



# Etanol e Bioeletricidade

A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética

Coordenação e Organização: Eduardo L. Leão de Sousa e Isaias de Carvalho Macedo



Biomassa foi a fonte dominante de energia desde o início da civilização até meados do século XIX. Em 1850, cerca de 85% de toda a energia usada pelo homem provinha de madeira, carvão e outros produtos de origem vegetal. Ainda hoje, apesar do enorme aumento de consumo de outras fontes de energia, particularmente o petróleo, a biomassa ainda representa cerca de 10% do consumo mundial.

Infelizmente, boa parte dessa energia é usada com tecnologias primitivas nas regiões menos desenvolvidas da África, Ásia e América Latina para fins domésticos, como cozinhar e aquecer moradias. Uma das consequências dessa atividade é o desmatamento e a erosão do solo, agravando a pobreza nessas regiões. Essa situação acabou por denegrir o uso de biomassa como fonte de energia, algo usualmente associado ao subdesenvolvimento e à miséria.

Sucedo que biomassa é no fundo uma forma de energia solar e, portanto renovável, em contraste com os combustíveis fósseis, que são a principal fonte dos problemas ambientais que enfrentamos.

A solução é “modernizar” o uso da biomassa e nenhuma outra tecnologia teve, até agora, tanto sucesso quanto a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil. Etanol é um excelente substituto da gasolina e o trabalho pioneiro realizado no país nessa área desde o início do século XX – e sobretudo depois de 1975 – comprova amplamente a excelência dessa rota tecnológica.

O etanol da cana-de-açúcar substitui hoje pouco mais de metade da gasolina que seria usada no Brasil se o uso em larga escala do etanol não existisse.

Além disso, o uso de bagaço para gerar eletricidade está se tornando importante fonte de eletricidade renovável que pode atingir um nível de produção comparável à produção da usina de Itaipu até 2020.

Em nove estudos inéditos, este livro aborda todos os aspectos do esforço do Brasil para modernizar o uso da biomassa, da cadeia produtiva do setor sucroenergético ao papel do bagaço na geração de eletricidade, passando pela utilização de motores *flex-fuel* e por aspectos ambientais e sociais da questão. Trata-se de um compêndio altamente representativo do sucesso obtido pelo país, e das perspectivas do que ainda é possível realizar, para consolidar uma matriz energética que reflita a realidade já conquistada pelo Brasil.

*José Goldemberg*



Doutor em Ciências Físicas e Membro da Academia Brasileira de Ciências, José Goldemberg foi reitor da USP (1986-1991), ministro da Educação (1991-1992), presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, secretário de Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente da Presidência da República e secretário do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Autor de centenas de artigos e livros sobre física, energia e meio ambiente, recebeu em 2008 o prêmio Planeta Azul, oferecido pela Asahi Glass Foundation.

# Etanol e Bioeletricidade

A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética



unica



2010 © UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar – All Rights Reserved

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2179 – 9º andar – Jardim Paulistano – 01452-000 – São Paulo, SP – Brasil  
Tel: +55(11) 3093-4949 – Fax: +55(11) 3812-1416 – unica@unica.com.br  
www.unica.com.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Etanol e bioeletricidade : a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética / [coordenação e organização Eduardo L. Leão de Souza e Isaias de Carvalho Macedo] . -- São Paulo : Luc Projetos de Comunicação, 2010.

Vários autores.

Patrocinadores: Unica - União da Indústria de Cana-de-açúcar, Projeto AGORA

1. Agricultura sustentável 2. Agronegócios - Brasil 3. Biocombustíveis  
4. Bioeletricidade 5. Bioenergia 6. Biomassa - Energia 7. Biotecnologia agrícola  
8. Cana-de-açúcar - Indústria - Brasil 9. Etanol 10. Fontes energéticas renováveis  
11. Meio ambiente 12. Política energética 13. Recursos energéticos 14. Recursos naturais  
I. Sousa, Eduardo L. Leão de. II. Macedo, Isaias de Carvalho.

10-05729

CDD-639.981

Índices para catálogo sistemático :

1. Brasil : Etanol e bioeletricidade : Cana-de-açúcar no futuro da matriz energética :  
Agroenergia : Biotecnologia agrícola 639.981



Editora

Luc Projetos de Comunicação Ltda.

Rua Bem-Te-Vi, 333 – cj13 – Indianópolis – 04524-030 – São Paulo – SP

Fone (11) 5044 6099 – luc@lucc.com.br

www.lucc.com.br

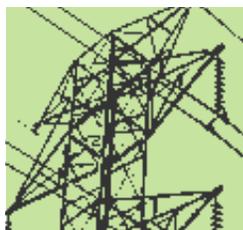
Impressão

Gráficos Burti

1ª edição: Junho de 2010

# Etanol e Bioeletricidade

A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética



Coordenação e Supervisão Editorial  
Eduardo L. Leão de Sousa  
*Diretor-Executivo da Unica*  
Isaias de Carvalho Macedo  
*Pesquisador da Unicamp*

Edição de Texto  
Oscar Pilagallo



unica

## O papel que o Brasil deve desempenhar

Este é um livro fundamental para quem tenha visão estratégica e interesse na formulação de políticas estruturadas e de longo prazo na direção de uma matriz energética definida e definitiva para o Brasil.

Ao mesmo tempo em que orienta o estudioso quanto ao futuro, o livro mostra como foi errática a atuação governamental para o setor no passado. Nem se pode dizer que houve uma estratégia para a matriz energética, e sim que as coisas foram acontecendo meio ao sabor dos sonhos e projetos dos governantes que foram se sucedendo. Quanto tempo foi perdido por causa disso, quantas oportunidades desperdiçadas, um dia a história mostrará.

Mas agora não há mais tempo a perder. O país atingiu um grau de maturidade e um nível de exposição internacional que não lhe permitem mais apenas surfar nas ondas que surgirem, por maior que seja a capacidade dos líderes nacionais de aproveitar oportunidades.

Um programa consistente para a energia é essencial para o avanço do Brasil no cenário global, e a agroenergia – com os bicomcombustíveis, bioeletricidade, alcoolquímica, e tudo o mais que vier da agricultura – tem papel relevante.

O livro aborda temas centrais, especialmente nas áreas ambiental, social e econômica, tripé da sustentabilidade, através de textos abrangentes preparados pelos melhores especialistas por setor: cada assunto é esgotado com precisão.

Por isso, gostaria apenas de, neste curto espaço, colocar um ponto adicional: o político, no sentido mundial.

As premissas são simples. Agricultura de alimentos e de fibras pode ser feita em qualquer lugar do mundo. Mesmo com pesados subsídios eventuais, qualquer país produz comida. Agroenergia não, porque depende de três fatores principais: disponibilidade de terra (com tudo que nela existe: água, nutrientes minerais), planta adequada às condições edafoclimáticas e sol.

Ora, o sol está à disposição na região entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio, onde se localizam os países menos desenvolvidos do planeta, da Ásia, da África subsahariana, da América Latina.

Portanto, esses países serão os responsáveis pela produção de agroenergia, promovendo a mudança da matriz energética global, com todos os requisitos já referidos da sustentabilidade. E mais, a agroenergia gerará riqueza, renda e também a produção de alimentos nesses países. Isso significa que a atividade permitirá aos países tropicais abastecer o mundo todo com energia – fator absolutamente indispensável para qualquer sociedade avançar – assim como gerar os bens necessários para seu próprio desenvolvimento.

Essas condições permitirão a mais extraordinária revolução no século XXI – a mudança da geopolítica global – ao diminuir as distâncias abissais existentes entre ricos e pobres, ao contribuir para eliminar a fome no mundo e, sobretudo, ao reduzir o aquecimento global.

O Brasil pode e deve liderar esse processo, ocupando um espaço formidável na história universal. Para tanto, é preciso cuidar da sua própria estratégia nacional na direção da matriz energética que o mundo todo admira e respeita. Só assim será possível conduzir os processos que dominamos para outras regiões do planeta.

*Roberto Rodrigues*

Roberto Rodrigues é engenheiro agrônomo e agricultor, professor de economia rural da Unesp/Jaboticabal, coordenador do Centro de Agronegócio da FGV e presidente do Conselho do Agronegócio da Fiesp. Foi presidente da Organização das Cooperativas Brasileiras, da Sociedade Rural Brasileira, da Associação Brasileira de Agribusiness e da Aliança Mundial de Cooperativas. Foi Secretário de Agricultura de São Paulo (1993/94) e ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2003/2006).

## **Os autores dos estudos**

### *O mapa sucroenergético do Brasil*

Marcos Fava Neves  
Vinicius Gustavo Trombin  
Matheus Consoli

### *Externalidades sociais dos combustíveis*

Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes  
Cinthia Cabral da Costa  
Joaquim José Martins Guilhoto  
Luiz Gustavo Antonio de Souza  
Fabiola Cristina Ribeiro de Oliveira

### *Contribuição do etanol para a mudança do clima*

Luiz Gylvan Meira Filho  
Isaias C. Macedo

### *O etanol e a saúde*

Paulo Hilário Nascimento Saldiva  
Maria de Fátima Andrade  
Simone Georges El Khouri Miraglia  
Paulo Afonso de André

### *A bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica*

Nivalde José de Castro  
Roberto Brandão  
Guilherme de A. Dantas

### *O etanol como combustível*

Francisco Nigro  
Alfred Szwarc

### *Políticas internacionais de biocombustíveis*

Adriano Pires  
Rafael Schechtman

### *Mercado e concorrência do etanol*

Elizabeth Farina  
Claudia Viegas  
Paula Pereda  
Carolina Garcia

### *O etanol na matriz energética brasileira*

Sergio Valdir Bajay  
Luiz Augusto Horta Nogueira  
Francisco José Rocha de Sousa

- 10 apresentação **Marcos Sawaya Jank**  
UMA MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS PARA O BRASIL
- 14 capítulo 01  
O MAPA SUCROENERGÉTICO DO BRASIL
- 44 capítulo 02  
EXTERNALIDADES SOCIAIS DOS COMBUSTÍVEIS
- 76 capítulo 03  
CONTRIBUIÇÃO DO ETANOL PARA A MUDANÇA DO CLIMA
- 98 capítulo 04  
O ETANOL E A SAÚDE
- 136 capítulo 05  
A BIOELETRICIDADE SUCROENERGÉTICA NA MATRIZ ELÉTRICA
- 154 capítulo 06  
O ETANOL COMO COMBUSTÍVEL
- 190 capítulo 07  
POLÍTICAS INTERNACIONAIS DE BIOCOMBUSTÍVEIS
- 226 capítulo 08  
MERCADO E CONCORRÊNCIA DO ETANOL
- 260 capítulo 09  
O ETANOL NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA
- 312 AUTORES E ORGANIZADORES

## Etanol e Bioeletricidade

A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética

# Uma matriz de combustíveis para o Brasil

*Marcos Sawaya Jank*

A matriz energética brasileira, que se destaca pela grande incidência de fontes renováveis, passou por transformações que a colocaram entre as mais limpas do mundo. Nesta década, a participação do petróleo e derivados na matriz diminuiu cerca de oito pontos percentuais: passou de 45,5% em 2000 para 37,9% em 2009. Ao fim desse período, cerca de 18% da energia consumida no país já provinha de derivados da cana-de-açúcar, ultrapassando a energia hidráulica em importância na matriz e assumindo o segundo lugar.

É importante enfatizar, no entanto, que, considerando-se um período mais longo, esse avanço foi registrado em parte apesar das políticas públicas – e não por causa delas. Nas últimas três décadas, a ausência de uma política de longo prazo para os combustíveis gerou forte instabilidade na produção e consumo da energia alternativa. As crises do petróleo não foram suficientes para que surgissem políticas governamentais preocupadas com a sustentabilidade dos combustíveis renováveis. Ao contrário, as políticas adotadas, em particular após o primeiro choque do petróleo, conduziram a ciclos de substituição de combustíveis com efeitos negativos para todos os envolvidos, inclusive o consumidor.

Desde a década de 70, houve ao menos cinco fases associadas a políticas de curto prazo para combustíveis, que enviaram sinais imprecisos ao mercado e fragilizaram o fluxo de investimentos. São elas:

**Fase 1:** processo de “dieselização” da matriz na década de 70. O primeiro processo de substituição foi o da gasolina pelo diesel, devido à política de preços artificiais. Isso provocou aumento da frota a diesel e das importações do combustível.

**Fase 2:** inovação do Proálcool na década de 80. Lançado em meados dos anos 70, o Proálcool inicialmente ampliou o uso do etanol anidro misturado à gasolina. Essa mistura já era utilizada desde 1938 e tinha por objetivo a absorção do excedente da produção de etanol e a substituição do chumbo-tetraetila, altamente poluente, como aditivo à gasolina. O segundo choque do petróleo, em 1979, quando o seu preço atingiu novo pico histórico, viabilizou a entrada dos veículos movidos a etanol hidratado no mercado, inaugurando nova fase do Proálcool. O sucesso dessa fase foi tão grande que 95% dos veículos leves produzidos em 1985 eram movidos a etanol hidratado.

**Fase 3:** nova “gasolinização” da matriz na década de 90. Com a queda dos preços internacionais do petróleo, o etanol começou a perder competitividade frente à gasolina, não obstante os bons resultados no aumento da produtividade pela indústria sucroenergética. O governo reduziu os incentivos e não houve como remunerar o alto nível de oferta necessária para o atendimento da frota, culminando na crise de desabastecimento de etanol em 1989/1990. Com isso, a gasolina rapidamente recuperou espaço.

**Fase 4:** incentivos ao Gás Natural Veicular (GNV) no final da década de 90. Nesse período, começa a forte expansão da conversão de veículos para gás, substituindo o etanol hidratado e a gasolina. Esse incentivo, que teve como principal estímulo o excedente temporário de gás natural, levou à migração de significativa parcela da frota de carros das capitais para o uso desse combustível, cuja oferta é cada vez mais escassa e cara.

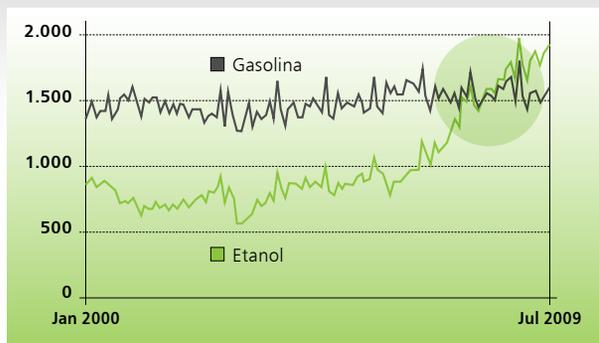
**Fase 5: a revolução do flex.** Em 2003, com a introdução dos veículos bicompostíveis, começa nova etapa do etanol hidratado. Com a nova tecnologia, o consumidor escolhe o combustível ao abastecer, e não mais quando da compra do veículo. Entre 2003 e início de 2010 foram comercializados mais de 10 milhões de carros flex. Hoje, eles são responsáveis por mais de 90% dos veículos comercializados no país.

O crescimento da frota flex e a manutenção da competitividade do preço do etanol em relação ao da gasolina fizeram com que as vendas do etanol hidratado quintuplicassem em cinco anos. Desde abril de 2008, a venda mensal de etanol (somados o hidratado e o anidro) superou a de gasolina pura – um marco inédito e admirado no mundo. Graças a esse feito, pode-se afirmar que no Brasil o “combustível alternativo” hoje é a gasolina.

Hoje, o mercado aposta no etanol. Além da significativa expansão das plantas tradicionais, mais de cem novas unidades entraram em operação entre 2005 e 2009, totalizando investimentos da ordem de US\$ 20 bilhões.

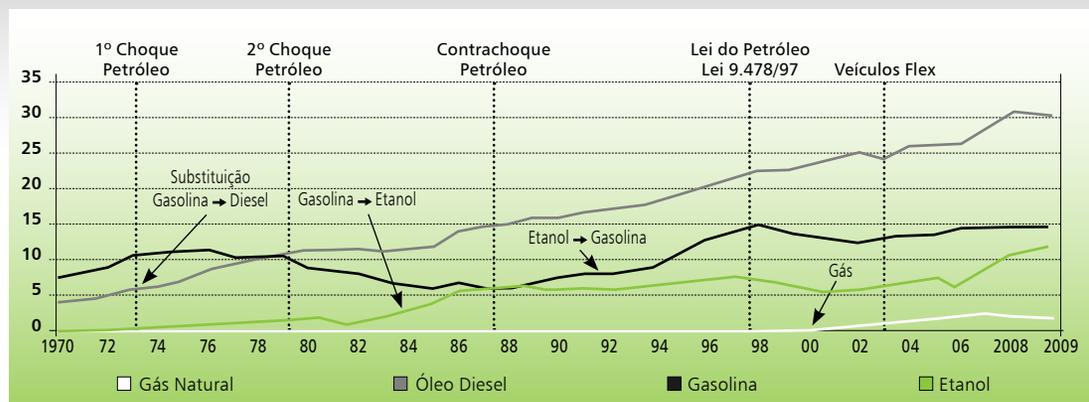
Apesar desse forte afluxo de investimentos, continuam as incertezas quanto à participação do etanol na futura matriz de combustíveis, compreensíveis ao se analisar a variação das políticas nos últimos 40 anos. Diversos ainda são os sinais: de um lado, persiste o estímulo ao consumo de gás natural combustível, apesar da escassez recente. De outro, mantêm-se os artificialismos nos preços da gasolina, com subsídios cruzados entre os derivados de petróleo, o que, além de causar problemas para o setor industrial, gera distorções

**Consumo mensal nacional de etanol e gasolina**  
(em milhões de litros/mês)



Nota: dados de gasolina referem-se à gasolina A; dados de etanol compreendem consumo de etanol anidro e hidratado. Fonte: ANP. Elaboração: UNICA.

**A dança dos combustíveis** (em milhões de tep\*)



\* Toneladas equivalentes de petróleo  
Fontes: MME.

no mercado em que o etanol hidratado compete diretamente com a gasolina. Ao mesmo tempo, de vez em quando retorna à pauta o apoio à introdução de carros de passeios movidos a diesel, a despeito das evidentes consequências econômicas e ambientais negativas de tal medida. Finalmente, não se podem desconsiderar as perspectivas do pré-sal, que em alguns anos implicará importantes investimentos na extração e refino do petróleo, aumentando substancialmente a produção de petróleo e derivados.

Em síntese, o que se observou nas últimas décadas – e ainda se observa hoje – foi uma situação ciclotímica no mercado de combustíveis, o que provoca insegurança nos consumidores e incerteza para os investidores. Por isso, é fundamental um ordenamento de longo prazo, que oriente políticas públicas compatíveis com uma economia de mercado, criando um ambiente estável para investimentos e garantias duradouras aos consumidores. Tal diretiva deve contemplar a adoção de mecanismos fiscais capazes de incorporar no sistema de preços os valores das externalidades positivas dos combustíveis renováveis que o mercado autônomo não captura.

É absolutamente necessária e urgente a definição de uma matriz energética consistente e duradoura, baseada em critérios de sustentabilidade na produção e no uso dos combustíveis. O cenário econômico mundial oferece uma oportunidade ímpar para o Brasil se consolidar como líder global na política de combustíveis, seja biocombustíveis ou fósseis, a partir do estabelecimento de metas e cenários futuros de oferta e demanda para cada componente de sua matriz de combustíveis.

A matriz de combustíveis, portanto, deve atender às expectativas dos vários agentes envolvidos: produtores de biocombustíveis, exploradores e refinadores de petróleo, distribuidores de combustíveis, indústria automobilística, consumidores, governo e a sociedade como um todo.

Não são poucos nem irrelevantes os benefícios da entronização dos biocombustíveis no arcabouço institucional do Brasil. Eles são de natureza social (geração de empregos e riqueza no interior e melhoria na distribuição de renda), ambiental (mitigação das consequências negativas das mudanças climáticas) e econômica (geração de renda e tributos).

Todos esses itens são atributos da sustentabilidade e do desenvolvimento limpo, com justiça social. Essa será uma importante contribuição do Brasil – e da sociedade brasileira – para um crescimento mundial sustentado.

\*

Este livro traz um conjunto de informações inéditas e ilustrativas que certamente servirá de subsídio para a definição de uma matriz energética que seja do interesse da sociedade. Os estudos aqui apresentados identificam e quantificam os benefícios do uso do etanol e da bioeletricidade para a sociedade.

A primeira contribuição desta iniciativa, contida no **capítulo 1**, é mapear o setor, algo que nunca havia sido feito com tal rigor técnico. O retrato que emerge do levantamento exaustivo mostra que o setor sucoenergético gera renda, anualmente, de mais de US\$ 28 bilhões, incluídos aí tributos de mais de US\$ 7 bilhões.

O estudo seguinte, no **capítulo 2**, mostra a capilaridade do setor, fundamental para a interiorização da riqueza. Em São Paulo, por exemplo, a atividade da cana está presente em mais de 60% dos 645 municípios, denotando expressiva distribuição na geração de desenvolvimento e emprego. O mesmo trabalho faz uma simulação ilustrativa do potencial do etanol como gerador de empregos: se 15% da gasolina atualmente consumida fosse substituída por álcool combustível, 117 mil postos de trabalho seriam criados, gerando uma renda adicional de quase R\$ 250 milhões ao ano.

É sabido que o meio ambiente ganha com a maior utilização do etanol. O **capítulo 3** trata da quantificação desse ganho: medições técnicas indicam que o etanol de cana-de-açúcar é capaz de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em mais de 90%, quando comparado com a gasolina. É uma vantagem que pode ser expressa de outra forma: cada litro de etanol equivale a US\$ 0,20 que deixam de ser gastos em medidas para mitigar a emissão de gases poluentes, reduzindo os investimentos que o país aplicaria no desenvolvimento de outras tecnologias para fazer sua parte no esforço mundial para controlar o aquecimento global.

As questões mais relevantes, porém, não podem ser simplesmente traduzidas em cifrões. O estudo sobre o impacto na saúde pública da substituição progressiva de derivados de petróleo por etanol, tema do **capítulo 4**, revela uma projeção surpreendente: se a frota cativa de ônibus da região metropolitana de São Paulo trocasse o diesel por etanol, mais de 1.200 internações hospitalares seriam evitadas e 250 vidas seriam salvas a cada ano, a metade do número de mortes causadas por tuberculose na região em 2007. Com base nos números apresentados, podemos estimar que a substituição de gasolina por etanol levaria à uma economia (nos custos de saúde pública, morbidade e mortalidade) de um centavo de dólar por litro de etanol e a substituição de diesel por etanol pouparia três centavos de dólar por litro de etanol usado.

E, quando se pensa a energia de forma mais abrangente, a cana-de-açúcar não é apenas etanol. É também bioeletricidade, a eletricidade obtida da biomassa – o bagaço e a palha da cana – com uma complementação ideal do regime pluviométrico da geração hidrelétrica, pois a safra da cana é concentrada no período de seca no Centro-Sul. E esse é outro aspecto, tratado no **capítulo 5**, que não pode escapar aos formulares da matriz energética brasileira.

Nos **capítulos 6 e 7** uma série de propostas é apresentada, incluindo políticas para induzir o aperfeiçoamento tecnológico dos veículos flex e para a ampliação dos mercados para o etanol.

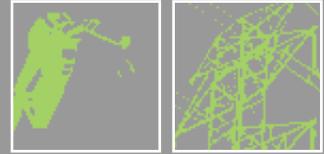
O **capítulo 8** descreve e analisa a estrutura de produção do etanol no Brasil e sugere políticas que poderão aperfeiçoar o modelo de comercialização desse combustível.

O conjunto de trabalhos culmina, no **capítulo 9**, com uma análise das principais fontes de energia do país. O texto apresenta importantes considerações sobre mecanismos que assegurarão a participação crescente de fontes renováveis e limpas na nossa matriz energética.

A UNICA, ao reunir este conjunto de trabalhos, tem a certeza de estar contribuindo para o debate nacional visando à definição dessa matriz.

01





# O mapa sucroenergético do Brasil

Marcos Fava Neves

Vinicius Gustavo Trombin

Matheus Consoli



*Apesar de sua importância histórica, que remonta ao tempo da colonização, o negócio da cana-de-açúcar no Brasil nunca havia sido fotografado em plano panorâmico. Agora, pela primeira vez, com este mapeamento, o setor sucroenergético é dimensionado em toda a sua cadeia produtiva.*

*O trabalho só foi possível com a aplicação do método Gestão Estratégica de Sistemas Agroindustriais, mais conhecido como Gesis, desenvolvido por Marcos Fava Neves, coordenador da Markestrat (Centro de Pesquisas e Projetos em Marketing e Estratégia da USP).*

*Com o uso desse método, aferiu-se que, em 2008, o setor gerou riqueza de US\$ 28,15 bilhões, equivalente a quase 2% do Produto Interno Bruto do Brasil. Quando considerada a soma total das vendas dos diversos elos que compõem o sistema de produção agroindustrial da cana, o valor alcança US\$ 86,8 bilhões.*

*O setor mantém 1,28 milhão de postos de trabalho formais, de acordo com dados de 2008 da Rais (Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego). A massa salarial é estimada em US\$ 738 milhões.*

*A tendência é que o PIB do setor continue crescendo. Etanol e açúcar ainda representam as receitas mais relevantes, com receitas de US\$ 12,5 bilhões e US\$ 9,8 bilhões, respectivamente, mas novos produtos que compõem o faturamento do setor se tornarão mais importantes. A bioeletricidade já gera uma receita anual de quase US\$ 400 milhões e espera-se um crescimento exponencial nos próximos anos. As leveduras já representam faturamento superior a US\$ 60 milhões. Produtos como bioplásticos entraram em escala de produção industrial em 2010. Novas tecnologias, como o diesel a partir da cana, o biobutanol e etanol celulósico representam importantes fronteiras tecnológicas e são promessas concretas para os próximos anos. Quanto aos créditos de carbono, também deverão ganhar importância na proporção da crescente preocupação com economias de “baixo carbono”.*

## ► 1. Introdução

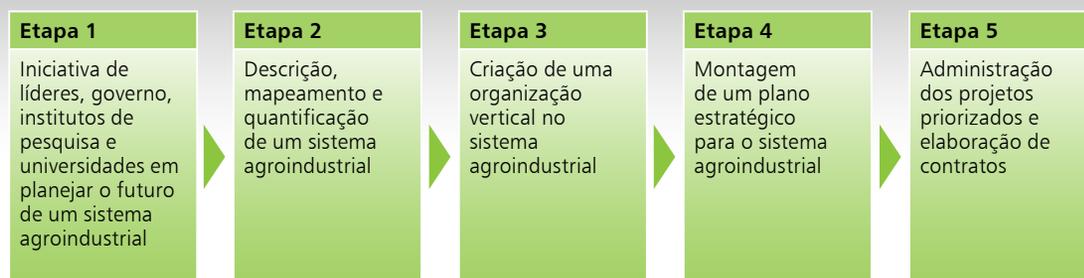
A indústria de cana-de-açúcar é de longa data um dos esteios da economia brasileira. A partir da introdução das primeiras mudas no país, em 1532, por mais de dois séculos o açúcar foi o principal produto brasileiro. Há cerca de 40 anos, teve início a transformação do setor. Além do açúcar, as usinas passaram a ter foco na produção do etanol e, mais recentemente, a atenção voltou-se à bioeletricidade, aos alcoolquímicos e à comercialização de créditos de carbono. Tudo isso com a possibilidade do emprego de tecnologias avançadas que aumentam a produtividade e reduzem custos. Trata-se de um novo patamar de negócios, no qual a competitividade é a ordem do dia.

Os avanços do setor sucroenergético, no entanto, não ficaram restritos à tecnologia. A nova usina brasileira também está comprometida com as questões sociais e ambientais. A melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores, a racionalização do uso da terra e da água, a mitigação dos efeitos da mecanização da colheita e a preservação de ecossistemas fazem parte da agenda de trabalho do setor sucroenergético, que é um dos grandes empregadores no Brasil. Embora os avanços não sejam poucos, ainda há muito trabalho pela frente para que o setor possa crescer ainda mais.

Externamente, é preciso convencer os críticos de que o aumento da produção brasileira de cana-de-açúcar não acontece nas áreas de floresta, de que há regularidade no fornecimento do etanol e de que as condições de produção são sustentáveis. Internamente, é preciso mostrar à sociedade que existe uma série de outros benefícios, além dos econômicos, ao se optar pelo etanol como combustível.

Uma das formas de se fazer isso é avaliar o impacto econômico e social da atividade, que é que se pretende com este relatório. Este trabalho, que reúne dados coletados em quatro meses por uma equipe de dez pesquisadores, busca dimensionar a movimentação financeira, os empregos e o PIB do setor sucroenergético.

**Figura 1** Método proposto para planejamento e gestão estratégica de sistemas agroindustriais



## ► 2. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é mapear e quantificar o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar no Brasil. O produto principal deste estudo é uma estimativa de quanto as empresas, que atuam nos diferentes elos da cadeia produtiva, faturaram com o setor sucroenergético em 2008, bem como o PIB setorial. Além da movimentação financeira, outro enfoque da pesquisa é a quantificação dos empregos e impostos gerados no setor. Esta pesquisa é parte de uma iniciativa da UNICA, que tem como objetivos ampliar o conhecimento sobre o setor sucroenergético e transmitir à opinião pública informações sobre os benefícios da produção e do uso de energias limpas, renováveis e sustentáveis de origem agrícola.

## ► 3. Método

Utilizou-se neste trabalho o Método Gesis (Planejamento e Gestão Estratégica de Sistemas Agroindustriais). Este método, desenvolvido pelo professor Marcos Fava Neves em 2004, foi aplicado em trabalhos semelhantes no Brasil, Argentina, Uruguai e África do Sul. Sob sua coordenação, foram realizados o mapeamento e quantificação das cadeias da laranja (em 2004), do trigo (em 2005) e do leite (em 2007). Por ter sido apresentado e publicado em diversos congressos internacionais de negócios, o método Gesis se tornou conhecido por pesquisadores de diversas partes do mundo. Em 2007, foi empregado no Uruguai e na Argentina para as cadeias do trigo e leite, respectivamente.

**Metodologia para descrição, mapeamento e quantificação**

**Quadro 1**

Fases da Etapa 2	Procedimentos
<b>Fase 1</b> Descrição do sistema (cadeia) agroindustrial em estudo	Desenho do sistema agroindustrial por meio de caixas, respeitando o fluxo dos produtos, dos insumos ao consumidor final (desenho do sistema).
<b>Fase 2</b> Apresentação da descrição para executivos e outros especialistas, visando a ajustes na estrutura	Com a primeira versão da descrição, são realizadas entrevistas em profundidade com executivos de empresas do setor e outros especialistas (pesquisadores, lideranças setoriais, entre outros) com vistas a ajustar o desenho proposto.
<b>Fase 3</b> Pesquisa de dados de vendas em associações, instituições e publicações	Algumas associações privadas disponibilizam para seus membros dados sobre vendas, às vezes até na internet. Uma cuidadosa revisão bibliográfica também é realizada em busca de dissertações/teses recentes, além de artigos em revistas/jornais acadêmicos ou de grande circulação.
<b>Fase 4</b> Entrevistas com especialistas e executivos de empresas	Este é o ponto central da metodologia. São realizadas entrevistas com gerentes, buscando levantar o montante financeiro vendido pelas empresas do setor em estudo. Também são realizadas entrevistas com diretores de compra, visando estimar o mercado a partir do lado oposto de um elo do sistema.
<b>Fase 5</b> Quantificação	Neste ponto, todos os dados obtidos são processados e inseridos na descrição logo abaixo do nome da indústria. Os dados são, então, enviados para as empresas que colaboraram e que analisarão os valores. Solicita-se que as empresas enviem de volta os dados com seus comentários e contribuições.
<b>Fase 6</b> Workshop de validação	Na fase final, é realizado um workshop para a apresentação dos resultados e a discussão dos números.

Conforme apresentado na **Figura 1**, a descrição, o mapeamento e a quantificação de um sistema agroindustrial é uma das etapas do Método Gesis. Em função do escopo deste projeto, apenas essa etapa será realizada. No entanto, vale ressaltar que, por se tratar de etapa inicial, a sua execução serve como preparação para que no futuro possam ser realizadas as demais etapas, ampliando assim o enfoque para o desenvolvimento de objetivos e estratégias coletivas.

A etapa 2 do Método Gesis, foco desta pesquisa, consiste na execução das seis fases descritas detalhadamente no **Quadro 1**.

#### ► 4. Resultados

O PIB do setor sucroenergético foi de US\$ 28,2 bilhões, equivalente a quase 2% do PIB nacional ou à quase totalidade da riqueza gerada em um ano por um país como o Uruguai (US\$ 32 bilhões). O cálculo do PIB setorial foi estimado através da soma das vendas dos bens finais do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar. Utilizou-se a taxa de câmbio de R\$ 1,84 por dólar, a média de 2008. A **tabela 1** apresenta o faturamento dos principais produtos do setor nos mercados interno e externo.

A **Figura 2** representa o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, e os valores abaixo de cada elo indicam o faturamento bruto desse segmento com o setor sucroenergético em 2008. A receita bruta total do setor sucroenergético naquele ano foi de US\$ 86,8 bilhões. Esse valor representa a somatória das vendas estimadas dos diversos elos do sistema agroindustrial e das movimentações financeiras dos agentes facilitadores. Por haver dupla contagem, a receita bruta do setor não é comparável ao PIB nacional. Logo abaixo da **Figura 2**, a receita bruta de cada elo da cadeia produtiva é detalhada.

**Tabela 1** Estimativa do PIB sucroenergético com base nos produtos finais em US\$ milhões

Produto	Mercado Interno (MI)	Mercado Externo (ME)	Total (MI + ME)
Etanol Hidratado	11.114,50	23,78	11.138,28
Etanol Anidro	2.972,89	2.366,33	5.339,22
Etanol não-combustível	438,78 <sup>a</sup>	n.d.	438,78
Açúcar	5.297,14 <sup>b</sup>	5.482,96	10.780,10
Bioeletricidade	389,63 <sup>c</sup>	n.d.	389,63
Levedura e Aditivo	21,41	42,2	63,61
Crédito de Carbono	n.d.	3,48	3,48
<b>Total</b>	<b>20.234,35</b>	<b>7.918,75</b>	<b>28.153,10</b>

Fonte: : Neves, Trombin e Consoli, com dados gerados por Markestrat (2009).

<sup>a</sup> Venda das usinas para a indústria de bebidas e cosméticos. • <sup>b</sup> Soma das vendas de açúcar das usinas para a indústria e as vendas do varejo.

<sup>c</sup> Venda das usinas nos leilões de energia.

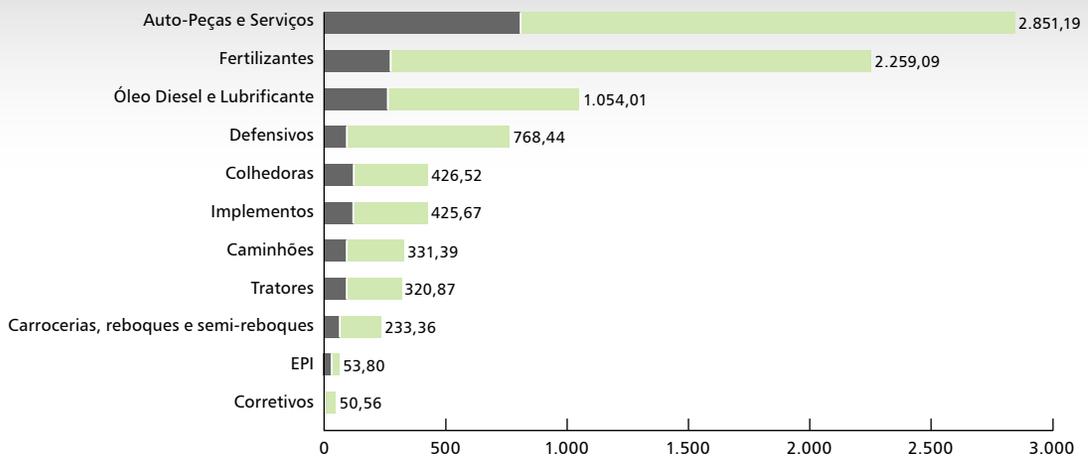
## Indústria de insumos agrícolas *Antes das fazendas*

A indústria de insumos agrícolas faturou com o setor sucroenergético US\$ 9,3 bilhões em 2008 (incluindo o faturamento de US\$ 477,5 milhões com defensivos pelas cooperativas e revendas agrícolas). O Gráfico 1 sumariza os faturamentos desse elo, que são detalhados no texto a seguir.

A cana-de-açúcar respondeu por 14% das vendas de fertilizantes agrícolas no Brasil em 2008, totalizando US\$ 2,3 bilhões (3.140 mil toneladas). O uso desse insumo nas lavouras de cana-de-açúcar é essencial e o aumento da área plantada de cana-de-açúcar nos últimos anos tem provocado incremento na demanda de fertilizantes, mesmo diante de uma relação de troca desfavorável. Enquanto em 2007 eram necessárias

**Faturamento do elo insumos agrícolas** *Antes da Fazenda* US\$ milhões

**Gráfico 1**



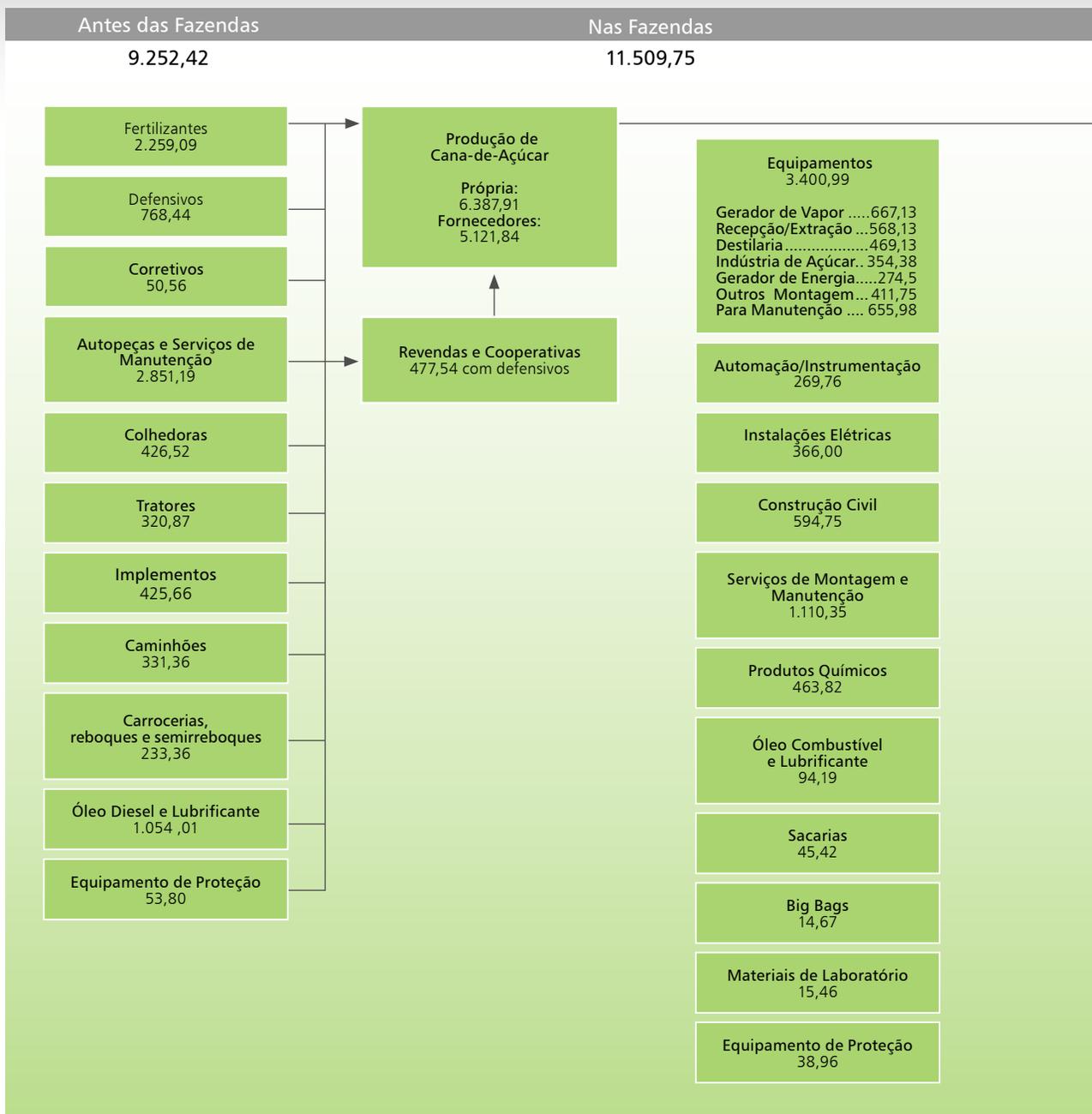
Insumos Agrícolas	Valor Bruto	Imposto sobre Vendas <sup>1</sup>	Valor Líquido
Autopeças e Serviços	2.851,19	810,00	2.041,19
Fertilizantes	2.259,09	271,09	1.988,00
Óleo Diesel e Lubrificante	1.054,01	258,44	795,57
Defensivos	768,44	92,21	676,23
Colhedora	426,52	121,17	305,35
Implementos	425,67	120,93	304,74
Caminhões	331,39	94,14	237,25
Tratores	320,87	91,16	229,71
Carrocerias, reboques e semi-reboques	233,36	66,30	167,06
EPI	53,80	15,28	38,52
Corretivos	50,56	6,07	44,49

<sup>1</sup> IPI, ICMS, PIS e Cofins

Fonte: Neves, Trombin e Consoli, com dados gerados por Markestrat (2009).

Figura 2

Cadeia Sucoenergética



Agentes Facilitadores

BNDES: 3.530,79  
 Custo Portuário (Santos): 213,52  
 Massa Salarial: 738,33

CCT Terceirizado<sup>1</sup>: 916,32  
 P&D: 79,15  
 Planos de Saúde<sup>3</sup>: Saúde<sup>3</sup>: 125,51

<sup>1</sup> CCT = Corte, Carregamento e Transporte, no Centro-Sul.

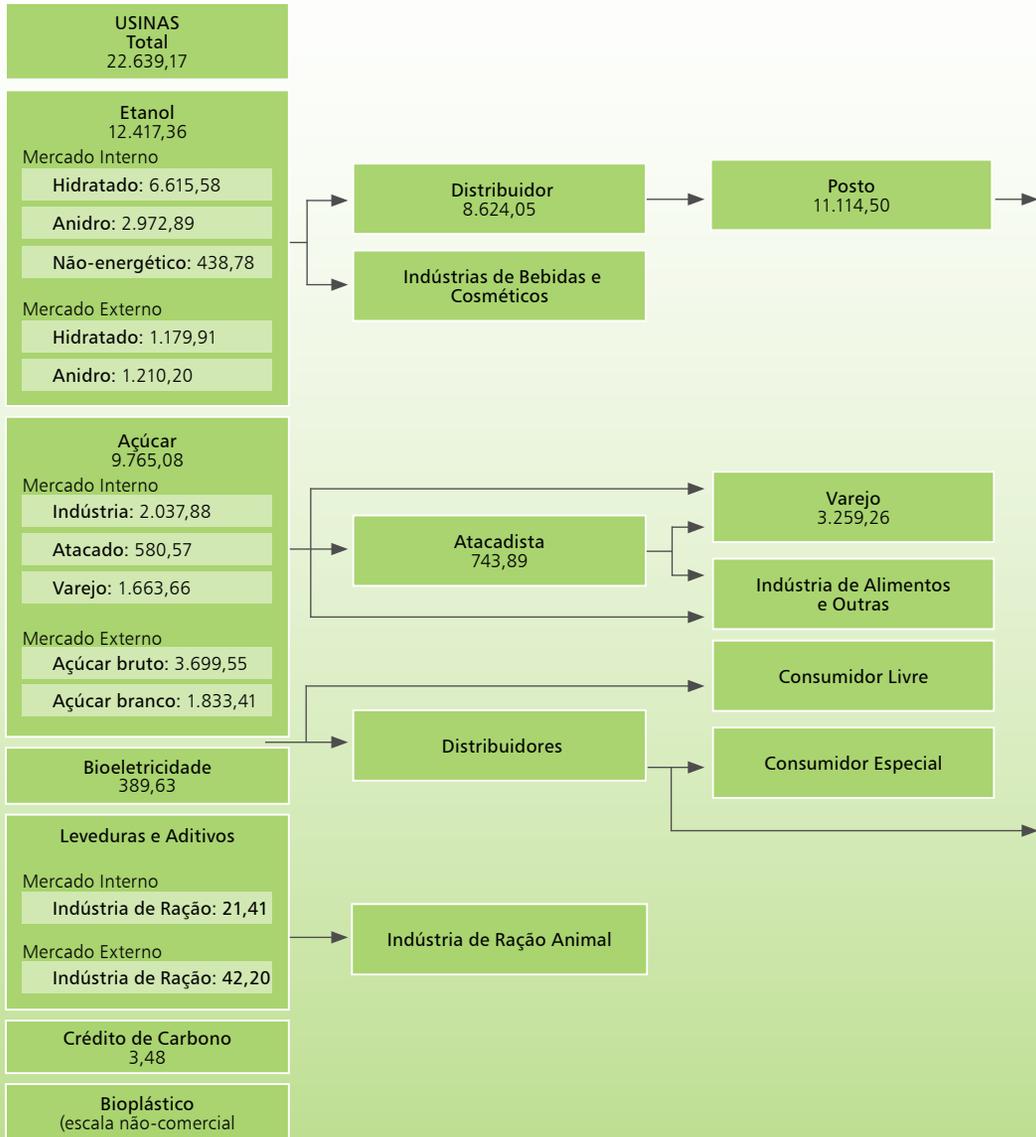
<sup>2</sup> Volume exportados pelos Portos de Santos e Paranaguá. <sup>3</sup> e <sup>4</sup> Apenas Estado de São Paulo.

em US\$ milhões, 2008

PIB do setor US\$ 28,2 bilhões

Após as Fazendas

52.795,27



Consumidor Final

(prestadores de serviço): 13.275,58

Frete Rodoviário Exportação<sup>2</sup>: 539,03  
Eventos: 5,32  
Alimentação<sup>4</sup>: 188,26

Pedágios Exportação (Santos): 79,96  
Revistas: 3,99  
Impostos Agregados no SAG: 6.855,41

Fonte: Elaborado por Neves, Trombin, Consoli, 2009.

19,8 toneladas de cana-de-açúcar para adquirir uma tonelada de fertilizante, em 2008 o volume disparou para 36,3 toneladas. Tal fato ocorreu devido ao aumento dos preços dos fertilizantes e a diminuição do ATR (Açúcar Total Recuperável). As vendas de corretivos para as lavouras canavieiras em 2008 foram estimadas em US\$ 50,6 milhões, com consumo de 2.999 mil toneladas.

Em 2008, a indústria produtora de defensivos agrícolas no Brasil para a cultura da cana-de-açúcar faturou US\$ 768,4 milhões. As cooperativas foram responsáveis por 61% das vendas de defensivos para cana e as revendas agrícolas 2%, juntas faturaram mais US\$ 477,5 milhões. As vendas realizadas diretamente às usinas representaram 37%. Do montante desembolsado com defensivos pelos agricultores nas lavouras de cana-de-açúcar, 73,5% foram gastos com herbicidas, 22,8% com inseticidas e 3,7% com fungicidas.

Cerca de 3.970 tratores foram comercializados para o setor sucroenergético em 2008, gerando faturamento de US\$ 320,9 milhões. As vendas para o setor representam 9% das vendas totais de tratores no país. O setor sucroenergético foi responsável pela compra de 47% dos tratores vendidos com potência acima de 200 cv. O faturamento com implementos foi da ordem de US\$ 425,7 milhões. O segmento inclui arados, transbordos, grades, pulverizadores, subsoladores, autopropelidos, irrigação, entre outros. O setor de autopeças e serviços de manutenção de máquinas e equipamentos faturou US\$ 2,9 bilhões em 2008. O valor inclui peças e mão-de-obra para cerca de 144 mil máquinas em operação no setor, que consomem anualmente quase US\$ 20 mil em manutenção por unidade.

O setor sucroenergético adquiriu 22% das colhedoras vendidas em 2008, contabilizando faturamento de US\$ 426,5 milhões. Foram vendidas 981 unidades para o setor, representando crescimento de 52% em relação a 2007. A frota nacional de colhedoras de cana quase dobrou, em grande parte devido à exigência do fim das queimadas. Até 2007 havia 1,28 mil colhedoras nas lavouras de cana.

As vendas de caminhões pesados, categoria com peso bruto total acima de 40 toneladas, também foram impulsionadas pelo crescimento do setor sucroenergético. Além de fazerem o transporte do etanol, esses caminhões respondem por 80% do transporte da cana-de-açúcar. Estima-se que em 2008 foram vendidos 1.962 caminhões pesados para o setor, equivalente a 5% das vendas totais de caminhões dessa categoria no país. O setor sucroenergético gerou movimentação financeira de US\$ 331,4 milhões nesse segmento.

Em 2008, as vendas de carrocerias, reboques e semirreboques foram estimadas em US\$ 233,4 milhões. Além das 488 carrocerias vendidas, registrou-se o emplacamento de 4.856 reboques e semirreboques canavieiros, os quais representam 9% das vendas totais da linha pesada no Brasil, e um crescimento de 11% em relação a 2007.

As operações mecanizadas na produção agrícola e no transporte da cana-de-açúcar do campo à unidade industrial consumiram quase um bilhão de litros de óleo diesel e lubrificantes em 2008, movimentando US\$ 1,0 bilhão. Após a publicação da Norma Regulamentadora nº31 em 2005, observou-se o aumento dos investimentos das usinas em saúde e segurança dos trabalhadores. Prova disso são as vendas de EPIs (equipamentos de proteção individual) agrícolas, que em 2008 movimentaram US\$ 53,8 milhões.

### Produção de cana-de-açúcar *Nas fazendas*

A safra 2008/09 de cana-de-açúcar, de 568,9 milhões de toneladas em área plantada de 8,5 milhões de hectares (incluindo a área em produção, em formação, muda e bisada), foi recorde. O Estado de São Paulo foi responsável por 68,6% da moagem de cana da região Centro-Sul. Nessa região, Minas Gerais foi o Estado cuja produção mais cresceu nos últimos cinco anos, com aumento de 1,8% (seguido por Goiás, com 1,6%). As 568,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar moídas na safra 2008/09 geraram faturamento de US\$ 11,5 bilhões no setor sucroenergético. O rendimento da matéria-prima foi de 143,25 quilos de ATR (Açúcar Total Recuperável) por tonelada de cana, uma redução de 2% em relação à safra anterior. O valor médio do ATR na safra 2008/09 foi de US\$ 0,14 <sup>[4]</sup>. O valor médio da tonelada de cana na safra 2008/09 foi de US\$ 20,23 (R\$ 39,85). Na safra 2008/09, conforme apresentado no **Gráfico 2**, a cana de fornecedores representou 44,5% do abastecimento da indústria (US\$ 5,1 bilhões) com 55,5% de cana própria (US\$ 6,4 bilhões).

### Equipamentos, serviços e insumos industriais *Após as fazendas*

A indústria de insumos industriais faturou com o setor sucroenergético US\$ 6,4 bilhões em 2008, como se verá a seguir.

Para quantificar o faturamento dos fornecedores de equipamentos industriais e das empresas que prestam serviços de montagem foram considerados os investimentos realizados pelas 29 usinas/distilarias que entraram em operação em 2008. Como esses investimentos devem ter tido início em 2006, não representam o faturamento dessas empresas nesse ano, e sim uma estimativa da movimentação financeira gerada para a instalação dessas novas unidades que começaram a produzir em 2008. Das 29 unidades industriais, adotou-se como premissa que quatro são usinas, para a produção de açúcar e etanol (sendo três com capacidade de moagem de 1,5 milhão de tonelada de cana-de-açúcar e uma com capacidade de 3 milhões de toneladas) e 25 são destilarias, para a produção somente de etanol (sendo 15 com capacidade de moagem de 1,5 milhão de toneladas e dez com capacidade de 3 milhões de toneladas).



Fonte: Neves, Trombin e Consoli, com dados gerados por Markestrat (2009).

O investimento médio para montagem da parte industrial de uma usina foi estimado em US\$ 85/t de cana-de-açúcar (capacidade de moagem) e, de uma destilaria, US\$ 75/t. A Tabela 2 apresenta a proporção do montante entre os investimentos necessários e a Tabela 3 detalha o investimento em equipamentos.

Além dos investimentos relacionados à montagem das novas unidades, foram também consideradas as vendas dos equipamentos e serviços destinados à manutenção das unidades industriais, que é realizada na entre-safra. Nesse item, considerou-se o custo estimado de manutenção na região Centro-Sul de US\$ 1,68/t de cana-de-açúcar moída, sendo 62,50% gasto com equipamentos e 37,50%, com serviços. Na região Norte-Nordeste esse custo foi de US\$ 2,08, sendo 86,70% gasto com equipamentos e 13,30%, com serviços. Foram também considerados os projetos de automação e instrumentação vendidos em 2008 para o setor sucroenergético (cerca de 41 projetos além dos que foram vendidos para as 29 novas unidades).

**Tabela 2** Proporção do investimento entre os itens

Item	% do investimento total
Equipamentos	60
Montagem eletromecânica	7
Construção civil	13
Instalações elétricas	8
Instrumentação / Automação	2
Serviços de engenharia, isolamento térmico e pintura	10
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Markestrat a partir de dados fornecidos pela Procknor Engenharia.

**Tabela 3** Proporção do investimento por tipo de equipamento

Tipo de Equipamento	% do Investimento em Equipamentos	
	Usina	Destilaria
Geradores de vapor	25	20
Sistema Recepção/Extração	20	25
Destilaria	15	30
Indústria de açúcar	15	0
Turbinas/Geradores de energia	10	10
Outros	15	15
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Markestrat a partir de dados fornecidos pela Procknor Engenharia.

Considerando essas premissas, o faturamento dos fornecedores de equipamentos industriais foi estimado em US\$ 3,4 bilhões. As vendas de automação e instrumentação foram de US\$ 269,7 milhões. Os fornecedores de serviços de montagem e manutenção faturaram US\$ 1,1 bilhão. O setor de construção civil faturou US\$ 594,8 milhões e o de instalações elétricas US\$ 366,0 milhões para instalação das novas unidades industriais.

O setor sucroenergético gerou faturamento de US\$ 463,8 milhões com a compra de produtos e especialidades químicas para a produção de etanol e açúcar, incluindo cal virgem e hidratada, commodities químicas, polímeros, auxiliares na produção de açúcar e etanol, levedura/fermento, tratamento de águas e resinas de troca iônica, entre outros.

O consumo de combustível e óleo lubrificante para a operação industrial foi de 70 milhões de litros, gerando faturamento de US\$ 94,2 milhões. Com materiais de laboratório o setor movimentou US\$ 15,5 milhões. Com sacarias de 50 quilos foram gastos US\$ 45,4 milhões e com “big bags” de 1.200 quilos, US\$ 14,7 milhões. Com EPIs industriais foram movimentados US\$ 38,9 milhões. O **Gráfico 3** sumariza os faturamentos desse elo.

### **Faturamento *Elo usinas***

As usinas com todos os produtos comercializados faturaram US\$ 22,6 bilhões, assim divididos: US\$ 12,4 bilhões com etanol (55%); US\$ 9,8 bilhões com açúcar (43%); US\$ 389,6 milhões com bioeletricidade (1,7%); e US\$ 67,1 milhões com leveduras, aditivos e crédito de carbono (0,3%). A seguir, são apresentados cada um dos produtos das usinas e seus canais de distribuição.

### **Etanol *Elo usinas***

As usinas faturaram com etanol US\$ 12,4 bilhões em 2008 nos mercados externo e interno. As exportações geraram faturamento de US\$ 2,4 bilhões (US\$ 1,2 bilhão de etanol hidratado e US\$ 1,2 bilhão de etanol anidro). As exportações de etanol anidro foram atípicas em 2008. Um dos motivos do crescimento foi a maior demanda dos Estados Unidos, devido à quebra de safra de milho em função das enchentes na principal região produtora do país, além do aumento expressivo do preço do barril de petróleo, que ultrapassou os US\$ 100 durante parte do ano.

As exportações de etanol brasileiro somaram 5,12 bilhões de litros. Os principais compradores foram Estados Unidos (34%), Holanda (26%), Jamaica (8%) e El Salvador (7%). Embora o volume exportado seja pequeno se comparado à produção total, já sinaliza grande potencial de crescimento (desde 2001 o volume multiplicou 14 vezes e o faturamento, 24 vezes). O aumento mais significativo em volume aconteceu em 2004 (220%), ano em que foram exportados cerca de 2,4 bilhões de litros. Essa cifra inclui etanol destinado à indústria química e bebidas.

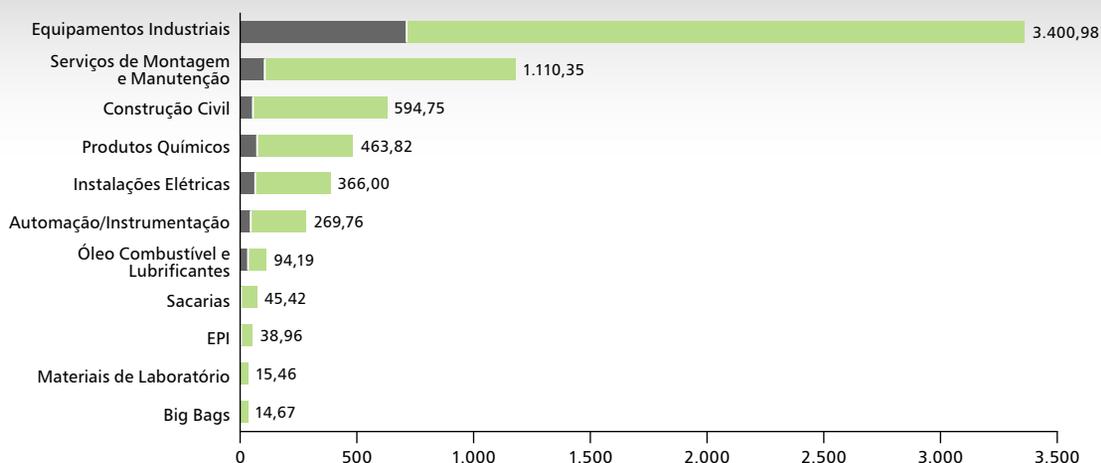
O mercado interno consumiu, em 2008, 14,1 bilhões de litros de etanol hidratado (mercado formal e infor-

mal), gerando faturamento de US\$ 6,6 bilhões nas usinas. O volume de vendas desse produto vem crescendo consideravelmente nos últimos anos. Uma comparação com 2006 revela aumento de 87%. O principal motivo desse crescimento foi a introdução dos carros com motores flex, que em 2008 responderam por 90% da produção dos automóveis comerciais leves no Brasil.

O mercado interno de etanol anidro nas usinas movimentou US\$ 3 bilhões com a venda de 6,5 bilhões de litros em 2008 (mercado formal e informal). O maior consumo no Brasil desse produto é misturado à gasolina (atualmente, na proporção de 25%). Face ao aumento do consumo do etanol frente à gasolina, em função do aumento dos carros flex, o consumo de etanol anidro tem diminuído nos últimos anos.

O etanol para uso não-energético é utilizado no Brasil basicamente na produção de bebidas, cosméticos,

**Gráfico 3** Faturamento do elo insumos industriais *Após a Fazenda US\$ (milhões)*



Insumos Agrícolas	Valor Bruto	Imposto sobre Vendas <sup>1</sup>	Valor Líquido
Equipamentos Industriais	3.400,98	680,20	2.720,78
Serviços de Montagem e Manutenção	1.110,35	102,71	1.007,64
Construção Civil	594,75	55,01	539,74
Produtos Químicos	463,82	69,57	394,25
Instalações Elétricas	366,00	64,05	301,95
Automação/Instrumentação	269,76	47,20	222,55
Óleo Combustível e Lubrificantes	94,19	23,09	71,09
Sacarias	45,42	9,08	36,34
EPI	38,96	7,79	31,17
Material de Laboratório	15,46	4,39	11,07
Big Bags	14,67	2,93	11,74

<sup>1</sup> IPI, ICMS, PIS e Cofins

Fonte: Neves, Trombin e Consoli, com dados gerados por Markestrat (2009).

produtos farmacêuticos e químicos. De acordo com dados do Balanço Energético Nacional, esse consumo foi de 720 milhões de litros em 2008, representando faturamento para as usinas de US\$ 438,8 milhões.

### **Etanol *Elo distribuidor e postos de serviços***

As distribuidoras faturaram US\$ 8,6 bilhões e os postos, US\$ 11,1 bilhões.

### **Açúcar *Elo usinas***

As usinas faturaram com açúcar US\$ 9,8 bilhões em 2008 nos mercados externo e interno. As exportações geraram faturamento de US\$ 5.482,96 (67% com açúcar bruto e 33% com açúcar branco). Das 19,5 milhões de toneladas embarcadas, 83% foram produzidas no Centro-Sul e 17% no Norte-Nordeste. Cerca de 50% das exportações foram destinadas a cinco países e o restante para mais de cem países. Entre 2000 e 2008, em média, 25% do açúcar exportado pelo Brasil foi destinado à Rússia, o principal mercado comprador, seguido pela Nigéria, Egito e Arábia Saudita. A maior parcela da produção de açúcar é destinada ao mercado externo. A produção cresceu a taxas muito superiores ao aumento do consumo brasileiro, que se manteve estável nos últimos seis anos (em média, 3% ao ano).

No mercado interno, o faturamento das usinas com açúcar foi de US\$ 4,3 bilhões. Desse total, as vendas das usinas destinadas à indústria de alimentos geraram faturamento de US\$ 2,0 bilhões (US\$ 1,6 bilhão no varejo e US\$ 580,6 milhões no atacado). Parte do volume de açúcar destinado à indústria é comercializada por meio de atacadistas, que vendem para pequenas fábricas. Esses atacadistas também empacotam o açúcar em embalagens menores e vendem para o varejo. Tal especificidade não foi considerada no mapeamento pela dificuldade de inferir uma estimativa do volume comercializado e preço praticado por esse tipo de atacadista. Essa dificuldade decorre de não ter sido encontrado qualquer dado secundário a este respeito.

As principais indústrias consumidoras de açúcar são as de refrigerantes (20%), balas e chocolates (10%), química (10%), lácteos (7%), outras indústrias representam 53%. No consumo do açúcar in natura, o principal tipo vendido é o açúcar cristal (61%), seguido do açúcar refinado (36%), refinado granulado e outros tipos (4%).

Em termos de volume, o Centro-Sul comercializou 10,5 milhões de toneladas e o Norte-Nordeste 1,02 milhão de toneladas. A produção do Centro-Sul destina-se 60% à indústria, 28% às vendas diretas ao varejo e 12% ao atacado. No Norte-Nordeste, as porcentagens são: 53% (varejo), 25% (indústria) e 22% (atacado). No total, as vendas destinadas à indústria somaram 6,6 milhões de toneladas de açúcar (as vendas diretas para o varejo, 3,5 milhões de toneladas; e para o atacado, 1,5 milhão de toneladas).

### **Açúcar** *Elo Atacado e Varejo*

Os atacados faturaram US\$ 743,9 milhões com açúcar em 2008 e o varejo, US\$ 3.259,3 milhões.

### **Bioeletricidade** *Elo usinas*

A bioeletricidade gerada a partir do bagaço da cana-de-açúcar cada vez mais se destaca como importante produto das usinas. Em 2008, cerca de 30 usinas negociaram 544 MW médios para a venda anual durante 15 anos. Esse volume gerou faturamento anual de US\$ 389,6 milhões.

### **Leveduras** *Elo usinas*

Cerca de 10% das leveduras utilizadas na produção de etanol (na fermentação do caldo de cana) são posteriormente recuperadas e destinadas à composição de ração animal. Em 2008, o volume exportado de leveduras de cana-de-açúcar foi de 32 mil toneladas, gerando faturamento de US\$ 16,8 milhões. Aquele ano foi atípico, pois, não fosse uma contaminação (problema já solucionado), mais 15 mil toneladas poderiam ter sido exportadas. No mercado interno, o faturamento foi de US\$ 11,1 milhões com a venda de 24 mil toneladas de leveduras secas. O preço maior por tonelada do produto no mercado interno deveu-se ao custo logístico e impostos.

Juntamente com as leveduras para essa finalidade, são comercializados aditivos baseados em leveduras de cana-de-açúcar (como a parede celular). Em 2008, foram exportadas 13.400 toneladas desse subproduto do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar gerando faturamento de US\$ 25,4 milhões. No mercado interno, foram vendidas 5.000 toneladas desses aditivos, representando faturamento de US\$ 10,3 milhões. Portanto, o faturamento das leveduras somado aos seus aditivos alcançou em 2008 US\$ 63,6 milhões (US\$ 21,4 milhões no mercado interno e US\$ 42,2 milhões no mercado externo).

### **Crédito de carbono** *Elo usinas*

Em termos de volume negociado, o Brasil ocupa o terceiro lugar na lista de países vendedores, mas ainda com apenas 3% do mercado, em 2008. A China e a Índia estão nos primeiros lugares com 84% e 4%, respectivamente. Já nas cifras acumuladas de RCEs primárias (Reduções Certificadas de Emissões), entre 2002 e 2008, o Brasil tem quase 8%. O montante mundial negociado em 2008 foi de 389 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (avaliado em US\$ 6.519 milhões, 14% menos que em 2007).

No caso brasileiro, a participação no mercado de Créditos de Carbono ocorre por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), por ser o único mecanismo do Protocolo de Kyoto que permite a participação voluntária de países em desenvolvimento. Os 68 projetos brasileiros registrados pela UNFCCC (*United*

*Nations Framework Convention on Climate Change*) no mercado de créditos de carbono geraram uma redução estimada de 3,45 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e faturamento de US\$ 25,4 milhões em 2008 (o preço médio no mercado voluntário foi de US\$ 7,3 em 2008). Dos 68 projetos, 24 são do setor sucroenergético, os quais geraram redução estimada de 473,9 mil toneladas de CO<sub>2</sub> (US\$ 3,5 milhões).

### **Bioplásticos *Elo usinas***

O bioplástico é uma das inovações para o aproveitamento do bagaço da cana e, se realizados os investimentos previstos, em pouco tempo representará faturamento significativo para as usinas. Diz-se “bio” por ser biodegradável (há estudos que indicam que em até 180 dias não há mais vestígios no ambiente) e por advir de fontes naturais. Por essa característica, é um produto valorizado pelo mercado orgânico. Estima-se que a demanda pelo novo produto já alcance 600 mil toneladas anuais no mundo, e um preço de 15% a 30% superior ao preço do produto convencional. Segundo o Instituto de Bioplásticos da Europa, são produzidas quase 331 mil toneladas de bioplásticos, o que corresponde a menos de 1% de plásticos sintetizados produzidos anualmente. A produção brasileira do bioplástico ainda é realizada em escala insuficiente para que se coloque comercialmente o produto no mercado.

A empresa PHB Industrial, controlada pela Pedra Agroindustrial e Grupo Balbo, tem em seu parque industrial um dos primeiros projetos-piloto do país. Em proporções laboratoriais, a empresa pode produzir cerca de 60 toneladas/ano, que atualmente são exportadas para Japão, Estados Unidos e Europa a um preço médio de US\$ 5/quilo para resina pura. Muito pouco desde material foi vendido. A maioria exportada foi destinada ao desenvolvimento de aplicações com empresas internacionais. A PHB Industrial está projetando uma planta comercial para entrar em operação entre dois e três anos. A partir desse investimento é que a empresa poderá vender em escala comercial o bioplástico nos mercados externo e interno. De acordo com informações divulgadas pela imprensa, a unidade produzirá 10 mil toneladas/ano e entrará em operação em 2010.

A gaúcha Braskem tem capacidade de produção de 12 toneladas/ano em uma planta piloto, e anunciou investimentos para começar em 2011 a produção de 200 mil toneladas/ano. A Dow Chemical noticiou a criação do primeiro polo alcoolquímico com previsão para produzir 350 mil toneladas/ano a partir de 2011. A Copersucar, em parceria com o grupo belga Solvay, deve produzir 120 mil toneladas em 2010, sempre segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Caso os investimentos previstos até 2010 se concretizem, a indústria alcoolquímica demandaria 650 milhões de litros do etanol.

### **Agentes facilitadores**

**BNDES** – O banco disponibilizou US\$ 3.530,79 milhões às empresas do setor sucroenergético, estimulando assim o desenvolvimento e a manutenção do setor.

**CCT terceirizado** – Com a maior consolidação do setor, novos grupos empresariais entram no negócio de cana-de-açúcar e aplicam uma gestão profissionalizada, com foco na eficácia operacional e melhor alocação financeira do capital. Isso criou uma demanda por serviços terceirizados, favorecendo a entrada de empresas especializadas em serviços de operações de logística no setor canavieiro. Em 2008 o CCT (Centro de Ciências e Tecnologia) terceirizado movimentou cerca de US\$ 916,3 milhões.

**Frete rodoviário para exportação do açúcar e etanol** – Os recursos mobilizados com frete rodoviário para exportação do açúcar e etanol somaram US\$ 539,03 milhões. Desse total, o gasto com fretes rodoviários para a exportação de açúcar na região Centro-Sul foi de US\$ 383,6 milhões, sendo os portos de Santos e Paranaguá as principais vias de exportação do país em 2008. Desse montante, o frete de exportação do etanol movimentou US\$ 155,4 milhões. O custo do frete para exportação do açúcar no modal rodoviário brasileiro foi de US\$ 34,16/t (e do etanol US\$ 34,76/m<sup>3</sup>).

**Pedágios para exportação do açúcar e etanol (Porto de Santos)** – O faturamento dos pedágios em função da logística do etanol e do açúcar para exportação, nas rodovias paulistas, foi de US\$ 79,9 milhões em 2008.

**Custo portuário (Porto de Santos)** – Estima-se que em 2008 a receita do Porto de Santos relativa a desembarques, elevação e supervisão de embarque do açúcar e etanol foi de US\$ 213,5 milhões. Vale destacar que quase 70% de todo o volume de etanol e açúcar brasileiro exportado foi realizado pelo Porto de Santos.

**Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)** – Em 2008, foram alocados US\$ 79,2 milhões de recursos em pesquisas no setor sucroenergético provenientes de Finep, Faesp, Canavialis e Allelyx, CTC, IAC e usados internamente ou distribuídos entre organizações públicas e privadas, USP, Unicamp, Unesp, Embrapa, Ridesa entre outras.

**Eventos** – Foram mapeados cinco importantes eventos no setor sucroenergético que juntos movimentaram US\$ 5,3 milhão em 2008.

**Revistas especializadas** – As principais revistas setoriais movimentaram US\$ 3,99 milhões, distribuídos entre Jornal Cana, IDEA News, Energia Mundo, Cana Mix, Canavieiros, Stab, num total de 61 mil exemplares.

**Plano de saúde e refeições** – De acordo com Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias do Açúcar, Alimentação e Afins, os trabalhadores do Estado de São Paulo recebem benefícios de plano de saúde e alimentação, total ou parcialmente pago pelas usinas. O custo médio mensal desembolsado com planos de saúde é de US\$ 33,00 por pessoa. Disto resulta que o segmento de plano de saúde faturou em 2008 cerca de US\$ 125,5 milhões com o setor sucroenergético. Vale destacar a enorme importância que esses planos de saúde trazem para os municípios onde as usinas estão instaladas no sentido de desafogar os hospitais públicos. No que se refere à alimentação, estima-se que as usinas paulistas desembolsaram US\$ 188,3 milhões (custo médio mensal de US\$ 49,00 por pessoa).

## Massa salarial / Empregos

De acordo com a Rais (Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego), em 2008, foram contabilizados 1.283.258 empregos formais (481.662 no campo para o cultivo da cana-de-açúcar, 561.292 nas fábricas de açúcar em bruto, 13.791 no refino e moagem de açúcar e 226.513 na produção de etanol).

Os dados mostram que o índice de formalidade de empregos no setor canavieiro vem crescendo, atingindo 80,9% no Brasil, de acordo com dados do IBGE de 2007 (66,5% no Norte-Nordeste; 90,3% no Centro-Sul; 95,1% em São Paulo). No total, há 1,43 milhão de empregos no setor. Como para cada emprego direto são gerados dois indiretos, chega-se à marca de 4,29 milhões de pessoas alocadas em empregos relacionados à cana-de-açúcar. São Paulo é o Estado que mais emprega (40% do total), com destaque para o cultivo de cana (54%).

Em 2008 observou-se que no Brasil pessoas analfabetas e com baixa instrução (com o 5º ano do Ensino Médio completo) representavam mais de 55% dos trabalhadores do cultivo de cana, enquanto que no Centro-Sul esse índice não superou os 5%. Na fabricação de açúcar e etanol, a proporção de pessoas analfabetas e com baixa instrução é pouco menor. No entanto, o aumento da mecanização vem gerando um crescimento na demanda por profissionais mais qualificados. Uma colhedora substitui o trabalho de cem pessoas com baixa capacitação, porém, exige dez trabalhadores capacitados em automação e mecanização. Instituições como Senar, Senai e CTC entre outras estão auxiliando na formação desse novo perfil de mão-de-obra que o setor demanda, porém ainda existe espaço para outras entidades atuarem para a melhoria da qualificação profissional.

Outro ponto analisado foi a faixa de remuneração dos colaboradores, concentrada entre um e três salários mínimos. Além disso, mesmo com a sazonalidade característica do setor dirimida nos últimos anos em função da aplicação de novas tecnologias no cultivo e na colheita de cana-de-açúcar, o saldo final de postos de trabalho formais ficou 2,9% acima do ano anterior (de 572.194 em 2007 para 588.826 em 2008).

Como rendimento médio dos trabalhadores, o Centro-Sul apresenta R\$ 1.062,55/pessoa e o Norte-Nordeste, R\$ 666,20 (com média nacional de R\$ 942,02). De tal situação depreende-se que a massa salarial gerada pelas regiões também seguirá a mesma linha, com o Centro-Sul movimentando R\$ 786,3 milhões, e o Norte-Nordeste R\$ 422,6 milhões (total de R\$ 1,21 bilhão).

## Impostos

Para o cálculo do imposto total utilizou-se a somatória dos impostos gerados em cada elo do sistema agroindustrial (SAG), desde a venda dos insumos agrícolas e industriais até a venda dos produtos finais. Para eliminar a dupla contagem e considerar os impostos agregados no SAG, subtraiu-se do total os impostos gerados nos primeiros elos (insumos agrícolas e industriais).

O resultado dessa estimativa demonstrou que os impostos sobre faturamento totais do SAG somaram em 2008 US\$ 9.868,2 milhões, dos quais US\$ 3.012,8 milhões foram gerados pela venda de insumos agrícolas e industriais. Dessa forma, os impostos agregados no SAG foram estimados em US\$ 6.855,4 milhões.

Os impostos foram calculados por meio de uma alíquota média ponderada (estimou-se a alíquota da mercadoria nos principais Estados, levando-se em conta incentivos fiscais e volumes produzidos). Somente os impostos sobre o faturamento (IPI, ICMS, PIS e Cofins) foram considerados neste levantamento. No caso do ICMS, não foi utilizada a alíquota média ponderada, e sim a alíquota interestadual dos Estados do Centro-Sul. No caso do PIS/Cofins foram utilizadas as alíquotas padrão de 1,65% e 7,60%, respectivamente, com exceção do etanol, que é tributado por um valor fixo em reais/litro. Além disso, no caso do IPI foram priorizadas as alíquotas dos produtos de maior relevância de cada elo. Como premissas para estimativa dos impostos agregados no sistema agroindustrial, consideraram-se as empresas como optantes pelo sistema de tributação pelo lucro real.

## ► 5. Considerações finais

Este estudo procurou dimensionar o sistema agroindustrial sucroenergético. Ficou claro, depois de cinco meses de pesquisa, que os números do setor são expressivos, com movimentação anual superior a US\$ 80 bilhões. Este material – provavelmente o retrato mais atualizado dessa cadeia produtiva no Brasil – pode servir como base para decisões, no setor público e privado.

A cadeia sucroenergética já mostrou seu potencial de suprir produtos de maneira sustentável, o que contribui para que o Brasil tenha uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Estima-se que, em 2015, 80% do combustível consumido no Brasil seja o etanol. A bioeletricidade apresenta um potencial de suprir cerca de 15% de toda a demanda de eletricidade do país até o final da década. O país caminha para dominar a exportação mundial de açúcar, com quase 50% do mercado mundial em 2009 e expectativas de se atingir mais de 60% em cinco anos. Finalmente, cabe destacar que novos produtos, como o etanol celulósico, ou de segunda geração, o diesel a partir de cana e o biobutanol representam importantes fronteiras tecnológicas e já se encontram em fase piloto ou de demonstração e serão importantes fontes de receitas nos próximos anos.

Este estudo demonstra ainda que a cadeia sucroenergética, de fundamental importância para a economia brasileira, tem grande capacidade de interiorizar o desenvolvimento do país.

