mudar drasticamente, com uma vantagem real para os pequenos produtores que tradicionalmente cultivam a raiz.

A batata-doce está entre as culturas mais importantes do mundo, com produção anual superior a 133 milhões de toneladas, ocupando o quinto lugar entre as culturas com maior peso fresco em países em desenvolvimento, depois do arroz, trigo, milho e mandioca. Cultivada em mais de 100 países em desenvolvimento, essa hortaliça encontra-se entre as cinco principais culturas produzidas em mais de 50 desses países (INTERNATIONAL POTATO CENTER, 2006).

No quadro mundial, os maiores produtores de batata-doce, nos anos de 2000 a 2005, foram: China, Uganda, Nigéria, Indonésia e Vietnã (FAO, 2006). A China destaca-se como o maior produtor, chegando, em 2005, a uma safra de 107 milhões de toneladas (equivalente a 82,8 % da produção mundial). No mesmo ano, o Brasil ocupou o 18º lugar entre os maiores produtores.

No entanto, na América do Sul, o Brasil surge como o principal produtor, contribuindo

do com 538.503 mil toneladas, obtidas em uma área estimada de 48 mil hectares, o que nos dá uma produtividade média nacional de 11,2 t/ha (FAO, 2006) – uma média muito baixa para que seja utilizada de forma competitiva na indústria do etanol. Para este fim, é fundamental que seja desenvolvido um novo sistema de produção para a cultura da batata-doce de forma a permitir a sua competitividade com outras fontes de matéria-prima utilizadas hoje no mundo (cana-de-açúcar, milho, sorgo, mandioca, beterraba etc.). Por esta razão a equipe da UFT se dedicou seus últimos dez anos a gerar novas cultivares e a adaptar um novo sistema de produção para a cultura, de modo a dar sustentabilidade comparativa e competitiva à produção de etanol a partir da batata-doce doce.

Entre as alternativas de processamento industrial da raiz da batata-doce estão: fabricação de tecidos, papel e cosméticos, adesivos e glucose; produção de farinha, flocos desidratados pré-cozidos, produtos congelados, fécula, açúcares e xaropes, corantes e álcool.

As raízes também podem ser empregadas na alimentação animal *in natura* ou processadas. Emprega-se na forma de raspa integral (picada e desidratada), farinha de raspas (raspa moída), *pellets* (extrusão da farinha de raspas) e farelo de fécula (bagaço da extração do amido). Podem compor rações em misturas, inclusive com silagem. As raízes encontram boa aceitação por parte dos criadores de gado de corte, de leite, suínos, ovinos e aves.



Foto 1: Viveiro de produção de mudas das cultivares de batata-doce desenvolvidas pela Universidade Federal do Tocantins – UFT (1997-2007), próprias para produção de etanol.

Algumas das vantagens da cultura da batata-doce como matéria-prima potencial para produção de etanol na região Norte do país, considerando as adaptações tecnológicas, também podem servir para outras regiões brasileiras:

- É cultura tradicional do Brasil entre os pequenos produtores;
- É menos exigente em fertilidade e mais resistente às pragas e doenças;

- Apresenta uma boa tolerância à seca, uma vez estabelecida;
- Apresenta um ciclo de produção curto (4 a 6 meses);
- Permite a utilização de mão-de-obra familiar, melhorando, assim, o nível socioeconômico das famílias rurais;
- É uma cultura pouco poluente, uma vez que não há necessidade da queima das ramas para colheita;
- A existência de equipamentos e tecnologia nacionais de processamento permite, por exemplo, que com uma tonelada de raízes frescas possam ser produzidas entre 150 litros a 190 litros de álcool carburante, ficando os resíduos industriais para serem utilizados como ração animal.

4 Síntese dos resultados obtidos com o estudo e avaliação da batata-doce como fonte de matéria-prima para produção de etanol (1997 – 2007)

Entre 1997 e 2007, foi possível selecionar, dentre os 102 clones coletados na região Norte, dez cultivares promissoras para a produção de etanol, com elevado teor de amido, produtividade, resistência aos nematóides das galhas e insetos de solo. As cultivares Duda, Amanda, Ana Clara, Bárbara, Beatriz, Julia, Livia, Marcela e Carolina Vitória se mostraram muito bem adaptadas às condições de solo e clima do Tocantins (Tabela 1). Com ciclo de produção variando de 4 a 6 meses, essas cultivares podem representar uma boa alternativa para a agricultura familiar, com a possibilidade de implantação de miniusinas de álcool combustível com capacidade de produção de 6.402 litros até 10.542 litros de etanol por hectare. Essas cultivares apresentam um teor de proteína que pode variar de 3,9% a 4,8%. Esse teor é importante no processo de produção de etanol e, principalmente, na obtenção de “resíduos”. Cada tonelada de raiz de batata-doce processada gera 170 kg de resíduos, que não constitui problema para o meio ambiente, pois não é poluente; na verdade, é um produto importante, com 17 a 23% de proteína, o que permite afirmar que estamos produzindo, a custo zero, uma ração com excelente qualidade protéica e palatabilidade para gado de corte, leite e alimentação de suínos, entre outras criações.

Um outro estudo realizado pelo grupo foi o levantamento do custo de produção e a definição sobre a produtividade necessária para se atingir a viabilidade da implantação de miniusinas para produção de etanol.

TABELA 1 - SELEÇÃO E AVALIAÇÃO DE DEZ CULTIVARES DE BATATA-DOCE PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NAS CONDIÇÕES DO ESTADO DE TOCANTINS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS – UFT (1997-2007).

	(T/ha)	(%)	(Litros/ Ton.)	(Litros/ha)	(%)	(mês)	de solo*
1. Duda	65,50	24,4	161,04	10.467,00	40,44	6 - 7	Tardia 1,8 Roxa Branca
2. Amanda	46,70	21,4	141,24	6.595,00	32,35	4 - 5	Precoce 2,2 Branca Creme
3. Ana Clara	45,70	23,4	154,44	7.057,90	35,42	6	Médio 1,4 Rosada Creme
4. Beatriz	43,00	26,2	172,92	7.435,92	33,24	6	Médio 3 Branca Creme
5. Julia	40,56	24,6	162,36	6.585,32	37,30	4 - 5	Precoce 2,7 Branca Branca
6. Bárbara	37,70	23,2	153,12	5.772,62	33,23	6 - 7	Tardia 2,2 Roxa Creme
7. Izabela	37,20	18,8	124,08	4.615,77	28,56	4 - 5	Precoce 2,4 Branca Creme
8. Marcela	36,80	22,2	146,52	5.391,93	33,72	6	Médio 2,4 Rosada Creme
9. Lívia	36,40	25,1	165,66	6.030,02	36,30	6	Médio 1,6 Rosada Creme
10. Caroli- na Vitória	32,17	30,2	199,32	6.412,1	40,88	6 - 7	Tardia 1,2 Roxa Branca

Resistência a insetos de solo – foi atribuída uma escala de notas para classificar as cultivares quanto à resistência: Resistente (R): 1-2; Moderadamente resistente (MR): 2-3; e Suscetível (S): 4-5.

Quanto ao custo de produção da batata-doce, devem ser observadas duas situações: a primeira, sem irrigação, sobre a qual teríamos um custo de R\$ 2.038,60 por hectare. Para o caso de se utilizar irrigação, o valor sobe para R\$ 2.688,60 por hectare, sem considerar o investimento fixo do conjunto de irrigação (equipamentos). Um dado essencial para a agricultura familiar é quanto ao seu custeio. Para essa situação, o custo cai para R\$ 1.038,60, pois neste caso considerou-se que cada família pode cuidar de até três hectares, dedicando-se apenas dois dias por semana.

Um outro dado importante seria o valor pago pelas miniusinas por cada tonelada de batata-doce. Considerando que um produtor utilize uma das cultivares tocantinenses que produza 40 t/ha, com valor calculado pago pela indústria ao produtor de R\$ 65,00 por tonelada, cada família poderá obter de receita, por hectare, o valor de R\$ 2.600,00, o que implicaria um lucro obtido por família de R\$ 1.561,40.

Para o caso de produção de áreas maiores, vale ressaltar que a mecanização poderá reduzir o custo em 40% por hectare.



Foto 2: “Resíduo” obtido após a obtenção do etanol de batata-doce (170 kg de material seco com 17 a 23% de proteína) – co-produtos.



Foto 3: Cultivar de batata-doce desenvolvida pela UFT, própria, para a obtenção de etanol, 170 litros/tonelada de raiz.

5 Desenvolvimento do bioprocesso para produção de etanol a partir da batata-doce

Considerando os resultados obtidos inicialmente, na década de 70, por Araújo et al (1978), e mais recentemente por Souza (2005), com a farinha das raspas de batata-doce obteve-se um meio hidrolisado a partir de um processo fermentativo do tipo descontínuo, com células imobilizadas. Para esse procedimento, foram obtidos 159,6 litros de etanol por tonelada de raiz. Entretanto, quando Souza (2006) realizou o mesmo procedimento, retirando apenas o suporte de imobilização celular, verificou-se uma produção de 134,2 litros de etanol por tonelada de raiz.

Realizando os estudos no Tocantins, a equipe utilizou a batata-doce *in natura* no processo de produção de etanol e obteve uma produtividade por tonelada de raiz de até 10,1% superior aos valores descritos por Souza (2005) (células imobilizadas) e 32,3% superior em relação ao processo de fermentação com células livres, obtido por Souza (2006).

Os rendimentos de 152 litros a 177,5 litros de etanol absoluto por tonelada de raiz revelam que o método em que se utiliza a raiz *in natura* é o mais promissor. Segundo Pereira Jr.; Ferreira; Alves (2004), também foi comprovado que a necessidade de fortificação do meio hidrolisado de batata-doce no processo fermentativo de produção etanólica é desprezível. Com isso, a questão econômica de processos de fermentação alcoólica torna-se menos onerosa, diferentemente, ainda, da cultura da mandioca, que apresenta um baixo conteúdo de nitrogênio (no meio hidrolisado), o que leva a adição de nutriente ao reator durante a fermentação visando manter o crescimento normal dos microrganismos. Portanto, trata-se de um processo desenvolvido e avaliado com

menores custos, podendo subsidiar estudos para a implantação de miniusinas para a produção desse importante biocombustível.

Atualmente no Laboratório de Sistemas de Produção de Energia Renovável (LASPER) da Universidade Federal do Tocantins - UFT, tem-se obtido resultados importantes durante o bioprocessamento, como por exemplo uma enzima Z capaz de acelerar o processo de fermentação e reduzir o tempo de 36 para 24 horas, e ao mesmo tempo obtendo um rendimento de 190 litros por tonelada de raiz. Estes resultados evidenciam que a tecnologia desenvolvida já está em condições de aplicação. No entanto, a otimização do processo continua exigindo uma atenção por parte dos pesquisadores da UFT, cabendo ainda melhorias e aperfeiçoamento capaz de tornar ainda mais competitiva a utilização da batata-doce para produção de etanol.

6 Considerações Finais

O etanol produzido pelas cultivares de batata-doce desenvolvidas no Tocantins - UFT pode contribuir para a implantação de miniusinas de 500 litros a 1200 litros por dia, atendendo, respectivamente, em torno de 10 a 20 famílias. Entretanto, usinas maiores (5 a 50.000 litros/dia) já são possíveis uma vez que as máquinas agrícolas capazes de realizar operações como cultivo, adubação de plantio e cobertura e colheita mecânica já foram desenvolvidas.

Além disso, os resíduos resultantes do processo de produção de álcool da batata-doce são passíveis de reutilização, sendo que a parte sólida pode ser empregada na alimentação animal como fonte de proteína (17 a 23%) devido à presença da biomassa microbiana resultante da fermentação. Para cada hectare de batata-doce, com produtividade de 40 t/ha, podem ser produzidos 6.400 kg de uma ração com alto valor concentrado. Assim, para qualquer modelo de agroindústria, esse “subproduto” ou mais precisamente co-produto (*ver figura 1*) teria um custo zero; mas, para a agricultura familiar, em especial, a integração do sistema agroindustrial com a pecuária pode promover a tão procurada sustentabilidade econômica, social e ambiental.

Há que se considerar que, por ser um etanol de elevada qualidade físico-química, ele pode ser aproveitado não só para álcool combustível, mas como álcool neutro ou fino, sobretudo, para a indústria de bebidas, de cosméticos e farmacêuticos. Vale lembrar que nesta situação o valor agregado do litro deste etanol produzido tem valor cinco vezes superior ao do mercado carburante.

Esse é um quadro de riqueza, de acordo com o novo modelo de matriz bioenergética, desde que se implantou a crise mundial de energia. Nenhum país reúne tantas condições favoráveis ao desenvolvimento de ações voltadas para bioenergia. Essa vocação, pioneira no Brasil, pode ser mais bem aproveitada se levarmos em conta que a nossa matriz de bioenergia tem de ser diversificada, pois as condições brasileiras permitem

possibilidades bastante variadas de matérias-primas, uma vez que as condições de clima, solo, altitude e fotoperíodo são muito variadas em todo o Brasil.

Por último, deve-se imaginar que a tecnologia não tem caráter estático, sendo, ao contrário, essencialmente dinâmica e competitiva, de maneira que, para manter a liderança, é preciso estar sempre pronto para dar um passo à frente, ou seja, não só usar a criatividade, mas, acima de tudo, inovar. Nesse caso, não se pode dar um passo a frente sem fortalecer o vetor da Ciência, Tecnologia e Inovação.



Foto 4: Miniusina produtora de etanol, a partir da batata-doce, instalada na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins – capacidade 300l/dia. Campus de Palmas, Tocantins, 2007.

O resultado deste trabalho está sendo aplicado no projeto “Batata-doce: bioenergia para a agricultura familiar”, realizado pela Universidade Federal do Tocantins, financiado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, através da Secretaria de Inclusão Social, com o objetivo de permitir a aplicação e melhorias aos pequenos produtores rurais existentes no assentamento do projeto São João, com vistas a criar condições sustentáveis para que os mesmos possam produzir batata-doce e obter de etanol neutro. Desta forma, um pequeno pólo de produção está sendo implantado de maneira a servir como um piloto demonstrativo para outros produtores, criando alternativa real de fixação do homem ao campo e gerando riquezas com sustentabilidade.

A implantação desse projeto contribuirá de forma efetiva para os programas governamentais, atendendo também ao que dispõe as diretrizes de políticas de agroenergia, do governo federal, à medida que possibilita executar políticas de cunho social, ambiental e econômico, além de aumentar a participação de energias renováveis na matriz energética do Brasil a partir do desenvolvimento de biocombustível limpo e renovável.

O processo de produção de etanol da Batata-doce, via fermentação úmida, origina co-produtos de elevado valor agregado.

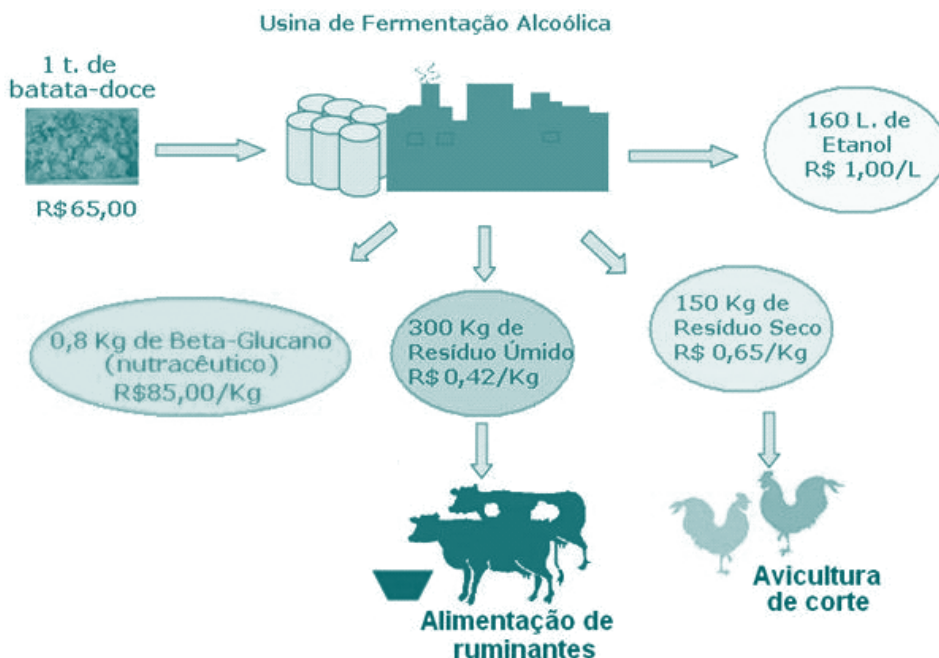


Figura 1: Obtenção de co-produtos e suas potencialidades após o processo de produção de etanol.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, N. Q.; CASTRO, H. F.; LEAL, J. L. S.; SALLES FILHO, M.; ESTEVES, A. M. L.; COSTA, F. A.; ARAÚJO, I. M. C.; SALLES, N. G. **Batata-doce**: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol. [s.l.], 1978.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS OFFICIAL - AOAC. **Methods of analysis of the Association of official Analytical Chemists**. 12th ed. Washington, 1975.

CEREDA, M. P. Hidrólise enzimática de amido de mandioca para elaboração de álcool. 2005. **ABAM Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca**, Paranavaí, PR, ano IV, n. 13, jan./mar. 2006. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista/revista13/ceteagro.php>>. Acesso em: 14 ago. 2006.

CEREDA, M. P.; WOSIACK, G.; CONCEIÇÃO, F. A. D. Caracterização físico-química e reológica de cultivares de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, n. 2, p. 61-77. 1985.

CORTEZ, L. A. B.; PEREZ, L. E. B. Experiences on vinasse disposal part III: combustion of vinasse-# 6 fuel oil emulsions. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 14, n. 1, mar., 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Statistical databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 3 set. 2006.

GUARNIERI, L. C.; JANNUZZI, G. M. Proálcool: impactos ambientais. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, n. 2, 1992.

INCRA; FAO. **Novo retrato da agricultura familiar**: o Brasil redescoberto. Brasília, 2000. 74 p.

INTERNATIONAL POTATO CENTER. **CIP sweetpotato facts**. Disponível em: <www.cipotato.org>. Acesso em: 28 abr. 2006.

PEREIRA JR., N.; FERREIRA, V.; ALVES, D. G. **Tecnologia de bioprocessos**: ênfase em aproveitamento de materiais amiláceis para produção de etanol. Palmas: UFT/LASPER, 2004. (não publicado)

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A. (Org.). **Batata-doce**: instruções técnicas do CNPHortaliças, 7. 3 ed. Brasília: EMBRAPA, 1995. 18 p.

SOUZA, A. B. **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto a atributos agrônômicos desejáveis**. Disponível em: <<http://www.editora.ufla.br/revista/24-4/art02.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2002.

Produção de Etanol Combustível pela Hidrólise Enzimática

Carlos Eduardo Vaz Rossell

Mestre e Doutor em Engenharia de Alimentos – UNICAMP

Gislaine Zainaghi

Mestre em Engenharia de Produção – USP

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar a tecnologia de hidrólise, com ênfase na rota da hidrólise enzimática. A matéria-prima para a hidrólise são os materiais lignocelulósicos que são transformados em açúcares fermentescíveis empregados na produção de etanol. No Brasil, o bagaço da cana-de-açúcar é a biomassa celulósica que atualmente vem sendo a mais utilizada como matéria-prima nas pesquisas em desenvolvimento. Assim, são abordadas suas características e o potencial ainda a ser explorado. A estrutura do texto foi desenvolvida a partir da colocação de conceitos básicos, mostrando todas as etapas envolvidas durante o processo de hidrólise.

1 Introdução

A necessidade de produção de combustíveis a partir de biomassa, chamados biocombustíveis, é justificada pelo preço do petróleo e, principalmente, pela necessidade de controle do aquecimento global do planeta, causado pelo aumento da emissão de CO₂ na atmosfera, decorrente do uso de combustíveis fósseis. Entre os biocombustíveis está o etanol, produzido no Brasil a partir da cana-de-açúcar. Os Estados Unidos produzem o etanol a partir do milho e a Europa a partir da beterraba. Porém, o processo de produção de etanol que permite o melhor ganho na relação custo-benefício é o

da cana-de-açúcar, pois além do custo de produção ser o mais baixo por litro produzido, é o que possui o melhor balanço energético.

Para a produção do etanol, o processo atualmente empregado consiste na extração do caldo da cana-de-açúcar, fermentação, destilação e desidratação. O etanol obtido por esse processo corresponde a, aproximadamente, 29% do potencial de produção da cana-de-açúcar, o qual corresponde, em média, a 85 litros de etanol por tonelada de cana. A forma de obtenção do etanol, aproveitando todo o potencial da planta cana-de-açúcar, seria a partir do uso dos seus resíduos, bagaço e palha, cujo processo é denominado hidrólise. Dessa forma, excluindo o resíduo utilizado no processo de cogeração de energia, usando o restante na produção de etanol, tem-se um potencial de 210 litros de etanol por tonelada de cana.

A hidrólise consiste na conversão da biomassa celulósica em açúcares via processos químicos (hidrólise ácida) ou biológicos (hidrólise enzimática). A biomassa lignocelulósica é composta de três principais frações de polímeros: celulose, hemicelulose e lignina. O processo de hidrólise quebra as cadeias de celulose e hemicelulose, em hexoses e pentoses, respectivamente. A fermentação das hexoses e das pentoses é que permite a produção de etanol. Na composição do bagaço da cana-de-açúcar tem-se, na média, 36% de celulose e 26% de hemicelulose, as quais permitem a produção de 246 litros e 126 litros de etanol por tonelada de matéria seca, respectivamente. Assim, uma tonelada de bagaço, com 50% de umidade, tem o potencial de produção, via hidrólise, de 186 litros de etanol.

A hidrólise de materiais lignocelulósicos em geral e especificamente de bagaço é uma das alternativas para aumento de produção de etanol de maior impacto. A consolidação de uma tecnologia de hidrólise no setor sucroalcooleiro trará consigo o atrativo de aumentar a produção de etanol sem requerer um aumento da área plantada. Não menos importante é o fato de a hidrólise vir a impulsionar um aproveitamento mais racional da cana-de-açúcar, melhorando a eficiência energética do processo para gerar excedentes de bagaço e recuperando o resíduo da colheita (palha) eliminando, assim, as queimadas.

Os materiais lignocelulósicos poderão ser a fonte mais barata de açúcares fermentáveis. Infelizmente, os processos de obtenção de açúcares de arranjos tão inacessíveis, como a matriz hemicelulose-celulose-lignina, e as dificuldades para fermentar esses açúcares transformando-os em etanol, inviabilizam, até o momento, o custo de produção por essa rota. Apesar do grande esforço e os investimentos em pesquisa que estão sendo feitos para desenvolver uma tecnologia economicamente sustentável, ainda não há um processo comercial disponível. O setor sucroalcooleiro é aquele que apresenta o maior potencial para implantação comercial da produção de etanol a partir de hidrolisado de biomassa lignocelulósica. Uma vez introduzida no setor sucroalcooleiro poderá ser estendida a outros setores industriais que gerarem grandes volumes de resíduos sólidos de origem lignocelulósica.

O Brasil é um dos maiores produtores de açúcar do mundo, além de possuir um completo programa para a produção e utilização do álcool combustível tanto na forma de anidro como hidratado. Essa condição faz com que a lavoura de cana-de-açúcar tenha uma proporção vultosa em todo o Brasil. Na safra 2005/2006, a produção de cana-de-açúcar foi de 436,8 milhões de toneladas, sendo 394,4 milhões de toneladas (90,3%) correspondentes ao setor sucroalcooleiro (CONAB, 2007) e a produção de álcool total foi de 17 bilhões de litros. Esses números expressam a importância do setor na economia do país, e qualquer transferência que culmine na agregação de valor a uma etapa do processo, seja por reaproveitamento de resíduo ou por desenvolvimento de uma nova etapa, deve impactar de forma positiva a economia nacional.

Pela importância que vem tomando a produção de bioetanol e o potencial da hidrólise para aumentar a sua oferta, procurou-se aqui usar uma abordagem simplificada, focada em transmitir de uma forma compreensível os conceitos básicos para aqueles que não estão familiarizados com o tema. Dessa forma, este trabalho apresenta a tecnologia de hidrólise a partir de materiais lignocelulósicos, especificamente aqueles nos quais a transformação em açúcares fermentáveis é promovida por enzimas. Esse processo de obtenção do etanol é conhecido como hidrólise enzimática. A conversão de biomassa de natureza lignocelulósica em açúcares fermentáveis por hidrólise, seguida da fermentação dos açúcares resultantes a etanol, poderá ser uma nova rota para a obtenção de biocombustíveis alternativos, provenientes de recursos renováveis fornecidos pela agroindústria.