## Detalhamento da metodologia e cálculos de quantificação

## Anexo 1

Elo da cadeia	Crterios de quantificao	Fontes
<b>ANTES DA FAZENDA</b>		
<b>Fertilizantes</b>	Volume e faturamento do segmento, ajustados pela porcentagem destinada para produo de cana-de-açúcar. Dados secundários.	Abiquim Anda
<b>Defensivos</b>	Volume e faturamento do segmento, considerando market share para cana-de-açúcar. Dados secundários.	Sindag
<b>Corretivos</b>	Estimativa com base no consumo nacional (apenas calcário, não considera gesso): Base de utilizao – área (ha) de renovao e expanso (A) Dose: 2 doses de 1,5 ton de calcário/ha (B) Preço médio FOB dos principais Estados do calcário (C) Estimativa Faturamento = $A \times B \times C$	Mapa (A) FNP (B) Abracal (C)
<b>Autopeas Inclui servios de manuteno</b>	Estimativa com base na quantidade de equipamentos por usina e gastos com peas e manuteno. Quantidade de usinas (A) Quantidade de equipamentos médio por usina (B) Valor médio com manuteno de equipamentos (Peas e servios) (C) Estimativa de faturamento = $A \times B \times C$	Mapa (A) RPA Consultoria (B, C)
<b>Tratores</b>	Preço médio de tratores por potncia (A) Quantidade de tratores vendidos para setor sucroenergético – por potncia (B) $i$ = faixas de potencias dos tratores Estimativa = $\sum A_i \times B_i$	Entrevistas com executivos de empresas. Concessionários Valtra e Case iH (A, B)
<b>Colhedora</b>	Preço médio de colhedoras (A) Quantidade de colhedoras vendidas (B) Estimativa = $A \times B$	Entrevistas com executivos do segmento - Santal e concessionários Case iH (A, B)
<b>Implementos</b>	Estimativa da quantidade de implementos vendidos anualmente: Implementos = 150% do número de equipamentos motorizados (A). Número equipamentos motorizados = 17,07 equip/1.000 ha (B). Vida útil dos implementos = 10 anos (C). Área cultivada de cana, em milhares de ha (D). Preço médio dos implementos (E) Faturamento estimado com equipamentos de irrigao (todos sistemas) para setor sucroenergético (F) Estimativa de faturamento = $[(A \times B \times D / C) \times E] + F$	RPA Consultoria/IDEA (A, B, C) Mapa (D) Média empresas do segmento (Sermag, Civemasa, Tracan, DMB, Santal) (E) Abimaq (F)
<b>Caminhões</b>	Estimativa de veículos novos a partir da frota e taxa de renovao de frota. Caminhões pesados para carregamento de cana = 2,27/1.000 ha cortados (A) Taxa renovao da frota = 8,11 anos (B) Área de cana (produo), em milhares de ha (C). Preço médio de caminhões pesados (D) Estimativa de faturamento = $(A \times C / B) \times D$	Idea (A, B) Mapa (B) Entrevista com concessionários do segmento – valores médios (D)
<b>Carrocerias e Reboques</b>	Estimativa com base na quantidade de unidades comercializadas e preços médios. Quantidade de unidades comercializadas (A) Preços médios (B) $i$ = tipo de produto (carroceria, semi-reboque, reboque 2 eixos, reboque 4 eixos). Estimativa de faturamento = $\sum A_i \times B_i$	Anfir (A) Entrevistas com empresas do segmento – valores médios (B)

## Anexo 1

## Detalhamento da metodologia e cálculos de quantificação

Elo da cadeia	Crítérios de quantificação	Fontes
<b>Óleo diesel e lubrificantes</b>	Consumo de diesel por atividade produção de cana (A) Área (ha) de cana (B) Preço médio diesel (C) $i =$ atividades (Cana planta, cana soca, colheita, transporte cana para usina e transporte insumos) Estimativa diesel = $(\sum A_i \times B_i) \times C$ Média consumo de lubrificantes l/ha (D) Custo médio lubrificantes (E) Estimativa lubrificantes = $D \times B \times E$	Agroanalysis (A) Mapa (B) Levantamento Markestrat e Pecege (C, E) Idea (D)
<b>Revendas e cooperativas apenas para defensivos</b>	Estimativa de % de defensivos com venda indireta (cooperativas e revendas) (A) Estimativa de margem dos canais de distribuição (B) Faturamento do segmento de defensivos para cana (C) Estimativa de faturamento = $A \times B \times C$	Entrevistas nas indústrias de defensivos e cooperativas (A, B) Sindag (C)
<b>EPI agrícola</b>	Média de gastos/tc (A) Produção de cana em toneladas (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Pesquisas com usinas (A) Conab (B)
<b>NA FAZENDA</b>		
<b>Produção de cana</b>	Produção de cana em toneladas (A) Estimativa de % de cana própria e de fornecedores (B) ATR médio (kg/tc) (C) Valor do ATR R\$/kg (D) Estimativa de faturamento = $A \times B \times C \times D$	Conab (A) Mapa (B) Consecana (C, D)
<b>APÓS A FAZENDA Insumos industriais</b>		
<b>Equipamentos industriais</b>	Novas usinas e capacidade instalada de moagem de cana (A) Estimativa do valor dos investimentos industriais por tonelada de capacidade instalada de moagem de cana, incluindo equipamentos, instrumentação/automação e instalações elétricas em novos projetos (B) Custo de manutenção da usina na entre-safra por tonelada de cana moída no CS e no NE (C) Estimativa em % do custo de manutenção que é gasto com equipamentos no CS e no NE (D) Volume de cana moída no CS e NE (E) Estimativa dos projetos de automação e instrumentação vendidos em 2008 para usinas vendidas em anos anteriores a este (F) Preço médio de cada projeto de automação (G) Estimativa de faturamento = $(A \times B) + (C \times D \times E) + (F \times G)$	Entrevistas com indústrias de base (A) Procknor Engenharia (B) Pesquisa com usinas e dados Pecege (C) Pecege (D) Mapa (E) Entrevista com empresa do setor de automação e instrumentação (F, G)
<b>Serviços de montagem e manutenção</b>	Novas usinas e capacidade instalada de moagem de cana (A) Estimativa do valor dos serviços de montagem industrial por tonelada de capacidade instalada de moagem de cana (B) Estimativa em % do custo de manutenção que é gasto com serviços no CS e no NE (D) Volume de cana moída no CS e NE (E) Estimativa de faturamento = $(A \times B) + (C \times D \times E)$	Entrevistas nas indústrias de base (A) Procknor Engenharia (B) Pesquisa com usinas e dados Pecege (C) Pecege (D) Mapa (E)
<b>Produtos químicos</b>	Média de gastos/tc (A) Produção de cana em toneladas (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Pesquisa nas usinas (A) Conab (B)
<b>Óleo combustível e lubrificante</b>	Consumo médio/tc (A) Produção de cana em toneladas (B) Preço médio (C) Estimativa de faturamento = $A \times B \times C$	Pesquisa com usinas e dados Pecege (A, C) Conab (B)

## Detalhamento da metodologia e cálculos de quantificação

## Anexo 1

Elo da cadeia	Crterios de quantificao	Fontes
<b>Sacarias</b>	Número vendido de sacarias de 50 kg (A) Preço médio (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Afipol (A) Entrevistas com fabricantes de sacarias e usinas (B)
<b>Big Bags</b>	Número vendido de sacaria de 1.200 kg (A) Preço médio (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Afipol (A) Entrevistas com fabricantes de sacarias e usinas (B)
<b>Materiais de laboratório</b>	Média de gastos/tc (A) Produção de cana em toneladas (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Pesquisa com usinas (A) Conab (B)
<b>EPI industrial</b>	Média de gastos/tc (A) Produção de cana em toneladas (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Pesquisas com usinas (A) Conab (B)
<b>APÓS A FAZENDA Faturamento das usinas</b>		
<b>Etanol</b>	Volume de etanol anidro vendido no mercado interno (A) Preço médio etanol anidro (B) Volume de etanol hidratado vendido no mercado interno (C) Preço médio etanol hidratado (D) Volume de etanol para fins não-energético (E) Preço médio não-energético (F) Volume de etanol anidro comercializado no mercado informal (G) Volume de etanol hidratado comercializado no mercado informal (H) Faturamento do etanol com as exportações (I) Estimativa de faturamento = $(A \times B) + (C \times D) + (E \times B) + (E \times F) + (G \times B) + (H \times D) + I$	ANP nos anos de 1999 a 2007 e EPE em 2008 (A) Cepea-Esalq e Mapa (B) Mapa (C) Cepea-Esalq e Mapa (D) EPE (E) Preço médio ponderado utilizando as proporções de volumes anidro e hidratado para fins não-energéticos contabilizados em 2007 (F) Estimativas a partir de ANP, Sindicom e Fecombustíveis (G,H) MDIC-Secex e proporções entre anidro e hidratado com base na UNICA (I)
<b>Açúcar</b>	Produção de açúcar em toneladas (A) Exportação de açúcar em toneladas (B) Faturamento com a exportação de açúcar (C) Volume de açúcar vendido pelas usinas para a indústria, sendo CS = 60%, NE = 25% (D) Volume de açúcar vendido pelas usinas para o atacado, sendo CS = 12%, NE = 22% (E) Volume de açúcar vendido pelas usinas para o varejo, sendo CS = 28%, NE = 53% (F) Preço médio que a usina vendeu para a indústria (G) Preço médio que a usina vendeu para o atacado (H) Preço médio que a usina vendeu para o varejo (I) Estimativa de faturamento = $C + (D \times G) + (E \times H) + (F \times I)$ ponderando os valores e volumes pelas regiões CS e NE	ÚNICA, Safra 2008/09 (A) MDIC-Secex (B, C) A – B ponderado pelos % obtidos por meio de entrevista com usinas e Copersucar (D, E, F) Cepea-Esalq, Mapa (G) Entrevista com atacadistas (H) Cepea-Esalq, preço da Sc 50kg + R\$ 15/ saca (I)
<b>Energia elétrica</b>	MW vendidos (A) Preço médio MWh em leilões (B) Conversão de MW em MWh (C) Estimativa de faturamento = $A \times B \times C$	EPE e Valor Econômico (A) Cogen (B, C)
<b>Leveduras e aditivos</b>	Faturamento de levedura no mercado interno (A) Faturamento de levedura no mercado externo (B) Faturamento de aditivos no mercado interno (C) Faturamento de aditivos no mercado externo (D) Conversão de R\$ em US\$ (E) Estimativa de faturamento: $((A + C)/E) + B + D$	ICC (A, B, C e D)
<b>Crédito de carbono</b>	Quantidade tCO <sub>2</sub> e (A) Preço médio (B) Estimativa de faturamento: $A \times B$	United Nations Framework Convention e ABDI (A) Banco Mundial (B)

## Anexo 1

## Detalhamento da metodologia e cálculos de quantificação

Elo da cadeia	Crítérios de quantificação	Fontes
<b>APÓS A FAZENDA Faturamento dos canais de distribuição</b>		
<b>Etanol distribuidoras</b>	Volume de etanol hidratado vendido no mercado interno (A) Preço médio ponderado (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	ANP (A, B)
<b>Etanol postos</b>	Volume de etanol hidratado vendido no mercado interno (A) Preço médio (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	ANP (A, B)
<b>Açúcar atacado</b>	Volume comercializado (A) Preço médio (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Entrevistas com usinas (A) Entrevistas com atacadistas (B)
<b>Açúcar varejo</b>	Volume comercializado no atacado e no varejo (A) Preço médio (B) Estimativa de faturamento = $A \times B$	Entrevistas com usinas (A) Dieese (B)
<b>FACILITADORES</b>		
<b>CCT terceirizado</b>	Produção de cana em toneladas (A) Porcentagem de colheita mecanizada terceirizada (B) Porcentagem de carregamento terceirizado (C) Porcentagem de tração e transporte terceirizada (D) Preço do serviço de colheita (E) Preço do serviço de carregamento (F) Preço do serviço de transporte (G) Cálculo do faturamento: $A \times B = W$ ; $A \times C = Y$ ; $A \times D = Z$ $W \times E = V$ ; $C \times F = L$ ; $Z \times G = H$ Portanto: $V + L + H$	Conab (A) Entrevistas com Usinas, Pecege (B,C,D) Logtrac, Usinas e Idea (E, F e G)
<b>Fretes</b>	Valor do frete R\$/ton.Km (A) Volume exportado (Ton) (B) Distância percorrida (C) Estimativa de faturamento: $A \times B \times C$	Sifreca (A) MIDC/Secex (B) Pesquisa Markestrat com empresas de fretes (C)
<b>Pedágio</b>	Dados logística etanol R\$/m <sup>3</sup> (A) Volume exportado etanol (B) Faturamento pedágio Etanol: $A \times B = Y$ Valor médio gasto com pedágio, caminhão 7 eixos(C) Capacidade caminhão (D) ; Volume exportado (E) Cálculo: $E / D =$ Número de viagens (Z) Estimativa de faturamento pedágio açúcar: $Z \times C = W$ Estimativa de faturamento pedágios: $Y + W$	Copersucar e Sifreca (A) MIDC/Secex (B) Usinas (C)
<b>Custo portuário</b>	<b>Açúcar</b> Valor gasto com elevação: US\$/ton (A) Valor gasto com supervisão de embarque: US\$/ton (B) Valor desembaraço: US\$/despacho (C) ;Valor despacho (Y) $C / Y = (D)$ Volume exportado por Santos: (E) Estimativa de faturamento açúcar: $(A + B + D) \times E$  <b>Etanol</b> Valor gasto com elevação: US\$/M <sup>3</sup> (S) Valor gasto com supervisão de embarque: US\$/M <sup>3</sup> (G) Valor desembaraço: US\$/despacho (H) ; valor do despacho (Z) $H / Z = (W)$ Volume exportado por Santos: (F) Estimativa de faturamento açúcar: $(S + G + W) \times F$	Copersucar (A, B e C) MIDC/Secex (E e F) Ietha (S, G, H)

## Detalhamento da metodologia e cálculos de quantificação

## Anexo 1

Elo da cadeia	Critérios de quantificação	Fontes
<b>Planos de saúde</b>	Número mensal de trabalhadores nas usinas (A) Preço médio Plano de Saúde (B) Estimativa de faturamento: $A \times B$	MTE (A) Unimed, São Francisco Clínicas e Sermed (B)
<b>Refeições</b>	Número mensal de trabalhadores nas usinas (A) Preço médio gasto com refeições por mês (B) Número de meses/ano (C) Estimativa de faturamento: $A \times B \times C$	MTE (A) Entrevista com usinas (B)
<b>BNDES Financiamento</b>	Dados de financiamento ao setor sucroenergético consolidados no ano de 2008	BNDES
<b>Eventos</b>	Custos na montagem e desenvolvimento dos eventos no setor sucroenergético: Fenasucro e Agrocana (A); Ethanol Summit (B); Fersucro e Simpo (C); Simtec (D); Canasul(E) e Agrishow (F) Estimativa de faturamento: $A+B+C+D+E+F$	Fenasucro e Agrocana (A); Ethanol Summit (B); Fersucro e Simpo (C); Simtec (D); Canasul(E) e Agrishow (F)
<b>Revistas</b>	Entrevistas com as editoras e quantificação do faturamento. Jornal da cana (A); Idea news(B); Energia mundo (C); Canavieiros (D) e Canamix (E) Estimativa de faturamento: $A+B+C+D+E$	Jornal da cana (A); Idea news (B); Energia mundo (C); Canavieiros (D) e Canamix (E)
<b>Massa salarial</b>	Número de trabalhadores no setor agrícola sucroenergético (A) Número de trabalhadores no setor industrial sucroenergético (B) Média de salário do empregado no setor agrícola (C) Média de salário do empregado na indústria (D) Estimativa de faturamento: $(A \times C) + (C \times D)$	MTE (A, B, C e D)
<b>Impostos</b>	Faturamento bruto (A) Valor do IPI (B) ICMS (C) PIS (D) Cofins (E) Insumos Agro (F) Equipamentos e instalações industriais (G) Impostos sobre vendas $\Sigma (A \times B) + (A \times C) + (A \times D) + (A \times E) = (I)$ Estimativa de faturamento: $T - F - G$	Reis Advogados Associados (C,D e E) Ministério da Fazenda / Receita Federal (B)

## 6. Referências bibliográficas

- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Estatísticas – Créditos de Carbono*. Acesso em: <[www.abdi.com.br](http://www.abdi.com.br)>
- Abimaq – Associação Brasileira de Indústria de Máquinas e Equipamentos <[www.abimaq.org.br](http://www.abimaq.org.br)>. 2009.
- Abiquim – Associação Brasileira da Indústria Química. *Anuário da Indústria Química Brasileira – 2008*. São Paulo, Abiquim.
- Abiquim – Associação Brasileira da Indústria Química. Estatísticas. *A Indústria Química Brasileira em 2008*. Disponível em <<http://www.abiquim.org.br/>>. Acesso em junho de 2009.
- Abracal – Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola. Disponível em <[www.sindical.com.br/abracal](http://www.sindical.com.br/abracal)>.
- Aenda – Associação Brasileira dos Defensivos Genéricos. *Syngenta está de olho na Dow*. Disponível em <[www.radarindustrial.com.br](http://www.radarindustrial.com.br)>. Acessado em agosto de 2009.
- Afipol – Associação Brasileira dos Produtores de Fibras Poliolefinicas. <[www.afipol.org.br](http://www.afipol.org.br)>. 2009.
- Agrishow 2008 – Feira Internacional de Tecnologia Agrícola. <[www.agrishow.com.br](http://www.agrishow.com.br)> Acesso em 10 de junho de 2009.
- Agroanalysis – A Revista de Agronegócio da FGV. *Consumo de Diesel por atividade de produção de cana*, 2009. Consultado em: <[www.agroanalysis.com.br](http://www.agroanalysis.com.br)>
- Agri-Tillage do Brasil – Indústria e Comércio de Máquinas e Implementos Agrícolas Ltda. <[www.baldan.com.br](http://www.baldan.com.br)> 2009 Acesso em 15 de julho de 2009.
- Alvarenga, R. P.; Queiroz, T. R. *Caracterização dos Aspectos e Impactos Econômico, Sociais e Ambientais do Setor Sucroalcooleiro Paulista*. Unesp – Universidade Estadual Paulista, campus experimental de Tupã/Cepeagro. Apresentação oral, Tupã, SP.
- Anda – Associação Nacional para Difusão de Adubos. *Estatísticas. Principais Indicadores do Setor de Fertilizantes*. Disponível em <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em junho de 2009.
- Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. <[www.anfavea.com.br](http://www.anfavea.com.br)> 2009.
- Anfavea – Associação Nacional de Veículos Automotores. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2009 –* Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2009/indice.pdf>>. Acessos em: 15/06/2009, 16/06/2009 e 17/06/2009.
- Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2009*. Disponível em <<http://www.anfavea.com.br>>; <<http://www.anfavea.com.br/anuario2009/indice.pdf>>. Acessado em Agosto de 2009.
- Anfir – Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários. *Unidades Comercializadas de Implementos Rodoviários*, 2008. Acesso em: <[www.anfir.org.br](http://www.anfir.org.br)>
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Distribuição de Etanol no Brasil*. Acesso em: <[www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)>
- ASSOBRAV – Associação Brasileira de Distribuidores Volkswagen. *Produção de caminhões despenca*. 25/05/2009. Disponível em <[www.assobrav.com.br](http://www.assobrav.com.br)>. Acessado em setembro de 2009.
- Banco Mundial (The World Bank) – *International Prices of Carbon Credit*. Acesso em: <[www.worldbank.com](http://www.worldbank.com)>
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. <[www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)>, consultado em 22 de julho de 2009.
- BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. BNDES Setorial. *Fertilizantes: uma visão global sintética*. Disponível em <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em junho de 2009.
- BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o*

- desenvolvimento sustentável / coordenação BNDES e CGEE. 320 p. Rio de Janeiro, 2008.*
- Bouças, C. *Exportação de máquinas agrícolas perde fôlego e preocupa indústria.* Jornal Valor Econômico, 07/06/2005.
  - Bradesco Sector – *Sugar & Etanol & Energy. Update. Equity Research – Brazil*, julho, 2009.
  - Caixeta Filho, J. V. *Fretes de exportação para açúcar e etanol – Anuário Esalq-Log 2008.* Piracicaba-SP, 77p.
  - Caixeta Filho, J. V. – *Anuário do Sifreca – Sistema de Informação de Fretes.* Disponível em <http://sifreca.esalq.usp.br>. Acesso em 25 de agosto de 2009.
  - Canal Rural – *Organização Internacional do Açúcar prevê produção menor do que o consumo*, Agência Safras – Canal Rural. Disponível em < <http://www.clicrbs.com.br/canalrural/jsp/default.jsp?uf=2&local=18&action=noticias&id=2500505&section=Capa>>. Acessado em setembro de 2009.
  - Castro, L. T. *Incentivos em canais de distribuição: Um estudo comparativo entre o Brasil e os EUA no setor de defensivos agrícolas.* 2008, São Paulo.
  - CCIBC – Câmara de Comércio e Indústria Brasil-China. Disponível em <<http://www.ccibc.com.br>>. Acessado em agosto de 2009.
  - Ceise-BR – Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroalcooleiro e Energético. <[www.ceisebr.com](http://www.ceisebr.com)>. 2009.
  - Cepea-Esalq – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. *Preços Médios Etanol Hidratado e Anidro.* Acesso em: <[www.cepea.esalq.usp.br](http://www.cepea.esalq.usp.br)>
  - Christofidis, D. – *Água: Gênese, Gênero e Sustentabilidade Alimentar no Brasil.* 2006.
  - Cogen – Associação da Indústria de Cogeração de Energia. Preço Médio do MW/h em Leilões. Acesso em: <[www.cogen.com.br](http://www.cogen.com.br)>
  - Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. *Os Fundamentos da Crise no Setor Sucroalcooleiro no Brasil* (edição especial para divulgação na Feira Internacional da Indústria Sucroalcooleira – Fenasucro), setembro 2009.
  - Consecana – Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. *ATR Médio em 2008 e Valor do ATR Médio.* Acesso em: <[www.consecana.com.br](http://www.consecana.com.br)>
  - Copersucar – Disponível em <http://www.copersucar.com.br/hotsite/50anos/50anos.htm>. Acessado em junho de 2008.
  - CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. <[www.ctc.com.br](http://www.ctc.com.br)> 2009. Acesso em 15 de agosto de 2009.
  - Daher E. – *Uma Crise de Demanda*, DBO Agrotecnologia – abril/maio 2008. Disponível em <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em junho de 2009.
  - Datrago – *Boletim Informativo: Produção de Cana, Açúcar e Álcool – Brasil.* Disponível: site Datrago.<[www.datrago.com.br](http://www.datrago.com.br)>, consultado em 9 de julho de 2009.
  - Dedini S/A – Indústria de Base. <[www.dedini.com.br](http://www.dedini.com.br)>, 2009.
  - Dieese – Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. Cesta Básica. Disponível em <http://www.dieese.org.br/rel/rac/cesta.xml>. Acessado em julho de 2009.
  - DMB Máquinas e Implementos Agrícolas Ltda. <[www.dmb.com.br](http://www.dmb.com.br)> 2009. Acesso em 15 de julho de 2009.  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Megawatts vendidos em 2008 pelas Usinas de Açúcar e Álcool. Acesso em: <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>
  - Exame. São Paulo.<[www.portalexame.abril.com.br](http://www.portalexame.abril.com.br)>, consultada em junho de 2007.
  - Fapesp – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. <[www.fapesp.br](http://www.fapesp.br)> 2009. Acesso em agosto de 2009.
  - Ferreira, C. R.; Vegro, C. L. R.; Oliveira, M. D. M. – *Máquinas agrícolas automotrizadas: represamento dos negócios já faz parte do passado.* Instituto de Economia Agrícola, 26/04/2007. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=8940>> Acesso em 12 de junho de 2009.
  - GEO Brasil. *Recursos hídricos: resumo executivo.* / Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas;

- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007.
- Grupo Idea – Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial LTDA – *Indicadores agrícolas para cultura da cana-de-açúcar, capítulo 3: Mecanização*. Disponível em: <<http://www.ideaonline.com.br/idea/default.asp?menu=10&classificacao=17&nome=INDICADORES%20AGR%20CDCOLAS>> Acessos em 14 de junho e 1º de julho de 2009.
  - Grupo Idea – Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial LTDA. *Indicadores Agrícolas do Setor Sucroalcooleiro – Safra 2005/2006*.
  - Hansenclever. L. A. *Uma Agenda de Competitividade para a Indústria Paulista – Indústria de Defensivos*. São Paulo, fevereiro 2008. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
  - Heringer Fertilizantes. *Mercado Brasileiro de Fertilizantes*. Disponível em <<http://www.heringer.com.br/ri/>>. Acessado em junho de 2009.
  - IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Industrial Anual (PIA) – Empresa – 2007*.
  - ICC – *Leveduras – Mercado de Leveduras no Brasil, 2009*. Acesso em: <[www.yeastbrazil.com](http://www.yeastbrazil.com)>.
  - IEA – Instituto de Economia Agrícola. *Mercado de Máquinas Agrícolas Automotrizes: Alta dos suprimentos estratégicos*. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=9344>> Acesso em 5 de junho de 2009.
  - IEA – Instituto de Economia Agrícola. *Mercado de Máquinas Agrícolas Automotrizes: balanço de 2007 e expectativas para 2008*. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=9202>>. Acesso em: 07/06/2009.
  - Ietha – International Ethanol Trade Association. *Logística de Etanol no Brasil*. Acesso em: <[www.ietha.org](http://www.ietha.org)>
  - IFA – International Fertilizer Industry Association. *Statistics. Fertilizer supply statistics*. Disponível em <<http://www.fertilizer.org/>>. Acesso em junho de 2009.
  - IFA – International Fertilizer Industry Association. *World Agriculture and Fertilizer Demand, Global Fertilizer Supply and Trade 2008-2009. Summary Executive*. Disponível em <<http://www.fertilizer.org/>>. Acesso em junho de 2009.
  - Informe Sifreca – Sistema de Informações de Fretes. Piracicaba – São Paulo, edição especial de maio de 2008.
  - Instituto FNP – *Agriannual 2009 – Anuário da Agricultura Brasileira*; São Paulo - SP, págs. 254 a 257. Acesso em <[www.fnp.com.br](http://www.fnp.com.br)>
  - Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Preços – Setor Sucroalcooleiro*. Disponível em <[http://www.agricultura.gov.br/portal/page?\\_pageid=33,971667&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.agricultura.gov.br/portal/page?_pageid=33,971667&_dad=portal&_schema=PORTAL)>
  - Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. <[www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br)> 2009. Acesso em 12 de junho de 2009.
  - Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Anuário Estatístico da Agroenergia*, Brasília; Mapa/ACS, 2009. 160 p. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em 12 de junho de 2009.
  - Marques, P. V. (Coordenador.) *Custo de Produção Agrícola e Industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/ Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009, 194 p. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.
  - MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. <[www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)>. 2009.
  - Ministério da Fazenda – Receita Federal. *Tabela Tipi*.
  - Moraes, M. A. F. D. – *O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades*. Economia aplicada, vol. 11, n. 4, Ribeirão Preto, SP – Outubro/Dezembro 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-80502007000400008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-80502007000400008&script=sci_arttext)>. Acesso em 26 de agosto de 2009.
  - MPOG – Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Lenha nova para velha fornalha: a febre dos agrocumbustíveis*, de Sergio Schlesinger – Rio de Janeiro: Fase, 2008. 108p.

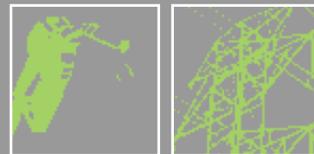
- MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. *Relação Anual de Informações Sociais, 1999 a 2008*. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/geral/estatisticas.asp?viewarea=rais>> Acesso em 27 de agosto de 2009.
- Neves et all. *Defensivos Agrícolas no Brasil: demanda e perspectivas nas principais culturas*. Revista Agroanalysis.
- Oica – Organisation Internationale des Constructeurs d’automobiles. *Production Statistics: World Motor Vehicle Production by Country and Type 2007-2008*. Disponível em <<http://oica.net/wp-content/uploads/trucks2.pdf> >. Acessado em agosto de 2009.
- Procknor- Engenharia S/C Ltda. <[www.procknor.com.br](http://www.procknor.com.br)>. 2009
- Reis Advogados Associados – *Tributos no Setor Sucroenergético, 2009*. Bebedouro – SP.
- RPA Consultoria – *Dimensionamento de Frota de Implementos Agrícolas no setor Canavieiro*. Ribeirão Preto – SP. Acesso em: <[www.ricardopintoassociados.com.br](http://www.ricardopintoassociados.com.br)>
- Santal – Máquinas e equipamentos para o setor canavieiro. <[www.santal.com.br](http://www.santal.com.br)> 2009.
- Secex – Secretária de Comércio Exterior. MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Disponível em <[www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br](http://www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br)>.
- Sermatec – Indústria e Montagens Ltda.<[www.sermatec.com.br](http://www.sermatec.com.br)>.2009.
- Sermag – Serrana Máquinas e Equipamentos Ltda. <[www.sermag.com.br](http://www.sermag.com.br)> 2009. Acesso em 16 de julho de 2009.
- Sindag – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. *Volume, Faturamento e Marketing Share*. Disponível em: <[www.sindag.com.br](http://www.sindag.com.br)>.
- Sindipecas – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. *Desempenho do Setor de Autopeças / Brazilian Autoparts Industry Performance 2009*. Disponível em: <[http://www.sindipecas.org.br/paginas\\_NETCDM/modelo\\_pagina\\_generico.asp?ID\\_CANAL=103](http://www.sindipecas.org.br/paginas_NETCDM/modelo_pagina_generico.asp?ID_CANAL=103)>. Acesso em 16 de julho de 2009.
- Smar – Equipamentos Industriais Ltda.<[www.smar.com.br](http://www.smar.com.br)>.
- Soares, L. H. B.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. – *Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa: Uso de Etanol da Cana-de-Açúcar produzido no Brasil*. Especial Embrapa. São Paulo: Agroanalysis, abril de 2009.
- *Transporte Moderno*. Anuário Maiores e Melhores do Setor de Logística. Ano 21, novembro 2008. Disponível em < <http://www.revistatransportemoderno.com.br>>. Acessado em julho de 2009.
- UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. *Dados e Cotações*. Disponível em <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)> .
- US\$ A Report. Disponível em [www.US\\$a.org](http://www.US$a.org).
- *Valor Econômico* – Valor Online. *Curtas. Syngenta de olho*. 03/03/2009. Disponível em <<http://www.valoronline.com.br/>>. Acesso em agosto de 2009.
- *Valor Econômico* – Valor Online. *Insumos. Venda de defensivos pode cair até 15%, diz Andef*. Disponível em <<http://www.valoronline.com.br/>>. Acesso em junho de 2009.
- Vieira, D. B.; Telles, D. D. – *Panorama da Irrigação no Brasil: Evolução, Tendências, Novas legislações*. Ingeniería del água, vol. 8, nº 2, junho 2001.
- Yara International - Yara Fertilizer Industry Handbook, November 2008. Disponível em <<http://www.yara.com/>>. Acessado em junho de 2009.

### **Nota explicativa**

[01] Apenas neste caso utilizou-se a cotação média do dólar americano entre abril de 2008 e março de 2009, período equivalente à safra 2008/09. O valor utilizado foi de 1US\$ = R\$ 1,97.

02





# Externalidades sociais dos combustíveis

Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes

Cinthia Cabral da Costa

Joaquim José Martins Guilhoto

Luiz Gustavo Antonio de Souza

Fabíola Cristina Ribeiro de Oliveira



*Este estudo apresenta o perfil dos empregados do ciclo do etanol, seu grau de instrução e o nível de remuneração e avalia a capilaridade da atividade e seus impactos sobre o emprego e a renda no interior do país.*

*Sabe-se que a escolaridade dos assalariados na lavoura canavieira é baixa. Eles estudam, na média, 4,2 anos, de acordo com dados de 2007. No setor de produção de etanol, a média é mais alta: 7,7 anos. Os anos de estudos estão refletidos nos salários. Na média, o empregado na indústria do etanol ganha 25,3% mais do que o empregado da lavoura canavieira.*

*Esses números indicam a necessidade de um esforço, público e privado, para aumentar o nível de escolaridade da mão-de-obra do ciclo do etanol. Mas os números também mostram que o setor é responsável pela inclusão no mercado de trabalho de um contingente expressivo que teria dificuldade em ser absorvido em outros ramos da atividade econômica.*

*Para avaliar o nível de remuneração dos trabalhadores nas plantações de cana, a comparação mais pertinente é em relação aos empregados de outras culturas. Nesse universo, o trabalhador dos canaviais só perde para o que trabalha nas fazendas de soja, altamente mecanizadas e que, portanto, demandam mão-de-obra mais qualificada. Em todas as demais culturas comparáveis, ganha-se menos.*

*Além da importância na renda, o setor sucroenergético, por estar espalhado pelo Brasil, tem um impacto social que deve ser medido também pela contribuição na descentralização da renda. O número de municípios produtores de cana-de-açúcar e/ou etanol (1.042) é seis vezes maior do que o número de cidades em que há extração de petróleo e/ou indústria de derivados (176).*

*Com relação ao número de empregados, a diferença também é grande. De acordo com a Relação Anual de Informações Sociais (Rais) do Ministério do Trabalho referente a 2007, o setor de produção de cana e etanol, com 465.236 trabalhadores (desconsiderando-se os envolvidos na produção do açúcar), emprega mais de seis vezes mais do que o setor de produção de petróleo.*

*Este trabalho também apresenta uma projeção que mostra que o impacto da maior demanda por etanol (com a substituição de 15% da gasolina) criaria no país potencial para a geração de 117.701 novos empregos, que agregariam massa salarial de R\$ 236 milhões por ano.*

## ► 1. Introdução

A definição da matriz energética de um país considera a relação entre o perfil da economia e a disponibilidade dos recursos energéticos, mas é importante analisar também aspectos ambientais e sociais.

A busca por fontes de energia renováveis e limpas é uma resposta à emissão de gases de efeito-estufa gerados por combustíveis fósseis, que tem efeitos negativos sobre o meio ambiente. Uma dessas fontes mais importantes é o etanol. As externalidades ambientais positivas da produção e do uso do etanol justificam a adoção de políticas públicas. Merece atenção especial o fato de o etanol ser menos poluente que a gasolina no que se refere às emissões de carbono, o que contribui para a redução do efeito-estufa.

Considerando os aspectos teóricos, Moraes (2000) diz que as externalidades positivas na produção e uso do etanol são falhas de mercado que justificam a presença do Estado através da regulamentação social. Argumenta que os preços gerados em ambiente de livre mercado, sem levar em conta tais externalidades, podem ser insuficientes para proporcionar retornos adequados dos investimentos, levando a uma produção sub-ótima.

Além dos aspectos ambientais, no entanto, devem ser analisados outros benefícios do etanol, dentre eles “os empregos diretos e indiretos gerados; a possibilidade de se contar com a oferta do combustível alternativo aos derivados do petróleo, de origem renovável; a contribuição positiva para a balança comercial, pelas importações evitadas de petróleo e derivados”, conforme estudo de Serodio e outros (1998, pág.11).

No que se refere aos aspectos sociais, é importante destacar a geração de empregos do setor sucroalcooleiro, não somente na área industrial (produção de açúcar e etanol), como também na área agrícola. Oliveira (2009) aponta que, em 2007, segundo dados da Pesquisa Nacional de Amostra Domiciliar (PNAD), havia 527.401 empregados na cultura da cana-de-açúcar, que corresponderam a 19,9% do total dos empregos gerados na agricultura brasileira daquele ano. Hoffmann e Oliveira (2008), a partir dos dados da PNAD, encontraram aproximadamente 608,3 mil trabalhadores na produção de cana-de-açúcar em 2006. Os dados da Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (Rais) apontam um total de 1.283.258 empregados formalmente registrados em 2008 nos setores de cana-de-açúcar (37,5% do total), de açúcar (44,8% do total) e de etanol (17,7% do total).

A produção do etanol, ademais, tem impactos importantes no desenvolvimento regional, dada a capilaridade da produção nos mais diversos estados e regiões do Brasil. Diferentemente dos combustíveis fósseis (cuja fabricação se concentra em poucos estados e cidades), a produção de cana-de-açúcar, de açúcar e de etanol está presente em grande número de estados e promove o desenvolvimento das cidades do interior.

Além da produção, é importante verificar os efeitos multiplicadores nas diversas atividades ou o seu encaideamento na economia. Os efeitos multiplicadores se estendem por toda a economia, no que se refere à geração de renda e de empregos, tanto pelos efeitos diretos quanto indiretos.

Este trabalho visa analisar os indicadores sócio-econômicos dos setores de produção de cana-de-açúcar, de eta-

nol, de extração de petróleo e de produção de derivados do petróleo, no que se refere à geração de empregos, renda e desenvolvimento regional. Para a análise dos benefícios sociais dos diferentes tipos de combustíveis são elaborados diversos indicadores, que, em conjunto, poderão nortear a comparação entre a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar e a produção de combustíveis fósseis, no tocante aos seguintes aspectos:

- I Geração de emprego: apresentação da evolução dos indicadores sobre o mercado de trabalho, tais como número de empregados, escolaridade, idade;
- II Localização da produção: identificação das principais regiões produtoras e respectivos municípios com o intuito de comparar a capacidade de geração de emprego, renda e desenvolvimento regional;
- III Estimativa da importância da produção de cana-de-açúcar e etanol nas referidas regiões, através do cálculo do quociente locacional;
- IV Mensuração e comparação do impacto do aumento da demanda de etanol hidratado, em detrimento a demanda de gasolina C, sobre o nível de emprego e da remuneração total na economia brasileira.

## ► 2. Metodologia

### 2.1 Informações sobre as bases de dados

Para analisar a evolução da remuneração, da qualificação e do número de pessoas empregadas na lavoura de cana, na produção de álcool, na extração e na produção de combustíveis fósseis foram dados da Rais (Relação Anual de Informações Sociais), do Ministério do Trabalho e Emprego, e da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os setores analisados nesta seção são designados de “cana-de-açúcar”, “etanol”, “extração de petróleo” e “derivados do petróleo”, segundo os códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). A maior desagregação existente das atividades não permite separar as informações específicas para o etanol fabricado a partir de cana-de-açúcar, nem para a extração de petróleo destinado à exclusivamente para a fabricação de gasolina, bem como dados sobre a produção específica de gasolina. Os dados para o etanol englobam também a fabricação de álcool de cereais, de madeiras ou de outros vegetais, de álcool etílico de mandioca e de álcool destinado ao uso doméstico. No caso da extração de petróleo, os dados incluem gás natural e minerais betuminosos, dentre outros; no caso da produção de derivados, os dados englobam a fabricação de diversos produtos, tais como butano, de gás de nafta, de parafina e de querosene, além das atividades de apoio à extração de petróleo e gás natural <sup>[1]</sup>.

Quanto às bases de dados, a Rais <sup>[2]</sup> é um censo do mercado formal de trabalho baseado nas informações fornecidas pelas empresas. Já as informações da PNAD <sup>[3]</sup> são obtidas por meio de questionários respondidos por pessoas dos domicílios que compõem a amostra. Embora essas pesquisas não sejam comparáveis, em função da metodologia de coleta de dados, cada uma oferece vantagens analíticas: a PNAD também capta os empregados informais e a Rais detecta o nível de desagregação geográfica das informações, pois permite a análise por municípios. Dessa forma, para se analisar os benefícios sociais dos diferentes tipos

de combustíveis, seja no cultivo de matérias-primas ou nas áreas de extração e de produção industrial, são utilizados tanto os dados da PNAD (âmbito estadual) como o da Rais (âmbito municipal).

A análise estadual e/ou regional com base nos dados da PNAD, especialmente ligada às atividades agrícolas, apresenta características que devem ser levadas em conta na interpretação dos resultados, tais como:

- I O IBGE (2006) considera como morador na unidade domiciliar a pessoa ausente que tenha a unidade domiciliar como local de residência habitual e, na data da entrevista, estava afastada temporariamente, por um período não superior a 12 meses, em decorrência de permanência no local de trabalho por conveniência ou devido à natureza de suas tarefas. Isso significa que uma pessoa de família residente em algum estado da região Nordeste que está temporariamente trabalhando em outro Estado, em atividades agrícolas que utilizam este tipo de mão-de-obra (migrante), será contada no estado da região Nordeste.
- II Na região Norte contabilizam-se os dados da PEA (população economicamente ativa) agropecuária de Tocantins e apenas a com residência urbana dos Estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá (antiga região Norte).

Os dados para o número de empregos fornecidos pela matriz de insumo-produto (MIP) diferenciam-se de outras bases, tais como as da PNAD e Rais, uma vez que os dados constantes na MIP são agregados setorialmente, havendo a necessidade de estimar os empregos dos setores ausentes. A grande vantagem dessa base de dados para a análise apresentada é que ela mostra o impacto de um choque de demanda sobre um setor específico, não apenas sobre o número de empregos e renda no referido setor, mas também sobre todos os demais setores encadeados. Esse encadeamento ocorre tanto nos setores ligados à sua cadeia produtiva como nos setores demandados pelos agentes dessa cadeia produtiva. Dessa maneira tem-se uma ferramenta importante para analisar os impactos totais sobre emprego e renda na economia brasileira.

## 2.2 Cálculo da equação de rendimentos

Para analisar a evolução da remuneração, da qualificação e do número de pessoas empregadas na produção de cana-de-açúcar e de álcool e na extração de petróleo e de produção de derivados do petróleo são utilizadas as informações da PNAD de 2002 a 2007. Para tornar comparáveis os rendimentos de diferentes anos, eles serão expressos em reais de março de 2009 e terão como inflator o INCP (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) <sup>(4)</sup>.

A equação de rendimentos, com o fator de expansão associado a cada pessoa da amostra, é ajustada pelo método de mínimos quadrados ponderados.

Nessa análise, adota-se como variável dependente ( $Y$ ) o logaritmo neperiano do rendimento do trabalho principal das pessoas empregadas. Nessas condições, o modelo geral de regressão utilizado é:

$$Y_j = \alpha + \sum_i \beta_i X_{ij} + u_j$$

em que  $\alpha$  e  $\beta_i$  são parâmetros e  $u_j$  é um erro aleatório, heterocedástico, que representa os efeitos de todas

as variáveis que não foram consideradas no modelo, obedecendo as propriedades estatísticas usuais. O modelo será estimado usando dados da PNAD de 2007.

São consideradas as seguintes variáveis explanatórias:

- a** Uma variável binária para sexo ( $S$ ), que assume valor  $1$  para pessoas do sexo feminino e  $0$  para pessoas do sexo masculino.
- b** A idade ( $I$ ) da pessoa, medida em dezenas de anos.
- c** O quadrado da variável idade ( $I^2$ ), tendo em vista que a renda não varia linearmente com a idade. Se os parâmetros para idade e idade ao quadrado forem indicados por  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , respectivamente, deve-se ter  $\theta_1 > 0$  e  $\theta_2 < 0$  e então o valor esperado de  $Y$  (e do rendimento) será máximo quando a idade do indivíduo corresponder a  $-\theta_1/(2\theta_2)$
- d** A escolaridade ( $E$ ) do indivíduo, considerando a relação entre escolaridade e salário como uma função em forma de poligonal, para captar o aumento da taxa de retorno da educação a partir de certo nível. Sendo assim, nos modelos onde se considera a existência de um efeito-limiar (*threshold effect*), além da variável  $E$ , inclui-se a variável  $E=Z_j(E_j-\delta)$ , em que  $\delta$  é a abscissa do vértice, ou seja, é a escolaridade a partir da qual a taxa de retorno torna-se maior, e  $Z_j$  é uma variável binária tal que
 
$$Z_j=0 \text{ para } E_j \leq \delta \quad \text{e} \quad Z_j=1 \text{ para } E_j > \delta$$
- e** O logaritmo do número de horas de trabalho por semana. O coeficiente dessa variável será a elasticidade do rendimento em relação ao tempo semanal de trabalho.
- f** Será utilizada uma variável para distinguir empregados com carteira (base) e empregados sem carteira.
- g** Duas binárias para distinguir a cor (C) da pessoa: branca (base), preta ou parda e amarela.
- h** Uma binária para distinguir a condição do indivíduo na família (F): pessoa de referência versus uma categoria de base que inclui todas as demais condições (cônjuge, filho, outro parente, agregado, pensionista, empregado doméstico e parente do empregado doméstico).
- i** Cinco binárias para distinguir as regiões (R): Norte, Nordeste (base), Sul, Sudeste sem São Paulo, Centro-Oeste e o Estado de São Paulo.
- j** Uma variável binária para distinguir situação do domicílio (D): urbano (base) e rural.
- k** Binárias serão introduzidas para distinguir os diferentes segmentos de atividade (SA): cana-de-açúcar (base), produção de álcool, extração de petróleo e produção de derivados do petróleo.

### 2.3 Cálculo do quociente locacional (QL)

Para analisar a importância relativa do setor sucroalcooleiro e petroquímico nas diversas regiões produtoras propõe-se o uso do quociente locacional (QL), de maneira a identificar a existência de especialização/aglomeração na atividade produtiva do Estado/região. Dessa forma são utilizados os dados de empregos da Rais referentes ao número de empregos gerados, além do número de estabelecimentos, para os anos de 2000 e de 2008. Os dados sobre os empregos gerados são usados para o cálculo dos quocientes locacionais (QL). Na Rais o nível de desagregação geográfica das informações é por municípios, o que permite a análise da capilaridade das diversas atividades.

A fórmula proposta pelo IEDI (2002) para calcular o quociente locacional é:

$$QL_{ij} = \frac{E_{ij} / E_j \bullet}{E \bullet_j / E \bullet \bullet}$$

em que: Quociente Locacional do setor  $i$  na região  $j$

$E_{ij}$  = empregos no setor  $i$  na região  $j$

$E_j \bullet = \sum_j E_{ij}$  = empregos no setor  $i$  de todas as regiões

$E \bullet_j = \sum_i E_{ij}$  = empregos em todos os setores da região  $j$

$E \bullet \bullet = \sum_i \sum_j E_{ij}$  = empregos em todos os setores de todas as regiões

A partir da base de dados da Rais é possível verificar o nível de especialização dos setores desagregados a 5 dígitos nos municípios analisados. Segundo o IEDI (2002), um  $QL \geq 1$  é interpretado como existência de especialização da atividade na referida região. Nesta seção é considerado como região o referido Estado brasileiro ao qual o município pertence.

Para o cálculo do QL os seguintes passos são seguidos: inicialmente identificam-se os principais Estados empregadores, onde há produção de cana-de-açúcar e de etanol, e extração de petróleo e produção de derivados. Nesses Estados, são identificados os municípios nos quais as referidas atividades estavam presentes em 2008 e então se calculam os QLs dos municípios para verificar a existência de especialização da atividade. Na etapa seguinte, agrupam-se os QLs em faixas para identificar a existência de especialização.

O quociente locacional possui limite inferior igual a zero, quando não há atividade na região analisada. Quando há atividade, mas não há especialização, o QL fica entre zero e um; e no caso de haver especialização, seu valor é superior a um. Para QL maior que um, no entanto, quanto maior seu valor absoluto, maior o grau de especialização. Assim, foram adotadas neste trabalho faixas de valores diretamente comparáveis, para as quais a especialização entre os municípios é semelhante. Valores entre um a cinco foram considerados como especialização baixa; maiores que cinco e menores que dez, especialização moderada; e acima de dez, alta especialização. Para os 15 municípios maiores geradores de emprego de cada Estado nas referidas atividades, apresentam-se os indicadores de número de empregados, QL e idade média dos trabalhadores.

## 2.4 Impacto na economia brasileira: análise da matriz insumo-produto

A inter-relação dos setores de produção de etanol e de gasolina C com os demais setores da economia brasileira gera impactos sobre o setor de trabalho. A análise da matriz insumo-produto da economia brasileira pode indicar tais impactos através dos efeitos multiplicadores das atividades.

Para este trabalho foi necessário maior nível de detalhamento dos setores da economia brasileira, destacando-se o etanol e a gasolina. O etanol já é um dos setores presentes na matriz divulgada pelo IBGE (setor "Álcool"), entretanto, a gasolina está inserida no setor "Refino de petróleo e coque". Dada a heterogeneidade de produtos desse setor (quais sejam, além da gasolina, carvão mineral, minerais não-metálicos, gás liquefeito de petróleo, óleo combustível, óleo diesel e outros produtos), verifica-se a necessidade de separar apenas a gasolina para fins da análise.

Além disso, para identificar de maneira mais precisa os impactos na economia, o Brasil foi separado em Estado de São Paulo e demais regiões<sup>[5]</sup>. O Estado de São Paulo foi analisado separadamente porque detém cerca da metade da produção brasileira de etanol e, portanto, é onde se espera que ocorram os maiores impactos resultantes da substituição de consumo analisada. Assim, foi utilizada uma matriz inter-regional, referente ao ano de 2004, construída por Guilhoto (2009)<sup>[6]</sup>.

A simulação inicial foi feita sobre o setor "Álcool" num cenário de substituição de gasolina por etanol hidratado. Calculou-se o aumento de demanda equivalente ao aumento de 5%, 10% e 15% no volume de etanol hidratado consumido em cada Estado. Utilizando a relação que estabelece o rendimento (em quilômetros rodados) entre o consumo de etanol hidratado e gasolina C igual a 0,70 (UNICA, 2009), identificou-se o volume equivalente de gasolina que deixa de ser demandado com o aumento do volume de etanol estabelecido no choque inicial. Ou seja, multiplicando-se o volume de etanol em cada Estado pelo coeficiente consumo de etanol em cada Estado.

Uma vez que o choque é analisado em termos de valor e não em volume, o volume calculado de ambos os produtos foi multiplicado pelo seu respectivo preço<sup>[7]</sup>. Como se está utilizando como base para análise valores referentes a 2004, quando os preços desses combustíveis estavam sujeitos a tributações diferenciadas nos Estados, foram utilizados os preços desses produtos para cada Estado para o ano de 2004<sup>[8]</sup>.

Uma simulação alternativa foi realizada procurando mostrar o impacto sobre o emprego e renda de uma substituição de etanol por gasolina, ou seja, um choque de aumento na demanda de gasolina C em detrimento do etanol hidratado. Nessa simulação considerou-se a substituição de 1% de etanol por gasolina C, que é a maior substituição possível, considerando-se a demanda por etanol nos Estados.

A partir da matriz insumo produto inter-regional descrita, calcularam-se os multiplicadores que avaliam o impacto de uma variação na demanda final sobre as variáveis econômicas de interesse: número de empregos gerados e valor da remuneração. Para obter esses resultados, inicialmente devem ser calculados os multiplicadores de produção direto, indireto e o induzido pelo consumo das famílias. O multiplicador de produção direto e indireto determina o quanto o setor em análise e os demais setores indiretamente afetados por ele terão que produzir para satisfazer uma unidade adicional de demanda final. Esse multiplicador toma o consumo das famílias como exógeno. Já o multiplicador que considera o efeito induzido pelo consumo das famílias, também conhecido como efeito renda, leva em consideração o aumento do consumo na economia resultante do aumento da renda nas famílias provocado pelo efeito direto e indireto descrito anteriormente. Metodologicamente, esse impacto é identificado fazendo a endogeneização do consumo das famílias na matriz insumo-produto.

A partir dos multiplicadores descritos e dos coeficientes de emprego e de remuneração dos setores da economia, são calculados os impactos diretos, indiretos e induzidos (efeito renda) resultantes do aumento de demanda de etanol hidratado em detrimento à gasolina C sobre os níveis de emprego e remuneração no país. Caso o saldo final para a economia seja positivo, então a substituição de etanol pela gasolina gera mais emprego e aumento na remuneração total do que sem a mesma.

No próximo item seguem os resultados agrupados conforme a base de dados e metodologias utilizadas: análise da evolução dos indicadores sócio-econômicos e da equação de rendimentos estimada, utilizando-se a PNAD; cálculo dos quocientes locacionais e análise da capilaridade do emprego, a partir da Rais; e finalmente, as estimativas de emprego e renda gerados considerando-se os três cenários analisados de aumento da demanda de etanol em substituição à gasolina C.

### ► 3. Resultados

#### 3.1 Evolução do emprego formal e informal: dados da PNAD

Pelos dados das PNADs de 2002 a 2007 verifica-se na **Tabela 1** a evolução do número de pessoas empregadas nos setores sucroalcooleiro e petroquímico. Nota-se que entre os dois extremos da série há forte expansão no emprego de mão-de-obra na indústria do etanol (79,4%), seguida pela indústria de derivados do petróleo (61,7%). Mas, embora não tenha crescido tanto, o nível de emprego na lavoura canavieira é relevante: em 2007 a atividade chegou a absorver quase 530 mil assalariados.

Nota-se, no entanto, que, para captar o efeito da produção de etanol sobre o emprego na área agrícola, é preciso considerar que parte da cana-de-açúcar se destina à produção de açúcar e outra parte à produção de álcool combustível. Dessa forma, utilizando as informações da UNICA sobre o mix de produção de açú-

**Tabela 1** Empregados nos setores sucroalcooleiro e petroquímico

Ano	Setor sucroalcooleiro			Setor petroquímico	
	Lavoura de cana	Lavoura de cana → etanol	Etanol	Extração de petróleo	Derivados do petróleo
2002	454.741	218.730	65.514	36.199	42.132
2003	452.695	224.537	67.804	48.616	37.005
2004	492.766	240.963	86.668	57.712	32.400
2005	519.715	261.936	79.995	44.977	33.483
2006	532.263	262.938	71.083	71.111	35.729
2007	527.401	287.434	117.513	58.535	60.548
<b>Variação 2002/07</b>	<b>16,0%</b>	<b>31,4%</b>	<b>79,4%</b>	<b>61,7%</b>	<b>43,7%</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados do IBGE (2002-2007).

car/álcool, observa-se na segunda coluna da **Tabela 1** a estimativa da mão-de-obra agrícola indiretamente empregada na fabricação do etanol. Assim, é possível estimar que em 2007 houve geração de quase 300 mil empregos na área agrícola para a produção de etanol. No outro elo dessa cadeia, havia outros 120 mil empregos gerados no setor industrial, totalizando aproximadamente 420 mil empregos. Naquele mesmo ano, o número total de empregados no setor petroquímico, incluindo as atividades de extração e de produção de combustíveis fósseis, era de 120 mil pessoas.

A **Tabela 2** apresenta a evolução da idade média e da escolaridade dos empregados dos setores analisados. Considerando-se as pessoas empregadas em estabelecimentos cuja atividade principal é a cana-de-açúcar, é possível verificar que entre 2002 e 2007 há elevação da idade média desses trabalhadores e diminuição da idade média dos empregados nos outros ramos de atividades analisados.

De forma geral, a idade média do empregado na cana-de-açúcar é menor do que a dos empregados nos ramos industrializados. Mas Oliveira (2009) mostra em seu trabalho que entre 1992 e 2007 houve tendência de elevação da idade média do empregado no setor agropecuário brasileiro como um todo, e em específico na produção agrícola de cana-de-açúcar. Há indicativos de que esse aumento da idade média do trabalhador do setor primário esteja relacionado com a diminuição dos indicadores de trabalho infantil <sup>(9)</sup>.

Com relação ao perfil educacional, é bastante difundida pela literatura <sup>(10)</sup> a informação de que o setor agropecuário é um dos únicos setores da atividade econômica que ainda emprega trabalhadores com baixos níveis educacionais, chegando a empregar analfabetos. Assim, apesar da escolaridade média dos assalariados na lavoura canavieira ter crescido 52% entre 2002 e 2007, ainda se mantém em patamares substancialmente baixos. Em 2007, a média de anos de estudo dos empregados na cultura canavieira era 4,2 anos de estudos, enquanto que a média obtida para os empregados na produção de álcool era de 7,7 anos, na extração de petróleo era de 11,7 anos e na indústria de combustíveis fósseis, 11,3 anos de estudos.

**Escolaridade comparada** Idade e escolaridade médias

**Tabela 2**

Ano	Cana-de-açúcar		Álcool		Extração do petróleo		Derivados do petróleo	
	Idade	Escolaridade	Idade	Escolaridade	Idade	Escolaridade	Idade	Escolaridade
2002	33,0	2,8	37,4	7,3	38,1	11,3	39,2	11,7
2003	33,5	2,8	35,6	7,3	40,0	12,2	39,6	11,4
2004	35,0	3,2	33,0	7,9	37,3	11,2	40,2	10,6
2005	33,4	3,5	34,6	8,3	37,8	11,4	36,0	12,5
2006	34,5	3,7	36,0	8,6	38,5	12,1	38,3	12,1
2007	33,9	4,2	35,8	7,7	37,7	11,7	36,5	11,3
Varição 2002/07	2,9%	52,0%	-4,2%	5,1%	-1,0%	3,3%	-6,8%	-3,1%

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados do IBGE (2002-2007).

No que se refere à remuneração das atividades analisadas, observa-se pela **Figura 1** que no período 2002-2007 há redução do rendimento médio dos empregados na indústria do álcool (-2,3%), dos empregados na extração do petróleo (-5,2%) e dos empregados na indústria do petróleo (-10,3%). Já a renda média do trabalho principal do empregado na cana-de-açúcar apresentou ganhos reais crescentes e contínuos neste período (variação positiva de 48% no período).

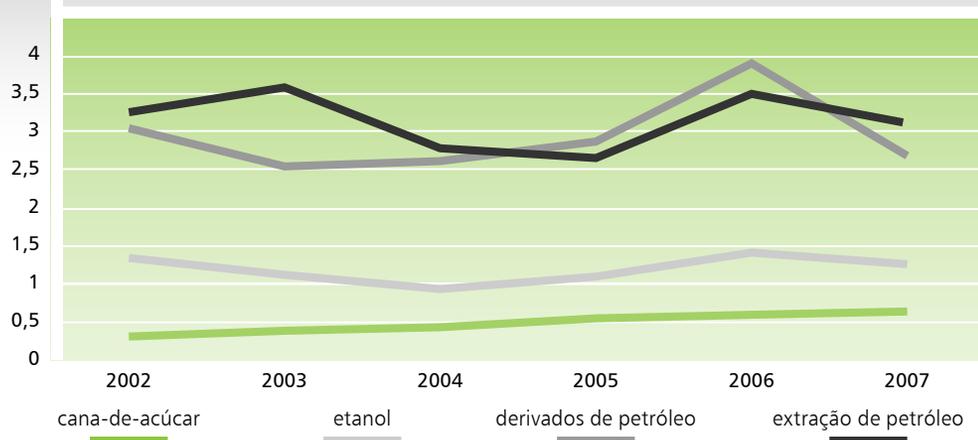
Oliveira (2009) afirma que os reajustes reais do salário mínimo exercem impacto relevante na remuneração da mão-de-obra empregada na agropecuária brasileira. No período 2001-2007 observa-se forte correlação positiva entre o salário mínimo e o salário médio dos empregados tanto na pecuária como na agricultura. A autora acredita que o salário mínimo nacional tem balizado o comportamento das remunerações de base do mercado de trabalho agropecuário.

Apesar das variações positivas, o valor do rendimento médio do empregado na cana-de-açúcar é muito inferior ao do empregado na indústria do álcool, que, por sua vez, recebe menos do que o empregado no setor de produção de petróleo.

Sabe-se que o rendimento no setor agrícola brasileiro tende a ser substancialmente mais baixo do que nos setores secundário (indústria) e terciário (serviços). A indústria do petróleo apresenta um dos maiores níveis salariais da economia brasileira. Miranda (2001) observa que a exploração e produção de petróleo do Estado do Rio de Janeiro registram níveis salariais bem acima dos pagos por outros segmentos da indústria de transformação. Além disso, a especialização para atuar em alto-mar, com equipamentos específicos, abre perspectivas para salários pelo menos 30% superiores aos demais gêneros da indústria. Por conta do adicional de insalubridade e periculosidade, a diferença nos salários pode chegar a 80%, conforme o mercado.

**Figura 1**

**Remuneração mensal comparada** Em mil R\$ de março de 2009



Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados do IBGE (2002-2007).

**Equação de rendimentos****Tabela 3**

Para empregados na lavoura de cana, indústria do etanol, extração de petróleo e indústria de derivados de petróleo

Variável	2007	
	Coefficiente	Diferença (em %)
Constante	3,7481	
Pessoas do sexo feminino (Base: sexo masculino)	-0,3101	-26,66
Idade		
Idade / 10	0,1849	
(Idade / 10) <sup>2</sup>	-0,0154	(2)
Escolaridade		
Escolaridade ≤ 10 anos	0,0217	2,19
Escolaridade > 10 anos	0,1726	21,44 (1)
Log (horas trabalhadas por semana)	0,4755	
Cor (Base: cor branca)		
Preta ou Parda	-0,0496	-4,84
Amarela	0,5972	81,70 (2)
Condição do indivíduo na família (Base: pessoa de referência)	0,1131	11,97
Domicílio rural (Base: domicílio urbano)	-0,0771	-7,42
Região (Base: Nordeste)		
Norte (3)	0,2437	27,60 (2)
Sudeste (com exceção de São Paulo)	0,2010	22,26
São Paulo	0,3932	48,17
Sul	0,2043	22,66
Centro-Oeste	0,1798	19,69
Segmento produtivo (Base: cana)		
Indústria do álcool	0,2255	25,30
Indústria de derivados do petróleo	0,5471	72,83
Extração de petróleo	0,7429	110,19
Empregado sem carteira (Base: empregado com carteira)	-0,4941	-38,99
R <sup>2</sup>	71,17	
Teste F (4)	168,53	
N	1.317	

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados do IBGE (2007).

(1) Esse é o crescimento percentual do rendimento associado a um ano adicional de escolaridade, depois que esta ultrapassa os dez anos, obtido calculando, por exemplo,  $100[\exp(0,0217+0,1726)-1]\% = 21,44\%$ . • (2) Os coeficientes não são estatisticamente diferentes de zero ao nível de significância de 5%. • (3) Exclusive área rural de RO, AC, AM, RR, PA e AP. • (4) O valor de F é estatisticamente significativo ao nível de 1%.

A técnica estatística de regressão múltipla permite verificar se as diferenças no processo de formação dos salários podem ser explicadas por um conjunto de características da pessoa (sexo, idade, escolaridade, cor, ser ou não pessoa de referência da família, ter residência rural ou urbana) e do trabalho (região, tempo semanal de trabalho e atividade principal do empreendimento).

Estimou-se uma equação onde a variável dependente é o logaritmo do rendimento do trabalho de cada indivíduo e aquelas características pessoais e do seu trabalho são as variáveis explanatórias. A Tabela 3 registra os coeficientes da equação de regressão ajustada com os dados da PNAD de 2007 das pessoas empregadas nos quatro segmentos de atividades em análise<sup>[11]</sup>. Apresenta-se, no caso das variáveis binárias, o valor da diferença percentual<sup>[12]</sup> entre o rendimento esperado de uma dada categoria e o rendimento esperado da categoria base, depois de descontados os efeitos das demais variáveis explanatórias incluídas na regressão. E ainda informa os valores de  $F$  e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Destaca-se que, quase todos os coeficientes são estatisticamente diferentes de zero ao nível de significância de 5%.<sup>[13]</sup>

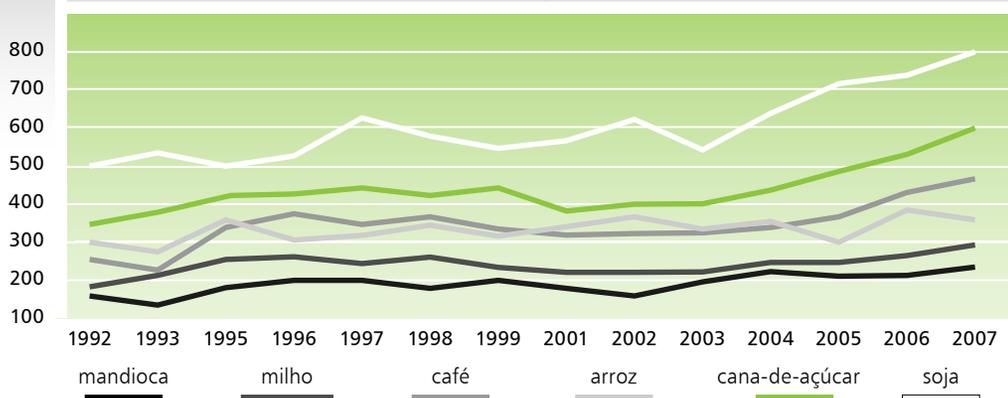
Em 2007, conforme os dados da Figura 1, um empregado na extração de petróleo ganhava, em média, cinco vezes mais que o empregado na lavoura de cana-de-açúcar. Os valores dos salários dos empregados das indústrias de produção de derivados do petróleo e de produção de álcool correspondem a 4,5 e 2,1 vezes, respectivamente, o valor da renda média do empregado canavieiro.

Por meio do modelo de equação de rendimentos estimado, entretanto, percebe-se que depois de descontados os efeitos de todas as outras variáveis explanatórias, o empregado na indústria do álcool tende a ganhar 25,3% mais do que o empregado no segmento agrícola da produção de álcool. Os empregados na extração de petróleo e na indústria de derivados do petróleo tendem a obter rendimentos de 72,8% e de 110,2%, respectivamente, mais elevados do que o salário do que um empregado na lavoura canavieira.

Figura 2

## Rendimento médio mensal no setor agrícola para culturas selecionadas

Em R\$ de agosto/2008.



Equação de rendimento para empregados na agricultura

Tabela 4

Variável	Agricultura 2007	
	Coefficiente	Diferença (em %)
Constante	2,8703	-
Pessoas do sexo feminino	-0,1141	-10,78
Idade		
Idade/ 10	0,2143	-
(Idade/ 10)2	-0,0242	-
Escolaridade		
Escolaridade <=9 anos	0,0187	1,89
Escolaridade > 9 anos	0,0704	9,31 <sup>(1)</sup>
Log (horas trabalhadas por semana)	0,7245	-
Cor (Base: branca)		
Preta ou parda	-0,0250	-2,47 <sup>(2)</sup>
Amarela	0,1400	15,03 <sup>(2)</sup>
Pessoa de referência da família	0,0850	8,87
Domicílio rural	-0,0044	-0,44 <sup>(2)</sup>
Região (Base: NE)		
Norte (3)	0,1876	20,63
Sudeste (com exceção de São Paulo)	0,3350	39,80
São Paulo	0,4314	53,94
Sul	0,4011	49,34
Centro-Oeste	0,4067	50,19
Segmento agrícola (Base: cana)		
Café	-0,1047	-9,94
Mandioca	-0,2639	-23,20
Milho	-0,3688	-30,84
Soja	0,0023	0,23 <sup>(2)</sup>
Arroz	-0,3577	-30,07
Demais atividades agrícolas (4)	-0,1332	-12,47
Empregado sem carteira	-0,3795	-31,58
Empregado temporário	-0,0923	-8,82
Empregado não especializado	-0,1504	-13,97
R <sup>2</sup>	57,54	
Teste F <sup>(5)</sup>	266,53	
N	4.745	

Fonte: : Oliveira (2009, p. 150), com base nos Microdados da PNAD de 2007.

Nota: A variável dependente é o logaritmo do rendimento do trabalho principal.

<sup>(1)</sup> Esse é o crescimento percentual do rendimento associado a um ano adicional de escolaridade, depois que esta ultrapassa os nove anos, obtido calculando  $100[\exp(0,0187+0,0704)-1] = 9,31\%$ . • <sup>(2)</sup> Os coeficientes não são estatisticamente diferentes de zero ao nível de significância de 5%. • <sup>(3)</sup> Exclusiva área rural de RO, AC, AM, RR, PA e AP. • <sup>(4)</sup> Outras atividades de lavouras. • <sup>(5)</sup> Os valores de F são estatisticamente significativos ao nível de 1%.

Tabela 5 Importância da cana e do etanol nos Estados

Estados	Emprego				Estabelecimentos			
	Cana-de-açúcar*		Etanol		Cana-de-açúcar		Etanol	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Rondônia	-	122	-	244	-	5	-	5
Acre	-	0	-	125	-	1	-	1
Amazonas	-	544	-	0	2	2	-	0
Roraima	-	0	-	142	1	0	-	1
Pará	-	1	968	1.537	-	2	4	5
Amapá	-	0	-	0	-	2	-	0
Tocantins	641	22	41	18	5	8	3	4
Maranhão	1.494	4.459	1.791	3.404	7	16	2	4
Piauí	5	306	2.931	2.632	3	10	2	4
Ceará	64	681	12	162	18	34	2	5
Rio Grande do Norte	3.637	1.144	373	6.137	43	34	2	6
Paraíba	7.558	11.199	4.811	10.505	153	194	14	9
Pernambuco	9.147	10.851	2.433	7.507	679	636	20	14
Alagoas	8.421	3.243	6.890	4.499	401	494	10	9
Sergipe	1.368	4.921	2.569	1.874	29	60	2	4
Bahia	350	4.606	2.911	438	26	70	6	8
Minas Gerais	5.775	15.320	6.258	14.420	155	584	29	63
Espírito Santo	3.064	6.896	844	3.354	28	90	7	5
Rio de Janeiro	1.507	1.965	720	1.463	187	245	3	16
São Paulo	85.516	136.345	15.512	65.983	5.794	16.172	210	185
Paraná	18.345	19.429	7.497	27.338	138	356	29	41
Santa Catarina	-	9	1	2	-	6	3	4
Rio Grande do Sul	109	6	15	20	6	6	5	17
Mato Grosso do Sul	7.324	20.114	3.307	14.281	38	113	11	57
Mato Grosso	8.640	8.284	4.900	8.834	71	260	18	27
Goiás	8.233	17.840	3.354	51.555	122	355	22	87
Distrito Federal	161	27	-	39	2	7	3	3
<b>Total</b>	<b>171.359</b>	<b>268.334</b>	<b>68.138</b>	<b>226.513</b>	<b>7.908</b>	<b>19.762</b>	<b>407</b>	<b>584</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2000 e 2008).

\* Para o número de empregos do setor de cana-de-açúcar voltados à produção de etanol foram realizados a proporcionalidade para o mix de produção referente a cada Estado (UNICA, 02/03 – 07/08).

Com isso, verifica-se que empregados na lavoura de cana-de-açúcar e na indústria de álcool ganham menos do que os empregados em empreendimentos com atividades de extração de petróleo e produção de combustíveis fósseis. Entretanto, são os segmentos que empregam um número muito maior de mão-de-obra assalariada.

A remuneração na cana-de-açúcar é menor quando comparada à renda de atividades do ramo industrial, mas não quando comparada a outras atividades agrícolas. Oliveira (2009), ao analisar a evolução entre 1992 a 2007 da remuneração dos empregados nas lavouras de cana-de-açúcar, soja, café, milho, mandioca e arroz, constata tendência crescente do rendimento médio real dos empregados em todas as lavouras, com o valor referente à cultura da cana-de-açúcar se mantendo acima das demais culturas, exceto para os empregados da cultura de soja, cultura altamente mecanizada, como mostram as informações da **Figura 2**.

Ajustando uma equação para todas as pessoas empregadas na agricultura (lavouras) <sup>(4)</sup> do Brasil, com base na PNAD de 2007, Oliveira (2009) também verifica a posição relativamente favorável do salário obtido na lavoura da cana-de-açúcar. Depois de considerados os efeitos das outras variáveis do modelo, o diferencial associado ao rendimento dos empregados nas lavouras destacadas em comparação com a remuneração média na cana-de-açúcar é: -9,9% no café, -23,2% na mandioca, -30,1% no milho, -0,2% na soja, -30,1% no arroz e -12,5% nas outras atividades agrícolas, como mostra a **Tabela 4**.

Conforme ressaltado anteriormente, o máximo nível de desagregação geográfica dos dados da PNAD é estadual, o que não permite análise dos indicadores sócio-econômicos por municípios. Dessa forma, para análise da capilaridade da produção no âmbito de municípios, bem como para o cálculo do quociente locacional, utilizaram-se os dados da Rais.

### 3.2 Caracterização do mercado formal: dados da Rais

A seguir são apresentados, com base na Rais, os dados sobre número de empregos e de estabelecimentos por Estado para os setores analisados: cana-de-açúcar, álcool, extração de petróleo e derivados do petróleo.

Na **Tabela 5** estão os dados referentes aos dois primeiros setores. Segundo dados da Rais, a produção de cana-de-açúcar em 2008 empregou 481.662 trabalhadores formais. Considerando-se que parte da produção da cana destina-se à produção de açúcar e parte à produção de etanol, ponderou-se o total dos empregados pelo mix de produção entre açúcar e etanol na safra 2007/08. Portanto, estima-se que em 2008 havia 268.334 empregos da lavoura canavieira voltados à produção de etanol. Desse total, 50,8% estavam no Estado de São Paulo. Além de São Paulo, que é o principal produtor, outros Estados têm participações relevantes de trabalhadores: Pernambuco (4,0%), Mato Grosso do Sul (7,5%), Minas Gerais (5,7%), Paraná (7,2%), Goiás (6,6%), Paraíba (4,2%), Mato Grosso (3,1%), Alagoas (1,2%). Os empregados estão distribuídos em 24 unidades federativas, com exceção do Acre, Roraima e Amapá.

Observa-se, pelos dados da **Tabela 5** que entre 2000 e 2008 o número de empregos formais no setor de cana-de-açúcar cresceu 56,59%, e o aumento do número de estabelecimentos foi de 149,9% (passou de 7.908 em 2000 para 19.762 em 2008).

O setor de produção de etanol também se configura como intensivo na utilização do insumo trabalho. Em 2008 o setor empregou 226.513 pessoas. Considerando-se o número de empregados, a produção de etanol estava presente em 25 unidades federativas, com exceção do Amazonas e Amapá. Os maiores Estados geradores de emprego em 2008 foram São Paulo (29,13%), Goiás (22,76%), Paraná (12,07%), Minas Gerais (6,37%), Mato Grosso do Sul (6,3%), e Paraíba (4,64%).

Levando-se em conta a produção de cana destinada à produção de açúcar e de etanol, observa-se que foram gerados 494.847 empregos formais em 2008, distribuídos por 1.086 municípios, sendo 248 municípios com produção de etanol e 1.024 com cana-de-açúcar (em 186 municípios coexistem as duas atividades).

Em relação ao número de estabelecimentos voltados à produção de etanol, houve crescimento de 43,49% entre 2000 e 2008 (passou de 407 para 584). Em 2000, 51,6% deles estavam em São Paulo. A porcentagem recuou para 31,68% em 2008, o que representou certa desconcentração.

A **Tabela 6** apresenta o número de empregados e de estabelecimentos das atividades de extração de petróleo e produção de derivados de petróleo entre 2000 e 2008.

A **Tabela 6** mostra que a atividade de extração de petróleo em 2008 empregou 69.100 pessoas, tendo crescido 227,57% em relação a 2000, quando havia 21.095 empregados formais. Os empregos da atividade extração de petróleo estão distribuídos em 22 unidades federativas, embora concentrados no Rio de Janeiro (61,97%), Bahia (12,07%), Rio Grande do Norte (7,9%) e Sergipe (5,07%). Juntos, esses quatro Estados concentraram 87,01% dos empregos em 2008.

A extração de petróleo contava com 411 estabelecimentos em 2000, passando para 870 em 2008, um crescimento de 111,68%.

Por sua vez, a produção de derivados do petróleo em 2008 gerou 21.186 empregos, distribuídos em 24 unidades federativas, com concentração nos Estados de São Paulo (30,89%), Rio de Janeiro (18,94%), Bahia (10,4%), Rio Grande do Sul (8,91%), Paraná (7,97%) e Minas Gerais (7,76%). Esses seis Estados totalizaram 84,87% dos empregos gerados 2008. Nessa atividade havia 84 estabelecimentos em 2000 passando para 391 em 2008, um crescimento de 365,48%.

Ao se considerar o número de empregos formais das duas atividades – extração de petróleo e produção de derivados de petróleo – nota-se que ambas foram responsáveis por gerar 90.286 empregos em 2008.

Comparando-se os empregos gerados em 2008 de forma agregada na produção de cana-de-açúcar e de etanol (494.847) com os gerados na extração e produção de derivados de petróleo (90.286), observa-se

Distribuição de empregos e estabelecimentos de extração de petróleo e derivados

Tabela 6

Estado	Emprego				Estabelecimentos			
	Extração de petróleo		Derivados do petróleo		Extração de petróleo		Derivados do petróleo	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Rondônia	-	-	-	-	-	4	-	-
Acre	-	-	-	-	-	2	-	-
Amazonas	499	1.192	-	597	13	12	2	2
Roraima	-	-	-	1	-	-	-	1
Pará	29	73	-	301	7	11	-	9
Amapá	-	39	-	-	-	2	-	1
Tocantins	-	-	-	4	1	3	-	4
Maranhão	215	26	-	165	10	5	-	10
Piauí	-	10	-	54	-	6	-	2
Ceará	283	523	186	801	7	15	3	11
Rio Grande do Norte	1.636	5.458	811	131	18	92	3	5
Paraíba	7	34	-	118	1	7	-	3
Pernambuco	138	301	2	162	5	18	2	14
Alagoas	44	707	-	5	5	9	-	1
Sergipe	762	3.502	304	85	13	35	3	3
Bahia	1.591	8.339	5.524	2.203	39	83	6	22
Minas Gerais	650	189	55	1.643	21	35	5	77
Espírito Santo	774	2.823	57	120	13	52	5	4
Rio de Janeiro	12.911	42.820	592	4.012	159	328	11	33
São Paulo	429	2.153	904	6.544	31	84	24	73
Paraná	342	434	104	1.689	15	10	6	33
Santa Catarina	600	276	8	372	17	15	2	21
Rio Grande do Sul	39	47	511	1.887	7	16	7	33
Mato Grosso do Sul	4	16	-	42	4	7	2	7
Mato Grosso	8	-	-	19	3	1	-	8
Goiás	134	51	2	139	14	15	2	11
Distrito Federal	-	87	-	92	8	3	1	3
<b>Total</b>	<b>21.095</b>	<b>69.100</b>	<b>9.060</b>	<b>21.186</b>	<b>411</b>	<b>870</b>	<b>84</b>	<b>391</b>

Fonte: : Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2000 e 2008).

Figura 3

Distribuição dos empregos formais na produção de cana e etanol

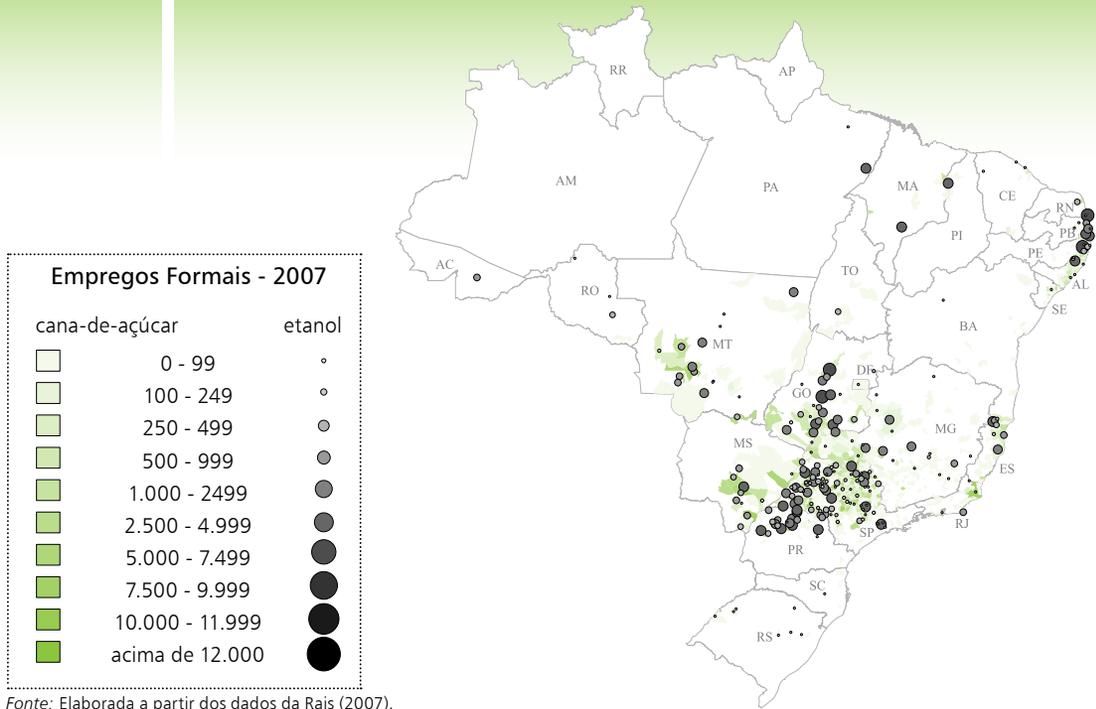
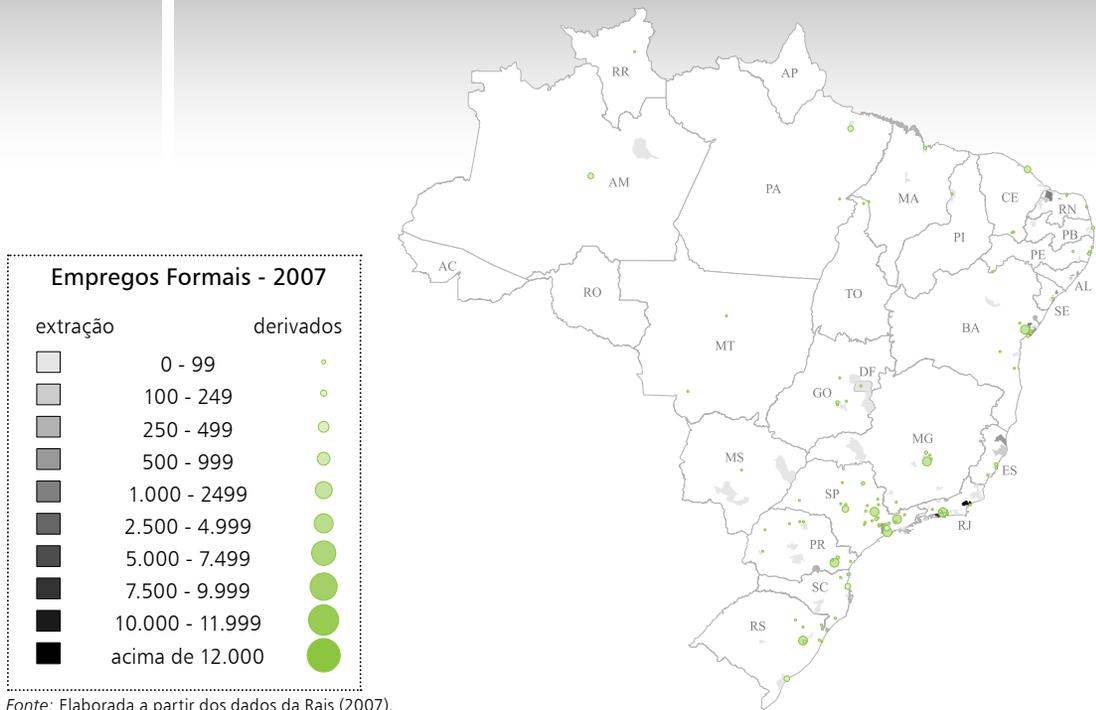


Figura 4

Distribuição dos empregos formais na extração de petróleo e na produção de derivados



que o número de empregos é 5,5 vezes maior na produção de cana e de álcool.

No que se refere ao número de municípios, as atividades de extração de petróleo e derivados estão localizadas em 196 municípios (128 de extração e 107 de produção de derivados; em 39 as duas atividades coexistem). Comparando-se com o número de municípios produtores de cana-de-açúcar e de álcool de forma agregada (1.086), observa-se que este é aproximadamente seis vezes maior do que o de extração e de derivados, o que mostra a capilaridade das atividades da cana e do álcool. As Figuras 3 e 4 ilustram, respectivamente, a distribuição dos empregos formais na produção de cana-de-açúcar e de etanol, e de derivados do petróleo e na extração de petróleo, em 2007.

Na próxima seção procura-se ampliar a discussão da capilaridade da geração de empregos das atividades analisadas.

### 3.3 Capilaridade e quociente locacional

#### 3.3.1 Cana-de-açúcar

O Estado de São Paulo é o maior gerador de emprego na atividade de produção da cana-de-açúcar. Em 2008 tal atividade gerou 255.851 empregos formais no Estado, sendo 136.345 empregos voltados à produção de etanol <sup>(B)</sup>. A produção da cana-de-açúcar está presente em 410 (63,6%) dos 645 municípios do Estado. Para se identificar a importância relativa dos empregos gerados pelo setor nos municípios, estimou-se o quociente locacional (QL) para os 410 municípios do Estado, que foram posteriormente agrupados por faixas de QL.

Em 2008 São Paulo apresentou 229 municípios com QL maior que um, indicando especialização produtiva em 55,9% dos municípios em que a atividade está presente e em 35,5% dos municípios do Estado, o que mostra grande capilaridade da produção de cana-de-açúcar, quando medida por meio da geração de empregos.

A Tabela 7 apresenta os principais indicadores para os 15 maiores municípios geradores de emprego na cana-de-açúcar em São Paulo. Orindiuva apresentou o maior QL de emprego (63,858) dentre os municípios. A idade média do trabalhador dessa atividade em Orindiuva era de 31,5 anos. O município tinha, em 2006, PIB anual per capita de R\$ 15.622.

#### 3.3.2 Etanol

O Estado de São Paulo é o maior gerador de emprego na atividade de produção de etanol. Em 2008 tal atividade gerou 65.983 empregos formais no Estado.

A atividade da produção de etanol está presente em 80 (12,4%) dos municípios do Estado. A Tabela 8 apresenta os municípios por faixa de quociente locacional. Em 2008 São Paulo apresentou 61 municípios com

QL maior que um, indicando especialização produtiva em 9,46% dos municípios do Estado e em 76,3% dos municípios que tem tal atividade.

A Tabela 9 apresenta os principais indicadores para os 15 maiores municípios geradores de emprego relativos à produção de etanol de São Paulo. Sebastianópolis do Sul, com PIB anual per capita de R\$14.032 em 2006, apresentou o maior QL de emprego (223,876) dentre os municípios, sendo que a idade média do trabalhador da produção de etanol nesse município era de 32,9 anos.

**Tabela 7** Indicadores por município em São Paulo

Município	Empregos*	QL emprego	PIB per capita	Idade média
Paraguaçu Paulista	10.228	37,980	10.000	33,8
Pontal	9.585	38,938	15.374	32,2
Lençóis Paulista	8.145	17,649	26.043	35,2
Promissão	8.087	29,277	22.399	34,2
Clementina	6.857	55,512	9.478	30,5
Orindiuva	6.475	63,858	15.622	31,5
Catiguá	5.465	60,427	12.510	34,1
Mendonça	5.253	55,316	8.365	31,6
Bocaina	5.172	36,788	14.136	34,5
Pirassununga	4.937	9,598	15.520	32,0
Guairá	4.866	19,290	15.871	33,1
Tarumã	4.825	23,915	20.238	34,7
Santa Adélia	4.527	49,631	10.295	34,1
Florida Paulista	4.138	47,123	11.699	34,9
Miguelópolis	3.907	39,686	9.701	31,0
<b>Total do Estado de São Paulo</b>	<b>255.851</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>34,0</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados das Rais (2008) e do IBGE (2006).

\* Para o número de empregados do setor de cana-de-açúcar voltados à produção de etanol foi utilizada a proporcionalidade para o mix de produção referente ao Estado de São Paulo.

**Tabela 8** Municípios de São Paulo por faixa de quociente locacional em 2008

Quociente Locacional	Número de municípios
0 < QL < 1	19
1 < QL < 5	13
5 < QL < 10	10
10 < QL	36
<b>Total de municípios: etanol</b>	<b>80</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2008).

A exemplo do que acontece com a cana-de-açúcar, a produção de etanol também é capilarizada (gera empregos em 61 municípios de São Paulo com QL maior que um).

### 3.3.3 Extração de petróleo

O Rio de Janeiro é o maior gerador de emprego na extração de petróleo (61,97% dos empregos desta atividade). Em 2008, foram gerados 42.820 empregos formais no Estado.

Diferentemente da produção de etanol, que gera empregos em 80 municípios do principal Estado produtor (São Paulo), a atividade de extração do petróleo está presente em apenas 14 municípios do Rio de Janeiro.

A Tabela 10 apresenta os municípios por faixa de quociente locacional. Em 2008 o Rio de Janeiro apresentou dois municípios com QL maior que um (Macaé e Três Rios), indicando especialização produtiva em 2,17% dos municípios do Estado e em 14,3% dos municípios que tem tal atividade.

A Tabela 11 apresenta os principais indicadores para os 14 municípios geradores de emprego do estado do Rio de Janeiro.

Indicadores por município de São Paulo

Tabela 9

Município	Empregos	QL emprego	PIB per capita	Idade média
Teodoro Sampaio	3.512	124,489	7.725	33,6
Guairá	3.484	53,554	15.871	33,2
Sebastianópolis do Sul	3.413	223,876	14.032	32,9
São Paulo	3.219	0,133	25.675	31,7
Iracemápolis	3.072	82,357	26.226	36,9
Sud Mennucci	2.834	158,833	13.742	32,7
Batatais	2.614	34,365	13.815	34,3
Narandiba	2.498	196,497	10.719	32,1
Parapuã	2.473	148,328	9.282	33,4
Valparaíso	2.448	61,239	11.562	30,9
Caiuá	2.377	205,741	10.561	32,8
Bento de Abreu	2.334	110,145	27.044	31,5
Tanabi	2.288	80,165	8.746	31,3
Junqueirópolis	2.205	84,910	9.641	34,7
Presidente Alves	2.177	213,997	14.357	35,2
Estado de São Paulo	65.983	-	-	33,2

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2008) e do IBGE (2006).

**Tabela 10** Municípios de São Paulo por faixa de quociente locacional em 2008

Quociente Locacional	Número de municípios
0 < QL < 1	12
1 < QL < 5	1
5 < QL < 10	-
10 < QL	1
<b>Total de municípios: extração de petróleo</b>	<b>14</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2008).

**Tabela 11** Indicadores por município do Rio

Município	Empregos	QL emprego	PIB per capita	Idade média
Macaé	25.319	20,609	40.281	38,0
Rio de Janeiro	15.538	0,627	20.851	41,0
Niterói	1.233	0,636	15.651	36,7
Três Rios	303	1,257	11.660	36,6
Duque de Caxias	156	0,088	26.392	46,0
Rio das Ostras	136	0,704	117.532	31,1
Angra dos Reis	69	0,167	24.250	47,3
Campos dos Goytacazes	20	0,020	53.797	36,7
Volta Redonda	20	0,027	23.269	35,8
Saquarema	12	0,083	9.185	28,2
Silva Jardim	5	0,134	6.022	23,8
Rio das Flores	4	0,125	20.955	47,8
Teresópolis	4	0,012	10.476	31,0
Rio Bonito	1	0,003	13.532	49,0
<b>Estado do Rio de Janeiro</b>	<b>42.820</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>39,0</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2008) e do IBGE (2006).

**Tabela 12** Municípios de São Paulo por faixa de quociente locacional em 2008

Quociente Locacional	Número de municípios
0 < QL < 1	9
1 < QL < 5	10
5 < QL < 10	2
10 < QL	7
<b>Total de municípios: derivados do petróleo</b>	<b>28</b>

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2008).

Macaé apresentou o maior QL de emprego (20,609). Em 2008, a idade média do trabalhador da atividade de extração de petróleo no município foi de 38 anos e, em 2006, o PIB anual per capita de R\$ 40.281.

Ao analisarmos o número de empregos e a presença dos estabelecimentos nos municípios, devemos fazer algumas ressalvas. A base de dados da Rais, que reflete informações fornecidas pelas empresas, leva em conta o local registrado no CNPJ do ano da declaração, sendo essa informação considerada como “estabelecimento”. A empresa informa também o local em que seu empregado exerce a atividade, que não é necessariamente o mesmo local onde fica o estabelecimento. O município fluminense de Campos dos Goytacazes, por exemplo, apesar de ser relevante na geração de empregos associados ao petróleo, não tem número elevado de empregos, porque muitas pessoas lá registradas podem estar trabalhando em outro município. <sup>[6]</sup>

### 3.3.4 Derivados do petróleo

São Paulo é o maior gerador de emprego na produção de derivados do petróleo. Em 2008 tal atividade gerou 6.544 empregos formais no Estado. A produção de derivados do petróleo está presente em apenas 28 dos seus municípios (4,34%).

A Tabela 12 apresenta os municípios por faixa de quociente locacional. Em 2008 o Estado de São Paulo apresentou 19 municípios com QL maior que um, o que indica especialização produtiva em 2,95% dos municípios do Estado e 67,9% dos municípios que tem tal atividade.

A Tabela 13 apresenta os principais indicadores para os 15 maiores municípios geradores de emprego de São Paulo.

Paulínia, além de possuir o maior número de empregos na atividade, apresentou o maior QL de emprego (76,159) dentre os municípios. A idade média do trabalhador era de 37,5 anos, e o município possuía PIB anual per capita de R\$ 104.728.

## 3.4. Impacto da substituição de consumo da gasolina por etanol hidratado no Brasil

As Tabelas 14 e 15 descrevem os resultados líquidos da simulação do aumento de consumo de etanol hidratado <sup>[7]</sup>, respectivamente, sobre o emprego e o valor da remuneração total da economia, considerando-se um aumento de 15% na demanda de etanol e de redução equivalente no consumo de gasolina C, conforme descrito na seção 2 (Metodologia).

Apresentam-se os resultados separadamente para São Paulo (por ser o maior produtor de cana, açúcar e etanol) e para os demais Estados no agregado. O aumento de 15% na demanda de etanol hidratado em detrimento do consumo de gasolina C na região Norte-Nordeste aumentaria em 67.211 o número de empre-

gos no restante do Brasil e em 632 em São Paulo (total de 67.843). Se o choque fosse na região Centro-Sul, seriam criados 27.957 empregos nos Estados (menos São Paulo), e 2.718 em São Paulo (total de 30.674). Se a substituição fosse feita somente em São Paulo, seriam gerados no restante do Brasil 5.647 empregos, e no próprio Estado haveria a criação de 13.536 empregos (total de 19.184). Quando considerada a substituição de gasolina C pelo aumento de 15% no consumo etanol hidratado para todos os Estados, verifica-se um potencial de criação de 117.701 empregos, distribuídos da seguinte forma: 16.886 empregos em São Paulo, e 100.815 empregos no restante do Brasil.

Análise similar é feita para se verificar os impactos decorrentes da substituição proporcional de gasolina C pelo aumento de 15% no consumo etanol hidratado sobre o valor das remunerações. A Tabela 15 mostra que se a substituição ocorrer nos Estados da região Norte-Nordeste, o aumento do valor da remuneração do trabalho no Brasil como um todo seria de R\$ 98,27 milhões, sendo R\$ 97,08 milhões no restante do Brasil (todos Estados menos São Paulo) e R\$ 1,2 milhão em São Paulo. Se o choque fosse na Região Centro-Sul, o aumento total das remunerações no Brasil seria de R\$ 92,01 milhões (distribuídos conforme os dados da Tabela 15). Por sua vez, o choque em São Paulo acarretaria aumento de R\$ 45,63 milhões<sup>(B)</sup>. Considerando-se todo o país, observa-se que a substituição de gasolina C pelo aumento de 15% no consumo etanol hidratado acarretaria aumento potencial de R\$ 235,91 milhões, distribuídos de seguinte forma: R\$ 143 milhões para o Brasil e R\$ 92,87 milhões para São Paulo.

Tabela 13

Indicadores por município de São Paulo

Município	Empregos	QL emprego	PIB per capita	Idade média
Paulínia	1.441	76,159	104.728	37,5
Cubatão	1.423	67,191	46.146	40,6
São José dos Campos	1.071	10,583	25.419	40,1
Lençóis Paulista	831	70,400	26.043	37,8
Mauá	711	22,732	12.325	38,8
Itupeva	192	19,500	28.650	35,7
Barueri	148	1,041	95.966	33,1
São Paulo	89	0,037	25.675	34,3
Piracicaba	76	1,221	18.650	37,2
Pederneiras	71	10,214	15.748	31,9
Presidente Prudente	66	2,180	13.527	40,4
Ribeirão Preto	63	0,654	20.139	32,8
Pindamonhangaba	55	3,764	20.828	31,4
Guarulhos	52	0,322	19.999	32,9
Catanduva	52	2,776	14.613	34,9
Estado de São Paulo	6.544	-	-	38,3

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados da Rais (2008) e do IBGE (2006).

Os dois cenários (mais empregos e maior remuneração) seriam positivos para a economia do Brasil. Finalmente, para enfatizar a importância do etanol hidratado no que se refere ao potencial de aumento de emprego e rendimentos, projetou-se, como exercício, o aumento do consumo de gasolina em 0,8%, em detrimento do consumo de etanol<sup>(B)</sup> (levando em conta a redução equivalente no consumo de etanol hidratado).

Os resultados líquidos (ou seja, considerando-se a redução equivalente no consumo de etanol hidratado) mostraram impactos negativos, com redução em 45.799 empregos e queda de R\$ 120,2 milhões no valor das remunerações.

Considerando os valores absolutos dos choques iniciais nesse cenário de aumento de 0,8% do consumo de gasolina C, observam-se magnitudes semelhantes aos do cenário de aumento de 10% no consumo de etanol hidratado. Entretanto, neste último os resultados foram de geração de 78.467 empregos e aumento de R\$ 157 milhões nos rendimentos. Tal comparação sublinha a importância da produção de etanol hidratado, em detrimento à da gasolina C, na geração de empregos do país.

#### ► 4. Considerações finais

Este trabalho apresenta uma análise comparativa dos indicadores sociais referentes às atividades da produção de cana-de-açúcar, de etanol, da extração de petróleo e dos derivados do petróleo.

##### Impacto no emprego do choque de demanda de etanol hidratado

Tabela 14

Número de empregos gerados com o aumento na demanda de etanol hidratado em 15% do consumo de 2004 e redução equivalente no consumo de gasolina C, considerando os efeitos diretos, indiretos e efeito renda.

Aumento no consumo de etanol hidratado	15%			
Impacto \ Choque	Norte-Nordeste	Centro-Sul	São Paulo	Brasil
Restante do Brasil	67.211	27.957	5.647	100.815
São Paulo	632	2.718	13.536	16.886
Brasil	67.843	30.674	19.184	117.701

Fonte: Resultados da pesquisa.

##### Impacto na renda do choque da demanda de etanol

Tabela 15

Aumento no valor da remuneração resultante do aumento na demanda de etanol hidratado em 15% do consumo de 2004 e redução equivalente no consumo de gasolina C, considerando os efeitos diretos, indiretos e efeito renda. Em milhões de reais.

Aumento no consumo de etanol hidratado	15%			
Impacto \ Choque	Norte-Nordeste	Centro-Sul	São Paulo	Brasil
Restante do Brasil	97,08	77,93	-31,96	143,05
São Paulo	1,2	14,07	77,6	92,87
Brasil	98,27	92,01	45,63	235,91

Fonte: Resultados da pesquisa.

Estimou-se que em 2008 foram gerados 495 mil empregos em dois elos da cadeia produtiva do etanol: 268 mil na lavoura da cana-de-açúcar (considerado somente a parcela de cana destinada à produção do etanol) e 226 mil empregados no setor industrial. Nesse mesmo ano, o setor petroquímico, incluindo a extração e produção de derivados do petróleo, criou 90 mil empregos, o que corresponde a 18,2% do total de empregos criados pelos setores de etanol e de cana-de-açúcar. Da mesma forma, observou-se a maior capilaridade dos empregos gerados nesse setor, e consequente efeitos sobre geração de emprego e riqueza nos diversos Estados e municípios do Brasil.

Com a simulação de um aumento de 15% no consumo de etanol hidratado como substituto à gasolina C, verificou-se forte potencial de criação de empregos e de aumento no valor das remunerações na economia (117.701 postos de trabalho e o aumento das remunerações de R\$ 235,91 milhões). Por sua vez, um aumento no consumo da gasolina C em detrimento de etanol hidratado apresentou resultado desfavorável, reduzindo os empregos e o valor das remunerações na economia brasileira. Nessa situação, haveria redução tanto no número de empregos (estimada em 46 mil), quanto no valor das remunerações (queda de R\$ 120,2 milhões). Esses resultados mostram que políticas públicas de incentivo ao consumo de etanol significariam grande benefício social e econômico.

Apesar desse potencial de geração de empregos no setor sucroalcooleiro, não se deve deixar de mencionar que alguns trabalhos apontam que o setor produtor de cana-de-açúcar, no decorrer dos próximos anos, reduzirá a demanda por trabalhadores envolvidos nas atividades agrícolas, dada a intensificação da mecanização, ao mesmo tempo em que aumentará o nível de qualificação exigido da mão-de-obra. Esse fato merece duas observações: I) o menor número de empregos ao longo do tempo, e ao mesmo tempo a mudança no perfil do trabalhador, é consistente com o padrão do processo de desenvolvimento observado nas economias modernas; II) a diminuição do emprego direto na colheita da cana-de-açúcar, e consequente diminuição da massa salarial desse segmento, é preocupante, pois leva a uma queda no emprego indireto na produção de cana e na produção de álcool, e de açúcar<sup>20</sup>. Contudo, ao se considerar o potencial de geração de empregos num cenário de substituição da gasolina pelo etanol, a perspectiva seria de criação de novos empregos.

No que se refere aos empregos agrícolas, é importante reconhecer que a atividade canavieira emprega grande número de pessoas com baixa escolaridade. Sem essa inclusão no mercado de trabalho, esses trabalhadores provavelmente teriam mais dificuldade de serem absorvidos em outros ramos.

Ressalte-se que políticas de incentivos à produção de etanol devem ser acompanhadas de uma preocupação de se enfrentar o problema da baixa escolaridade dos empregados no corte de cana. Dado o crescimento das atividades produtivas mecanizadas, a necessidade de trabalhadores mais qualificados é tendência para um futuro próximo na produção de cana-de-açúcar, e se não houver ações públicas e privadas orientadas para proporcionar a complementação da educação formal e a (re)qualificação do trabalhador, muitos perderão seu emprego em função do avanço tecnológico, e terão dificuldades de realocação em outras atividades que surgirão desse processo.

Além disso, os anos médios de estudos dos empregados na cana-de-açúcar frente aos da indústria do álcool e da indústria do petróleo explicam parte relevante das diferenças salariais. Isso tem implicações importantes, pois acredita-se que uma política de redução da heterogeneidade educacional entre os trabalhadores da área agrícola e da área industrial do setor sucroalcooleiro, além de proporcionar aumento da produtividade do trabalho e dos salários, pode contribuir para o combate à desigualdade de renda e pobreza existente entre esses setores.

Outro aspecto que chamou atenção foi a capilaridade da produção de cana-de-açúcar e de etanol. Com base na metodologia do quociente locacional (QL) e nas informações da Rais, verificou-se que as atividades produtivas do setor sucroalcooleiro localizam-se no interior dos Estados, especialmente São Paulo, capilarizando-se em pequenos municípios. Além, disso, como a extração e a produção de derivados de petróleo são concentradas em poucas cidades, o setor sucroalcooleiro ganha visibilidade quanto à capacidade de geração de uma dinâmica de desenvolvimento regional. Num próximo passo, cabe desenvolver estudos que possam estabelecer relações causais e funcionais da presença dos setores sucroalcooleiro ou petroquímico em um determinado município brasileiro com indicadores sócio-econômicos, buscando compreender os possíveis impactos no bem-estar de tais localidades.

Finalmente, cabe destacar que na definição de sua matriz energética, é importante que o Brasil consolide a participação do etanol, levando em conta as externalidades sociais positivas para toda a população. Além de sua natureza limpa e renovável, a produção de etanol tem condições de empregar grande número de pessoas, com vários perfis educacionais e de diferentes qualificações, e ainda estimula a dinâmica do desenvolvimento regional, dada sua importância e capilaridade nos diversos Estados e cidades brasileiras.