2 Processos hidrolíticos

Os processos em desenvolvimento para conversão da biomassa de natureza lignocelulósica em açúcares redutores e produção final de etanol podem ser agrupados em três categorias principais:

- Processos que empregam ácidos concentrados;
- Processos catalisados por ácidos diluídos;
- Processos enzimáticos.

Os processos por ácido concentrado empregam ácido sulfúrico como agente de pré-tratamento, seguido pelo estágio de hidrólise com ácido diluído. O ácido concentrado desfaz a estrutura cristalina da celulose. Assim que a estrutura celulose passa ao estado amorfo é possível a transformação completa e rápida em açúcares redutores por meio de condições não muito agressivas. O rendimento obtido é alto, porém o processo exige um investimento elevado em equipamentos. A recuperação do ácido sulfúrico exige consumo energético elevado. A operação em presença de um ácido forte provoca corrosão intensa e, conseqüentemente, problemas nos equipamentos, os quais requerem ligas especiais. A etapa de hidrólise gera subprodutos de reação indesejáveis, tais

como: ácidos orgânicos de baixo peso molecular e compostos furânicos e fenólicos, que inibem a fermentação alcoólica.

Os processos que empregam ácidos diluídos, em geral, utilizam como catalisador ácido sulfúrico diluído a 0,1% -0,7%. A hidrólise acontece em dois estágios para maximizar os rendimentos em açúcares redutores provenientes da hemicelulose e da celulose. O primeiro estágio é realizado em condições intermediárias para hidrolisar a hemicelulose, enquanto que o segundo, operando em condições mais severas, converte a celulose. São necessários estágios de pré-tratamento para desestruturar as ligações entre a celulose e a lignina, podendo ser estes: craqueio com vapor, amônia, dióxido de enxofre ou dissolução da lignina em solventes orgânicos ou álcalis fortes. As desvantagens desse processo que emprega catálise com ácidos diluídos são:

- Corrosão provocada pelo ácido que leva a um forte investimento em equipamentos de processo;
- Baixo rendimento em açúcares redutores;
- Concentrações muito baixas de açúcares no licor final;
- Conteúdo elevado de inibidores da etapa de fermentação;
- Grande demanda de energia; e
- Elevado volume de efluentes a tratar.

Os processos enzimáticos empregam celulase como biocatalisador de hidrólise. É necessário um pré-tratamento semelhante ao efetuado nos processos anteriormente descritos para a celulose estar acessível na forma de enzima. A fração de pentoses não é aproveitável com a tecnologia atualmente disponível e será necessário um grande esforço científico e tecnológico para obter microorganismos que possam realizar a fermentação alcoólica desses açúcares.

A etapa de fermentação alcoólica da fração de hexoses no licor de hidrólise é feita por uma linhagem selecionada de levedura conhecida como *Sacharomyces cerevisiae*, sendo o maior problema encontrado na inibição do metabolismo da levedura pelos subprodutos gerados durante o pré-tratamento e a hidrólise. O vinho final da fermentação contendo o etanol passa por estágios de destilação e retificação para se obter o Etanol Hidratado Carburante (AEHC) ou um estágio adicional que pode ser destilação azeotrópica ou extrativa ou absorção para obter o Etanol Anidro Carburante (AEAC). As principais barreiras aos processos enzimáticos são o custo muito elevado da enzima celulase e a baixa produtividade e rendimentos obtidos.

3 Hidrólise enzimática

A hidrólise catalisada por enzimas é a tecnologia que vem atraindo maior atenção considerando o potencial que oferece em termos de conversão da celulose em hexo-

ses. Essa transformação bioquímica é realizada por um complexo enzimático formado pelas enzimas endo 1,4 β – glucanase e exo 1,4 β – glucanase e β – glucosidades. Esse complexo enzimático promove a quebra da celulose, um polímero natural existente nos vegetais em suas unidades simples, as moléculas do carboidrato de seis carbonos glicose. A transformação acontece em condições muito menos rigorosas quando comparada com os processos de hidrólise ácida. Temperaturas da ordem de 50°C e meio ácido com um pH na faixa de 4,5-6,0 são suficientes para realizar a hidrólise.

As glucanases quebram as cadeias de celulose em celobiose, um sacarídeo formado por duas unidades de glicose. A glucosidase é responsável pela transformação final da glicose. Para a reação proceder é necessário que a celulose presente no material a hidrolisar seja facilmente acessível pela celulase. Fatores como o acúmulo dos açúcares formados na reação ou associação da enzima com outros compostos presentes no meio (desativação) reprimem a reação de hidrólise. A hidrólise enzimática requer então um pré-tratamento para desestruturar o complexo hemicelulose-celulose-lignina e deixar a celulose apta para a sacarificação. Somente nessas condições é possível atingir conversões acima de 90% da glicose presente na celulose.

O processo, até a produção do etanol, possui as seguintes etapas: pré-tratamento, obtenção da celulose, hidrólise, pré-tratamento do licor resultante da hidrólise, fermentação, destilação, retificação e desidratação.

Pré-tratamento

O estágio de pré-tratamento é primordial para obter uma conversão enzimática eficiente, sendo também responsável pela hidrólise (química) da hemicelulose. A hemicelulose é o outro polímero de carboidrato presente na matéria vegetal, um heteropolímero formado fundamentalmente por pentoses, açúcares de cinco carbonos como a xilose e a arabinose, hexoses como a glicose, manose e galactose e ácidos urônicos. Os pré-tratamentos correntemente usados são o tratamento com vapor e com ácidos diluídos.

No tratamento com vapor, conhecido como explosão com vapor, a biomassa é submetida a uma exposição com vapor vivo a uma temperatura elevada (180-240°C), por tempos de permanência curtos (1-5 minutos) e imediatamente realizada uma descompressão instantânea. O desempenho é melhorado quando o material recebe uma impregnação prévia com ácido sulfúrico diluído ou com vapores de dióxido de enxofre. Esse tratamento combinado permite a hidrólise e a solubilização completa da hemicelulose, com baixa formação de furfural. O catalisador ácido traz a vantagem adicional de diminuir a temperatura de processamento para o intervalo 150-200°C, minimizando a degradação. Esse tratamento hidrolisa a hemicelulose, realiza a fusão da lignina, fragmenta os tecidos vegetais aumentando a superfície de contato para a celulase e diminui o grau de polimerização da celulose.

O tratamento com ácido diluído é realizado por aquecimento da biomassa em presença de ácido sulfúrico diluído, numa relação de 1% a 3% da biomassa seca e a temperaturas até 200°C por 10 segundos. A conversão da hemicelulose é eficiente (aproximadamente 80%) e conduz a uma alta recuperação dos carboidratos monômeros. Os materiais lignocelulósicos submetidos a esse pré-tratamento apresentaram uma fraca melhoria na hidrólise enzimática atingindo conversões superiores a 90%.

Os tratamentos com ácido diluído requerem uma combinação adequada de temperatura e tempo de reação, pois os açúcares liberados são instáveis em meios ácidos e quentes e tendem a se degradar em compostos furânicos que inibem a atividade fermentativa da levedura. A desvantagem desse tratamento está associada à necessidade de requerer um pós-tratamento de neutralização da acidez com calcário, gerando um resíduo de gesso. A recuperação do sulfato do gesso é complexa e o descarte do gesso um problema ambiental.

Obtenção da celulase

A celulase é *bio-sintetizada* por fungos, sendo o *Trichoderma reesei* o mais representativo dos fungos produtores da celulase. Industrialmente, a enzima é produzida cultivando o fungo por meio de uma fermentação aeróbica. Uma vez finalizada a fermentação, o meio de cultura é recuperado, removida a massa de microorganismos e estabilizado com um conservante. Esse preparado de celulase é empregado como catalisador da hidrólise.

No estágio atual da tecnologia, os preparados enzimáticos obtidos são muito pouco ativos, fato que leva a uma concentração de celulase mínima. Como são necessárias grandes quantidades de celulase para converter a celulose, rapidamente, o custo desse preparado incide fortemente na formação do custo de produção de etanol pela hidrólise enzimática, não podendo o processo ser levado à prática industrial. Este assunto é objeto de inúmeras pesquisas em biotecnologia, que estão sendo realizadas no mundo, visando atingir uma celulase mais ativa e a menor custo.

Hidrólise

A hidrólise propriamente dita é realizada suspendendo e agitando o material lignocelulósico num meio aquoso (5% a 10% de matéria seca) ao qual é adicionada a enzima. A transformação da celulose em açúcares para atingir conversões de 98% requer, atualmente, tempos de reação de 100 horas -150 horas, estando prevista uma redução desse tempo nos próximos 10 anos para 48 horas e gradativamente atingir menos que 24 horas. A transformação é feita em batelada em tanques agitados. Quando completada a reação, a enzima não é recuperada. Uma alternativa a esse processo é a hidrólise conjunta com a fermentação alcoólica. Nesse processo, organismos capazes de fermentar os açúcares a etanol metabolizam a glicose formada, eliminando parte da

inibição e acelerando a etapa de hidrólise.

A sacarificação e fermentação simultâneas estão sendo estudadas intensamente, procurando desenvolver microorganismos que consigam fermentar os açúcares em etanol numa condição próxima à ótima para realizar a reação enzimática ou desenvolver microorganismos capazes de biossintetizar a celulase e fermentar os açúcares formados. Enquanto a hidrólise e fermentação em separado é um procedimento testado em escala semi-industrial, os processos simultâneos estão em estágio de desenvolvimento em laboratório.

Do pré-tratamento até a hidrólise, por serem feitos em condições de temperatura elevada e pH ácido, é ocasionada uma decomposição dos açúcares e da lignina. Embora essa decomposição seja pequena, origina compostos furânicos e ácidos orgânicos resultantes da decomposição dos açúcares e fenólicos da decomposição da lignina, que inibem o metabolismo das leveduras na fermentação alcoólica.

Pré-tratamentos do licor resultante da hidrólise

Tem por propósito a remoção dos inibidores do metabolismo das leveduras num nível que não prejudique a fermentação alcoólica. Os procedimentos possíveis são: extração com solventes, evaporação e destilação, tratamentos de precipitação com hidróxidos alcalino-térreos e adsorção em carvão ativo ou vegetal e zeólitos.

Uma alternativa a esses tratamentos é o processo de diluição do licor de hidrólise com outros mostos açucarados. Dessa forma, os inibidores são diluídos num nível em que não afetam a atividade fermentativa dos microorganismos. Essa técnica, aplicada nas instalações industriais que operaram na Rússia, está sendo empregada no Canadá em escala piloto e proposta nos processos em estudo no Brasil.

Fermentação alcoólica dos carboidratos obtidos da hidrólise

A fermentação da glicose é um processo completamente estabelecido. Não existe microorganismo mais apropriado que a levedura *Sacharomyces cerevisiae* que, pelo seu emprego intensivo em fermentação industrial, já passou por um processo de seleção natural, apresentando os melhores desempenhos em conversão de glicose em etanol, em produtividade e em tolerância alcoólica. Desde que os impactos negativos dos inibidores sejam controlados, a fermentação acontece sem maiores problemas.

Com relação à fermentação das pentoses, poucos microorganismos possuem a capacidade de fermentar estas a etanol. O desempenho dos microorganismos é muito limitado, a fermentação é muito lenta e apresenta baixa tolerância ao etanol. A transformação das pentoses em etanol é fundamental para atingir uma tecnologia eficiente de hidrólise, com altos rendimentos em etanol. Não há expectativa de existir, no curto prazo, tecnologia disponível. As linhas de pesquisa em andamento são:

- Procedimentos de seleção e melhoramento de leveduras que fermentam naturalmente as pentoses em etanol, como *Pichia stipitis*, *Candida shehatae* e *Pachysolen tannophilus*;
- Desenvolvimento de linhagens recombinantes de *Sacharomyces cerevisiae* para metabolizar as pentoses;
- Seleção e desenvolvimento de linhagens recombinantes de bactérias mesofílicas tais como *Zymomonas mobilis*, *Escherichia coli* e *Klebsiella*; e
- Seleção de bactérias termofílicas que fermentam as pentoses tais como *Thermoanaerobacter ethanolicus* e *Clostridium thermohydrosulfuricum*.

Para realizar a fermentação alcoólica de um licor contendo pentoses e hexoses, as possibilidades em estudo são fermentação simultânea ou seqüencial de pentoses e hexoses. Na fermentação simultânea, dois microorganismos que fermentam respectivamente a glicose e a xilose são cultivados em co-cultura. Em um esquema seqüencial, primeiro é fermentada a glicose e depois a xilose (ou vice-versa). Uma outra alternativa é a de separar, depois do estágio de pré-tratamento, as pentoses formadas da celulose lignina e fermentá-las em separado.

Destilação, retificação e desidratação

Os processos são os mesmos empregados no Brasil na produção de etanol da cana-de-açúcar (colmo), com pequenas alterações na configuração dos equipamentos e consumo energético significativamente maior, decorrente do baixo teor de açúcares do licor da hidrólise.

4 Bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima para a hidrólise

O advento da cultura da cana-de-açúcar para produção de etanol a partir dos açúcares extraíveis vem gerando grandes excedentes de bagaço, com potencial de serem transformados em etanol e aumentar significativamente a oferta desse combustível sem exigir um aumento proporcional das áreas de plantio. Nessa nova condição, o aproveitamento da cana (colmo) será integral.

O bagaço de cana-de-açúcar é a fração de biomassa resultante após os procedimentos de limpeza, preparo (redução por meio de jogos de facas rotativas niveladoras e desfibramento através de jogos de martelos oscilantes) e extração do caldo de cana (através de ternos de moagem ou de difusores). Não é uma biomassa homogênea, apresentando variações em sua composição, assim como na sua estrutura morfológica em função dos procedimentos de corte e de processamento industrial. No que diz respeito à sua composição, influem significativamente fatores tais como:

- Realização ou não do despalha a fogo (queima do canavial) prévio ao corte;

- Procedimentos de colheita e carregamento com maior ou menor arraste de terra, areia e resíduo vegetal, tais como corte manual, mecânico, cana picada, corte incluindo o ponteiro etc.;
- Tipo de solo onde a cana é cultivada (latossolos, solos arenosos etc.);
- Diferentes procedimentos de limpeza da cana: a seco por revolvimento em mesas, limpeza com arrasto por corrente de água, limpeza pneumática. Influem também a geometria e outros detalhes construtivos das mesas de revolvimento, assim como a relação de volume de água aplicada por tonelada de cana (caules após corte);
- Eficiência dos equipamentos de extração, que influi diretamente sobre os açúcares residuais contidos no bagaço e cujo teor de extrato etéreo é maior quanto menor a percentagem de cana submetida à queima pré-corte.

As características morfológicas do bagaço, das quais as mais representativas são as dimensões e formas das partículas, estão associadas fundamentalmente aos processos de preparo e extração do caldo. Diversos autores apresentam composições típicas para o bagaço (PATURAU, 1989; TAUPIER, 1999).

A Tabela 1 reproduz os resultados característicos segundo estudos conduzidos no Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar – ICIDCA.

TABELA 1. COMPOSIÇÃO DO BAGAÇO E DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR.

Composição (%) Base Seca	Bagaço	Fibra	Medula	Palha
Celulose	46,6	47,7	41,2	45,1
Pentosanos	25,2	25,0	26	25,6
Lignina	20,7	19,5	21,7	14,1
Organosolúveis	2,0-3,0	-	-	3,5
Aquosolúveis	2,0-3,0	-	-	-
Cinzas	2,0-3,0	-	-	8,0
Umidade	48,0-52,0	-	-	9,7

Fonte: ICIDCA, 2006.

Souza (1984) e Silva (1995) realizaram estudos muito aprofundados abordando procedimentos de deslignificação e fracionamento do bagaço para emprego como fonte de insumos para a indústria química. Nesses estudos, apresentaram dados sobre a composição das três frações que compõem o bagaço: hemicelulose, celulose e lignina. Os estudos desse grupo constituem uma referência de partida para o desenvolvimento de um processo para sacarificação da biomassa da cana-de-açúcar: bagaço integral ou suas frações fibra e medula e os resíduos da colheita folhas, pontas etc.

Souza (1984) analisou amostras de bagaço colhidas nas Usinas do estado de São Paulo e determinou sua composição química reportando um teor de lignina de 22% em massa (base seca e bagaço isento de impurezas minerais) e um teor de holocelulose (hemicelulose e celulose) de 78%. Os dados apresentados por estes autores comprovam resultados obtidos anteriormente (Paturau, 1989, Taupier 1999), assim como o fato de que tanto para hemicelulose como para celulose as variações de seus teores no bagaço são relativamente pequenas de uma variedade de cana a outra, ou de região a região.

Os estudos de Souza (1984) e Silva (1995) nos permitiram formular um bagaco padrão (Tabela 2), com uma composição química que permite quantificar o potencial de aproveitamento do bagaço na hidrólise.

A Tabela 2 apresenta a transformação estequiométrica do bagaço padrão e seu potencial máximo de produção de etanol. Para esse cálculo são considerados unicamente os açúcares redutores potencialmente recuperáveis das hemicelulose e a celulose.

TABELA 2. BAGAÇO PADRÃO (COMPOSIÇÃO CALCULADA).

Componentes	%
Glicose	19,50
Xilose	10,50
Arabinose	1,50
Galactose	0,55
Lignina	9,91
Organosolúveis	2,70
Açúcares redutores	1,85
Ácidos urônicos	1,91
Cinzas	1,60
Umidade	50,00
Hexoses totais	20,04
Pentoses totais	12,00

Para quantificar o potencial do bagaço para produção de etanol em função do avanço da tecnologia de hidrólise estabelecemos seis cenários que incorporam gradativamente aumentos da eficiência de conversão de hexoses e pentoses para hidrólise catalisada por ácidos diluídos e por enzimas e a fermentação das pentoses a etanol.

Para traçar tais cenários, empregamos os dados de performance das tecnologias de hidrólise publicados por Ogier (1999). Os cenários propostos são:

1. Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses, no estágio tecnológico atual; e

2. Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e otimização.

Tomando como referência uma tonelada de bagaço *in natura*, o impacto da introdução dos processos hidrolíticos se faz evidente. Inicialmente, com uma tecnologia medianamente otimizada, se consegue uma produção de etanol de 108 litros. Vencida a barreira da fermentação alcoólica das pentoses será possível atingir 132,2 a 149,3 litros por tonelada de bagaço.

Os resultados desse estudo são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. POTENCIAL DE TRANSFORMAÇÃO DO BAGAÇO EM ETANOL (LITROS/TONELADA DE BAGAÇO).

Cenário	Conversões previstas	Etanol Hexoses	Etanol Pentoses	Etanol Total
[1]	Hexoses:60% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5%	69,1	0	69,1
[2]	Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 78,5% - fermentação: 0% Destilação: 99,75%	94,2	0	94,2
[3]	Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75%	94,2	37,2	132,2
[4]	Hexoses: 85% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5%	97	0	97
[5]	Hexoses: 95% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75%	111,4	37,9	149,3

Considerando um excedente de bagaço de 50%, na melhor condição, com a tecnologia totalmente otimizada, será possível obter um adicional de 46,7 litros de etanol pela hidrólise, que correspondem a um aumento de 27,5% na produção da destilaria.

Ainda, esses valores poderão ser aumentados pela introdução do aproveitamento da palha, de otimizações nos ciclos de geração de energia e da possível introdução de variedades de cana de alto conteúdo em fibra.

5 Disponibilidade de bagaço (e palha) para os processos hidrolíticos

Atualmente, as usinas e destilarias não recuperam a palha, não estando esta disponível para aproveitamento. A disponibilidade de bagaço está atrelada à eficiência energética da usina. O excedente de bagaço disponível para hidrólise ou outros usos

se situa em 7% a 10% do bagaço total que é de aproximadamente 280 kg/tc. O restante do bagaço obtido no processamento da cana é empregado como combustível primário na geração de vapor e energia elétrica. Excedentes de bagaço de até 50% do bagaço obtido no processamento da cana podem ser atingidos pela otimização do sistema de produção de vapor e energia, operando com geração de vapor na pressão de 65-80 bar e empregando turbinas e geradores de alta eficiência.

Braunbeck e Cortez (2005), ao abordarem os aspectos relativos à recuperação da palha, colocam que, em média, 70% de palha devam ser recuperados. Eles colocam que a matéria orgânica restante, que fica no solo como cobertura morta, tem um impacto benéfico sobre a produtividade do canavial: traz vantagens agrônômicas, ajuda no controle de ervas daninhas e aumenta a fertilidade do solo a longo prazo. Dessa forma, considerando 30% de palha deixada no campo, tem-se ainda 83,5 milhões de toneladas de resíduos, com 50% de umidade para serem aproveitados. Uma usina com capacidade de moagem de 12.000 toneladas por dia consome 2,7 mil toneladas de resíduos para gerar energia para consumo próprio (GOMÉZ et al., 2006). O excedente de resíduo, aproximadamente 4 mil toneladas, poderia vir a ser utilizado para produção de etanol ou geração de energia elétrica. Não foram encontrados estudos que justificassem a escolha de qual produzir.

6 Inserção da produção de etanol de bagaço e palha de cana anexa à produção de etanol

Por ser um dos maiores produtores de etanol e de cana-de-açúcar, com tecnologia consolidada e custos altamente competitivos, o Brasil apresenta um ambiente muito favorável para hidrólise de bagaço e palha e conversão dos açúcares em etanol.

O modelo para o Brasil seria associado a uma destilaria de etanol, na qual seria instalada uma unidade de hidrólise anexa. Essa unidade teria como função o pré-tratamento do bagaço, a hidrólise enzimática e os pós-tratamentos do licor de hidrólise. O processamento seria continuado na destilaria convencional, na qual o licor seria adicionado ao caldo de cana tratado e pré-concentrado para formar o mosto. O processo de fermentação alcoólica, destilação, retificação e desidratação do etanol e tratamento do vinhoto seria realizado também na destilaria, agora redimensionada para atender a produção adicional de etanol.

A destilaria proveria as utilidades necessárias para operação da hidrólise: água de processo, de resfriamento, vapor e energia elétrica, assim como facilidades de estocagem de matéria-prima e etanol final. Uma destilaria padrão, com as características descritas na Tabela 4 e operando a hidrólise durante safra, poderia produzir um adicional de 560.000 litros de etanol por dia.

TABELA 4. DESTILARIA AUTÔNOMA PADRÃO.

Etapas do processo	Quantidade
Moagem	2.000.000 t/safra
Safra	167 dias
Moagem diária	12.000 tc/dia
Rendimento agrícola	71 tc/ha
Produção de etanol	1.037.000 l/dia
Área de plantio	35.000 ha

7 A abordagem do desenvolvimento dos processos hidrolíticos no Brasil

Por se tratar da hidrólise de bagaço e posterior conversão em etanol, um campo altamente estratégico, é importante analisar a participação no desenvolvimento dessa tecnologia pelos setores diretamente relacionados a ela. Os organismos de pesquisa e desenvolvimento atuantes no Brasil são:

O Projeto Bioetanol, idealizado e coordenado pelo Prof. Dr. Rogério Cerqueira Leite, do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), tem por objetivo estudar a produção de etanol por hidrólise enzimática. O projeto é composto por 14 instituições, que englobam 23 grupos de pesquisa nacionais, com colaboração de cinco instituições internacionais. As atividades do grupo são divididas em quatro grandes áreas: 1. Caracterização do bagaço e da palha – métodos analíticos padrão; 2. Produção de celulases; 3. Hidrólise e fermentação do bagaço e da palha; e 4. Análise e otimização do uso de energia – disposição de rejeitos. O principal ganho desse projeto, além dos resultados técnicos, está na integração das pesquisas e dos pesquisadores que antes trabalhavam de forma independente.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) também incentiva o desenvolvimento de estudos sobre hidrólise e produção de etanol. Por meio do Programa de Pesquisas em Políticas Públicas, a Fapesp está elaborando um diagnóstico do estado da arte da hidrólise. Os grupos de trabalho organizam *workshops* procurando identificar quais são os principais gargalos relativos à pesquisa e desenvolvimento e propostas de ações, em forma de políticas públicas para reduzir tais barreiras. As discussões são abertas para o público, a partir de uma página na Internet e sintetizadas em um artigo de referência. Em uma etapa futura, fundamentada nas recomendações dos grupos de trabalho, será lançado um edital promovendo o apoio às pesquisas em hidrólise. Em paralelo, a Fapesp está apoiando, na modalidade de Projetos de Inovação Tecnológica (PITE), a parceria entre instituições de pesquisa e empresas interessadas no desenvolvimento de processos hidrolíticos.

A Petrobras também vem desenvolvendo projetos para produção de etanol de lignocelulose, através da rota tecnológica enzimática, em parceria com três instituições de pesquisa. A matéria-prima escolhida é o bagaço da cana-de-açúcar, com uma expectativa de produção de aproximadamente 200 litros por tonelada de bagaço. Nessa estratégia, está prevista a construção de uma planta piloto para o ano de 2007 e uma planta-protótipo para o ano de 2010.