## ► 5. Referências bibliográficas

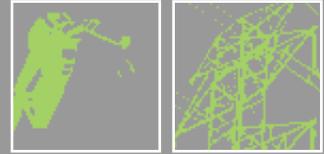
- Basaldi, O.V. – *O mercado de trabalho assalariado na agricultura brasileira e suas diferenciações regionais*. São Paulo: Aderaldo e Rothschild / Ordem dos Economistas do Brasil, 2008. 291 págs.
- Corsuil, C.H.; Foguel, M.N. – *Uma sugestão de deflatores para rendas obtidas a partir de algumas pesquisas domiciliares do IBGE*. Rio de Janeiro: Ipea, julho de 2002. 13 págs. (Ipea. Texto para Discussão, 897).
- Hoffmann, R. – *Mensuração da desigualdade e da pobreza no Brasil*. In: Henriques, R. *Desigualdade e pobreza no Brasil*. Rio de Janeiro: Ipea, 2000. págs. 81-107.
- Hoffmann, R.; Oliveira, F.C.R. de. – *Remuneração e características das pessoas ocupadas na agroindústria canavieira no Brasil, de 2002 a 2006*. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 46., 2008, Rio Branco. Anais. Brasília: Sober, 2008. 19 págs.
- Guilhoto, J. J. M.; Maistro, M.C.M.; Barros, A.L.M. de; Istake, M. – *Emprego e mecanização na colheita da cana-de-açúcar: diferenças regionais*. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 42, 2004, Cuiabá. Anais. Brasília: Sober, 2004. 19 págs.
- Iedi. *Clusters ou sistemas locais de produção e inovação: identificação, caracterização e medidas de apoio*. São Paulo, 2002.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa nacional por amostra por domicílios 2006. Rio de Janeiro, 2006. v. 27, págs. 1-125.
- Kassouf, A.L.; Ferro, A.R. – *O trabalho infantil no ramo agrícola brasileiro*. Brasília: OIT, 2004. 96 págs. (Série: Legado em transformação).
- Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Registros administrativos: Rais e Caged. — Brasília: MTE, SPPE/DES/CGET, 2000. 17 págs.
- Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Manual de orientação da Rais: Brasília: MTE, 2008. 50 págs.
- Miranda, C. – *Petróleo mais uma vez lidera o crescimento industrial*. Boletim do Fórum de Estudos Fluminenses, Rio de Janeiro, 2001, nº 10, jul/out. 2001. pág. 6.  
Disponível em < [www.ippur.ufrj.br/leste/boletim/FEF\\_10.pdf](http://www.ippur.ufrj.br/leste/boletim/FEF_10.pdf) >. Acesso em: 11 de junho de 2009.
- Moraes, M.A.F.D. – *A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil*. Americana: Caminho Editorial, 2000. 238 págs.
- Moraes, M.A.F.D. – *Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil*. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 37, nº4, págs. 875-902, out/dez 2007.
- Oliveira, F.C.R. – *Ocupação, emprego e remuneração na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias no Brasil, de 1992 a 2007*. 2009. 167 págs. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- União da Indústria de Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo (UNICA). Dados sobre o mix de produção de açúcar/álcool. São Paulo: 2009.

## Notas explicativas

- [01] Para extrair os dados da Rais, os códigos CNAE utilizados foram: cana-de-açúcar: 01130; extração de petróleo: 06000 e 09106; derivados de petróleo: 19217 e 19225; etanol: 1935. Para a PNAD, foram usados os seguintes códigos: cana-de-açúcar: 01105; extração de petróleo: 11000; derivados de petróleo: 23010; etanol: 23400.
- [02] A Rais é um registro administrativo instituído pelo Decreto nº 76.900/75, de responsabilidade do Ministério Trabalho e Emprego, criado com fins operacionais, fiscalizadores e estatísticos. Sua declaração é anual e obrigatória a todos os estabelecimentos do território nacional, independentemente de possuírem ou não empregados. Apresenta cobertura acima de 97% do universo formal (MTE, 2006).
- [03] A PNAD é um sistema de pesquisas domiciliares implantado pelo IBGE desde 1967. Tem periodicidade anual e investiga diversas características socioeconômicas das famílias e das pessoas em todas as Unidades da Federação. Determinadas variáveis possuem caráter permanente, como as características gerais da população, educação, trabalho, rendimento e habitação, enquanto outras apresentam periodicidade variável, como as características sobre migração, fecundidade, nupcialidade, nutrição e saúde (IBGE, 2006).
- [04] Como a PNAD registra o rendimento no mês de setembro e parte relevante da população recebe o pagamento no início de outubro, conforme proposto por Corseuil e Foguel (2002), o índice apropriado é obtido calculando-se a média geométrica entre os valores do INPC de setembro e outubro.
- [05] Na matriz insumo-produto as “demais regiões do Brasil” foram separadas nas regiões Centro-Sul (exceto São Paulo) e Norte-Nordeste, para impor o choque de demanda. Essa separação é importante por causa da grande heterogeneidade presente também na economia daquelas regiões, principalmente no que se refere aos produtos analisados. As regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste possuem características sócio-econômicas reconhecidamente distintas. Entretanto, os resultados foram apresentados de maneira conjunta para essas regiões, uma vez que a região Norte-Nordeste possui restrição no aumento da produção de etanol e o choque feito nesta região pode ser respondido pela outra região.
- [06] GUILHOTO, J. J. M. (USP. Departamento de Economia – FEA, São Paulo). Comunicação pessoal. 2009.
- [07] O choque foi dado para as regiões Centro-Sul, Norte-Nordeste e São Paulo e analisado apenas para o Estado de São Paulo e demais regiões do Brasil de forma agregada. Assim, calculando o aumento de consumo de etanol hidratado e o consumo correspondente de gasolina em cada estado e somando os estados que constituem as regiões analisadas obtiveram-se os aumentos para cada região analisada, em cada cenário.
- [08] O valor do consumo de gasolina  $C$  é maior do que o valor do consumo equivalente a um milhão de reais de etanol hidratado se a relação entre os preços de gasolina  $C$  e etanol hidratado ( $P_G / P_E$ ) é maior do que 1,428. Isso ocorre porque,
- dado que:  $Vol_E = \frac{Valor_E}{P_E}$  e que:  $Valor_G = Vol_E * 0,7 * P_G$ . Substituindo  $Vol_E$  em  $Valor_G$
- tem-se que:  $Valor_G = * 0,7 * \frac{P_G}{P_E}$ . Onde  $Vol$  indica volume, o subscrito  $G$  é gasolina  $C$  e o subscrito  $E$  é etanol hidratado.
- [09] Kassouf e Ferro (2004) constatam que entre 1992 e 2001 há redução nos indicadores de trabalho infantil na agropecuária brasileira.
- [10] Vários trabalhos apontam para a necessidade emergencial de qualificação desta mão-de-obra. Ver Moraes (2007), Balsadi (2008), Oliveira (2009), dentre outros.
- [11] Os quatro segmentos, ainda que tenham naturezas diferentes, foram agregados nesta análise de regressão pelo fato de que se obteve um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) elevado, e o teste  $t$  se mostrou significativo para quase todos os parâmetros. Outro modelo foi ajustado, considerando apenas os segmentos industriais – a extração de petróleo, a produção de derivados do petróleo e a produção de álcool. Para esse modelo, o coeficiente de determinação foi de 59,48%. Hoffmann e Oliveira (2008) também estimaram equações de rendimentos com duas binárias distinguindo a indústria do álcool, a indústria do açúcar e a cana-de-açúcar (base), para os dados da PNAD de 2006.
- [12] Sendo  $b$  o coeficiente, a diferença percentual para cada binária é  $100[\exp(b)-1]\%$ .
- [13] Esse modelo explica 71,2% das variações do logaritmo do rendimento das pessoas empregadas nos setores sucroalcooleiro e petroquímico. Trata-se de um resultado bastante satisfatório quando comparado com trabalhos que utilizam a PNAD, já que variáveis importantes na determinação dos ganhos pessoais (como ambição, criatividade, capacidade empresarial e riqueza material) são de difícil mensuração, e não são obtidas nessas pesquisas domiciliares (Hoffmann, 2000, pág. 101).
- [14] O conceito de agricultura utilizado pela autora refere-se apenas às atividades de lavouras investigadas pela PNAD, incluindo as lavouras temporárias e permanentes.
- [15] Ponderou-se o número total de empregos pela proporção de cana-de-açúcar destinada ao etanol (53,3%) na safra 2007/08.
- [16] Outro aspecto que merece atenção é a presença de estabelecimentos sem a respectiva contratação de empregados, uma vez que há a necessidade de fornecimento de informação da Rais negativa, ou seja, mesmo que não haja vínculos ativos no ano da declaração, esta deve ser informada. Tais dados refletem tanto possíveis empresas recém-abertas que podem não ter atividade produtiva, mas que devido à necessidade de registro anual das informações, constam na base da Rais, como empresas em processo de desligamento (MTE, 2008).
- [17] Por efeito líquido entende-se o resultado relativo ao aumento de consumo de etanol hidratado subtraído do resultado relativo a redução no consumo de gasolina  $C$  equivalente.
- [18] A redução no valor das remunerações no restante do Brasil em função de um aumento de demanda no Estado de São Paulo pode ser explicado pelo fato do valor unitário da remuneração (salário) pago pelos setores mais impactados pelo aumento do consumo do etanol hidratado ser menor do que aqueles setores impactados pela redução da gasolina  $C$ .
- [19] Um aumento superior não foi possível, pois a redução equivalente de etanol ultrapassaria o volume consumido de etanol em alguns Estados.
- [20] Guilhoto et al. (2004) discutem o impacto da mecanização sobre os empregos diretos, indiretos e induzidos nos setores produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool.

03





# Contribuição do etanol para a mudança do clima

Luiz Gylvan Meira Filho

Isaias C. Macedo





*O uso de fontes de energia renovável e com baixo teor de carbono é uma das estratégias para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e o combate ao aquecimento global. O etanol da cana-de-açúcar, que apresenta balanço energético e de emissões significativamente favorável, é uma alternativa disponível comercialmente e com grande potencial de rápida expansão em muitos países, inclusive com novas aplicações. Sob a ótica de ciclo de vida, o etanol de cana-de-açúcar tem capacidade de reduzir em cerca de 90% as emissões de GEE quando comparado com a gasolina, no Brasil.*

*Em 2006 a redução de emissões de GEE gerada pelo uso do etanol (em substituição à gasolina) atingiu 22% das emissões finais dos setores de transporte e geração de eletricidade no Brasil, e pode chegar a 43% em 2020. Em relação à totalidade do consumo de energia no Brasil (elétrica, indústria, transportes, residencial e outros), o consumo em larga escala do etanol evitou o equivalente a 10% das emissões totais em 2006 e atingirá 18% em 2020 (excluídas as emissões da agropecuária e mudanças do uso da terra). O potencial para novos usos (substituição de outros combustíveis fósseis e aumento das exportações) pode aumentar consideravelmente essa participação.*



*As reduções de emissões a serem buscadas globalmente para as próximas décadas permitem avaliar o “valor” da mitigação de GEE proporcionada pelo etanol (determinado pelo custo adicional do conjunto de tecnologias consideradas, no mundo, para um nível desejado de mitigação). Esse valor adicional do etanol brasileiro é estimado em US\$ 0,20 por litro de etanol, ou seja, o uso de cada litro de etanol equivale a US\$ 0,20 que deixam de ser gastos em medidas para mitigar a emissão de gases poluentes, reduzindo os investimentos que os países teriam de fazer para controlar o aquecimento global.*

*Uma análise das expectativas para o regime pós-Kyoto conclui que persiste o debate sobre metas globais. Além disso, os mecanismos para manejo das emissões entre os países (como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) são muito limitados, notadamente para as energias renováveis como o etanol.*

*Para o Brasil, é necessário que metas internacionais sejam adotadas de maneira uniforme, incluindo China e Índia, para proteger a competitividade de nossa indústria. É necessário também que uma vantagem específica – o fato de o Brasil ter uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo – seja considerada no comércio internacional.*

## ► 1. Introdução

A relação entre as mudanças climáticas e o aumento de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera foi detectada de forma inequívoca em 2007 pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, em inglês). A tendência atual das negociações internacionais para prevenção dos problemas decorrentes é a limitação do aumento de temperatura em 2100 (talvez a 2º Celsius) com a redução de emissões distribuída entre países industrializados e emergentes. As negociações para o estabelecimento dessas regras estão em curso.

Considerando o porte do programa brasileiro de uso de etanol, é importante verificar, nos contextos nacional e internacional, a sua contribuição nesse esforço global durante a próxima década. O conhecimento dessa contribuição (e do seu valor, no contexto de outras tecnologias e políticas de mitigação de emissões) é parte necessária do conjunto de fatores a ser levado em conta na elaboração da política brasileira para essas negociações.

## ► 2. Mitigação de emissões de gases de efeito estufa com a produção e uso do etanol de cana

Avaliações da redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) com o uso do etanol da cana-de-açúcar têm sido feitas desde 1992 (Macedo 1992). Gradualmente foram introduzidas melhorias nas bases de dados e mudanças devido a variações nas tecnologias de produção e uso (Macedo 2007). Mais recentemente têm sido desenvolvidos trabalhos de “harmonização” entre metodologias usadas para várias matérias primas e produtos (cana-de-açúcar, milho, cereais, madeira; etanol, biodiesel, etc.). Essas avaliações em geral são feitas para o ciclo de produção e uso do combustível, e inicialmente não incluíam efeitos da mudança no uso do solo.

Com a aprovação da Diretiva Europeia em dezembro de 2008, foi introduzida de forma “oficial” uma quantificação do efeito direto da mudança do uso da terra (LUC, em inglês) na produção de biocombustíveis. Chega-se a essa quantificação, em que é considerada a variação dos estoques de carbono (sobre e sob o

Tabela 1

Cenários da demanda de etanol *Em milhões de m³ por ano*

Ano	2010		2015		2018		2020	
	Int	Exp	Int	Exp	Int	Exp	Int	Exp
UNICA (2008)	23	6	35	12			50	15
Mapa (2007)	20		28		30			
EPE (2007)	20	4	26	10			34	14
IE-UFRJ, Cenário B (2006)							35	
Cepea (2007)		4,4		9,8				18

Int = Mercado interno Exp = Exportação

solo), com uma proposta de cálculo relativamente simples, ainda apoiada em parâmetros *default* do IPCC (na ausência de dados suficientes e confiáveis para teores de carbono no solo, em muitas regiões). Em 2009 foram apresentadas para discussão propostas incluindo efeitos de LUC (direto e indireto) nos Estados Unidos, pela EPA (US Environmental Protection Agency) e pela Carb (Californian Air Resources Board).

Os chamados “efeitos indiretos” da LUC estão em discussão desde 2008. Eles ocorrem, em certos casos, mas o ferramental disponível para avaliação (os modelos e os relações causa-efeito para inúmeras situações e locais) são claramente deficientes para o fim objetivado. A Diretiva Europeia adiou decisões sobre o uso de avaliações dos efeitos indiretos pelo menos para o final de 2010, e nos Estados Unidos a discussão tem evoluído muito, em relação às propostas iniciais.

## 2.1 Emissões evitadas com o uso do etanol de cana: estimativas para o período 2009-2020

As estimativas abaixo consideram a redução de emissões de GEE com o uso de etanol de cana substituindo gasolina, seguindo o seguinte roteiro:

- Cenário 2009-2020 para a demanda de etanol carburante no Brasil, e para exportação;
- Cenário tecnológico no período (apenas introdução de tecnologias comerciais para energia elétrica, e avanços contínuos nas tecnologias em uso);
- Emissões específicas para esses cenários; composição para o período total.

### Demanda de etanol 2010-2020

A **Tabela 1** apresenta estimativas de consumo para o mercado interno e externo de etanol ao longo desta década, destacando que esses cenários estarão fortemente sujeitos a alterações, em função das políticas públicas adotadas, principalmente nos países desenvolvidos, que têm tradicionalmente protegido seus mercados com altas tarifas de importação. Foi incluído um cenário para exportações somente para avaliar a mitigação esperada. Trata-se de um cenário “moderado” (Cepea, 2007).

Considerando os diversos cenários e hipóteses, assim como as análises de demanda (mistura com gasolina e aumento da frota de veículos com tecnologia flexível (FFV, em inglês) com conseqüente aumento da demanda por etanol hidratado, ou E-100) foi adotado um cenário para 2020 (apenas para estimar as emissões evitadas com o etanol) descrito na **Tabela 2**.

**Demanda interna e exportação de etanol** **Tabela 2**  
Em milhões de m<sup>3</sup> por ano

	2010	2015	2020
<b>Demanda interna</b>			
Anidro	6	6	5
Hidratado	17	29	45
Subtotal	23	35	50
<b>Exportação anidro</b>	5	10	15
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>65</b>

## Cenário tecnológico no período

A evolução tecnológica no período e seu efeito nas emissões de GEE são considerados a partir da situação atual da média das usinas (parâmetros de 2006), definida com os dados disponíveis para a região Centro-Sul (Macedo 2007). Para este estudo são consideradas apenas tecnologias comercialmente disponíveis nesse horizonte (2020), e tendências claramente identificáveis; a mais importante é o uso de palha da cana (em até 40%) e o bagaço excedente (até 35%) para produzir energia elétrica excedente, em sistemas convencionais (ciclos a vapor) de geração e cogeração em alta pressão (Seabra, 2008). Avanços esperados nas produtividades agrícolas e industriais, e em eficiências de conversão, são incluídos. Na área agrícola, a alocação otimizada de novas variedades, os usos mais imediatos de modificações genéticas na planta, e técnicas de agricultura de precisão são esperados. Esse estágio tecnológico será denominado “Tecnologia E” (de “eletricidade”). As taxas de penetração da tecnologia são estimadas e introduzidas no estudo, diferenciando usinas novas de usinas existentes.

Não foram levadas em consideração tecnologias em desenvolvimento com penetração significativa apenas após 2018, a exemplo da hidrólise da celulose. Estimativas nesse sentido podem ser vistas em Macedo, 2008, mas não são essenciais para este estudo.

Os dados básicos (agrícolas e industriais), assim como para o transporte e distribuição do etanol e seu uso final, podem ser vistos em Macedo e Seabra, 2008 para o ano-base 2006 e para a Tecnologia E em 2020. Alguns parâmetros principais (não são médias para o conjunto de usinas, para a Tecnologia E) são:

As taxas de penetração da Tecnologia E foram estimadas considerando-se que ela já está parcialmente em uso

**Tabela 3** Parâmetros de produção no período 2006-2020

	t cana/ha	L etanol/ t cana	kWh/t cana excedente	Area de cana, M ha
2006, média	87	86,3	9,2	2,4
2020, Tecnologia E	95	93,2	135	7,3

**Tabela 4** Produção de etanol, eletricidade e cana correspondente

	2006	2010	2015	2020
Etanol, Merc Int (Mm <sup>3</sup> )	14,2	23	35	50
Etanol, Export (Mm <sup>3</sup> )	3,7	5	10	15
Área de Cana (M ha)	2,4	3,6	4,2	7,3
Cana (M t)	207	318	385	697
Eletricidade (TWh/ano)	1,9	2,9	20,3	52

comercial, em implantação em quase todas as unidades novas (geração com vapor, alta pressão). Mas atingir o uso de 40% da palha ainda levará alguns anos. Assim, as hipóteses consideradas foram as seguintes:

- 2006-2010: foram adotadas as condições de 2006, sem sistemas novos completos, de forma conservadora;
  - 2011-2020: 80% da produção incremental usará Tecnologia E (eletricidade)  
3% da produção em 2010 mudando, a cada ano, para a Tecnologia E
- Dessa forma, teremos 35% da produção já com Tecnologia E em 2015, e 53% em 2020.

## Redução de emissões de GEE no período

### a. Ciclo de produção (sem efeitos na mudança de uso da terra)

A avaliação das emissões de GEE segue os padrões hoje adotados para biocombustíveis, incluindo o CO<sub>2</sub>, metano e N<sub>2</sub>O (são considerados os fluxos de GEE importantes na produção agrícola, na conversão industrial, no transporte e distribuição do etanol e no uso final). Ainda há divergências (se bem que menores hoje) em alguns pontos, notadamente sobre as diferentes opções de cômputo das emissões e mitigação com subprodutos e sobre alguns parâmetros de processo. Buscamos sempre a melhor informação disponível e transparência no relato dos resultados.

A avaliação detalhada (todos os parâmetros, coeficientes, valores default usados, base de dados e sua variação, metodologias) das emissões para o caso atual e o caso da Tecnologia E podem ser vistos nas referências (Macedo e Seabra 2008, Macedo 2007). Notamos a inclusão da eficiência média dos motores, que no Brasil pode ser avaliada com base em muitos anos de experiência. Resumidamente, para misturas até 10% de etanol teremos 1 litro de etanol = 1 litro de gasolina A (levando a 80% de equivalência para E-25);

#### Emissões evitadas

*Emissões específicas evitadas (comparação com gasolina) com o uso do etanol, para as condições de 2006 (médias) e para a Tecnologia E, 2020; excluídos os efeitos de mudança de uso da terra. (t CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> etanol)*

Tabela 5

Ano	2006 (média)		Tecnologia E (2020) (1)		
	E-100	E-25	E-100	FFV	E-25
Uso final do etanol					
Emissões na produção	0,44	0,46	0,34	0,34	0,36
Emissões evitadas	2,15	2,82	2,36	2,28	3,02
Excedente de bagaço (2)	0,14	0,15	0,00	0,00	0,00
Excedente de eletricidade (3)	0,03	0,03	0,38	0,38	0,40
Uso do etanol (4), (5)	1,98	2,64	1,98	1,90	2,64
Emissões evitadas (líquido)	1,71	2,36	2,02	1,94	2,66

(1) Tecnologia E: melhorias de processos + Produção de eletricidade (alta pressão, bagaço + 40% palha). • (2) Substituição de caldeiras a óleo (eficiência = 92%; PCI) por caldeiras a bagaço (eficiência = 79%; PCI). • (3) Neste estudo foi usado o fator de emissão baseado na média dos fatores da margem construída e margem operacional, para o Brasil: ~268 t CO<sub>2</sub>e/GWh. Fatores de emissão de 579 e 560 t CO<sub>2</sub>e/GWh(e) para 2006 e 2020, respectivamente (baseados em estimativas do IEA, emissões mundiais médias, eletricidade), assim como as emissões de centrais a GN, poderiam também ser considerados. • (4) Equivalências: E-25: 1 L etanol = 0.8 L gasolina A; E-100: 1 L etanol = 0.74 L gasolina A; FFV: 1 L etanol = 0.72 L E-25 = 0.66 L gasolina A. • (5) Gasolina, emissões de GEE: 2.64 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> gasolina

motores E-100 apresentam equivalência de 79% (1 litro de etanol = 0,79 litro de gasolina C), Cetesb, 2008; e os FFV, em 2005, tinham 1 litro de etanol = 0,72 litro E-25 (levando a 66% de equivalência com gasolina A), (Joseph Jr, 2005; Cetesb, 2008). Os resultados mais interessantes são mostrados na **Tabela 5**.

### **b. Efeito da mudança no uso da terra**

Os efeitos diretos da mudança no uso da terra, no caso da expansão da cana-de-açúcar no Brasil, têm sido avaliados nos últimos anos. Pode ser mostrado que:

- A mudança de uso da terra para produção de cana para etanol no Brasil (nos últimos 25 anos) deve ser considerada apenas para o período 2002-2009, porque a produção de etanol ficou constante (cerca de 12 milhões de m<sup>3</sup> por ano) de 1984 até 2002 (Macedo e Seabra, 2008);
- Nesse período, os levantamentos de diversas fontes independentes mostram que ocupação de áreas com vegetação arbórea (cerrados, florestas) foi menor que 2% do total, sendo a mudança feita essencialmente sobre áreas de pastagens e culturas anuais (Nassar, 2008);
- As informações sobre teores de carbono no solo para as culturas substituídas e para a cana trazem valores que não diferem muito dos valores default do IPCC e que indicam que cana sem queima pode aumentar os teores de equilíbrio de carbono no solo, para a maioria das culturas anuais e pastagens (Amaral, 2008).
- Uma análise para a situação média da mudança de uso para cana-de-açúcar sem queima, hoje, é resumida na **Tabela 6** (Macedo e Seabra, 2008), indicando aumento no teor de carbono no solo. Se as condições de mudança forem mantidas (isto é o que se espera, contando com a intensificação da pecuária em curso) o efeito direto da mudança de uso do solo será positivo.

**Tabela 6**

#### **Alterações nos estoques de carbono por mudança no uso da terra (LUC)**

Cultura	Mudança no estoque de carbono (1)	Emissões (kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>3</sup> etanol)	
	(t C/ha)	2006	2020 eletricidade
Pastagens degradadas	10	-302	-259
Pastagens naturais	-5	157	134
Pastagens cultivadas	-1	29	25
Soja	-2	61	52
Milho	11	-317	-272
Algodão	13	-384	-329
Cerrado	-21	601	515
Campo Limpo	-29	859	737
Cerradão	-36	1040	891
<b>Emissões LUC (2)</b>		<b>-118</b>	<b>-109</b>

(1) Baseado em valores medidos para estoques de carbono abaixo e sobre (somente perenes) o solo. • (2) Distribuição de LUC: 2006 50% pastagens (70% degradadas, 30% naturais); 50% culturas anuais (65% soja, 35% outras) • 2020 60% pastagens (70% degradadas, 30% naturais); 40% culturas anuais (65% soja, 35% outras); Cerrados abaixo de 1%.

Diversos estudos em andamento visam melhorar o conhecimento sobre os estoques de carbono no solo no Brasil. Neste estudo, no entanto, por conservadorismo, ainda não incluiremos no balanço os resultados positivos obtidos até agora.

### c. Resultados: emissões evitadas

A Tabela 7 traz as emissões evitadas totais, para anos selecionados, entre 2006 e 2020. São consideradas duas referências quanto às emissões evitadas pela substituição de energia elétrica: uma média entre as margens de operação e construída no Brasil (260 t CO<sub>2</sub>e / GWh) e o valor associado a centrais a gás natural (570 t CO<sub>2</sub>e / GWh).

Portanto, nos 11 anos entre 2010 a 2020 a emissão evitada total estaria em 1.015 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, com média de 92 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano; ou 7% a mais se as emissões da eletricidade substituída forem computadas com base na geração com gás natural (12% a mais no último ano).

## 2.2 Emissões evitadas pelo uso etanol no contexto brasileiro

Os valores de emissões evitadas incluem o efeito do etanol e da energia elétrica. Para comparação, usamos as emissões de GEE dos setores de transportes e geração de energia elétrica no Brasil, estimadas (EPE 2007) para 2005 e 2020. Aqui, como em todo o estudo, a geração de energia elétrica computada corresponde somente à parcela da cana usada para a produção de etanol; o setor gera quase 100% a mais com a produção de açúcar.

Em 2006 a mitigação com o etanol (e energia associada) alcançou 22% das emissões finais dos dois setores, e chegaria a 43% em 2020.

As emissões totais do Brasil (relacionadas com energia, produção e uso, em todos os setores) em 2006 foram de 350 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano, e a previsão para 2020 é de 720 milhões de toneladas de

**Tabela 7 Emissões evitadas com o uso de etanol (Brasil e exportação)**  
Em milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano

	2006	2010	2015	2020
Mitigação (1)	36	55	91	133
Mitigação (2)	37	56	97	149

(1) Eletricidade: média entre as margens de operação e construtiva no Brasil (260 t CO<sub>2</sub>e / GWh)

(2) Eletricidade: centrais a Gás Natural (570 t CO<sub>2</sub>e / GWh)

CO<sub>2</sub>e por ano (EPE 2007), excluídas emissões relativas a agropecuária e mudança no uso da terra e florestas. O setor de etanol evitou o equivalente a 10% dessas emissões em 2006, e evitaria 18% em 2020.

### ► 3. O contexto global

Como o aquecimento pelo aumento das emissões de GEE é um problema global, é adequado situar as emissões mitigadas pelo etanol nesse contexto. As emissões antropogênicas dos principais GEE em 2005 <sup>(1)</sup> foram de 36 gigatoneladas (Gt) de CO<sub>2</sub> (destas, 75% de energia e 11% de mudança do uso da terra), 6 Gt CO<sub>2</sub>e do metano, 2,5 Gt CO<sub>2</sub>e do N<sub>2</sub>O e cerca de 0,8 Gt CO<sub>2</sub>e de organofluorados.

O cenário de referência (WEA 2008), mantendo as políticas vigentes em outubro de 2008 (valores médios entre vários cenários do IPCC), indica crescimento das emissões de GEE desses 44,2 Gt CO<sub>2</sub>e (2005) para 54 em 2020 e 59,6 Gt CO<sub>2</sub>e (2030); emissões associadas a energia correspondem respectivamente a 61%, 67% e 68% dos totais. O setor de etanol no Brasil contribuiu para a redução de 0,1% dessas emissões em 2006, e chegaria a 0,25% em 2020.

As relações entre emissões de GEE e mudanças no clima são complexas. Fatores como remoção de carbono podem neutralizar parcialmente o efeito estufa (IPCC 2007-a). Nas condições atuais, a variação de 1 ppm CO<sub>2</sub> na concentração atmosférica corresponde a 7,7 Gt CO<sub>2</sub>e; mas considerando os processos de remoção (oceanos, atmosfera, solos) a emissão correspondente seria de 13,3 Gt CO<sub>2</sub>e.

Estima-se que temperatura global média hoje seja 0,76 C maior que a pré-industrial. Quanto à taxa de crescimento, tem aumentado (0,19 C nos últimos 20 anos).

Dois cenários considerados (WEO 2008-a) visam concentrações de GEE estabilizando a 550 ppm de CO<sub>2</sub>e (com aumento de temperatura global de 3 C; e emissões atingindo 33 Gt CO<sub>2</sub>e em 2030); ou 450 ppm (com aumento de temperatura de 2 C; e emissões de 25 Gt CO<sub>2</sub>e em 2030). Os potenciais efeitos danosos desses níveis de aumento de temperatura são bem modelados hoje (IPCC 2007-a).

**Tabela 8** Emissões setoriais e mitigação com o uso do etanol  
Em milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano

	Emissões, Transportes (1)	Emissões, E. Elétrica (1)	Transportes + E. Elétrica	Evitadas, etanol + E. Elétrica (2)
2006	140	20	160	36
2020	250	60	310	133

(1) As emissões já incluem certa quantidade de etanol no mix (de acordo com estimativas da EPE); portanto, são os valores finais de emissões, de acordo com EPE 2007.

(2) Incluídas as emissões evitadas com o etanol exportado.

Vários modelos <sup>[2]</sup> (Fischedick 2008) mostram que no período 2000-2030 as tecnologias mais relevantes para mitigação (estabilização a 450-590 ppm CO<sub>2</sub>) seriam as de conservação de energia e eficiência, seguidas por tecnologias relacionadas a fontes renováveis. No horizonte até 2100 as mesmas tecnologias continuam importantes, ao lado de outras, como as de captura e estocagem de carbono (CCS, em inglês).

Um ponto a ser notado é que para obter as reduções de emissões adequadas, todas as opções de tecnologias em consideração serão necessárias. Em relação aos transportes (caso do etanol), as emissões no mundo cresceriam de 6,7 para 11,6 Gt CO<sub>2</sub>e entre 2002 e 2030, no cenário de referência. As opções atuais de aumento de eficiência e uso de biocombustíveis poderiam reduzir de 2,2 a 4,5 Gt CO<sub>2</sub>e (IPCC 2007-c), mas essa mitigação potencial seria parcialmente anulada pelo aumento do uso de combustíveis líquidos não convencionais, com maior emissão de CO<sub>2</sub>. Portanto, as emissões em transportes continuarão aumentando até 2030, mesmo com o uso de todas as opções de mitigação em análise, dentro de suas possibilidades práticas.

### **Custo da mitigação de emissões no mundo e valor adicional do etanol**

No cenário atual, as mudanças climáticas trarão custos importantes para os países na implementação da adaptação. O que se busca é diminuir o efeito através da redução das emissões, levando a menores danos (e custos de adaptação). As incertezas quanto aos custos da adaptação são visíveis. Os valores estimados em 2007 (entre US\$ 40 bilhões e US\$ 170 bilhões anuais após 2030, segundo o IPCC) foram recentemente revistos para mais de US\$ 500 bilhões.

No momento, é possível estimar o custo médio da emissão evitada de toneladas de carbono para atingir certas metas. Para o etanol de cana, esse custo é um indicador do seu valor adicional (uma externalidade, não comercial).

Em sistemas baseados em *cap and trade*, que são vistos como mais prováveis, o custo da estabilização das emissões depende do alvo (concentração de CO<sub>2</sub>), da linha de base e do conjunto de tecnologias disponíveis (Fischedick 2008). As opções tecnológicas seriam usadas, idealmente, a partir das de custo mais baixo. Um resumo seria (IPCC 2007-a): “Os estudos indicam a necessidade de um portfólio diversificado; preços de carbono de US\$ 20-50/t CO<sub>2</sub>e seriam suficientes para promover mudanças de combustível em larga escala e permitir que CCS e fontes de energia elétrica com baixo carbono se tornem econômicas com sua maturação”. Vários estudos têm visto aspectos parciais da estimativa de custos. Em geral há consenso sobre o fato de que os custos estimados são ainda muito imprecisos. Não há conhecimento adequado de alguns custos específicos (exemplo, CCS) para escalas diversas, ou ao longo do tempo. É difícil analisar sistemas interdependentes e há grande variação de acordo com o local. Alguns resultados recentes são:

- Considerando as tecnologias disponíveis para eletricidade (incluindo CCS com carvão e gás natural), a redução de emissões poderia atingir, sobre a base de 15.77 Gt CO<sub>2</sub>e em 2030: 4 Gt CO<sub>2</sub>e com custos até US\$ 20/t CO<sub>2</sub>e; 6,4 Gt CO<sub>2</sub>e com custos até US\$ 50/t CO<sub>2</sub>e; e 7.2 Gt CO<sub>2</sub>e com custos até US\$ 100/t CO<sub>2</sub>e. (IPCC 2007-b)

- A estabilização a 550 ppm CO<sub>2</sub> corresponderia a custos de 20-50 US\$/t CO<sub>2</sub>e, entre 2020-2030; mas US\$ 100/t CO<sub>2</sub>e seriam necessários para 450 ppm CO<sub>2</sub>. (IPCC 2007-a)
- É possível reduzir emissões em 55% em 2030 (levando a 550 ppm) com custo abaixo de 60 euros/t CO<sub>2</sub>e; e em 70% (para 450ppm) com custo de 60 euros a 100 euros/t CO<sub>2</sub>e. (McKinsey 2009)
- Há dois cenários para 2050: manter as emissões no mesmo nível de 2005 (com custos marginais de mitigação de CO<sub>2</sub> até US\$ 50/t CO<sub>2</sub>e) ou reduzir as emissões de 2005 para a metade em 2050 (algumas tecnologias, no cenário otimista, iriam para US\$ 200/t CO<sub>2</sub>e, mas as médias ficariam de US\$ 38 a US\$ 117/t CO<sub>2</sub>e). (IEA 2008)
- No cenário de estabilização a 550 ppm CO<sub>2</sub>, cap and trade traria o custo de CO<sub>2</sub> para US\$ 90/t CO<sub>2</sub>e em 2030 (OECD+), e US\$ 40/t CO<sub>2</sub>e em 2020. Para estabilização a 450 ppm, o custo atingiria até US\$ 180/t CO<sub>2</sub>e em 2030. (WEO 2008 e WEO-2008-a)

Dessas indicações admitimos um custo de referência para a mitigação, considerando-se a necessidade de reduzir a concentração de CO<sub>2</sub> para 450 ppm na atmosfera, de US\$ 100/t CO<sub>2</sub>e para os próximos 20 anos. Esse custo é determinado pelo total de emissões a reduzir, e pelos custos e potenciais (variando com o local e época) das diversas tecnologias em consideração.

Considerando o uso de etanol em substituição à gasolina e seu excedente de energia elétrica, esse custo evitado da mitigação (US\$ 100/t CO<sub>2</sub>e) e o valor médio de mitigação (~2 t CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> etanol, ver Tabela 5) levam a um valor adicional para o etanol de US\$ 0,20 por litro de etanol. Esse valor adicional (isto é, em adição ao valor equivalente à gasolina substituída) é uma das externalidades do uso etanol, que apesar de não remunerada deve ser considerada na elaboração de políticas adequadas de suporte à sua produção e uso.

### **Possibilidades de expansão do uso do etanol para outros setores no Brasil**

O etanol pode ser utilizado em outros setores no Brasil, aumentando seu potencial de mitigação de emissões. Embora isso não seja incluído nesta avaliação, lembramos algumas das possibilidades:

- O uso do gás natural (GN) precisa ser reconsiderado para áreas mais nobres (industriais, termoeletrônicos) que o gás natural veicular (GNV). Em 2008 o GNV utilizado correspondeu a cerca de 4,5 milhões de m<sup>3</sup> de etanol (aproximadamente 30% do etanol carburante usado no país).
- O consumo de diesel para térmicas em sistemas isolados foi equivalente a 1,4 milhão de m<sup>3</sup> de etanol
- O consumo de diesel apenas no setor agrícola da cana-de-açúcar foi equivalente a cerca de 2,2 milhões de m<sup>3</sup> de etanol.
- O uso de apenas 5% (energia) de etanol substituindo diesel teria levado a cerca de 4 milhões de m<sup>3</sup> de etanol (isso poderia ocorrer prioritariamente em setores como o transporte de massa urbano).

## **Evolução do conhecimento sobre as mudanças climáticas; tendências e expectativas para o regime pós-Kyoto; o etanol no Brasil**

A mudança global do clima, resultante do aumento da concentração na atmosfera do dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa pelas atividades do homem, é “um dos maiores desafios de nossos tempos”, nas palavras dos líderes dos países representados no Fórum das Principais Economias, reunidos em Áquila, na Itália, em 9 de julho de 2009.

### **Mudanças climáticas e gases de efeito estufa**

O aquecimento global decorre das atividades humanas que aumentam a concentração na atmosfera dos gases de efeito estufa: dióxido de carbono (queima de combustíveis fósseis, fabricação de cimento, e desflorestamento); metano (decomposição anaeróbica de matéria orgânica); óxido nitroso (fertilizantes nitrogenados e indústria química); e certos gases industriais à base de halogênios. Essa concentração mais elevada produz um aquecimento gradual da superfície mudando a dinâmica dos oceanos e da atmosfera. Estima-se que tais mudanças causarão prejuízos de vários tipos. Os ecossistemas estão adaptados ao clima atual, assim como as atividades humanas, e a mudança de clima prevista é muito mais rápida do que a capacidade de adaptação da natureza ou da humanidade.

Em 1988 foi criado no âmbito das Nações Unidas, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), para avaliar o estado do conhecimento humano sobre a mudança do clima, incluindo os aspectos científicos, a estimativa de seus impactos, e as possíveis estratégias de resposta. Após o relatório, em 1990, o rápido avanço do conhecimento sobre o tema tornou necessária a reavaliação contínua, com novos relatórios publicados em 1995, 2001, 2007 e um previsto para 2013. O primeiro relatório (1990) registrou aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a previsão de que a temperatura média global da superfície aumentaria cerca de 3 graus Celsius em 2100. O relatório ainda previa que seria necessária mais de uma década até que a mudança do clima pudesse ser detectada. O último relatório do IPCC, de 2007, registrou a constatação de que a mudança do clima produzida pelo homem já foi detectada de forma inequívoca. Como a mudança do clima inclui efeitos naturais (erupções vulcânicas, variabilidade solar e El Niño), é preciso separá-los, com o uso de modelos numéricos. Os modelos atuais e o aumento da intensidade da mudança do clima permitiram que simulações do clima para o século passado, em comparação com observações, permitissem separar o efeito das causas naturais do efeito do aumento dos gases de efeito estufa pela ação do homem.

A cadeia causa-efeito no sistema climático tem início nas decisões e ações humanas, que provocam a emissão de gases de efeito estufa. O aumento da concentração daqueles gases na atmosfera produz aquecimento, aumento da temperatura, impactos regionais e locais de mudança do clima e os prejuízos associados. A relação entre emissões e aumento da concentração é ditada pelo tempo médio de vida na atmosfera de cada gás. A relação entre o aumento da concentração e a forçante radiativa é função das propriedades de cada gás. A relação entre a forçante radiativa e o aumento de temperatura é ditada pela sensibilidade climática

(o aumento da temperatura média da superfície para cada vez que a concentração de dióxido de carbono é dobrada) e pela escala de tempo da transferência vertical de calor nos oceanos. A relação entre o aumento de temperatura e os impactos regionais e locais da mudança do clima, e, portanto os prejuízos, são complexos, mas pode-se afirmar que é uma função monotônica crescente do aumento de temperatura.

Portanto, sabe-se que a estabilização da temperatura exige a estabilização da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa, o que por sua vez exige a estabilização das emissões líquidas antrópicas (produzidas pelo homem). O conceito de emissões líquidas considera as remoções de dióxido de carbono da atmosfera, que são como emissões negativas. O único gás de efeito estufa que se presta à remoção antrópica é o dióxido de carbono, que pode ser removido da atmosfera seja pelo plantio de árvores, seja pela captura e armazenamento geológico (em poços de petróleo e gás ou em aquíferos salinos), seja pela fertilização artificial dos oceanos com sais de ferro, estas duas últimas tecnologias ainda em desenvolvimento. Dado um perfil temporal de emissões futuras, este corresponde a um único perfil de aumento de concentração e a um único perfil de aumento de temperatura. O inverso não é verdadeiro, ou seja, há mais de um perfil de emissões possível para atingir um mesmo aumento de temperatura. Nesse caso, tende-se a buscar o perfil de emissões que corresponde ao menor custo possível para o mesmo resultado.

### Reações às mudanças climáticas

A evolução do conhecimento sobre mudança do clima desde 1990 foi lenta e gradual. Em paralelo, a sociedade se conscientizou e houve mais ações positivas de governos, empresas e indivíduos. As reações possíveis, além evidentemente da inação, são a mitigação e a adaptação. A mitigação compreende as ações de redução das emissões líquidas antrópicas de gases de efeito estufa. A adaptação trata das medidas para diminuir os prejuízos resultantes da mudança do clima. A combinação preferida entre inação, mitigação e adaptação pode ser resumida na escolha de um limite tolerável para a mudança do clima.

Como reação ao primeiro relatório do IPCC, a assembléia geral da ONU estabeleceu em 1990 um processo negociador que culminou com a adoção, em 1992, do texto de uma convenção, em vigor desde 1994. A convenção tem como meta a estabilização da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível seguro, embora não especifique tal valor. A convenção registrou ainda o princípio de que há uma responsabilidade comum de todos os países, diferenciadas em função das respectivas capacidades de ação. Na primeira Conferência das Partes da Convenção (COP-1) em 1995, a avaliação da adequação dos compromissos assumidos pelos países industrializados para atingir sua meta concluiu pela sua insuficiência para estabilizar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, e resultou em mandato de negociação de um protocolo (o Protocolo de Kyoto), adotado em 1997 e em vigor desde 2005.

O Protocolo de Kyoto, em sua essência, estabeleceu limites para as emissões nacionais agregadas para os países já industrializados, programas nacionais de mitigação de emissões para todos os países, e mecanismos de “mercado de carbono” para minimizar o custo geral das reduções de emissões. O primeiro período de verificação do cumprimento das metas de Kyoto é de 2008 a 2012. Discute-se hoje em dia os limites para um segundo período.

Em paralelo a esse processo, a décima terceira Conferência das Partes da Convenção (COP-13) adotou em Bali, Indonésia, um plano de ação de dois anos pelo qual na COP-15, no final de 2009, em Copenhague, seriam adotadas decisões relativas a um acordo mais amplo do que o Protocolo de Kyoto, visando a meta da Convenção, de estabilizar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera <sup>[3]</sup>.

O processo de negociação internacional, na vertente do Protocolo de Kyoto, encaminha-se para uma definição de novos limites para as emissões dos países industrializados até o ano de 2020. É razoável supor que tais valores somente sejam definidos ao final do processo de negociação da outra vertente. Os limites sob o Protocolo de Kyoto são importantes inclusive porque terão impactos diretos sobre o valor de mercado dos “créditos de carbono” do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Na outra vertente das negociações, sob a égide da Convenção, mas fora do escopo do Protocolo de Kyoto, trata-se de estabelecer um regime de prazo mais longo, que possa conduzir a atingir a meta da Convenção. Embora a meta da Convenção mencione a estabilização da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa, a tendência hoje em dia é de buscar um limite para o aumento de temperatura. Essa variável está relacionada mais diretamente com a magnitude dos prejuízos devidos à mudança do clima. Além disso, como visto, há mais de um perfil temporal de concentrações e de emissões que levam ao mesmo resultado, o que introduz um grau adicional de flexibilidade e, portanto, tende a minimizar os custos de mitigação.

Embora as negociações oficiais ocorram nas Conferências das Partes da Convenção, vários encontros de alto nível tendem a incluir em suas agendas o tema da mudança do clima, buscando construir o consenso necessário para o sucesso das conferências oficiais. A reunião mais recente foi o Fórum das Principais Economias (MEF, em inglês), que registrou o consenso entre os 14 países participantes de que se deve limitar a mudança do clima a um aumento da temperatura de dois graus Celsius no final do século.

Um limite para o aumento de temperatura (por exemplo, dois graus Celsius) implicaria na necessidade de reduzir as emissões líquidas antrópicas globais de gases de efeito estufa em cerca de 60% em relação aos seus níveis de 1990. Como primeira sugestão, os principais países industrializados reunidos no G8 (incluindo a União Europeia) na mesma ocasião esboçaram um esforço para reduzir suas emissões em 80%, permitindo uma ação mais lenta por parte dos países emergentes. Embora tais projeções, com quatro décadas de antecedência, estejam sujeitas a muitas incertezas, e ainda não foram adotadas, elas sinalizam uma mudança significativa da matriz energética mundial com efeitos para todos os países.

### **Biocombustíveis; etanol no Brasil e mudanças climáticas**

Estudos globais (Pacala 2004) mostram que os biocombustíveis renováveis são um componente necessário dessa transformação. Não será possível atingir a meta contemplada de limitação do aumento de temperatura sem um aumento expressivo da participação dos biocombustíveis renováveis na nova matriz energética.

É interessante considerar o efeito da introdução do etanol no Brasil como combustível em substituição à ga-

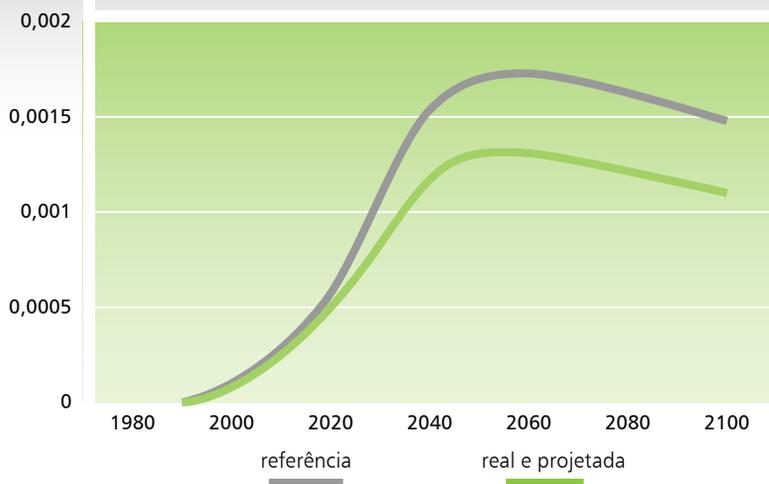
solina sobre o aumento da temperatura do planeta. Para isso, é necessário estabelecer uma referência. Tem sido comum utilizar como referência uma linha de base, ou cenário business as usual, correspondendo ao que ocorreria sem que medidas fossem tomadas visando à redução de emissões. Esse cenário de emissões é adotado pelo IPCC com base em projeções demográficas, de intensidade de uso de energia e de tecnologia usada para sua geração, para todo o mundo, embora por vezes construídos por regiões. No caso de projetos individuais, como no MDL, a linha de base é construída com uma metodologia aprovada e que busca estabelecer o cenário mais plausível. Os cenários de linha de base (BAU, em inglês) são hipotéticos, ou um contrafactual – cenário de futuro que poderia ocorrer, mas não ocorreu – e, portanto, não sujeitos a demonstração ou verificação objetiva. Além disso, tais cenários prestam-se a manipulações.

A única forma de evitar esses problemas é adotar uma referência fixa e, portanto, mensurável. A tendência já na convenção e particularmente no Protocolo de Kyoto é adotar as emissões no ano de 1990 como referência fixa. A já mencionada necessidade de redução das emissões globais em 60% refere-se aos níveis de 1990.

Usando como base ano de 1990 (adotado como referência nas negociações internacionais), pode-se calcular a contribuição para a mudança do clima resultante do uso da gasolina e do etanol para certo período (por exemplo, entre 1990 e 2030). Essa referência corresponde a manter constante no período o volume de etanol produzido em 1990 (11,8 milhões de m<sup>3</sup>), com o consumo de combustível para motores do ciclo Otto sendo completado com gasolina até os valores de demanda real (1990 a 2008) e projetada entre 2008 e 2030 (EPE 2007). Contra essa referência é calculado o efeito do etanol, medido pelo consumo de etanol e gasolina (real, de 1990 a 2008, e projetado, de 2008 a 2030).

Figura 1

**Aumento da temperatura média global da superfície resultante do uso de etanol e gasolina no Brasil, de 1990 a 2030** *Em graus Celsius*



Referência: volume de etanol constante no nível de 1990, de 1990 a 2030 • Real e projetada: consumo real (1990 – 2008) e projetado (2008-2030)

A **Figura 1** mostra o aumento da temperatura média global da superfície, indicando a magnitude da mudança do clima a partir daquela data. A **Figura 2** mostra o aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono. O cálculo considera as emissões relativas ao etanol e gasolina (como na **Tabela 5**), pela dinâmica dos processos de absorção do CO<sub>2</sub> no sistema terrestre, e pelo resultado do efeito estufa em si, no aumento de temperatura.

O horizonte da previsão é o ano de 2100, que é normalmente adotado pelo IPCC e nas negociações políticas sobre o regime futuro de mudança do clima. Note-se que foram utilizados somente dados oficiais, e até o horizonte onde são disponíveis (2030) para evitar qualquer pré-julgamento do que ocorrerá após aquela data (emissões nulas de 2030 a 2100). É interessante notar que, em que pese o fato de o Plano Nacional de Mudança do Clima prever ações para a mitigação, e, portanto, para a limitação das emissões de gases de efeito estufa, o planejamento governamental detalhado, publicado no planejamento energético, prevê a retomada de crescimento exponencial do consumo de gasolina a partir de 2020, mantendo uma proporção constante entre o consumo do etanol e da gasolina, sem um aumento da proporção do etanol que pareceria ser compatível com os objetivos do PNMC.

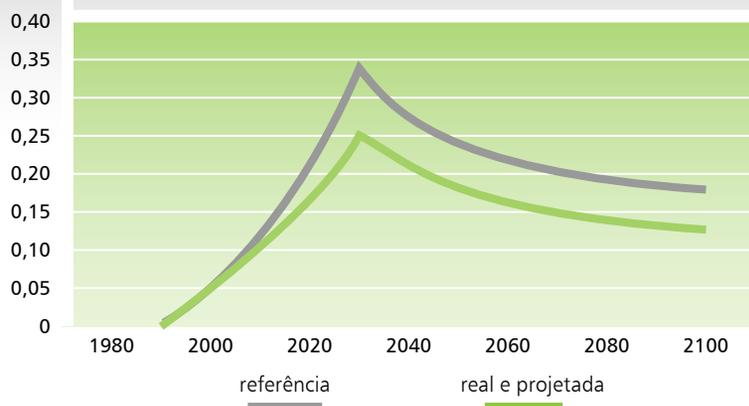
## Perspectivas das negociações internacionais

As tendências das negociações internacionais são:

- Limite de 2 graus Celsius para o aumento de temperatura em 2100;
- Redução de emissões dos países industrializados de 80% em relação aos níveis de 1990;
- Redução de emissões dos países emergentes em relação à tendência atual;
- Consideração especial para os países de menor desenvolvimento relativo.

**Figura 2**

**Efeito na concentração de CO<sub>2</sub> e na atmosfera resultante do uso de etanol gasolina no Brasil, de 1990 a 2030** *Concentração de CO<sub>2</sub> (ppm)*



Referência: volume de etanol constante no nível de 1990, de 1990 a 2030 • Real e projetada: consumo real (1990 – 2008) e projetado (2008-2030)

Considerações físicas permitem afirmar que, para lograr a estabilização da temperatura, será necessário antes obter a estabilização da concentração de dióxido de carbono (e outros GEE) na atmosfera. Para estabilizar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera será necessário reduzir as emissões líquidas antrópicas a um nível 60% menor do que o verificado em 1990. Esse raciocínio nos permite estimar o nível de emissões possíveis nos países em desenvolvimento tal que, em conjunto com a redução de 80% das emissões de países industrializados, resulte em redução de 60% nas emissões globais. Como em 1990 as emissões dos países industrializados eram iguais a três quartos das emissões mundiais, as propostas em consideração hoje nos levam a concluir que será necessário que os países emergentes limitem suas emissões ao nível de 1990.

Não há indicações sobre a repartição desse limite entre os países emergentes. Supondo, no entanto, para efeitos de ilustração, que cada um deles o faça individualmente, conclui-se que o Brasil deverá adotar medidas, em seu planejamento nacional, para alcançar a estabilização de suas emissões no nível de 1990. O planejamento energético em sua forma atual não indica ações nesse sentido, e, portanto é razoável supor que precisará ser revisto para adequá-lo aos objetivos declarados da política nacional e do plano nacional sobre mudança do clima.

As formas a serem adotadas para a limitação das emissões de gases de efeito estufa, em geral, podem ser classificadas em três grandes grupos:

- I Políticas e medidas regulatórias que obriguem à adoção de certas práticas, por exemplo, padrões de eficiência energética, proibição pura e simples de algumas práticas, etc. Em geral, medidas desse tipo tendem a ser as menos eficientes pois tendem a aumentar o custo para a sociedade das medidas de contenção de emissões;
- II Medidas tributárias, que vão desde a imposição de um imposto sobre a emissão de gases de efeito estufa, ou carbon tax, até renúncias fiscais (que são impostos negativos) e disponibilização de crédito em condições favorecidas para empreendimentos que resultem em diminuição de emissões;
- III Mecanismos de limitação e comércio de emissões (cap-and-trade), pelos quais a imposição de limites de emissões é acompanhada de preparação (e permissão para comercializar) de certificados de permissão de emissões em volume compatível com a limitação desejada. Esse sistema é adotado hoje na União Europeia, com o European Trading Scheme. Em determinadas condições de controle de emissões de fontes estacionárias, com tecnologia disponível, esse esquema pode resultar na minimização dos custos para a sociedade como um todo, já que o mercado se encarrega de garantir que as reduções ocorrerão onde o seu custo marginal for mais baixo.

Há ainda uma tendência inovadora de combinação da segunda e terceira abordagens, como no projeto de lei Waxmann-Markey, aprovado pela Câmara dos Estados Unidos, em que as permissões são leiloadas e não concedidas gratuitamente. Esse modelo recebeu declaração de interesse por parte do secretário de Política Econômica do Ministério da Fazenda do Brasil.

Além do debate sobre metas globais para o aumento de temperatura (portanto, para as emissões globais), sobre a repartição dessas metas entre países ou grupos de países e sobre o elenco de possíveis políticas internas a serem adotadas pelos países e pelo Brasil em particular, resta ainda a questão dos mecanismos

internacionais pelos quais as limitações de emissões possam ser manejadas entre países – o comércio internacional de carbono, e o tema da competitividade relativa do Brasil.

O debate internacional sobre o mercado internacional de carbono é ainda extremamente limitado. O mecanismo existente no âmbito do Protocolo que Kyoto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, tem limitações, notadamente para as energias renováveis e o etanol.

Quanto às metas internacionais, há necessidade de que sejam adotadas de maneira uniforme, incluindo China e Índia, para proteger a competitividade de nossa indústria.

Também devem ser incorporadas as vantagens do Brasil, com sua matriz energética relativamente limpa – há que quantificar e transferir isso para que sejam traduzidas em vantagens no comércio internacional.

#### ► 4. Referências bibliográficas

- Amaral, W. A. N. et al. Environmental Sustainability of sugar cane ethanol in Brazil, in “Sugar cane ethanol: Contributions to Climate Change Mitigation and the Environment. Ed Peter Zurbier, Jos van de Vooren; Wageningen Academic Publishers, 2008.
- Cepea 2007. Cenários (oferta e demanda) para o setor de cana-de-açúcar. Cepea, Piracicaba, 2007 (Reservado).
- Cetesb 2008. Relatório da Qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2007. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente.
- EPE 2007. Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Planejamento Energético, MME, 2007.
- Fishedick 2008. Mitigation Potential, cost of renewable energy systems and costs of transition.
- Fishedick, M.; in IPCC Scooping meeting on renewable energy sources. Proceedings; Lubeck, January 2008).
- IEA 2008. Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies for 2050. International Energy Agency, OECD/IEA, 2008.
- IE-UFRJ 2006. Matriz Brasileira de Biocombustíveis. Proj. NAE-CGEE/IE-UFRJ, GEE. Instituto de Economia, UFRJ, Dec 2006.
- IPCC 2007-a. Technical Summary. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2007-b. R.E.H. Sims et al; Energy supply. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2007-c. Kahn Ribeiro, S. et al. Transport and its infrastructure. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Joseph Jr, H. The use of ethanol blends as regular fuel for existing vehicular fleets. Report for the Brazilian Ethanol Mission to Japan, UNICA–COIMEX, 2005.
- Macedo, I. C. The sugar cane agro-industry and its contribution to reducing CO2 emissions in Brazil. Biomass and bioenergy 1992; 3, pp. 77-80.
- Macedo, I. C.; Seabra, J. E. A. ; Silva, J. E. A. R.; Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugar cane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass and Bioenergy (2008), doi:10.1016/j.biombioe.2007.12.006.
- Macedo, I. C. GHG mitigation and cost analyses for expanded production and use of ethanol fuel in Brazil. Final Report, Center for Clean Air Policy – CCAP, Washington DC, July 2008.
- Macedo, I. C. e Seabra, J. E. A. Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol; in “Sugar cane ethanol: Contributions to Climate Change Mitigation and the Environment. Ed Peter Zurbier, Jos van de Vooren; Wageningen Academic Publishers, 2008.
- McKinsey 2009. Pathways for a low carbon economy – Version 2 of the Global GHG abatement cost curve, McKinsey & Company, 2009.
- Mapa 2007. Projeções do Agronegócio – Mundo e Brasil, 2006/07 a 2017/18. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Assessoria de Gestão Estratégica. Dezembro de 2007.
- Nassar, A. M. et al. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use change;

Sugar cane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. Ed Peter Zurbier, Jos van de Vooren; Wageningen Academic Publishers, 2008.

- Pacala, S.; Socolow, R.. Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. Science, Vol. 305, Issue 5686, pp. 968-972, August 13, 2004.
- UNICA 2008. Citado por R. Rodrigues, Cenários e Respostas para a Agro-energia, São Paulo, 23/09/2008.
- Seabra, J. E. A. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa da cana no Brasil. Tese de doutorado, Unicamp, FEM – Planejamento de Sistemas Energéticos, julho de 2008.
- World Energy Outlook 2008; International Energy Agency, OECD/IEA 2008
- World Energy Outlook 2008-a. Tanaka, N. World Energy Outlook 2008: Options for a cleaner, smarter energy future. UNCCC, Poznan, Dec 2008.

### ***Notas explicativas***

**01** Fontes: WEO 2008, dados da EPA para a IEA, IEA databases e IPCC 2007.

**02** Image, Ipac, AIM e Message.

**03** Este estudo foi concluído antes da realização da reunião de Copenhague.

04





# O etanol e a saúde

Paulo Hilário Nascimento Saldiva

Maria de Fátima Andrade

Simone Georges El Khouri Miraglia

Paulo Afonso de André





*Este estudo mostra que a substituição, mesmo parcial, de derivados de petróleo por etanol na frota de veículos da região metropolitana de São Paulo pouparia centenas de vidas e evitaria milhares de internações hospitalares, com economia de centenas de milhões de dólares para os cofres públicos.*

*Os impactos da poluição atmosférica na saúde são bem conhecidos da comunidade científica. A substituição de combustível significa redução na formação de ozônio (etanol em vez de gasolina) e na emissão de particulados (etanol em vez de diesel). Além disso, o uso do etanol reduz a geração de gases de efeito estufa e ajuda a combater o aquecimento global. No cenário de substituição total da gasolina e do diesel da Grande São Paulo por etanol, mais de 12 mil internações e 875 mortes seriam evitadas em um ano. Haveria ainda, no período, economia de quase US\$ 190 milhões aos cofres públicos.*

*Uma meta mais exequível – o uso de etanol na frota cativa de ônibus – significaria que o número de internações hospitalares decorrente de doenças provocadas pela poluição gerada pelo diesel seria reduzido em 1,35 mil em um ano. Com isso, mais de US\$ 3,8 milhões seriam economizados anualmente. E também seriam evitados 220 óbitos no mesmo período, o equivalente à metade do número de mortes por tuberculose na região em 2007.*



*Os poluentes considerados na análise foram o material particulado fino e o ozônio. A escolha desses poluentes foi motivada pelo fato de excederem os limites preconizados pela Organização Mundial da Saúde e serem considerados os principais desafios da poluição atmosférica no Brasil.*

*A Grande São Paulo foi escolhida como cenário devido à disponibilidade de dados de qualidade sobre o monitoramento ambiental e de saúde. De qualquer maneira, como é reconhecido o fato de que a poluição do ar é um problema que afeta as outras regiões densamente povoadas, as conclusões podem ser extrapoladas para outras áreas como as mesmas características.*

*Outro aspecto a ser enfatizado é que os resultados estão subestimados. Isso porque os efeitos sobre a saúde são medidos apenas em termos de admissões hospitalares e mortalidade, escolha que se deve à disponibilidade de informações oficiais. Sabe-se, no entanto, que esses casos representam a minoria dos eventos adversos à saúde e não levam em conta as doenças que não demandam atendimento hospitalar ou não causam o óbito. Ou seja, o impacto é ainda mais grave do que mostram os números da simulação.*

## Apresentação do problema

O homem é o objeto central dos processos de prospecção e comercialização da indústria de petróleo, gás e combustíveis renováveis. A disponibilidade de energia capaz de ser armazenada e “empacotada” em tanques de combustível ou tambores de gás abriu ao homem as portas da mobilidade mecanizada. Os hidrocarbonetos presentes no petróleo permitiram o desenvolvimento de novos produtos e compostos que modificaram o formato e eficiência de diversos utensílios e a produção de novos medicamentos. Mais importante, a disponibilidade de energia e novos compostos fez com que novos comportamentos e atitudes de consumo fossem incorporados pela sociedade, gerando hábitos que demandam produção de energia cada vez maior. Esses novos hábitos se tornaram parte do dia-a-dia e mudanças de matriz energética ou de forma de gerar e consumir energia parecem não ser viáveis e eficientes a curto prazo – as mudanças estão ocorrendo de forma lenta e sujeitas a decisões de caráter econômico e não somente ambientais.

Esse cenário fez com que hoje nos defrontemos com questões de extrema relevância para a indústria de energia. Em nosso entender, os pontos importantes podem ser assim apresentados:

**a** Quais são as alternativas energéticas que permitem conciliar o aumento da necessidade de energia da parte da sociedade com aspectos de eficiência, preço e sustentabilidade? A concentração da produção de petróleo e gás em algumas regiões críticas do planeta tem provocado uma série de tensões nas últimas décadas, com impactos nos preços desses produtos no mercado internacional. Um elenco ampliado de alternativas energéticas factíveis é o melhor antídoto para essas dificuldades.

**b** Quais as fontes energéticas que promovem menor impacto ambiental, seja em escala global (minimizando os efeitos climáticos), seja em escala regional (minimizando os efeitos adversos da exploração e emissões)? O aquecimento global pelas emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases do efeito estufa é uma questão que saiu da esfera técnica da academia e da indústria, para atingir o cotidiano do cidadão comum. O mesmo se pode dizer dos efeitos adversos das emissões veiculares, que têm sido objeto de uma política de controle cada vez mais restritiva, visando a preservar a saúde humana. A partir desses problemas, gerados pela queima de combustíveis para indústria e para o transporte, cresce na sociedade um sentimento que visa à redução das emissões de poluentes por fontes fixas e móveis, que terá implicações futuras no mercado desses combustíveis. É importante frisar que, no nível tecnológico presente e para a maior parte das aplicações do petróleo e gás (e seus derivados), uma redução significativa das emissões não pode ser obtida somente através da melhoria tecnológica do processo industrial ou da engenharia dos motores, mas deve, necessariamente, considerar a composição do combustível como fator determinante. Um exemplo claro é representado pelos veículos a diesel, nos quais a tecnologia de catalisadores é dependente da formulação do combustível.

**c** Como transformar o processo de produção de energia em um dos instrumentos que, além de auxiliar a obtenção de uma equidade sócio-econômica entre nações ricas e pobres, também reduzam os contrastes sociais e de saúde dentro de uma mesma nação? A produção de energia é uma fonte de riqueza. De modo geral, a escolha das opções energéticas é feita em termos da relação custo-efetividade, determinada pela ótica do processo produtivo. As atividades relacionadas à produção, distribuição e comercialização dos

combustíveis produzem impactos sobre a vida humana. A **Tabela 1** apresenta, de forma resumida, um quadro comparativo dos potenciais riscos à saúde humana devido ao uso dos combustíveis derivados de petróleo e de alguns biocombustíveis (etanol e biodiesel).

A análise da **Tabela 1** mostra que o risco à saúde humana é inevitável nas diferentes etapas da produção de combustíveis. O importante é, entre as alternativas, escolher a de menor impacto. É importante também implementar e desenvolver novas práticas que garantam a máxima sustentabilidade aos processos, considerando as vertentes ambiental, econômica e social (por exemplo, a eliminação de queima da cana durante a colheita).

O conjunto de situações expostas indica que homem e a indústria de produção de combustíveis criaram vínculos que, de tão íntimos, selaram os seus destinos em um pacto implícito. O futuro do homem depende de produção de fontes crescentes de energia limpa e sustentável. O futuro do mercado de energia vai depender da sua capacidade de atender aos anseios do homem por fontes que assegurem estabilidade climática, menor dano à saúde e perspectiva de menor desigualdade sócio-econômica. Em outras palavras, ao agregar valores como sustentabilidade e menor risco ao ambiente e à saúde, o preço dos novos combustíveis irá depender, no futuro próximo, da incorporação de valores que irão além dos custos de prospecção, produção, refino e distribuição. A incorporação dos aspectos relacionados aos impactos sobre o ser humano das novas alternativas energéticas que o Brasil conquistou poderá agregar novos valores a esses combustíveis e fornecer informações que poderão auxiliar o planejamento estratégico do mercado de energia para as próximas décadas.

**Comparação dos potenciais riscos à saúde humana**

**Tabela 1**

	<b>Petróleo</b>	<b>Biocombustíveis</b>
<b>Produção</b>	Contaminação das águas e do solo pelos resíduos da produção ou vazamentos	Contaminação das águas e do solo por pesticidas e resíduos da produção
	Emissão de CO <sub>2</sub> ( <i>flaring</i> )	
	Emissões fugitivas	Queima da palha (etanol)
	Condições de trabalho: trabalho embarcado em plataformas, contaminação por agentes químicos em refinarias	Condições de trabalho: exaustão, inalação de gases e partículas após a queimada
<b>Transporte e armazenamento</b>	Vazamentos (durante transporte, tanques e dutos)	Aumento da solubilidade da pluma de vazamentos
	Emissões fugitivas	Emissões fugitivas
<b>Emissões</b>	Poluentes atmosféricos (partículas, hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis precursores de O <sub>3</sub> )	Poluentes atmosféricos (compostos carbonílicos no caso do etanol, NO <sub>2</sub> e hidrocarbonetos de cadeias longas como a acroleína no biodiesel)
	Aumento das emissões de gases de efeito estufa	Balanco das emissões de gases de efeito estufa variável, a depender da matriz

## Considerações gerais sobre a relação entre poluição atmosférica e a saúde humana

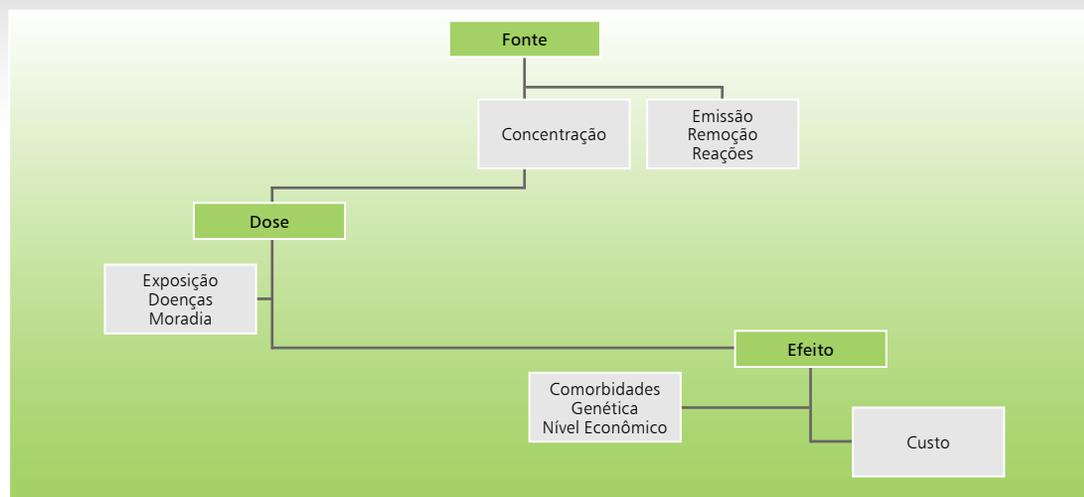
A avaliação dos impactos das fontes de energia na saúde envolve a disponibilidade de informações em uma série de níveis interligados, como apresentado na Figura 1.

Cada um dos quadros apresentados na Figura 1 representa uma informação crítica para a determinação do risco ambiental.

A caracterização da *fonte emissora*, com as suas espécies químicas e taxas de emissão, é um ponto fundamental. Em algumas situações, a fonte emissora é conhecida, como no caso das emissões veiculares, agrícolas ou industriais. No entanto, há situações em que a fonte emissora é desconhecida, como no caso da contaminação de águas superficiais numa bacia hidrográfica de grande extensão. No tocante à dispersão e reações no meio ambiente, há também que se fazer algumas considerações. Poluentes primários: são aqueles emitidos diretamente pela fonte – pontos de eliminação de efluentes líquidos, chaminés de indústrias, canos de escapamento de automotores, re-suspensão a partir do solo, por exemplo. Poluentes secundários: são os produzidos no meio ambiente a partir de reações químicas, que têm como precursores os poluentes primários – nesse grupo se destacam o ozônio e as partículas de aerossol secundário. Poluentes com efeitos locais: são aqueles que têm a vida média bastante curta e que afetam sobretudo o entorno de sua origem. Poluentes com efeitos em meso-escala: são aqueles que possuem vida média de horas ou dias, e que afetam regiões maiores por serem passíveis de transporte por ventos, convecção ou meio aquoso. Poluentes com efeitos em escala regional: são aqueles que atingem as suas maiores concentrações a muitos quilômetros do ponto de sua formação. As partículas de aerossol geradas pelas queimadas na Amazônia atingem a região Sudeste após alguns dias da sua geração. Dessa forma, os poluentes com efeitos em escala regional

Figura 1

### Algoritmo para avaliação de risco ambiental



Fonte: Adaptado de Kovats e cols, 2005.

são aqueles que são formados ou transportados a grandes distâncias da sua origem ou da origem dos seus precursores. Poluentes com efeitos em escala global são geralmente de natureza atmosférica, podendo ser transportados a longas distâncias na troposfera ou atingir a estratosfera por transporte convectivo vertical. CH<sub>4</sub> (metano) e CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) são representantes dessa categoria de poluentes, e participam das mudanças globais de temperatura. As características físicas da fonte, o tipo de poluente emitido e sua respectiva taxa de emissão, reações que ocorrem na atmosfera e fenômenos de transporte e remoção são determinantes para a definição das concentrações ambientais dos poluentes.

A *concentração* não é o único fator a determinar a *dose* recebida por um determinado indivíduo ou segmento da população. O tempo de permanência junto a fontes de emissão atmosférica, o nível de atividade física, co-morbidades que alterem a absorção, metabolismo ou taxa de absorção dos poluentes ambientais e fatores sócio-econômicos que modifiquem as condições de moradia de forma a permitir maior penetração dos poluentes no interior dos domicílios são fatores que alteram significativamente a dose recebida. Por outro lado, os efeitos adversos à saúde frente a uma determinada dose de poluente vão depender de fatores relacionados à suscetibilidade individual, tais como idade, estado nutricional, nível sócio-econômico, doenças pré-existentes e polimorfismos de genes detoxificadores modulam o efeito adverso dos poluentes ambientais. Os *efeitos dos poluentes* sobre a saúde também dependem do tempo de exposição. Dependendo do tipo de poluente, da dose e das características individuais do receptor, alguns efeitos adversos manifestam-se de forma aguda (horas ou dias após a exposição) enquanto outros são evidenciados somente após longos períodos de exposição (os chamados efeitos crônicos). Os incrementos de mortalidade associados aos episódios de acúmulo excessivo de poluentes atmosféricos é um exemplo típico dos efeitos agudos dos poluentes. A poluição em ambientes internos por fumaça de cigarro, o decréscimo de inteligência por exposição ao chumbo, a maior parte dos poluentes causadores de neoplasias, são exemplos de eventos em que a magnitude do dano à saúde somente pode ser avaliada com precisão após períodos prolongados de exposição.

É importante também que sejam estabelecidos os limites dos efeitos à saúde que se pretende avaliar. Os efeitos à saúde da população devido à exposição a poluentes ambientais são diversos. A intensidade e os tempos de latência são diferentes: efeitos comportamentais e cognitivos, inflamação pulmonar e sistêmica, alterações do calibre das vias aéreas, do tônus vascular e do controle do ritmo cardíaco, alterações reprodutivas, morbidade e mortalidade por doenças cardíacas e respiratórias e aumento da incidência de neoplasias, entre outros. Dada a multiplicidade de desfechos possíveis, é necessária a definição, de forma objetiva, de efeito adverso à saúde. A partir dessa definição, é possível selecionar quais são os eventos úteis para se determinar o impacto que alguma modificação ambiental terá sobre a população exposta.

Embora o conceito de efeito adverso ou prejudicial sobre a saúde humana seja amplamente utilizado para a definição de medidas de avaliação de risco ou de gestão ambiental, uma definição precisa sobre os limites existentes entre um achado com significância estatística e uma alteração que acarrete prejuízo relevante para a saúde ainda carece de melhor esclarecimento. A descrição e a análise das definições atuais estão no **Anexo 1**.

A definição de efeito adverso à saúde deve ser, necessariamente, acompanhada da caracterização dos grupos mais suscetíveis. O aumento da suscetibilidade aos poluentes é dependente de fatores individuais,

de moradia e socioeconômicos. Entre os fatores de natureza individual, os mais importantes são idade, morbidades associadas e características genéticas. Os extremos da pirâmide etária têm sido apontados como alvos preferenciais da ação adversa dos poluentes atmosféricos, sobretudo nos segmentos abaixo dos 5 e acima dos 65 anos de idade. Morbidades associadas, tais como asma, bronquite crônica, doença aterosclerótica, diabetes mellitus, miocardiopatias e arritmias cardíacas estão entre as condições patológicas predisponentes da suscetibilidade aos efeitos dos poluentes atmosféricos.

As condições de moradia afetam a dose recebida e, conseqüentemente, a suscetibilidade aos poluentes. Nos grandes centros urbanos, existem áreas onde a geração e dispersão dos poluentes favorece que os níveis ambientais de poluição sejam significativamente maiores do que a média urbana. Áreas vizinhas aos grandes corredores de tráfego, os baixos dos centros urbanos, as regiões de grande adensamento de prédios, regiões sujeitas a constantes congestionamentos, são pontos que condicionam maior risco aos seus habitantes. Por exemplo, medidas de material particulado inalável fino realizadas sob o elevado Costa e Silva (o popular Minhocão), em São Paulo, revelam valores três vezes superiores à média da cidade.

O tipo de construção também afeta o grau de penetração dos poluentes no interior das residências. Construções mais antigas e desprovidas de condicionamento de ar tendem a apresentar maior grau de penetração dos poluentes atmosféricos. Deve-se considerar também que as contribuições de fontes internas são significativas para uma deterioração da qualidade do ar nas residências. Condições sócio-econômicas também interferem com a suscetibilidade aos poluentes atmosféricos. Na cidade de São Paulo, foi demonstrado que, dada uma mesma variação de poluição ambiental (expressa em termos do material particulado inalável, MP10), a mortalidade será maior nos bairros com piores indicadores socioeconômicos (Martins e cols, 2004). Os fatores que determinam a maior vulnerabilidade da população menos favorecida frente aos poluentes atmosféricos podem ser divididos em dois grandes grupos: eventos pertinentes às condições de saúde e acesso a cuidados e medicação, e condições que favorecem maior exposição aos poluentes. No primeiro grupo, é sabido que a população mais carente apresenta condição de saúde mais precária, devido a problemas de saneamento, nutrição, acesso a serviços médicos e menor poder de compra de medicamentos quando da instalação de uma doença. O segundo grupo – maior exposição – tem sido reconhecido como fator relevante na relação entre poluição do ar e saúde. A relação entre exclusão social e maior exposição aos poluentes ocorre tanto em níveis continentais como dentro de cada comunidade. Processos industriais mais “sujos”, veículos com tecnologia menos desenvolvida, combustíveis com maiores teores de contaminantes, são eventos mais frequentes nos países em desenvolvimento. Em menor escala, dentro de uma mesma comunidade, é comum o fato de que as profissões que levam a uma maior exposição aos poluentes (trabalhadores de rua, por exemplo) sejam exercidas pelos segmentos mais carentes da população. Da mesma forma, moradias nas bordas de vias com alto tráfego, e a utilização de lenha ou resíduos para a preparação de alimentos são eventos mais comuns aos grupos menos favorecidos. Dessa forma, a maior vulnerabilidade dos segmentos de menor poder econômico aos poluentes atmosféricos é determinada tanto pelas piores condições basais de saúde e acesso aos instrumentos de saúde, como também por uma maior exposição à poluição.

## **Impactos à saúde humana da produção do etanol a partir da cana-de-açúcar**

É oportuno ressaltar que a análise dos efeitos à saúde relatada nesse capítulo terá como base os efeitos das emissões atmosféricas, especialmente no tocante aos poluentes emitidos e à emissão de gases de efeito estufa. Os efeitos observados no caso do etanol serão comparados com aqueles presentes na alternativa atual, ou seja, os derivados de petróleo.

A produção de combustíveis está fortemente associada a emissões atmosféricas com potencial de interferir na saúde. No Estado de São Paulo a atual prática de queima da palha da cana para fins de colheita tem sido associada a aumentos de morbidade por doenças respiratórias em adultos e crianças e cardiovasculares em adultos. Os efeitos à saúde parecem depender fortemente da fração particulada das emissões, e possuem magnitude suficiente para constituir-se em problema significativo de saúde pública para as populações expostas. A propósito, a Secretaria de Meio-Ambiente (SMA) de São Paulo e UNICA assinaram em 2007 um protocolo que prescreve a redução progressiva da área de queima dos canaviais, com aumento correspondente da área mecanizada. Segundo a SMA, na safra 2008-2009 a mecanização foi responsável por 49,1% da colheita e, de acordo com esse protocolo, até 2014 todas as áreas com declividade inferior a 12% também o serão. Com o reflorestamento das áreas com declividade impeditiva da colheita mecanizada (tais como as barrancas de cursos de água), aumentará a cobertura vegetal no Estado.

As atividades relacionadas com a exploração e refino do petróleo são prejudiciais à saúde humana. Vários estudos epidemiológicos têm relatado aumento dos casos de doenças respiratórias, cardiovasculares e tumores (leucemias e neoplasias do sistema nervoso central) na vizinhança de áreas de refino e instalações petroquímicas. Estudos recentes realizados no Vale do Paraíba, em São Paulo, demonstraram aumento dos índices de mutações em bioindicadores na vizinhança de refinaria de petróleo, acompanhada de aumento das taxas de doenças cardiovasculares e neoplasias na mesma situação. Compostos orgânicos nas fases gasosa e particulada das emissões de refinarias e polos petroquímicos possuem atividade mutagênica e proporcionam plausibilidade biológica e toxicológica aos achados epidemiológicos acima expostos.

O conjunto de informações referentes ao processo produtivo indica que a natureza dos compostos químicos e a gravidade dos achados de saúde caracterizam que o processo produtivo da produção de cana-de-açúcar, no tocante às emissões atmosféricas, é significativo, o que indica a necessidade de redução ou interrupção do processo de queima para colheita.

## **Mudanças climáticas e saúde humana**

O etanol proveniente da cana-de-açúcar apresenta largas vantagens em relação aos combustíveis derivados de petróleo no tocante às emissões de gases de efeito estufa. Essa questão – os efeitos à saúde das alterações climáticas previstas face ao aquecimento do planeta – merece algumas considerações específicas.

A literatura médica vem dedicando mais atenção aos impactos à saúde que poderão ocorrer devido às mu-

danças climáticas. Nesse cenário, um biocombustível como o etanol, por ser mais neutro (o balanço entre a absorção de CO<sub>2</sub> durante o crescimento da planta e a emissão durante a produção e queima do combustível é quase neutro; e a eliminação da queima da palha no campo, entre outros avanços, reduz ainda mais as emissões) em termos da emissão de gases de efeito estufa, quando comparado aos combustíveis derivados de petróleo, pode também contribuir para reduzir os impactos à saúde decorrentes do aquecimento global. Esse documento aborda três aspectos da relação entre saúde e mudanças climáticas: segurança alimentar, escassez de recursos hídricos e *stress* térmico.

Problemas com a segurança alimentar são um dos aspectos mais evidentes do aquecimento global. Os modelos climáticos indicam que, mantido o atual ritmo de aquecimento, algumas áreas do Brasil, como o semi-árido nordestino, poderão apresentar processo de desertificação. Paradoxalmente, o aumento dos teores de CO<sub>2</sub> atmosférico poderá fazer com que algumas culturas, notadamente no Sul, Sudeste e Centro-Oeste, possam aumentar a produtividade, desde que dispondo de recursos hídricos. Se essa previsão se concretizar, haveria aumento das desigualdades sociais e econômicas, com migrações dos territórios desertificados e aumento do cinturão da pobreza nos grandes centros. Esse processo tenderá a ser mais intenso nas regiões com maior participação de agricultura familiar ou de pequeno porte, que disporão de menor espaço de manobra para fazer as adaptações necessárias.

Qualidade e quantidade de água para abastecimento humano são determinantes cruciais da relação saúde-doença. As doenças infecciosas de veiculação hídrica estão entre as principais causas de morbidade e mortalidade no mundo. O processo de desertificação do semi-árido irá agravar o desabastecimento de água potável na região. Mais ainda, as mudanças climáticas estão fazendo com que as chuvas no Nordeste ocorram com muita intensidade no início da estação chuvosa, escasseando posteriormente ao longo dessa estação. Veja-se o que ocorreu em 2009. Nas proximidades das áreas inundadas os sistemas de cisternas e açudes foram comprometidos, o que poderia ter comprometido o abastecimento (se as chuvas tivessem sido insuficientes) e contaminado os reservatórios por resíduos sanitários humanos e animais. Nas regiões litorâneas, o aumento do nível do mar faz prever a salinização dos aquíferos, com redução consequente da quantidade e qualidade da água. Persistindo esta situação, é previsto que o aquecimento global irá aumentar a morbidade e mortalidade por doenças de veiculação hídrica e forçará a migração da população das regiões afetadas.

Finalmente, é oportuno discorrer sobre o *stress* térmico. Nosso organismo é mantido em uma faixa estreita de temperatura, ao redor de 37°C, a despeito da amplitude térmica que o ambiente externo nos impõe. O controle fino da temperatura corpórea é o resultado da ação de centros termo reguladores centrais, bem como da adaptação do nosso vestir e das nossas moradias. Para cada população, há uma faixa de conforto térmico, que varia de acordo com a região. Quando o ambiente externo apresenta temperaturas fora dessa zona de conforto, indicadores de saúde, como consultas hospitalares e excesso de mortalidade começam a se fazer sentir. Uma representação esquemática, que traduz de forma empírica o que se passa em São Paulo é apresentada na **Figura 3**.

A **Figura 3** indica que a relação entre excesso de mortalidade por extremos de temperatura é não linear, aumentando desproporcionalmente nos extremos da temperatura mínima do dia. A faixa de conforto térmico

pode ser definida entre 10 e 20 graus centígrados de mínima, havendo excesso de mortes por ondas de frio e de calor. No caso de São Paulo, o efeito das ondas de frio é mais intenso do que aquele observado nas ondas de calor. Em uma cidade fria, o oposto ocorre, ou seja, ondas de calor impactam mais na saúde humana. As pessoas mais afetadas são aquelas nas quais os mecanismos de adaptação são menos eficientes - as crianças (por doenças respiratórias) e idosos (doenças respiratórias no frio e cardiovasculares nas ondas de calor). Fatores sociais e econômicos são também modificadores do efeito dos extremos de temperatura. A estrutura das casas da população de menor renda, com maior “permeabilidade” às variações de temperatura externa, a baixa taxa de cobertura vegetal nas regiões mais desfavorecidas da cidade (aumentando a amplitude térmica da região) são responsáveis pelo maior impacto dos extremos de temperatura entre os mais pobres de uma comunidade.

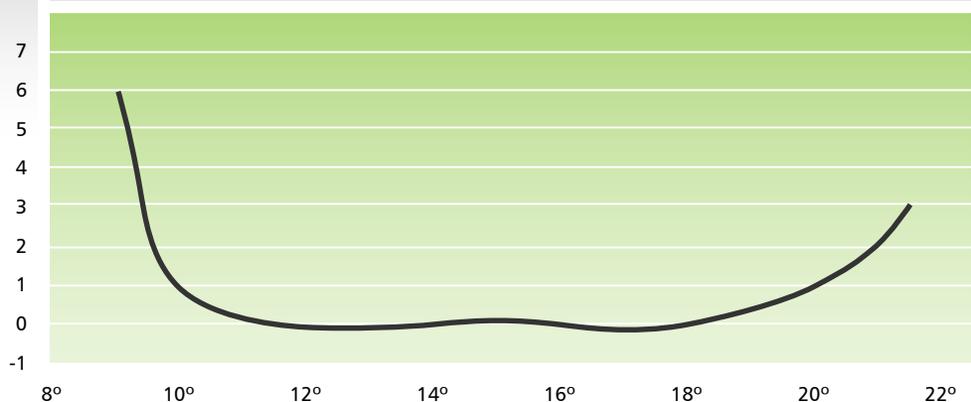
Alguns aspectos também significativos da relação entre aquecimento global e doença – como a possibilidade de aumento da propagação de doenças infecciosas transmitidas por insetos, catástrofes como inundações e deslizamentos, provocados por extremos de pluviosidade – não serão abordados aqui dadas as limitações de espaço.

### **Impacto do etanol combustível visto sob o prisma de acidentes com transporte e armazenamento**

Os vazamentos de petróleo e seus derivados são uma fonte considerável de acidentes ambientais, com notáveis impactos ambientais. Hidrocarbonetos e metais presentes no petróleo, ao contaminarem águas profundas ou superficiais, ou mesmo ao ingressar no ciclo da cadeia alimentar, podem atingir o homem pela via oral e levar a efeitos adversos à saúde. Os efeitos esperados são alterações reprodutivas, alterações do funcionamento da medula óssea (com prejuízo da formação de glóbulos vermelhos – anemia – e glóbulos brancos – baixa imunidade) e aumento do risco de desenvolvimento de neoplasias, notadamente leucemias e linfomas. O etanol, por sua estrutura química e maior capacidade de degradação no meio na-

**Figura 3**

**Representação do excesso de mortes atribuíveis a extremos de temperatura mínima na cidade de São Paulo** *Adicional de mortes por dia / Temperatura mínima em centígrados*



tural, representa risco virtualmente nulo das alterações acima descritas. O aspecto negativo do etanol no que tange ao armazenamento de combustíveis nos postos de comercialização fica por conta do aumento da permeabilidade da gasolina do solo no caso da mistura etanol e gasolina (McDowell e cols, 2003). Em outras palavras, a adição de etanol à gasolina aumenta a dispersão de pluma de gasolina no solo, o que eleva o risco de contaminação das águas superficiais quando da ocorrência de um vazamento em um posto de gasolina. Essa é uma situação que merece maior atenção na fiscalização da estanqueidade dos reservatórios dos postos de abastecimento em áreas urbanas. E o risco de inalação?

### **Efeitos à saúde das emissões dos veículos movidos a etanol**

Sabe-se intuitivamente que, independentemente do combustível utilizado, as emissões automotivas contêm compostos que podem afetar a saúde. A via inalatória representa uma porta de entrada para esses compostos, dado que, para atender às demandas funcionais de um adulto, os pulmões possuem superfície alveolar de cerca de 70 m<sup>2</sup>, interpondo, entre o nosso meio interno (interior dos vasos capilares alveolares) e o meio externo uma barreira de células com a espessura média inferior a um milésimo de milímetro. Ao longo de cerca de trinta centímetros de vias aéreas, o ar deve ser aquecido a 37°C, atingir uma umidade relativa ao redor de 90% e ser filtrado de microorganismos e poluentes atmosféricos. A chegada no território alveolar de compostos químicos, tanto na fase gasosa ou aderidos às partículas de fuligem, pode provocar inflamação local ou sistêmica, a partir do acesso desses compostos à circulação sanguínea. Dessa forma, é imperioso que a análise dos efeitos à saúde das emissões dos veículos movidos a etanol seja feita em termos comparativos com a emissão dos veículos movidos a gasolina ou diesel.