Uma empresa fabricante de equipamentos do setor sucroalcooleiro, a Dedini Indústrias de Base S.A., realiza pesquisa e desenvolvimento de processos e equipamentos voltados ao processo de hidrólise. Essa empresa desenvolve o Processo de Hidrólise Rápida (DHR), processo de hidrólise ácida diluída em presença de um solvente hidroalcoólico. O processo está atualmente em escala de demonstração e conta com o apoio financeiro da Fapesp.

A Oxiteno também lançou um programa de desenvolvimento de hidrólise e biorefinarias, aberto à parceria de organismos de P&D e com o apoio financeiro da Fapesp.

Alguns grupos empresariais vêm mostrando interesse pela hidrólise e estão se organizando para participar do desenvolvimento do processo. O setor sucroalcooleiro, detentor das matérias-primas e produtor de etanol carburante, não tem por enquanto uma participação expressiva nas ações para desenvolver e implantar essa tecnologia, embora potencialmente vá ser um dos maiores beneficiados quando a hidrólise atingir o estágio de produção industrial. A participação se limita à participação do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) nos grupos do Projeto Bioetanol e no projeto DHR junto com a Dedini.

8 Conclusões e considerações

Dada a complexidade envolvida na tecnologia de transformação do bagaço em etanol através da hidrólise, será necessário projetar e construir unidades-piloto, numa escala intermediária, para obter os dados de desempenho e para otimização do processo, e uma de escala de demonstração para verificar o desempenho do processo em todos seus estágios, validá-lo e obter as informações necessários para o projeto das futuras unidades industriais. Para tal será necessário definir as opções de processo e estabelecer um modelo para a hidrólise de bagaço para a produção de etanol como unidade anexa a uma destilaria de etanol de cana-de-açúcar compartilhando áreas, equipamentos de processo, utilidades, serviços, logística e outros.

Ainda é preciso desenvolver linhagens de levedura apropriadas para conduzir a fermentação das hexoses contidas no licor de hidrólise, desenvolver microorganismos capazes de fermentar as pentoses a etanol e otimizar os pré-tratamentos do material celulósico para melhorar a performance da etapa de conversão enzimática. Dessa forma, é preciso um complexo enzimático eficiente no que diz respeito à conversão, ciné-

tica de transformação e estabilidade da enzima. Isso irá reduzir a participação do custo da enzima e o montante dos investimentos associados ao estágio de sacarificação. O desenvolvimento da tecnologia de produção da enzima em escala industrial, para reduzir a dependência de terceiros nesse insumo, também irá contribuir para a redução do custo da hidrólise.

Com relação à sacarificação e fermentação, é preciso avaliar qual é o modelo que proporciona uma melhor relação custo-benefício para o Brasil: sacarificação e fermentação em separado ou simultâneas. Também será necessário estabelecer um anteprojeto da unidade de sacarificação anexa à destilaria, compatibilizando-o com os critérios de sustentabilidade, da não agressão ao meio ambiente (efluentes sólidos, líquidos, gasosos) e do consumo de água. Por fim, será preciso realizar uma avaliação técnica e econômica do anteprojeto para estabelecer o impacto dos investimentos, bagaço, insumos e energia no custo de produção e na rentabilidade do processo.

Cabe ressaltar a importância da criação de mecanismos para acompanhamento e exame dos pedidos de privilégio de invenção relacionados à hidrólise (patentes), depositados junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), a fim de verificar a consistência dos mesmos e a abrangência das reivindicações.

REFERÊNCIAS

BRAUNBECK, O.A.; CORTEZ, L.A.B. O cultivo da cana-de-açúcar e o uso dos resíduos. In: ROSILLO-CALLE, F; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para a produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Unicamp, 2005. p. 215-246.

CONAB. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2006/2007**: terceiro levantamento, novembro de 2006. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 06 fev. 2007.

GOMÉZ, E.O. et al. Estudos de cenários para a otimização energética e a redução do consumo de água baseados no atual modelo de produção de açúcar e álcool no Brasil. In: EVENTO COMEMORATIVO DOS 30 ANOS DA CRIAÇÃO DO PROÁLCOOL. **Anais eletrônicos do evento Etanol Combustível: balanço e perspectivas**. Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br/proalcool/anais.php>>.

INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR. Disponível em: <<http://www.icidca.cu>>. Acesso em: 21 dez. 2006.

OGIER, J.C. et al. Production d'ethanol à partir de biomasse lignocellulosique. ***Oil and Gas Science and Technology-Revue de l'IFP***, Paris, v. 54, p. 67-94. 1999.

SILVA, F. T. **Obtenção de insumos químicos a partir do aproveitamento integral do bagaço de cana**. 1995. Tese (Doutorado)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1995.

SOUSA, M.F. B. **Separação e identificação dos constituintes do bagaço de cana e sua conversão em insumos químicos pelo processo “Organosolv”**. 1984. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1984.

A Metrologia Química e o Desenvolvimento de Material de Referência Certificado para Álcool Etílico Combustível: uma Ferramenta para a Competitividade no Mercado Internacional

Vanderléa de Souza

Doutora em Química Analítica-Orgânica pela PUC-RJ

Chefe da Divisão de Metrologia Química do Inmetro

Valnei Smarçaro Cunha

Doutor em Engenharia Química pela COPPE-RJ

Responsável pelo Laboratório de Análise de Gases da Divisão de Metrologia Química do Inmetro

Janaína Marques Rodrigues

Doutora em Química Orgânica pela UFRRJ

Responsável pelo Laboratório de Análise Orgânica da Divisão de Metrologia Química do Inmetro

Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

Diretoria de Metrologia Científica e Industrial/Divisão de Metrologia Química

Resumo

Este artigo apresenta um breve histórico acerca do desenvolvimento da metrologia mundial. Aponta a ampliação das responsabilidades dos institutos de metrologia, em razão do aparecimento de novas áreas nas quais sua atuação é imprescindível. Comenta sobre a crescente necessidade de um sistema aberto, compreensível e transparente para fornecer aos usuários informações quantitativas confiáveis que sirvam de base técnica para acordos visando o comércio internacional e as regulamentações, dentro de um cenário fortemente marcado pelo acelerado desenvolvimento científico e tecnológico, a rápida expansão e integração da economia mundial, o acirramento da competição entre as empresas em todo o mundo e o agravamento das questões relativas à proteção ao meio-ambiente e à saúde humana. Em especial, este artigo também aborda os conceitos e fundamentos da metrologia química, como a rastreabilidade, os métodos primários de medição e a importância do uso de materiais de referências certificados, exemplificando as etapas necessárias para o desenvolvimento de um material de referência certificado para o álcool combustível.

1 Introdução

A metrologia, definida como a “ciência da medição”, tem como foco principal prover confiabilidade, credibilidade e universalidade às medidas. Como as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em praticamente todos os processos de tomada de decisão, a abrangência da metrologia é imensa, envolvendo a indústria, o comércio, a saúde e o meio ambiente, entre outras.

2 Metrologia: definição e histórico

A metrologia está organizada, em nível mundial, em torno do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM, “*Bureau International des Poids et Mesures*”), situado em Paris, França, criado após a Convenção do Metro, a qual foi assinada em Paris em 20 de maio de 1875, por dezessete países. Hoje, há 51 países signatários.

Ao BIPM cabe assegurar, em nível mundial, a uniformidade das medidas e sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Na Tabela 1 estão relacionadas as grandezas de base e unidades de base do SI. Em seguida estão relacionadas as grandezas de base e unidades de base do SI.

TABELA 1. GRANDEZAS DE BASE E UNIDADES DE BASE DO SI.

Grandeza	Unidade SI	
	Nome	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente Elétrica	ampére	A
Temperatura Termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de Matéria	mol	mol
Intensidade Luminosa	candela	cd

O BIPM executa sua missão em nome da Convenção do Metro e opera por meio de vários Comitês Consultivos cujos membros são os Institutos Nacionais de Metrologia (INM - ou NMI, em inglês), dos Estados-membro da Convenção do Metro. O BIPM também possui seus próprios laboratórios.

O BIPM está vinculado exclusivamente ao Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) o qual, por sua vez, responde à Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

A cada quatro anos, o CGPM reúne os membros dos países signatários da Convenção do Metro para discutir e realizar medições necessárias à propagação e ao aperfeiçoamento do SI, a estrutura atual do Sistema Métrico; sancionar resultados de novas determinações metrológicas fundamentais e adotar resoluções científicas de âmbito internacional; além de tomar decisões relevantes para o financiamento e funcionamento do BIPM.

A expansão das necessidades de padronização das grandezas que se seguiram às de comprimento e massa levou à diversificação das atividades do BIPM. Sua complexidade levou à criação de vários comitês consultivos. O CIPM estabeleceu alguns Comitês Consultivos, que reúnem especialistas em áreas específicas como consultores em questões técnico-científicas. Seus 18 membros, de países diferentes, reúnem-se todos os anos com a finalidade principal de garantir a unificação das unidades de medida.

Criado em 1993, o Comitê responsável pela Metrologia Química (MQ) é o Comitê Consultivo para Quantidade de Matéria (CCQM). Seu nome foi modificado pelo CIPM em 2001, pois anteriormente era chamado de Comitê Consultivo para Quantidade de Substância. As principais atividades do CCQM se concentram nos métodos primários de medição, na coordenação de comparações internacionais para o estabelecimento da equivalência entre os Institutos Nacionais de Metrologia e no aconselhamento do CIPM a respeito de questões referentes à MQ.

No encontro realizado em Paris, em 14 de outubro de 1999, os diretores dos INM de 38 Países-membro da Convenção do Metro e representantes de duas organizações internacionais assinaram o Acordo de Reconhecimento Mútuo (*Mutual Recognition Agreement* – MRA, na sigla em inglês) para referências nacionais de medição e para certificados de calibração e de medição. Vários outros institutos se agregaram desde então.

O Acordo de Reconhecimento Mútuo é responsável pela crescente necessidade de um sistema aberto, compreensível e transparente para fornecer aos usuários informações quantitativas confiáveis sobre a comparabilidade de serviços de Institutos Nacionais de Metrologia e fornecer base técnica para acordos visando o comércio internacional e as regulamentações.

O CIPM MRA atualmente está assinado por representantes de 67 institutos – de 45 Estados-membro, 20 associados do CGPM e 2 organizações internacionais.

3 Estrutura da metrologia mundial (CBM, 2003)

Quando se observa a metrologia nas grandes economias do mundo, pode-se identificar uma estrutura básica com três componentes principais:

- sistema de controle metrológico de caráter compulsório, em áreas sujeitas à regulamentação do Estado – Metrologia Legal;

- redes de laboratórios de calibração e de ensaios compostas por entidades privadas e públicas, de elevada capilaridade, organizadas em função: a) das necessidades do mercado, no que se refere aos serviços demandados pelos diversos setores da economia; e b) das demandas sociais, no que se refere aos setores sob a responsabilidade do Estado. Em qualquer dos casos, esses serviços devem operar dentro de regras que assegurem sua credibilidade, sua qualidade e garantam as condições de concorrência e os direitos do cliente final. Aqui, a existência de um sistema de acreditação sólido é fundamental;
- instituto metrológico nacional de direito público (em alguns poucos países é uma instituição privada, mas com controle e subvenção do Estado), que se responsabiliza pelos padrões nacionais e pela gestão e operação das funções estratégicas inerentes ao início da cadeia de rastreabilidade no país.

É justamente essa instituição metrológica, responsável principalmente pela guarda dos padrões metrológicos de referência nacional, bem como pela realização ou reprodução e disseminação das unidades de medida do SI e sua harmonização em nível mundial, que constitui a essência do “INM” de cada país. A realização dessas tarefas, por sua vez, requer elevado conhecimento científico e tecnológico, além de reconhecimento internacional, o que implica em permanente e vigorosa atividade de pesquisa científica e tecnológica, na fronteira do conhecimento. No Brasil, as funções de INM são desempenhadas pelo Inmetro.

4 Importância da rastreabilidade na metrologia

A confiabilidade das medições está fortemente associada à rastreabilidade que, segundo o VIM, é definida como:

propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

A “incerteza”, por sua vez, é definida pelo VIM como “parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando”, com as seguintes observações:

1. “O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido.

2. A incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns desses componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas

na experiência ou em outras informações.

3. Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurando, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados a correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.”

A hierarquia de rastreabilidade, no âmbito do Sistema Metrológico Mundial, é representada na figura a seguir (Figura 1).



Figura 1: Hierarquia do sistema metrológico.

A confiabilidade, em alguns casos, pode ser assegurada através da comparabilidade ou da reprodutibilidade dos resultados de medição. Para se garantir a confiabilidade das medições deve-se realizar a calibração ou ensaios dos instrumentos de medição em laboratórios acreditados pelo Inmetro, ou seja, laboratórios da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios (RBLE), os quais darão ao usuário rastreabilidade, com alta confiabilidade, garantida por um sistema de acreditação reconhecido internacionalmente. O laboratório acreditado pelo Inmetro tem a rastreabilidade estabelecida, pois seus instrumentos e sistemas de medição são rastreáveis aos padrões nacionais de referência metrológica existentes no Inmetro.

Os padrões do Inmetro são avaliados pelo seu desempenho em intercomparações em nível regional, no âmbito do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM), envolvendo os países das Américas, por intermédio do qual chega ao BIPM, que tem âmbito mundial. O Inmetro participa também de comparações-chave, coordenadas pelo próprio BIPM e, desse modo, atinge diretamente o topo da hierarquia metrológica mundial. Esta é a forma de reconhecer a equivalência entre os padrões entre todos os INM.

Porém, se o Inmetro não dispuser de um determinado padrão nacional, o laboratório por ele acreditado pode obter rastreabilidade junto a um INM de outro país, ou mesmo a um laboratório acreditado desse outro país. Nesse último caso, como alternativa, o usuário poderá, se for de sua conveniência, recorrer diretamente a um laboratório acreditado, do outro país, cujo INM disponha de padrão nacional que lhe dê a requerida rastreabilidade. Isso é possível devido ao fato de o Inmetro ser signatário do *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC, na sigla em inglês), que é uma cooperação internacional entre os vários organismos acreditadores através do mundo. Fundado há 20 anos, o ILAC foi formalizado como uma cooperação em 1996, quando 44 organismos assinaram o Memorando de Reconhecimento (*Memorandum of Understanding* – MOU) em Amsterdã. Esse memorando fornece a base para o posterior desenvolvimento de cooperação e o estabelecimento eventual de um acordo de reconhecimento multilateral entre os membros do ILAC. Tais reconhecimentos irão aumentar e facilitar a aceitação internacional de resultados de testes e a eliminação de barreiras técnicas ao comércio.

5 Especificidades da rastreabilidade na Metrologia Química (MQ)

Na metrologia química, a rastreabilidade desempenha o mesmo papel fundamental, para a confiabilidade das medições, que nas demais áreas da metrologia. Entretanto, em função das especificidades da grandeza de base da MQ, a “Quantidade de Matéria”, e de sua unidade básica, o mol, na MQ, “Métodos Primários de Medição (MPM)” e os Materiais de Referência Certificados (MRC) são instrumentos fundamentais para a rastreabilidade.

A MQ difere das demais áreas da Metrologia pela influência dos diversos constituintes do material a analisar sobre o resultado qualitativo e quantitativo da análise. Enquanto os resultados das medições físicas podem ser diretamente rastreáveis aos padrões primários, a maioria dos resultados das medições químicas exige uma validação frente ao sistema químico em estudo.

As moléculas de diferentes substâncias não são “corpúsculos”, são entidades únicas. Medições em nível molecular provocam estímulos nos analitos (mensurandos) e em suas matrizes, que em muitos casos, são permanentes.

Em linhas gerais, os materiais podem ser subdivididos, para fins de análise, em analitos (de interesse), interferentes, matriz e, o que é muito comum, solvente, onde se dissolve o material ou fração a ser analisada. Muitos analistas englobam os interferentes e matriz em uma mesma categoria. A distinção entre eles nem sempre é evidente. De modo genérico, podem ser definidos como: interferentes – substâncias presentes na amostra que afetam diretamente a eficiência ou qualidade da medida dos analitos; matriz – reunião de todas as demais moléculas ou espécies químicas presentes na amostra (excluídos, portanto, os analitos de interesse, o solvente e, dependendo do

analista, os interferentes). A matriz, em geral, perturba a eficiência e qualidade da caracterização dos analitos.

Dentro do universo das análises químicas, os problemas referentes aos efeitos de matriz e dos interferentes são complexos. A forma usual de contornar as dificuldades é o estabelecimento de materiais de referência para as diferentes situações reais. Hoje, já existem mais de 20.000 (vinte mil) materiais de referência cadastrados em bancos de dados internacionais. Como se pode notar, esses materiais, na sua essência, são substâncias, compostos e misturas químicas. São raros os casos de materiais de referência que não envolvam um conhecimento químico aprofundado para sua concepção, elaboração, certificação e uso.

Mesmo as grandezas físicas, que necessitariam de conhecimento físico adequado para o uso de Material de Referência (MR), precisam de um conhecimento químico aprofundado para sua concepção, elaboração e certificação (às vezes, também, para o uso), em especial devido à sua imprescindível pureza, o que leva a riscos de alteração ou contaminação.

6 Métodos primários, MRC e sua importância para a rastreabilidade em MQ

De modo a garantir os meios que assegurassem padronização e confiabilidade às medições em MQ, na falta do padrão físico primário do mol, o CCQM, baseado nos precedentes estabelecidos nas demais áreas da Metrologia, definiu o uso de “métodos primários de medição” como o único caminho para se estabelecer medidas confiáveis (primárias) de “quantidade de matéria”.

Dessa forma, segundo o CCQM (1998), o “Método Primário de Medição (MPM)” é definido como:

um método que possui as mais altas qualidades metrológicas, cuja operação pode ser completamente descrita e compreendida, para o qual uma completa declaração de incertezas pode ser feita em termos de unidades do SI, e cujos resultados são, portanto, aceitos sem referência a um padrão da grandeza sob medição.

Embora o CCQM ainda detalhe essa definição em dois tipos de método primário, esse aspecto não é relevante para este estudo.

A expressão “as mais altas qualidades metrológicas” está presente na definição para enfatizar alguns aspectos, como, por exemplo, que o método primário deve ter incertezas que sejam suficientemente pequenas para que os resultados possam ser usados para estabelecer a rastreabilidade ao SI. Na prática, ter as mais altas qualidades metrológicas significa ter sido realizado utilizando as técnicas mais avançadas disponíveis.

A definição de método primário é complementada pelo CCQM (1998) da seguinte forma:

medições de quantidade de matéria, para serem consideradas primárias, devem ser feitas utilizando-se um método que é específico para uma substância definida e para o qual os valores de todos os parâmetros, ou correções que dependem de outras espécies ou da matriz, são conhecidos ou podem ser calculados com incerteza apropriada.

Os métodos primários definidos pelo CCQM para serem utilizados para medição de “quantidade de matéria” são: Espectrometria de Massas por Diluição Isotópica (EMDI), Coulometria, Gravimetria, Titrimetria, DSC (Calorimetria por Escaneamento Diferencial), INAA (Análise por Ativação Neutrônica Instrumental) e CRDS (Espectroscopia por Cavidade de Anel). Alguns métodos como INAA e CRDS ainda estão sob estudo.

Assim, em princípio, toda medição em química, para estar rastreada ao SI, deveria ser feita utilizando-se métodos primários. Entretanto, se por um lado o uso desses métodos tem um altíssimo custo em equipamentos, recursos humanos especializados e conhecimento, além de serem poucos os métodos disponíveis, por outro lado o número e a complexidade das análises químicas cresce continuamente, pois é praticamente infinito o número de combinações de substâncias químicas, em diferentes matrizes (águas, tecidos humanos, solo etc.) que precisam ser analisados pelos mais diversos motivos.

Desse modo, o alto custo da utilização dos métodos primários inviabilizaria, na prática, a disseminação do uso de padrões metrológicos de medição, da MQ, nos diversos setores da economia e da sociedade que deles necessitam. É principalmente para superar este problema e viabilizar amplamente a padronização e a rastreabilidade das medições de “quantidade de matéria” (MQ) que os MRC são produzidos e utilizados.

MRC é um:

material de referência, acompanhado por um certificado, com um ou mais valores de propriedades, e certificados por um procedimento que estabelece sua rastreabilidade à obtenção exata da unidade na qual os valores da propriedade são expressos, e cada valor certificado é acompanhado por uma incerteza para um nível de confiança estabelecido.

A compreensão do conceito de MRC em MQ envolve o exame de outros conceitos, começando pelo de Material de Referência (MR):

Material ou substância que tem um ou mais valores de propriedades que são suficientemente homogêneos e bem estabelecidos para ser usado na calibração de um aparelho, na avaliação de um método de medição ou atribuição de valores a materiais.

Assim, o MRC é um MR “(...) com um ou mais valores de propriedades, e certificados por um procedimento que estabelece sua rastreabilidade à obtenção exata da unidade na qual os valores da propriedade são expressos...”. Logo, uma das características mais importantes dos MRC é que eles oferecem rastreabilidade à unidade na qual se expressam os valores das propriedades de interesse naquele MR.

A unidade mencionada na definição de MRC é uma das unidades de base das grandezas de base do SI (Tabela 1). Desse modo, em metrologia química, os MRC oferecem rastreabilidade ao mol, unidade de base de sua grandeza “Quantidade de matéria”. Isso significa que quando um MRC for utilizado “na calibração de um aparelho, na avaliação de um método de medição ou atribuição de valores a materiais” os resultados desses procedimentos terão confiabilidade metrológica, pois estarão rastreados ao mol.

Entretanto, como o mol não tem um padrão físico primário, a rastreabilidade direta de uma medição ao mol depende de esta ter sido realizada por meio de um daqueles métodos primários de medição já definidos. Logo, é fácil perceber que os MRC, em MQ, só podem oferecer rastreabilidade ao mol se forem produzidos com os processos adequados, certificados por meio de métodos analíticos também adequados e, sempre que possível, com base na utilização de algum método primário ou “padrão primário”. Esse “padrão primário” é um Material de Referência Primário (MRP).

O CCQM, em sua primeira reunião, em 1995, definiu que “um material de referência primário é aquele que possui as mais altas qualidades metrológicas e cujo valor é determinado por meio de um método primário”. Assim, dizer que um MRP possui as mais altas qualidades metrológicas significa dizer que foi produzido com as tecnologias mais avançadas disponíveis e que foi certificado por meio de métodos primários de medição, uma vez que são essas condições que garantem a um material de referência as qualidades necessárias para estar no topo da cadeia metrológica e, assim, poder ser classificado como “primário”.

Conforme apresentado anteriormente, existem poucos Métodos Primários de Medição (MPM), por isso a certificação de materiais de referência também pode ser realizada através da análise por dois ou mais métodos independentes ou ainda pela Comparação Interlaboratorial realizada por um determinado número mínimo de laboratórios de competência reconhecida.

Conforme dito anteriormente, uma das funções do CCQM/BIPM é organizar comparações internacionais. Na MQ, uma de suas especificidades é que na comparação, uma amostra referência é preparada pelo INM piloto da comparação e essa é enviada para cada INM participante. Normalmente o INM piloto é um instituto experiente na grandeza em estudo. Os resultados da comparação são discutidos em reuniões que ocorrem duas vezes por ano. O INM deverá ter como objetivo constante obter a melhor exatidão com a menor incerteza.

7 A Importância dos MRC para as Economias Mundiais

Ao longo da segunda metade do século XX, a MQ e os MRC assumiram papel de grande relevo, tanto no plano nacional como no internacional. Em consequência, nas últimas décadas do século passado, esse ramo da metrologia se estruturou em nível mundial no âmbito do BIPM.

Esse processo se deu como resposta à forte demanda por qualidade e confiabilidade das medições em Química, gerada pelo expressivo desenvolvimento da ciência, da tecnologia e da economia mundial. Essa demanda se originou, entre outros fatores, das necessidades específicas da indústria, do comércio mundial e da necessidade de gestão dos impactos causados pelo desenvolvimento industrial, sobre o meio-ambiente e a saúde, humana e animal.

Por um lado, as próprias necessidades das indústrias, como as da área Química e as de semicondutores, ampliaram aceleradamente a necessidade de medições confiáveis e em níveis de expressão cada vez menores, evoluindo, por exemplo, de “porcentagens” a “partes por bilhão”.

Do mesmo modo, o forte incremento das relações de troca também ampliou significativamente tal demanda por qualidade e confiabilidade das medições dos compostos químicos, principalmente em função da necessária comparabilidade e confiabilidade das características metrológicas dos objetos das trocas comerciais, intra e entre países. Mais recentemente, essa necessidade de qualidade e confiabilidade das medições em Química tornou-se ainda mais premente, em função das barreiras técnicas ao comércio internacional.

Considerando o estipulado pela Organização Mundial do Comércio (OMC), barreiras técnicas são barreiras comerciais derivadas da utilização de normas ou regulamentos técnicos não transparentes ou não embasados em normas internacionalmente aceitas ou, ainda, decorrentes da adoção de procedimentos de avaliação da conformidade não transparentes e/ou demasiadamente dispendiosos, bem como de inspeções excessivamente rigorosas.