Estudos em laboratório, realizados em roedores na década de 1980, demonstraram que as emissões de veículos leves movidos a etanol eram menos tóxicas do que as provenientes de motores acionados a gasolina, tanto em testes de toxicidade aguda como crônica, produzindo menores níveis de inflamação pulmonar e, também, menores níveis de mutações. Nesses estudos, a menor toxicidade das emissões do etanol foi atribuída ao tipo de compostos orgânicos emitidos. No caso das emissões dos motores a etanol, os compostos orgânicos são, em quase a sua totalidade, etanol, com 70%, e aldeídos, com 10% (sendo essa fração composta por 85% acetaldeído e 14% formaldeído), enquanto que, nos motores a gasolina, há toda uma família de compostos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos com grande potencial tóxico e carcinogênico. Esse tipo de abordagem, embora útil como passo inicial, não leva em conta os processos fotoquímicos que podem ocorrer no chamado “mundo real”, ou seja, a atmosfera das grandes cidades. A análise da formação de poluentes secundários – notadamente o ozônio e outros compostos da família dos oxidantes fotoquímicos, formados a partir da interação dos poluentes primários com a radiação solar – é extremamente importante.

Na verdade, o aumento dos níveis de aldeídos (acetaldeído e formaldeído) na atmosfera é uma das consequências da utilização de etanol como combustível. Por outro lado, o formaldeído é o aldeído mais característico das emissões veiculares quando da utilização de petróleo e seus derivados, notadamente o óleo diesel. Neste ponto, é importante que se faça uma análise mais detalhada do comportamento e toxicidade dos aldeídos atmosféricos, tanto sob o prisma da sua toxicidade direta, como também quanto ao seu potencial de formação de ozônio.

## Estrutura e metabolismo dos aldeídos

Os aldeídos são substâncias orgânicas altamente reativas, que contêm um grupo carbonil (ligação dupla entre átomos de carbono e oxigênio), que possuem alta afinidade com lípidos, proteínas e DNA (Comeap, 2000) <sup>□</sup>. Os aldeídos podem ser divididos em três classes, com base na sua estrutura e reatividade com substratos orgânicos (Comeap, 2000):

**a Aldeídos simples ou saturados:** o metabolismo desses aldeídos ocorre pela oxidação a seus ácidos carboxílicos (por meio de aldeído-desidrogenases) ou através da redução a álcool desidrogenase. Ligações com grupos tiol, bem como ligações com diversas proteínas, incluindo aquelas que constituem o DNA, também ocorrem e explicam o potencial carcinogênico desses aldeídos. Os aldeídos de interesse desse estudo – formaldeído e acetaldeído – são representantes dessa categoria de aldeídos.

**b Aldeídos  $\alpha,\beta$ -insaturados** (acroleína, por exemplo): esses aldeídos ligam-se a substratos como a glutathiona ou cisteína, sendo oxidados após essas ligações. Assim como no caso anterior, essa classe de aldeídos pode se ligar a grupos amino do DNA, podendo levar ao desenvolvimento de mutações.

**c Aldeídos halogenados ou modificados** (benzoaldeído): o metabolismo desses aldeídos irá depender da natureza do seu grupo funcional, podendo ser oxidados (benzoaldeído, furfural, malodialdeído, por exemplo), enquanto outros são predominantemente conjugados a glutathiona, cisteína ou serina.

## Fontes de aldeídos no ambiente externo das grandes cidades

Nos ambientes externos das grandes cidades, as diferentes classes de aldeídos acima descritas são produzidas pelas emissões veiculares, queima de biomassa ou a partir de reações fotoquímicas (Monteiro et cols, 2001). Na atmosfera dos grandes centros urbanos, a contribuição relativa das emissões diretas ou de processos fotoquímicos para a produção de aldeídos depende da taxa de emissão das fontes antropogênicas e das condições climáticas.

Nos ambientes urbanos, a emissão de aldeídos é o resultado da oxidação incompleta do combustível veicular, seja esse gasolina, gasool, etanol, gás natural ou diesel (Abrantes e cols, 2005, Durbin e cols, 2007, Kado e cols 2005, Martins e cols 2008a). Na atmosfera poluída das grandes cidades, os principais precursores dos aldeídos são os hidrocarbonetos, álcoois, éteres e compostos aromáticos de origem antropogênica, submetidos à ação do ozônio ou radicais HO., HO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub> (Andrade e cols, 2002).

Na cidade de São Paulo, carbonilas emitidas pelos veículos predominam no período da manhã, havendo maior participação de processos fotoquímicos no período vespertino (Monteiro e cols, 2001). Em geral de manhã a concentração de acetaldeído é maior que a de formaldeído, e esse comportamento se inverte à tarde, após os processos fotoquímicos.

## Aldeídos como precursores de ozônio

Além da sua toxicidade direta, os aldeídos atmosféricos podem contribuir para a formação de ozônio, um dos poluentes mais associados com efeitos adversos à saúde humana. Os aspectos básicos das reações fotoquímicas relacionando aldeídos e ozônio, de grande importância para entendimento das consequências do uso dos diferentes combustíveis, são apresentados no **Anexo 2** (Aldeídos como precursores de ozônio). Maiores detalhes podem ser encontrados em literatura específica (Carter, 1994, Saldiva e cols, 2005).

## Efeitos do formaldeído e acetaldeído sobre a saúde humana

A vasta maioria do conhecimento sobre os efeitos do formaldeído e do acetaldeído sobre a saúde provém da área ocupacional ou de um contexto de ambientes externos. Essas informações são de pouca valia quando se leva em conta o escopo deste estudo, que tem como objetivo principal a análise desses aldeídos no contexto ambiental. O levantamento detalhado da literatura médica não revelou a existência de estudos de base populacional, relacionando concentrações ambientais de formaldeído ou acetaldeído sobre indicadores de morbidade ou mortalidade.

A transposição de dados de estudos ocupacionais para o contexto ambiental apresenta grandes problemas. Inicialmente, há diferenças significativas da escala de concentração dos aldeídos no ambiente de estudo, que tende a ser muito maior na área do ambiente de trabalho. De outra parte, a suscetibilidade das populações expostas tende a ser distinta. Na área ocupacional, são muitos menos frequentes os indivíduos com asma grave, idosos, crianças ou portadores de doenças graves do sistema cardiovascular, que são aqueles que mais apresentam efeitos adversos quando expostos aos níveis ambientais de poluentes atmosféricos.

Nesse cenário, a estimativa do risco dos efeitos adversos do formaldeído e acetaldeído sobre indicadores de morbidade, ou seja, indução ou agravamento de doenças, apresenta como aspectos limitantes o fato de que os sintomas ou alterações observadas, em humanos ou animais de experimentação, foram observados em concentrações ambientais muito superiores às encontradas no ambiente das cidades brasileiras.

A Environmental Protection Agency, dos Estados Unidos, não definiu uma concentração de referência para a inalação crônica de formaldeído (Iris <sup>(2)</sup>, 1990). Essa mesma agência, tendo por base estudos em roedores, define o risco de câncer para a exposição ao formaldeído por via inalatória, estabelecendo a unidade de risco inalatório em  $1,3 \times 10^{-5}$  por  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Isso significa que a exposição durante todo o período da vida a uma concentração de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , leva a um excesso de câncer de 1,3 caso em 100.000 habitantes. A mesma situação ocorre para o acetaldeído, onde não foi definido um padrão de segurança para inalação crônica, a não ser para o risco de desenvolvimento de tumores (Iris, 1991). No caso de acetaldeído, a exposição por toda a vida a uma concentração de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  leva a um excesso de  $2,2 \times 10^{-6}$  por  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Isso significa que a exposição durante todo o período da vida a uma concentração de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , leva a um excesso de câncer de 2,2 casos em 1.000.000 habitantes.

## Efeitos do ozônio sobre a saúde humana

Como visto anteriormente, os aldeídos são importantes precursores da formação de ozônio. Nesse caso, ao contrário do que ocorre para o formaldeído e acetaldeído, há uma sólida massa de informações de cunho populacional relacionando variações ambientais de ozônio com desfechos adversos à saúde.

Estudos utilizando inalações controladas, tanto em animais como em seres humanos, indicam que o ozônio tem potencial de provocar efeitos adversos à saúde humana, tais como:

- exposições de curta duração produzem inflamação do trato respiratório predominantemente nas vias aéreas superiores e na região de transição entre o brônquilo respiratório e os alvéolos.
- estudos de câmaras de intoxicação demonstram que os níveis de ozônio presentes nas grandes cidades do Brasil ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) são capazes de induzir inflamação pulmonar significativa, tanto em seres humanos como em animais, que se estabelece poucas horas após o término da exposição;
- a inalação de ozônio é capaz de induzir reação inflamatória sistêmica, caracterizada por ativação dos níveis séricos de complemento e proteínas de fase aguda;
- a inalação de ozônio prejudica as defesas pulmonares, através do prejuízo funcional do aparelho mucociliar, redução da atividade dos macrófagos alveolares e prejuízo da ativação dos linfócitos circulantes;
- níveis ambientais de ozônio causam aumento da reatividade brônquica;
- a inalação repetida de ozônio suscita certo grau de adaptação da parte do receptor, por um aumento da produção de substâncias antioxidantes pelo trato respiratório. No entanto, há que se ressaltar que essa “adaptação” não impede o desenvolvimento de inflamação pulmonar, especialmente nas unidades bronquiolares terminais;
- alguns fatores do hospedeiro modulam a magnitude da resposta ao ozônio, tais como idade, co-morbidade respiratória e fatores genéticos que modulam a síntese de substâncias antioxidantes pelo trato respiratório.

### a Efeitos do ozônio sobre indicadores de morbidade

As evidências de que níveis ambientais de ozônio estão relacionados com aumento de morbidade na população exposta são bastante consistentes. Faltas escolares, admissões por casos de asma e infecções respiratórias em serviços de pronto-socorro e episódios de agravamento de doença pulmonar obstrutiva crônica são os indicadores de morbidade mais associados com variações ambientais de ozônio.

Na Cidade do México, Romieu e cols (1992) demonstraram aumento de 20% de faltas em creches por infecções respiratórias quando os níveis de ozônio mantinham-se acima de  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por dois dias consecutivos. Em estudo conduzido em 12 cidades da Califórnia, focalizando alunos do primeiro grau, um aumento de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de ozônio foi associado a um acréscimo de 62,9% de faltas por doenças gerais, 82,9% por doenças respiratórias gerais, 45,1% por doenças do trato respiratório inferior (Gilliland e cols, 2001). Em Nevada (EUA) foi detectado aumento de 13% de faltas de escolares do primeiro grau com incrementos de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentração média de oito horas de ozônio (Chen e cols, 2000). Estudo realizado em alunos do primeiro

grau na Coreia demonstrou que um aumento de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estava associado a um acréscimo de 8% de faltas (Park e cols, 2002). Os estudos ora citados indicam que dados de faltas escolares podem se constituir em instrumento bastante sensível para a detecção dos efeitos agudos do ozônio sobre a população infantil.

O acompanhamento da gravidade da asma em crianças é outra abordagem que tem sido empregada com sucesso para a determinação dos efeitos adversos do ozônio. Estudo conduzido em New Haven (Connecticut, EUA) demonstrou que um aumento de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dos níveis horários de ozônio estava associado a um aumento de 35% de episódios de chiado e 47% de sintomas respiratórios (Gent e cols, 2003). Num estudo de corte de 846 crianças asmáticas, um aumento de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estava associado à sintomas respiratórios matutinos (16%), acompanhados de redução do fluxo expiratório máximo (Mortimer e cols, 2000, 2002). No tocante às admissões hospitalares, a magnitude dos efeitos do ozônio sobre a população exposta é dependente das condições climáticas da região onde o estudo foi conduzido e do tipo de indicador utilizado. Dado o grande número de publicações na área, a **Tabela 3** procura resumir os efeitos esperados de diferentes concentrações de ozônio sobre admissões hospitalares.

## **b Efeitos do ozônio sobre mortalidade**

Ao contrário do que ocorre para o material particulado, a relação entre ozônio e mortalidade é menos evidente, sendo que a magnitude dos efeitos era bastante afetada pelas especificações dos modelos estatísticos ou da localização geográfica da comunidade avaliada. No entanto, estudos realizados em várias cidades e estudos de meta-análise mais recentes demonstraram que há efeitos agudos das variações de ozônio e mortalidade da população exposta, com um coeficiente médio de 0,256% de excesso de mortes para um incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de ozônio. O resumo desses estudos pode ser visto na **Tabela 4**.

Em relação aos efeitos crônicos, a exposição a ozônio tem sido relacionada com redução da função pulmonar em crianças. No entanto, a associação com decréscimo de expectativa de vida e aumento de risco para o desenvolvimento de neoplasias não foi ainda esclarecida.

## **Concentrações ambientais de aldeídos nas cidades brasileiras**

A pesquisa efetuada na literatura científica, que mostra um número bastante reduzido de medidas de aldeídos atmosféricos, revela um quadro até certo ponto desapontador. O conjunto dos estudos revela que essas medidas foram resultado da iniciativa de grupos de pesquisa interessados no tema, e não revelam um esforço sistemático de monitoramento ambiental visando o controle da qualidade do ar para fins de preservação da saúde pública. Esse é um aspecto preocupante em um cenário como o de nosso país, onde as fontes móveis, mercê da forte presença de etanol, gás natural e diesel, possuem alta potencialidade de emissão de aldeídos atmosféricos.

A Tabela 5 mostra os dados disponíveis das medidas de concentrações atmosféricas de formaldeído e acetaldeído em algumas cidades brasileiras.

As Figuras 4 e 5 mostram a variação temporal das medidas de formaldeído e acetaldeído nas cidades onde foi possível obter dados na literatura. O conjunto dos dados não permite traçar uma clara trajetória de variação nos últimos 20 anos. Mais ainda, os últimos dados, colhidos em 2003, ainda não refletem os impactos do crescimento dos veículos flex, como também a grande taxa de conversão de veículos para gás natural veicular.

**Estimativa dos incrementos esperados de admissões hospitalares por doenças respiratórias frente a variações dos níveis ambientais de ozônio.**

Tabela 3

Incremento esperado de admissões por doenças respiratórias	Concentração O <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Média 1 hora	Média 8 horas
5%	30	25
10%	60	50
20%	120	100

**Resumo de estudos representativos relacionando variações agudas de ozônio com mortalidade**

Tabela 4

Local do Estudo	Achados	Referência
95 cidades norte-americanas	20 µg/m <sup>3</sup> de ozônio foi associado a incrementos de 0.52% da mortalidade geral e 0.64% da mortalidade cardio-respiratória.	Bell e cols, 2004
23 cidades europeias	Um aumento de 10 µg/m <sup>3</sup> foi associado a um aumento de 0.33% na mortalidade geral 0.45% da mortalidade cardiovascular e 1.13% na mortalidade respiratória.	Gryparis e cols, 2004
Meta-análise de estudos conduzidos em sete cidades europeias	Um aumento de 10 µg/m <sup>3</sup> foi associado a um aumento de 0.3% na mortalidade geral e 0.4% da mortalidade por doenças cardio-vasculares.	Anderson e cols, 2004
14 cidades norte-americanas	Um aumento de 20 µg/m <sup>3</sup> aumento na média horária de ozônio foi associado a um aumento da mortalidade respiratória de 0.23%.	Schwartz, 2005
Meta-análise de 39 estudos de séries temporais realizados nos EUA	Um aumento de 10 µg/m <sup>3</sup> foi associado a um incremento de 1.1% de mortalidade por doenças cardiovasculares.	Bell e cols, 2005
Meta-análise de 43 estudos realizados em diferentes partes do mundo acrescidos de sete estudos norte-americanos	Um aumento de 20 µg/m <sup>3</sup> da média horária de ozônio foi associado a um incremento de 0.39% na mortalidade geral.	Ito e cols, 2005
Meta-análise de 28 estudos norte-americanos	Aumento de 0.21% na mortalidade geral para um incremento de 10-µg/m <sup>3</sup> na concentração média de ozônio.	Levy e cols, 2005

Como visto na Tabela 5 e nas Figuras 4 e 5, as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo são aquelas onde há um conjunto maior de dados. Consolidando-se as medidas para essas duas cidades, os valores ambientais de acetaldeído e formaldeído são os apresentados na Tabela 5. Grosso modo, a relação formaldeído/acetaldeído nessas duas cidades é cerca de 0,5. Mais ainda, as concentrações de formaldeído e acetaldeído no Rio de Janeiro e em São Paulo são muito superiores às observadas em outras cidades no mundo, mesmo naquelas de igual porte.

### Estimativa dos efeitos à saúde por aldeídos

Como mencionado anteriormente, não há estudos brasileiros ou internacionais relacionando variações ambientais de formaldeído ou acetaldeído a indicadores populacionais de morbidade. O que se tem estabelecido é um indicador numérico para o risco de desenvolvimento de neoplasias, notadamente do trato respiratório, em função das concentrações ambientais desses aldeídos.

**Tabela 5** Estatística descritiva das medidas disponíveis na literatura científica dos níveis ambientais (em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de formaldeído e acetaldeído na atmosfera das cidades brasileiras

Cidade		Formaldeído	Acetaldeído
São Paulo	N	17	17
	Média	11,7	24,3
	Mediana	8,8	18,8
	Mínimo	1,6	5,0
	Máximo	28,8	54,8
	DP	8,1	16,6
Rio de Janeiro	N	8	8
	Média	11,7	26,2
	Mediana	8,9	10,7
	Mínimo	2,3	3,4
	Máximo	33,0	86,3
	DP	9,7	31,6
Londrina	N	4	4
	Média	5,7	4,7
	Mediana	5,7	3,8
	Mínimo	1,2	0,8
	Máximo	9,9	10,2
	DP	3,6	4,2
Porto Alegre	N	3	3
	Média	11,5	14,9
	Mediana	9,0	6,9
	Mínimo	5,7	6,3
	Máximo	19,6	31,7
	DP	7,3	14,5
Salvador	N	3	3
	Média	15,5	19,0
	Mediana	13,7	11,3
	Mínimo	3,6	6,3
	Máximo	29,1	39,6
	DP	12,8	17,9

De acordo com as projeções do censo, a população adulta (com 20 anos ou mais) da região metropolitana de São Paulo é de 12.674.944 habitantes. Considerando-se o risco unitário para o desenvolvimento de neoplasias estimado para o formaldeído ( $1,3 \times 10^{-5}$  casos por  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a concentração média de formaldeído obtida a partir das medidas encontradas na literatura (Tabela 5) e a população adulta podemos estimar, para a Região

Figura 4

**Valores médios e erros padrão correspondentes das concentrações de formaldeído medidos nas cidades brasileiras, entre 1985 e 2003** *Formaldeído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

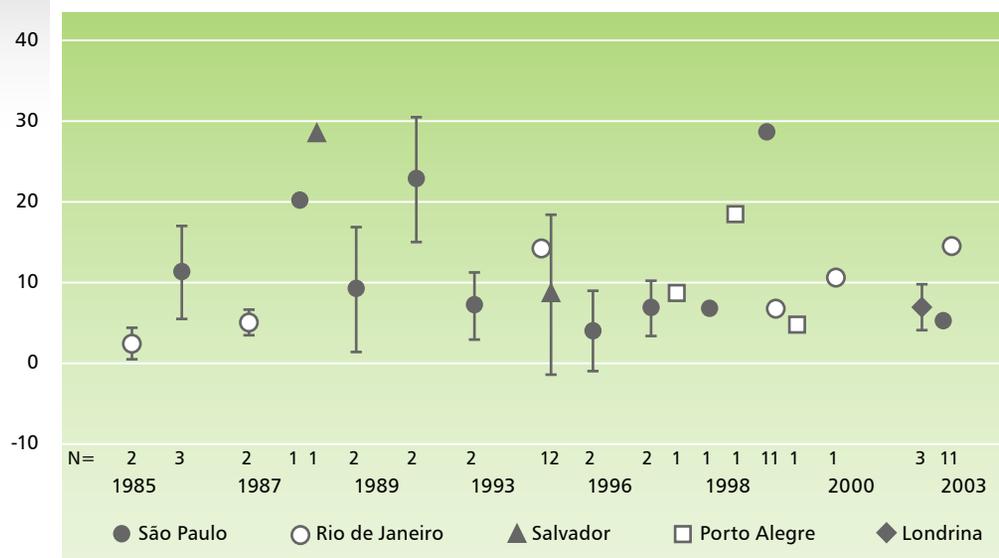
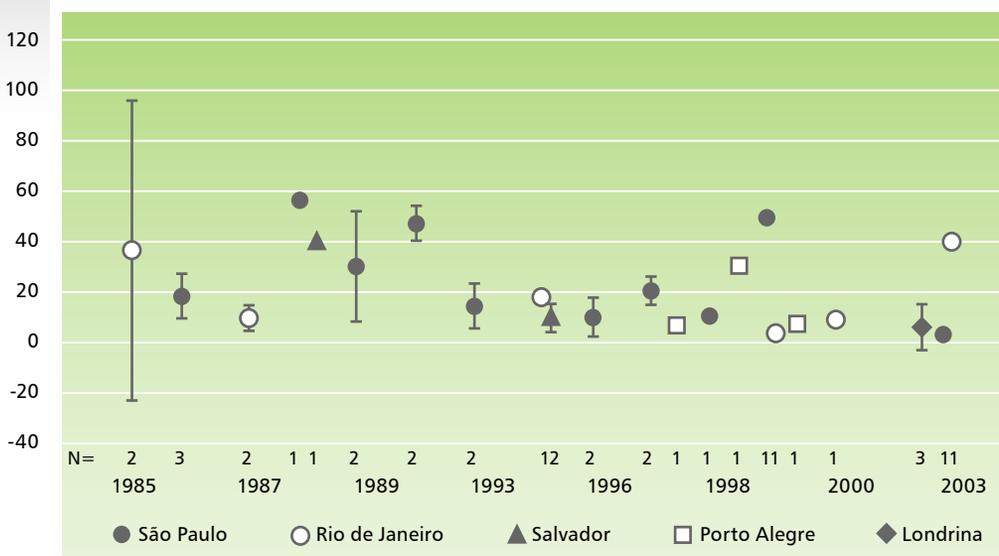


Figura 5

**Valores médios (e erros padrão correspondentes) das concentrações de acetaldeído medidos nas cidades brasileiras, entre 1985 e 2003** *Acetaldeído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*



Metropolitana de São Paulo, 1928 e 678 casos de câncer devido às concentrações ambientais de formaldeído e acetaldeído, respectivamente. Considerando a vida média dos habitantes em cerca de 70 anos, e levando-se em conta que os dados populacionais foram obtidos para moradores com idade igual ou superior a 20 anos, o número de casos novos/ano promovidos pelas concentrações de ambos os aldeídos é de 52.

Outra possibilidade é estimar os efeitos dos aldeídos sobre a saúde, no contexto do seu potencial de formação de ozônio. Esse tipo de abordagem tem a vantagem de permitir certo nível de balizamento para a formulação de padrões de emissões veiculares voltados para o controle de ozônio. No cenário brasileiro, há apenas um estudo detalhado dos fatores de emissão veicular para compostos orgânicos voláteis para veículos em condições de tráfego urbano (o estudo de túneis realizado por Martins e cols, 2006). Os resultados desse estudo são apresentados na **Tabela 6**. Nessa mesma tabela, são apresentados os valores respectivos do Incremento Máximo de Reatividade (MIR, em inglês) para cada um dos compostos avaliados no estudo, bem como o potencial estimado de formação de ozônio de cada um dos compostos, definido como o produto dos fatores de emissão (em g.km<sup>-1</sup>) vezes o respectivo MIR.

Os compostos orgânicos voláteis possuem diferentes reatividades, o que significa que podem ter diferentes potenciais de formação do ozônio e de outros oxidantes fotoquímicos. Essas diferenças nos efeitos de formação de ozônio são referidas como “reatividades dos compostos orgânicos voláteis - COV”. O efeito da variação da emissão do COV na formação do ozônio em um particular episódio dependerá da magnitude da variação da emissão. A escala MIR foi desenvolvida por Carter (1994) e é baseada em médias do incremento de reatividade, calculada para diferentes cenários com base em estudos de câmara e modelos tipo

**Tabela 6** Valores de concentrações ambientais de formaldeído e acetaldeído obtidos em diferentes cidades do mundo (em µg/m<sup>3</sup>)

	Formaldeído	Acetaldeído
Los Angeles	1,8-13	1,8-16,5
Denver	2,8-4,8	1,8-3
Atlanta	3,3	3,7
México	43,5	4,7-5,7
Copenhague	0,3-8	0,3-33
Paris	5-40	3,7-16,5
Grenoble	3,1-22	3,6-18
Roma	10,2-21,2	5,3-12,1
Londres	5,0-32,5	2,9-5,3
Leipzig	1,6-12,5	0,7-2,3
Urawa (Japão)	3,1-14,2	2,4-12,5
Algéria	5,2-27,1	2,6-10,3
Cairo	40	–
Hong-Kong	4,9	2,4

Fonte: conforme dados descritos por Cecinato e cols, 2002.

caixa. As concentrações de NOx possuem efeito considerável sobre as reatividades dos COV. Em condições de alta concentração de NOx, as reatividades dos COV são relativamente insensíveis a outras condições do cenário de estudo. No entanto, para condições de baixa concentração de NOx as reatividades relativas tendem a serem mais sensíveis a outras condições do cenário.

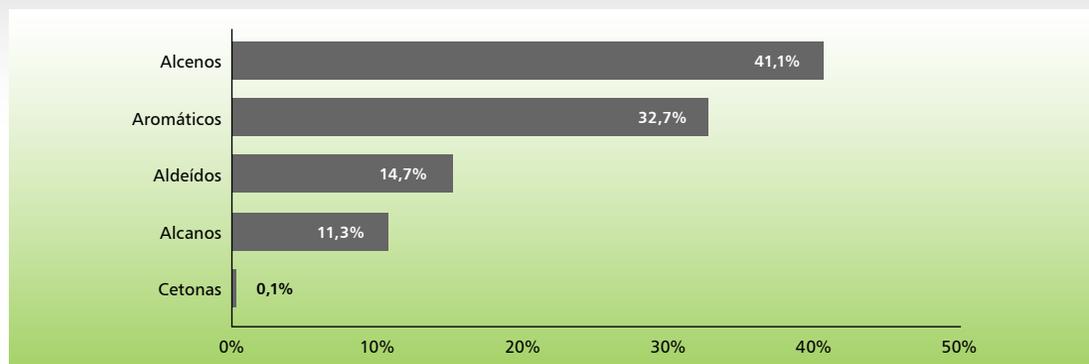
O potencial de formação de ozônio pode ser representado graficamente através do agrupamento das diferentes categorias de compostos orgânicos voláteis, como demonstrado na **Figura 6**. Os compostos orgânicos voláteis medidos nesse trabalho representam uma fração do total dos COVs efetivamente emitidos. Dessa forma há uma parcela significativa não determinada nos experimentos. Assim os valores apresentados na **Figura 6** referem-se à porcentagem do total de COVs medidos no interior dos túneis.

É importante frisar que o estudo dos túneis foi realizado em São Paulo em 2004, antes, portanto, do aumento significativo dos veículos flex nos últimos anos. Mais, é importante ressaltar que as medidas realizadas no trabalho de Martins e cols (2006) representam uma fração do total de compostos orgânicos voláteis emitidos. Nessas condições, a porcentagem de 14,7% de potencial de formação de ozônio atribuída aos aldeídos está superestimada.

De acordo com a Cetesb, as médias anuais das concentrações máximas de uma hora para o ozônio estão ao redor de  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em São Paulo. Como apontado na **Figura 6**, os aldeídos representam, em conjunto, 14,7% do potencial de formação de ozônio entre os COVs analisados. O estudo de Grosjean e cols (2002) demonstra que o formaldeído e o acetaldeído são os aldeídos dominantes para a formação de ozônio. Caso seja aplicada a porcentagem atribuível aos aldeídos na formação de ozônio apresentada na **Figura 6** às concentrações ambientais medidas em São Paulo, as médias anuais da concentração máxima de uma hora de ozônio, produzidas pelo acetaldeído e formaldeído, seriam de  $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (acetaldeído) e  $5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (formaldeído). Nesse cenário a estimativa de eventos adversos atribuídos aos efeitos diretos e indiretos do formaldeído e acetaldeído, para a região metropolitana de São Paulo, é apresentada na **Tabela 8**.

**Figura 6** Potencial de máximo relativo de formação de ozônio das classes de compostos orgânicos voláteis emitidos a partir de fontes automotivas

*Valor determinado pela multiplicação da taxa de emissão (em  $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$ ) pelo respectivo MIR*



Fonte: Andrade e cols, 2006.

## Política de biocombustíveis como instrumento de promoção da saúde humana

A partir do que foi apresentado anteriormente, vimos que o processo de produção de combustíveis gera poluentes associados a danos significativos à saúde. No caso da produção de etanol, é necessário incorporar o processo de mecanização na colheita, evitando os impactos adversos das emissões provenientes das queimadas (Ribeiro H., 2009) dados o conjunto de evidências sobre os impactos adversos à saúde dos trabalhadores e da população das cidades circunvizinhas.

No tocante aos produtos das emissões veiculares, o acetaldeído e formaldeído com seu potencial de formação de ozônio representam o “fato novo” da utilização do etanol como combustível de veículos leves, particularmente importante na atmosfera das cidades brasileiras, com elevadas concentrações de  $\text{NO}_2$ , situação que implica que a formação de ozônio passa a ser altamente dependente do aumento da concentração de carbonilas.

A utilização de etanol como combustível de veículos pesados também promoveria alterações do perfil das emissões. No que tange a aldeídos, a utilização de etanol significa trocar emissões de formaldeído (característico do diesel) por acetaldeído (etanol). Mais importante, as emissões de veículos a etanol são muito inferiores aos atualmente em uso no Brasil, fazendo com que a emissão de material particulado existente por essa fonte automotiva caia virtualmente a zero.

Cada um dos cenários acima merece considerações em separado. Vamos ao caso dos veículos leves. Quando um veículo leve utiliza etanol como combustível, o aumento das emissões de aldeídos é acompanhado de redução dos demais compostos orgânicos voláteis associados às emissões de gasolina. Visando simplificar a questão, vamos esquematizar uma situação de troca de acetaldeído por benzeno, tolueno e xileno, que são os compostos orgânicos voláteis mais associados aos derivados de petróleo. Considerando as taxas de emissões determinadas em túneis (Martins & Andrade, 2008a) e apresentadas na **Tabela 7**, podemos inferir que o potencial de formação de ozônio dos compostos aromáticos (característicos dos derivados de petróleo) é 6,3 vezes superior ao do acetaldeído. Considerando que os compostos aromáticos possuem potencial de formação de ozônio estimado a partir das medidas em túneis de cerca de 32,7% e as olefinas de 41,1%, podemos inferir que a utilização de etanol em substituição à gasolina, levando em conta somente a redução de compostos aromáticos, reduziria o potencial de formação de ozônio em cerca de duas vezes em face da atual formulação da gasolina. Esses resultados estão consistentes com os encontrados em Martins

**Tabela 8**

### Efeito letal

*Estimativa do excesso de eventos atribuídos aos efeitos diretos (casos de câncer) e indiretos (mortalidade prematura pela formação de ozônio) para a região metropolitana de São Paulo, tendo por base estimativas da emissão direta pela frota veicular e as medidas ambientais de ozônio da Cetesb.*

São Paulo	Formaldeído	Acetaldeído	Total
Câncer	38	14	52
Mortalidade prematura	120	169	289

**Poluição em túneis de São Paulo****Tabela 7**

*Fatores de emissão de compostos orgânicos voláteis emitidos por fontes veiculares determinados em medidas em túneis de São Paulo e o potencial de formação de ozônio em condições máximas definido como o produto da multiplicação do fator de emissão pelo respectivo MIR de cada composto (gO<sub>3</sub>/km)*

Espécie	MIR	Emissão (mg/Km)	Potencial de Formação de ozônio
tolueno	2,7	134,5	363,15
1-buteno	8,9	113,9	1013,71
n-pentano	1,04	87,9	91,42
ciclohexano	1,28	81,3	104,06
benzeno	0,42	78,3	32,89
n-butano	1,02	74,9	76,4
M + p-xileno	7,4	62	458,8
n-hexano	0,98	60,1	58,9
1,2,4-trimetilbenzeno	8,8	52,5	462
formaldeído	7,2	48,4	348,48
acetaldeído	5,5	45,7	251,35
o-xileno	6,5	44,4	288,6
n-heptano	0,81	41,1	33,29
1-etil-4-metilbenzeno	8,8	32	281,6
etilbenzeno	2,7	31,1	83,97
n-octano	0,6	29,3	17,58
metilpentano	1,5	28,7	43,05
aldeídos > C2	6,3	24,9	156,87
n-nonano	0,54	22,6	12,2
isobutano	1,21	20,9	25,29
1,3,5-trimetilbenzeno	10,1	20,8	210,08
1-penteno	6,2	19,6	121,52
3-metilhexano	1,4	19,5	27,3
1-etil-3-metilbenzeno	2,7	19,3	52,11
cumeno	6,5	17,9	116,35
1-etil-2-metilbenzeno	8,8	16,4	144,32
decano	0,46	14	6,44
n-propilbenzeno	2,1	12,2	25,62
metilciclopentano	2,8	11,2	31,36
n-undecano	0,42	9,6	4,03
acetona	0,56	9,3	5,21
metilciclohexano	1,8	9,2	16,56
1-metiletilbenzeno	3	8,3	24,9
2,3-dimetilpentano	1,31	7,9	10,35
isopreno	9,1	7,6	69,16
2-butanona	1,02	6,9	7,04
1-hexeno	4,4	6,8	29,92
n-dodecano	0,38	6,2	2,36
Estireno	2,2	5,7	12,54
2,2-dimetilbutano	0,82	4	3,28
2,4-dimetilpentano	1,5	3,7	5,55
2,3-dimetilhexano	1,31	3,3	4,32

e Andrade (2006), que a partir de simulações com modelos fotoquímicos eulerianos obtiveram reduções significativas na produção de ozônio com a consideração de um cenário fictício de substituição de toda gasolina por etanol na frota circulante de veículos leves. Vários cenários foram considerados para gasolinas reformuladas com reduções de aromáticos e olefinas e ainda assim houve um efeito maior de redução de produção de ozônio com o uso de etanol.

O material particulado também merece análise pormenorizada. A aplicação de análise de filtros contendo material particulado fino, realizada ao longo dos últimos três anos, associada à elaboração de modelos receptores, indica que as emissões de veículos diesel respondem por cerca de 25% das concentrações ambientais desse poluente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Como as emissões de material particulado pelos veículos pesados movidos a etanol são praticamente nulas, a utilização de etanol como combustível da frota pesada tem significativo potencial de redução de material particulado fino. O material particulado fino possui uma nítida associação com efeitos adversos à saúde.

No tocante à mortalidade, os estudos de longa duração conduzidos por Pope e colaboradores (Pope e cols, 2002) indicam que um acréscimo de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de material particulado fino (média anual) leva a um aumento de 6% da mortalidade geral.

Já para a morbidade, vários estudos epidemiológicos disponíveis na literatura relacionam efeitos mórbidos tanto respiratórios como cardio-vasculares para diversas faixas etárias da população, em termos principalmente de internações hospitalares.

De posse dos coeficientes epidemiológicos para ozônio e material particulado fino, podemos calcular as variações dos desfechos de saúde esperadas frente às mudanças dos níveis de concentração dos poluentes, a partir da equação 12:

$$[Eventos (MPolt)] = [exp(\beta * (MPolt) - 1)] * Total de Eventos$$

- onde
- Eventos é o total de desfechos mórbidos associado à exposição ambiental;
  - MPolt é a variação média na concentração dos poluentes;
  - exp é a função exponencial;
  - $\beta$  é o coeficiente de regressão obtido através dos estudos epidemiológicos;
  - Total de Eventos é o total de desfechos mórbidos no período em análise.

### **Estimativa de concentrações ambientais nos cenários de substituição de combustíveis**

Para aplicar a função descrita na equação 12, é necessário obter informações sobre os desfechos de saúde. Os números referentes aos dados de mortalidade e internações hospitalares suportadas pelo sistema público, bem como a taxa de cobertura do sistema privado de saúde podem ser obtidos nas bases de dados

do Datasus. A relação entre a remuneração das internações suportadas pelo sistema público e as suportadas pelo sistema privado de saúde foram obtidas no Hospital das Clínicas de São Paulo. As concentrações ambientais de ozônio, a disponibilidade de etanol e gasolina na Região Metropolitana de São Paulo e a composição do gasool estão disponíveis nas páginas do órgão ambiental de São Paulo, a Cetesb, enquanto as concentrações de material particulado inalável fino estão em fase de publicação.

Como o ozônio não é um poluente emitido diretamente por veículos, mas resulta da reação fotoquímica de diversos gases, ditos precursores, emitidos, entre outras fontes, pelos veículos, será considerado o estudo de Martins e Andrade (2008b) que, por meio de simulação e modelagem, estimou uma redução na concentração ambiente do ozônio de 29 mg/m<sup>3</sup> caso toda a gasolina fosse substituída por etanol na frota de São Paulo. Assim, os cenários de substituição parcial de gasolina por etanol utilizam a proporcional redução dessa concentração do ozônio.

Assim, a substituição parcial da gasolina por etanol reduziria a emissão direta de precursores pelos veículos, potencialmente capaz de reduzir a concentração de ozônio na mesma proporção da redução máxima estimada por modelagem naquele estudo. No caso do uso de etanol pela frota diesel, a utilização de etanol promoveria uma redução direta da emissão de partículas finas.

Tendo como base essas premissas, podemos estimar a redução de mortes e internações hospitalares esperada pela utilização do etanol frente a 5%, 10%, 15% e 100% de substituição da gasolina (evitadas pela redução de ozônio), e frente a 5%, 10%, 15%, 50% e 100% de uso de etanol pela frota de veículos pesados (evitadas pela redução do material particulado fino).

Os impactos na concentração ambiental de material particulado inalável fino (MP<sub>2,5</sub>) para os cenários envolvendo diesel e etanol, e de ozônio para os cenários de gasolina e etanol, são apresentados na Tabela 9.

Como pode ser observado na Tabela 9, os cenários de uso do etanol em substituição ao diesel permitem estimar redução na concentração ambiental de material particulado inalável fino de 2% até 25%, dependendo do cenário de substituição. Já para o uso do etanol em substituição à gasolina, também é esperada uma diminuição na concentração ambiental de ozônio (devido aos precursores), de 2% até 30%, também dependendo do cenário de substituição.

### **Estimativa de custos de saúde evitados devido à melhoria ambiental**

A necessidade em determinar estimativas de custos dos efeitos adversos das doenças é importante para o estabelecimento de prioridades para prevenção e gerenciamento de saúde e como instrumento de gestão pública. Diversas abordagens podem ser conduzidas a fim de atingir esse objetivo, sendo que a mais direta é a estimativa de gastos de investimentos diretos com o sistema de saúde e dos gastos perdidos devido às consequências das doenças.

Os custos ambientais, mais especificamente custos de saúde pública decorrentes de uma determinada variação ambiental (que no objeto deste estudo é a alteração da qualidade ambiental do ar), podem ser determinados através de diversas abordagens.

A valoração econômica de recursos naturais é baseada em princípios da economia neoclássica e tem como proposta imputar valores monetários para as perdas sociais e ambientais decorrentes da degradação do meio ambiente. Assim, a idéia da valoração busca tratar os custos e benefícios sociais prestados pelo meio ambiente como agente econômico (Pearce, 1987).

A forma mais precisa de mensurar o impacto da poluição do ar de uma determinada região é a condução de estudos epidemiológicos, estabelecendo funções dose-resposta, que correlacionam indicadores de morbidade e mortalidade na população suscetível com as concentrações de ar ambiente.

Diversos métodos têm sido utilizados em vários estudos para valorar os custos de saúde associados com a poluição ambiental. Esses métodos podem ser agrupados em duas categorias. A primeira inclui os métodos que medem apenas a perda da renda direta (salários perdidos e despesas adicionais) ou método dos gastos defensivos. Essas medidas não incluem as inconveniências, sofrimentos, perdas de lazer e outros impactos não tangíveis aos indivíduos e bem-estar familiar e podem subestimar ou ignorar seriamente os custos de saúde de pessoas que não são membros do mercado de trabalho. Dessa maneira, essa categoria de métodos indica apenas o nível inferior dos custos sociais da poluição e subdimensiona os custos totais para os indivíduos. A segunda categoria de métodos inclui abordagens que tentam capturar a disposição dos indivíduos a pagar para evitar ou reduzir os riscos de morte ou doenças, ou método da valoração de contingente.

Tabela 9

**Cenários de redução de material particulado**

*Expectativa do comportamento da concentração do PM<sub>2,5</sub> para os cenários de substituição do diesel na frota pesada por etanol e na concentração de ozônio para os cenários de substituição da gasolina na frota leve por etanol para a Região Metropolitana de São Paulo.*

Cenário de substituição de combustíveis	Expectativa ambiental nas Concentrações de poluentes	Varição esperada
5% do diesel por etanol 10% do diesel por etanol 15% do diesel por etanol 50% do diesel por etanol 100% do diesel por etanol	Redução no PM <sub>2,5</sub> por emissão direta Redução no PM <sub>2,5</sub> por emissão direta	até 2% até 3% até 4% até 13% até 25%
5% da gasolina por etanol 10% da gasolina por etanol 15% da gasolina por etanol 100% da gasolina por etanol	Potencial redução no ozônio por emissão precursores Potencial redução no ozônio por emissão precursores Potencial redução no ozônio por emissão precursores Potencial redução no ozônio por emissão precursores	até 2% até 3% até 5% até 30%

A abordagem do custo de doença é aplicada à morbidade. Os custos diretos de morbidade podem ser divididos em duas categorias: despesas médicas para tratamento de doenças (custos de internação hospitalar e atendimento em pronto-socorro) e perdas de salários durante os dias de hospitalização, dias de falta no trabalho e outros dias quando as atividades são significativamente restritas devido às doenças.

A abordagem de despesas preventivas consiste na tentativa de inferir sobre a quantia mínima que as pessoas desejam pagar de modo a reduzir os riscos de saúde e são feitas com base na quantia que as pessoas que vivem em áreas poluídas gastam com medidas preventivas. Ou seja, despesas com água mineral engarrafada, para evitar doenças de veiculação hídrica ou instalação de filtros de ar para evitar a poluição do ar em áreas internas.

A abordagem da valoração de contingente utiliza pesquisas de informação para determinar o que as pessoas estão dispostas a pagar de modo a reduzir o risco de morte prematura de doenças. Os estudos de valoração de contingente produziram Valor de Vida Estatístico (VVE) relativamente inferiores aos do diferencial de salário, variando de US\$ 1,2 milhão a US\$ 9,7 milhões por vida estatística (IEI, 1992; US EPA, 1997).

A técnica de valoração econômica de impactos na saúde, baseada nas evidências de estudos epidemiológicos e teoria econômica, utilizada nessa estimativa foi baseada no método desenvolvido pela OMS (Organização Mundial da Saúde) e pela Universidade de Harvard chamado *Disability Adjusted Life Years* (Daly), que significa "Anos de vida perdidos ou vividos com incapacidades" (Murray e Lopez, 1996). Esse método parte de estudos que associam um fator ambiental (neste caso poluição atmosférica) com um indicador de saúde (admissões hospitalares e mortalidade) para estimar quanto tempo, em anos, cada evento adverso de saúde impactou na população. Em outras palavras, quantos anos de vida cada habitante afetado viveu com incapacidades temporárias ou permanentes (estado de saúde diferente da saúde perfeita) e quantos anos de vida cada habitante afetado perdeu por morte prematura em relação à sua expectativa de vida. O indicador de anos de vida pode ser convertido em base monetária para efeito de avaliação custo-benefício (Miraglia, 2002).

As técnicas de valoração econômica de impactos na saúde constituem instrumento de avaliação de projetos e políticas de controle de poluição e intervenções na saúde que subsidiam o processo de tomada de decisão.

Nesse sentido, estimar os potenciais custos de saúde evitados em função da melhoria ambiental da qualidade do ar pela adoção dos cenários de utilização do etanol em substituição à gasolina para os veículos leves, e na substituição do diesel para os veículos pesados, agrega a essa análise importante parâmetro de avaliação comparativa da política de biocombustíveis.

### **Mortalidade – Custos anuais evitados**

A Tabela 10 indica as mortes potenciais totais anuais a serem evitadas mediante os respectivos cenários de adição de etanol devido às melhorias das concentrações ambiente de ozônio e do material particulado fino e a respectiva valoração dos custos de mortalidade evitados. A valoração das mortes evitadas devido às

reduções das concentrações de ozônio e material particulado fino foi obtida através dos valores médios de anos de vida perdidos devido a concentrações ambiente dos poluentes atmosféricos em São Paulo (Miraglia e cols, 2005) aplicados aos cenários de potencial de redução de mortalidade (Tabela 9) com as taxas atuais de expectativa de vida da população (IBGE, 2008).

Conforme pode ser observado na Tabela 10, o potencial de mortalidade evitada devido à introdução do etanol na matriz energética pode se traduzir em benefícios econômicos estimados variando de US\$ 1 milhão anual (cenário de substituição de 5% da gasolina por etanol) a US\$ 133 milhões anuais (cenário de substituição de 100% do diesel por etanol). Esses valores sugerem a magnitude dos benefícios potenciais advindos da implementação de política de biocombustíveis nos cenários estabelecidos sob uma abordagem conservadora, para a Região Metropolitana de São Paulo.

### Morbidade - Custos anuais evitados

A estimativa de morbidade aqui detalhada considera apenas os custos associados às internações hospitalares para as doenças e faixas etárias da população mais consistentemente associadas à poluição atmosférica, quais sejam, as internações por doenças respiratórias para as faixas etárias de crianças até quatro anos e adultos acima de 40 anos, e por doenças cardiovasculares apenas para a faixa etária de adultos acima de 40 anos. Assim, essa estimativa pode ser considerada conservadora ao não incluir outros desfechos menos frequentes e as demais faixas etárias, mas enquadra-se ao critério habitualmente utilizado nesse tipo de estimativa.

O benefício, em termos de redução de morbidade, com o uso do etanol em substituição à gasolina e ao diesel, devidamente valorado, é apresentado na Tabela 11, também para cada um dos cenários de substituição da frota, utilizando a metodologia descrita.

**Tabela 10** Potencial anual de variação da mortalidade mediante cenários de adição de etanol na Região Metropolitana de São Paulo e respectiva valoração econômica

Cenário de substituição de combustíveis	Mortalidade anual		
	Diagnóstico	Quantidade	US\$ milhão
5% do diesel por etanol	Redução	37	6,63
10% do diesel por etanol	Redução	75	13,45
15% do diesel por etanol	Redução	112	20,08
50% do diesel por etanol	Redução	373	66,89
100% do diesel por etanol	Redução	745	133,60
5% da gasolina por etanol	Redução	6	1,07
10% da gasolina por etanol	Redução	13	2,33
15% da gasolina por etanol	Redução	19	3,40
100% da gasolina por etanol	Redução	130	23,31

Assim, pode-se estimar em bases conservadoras que a utilização do etanol, nos cenários de substituição descritos anteriormente, traria redução de morbidade que, traduzida em benefícios econômicos, variaria de US\$ 0,6 milhão anual (cenário de substituição de 5% do diesel por etanol) a US\$ 19,8 milhões anuais (cenário de substituição de 100% de gasolina por etanol), apenas considerando a Região Metropolitana de São Paulo.

### Considerações finais e análise de incertezas

Este capítulo parte do princípio de que os efeitos à saúde deveriam fazer parte da análise do ciclo de vida dos combustíveis. A exposição de populações inteiras às emissões atmosféricas, tanto na área produtiva como nas emissões veiculares das grandes regiões metropolitanas, indica claramente essa direção. No caso do etanol, foram apontadas algumas características positivas e também negativas em relação à sua utilização como alternativa aos combustíveis derivados de petróleo.

Os principais aspectos negativos do processo produtivo do etanol são representados pelo processo de queima da palha da cana durante o período de colheita e pela questão do balanço hídrico decorrente do processo de crescimento da planta. Felizmente, a tendência é de redução significativa desse processo, a partir de uma autorregulamentação do setor. A avaliação desse ponto – os impactos atuais do processo da queima – está baseada em poucos estudos conduzidos em São Paulo. A ausência de uma rede de monitoramento eficiente no interior prejudica a análise dessa questão em toda a sua profundidade. A queima da palha da cana também compromete a eficiência do balanço de gases de efeito estufa do bioetanol. Considerando esses dois pontos – efeitos locais dos poluentes e efeitos globais sobre o clima – conclui-se que não há argumentos ambientais e de saúde humana que justifiquem a queima da palha da cana para a colheita.

No que tange aos efeitos decorrentes das emissões veiculares, o etanol possui vantagens em relação à gasolina e ao diesel. Os efeitos são evidenciados pelo balanço favorável do ponto de vista de alterações climáticas globais, e também como fator de redução da produção de ozônio (como substituto da gasoli-

**Tabela 11** Potencial anual de variação da mortalidade mediante cenários de adição de etanol na Região Metropolitana de São Paulo e respectiva valoração econômica

Cenário de substituição de combustíveis	Morbidade anual		
	Diagnóstico	Quantidade	US\$ milhão
5% do diesel por etanol	Redução	224	0,63
10% do diesel por etanol	Redução	450	1,26
15% do diesel por etanol	Redução	675	1,89
50% do diesel por etanol	Redução	2.270	6,38
100% do diesel por etanol	Redução	4.588	12,86
5% da gasolina por etanol	Redução	398	0,98
10% da gasolina por etanol	Redução	795	1,96
15% da gasolina por etanol	Redução	1.193	2,95
100% da gasolina por etanol	Redução	8.002	19,79

na) e aerossol (em substituição do diesel) na troposfera. No atual cenário da qualidade dos combustíveis derivados de petróleo comercializados no Brasil, o etanol é uma alternativa dentro do elenco das medidas e melhoria da qualidade do ar e redução dos impactos à saúde decorrentes da poluição atmosférica. Um dos aspectos mais significativos, em nosso entendimento, é sua utilização na frota cativa de ônibus dos grandes centros urbanos.

O impacto do etanol sobre a produção de ozônio é um dos pontos-chaves na discussão sobre os efeitos à saúde das emissões do etanol. Dentro da atual formulação da gasolina no Brasil, com a tecnologia veicular vigente, e, também, num cenário de altas concentrações de óxidos de nitrogênio nas cidades, nossas projeções são de que o etanol combustível reduz a formação de ozônio troposférico. Há, nesse caso, alguns níveis de incerteza. A limitação mais significativa nesse ponto é a carência de dados históricos e consolidados de concentrações ambientais de aldeídos nas regiões avaliadas. Os dados disponíveis retratam períodos de amostragem com diferentes tempos de períodos de coleta e geralmente realizados em pontos isolados. É uma pena que o nosso país, onde ao longo das últimas três décadas foram produzidas significativas mudanças da matriz de combustíveis automotivos, tenha dado tão pouca atenção às medidas ambientais dos aldeídos. Outro aspecto limitante do estudo é a escassez de dados de emissões automotivas baseadas em medidas de campo, como os experimentos de túneis referidos neste estudo. Mudanças significativas do perfil da frota – como a introdução dos veículos flex e a conversão importante de parte da frota para gás natural veicular – não puderam ser consideradas neste documento, de forma a permitir decompor o risco à saúde por segmentos da frota veicular. Os dois fatores expostos impedem a confecção de modelos fotoquímicos com a precisão necessária de forma a poder avaliar a contribuição dos diferentes combustíveis para a produção de aldeídos e de ozônio. Assim, é necessária a obtenção dessas informações-chaves para diminuir a incerteza das estimativas e, conseqüentemente, apoiar a elaboração de políticas públicas consistentes na área de poluição atmosférica e saúde pública nos grandes centros urbanos.

Há ainda carência de estudos sobre o efeito do uso de biocombustíveis na emissão de veículos pesados, com relação ao comportamento do motor e sistema de filtros para partículas. Existem muitos estudos sobre as variações nas emissões de óxidos de nitrogênio e de partículas mais finas a partir de uso de biocombustíveis em motores de veículos pesados.

A valoração econômica dos benefícios ambientais traduzidos em termos de indicadores de saúde revela um cenário favorável à implementação dessa alteração na matriz energética atual, potencializando recursos para outros investimentos que devam priorizar a saúde pública da população exposta aos poluentes atmosféricos, como o transporte sobre trilhos.

**Conceito de efeito adverso ou prejudicial para a saúde humana****Anexo 1**

A definição mais amplamente adotada para caracterizar um efeito adverso à saúde tem sido aquela preconizada pela American Thoracic Society (1995), que define agravo à saúde “como um evento médico significativo, caracterizado por um ou mais dos seguintes fatores: 1) interferência com a atividade normal dos indivíduos afetados; 2) doença respiratória episódica; 3) doença incapacitante; 4) doença respiratória permanente; 5) disfunção respiratória progressiva”.

No ano de 2000, à luz dos novos conhecimentos científicos, a Sociedade Americana de Doenças Torácicas expandiu o escopo de sua definição anterior, incorporando os seguintes eventos: biomarcadores, qualidade de vida, alterações fisiológicas, sintomas, aumento de demanda por atendimento médico e, finalmente, mortalidade (American Thoracic Society, 2000). Mais recentemente, em 2004, a Sociedade Americana de Cardiologia (Brook e cols, 2004) publicou um documento reconhecendo a poluição atmosférica com um fator de risco para o agravamento de doenças cardiovasculares, notadamente infarto agudo do miocárdio, insuficiência cardíaca congestiva e desenvolvimento de arritmias.

Estudos realizados com dados da American Cancer Society (Pope e cols, 2002) incluem neoplasias pulmonares como indicador de efeitos da poluição atmosférica. Finalmente, alterações reprodutivas, tais como baixo peso ao nascer, abortamentos e alterações da relação de sexos ao nascimento também foram incorporados ao conjunto de indicadores de efeitos prejudiciais significantes da poluição do ar.

Do acima exposto, podem ser relacionados diferentes efeitos adversos da poluição do ar sobre a saúde humana, alguns deles manifestando-se de forma aguda – horas ou dias após a exposição – enquanto outros são evidenciados somente após longos períodos de exposição. Tantos os efeitos agudos como os efeitos crônicos podem exibir diferentes níveis de gravidade, abrangendo uma gama de efeitos que oscilam do desconforto vago até (como desfecho de maior gravidade) a morte. Alguns exemplos talvez auxiliem a aclarar melhor essas idéias. Quando do aumento da poluição do ar, uma grande fração da população apresentará alterações cognitivas ou irritabilidade não específicas. Uma menor proporção dos indivíduos expostos apresentará um aumento de marcadores plasmáticos e pulmonares de inflamação, indicando a presença de inflamação subclínica. Em uma proporção menor, essa inflamação poderá acarretar alterações funcionais, como aumento da pressão arterial, discreto distúrbio do controle autonômico do coração ou queda de indicadores de função pulmonar. Em um nível de gravidade maior, indivíduos que utilizam medicação cronicamente para o controle de doenças respiratórias e cardíacas (asma e hipertensão arterial, por exemplo) necessitarão maior quantidade de medicamento para controlar a sua doença. Haverá aqueles que, incapazes de controlar as alterações por si próprios, procurarão o médico para consultas ou, nos casos mais graves, serão internados em pronto-socorros ou hospitais. Finalmente, uma parte dos afetados morrerá no dia ou em poucos dias após, em virtude dos efeitos da poluição a que foram expostos (**Figura 2**).

Como a maior parte dos estudos que avaliam os efeitos agudos da poluição utiliza desfechos graves como internações respiratórias e mortalidade, é provável que os coeficientes relacionando prejuízo à saúde humana com poluição atmosférica estejam subestimando os efeitos reais, dado que eventos que comprometem

## Anexo 1

## Conceito de efeito adverso ou prejudicial para a saúde humana

a qualidade de vida, tais como comprometimento do controle de doenças crônicas, não são computados pela inexistência de notificação compulsória dos mesmos.

Estudos de longa duração, com acompanhamento de grupos populacionais por períodos prolongados, levaram ao reconhecimento de efeitos da poluição que se traduzem apenas após anos de exposição. Assim como o cigarro manifesta os seus efeitos após anos de consumo, a poluição repete, em menor escala, alguns dos seus efeitos crônicos. A Tabela 2 apresenta a relação de alguns dos efeitos crônicos da poluição do ar.

**Figura 2** Esquema da relação entre gravidade dos efeitos da poluição e o número de pessoas afetadas pela poluição em uma dada comunidade

Fonte: adaptação de esquema da American Thoracic Society, 2000.



**Tabela 2**

**Relação de alguns desfechos secundários à exposição crônica aos poluentes atmosféricos mais consistentemente relatados pela literatura**

Aumento de sintomas respiratórios	Agravamento de arteriopatia aterosclerótica
Redução da função pulmonar	Aumento da frequência de abortamentos
Redução do peso ao nascer	Maior incidência de neoplasias pulmonares
Maior incidência de doença pulmonar obstrutiva	Perda de anos de vida por doenças cardio-respiratórias

Fonte: adaptação de WHO, 2006.

## Aldeídos como precursores de ozônio

## Anexo 2

As equações gerais simplificadas que regulam a fotoquímica atmosférica podem ser resumidas da seguinte forma:

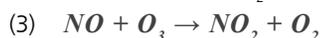
O  $\text{NO}_2$  é dissociado pela ação de raios ultravioleta formando NO e oxigênio atômico;



O átomo de oxigênio combina-se com uma molécula de oxigênio formando ozônio;



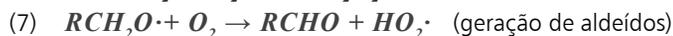
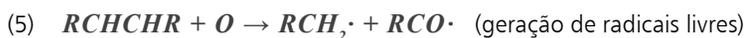
O ozônio é decomposto pela reação com o NO, formando  $\text{NO}_2$  e uma molécula de oxigênio;



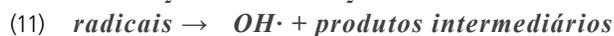
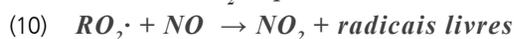
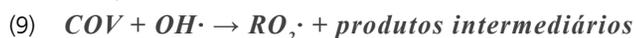
O processo descrito nas reações 1 a 3 é fotoestacionário, ou seja, o balanço da produção de ozônio é próximo da nulidade. No entanto, a atmosfera das grandes cidades favorece a perturbação do ciclo fotoestacionário, permitindo a geração de significativas quantidades de ozônio, como bem atestam as medidas ambientais realizadas em nossos centros urbanos. A reação de NO com peróxidos é a maior causa de desequilíbrio fotoquímico, como demonstrado na reação 4;



Os peróxidos atmosféricos são formados pela oxidação de diversos compostos orgânicos, como demonstrado nas equações que se seguem, que ilustram os possíveis desfechos da oxidação de um alceno;



O conjunto das reações acima descritas exemplifica algumas das possibilidades pelas quais os compostos orgânicos voláteis (COVs), como os aldeídos, podem ser gerados ou interferir no equilíbrio fotoquímico estacionário, ensejando a formação de ozônio. O processo pode ser resumido da seguinte forma. Na ausência de COVs, a quantidade de ozônio formado na troposfera é muito baixa. A presença de COVs pode consumir NO ou converter NO a  $\text{NO}_2$ , fazendo com que a possibilidade de formação de ozônio seja real, de acordo com as fórmulas gerais abaixo expostas.



Nas condições acima expostas o processo de formação de ozônio é dependente da quantidade de COVs disponível na troposfera, bem como da quantidade de radicais OH ou outras espécies químicas com as quais os COVs podem interagir (Carter, 1994). A influência dos COVs sobre a formação de ozônio depende

## Anexo 2

## Aldeídos como precursores de ozônio

da quantidade de  $\text{NO}_x$  disponível. Se os níveis de  $\text{NO}_x$  são suficientemente altos, a quantidade de COVs é o fator limitante para a formação de ozônio. Nessas condições, quando as concentrações de  $\text{NO}_x$  são elevadas, os  $\text{NO}_x$  inibem a formação de ozônio dado ao fato de que a reação de OH com  $\text{NO}_2$  limita a formação de espécies reativas na atmosfera. Por outro lado, quando as concentrações de  $\text{NO}_x$  são baixas, a formação de ozônio é dependente da disponibilidade de  $\text{NO}_x$ , fazendo com que o aumento da concentração de  $\text{NO}_x$  aumente a taxa de formação de ozônio.

Essas equações explicam a sequência de formação do ozônio, entretanto à noite e na proximidade de grandes fontes de NO (por exemplo, em uma via de muito tráfego), as concentrações de ozônio são reduzidas através de processos de remoção do  $\text{O}_3$  pela reação com o NO [equação 3].

Durante o dia essa reação é em geral balanceada pela fotólise do  $\text{NO}_2$  [equação 1]. Entretanto na proximidade de grandes emissões de NO o resultado líquido é a conversão de  $\text{O}_3$  a  $\text{NO}_2$ . Nas proximidades dessas fontes, o ozônio é consumido e pode se tornar elevado à medida que a pluma se move com o vento (envelhecimento da pluma). Como a noite não há a fotólise do  $\text{NO}_2$ , a [equação 3] leva a remoção do ozônio.

A classificação entre regimes com saturação de  $\text{NO}_x$  e sensível ao  $\text{NO}_x$  (NOx-limitante) é determinada pela química dos radicais hidroxila (OH) e hidroperoxila ( $\text{HO}_2$ ) e radicais peroxila orgânicos de forma  $\text{RO}_2$ .

A atmosfera no regime sensível ao  $\text{NO}_x$  (NOx-limitante) ocorre quando peróxidos e ácidos carboxílicos representam o sorvedouro dominante do radical. Nesse caso, as concentrações ambientais de  $\text{HO}_2$  e  $\text{RO}_2$  serão determinadas pelo balanço entre as fontes de radical e as reações de formação dos peróxidos e ácidos carboxílicos.

Como a taxa de formação do peróxido é quadrática no  $\text{HO}_2$ , as concentrações ambientais do  $\text{HO}_2$  e  $\text{RO}_2$  apresentam pequena variação como resposta a variações no NOx e COV. A taxa de formação do ozônio é determinada pela reação do  $\text{HO}_2$  e  $\text{RO}_2$  com o NO. Em regiões poluídas a taxa de formação do ozônio em geral é pouco afetada por variações no COV. Em áreas remotas a taxa de formação do ozônio também aumenta com o aumento de concentração do COV.

Os regimes saturados de NOx (COV-limitante) ocorrem quando ácido nítrico representa os sorvedouros de radicais dominantes. Nesse caso, as concentrações ambientais de OH serão determinadas pelo balanço entre as fontes de radicais e a reação do OH com o  $\text{NO}_2$ . Como a taxa de formação de ácido nítrico aumenta com o  $\text{NO}_2$ , o OH ambiente decresce com o aumento do  $\text{NO}_2$ . A taxa de formação do ozônio é determinada pela taxa de reação do COV e CO com OH. Essa taxa aumenta com o aumento do COV e decresce com o aumento do  $\text{NO}_x$ .

A divisão entre regimes sensíveis ao  $\text{NO}_x$  (NOx-limitante) ou ao COV (COV-limitante) está intimamente relacionada com a razão entre a soma dos COV com o  $\text{NO}_2$ , considerando que as somas são ponderadas pela reatividade dos COV.

**Aldeídos como precursores de ozônio****Anexo 2**

A razão das fontes de radicais para a taxa de formação do ácido nítrico é proporcional à razão da soma de todos os COV (ponderados pela reatividade com OH) com o  $\text{NO}_2$ . Quando essa razão é alta, os peróxidos se tornam o sorvedouro dominante dos radicais e as condições são sensíveis ao  $\text{NO}_x$ . Quando essa razão é baixa, o ácido nítrico se torna o sorvedouro dominante do radical e as condições são de saturação do  $\text{NO}_x$ . A fotólise do ozônio é a maior fonte do radical hidroxila (OH) na troposfera de regiões remotas, de forma que um aumento do  $\text{O}_3$  vai produzir mais OH, resultando em um decréscimo nos tempos de vida de muitas espécies traços, como o metano e os hidroclorofluorcarbonos (HCFC), que são espécies de grande importância para processos físicos-químicos na estratosfera.

## Referências bibliográficas

- Air Quality Guidelines – Global Update 2005: *Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. World Health Organization, 2006.
- Andrade, J.B., Pereira, P.A.P., Miguel, A.H. *Measurements of semivolatile polycyclic aromatic hydrocarbons in a bus station and an urban tunnel of Salvador, Brazil*. *Journal of Environmental Monitoring*, Inglaterra, v. 4, p. 558-561, 2002.
- Andrade, M.F. *Caracterização das fontes de material particulado e ozônio troposféricos na Região Metropolitana de São Paulo*; Tese de livre docência. Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas. 2006.
- Bell M.L., Dominici F., Samet J.M. *A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study*. *Epidemiology*, 2005, 16:436–445.
- Brook R.D. et al. *Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults*. *Circulation*, 2002, 105:1534–1536.
- Cecinato A., Yassaa N., Di Palo V., Possanzino M. *Observation of volatile and semi-volatile carbonyls in an Algerian urban environment using dinitrophenylhydrazine/silica-HPLC and pentafluorophenylhydrazine/silica-GC-MS*. *J Environ Monit*, v. 4, p. 223-228, 2002.
- Chen L. et al. *Elementary school absenteeism and air pollution*. *Inhalation Toxicology*, 2000, 12:997–1016.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Ceteb) [web site]. São Paulo, Brasil, 2004 ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br), acessado em 8 de novembro de 2006).
- Corrêa S.M., Martins E., Arbilla G. *Formaldehyde and acetaldehyde in a high traffic street of Rio de Janeiro, Brazil*. *Atmospheric Environment*; v. 37, l. 1, p. 23-29, 2003.
- Gent J.F. et al. *Association of low-level ozone and fine particles with respiratory symptoms in children with asthma*. *Jama*, 2003, 290:1915–1917.
- Gilliland F.D. et al. *The effects of ambient air pollution on school absenteeism due to respiratory illnesses*. *Epidemiology*, 2001, 12:43–54.
- Grosjean D., Grosjean E., Moreira L.F.R. *Speciated Ambient Carbonyls in Rio de Janeiro, Brazil*. *Environ. Sci. Technol*; v. 36, p. 1389-1395, 2002.
- Gryparis A. et al. *Acute effects of ozone on mortality from “the air pollution and health: a European approach” project*. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2004, 170:1080–1087.
- IBGE. *Breves notas sobre a mortalidade no Brasil no período 1991/2007*. 2008
- IEI (Industrial Economics Incorporated). *Revisions to the proposed value of life*, Memo, Cambridge, Mass., 1992.
- Ito K., DeLeon S.F., Lippmann M. *Associations between ozone and daily mortality: Analysis and meta-analysis*. *Epidemiology*, 2005, 16:446–457.
- Kovats R.S., Campbell-Lendrum D., Matthies F. *Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease*. *Risk Analysis*; v. 25, p. 1409-18, 2005.
- Levy J.I., Chemeryynski S.M., Sarnat J.A. *Ozone exposure and mortality: an empiric Bayes multiregression analysis*. *Epidemiology*, 2005, 16:458–468.
- Martins L.C.; Pereira L.A.A.; Lin C.A.; Prioli, G.; Luiz O.D.C.; Saldiva P.H.N.; Braga A.L.F. *The Effects of Air Pollution on Cardiovascular Diseases: Lag Structures. Efeitos da Poluição do Ar nas Doenças Cardiovasculares: Estruturas de Defasagem*. *Revista de Saúde Pública / Journal of Public Health*, 2006, v. 40, n. 4, p. 677-683.
- Martins L.D., Andrade M.F. *Emission scenario assessment of gasohol reformulation proposals and ethanol use in the Metropolitan Area of São Paulo*. *The Open Atmospheric Science Journal*; v. 2, p. 131-140, 2008b.

- Martins L.D., Andrade M.F. *Ozone formation potentials of volatile organic compounds and sensitivity to their emission in the megacity of São Paulo, Brasil. Water, Air and Soil Pollution*; v. 195, p. 201-213, 2008a.
- Martins M.A.H., Fatigati F.L., Véspoli T.C., Martins L.C., Pereira L.A.A., Martins M.A., Saldiva P.H.N., Braga A.L.F. *Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil. J Epidemiol Community Health*; v. 58, p. 41-46, 2004.
- McDowell C.J., Powers S.E. *Mechanisms affecting the infiltration and distribution of ethanol-blended gasoline in the vadose zone. Environ Sci Technol*, v. 37(9), p. 1803-10, 2003.
- Miraglia S.G.E.K., Saldiva P.H.N., Böhm G.M. *An Evaluation of Air Pollution Health. Impacts and Costs in São Paulo, Brazil. Environmental Management*, v. 35, n. 5, p. 667-76, 2005.
- Miraglia S.G.E.K. *O ônus da poluição atmosférica sobre a população do Município de São Paulo: uma aplicação do método Daly; estimativa em anos de vida perdidos e vividos com incapacidades. Tese de Doutorado, FMUSP, 2002.*
- Monteiro L., Vasconcellos P., Souza S., Pires M., Sanchez O., Andrade M.F., Carvalho L. *Measurements of Atmospheric Carboxylic Acids and Carbonyl Compounds in São Paulo City, Brazil. Environmental Science and Technology (Washington), Estados Unidos*, v. 35, p. 3071-3081. 2001.
- Nguyena H.T.H., Takenaka N., Bandowa H., Maeda Y., Oliva S.T., Botelho T.M. *Atmospheric alcohols and aldehydes concentrations measured in Osaka, Japan and in São Paulo, Brazil. Atmospheric Environment*; v. 35, l. 18, p. 3075-83, 2001.
- Park H. et al. *Association of air pollution with absenteeism due to illness. Archives of Pediatric and Adolescent Medicine*, 2002, 156:1235-1239.
- Pearce D. *Foundations of an ecological economics. Ecological Modelling*, v. 8, p. 9-18, 1987.
- Pope C.A. et al. *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Jama*, 2002, 287:1132-1141.
- Ribeiro, H. *Can urban areas close to sugarcane production be healthy?. Journal of Urban Health*, v. 86, p. 479-479, 2009.
- Romieu I. et al. *Antioxidant supplementation and lung functions among children with asthma exposed to high levels of air pollutants. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2002, 166:703-709.
- Saldiva P.H.N.; Simões S.M.; Santos M.A.; Fernezlian S.M.; Garippo A.L.; Martins M.A.; Mauad T.; Dolnikoff M. *Inflammatory Cell Mapping of the Respiratory Tract in Fatal Asthma. Clinical and Experimental Allergy*; 2005, v. 35, n. 5, p. 602-611.
- Schwartz J. *How sensitive is the association between ozone and daily deaths to control for temperature? Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2005, 171:627-631.
- US EPA. *The Costs and Benefits of Clean Air Act, 1997.*

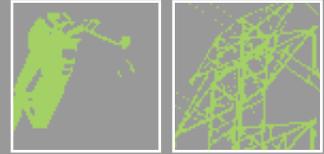
## Notas explicativas

<sup>01</sup> Comeap (Committee on the Medical Effects of Air Pollution).

<sup>02</sup> Iris (Integrated Risk Information System).

05





# A bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica

Nivalde José de Castro

Roberto Brandão

Guilherme de A. Dantas





*A bioeletricidade vinculada à produção de etanol e açúcar tem condições excepcionais para representar papel estratégico na expansão do sistema elétrico nacional. Isso por ser fortemente complementar à hidreletricidade, permitir a distribuição próxima aos centros de consumo e com importantes benefícios ambientais e socioeconômicos.*

*A bioeletricidade produzida com bagaço apresenta complementaridade em relação ao parque hídrico, gerando energia exatamente nos meses mais secos do ano. Em 2008, a energia natural afluyente (ENA) foi de 80 a 90 GWméd de janeiro a março, caindo para 30 a 40 GWméd de junho a novembro, enquanto a moagem da cana no Centro-Sul fica acima de 80% do seu maior valor de maio a setembro. Ressalte-se que o potencial de produção da bioeletricidade até o final de década é de quase 15.000 MW médios ao ano, ou cerca de 15% da demanda do país.*

*As novas usinas hidrelétricas, devido à forte redução na capacidade relativa de regularização dos reservatórios imposta por restrições físicas e ambientais, aumentam a necessidade dessa complementaridade. Com a construção das usinas no Norte (inclusive Belo Monte), a ENA ficará próxima de 120 GWméd de janeiro a abril, mas não deve ultrapassar 40 GWméd entre julho e outubro.*

*Essa complementaridade da bioeletricidade em relação ao parque hídrico pode desempenhar papel estratégico para a manutenção de uma matriz elétrica limpa e renovável, evitando a*

*necessidade de contratação de termoeletricas movidas a combustíveis fósseis, que desempenham uma função de back-up. Estimativas do Operador Nacional do Sistema Elétrico indicam que cada GW<sub>méd</sub> de bioeletricidade inserido no SIN pode poupar no período seco 4% dos reservatórios do subsistema Sudeste/Centro-Oeste.*

*Os leilões de energia nova A-3 e A-5 (abertos a projetos de todas as fontes) realizados em 2007 e 2008 usaram critérios e regras que favorecem usinas térmicas a óleo, que têm custo de geração elevado. Entre os empreendimentos térmicos contratados, 98,9% foram termoeletricas movidas a combustíveis fósseis (63% óleo combustível) e apenas 1,1% de bagaço.*

*A bioeletricidade da cana apresenta benefícios ambientais (redução de emissões de gases de efeito estufa), econômicos (geração de empregos) e de garantia do suprimento (com descentralização) da energia elétrica. Mas essa competitividade não está sendo valorada corretamente pelas regras atuais dos leilões de energia.*

*Recomenda-se a contratação de energia através de leilões por fonte ou de leilões especificamente para geração de base para o período seco, e a formulação de uma política industrial específica para estabelecer um patamar de condições para que as usinas possam se conectar à rede e comercializar energia.*

## ► 1. Introdução

O Brasil tem uma matriz elétrica predominantemente hídrica, que lhe confere posição privilegiada no que toca à sustentabilidade ambiental em um contexto onde a maioria dos países busca um aumento da participação de fontes renováveis de energia em suas respectivas matrizes elétricas para expandir a oferta de energia e ao mesmo tempo mitigar as emissões de gases do efeito estufa.

No entanto, o perfil ímpar da matriz brasileira não significa que o Brasil deva desconsiderar novos investimentos em fontes alternativas e renováveis de energia, como a bioeletricidade sucroenergética. O adequado entendimento da dinâmica da inserção de fontes renováveis e alternativas na matriz brasileira passa pela compreensão de que o modelo de geração de energia baseado em hidroelétricas com grandes reservatórios tende ao esgotamento. Os limites são dados por questões físicas e pela postura das autoridades ambientais, que licenciam apenas a construção de novas hidroelétricas com pequenos reservatórios. Dessa forma, a diversificação do parque gerador, sobretudo com a presença de fontes de energia complementares ao parque hídrico, é um dado concreto e irreversível na evolução do sistema elétrico brasileiro nas próximas décadas.

Frente a esse processo de evolução, se faz necessário analisar quais fontes alternativas devem ser contratadas prioritariamente nos próximos anos.

A contratação de fontes de energia complementares à geração hídrica, e que ao mesmo tempo contribuam para a manutenção do perfil limpo da matriz elétrica brasileira é uma alternativa estratégica para o futuro energético brasileiro. Entre essas fontes destaca-se a bioeletricidade derivada da cana-de-açúcar em função basicamente das seguintes qualificações:

- I Competitividade em termos de custos
- II Complementaridade sazonal com relação ao regime de chuvas
- III Maturidade da indústria sucroenergética
- IV Contribuição na redução de emissões de gases de efeito estufa
- V Proximidade ao centro de carga

O objetivo deste texto é analisar e demonstrar a importância da bioeletricidade derivada da cana-de-açúcar para a manutenção das principais características da matriz elétrica, possibilitando garantir: a segurança do suprimento; a competitividade da economia nacional; e a sustentabilidade ambiental. Ela apresenta as vantagens inerentes a uma fonte de energia renovável, gerada através do eficiente processo de cogeração, utilizando como insumo energético os resíduos originados na produção de etanol e de açúcar. Por outro lado, a bioeletricidade traz vantagens adicionais para o Brasil, como a geração de renda e emprego no campo, o estímulo à indústria de bens de capital e a poupança de divisas (coeficiente de importação é próximo de zero, dispensando tanto a importação de equipamentos como de combustíveis).

Este estudo se divide em duas partes. A primeira é dedicada à análise da transição por que passa o parque gerador brasileiro e a crescente necessidade de geração complementar à hídrica. A segunda é centrada no exame

da bioeletricidade como fonte complementar e competitiva para a matriz elétrica brasileira, além de apresentar breve análise sobre sua sustentabilidade ambiental. Por último, são apresentadas as conclusões que, em linhas gerais, apontam para o elevado grau de competitividade desta fonte de energia, desde que revistos os critérios atuais de contratação de energia, e as externalidades da bioeletricidade em relação a outras fontes.

## ► 2. A transformação da matriz de geração brasileira

Mais de 80% da capacidade instalada do parque gerador brasileiro é baseado em usinas hidroelétricas<sup>[1]</sup>. Em termos de geração efetiva, em torno de 90% da oferta brasileira de energia elétrica provém das usinas hidroelétricas, como pode ser constatado na **Tabela 1**. No que diz respeito à participação da hidroeletricidade na capacidade instalada total, o Brasil só perde para a Noruega, como pode ser observado na **Tabela 2**.

A preponderância da geração hídrica na matriz brasileira garante a oferta de energia elétrica a preços competitivos<sup>[2]</sup>, com reduzido grau de emissão de carbono<sup>[3]</sup>. Entretanto, é preciso entender como o parque

**Participação da hidroeletricidade na geração total** Em %

**Tabela 1**

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Porcentagem	94,11	89,65	90,97	92,14	88,63	92,45	91,81	92,78	88,61

Fonte: Site do ONS. Histórico da Operação.

**Participação da geração hídrica na capacidade instalada total de países selecionados** Em 2006

**Tabela 2**

Países	(%)
Noruega	98,5
Brasil	83,2
Venezuela	72,0
Canadá	58,0
Suécia	43,1
Rússia	17,6
Índia	15,3
China	15,2
Japão	8,7
EUA	7,4
Restante do mundo	14,3
Média mundial	16,4

Fonte: IEA (2008).

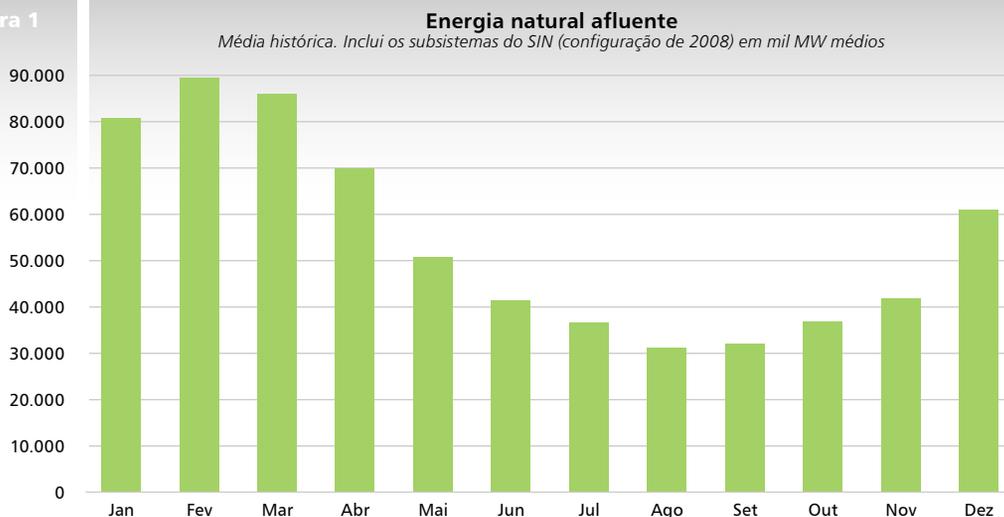
gerador hídrico brasileiro consegue atender a um percentual tão relevante da carga mesmo estando sujeito à irregularidade do regime pluvial e à sazonalidade das afluições. A **Figura 1** mostra o comportamento sazonal das afluições médias. Verifica-se que no mês de fevereiro a Energia Natural Afluente (ENA) <sup>[4]</sup> ultrapassa os 89 mil MWmed, em contraste com a ENA em torno de 30 mil MWmed em setembro <sup>[5]</sup>. Outro dado relevante é a comparação entre a ENA média à carga. Enquanto a ENA no período seco, compreendido entre maio e novembro, é da ordem de 38 mil MWmed, a carga do Sistema Interligado Nacional se situa em torno de 51 mil MWmed (dados de 2008).

A exploração do grande potencial hidráulico brasileiro foi possível até hoje pela construção de barragens com grandes reservatórios. As incertezas associadas ao regime de afluições são reduzidas pela estocagem de água durante o período úmido para sua eventual conversão em energia elétrica no período seco. A energia potencial da água dos reservatórios (denominada Energia Armazenada ou EAR) permite a regularização da geração hidrelétrica ao longo de todo o ano ou mesmo em uma sequência de anos.

Embora o Brasil tenha explorado apenas 30% do seu potencial hidroelétrico total <sup>[6]</sup>, o modelo atual de usinas com grandes reservatórios está saturado e a expansão da capacidade instalada hídrica nos próximos anos será realizada com pequenos aumentos na capacidade de estocagem de energia pelo sistema, reduzindo a capacidade de regularização da oferta de energia ao longo do ano, conforme demonstra a **Figura 2**.

As restrições à construção de novos reservatórios são de ordem física e ambiental. Do ponto de vista físico, a maior parte das regiões de planalto do país já foram exploradas para fins de aproveitamento hidroelétrico, estando o potencial remanescente localizado essencialmente na região Norte do país, que é uma região de planícies. Em uma região onde predomina a topografia suave, com poucos desníveis significativos, é di-

**Figura 1**



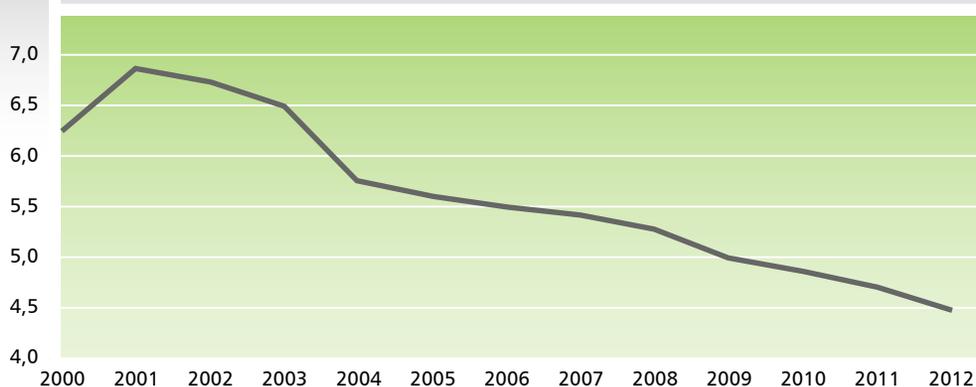
Fonte: Site do ONS ([www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)). Dados elaborados pelo Gesel/IE/UFRJ a partir do banco de dados histórico da operação em 2008.

fácil construir reservatórios de regularização. É até possível alagar grandes áreas, mas devido aos pequenos desníveis, mesmo reservatórios com grande área inundada resultam em armazenamento de energia modesto. Além disso, existem as restrições de ordem ambiental. O caráter mais rígido da legislação ambiental a partir da Constituição de 1988 e a postura das autoridades ambientais dificultam a construção de novos reservatórios e até mesmo a expansão da capacidade de geração hidroelétrica.

Devido às restrições físicas e ambientais mencionadas, as usinas hidroelétricas que estão sendo construídas e planejadas terão características de usinas a fio d'água, sem reservatórios significativos. Os aproveitamentos do rio Madeira, recentemente licitados, são emblemáticos sob esse aspecto: os novos reservatórios ocupam uma área apenas um pouco maior que a área normalmente inundada na época da cheia. Belo Monte e as usinas nos rios Tapajós e Teles-Pires seguirão a mesma tendência. A consequência inevitável será a redução da capacidade de regularização das afluentes e da geração hidroelétrica.

A redução da capacidade de regularizar a oferta de energia apenas com grandes reservatórios levará a uma crescente dificuldade de atender a carga no período seco somente com energia de fonte hídrica. Isso permite afirmar que o sistema elétrico brasileiro está diante do desafio de complementar o parque hídrico com usinas com vocação para operar de forma eficiente durante o período seco. A contratação de geração complementar ao parque hídrico vem privilegiando as termoeletricas movidas a combustíveis fósseis, na maioria dos casos com baixa eficiência técnico-econômica. Tais usinas têm custos fixos baixos e custos variáveis de geração elevados. A lógica da contratação dessas usinas é para *back-up* do sistema, pois se estima que elas tenham baixa probabilidade de serem despachadas. Entretanto, com a perda da capacidade de regularização dos reservatórios, a frequência de despacho dessas térmicas tende a ser maior do que a estimada originalmente, sobretudo durante o período seco do ano. Deixando de desempenhar o papel de simples *back-up* para hidrologias críticas, o custo operacional de tais geradoras com baixa eficiência técnico-econômica acabará se mostrando excessivo.

Figura 2

Evolução da capacidade de regularização dos reservatórios *EAR máx/carga*

Há, portanto, necessidade de complementação ao parque hídrico brasileiro através de usinas que tenham vocação técnica e econômica para operar na base do sistema no período seco. Dentre essas alternativas de complementação do parque hidroelétrico, a que se mostra mais eficiente é a bioeletricidade sucroenergética.

### ► 3. Características e benefícios da bioeletricidade sucroenergética

A garantia da segurança do suprimento com sustentabilidade ambiental exigirá investimentos em fontes alternativas e renováveis de energia e em processos eficientes de geração. A bioeletricidade se enquadra nessa premissa na medida em que é uma energia gerada a partir da biomassa residual do processo de geração de etanol e de açúcar. Por utilizar um resíduo como insumo energético, a bioeletricidade é, por definição, uma fonte de energia renovável, eficiente e sustentável. Trata-se de uma energia que é produzida a partir da cogeração, um processo que garante índices significativos de eficiência na geração de energia <sup>[7]</sup>. Além disso, ela é produzida em grande medida no principal centro de carga brasileiro que é o Estado de São Paulo ou em Estados limítrofes, o que também contribui com a eficiência econômica e elétrica ao reduzir os custos e as perdas com a transmissão.

No entanto, esses benefícios não vêm sendo devidamente e corretamente precificados nos leilões de energia nova realizados no Brasil. Os resultados dos leilões indicam uma aparente falta de competitividade da bioeletricidade em relação a outras fontes de energia. A pretensa falta de competitividade é o resultado da metodologia de contratação dos leilões que não auferem corretamente os benefícios da bioeletricidade para o sistema elétrico brasileiro derivados da sua natural complementaridade com o parque hídrico.

A bioeletricidade sucroenergética é uma fonte de energia que contribui para a segurança da oferta brasileira de energia elétrica, por diversificar a matriz e, sobretudo, por ser complementar à geração hídrica. Além disso, ela é sustentável ambientalmente. Ao contrário de outras fontes de geração térmica, a bioeletricidade é neutra em carbono, característica que, embora altamente desejável, não tem sido devidamente valorizada nos leilões.

#### 3.1 O potencial e os custos da bioeletricidade

De acordo com Corrêa Neto e Ramón (2002), o setor sucroenergético é tradicionalmente auto-suficiente em termos energéticos, atendendo 98% de suas demandas energéticas através da queima do bagaço da cana-de-açúcar. O processo de cogeração fornece as energias térmica, mecânica e elétrica demandadas no processo de produção de etanol e de açúcar. Contudo, tradicionalmente essa auto-suficiência é garantida por meio de processos produtivos de baixa eficiência, que se limitam a gerar estritamente a quantidade de energia necessária para o auto-suprimento da usina.

Segundo Dantas (2008), a decisão de adotar tecnologias de cogeração pouco eficientes tinha como premissa maximizar a queima do bagaço de cana-de-açúcar devido às dificuldades de estocagem e à pouca

relevância do mercado para a venda de eventuais excedentes de bagaço *in natura*. Também não havia interesse comercial em investir em plantas de geração de eletricidade mais eficientes, capazes de exportar um excedente para a rede.

Até o início dos anos 90, o setor elétrico brasileiro estava estruturado em monopólios integrados verticalmente, com geração de energia centralizada, e com regras que não contemplavam a possibilidade de comercialização de energia por agentes independentes das concessionárias. Essa situação perdurou até meados dos anos 90, quando foi criada a figura do produtor independente de eletricidade. Isso criou o marco legal que permite a uma usina “exportar” eletricidade para o sistema elétrico. Surgiram então as condições necessárias para a realização de investimentos em plantas eficientes de cogeração de energia, com o intuito de comercializar excedentes de energia elétrica.

Portanto, embora a indústria sucroalcooleira tenha há muito tempo o potencial técnico para vender excedentes de energia, somente em período relativamente recente isso se tornou possível do ponto de vista comercial. Torna-se então, importante dimensionar o quanto a bioeletricidade pode contribuir para a oferta brasileira de energia ao longo das próximas décadas.

O potencial de geração de bioeletricidade é função da safra de cana-de-açúcar, pois é o montante de cana colhida que determina o volume de biomassa residual disponível para a geração de bioeletricidade. O potencial depende também da tecnologia adotada, que determina a eficiência da conversão da biomassa em energia elétrica.

Depois do *boom* do setor alcooleiro motivado pelo Pró-álcool na década de 80 e do ciclo expansivo do açúcar na década de 90, verificou-se nos últimos anos uma nova fase de crescimento do setor e há perspectivas de novos incrementos na oferta de etanol e açúcar nos próximos anos. Estima-se que a produção brasileira de cana-de-açúcar passará dos atuais 550 milhões de toneladas de cana para mais de 1 bilhão de toneladas de cana processadas por safra em um horizonte de dez anos. Além da expansão da colheita de cana, um fator adicional garantirá o aumento da biomassa a ser utilizada como insumo energético para a geração de energia: o fim da queima <sup>(3)</sup> permitirá a utilização da palha da cana como insumo energético a ser queimado em conjunto com o bagaço.

Quanto à tecnologia de cogeração, tradicionalmente as usinas utilizam ciclos de contrapressão capazes de garantir apenas o auto-suprimento energético da usina. Contudo, mesmo nesse tipo de solução, algumas modificações, dentre as quais se destaca a utilização de caldeiras com maior pressão, permitem atingir um nível de eficiência energético considerável, com a geração de algo em torno de 40 kWh por tonelada de cana processada (Corrêa Neto e Ramón, 2002).

A tecnologia que hoje é adotada em vários projetos *greenfield* é a tecnologia de extração-condensação, que permite gerar significativos excedentes de energia elétrica a baixos custos. Essa tecnologia é capaz de produzir até 96 kWh por tonelada de cana processada, dos quais, em média, 80 kWh podem ser exportados. Esses números têm como base apenas a utilização total do bagaço de cana; ao se adicionar o uso da palha não

queimada no campo é possível gerar até 200 kWh por tonelada de cana processada (Kitayma, 2008). O custo de investimento nessa tecnologia é estimado em cerca de R\$ 3 mil por kW instalado. A Tabela 3 apresenta dados relativos ao potencial de geração de bioeletricidade no curto, médio e longo prazo, se todas as usinas adotassem a melhor tecnologia.