Outro importante fenômeno que ampliou continuamente a exigência de qualidade e confiabilidade das medições em Química foi o próprio desenvolvimento das indústrias dessa área. Assim, a necessidade de prevenção e gestão dos impactos causados por essas indústrias sobre o meio-ambiente e a saúde, somada aos demais aspectos antes mencionados, ampliou continuamente a forte demanda por análises químicas com qualidade e confiabilidade, particularmente na segunda metade do século XX.

8 O Inmetro e a Metrologia Química

O Inmetro é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), que atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial, que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

O Inmetro, no âmbito de sua ampla missão institucional, através da metrologia e da qualidade, objetiva fortalecer as empresas nacionais, principalmente quanto à sua competitividade, por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços, bem como promover a qualidade de vida do cidadão.

Com o acelerado desenvolvimento científico e tecnológico, a rápida expansão e integração da economia mundial, o acirramento da competição entre as empresas em todo o mundo e o agravamento das questões relativas à proteção ao meio-ambiente e à saúde humana, foram se ampliando, nos últimos anos, as responsabilidades do Inmetro, em particular com o aparecimento de novas áreas nas quais sua atuação é imprescindível, como a metrologia química e a produção de MRC.

Em resposta à ampliação de suas responsabilidades, o Inmetro, no marco de suas atribuições institucionais, adotou uma série de medidas, dentre elas a implantação da Metrologia Química, que se iniciou em junho de 2000 com a criação da Divisão de Metrologia Química (Dquim) no âmbito da Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (Dimci). Em 2003, a ampliação das responsabilidades do Inmetro foi consagrada pelo próprio Conmetro, que definiu um importante conjunto de diretrizes para a metrologia brasileira, formalizadas em seu documento *Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2003-2007*.

Adicionalmente, e como reflexo e consequência dos fatores mencionados, outros desafios se colocam à metrologia. Nesse quadro, chama especialmente a atenção, como decorrência da globalização, a substituição das tradicionais barreiras tarifárias ao comércio entre nações pelas denominadas barreiras técnicas, muitas vezes envolvendo sutilezas na especificação de grandezas e processos de medição. Vale ressaltar que grande parte das barreiras técnicas está direcionada para a área de química, o que vem evidenciar ainda mais o papel fundamental da MQ nesse novo cenário.

Isto pode ser mais bem exemplificado com a questão dos biocombustíveis. À semelhança da época das crises do petróleo, na década de 1970, o mundo hoje está empenhado em encontrar uma solução duradoura para seu problema energético. A preocupação ambiental se somou à redução dos estoques e à alta dos preços dos combustíveis fósseis para valorizar as fontes renováveis e menos poluentes, tais como etanol e biodiesel.

Nesse processo, o Brasil encontra-se à frente de muitos países, pois o uso de bio-combustíveis já é uma realidade no país. Devido a esse desenvolvimento alcançado, o Brasil encontra-se com um alto potencial de exportação, haja vista o interesse crescente de vários países pelo álcool etílico combustível.

Para garantir a aceitação e credibilidade do produto no mercado externo e superar as barreiras técnicas impostas, o Inmetro estabeleceu como uma de suas prioridades o desenvolvimento de um MRC para álcool etílico anidro combustível (AEAC) e álcool etílico hidratado combustível (AEHC).

9 Desenvolvimento do MRC para álcool combustível

O Inmetro, a partir de reuniões com o setor sucroalcooleiro, iniciou em agosto de 2005 estudos visando ao desenvolvimento de um MRC para AEAC e AEHC. Dentre os vários parâmetros que compõem a especificação desses álcoois, ficou acordado inicialmente que os mais relevantes a serem estudados seriam: pH, condutividade, massa específica, teor de água e teor de álcool e em seguida, teor de acidez e cobre. A certificação deste MRC para os parâmetros pH, condutividade, massa específica, teor de água e teor de álcool está finalizada. Atualmente, o Inmetro está envolvido em dois importantes projetos em nível internacional, o primeiro deles visa à produção e certificação, em diversos parâmetros, de um MR para o álcool combustível e outro para o biodiesel, em conjunto com o NIST (*National Institute of Standards and Technology* – EUA); já o segundo é um projeto em parceria com o NIST, o NPL (*National Physical Laboratory* – Reino Unido), o IRMM (*Institute for Reference Materials and Measurements* – UE) e o NMi (*National Metrology Institute* – Holanda) que visa à produção de MRC e a organização de ensaios de proficiência para o álcool combustível e o biodiesel. Já um terceiro projeto, em âmbito nacional, visa uma série de estudos acerca do álcool combustível e do biodiesel, comparando diversos parâmetros químicos, físico-químicos e da área de materiais, a partir de diferentes fontes destas matrizes.

As etapas de certificação de um MR compreendem a caracterização do material, os estudos de homogeneidade e estabilidade e a estimativa da incerteza de medição, culminando na elaboração do certificado. Para cada uma dessas etapas são necessários estudos de pesquisa e desenvolvimento, até que se obtenha as condições consideradas ótimas para a finalidade. É importante destacar que o Inmetro participou de comparações internacionais no âmbito do SIM e do CCQM em medições de álcool etílico em água e obteve excelentes resultados.

9.1 Pesquisa e Desenvolvimento

9.1.1 Caracterização

A etapa de caracterização de um material de referência a ser certificado é onde se estabelece a forma através da qual será obtido o valor certificado da propriedade. Nesse caso, as propriedades são pH, condutividade, massa específica, teor de água, teor de álcool, teor de acidez e cobre.

9.1.2 Homogeneidade

A homogeneidade de um MRC é um dos critérios que precisam ser atendidos quanto à certificação, uma vez que há a necessidade de se confirmar se todas as frações de um mesmo lote, ou partes de um material, que está num processo de certificação sob um mesmo valor de propriedade, são homogêneas. Como na prática há um certo grau de não homogeneidade associado ao lote do material, a estimativa da incerteza sobre a homogeneidade do material tem que ser estabelecida.

9.1.3 Estabilidade

A estabilidade de um material de referência em certificação é outra propriedade que necessita ser estimada. No caso dos materiais de referência certificados, há a necessidade de serem estimados dois tipos de estabilidade: a estabilidade inerente ao transporte do MRC do produtor ao cliente e a estabilidade referente ao armazenamento do MRC, seja no produtor ou no cliente. Para se determinar essas duas condições de estabilidade, assim como as suas respectivas incertezas, estão sendo conduzidos dois estudos. Esses estudos são denominados 'estudo de estabilidade de curta duração', que visa à estimativa da estabilidade inerente ao transporte; e 'estudo de estabilidade de longa duração', que visa à estimativa da estabilidade referente ao armazenamento. Cada estudo será detalhado a seguir.

9.1.3.1 Estudo de Estabilidade de Curta Duração

Esse estudo de estabilidade tem como objetivo estimar o impacto das condições do transporte do MRC de álcool etílico combustível sobre o valor certificado do MRC, ou seja, através desse estudo será determinada a condição na qual o MRC deve ser transportado, principalmente em relação ao fator temperatura. Para tanto, algumas amostras estão sendo submetidas a duas temperaturas, sendo uma a temperatura de referência (4°C) e a outra a temperatura máxima para transporte, estimada em 50°C, pelo período de dois meses.

9.1.3.2 Estudo de Estabilidade de Longa Duração

Esse estudo de estabilidade está sendo realizado com o objetivo de se estimar o impacto das condições do armazenamento do MRC de álcool etílico combustível sobre o valor certificado do MRC, ou seja, através desse estudo será determinada a condição na qual o MRC deverá ser armazenado, principalmente em relação ao fator temperatura. Nesse estudo, será avaliada a estabilidade do MRC de álcool etílico combustível na faixa de temperatura de 20 a 25°C, pelo período de 24 meses.

9.2 Estimativa da Incerteza de Medição

Após as etapas de caracterização, estudo de homogeneidade e estudos de estabilidade, será realizada a estimativa da incerteza de medição, através da qual se estabelece o intervalo no qual o valor certificado pode estar contido.

REFERÊNCIAS

BUREAU INTERNACIONAL DE PESOS E MEDIDAS (França). **BIPM Com. Cons. Quant. Matière**, Sèvres, v. 1, 1995. Disponível em: <www.bipm.org>.

BIPM COM. CONS. QUANT. MATIÈRE. Sèvres, v. 4, 1998. Disponível em: <www.bipm.org>.

COMITÊ BRASILEIRO DE METROLOGIA. **Diretrizes estratégicas para a metrologia brasileira 2003-2007**. Rio de Janeiro, 2003.

COMITÊ INTERNACIONAL DE PESOS E MEDIDAS. **Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by National Metrology Institutes**. Paris, 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO guide 35:2006**: reference materials: general and statistical principles for certification. Genebra, 2006.

_____. **ISO Guide 34:2000**: general requirements for the competence of material producers. Genebra, 2000.

KAARLS, R. **Establishing international traceability and comparability**. [S.l.: s.n.], 2002.

KAARLS, R.; QUINN, T.J. The Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: a brief review of its origin and present activities. **Metrologia**, n. 34, p. 1-5, 1997.

MILTON, M.J.; QUINN, T.J. Primary methods for the measurement of amount of substance. **Metrologia**, n. 38, p. 289-296, 2001.



■ APLA – Referência Mundial em Desenvolvimento e Aplicação de Tecnologias em Combustíveis Renováveis

Luciano Santos Tavares de Almeida

Empresário

Secretário Adjunto da Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo

Membro do Conselho Superior do Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba

Diretor do DEINFRA – Departamento de Infra-estrutura do Centro das Indústrias do Estado de São Paulo

Resumo

As crescentes necessidades energéticas do mundo ligadas à mudança climática, atribuída ao aquecimento global, impulsionam as nações na era dos combustíveis renováveis. Nesse contexto, surge o Arranjo Produtivo Local do Álcool (APLA) da Região do Piracicaba, que congrega empresas, entidades e instituições públicas e privadas, proporcionando ao mundo inovações técnicas e revolucionárias, com equipamentos de qualidade, soluções customizadas, confiabilidade, baixo custo, além da amplitude de produtos e serviços pertinentes à cadeia produtiva dos combustíveis renováveis, tornando-se uma grande fonte de soluções no que diz respeito à geração de tecnologia para produção de combustíveis alternativos.

1 Introdução

Mesmo sendo o causador de uma trilha sanguinária de conflitos, hostilidades entre nações e mortes, o petróleo tornou-se uma das riquezas mais polivalentes e cada vez mais indispensáveis à era moderna.

A situação delicada da utilização desse ouro negro, com relação às reservas e custos, e as crescentes necessidades energéticas do mundo ligadas às mudanças climáticas – atribuídas ao aquecimento global – impulsionam a corrida exacerbada das nações ao “ouro verde”, ou seja, à era dos combustíveis renováveis.

Infelizmente, para alguns países, houve a necessidade de conhecer a escuridão para enxergar a luz, pois algumas civilizações precisaram enfrentar as catástrofes oriundas do efeito estufa para valorizar o que já havia sido descoberto há anos.

“*Ethyl alcohol is the fuel of the future*”¹, disse Henry Ford em 1906, ao inventar seu carro mais popular, o Ford T, um veículo biocombustível, movido tanto a gasolina quanto a álcool.

O Brasil foi exceção. Pioneiro na pesquisa e comprovação desses combustíveis renováveis, o país detém, hoje, a mais alta tecnologia existente na atualidade no que diz respeito à produção de “combustíveis verdes”, ou alternativos.

“Pena que não sejamos [os EUA] tão inteligentes quanto o Brasil”, diz Thomas Driedman, colunista do “*The New York Times*”, em seu artigo sobre o etanol brasileiro, publicado após sua visita à cadeia de produção de biocombustível instalada na cidade de Piracicaba, São Paulo.

Além de ser um dos principais pólos produtores e exportadores de açúcar e álcool do país, a cidade paulista de Piracicaba é um dos principais centros da indústria de base do setor sucroalcooleiro, reunindo toda a cadeia produtiva do álcool – desde a produção de cana-de-açúcar até a exportação de etanol, co-geração de energia e créditos de carbono. O município também se destaca quanto ao fornecimento de máquinas e equipamentos tanto para as atividades agrícolas como para a produção de combustíveis alternativos.