As estimativas do potencial da bioeletricidade ocorrem com base em uma tecnologia, a de extração-condensação, já dominada e viável economicamente. Porém, o desenvolvimento da tecnologia de gaseificação da biomassa, que já é dominada do ponto de vista técnico, mas que ainda não é comercialmente viável pode representar um grande salto no potencial de geração de bioeletricidade. Trata-se de uma tecnologia que é capaz de produzir até 270 kWh de energia elétrica excedente por tonelada de cana processada.

Dantas e Castro (2008) afirmam que uma variável que pode impactar de maneira negativa a oferta futura de bioeletricidade é o desenvolvimento tecnológico do etanol celulósico, que pode dar um uso econômico alternativo à biomassa. Porém, baseados nas perspectivas atuais para os mercados de etanol e de eletricidade, os autores adotam a premissa de que os investimentos em cogeração não deverão ser refreados e sim expandidos, principalmente se forem adotadas políticas específicas, como leilões de energia nova por fonte (como o Leilão de Energia de Reserva, realizado em 2008).

Porém, como o potencial de geração de bioeletricidade é calculado em relação à safra total, é importante analisar a situação das usinas hoje existentes, que precisam de um *retrofit* para gerar eletricidade de forma eficiente. Essas usinas precisam substituir parte dos equipamentos para adotar tecnologias mais modernas de cogeração. Trata-se de substituir equipamentos que funcionam, que podem ter uma vida útil considerável e que já garantem seu auto-suprimento de energia. A viabilização do potencial de geração dessas usinas requer, portanto, um preço-teto nos leilões superior àquele exigido pelos projetos *greenfield*. De acordo com Castro et al. (2008), com base em parâmetros econômicos pré-crise de setembro de 2008, enquanto projetos novos viabilizam a comercialização de energia com um preço em torno de R\$ 155/MWh, projetos remodelados exigem um preço em torno de R\$ 180/MWh para serem viáveis. Cabe salientar que o setor sucroenergético tem uma estrutura produtiva heterogênea e esses valores podem apresentar elevado desvio-padrão, principalmente quando se considera os custos de conexão à rede de transporte de energia elétrica, cuja responsabilidade é do empreendedor em bioeletricidade.

Tabela 3

## Estimativas do potencial da bioeletricidade sucroenergética\*

Safra	Cana (em milhões de toneladas)	Potencial de geração (em MW med)
2012/13	696	9.642
2015/16	829	11.484
2020/21	1038	14.379

\* As premissas dessas estimativas são a utilização da tecnologia de extra-condensação e o aproveitamento de 75% do bagaço e 50% da palha disponíveis. Fonte: Elaborado por Gesel/IE/UFRJ a partir de dados da UNICA.

### 3.2 A complementaridade da bioeletricidade e as externalidades para o Sistema Elétrico Brasileiro

A inserção da bioeletricidade em uma escala compatível com seu potencial por si só já contribuiria para o aumento da segurança do suprimento de energia elétrica devido ao “efeito diversificação da matriz”. No entanto, a característica mais favorável da bioeletricidade sucroenergética para a segurança do sistema elétrico brasileiro é a sua complementaridade em relação ao regime de chuvas do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, onde se concentra 70% da capacidade dos reservatórios brasileiros. A safra sucroenergética ocorre entre os meses de abril e novembro, coincidindo com o período seco nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. O Gráfico 3, que compara o ritmo da moagem da cana com as energias afluentes, e a complementaridade entre o regime de afluências e a bioeletricidade.

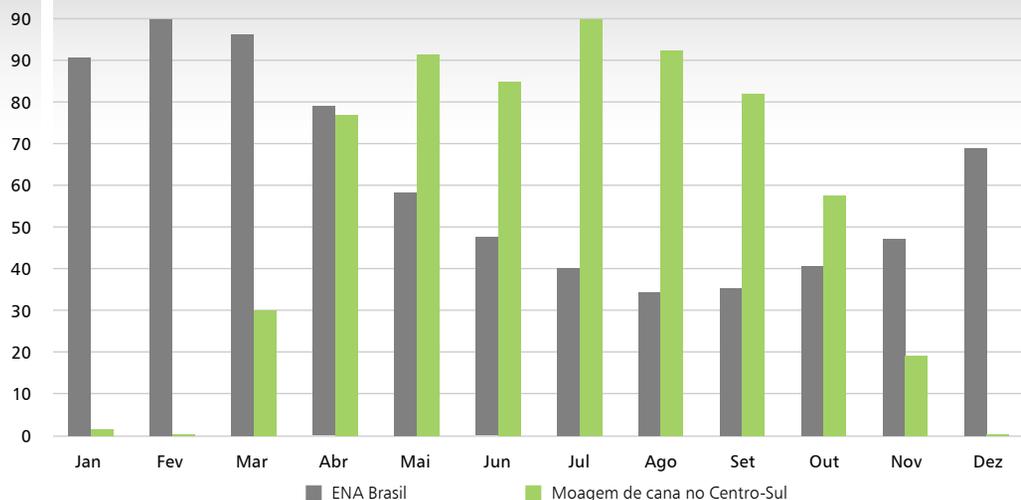
A bioeletricidade sucroenergética, por ter a geração concentrada na estação seca, se constitui em fonte de energia de grande relevância para complementar o parque gerador hídrico. Trata-se de uma “energia de inverno”. De acordo com o ONS, cada 1.000 MWmed de bioeletricidade inseridos no sistema interligado durante o período seco significa a poupança de 4% dos reservatórios do subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

### 3.3 Viabilidade econômica

Apesar de todos os benefícios reconhecidos da inserção da bioeletricidade na matriz elétrica, existem dúvidas e questionamentos em relação à sua viabilidade e competitividade econômica. O principal argumento é

Gráfico 3

#### Complementaridade da hidroeletricidade com o setor sucroenergético (em % do mês com maior oferta)



Fonte: Site do ONS ([www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)) e UNICA. Dados elaborados a partir do histórico da operação em 2008 (ENA) e pela moagem de cana da safra 2007/2008 no Centro-Sul.

que, se fosse competitiva, a bioeletricidade estaria sendo contratada nos leilões de energia nova. Contudo, o que existe de fato é uma metodologia de contratação de energia para os leilões que não necessariamente seleciona os melhores projetos de geração, conforme discutido por Castro et al (2009a).

A **Tabela 4** apresenta informações que explicitam a necessidade de uma análise mais detalhada sobre a aparente falta de competitividade da bioeletricidade.

A **Tabela 4** mostra que 71,1% da potência termoelétrica contratada possuía em julho de 2009 custo variável superior a R\$ 200, ao qual deve ser somado o custo fixo dessas usinas. Frente a esse *deck* de dados é de se perguntar se realmente uma usina de biomassa (com custo fixo de geração de R\$ 155 por MWh, ou até mesmo o custo fixo de R\$ 180 para uma usina *retrofit*) constitui ameaça à modicidade tarifária.

Vale destacar que, para obter o custo das usinas termoelétricas despachadas por ordem de mérito, não se pode fazer uma simples soma do seu custo fixo com o custo variável, pois essas usinas foram concebidas e contratadas como *backup*, com a estimativa de despacho com reduzido número horas por ano. É com base nessa metodologia – custos fixos baixos, custos variáveis altos, mas despacho pouco frequente – que essas usinas são parecem competitivas nos leilões. No entanto, em um sistema hídrico com capacidade de regularização declinante, onde será necessária cada vez mais geração complementar, sobretudo no período seco, essas usinas não constituem a melhor opção. Elas se mostrarão de fato muito mais dispendiosas para o sistema do que as usinas térmicas de bioeletricidade sucroenergética que operam de forma inflexível, sem custos variáveis.

**Tabela 4** Custo Variável Unitário das Termoelétricas do SIN Em 2009

CVU (R\$/MWH)	Potência disponível (MWméd)	% total
até 100	1.536	6,8
100 a 150	3.655	16,3
150 a 200	1.313	5,8
200 a 250	6.386	28,4
250 a 300	2.723	12,1
300 a 400	3.561	15,9
400 a 600	1.643	7,3
Mais que 600	1.637	7,3
<b>Total</b>	<b>22.454</b>	<b>100,0</b>

Fonte: ONS, PMO de julho de 2009.

### 3.4 Sustentabilidade ambiental: as emissões de GEE

A matriz energética brasileira, e em especial a matriz elétrica, possui caráter ímpar em termos de reduzido impacto ambiental, especialmente no que se refere às emissões de gases efeito-estufa (GEE). Porém, isso não pode servir de argumento para se contratar fontes energéticas sujas e poluentes.

O setor energético é, em termos mundiais, o maior responsável pelas emissões antrópicas de gases efeito-estufa, com 48,8% do total. A **Tabela 5** mostra o diferenciado perfil das emissões brasileiras quando comparado à emissão de outros países. Observe-se que a maior parte das emissões brasileiras é relativa à coluna *Land use, land use change and forestry* (LULUCF), que inclui as queimadas. Por outro lado, as emissões do setor de energia respondem apenas por 8,8% do total.

Por se tratar de energia renovável, a bioeletricidade é neutra em relação à emissão de gases efeito-estufa em contraste com as consideráveis emissões verificadas na geração termoelétrica com base em combustíveis fósseis, conforme pode ser comprovado na **Tabela 6**.

**Perfil das emissões para países selecionados** *Em percentual, dados de 2005*

**Tabela 5**

Região/País	Energia	Transporte	Processos industriais	Agricultura	LULUCF	Lixo	Total
Mundo	48,8	11,8	3,4	13,8	18,6	3,6	100
Anexo I	63,3	18,6	3,6	8,2	0	6,2	100
Não-anexo I	36,9	6,1	3,2	15,6	35,1	3	100
China	64,6	4,6	7,9	21,4	-1	2,5	100
Índia	52,3	6,8	3,5	34,8	-2,2	4,8	100
Indonésia	7,9	2	0,5	4	83,6	1,9	100
Coréia do Sul	68,8	17,5	9,2	2,8	0,2	1,6	100
Brasil	8,8	5,7	1,5	20,1	62	1,8	100
México	50,5	16,6	3,5	8,2	15,8	5,3	100
África do Sul	73,7	9,6	2,7	10,7	0,5	2,9	100

Fonte: Souza e Azevedo (2006).

**Emissões de gases efeito-estufa por diferentes tipos de fontes** *Em kg por MWh*

**Tabela 6**

Fonte de Energia	Emissão de CO <sub>2</sub> (em kg por MWh)
Gás natural (ciclo aberto)	440
Gás natural (ciclo combinado)	400
Óleo	550
Carvão	800
Hidroelétrica	25
Eólica	28

Fonte: União Européia (2007).

A partir da estimativa de 14.379 MW méd de bioeletricidade (potencial total) para exportação na safra 2020/21 é possível calcular uma geração equivalente de 125.960 GWh. A produção dessa mesma energia com base em térmicas a carvão representaria a emissão de 100,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Caso essa produção ocorresse por meio de óleo, as emissões seriam de 69,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Mesmo no caso da geração ocorrer através de usinas movidas a gás natural em ciclo combinado, as emissões seriam de 50,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Portanto, logo se nota a importância da bioeletricidade na manutenção de uma matriz com reduzida intensidade em carbono contribuindo dessa forma para a mitigação das alterações climáticas.

### 3.5 Fonte de geração distribuída e benefícios adicionais da bioeletricidade

Por estar localizada nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, próxima ao principal centro de carga do país, a bioeletricidade é uma fonte de geração distribuída. A proximidade reduz a necessidade de expansão da transmissão, o que é um benefício ambiental (redução das perdas no sistema de transmissão) e também econômico (redução da necessidade de investimentos de expansão do sistema de transmissão). A bioeletricidade pode até ser escoada diretamente pela rede de distribuição, sem necessidade de reforços da rede básica, em altíssima tensão. Dessa forma, constata-se que a bioeletricidade é uma fonte de energia compatível com o novo paradigma tecnológico do setor elétrico, que dá grande ênfase à exploração dos nichos de geração distribuída.

Além disso, a indústria de bens de capital nacional está apta a fornecer os equipamentos necessários à construção de plantas de cogeração. Nesse sentido, os investimentos em novas plantas de cogeração mais eficientes (notadamente na conversão de equipamentos das usinas *retrofit*) não necessitam de importações substanciais de equipamentos, o que poupa divisas para o país e contribui para a dinamização do setor industrial brasileiro.

Por outro lado, a bioeletricidade utiliza um insumo nacional, em contraste com outros tipos de geradoras que necessitam importar combustível. Com isso se ganha não apenas em termos de economia de divisas como na redução da volatilidade do preço da energia. Isso é evidente nos contratos que resultaram dos leilões de energia nova: o custo da geração a óleo, a carvão importado e a gás natural é indexado ao preço *spot* internacional desses insumos energéticos, enquanto a bioeletricidade é indexada ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

## ► 4. Conclusões

A matriz elétrica brasileira passa por uma fase de transição para uma necessidade crescente de complementação da geração hídrica com fontes de energia capazes de gerar eletricidade de forma eficiente durante o período seco. A bioeletricidade é uma fonte de energia intrinsecamente complementar à geração hídrica porque a safra de cana-de-açúcar coincide com o período de seca.

O ciclo expansivo do setor sucroenergético associado ao gradativo fim da queima da cana garante a biomassa necessária para geração de significativos montantes de bioeletricidade nos próximos anos. Dessa forma, justificam-se investimentos em tecnologias que permitam a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica.

A aparente falta de competitividade da bioeletricidade nos leilões de energia nova é função dos critérios atuais de contratação de energia, que não conseguem mensurar de forma correta os benefícios da bioeletricidade para o sistema elétrico brasileiro. Nesse sentido, apenas os motivos restritos ao “mundo energético” já justificariam a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira em uma escala compatível com o seu potencial. Entretanto, além das motivações energéticas, existe o relevante fato de ser uma energia renovável em um mundo que clama por medidas que reduzam a emissão de gases efeito-estufa e que, por conseguinte, mitiguem as alterações climáticas.

Por essas razões, justifica-se a modificação da política de contratação de energia através dos leilões para o mercado regulado. A adoção de leilões por fonte ou de leilões contratando especificamente geração de base para o período seco parece uma alternativa mais eficiente do que leilões abertos a qualquer tipo de projeto, que não vem estimulando a contratação eficiente de novos projetos. Essa diretriz seria uma das mais importantes para compor uma política pública para a bioeletricidade.

Outro ponto que merece ser contemplado por uma política pública é a criação de condições para que as usinas existentes possam se conectar à rede e comercializar energia. As usinas de açúcar e etanol estão dispersas geograficamente. Muitas delas estão distantes de subestações capazes de escoar a energia produzida. Com isso, o acesso à rede acaba constituindo-se em barreira para a incorporação de novos empreendimentos de geração movidos a bioeletricidade. A solução encontrada para esse problema à época do Leilão de Energia de Reserva (o desenho de uma rede coletora para servir a diversos empreendimentos em uma mesma região) foi, sem dúvida, um passo na direção certa. Mas como o compromisso financeiro com a rede coletora tinha que ser decidido antes do leilão, não se trata de uma alternativa ideal. Dada a competitividade da bioeletricidade, recomenda-se a realização de estudos para reforço da rede básica em regiões com alto potencial produtor, antes mesmo de confirmada a vitória em leilão das usinas da região.

Em síntese, são os seguintes os quesitos importantes para uma política pública setorial para a bioeletricidade sucroalcooleira: 1) a valorização adequada para a sazonalidade complementar da bioeletricidade nos leilões de energia nova; 2) a realização de leilões regulares e dedicados a essa fonte ou restrito a fontes comparáveis a ela; e 3) o planejamento da expansão do sistema de transmissão de forma a viabilizar a inclusão efetiva da bioeletricidade na matriz de geração.

## ► 5. Referências bibliográficas

- Aneel. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3a. edição. Brasília, 2008.
- Castro, Nivalde José; Dantas, Guilherme de A.; Brandão, Roberto; Leite, André Luiz da Silva. *Bioeletricidade e a Indústria de Álcool e Açúcar: possibilidades e limites*. Synergia. Rio de Janeiro, 2008.
- Castro, Nivalde José; Brandão, Roberto; DANTAS, Guilherme de A.. *A seleção de projetos nos Leilões de Energia Nova e a questão do valor da energia*. Mimeo. Gesel/IE/UFRJ. Rio, agosto, 2009a.
- Castro, Nivalde José; Brandão, Roberto; DANTAS, Guilherme de A.. *Problemas no cálculo das Garantias Físicas para os Leilões de Energia Nova*. Mimeo. Gesel/IE/UFRJ. Rio, Setembro, 2009b.
- Castro, Nivalde José; Brandão, Roberto; Dantas, Guilherme de A.. *Considerações sobre a Ampliação da Geração Complementar ao Parque Hídrico Brasileiro*. Texto de Discussão do Setor Elétrico n.o 15. Gesel/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, Janeiro de 2010.
- Castro, Nivalde José de; Bueno, Daniel. *Os Leilões de Energia Nova: vetores de crise ou de ajuste entre oferta e demanda?* Rio de Janeiro: IE-UFRJ, 18 de junho de 2007.
- Corrêa Neto, V.; Ramón, D. *Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Cogeração no Setor Sucroalcooleiro*. Setap. Brasília, 2002.
- Dantas, Guilherme de A. *O Impacto dos Créditos de Carbono na Rentabilidade da Cogeração Sucroalcooleira Brasileira*. Dissertação de Mestrado. ISEG/Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- Dantas, Guilherme de A.; Castro, Nivalde José de. *O Uso do Bagaço e da Palha: Bioeletricidade ou Etanol Celulósico?* In: I Workshop do Infosucro sobre Impactos Econômicos e Tecnológicos da Indústria Sucroalcooleira no Brasil. Rio de Janeiro, novembro de 2008.
- Goldenberg, P.; Guerra, F. *Inovação na Geração de Energia Elétrica a Partir do Bagaço de Cana*. In: I Workshop do Infosucro sobre Impactos Econômicos e Tecnológicos da Indústria Sucroalcooleira no Brasil. Rio de Janeiro, novembro de 2008.
- International Energy Agency. *Key World Energy Statistics*. Paris, 2008.
- Kitayama, Onorio. *Bioeletricidade: perspectivas e desafios*. In: III Seminário Internacional do Setor de Energia Elétrica – Gesel/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.
- Souza, Z. *Geração de Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Produção/Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.
- Souza, Z; Azevedo, P. *Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro: um estudo a partir de usinas paulistas*. Revista de Economia e Sociologia Rural. Brasília-DF, 2006.

### Notas explicativas

- [01] Incluindo a parte paraguaia da usina de Itaipu.
- [02] Competitividade ao nível da geração, conforme demonstrado nos leilões das usinas do rio Madeira. Os preços finais de energia elétrica no Brasil não são módicos por uma série de motivos que fogem do escopo analítico deste trabalho.
- [03] As emissões de CO<sub>2</sub> por tep da matriz energética brasileira são de 1,57 em contraste com o valor de 2,36 verificado na matriz energética mundial. A hidroeletricidade é juntamente com a utilização do etanol em larga escala uma das responsáveis pela reduzida intensidade de carbono da matriz brasileira.
- [04] Energia hídrica que corre pelos rios com fins energéticos.
- [05] Esses números incluem apenas os rios que já possuem aproveitamento hidroelétrico.
- [06] O potencial de geração hidroelétrica brasileira está estimado em torno de 260 GW.
- [07] O processo de cogeração pode ser definido como a produção de energia térmica e mecânica que pode ser convertida em energia elétrica a partir de um mesmo insumo energético.
- [08] O Protocolo Agro-ambiental no Estado de São Paulo prevê para 2014 o fim da prática da queima e colheita manual nas áreas planas. Atualmente, mais de 50% da colheita já ocorre de forma mecanizada. Assim, mesmo uma parte da cana permanecendo no solo para protegê-lo, haverá significativo aumento da biomassa disponível para fins energéticos.

06





# O etanol como combustível

Francisco Nigro

Alfred Szwarc





*O veículo flex, lançado em 2003 e que hoje responde por cerca de 90% das vendas, é o ponto alto da história de sucesso do etanol brasileiro nesta década. Isso não significa, porém, que não possa ser melhorado, com ganhos de eficiência energética e desempenho ambiental. Ao contrário, com a adoção das necessárias políticas públicas, há espaço para sensíveis avanços tecnológicos.*

*O desenvolvimento dos motores a etanol no início do Pró-álcool objetivava o aumento de eficiência energética, que chegou a ser 16% superior à dos veículos a gasolina. Nos anos 80, o desenvolvimento voltou-se para o controle da emissão de poluentes e a vantagem energética do etanol foi reduzida quando, com a queda dos preços do petróleo nos anos 90, a indústria investiu mais na tecnologia do veículo a gasolina.*

*Os fabricantes têm estratégias distintas para o desenvolvimento de motores flex, mas, em geral, ainda não há aproveitamento adequado do maior calor latente de vaporização e da maior octanagem do etanol na redução de seu consumo. Ao mesmo tempo, tem havido melhoria no consumo com gasolina, de modo que nos testes oficiais de veículos flex a vantagem energética do etanol foi quase anulada. Nos testes realizados por revistas especializadas, porém, o etanol apresenta eficiência energética significativamente superior à gasolina, o que aponta para a necessidade de se avaliar como o teste normalizado de consumo poderia ser mais representativo do uso médio.*

*Embora as tecnologias para melhorar a eficiência energética do motor flex sejam conhecidas, sua evolução é em grande parte determinada por aspectos técnico-econômicos que dependem de quanto os consumidores estão dispostos a pagar para ter os benefícios. No Brasil, os*



*modelos populares têm volume de produção capaz de suportar desenvolvimentos intensivos em engenharia, mas são muito sensíveis a aumentos de preço.*

*Quanto à moto flex, lançada pioneiramente no Brasil em 2009, reedita com avanços algumas das soluções desenvolvidas na década de 80 para motos a álcool. Trata-se de um veículo de baixo custo e conceito inovador, podendo representar oportunidade de exportação. Algumas das inovações adotadas nos veículos de quatro rodas poderiam também ser adotadas em motocicletas.*

*Finalmente, há grandes oportunidades para o uso do etanol em substituição ao diesel, sobretudo no setor sucroenergético e no transporte urbano de passageiros e cargas, onde é desejável o uso de combustíveis limpos e renováveis. Nesses casos, o uso em frotas cativas permitiria o desenvolvimento de soluções técnicas otimizadas para etanol. Devido ao caráter social do transporte urbano de passageiros, há potencial para incentivos fiscais que facilitem sua viabilização. As alternativas tecnológicas em desenvolvimento convergem para quatro opções: a) transformação de motores Diesel em motores Otto; b) uso de etanol aditivado; e c) etanol nebulizado em motores Diesel; e d) misturas de etanol, diesel e cossolvente.*

*Apesar do sucesso do etanol, são necessárias políticas públicas que reforcem o estabelecimento de competência tecnológica nacional para sua utilização eficiente e sustentável do etanol, tais como: formação de recursos humanos para pesquisa e desenvolvimento, estímulo da engenharia automotiva nacional e incentivo ao usuário.*

## ► 1. Introdução

O uso de etanol como combustível veicular no país ganhou grande impulso a partir de 1975 com o estabelecimento do Pró-álcool (Programa Nacional do Álcool). Nos primeiros anos o programa incentivou a produção de etanol anidro (Aeac) para ser misturado à gasolina até um teor de 20% e, a partir de 1977, passou a promover também o uso puro de etanol hidratado (Aehc) como combustível veicular.

Em virtude da resistência inicial das montadoras em produzir veículos movidos o etanol, a primeira estratégia do Pró-álcool para disseminar a tecnologia foi promover a conversão de motores a gasolina para que funcionassem com etanol hidratado. Empresas de retífica foram selecionadas para fazer a transformação, com apoio da rede de Centros de Apoio Tecnológico (CATs). Esses centros se basearam em institutos de pesquisa e universidades públicas em vários Estados, para dar consistência técnica às conversões, conforme descrito em trabalho apresentado pelo IPT (Castro et al, 1982). Os CATs credenciavam empresas que demonstrassem competência técnica para realizar conversões e ajudavam a desenvolver e homologar procedimentos de conversão para as empresas credenciadas.

Embora esse período de conversão de motores, juntamente com as frotas de demonstração estabelecidas na época, tenha ajudado a despertar o interesse do consumidor pelo uso de etanol hidratado como combustível, foi só a partir de 1979, com a assinatura de um acordo entre a coordenação do Pró-álcool e a Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) que se iniciou a produção de veículos originais movidos a etanol, e o programa efetivamente deslançou.

O principal vetor de desenvolvimento da tecnologia de motores a álcool na época era o aumento de eficiência energética, coerente com os aspectos estratégico e econômico que pautaram a criação do Pró-álcool. Considerações de cunho ambiental não eram prioritárias, embora a característica do etanol como combustível renovável já fosse reconhecida e apontada como qualidade importante. No mesmo contexto, por volta de 1980, buscavam-se alternativas para substituição do óleo diesel usado em larga escala em máquinas agrícolas, transporte de carga e coletivo de passageiros.

A partir de meados dos anos 80, além dos aspectos mencionados, passaram a ser valorizadas as características ambientais e sociais do etanol. Do ponto de vista da engenharia automotiva, o desenvolvimento tecnológico passou a ser determinado sobretudo pelos requisitos ambientais de controle da emissão de poluentes e de satisfação do consumidor final, não raramente relegando a um segundo plano a eficiência energética no aproveitamento do combustível.

Este capítulo objetiva analisar a evolução da tecnologia de uso do etanol como combustível veicular no Brasil, apontar os principais desafios tecnológicos a serem vencidos para tornar o etanol mais competitivo nessa aplicação e sugerir ações de políticas públicas que possam ajudar a vencer esses desafios. Recebem atenção especial as tecnologias de veículos flexíveis e de substituição de óleo diesel por etanol, principalmente quanto aos aspectos de eficiência energética e viabilidade técnica.

Considerando que nos últimos cem anos os motores de combustão interna foram desenvolvidos e aperfeiçoados para uso de gasolina e diesel, ao mesmo tempo em que esses combustíveis também foram sendo mais bem adaptados aos motores, a abordagem utilizada neste trabalho para explicar a evolução tecnológica do uso do etanol em motores será baseada na avaliação comparativa das propriedades do etanol com as dos derivados de petróleo.

No momento atual, a interface tecnológica motor-combustível – historicamente desenvolvida como uma relação simbiótica entre os setores automotivo e de refino do petróleo – passa a ser desafiada pelo renovado interesse nos biocombustíveis, em particular no etanol. Entretanto, no contexto global em que atua o setor automotivo, os derivados de petróleo ainda representam 97% dos combustíveis consumidos por motores, o que torna a viabilização de qualquer combustível alternativo fortemente dependente do aproveitamento da infraestrutura industrial já estabelecida para transporte, estocagem e distribuição de gasolina e diesel. Esse importante aspecto estrutural e econômico, que representa a principal vantagem competitiva dos combustíveis renováveis frente outras alternativas energéticas para o setor de transportes, justifica a abordagem aqui usada de promover o emprego crescente do etanol por meio de desenvolvimentos tecnológicos, não de ruptura tecnológica.

## ► 2. Veículos flexíveis

### 2.1 Contexto histórico da origem e princípios de funcionamento

Para facilitar o entendimento dos aspectos técnicos que conduziram ao desenvolvimento dos motores a etanol e ao surgimento dos motores flexíveis, faz-se necessário discutir as principais semelhanças e diferenças entre o etanol e os derivados de petróleo, da perspectiva de seu uso em motores de combustão interna.

Uma diferença fundamental é o elevado teor de oxigênio do etanol (35% em massa), o que implica inicialmente em um poder calorífico da ordem de 65% dos derivados de petróleo e na possibilidade de apresentar uma combustão mais limpa nos motores. Outra característica importante do etanol, associada a uma cadeia molecular curta, é sua considerável volatilidade e elevada resistência a autoinflamação. Tais aspectos o tornam adequado a motores de ignição por centelha (motores Otto). Importante ressaltar que enquanto o etanol, como substância pura, apresenta temperatura de destilação constante de 78°C à pressão atmosférica, a gasolina, que é uma mistura de mais de 500 hidrocarbonetos tipicamente com cadeias de 5 a 12 carbonos, sofre destilação, normalmente entre 30°C e 220°C, e essa característica é usada como parâmetro de projeto de motores Otto.

Idealmente, o funcionamento do motor Otto necessita de uma mistura homogênea de vapor de combustível e ar em proporção estequiométrica (quimicamente ideal), que é comprimida na câmara de combustão. O motor sofre ignição pela centelha da vela e combustão por propagação de chama, sem ocorrência de autoinflamação. Combustíveis mais resistentes à autoinflamação possibilitam aumentar a taxa de compressão do motor e, portanto, seu rendimento energético. “Octanagem” é a medida da resistência a autoinflamação dos combustíveis para motores Otto, verificada em um motor especial, em condições padronizadas, sendo os

valores para etanol significativamente superiores aos para gasolina <sup>□</sup>. Essa característica possibilita a adição de etanol à gasolina para aumentar sua octanagem, aspecto que possibilitou ao Brasil ser um dos primeiros países a eliminar o chumbo tetraetila da gasolina (a substância, usada como aditivo antidetonante, é conhecida por sua elevada toxidez). A adição de etanol à gasolina também contribuiu para dispensar a necessidade de aumento do teor de hidrocarbonetos aromáticos da gasolina nas operações de refino, uma prática frequentemente utilizada para aumentar a octanagem, mas que tem o inconveniente de aumentar a toxidez do combustível e dos subprodutos de sua combustão.

A elevada resistência à autoinflamação, volatilidade considerável e baixa lubrificidade, tornam o etanol um combustível tradicionalmente não utilizado em motores de ignição por compressão (motores Diesel). Nesse tipo de motor, o ar é comprimido antes de o combustível ser injetado no momento certo, por um sistema de alta pressão, e se autoinflamar. A mistura ar-combustível é heterogênea, o que facilita a formação de material particulado nos gases de escapamento. O sistema de injeção é normalmente lubrificado pelo próprio combustível, que precisa ter características específicas de viscosidade e lubrificidade para esse fim.

O etanol é totalmente miscível com gasolina e com água, e é comercializado no Brasil como álcool etílico anidro carburante (Aeac), ou como álcool etílico hidratado carburante (Aehc) contendo de 5 a 6% em volume de água. O Aeac é misturado à gasolina A, em um teor que pode variar de 20% a 25%  $\pm$ 1% em volume, para formar a gasolina C que é comercializada nos postos. O teor de Aeac na gasolina é estabelecido pela Comissão Interministerial do Açúcar e do Álcool (Cima) em função das condições de oferta e demanda do produto no mercado, e tem sido mantido em 25% nos últimos anos. Uma vez que a gasolina A não é miscível com água, a estabilidade da mistura ternária depende dos teores dos componentes. Felizmente, a mistura de gasolina C com Aehc é estável mesmo a temperaturas negativas de  $-10^{\circ}\text{C}$ , o que possibilita o uso sem limitação dos veículos flexíveis no país (Neto et al., 1993).

Outra propriedade do etanol, bastante diversa das de derivados de petróleo, é o calor latente de vaporização, que corresponde a 3,2% de seu poder calorífico, enquanto para os derivados de petróleo esse número é cerca de 0,7%.

Conforme mencionado, os motores de ignição por centelha necessitam de uma mistura ar- vapor de combustível próxima da relação estequiométrica para funcionarem adequadamente e produzirem uma emissão baixa de poluentes. Portanto, a quantidade de etanol necessária para utilizar completamente uma mesma quantidade de ar é muito superior à da gasolina, o que faz com que o sistema de combustível para o motor a etanol tenha que dosar uma quantidade cerca de 60% superior à do motor a gasolina de potência equivalente.

Finalmente, vale lembrar que todos os materiais dos componentes do sistema de alimentação de combustível devem apresentar compatibilidade química com os combustíveis a serem utilizados. Na década de 80, diversos materiais (sobretudo plásticos, borrachas e substâncias metálicas utilizadas para proteção de superfícies que não apresentavam compatibilidade com o etanol) foram substituídos. Mais recentemente o setor automotivo só tem aplicado materiais que são compatíveis tanto com etanol como com derivados de petróleo.

Iniciando com a primeira fase do desenvolvimento tecnológico dos motores a etanol no Pró-álcool, a fase dos CATs, na qual o setor de retífica de motores convertia motores à gasolina para uso de Aehc, a tecnologia utilizada compreendia os seguintes aspectos: acréscimo da taxa de compressão dos motores (rebaixamento de cabeçotes e substituição de pistões); nova calibração dos carburadores para dosagem de etanol; alteração das curvas de avanço centrífugo e a vácuo dos distribuidores para assegurar o tempo ótimo de centelha para a combustão do etanol; uso de velas de ignição de grau térmico menor que as usadas com gasolina; e sistema auxiliar de partida à frio com injeção de gasolina no coletor de admissão. Em alguns modelos eram também utilizados coletores de admissão aquecidos pela água de arrefecimento do motor ou por parte dos gases de escapamento, que facilitavam a vaporização do etanol e permitiam melhor aproveitamento da energia correspondente. Para evitar que o aumento da taxa de compressão dos motores provocasse solicitações mecânicas indevidas, reduzia-se o enriquecimento de mistura ar-combustível <sup>[2]</sup> utilizado nos motores movidos a gasolina à plena carga, de modo a manter o torque e a potência do motor original, aspecto que favorecia a redução de consumo. A necessidade de manter a compatibilidade dos materiais do sistema de alimentação de combustível com o etanol implicava na substituição de elastômeros em vedações, de alguns componentes ferrosos e plásticos do sistema e no uso de proteção anticorrosão nos carburadores. As exigências para homologação das tecnologias de conversão de motores compreendiam: manutenção da curva de torque à plena carga do motor com um aumento máximo de 25% no consumo de Aehc em massa quando comparado ao do motor original operando com gasool (gasolina com até 20% de etanol anidro); calibração da mistura e do avanço da centelha para assegurar que, na operação em cargas parciais (25%, 50% e 75% da plena carga em toda a faixa de rotações do motor), o consumo fosse no máximo 6% superior ao mínimo consumo em cada ponto de operação.

Ao se levar em consideração o poder calorífico dos combustíveis, observa-se que a eficiência energética obtida pelo uso do etanol à plena carga era cerca de 25% superior à obtida com gasolina. Tal ganho era possível, na época, pois a mistura gasolina/ar à plena carga era muito rica (excesso de gasolina de até 15% em relação à mistura estequiométrica para garantir mistura rica mesmo no cilindro que recebia menos combustível) e a taxa de compressão dos motores que operavam com a gasolina brasileira era inferior a 8:1. Além disso, o motor de referência a gasolina era um motor normal de produção enquanto o motor convertido era especialmente calibrado no dinamômetro, o que pode explicar, talvez, 5% daquele ganho de eficiência. A elevação da taxa de compressão para valores de até 12:1 implicava em aumento de eficiência energética da ordem de 7%, enquanto o aproveitamento do calor latente de vaporização do etanol respondia por cerca de 2%.

Conforme reportado pelo IPT no trabalho já mencionado, o consumo dos veículos convertidos para etanol, medido em testes de campo e em dinamômetro de chassis, era da ordem de 20% superior, em volume, ao dos veículos normais de produção, embora com prejuízo de dirigibilidade.

Por outro lado, nos motores dos veículos novos a etanol produzidos pelas montadoras, a partir de 1979, as propriedades favoráveis do etanol para aumentar o torque e a potência eram aproveitadas, sendo os carburadores calibrados para uso de mistura rica à plena carga e mistura pobre em cargas parciais.

O consumo de veículos produzidos, durante o período em que os automóveis a etanol representavam mais de 90% das vendas de veículos novos, pode ser comparados com base nos dados do Programa de Economia de

Combustíveis (Peco) <sup>[3]</sup>, firmado entre o governo federal, através do Ministério da Indústria e Comércio e do Ministério das Minas e Energia, e as montadoras (Anfavea). O programa implantado pela Secretaria de Tecnologia Industrial (STI/MIC) publicou nos anos de 1983 a 1986 o livreto *Escolha certo – Guia de consumo de seu carro*, que apresentava os valores medidos de consumo dos modelos de veículos novos comercializados no período. As medições eram realizadas conforme a norma ABNT NBR 7024 “Veículos rodoviários automotores leves – Medição de consumo de combustível – Método de ensaio”, criada na época. A título de exemplo, o consumo de um dos modelos a etanol mais populares (ano 1985, massa de 830 kg e motor de 43,9 kW) era de 11,2 litros/100 km (8,9 km/l) no ciclo urbano e de 7,7 litros/100 km (13,0 km/l) no ciclo estrada. O acréscimo médio de consumo nos veículos a etanol quando comparado aos equivalentes a gasolina era de 25% em volume, o que implica em ganho energético de 16% a favor do etanol, se bem que os testes eram feitos com motores aquecidos. Nessas condições médias de operação veicular, o acréscimo de taxa de compressão possivelmente respondia por algo como 6%, o empobrecimento da mistura por cerca de 7% e o aproveitamento do maior calor latente de vaporização do etanol por 1%. Outro aspecto que merece ser realçado é o fato de que os modelos a etanol eram mais atuais que os a gasolina e, portanto, incorporavam os desenvolvimentos incrementais à frente dos modelos a gasolina.

Nessa época, segundo a Cetesb <sup>[4]</sup>, as emissões médias dos automóveis a etanol eram: monóxido de carbono (CO) – 16,9 g/km; hidrocarbonetos (HC) – 1,6 g/km; óxidos de nitrogênio (NOx) – 1,2 g/km; e aldeídos (RCHO) – 0,18 g/km. Já os veículos a gasolina emitiam consideravelmente mais, com exceção dos aldeídos: CO – 28 g/km; HC – 2,4 g/km; NOx – 1,6 g/km; e RCHO – 0,05 g/km.

Após 1989, quando ocorreu desabastecimento parcial do mercado por oferta insuficiente de etanol simultaneamente com a queda dos preços do petróleo e a abertura do mercado nacional para veículos importados (sobretudo a gasolina), a demanda por automóveis a etanol despencou, de modo que a partir de 1995 se manteve abaixo de 5%.

Durante esse mesmo período as preocupações ambientais ganharam importância e foram desenvolvidas as bases técnicas para medição de poluentes veiculares pela Cetesb, o que culminou com o lançamento do Proconve (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) estabelecido pela Resolução nº 18/86 do Conama e posteriormente consolidado pela Lei nº 8723/93 e regulamentos complementares. O programa executado pelo Ibama, que conta com a Cetesb como agente técnico, limita as emissões de veículos novos em fases progressivamente mais rigorosas. A partir da implantação da legislação, o desenvolvimento de veículos passa a ser direcionado pelas metas de emissão dos poluentes regulamentados, enquanto os aspectos de custo e eficiência energética caem para segundo plano. Com a entrada em vigor da fase L-3 em janeiro de 1997, catalisadores de três vias passaram a ser necessários para que os limites máximos de CO (2 g/km), HC (0,3 g/km), NOx (0,6 g/km) e RCHO (0,03 g/km) fossem respeitados, o que passou a determinar o uso de misturas estequiométricas tanto nos motores a etanol como nos motores a gasolina. Esse aspecto teve impacto negativo maior no consumo dos veículos a etanol do que nos veículos a gasolina, uma vez que a maior velocidade de propagação de chama laminar do etanol e a maior taxa de compressão dos motores permitiam o uso de misturas mais pobres que a gasolina em cargas parciais dos motores.

O preço do etanol tinha retomado a competitividade com a gasolina no mercado brasileiro a partir de 1999, havia oferta de modelos de veículos a etanol e estavam sendo desenvolvidos novos motores dedicados ao etanol. Mas, apesar disso, as vendas não respondiam por falta de confiança dos consumidores. Nesse contexto, em março de 2003, foi lançado o primeiro veículo flexível brasileiro, capaz de consumir etanol hidratado, gasolina C ou qualquer mistura entre os dois combustíveis, de modo a dar, ao usuário final, o direito de escolha do combustível a cada abastecimento, considerando sua disponibilidade e custo.

Pesquisas sobre combustíveis alternativos, nos EUA, Europa e Japão, no início da década de 1980 (Pefley et al., 1980), tinham sido responsáveis por adaptações em protótipos, em antecipação à possibilidade de utilização de etanol, metanol ou gasolina em um mesmo motor. Esses protótipos aproveitavam a flexibilidade dos sistemas eletrônicos de injeção de combustível, que começavam a ser utilizados em escala comercial, controlados pela retroalimentação do sinal do sensor que mede o teor de oxigênio nos gases de escapamento.

Os primeiros veículos flexíveis desenvolvidos por montadoras, usados em programas de demonstração da tecnologia flexível, surgiram em 1984 com a Ford nos Estados Unidos. Em 1992, a General Motors lançou comercialmente o primeiro veículo flexível nos Estados Unidos, a van Lumina, com sensor capacitivo para medição do teor de etanol no combustível.

Com incentivos fiscais e regulamentações do governo americano <sup>[5]</sup>, a frota de veículos flexíveis naquele país cresceu bastante, apesar da falta de infraestrutura de abastecimento. Vale mencionar que os veículos flexíveis americanos utilizam como combustíveis extremos a gasolina sem etanol (E0) e o E85, etanol anidro com 15% de gasolina.

No Brasil, os primeiros estudos foram desenvolvidos pela Bosch em 1990, conforme apresentado por Conti, 2002, em seminário organizado pelo IPT em março de 2000, sendo que o primeiro protótipo de veículo utilizando o sistema *Motronic Flex Fuel* foi apresentado por Castro et al (1994). Em 2000, a Magneti Marelli apresentou seu sistema *Software Flexfuel Sensor (SFS)* <sup>[6]</sup> que introduziu uma inovação: dispensou o uso do sensor capacitivo adicional requerido pela proposta Bosch para detectar o percentual de etanol na mistura combustível e permitiu sua substituição pelo sensor de oxigênio já utilizado no controle da emissão de poluentes. Por ser mais simples, barata e confiável, essa tecnologia ganhou a preferência das montadoras. Além disso, o governo federal permitiu que os veículos flexíveis fossem beneficiados com a mesma alíquota de IPI existente para os veículos a álcool (inferior à dos veículos a gasolina), o que compensou os investimentos realizados no desenvolvimento tecnológico e possibilitou que a tecnologia fosse implantada no país.

O princípio de funcionamento da tecnologia flexível utilizada no país baseia-se no sensor do teor de oxigênio nos gases de escapamento (sonda lambda), o qual já era necessário para satisfazer os requisitos de emissões da fase L-3 do Proconve. Conforme mencionado, a mistura ar/combustível tem que ser mantida estequiométrica (mistura ideal) para que o catalisador de três vias possa reduzir drasticamente os HC, CO, NOx e RCHO. A função da sonda lambda é informar à unidade de controle eletrônico do motor (ECU) para injetar mais ou menos combustível conforme a mistura esteja pobre ou rica (tenha menos ou mais combustível), de modo a mantê-la na estequiometria correta da combustão. Além disso, para detectar com precisão o ponto de ope-

ração do motor (porcentagem de carga e rotação), existem também sensores que medem e informam à ECU tanto a rotação do motor como o fluxo de ar admitido. Como os valores das relações estequiométricas ar/etanol e ar/gasolina são conhecidos e estão armazenados na memória da ECU (que por sua vez infere a quantidade de combustível sendo injetado, para manter a mistura ar/combustível estequiométrica, por meio do tempo que os injetores tiveram que ser mantidos abertos), pode-se calcular o teor de etanol no combustível líquido sendo injetado. Com base nesse teor calculado, controlam-se outros parâmetros de funcionamento do motor, cujos valores ótimos dependem do teor de etanol no combustível, como o avanço da centelha, a necessidade de injeção de gasolina na partida a frio, as quantidades injetadas para atender a resposta transitória do motor tanto a quente como a frio e as estratégias para melhorar a eficiência do catalisador.

Outro aspecto fundamental para a rápida introdução e evolução da tecnologia flexível no Brasil foi a incorporação imediata dos desenvolvimentos anteriores nos motores a etanol, em termos de compatibilidade de materiais, grau térmico da vela de ignição, bomba e filtro de combustível e sistema de partida a frio, dentre outros.

## 2.2 Evolução da tecnologia no Brasil

A introdução da tecnologia de motores flexíveis no Brasil foi baseada na não modificação do motor a gasolina original, de modo que, na primeira geração, a atenção foi quase toda dada à funcionalidade do sistema e atendimento aos requisitos de emissões, com reduzida preocupação com o consumo do etanol. A taxa de compressão do motor a gasolina C era mantida, e os ganhos de torque e potência (com uso de etanol) eram de 2%. Na segunda geração, as taxas de compressão subiram cerca de um ponto percentual em relação às de gasolina C, buscando-se maior equilíbrio no desenvolvimento do motor para os dois combustíveis, com ganhos de potência e torque para o etanol, na faixa dos 3% a 4%. Também foi introduzido o uso de novos catalisadores e velas de ignição adequadas para as novas taxas de compressão. Na terceira geração, adotada em alguns modelos pelas montadoras com grande experiência no desenvolvimento de motores a etanol, as taxas de compressão se aproximaram bastante das máximas taxas admissíveis para o etanol com ganhos de torque para o etanol acima dos 5%.

Tabela 1

Evolução da tecnologia flexível na visão da Volkswagen

Geração	Entrada no mercado	Taxa de compressão do motor	Ganho de potência com etanol	Ganho de torque com etanol	Perda de autonomia com etanol	Partida a frio com gasolina
1ª	2003	10,1 a 10,8	2,1%	2,1%	25% a 35%	sim
2ª	2006	10,8 a 13,0	4,4%	3,2%	25% a 35%	sim
3ª	2008	11,0 a 13,0	5,6%	9,3%	25% a 30%	sim
4ª	2009	11,0 a 13,0	5,6%	9,3%	25% a 30%	não

A **Tabela 1**, adaptada da apresentação feita por representante da Volkswagen <sup>[7]</sup> no Ethanol Summit-2009 resume, na visão da montadora, como tem ocorrido a evolução da tecnologia. Observe-se que na quarta geração da Volkswagen já existe um sistema de partida a frio com pré-aquecimento do etanol, o que dispensa a necessidade do tanque auxiliar de gasolina.

Embora essa separação em gerações sirva para visualizar as tendências gerais, cada modelo de motor possui suas características e limitações, de modo que pode ser inviável em alguns casos adotar a concepção completa da segunda geração.

Para comparar a evolução mais recente do consumo dos veículos novos movidos a etanol com aqueles que utilizam gasolina C, três fontes de dados podem ser usadas: os Relatórios de Valores de Emissão da Produção <sup>[8]</sup>; o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular; e as revistas especializadas.

### 2.2.1. Relatórios de Valores de Emissão da Produção (REVP)

Além dos dados de consumo obtidos por ocasião das medições para certificação das emissões de poluentes com os limites vigentes, existe uma base de dados de consumo de combustível originada dos testes de emissões que são realizados pelas montadoras para acompanhamento da conformidade da produção, em cumprimento à legislação ambiental. Esses dados, que são reportados pelas montadoras por meio dos Relatórios de Valores de Emissão da Produção à Cetesb e ao Ibama, correspondem a, no mínimo, 0,2% dos veículos novos comercializados e possibilitam uma comparação estatística sólida, apesar dos veículos serem testados sem amaciamento prévio. Os valores de emissão dos veículos são medidos no escapamento segundo o ciclo urbano da NBR 6601 e referem-se aos poluentes regulamentados CO, HC, NOx e RCHO. Algumas montadoras reportam também os resultados da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que, nesses casos, possibilitam o cálculo do consumo de combustível. Vale esclarecer que a NBR 7024, que padroniza a medição de consumo de combustível, utiliza o mesmo ciclo da NBR 6601 para uso urbano, além de um ciclo estrada específico.

A Cetesb <sup>[9]</sup> tem publicado os fatores de emissão médios dos veículos novos, incluindo CO<sub>2</sub> a partir do ano de 2002, conforme mostrados na **Tabela 2**. Os valores médios de emissão são calculados como a média ponderada pelo número de veículos comercializados de cada modelo. Os valores de consumo de gasolina C e de álcool, apresentados na **Tabela 2** e alusivos ao ciclo urbano, foram recalculados conforme a NBR 7024, sendo que os números referentes ao álcool são ligeiramente diferentes daqueles apresentados no relatório da Cetesb, que não apresentam uma correção na fórmula de cálculo.

Quando se leva em consideração o poder calorífico inferior e a massa específica da gasolina C e do etanol hidratado utilizados nos testes de emissões, conforme apresentado no Regulamento Técnico do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular <sup>[10]</sup>, observa-se que 1,443 litro de etanol é energeticamente equivalente a 1 litro de gasolina C. A última coluna da tabela, que foi calculada com base nos valores de densidade energética utilizados no Programa de Etiquetagem (28,99 MJ/L para gasolina C e 20,09 MJ/L para etanol

hidratado), permite comparar o consumo energético médio dos veículos novos com cada um dos combustíveis desde 2002. Vale mencionar que a gasolina C utilizada nos ensaios contém 22% de etanol anidro em volume, enquanto a atualmente comercializada deve conter  $25 \pm 1\%$  de Aeac, o que resulta em uma equivalência energética de  $1,426 \pm 0,006$  litro de Aeac para 1 litro de gasolina C.

Observando-se os resultados da última coluna da tabela, especialmente os referentes aos veículos flexíveis operando com os dois combustíveis nos anos de 2003 a 2007, nota-se que a variação de consumo energético foi menor do que 1% nos casos em que alguma diferença foi observada. Tal fato ilustra que, em média, os veículos flexíveis ainda não estão suficientemente desenvolvidos para aproveitar o maior calor latente de vaporização e a maior octanagem do etanol para alcançar um diferencial de consumo energético significativo.

Quanto à emissão de poluentes, os veículos flexíveis operando com etanol têm emitido, em média, valores superiores aos emitidos quando da operação com gasolina, embora se trate de emissões bastante reduzidas e a variação, em vários casos, seja apenas marginal, como mostra a **Tabela 3**, preparada com os dados divulgados pela Cetesb, que foram calculados a partir dos RVEP. Os valores limites para cada ano foram calculados com base nos limites das fases L-3 e L-4 do Proconve e das datas de entrada em vigor da fase L-4, a saber: 40% em 2005, 70% em 2006 e 100% em 2007. A emissão de aldeídos na operação com etanol é cerca de cinco vezes maior que aquela na operação com gasolina, embora a natureza e toxicidade dos

**Tabela 2** Fatores médios de emissão de veículos novos leves e consumo de combustível

Modelo	Combustível	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	RCHO g/km	CO2 g/km	Autonomia km/litro	Consumo MJ/km
2002	Gasolina C	0,43	0,11	0,12	0,004	198	10,93	2,65
	Etanol	0,74	0,16	0,08	0,017	191	7,47	2,69
2003	Gasolina C	0,40	0,11	0,12	0,004	194	11,15	2,60
	Etanol	0,77	0,16	0,09	0,019	183	7,79	2,58
	Flex-Gasol. C	0,50	0,05	0,04	0,004	210	10,31	2,81
	Flex-Etanol	0,51	0,15	0,14	0,020	200	7,15	2,81
2004	Gasolina C	0,35	0,11	0,09	0,004	190	11,39	2,55
	Etanol	0,82	0,17	0,08	0,016	160	8,89	2,26
	Flex-Gasol. C	0,39	0,08	0,05	0,003	201	10,77	2,69
	Flex-Etanol	0,46	0,14	0,14	0,014	190	7,52	2,67
2005	Gasolina C	0,34	0,10	0,09	0,004	192	11,28	2,57
	Etanol	0,82	0,17	0,08	0,016	160	8,89	2,26
	Flex-Gasol. C	0,45	0,11	0,05	0,003	188	11,50	2,52
	Flex-Etanol	0,39	0,14	0,10	0,014	180	7,94	2,53
2006	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192	11,28	2,57
	Etanol	0,67	0,12	0,05	0,014	200	7,14	2,81
	Flex-Gasol. C	0,48	0,10	0,05	0,003	185	11,69	2,48
	Flex-Etanol	0,47	0,11	0,07	0,014	177	8,08	2,49
2007	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192	11,28	2,57
	Flex-Gasol. C	0,48	0,10	0,05	0,003	185	11,69	2,48
	Flex-Etanol	0,47	0,11	0,07	0,014	177	8,08	2,49

aldeídos sejam muito diferentes para os dois combustíveis, sendo no caso, mais favoráveis para o etanol. Quanto aos três poluentes principais que devem ser reduzidos pelo sistema de controle de emissão (CO, HC e NOx), o componente mais crítico tem sido, em média, o HC. Uma vez que o equilíbrio entre as reações de oxidação e redução no conversor catalítico <sup>[11]</sup> pode ser alterado mudando-se ligeiramente a estequiometria da mistura ar/combustível, foi introduzido o coeficiente denominado aqui de “fração do limite”, que é calculado como o valor médio das relações entre os três poluentes e seus respectivos limites. Esse coeficiente indica que tem ocorrido redução na diferença entre os resultados com os dois combustíveis com o passar dos anos, decorrente da maior atenção das montadoras com a operação com etanol, e que a emissão média dos três poluentes no caso de operação com gasolina parece tender a 90% da emissão com etanol nos últimos dois anos.

Um aspecto que merece ser realçado é que esses dados referem-se a veículos novos, enquanto as emissões em uso dependem também da deterioração dos catalisadores, a qual é mais rápida com gasolina do que com etanol, e da qualidade dos combustíveis nas bombas de abastecimento. Os resultados de emissões para os modelos de veículos flexíveis comercializados em 2009, os quais atendem à fase L-5 do Proconve, foram recentemente divulgados pela Anfavea <sup>[12]</sup> e fornecem, em geral, valores mais favoráveis na operação com etanol. Oportuno esclarecer que as diferenças observadas são pequenas, em termos absolutos, e que os veículos atendem com folga os limites de emissão vigentes.

Para ilustrar a evolução comparativa entre consumos veiculares de etanol e gasolina serão discutidos dois conjuntos de dados obtidos nos Relatórios de Valores de Emissão da Produção.

**Tabela 3** Fatores médios de emissão dos veículos flexíveis comparados com os valores limites

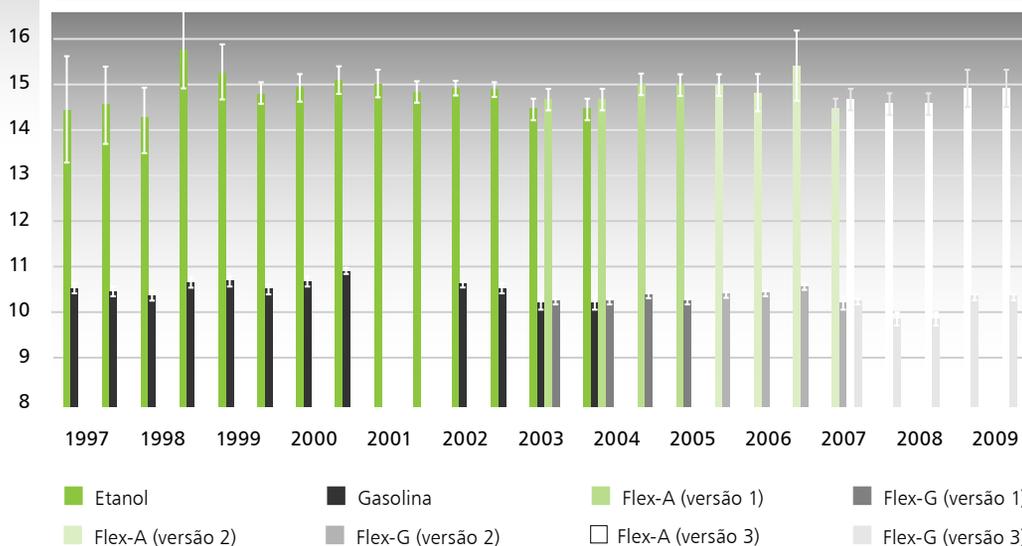
Modelo	Combustível	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Fração limite	RCHO g/km
2003	Limite Ponderado	2,0	0,30	0,60	100%	0,030
	Gasolina C	0,50	0,05	0,04	16%	0,004
	Etanol	0,51	0,15	0,14	33%	0,020
2004	Limite Ponderado	2,0	0,30	0,60	100%	0,030
	Gasolina C	0,39	0,08	0,05	18%	0,003
	Etanol	0,46	0,14	0,14	31%	0,014
2005	Limite Ponderado	2,0	0,24	0,46	100%	0,030
	Gasolina C	0,45	0,11	0,05	26%	0,003
	Etanol	0,39	0,14	0,10	33%	0,014
2006	Limite Ponderado	2,0	0,20	0,36	100%	0,030
	Gasolina C	0,48	0,10	0,05	29%	0,003
	Etanol	0,47	0,11	0,07	33%	0,014
2007	Limite Ponderado	2,0	0,16	0,25	100%	0,030
	Gasolina C	0,48	0,10	0,05	36%	0,003
	Etanol	0,47	0,11	0,07	40%	0,014

A Figura 1 apresenta os resultados médios semestrais de consumo de combustível de um veículo típico que, de 1998 a 2003, apresentou motorizações específicas para gasolina C e para etanol e que, a partir de 2003, passou a usar a tecnologia flex. As barras de erro indicam o intervalo de confiança da média, para uma probabilidade de 95%. Grandes intervalos de confiança estão associados a um número reduzido de veículos ensaiados no semestre e, portanto, a uma baixa produção do modelo dedicado. Os dados disponíveis indicam que os modelos flexíveis têm sido ensaiados preferencialmente com gasolina pelas montadoras, fato que aumenta a incerteza dos valores médios durante a operação com etanol. Importante mencionar que a variação de consumo entre veículos de um mesmo modelo, submetidos ao referido ciclo de emissões, pode atingir até 15% e que o desvio padrão da distribuição de consumo é cerca de 3% do valor médio.

Considerando o conjunto dos resultados das versões dedicadas a etanol e gasolina, o bônus energético médio para o modelo a álcool foi de  $2,2 \pm 0,5\%$ . Quando se avalia o desempenho comparativo da primeira versão flexível, que manteve quase inalterada a taxa de compressão utilizada na versão gasolina, essa vantagem se anula, sendo que o consumo de etanol aumenta  $3,6 \pm 1,0\%$  e o de gasolina aumenta  $1,4 \pm 0,4\%$ . Portanto, nesse caso, o veículo flexível trouxe perda de rendimento energético na operação tanto com etanol como com gasolina. Na segunda geração, com taxa de compressão mais elevada e sistema de controle motor aperfeiçoado, foi praticamente recuperado o rendimento energético inicial com etanol, mas houve um acréscimo do rendimento na operação com gasolina, de modo a manter nula a vantagem energética do etanol.

A Figura 2, referente a um modelo em produção, com motor de 1.0 litro, apresenta os resultados de consumo médio das versões dedicadas a etanol e gasolina que vigoraram até o primeiro semestre de 2005, assim como os resultados médios de duas gerações de motores flexíveis. Analogamente ao caso anterior, existe uma vantagem energética para o etanol entre as versões dedicadas, que nesse caso é em média

Figura 1

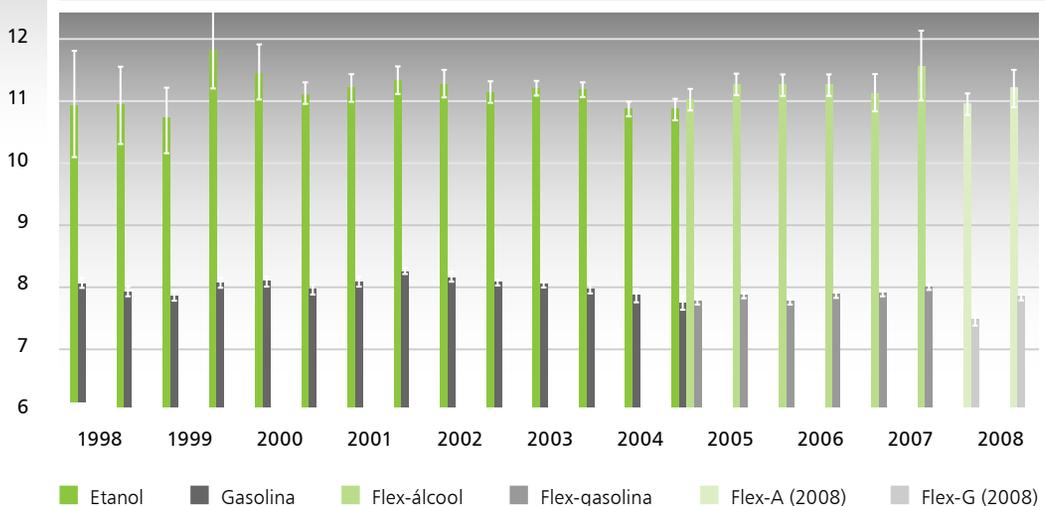
Consumo de combustível para modelo típico 1.6 litro *Ciclo urbano Consumo (L/100km)*

$4,3 \pm 0,4\%$ . Observe-se também que os modelos mais recentes mostram um consumo menor, tanto para o etanol como para a gasolina. A primeira geração de veículos flexíveis, com taxa de compressão próxima à do motor a gasolina, reduziu a vantagem energética do etanol para  $0,6 \pm 0,8\%$ , a expensas de um aumento do consumo de etanol. A geração mais recente, com taxa de compressão de motor similar à praticada nos veículos dedicados a etanol, apesar de ter reduzido o consumo de etanol reduziu também o consumo de gasolina, de modo que a vantagem energética do etanol ficou em média  $1,5 \pm 0,8\%$ .

Quando se foca a atenção nos dados dos veículos flexíveis (que mesmo em 2008 se mantinham com taxa de compressão de motor a gasolina), observa-se um acréscimo de consumo energético com etanol de cerca de 2% no ciclo urbano.

Resumindo o panorama observado com base nos RVEP, após a introdução da fase L-3 do Proconve, quando os catalisadores de três vias passaram a ser mandatórios juntamente com uma calibração estequiométrica da mistura, o bônus de rendimento energético dos veículos dedicados exclusivamente ao etanol em relação aos dedicados à gasolina C, para operação em ciclo urbano que inclui uma fase de partida a frio e aquecimento do motor, passou a ser cerca de 4%. Com a introdução da primeira geração da tecnologia flex-fuel (que mantinha a taxa de compressão do motor à gasolina), foi praticamente anulada a vantagem de rendimento energético do etanol, ocorrendo inclusive pequeno aumento do consumo na operação com gasolina. Para alguns veículos que só possuíam versões a gasolina, a introdução da versão flexível de primeira geração, em geral, implicou em pequeno acréscimo do consumo com gasolina (1%), enquanto o consumo energético com etanol passou a ser cerca de 2% superior. Com o advento das gerações seguintes (taxas de compressão mais próximas das de motores dedicados a etanol) observa-se redução significativa do consumo na operação com etanol, mas também alguma redução no consumo com gasolina, de modo que o bônus energético do etanol tem ficado entre zero e 2%.

Figura 2

Consumo de combustível para modelo 1.0 litro *Ciclo urbano Consumo (L/100km)*

### 2.2.2. Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular

Conforme mencionado, outra fonte importante de dados atuais de consumo de veículos flexíveis é o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular <sup>(19)</sup>, coordenado e regulamentado pelo Inmetro com participação voluntária das principais montadoras instaladas no país. O programa, que foi estabelecido no final de 2008, divulgou, para os modelos de veículos submetidos pelas montadoras, os resultados de consumo de combustível nos ciclos urbano e rodoviário, segundo a Norma ABNT NBR 7024: 2006 “Veículos rodoviários automotores leves – Medição de consumo de combustível – Método de ensaio”. O **Anexo 1** reproduz os primeiros resultados divulgados pelo Programa, enquanto o **Anexo 2** apresenta dados complementares sobre a motorização dos veículos (coletados em revistas especializadas) e a variação do consumo energético entre etanol e gasolina.

Quando se observam as informações apresentadas sobre a motorização dos veículos, nota-se que as montadoras estão com estratégias distintas para os veículos flexíveis. Enquanto General Motors e Volkswagen estão utilizando taxas de compressão elevadas, correspondentes ao que se convencionou chamar de terceira geração, Fiat e Honda estão mantendo as taxas de compressão de motores à gasolina em boa parte dos modelos, com exceção do Mille Way Economy e do Civic que estão usando taxas de compressão intermediárias. A relação entre os consumos energéticos de etanol e de gasolina nos diversos modelos é bastante variável, ainda que, em média, esteja desfavorável ao etanol em torno de 2%. Os resultados apresentados mostram que, mesmo para os modelos com motor de 1.0 litro, ditos de terceira geração, não existe, em média, vantagem energética para o etanol. É importante ressaltar que, por ora, o programa de etiquetagem é de adesão voluntária e é fundamentado nos valores declarados pelos fornecedores dos veículos, com base nos ensaios de homologação de modelos, que diferem significativamente (5% a 10%) dos resultados médios dos Relatórios de Valores de Emissão da Produção.

De acordo com o programa de etiquetagem, para qualquer unidade selecionada ao acaso do estoque do fabricante, são aceitáveis valores de consumo de combustível até 10% superiores aos declarados. Caso a discrepância esteja entre 10% e 20%, mais duas unidades devem ser selecionadas e se a média dos três resultados diferir menos que 10% do valor declarado, o resultado será considerado conforme. Nota-se, portanto, que os valores declarados englobam não só aspectos de média da distribuição do consumo, mas principalmente de desvio padrão.

É interessante comparar os resultados de consumo dos modelos flexíveis de 1985 e de 2009, ambos operando com etanol. Nota-se que, para veículos de mesma massa, o consumo no ciclo urbano foi reduzido em 20% e no ciclo estrada em 5%, apesar da relação potência/peso ter sido acrescida em 10% e a poluição veicular ter sido reduzida da ordem de 20 vezes. Tais fatos mostram que houve evolução da eficiência energética dos veículos a etanol nos últimos 24 anos que, entretanto, foi 15% menor que a dos veículos à gasolina. Observe-se também que a incorporação, de sistemas eletrônicos de ignição mapeada e injeção multiponto de combustível com controle da mistura por retroalimentação, possibilitou um ganho muito mais expressivo no ciclo urbano do que no ciclo estrada, no qual, em 1985, os motores trabalhavam com mistura pobre.

### 2.2.3. Revistas especializadas

Várias revistas especializadas em veículos realizam avaliações de consumo nos modelos lançados pelas montadoras, seguindo ciclos e procedimentos próprios que em certa medida representam uma utilização média dos veículos. A título de comparação com os valores apresentados no programa de etiquetagem, a **Tabela 4** reúne os resultados divulgados pela revista *Autoesporte*<sup>(14)</sup> para os modelos comuns.

Embora os resultados de consumo divulgados pela revista apresentem certa correlação com os resultados do programa de etiquetagem, as diferenças de consumo energético entre etanol e gasolina nos ciclos correspondentes são muito discrepantes. Enquanto nos ciclos de teste padronizados e realizados em laboratório o consumo energético de etanol foi em média 1,5% superior ao de gasolina, nos testes da revista, realizados em condições mais representativas do uso normal, ele foi 11% inferior. Vale observar que a diferença de densidade energética, entre a gasolina C disponível nos postos e a utilizada nos ensaios normalizados de consumo e emissões, foi considerada no cálculo dos consumos energéticos. A redução média de consumo energético de etanol em relação à gasolina passa a ser de 7,5%, quando se consideram os resultados de todos os modelos de veículos flexíveis ensaiados e divulgados pela mesma revista, incluídos os veículos de primeira geração. Resultados semelhantes de redução são obtidos ao se analisarem os dados da *Folha de S.Paulo* ou do sítio *Carsale.uol* que se baseiam em testes de rua e estrada realizados pelo Instituto Mauá de Tecnologia. Portanto, embora os testes de campo possam carecer do rigor da ABNT NBR: 7024, eles indicam ao menos alguma falta de representatividade do teste padrão. Duas possíveis explicações para essa diferença no consumo energético etanol-gasolina entre os ciclos são: as diferenças de extensão dos ciclos e conseqüentemente da importância que as partidas e a fase fria representam; e o não aproveitamento, no ciclo normalizado, do maior torque do motor operando com etanol para reduzir as rotações de troca de marchas.

**Tabela 4** Comparação entre dados do Programa de Etiquetagem e da revista *Autoesporte*

Modelo	Quilometragem por litro						Variação de Consumo Energético Etanol/Gasolina		
	Ciclo Urbano		Ciclo Rodoviário		Ciclo Autoesporte		Urbano	Rodoviário	Autoesporte
	Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina			
Celta 1.0 L	10,0	14,5	12,8	17,8	11,2	14,4	0,5%	-3,6%	-9,8%
Mille 1.0 Economy	10,8	15,7	13,2	19,2	12,7	14,4	0,7%	0,8%	-20,5%
Palio 1.4 L	8,8	13,0	10,8	16,0	10,0	13,2	2,4%	2,7%	-7,4%
Corsa 1.4 L	8,6	13,0	11,7	18,0	11,4	14,6	4,8%	6,6%	-10,2%
Gol 1.0	9,5	13,9	13,5	19,9	12,6	14,4	1,4%	2,2%	-19,9%
Gol 1.6	9,1	13,4	13,2	19,3	9,0	12,2	2,0%	1,3%	-4,9%
Polo 1.6	9,5	13,8	14,9	21,2	8,7	11,3	0,7%	-1,4%	-8,9%
Civic 1.8 Autom.	8,2	12,0	12,8	18,6	9,1	11,6	1,4%	0,7%	-10,6%

### Anexo 1 Resultados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular – 2009

Marca	Modelo	Versão	Motor	Transmissão Velocidade Manual (M) Automática (A)	Ar Cond. Sim (S) Não (N)	Direção assistida Hidráulica(H) Manual(M) Elétrica (E) Eletro-hidr.(EH)	Combust. Etanol (E) Gasol (G) Flex (F)	Quilometragem por litro			Classific. 2009	Categoria Inmetro Área (m²)	
								Cidade (Ciclo Urbano)	Estrada (ciclo rodoviário)	Gasolina (km/l)			Etanol (km/l)
Chevrolet	Celta 2P	Life, Spirit e Super	1.0 L	M 5	N	M	F	10,0	14,5	12,8	17,8	C	
Chevrolet	Celta 4P	Life, Spirit e Super	1.0 L	M 5	N	M	F	10,0	14,5	12,8	17,8	C	
Chevrolet	Celta 4P	Life, Spirit e Super	1.4 L	M 5	N	M	F	9,6	14,2	12,8	19,1	C	
Fiat	Mille Way Ec.	1.0 Flex	1.0 8V Fire	M 5	N	M	F	10,8	15,7	13,2	19,2	A	
Fiat	Palio 2P ELX	1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	S	H	F	8,8	13,0	10,8	16,0	E	< 6,5
Fiat	Palio 4P ELX	1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	S	H	F	8,8	13,0	10,8	16,0	E	
Fiat	Palio 2P 1.8R	Flex	1.8 8V	M 5	S	H	F	7,7	11,2	10,1	15,0	E	
Fiat	Palio 4P 1.8R	Flex	1.8 8V	M 5	S	H	F	7,7	11,2	10,1	15,0	E	
Kia	Picanto	EX3, LX3	1,0	M 5	S	E	G		16,2		21,0	A	
Kia	Picanto	EX3, LX3	1,0	A 4	S	E	G		15,8		20,8	A	
Chevrolet	Classic	Life, Spirit e Super	1.0 L	M 5	S	H	F	8,7	13,0	12,0	18,0	D	
Chevrolet	Corsa	Joy, Maxx e Prem.	1.4 L	M 5	S	H	F	8,6	13,0	11,7	18,0	D	
Chevrolet	Prisma	Joy e Maxx	1.0 L	M 5	N	M	F	9,7	14,4	12,8	18,4	B	
Chevrolet	Prisma	Joy e Maxx	1.4 L	M 5	S	H	F	9,0	13,4	12,4	18,6	C	
Fiat	Idea	ELX 1.4 Flex	1.4 8V Fire	M 5	S	H	F	8,1	11,8	10,8	15,7	E	
Fiat	Punto	1.4 Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	N	H	F	8,9	13,2	11,2	17,0	C	
Fiat	Siena	Novo HLX 1.8 Flex	1.8 8V	M 5	S	H	F	7,8	11,7	10,3	15,6	E	
Honda	Fit	LX, LXL	1.4L - 16V	M 5	S	E	F	9,8	14,8	12,3	18,6	A	
Honda	Fit	LX, LXL	1.4L - 16V	A 5	S	E	F	9,2	14,0	11,8	18,2	B	
Honda	Fit	EX, EXL	1.5L - 16V	M 5	S	E	F	9,2	13,7	11,6	17,3	C	
Honda	Fit	EX, EXL	1.5L - 16V	A 5	S	E	F	9,0	13,5	12,0	17,6	C	
Volkswagen	Gol	1.0 L	1,0	M 5	S	H	F	9,5	13,9	13,5	19,9	A	
Volkswagen	Gol	1.6 L, 1.6 Power	1,6	M 5	S	H	F	9,1	13,4	13,2	19,3	B	
Volkswagen	Polo	BlueMotion	1,6	M 5	S	E-H	F	9,5	13,8	14,9	21,2	A	
Honda	Civic	LXS	1.8L - 16V	M 5	S	H	F	8,3	12,3	11,8	17,5		
Honda	Civic	LXS, EXS	1.8L - 16V	A 5	S	H	F	8,2	12,0	12,8	18,6		7,0 a 8,0
Volkswagen	Voyage	1.0 L	1,0	M 5	S	H	F	9,5	13,9	13,5	19,9		
Volkswagen	Voyage	1.6 L, Trend, Comfor.	1,6	M 5	S	H	F	9,1	13,4	13,2	19,3		
Fiat	Linea	T-JET 16V TURBO	1.4 16V T-JET	M 5	S	H	G		11,5		14,3		>8,0
Kia	Carnival	EX2, LX2	3,8	A 5	S	H	G		7,8		10,6		
Fiat	Strada	Nova Trekking Flex	1.4 8V Fire HP	M 5	N	H	F	8,9	13,2	10,5	15,7		

## Anexo 2 Resultados do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular – 2009

Marca	Modelo	Diâmetro dos Cilindros (mm)	Curso dos Pistões (mm)	Taxa de Compr.	Potência Máxima Alcool/ gasolina (CV)	Rotação do Potência Máxima (rpm)	Velocidade de Pistão em Potência Máxima (m/s)	Torque Máximo Alcool/ gasolina (m.kgf)	Rotação de Torque Máximo (rpm)	Peso do Veículo (kg)	Capacidade do Tanque de Combustível (litro)	Potência Máxima (CV)	Potência/Peso (kW/ton)	Consumo energético de AEHC/ gasolina C	
														ciclo urbano	ciclo rodoviário
Chevrolet	Celta 2P	71,1	62,9	12,6	7877	6400	13,4	9.7/9,5	5200	860	54	78,0	66,7	0,5%	3,6%
Chevrolet	Celta 4P	71,1	62,9	12,6	7877	6400	13,4	9.7/9,5	5200	890	54	78,0	64,5	0,5%	3,6%
Chevrolet	Celta 4P	77,6	73,4	12,4	10599	6000	14,7	13.4/13,2	2800	890	54	105,0	86,8	2,5%	3,4%
Fiat	Mille Way Econ.	70	64,5	11,6	6566	6000	12,9	9.2/9,1	2500	830	50	66,0	58,5	0,7%	0,8%
Fiat	Palio 4P ELX	72	84	10,35	8685	5750	16,1	12.5/12,4	3500	981	48	86,0	64,5	2,4%	2,7%
Fiat	Palio 4P ELX	72	84	10,35	8685	5750	16,1	12.5/12,4	3500	981	48	86,0	64,5	2,4%	2,7%
Fiat	Palio 2P 1.8R	82	85	10,5	114/112	5500	15,6	18.5/17,8	2800	1025	48	114,0	81,8	0,8%	2,9%
Fiat	Palio 4P 1.8R	82	85	10,5	114/112	5500	15,6	18.5/17,8	2800	1025	48	114,0	81,8	0,8%	2,9%
Kia	Picanto	67	77	10,1	64	5500	14,1	9,4	2800	840	35	64,0	56,1		
Kia	Picanto	67	77	10,1	64	5500	14,1	9,4	2800	840	35	64,0	56,1		
Chevrolet	Classic	71,1	62,9	12,6	7877	6400	13,4	9.7/9,5	5200	920	54	78,0	62,4	3,6%	3,9%
Chevrolet	Corisa	77,6	73,4	12,4	10599	6000	14,7	13.4/13,2	2800	1045	44	105,0	73,9	4,8%	6,6%
Chevrolet	Prisma	71,1	62,9	12,6	7877	6400	13,4	9.7/9,5	5200	921	54	78,0	62,3	2,9%	-0,4%
Chevrolet	Prisma	77,6	73,4	12,4	10599	6000	14,7	13.4/13,2	2800	921	54	105,0	83,9	3,2%	3,9%
Fiat	Idea	72	84	10,35	8685	5750	16,1	12.5/12,4	3500	1180	48	86,0	53,6	1,0%	0,7%
Fiat	Punto	72	84	10,35	8685	5750	16,1	12.5/12,4	3500	1090	60	86,0	58,1	2,8%	5,2%
Fiat	Siena	82	85	10,5	114/112	5500	15,6	18.5/17,8	2800	1080	48	114,0	77,7	3,9%	5,0%
Honda	Fit	73	80	10,5	101/100	6000	16,0	13/13	4800	1116	42	101,0	66,6	4,7%	4,8%
Honda	Fit	73	80	10,5	101/100	6000	16,0	13/13	4800	1116	42	101,0	66,6	5,5%	6,9%
Honda	Fit	73	89,4	10,4	116/115	6000	17,9	14.8/14,8	4800	1141	42	116,0	74,8	3,2%	3,4%
Honda	Fit	73	89,4	10,4	116/115	6000	17,9	14.8/14,8	4800	1141	42	116,0	74,8	3,9%	1,6%
Volkswagen	Gol	67,1	70,6	13	7672	6250	14,7	10.6/9,7	3850	934	55	76,0	59,9	1,4%	2,2%
Volkswagen	Gol	76,5	86,9	12,1	104/101	5250	15,2	15.6/15,4	2500	944	55	104,0	81,1	2,0%	1,3%
Volkswagen	Polo	76,5	86,9	12,1	104/101	5250	15,2	15.6/15,4	2500	1079	45	104,0	70,9	0,7%	-1,4%
Honda	Civic	81	87,3	11,5	140/138	6200	18,0	17.7/17,5	4300/5000	1260	50	140,0	81,8	2,7%	2,8%
Honda	Civic	81	87,3	11,5	140/138	6200	18,0	17.7/17,5	4300/5000	1260	50	140,0	81,8	1,4%	0,7%
Volkswagen	Voyage	67,1	70,6	13	7672	6250	14,7	10.6/9,7	3850	970	55	76,0	57,7	1,4%	2,2%
Volkswagen	Voyage	76,5	86,9	12,1	104/101	5250	15,2	15.6/15,4	2500	1021	55	104,0	75,0	2,0%	1,3%
Fiat	Linea	72	84	9,8	152	5500	15,4	21,1	2250/4500	1305	60	152,0	85,7		
Kia	Carnival	96	87	10,4	242	6000	17,4	35	3500		80	242,0			
Fiat	Strada	72	84	10,35	8685	5750	16,1	12.5/12,4	3500	1051	58	86,0	60,2	2,8%	3,6%

Resumindo o conjunto dos resultados oficiais de consumo dos automóveis desde meados da década de 1980, com base na normalização existente, pode-se afirmar que os veículos a etanol experimentaram grande evolução no ciclo urbano (20%) e menos significativa no ciclo estrada (5%), concomitantemente com um aumento de 10% na relação potência/peso do veículo e enorme redução da emissão de poluentes por quilômetro percorrido, estimada em: CO – 36 vezes; HC – 15 vezes; NOx – 17 vezes; e RCHO – 11 vezes. Apesar disso, os ganhos foram consideravelmente menores que os obtidos pelos veículos movidos a gasolina que apresentavam elevados consumo e emissão de poluentes no início do período. Portanto, nos últimos 24 anos, as vantagens originais dos motores a etanol – eficiência energética 15% maior e emissão de poluentes 30% menor que a dos motores a gasolina, em 1985 – foram anuladas ou transformadas em desvantagens. O consumo energético dos veículos novos a etanol é em média 2% superior aos modelos correspondentes a gasolina. Além disso, a emissão média dos poluentes CO, HC e NOx após o catalisador em veículos novos não amaciados é cerca de 10% superior à da gasolina e a emissão de aldeídos 4,6 vezes maior que a dos veículos operando a gasolina. Vale realçar que os resultados das emissões de CO, HC e NOx divulgados pela Anfavea para os modelos 2009, considerando os resultados oficiais de homologação de modelos e o efeito da durabilidade do catalisador para 80.000 km, são em média favoráveis ao etanol.

Os resultados práticos de consumo veicular, conforme ensaiados e divulgados pelas revistas do setor automobilístico, indicam eficiência energética bastante superior quando da utilização do etanol em comparação com a gasolina. Tal fato aponta para a necessidade de questionar se o teste normalizado é representativo de um “uso médio” no país e o que deveria ser feito para assim torná-lo. Um aspecto que poderia ser incorporado, ainda no contexto da ABNT NBR: 7024, seria a permissão para que as rotações de troca de marcha fossem diferentes nas operações com etanol ou gasolina em um mesmo modelo de veículo flexível.

### 2.3. Possibilidades futuras

Conceitualmente, o limite de desenvolvimento de um motor flexível é aquele que garante, para cada uma das misturas específicas com as quais o motor pode operar, o mesmo desempenho, consumo, emissão de poluentes e durabilidade de motores hipotéticos que tivessem sido otimizados para cada mistura específica. Entretanto, de maneira pragmática, a evolução da tecnologia flexível é determinada por aspectos técnico-econômicos que dependem de quanto os consumidores estão dispostos a pagar no momento da compra de um determinado modelo, para ter o benefício da redução das despesas com combustível, da diferença em desempenho ou da emissão dos poluentes, durante a vida útil do veículo. No contexto brasileiro, os modelos populares, que apresentam volume de produção capaz de suportar desenvolvimentos intensivos em engenharia, são justamente aqueles que apresentam restrições para qualquer acréscimo de preço decorrente de partes ou componentes que necessitem ser incorporados. No que segue, serão apontadas as tecnologias que, se utilizadas, promoveriam a evolução dos veículos flexíveis no sentido de aproximá-los do “ótimo” conceitual, sem, contudo, considerar a viabilidade econômica de sua implantação.

Uma vez que o desenvolvimento dos motores básicos, os quais acabam sendo aplicados como motores flexíveis, ainda tem, via de regra, sido feito no exterior utilizando gasolina como combustível, as discussões seguin-

tes são apresentadas segundo a perspectiva de tornar os veículos flexíveis mais adequados para o etanol.

O que mais dificulta o uso de etanol em motores de ignição por centelha (e que demanda melhorias urgentes) é a partida e operação a frio. A volatilidade limitada do etanol a baixas temperaturas dificulta o atendimento dos limites de emissões das fases mais recentes do Proconve, além de prejudicar o consumo de etanol quando comparado ao de gasolina. A solução de aquecer o combustível eletricamente e melhorar sua nebulização pelo uso de injetores com orifícios de menor área (maior número de orifícios ou aumento da pressão de injeção) para evitar a injeção de gasolina na partida a frio, conforme lançamento apresentado pela Volkswagen em sua quarta geração de veículos flexíveis, no Polo E-Flex, caminha no sentido desejado. A utilização de sensores de oxigênio que começam a responder em temperaturas mais baixas, assim como de conversores catalíticos instalados mais próximos das válvulas de escapamento para se aquecerem mais rapidamente, são inovações esperadas para as próximas gerações de veículos flexíveis. Outras soluções tecnológicas inovadoras poderão surgir tanto para reduzir o tempo de aquecimento da câmara de combustão como para reduzir ainda mais o tempo de entrada em operação do catalisador.

Outra característica importante que diferencia o etanol da gasolina, e que merece ser mais explorada nos veículos flexíveis, é sua maior resistência à autoinflamação. Essa maior “octanagem” possibilita aumentar a taxa de compressão do motor e obter maior rendimento térmico. O uso de sistemas que permitam variar os ângulos de abertura e fechamento das válvulas de admissão possibilitaria variar a taxa de compressão efetiva do motor, aproveitando mais o limite de autoinflamação do combustível particular que está sendo utilizado. A utilização de motores de baixa cilindrada sobrealimentados em aplicações típicas de motores maiores pode ser uma excelente oportunidade de valorizar a alta octanagem e o calor latente de vaporização do etanol. A injeção direta de etanol na câmara de combustão, além de facilitar a partida a frio conforme mencionado, possibilitaria o aproveitamento inteligente da característica antidetonante do etanol, quer seja somente através do injetor na câmara de combustão, quer seja combinado com um injetor na porta de cada cilindro (Cohn et al., 2008) Especialistas estimam que a adoção desse conceito poderia trazer economia no consumo da ordem de 20% a 30%. Na linha de valorizar as características de vaporização do etanol, a introdução de coletores de admissão com aquecimento controlado conforme a proporção de etanol no combustível, assim como o controle da temperatura da água do motor, deve se tornar mais comum nas próximas gerações de veículos flexíveis.

Mais um aspecto que requer atenção no encaminhamento para a redução do consumo de combustível dos motores flexíveis, é o uso de misturas mais diluídas na câmara de combustão por meio do uso de válvulas EGR, de modo à melhor aproveitar a propriedade de propagação de chama do etanol, sem alterar a mistura estequiométrica necessária ao funcionamento do catalisador de três vias.

### ► 3. Motociclos flexíveis

#### 3.1 Tecnologia e conceitos

O mercado de veículos de duas rodas tem crescido rapidamente no Brasil e se compõe sobretudo de moto-

ciclos de baixa cilindrada (de 100 cc a 250 cc) movidos com gasolina C. Levantamentos do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran) e da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (Abraciclo) indicam que em 2008 foram licenciados no país 1.925.514 motocicletas (motocicletas, motonetas e ciclomotores), representando aumento de 12,7% em relação a 2007, o que elevou a frota a 13.084.148 unidades. Admitindo um consumo médio de 27 km/l, uma quilometragem média anual de 9.000 km e um teor de 25% de etanol anidro na gasolina, o consumo de etanol dessa frota atingiu 1,1 bilhão de litros em 2008. Entretanto, esse cenário de consumo de etanol pode mudar rapidamente à semelhança do que aconteceu no mercado de quatro rodas com a introdução de veículos com motores flexíveis. Seis anos após o lançamento do Gol Total Flex, a Honda lançou em março de 2009 a CG 150 Titan Mix, uma versão flexível de seu mais popular modelo, a CG 150 Titan, que vendeu 442.000 unidades em 2008 (23% das vendas de motocicletas no país).

A versão Mix conquistou 12,3% das vendas do setor em apenas quatro meses (66,7 mil unidades comercializadas de março a junho de 2009). O sucesso da primeira moto do mundo com motor flexível era esperado, pois o usuário pode escolher qual combustível – gasolina ou etanol – irá utilizar, de acordo com suas necessidades, principalmente econômicas. Dados de uma pesquisa de campo realizada pela UNICA em 2008, com mais de 500 usuários de motocicletas, indicaram que cerca de 15% dos entrevistados já tinham usado ou estavam usando apenas etanol em seus veículos. O universo pesquisado, composto principalmente por motoqueiros e usuários permanentes de motocicletas para locomoção diária, revelou ser muito sensível ao preço do combustível, o que estaria levando um número significativo de usuários a fazer conversões caseiras para viabilizar o uso exclusivo de etanol.

Motores de baixa cilindrada são simples (monocilíndricos, quatro tempos, refrigerados a ar e comando de válvulas no cabeçote com balancim) e alimentados por um carburador básico. Por isso, favorecem conversões caseiras para o uso de etanol, feitas com a mudança do gicleur original do carburador por um de maior calibre, para possibilitar maior volume de etanol no motor, e uma nova combinação de regulagem dos parafusos de marcha lenta e de ar. Entretanto, essas conversões frequentemente resultam em falhas de combustão, perda de desempenho, uso ineficiente do combustível, aumento na emissão de poluentes e desgaste prematuro do próprio carburador e outros componentes não apropriados ao uso do etanol hidratado.

A moto flex responde às demandas do mercado e evita a necessidade desse tipo de conversão, apresentando resultados satisfatórios no seu uso. Reedita, com alguns avanços tecnológicos, algumas das soluções desenvolvidas em 1982 para a CG 125 a etanol que chegou a ser produzida no país. O bocal interno do tanque possui tela antichamas, para evitar a propagação de fogo de fora para dentro do tanque; o filtro de combustível secundário possui maior capacidade de retenção e evita o entupimento precoce da bomba; o sistema de partida foi adequado para atender às necessidades de partida a frio com etanol; o tratamento interno do tanque, a bomba de combustível e o potenciômetro do marcador de combustível foram adequados ao uso do etanol.

Diferentemente de sua antecessora a etanol, equipada com um subtanque abastecido com gasolina para partida a frio em qualquer temperatura, a versão flex requer que em situações de temperatura ambiente

abaixo dos 15° C o tanque da motocicleta (16,1 litros) contenha cerca de 20% de gasolina para que se garanta a partida a frio nessas condições. Com o objetivo de auxiliar o usuário quanto à partida a frio, a motocicleta possui um mecanismo de alerta por lâmpadas em seu painel de instrumentos.

O sistema Mix, embora conceitualmente semelhante aos sistemas adotados nos veículos flex, é mais simples. É coordenado por um módulo de controle eletrônico do motor (CEM), interligado a sensores que monitoram o desempenho do motor e transmitem informações sobre a mistura que está sendo utilizada. Os sensores utilizados registram a pressão no coletor de admissão, a posição da borboleta do acelerador, a temperatura do ar de admissão, a temperatura do óleo lubrificante e o teor de oxigênio no gás de escape do motor. De acordo com os dados fornecidos por esses sensores, o CEM seleciona um dos seguintes programas de funcionamento:

**Programa 1:** Tanque abastecido com gasolina;

**Programa 2:** Tanque contendo gasolina e álcool na mesma proporção;

**Programa 3:** Tanque contendo maior quantidade de álcool;

**Programa 4:** Tanque abastecido apenas com álcool.

O sensor de oxigênio, localizado no coletor de gases de escape do motor, é o principal responsável pelo funcionamento do sistema. Com base no programa selecionado, o CEM transmite as informações ao bico injetor (com oito furos, enquanto que a versão convencional a gasolina tem seis furos), que fornece a quantidade adequada de combustível para a combustão, e regula o ponto de ignição – adiantando-o no caso do etanol e atrasando-o no caso da gasolina.