Piracicaba é detentora da tecnologia voltada ao biocombustível, ou seja, fontes de energias renováveis a partir de derivados de produtos agrícolas como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. A cidade também é sede das principais instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico voltadas para o setor sucroalcooleiro, dentre as quais: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; Pólo Nacional de Biocombustíveis; Universidade Metodista de Piracicaba; Escola de Engenharia de Piracicaba; Centro de Energia Nuclear para a Agricultura; Centro de Tecnologia Canavieira; e Centro Canagro “José Coral”, que se constitui em um centro empresarial que congrega a Associação dos Fornecedoros de Cana de Piracicaba, a Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo, o Sindicato Rural de Piracicaba e Região e a Cooperativa de Crédito Rural e Agropecuaristas de Piracicaba.

Nesse contexto, e considerando a sucessiva procura estrangeira pelos produtos, equipamentos, serviços e tecnologia brasileiros da cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro, houve a união de esforços entre entidades privadas e instituições públicas e privadas para a criação de uma sinergia capaz de consolidar esse setor da economia brasileira como referência mundial quanto à produção de combustíveis renováveis.



Figura 1. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)
Foto: Justino Lucente

2 O Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba

2.1 Origem

O Poder Público Municipal, em parceria com entidades e instituições públicas e privadas, iniciou em 2006 as primeiras ações visando à efetiva organização das empresas que compõem a cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro, de forma que pudessem atender, através de um trabalho em conjunto, as necessidades nacionais e internacionais ligadas ao setor.

Surgiu, então, o Arranjo Produtivo Local² do Álcool da Região do Piracicaba (APLA), composto por 80 indústrias, 10 usinas/destilarias, 06 instituições de pesquisa e entidades ligadas ao setor da região do Vale do Rio Piracicaba³, com a missão de fomentar e facilitar a interação dos integrantes de forma organizada e estruturada, gerando maior valor às cadeias produtivas de combustíveis renováveis e seus parceiros e contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Com o intuito de ser reconhecido como referência mundial em desenvolvimento e aplicação de tecnologias em combustíveis alternativos, o APLA possui os seguintes princípios éticos de responsabilidade social:

- contrariedade ao trabalho escravo e ao trabalho infantil;
- compromisso constante com o desenvolvimento sustentável e o meio ambiente;
- respeito e valorização da pessoa.



Figura 2. Logotipo do APLA – referência mundial em desenvolvimento e aplicação de tecnologias em combustíveis renováveis

2.2 Estrutura

A estrutura do Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba (Figura 3) foi elaborada visando à magnitude da interação entre as entidades, instituições e empresas parceiras e funciona da seguinte forma:



Figura 3. Estrutura do Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba

- *Conselho Superior* – formado por representantes do poder público Municipal, do Estadual e do Federal, e instituições ligadas diretamente ao setor sucroalcooleiro, tem a finalidade de fomentar o efetivo funcionamento do arranjo, atuando como facilitador nas ações propostas pelos demais grupos.
- *Conselho Estratégico* – formado por entidades e instituições, além de representantes dos demais Grupos de Trabalho, tem o objetivo de propor critérios para realização das ações, priorizando as previstas pelos demais grupos, criando mecanismos para tornar possível a obtenção de recursos visando ao desenvolvimento estrutural do arranjo, viabilizando, gerenciando e avaliando as contratações necessárias para a efetiva concretização das ações.
- *Conselho Técnico* – formado pelas instituições e entidades representativas da cadeia produtiva, tem a função de auxiliar nas decisões e ações através do apoio consultivo e operacional no que tange à gestão e monitoramento dos projetos.
- *Grupos de Trabalhos* – divididos entre Agrícola, Indústria e Comercial/Logística, esses GTs são formados por empresários e têm a função de discutir, propor e avaliar ações necessárias para suas áreas específicas de atuação, trabalhando por assuntos específicos e apresentando o resultado para o *Conselho Estratégico*, o qual também é provido de informações pelo *Conselho Técnico*.

Essa estrutura está diretamente ligada ao êxito das ações, espelhando a grandeza do Arranjo internacionalmente.

2.3 Projetos do APLA

O Arranjo Produtivo Local de Piracicaba tem como objetivo aumentar o faturamento real dos integrantes, atrair oportunidades de negócios, maximizar a vantagem competitiva para as empresas, fortalecer a geração de PD&I e sua aplicação no setor, promover produtos, serviços, tecnologias e competências nos mercados interno e externo e desenvolver parcerias estratégicas com instituições nacionais e internacionais, em sintonia com as demandas do mercado. Após a elaboração de um planejamento estratégico, o APLA passou a desenvolver vários projetos, dentre os quais se destacam: a) *plataforma logística intermodal de exportação do Piracicaba*; b) *padronização do álcool*; c) *programa de promoção comercial de exportações dos equipamentos, produtos e serviços das empresas do setor sucroalcooleiro*; d) *parque tecnológico*.

a) *Plataforma logística intermodal de exportação do Piracicaba*

Esse projeto prevê a instalação dos modais rodoviário, ferroviário, aeroviário, dutoviário e hidroviário, tornando a região do Piracicaba uma das únicas no país com cinco modais diferentes de carga, possibilitando a proximidade de acesso aos importantes corredores de escoamento da produção industrial e provendo agilidade no atendimento aos mercados, com significativa diminuição de custos.

b) Padronização do álcool

Através da iniciativa do Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba, que pretende alcançar o patamar de excelência internacional, superando barreiras técnicas e comerciais, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), juntamente com um dos maiores laboratórios do governo norte-americano – o *National Institute of Standards and Technology* (NIST) – e com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), iniciou a regulamentação para padronização do álcool, tanto anidro quanto hidratado, produzido no Brasil e EUA. A certificação do etanol (álcool combustível) funcionará como um selo que atestará sua qualidade ao mundo, neutralizando possíveis pressões internacionais que porventura tentem desqualificá-lo, além de transformá-lo em *commodity*⁴, tornando-o ainda mais valorizado economicamente.

c) Programa de promoção comercial de exportações dos equipamentos, produtos e serviços das empresas do setor sucroalcooleiro

No âmbito da Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil), as empresas integrantes do Arranjo Produtivo Local do Álcool decolam rumo ao mercado internacional por meio da participação em missões e feiras internacionais, disseminando conhecimento, promovendo o setor e desenvolvendo oportunidades de negócios, aumentando efetivamente a venda dos equipamentos, produtos e serviços para produção de energias renováveis. Isso vem gerando empregos e, como consequência, melhorias na qualidade de vida da população, além de divisas ao país.

d) Parque Tecnológico

Com a missão de criar ambientes de alta qualidade para as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), como impulso e auxílio às empresas no desenvolvimento de produtos competitivos no mercado global e estímulo a implantação de centros de pesquisa, o Arranjo Produtivo Local do Álcool desenvolveu o projeto do Parque Tecnológico no Município de Piracicaba, o qual terá como objetivo promover pesquisa e inovação tecnológica e estimular a cooperação entre instituições de pesquisa, universidades e empresas e suporte ao desenvolvimento de atividades empresariais.

2.4 Competências do APLA

Composto por profissionais capacitados e com larga experiência, o APLA disponibiliza, projetos, produção, comercialização, instalação e manutenção de unidades industriais completas, máquinas e equipamentos para a geração de biocombustíveis, além de tecnologia e serviços complementares no setor de combustíveis renováveis.

A geração e transferência de tecnologias agrícolas para a produção de matéria-prima utilizada na produção desses combustíveis, além de tecnologia para produção de álcool, biodiesel e co-geração de energia, são também competências do Arranjo.

A inovação técnica e revolucionária, equipamentos de qualidade, soluções, confiabilidade, baixo custo, além da amplitude de produtos e serviços disponíveis, fazem com que o APLA seja atualmente um grande fornecedor de soluções no que diz respeito à produção de combustíveis alternativos, e esta atuação já é reconhecida mundialmente.

O APLA também trabalha com outra vertente, a busca de investidores estrangeiros para investimentos no Brasil. Essa é uma das opções de negócios apresentadas a todas as Comitivas Internacionais que visitam a cadeia produtiva da região, e que traz resultados positivos ao país. Tal opção de negócio foi apresentada por ocasião da missão à América Central em 2006, quando representantes do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e do APLA visitaram os países de El Salvador, Guatemala, Panamá, Costa Rica e Honduras e nas missões comerciais realizadas na Colômbia, África do Sul e Austrália em 2007.

3 Conclusão

O Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba está despontando para o mundo de uma forma crescente e acelerada por deter a mais alta tecnologia da cadeia produtiva completa para a produção dos combustíveis renováveis, a qual complementará a utilização do petróleo ao nível mundial, proporcionando a desaceleração do aquecimento global e a diminuição das catástrofes naturais.

Os projetos já iniciados pelo APLA, assim como as ações futuras previstas, entre elas a capacitação de empresários e empregados visando à inovação tecnológica em vários segmentos da cadeia, resolverão os gargalos enfrentados atualmente pelo setor, aumentando a competitividade e vendas dos equipamentos, produtos e serviços disponíveis pelas empresas brasileiras. Da mesma forma, desenvolverão novas tecnologias para produção e uso dos derivados oriundos dos combustíveis alternativos, efetivando o setor como referência a nível mundial, gerando empregos, divisas e melhorias na qualidade de vida da região e conseqüentemente do país.

Diante da grandiosidade do Arranjo Produtivo Local do Álcool da Região do Piracicaba, não podemos deixar de agradecer a todas as entidades e instituições parceiras que, de forma direta ou indireta, dele tomam parte e por ele são responsáveis.

Notas

1. O álcool etílico é o combustível do futuro.
2. Arranjos produtivos são **aglomerações de empresas** localizadas em um **mesmo território**, que apresentam especialização produtiva e mantêm algum vínculo de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais tais como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa. (SEBRAE, 2007).
3. O Vale do Rio Piracicaba é composto por 23 municípios: Águas de São Pedro, Americana, Anhembi, Capivari, Cerquilha, Charqueada, Cordeirópolis, Elias Fausto, Ipeúna, Iracemápolis, Mombuca, Limeira, Nova Odessa, Piracicaba, Rafard, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Santa Bárbara D'Oeste, São Pedro, Santa Gertrudes, Santa Maria da Serra e Tietê.
4. Produtos de qualidade uniforme, produzidos em grandes quantidades e por diferentes produtores, cujo preço é determinado em bolsas de mercadorias.

REFERÊNCIAS

BARCELLA, C. B. Piracicaba é destaque em artigo do NYT. **Jornal de Piracicaba**, Piracicaba, Economia, p. B-1, 22 out. 2006.

CARNEVALE, L. Álcool certificado. **Gazeta de Piracicaba**, Piracicaba, Economia. p. 20. 7 dez. 2006.

ESTRELA em ascensão. **Ethanol Guide**, Kansas, p. 28-29, [2006].

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Plano Estratégico do APLA – Arranjo Produtivo Local do Álcool**. Brasília, 2006. p. 16-17.

SEBRAE. **Arranjos produtivos locais**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/br/cooperecrescer/arranjosprodutivoslocais.asp>>. Acesso em: 15 fev. 2007.

IEL/NC
Unidade de Gestão Executiva – UGE

Júlio Cezar de Andrade Miranda
Gerente-Executivo

GERÊNCIA DE RELAÇÕES COM O MERCADO – GRM

Oto Morato Álvares
Gerente de Relações com o Mercado

Ana Amélia Ribeiro Barbosa
Responsável Técnico

SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC
Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

Renata Lima
Normalização

Maria Clara
Produção Editorial

ITAIPU BINACIONAL
Assessoria de Comunicação Social

Gilmar Antonio Piolla
Superintendente de Comunicação Social – Margem Esquerda

Paulino Motter
Assistente do Diretor-Geral Brasileiro
Responsável Técnico

Coordenador
Luiz Antonio Rossafa
Diretor de Gestão Corporativa da Companhia Paranaense de Energia (COPEL)

Autores
Luiz Antonio Rossafa
Julio Marcos Campanhão
Luiz Carlos Corrêa Carvalho
Fernando Augusto Moreira Ribeiro
Frederico Ventorim
Giovani Machado
Henry Joseph Jr.
Omar Campos Ferreira
Alfred Szwarc
Márcio Antônio da Silveira
Carlos Eduardo Vaz Rossell
Gislaine Zainaghi
Vanderléa de Souza
Valnei Smarçaro Cunha
Janaína Marques Rodrigues
Luciano Santos Tavares de Almeida

Renata Portella
Revisão Gramatical

Centro Comunicação Empresarial Ltda.
Projeto gráfico e diagramação

Teixeira Gráfica e Editora
Impressão



*Confederação Nacional da Indústria
Instituto Euvaldo Lodi
Núcleo Central*

ISBN 978-85-87257-39-0



9 788587 257390