Equipada com conversor catalítico para redução da emissão de gases poluentes, a versão flex atende com folga aos limites de emissões estabelecidos pela terceira fase do Promot (Programa de Controle de Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares), equivalente à atual fase da legislação europeia, conforme mostrado na **Tabela 5**.

Como o Promot não estabelece limites para a emissão de aldeídos, esse poluente ainda não é regulamentado, entretanto analogamente ao que é observado nos veículos de quatro rodas flex, equipados com injeção eletrônica e conversor catalítico, essa emissão deve ser baixa, da ordem de 0,03 g/km ou menos.

Tabela 5

Emissão de poluentes da CG 150 Titan Mix

Poluente	Limite de emissões Promot 3 (g/km)	Emissões (g/km)		Diferença entre as emissões e o limite Promot 3 (%)	
		Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol
CO	2	0,658	0,444	-67,10%	-77,80%
HC	0,8	0,146	0,143	-81,80%	-82,10%
NOx	0,15	0,068	0,102	-54,70%	-32,00%

Adotando a estratégia de não alterar a taxa de compressão utilizada na versão a gasolina, de 9,5:1, a versão flex apresenta ligeiro aumento na potência e no torque com etanol. Enquanto a motocicleta desenvolve 1,32 kgf.m de torque a 6.500 RPM e 14,2 cv de potência a 8.500 RPM quando abastecida com gasolina, esses valores sobem para 1,45 kgf.m e 14,3 cv, respectivamente, com etanol. Em termos de consumo de combustível, a Honda e revistas especializadas informam que com etanol é possível atingir de 3,7 a 3,4 l/100 km (27 a 29 km/l) enquanto que com gasolina o consumo varia de 2,9 a 2,6 l/100 km (35 a 39 km/l), correspondendo a um consumo 30% maior com etanol, o que corresponde a um bônus energético de cerca de 7%.

Além da Honda, sistemistas como a Delphi e a Magneti Marelli anunciaram ter desenvolvido a tecnologia flex para motocicletas. Considerando a boa resposta do mercado ao lançamento da Honda, acredita-se que o conceito flex pode ter o mesmo sucesso no mercado de duas rodas que o verificado para os veículos de quatro rodas. Como se trata de veículo de baixo custo e conceito inovador, além de suprir o mercado interno, pode representar oportunidade de exportação para diversos países, com potencial de fomentar o consumo de etanol em outros mercados.

### 3.2. Evolução da aplicação

Como acontece em todos os casos em que inovações tecnológicas são adotadas em uma nova aplicação, é necessário passar por uma curva de aprendizado antes que a tecnologia chegue a sua maturidade. No caso dos motocicletas flexíveis, embora ainda seja cedo para se fazer projeções sobre os rumos que a tecnologia pode tomar, é possível afirmar que algumas das inovações adotadas nos veículos de quatro rodas poderiam também ser adotadas em motocicletas. Exemplos de melhorias incrementais de aplicação rápida incluiriam aumento na taxa de compressão e refinamento dos mapas de operação do motor para otimização da injeção e ignição de combustível.

## ► 4. Substituição de diesel

### 4.1 Considerações iniciais

Quando se trata do uso de derivados de petróleo em motores de combustão interna, estão bem estabelecidas as vantagens competitivas dos motores de ignição por compressão (motores Diesel) para aplicações de maiores potências e de serviço pesado, e a dos motores de ignição por centelha (motores Otto) nas aplicações de menor potência e de uso menos intenso. Tais diferenças se devem sobretudo à maior eficiência energética dos motores do ciclo Diesel (cerca de 20% em relação aos motores Otto para aplicações veiculares) em contraposição ao menor custo de fabricação dos motores do ciclo Otto para a mesma faixa de potências, uma vez que o custo por unidade de energia dos respectivos combustíveis (óleo diesel e gasolina) são mais ou menos os mesmos.

Quanto à emissão de poluentes atmosféricos locais, embora o motor Diesel emita menor massa de poluentes por unidade de trabalho útil, os sistemas de pós-tratamento de gases tornam as aplicações com motores Otto,

de ignição por centelha, menos poluentes por unidade de trabalho que aquelas com motores de ignição por compressão. Em particular, grande parte da poluição de grandes centros urbanos é atribuída às emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado provenientes de veículos com motor Diesel. Em contraposição, a emissão de gases de efeito estufa por unidade de trabalho útil é menor para motores do ciclo Diesel do que para motores do ciclo Otto, em função da maior eficiência energética dos primeiros, se ambos estiverem funcionando com os derivados de petróleo para os quais foram desenvolvidos.

Por outro lado, conforme já discutido, as propriedades físico-químicas do etanol, principalmente a volatilidade e alta resistência à autoinflamação, o tornam um combustível ideal para motores de ignição por centelha, da mesma maneira que os óleos vegetais e seus derivados, como o biodiesel, são mais adequados para motores de ignição por compressão. Quando motores do ciclo Otto são otimizados para o uso de etanol, seu rendimento energético é superior ao de motores do mesmo ciclo otimizados para o uso de gasolina. Já no caso dos motores de ciclo Diesel, seu rendimento energético pouco varia quando eles são otimizados para diferentes combustíveis, embora as dificuldades de adaptação dos motores possam ser muito diversas conforme os combustíveis. No caso do etanol as modificações necessárias são grandes enquanto para o biodiesel são quase nulas.

Portanto, em um mercado de combustíveis líquidos para motores, que em termos globais se mantivesse equilibrado e dominado pelos combustíveis derivados de petróleo – gasolina e óleo diesel – faria mais sentido utilizar o etanol como substituto da gasolina e extrair maior percentual de óleo diesel do petróleo para seu uso em motores de ignição por compressão. Como na maioria dos países os tributos incidentes sobre a gasolina (mais utilizada no transporte individual) são mais elevados que sobre o óleo diesel (mais utilizado em transportes coletivos e de carga), poderíamos concluir que o mercado global não tem lugar para o uso do etanol nas aplicações dominadas pelo óleo diesel.

No entanto, os mercados locais estão longe de serem perfeitos e equilibrados e o etanol apresenta uma excelente propriedade – redução significativa de emissões de carbono – fundamental para políticas de mitigação de gases de efeito estufa, o que cria oportunidades de uso de etanol na substituição parcial ou total de óleo diesel.

No Brasil, e sobretudo no Estado de São Paulo, a relação de preços entre etanol, gasolina e óleo diesel é tal que a possibilidade não pode ser descartada. Do ponto de vista energético é necessário 1,72 litro de etanol hidratado ou 1,22 litro de gasolina C para substituir 1 litro de óleo diesel. Assim, admitindo-se que, no médio prazo, o preço do diesel será mantido na faixa de 85% a 90% do preço da gasolina C, toda vez que o preço do etanol cair abaixo de um piso de 49% a 52% do preço da gasolina nos postos de abastecimento, passa a existir potencial econômico, mas não necessariamente técnico, para que consumidores utilizem etanol em vez de diesel. É oportuno mencionar que a relação de preços entre etanol hidratado e gasolina C que viabiliza economicamente o uso do primeiro na frota de veículos flexíveis é de 70%, o que mostra quão longe do equilíbrio tem estado o mercado.

Quando se consideram os preços de venda do etanol hidratado (sem tributos) e o preço de compra do óleo diesel pelo setor sucroalcooleiro, a oportunidade de substituição fica mais clara e se mostra vantajosa quando a razão de preços etanol/gasolina nos postos cai abaixo de 77% a 81%, para as mesmas razões apontadas

de preço diesel/gasolina C. Mesmo quando se supõe o etanol sendo utilizado em motores de ignição por centelha, que tem menor rendimento energético que os motores de ignição por compressão, esses limites ficam em torno de 65%. Tal fato mostra que a substituição do diesel pelo etanol no setor sucroalcooleiro tem grande potencial econômico, o qual pode ser inclusive superior ao de substituição da gasolina C pelo etanol hidratado nos veículos flexíveis.

Dentro dessa realidade de preços, fica patente a necessidade de desenvolver alternativas técnicas para uso de etanol em substituição ao diesel. Em junho de 2009, os preços médios dos combustíveis por unidade de energia nas distribuidoras em São Paulo foram: etanol hidratado - R\$44/GJ<sup>(B)</sup>; óleo diesel - R\$52/GJ; e biodiesel - R\$70/GJ<sup>(B)</sup>. O elevado incentivo ao biodiesel ilustra a importância que vem sendo dada para se conseguir um substituto renovável para o óleo diesel, que nesse caso pode ser utilizado na frota existente.

Três aplicações típicas de motor Diesel foram consideradas mais promissoras para uso de etanol, a saber:

- ônibus, microônibus e vans para transporte urbano de passageiros;
- pequenos caminhões e furgões de entrega urbana;
- máquinas agrícolas e veículos de transporte de carga no setor sucroenergético.

#### **4.2. Ônibus, microônibus e vans para transporte urbano de passageiros**

A primeira aplicação apresenta a vantagem de ter seu uso restrito a frotas cativas com o benefício adicional de redução da emissão de poluentes locais e ruído em ambiente urbano e, portanto, com potencial adequado para receber incentivos fiscais ou requisitos legais que facilitem sua viabilização. Nesse sentido, a lei nº 14.933/2009 do município de São Paulo, que institui a política de mudança de clima para o município, tem entre suas metas a redução mínima de 10% ao ano do uso de combustíveis fósseis em todos os contratos de transportes públicos, de modo a utilizar somente combustíveis renováveis em 2018.

#### **4.3. Pequenos caminhões e furgões de entregas urbanas**

A segunda aplicação apresenta vantagens similares às já mencionadas no que diz respeito a frotas cativas e redução de poluentes e ruído em ambiente urbano, mas é uma atividade essencialmente privada, o que dificulta a tomada de ação pelo poder público. Como vantagem técnica, há o fato de seus motores Diesel serem menores e, portanto, mais facilmente substituídos por motores Otto com vantagens econômicas, conforme exposto nas considerações iniciais.

#### **4.4. Máquinas agrícolas e veículos para transporte de carga no setor sucroenergético**

A terceira aplicação apresenta indiscutível viabilidade econômica e, portanto, oferece alguma margem para

o desenvolvimento de soluções técnicas otimizadas para etanol, que podem posteriormente ser utilizadas em outras aplicações.

## **4.5. Alternativas tecnológicas e potencial de evolução**

### **4.5.1 Transformação de motores Diesel pesados em motores Otto**

A alternativa de menor risco tecnológico para substituir óleo diesel por etanol é a troca de motores de ignição por compressão por motores de ignição por centelha. Embora na década de 80 essa solução tenha sido bastante utilizada sobretudo pelo setor sucroalcooleiro, hoje no mercado brasileiro não são oferecidos comercialmente motores Otto do porte necessário para serem utilizados em aplicações típicas de motor Diesel.

A solução, que requer investimento relativamente baixo, é transformar motores Diesel em motores Otto a etanol. Para tanto, são necessárias as seguintes modificações: alterações nos pistões para reduzir a taxa de compressão para valores compatíveis com etanol; substituição do sistema de injeção de diesel de alta pressão por um sistema de ignição no qual as velas são instaladas nas posições dos bicos injetores; adaptação de um sistema de injeção de motor Otto (baixa pressão), com os injetores no coletor de admissão instalados junto às portas dos cilindros; instalação de válvula borboleta para controlar o fluxo de ar de admissão; instalação de sensores de oxigênio, de detonação, de pressão absoluta na admissão; utilização de uma Unidade de Controle Eletrônico (ECU) programada conforme os requisitos de combustível e avanço de ignição do motor. Uma vez que a temperatura de escapamento de motores Otto é mais elevada que a de motores Diesel, podem ser necessárias modificações nas válvulas de escape e suas sedes.

A possibilidade de utilizar mistura estequiométrica e conversor catalítico de três vias fornece segurança de atendimento de limites de emissão de poluentes estritos, e o menor ruído do motor Otto é uma vantagem em muitas aplicações.

A desvantagem da alternativa é o aumento do consumo energético decorrente da menor eficiência do motor ciclo Otto em comparação ao Diesel. Essa desvantagem cresce para motores com pistões de maior diâmetro, em aplicações com grandes variações de carga e rotação e fortemente turbo-comprimidas, podendo variar de cerca de 15% a 40% conforme a utilização. Aplicações em ônibus urbanos grandes, em percursos com baixa velocidade média, devem se aproximar do limite superior. Para aplicações que não requeiram uso de conversores catalíticos de três vias, como máquinas agrícolas, pode-se utilizar mistura ar/combustível pobre e reduzir a desvantagem em cerca de 7%.

A MWM International e a FPT estão desenvolvendo soluções desse tipo para motores na faixa de 60kW e 200kW, respectivamente. A expectativa é que os motores tenham custo mais reduzido que os originais, pela eliminação dos sistemas de injeção de alta pressão e pelo fato de que o controle de emissões de motores Diesel para a próxima fase do Conama ser bastante mais complexo que o dos motores Otto. <sup>[7]</sup>

Novas possibilidades sendo pesquisadas sobretudo no exterior, como processos de combustão em baixa temperatura (HCCI e CAI), injeção direta na câmara, injeção de água, entre outras, poderão ajudar a reduzir o ônus energético da mudança de ciclo.

#### 4.5.2 Etanol aditivado em motores Diesel

Outra alternativa para o etanol, sem abrir mão da maior eficiência energética e robustez do motor de ignição por compressão, é utilizá-lo no motor de ciclo Diesel. Para tal, o etanol hidratado deve ser aditivado para atingir a lubrificidade que garanta a durabilidade do sistema de injeção de combustível e assegure a autoinflamação do combustível injetado na câmara de combustão do motor.

Essa solução foi bastante explorada no Brasil na década de 80, com aditivos promovedores de ignição à base de nitratos orgânicos e lubrificantes à base de óleo de mamona. A Scania, que assim como a Mercedes-Benz, propôs a alternativa, realizou testes de campo com ônibus e caminhões e comercializou veículos à época no Brasil, manteve o desenvolvimento na Suécia. De 1990 a 2007 foram comercializados 600 ônibus urbanos, que operam em Estocolmo e outras cidades da Suécia, com etanol hidratado e um aditivo do tipo etileno-glicol, com motor de taxa de compressão 24:1 e sistema especial de injeção Bosch<sup>18</sup>.

A reduzida emissão de poluentes tem permitido manter os veículos produzidos à frente dos requisitos ambientais europeus, sendo que a terceira geração de motores, com taxa de compressão de 28:1, satisfaz com folga os requisitos da legislação Euro V e atende a legislação EEV (*Environmentally Enhanced Vehicle*), mais restritiva que a Euro V.

Testes de demonstração da tecnologia foram realizados em São Paulo, como parte de uma iniciativa da União Européia, coordenada pela prefeitura de Estocolmo, envolvendo nove cidades em vários países, denominado projeto Best (*Bio-Ethanol for Sustainable Transport*). Os resultados de consumo energético de etanol no ônibus de demonstração têm sido equivalentes aos do veículo sombra que opera com óleo diesel.

O custo atual do aditivo e a necessidade de utilização de um motor modificado constituem-se nas principais desvantagens da tecnologia que, entretanto, por já estar aplicada em ônibus urbano, encontra grande oportunidade de viabilização em virtude da lei nº 14.933/2009.

#### 4.5.3 Etanol nebulizado em motores Diesel

O uso de etanol como substituto parcial do óleo diesel pode ser conseguido pela injeção de etanol no ar de admissão do motor Diesel, como se fosse um motor Otto, conjugada com a redução da quantidade de diesel injetada na câmara de combustão. A alternativa, que tem a vantagem de ser reversível, apresenta algumas dificuldades técnicas que limitam a fração de diesel possível de ser substituída. Em situações em que o motor opera com baixa carga e, portanto, só utiliza para a combustão uma fração pequena do ar admitido, uma

parte do etanol não queima e é carregada para fora da câmara pela válvula de escapamento. Em situações de carga elevada, que implicam em pressões e temperaturas elevadas no interior da câmara de combustão, o etanol fica sujeito à detonação, pois as taxas de compressão dos motores diesel são muito elevadas para o etanol. Portanto, é fundamental que se tenha um controle preciso da quantidade de etanol possível de ser injetada em cada condição de carga e rotação do motor, e de maneira coordenada com a quantidade de diesel.

Tanto a Bosch como a Delphi, que fornecem sistemas de injeção e controle para motores Otto e Diesel, têm trabalhado no desenvolvimento dessa alternativa para os fabricantes de motores. São utilizados dois tanques de combustível e dois sistemas de injeção separados, que só interagem eletronicamente, de modo que não há necessidade de desenvolver novos sistemas físicos complexos.

A porcentagem de diesel que pode ser substituída eficientemente depende da cilindrada unitária do motor e da intensidade de turbo-carregamento utilizada na aplicação. Em testes realizados pela Bosch em bancada dinâmométrica, em um motor de 2,8 litros, 4 cilindros turbo-carregado, a razão de substituição variou entre 12% e 57% conforme o ponto de operação <sup>[9]</sup>.

A utilização de sensores de detonação e eventualmente de válvula borboleta no coletor de admissão podem aumentar as razões de substituição da alternativa.

#### 4.5.4 Misturas de etanol, diesel e cossolvente

Outra possibilidade para a substituição parcial de diesel é a preparação de misturas de etanol em diesel, com a utilização de um cossolvente ou agente emulsificante, uma vez que a miscibilidade do etanol em diesel é baixa. Testes de laboratório e de campo demonstraram que os sistemas de injeção originais dos motores Diesel são bastante sensíveis à presença do etanol, apresentando desgaste ou cavitação em alguns componentes. Dependendo da configuração do motor, pode também ocorrer o fenômeno de tamponamento (*vapor lock*), cortando o suprimento de combustível ao motor, o que é um sério problema. Uma vez que o etanol é miscível em biodiesel (que em geral tem poucas limitações como combustível para motor Diesel), pode-se tentar utilizar uma mistura dos dois biocombustíveis, aproveitando-se as propriedades de lubrificidade do biodiesel e da “limpeza” da combustão do etanol. Entretanto, a elevação da pressão de vapor do combustível pela mistura do etanol pode provocar cavitação no sistema de injeção. O problema é que, conforme mencionado, o custo do biodiesel por unidade de energia é bastante superior ao do óleo diesel, fato que limita o alcance dessa alternativa.

### 5. Políticas públicas para acelerar o desenvolvimento das aplicações do etanol como combustível em veículos e motores

O sucesso do etanol brasileiro como combustível renovável substituto da gasolina é motivo de muito orgulho e de expectativa sobre um possível novo papel a ser cumprido pelo país no contexto internacional de redução das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, quando se observa a evolução detalhada da eficiência

energética e ambiental da utilização do etanol como combustível em comparação à da gasolina nos últimos trinta anos, verifica-se que os resultados poderiam ser melhores.

É nesse contexto que são necessárias políticas públicas que reforcem o estabelecimento de competência tecnológica nacional voltada para a utilização do etanol como combustível veicular, de modo a evitar que empecilhos ao seu uso neutralizem os ganhos de eficiência na sua produção.

### **5.1. Desafios ao desenvolvimento da tecnologia de motores no país**

Conforme demonstrado na seção sobre veículos de passageiros movidos a etanol, na primeira metade da década de 80 esses veículos apresentavam vantagens significativas em comparação aos veículos movidos a gasolina, no que diz respeito à eficiência energética e à emissão de poluentes locais. Essas vantagens, no entanto, foram anuladas ou transformadas em pequenas desvantagens.

Não é difícil compreender isso, quando se constata que o segmento automotivo é constituído por empresas multinacionais e que os combustíveis renováveis representam fração mínima dos combustíveis consumidos globalmente pelo setor de transportes. Nada mais natural, portanto, que os desenvolvimentos tecnológicos ocorridos nos últimos trinta anos, objetivando reduções de consumo de combustível e de emissões de poluentes, tenham sido baseados nos derivados de petróleo. A importância relativa do Brasil no mercado automotivo mundial era pequena e o uso do etanol como combustível veicular somente era visto como solução local. Com a adoção pelos Estados Unidos de programa de produção e utilização de etanol como principal substituto da gasolina naquele país, a engenharia de aplicação do etanol ganha novo impulso.

Os combustíveis renováveis já representam 19% da energia dos combustíveis utilizados no setor de transportes no Brasil, que também pretende exercer certa liderança internacional e servir de exemplo para outros países na produção e utilização de combustíveis renováveis. Fica, portanto, o desafio para a engenharia brasileira: não só adaptar para o etanol as tecnologias desenvolvidas para uso dos derivados de petróleo, mas também realizar desenvolvimentos tecnológicos baseados nas propriedades específicas do etanol para tornar sua utilização como combustível mais competitiva, ajudando a evitar que novas legislações limitem o uso de etanol no mercado global.

Considerando que o país responde por 4% dos veículos novos vendidos no planeta e que a engenharia automotiva brasileira representa uma fração ainda menor da engenharia automotiva mundial, o desafio é enorme e necessitará do apoio de políticas públicas para ser vencido.

### **5.2. Políticas comuns ao desenvolvimento das várias alternativas**

Para desenvolver uma competência nacional de nível internacional, dedicada à utilização de etanol como combustível veicular, é necessário estabelecer políticas públicas capazes de atuar em três diferentes níveis:

na formação de competência técnica (recursos humanos principalmente) para pesquisa e desenvolvimento; no estímulo e fortalecimento da engenharia automotiva nacional; e no incentivo junto ao usuário final do produto, de modo a valorizar a eficiência energética e sustentabilidade ambiental que se pretende atingir. Esse último nível de atuação deve ser específico para cada campo de aplicação de etanol.

### 5.2.1. Formação de pesquisadores

A pesquisa básica sobre novos processos de combustão em motores e novos combustíveis é realizada por universidades e institutos de tecnologia instalados nos países que lideram a indústria automobilística, que formam os pesquisadores que irão se dedicar à pesquisa e ao desenvolvimento dos novos motores que asseguram a evolução tecnológica do setor.

Para liderar o desenvolvimento na utilização de etanol em motores é fundamental que sejam incentivados grupos de pesquisa em universidades e institutos capazes de formar pesquisadores competentes na área de uso de etanol em motores. Possíveis tópicos a serem abordados compreendem: cinética da combustão do etanol em motores; visualização e simulação da combustão em motores; desenvolvimento e controle do processo HCCI (*homogeneous charge compression ignition*); desenvolvimento e controle do processo CAI (*controlled auto-ignition*); catalisadores especiais para produtos da combustão de etanol; etc. A formação de pesquisadores e, principalmente, a estruturação de um programa de pesquisa na área de motores de combustão devem ser objeto de uma política pública voltada para a parceria dos institutos de pesquisa e universidades com a indústria automobilística. Como os recursos financeiros são limitados, é importante concentrar os trabalhos em algumas instituições mais especializadas e melhor equipadas para evitar a pulverização desses recursos em projetos de baixo ou nenhum retorno prático.

### 5.2.2. Apoio ao desenvolvimento da engenharia de motores

Tanto as montadoras como seus principais fornecedores instalados no Brasil são empresas globais que procuram aproveitar particularidades regionais para traçar suas estratégias. Assim, várias dessas empresas estabeleceram seus centros de competência para combustíveis renováveis em suas filiais brasileiras, fato que deve ser aproveitado e incentivado por políticas públicas voltadas ao fortalecimento da engenharia automotiva dedicada à utilização do etanol. Apesar dos motores básicos, dos sistemas de controle dos motores e dos catalisadores serem desenvolvidos no exterior para utilização da gasolina, sua adaptação para o uso do etanol é em geral realizada no Brasil. Boa parte desses desenvolvimentos aplicados aos motores flexíveis é feita pelos sistemistas e fornecedores das montadoras.

Políticas públicas que incentivem financiamentos ao desenvolvimento de componentes e sistemas voltados para o uso de etanol, semelhantes ao Funtec do BNDES, ajudariam a atrair outros centros de competência na área para o país. Os projetos deveriam envolver vários atores da cadeia e institutos de pesquisa ou universidades, de modo a estabelecer uma competência nacional. Itens como catalisadores, anéis de pistão,

bombas de combustível, bicos injetores, sistemas de partida a frio etc, voltados para a utilização de etanol poderiam ser contemplados.

### 5.3. Aspectos específicos

#### 5.3.1. Veículos flexíveis

Um modo de promover a competição sadia entre as montadoras, para valorizar os veículos energeticamente mais eficientes no mercado perante o consumidor, é o Programa de Etiquetagem Veicular, coordenado pelo Inmetro. Entretanto, tal programa não diferencia combustíveis renováveis de combustíveis fósseis, fato que pode acabar por privilegiar veículos importados otimizados para gasolina. Com as regras vigentes do programa, porém, se uma montadora lançar um modelo dedicado ao etanol, ele terá uma vantagem de cerca de 3% (em virtude da maior octanagem do etanol), o que possivelmente lhe permitiria subir um nível na classificação.

Um programa de classificação de economia de etanol (resultados com gasolina ignorados), com eventual participação de entidades como IPT e Cetesb, com ampla divulgação pública, daria ênfase ao aspecto de otimização que se deseja promover.

Incentivos junto ao fabricante do veículo e ao usuário final, de modo a valorizar a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental que se pretende atingir. Um dos possíveis incentivos a serem adotados, e que tem se mostrado eficaz em outros países, é a desoneração fiscal seletiva em função do grau de economia de combustível e da redução nas emissões.

Uma política pública de renovação de frota seria muito efetiva para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e das emissões locais de poluentes e traria benefícios indiretos ao aumento da eficiência energética na utilização do etanol, pois novas gerações de veículos flexíveis seriam desenvolvidas. Vale mencionar que, com uma tonelada de CO<sub>2</sub> valorada a US\$ 20, a redução da emissão anual média de CO<sub>2</sub> por veículo flexível no país, supostamente operando com etanol 65% do tempo, poderia justificar um valor de IPVA nos veículos flexíveis um ponto percentual menor que nos veículos a gasolina.

Política pública de incentivo à exportação da tecnologia flexível fortalece o desenvolvimento da engenharia brasileira de motores, fato que auxilia no melhor aproveitamento do etanol como combustível. A exportação de veículos flexíveis para mercados de países em desenvolvimento importadores de petróleo e derivados pode ajudar a abrir novos mercados para exportação de etanol e/ou ajudar na transformação do etanol em *commodity*.

### 5.3.2. Motociclos flexíveis

Uma política pública voltada para renovação da frota de motocicletas, especificamente por motocicletas flexíveis, traria benefícios diretos para a redução da emissão de gases de efeito estufa, além de benefícios indiretos para o desenvolvimento da tecnologia de utilização de etanol em motores de baixa cilindrada. A mesma lógica de redução de IPVA para automóveis flexíveis pode ser aplicada aos motocicletas, assim como a de uma política pública de incentivo à exportação.

### 5.3.3. Substituição de diesel

Legislações ambientais voltadas à redução da emissão de CO<sub>2</sub> devem ser incentivadas a conter artigos referentes ao setor de transportes, tanto coletivo como individual. Mesmo valorizações conservativas da emissão evitada de CO<sub>2</sub> por veículos de transporte, que não utilizem combustíveis fósseis, podem justificar incentivos fiscais da ordem de 5% a 10% nos impostos (IPI e ICMS) sobre veículos novos. Outras possibilidades de apoio podem compreender subsídios diretos por tempo determinado e a compra de veículos antigos para forçar sua saída de circulação.

Uma vez que a utilização do etanol em substituição ao diesel é economicamente muito mais favorável no setor sucroalcooleiro do que em qualquer outro setor, a credibilidade de promover essa alternativa para outros mercados pode ficar prejudicada se o setor sucroalcooleiro não der o exemplo.

Para facilitar o desenvolvimento de alternativas tecnológicas, que sejam inicialmente aplicadas no setor sucroalcooleiro, sugere-se utilizar o poder de compra do setor de maneira coordenada junto aos fornecedores para estimular o desenvolvimento de projetos voltados para máquinas agrícolas e caminhões.

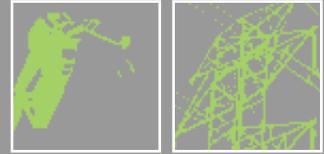
## ► 6. Referências bibliográficas

- Castro A. C. et al. *"Flexible ethanol Otto engine management system."* Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper no. 942400, 1994.
- Castro F.L.J. et al. *Alcohol Engines Conversion Shops: Operational Experience of the Technological Research Center – CAT/IPT – Proceedings Fifth International Alcohol Fuel Technology Symposium – Auckland, Nova Zelândia, 1982.*
- Cohn et al. *Fuel management system for variable ethanol octane enhancement of gasoline engines.* United States Patent Nr: 7,314,033 B2; January 1, 2008
- Conti, É. W. *Sistema Motronic Flex Fuel-* Seminário IPT "Alternativas para o uso flexível do álcool como combustível", março de 2000.
- Neto Messen A.T. et al. *Miscibilidade de Álcool Etílico, Gasolina e Água.* Anais do VII SIMEA – Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA). São Paulo, 1993.
- Pefley R.K et al. *A Feedback Controlled Fuel Injection System Can Accommodate Any Alcohol-Gasoline Blend – IV International Symposium on Alcohol Fuels Technology.* Guarujá, Brasil, 1980.

- [01] A legislação brasileira não estabelece a octanagem da gasolina A, mas a octanagem para a gasolina C é definida com base no Índice Antidetonante (IAD), sendo praticados os seguintes valores mínimos: gasolina comum: IAD 87; gasolina premium: IAD 91; gasolina podium: IAD 95. Em comparação, o etanol apresenta IAD 99,5 (valores para cálculo do IAD para etanol – RON e MON –obtidos de Owen, K. and Coley, T., *Automotive Fuels Reference Book*, pp. 591, segunda edição, Society of Automotive Engineers, 1995).
- [02] Redução da quantidade de combustível em relação à quantidade teórica de ar para combustão completa.
- [03] STI/MIC, Programa de Economia de Combustíveis para Veículos Leves de Motor do Ciclo Otto, Brasília, 1983.
- [04] *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo*, 2007. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente – Cetesb, 2008.
- [05] *Clean Air Act Amendments* (CAAA) de 1990, o *Energy Policy Act* (EPAct) de 1992 e o *Clean Fuel Fleet Program* (CFFP) de 1998.
- [06] Monnerat Jr., P. et al. *Software Flex-fuel Sensor* (SFS). Sensor lógico aplicado ao controle do motor utilizando variável percentagem de álcool. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper no. 2000-01-3218, 2000.
- [07] JOSEPH Jr., H. *New Advances on Flex-fuel Technology*. Painel do Ethanol Summit 2009; São Paulo, junho de 2009.
- [08] Conforme Resolução Conama nº 299 de outubro/2001.
- [09] *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo*, 2007. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente – Cetesb, 2008.
- [10] "Regulamento de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves com Motores do Ciclo Otto" - Anexo da Portaria Inmetro Nº391/2008
- [11] Sistema que faz o pós-tratamento dos gases de escapamento. Também conhecido como catalisador
- [12] <http://www.Anfavea.com.br/emissoes.html>
- [13] Portaria Inmetro nº391 – 04/11/2008 - "Regulamento de Avaliação da Conformidade para Veículos de Passageiros e Comerciais Leves com Motores do Ciclo Otto"
- [14] "Ranking Autoesporte: consumo médio", *Autoesporte*, 17/03/2009
- [15] Levantamento de Preços da ANP – junho 2009.
- [16] Resultado do 14º Leilão de Biodiesel (29/05/09) – ANP.
- [17] Ebeling G. – MWM International; Medeiros J.I. FPT - Apresentações no painel *Ethanol: New option for Diesel Engines – Ethanol Summit* 2009; São Paulo, junho de 2009.
- [18] Moreira J.R. – Best - Project and the expansion of ethanol sector in Brazil" – apresentação no painel *Ethanol: New option for Diesel Engines – Ethanol Summit* 2009; São Paulo, junho de 2009.
- [19] Salles E., Zambotti A. *An experimental study of diesel-ethanol combustion controlled electronically*. Simea, 2009, São Paulo.

07





# Políticas internacionais de biocombustíveis

Adriano Pires

Rafael Schechtman



*A produção mundial de biocombustíveis é crescente, somando, em 2008, cerca de 80 bilhões de litros, dos quais 67 bilhões de etanol. Entre 2000 e 2008, a oferta de etanol aumentou 18,6% ao ano e a de biodiesel, 37,3%. Trata-se de um mercado cujos produtores mais importantes de etanol são os Estados Unidos (34 bilhões de litros em 2008) e o Brasil (27 bilhões), ambos os países respondendo por cerca de 80% da produção mundial.*

*Apesar do aumento da produção, experiências em diversos países mostram que em geral o uso de biocombustíveis ainda não é competitivo com os derivados de petróleo, e depende de políticas públicas. Essas políticas não costumam ter êxito onde os derivados de petróleo são subsidiados ou onde a carga tributária não incorpora os custos das externalidades da produção e do uso dos fósseis.*

*Em todos os países (com exceção do Brasil, no caso do etanol) usam-se políticas de incentivo ao consumo, que se justificam por uma série de fatores, como maior segurança energética, redução de impactos ambientais e criação de novos mercados para produtos agrícolas.*

*Para promover o uso de biocombustíveis, há três principais instrumentos: mecanismos de comando e controle (padrões regulatórios, incluindo mandatos de consumo), medidas econômicas (incentivos financeiros, tributação diferenciada, certificados negociáveis) e restrições às importações.*

*Os Estados Unidos, por exemplo, aplicam em conjunto padrões regulatórios e incentivos financeiros, estabelecendo volumes obrigatórios de combustíveis renováveis. É fundamental na regulamentação levar em conta a taxa de redução de emissões na substituição do combustível fóssil pelo biocombustível. Hoje, a mistura de 10% de etanol na gasolina é obrigatória em alguns Estados americanos. Além disso, há incentivos fiscais para promover o uso de etanol americano, à base de milho, e barreiras tarifárias para as exportações brasileiras.*

*Quanto à União Europeia, responsável por dois terços da produção mundial de biodiesel, usa muito mais esse combustível, que tem fortes incentivos fiscais. No médio prazo, devido à restrições na oferta doméstica, a UE deverá importar quantidades maiores de etanol para atender o consumo crescente. Hoje, o etanol brasileiro sofre barreiras tributárias para entrar na UE.*

*Este estudo analisa as políticas de biocombustíveis também na Suécia, Reino Unido e Alemanha. Na Suécia, onde o uso do etanol é promovido compulsoriamente, metade dos modelos de veículos leves novos já era oferecida na versão flex em 2008. O Reino Unido, que promoveu até 2010 o biodiesel e etanol com redução de impostos, tornará obrigatória a comercialização de cotas crescentes de biocombustível. E a Alemanha, que em 2008 produziu, a partir de canola, 17% do biodiesel do mundo, acabou com a renúncia fiscal para a maioria dos casos, preferindo impor cotas.*

## ► Introdução

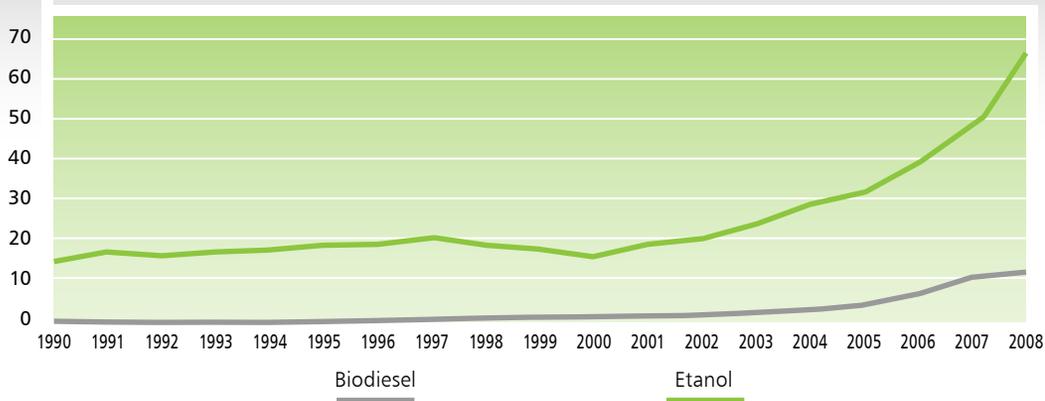
O mercado mundial de biocombustíveis cresceu a taxas surpreendentes durante essa década. Conforme mostra o **Gráfico 1**, entre 2000 e 2008, o crescimento anual médio da produção de etanol alcançou 18,6%, enquanto que o de biodiesel foi de 37,3%.

Como mostra a **Tabela 1**, em 2008, foram produzidos 67 bilhões de litros de etanol e 12 bilhões de litros de biodiesel, volume equivalente a 920 mil barris/dia petróleo, ou 1,1% da produção mundial do combustível fóssil. Os Estados Unidos ocuparam o primeiro lugar na produção mundial de etanol, seguidos pelo Brasil. Juntos, os dois países foram responsáveis por quase 90% da produção mundial do produto. Com relação ao biodiesel, o destaque ficou por conta da Alemanha, cuja produção de 2,2 bilhões de litros representou 17% da produção mundial. A produção de biodiesel tem sido dominada pelos países da União Europeia (UE), que produziram 8 bilhões de litros, ou dois terços da produção mundial.

O desempenho do mercado de biocombustíveis reflete a implantação de políticas em vários países para promover sua produção e uso, além da melhora de sua competitividade em relação aos combustíveis fósseis, em função tanto da redução em seus custos de produção, por conta de ganhos tecnológicos, como da elevação do preço do petróleo até 2008. Mesmo assim, os custos de produção dos biocombustíveis ainda são maiores do que os dos derivados de petróleo, e não são competitivos em relação aos combustíveis fósseis a preços de mercado, exceto em poucos casos, como o do etanol brasileiro. Dessa forma, a maioria das políticas promotoras é justificada por trazer benefícios fora do sistema de mercado (*non-market benefits*).

Gráfico 1

**Evolução da produção anual mundial de etanol e biodiesel** Em bilhões de litros



Fonte: elaboração própria a partir de Fulton, L. et al. (2004) para dados de 1990 a 2000, EIA (2009a) para 2001 a 2007 e REN21 (2009) para 2008.

Esses benefícios incluem:

### **a Aumento na segurança da oferta nacional de energia**

O petróleo possui reservas finitas e preço altamente volátil e, por isso, a busca da redução de sua dependência é crucial para muitos países. Os biocombustíveis possuem grande potencial para substituir diretamente os derivados de petróleo, em um prazo curto e sem grandes investimentos em infraestrutura ou mudanças tecnológicas dos motores dos veículos automotores. O etanol pode ser utilizado misturado à gasolina em proporção de até 15% <sup>[4]</sup>, sem grandes alterações nos motores dos veículos, e, em proporções maiores, em veículos modificados. Os motores modernos a diesel aceitam misturas de até 100% de biodiesel ao diesel, e os mais antigos de até 20% com pequenas alterações. Ao contrário de outros candidatos a substituir os derivados de petróleo, como o gás natural veicular (GNV), o hidrogênio e a eletricidade, a cadeia de distribuição e revenda dos biocombustíveis pode empregar mais facilmente a infraestrutura hoje disponível para os derivados de petróleo. Além dessas razões, os biocombustíveis podem ser produzidos domesticamente e, se importados, virão de regiões diversas que não apresentam as instabilidades que assolam atualmente diversos países produtores de petróleo.

### **b Redução de impactos ambientais locais e globais**

A substituição de derivados de petróleo por biocombustíveis é positiva para a qualidade do ar local. As emissões do biodiesel, por exemplo, contêm menos monóxido de carbono, óxidos de enxofre e material particulado que as do diesel. Além de os biocombustíveis serem menos tóxicos que os combustíveis fósseis

**Produção mundial de etanol e biodiesel em 2008** *Em bilhões de litros*

**Tabela 1**

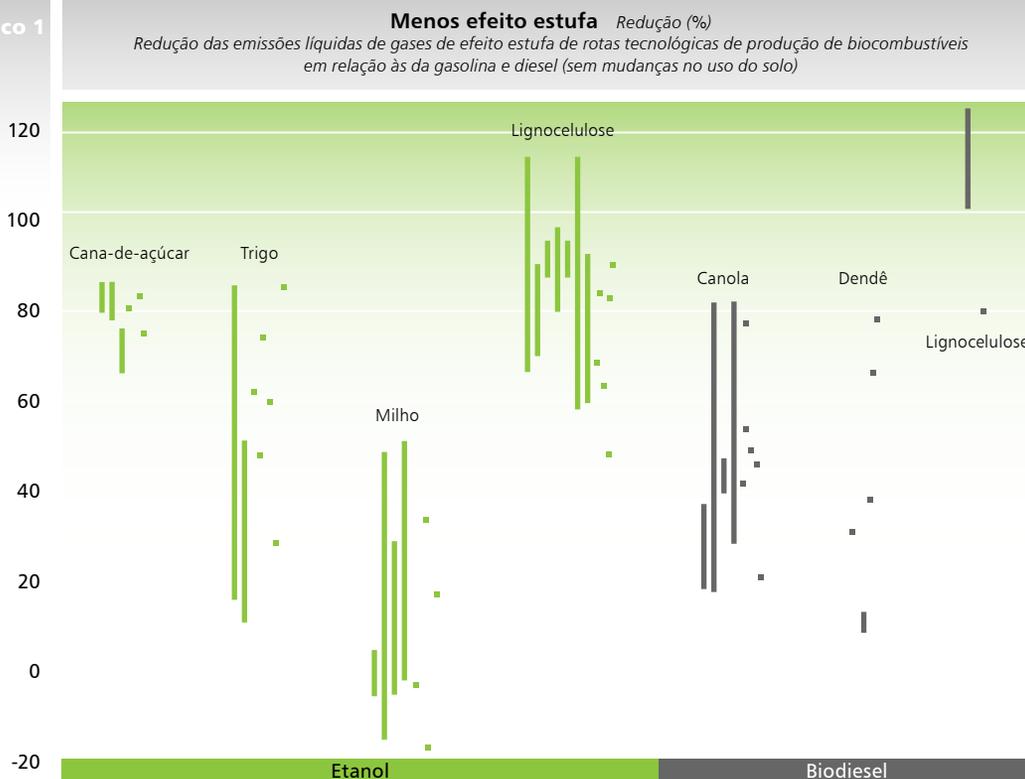
	<b>Etanol</b>	<b>Biodiesel</b>	<b>Total</b>
Estados Unidos	34	2	36
<b>Brasil</b>	<b>27</b>	<b>1,2</b>	<b>28,2</b>
França	1,2	1,6	2,8
Alemanha	0,5	2,2	2,7
China	1,9	0,1	2
Argentina	0	1,2	1,2
Canadá	0,9	0,1	1
Espanha	0,4	0,3	0,7
Tailândia	0,3	0,4	0,7
Outros	0,5	2,7	3,2
<b>Total Mundial</b>	<b>67</b>	<b>12</b>	<b>79</b>

Fonte: elaboração própria a partir de REN21 (2009).

e de seus processos produtivos serem menos agressivos ao meio ambiente, os rejeitos de sua produção podem ser reciclados e, mesmo, utilizados para gerar eletricidade, como é o caso do etanol brasileiro produzido da cana-de-açúcar.

Por produzirem menos gases de efeito estufa (GEEs) que a gasolina e o diesel, o etanol e o biodiesel são importante alternativa para a mitigação das mudanças climáticas, especialmente para os países que, por força do Protocolo de Kyoto, necessitam reduzir suas emissões. Segundo avaliação da OCDE em 2008, a partir dos resultados de análises das emissões de GEEs ao longo do ciclo de vida<sup>(2)</sup> de biocombustíveis produzidos por diferentes rotas tecnológicas (vide o Gráfico 2), o etanol de cana-de-açúcar emite, em média, 85% menos GEEs do que a gasolina, podendo essa marca superar 100%, se for considerado o aproveitamento de coprodutos da indústria sucroalcooleira, tais como a geração de bioeletricidade. Resultados mais modestos são encontrados para o etanol de trigo, que permitiria reduzir as emissões em 30% a 55%, e o de milho, resultando em redução média de 20%.

Gráfico 1



Para o biodiesel produzido por tecnologias existentes na Europa, que usam o óleo vegetal de canola, os resultados dos estudos são bastante dispersos, mas a avaliação da OCDE indica valores prováveis de redução de emissões na faixa entre 40% e 55%. Segundo a OCDE, dados de estudos sobre biodiesel de dendê são escassos, com alguns casos atingindo reduções de até 80%, enquanto em outros, em que a cultura se dá em áreas desmatadas de florestas tropicais, pode inclusive ocorrer o aumento das emissões.

Para as rotas tecnológicas de segunda geração, a produção tanto de etanol como de biodiesel a partir de biomassa lignocelulósica pode trazer reduções nas emissões superiores a 100%. Porém, essas rotas não são ainda disponíveis comercialmente.

### **c** *Criação de novos mercados para produtos agrícolas*

A produção de biocombustíveis cria novas demandas para a agricultura e traz benefícios para a zona rural, ao melhorar os preços dos produtos e aumentar a renda regional. Outros benefícios são o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas e produtivas e a possibilidade de inclusão de novos itens na pauta de exportação dos países, inclusive novas tecnologias e produtos renováveis. Há, porém, grande preocupação de que as culturas direcionadas à produção de biocombustíveis possam ocupar ou deslocar áreas destinadas à produção de alimentos, ou mesmo desviar essas culturas para a produção de biocombustíveis. Isso é particularmente verdadeiro quando incentivos fiscais concedidos aos biocombustíveis distorcem os preços relativos de mercado.

### **d** *Estímulo ao desenvolvimento regional e nacional*

A produção de biocombustíveis pode também estimular a atividade econômica, o desenvolvimento e a geração de empregos, especialmente em áreas rurais, em geral atrasadas em relação aos centros urbanos. Outros benefícios também podem ser criados para o país, tais como o desenvolvimento tecnológico dos setores agrícola e de produção de biocombustível, além da ampliação de sua pauta de exportação, agregando a ela novas tecnologias e produtos renováveis.

Este trabalho, com objetivo de identificar barreiras e oportunidades para a exportação do etanol brasileiro, analisa experiências de políticas internacionais de promoção e uso de biocombustíveis. No item 1 analisam-se os preços dos combustíveis fósseis automotivos praticados em diferentes países, com o fim de identificar um espaço nas políticas de preços para a adoção de incentivos aos biocombustíveis. No item 2 avaliam-se as políticas promotoras à produção e consumo de biocombustíveis em países selecionados, com o objetivo de identificar neles a dimensão do mercado de etanol e as barreiras ao etanol brasileiro. Por fim, o item 3 resume e complementa as principais considerações e resultados dos tópicos anteriores.

## ► 1 Análise dos preços internacionais dos combustíveis automotivos

Uma análise das políticas de preços internos dos combustíveis fósseis automotivos em diferentes países é fundamental para o entendimento do alcance das políticas voltadas à promoção dos biocombustíveis.

O preço dos derivados de petróleo ao consumidor é composto por diversos componentes de custo, de margens e de tributos que ocorrem ao longo da cadeia do petróleo do poço ao posto: custos de exploração, produção, transporte e refino do petróleo, seguidos dos custos de distribuição e revenda dos derivados, das margens de lucro das empresas e dos tributos do país produtor de petróleo e do país consumidor dos derivados.

De modo geral, os preços internacionais da gasolina e do diesel acompanham o preço do barril do petróleo. Com a elevação dos preços do petróleo até meados de 2008 e a sua subsequente queda, seria lógico que os preços ao consumidor acompanhassem em certo grau tal variação. Entretanto, verifica-se que, em alguns países, os preços não acompanharam as variações da cotação internacional do petróleo. A explicação é encontrada nas diferentes políticas dos países para fixar preços domésticos e tributar.

Com relação às políticas de fixação de preços domésticos, três mecanismos básicos são utilizados: (I) decisões *ad hoc*; (II) ajustes automáticos por meio de fórmulas; e (III) preços de mercado. O primeiro mecanismo é o que ocorre quando os preços são reajustados pelo governo ou por empresas de petróleo controladas, direta ou indiretamente, pelo governo, em função de questões políticas ou macroeconômicas. Geralmente, os reajustes são efetuados em intervalos de tempo irregulares e com critérios não transparentes, o que torna os preços defasados dos internacionais. Exemplos de países que utilizam esses mecanismos são China, Índia e Indonésia. Nos últimos anos, no Brasil, onde por lei os preços da gasolina e do diesel são livres, os reajustes do diesel e da gasolina efetuados pela Petrobras têm seguido esse mecanismo, ora por interesse político do governo, ora por interesse econômico da estatal.

O segundo mecanismo, praticado, por exemplo, na Malásia e no Vietnã, baseia-se em fórmulas pré-definidas pelo governo ou pela empresa petrolífera nacional que reajustam os preços automaticamente, a intervalos periódicos pré-definidos, a partir dos preços internacionais passados. O reajuste por meio desse mecanismo tem a vantagem sobre a decisão *ad hoc* de os preços domésticos seguirem o mercado internacional, mesmo que com alguma defasagem, além de ser transparente e previsível.

Finalmente, no terceiro mecanismo, adotado na maioria dos países-membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) <sup>(3)</sup>, os preços resultam da interação entre as forças de mercado. Nesses países, o papel do Estado restringe-se a tributar os combustíveis fósseis.

Em geral, há dois tipos de tributos incidentes sobre combustíveis automotivos nos países consumidores: tributos específicos para os combustíveis (*excise taxes ou duties e transportation taxes*), como é o caso da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide) dos combustíveis no Brasil, e os impostos de valor agregado (*value added taxes – VAT*), que também incidem sobre a comercialização dos demais produtos, como é o caso do ICMS estadual. Os tributos específicos têm valor fixo e incidem sobre os volu-

mes vendidos, enquanto os impostos sobre valor agregado são fixados como percentual do preço final do combustível, incidindo, portanto, sobre o valor da venda. Há, ainda, tributos que incidem sobre a posse ou uso de veículos, como o IPVA, no Brasil, ou taxas de congestionamento usadas em alguns países europeus, mas esses não têm efeito sobre os preços finais dos combustíveis.

Numa comparação feita entre preços dos combustíveis – com e sem tributos – em países da OCDE, o Institut Français des Relations Internationales (IFRI) constatou que os preços sem tributos não apresentam variações significativas, uma vez que os derivados de petróleo são *commodities* (Davoust, R., 2008). Dessa forma, o IFRI verificou que as diferenças exibidas pelos preços ao consumidor devem-se às políticas tributárias nacionais, enquanto as diferenças nos custos e nas margens têm pouco peso frente aos tributos.

Essa mesma constatação foi também feita pela GTZ, em uma série de levantamentos de preços ao consumidor e do nível de tributação do diesel e da gasolina em vários países realizados desde 1991 (GTZ, 2009). Observando-se os níveis de tributação nos preços finais ao consumidor de gasolina e de diesel, a GTZ (GTZ, 2009) agrupou os países em quatro categorias, conforme ilustrado pelo **Gráfico 3** e pelo **Gráfico 4**<sup>[3]</sup>:

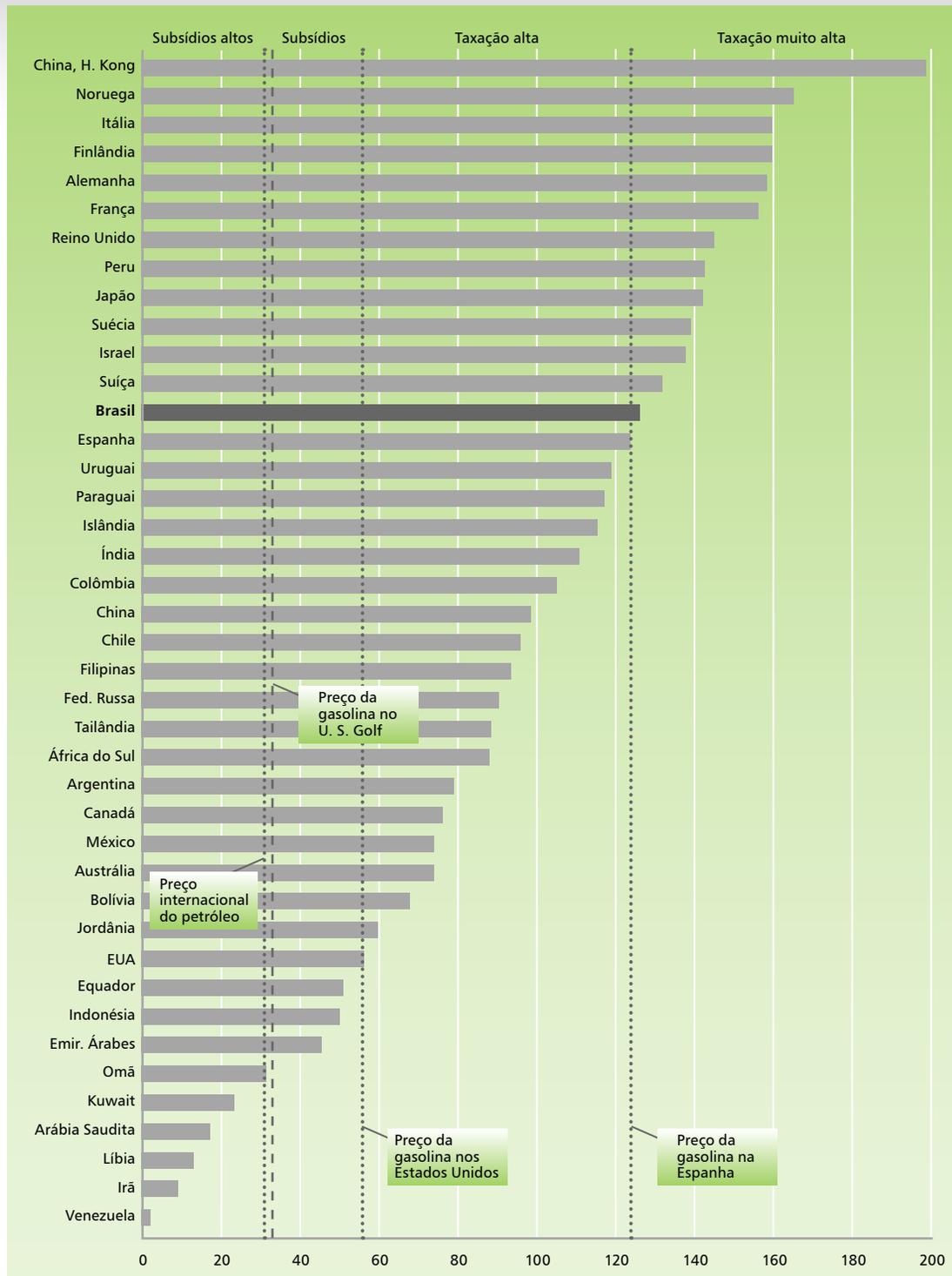
**Categoria 1** (países com incentivos fiscais<sup>[3]</sup> altos): países onde os preços dos derivados ao consumidor situam-se abaixo do preço internacional do petróleo. Ou seja, o preço dos produtos não chega a cobrir o custo de oportunidade do petróleo e os custos de produção dos derivados. Em geral, são países produtores de petróleo, onde se subsidiam os derivados à custa da indústria de petróleo nacional e os preços dos combustíveis são utilizados para controlar a inflação e evitar a insatisfação pública. Exemplos são Venezuela, Líbia e Arábia Saudita. A penetração dos biocombustíveis nesses países é praticamente impossível, pois, com petróleo abundante e a um custo baixo, somente objetivos fora do sistema de mercado, como questões ambientais locais e globais, podem motivar uma política de promoção de biocombustíveis.

**Categoria 2** (países com incentivos fiscais): países onde os preços ao consumidor da gasolina e do diesel estão acima do preço internacional do petróleo, mas abaixo dos preços de venda nos Estados Unidos<sup>[6]</sup>; país onde se praticam preços de mercado para os derivados com um nível mínimo de taxação. Os preços dos combustíveis nesses países cobrem o custo da matéria-prima, mas recebem incentivos fiscais para cobrir os demais custos da cadeia. Conforme mostrado **Gráfico 3** e no **Gráfico 4**, em alguns desses países, o preço da gasolina e do diesel não chegam a atingir os preços praticados no mercado do Golfo do México. Assim como se dá no caso da Categoria 1, essa também inclui países produtores de petróleo onde seriam necessários incentivos fiscais significativos para a promoção dos biocombustíveis, que só seriam justificados por objetivos fora do sistema de mercado.

**Categoria 3** (países com tributação<sup>[7]</sup> alta): países onde os preços situam-se entre os praticados nos Estados Unidos e na Espanha (país que, em novembro de 2008, apresentava os menores preços de derivados entre os componentes do grupo EU-15)<sup>[8]</sup>. Os preços dos combustíveis na Espanha sofrem a incidência dos valores mínimos obrigatórios do imposto de valor agregado (VAT) e do tributo específico sobre combustíveis, aplicáveis a todos os países da UE, além de tributos que são próprios da Espanha. A tributação dos países dessa categoria supera US\$ 0,10/litro e tem outras finalidades além da construção e manutenção de vias.

Gráfico 3

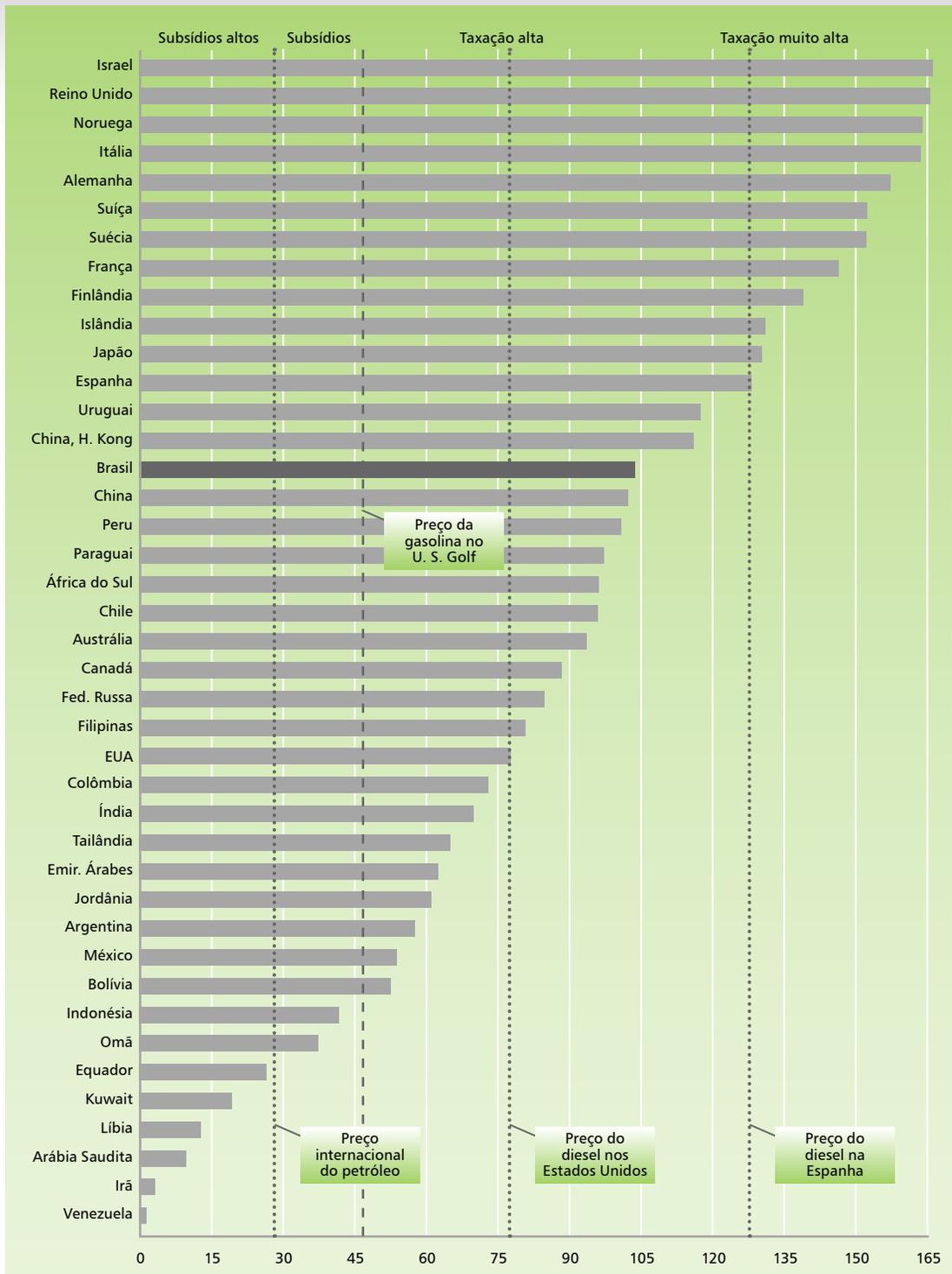
## Comparação do preço da gasolina ao consumidor US\$/litro (Novembro de 2008)



Fonte: elaboração própria a partir de GTZ (2009).

Comparação do preço do diesel ao consumidor US\$/litro (Novembro de 2008)

Gráfico 4



Fonte: elaboração própria a partir de GTZ (2009).

Em alguns países dessa categoria, os preços dos combustíveis não derivam de forças do mercado, pois são estabelecidos *ad hoc* pelo governo ou por uma empresa de petróleo controlada pelo governo. Nesse caso, as vendas de derivados geram renda superior à requerida para cobrir os custos de produção e distribuição, e a apropriação dessa renda pelo governo acaba tendo o mesmo papel que um tributo. Para viabilizar os biocombustíveis nesses países, seria necessária a concessão de incentivos fiscais.

**IV** Categoria 4 (países com tributação muito alta): países onde os preços estão acima do nível da Espanha. Nesses países a tributação sobre os combustíveis tem por objetivo, além da construção e manutenção de vias, gerar renda, incentivar a eficiência no setor de transportes e internalizar os custos ambientais da produção e uso de combustíveis e veículos. São países onde há um alto potencial para a penetração dos biocombustíveis sem a exigência de elevados incentivos fiscais.

O último levantamento realizado pela GTZ (GTZ, 2009) dos preços da gasolina e do diesel em 172 países, em novembro de 2008, indicou que, no caso da gasolina, oito países enquadravam-se na categoria 1; 12 na categoria 2; 86 na categoria 3; e 66 na categoria 4. Já no caso do diesel, 12 países foram classificados na categoria 1; 30 na categoria 2; 81 na categoria 3; e 49 na categoria 4. Naquele mês, o Brasil enquadrava-se na categoria 4, no caso da gasolina, e na categoria 3 no do diesel. Deve-se lembrar, porém, que o levantamento da GTZ foi realizado após o início da crise econômica mundial, quando os preços livres desses derivados haviam desabado no mercado internacional, sem que houvesse qualquer reajuste da Petrobras nos preços nacionais.

## ► 2 Análise de políticas internacionais para a promoção de bicombustíveis

Nas últimas décadas, muitos países têm visto o uso automotivo de biocombustíveis como uma contribuição para soluções importantes, tais como: **(I)** aumento da eficiência energética, da flexibilidade e da diversificação das fontes de energia disponíveis; **(II)** resposta mais rápida a situações de emergência que afetem a oferta de combustíveis, como choques de preços ou suspensão temporária do suprimento devido a questões de segurança; **(III)** promoção do uso de fontes energéticas renováveis e menos agressivas ao meio ambiente, especialmente com relação a emissão de GEE; e **(IV)** exploração das vantagens comparativas do país, com a promoção do desenvolvimento e da exportação de novas tecnologias e produtos.

Para promover o uso dos biocombustíveis, os governos têm lançado mão de três principais mecanismos: instrumentos de comando e controle, instrumentos econômicos, e restrições às importações. Os instrumentos de comando e controle, aplicados desde a década de 80, são padrões regulatórios que implicam, por exemplo, a obrigação de misturas de biocombustíveis ou a produção de veículos para o seu uso. Estão inclusos nessa categoria os padrões de emissões veiculares, as especificações dos combustíveis e os padrões mínimos de eficiência energética de veículos.

Os instrumentos econômicos incluem incentivos financeiros, estruturas tributárias diferenciadas e certificados negociáveis de misturas de biocombustíveis. Os incentivos financeiros e estruturas tributárias diferenciadas são instrumentos econômicos utilizados a partir do início da década de 90, em muitos países, para

alcançar objetivos ambientais. Os incentivos financeiros apresentam-se na forma de créditos de impostos, incentivos fiscais governamentais ou empréstimos em condições especiais, cujas finalidades são reduzir os custos de produção dos combustíveis e de aquisição de veículos alternativos. Em geral, os incentivos financeiros e padrões regulatórios são aplicados em conjunto.

As estruturas tributárias diferenciadas são concebidas para impor um ônus tributário maior sobre os combustíveis fósseis e são usualmente aplicadas através de reformas que criam ou elevam os tributos incidentes sobre as fontes e agentes poluidores, de acordo com as externalidades produzidas. Os tributos ambientais diferem dos incentivos financeiros em dois aspectos. O primeiro é que eles não acarretam custos governamentais; pelo contrário, geram fundos que podem ser direcionados para a redução de outros tributos ou para financiar programas ambientais e sociais. Já o segundo diz respeito à sinalização dada ao consumidor das externalidades do uso de veículos, internalizadas pelo tributo. Diante do preço mais elevado, o consumidor ajusta sua demanda ou opta pela utilização de tecnologias ou combustíveis menos poluentes.

O uso de certificados tem sido adotado em programas ambientais nos Estados Unidos e em países da Europa, em conjunção com padrões regulatórios. Os padrões exigem, por exemplo, que distribuidores de eletricidade ou os geradores ou, alternativamente, os consumidores, utilizem um percentual mínimo de fontes renováveis para atender a demanda de energia elétrica. A imposição dos padrões é acompanhada pelo lançamento de certificados negociáveis que são fornecidos aos agentes de acordo com o cumprimento dos padrões exigidos. Possibilita-se, assim, que os agentes com custos menores para aquisição de energia renovável possam transacionar seus certificados excedentes com outros que possuam custos relativamente altos para o atendimento de suas metas.

As restrições às importações, sobretudo pela imposição de tarifas de importação ou restrição à concessão de incentivos financeiros ao produto importado, objetivam proteger os produtores domésticos de biocombustíveis. Essa barreira tem eficiência econômica baixa ao impor maiores custos aos consumidores, à medida que cria uma reserva de mercado e limita a concorrência entre fornecedores. O fato é que, se não houvesse restrições ao comércio internacional, haveria uma queda mais rápida dos custos dos biocombustíveis e maior eficiência econômica, colaborando para acelerar a redução no uso de combustíveis fósseis. A seguir, discute-se a aplicação dessas políticas nos Estados Unidos e na União Europeia. Os Estados Unidos foram escolhidos pela dimensão do seu mercado de combustíveis veicular, tanto fóssil quanto renovável, especialmente no caso do etanol. O país representa ainda bom exemplo da aplicação de padrões regulatórios e incentivos financeiros na promoção da produção e uso de biocombustíveis.

As políticas praticadas na União Europeia são discutidas através da análise do caso de três de seus estados-membros: Suécia, Reino Unido e Alemanha. A Suécia, apesar de não possuir mercado de combustíveis de grande dimensão, comparada aos outros países analisados, tem uma das mais ambiciosas políticas de promoção de biocombustíveis, sobretudo no caso do etanol. Graças à dimensão relativamente pequena do seu mercado de combustíveis – assim como ao elevado índice de desenvolvimento econômico e social e à consciência ambiental de sua população – esse país introduziu políticas inovadoras para reduzir, senão eliminar, o consumo de combustíveis fósseis.

O Reino Unido, por sua vez, é um exemplo relevante pela utilização de um programa de biocombustíveis apoiado pelo lançamento de certificados de mistura.

A Alemanha foi selecionada pelas suas políticas de incentivo ao biodiesel, que a colocam na primeira posição entre os países produtores e consumidores do biocombustível. Os programas do país, que no início subsidiaram pesadamente o uso do biodiesel, ingressam agora em uma nova fase com a utilização de padrões regulatórios e instrumentos econômicos.

Finalmente, discute-se ainda o histórico das políticas brasileiras para promoção do etanol desenvolvidas no passado e indicam-se os requisitos julgados necessários à implantação de uma nova política nacional para o biocombustível.

## 2.1 Políticas de biocombustíveis nos Estados Unidos

Desde 2005, os Estados Unidos ocupam o primeiro lugar mundial na produção etanol, seguidos pelo Brasil. O etanol americano é produzido quase completamente a partir do milho e é consumido no país sobretudo como oxigenante misturado à gasolina em proporções até 10%. Em 2009, o consumo de etanol no país era de 40,7 bilhões de litros (quase 8,5% do mercado de combustíveis para veículos com ciclo Otto).

Os Estados Unidos são um exemplo da aplicação combinada de padrões regulatórios e incentivos financeiros para promover os biocombustíveis. O *Energy Policy Act* de 2005 (EPAAct 2005), uma legislação abrangente sobre energia, estabeleceu na seção 1501, um mandato para a adição de combustíveis renováveis à gasolina por refinarias, formuladores, distribuidores e importadores. O Renewable Fuel Standard (RFS1) previu que o uso de combustíveis renováveis (que começou em 2006 com 4 bilhões de galões anuais, ou cerca de 15 bilhões de litros) deveria progressivamente chegar a 7,5 bilhões de galões em 2012. A regulamentação e a implantação do mandato estão a cargo da Environmental Protection Agency (EPA), órgão ao qual cabe definir os percentuais de mistura de combustível renovável à gasolina, a partir da determinação da demanda de gasolina do país a cada ano.

Em dezembro de 2007, no Energy Independence and Security Act (EISA), o Congresso reeditou o RFS1, produzindo um novo programa que ficou conhecido como RFS2. Novamente, coube à EPA a atribuição de regulamentar as alterações introduzidas. Em 26 de maio de 2009, a agência submeteu à audiência pública o documento *Regulation of Fuels and Fuel Additives: Changes to Renewable Fuel Standard Program*. O término do prazo da audiência foi 25 de setembro de 2009, mas a EPA só publicou a versão final da regulamentação do RFS2 no diário oficial americano no dia 26 de março de 2010, mais de dois anos após o Congresso criar o RFS2. Essa demora foi resultado da controvérsia gerada em torno da forma de calcular as emissões associadas à produção de biocombustível.

Uma mudança importante introduzida pelo RFS2 foi o aumento dos volumes obrigatórios de combustíveis renováveis. Conforme mostra o **Gráfico 5**, o novo programa expandiu o cronograma de uso crescente de

combustíveis renováveis até alcançar 136 bilhões de litros em 2022. Além disso, o RFS2 estabelece que, do volume anual de combustíveis renováveis, uma parcela crescente deve ser de biocombustíveis avançados que, por sua vez, deve conter volumes mínimos de biocombustível celulósico e de biodiesel de biomassa. Embora os volumes de combustíveis renováveis tenham aumentado significativamente, o RFS2 contempla a possível substituição de todos os tipos de combustível utilizado em veículos automotores e não-automotores, como locomotivas, embarcações e aeronaves, bem como os usados em motores, enquanto o RFS1 previa apenas a substituição da gasolina.

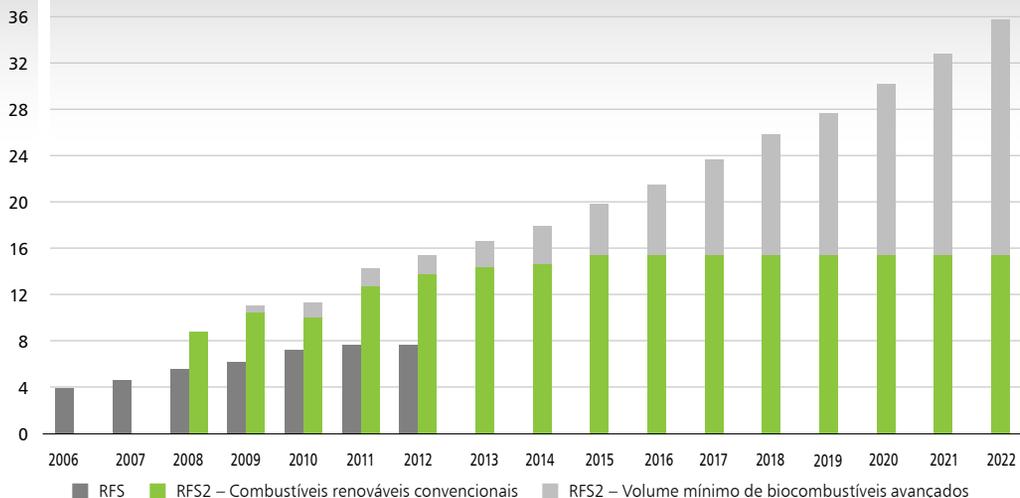
Para serem classificados como combustível renovável, biocombustível avançado, biocombustível celulósico ou biodiesel de biomassa e fazerem jus às respectivas reservas anuais de volume, os combustíveis devem atingir percentuais mínimos de redução de emissões de GEE ao longo de seus ciclos de vida em comparação com as emissões da gasolina e do diesel utilizados em 2005 no país. Segundo o EISA, os combustíveis renováveis produzidos em plantas cuja construção tenha começado após 19 de dezembro de 2007 devem alcançar um mínimo de redução de emissões de 20%, os biocombustíveis avançados e o biodiesel de 50% e etanol celulósico de 60%.

Para determinar as reduções das emissões trazidas pelos biocombustíveis, a EPA baseia-se em suas próprias análises e também nos melhores modelos científicos disponíveis e incorporou muitas modificações ao modelo proposto inicialmente, baseado nos comentários públicos e na revisão formal que promoveram. As análises da EPA consideram as emissões ao longo do ciclo de vida dos combustíveis, incluindo as emissões causadas por mudanças diretas e indiretas (Indirect Land Use Change – ILUC) no uso da terra que ocorrem em outros países em decorrência da produção do combustível renovável nos Estados Unidos. Como as emissões de GEE de ao longo do ciclo de vida de um combustível ocorrem ao longo do tempo, a EPA apre-

Gráfico 5

### Comparação entre os volumes exigidos de combustíveis renováveis no RFS e no RFS2

Em bilhões de galões\*



Fonte: elaboração própria a partir de EPA (2009) e RFA (2009a). \*Um galão=3,791 litros

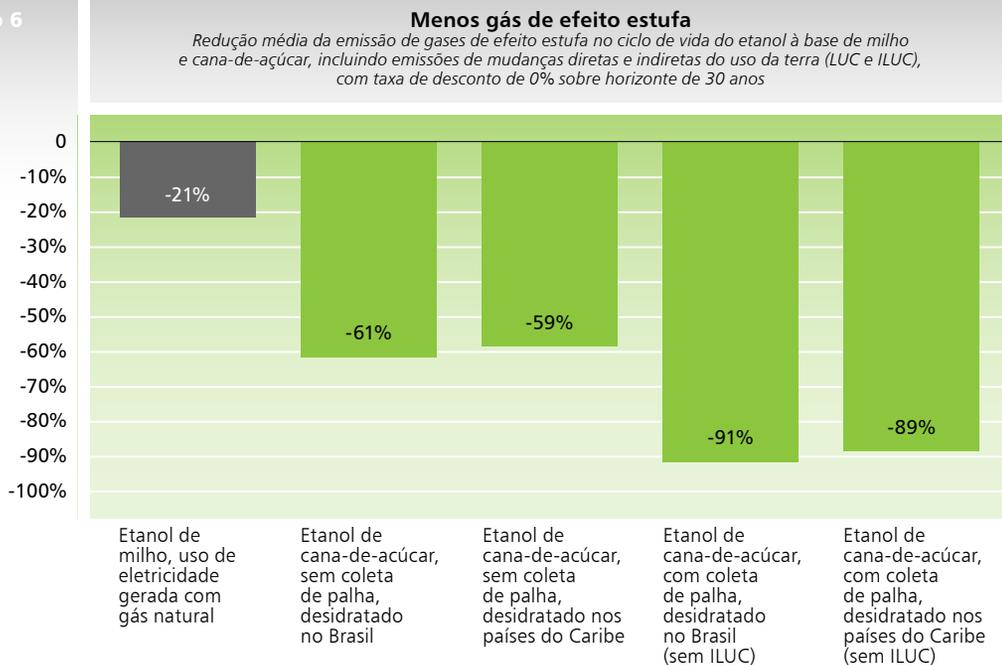
sentou duas propostas levando em conta o aspecto temporal das emissões: uma análise para um horizonte de 30 anos, sem considerar dar peso diferente às emissões presentes e futuras; e uma análise para 100 anos, em que as emissões futuras são descontadas a uma taxa anual de 2%. No final, porém, o EPA optou por calcular as emissões num horizonte de 30 anos sem nenhum desconto.

A regulamentação final do RFS2 foi anunciada em fevereiro de 2010, e a EPA designou o etanol de cana-de-açúcar como bicomcombustível avançado, capaz de reduzir as emissões de gases do efeito estufa em pelo menos 50% comparado com a gasolina. A EPA ratificou ainda que o etanol brasileiro atinge uma redução de emissão de GHG superior às exigências mínimas de todas as categorias. O cálculo da EPA aponta redução média de 61% quando comparado com a gasolina, utilizando um prazo de compensação de 30 anos para emissões ligadas a efeitos indiretos do uso da terra (ILUC). O etanol de milho, utilizando as melhores práticas industriais (ou seja, com uso de eletricidade gerada com gás natural), reduz emissões em 21%, mas a média americana ainda fica bem abaixo, conforme o **Gráfico 6**.

O status alcançado pelo etanol de cana-de-açúcar brasileiro certamente abre janelas de oportunidade para o nosso bicomcombustível, dado que existe incerteza sobre a capacidade de os Estados Unidos produzirem bicomcombustível avançado em escala comercial no curto prazo.

Dessa forma, o critério de redução de emissões estabelecido pela EPA para classificar os biocombustíveis, caso mantido, abre uma janela de oportunidade para o etanol brasileiro, uma vez que o déficit de etanol

Gráfico 6



americano facilitaria a proposta dos que defendem, inclusive em vários Estados americanos, a redução, ou mesmo a eliminação, dos atuais tributos de importação sobre o produto brasileiro.

Além do RFS2, as legislações federal e estaduais americanas referentes à qualidade do ar e às especificações de combustíveis também têm tido papel determinante para a utilização do etanol no país. No âmbito federal, o *Clean Air Act* de 1990 (CAA 1990), obrigou o uso de gasolina oxigenada (gasolina reformulada) em algumas regiões do país, com o objetivo de reduzir as emissões de monóxido de carbono. Inicialmente, os fornecedores de gasolina optaram pela adição do MTBE (éter metílico terc-butílico) à gasolina como oxigenado, por ser mais barato que o etanol americano, até surgirem evidências que o produto oferecia risco de contaminação do lençol freático e de ser cancerígeno. Com isso, diversos Estados americanos baniram o seu uso, levando a uma rápida aceleração no uso do etanol para substituí-lo.

Atualmente, em função da legislação ambiental, a adição de 10% de etanol à gasolina (E10) tornou-se obrigatória em vários Estados americanos<sup>93</sup>, sendo seu uso facultativo nos demais, onde a mistura de até 10% é encontrada na rede de postos comuns. A mistura voluntária de 85% de etanol (E85), apesar de ser também utilizada, é encontrada em poucos postos, até porque também são poucos os veículos com tecnologia compatível com o seu consumo. Já a mistura de biodiesel ao diesel nas proporções de 2% a 100% é facultativa em todos os Estados.

Para apoiar as medidas mandatórias estabelecidas pela legislação americana, programas federais concedem créditos tributários aos formuladores (*blenders*) de combustíveis e aos produtores de biocombustíveis, conforme resumidos na **Tabela 2**. Os valores dos incentivos concedidos são significativos. Segundo Koplow (2009), os incentivos fiscais aplicáveis ao etanol convencional podiam somar de US\$ 0,60 a US\$ 0,79/galão em abril de 2009, enquanto que, ao etanol celulósico, de US\$ 2,26 a US\$ 2,46/galão. Já para o biodiesel, a soma dos incentivos fiscais podia atingir de US\$ 2,22 a US\$ 2,65/galão. Para efeito de comparação, em abril de 2009, o preço médio da gasolina americana era de US\$ 2,049/galão e o do diesel de US\$ 2,225/galão, incluindo os impostos federais e estaduais que, na média, acumulavam de US\$ 0,47 a US\$ 0,514/galão.

Apesar de o incentivo concedido aos formuladores de gasolina (VEETC) não discriminar a origem do etanol, o produto americano é privilegiado pela aplicação de tributos alfandegários às importações. Sobre o etanol importado incide uma tarifa *ad valorem* de 2,5%, considerada baixa quando comparada às taxas vigentes em outros países. Mas, além dessa tarifa, há uma taxa extraordinária de US\$ 0,54/galão, que supera em 20% os US\$ 0,45/galão de crédito do VEETC. Essa taxa somente não é aplicada ao etanol de países que celebraram acordos bilaterais de comércio com os Estados Unidos, como o North American Free Trade Agreement (Nafta), ou ao de países incluídos em programas de preferência de comércio criados pelo Congresso Americano, tais como o *Caribbean Basin Initiative* e o *Andean Trade Preference*. Assim, o etanol importado do Brasil, por não se enquadrar em nenhuma dessas situações, é totalmente tributado.

Em abril de 2009, a Energy Information Agency dos Estados Unidos publicou o *Updated Annual Energy Outlook 2009*<sup>94</sup> (Updated AEO 09). O documento apresenta um cenário de referência para o setor energético do país, levando em consideração a nova conjuntura econômica mundial, além dos efeitos que o *American*

Tabela 2 Principais incentivos federais concedidos aos biocombustíveis nos Estados Unidos

Incentivos	Notas	Valor
<p><i>Volumetric Ethanol Excise Tax Credit (VEETC)</i> Promulgado pelo <i>America Jobs Act</i> (2004). Substituiu a isenção parcial dos combustíveis automotivos estabelecida no <i>Energy Tax Act</i> de 1978.</p>	<p>Crédito ao formulador no recolhimento do imposto específico (<i>excise tax</i>) sobre combustíveis. Calculado sobre o volume de etanol de qualquer origem, incluindo o importado, misturado à gasolina. Não há restrições ao tamanho da planta, preços de mercado, ou impactos sociais ou ambientais para a produção de metanol.</p>	<p>US\$ 0,45/galão desde 1º de janeiro de 2009 (era de US\$ 0,51/galão até então). Valores em programas precursores variaram entre US\$ 0,40/galão e US\$ 0,60/galão entre 1978 e 2004.</p>
<p><i>Volumetric Biodiesel Excise Tax Credit (VBETC)</i> Promulgado pelo <i>America Jobs Creation Act</i> (2004). Mais recentes modificações incluídas no <i>Emergency Economic Stabilization Act</i> de 2008 (EESA).</p>	<p>Crédito ao formulador no recolhimento do imposto específico (<i>excise tax</i>) sobre combustíveis. Exclui biodiesel que não seja produzido ou comercializado nos Estados Unidos, ou produzido por co-processamento em refinarias de petróleo. Inclui biodiesel produzido por meio de qualquer processo e não apenas por esterificação de óleos vegetais e animais, exceto através de co-processamento no refino de petróleo.</p>	<p>US\$ 1,00/galão para todas as fontes. Originalmente, US\$ 1,00/galão para óleos vegetais e gordura animal e US\$ 0,50/galão para óleos reciclados.</p>
<p><i>Renewable Biodiesel Tax Credit</i> Promulgado pelo <i>American Jobs Creation Act</i> (2004).</p>	<p>Crédito ao produtor no pagamento de imposto de renda. Originalmente, um crédito de imposto paralelo ao VBETC para produtores que, por qualquer razão, não podiam reivindicar o crédito do imposto específico sobre combustíveis. Em abril de 2007, sua aplicação foi estendida para incluir biodiesel produzido por despolimerização térmica que não era alcançado pelo VBETC.</p>	<p>US\$ 1,00/galão para todas as fontes. Originalmente, US\$ 1,00/galão para óleos vegetais e gordura animal e US\$ 0,50/galão para óleos reciclados.</p>
<p><i>Small Producer Tax Credit</i> Autorizado inicialmente pelo <i>Omnibus Budget Reconciliation Act</i> (1990). O <i>Energy Policy Act</i> (2005) dobrou a capacidade anual de produção das usinas elegíveis de 30 milhões para 60 milhões de galões.</p>	<p>Crédito ao produtor no pagamento de imposto de renda. Qualquer tipo de etanol e biodiesel. Somente aplicável a plantas com capacidade de até 60 milhões de galões por ano.</p>	<p>US\$ 0,10/galão para os primeiros 15 milhões de galões anuais. Produtores de etanol celulósico podem reivindicar o crédito sobre todos os 60 milhões de galões.</p>
<p><i>Production Tax Credit for Cellulosic Ethanol</i> Autorizado pela <i>Farm Bill</i> de 2008.</p>	<p>Aplicável apenas à produção de etanol celulósico.</p>	<p>US\$ 1,01/galão, sendo descontado o VEETC se a produção é destinada à mistura de gasolina e o <i>Small Producer Tax Credit</i> no caso de pequeno produtor.</p>

Fonte: elaboração própria a partir de DOE (2009), RFA (2009b) e Koplw (2009).

*Recovery and Reinvestment Act of 2009* (ARRA 09) possa ter sobre a economia norte-americana e sobre o seu mercado de energia.

Promulgado em fevereiro de 2009, o ARRA 09 contempla um pacote de medidas do governo americano para incentivar a economia dos Estados Unidos e minimizar os efeitos da crise. Entre as medidas estão várias voltadas ao aumento de eficiência energética, redução da emissão de carbono e aumento da produção doméstica de energia do país. Alguns exemplos incluem a melhora nos sistemas de calefação de prédios, a fixação de padrões mínimos de consumo para os fabricantes e importadores de veículos automotores, o incentivo à aquisição de veículos elétricos e híbridos, ao uso de combustíveis renováveis e à utilização de diesel em veículos leves. Pelo lado da oferta, o ARRA 09 pretende aumentar a produção doméstica de petróleo e gás natural, tanto onshore como *offshore*.

Segundo as projeções do Updated AEO 09, apresentadas na **Tabela 3**, haveria queda no consumo de gasolina nos Estados Unidos em 2009 em decorrência da crise econômica mundial. A trajetória de crescimento seria retomada em 2010 e 2011, com a volta da expansão econômica. Em 2012, porém, as medidas do ARRA 09 podem apresentar resultados sobre o setor de transportes, acarretando queda no consumo de gasolina, que se mantém até o fim do horizonte de análise. O consumo de etanol no país, por sua vez, sofre impacto positivo decorrente do ARRA 09, em função do aumento do percentual volumétrico da mistura do biocombustível à gasolina, que cresce de 7% em 2008 para 10% em 2010, permanecendo nesse patamar até 2030.

As medidas do ARRA 09 também têm impacto positivo sobre a produção doméstica de etanol do país. O aumento de produção do biocombustível reverterá o déficit atual do produto atendido por meio de importações em excedente exportável. Esse excedente prevalece até 2015, quando a produção doméstica torna-se insuficiente para atender a demanda, acarretando novo ciclo de importação do produto. As importações de etanol crescem no período 2015 a 2030 e atingem 7,8 milhões de m<sup>3</sup>, ou 16% da demanda de etanol, em 2022.

Esse cenário, caso se concretize, representa uma oportunidade para as exportações brasileiras de etanol, ainda mais se for considerado que o estudo da EIA não levou em consideração os critérios de sustentabilidade estabelecidos pela RFS2, que restringem o uso de grande parte do etanol produzido atualmente nos Estados Unidos.

## 2.2 Políticas de biocombustíveis na União Europeia

O conjunto de países da União Europeia (UE) é o maior produtor e consumidor mundial de biodiesel. O uso do biocombustível no bloco teve início na década de 90 no setor de transportes, incentivado pelo aumento dos preços do petróleo. Mais tarde, a produção de biodiesel, impulsionada pelo *Blair House Agreement* <sup>[1]</sup> de 1992 e por fortes incentivos fiscais, principalmente na Alemanha, teve grande avanço.

Em 2003, em resposta a preocupações relativas à mudança climática e à segurança energética, a UE aprovou a *Directive 2003/30* <sup>[2]</sup>. A diretiva estipulou metas não compulsórias de substituição de combustíveis fósseis automotivos por biocombustíveis a serem perseguidas pelos Estados-membros até 2010. Conforme mostra

**Tabela 3** Etanol e gasolina nos EUA  
Consumo de gasolina e consumo, produção e importação de etanol, em milhões de m<sup>3</sup>, segundo projeções da EIA

Ano	Consumo de gasolina com etanol	Consumo de etanol misturado à gasolina	Percentual de etanol na gasolina	Consumo de etanol como E85	Produção doméstica de etanol	Importação líquida de etanol
2006	537	21,1	4%	0	18,5	2,7
2007	538,9	25,9	5%	0	24,7	1,3
2008	520,2	36	7%	0	34,9	1,2
2009	514,1	39,6	8%	0	39,9	-0,3
2010	547,4	49	9%	0,1	49,7	-0,6
2011	560,8	55,1	10%	0,1	56,2	-0,9
2012	559,4	55	10%	0,1	55,2	-0,1
2013	555,6	54,7	10%	0,1	54,8	-0,1
2014	550,2	54,1	10%	0,1	54,3	-0,1
2015	542,1	53,4	10%	2,3	55,5	0,1
2016	533,1	52,5	10%	5,4	57,8	0,2
2017	525,9	51,8	10%	7,3	58,9	0,2
2018	516,9	50,8	10%	11,5	61	1,3
2019	510,9	50,1	10%	16,1	63,3	2,9
2020	502,9	49,6	10%	22,1	69,2	2,5
2021	497,3	49,7	10%	25,8	73,5	2
2022	486,8	48,1	10%	35,2	79,4	3,9
2023	487,1	48,2	10%	35	81,3	1,8
2024	489,2	48,9	10%	33,5	80,6	1,8
2025	488,7	48,4	10%	35	80,7	2,7
2026	488,9	48	10%	36,2	81,3	2,9
2027	482,1	47,9	10%	44,3	87,8	4,4
2028	481,8	47,8	10%	46,3	88,8	5,3
2029	476,6	49,5	10%	50,3	92	7,8
2030	478,1	48,2	10%	51,7	93,4	6,5

Fonte: elaboração própria a partir de EIA (2009b).

a **Tabela 4**, apesar da participação dos biocombustíveis ter crescido aceleradamente na UE, isso não foi suficiente para o bloco atingir as metas estabelecidas na diretiva. Tal se dá especialmente porque as metas não são compulsórias, cabendo a cada país decidir que medidas serão adotadas para alcançar as metas.

Diante do fraco desempenho da UE no combate às emissões de GEE, tanto nos transportes como em outros setores da economia, em 6 de abril de 2009, o Conselho da União Europeia aprovou o *Energy and Climate Change Package* (CCP), contendo nova estratégia para tratar da questão da energia e das mudanças climáticas. A parte desse pacote que trata das diretrizes sobre energia renovável, *The Renewable Energy Directive* (RED), foi publicada em 5 de junho de 2009, entrando em vigor após 20 dias. As diretrizes do RED devem ser implantadas pelos Estados-membros da UE em até 18 meses seguintes à sua publicação, ou seja, até novembro de 2010, quando já deverão ter sido incorporadas à legislação dos Estados-membros. Ficou estabelecido ainda que os Estados-membros deverão submeter seus planos de ações nacionais até junho de 2010.

O CCP estabelece os chamados marcos “20/20/20” a serem atingidos até 2020:

- I Redução de 20% nas emissões de GEE em relação aos níveis de 1990.
- II Melhora de 20% na eficiência energética em comparação às previsões atuais para 2020.
- III Participação de 20% de energia renovável na matriz de consumo de energia da UE. É obrigatório a todos os Estados-membros que parte dessa participação seja obtida através de meta mínima de 10% para o consumo de energia renovável no setor de transporte.

É relevante destacar que, embora a participação de 20% de energia renovável no consumo total de energia seja meta global para a UE, objetivos diferentes foram fixados para cada um dos Estados-membros, em

**Consumo de combustíveis em transporte na União Europeia** Em milhares de tep

**Tabela 4**

Combustível	2006 <sup>r</sup>	2007 <sup>r</sup>	2008 <sup>e</sup>	2009 <sup>p</sup>	2010 <sup>p</sup>
Total de biocombustíveis	5.910	7.940	9.320	10.340	12.650
Biodiesel	4.110	5.900	7.160	8.170	9.980
Óleo vegetal puro	920	660	370	100	100
Etanol	880	1.380	1.790	2.070	2.560
Conversão biomassa-líquido (BtL)	-	-	-	2	8
Total de combustíveis fósseis	293.531	295.667	297.900	300.160	302.470
Diesel	183.702	189.596	192.250	194.940	197.670
Gasolina	109.829	106.071	105.650	105.220	104.800
Total de combustíveis	299.440	303.610	307.220	310.510	315.120
Participação dos biocombustíveis	1,97%	2,62%	3,03%	3,33%	4,00%
Metas da Directive 2003/2030	2,75%	3,50%	4,25%	5,00%	5,75%

Nota: r - revisado; e - estimado; p - previsto. • Fonte: elaboração própria a partir de Flach, B. (2009).

função da sua situação econômica atual e do seu potencial de crescimento econômico. Com isso, alguns países deverão alcançar metas acima de 20%, enquanto outros poderão atingir metas inferiores. A meta de participação da energia renovável na Suécia, por exemplo, é de 49%, enquanto a de Malta é de apenas 10%. As metas da Alemanha, França, Reino Unido e Itália, as maiores economias europeias, são de 18%, 23%, 15% e 17%, respectivamente.

A atenção especial dada pelo CCP ao setor de transporte deve-se às projeções que indicam que o setor será responsável pela maior parcela do crescimento no consumo de energia, requerendo, portanto, o máximo de disciplina.

Um dos pontos importantes do RED diz respeito aos critérios de sustentabilidade dos biocombustíveis a serem utilizados no atendimento da meta de 10%. Três desses critérios são os mais importantes:

- I A partir do outono de 2010, as emissões de GEE no ciclo de vida dos biocombustíveis devem ser pelo menos 35% inferiores às dos combustíveis fósseis substituídos. A partir de 2017, a redução das emissões de GEE deve ser pelo menos 50%, subindo para 60%, quando o biocombustível for produzido em novas instalações.
- II Os biocombustíveis não devem ser produzidos a partir de matérias-primas obtidas de áreas com alta biodiversidade, tais como florestas primárias e áreas com cobertura vegetal nativa.
- III As matérias-primas agrícolas produzidas no território europeu devem ser produzidas de acordo com as boas práticas agrícolas e ambientais estabelecidas pela *Common Agricultural Policy* (CAP) <sup>(13)</sup> da UE.

Em função da preferência tecnológica por motores a diesel na UE e da tradição mais antiga na produção do biodiesel, o etanol representou apenas 19% do consumo de biocombustíveis no bloco econômico em 2008. Conforme apresentado na **Tabela 5**, em 2008, o consumo de etanol na UE foi de 3,71 milhões de m<sup>3</sup>, sendo que 3,55 milhões de m<sup>3</sup> foram destinados ao setor de transportes e o restante à formação de estoques. Entre os países com maior consumo de etanol estão a França (1,1 milhão de m<sup>3</sup>), a Alemanha (0,75 milhão de m<sup>3</sup>) e Suécia (0,43 milhão de m<sup>3</sup>). Em quarto lugar ficaram o Reino Unido e o bloco da Benelux, com 0,28 milhão de m<sup>3</sup> cada. Como mostra a **Tabela 6**, entre 2008 e 2010, prevê-se que o consumo na UE deverá sofrer incremento médio de 16% ao ano.

Tabela 5

Oferta e demanda de etanol na União Europeia *Em milhares de m<sup>3</sup>*

	2006 <sup>r</sup>	2007 <sup>r</sup>	2008 <sup>e</sup>	2009 <sup>p</sup>	2010 <sup>p</sup>	Varição média anual
Capacidade instalada	2.220	3.800	5.960	6.720	8.870	41,40%
Produção	1.635	1.840	2.660	3.040	3.800	23,50%
Exportação	38	44	51	57	63	13,50%
Importação	230	1.000	1.105	1.115	1.270	53,30%
Consumo	1.825	2.795	3.715	4.100	5.010	28,70%

Nota: r - revisado; e - estimado; p - previsto. • Fonte: elaboração própria a partir de Flach, B. (2009).

Em 2008, a produção de etanol na UE totalizou 2,66 milhões de m<sup>3</sup>, sendo os principais produtores a França (0,80 milhão), a Alemanha (0,58 milhão), a Espanha (0,30 milhão) e a Polônia (0,22 milhão). A principal matéria-prima utilizada na produção de etanol foi o trigo (3,2 milhões de toneladas), seguida do açúcar (1 milhão), do milho (1,6 milhão) e da cevada e centeio (0,5 milhão). Segundo as estimativas apresentadas na **Tabela 6**, a produção de etanol no bloco deverá crescer, em média, 20% ao ano entre 2008 e 2010.

Em 2008, o déficit entre o consumo e a produção de etanol na UE requereu a importação de 1,1 milhão de m<sup>3</sup>. Os maiores importadores foram Reino Unido, Suécia e Benelux, que adquiriram o produto do Brasil, Argentina, Costa Rica, Venezuela, Peru e Guatemala. Apesar do crescimento da produção ser maior do que o do consumo entre 2008 e 2010, ainda será necessária a importação de etanol, que está projetada para crescer, em média, 7% ao ano, atingindo 1,27 milhão de m<sup>3</sup>, ou 25% do consumo do produto, no final do período.

Pode-se antever que, no médio prazo, a UE deverá importar quantidades crescentes de etanol, em função de dois fatores: 1) crescimento da demanda, para atender as metas de utilização de combustíveis renováveis impostas pela CCP; e 2) restrição na oferta doméstica, em vista dos critérios de sustentabilidade dos biocombustíveis impostos pelo RED, que dificilmente serão atendidos por parte do etanol produzido a partir das matérias-primas utilizadas na EU. Essa é uma situação que cria uma janela de oportunidade para as exportações do etanol brasileiro, pelo menos até que as tecnologias de produção de etanol celulósico atinjam a maturidade.

Hoje, porém, o etanol brasileiro sofre barreiras tributárias para entrar na UE. O bloco impõe duas alíquotas de importação ao etanol: uma de € 0,192/litro para o etanol não-desnaturado e outra de € 0,102/litro para o desnaturado. Esses tributos, entretanto, não se aplicam aos países incluídos nos programas *Everything But Arms Initiative for Least Developed Countries* e *na Cotonou Agreement with African, Caribbean and Pacific*, que são isentos de qualquer taxaço. O produto do Brasil acaba sendo sujeito à maior das duas tarifas, uma vez que o país exporta principalmente etanol não-desnaturado e, a maioria dos países-membros da UE só autoriza a mistura desse tipo de etanol à gasolina.

A preocupação com as importações de biocombustíveis para atender as metas de redução de emissões de GEE do setor de transportes tem sido expressa em uma série de documentos políticos da Comissão Europeia (CE). Nos documentos *An EU Strategy for Biofuels* (EC, 2006) e *Renewable Energy Road Map* (EC, 2007),

Tributos sobre combustíveis automotivos na Suécia em 2009

Tabela 6

	Imposto de consumo (SEK/l)	CO <sub>2</sub> (SEK/l)	SO <sub>2</sub> (SEK/l)	VAT (%)
Gasolina convencional	3,08	2,44	0	25
Diesel	1,33	3,01	0	25
Etanol e Biodiesel	0	0	0	0

Nota: SEK 1 = US\$ 0,14, câmbio médio de agosto de 2009. • Fonte: elaboração própria a partir de Dahlbacka, B. (2009).

a CE propõe a busca do “desenvolvimento apropriado tanto da produção doméstica como do aumento das oportunidades de importações”. No último documento, a CE chega a declarar que “se ficar claro que a oferta de biocombustíveis sustentáveis à UE ficar restringida, a UE deve estar preparada para examinar se um maior acesso ao mercado deve ser uma opção para ajudar o desenvolvimento do mercado”. De acordo com esses documentos, a Rodada de Doha e o acordo de livre comércio entre a UE e o Mercosul terão um impacto na abertura adicional do mercado de etanol. (Flach, B., 2009.)

No entanto, há fatores que podem reduzir as previsões de importação do mercado europeu. A preferência dos consumidores da UE observada nas últimas décadas por veículos a diesel mostra-se um obstáculo ao crescimento do consumo de gasolina e, por conseguinte, um estímulo ao incremento dos volumes de etanol consumidos pelo bloco econômico. Some-se a isso a competição da crescente produção do biocombustível nos países favorecidos pelos programas de isenção de tarifas alfandegárias existentes na UE.

### 2.3 Políticas de biocombustíveis na Suécia

A Suécia foi um dos primeiros países da UE a adotar instrumentos econômicos em suas políticas ambientais. Já em 1991 o país introduziu a cobrança de tributos ambientais para todos os energéticos, incluindo os combustíveis automotivos. Conforme mostrado na Tabela 6, na Suécia, além do imposto de valor agregado (VAT), incidem sobre a gasolina um imposto específico sobre consumo e outro sobre a emissão de CO<sub>2</sub>. No caso do diesel, era ainda cobrado um imposto sobre as emissões de SO<sub>2</sub>, que se tornou nulo quando o país passou a utilizar diesel com teor de enxofre ultra baixo (abaixo de 5 ppm). Além disso, o etanol e o biodiesel gozam de total isenção tributária, sem a qual seus preços não seriam competitivos.

O etanol é utilizado na Suécia como aditivo obrigatório à gasolina na forma de E5 e, opcionalmente, como E85, que nos meses de inverno pode ser reduzido para E75. O etanol também substitui o diesel sob a forma do ED95<sup>(34)</sup>, também de uso opcional. Quanto ao biodiesel, desde 2006 o governo tem permitido a sua mistura em até 5% ao diesel.

Na Europa, a Suécia é a maior promotora do uso de E85 e de veículos *flex-fuel*. Nos últimos anos, o governo tem concedido incentivos à aquisição de veículos *flex-fuel*. Dentre os incentivos, destacam-se um bônus de SEK 10 mil (cerca de US\$ 1,4 mil) para a compra de veículos, descontos no seguro, menor taxa de licenciamento, espaços de estacionamento gratuitos na maioria das grandes cidades e isenção do imposto de congestionamento cobrado em Estocolmo<sup>(35)</sup>.

Em 2008, 50% dos modelos de veículos leves novos já eram oferecidos na versão *flex-fuel* e 25% das vendas de veículos foram de veículos *flex-fuel*. O governo sueco espera que a frota desses veículos atinja 300 mil até o final de 2010 e que o E85 represente 10% do mercado de combustíveis automotivos do país em 2012 (Christiansen, R. C., 2009).

Aos incentivos tributários concedidos ao etanol, alinha-se uma infraestrutura que conta com cerca de

1.400 postos de abastecimento de E85, e que deve ter alcançado 2.000 até o final de 2009, para atender a frota de veículos *flex-fuel* do país. O governo sueco já despendeu € 69 milhões (US\$ 91 milhões) na implantação dessa infraestrutura (Christiansen, R. C., 2009).

Mesmo com a isenção de tributos, o volume insuficiente de produção e o alto custo do etanol europeu comprometem sua competitividade em relação aos combustíveis tradicionais. Para atender o mercado e baratear o produto, desde 2008 a CE vem autorizando a Sekab a importar etanol brasileiro com redução dos impostos de importação. Para isso, o etanol brasileiro utilizado na formulação do E85 é considerado um produto químico, sobre qual incide menor carga de tributos de importação. A renovação dessa concessão, porém, vem sendo feita a cada ano, e o temor de que a qualquer momento não seja aprovada traz insegurança aos consumidores na hora de adquirirem seus veículos, ainda mais que a concessão feita à Suécia vem desagradando aos produtores europeus de etanol. Caso os produtores europeus consigam pôr fim à redução de impostos sobre o etanol brasileiro, fazendo com que esse volte a ser classificado como produto agrícola, o etanol perderá a competitividade no país e os consumidores voltarão a utilizar gasolina e diesel em seus veículos, ou, pelo menos, reduzirão o consumo dos biocombustíveis.

Uma alternativa da Suécia às importações brasileiras é apoiar projetos de produção de etanol em países que gozem de isenção na exportação do produto para a UE através dos programas *Everything But Arms Initiative for Least Developed Countries* e o *Cotonou Agreement with African, Caribbean and Pacific*. Uma dessas experiências ocorre em Gana, onde uma planta com capacidade de 150 mil m<sup>3</sup> será construída pelo grupo brasileiro Constran S/A, com financiamento parcial do BNDES, que irá conceder US\$ 260 milhões do investimento total de US\$ 306 milhões do projeto (Energy Daily, 2008).

## 2.4 Políticas de biocombustíveis no Reino Unido

Em 2002, o Reino Unido promoveu o biodiesel puro ou em mistura ao diesel ao reduzir em £ 0,2/litro (US\$ 0,3/litro) o imposto de combustíveis automotivos (£ 0,5035/litro em 2008). Considerando o imposto de valor agregado (VAT) de 15%, a redução implica vantagem de quase £ 0,24/litro para o consumidor. Em 2005, a redução foi estendida para o etanol usado sob a forma de E85 ou misturado à gasolina em qualquer proporção.

Em 2008, o governo anunciou o fim desse estímulo a partir de abril de 2010, quando os biocombustíveis passaram a ser taxados como os demais combustíveis automotivos. Em substituição da política de redução de impostos, foi promulgada, em 2007, a *Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO) Order 2007*, uma das principais políticas do Reino Unido para reduzir a emissões de GEE do setor de transporte. A RTFO entrou em vigor em 15 de abril de 2008, com a intenção de reduzir em 2,6 a 3,0 milhões de toneladas por ano as emissões de gás carbônico do setor de transportes.

Inspirado em programa similar de incentivo ao uso de fontes renováveis na geração de eletricidade no Reino Unido, a RTFO impõe aos maiores agentes (aqueles que fornecem mais de 450 mil litros de combustíveis

fósseis por ano) a obrigação de comercializar uma cota mínima de etanol e biodiesel. Para o primeiro ano de vigência da RTFO, de 15 de abril de 2008 a 14 de abril de 2009, a cota obrigatória ficou estabelecida em 2,5%. Ela é crescente: 3,25% entre 2009 e 2010; 3,50% entre 2010 e 2011; 4,0% entre 2011 e 2012; 4,5% entre 2012 e 2013; e 5,0% entre 2013 e 2014 <sup>[6]</sup>.

As empresas que participarão do programa foram separadas em dois grupos: as que fornecem mais de 450 mil litros por ano de combustíveis fósseis e que, portanto, são obrigadas a participar, devendo se registrar na RTFO; e as que fornecem volumes inferiores a esse limite ou apenas biocombustíveis, que podem participar voluntariamente mediante registro na RTFO.

Para administrar a RTFO foi criada a *Renewable Fuels Agency* (RFA), que fornece às empresas obrigadas e às não obrigadas registradas na RTFO certificados (*Renewable Transport Fuel Certificates* (RTFCs)) correspondentes aos volumes de biocombustíveis colocados no mercado, comprovados pelo pagamento do respectivo imposto específico de combustível. É permitido às empresas registradas negociarem entre si seus certificados.

Ao final de cada período, entre 15 de abril de um ano e 14 de abril do ano seguinte, as empresas devem comprovar junto à RFA a posse do número de certificados correspondente à cota obrigatória daquele período. As empresas que não comprovarem a posse desses certificados terão duas opções: (I) pagar multa (*buy-out penalty*); ou (II) adquirir RTFCs de outras empresas. Os valores arrecadados com as multas irão para um fundo de *buy-outs*. Por sua vez, as empresas obrigadas que possuam certificados em excesso ao requerido ou as empresas não obrigadas poderão vender seus certificados a outras empresas ou resgatá-los juntos à RFA por um valor que dependerá do montante acumulado no fundo de *buy-out*. O valor da *buy-out penalty* foi estabelecido em £ 0,15 por litro de biocombustível não fornecido, aumentando para £ 0,30 a partir de 15 de abril de 2010.

Para substituir o incentivo tributário de £ 0,20/litro (extinto em 2010), o governo do Reino Unido planeja implantar um sistema para recompensar os biocombustíveis de acordo com as emissões de carbono evitadas na sua produção e utilização. A partir de 15 de abril de 2011, esse sistema passaria a recompensar apenas os biocombustíveis que forem produzidos a partir de matérias-primas que atendam a padrões de sustentabilidade julgados apropriados.

## 2.5 Políticas de biocombustíveis na Alemanha

A Alemanha é hoje o maior produtor e consumidor mundial de biodiesel. Em 2007, tinha capacidade instalada de produção anual de 4,2 milhões de toneladas, responsável por 17% da produção mundial. O óleo de canola é a principal matéria-prima, e a Alemanha produziu em 2007 apenas 0,54 milhão de m<sup>3</sup> de etanol, volume diminuto frente à produção mundial de 52 milhões de m<sup>3</sup>.

A utilização do biodiesel no país começou em 1991, com a instalação da primeira planta de produção em Aschach, na Áustria. Como o biodiesel era muito mais caro que o diesel, a viabilização da sua comercialização requereu uma estrutura tributária favorável que o isentava dos tributos incidentes sobre os com-

bustíveis fósseis, tais como a *eco-tax* (*Ökosteu*er), incidente sobre todas as fontes energéticas, e o imposto específico cobrado sobre os óleos minerais (*Mineralölsteuer*).

Inicialmente, a comercialização do biodiesel deu-se apenas na forma pura (B100). As bombas nos postos possuíam dois bocais; um para óleo diesel e o outro para biodiesel, permitindo ao consumidor efetuar sua própria mistura. A implantação imediata dessa estratégia foi possível devido à sua coincidência com a proibição da venda da gasolina com chumbo no país, o que liberou a infraestrutura de distribuição e revenda da gasolina proibida para o novo combustível, evitando grandes investimentos. Além do B100, misturas com percentuais de biodiesel entre 2% e 20% são comuns na Alemanha, enquanto o etanol é misturado em proporção de 5% na gasolina. Já a mistura E85 tem pouca utilização (apenas 30 postos a ofereciam em 2007).

A partir de 1999, o governo passou a estimular ainda mais o uso de biodiesel, aumentando o tributo dos combustíveis fósseis. À mesma época, os preços do petróleo começaram a subir, tornando o biodiesel cada vez mais competitivo, o que levou a uma disparada do consumo. Entre 2000 e 2003, o consumo de biodiesel no país cresceu a uma taxa anual média de 24%. Em 2002, havia 1.500 revendedores de B100, ou cerca de 10% do total de postos do país. Em 2003, foram comercializados 755 milhões de litros do produto, ou 2,3% do consumo total de diesel fóssil na Alemanha, de cerca de 33 bilhões de litros (Wittke, F. e Ziesing, H., 2004). Em 2005, já eram 1.900 revendedores e o uso de biodiesel já tinha participação de 3,75% em relação ao diesel fóssil; quase o dobro da requerida pela *Directive 2003/30*. Em 2007, o consumo de biodiesel alcançou 3,9 bilhões de litros, correspondentes a 35% do consumo mundial do produto e a quase 10% do consumo de diesel do país (Federal Ministry of Economics and Technology, 2009).

Com o rápido crescimento do consumo, a renúncia fiscal concedida aos biocombustíveis<sup>(17)</sup> atingiu cerca de US\$ 3 bilhões em 2006 (Godoy, J., 2007) e começou a pesar no orçamento do país. Diante da situação, a Alemanha introduziu nova legislação sobre biocombustíveis através da entrada em vigor da Lei de Tributação da Energia, a partir de agosto de 2006, e da Lei de Cotas de Biocombustíveis, a partir de janeiro de 2007. Pela nova legislação, os biocombustíveis passaram a ser submetidos aos mesmos impostos específicos incidentes sobre os combustíveis fósseis, e as isenções foram substituídas por descontos que deviam ser solicitados ao governo subsequentemente à venda. Como mostra a **Tabela 7**, já em 2007 os descontos concedidos aos biocombustíveis utilizados em misturas foram extintos<sup>(18)</sup>, enquanto que os concedidos aos biocombustíveis puros, com exceção do E85, foram progressivamente reduzidos, com previsão de extinção em 2015. O E85, assim como o biodiesel e o etanol de segunda geração, continua gozando de plena isenção.

Para compensar o aumento dos tributos, a Lei de Cotas de Biocombustíveis impôs aos fornecedores de combustíveis cotas obrigatórias de venda de biocombustíveis em relação às vendas totais de derivados de petróleo e subcotas individuais em relação às vendas de gasolina e de diesel. A **Tabela 8** apresenta as cotas e subcotas de biocombustíveis que devem ser atendidas até 2015. As cotas e subcotas são estabelecidas em base no conteúdo energético dos combustíveis, ao invés de serem determinadas volumetricamente.

As cotas de biocombustíveis podem ser atendidas através do fornecimento de biocombustíveis puros ou de misturas aos derivados de petróleo. O cumprimento das obrigações pode ser transferido de um fornecedor

**Tabela 7** Descontos dos impostos específicos aos biocombustíveis na Alemanha

Em centavos de euro por litro

Ano	Etanol		ETBE	Biodiesel		Óleo Vegetal		Biocombustíveis de 2ª Geração <sup>(3)</sup>	
	E85 <sup>(1)</sup>	Mistura	Mistura	B100	Mistura	Puro	Mistura	BTL <sup>(4)</sup>	Etanol Celulósico
2004	65,05	65,05	65,05	47,04	47,04	47,04	47,04		
2005	65,05	65,05	65,05	47,04	47,04	47,04	47,04		
2006 <sup>(2)</sup>	65,05	0	0	38,04	32,04	47,04	47,04		
2007	65,05	0	0	38,04	0	47,04	0	47,04	65,05
2008	65,05	0	0	33,64	0	38,89	0	47,04	65,05
2009	65,05	0	0	27,34/	30,34 <sup>(5)</sup>	0	30,49	47,04	65,05
2010	65,05	0	0	21,04/	24,04 <sup>(5)</sup>	0	22,09	47,04	65,05
2011	65,05	0	0	14,74/	17,74 <sup>(5)</sup>	0	14,74	47,04	65,05
2012	65,05	0	0	2,14/	5,14 <sup>(5)</sup>	0	2,14	47,04	65,05
2013	65,05	0	0	2,14	0	2,14	0	47,04	65,05
2014	65,05	0	0	2,14	0	2,14	0	47,04	65,05
2015	65,05	0	0	2	0	2	0	47,04	65,05

Notas: <sup>(1)</sup> E85 isento até 2015. • <sup>(2)</sup> Tributo alterado a partir de 1º de agosto de 2006. • <sup>(3)</sup> Situação dos biocombustíveis de 2ª geração será examinada anualmente. • <sup>(4)</sup> Conversão de Biomassa em líquido. • <sup>(5)</sup> Novos valores fixados pela Emenda para a Promoção de Biocombustíveis em 2009.

Fonte: elaboração própria a partir de Mabee, W. E., et al. (2009).

**Tabela 8** Percentuais energéticos das cotas de misturas de biocombustíveis na Alemanha

Ano	Gasolina + diesel	Gasolina	Diesel
2007	n.a.	1,20%	4,40%
2008	n.a.	2,00%	4,40%
2009	6,25%/5,25% <sup>(*)</sup>	2,80%	4,40%
2010	6,75%/6,25% <sup>(*)</sup>	3,60%	4,40%
2011	7,00%/6,25% <sup>(*)</sup>	3,60%	4,40%
2012	7,25%/6,25% <sup>(*)</sup>	3,60%	4,40%
2013	7,50%/6,25% <sup>(*)</sup>	3,60%	4,40%
2014	7,75%/6,25% <sup>(*)</sup>	3,60%	4,40%
Cotas de Proteção ao Clima <sup>(*)</sup> :			
2015 / 2016	É requerida a redução de 3% nas emissões de GEE com o uso de biocombustíveis.		
2017 / 2019	É requerida a redução de 4,5% nas emissões de GEE com uso de biocombustíveis.		
2020	É requerida a redução de 7% nas emissões de GEE com uso de biocombustíveis.		

Nota: <sup>(\*)</sup> novos valores fixados pela Emenda para a Promoção de Biocombustíveis em 2009; n.a. - não aplicável.

Fonte: elaboração própria a partir de Mabee, W. et al. (2009).

para outro por meio de um contrato formal, enquanto que o seu descumprimento sujeita o fornecedor a uma multa calculada com base na quantidade de energia que faltou para atender a cota e no custo marginal de produção de uma unidade de energia de biodiesel ou etanol<sup>19</sup>.

A introdução da nova legislação teve dois impactos adversos sobre a indústria de biocombustíveis alemã (Mabee, W. E. *et al.*, 2009). O primeiro foi a queda da produção nacional. Após atingir um pico de 3,56 bilhões de litros de biodiesel em 2007, a produção de biodiesel sofreu queda de 12% em 2008, ficando em 3,18 bilhões. Em março de 2008, a ociosidade das plantas de produção atingiu 85%, e metade das empresas envolvidas no mercado de biocombustíveis suspendeu operação ou faliu; 14% dos postos pararam de vender biodiesel. A situação só melhorou um pouco nos verões de 2008 e 2009, com o aumento dos preços dos combustíveis, mas ainda longe de retornar ao pico de produção de 2007.

O segundo impacto foi o aumento nas importações de biocombustíveis. Até 2005, a produção nacional era próxima do consumo. A partir de 2006, esse balanço mudou, e 66% do biodiesel necessário para atender a legislação de cotas passou a ser importado.

Essa situação levou o governo a submeter a Emenda para a Promoção de Biocombustíveis ao parlamento alemão em outubro de 2008. Em abril de 2009, o parlamento aprovou a emenda, que entraria em vigor com a publicação da decisão. Além de alterar a legislação de tributação e de cotas de biodiesel até então em vigor, a emenda também requer que o governo garanta que padrões de sustentabilidade na produção, distribuição e uso dos biocombustíveis sejam observados. A emenda estipulou sérias mudanças nos princípios de promoção a partir de 2015, estabelecendo que o uso de biocombustíveis não seja mais baseado em cotas obrigatórias, mas sirva para reduzir as emissões de GEE advindas do uso de combustíveis fósseis no transporte. Com a emenda em vigor, a taxa de expansão no uso de biocombustíveis deve ser menor do que a então prevista.

### ► 3 Considerações finais

A produção e o uso mundial de biocombustíveis vêm crescendo rapidamente nos últimos anos devido à preocupação com as mudanças climáticas e por questões de garantia e segurança energética, que se tornaram relevantes com a perspectiva de esgotamento do petróleo. Os Estados Unidos e o Brasil são os maiores produtores mundiais de etanol, enquanto a produção de biodiesel é dominada pelos países da UE, especialmente pela Alemanha. Apesar de a redução da emissão de GEE ser um objetivo quase comum a essas políticas, a segurança energética, redução do consumo de combustíveis fósseis, impactos ambientais locais, desenvolvimento rural e ampliação da pauta de exportações também são razões para a promoção da produção e uso de biocombustíveis.

Em boa parte dos países, entretanto, os biocombustíveis exibem reduzida competitividade econômica frente aos derivados de petróleo. Mesmo com os aumentos dos preços do petróleo e de seus derivados ocorridos no passado recente, muitos biocombustíveis ainda continuaram pouco competitivos, visto que os preços das *commodities* agrícolas e dos insumos empregados na produção dos mesmos também disparam.

Conseqüentemente, exceto em alguns poucos países, a produção e uso de biocombustíveis, assim como a grande maioria das novas fontes de energia alternativa dependem de políticas públicas.

O sucesso dessas políticas está relacionado à estrutura dos preços existente nos países. Dificilmente lograrão êxito políticas promovidas por países onde os preços dos derivados de petróleo são subsidiados ou possuem carga tributária que não incorpora os custos das externalidades da produção e do uso dos combustíveis fósseis. Da mesma forma, nos países em que os preços dos combustíveis são estabelecidos *ad hoc*, a falta de previsibilidade dos preços inviabiliza os investimentos necessários à produção agrícola e à instalação de infra-estrutura de distribuição, revenda e uso de biocombustíveis, sem a presença de pesados incentivos fiscais ou medidas mandatórias.

Apesar de as políticas públicas voltadas à promoção dos biocombustíveis terem diversos formatos, elas se valem de três instrumentos: (I) apoio financeiro na forma de isenção ou redução de tributos ou de concessão de incentivos fiscais diretos para os agentes da cadeia produtiva ou para os consumidores de biocombustíveis; (II) cotas mandatórias que requerem uma participação mínima dos biocombustíveis na matriz de combustíveis automotivos; e (III) restrições comerciais na forma de tarifas aduaneiras impostas às importações de biocombustíveis como instrumento para proteger a produção doméstica.

As medidas de apoio financeiro têm efeito sobre o orçamento público, pela perda de receita decorrente renúncia fiscal ou pelas despesas com incentivos fiscais, e, portanto, representam transferência do contribuinte para os produtores ou usuários de biocombustíveis. Os Estados Unidos são exemplo de país que subsidia os produtores e formuladores de misturas, ao passo que a Suécia concede isenções tributárias aos biocombustíveis. O Reino Unido abandonou a renúncia fiscal, e a Alemanha vem reduzindo a sua prática progressivamente.

As cotas mandatórias podem ser acompanhadas de multas aos fornecedores de combustíveis que descumprirem a obrigação ou de certificados de misturas que podem ser transacionados entre fornecedores que excedam as cotas e os que não consigam atendê-las. Essas medidas não causam impactos ao orçamento público, mas implicam maiores custos para os usuários que transferem renda para os agentes da cadeia de produção dos biocombustíveis. Tanto os Estados Unidos como o Reino Unido e a Alemanha aplicam cotas mandatórias em suas políticas de promoção dos biocombustíveis. No Reino Unido, a adoção de cotas é acompanhada da emissão de certificados, enquanto na Alemanha a obrigação pode ser transferida para outros fornecedores.

As restrições impostas às importações de biocombustíveis protegem a produção doméstica contra produtores estrangeiros mais eficientes ou que possuam vantagens comparativas que reduzam os custos de produção. Essas medidas limitam as perspectivas de desenvolvimento de fornecedores mais competitivos de outros países e causam transferência dos usuários para os produtores domésticos. Os Estados Unidos e os países da União Europeia impõem tarifas alfandegárias à importação de biocombustíveis. Entretanto, as análises aqui realizadas mostram que a demanda futura por etanol desses países dificilmente será atendida sem a importação, ainda mais quando se leva em conta que os critérios de sustentabilidade estabelecidos nas políticas energéticas de substituição dos combustíveis fósseis, tanto dos Estados Unidos como da UE, restringem a utilização de determinadas rotas tecnológicas de produção existentes nesses países.

A perspectiva da internacionalização do uso do combustível abre oportunidades não só para a exportação de matéria-prima, mas também de tecnologia. Para o Brasil manter a liderança no mercado de etanol, é fundamental abrir mercados importadores, conceder incentivos a investimentos em pesquisa e buscar a inovação tecnológica, para garantir a competitividade na produção, criar novas aplicações para o produto e promover a comercialização de subprodutos.

## Referências bibliográficas

- Christiansen, R. C. (2009), *Sweden's Drive for E85. Ethanol Producer Magazine*. Acesso em 28 de agosto de 2009, em: [http://www.ethanolproducer.com/article.jsp?article\\_id=5737](http://www.ethanolproducer.com/article.jsp?article_id=5737).
- Dahlbacka, B. (2009), *Biofuels Annual: Sweden. Global Agricultural Information Network*. Acesso em 10 de julho de 2009, em: [http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual\\_Stockholm\\_Sweden\\_6-24-2009.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Stockholm_Sweden_6-24-2009.pdf).
- Davoust, R. (2008), *Gasoline and Diesel Prices and Taxes in Industrialized Countries. Institut Français des Relations Internationales*. Acesso em 7 de julho de 2009, em: [www.ifri.org/files/Energie/Davoustang.pdf](http://www.ifri.org/files/Energie/Davoustang.pdf).
- DOE (2009), Department of Energy, *State & Federal Incentives & Laws*. Acesso em 9 de julho de 2009, em: [http://www.afdc.energy.gov/afdc/progs/fed\\_summary.php/afdc/US/0](http://www.afdc.energy.gov/afdc/progs/fed_summary.php/afdc/US/0).
- EC (2006), Commission of the European Communities, *An EU Strategy for Biofuels*. Acesso em 17 de setembro de 2009, em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0034:FIN:EN:PDF>.
- EC (2007), Commission of the European Communities, *Renewable Energy Road Map*. Acesso em 17 de setembro de 2009, em: [http://ec.europa.eu/energy/energy\\_policy/doc/03\\_renewable\\_energy\\_roadmap\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/03_renewable_energy_roadmap_en.pdf).
- EIA (2009a), Energy Information Administration, "International Energy Statistics". Acesso em 23 de julho de 2009, em: <http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=79&pid=81&aid=2&cid=ww,&syid=2000&eyid=2007&unit=TBPD>.
- EIA (2009b), Energy Information Administration, *Updated Annual Energy Outlook 2009*. Acesso em 14 de setembro de 2009, em: [http://www.eia.doe.gov/oiarf/servicerpt/stimulus/pdf/sroiaf\(2009\)03.pdf](http://www.eia.doe.gov/oiarf/servicerpt/stimulus/pdf/sroiaf(2009)03.pdf).
- Energy Daily (2008), *Ghana to produce ethanol for export to Sweden*. Acesso em 21 de agosto de 2009, em: [http://www.energy-daily.com/reports/Ghana\\_to\\_produce\\_ethanol\\_for\\_export\\_to\\_Sweden\\_999.html](http://www.energy-daily.com/reports/Ghana_to_produce_ethanol_for_export_to_Sweden_999.html).
- EPA (2009), United States Environmental Protection Agency, *EPA Proposes New Regulations for the National Renewable Fuel Standard Program for 2010 and Beyond*. Acesso em 31 de agosto de 2009, em: <http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420f09023.pdf>.
- Federal Ministry of Economics and Technology (2009), *Renewables Made in Germany, biofuels in Germany*. Acesso em 24 de julho de 2009, em: <http://www.renewables-made-in-germany.com/en/biokraftstoffe/>.
- Flach, B. (2009), *EU-27 Biofuels Annual. Global Agricultural Information Network*. Acesso em 10 de julho de 2009, em: [http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/General%20Report\\_The%20Hague\\_Netherlands-Germany%20EU-27\\_6-15-2009.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/General%20Report_The%20Hague_Netherlands-Germany%20EU-27_6-15-2009.pdf).
- Fulton, L. et al. (2004), *Biofuels for Transport: An International Perspective*. International Energy Agency. Acesso em 23 de julho de 2009, em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>.
- Godoy, J. (2007), *German Biodiesel Forced to Compete*. Inter Press Service. Acesso em 31 de agosto de 2009, em: <http://ipsnews.net/news.asp?idnews=40634>.
- GTZ (2009), *German Technical Cooperation, International Fuel Prices 2009*. Acesso em 7 de julho de 2009, em: <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-int-fuel-prices-6th-edition-gtz2009-corrected.pdf>.
- Koplow, D. (2009), *A Boon to Bad Biofuels*. Friends of the Earth. Acesso em 8 de julho de 2009, em: <http://www.foe.org/sites/default/files/FOE%20VEETC%20Evaluation%20FINAL.pdf>.
- Mabee, W. E. et al. (2009), *Update on implementation agendas 2009*. Union zur Förderung Von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP). Acesso em 17 de agosto de 2009, em: [http://www.ufop.de/downloads/Task39\(1\).pdf](http://www.ufop.de/downloads/Task39(1).pdf).
- OECD (2008), Organization for Economic Co-operation and Development, *Economic Assessment of Biofuel Support Policies*. Acesso em 19 de junho de 2009, em: <http://www.wilsoncenter.org/news/docs/brazil.oecd.biofuel.support.policy.pdf>.

- Open Congress (2009), *H.R.2454 – American Clean Energy And Security Act of 2009*. Acesso em 25 de agosto de 2009, em: <http://www.opencongress.org/bill/111-h2454/show>.
- Owen J. e Rich, C. (2009), *EPA Issues Proposed Renewable Fuels Standard Implementing Regulations; Administration Makes Stimulus Funds Available for Biofuels*. Van Ness Feldman. Acesso em 31 de agosto de 2009, em: <http://www.vnf.com/news-policyupdates-359.html>.
- REN21 (2009), *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables Global Status Report 2009 Update*. Acesso em 21 de agosto de 2009, em: [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf).
- RFA (2009a), Renewable Fuels Association, *Federal Regulations: Renewable Fuels Standard*. Acesso em 21 de agosto de 2009, em: <http://www.ethanolrfa.org/policy/regulations/federal/standard/>.
- RFA (2009b), Renewable Fuels Association, *Cellulosic Ethanol*. Acesso em 7 de julho de 2009, em: <http://www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic/>.
- UNICA (2009a), União da Indústria de Cana-de-açúcar, *Carta da UNICA enviada a EPA*. Acesso em 24 de agosto de 2009, em: <http://www.unica.com.br/multimedia/publicacao/>.
- UNICA (2009b), União da Indústria de Cana-de-açúcar, *Nosso etanol é sustentável*. Acesso em 31 de agosto de 2009, em: <http://www.unica.com.br/clipping/show.asp?cppCode=A6FE3748-E56A-40C1-AB2F-5D61E188E829>.
- Wittke, F. e Ziesing, H., (2004), *Economic Bulletin 3/2004*. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung - DIW Berlin. Acesso em 23 de julho de 2009, em: [http://www.diw.de/english/economic\\_bulletin\\_03/2004/33639.html#pgfId-515558](http://www.diw.de/english/economic_bulletin_03/2004/33639.html#pgfId-515558).

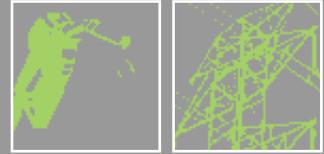
## Notas explicativas

- [01] Alguns estudos questionam a viabilidade técnica do uso de etanol misturado à gasolina em percentuais acima de 10%, sem alteração dos sistemas dos veículos. Entre os pontos questionados estão o aumento da emissão de óxidos de nitrogênio e de aldeídos, a elevação do consumo, além da redução da durabilidade de componentes dos veículos, tais como os conversores catalíticos. Em documento enviado à Environmental Protection Agency dos Estados Unidos, a UNICA rebate esses questionamentos (UNICA, 2009a).
- [02] A análise de ciclo de vida de combustíveis quantifica as emissões de GEEs originárias da exploração, produção, distribuição e uso final de combustíveis. No caso de biocombustíveis, ela inclui ainda as emissões resultantes de alterações diretas e indiretas do uso da terra em outros países em decorrência da produção de combustíveis renováveis.
- [03] A OCDE é composta por Austrália, Canadá, Estados Unidos, Coreia, México, Japão, Nova Zelândia, Turquia e 22 países europeus.
- [04] Os gráficos apresentados têm por objetivo ilustrar a classificação dos países segundo o grau de incentivo fiscal e tributação. Dependendo da época do levantamento de preços, a posição relativa dos países pode ser alterada, inclusive com alternância entre categorias.
- [05] Para efeito desse trabalho, considera-se que um combustível é subsidiado quando o seu preço ao consumidor é inferior a um preço de referência (benchmark), que representa uma estimativa de um “preço econômico” calculado com base em fundamentos comerciais.
- [06] Os preços de venda dos combustíveis apresentados para os Estados Unidos incluem os custos e margens de lucro da indústria, imposto de valor agregado e um tributo específico sobre o combustível de aproximadamente US\$ 0,10/litro destinado à renovação e manutenção de rodovias. Por não incorporar outras formas de tributo específico, o preço nos Estados Unidos é adotado como referência para preço mínimo dos derivados sem incentivos fiscais.
- [07] Para efeito deste trabalho, considera-se que um combustível é tributado quando o seu preço ao consumidor é superior a um preço de referência (benchmark) que represente uma estimativa de um “preço econômico” calculado com base em fundamentos comerciais.
- [08] O EU-15 é formado pelos 15 primeiros países-membros da União Europeia antes do acesso de 10 novos países candidatos em 1º de maio de 2004.
- [09] Flórida, Havaí, Iowa, Kansas, Louisiana, Minnesota, Missouri, Montana, Oregon e Washington.
- [10] An Updated Annual Energy Outlook 2009 Reference Case Reflecting Provisions of the American Recovery and Reinvestment Act and Recent Changes in the Economic Outlook (EIA, 2009b).
- [11] O Blair House Agreement, de 1992, permitiu à UE produzir oleaginosas para finalidades não alimentícias no limite de um milhão de toneladas de soja equivalente.
- [12] Denominação oficial da Directive on the Promotion of the Use of Biofuels and Other Renewable Fuels for Transport.
- [13] O CAP é um sistema de incentivo fiscal e de programas agrícolas da União Europeia que em 2006 absorveu 48% do orçamento de € 49,8 bilhões da UE. Três princípios norteiam o CAP: (i) a unificação dos mercados para o livre trânsito de produtos agrícolas na UE; (ii) solidariedade financeira em relação a todos os custos do CAP, que são financiados por um tesouro comunal, sustentado pelas tarifas de importação e contribuições dos países europeus; e (iii) preferência comunal, com os produtos europeus gozando de preferência em relação aos importados.
- [14] Desenvolvido pela Sekab (Svensk Etanolkemi AB), um dos maiores produtores, importadores e comercializadores de etanol da Europa, o ED95 é formado pela mistura de 5% de um aditivo de ignição ao etanol, sendo utilizado em ônibus e caminhões com motores a diesel adaptados.
- [15] O imposto de congestionamento de Estocolmo é cobrado a veículos entrando e saindo do centro da cidade.
- [16] A Renewable Transport Fuel Obligation Order 2007 inicialmente previa o aumento da obrigação de 2,5% em 2008-09 para 3,75% em 2009-10 e para 5% em 2010-11. Esses percentuais foram alterados pela Renewable Transport Fuel Obligation (Amendment) Order 2009, que entrou em vigor em 15 de abril de 2009.
- [17] Em março de 2009, os impostos específicos sobre combustíveis fósseis na Alemanha eram de € 0,4704/litro para o diesel com teor de enxofre ultra baixo e de € 0,6545/litro para a gasolina sem chumbo. Além desses tributos, incidem 19% de IVA sobre o preço final de todos os combustíveis, sejam eles fósseis ou não. A soma dos tributos sobre os combustíveis fósseis atingia, em média, € 1,03 por litro de diesel e € 1,22 por litro de gasolina.
- [18] A diferença de € 2,00 entre o imposto do óleo vegetal e o do diesel serve para compensar o menor poder calórico do óleo vegetal.
- [19] Em dezembro de 2006, esses valores eram de € 16/GJ para o biodiesel e € 38/J para o etanol.



08





# Mercado e concorrência do etanol

Elizabeth Farina

Claudia Viegas

Paula Pereda

Carolina Garcia



*A produção e a distribuição de combustíveis têm sido, com mais ou menos intensidade, reguladas em todos os países do mundo. A disponibilidade de energia é estratégica para qualquer economia, e a dependência de recursos não renováveis representa desafios nada triviais à política pública.*

*As fontes renováveis, apesar da sazonalidade e da possibilidade de quebra de safras, ajudam a mitigar os problemas gerados pela dependência de combustíveis fósseis.*

*No Brasil, a produção de etanol se dá num mercado relativamente pulverizado. Nesse contexto, a pergunta que deve ser feita é: isso garante o adequado suprimento de etanol? A resposta depende, em parte, da política adotada para os derivados de petróleo que, no caso brasileiro, depende da política de preços da Petrobras para os derivados. De qualquer maneira, como está demonstrado que o consumidor de etanol hidratado é mais sensível a preços que o consumidor de gasolina C, pode-se deduzir que, em termos de política pública para o etanol, a variável preço é suficiente para regular o mercado.*

*Em relação ao etanol anidro, a alteração na mistura obrigatória – entre 20% e 25% – tem sido, até o momento, uma forma eficiente de se reduzir a volatilidade de preços no mercado de gasolina C em momentos de escassez. Apenas quebras de safra que coloquem em risco o abastecimento de etanol anidro para compor a gasolina C justificam alterações na mistura. Essa política não deve ser usada para enfrentar variações sazonais, pois alterações injustificadas aumentam o risco do negócio e a sustentabilidade da produção de etanol.*

*Este artigo defende, entre ações prioritárias, o estabelecimento de critérios técnicos para o monitoramento do mercado com vistas a identificar quebras de safra, a ampliação da atuação de agentes que confirmam maior liquidez ao mercado e a intensificação da prática de mecanismos para estocagem privada de etanol.*

*De resto, aprimorar o funcionamento do mercado com o mínimo de intervenção é a forma mais eficiente de se dar incentivos corretos para a expansão sustentável da produção.*

## ► 1 Introdução

Para examinar os padrões de concorrência observados na cadeia produtiva de combustíveis líquidos no Brasil e as consequências para o abastecimento do mercado interno e para a política pública, é fundamental entender como se dá a estrutura produtiva de etanol (anidro e hidratado).

A **Figura 1** apresenta o desenho dos fluxos do sistema agroindustrial do negócio da cana-de-açúcar em sua totalidade. A atenção do presente estudo está concentrada no subsistema produtor de etanol, embora as inter-relações com o subsistema do açúcar sejam fundamentais para a compreensão da dinâmica do primeiro.

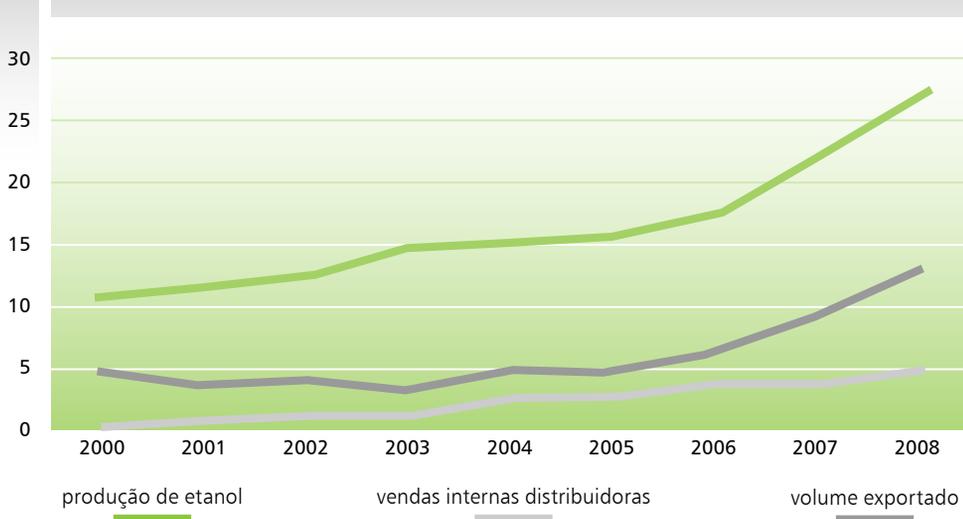
Com o objetivo de discutir possíveis contornos para a política pública no mercado de etanol, este artigo está estruturado como se segue.

A seção 2 apresenta os aspectos gerais do mercado de biocombustíveis no Brasil, evidenciando as relações entre açúcar e etanol, gasolina e etanol hidratado e, por fim, etanol anidro e hidratado. Na seção 3, é estudada a cadeia produtiva do etanol, tratando do ambiente competitivo e da concentração em diferentes segmentos da cadeia produtiva. A seção 4 dedica-se à estimação da demanda interna de etanol hidratado e gasolina. A seção 5 estuda os impactos das variações de preço do etanol anidro nas variações de preço da gasolina e calcula qual deveria ser o recuo de produção para caracterizar uma situação de risco de abastecimento de etanol anidro.

Como conclusão, discute-se o papel e os contornos de uma política pública que vise incentivar a produção baseada em energia renovável, mais especificamente o etanol de cana-de-açúcar e garantir o abastecimento regular do mercado.

Gráfico 1

Produção, exportação e vendas internas de etanol *Em bilhões de litros*



## ► 2 Aspectos gerais do mercado de biocombustíveis no Brasil

A evolução do consumo interno de etanol no Brasil, notadamente com o surgimento do carro *flex-fuel* em 2003, impulsionou a produção do combustível, como mostra o Gráfico 1. Até 2003, o mercado foi sustentado pela mistura obrigatória de etanol anidro e por uma frota em extinção dos antigos carros a álcool. De 2004 em diante surge uma nova realidade, como mostra a Tabela 1. Em 2004 esses veículos representavam 2% da frota; em 2008 respondiam por 31%. O resultado foi um crescimento vertiginoso da demanda por etanol hidratado, que em 2009 superou as vendas de gasolina C.

### 2.1 Relação entre açúcar e etanol

Os mercados do açúcar e do etanol concorrem pelo principal insumo produtivo para ambos, a cana-de-açúcar plantada e moída, ou seja, podem ser considerados produtos concorrentes do lado da oferta. Essa relação é benéfica para o produtor, que pode contar com alternativas frente a choques de demanda/oferta dos produtos. Funciona como um redutor de risco do negócio, uma vez que esses produtos são independentes do lado da demanda, isto é, do ponto de vista dos consumidores.

A produção de açúcar e de etanol responde a preços relativos e a características técnicas. As usinas de açúcar com destilaria anexa podem direcionar o caldo oriundo da moagem tanto para fabricação de açúcar como de etanol, dependendo da rentabilidade relativa desses produtos. A decisão depende também das chuvas. Nos períodos de chuva o rendimento em sacarose está em níveis baixos e é preferível atingir o limite máximo de produção de etanol e reduzir ao mínimo necessário a produção de açúcar, com o inverso ocorrendo nos períodos de seca. Além disso, as unidades produtoras possuem volume determinado de cana a ser moída durante a safra e uma capacidade limitada para produção de açúcar e etanol. Portanto, existem condições operacionais do processo produtivo que obrigam as unidades mistas a produzir tanto açúcar

Tabela 1

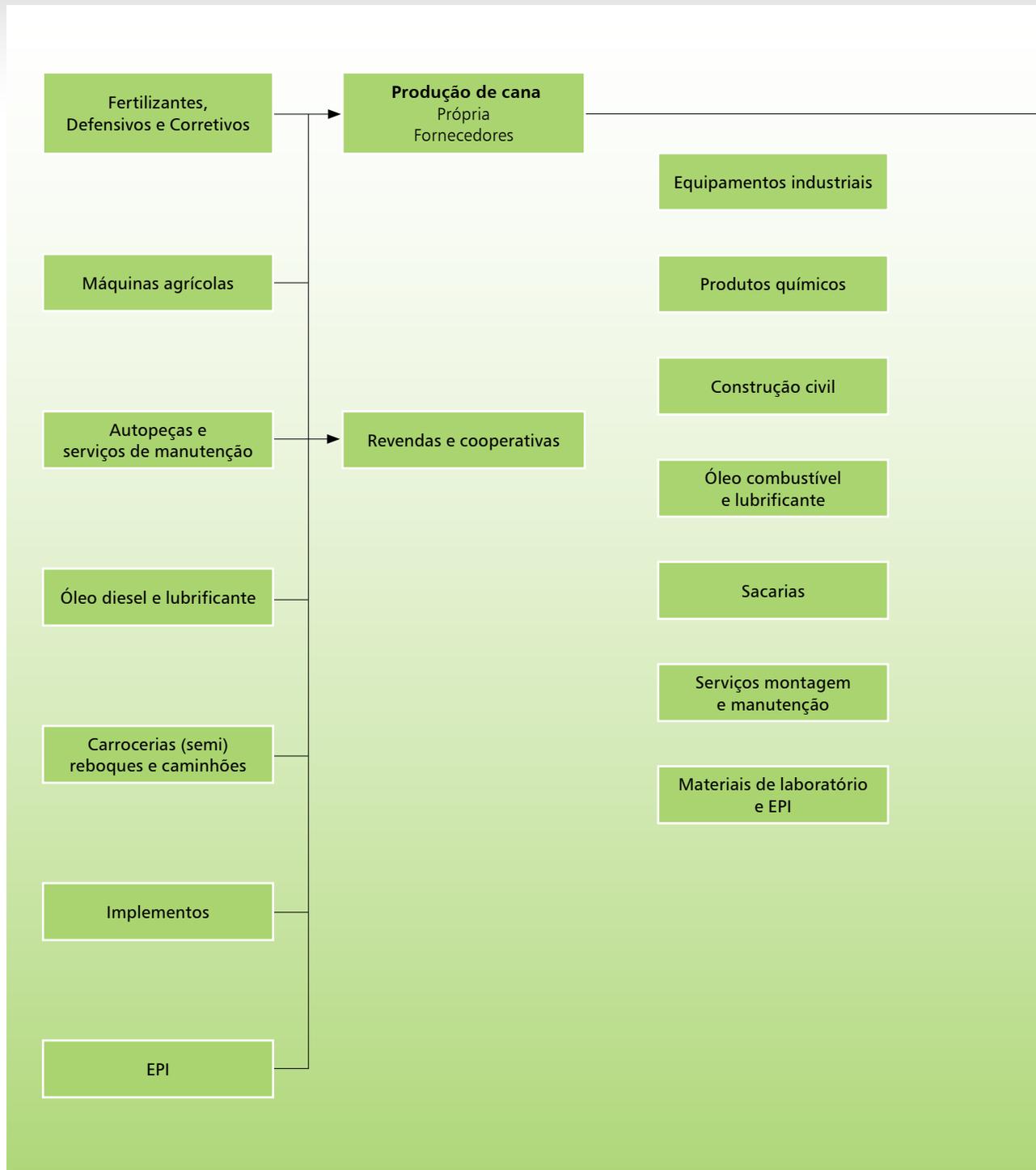
Frota de veículos leves Em unidades

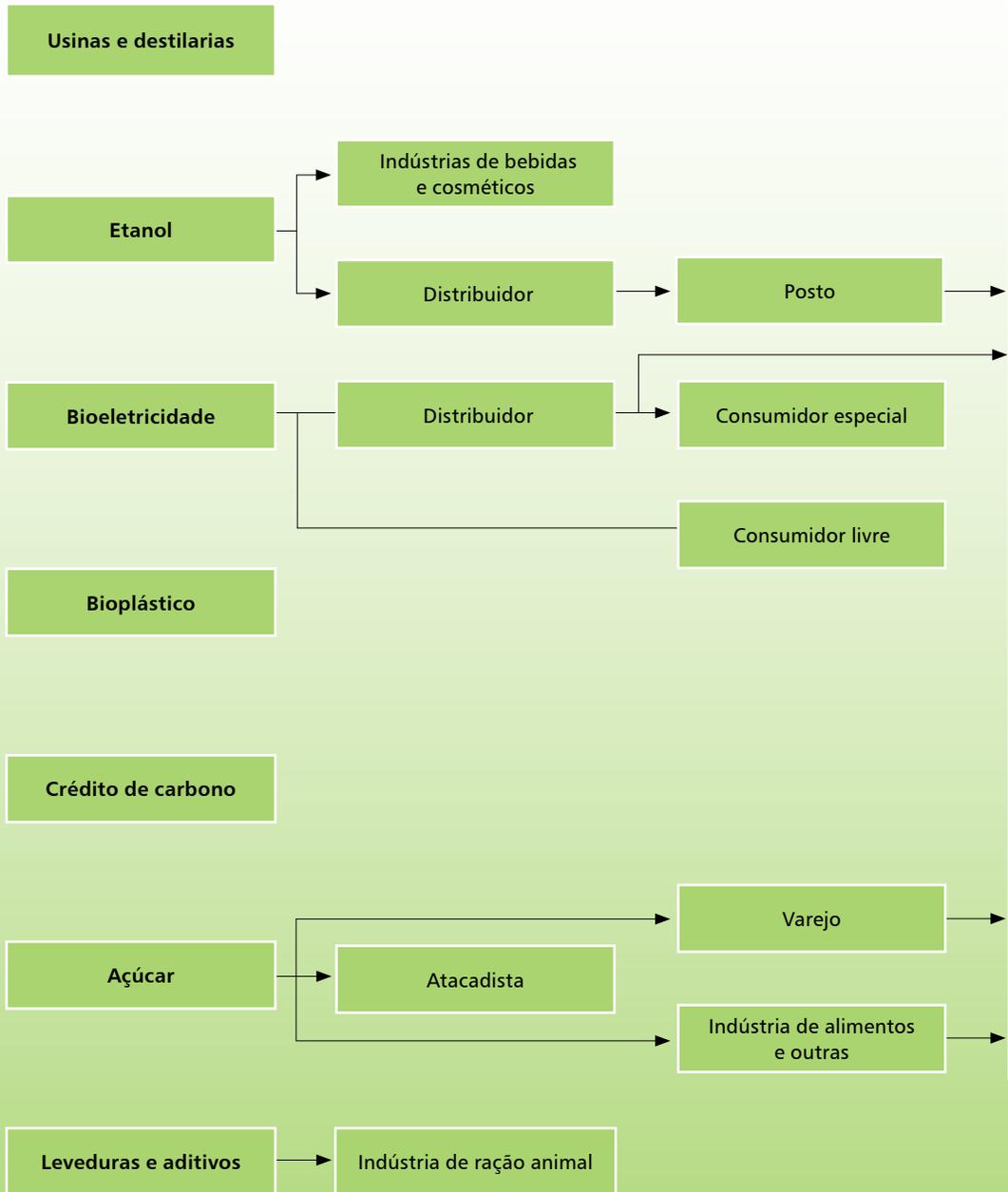
Ano	Flex	Gasolina	Etanol	Total
2000		12.171.156	3.088.471	15.259.627
2001		13.259.902	2.704.089	15.963.985
2002		14.201.202	2.353.114	16.554.316
2003	48.142	14.972.939	1.990.045	17.011.126
2004	331.762	15.560.064	1.698.340	17.590.166
2005	1.182.052	15.807.570	1.389.977	18.379.599
2006	2.596.846	15.534.130	1.122.169	19.253.145
2007	4.568.256	15.106.423	899.183	20.573.862
2008	6.843.750	14.554.392	711.428	22.109.570

Fonte: Anfavea/UNICA.

Figura 1

## Sistema agroindustrial da cana-de-açúcar





Consumidor Final

quanto etanol, fazendo com que a margem de substituição desses produtos varie de 5 a 10% (Zanão, 2009). A produção de uma usina brasileira típica de etanol e açúcar pode ser observada pela **Figura 2**.

Outro fator que influencia na decisão de produção das usinas é o custo de carregamento de estoques de etanol, bastante elevado devido às características de estocagem. Os investimentos em ativos para estocagem são específicos à produção de etanol e podem representar limitação de ordem econômica para a transformação de açúcar em etanol, para responder a alterações de preços relativos.

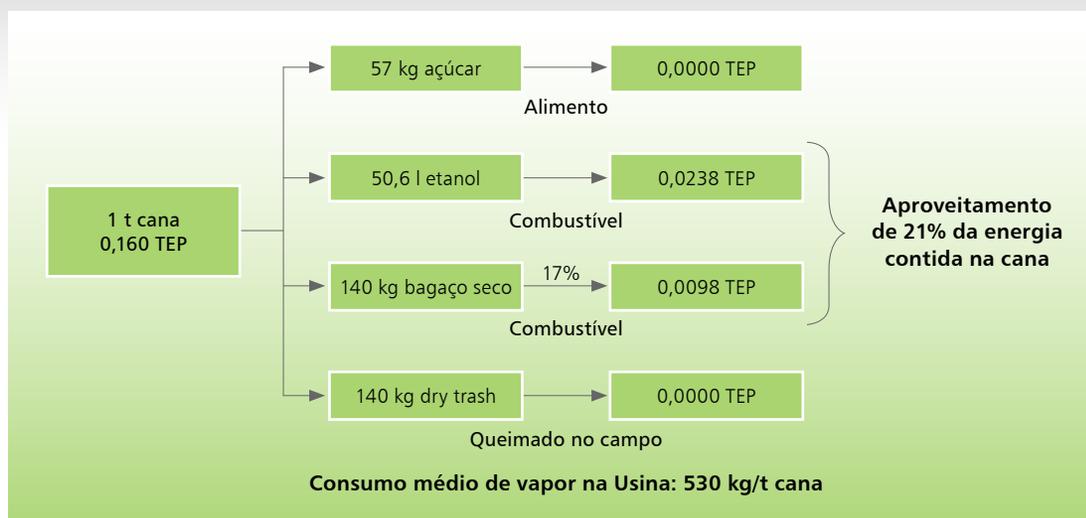
Xavier (2008) classifica a rede de armazenagem de etanol do Brasil em dois grandes grupos: o primeiro formado pelos tanques de combustíveis pertencentes às usinas e o segundo formado pelos tanques das distribuidoras, dos terminais da Transpetro, dos centros coletores de etanol e, em menor escala, pelos terminais portuários. Ainda segundo o autor, pode-se estimar que uma usina possua tanques suficientes para armazenar 50% de sua produção total de uma safra.

Em relação à capacidade estática de armazenamento de etanol no Brasil, Zanão (2009) afirma que as unidades produtoras são capazes de armazenar cerca de 11,6 bilhões de litros. Desse total, a capacidade de tancagem para o etanol anidro é de 5,3 bilhões de litros, representando 45% do total – e para o etanol hidratado é de 6,3 bilhões, ou seja, 55% da capacidade nacional. As unidades produtoras do Estado de São Paulo concentraram 56,2% da capacidade de armazenamento do país, durante a safra 2007/2008.

**Figura 2**

**Produção de uma usina típica de açúcar e etanol no Brasil**

*1,3 milhão de toneladas de cana/ano, em 2008<sup>1</sup>*



Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), extraída do Simtec 2008 (Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucoalcooleira).

## 2.2 Relação entre gasolina e etanol hidratado

O Proálcool foi criado na década de 70 em resposta a duas crises do petróleo que resultaram em elevados preços no mercado internacional. O programa criou as bases para o retorno do etanol combustível à matriz energética nacional, inclusive com a introdução do uso exclusivo do etanol como carburante. Nessa época, o etanol hidratado dependia de subsídios para ser competitivo com a gasolina, mesmo com os preços altos do petróleo. A Petrobrás teve papel importante na criação e desenvolvimento do mercado de etanol combustível, uma vez que possibilitou a distribuição do produto pelos mesmos canais de revenda da gasolina e diesel.

O desenvolvimento do mercado de etanol combustível no Brasil mostra, também, quão sensível pode ser o desenvolvimento tecnológico aos movimentos do mercado do produto substituto no curto e médio prazos. Depois do impulso dado pelo Proálcool, o desenvolvimento tecnológico perdeu seu dinamismo face aos preços cadentes do óleo e à perda de “reputação do etanol hidratado” como substituto da gasolina. Nessa época, a substituição se fazia no momento da aquisição do veículo ou em sua conversão. Ou seja, o consumidor migrava totalmente de mercado, deixando de consumir gasolina C. A perda de competitividade do etanol hidratado e a falta do produto na bomba deixavam o consumidor sem alternativa, o que afetava a reputação do Proálcool. Com isso, a frota de etanol hidratado praticamente deixou de existir.

O lançamento dos carros *flex-fuel* em 2003 transformou o mercado de combustíveis no Brasil. A possibilidade de abastecer com etanol, gasolina C ou qualquer proporção dos dois tipos de combustível propiciou o retorno do etanol hidratado como potencial concorrente da gasolina C. Naquele ano, foram vendidos 48 mil veículos *flex-fuel*. Em 2008, as vendas foram de 2,3 milhões, evidenciando não apenas as condições favoráveis como também a firme participação na indústria automobilística. <sup>[2]</sup>

Hoje, o etanol é competitivo com os derivados de petróleo dentro de determinada faixa de preços, dada a eficiência energética relativa entre os combustíveis. O **Gráfico 2** compara a evolução do índice de preço do barril de petróleo (WTI) negociado em Bolsa (NYMEX), a evolução do índice de preço médio da gasolina A no Brasil e a evolução do índice do preço médio da gasolina C ao consumidor no Brasil. Nota-se um descolamento dos índices, principalmente devido à estabilidade dos preços da gasolina A e da gasolina C.

## 2.3 Relação entre etanol anidro e hidratado

Os automóveis que circulam no país utilizam dois tipos de etanol combustível: o hidratado (como combustível) e o anidro (misturado à gasolina A). Atualmente, o teor de etanol anidro, que deve ser adicionado à gasolina A para produção da gasolina C, é fixado por portaria do Ministério da Agricultura (decreto nº 3.966/2001). O teor adicionado pode variar de 20% a 25%, em volume, segundo a lei nº 10.696/2003.

Como o etanol anidro é derivado do etanol hidratado <sup>[3]</sup>, os custos de produção do anidro são maiores que os custos de produção do hidratado. O **Gráfico 3** compara os preços do etanol anidro e do hidratado recebidos pelos produtores no Estado de São Paulo, sem frete e sem impostos. As setas perpendiculares

no gráfico indicam os períodos de início de vigência das portarias do Ministério da Agricultura referente ao teor de etanol anidro adicionado à gasolina A no período, com as respectivas percentagens, que são resumidas na Tabela 2.

Em relação à produção, considerando-se a safra 1999/2000 como período inicial, o etanol anidro superou a produção de etanol hidratado somente no período entre as safras 2000/2001 e 2004/2005. Da safra 2003/2004 até a safra 2008/2009, a taxa de crescimento médio da produção de etanol hidratado foi de 21% ao ano. O Gráfico 4 mostra a evolução da produção de etanol, cujo comportamento reflete a redução da frota de carro a álcool no início dos anos 2000 e o surgimento do carro *flex* a partir de 2003.

### ► 3 Cadeia produtiva do etanol

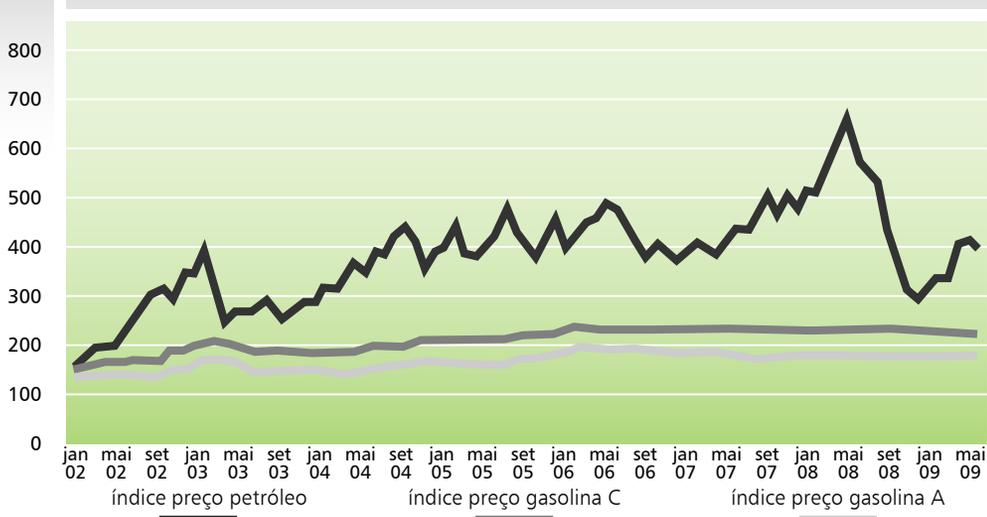
Esta seção analisa as inter-relações do mercado de etanol com os mercados de açúcar e derivados de petróleo e o impacto da estrutura produtiva na dinâmica do setor.

#### 3.1 Ambiente competitivo

O papel da política pública e o desenho dos mecanismos de intervenção nos mercados dependem crucialmente do processo competitivo que se observa em cada segmento da cadeia produtiva e de suas relações verticais. Dentro dessa perspectiva, exploramos nesta seção a estrutura e o padrão de concorrência, em especial

Gráfico 2

Comparação da evolução dos preços de petróleo, gasolina A e gasolina C



os mecanismos de formação de preços na cadeia produtiva do etanol. O foco principal está no segmento de produção de açúcar e etanol e segmentos à jusante (distribuição de combustíveis líquidos e revendedores).

De acordo com o cadastro do Ministério da Agricultura (Mapa) de agosto de 2009, há no Brasil 423 unidades produtoras de açúcar e etanol, sendo 248 unidades mistas (com produção de açúcar e etanol), 159 destilarias (produção apenas de etanol) e 16 unidades produtoras de açúcar <sup>8</sup>.

Um elemento importante do ambiente competitivo das usinas brasileiras é a heterogeneidade de tamanho. A maior parte das empresas localizadas na região Centro-Sul (58%) produziu menos de 2 milhões de toneladas de cana moída na safra 2008/2009 e respondeu por apenas 31% da moagem de cana da região.

**Tabela 2** Mudanças no teor de etanol anidro adicionado à gasolina

No período janeiro de 2003 a junho de 2009

Portaria Mapa nº	Data da edição	Percentual fixado	Vigência
17	22/01/03	20%	01/02/03
554	27/05/03	25%	01/06/03
51	22/02/06	20%	01/03/06
278	10/11/06	23%	20/11/06
143	27/06/07	25%	01/07/07

Fonte: Ministério da Agricultura. Elaboração dos autores.

**Gráfico 3**

**Evolução dos preços do etanol anidro e do etanol hidratado<sup>4</sup>**



Fonte: UNICA. Elaboração dos autores.

No que se refere à produção de etanol, 60% das unidades de produção produziram menos de 100 milhões de litros de etanol, o que representa 31% de toda a produção. Enquanto isso, apenas 8% das unidades produziram 25% de todo o etanol da região Centro-Sul.

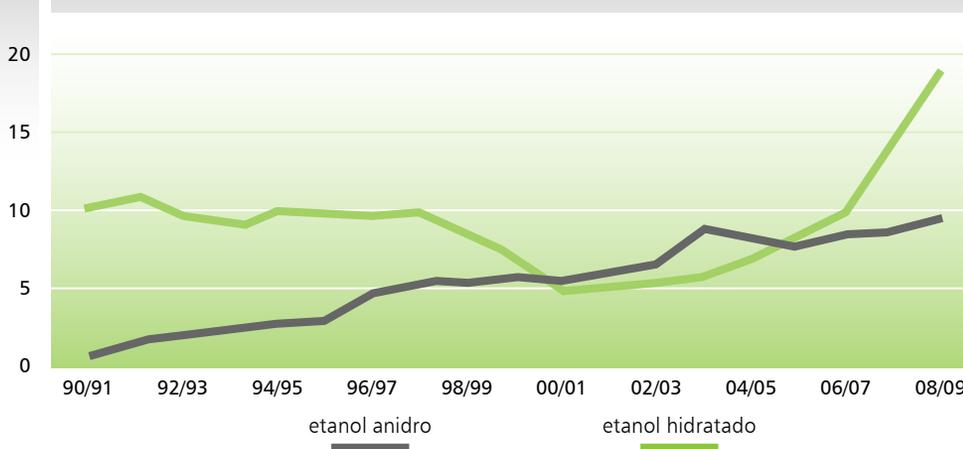
Segundo o Sindicato da Indústria da Fabricação de Álcool no Estado de Minas Gerais (Siamig) <sup>[7]</sup>, das 15 maiores usinas no país, 13 estão em São Paulo (das outras duas, uma está no Mato Grosso e uma em Minas Gerais). A diferença entre a primeira e a última desse ranking foi de cerca de 3 milhões de toneladas na safra 2007/2008, o que mostra a diferença de escala das empresas líderes. Dessas 15 empresas, duas superaram a marca das 6 milhões de toneladas.

Ainda segundo o relatório do Siamig, a concentração no setor sucroalcooleiro brasileiro é fenômeno recente. Desde 2004, foram realizadas mais de 60 operações de fusões e aquisições, que deram origem a grandes grupos no setor. No entanto, essa concentração é ainda baixa. Não há nenhum produtor com mais de 10% da produção nacional em termos de cana-de-açúcar moída.

Como o processamento da cana-de-açúcar demanda altas cargas de transporte com baixo valor agregado, as usinas e destilarias localizam-se próximas às unidades produtoras de cana-de-açúcar e o transporte é usualmente feito em treminhões (Xavier, 2008).

No segmento produtor de etanol, a atividade de distribuição é responsável pela aquisição, armazenamento, transporte, comercialização e controle de qualidade do combustível (Xavier, 2008). Segundo a ANP, existem 508 bases de distribuição de combustíveis no país, 36.730 postos de revenda e 459 TRR (Transportador Revendedor Retalhista). <sup>[8]</sup> O fluxograma a seguir (Figura 3) resume a cadeia de distribuição de combustíveis.

Gráfico 4

Evolução da produção brasileira de etanol *Em bilhões de litros<sup>5</sup>*

Fonte: UNICA, ANP. Elaboração dos autores.

As bases de distribuição de combustíveis localizam-se, principalmente, em regiões próximas aos portos e mercados consumidores. Os produtos são transferidos e armazenados nas bases de distribuição, onde os caminhões-tanque são supridos e os produtos seguem para os clientes finais da empresa – postos de revenda, grandes consumidores e atacadistas (Rodrigues e Saliby, 1998).

A desregulamentação do setor favoreceu a entrada de novos distribuidores no mercado e propiciou o emprego da logística como arma competitiva no mercado de combustíveis brasileiro (Maligo, 2005). As distribuidoras, que surgiram após a desregulamentação, ficaram conhecidas no setor como “emergentes”. Como se verá adiante, as emergentes concentram-se sobretudo em São Paulo, de acordo com a ANP, e tornaram-se muito importantes na distribuição do etanol hidratado.

No tocante aos postos revendedores de combustíveis, dos 36.730 existentes no país, 43% são de bandeira branca (Gráfico 5). Postos de bandeira branca podem ser abastecidos por qualquer distribuidora, enquanto que os postos com bandeira estabelecida só podem ser abastecidos pela distribuidora referente à sua própria bandeira.

Atualmente, o preço do etanol na bomba pode ser dividido em quatro componentes. O primeiro é o preço de realização do etanol hidratado, que representa o preço vendido pelo produtor sem impostos e fretes às distribuidoras de combustíveis. O segundo refere-se aos impostos. Sobre o etanol há incidência de ICMS (estadual) e PIS/Cofins (federal), recolhidos por produtores e distribuidoras. No Estado de São Paulo, o recolhimento do ICMS em 2003 era de 25% sobre o faturamento do produtor e da distribuidora; a partir de janeiro de 2004 passou a 12%. Quanto ao recolhimento do PIS/Cofins, de janeiro de 2003 a setembro de 2008 a alíquota foi de 3,65% para o produtor e de 8,2% para a distribuidora. Desde outubro de 2008, os usineiros recolhem R\$ 48 por mil litros de etanol hidratado, enquanto as distribuidoras recolhem R\$ 78. <sup>[10]</sup> O terceiro item da composição do preço do etanol hidratado na bomba é representado pela logística, composto pelo frete da usina à base de distribuição, e a posterior entrega nos postos revendedores. O quarto e último item refere-se às margens do distribuidor e do posto revendedor. <sup>[11]</sup>

Cadeia de distribuição de combustíveis, 2009

Figura 3



Fonte: ANP. Elaboração dos autores.

O Gráfico 6, com a evolução da decomposição do preço do etanol hidratado na bomba no Estado de São Paulo, mostra a compressão das margens dos produtores, situação agravada desde 2007. Contudo, os dados para 2009 compreendem o período de janeiro a setembro, quando a produção é maior e os preços menores. Assim, possivelmente, o preço pago ao produtor está subestimado.

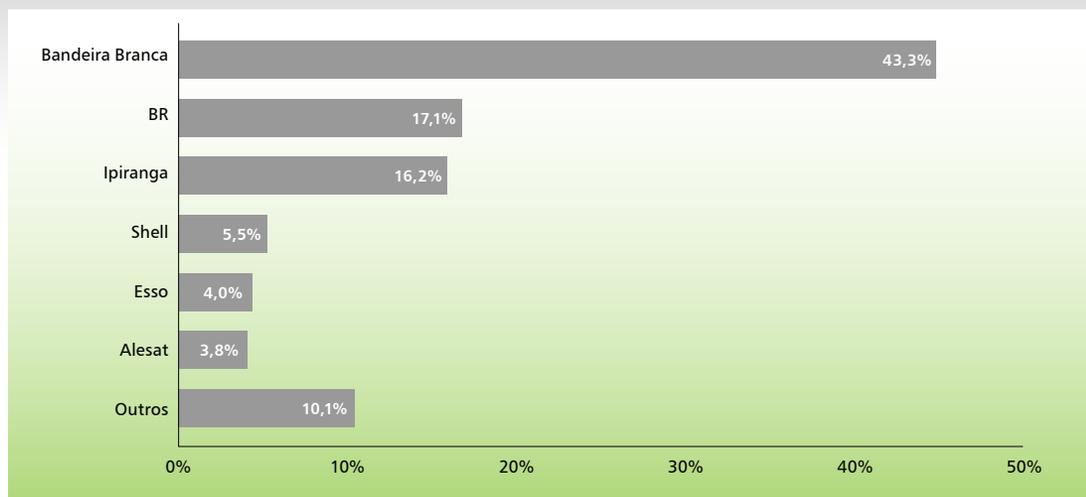
Embora todos os valores estejam normalizados para que o preço na bomba seja igual a 1, em alguns anos a coluna no gráfico excede 1: em 2003 e 2004 devido à margem negativa da distribuidora, e em 2008 e 2009 devido à margem negativa do produtor. Assim, se somarmos todos os valores que compõem o preço, inclusive as margens quando negativas, o preço na bomba será igual a 1. <sup>[12]</sup>

### 3.2 Concentração da cadeia produtiva

O comportamento da oferta de etanol é também influenciado pela estrutura de mercado, na medida em que ela reflete as condições relativas na barganha de preços entre produtores e compradores (distribuidoras) de etanol.

A concentração constitui característica fundamental da estrutura do mercado e pode ser medida por meio de índices, como o HHI (*Herfindahl-Hirschman Index*) e o  $CR_k$  (razão de concentração). Os trabalhos que mais contribuíram para o tema foram o de Rocha *et al* (2007), Mori e Moraes (2007) e Mattoso (2008). Dessa literatura pode-se concluir que o setor produtor de etanol, até recentemente, caracterizava-se pela baixa concentração, mas com forte tendência a fusões e aquisições nos últimos anos.

Gráfico 5 Distribuição dos postos no Brasil, segundo a bandeira<sup>9</sup> Em %, situação em 31/12/2008



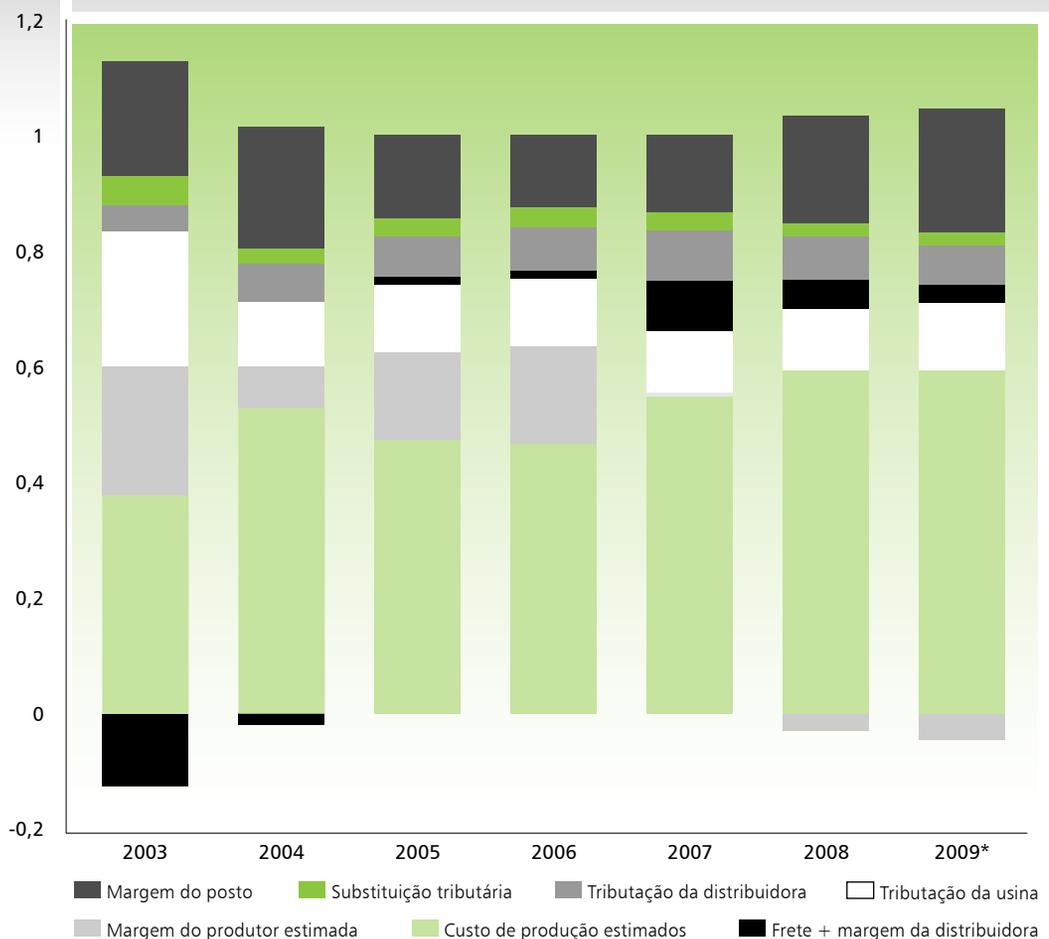
Fonte: ANP.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos três índices de concentração (HHI <sup>[3]</sup>, Número Equivalente e CR5) das distribuidoras de combustíveis no Brasil para 2008, tomando o Brasil como mercado de referência.

Apesar da elevada participação de mercado das cinco maiores, o HHI é inferior a 1.800, para a distribuição de etanol hidratado e gasolina C, indicando baixa concentração. No caso do óleo combustível, gasolina de aviação e QAV, os mercados são bastante concentrados.

Gráfico 6

## Decomposição do preço do etanol hidratado na bomba, em São Paulo



\* Os dados referentes ao ano de 2009 compreendem o período de janeiro a setembro. Obs.: embora os valores estejam normalizados para que o preço na bomba seja 1, em alguns casos o valor no gráfico excede 1 devido à margem negativa ora da distribuidora, ora do produtor, "compensando" assim o valor maior que 1 na bomba. • Fonte: Agroconsult, Cepea/UNICA, ANP. Elaboração dos autores.

Como se sabe, o HHI varia com a participação de cada empresa no mercado e também com a disparidade entre elas. O número equivalente corresponde ao número de empresas de igual tamanho que gerariam o mesmo HHI. Tanto para o etanol quanto para a gasolina C esse número é relativamente alto. Uma dezena de empresas de igual tamanho disputando o mercado pode gerar forte competição pela compra da matéria-prima ou pela venda para os postos.

Cabe destacar que esses índices podem estar distorcidos pela agregação excessiva das informações. Como não se dispõe das informações desagregadas, optamos, então, por calcular o HHI por Estado, utilizando dados do Sindicom e da ANP para etanol hidratado e gasolina C.

O HHI calculado por Estado continuou mostrando baixa concentração nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso (HHI<1800) em 2008. No caso de São Paulo o HHI verificado foi menor que 1.000, o que indica mercado fragmentado, tanto do lado da compra como do lado da venda. Para os demais Estados, obteve-se sempre HHI maior que 1.800.

Entrevistas com executivos de usinas em São Paulo, no entanto, revelaram que parte dos usineiros não vende para a maioria das distribuidoras emergentes, em especial aquelas que não participam do Sindicom, por razões associadas à sonegação fiscal e inadimplência. Sendo assim, as compradoras ficariam restritas às cinco distribuidoras de combustíveis líquidos associadas ao Sindicom. Para levar esse aspecto em consideração, fizemos o cálculo da concentração considerando apenas a parte do mercado da qual participam apenas as distribuidoras autodenominadas Sindicom. Só assim a concentração em de todos os Estados supera o HHI de 1.800. Isso significa que, para as usinas que utilizam apenas distribuidoras Sindicom, há, de fato, concentração relativamente maior do lado da demanda.

Considerando apenas as distribuidoras associadas ao Sindicom para todos os Estados, o HHI referente à comercialização de etanol apresentou-se relativamente estável no período 2003-2008. Em 2008 houve ligeiro aumento, face aos atos de concentração que ocorreram nesse ano. O segmento de distribuição do grupo Ipiranga foi adquirido pela Petrobrás e pela Ultrapar. A Ultrapar ficou com a distribuição de combustíveis e lubrificantes e postos de combustíveis das regiões Sul e Sudeste.<sup>(15)</sup> O negócio de distribuição de combus-

**Tabela 3** HHI, número equivalente e CR5 das distribuidoras de combustíveis em 2008<sup>14</sup>

Combustível	HHI	Número equivalente	CR5 (%)
Etanol hidratado	951	11	55
Gasolina C	1.395	7	66
Óleo diesel	2.050	5	71
Óleo combustível	5.946	2	99
Gasolina de aviação	4.036	2	100
QAV	4.377	2	100

Fonte: ANP. Elaboração dos autores.

tíveis e lubrificantes e postos de conveniência das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste foi vendido à Petrobrás.<sup>[16]</sup> Posteriormente, a Ultrapar (Ipiranga) comprou a distribuição de combustíveis da Texaco.<sup>[17]</sup>

O HHI para a gasolina C é ligeiramente superior ao do etanol. Mais uma vez, no Estado de São Paulo o índice é inferior a 1.800, assim como para o Mato Grosso, Minas Gerais e Bahia. Considerando-se apenas as distribuidoras do Sindicom, o índice é mais elevado e maior do que 1.800 em todos os Estados.

Para o segmento de usinas, foi realizado o cálculo do HHI, número equivalente e CR5 para a produção das usinas paulistas por grupo econômico (concentração econômica) a que pertencem na safra 2008/2009. O fato de as informações se restringirem ao Estado de São Paulo deve-se à disponibilidade de informações. No entanto, face à elevada representatividade do Estado no mercado de etanol, o índice continua relevante para a análise. Das 317 unidades produtoras localizadas na região Centro-Sul, 182 pertencem ao Estado de São Paulo. A produção de etanol em São Paulo representa 60,8% da produção total.<sup>[18]</sup> Já a produção do Centro-Sul totaliza 91,3% da produção total do país.

Os resultados da **Tabela 4** apontam para um setor pulverizado, com 108 grupos econômicos que controlam 182 usinas. Embora tenham sido realizadas cerca de 60 operações de fusões e aquisições no setor desde 2004<sup>[19]</sup>, observa-se que o setor ainda pode ser considerado desconcentrado. O número equivalente de firmas mostra que esse mesmo valor do HHI corresponde a um mercado pouco concentrado, com um número relativamente grande de firmas. Além disso, a participação de mercado conjunta dos cinco maiores grupos econômicos usineiros também revelou baixa concentração.

A **Tabela 5** traz o HHI, número equivalente e CR5 para as usinas por unidade de produção (concentração técnica), no período compreendido entre as safras 2004/2005 e 2008/2009. Os cálculos foram realizados a partir do ranking de produção das unidades produtoras do Estado de São Paulo disponibilizado pela UNICA.

A **Tabela 5** mostra um setor pouquíssimo concentrado, como apontado pelo baixo montante do HHI e do CR5 e elevado número equivalente. Há, além disso, ligeira tendência à desconcentração, se considerada a produção total de etanol, refletindo o crescimento do volume relativo de etanol hidratado e a entrada de novas usinas.

**Tabela 4****Setor pulverizado***HHI, número equivalente e CR5 da produção das usinas de São Paulo por grupo econômico, safra 2008/2009*

Produto	HHI	Número equivalente	CR5 (%)
Cana-de-açúcar	311	32	27
Açúcar	428	23	32
Etanol anidro	429	23	36
Etanol hidratado	246	41	24
Total Etanol	270	37	25

Fonte: UNICA. Elaboração dos autores.

Também foram realizados os cálculos do HHI, número equivalente e CR5 por unidade de produção para a região Centro-Sul, safra 2008/2009. Os resultados obtidos encontram-se na **Tabela 6**. Como se pode notar, os resultados para o HHI foram cerca de 40% menores do que os encontrados para o Estado de São Paulo no mesmo período, evidenciando ainda mais a desconcentração do setor quando tomamos a região Centro-Sul. O aumento no número equivalente de firmas e a redução do CR5 também corroboram a maior pulverização da região Centro-Sul quando comparada ao Estado de São Paulo.

Temos, portanto, um segmento à montante com baixa concentração econômica – com HHI abaixo de 430 quando considerados os grupos econômicos e HHI abaixo de 116 quando consideradas as unidades de produção – que deve, por força de lei, escoar sua produção por meio das distribuidoras, um outro segmento com maior concentração, embora abaixo dos níveis considerados preocupantes nos principais Estados consumidores.

Como se sabe, a concentração não é determinante do nível de concorrência e poder de mercado, embora seja elemento relevante. Outros fatores tais como rivalidade, entrada e poder compensatório devem ser considerados. Além disso, a concentração baixa dificulta, mas não elimina a possibilidade de formação de cartéis, e no segmento de revenda de combustíveis o Sistema Brasileiro de Defesa da Concorrência descobriu e condenou vários sindicatos de postos por combinar preços. As condenações se deram nas cidades de Florianópolis (SC), Goiânia (GO), Lages (SC), Belo Horizonte (MG) e Recife (PE).

As denúncias de cartel em postos de combustíveis são tão frequentes que a SDE, no âmbito de sua atribuição de advocacia da concorrência, editou um livreto dedicado exclusivamente à revenda de gasolina. Das 298 investigações de cartel em andamento na SDE, 152 tem como alvo a revenda de combustíveis para o consumidor.

O poder de mercado é limitado pelo comportamento da demanda. Quanto mais sensível a variações de preço, menor a capacidade que a empresa tem de elevar preços de maneira lucrativa. O item a seguir dedica-se ao estudo da demanda por etanol.

Tabela 5

**Setor pouco concentrado**

*Evolução do HHI e número equivalente (n) e CR5 (%) das unidades de produção de São Paulo, safra de 2004/2005 a 2008/2009*

Produto	2004/2005			2005/2006			2006/2007			2007/2008			2008/2009		
	HHI	n	CR5	HHI	n	CR5	HHI	n	CR5	HHI	n	CR5	HHI	n	CR5
Cana-de-açúcar	112	89	12.1	109	92	12.0	104	96	11.3	94	106	10.1	87	115	9.8
Açúcar	126	79	13.0	124	81	12.4	113	88	11.5	112	89	11.2	109	92	11.3
Etanol anidro	145	69	14.8	149	67	15.1	153	65	14.8	169	59	17.5	159	63	16.5
Etanol hidratado	147	68	13.0	140	71	14.5	119	84	12.6	97	103	10.2	94	106	9.9
<b>Total Etanol</b>	<b>118</b>	<b>85</b>	<b>12.7</b>	<b>114</b>	<b>88</b>	<b>12.1</b>	<b>108</b>	<b>93</b>	<b>11.8</b>	<b>93</b>	<b>108</b>	<b>10.1</b>	<b>87</b>	<b>115</b>	<b>9.6</b>

Fonte: UNICA. Elaboração dos autores.

#### ► 4 Análise da demanda interna por etanol hidratado e gasolina C

A principal característica do mercado consumidor brasileiro de combustíveis é a concorrência entre o etanol hidratado e a gasolina C na bomba para os veículos *flex-fuel*. A concorrência entre os dois combustíveis líquidos está relacionada à sensibilidade das demandas dos dois combustíveis frente a variações no preço relativo.

O fato de o etanol aumentar de forma crescente sua participação e importância na matriz energética nacional ensejou diversos estudos com foco no setor <sup>(20)</sup>. Alguns exemplos de estudos na área são: Bentzen (1994), Eltony e Al-Mutairi (1995), De Negri (1998), Alves e Bueno (2003), Roppa (2005) e Nappo (2007).

A literatura aponta que a demanda por gasolina não é sensível nem a variações na renda nem nos preços do combustível (Marjotta-Maistro, 2002; Iooty e Roppa, 2006; Nappo, 2007). Para o etanol, a elasticidade-preço da oferta apresenta-se positiva, enquanto que a elasticidade-preço da demanda apresentou resultados divergentes comparando-se os estudos de Oliveira *et al* (2008) e Silvério (2007). Além disso, ambos os estudos indicam que a demanda por gasolina C tornou-se mais elástica a partir de 2003, quando foram introduzidos os veículos *flex-fuel* no mercado brasileiro, evidenciando que o etanol hidratado tem se tornado um substituto menos imperfeito da gasolina C. As evidências também apontam que o preço da gasolina não é influenciado pelo preço do etanol, mas sim o contrário.

Seguindo outra linha de questões, Lucilio (2002) analisa a transmissão de preços entre os principais produtos do setor sucroalcooleiro entre 1998 e 2002. Os resultados apontam que o preço do etanol anidro não explica os preços dos açúcares cristal industrial e exportado. O artigo de Lamounier *et al* (2006) estuda o *trade-off* entre a produção de açúcar e etanol nas usinas, indicando que os preços de açúcar e etanol afetaram a relação de produção em apenas alguns estados e algumas safras. Em complemento, Alves e Bacchi (2004) estimam a oferta de exportação brasileira de açúcar. Os resultados encontrados pelos autores indicam que elevações no preço de exportação e desvalorização cambial aumentam significativamente as exportações brasileiras.

Em resumo, esses estudos não trazem evidências de sensibilidade da demanda por gasolina frente a variações nos preços do etanol, nem análises mais completas da relação entre a demanda por etanol e os

Tabela 6

#### Maior desconcentração no Centro-Sul

HHI, número equivalente e CR5 das unidades de produção no Centro-Sul, safra 2008/2009

Produto	HHI	n	CR5 (%)
Cana-de-açúcar	53	187	6,7
Açúcar	75	133	7,1
Etanol anidro	105	95	8,9
Etanol hidratado	54	185	5,5
Total Etanol	52	192	6,7

Fonte: UNICA. Elaboração dos autores.

preços dos combustíveis. Na verdade, esses estudos não incorporam períodos recentes, nos quais o etanol hidratado vem ganhando força como concorrente direto da gasolina. Uma das principais questões discutidas pelos trabalhos supracitados é a inclusão de informações sobre o mercado de açúcar, de petróleo e outras informações macroeconômicas no modelo de oferta de etanol. Segundo a literatura, essas variáveis se mostraram relevantes na decisão das usinas.

Os próximos itens analisam a demanda por etanol hidratado e por gasolina C. Parte-se da hipótese de que o etanol hidratado pode ser caracterizado como um bem normal, com elasticidade-preço (sensibilidade da demanda aos preços) negativa e que responde significativamente a variações nos preços da gasolina C, sendo esse o principal concorrente do etanol hidratado.

#### 4.1 Demanda interna de etanol hidratado

A análise das relações da demanda por etanol hidratado permite o cálculo da elasticidade-preço da demanda e a identificação dos efeitos dos principais fatores que influenciam a demanda interna, a saber: preços de substitutos, renda, prazos de financiamento de veículos e taxa de juros real, dentre outros. A base de dados utilizada para essa análise está no formato de série temporal, de julho de 2001 a agosto de 2009. Os dados foram organizados com base em informações da ANP, UNICA, IBGE, BCB e Bloomberg e estão descritos no **Anexo 1**.

O método utilizado para as estimações das equações de demanda baseia-se na análise de cointegração. O objetivo dessa modelagem é verificar a existência de relações de curto e longo prazo entre os preços dos combustíveis líquidos no Brasil e as vendas do produto.

A equação de demanda por etanol que se pretende testar para os dados do Brasil e de São Paulo pode ser escrita por:

$$\Delta Q_t^D = \alpha_0(Q_{t-1}^D + \beta_1 p_{t-1} + \beta_2 pg_{t-1}) + \sum_{i=1}^L \alpha_1(i) \Delta Q_{t-i}^D + \sum_{i=1}^L \alpha_2(i) \Delta p_{t-i} + \sum_{i=1}^L \alpha_3(i) \Delta pg_{t-i} + \lambda D_t + \varepsilon_t$$

em que:

- $Q_t^D$  é a quantidade demandada de etanol hidratado por veículo (frota total) no período  $t$ , Brasil e Estado de São Paulo;
- $p_t$  é o preço do etanol hidratado no período  $t$ ;
- $pg_t$  é o preço da gasolina C no período  $t$ ;
- $D_t$  é um vetor de variáveis que influenciam a demanda por etanol hidratado no período  $t$  (rendimento médio real dos trabalhadores, taxa de desemprego, entre outras) e variáveis *dummies* temporais (anuais e mensais);
- $\varepsilon_t$  é o termo de erro da equação;
- $\alpha_0$  é o coeficiente de ajustamento de curto prazo;

$\beta_1, \beta_2$  são os parâmetros do vetor de cointegração, que indicam a relação de longo prazo entre as variáveis;  
 $\alpha'_1, \alpha'_2, \lambda'$  são vetores de parâmetros a serem estimados.

Segundo Enders (1985), a definição de cointegração está relacionada a três pontos importantes: mesma ordem de integração de todas as variáveis cointegradas; combinação linear estacionária de variáveis não estacionárias; e o número de vetores de cointegração existentes é igual à quantidade de variáveis do modelo menos um.

Os resultados dos “testes de raiz unitária” para as variáveis relevantes do modelo indicaram que as variáveis de interesse são não estacionárias de primeira ordem<sup>(21)</sup>. O próximo estágio consistiu no teste de cointegração entre as variáveis, por meio do Procedimento de Johansen (1988), sendo os resultados finais para os coeficientes estimados pelo VEC resumidos abaixo<sup>(22)</sup>:

Resultados para toda a amostra (Brasil):

$$\Delta Q_t^D = -0,78(Q_{t-1}^D + 0,70 + 1,23p_{t-1} - 1,45pg_{t-1}) + \hat{\lambda}.D_t + \hat{\varepsilon}_t$$

$$[-6,0] \quad [0,4] \quad [8,24] \quad [-4,38]$$

Resultados para o Estado de São Paulo:

$$\Delta Q_t^D = -0,75(Q_{t-1}^D + 1,92 + 1,33p_{t-1} - 1,54pg_{t-1}) + \hat{\lambda}.D_t + \hat{\varepsilon}_t$$

$$[-5,7] \quad [1,1] \quad [7,48] \quad [-3,94]$$

Os resultados encontrados evidenciam a alta sensibilidade relativa da demanda por etanol aos preços do etanol e aos preços da gasolina, ou seja, as elasticidades de longo prazo encontradas pelo método de cointegração são superiores, em módulo, à unidade e com os sinais corretos (negativa para o etanol e positiva para a gasolina)<sup>(23)</sup>. Nota-se que as elasticidades para São Paulo foram sensivelmente maiores do que as do Brasil, o que indica que os consumidores desse Estado são mais sensíveis a preço do que a média brasileira de consumidores de combustíveis. Tal sensibilidade reflete a composição da frota, na qual há porcentagem crescente de veículos *flex-fuel*.

Com relação aos coeficientes de ajustamento, deve-se esperar que possuam sinais opostos aos sinais dos componentes do vetor de cointegração para concluir que ocorre um ajuste de curto prazo para o equilíbrio. O coeficiente de ajustamento foi significativo e negativo para ambas as equações. Tomando como exemplo o modelo para o Brasil, parte-se de um ponto em que as variáveis estão na relação de longo prazo, assim, um aumento no preço da gasolina torna o termo de erro negativo. Dado o coeficiente de ajustamento negativo, tem-se que a alteração dessa variável é positiva, de forma que há aumento na demanda por etanol no mês seguinte,  $t$ , em direção ao restabelecimento da relação de longo prazo. A velocidade com que esse ajustamento ocorre é de -0,78 no modelo para Brasil e -0,75 para São Paulo. Assim, se houver aumento (choque positivo) inesperado de 1% na demanda por etanol em  $t-1$ , haverá redução da demanda de 0,75% (0,78%), ou seja, aproximadamente 75% (78%) do choque é transmitido para o período consecutivo<sup>(24)</sup>.

Em suma, acredita-se que os resultados obtidos no presente estudo mostraram-se mais sensíveis a preços, quando comparados com a literatura revisada, devido ao período de análise, que inclui os anos em que o etanol ganhou expressão por meio do sucesso dos modelos *flex-fuel* no mercado.

#### 4.2 Demanda interna de gasolina C

A análise das relações da demanda por gasolina permite o cálculo da elasticidade-preço da demanda, sendo que a estimação dessas medidas de sensibilidade dos consumidores para adquirir a gasolina é importante para comparar com as medidas encontradas para o etanol hidratado. A hipótese que se pretende verificar nessa análise empírica é “a demanda por etanol é mais sensível aos preços da gasolina do que a demanda por gasolina é sensível aos preços do etanol”. A base de dados utilizada para essa análise também está no formato de série temporal, de julho de 2001 a agosto de 2009, sendo as fontes dos dados as mesmas utilizadas na subseção anterior.

O método utilizado para as estimações das equações de demanda por gasolina também foi baseado na análise de cointegração. A equação de demanda por gasolina que se pretende testar para os dados do Brasil pode ser escrita por:

$$\Delta q_t^D = \alpha'_0 (q_{t-1}^D + \beta'_1 p_{t-1} + \beta'_2 pg_{t-1}) + \sum_{i=1}^L \alpha'_1(i) \Delta q_{t-i}^D + \sum_{i=1}^L \alpha'_2(i) \Delta p_{t-i} + \sum_{i=1}^L \alpha'_3(i) \Delta pg_{t-i} + \lambda' . D_t + \varepsilon'_t$$

em que:

- $q_t^D$  é a quantidade demandada de gasolina C por veículo (frota total) no período  $t$ , Brasil;
- $p_t$  é o preço do etanol hidratado no período  $t$ ;
- $pg_t$  é o preço da gasolina C no período  $t$ ;
- $D_t$  é um vetor de variáveis que influenciam a demanda por etanol hidratado no período  $t$  (rendimento médio real dos trabalhadores, taxa de desemprego, entre outras) e variáveis dummies temporais (anuais e mensais);
- $\varepsilon'_t$  é o termo de erro da equação;
- $\alpha'_0$  é o coeficiente de ajustamento de curto prazo;
- $\beta'_1, \beta'_2$  são os parâmetros do vetor de cointegração, que indicam a relação de longo prazo entre as variáveis;
- $\alpha'_1, \alpha'_2, \lambda'$  são vetores de parâmetros a serem estimados.

Os resultados para os coeficientes estimados pelo VEC estão resumidos abaixo, sendo as estatísticas  $t$  reportadas entre colchetes:

$$\Delta q_t^D = -1,57(q_{t-1}^D + 1,55 - 0,28 p_{t-1} + 0,63 pg_{t-1}) + \sum_{i=1}^6 \hat{\alpha}'_1(i) \Delta q_{t-i}^D + \sum_{i=1}^6 \hat{\alpha}'_2(i) \Delta p_{t-i} + \sum_{i=1}^6 \hat{\alpha}'_3(i) \Delta pg_{t-i} + \hat{\lambda}' . D_t + \hat{\varepsilon}'_t$$

[-5,55] [\*] [-3,6] [3,88]

\*Significante/Não reportado.

Os resultados evidenciam a existência de sensibilidade da demanda relativa por gasolina C aos preços do etanol e aos preços da própria gasolina. Entretanto, ao contrário do encontrado na análise da demanda por etanol, os preços do etanol, no longo prazo, influenciam, mas pouco, na demanda por gasolina C. Nota-se que os sinais encontrados foram de acordo com a teoria (positivo para o etanol e negativo para a gasolina).<sup>(23)</sup>

Com relação ao coeficiente de ajustamento estimado, este possui sinal oposto ao sinal do componente principal do vetor de cointegração, logo se pode concluir que ocorre um ajuste de curto prazo para o equilíbrio. O coeficiente de ajustamento foi significativo, negativo e maior que um em módulo, indicando ajuste rápido ao equilíbrio de longo prazo. Assim, para um aumento no preço da gasolina C, que tornaria o termo de erro positivo, tem-se que a variação dessa variável será negativa (dado o coeficiente de ajustamento negativo), de forma que há forte redução na demanda por gasolina C no mês seguinte, t, em direção ao restabelecimento

#### 4.3 Considerações sobre as reações de mercado para etanol e gasolina C

As estimativas permitem concluir que os consumidores são sensíveis a preço, no Brasil como um todo e em São Paulo, e que a demanda por etanol responde mais a variações de preço do que a demanda por gasolina C.

A seguir, a análise aqui feita para etanol hidratado e gasolina C é complementada com considerações sobre o etanol anidro.

#### ► 5 Considerações sobre o etanol anidro

O foco desta seção será o papel do etanol anidro na precificação da gasolina C. Além disso, com vistas a melhor explorar o alcance de políticas públicas no setor – notadamente a alteração na mistura obrigatória de anidro na gasolina A – o item 5.2 avalia qual deveria ser a magnitude do recuo na produção de etanol para colocar em risco o abastecimento de etanol anidro.

#### Sensibilidade dos consumidores a variações de preços

Mercado de etanol		
Elasticidade-preço do etanol	-1.23 (BR) -1,33 (SP)	Aumento de 1% no preço do etanol afeta negativamente em 1,23% a demanda brasileira pelo etanol
Elasticidade-preço da gasolina C	1.45 (BR) 1,54 (SP)	Aumento de 1% no preço da gasolina afeta positivamente em 1,45% a demanda brasileira pelo etanol
Mercado de gasolina C		
Elasticidade-preço do etanol	0.28 (BR)	Aumento de 1% no preço do etanol afeta positivamente em 0,28% a demanda pela gasolina
Elasticidade-preço da gasolina C	-0.63 (BR)	Aumento de 1% no preço da gasolina afeta negativamente em 0,63% a demanda pela gasolina

### 5.1 O papel do etanol anidro na precificação da gasolina

No setor de combustíveis, 2002 marca o início da fase de liberação de preços aos consumidores (Marjotta-Maistro, 2002). Tendo em vista a estrutura de formação de preços de combustíveis, o objetivo desta seção é analisar como o ambiente institucional e as alterações nos preços de um combustível afetam os preços dos demais. Em particular, o modelo busca avaliar o impacto do preço do etanol anidro e das portarias do Ministério da Agricultura de mistura carburante na variação de preços da gasolina C. Dessa forma, o modelo consiste na estimação da variável preço da gasolina C ao consumidor na primeira diferença. Para explicar as variações nos preços, as variáveis de controle são, principalmente, aquelas que deslocam as curvas de oferta e demanda do produto, assim como outras variáveis exógenas a preços que não possuem impacto direto na oferta e demanda. Tecnicamente, o uso das variáveis na primeira diferença permite a correção do problema de não estacionariedade dessas variáveis, que poderia levar o modelo a correlações espúrias.

A equação estimada pode ser descrita a seguir:

$$\Delta \ln P_{\text{gasolina}C_t} = \alpha_0 + X\beta + \text{DummiesPortariasMAPA}_t\theta + \ln P_{\text{etanol anidro}_t}\pi + \varepsilon_t$$

para  $t=1, \dots, T$

$\alpha_0$  Parâmetro que mede intercepto do modelo;

$X$  Matriz de  $k$  variáveis de controle ( $T \times k$ );

$\beta$  Vetor de parâmetros ( $k \times 1$ ) a serem estimados;

$\pi$  Parâmetro que mede efeito do preço do etanol anidro na variação de preços da gasolina;

$\theta$  Vetor de parâmetros ( $p \times 1$ ) a serem estimados, sobre as  $p$  portarias sobre mistura carburante no período  $t$ .

O período de abrangência dos dados é de janeiro de 2003 a julho de 2009. O modelo foi estimado por Mínimos Quadrados Ordinários com correção da matriz de variância-covariância pelo método de White (White, 1980) <sup>(26)</sup>. Os testes de estacionariedade das variáveis utilizadas no modelo não indicaram padrão não estacionário <sup>(27)</sup>. Os resultados das estimações podem ser visualizados no Anexo 2 <sup>(28)</sup>.

Os resultados do modelo indicaram que a mistura carburante de etanol anidro na gasolina reduziu, em média, a volatilidade dos preços da gasolina C ao consumidor (coeficiente estimado para as *dummies*) em 2% a 3%, sendo esse impacto estatisticamente significativo <sup>(29)</sup>.

Já o efeito do preço do etanol anidro na volatilidade do preço da gasolina C foi capturado pela variável do logaritmo desses preços aos produtores, interada com as *dummies* que medem a determinação de cada percentual de mistura no período em questão. Os coeficientes estimados foram estatisticamente significantes apenas para o período de vigência das portarias do Mapa nºs 17, 51 e 278. Durante o período em que as misturas determinadas por tais portarias estiveram vigentes, aumentos no preço do etanol anidro aos produtores tiveram efeito médio positivo na variação de preços da gasolina C ao consumidor. Tal relação reflete comportamentos anticíclicos das políticas de mistura, que atuam em ambiente de alta nos preços do

etanol anidro, sendo que os períodos posteriores às reduções de mistura são também períodos cujo preço do etanol está mais volátil.

## 5.2 Simulação do risco de abastecimento do etanol anidro

Esta seção desenvolve simulações do risco de quebra de safra no abastecimento do etanol anidro e hidratado para o mercado brasileiro. Ou seja, qual deve ser o recuo na safra para que haja um risco crível de desabastecimento de etanol anidro no mercado. Essa análise é relevante para pautar a discussão de riscos de abastecimento relacionados às políticas de mistura carburante de etanol anidro na gasolina A. A política de mistura carburante deve ser utilizada como instrumento de regulação de quantidade e não preço, garantindo, assim, maior previsibilidade ao mercado para a tomada de decisão dos produtores do combustível, e o abastecimento para os consumidores.

Os passos a seguir ilustram as etapas seguidas para a realização da simulação de risco de abastecimento.

- I Cálculo da produção interna atual de etanol anidro e hidratado, líquida de exportações;
- II Cálculo do consumo interno atual de etanol hidratado e gasolina C, sendo que o consumo de etanol anidro foi considerado como 25% do consumo de gasolina C;
- III Estimação da frota de veículos no Brasil por tipo de combustível;
- IV Elaboração de cenários de utilização dos combustíveis, que poderiam levar à escassez de etanol no mercado;
- V Estimação do recuo de safra de cada cenário com base nas informações levantadas em I, II e III.

Os dados são referentes aos anos de 2004 a 2008 <sup>(80)</sup>.

Foram admitidos quatro cenários <sup>(81)</sup>, sendo eles:

Informações-base referentes aos anos de 2004 a 2008:

- Cenário 1:** 100% de utilização de gasolina C para veículos leves flex-fuel
- Cenário 2:** 50% de utilização de etanol hidratado para veículos leves flex-fuel;
- Cenário 3:** 70% de utilização de etanol hidratado para veículos leves flex-fuel;
- Cenário 4:** 90% de utilização de etanol hidratado para veículos leves flex-fuel.

**Cenário 1:** Supondo-se a utilização da gasolina C por todos os veículos da frota de gasolina e flex-fuel e considerando-se a produção de etanol líquida de exportações, tem-se que o percentual de redução na produção necessário para haver desabastecimento de etanol no mercado seria <sup>(82)</sup>:

2004	2005	2006	2007	2008
4,5%	18,49%	21,82%	36,39%	42,13%

Esses resultados indicam que a quebra de safra deveria ser de 42,13% para que houvesse crise de abastecimento de etanol em 2008, tudo o mais constante no mercado.

**Cenários de 2 a 4:** Esses cenários admitem que o etanol hidratado seja consumido por 50%, 70% e 90% de todos os veículos da frota de *flex-fuel*, respectivamente, sendo o consumo de gasolina C restrito a 50%, 30% e 10% aos veículos movidos a gasolina.

Nesse contexto, considerando a produção de etanol líquida de exportações em cada um desses anos, tem-se que os percentuais de quebra de safra necessários para haver desabastecimento de etanol no mercado seriam os que constam na **Tabela 7**.

O risco de desabastecimento de etanol, em 2008, aumenta consideravelmente à medida que os indivíduos com veículos *flex* migram em massa para o consumo de etanol. A quebra de safra preocupante vai de 24% a 9,4% caso o consumo evolua de 50% dos veículos para 90%, no ano de 2008, tudo o mais constante no mercado.

Reitera-se que apenas quebras de safra que coloquem em risco o abastecimento de etanol anidro para compor a gasolina C justificam alterações na mistura. Essa política não deve ser usada para enfrentar variações sazonais, pois alterações injustificadas aumentam o risco do negócio e a sustentabilidade da produção de etanol.

Para melhor identificar momentos críticos de abastecimento de etanol anidro combustível pode-se, por exemplo, incentivar a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a fazer modelos de mercado para o setor de etanol para identificar a relação entre oferta e demanda do combustível, similar ao que é feito no mercado de energia elétrica. Assim, decisões sobre alteração na mistura obrigatória tendem a ficar menos politizadas, mais técnicas e mais transparentes. Com as informações sobre produção e consumo referentes aos anos de 2004 a 2008, foram simulados intervalos para montantes de retração na produção do período que justificassem alteração na mistura obrigatória, indicando que o risco de abastecimento de etanol aumenta conforme evolui o percentual de veículos *flex-fuel* consumindo etanol hidratado. No cenário mais extremo para 2008, em que 90% de todos os veículos *flex-fuel* do Brasil são abastecidos com etanol hidratado, haveria desabastecimento de etanol caso a produção de etanol desse ano fosse 10% menor do que a efetivamente observada (ou 4,9% maior do que a produção de etanol no ano anterior).

Tabela 7

Quebra de safra para risco de abastecimento de etanol

	Cenário 2 (50% etanol)	Cenário 3 (70% etanol)	Cenário 4 (90% etanol)
2004	10,0%	9,3%	8,7%
2005	14,3%	12,1%	10,0%
2006	11,4%	7,3%	3,1%
2007	22,3%	16,6%	11,0%
2008	24,0%	16,7%	9,4%

## ► 6 Considerações finais: contornos para políticas públicas

O ambiente institucional, formado pelo conjunto de regras formais e informais, baliza as condutas empresariais e responde em grande medida pelo desempenho dos mercados. O ambiente institucional provê um conjunto de incentivos e controles que de alguma forma orienta as expectativas dos vários agentes diretamente envolvidos, como produtores de cana-de-açúcar, açúcar e etanol, montadoras de veículos, consumidores e influencia na estratégia de atuação de cada um desses agentes.

A orientação e contornos de políticas públicas são, portanto, ferramentas essenciais para o direcionamento produtivo. No caso do etanol, isso se torna ainda mais relevante dada a importância estratégica da disponibilidade de combustíveis para garantir o abastecimento dos mercados domésticos. Isso pode ser claramente ilustrado pela crise recente por que passaram países europeus com o corte de fornecimento de gás pela Rússia, ou pela ruptura de contratos internacionais, ou a repactuação de preços, como o ocorrido na América Latina, com a mudança política na Bolívia e Venezuela. Não menos importante têm sido os efeitos da volatilidade do preço do petróleo sobre as economias modernas.

Os resultados deste estudo permitem identificar quais problemas da cadeia produtiva do etanol devem ser alvo de política pública, dada a motivação de ampliar a participação do etanol na matriz energética brasileira. Os principais resultados dos testes e evidências empíricas, suas relações e implicações permitem destacar ações prioritárias com vistas a aprimorar o funcionamento do mercado, trazendo benefícios tanto aos produtores quanto aos consumidores: (a) estabelecimento de critérios técnicos para o monitoramento do mercado com vistas a identificar recuos de safra que motivem alteração na mistura obrigatória de etanol anidro na gasolina A, com base em critérios técnicos e transparentes; (b) ampliação participação de um número maior de agentes que permitam maior liquidez ao mercado; e (c) intensificação da prática de contratos de *warrantagem*.

Essas ações específicas não necessariamente ensejam alterações legais. Privilegiou-se assim dar condições para que a expansão da produção de etanol se dê via mecanismos de mercado, que são capazes de possibilitar remuneração adequada para o crescimento dos negócios e, ao mesmo tempo, incentivar ganhos de eficiência que, num ambiente competitivo, são repartidos com os consumidores via redução de preços. Na ausência de falhas de mercado, como identificado neste artigo, aprimorar o funcionamento do mercado com o mínimo de intervenção é a forma mais eficiente de se dar incentivos corretos para a expansão sustentável da produção.

## Anexo 1

## Nome das variáveis do modelo, descrição e fonte

Variável	Descrição	Fonte
Inveh	Logaritmo das vendas de etanol hidratado pelas distribuidoras em litros	ANP
Inpeh	Logaritmo do preço médio do etanol etílico hidratado ao consumidor, reais por litro	ANP
Inpdi	Logaritmo do preço médio do diesel ao consumidor, reais por litro	ANP
Inpgc	Logaritmo do preço médio da gasolina C ao consumidor, reais por litro	ANP
Inpgnv	Logaritmo do preço médio do GNV ao consumidor, reais por litro	ANP
ptax	Taxa de câmbio fim do período, reais/dólar	Sisbacen PTAX8
Inp_acucarBRL	Logaritmo do preço internacional do açúcar (contrato futuro NYBOT) em reais	Broadcast
Inpib	Logaritmo do PIB estadual	IBGE
prazo_medio_veiculos	Prazo médio das operações de crédito de aquisição de veículos (PF) para taxa de juros pré-fixada, em dias	Sisbacen PESP3
In_vflex	Emplacamento de automóveis flex por estado	FENABRAVE
In_vgasolina	Emplacamento de automóveis a gasolina por estado	FENABRAVE
juros_real	Taxa real de juros – Taxa Selic deflacionada por IPCA	BCB e IBGE
inadimplencia_pf	Inadimplência, em percentual, pessoa física	BCB
inadimplencia_total	Inadimplência total, em percentual	BCB
Ufs	Dummies para unidades da federação	
Anos	Dummies para anos	

## Anexo 2

## Resultados das estimações: modelo para preço da Gasolina C

MQO com matriz robusta para variância	
INFORMAÇÕES DO MODELO	
Observações: 77	R2 = 0,770
F(26,50) = 28,23	R2 Ajust = 0,651
P-valor F: 0,00	
Variável dependente: dif_ln_pgas_c	
Controles	Coefficiente
lnpreco_alcool_hidr	-0,03331
dif_in_pdiesel	0,43095 **
dif_in_ppetroleo	-0,01120
ln_prod_veic_flex_alcool	0,01346 **
taxa_desemprego_30d	0,00496 *
lei 554_25p	-0,02745 **
lei 51_20p	-0,03135 **
lei 278_23p	-0,02939 **
lei 43_25p	-0,02977 **
lnpanidro_lei 17_20p	0,15632 **
lnpanidro_lei 554_25p	0,02342
lnpanidro_lei 51_20p	0,12576 **
lnpanidro_lei 278_23p	0,03721 *
lnpanidro_lei 43_25p	0,02279
ln_cambio	0,03036 **
m1	-0,00420
m2	-0,00806
m3	-0,01208 *
m4	-0,01487 **
m5	-0,01612 **
m6	-0,01111 *
m7	-0,01395 **
m8	-0,00836
m9	-0,00139
m10	-0,00427
m11	-0,01097 **
Constante	-0,28408 **

\* Indica significância estatística a 10% • \*\* Indica significância estatística a 15%

## Referências bibliográficas

- Alves, D.C.O.; Bueno, R.D.L.S. *Short-run, long-run and cross elasticities of gasoline demand in Brazil*. *Energy Economics* 25 (2), 2003.
- Alves, L. R. A. *Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo*. 2002. 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- Alves, L. R. A.; Bacchi, M. R. P. *Oferta de Exportação de Açúcar do Brasil*. RER, Rio de Janeiro, vol. 42, no. 1, 2004.
- Bentzen, J. *An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques*. *Energy Economics* 16 (2): 139-143, 1994.
- Besanko, D. *A Economia da Estratégia*. Bookman, 2006.
- De Negri, J. A. *Elasticidade-renda e Elasticidade-preço da demanda de automóveis no Brasil*, Rio de Janeiro: IPEA, Texto para Discussão nº558, 1998.
- Eltony, M.N.; Al-Mutairi, N.H. *Demand for gasoline in Kuwait: an empirical analysis using co-integration techniques*. *Energy Economics* 17 (3): 249-253, 1995.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). *Cadernos de Energia EPE: Perspectiva para o etanol no Brasil*. EPE-DPG-RE-016, 2008.
- Farrel, M. J. *The measurement of productive efficiency*. *Journal of the Royal Statistical Society* (1957).
- GREENE, W. H. *Econometric Analysis*. Prentice Hall, 5th ed. New Jersey, 2003.
- *Horizontal Merger Guidelines*, U.S.Department of Justice & Federal Trade Commission, 1992, p. 4.
- Iooty, M.; Roppa, B. *Mudanças Tecnológicas e Matriz de Combustíveis Veiculares: Exercícios Empíricos sobre Elasticidade da Demanda no Brasil*. In *Matriz Brasileira de Combustíveis*, GEE/IE/UFRJ, Projeto para Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2006.
- Jolly, L. *Future Trends in World Food Security*, WSRO Annual Meeting, 2008.
- Lamounier, W. M.; Campos Filho, M. F.; Bressan, A. A. *Análise do Trade-off na Produção de Açúcar e Álcool nas Usinas da Região Centro-sul do Brasil*. XLIV Congresso da Sober, Fortaleza, 2006.
- Maligo, C. *Modelo para simulação de operação de carregamento de caminhões-tanque em uma base de distribuição de combustíveis automotivos*. Dissertação de Mestrado, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2005.
- Marjotta-Maistro, M. C. *Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação*. 2002. 197p. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- Mas-Collel, A.; Whinston, M.; Green, J. *Microeconomic theory*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- Mattoso, E. S. *Estratégias de atuação das empresas de etanol no Brasil*. 2008. 70 p. Dissertação de Mestrado. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2008.
- Mori, J. S.; Moraes, M. A. F. D. *Características do mercado do álcool anidro e hidratado e suas implicações para o mercado de combustíveis*. XLV Congresso da Sober, Londrina, 2007.
- Neves, M. F.; Trombin, V. G.; Consoli, M. A. *Mapeamento e Quantificação do Setor Sucreenergético em 2008*. Centro de Pesquisa e Projetos de Marketing e Estratégia/USP, 2009.
- Oliveira, M. P.; Alencar, J. R.; Souza, G. S. *Energia Renovável: uma análise sobre oferta e demanda de etanol no Brasil*. XLVI Congresso da Sober, Rio Branco, 2008.
- Oiyé, J. I. *Influência do mercado externo de combustíveis fósseis no potencial de desenvolvimento da sucroquímica no Brasil*. JPNOR. In: Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira, Piracicaba, 2008.

- Possas, M. L. *Os Conceitos de Mercado Relevante e de Poder de Mercado no Âmbito da Defesa da Concorrência*. In: Mario Luiz Possas. (Org.). *Ensaio sobre Economia e Direito da Concorrência*. 1ª ed. São Paulo, SP: Editora Singular, 2002, v. 1, p. 75-95.
- Relatório Econômico, Sindicato da Indústria da Fabricação do Alcool no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 6, jan 2009.
- Relatório Econômico, Sindicato da Indústria da Fabricação do Alcool no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 11, mar 2009.
- Rocha, C. F. L.; Bueno, S. S.; Pires, L. N. *Dinâmica da Concentração de Mercado na Indústria Brasileira, 1996-2003*. In: XXXV Encontro Nacional de Economia, 2007, Recife. Anais do XXXV Encontro Nacional de Economia. Belo Horizonte : ANPEC, 2007. v. 1. p. 1-16.
- Rodrigues, A. M. e Saliby, E. *Aplicação da simulação no dimensionamento de bases de distribuição de combustíveis*. Centro de Estudos em Logística do Coppead/UFRJ, 1998.
- Roppa, B. F. *Evolução do consumo de gasolina no Brasil e suas elasticidades: 1973-2003*. Monografia de Bacharelado, UFRJ, 2005.
- Santos, M. A. S.; Santana, A. C. *Concentração e poder de mercado das empresas de artefatos de madeira do Estado do Pará*. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Minas Gerais, 2003.
- Shirota, R. *Efficiency in financial intermediation: a study of the Chilean banking industry*. Ohio University (1995).
- Suzigan, W. *Aglomeramentos Industriais: Avaliação e Sugestões de Políticas*. In: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Instituto Evaldo Lodi. (Org.). *Futuro de Indústria: Oportunidades e Desafios - a Reflexão da Universidade*. Brasília: Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2001, p. 49-67.
- Triches, D.; Silva, S. S. *Análise do desempenho das exportações brasileiras de açúcar e as restrições da União Européia a partir de 1995*. Ipes – Texto para discussão no. 31, 2009.
- Waack, R. S.; Neves, M. F. *Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar*. In: Decio Zylbersztajn; Elizabeth Maria Mercier Querido Fatina. (Org.). *Competitividade do Agribusiness Brasileiro*. São Paulo: Ipea/Pensa, 1998, v. 5.
- White, H. *A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity*. *Econometrica*, 1980, vol. 48, issue 4, pag. 817-38.
- Wooldridge, J. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- Xavier, C. E. O. *Localização de tanques de armazenagem de álcool combustível no Brasil: aplicação de um modelo matemático de otimização*. 175 p. 2008. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.
- Zanão, A. G. *Caracterização da infra-estrutura de armazenagem de álcool no Brasil e análise da sua concentração na região Centro-Sul*. 2009. 72 p. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2009.

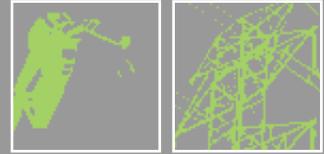
## Notas explicativas

- [01] A tonelada equivalente petróleo (tep) é uma unidade de energia definida como o calor liberado na combustão de uma tonelada de petróleo cru.
- [02] Números disponibilizados pela Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de veículos Automotores).
- [03] Para a produção de etanol anidro é preciso utilizar ciclo-hexano como desidratante. Site: <http://www.etanol.ufscar.br/palestras-do-dia-02-de-setembro-o-processo-produtivo-do-etanol>. Consulta em agosto de 2009.
- [04] O início da adição de etanol anidro à gasolina no Brasil data da década de 30. A restrição ao período de abordagem do gráfico deve-se à indisponibilidade de séries de preços mais longas. Cabe ressaltar, que a primeira mudança no teor de anidro adicionado à gasolina apresentada no gráfico, correspondente à portaria Mapa nº 17 que fixou o percentual em 20%, sucede um período em que a percentagem de anidro na gasolina era de 25%, conforme a portaria Mapa nº 266 de 21/06/2002.
- [05] Os dados da safra 08/09 não estavam finalizados na região Norte-Nordeste quando obtivemos as informações, e referem-se à posição da produção em 16/05/09.
- [06] Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/SERVICOS/USINAS\\_DESTILARIAS/USINAS\\_CADASTRADAS/UPS\\_04-08-2009\\_0\\_1.PDF](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/SERVICOS/USINAS_DESTILARIAS/USINAS_CADASTRADAS/UPS_04-08-2009_0_1.PDF). Consulta feita em 06/08/2009.
- [07] Relatório Econômico, Sindicato da Indústria da Fabricação do Álcool no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 6, 2009.
- [08] Venda direta para consumidores rurais, pequenas empresas consumidoras, caminhoneiros e automobilistas.
- [09] A categoria "Outros" inclui 106 bandeiras.
- [10] Essas alíquotas referem-se ao período para o qual tivemos acesso aos dados: de janeiro de 2003 a agosto de 2009.
- [11] Relatório Econômico, Sindicato da Indústria da Fabricação do Álcool no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 11, mar 2009.
- [12] Uma possível explicação para a presença de margens negativas reside no fato do setor sofrer forte sonegação de impostos, que comprime as margens dos agentes idôneos
- [13]  $HHI = \sum s_i^2$ , onde  $s_i$  é a participação da firma  $i$  no mercado relevante. O índice varia entre 0 e 10.000. O  $CR_k = \sum s_y/S$ , onde  $s_y$  é a produção das cinco maiores e  $S$  o valor da produção de todo o mercado relevante. O número equivalente  $N = 1 / HHI$ .
- [14] A categoria de combustíveis QAV refere-se a querosene de aviação.
- [15] Ato de Concentração nº 08012.002816/2007-25.
- [16] Ato de Concentração nº 08012.002820/2007-93.
- [17] A operação de compra da distribuição de combustíveis da Texaco pela Ipiranga foi submetida ao CADE por meio do AC nº 08012.009025/2008-15, e até o fechamento desse estudo estava em fase de instrução.
- [18] Safra de 2008/2009, UNICA.
- [19] KPMG, in: Relatório Econômico, Sindicato da Indústria da Fabricação do Álcool no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 11, mar 2009.
- [20] Grande parte dos artigos acadêmicos de estimação de oferta e demanda recorre a métodos de cointegração para estimar as elasticidades (preço e renda) da oferta e da demanda, devido às características não estacionárias das séries de tempo utilizadas para as estimações.
- [21] Foram utilizados os seguintes testes de raiz unitária: Dickey-Fuller Aumentado (ADF), Phillips-Perron (PP) e Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Saiw (KPSS). Todos estes testes supõem a hipótese da presença de uma raiz unitária em detrimento da estacionariedade da série, levando em conta a presença de termos determinísticos na especificação do modelo.
- [22] As estatísticas  $t$  reportadas entre colchetes.
- [23] Para se obter a equação de relação de longo prazo entre a demanda por etanol e os preços, basta igualar a equação entre parênteses a zero, o que gerará elasticidades no sentido correto para ambos os produtos. Exemplo:  $Q_{t-1}^D = -0,70 - 1,23p_{t-1} + 1,45pg_{t-1}$
- [24] A análise dos resíduos, verificando se estes têm distribuição aproximadamente normal, é feita pela realização do teste Jarque-Bera, cuja hipótese nula testada consiste na distribuição normal (assimetria próxima de zero e curtose próxima de três). O teste indica a não rejeição, a 5%, da normalidade dos resíduos das equações.
- [25] Para se obter a equação de relação de longo prazo entre a demanda por etanol e os preços, basta igualar a equação entre parênteses a zero, o que gerará elasticidades no sentido correto para ambos os produtos. Exemplo:  $q_{t-1}^D = -1,55 + 0,28p_{t-1} - 0,63pg_{t-1}$
- [26] White (1980).
- [27] Testes Augmented Dickey-Fuller (ADF) e Phillips-Perron (PP).
- [28] Além das variáveis independentes reportadas no anexo, foi testada a inclusão de outras variáveis no modelo, tais como: dummies para ano, rendimento médio real, quantidade de gasolina A refinada, quantidade importada de petróleo, entre outras. Nenhuma das variáveis mencionadas apresentou significância conjunta satisfatória (para níveis de significância de 5 e 10%), sendo assim retiradas da equação estimada.
- [29] Esse resultado parece convergir com o objetivo atual da política de mistura carburante, que seria de conter a volatilidade de preços tanto da gasolina quanto do etanol anidro. Veja reportagem da *Folha de S.Paulo* de 09/11/2009 <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u649684.shtml>.
- [30] Sendo 2008 o último ano com informações completas disponíveis na realização desse estudo.
- [31] Admitiu-se que 1 litro de etanol hidratado é equivalente a 1 litro de etanol anidro e que a mistura carburante é constante e na ordem de 25%.
- [32] É considerado o recuo com relação ao produzido no período, e não ao período anterior.



09





# O etanol na matriz energética brasileira

Sergio Valdir Bajay

Luiz Augusto Horta Nogueira

Francisco José Rocha de Sousa

*O Brasil avançou no planejamento da produção e uso de sua energia nos últimos anos. Esse planejamento envolve objetivos diversos, entre eles: o suprimento da demanda a custos relativamente baixos; a diversificação das fontes de energia, diminuindo riscos de desabastecimento e reduzindo o poder de mercado de alguns grandes fornecedores; e o controle de impactos ambientais e sociais, potencializando os efeitos positivos.*

*No Brasil, fontes renováveis de energia podem ser essenciais para atingir soluções de compromisso entre esses objetivos; mas para isso o planejamento deve ser suportado por políticas energéticas e metas de longo prazo, a serem definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética. Essas metas devem considerar os benefícios ambientais (como a mitigação dos gases de efeito estufa), sociais (geração de empregos), de desenvolvimento tecnológico, e a redução dos custos de energia que podem ser propiciados por essas fontes.*

*Os choques dos preços do petróleo, em 1973 e 1979, mostraram ao mundo a necessidade de se planejar, além da oferta, também a demanda de energia; por exemplo, com programas de conservação. Análises multissetoriais (desde os anos 1970 e 1980) buscavam reduzir a dependência de petróleo, aumentando a segurança do suprimento. A estabilização nos preços do petróleo (meados da década de 1980) reduziu temporariamente esse esforço; mas os impactos ambientais (globais e regionais) da indústria de energia – como chuvas ácidas, e efeito estufa – reacenderam o interesse pelas fontes renováveis de energia (desde 1990). Hoje novamente as questões de segurança, a baixa disponibilidade e alto custo previstos para o petróleo são também motivadoras para a diversificação do suprimento.*

*No Brasil, o setor de transportes (particularmente, o segmento de veículos leves) foi muito afetado por essas oscilações: houve mudanças importantes na participação relativa de combustíveis, com alterações em políticas públicas, restrições de oferta e inovações tecnológicas. Como resultado, o consumo de gasolina caiu entre 1979 e 1988; subiu até 2006 e estabilizou-se. O etanol anidro acompanhou a gasolina. O etanol hidratado, no contraciclo, cresceu entre 1979 e 1989, caindo depois até 2004; desde então cresce. Durante o período, foi introduzido o gás natural veicular (GNV), cujo consumo cresceu rapidamente e possui, agora, uma tendência declinante. Essas grandes oscilações (sempre de curto prazo) têm um custo elevado, e a necessidade de planejamento se impõe.*

*A desregulamentação da atividade sucroalcooleira no Brasil (década de 1990) forçou um grande salto de eficiência e redução nos custos de produção; e nesse período ficou claro que é possível*

*haver competição em alguns mercados antes considerados monopólios naturais. Biocombustíveis passaram a fazer parte das agendas globais e novas tecnologias começam a mudar, entre nós, paradigmas de geração e uso da energia, agora considerando descentralização, cogeração e novos combustíveis.*

*Por outro lado, o expressivo crescimento das reservas provadas de petróleo no Brasil leva a novas perspectivas. Há intenção de se ampliar a capacidade de refino em cerca de 1,36 milhão de barris por dia até 2014 (mais 67% sobre 2008) reduzindo-se a exportação de petróleo bruto e agregando valor ao petróleo nacional. Haveria geração de grandes excedentes exportáveis de gasolina e de óleo diesel a partir de 2017. Se as condições do mercado externo não forem favoráveis, a produção nacional de combustível fóssil poderia ser direcionada para o mercado interno, reduzindo a demanda por etanol. Esse é mais um fator que torna necessário um marco regulatório específico para ordenar o mercado; ele estimularia os investimentos produtivos, promoveria a competição equilibrada e o combate aos abusos econômicos, e asseguraria o fluxo de informações.*

*Este marco regulatório deveria:*

- a)** Consolidar e aperfeiçoar a legislação existente, quanto à definição da cadeia decisória e às condições de regulação e instrumentos de acompanhamento do mercado;
- b)** Definir de forma clara o marco tributário para os combustíveis, contemplando as suas externalidades positivas e as diferenças estruturais entre os mercados de combustíveis fósseis e de renováveis.
- c)** Promover a evolução do processo de comercialização do etanol no mercado doméstico (mercado futuro e contratos de longo prazo); e criar mecanismos para favorecer o estoque privado;
- d)** Estimular os investimentos em infraestrutura para o transporte e estocagem de etanol; definir marcos regulatórios sobre dutovias para etanol e outros biocombustíveis;
- e)** Incentivar a consolidação da energia elétrica produzida da cana-de-açúcar, com mecanismos de precificação adequados, apoio à conexão com a rede e comercialização.

*As condições atuais do mercado de combustíveis no Brasil são muito diferentes das dos anos 1970, quando se estruturou e regulamentou a introdução do etanol hidratado no país. Hoje há importantes volumes de biocombustíveis produzidos em centenas de unidades no território nacional; o setor emprega centenas de milhares de pessoas e gera benefícios sociais e ambientais relevantes. Com essa nova realidade, é preciso assegurar as perspectivas de sustentabilidade dos biocombustíveis no Brasil, cuja matriz energética deve manter-se baseada em recursos renováveis.*

## ► 1 Introdução

Em todos os países, com maior ou menor grau de sucesso, os governos planejam a evolução dos sistemas energéticos e atuam para assegurar um suprimento energético confiável e a preços razoáveis, essencial para o bem estar da sociedade e o desenvolvimento econômico. Além desses aspectos, o planejamento energético pode ter objetivos ainda mais amplos: considerando a forte relação entre a oferta e demanda de energia com os contextos sociais, econômicos e ambientais, o desenvolvimento desejável dos sistemas energéticos deve considerar também sua articulação com a promoção das atividades produtivas, com a geração de empregos, e de um modo crescente, seu impacto sobre a qualidade ambiental local e global.

Sintetizando essa ampla gama de demandas, os dois objetivos mais universais e importantes para o desenvolvimento dos sistemas energéticos – reflexos da maior interdependência entre as economias e do reconhecimento de problemas ambientais globais – são:

- I minimizar o custo da energia fornecida, com implicações na competitividade da produção; e
- II maximizar sua sustentabilidade ambiental, medida principalmente pelas emissões de gases que causam o efeito estufa.

Esses dois fatores estão presentes na maioria das análises para o planejamento do suprimento energético no Brasil. É reconhecida a grande disponibilidade e diversificação de fontes para a produção de energia no Brasil. Também é fato que, até recentemente, se tem obtido, a custos competitivos com outros países, energia mais “limpa”. No entanto, essas vantagens naturais coexistiram com muitos problemas durante as últimas quatro décadas: choques no preço do petróleo, frequentes e fortes oscilações nas políticas sobre combustíveis para transporte, crises no suprimento de energia elétrica e dificuldades crescentes, sobretudo por razões ambientais, para a expansão da geração hidrelétrica.

Pelo valor que agrega aos bens naturais e por seus nexos com o sistema socioeconômico, a produção de combustíveis e energia elétrica é efetivamente relevante, como mostra a experiência recente no Brasil com o etanol. Nessa cadeia energética, muito além do seu objetivo básico de suprir energia, com custo competitivo e sustentabilidade ambiental, se proporciona a distribuição regional do desenvolvimento e a geração de empregos em níveis bem acima das cadeias energéticas convencionais, como, por exemplo, no caso do petróleo. Entretanto, como contrapartida da grande diversidade de opções, se impõe um planejamento mais abrangente, com maiores exigências de conhecimento, para alcançar melhores resultados na evolução dos sistemas de produção e uso de energia.

É nesse contexto que se busca avaliar as perspectivas para a cana-de-açúcar no âmbito da matriz energética brasileira, entendida como a estrutura de produção e uso de energia no país. Por sua elevada eficiência na captação da energia solar, a cadeia bioenergética da cana-de-açúcar permite a produção de combustíveis para transporte e a geração de energia elétrica. Como cenário básico, foi considerada a produção de um bilhão de toneladas de cana em 2020, cerca de duas vezes a produção atual, ocupando cerca de 7,3 milhões de hectares para o etanol. Nesse cenário, se estima que 70% da cana seja utilizada para produzir

65 milhões de m<sup>3</sup> de etanol (77% para o mercado interno), com a geração de 74 TWh de energia elétrica excedente, 10% da demanda nacional prevista para aquele ano.

## ► 2 Combustíveis e tecnologias consideradas

Neste texto são analisadas as cadeias energéticas dos principais combustíveis que compõem a matriz energética brasileira, incluindo a geração termelétrica e o emprego de resíduos dessas cadeias como combustíveis. Os combustíveis em questão são o petróleo e seus derivados, o gás natural, o carvão mineral, o urânio e os principais biocombustíveis líquidos utilizados no país – o etanol e o biodiesel.

### 2.1 Petróleo e seus derivados

O petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos que se formou ao longo de milhares de anos a partir de material orgânico sujeito a elevadas pressões, em bacias sedimentares localizadas tanto em terra (*onshore*) como no mar (*offshore*). O petróleo é classificado principalmente segundo sua densidade, viscosidade e conteúdo de enxofre. A maior parte das reservas brasileiras se localiza no mar e possui densidades, viscosidades e teores de enxofre relativamente elevados, o que tende a reduzir sua qualidade.

Raramente o petróleo é consumido diretamente como combustível. Em geral, ele é transportado até as refinarias, onde são obtidos os derivados, através de diversos processos de destilação e craqueamento das cadeias dos hidrocarbonetos. É também nas refinarias que se reduz o conteúdo de poluentes presentes no petróleo, sobretudo o enxofre, através de processos químicos como a hidrogenação. Em algumas refinarias também se produz matérias-primas para a indústria petroquímica, tais como a nafta e o eteno. Diversos resíduos do processamento do petróleo nas refinarias, tais como o coque de petróleo e os gases de refinaria, são comercializados, ou, então, consumidos como combustíveis nas próprias refinarias.

A Petrobras, principal proprietária e operadora das refinarias de petróleo brasileiras, tem investido bastante, desde a descoberta das grandes reservas da bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro, no aumento da capacidade de conversão de suas refinarias visando o processamento do óleo pesado dessa bacia. Mais recentemente, também têm ocorrido investimentos em unidades de hidrogenação. Novas refinarias estão sendo planejadas pela Petrobras até 2030, algumas delas voltadas para a produção de gasolina *premium* a ser exportada, sobretudo para o mercado americano, e outras com o objetivo de aumentar a produção de matérias-primas para a indústria petroquímica nacional.

A cadeia produtiva do petróleo e seus derivados é constituída pelas seguintes etapas: prospecção, produção, transporte até as refinarias, refino, transporte de derivados de petróleo até as companhias distribuidoras, ou grandes consumidores, distribuição e revenda aos consumidores finais de pequeno e médio porte. O transporte a longas distâncias do petróleo e de seus derivados tem sido feito no Brasil por meio de navios petroleiros e de oleodutos. A sua distribuição é feita através de caminhões-tanque.

Além de seus usos finais como combustíveis automotivos e como fontes de produção de calor em fornos, secadores e caldeiras, os derivados de petróleo também têm sido utilizados no Brasil como combustíveis em usinas termelétricas que operam utilizando ciclos a vapor, ou com unidades diesel, e em plantas de cogeração, isto é, de produção simultânea e sequencial de potência mecânica/elétrica e energia térmica, a partir de uma mesma fonte de combustível (Bajay, 2009b).

## 2.2 Gás natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, na forma gasosa, com predominância do metano. Sua formação é semelhante à do petróleo, podendo, por conseguinte, ser encontrado em bacias sedimentares em terra ou no mar. Quando se encontra misturado com o petróleo, ele é denominado gás natural associado.

A cadeia produtiva do gás natural no Brasil é composta pelas seguintes etapas: prospecção, produção, transporte até as unidades de processamento, processamento, transporte até os *city gates*, ou até os pontos de consumo da Petrobras, e distribuição até os consumidores finais. Em alguns outros países, há ainda o armazenamento em cavernas, minas ou campos de petróleo deplecionados. No Brasil, o único armazenamento disponível é nas próprias redes de transporte e distribuição. Em diversos países também há a possibilidade de fornecimento direto de produtores e importadores para grandes consumidores finais sem passar pelas redes de distribuição. No Brasil, isso só tem ocorrido com os consumos de unidades produtivas da própria Petrobras. Nas unidades de processamento são separados os componentes mais pesados do gás natural, para produzir nafta ou gasolina, restando quase que só o metano para ser comercializado como gás natural “seco”.

Nos *city gates* ocorre a transferência de titularidade do gás natural dos produtores ou importadores, denominados “carregadores”, para efeito do transporte, para as companhias distribuidoras. As atividades da cadeia do gás natural que ocorrem à montante dos *city gates* são denominadas atividades *upstream* e são semelhantes, quando não integradas, com as da indústria de petróleo. Já as atividades à jusante dos *city gates* são denominadas atividades *downstream* e são típicas de uma “indústria de redes”, tal qual a distribuição de energia elétrica.

O gás natural é um combustível que, desde que existam redes de suprimento disponíveis, pode substituir, com relativa facilidade, diversos outros combustíveis, sobretudo derivados de petróleo, em: fornos; secadores; caldeiras; usinas termelétricas ou de cogeração; e centrais de refrigeração, ou ar-condicionado. Seu consumo apresenta uma elevada elasticidade-preço, principalmente na indústria.

Os principais mercados do gás natural no Brasil são o industrial, a termoeletricidade e o gás natural veicular. A baixa disponibilidade do combustível, as extensões ainda limitadas das redes de transporte e distribuição e a elevação de seu preço nos últimos anos têm restringido o consumo desse energético no Brasil. O consumo na termoeletricidade pode ocorrer em unidades movidas por motores de combustão interna, em centrais termelétricas que seguem o ciclo Brayton, ou o ciclo combinado, ou, ainda, em usinas de cogeração que podem adotar qualquer uma dessas tecnologias.

### 2.3 Carvão mineral e seus derivados

O carvão mineral pode ser classificado como carvão vapor e como carvão metalúrgico. O primeiro é utilizado essencialmente como combustível, sobretudo em usinas termelétricas, enquanto que a principal utilização do segundo é como agente redutor (coque de carvão) na metalurgia de metais primários, como o ferro-gusa. As etapas da cadeia produtiva do carvão vapor coincidem com as etapas iniciais da cadeia do carvão metalúrgico: prospecção, extração, beneficiamento (que, quando existe, em geral é realizado próximo à boca da mina) e transporte até o local de conversão em coque, ou de seu uso final como combustível.

O principal uso do carvão vapor no Brasil é na geração termelétrica, em usinas empregando ciclos a vapor (Bajay, 2009b), nos Estados da região Sul. Nesses Estados, algumas plantas industriais também consomem esse energético em fornos e, sobretudo, em caldeiras; destacam-se, nesses usos, os segmentos químico, papel e celulose, alimentos e bebidas, cerâmica, e cimento. O elevado teor de cinzas desse carvão, todo ele produzido no sul do país, e a falta de uma infra-estrutura ferroviária adequada tornam muito elevado o seu custo de transporte para outras regiões. Atualmente, há algumas usinas em projeto, ou em construção, nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste, que irão consumir carvão mineral importado.

A maior parte do carvão metalúrgico consumido no país é transformada em coque de carvão, nas coquearias integradas às maiores usinas siderúrgicas. Do restante, uma parcela majoritária é consumida, na forma pulverizada, como combustível nos altos fornos da indústria siderúrgica; parcelas menores são consumidas nos fornos dos segmentos de mineração e pelletização, metais não ferrosos, cimento e outros segmentos industriais. A injeção de carvão pulverizado nas ventaneiras dos alto-fornos pode substituir uma parte do coque necessário para a produção do ferro-gusa por carvão de menor custo.

Nas coquearias, além do coque é produzido gás de coqueria e alcatrão. O coque de carvão mineral é, em quase sua totalidade, consumido como redutor nos altos fornos das usinas siderúrgicas. Ele também é empregado como combustível nesses altos fornos e, em pequena escala, em fornos de outros segmentos industriais, como metais não-ferrosos, ferro-ligas, mineração e pelletização, e cimento. O gás de coqueria é utilizado como combustível nos reatores das próprias coquearias, em fornos e caldeiras das usinas siderúrgicas e na geração de eletricidade para essas usinas. O outro subproduto da produção de coque a partir do carvão mineral é o alcatrão, que é utilizado como matéria prima, como combustível nas usinas siderúrgicas e para gerar eletricidade nessas usinas.

### 2.4 Urânio

O ciclo do combustível nuclear é constituído pelas seguintes etapas produtivas: mineração e concentração do urânio, conversão do concentrado (*yellow cake*,  $U_3O_8$ ) em hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ), enriquecimento, fabricação do combustível de usinas nucleares, e reprocessamento do combustível gasto, no caso de se optar por um ciclo fechado. Atualmente, o Brasil, através da empresa estatal Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB), vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), atua nas etapas de mineração,

concentração, enriquecimento e fabricação do combustível de usinas nucleares. O concentrado de urânio produzido no Brasil, mais a parcela importada, são convertidos em hexafluoreto de urânio e enriquecidos no exterior, retornando, a seguir, para serem convertidos no dióxido de urânio ( $UO_2$ ) contido nos elementos combustíveis, fabricados localmente para emprego nas centrais nucleares. Em breve, parte da conversão e do enriquecimento também deverá ser realizada no Brasil.

A indústria nuclear mundial desenvolveu e melhorou diversas tecnologias de usinas nucleares por mais do que cinco décadas, sendo que hoje são distinguidas quatro gerações de reatores nucleares (Mongelli, 2006). As duas usinas nucleares operando no Brasil, assim como uma terceira, em início de construção, são da segunda geração (Bajay, 2009b).

## 2.5 Biocombustíveis líquidos

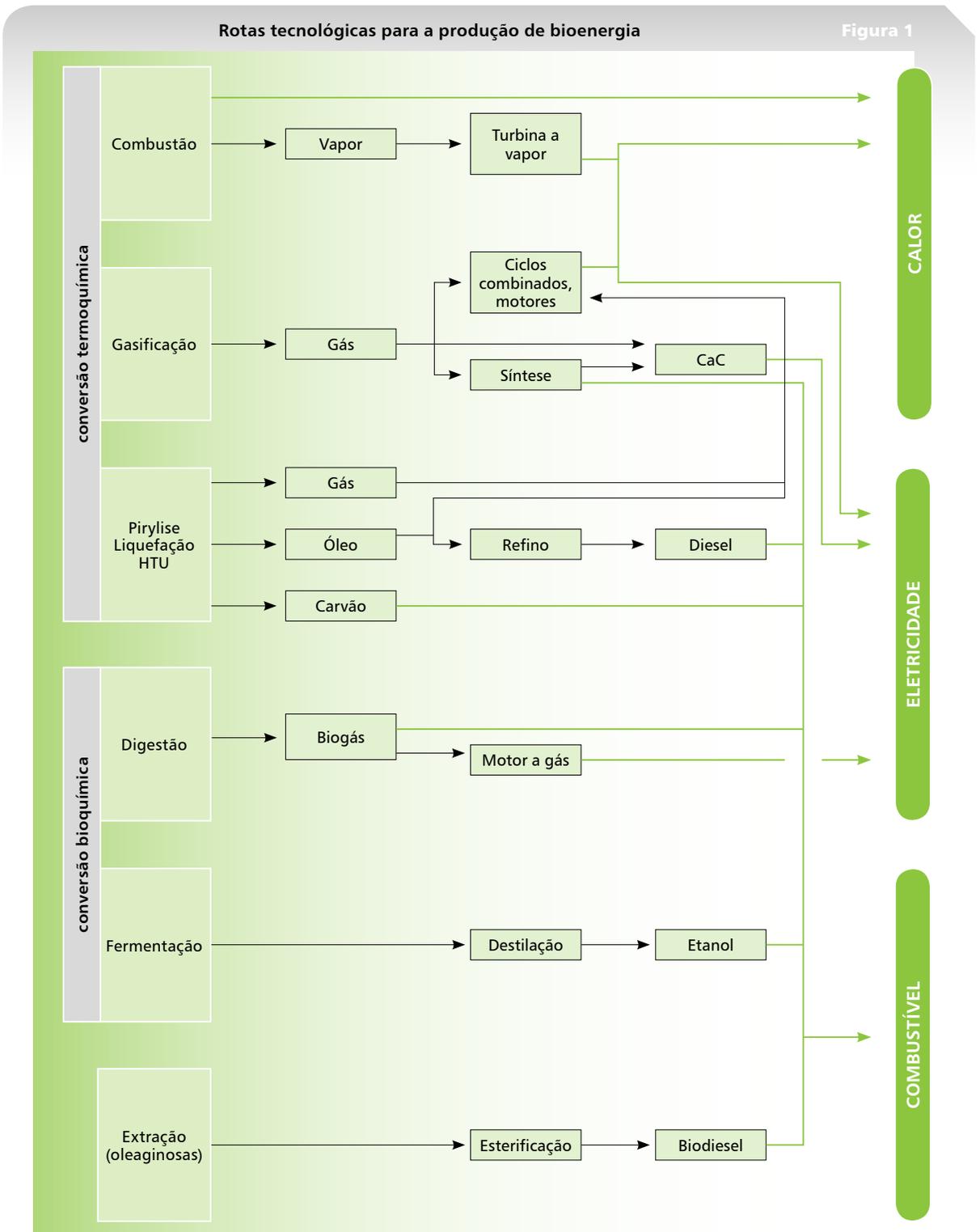
Representando umas rotas de aproveitamento da energia solar mediante o processo fotossintético, a produção de biocombustíveis, de forma geral, envolve uma fase agrícola, ou de pecuária, quando a biomassa é produzida, e uma subsequente fase industrial, em que essa biomassa é transformada em vetor energético adequado para o uso final, tipicamente em motores de combustão interna. O custo final do biocombustível, assim como seus impactos ambientais, depende, então, dessas duas fases.

A **Figura 1** ilustra as principais rotas tecnológicas, na fase industrial, para a produção de bioenergia, incluindo tecnologias conhecidas e consolidadas, bem como alternativas ainda em desenvolvimento. Desse modo, a fermentação inclui os processos dominados, como a produção de etanol a partir de açúcares e amido, e os processos em estudos, por exemplo, utilizando a conversão bioquímica de celulose. Neste texto, o foco da análise se concentra na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e de energia elétrica a partir dos resíduos agrícolas e industriais da cana, e na produção de biodiesel a partir das matérias-primas que se têm mostrado mais promissoras no Brasil.

### 2.5.1 Etanol

A cadeia produtiva do etanol no Brasil, quase sempre integrada com a produção de açúcar, se inicia com o cultivo da cana-de-açúcar, cuja produtividade no Centro-Sul brasileiro, nos melhores cultivos, é da ordem de 80 t/ha (Nogueira, 2009). Durante as últimas décadas foi notável a evolução da tecnologia agrícola utilizada nas usinas brasileiras.

Conforme indicado na **Figura 1**, na fase industrial é empregado um processo de conversão bioquímica: a fermentação, seguida de destilação, para produzir etanol anidro (utilizado em mistura com a gasolina em motores convencionais do ciclo Otto) e etanol hidratado (utilizado como combustível em motores desenhados para seu consumo, que podem ser motores a etanol, ou motores capazes de consumir misturas com gasolina em diferentes teores, conhecidos como motores flexíveis). A matéria-prima pode ser o caldo da cana, ou, no caso



Fonte: Turkemburg et alii, 2000

de usinas que produzem tanto álcool como açúcar, o melado, ou ainda misturas de caldo e melado, em função das disponibilidades e condicionantes econômicos. O caldo da cana é extraído através de moendas ou difusores e pré-concentrado em diversos estágios e esterilizado antes de ser encaminhado para a fermentação em batelada ou contínua, em vários estágios, sendo efetuada a reciclagem de levedura (processo Melle Boinot). A destilação ocorre com múltiplos efeitos. A obtenção de álcool anidro requer, ainda, uma etapa de desidratação. Atinge-se atualmente, nas melhores usinas, uma produtividade industrial de 85 l/t (Nogueira, 2009).

Além do elevado rendimento na etapa agrícola, decorrente da alta eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, uma das razões da elevada produtividade e do menor custo do etanol produzido no Brasil é o aproveitamento do bagaço da cana não só para gerar, em plantas de cogeração, a energia elétrica necessária ao processo produtivo nas usinas, mas, também, para produzir excedentes substanciais. Esses excedentes são vendidos para concessionárias de distribuição de energia elétrica ou para grandes consumidores.

O setor sucroalcooleiro é o maior autoprodutor de energia elétrica no país e, também, o maior gerador de excedentes de energia elétrica para a rede pública. A utilização de caldeiras de alta pressão e de turbinas a vapor eficientes, junto com diminuições no consumo energético específico das usinas, tem permitido a geração crescente de excedentes de eletricidade. A mecanização gradual da colheita da cana-de-açúcar tem disponibilizado parte da palha da cana para ser queimada nas unidades de cogeração, contribuindo para incrementar ainda mais esses excedentes.

### 2.5.2 Biodiesel

Óleos e gorduras podem ser convertidos em combustíveis adequados para uso em motores do ciclo Diesel através de processos de transesterificação. Logo, a cadeia produtiva do biodiesel é composta, inicialmente, pelo cultivo de uma planta oleaginosa seguido da extração do óleo vegetal, ou por uma atividade de processamento animal, como matadouros, com o fornecimento de gordura animal, com a posterior transesterificação desses materiais gordurosos. Para a transesterificação a matéria-prima é misturada com um álcool, na presença de catalisadores, separando-se a glicerina e produzindo os ésteres dos ácidos graxos denominados biodiesel. Os catalisadores podem ser alcalinos, ácidos ou enzimáticos, e os alcoóis podem ser etanol ou metanol. A transesterificação alcalina tem sido, até agora, a rota mais interessante (cinética mais rápida de reação). A matéria-prima é importante na decisão sobre o uso de catálise ácida ou básica. A catálise enzimática, que promete algumas vantagens, como menos subprodutos, está em fase inicial de desenvolvimento. Já a transesterificação etílica, mais interessante para o Brasil, apesar de mais complexa que a rota metílica, poderá atingir níveis equivalentes de qualidade.

Uma ampla gama de matérias-primas pode ser empregada para a produção do biodiesel, incluindo os óleos vegetais de cultivos anuais (como soja e colza) e perenes (como as palmáceas), gorduras animais, bem como óleos e gorduras residuais. Dessa forma, são igualmente variados os contextos produtivos para esse biocombustível.

Há poucos anos a Petrobras patenteou o processo denominado H-bio, de produção de óleo diesel em refi-

narias a partir do processamento da mistura de óleo vegetal ou animal com frações de diesel de petróleo. Esse processo chegou a ser implementado, mas foi descontinuado em agosto de 2007, em virtude do alto custo dos óleos vegetais (Sousa, 2009b).

### ► 3 Demanda e oferta

Os principais determinantes do consumo de energia em um país são o crescimento econômico e a expansão da população. Naturalmente o nível de demanda é influenciado pela adoção de tecnologias, por padrões de consumo mais ou menos eficientes e por mudanças estruturais que podem existir na composição do produto econômico e na distribuição de renda na sociedade. Com informações básicas para a análise da matriz energética brasileira, nas próximas seções se apresenta uma breve revisão do quadro atual do mercado, com dados atuais e prospectivos da oferta e da demanda dos diferentes vetores energéticos, conforme se depreende de estudos oficiais e independentes.

#### 3.1 Petróleo e seus derivados

##### 3.1.1 Demanda

O óleo diesel ocupa posição de destaque na matriz de combustíveis veiculares do país, mesmo com a proibição de seu uso em veículos leves. Há tendência de queda da participação do óleo combustível e do gás liquefeito de petróleo para uso industrial. Inversamente, espera-se que o espaço ocupado pelo etanol e o biodiesel nessa matriz aumente.

O consumo de óleo diesel, que possui uma boa correlação com o Produto Interno Bruto (PIB), responde por 42% do mercado de derivados de petróleo. O consumo aparente dos principais derivados de petróleo é apresentado na **Tabela 1**.

Há uma norma proibindo o consumo de óleo diesel em veículos de passageiros, de carga e de uso misto, com capacidade inferior a 1.000 kg, computados os pesos do condutor, tripulantes e passageiros, e da carga <sup>□</sup>.

Observa-se uma tendência de queda de participação de mercado do óleo combustível. Com efeito, as vendas de óleo combustível sofreram queda de 50% no período entre 2000 e 2007. Também é digno de nota o fato de o consumo de GLP no setor industrial vir caindo desde o final da década passada (MME, 2008).

Um expressivo crescimento da demanda de biodiesel foi assegurado em 2009. Com efeito, a resolução CNPE nº 2, de 27/4/2009, estabeleceu em 4% (em base volumétrica) o percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, a partir de 1º de julho de 2009. Para 2010, já está garantida a manutenção dessa tendência, porque o governo estabeleceu em 5% o percentual mínimo de adição de biodiesel ao óleo diesel a partir de 1º de janeiro de 2010 (resolução CNPE nº 6, de 16 de setembro de 2009).

A matriz de combustíveis veiculares em 2008 é apresentada na **Figura 2**.

Nela, pode se perceber que o óleo diesel responde por 52,4% do consumo de combustíveis no setor de transporte rodoviário. Em segundo lugar vem a gasolina pura (gasolina A), com uma participação de 25,4%.

A participação de combustíveis do ciclo Otto na matriz de combustíveis veiculares caiu a partir dos anos 1970 (na ocasião havia expressiva quantidade de veículos pesados movidos a gasolina) até ser ultrapassada pela participação do óleo diesel em 1980. Desde então, a participação de óleo diesel manteve-se, com pequenas oscilações, em torno de 52%.

É bom frisar, no entanto, que a demanda dos combustíveis do ciclo Otto (gasolina, álcool etílico e gás natural veicular), em valores absolutos, tem subido continuamente, com exceção de breves períodos de dificuldades econômicas mais sérias.

Não se verifica o mesmo comportamento homogêneo com relação à participação de cada um desses combustíveis no período de 1970 a 2007, como se pode ver na **Figura 3**. De fato, a participação da gasolina pura cai de praticamente 99% em 1970 até atingir um valor mínimo de 48,3% em 1988. De maneira inversa, a participação do álcool etílico (anidro e hidratado) parte de um valor próximo a 1% para um valor máximo de 51,7% em 1988, passando a cair até alcançar patamar de 29% no início da década de 2000. Em 2007, essa participação foi de 34,2%. Já a participação do gás natural começou próxima de zero, em 2003, até alcançar 9% em 2007. Na oportunidade, registre-se que, se todos os veículos que consomem gás

Tabela 1

Consumo aparente de derivados de petróleo no Brasil

Combustível	mil m <sup>3</sup>		%
	2007	2008	2008/2007
Diesel	41.558	44.764	7,7
Biodiesel	260	1.125	332,7
Gasolina C	24.235	25.175	3,9
Gasolina A	18.483	18.881	2,2
Etanol anidro	5.843	6.294	7,7
Etanol hidratado	9.367	13.290	41,9
Etanol total	15.210	19.584	28,8
GLP	12.005	12.259	2,1
Óleo combustível	5.525	5.172	-6,4
QAV	4.891	5.227	6,9
GAV	55	61	10,9
Querosene iluminante	31	24	-22,6
<b>Total</b>	<b>97.757</b>	<b>105.972</b>	<b>8,4</b>
<b>GNV (mil m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>7.015</b>	<b>6.614</b>	<b>-5,7</b>

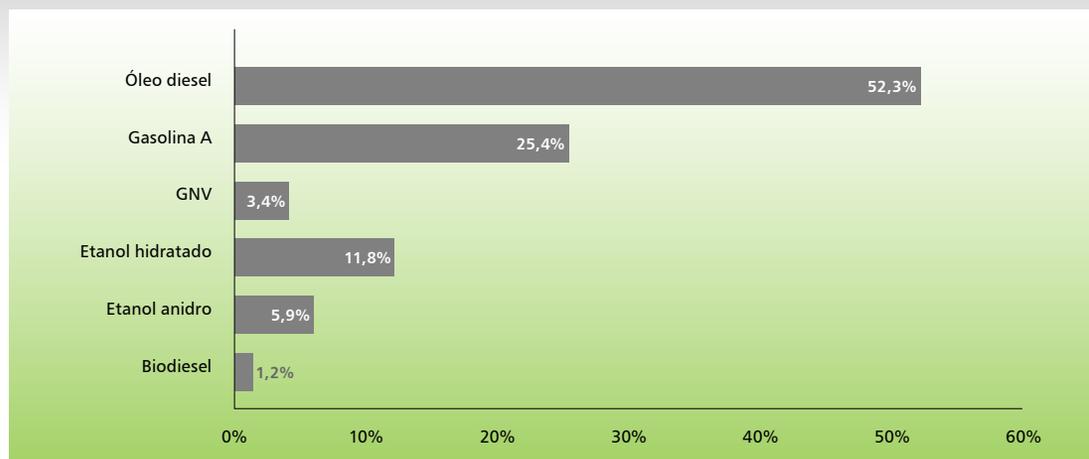
natural veicular (consumo de 2.559 mil m<sup>3</sup>, em 2007) passassem a consumir álcool hidratado, a demanda desse biocombustível seria aumentada em 3,7 milhões m<sup>3</sup> (Sousa, 2009b).<sup>[2]</sup>

### 3.1.2 Produção

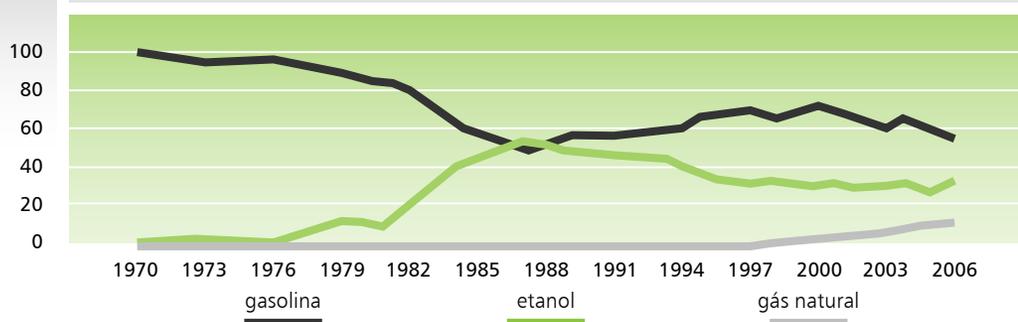
A taxa de crescimento da produção de petróleo no período de 1998 a 2008 foi de 6,5 % ao ano. A produção interna de petróleo em 2008 foi de 663,28 milhões de barris, com a Petrobras sendo responsável por 645,29 milhões de barris, o que correspondeu a 97,3 % da produção nacional.

O bom desempenho da produção a que se aludiu anteriormente foi mantido em 2009. A produção média de petróleo (inclusive Líquido de Gás Natural – LGN) no Brasil, no primeiro trimestre de 2009, foi de 2 mi-

**Figura 2** Matriz de combustíveis veiculares em 2008 % tep



**Figura 3** Composição do consumo de combustíveis do ciclo Otto Participação (% tep)



Fonte: MME

lhões de barris por dia, de acordo com a ANP<sup>[3]</sup>. No dia 4 de maio, foi batido o recorde diário de produção de petróleo da Petrobras no país, com a produção de 2 milhões e 59 mil barris. (Petrobras, 2009).

Atualmente, há 14 refinarias no Brasil. Dessas, 12 são da Petrobras e duas são privadas: Manguinhos (encontra-se desativada) e Univen. A capacidade de refino em 31/12/2007 era de 323.750 mil m<sup>3</sup>/dia (2,04 milhões b/dia) e seu fator de utilização foi elevado. De fato, o processamento médio em 2007 foi de 1,74 milhão b/dia de petróleo, dos quais 77% referiam-se a petróleo nacional (ANP, 2008). O perfil de processamento médio mostra concentração da produção em derivados médios (diesel e querosene de aviação), mas revela uma participação relevante da gasolina (20%), como se pode ver na **Figura 4**.

### 3.1.3 Importações e exportações

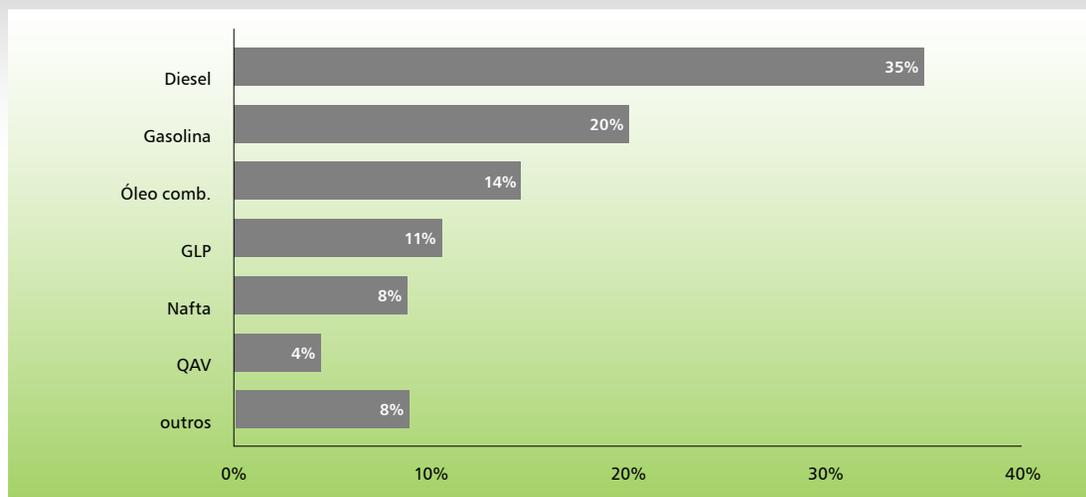
O Brasil é exportador líquido de petróleo. Destacam-se as posições importadoras de óleo diesel e exportadoras de óleo combustível e gasolina.

Desde 2006, o Brasil é exportador líquido de petróleo. Em 2008, foram exportados 432 mil bpd a um preço médio de 87 US\$/b e importados 404 mil bpd de petróleo a um preço médio de 111US\$/b<sup>[4]</sup>. Como o valor do petróleo importado foi bem superior ao preço obtido pelo petróleo nacional, a balança comercial do petróleo foi negativa em US\$ 2,7 bilhões.

Com relação aos derivados de petróleo, destacam-se as posições importadoras de óleo diesel e exportadoras de óleo combustível e gasolina. Em 2007, o Brasil exportou 3.698 mil m<sup>3</sup> de gasolina (16,7% da produção doméstica) e importou 5.099 mil m<sup>3</sup> de óleo diesel (ANP, 2008).

Figura 4

Perfil de processamento de petróleo no Brasil em 2007



Fonte: ANP

No que concerne às vendas externas de gasolina, o Brasil chegou a exportar 5,2 milhões de m<sup>3</sup> em 1988, o que correspondeu a 41% da produção nacional. Nos anos seguintes, o volume de gasolina vendido ao exterior foi reduzido em função da absorção pelo mercado interno de maior volume do produto, decorrente de maiores vendas de veículos a gasolina. Mais tarde, essa situação foi revertida, mercê da forte penetração dos veículos *flex-fuel*, introduzidos em março de 2003, e pela opção pelo álcool hidratado por parte da maior parte dos proprietários desses veículos. No primeiro trimestre de 2009, a participação desses veículos no licenciamento de automóveis e comerciais leves foi de 87,8% (Anfavea, 2009).

O Brasil disporá de grande excedente de produção de gasolina por conta da queda da demanda no mercado doméstico. Para exportar gasolina como produto acabado, é preciso que a gasolina nacional atenda às especificações no mercado internacional. Nesse contexto, verifica-se que o teor de enxofre na gasolina e no óleo diesel de produção doméstica ainda é significativamente superior aos valores observados nos países desenvolvidos (Sousa, 2009b).

### 3.1.4 Expansão da capacidade de refino

Conforme indicado na Tabela 2, espera-se um incremento da capacidade de refino da Petrobras de 1.360 mil bpd até 2014, o que corresponde a um aumento de 67% da capacidade de refino nacional em 31 de dezembro de 2008.

O Plano de Negócios da Petrobras 2009-2013 prevê investimentos de US\$ 34,9 bilhões na ampliação da capacidade de processamento para evitar que o Brasil se torne um grande exportador de petróleo bruto. O plano contempla uma expansão da capacidade de processamento de 380 mil bpd por meio da construção da refinaria Abreu e Lima, situada no Estado de Pernambuco (previsão de entrada em operação em 2011), e ampliação de unidades existentes.

Em um horizonte de planejamento de mais largo prazo, está prevista a construção de duas refinarias *premium* voltadas para a produção de derivados de petróleo de alta qualidade, notadamente óleo diesel, e da unidade petroquímica básica do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj). A refinaria Premium I será construída

Ampliação da capacidade de refino da Petrobras

Tabela 2

Unidade	Capacidade mil bpd	Início de operação	Unidade da federação
Refinaria do Nordeste	230	2011	Pernambuco
Refinaria Premium I	600	2013*	Maranhão
Refinaria Premium II	300	2014*	Ceará
Comperj	150	2012	Rio de Janeiro
Guamaré	80	2010	Rio Grande do Norte
<b>Total</b>	<b>1360</b>		

Fonte: Petrobras (Relatório Anual)

no Maranhão e terá capacidade de processamento de 600 mil bpd. A entrada em operação da primeira fase está prevista para 2013 e da segunda para 2015. Já a refinaria Premium II será construída no Ceará e terá capacidade de processamento de 300 mil bpd. O início de operação da primeira fase está previsto para 2014 e da segunda para 2016. O Comperj processará 150 mil bpd de petróleo para produção de matérias-primas petroquímicas e pequenas quantidades de derivados de petróleo. A entrada em operação de sua primeira etapa está prevista para o final de 2012 (Petrobras, 2009b). Além disso, a Petrobras vem realizando investimentos no pólo industrial de Guamaré, no Estado do Rio Grande do Norte, na construção de uma planta para produção de gasolina e na melhoria de qualidade dos derivados já produzidos (GLP, QAV e diesel), o que ampliará a produção para 80 mil bpd em 2010, ocasião em que a referida instalação será classificada como refinaria (EPE, 2008b).

De acordo com o plano de negócios da Petrobras, a sua capacidade de refino no Brasil, em 2013, alcançará 2,27 milhões bpd. Isso representará a autossuficiência do país na produção de óleo diesel. Esforço será feito no sentido de adequar as especificações da gasolina e do óleo diesel aos padrões internacionais, com o objetivo de possibilitar a colocação de excedentes no mercado externo. Prevê-se que, a partir de 2012, toda a gasolina produzida no Brasil tenha 50 ppm de enxofre.

Com a atual estrutura de mercado, a entrada de um novo agente no setor de refino é muito difícil, em razão do descasamento entre o preço do petróleo no mercado internacional e os preços dos principais derivados de petróleo no mercado interno. Essa percepção é ratificada pelos fatos. Com efeito, basta lembrar que a ANP concedeu autorização para a construção da Renor, no Estado do Ceará, ainda em 1998, a qual nunca se materializou. Também não há espaço para pequenas refinarias. A refinaria de Manguinhos encontra-se desativada e a Refinaria Ipiranga foi adquirida, em março de 2007, pelo consórcio Petrobras/Braskem/Grupo Ultra (Sousa, 2009b).

### 3.2 Gás natural

No período de 1995 a 2007, o consumo de gás natural passou de 7.732 milhões m<sup>3</sup> para 18.152 milhões m<sup>3</sup> (MME, 2008), o que correspondeu a uma taxa média de crescimento do consumo de gás natural de 14,5% ao ano. Graças a essa forte expansão do consumo, a participação desse produto na oferta interna de energia (matriz energética) cresceu rapidamente até alcançar 10,2%, em 2008.

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (Abegás), as vendas de gás das distribuidoras em 2008 foram de 50 milhões de m<sup>3</sup>/dia. Os segmentos mais expressivos foram o industrial, a geração elétrica e o automotivo, os quais responderam por 51,6%, 26,6% e 13,3%, das vendas, respectivamente.

No que tange ao mercado de Gás Natural Veicular (GNV), algumas características merecem ser destacadas. O consumo de gás natural no segmento automotivo foi de 6.633,1 mil m<sup>3</sup>/dia em 2008, o que correspondeu a uma parcela relativamente pequena das vendas das distribuidoras (13,3%). Existe elevada concentração de vendas no Estado do Rio de Janeiro, que respondeu por 43% do referido mercado. A frota convertida para

o uso de GNV em março de 2009 era de 1.596.511 veículos. Essa frota permaneceu praticamente estagnada em 2008 (*Folha do GNV*, 2009), mercê da pronunciada redução do ritmo de conversões de veículos ocasionada pela redução da atratividade do preço ao consumidor de GNV com respeito aos preços da gasolina e do álcool hidratado e pelo receio de falta de gás natural para uso automotivo <sup>[6]</sup>. Em 2009, o desempenho das conversões continua ruim. De fato, apenas 2.726 veículos foram convertidos para gás natural em março de 2009. Mantida essa tendência, haverá redução progressiva da frota a gás natural <sup>[7]</sup> (Sousa, 2009a).

Em razão dos problemas mencionados anteriormente, verificou-se queda na demanda de GNV, expressa em tep, de 5,4% em 2008 (MME, 2009).

### 3.3 Carvão mineral e seus derivados

O consumo de carvão vapor em usinas termelétricas oscilou bastante no período 1970-2007, mas tem apresentado tendência crescente durante todo esse tempo, enquanto que o consumo industrial desse energético caiu bastante de 1987 a 1998, estabilizando-se a seguir. O segmento industrial responsável pelo consumo relativamente elevado de carvão vapor nas décadas de oitenta e noventa foi o de cimento, que acabou sendo substituído, na atual década, por coque de petróleo, mais barato. Os maiores consumos industriais de carvão vapor em 2007 foram dos segmentos químico – 191.000 t e papel e celulose – 164.000 t.

A conversão de carvão metalúrgico em coque de carvão aumentou substancialmente de 1970 até meados da década de oitenta, a partir de quando praticamente se estabilizou. Por outro lado, em 1993 se iniciou o consumo industrial desse combustível, que atingiu 4.596.000 t em 2007. A maioria desse consumo em 2007 foi nos altos fornos da indústria siderúrgica – 3.395.000 t; naquele ano, esse combustível também foi consumido nos segmentos de mineração e pelotização – 864.000 t, metais não ferrosos – 161.000 t, outros segmentos – 128.000 t e cimento – 48.000 t.

Quase todo o consumo de coque de carvão mineral ocorre no setor de ferro-gusa e aço. Esse consumo cresceu bastante de meados da década de 1970 até quase o final da década de 1980, estabilizando-se, em termos de tendência de longo prazo, a seguir, em parte por conta da sua substituição parcial por carvão pulverizado, em seu papel como combustível nos altos fornos siderúrgicos. Em 2007, das 9.734.000 toneladas de coque de carvão mineral consumidas na indústria brasileira, o segmento de ferro-gusa e aço foi responsável por 94,1% desse total, os metais não-ferrosos por 2,2%, os ferros-ligas por 1,5%, a mineração e pelotização por 1,3%, e a indústria cimenteira pelos restantes 0,9%.

O consumo dominante de gás de coqueria tem sido na produção de energia térmica em processos das usinas siderúrgicas fora das coquerias. Tem havido um aumento no consumo desse gás na geração de energia elétrica nas usinas (Bajay, 2009a).

Dos três usos do alcatrão de carvão mineral, o seu consumo como combustível para a produção de energia térmica nas usinas siderúrgicas foi dominante de 1987 a 1995; o seu consumo como matéria-prima foi ma-

oritário no restante do período até 2007, exceto em 1977. O consumo de alcatrão de carvão mineral como combustível na autoprodução de eletricidade nas usinas siderúrgicas tem sido pequeno (Bajay, 2009b).

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017 (PDE 2008/2017), 6.249 MW de novas usinas termelétricas a carvão encontram-se em fase de estudos de viabilização econômica e socioambiental (EPE/MME, 2009b).

O PDE 2008/2017 propõe a instalação de 900 MW de usinas termelétricas no sul do país em 2015; usinas consumindo carvão nacional são candidatas naturais para atender a essa indicação.

Até 2015, o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) prevê a instalação de 1.100 MW de novas usinas a carvão. Assumiu-se, no planejamento de 2016 até 2030, que até 9.000 MW de usinas a carvão seriam factíveis de serem instaladas no país, sendo que 5.000 MW seriam com carvão nacional, na região Sul; dos 4.000 MW de usinas que poderiam operar com carvão importado, 2.000 MW poderiam ser instalados na região Sudeste e os demais 2.000 MW na região Nordeste. Desse montante de capacidade de usinas a carvão “candidatas”, o modelo de otimização de expansão da oferta de eletricidade empregado no PNE 2030 <sup>(8)</sup> selecionou 3.500 MW para serem instalados no período 2016 – 2030, só na região Sul, consumindo carvão nacional.

A **Tabela 3** desagrega as projeções de demanda associadas ao cenário de referência do PNE 2030 entre o carvão vapor e o carvão metalúrgico, e entre o uso do carvão para conversão em coque de carvão, ou em energia elétrica, e o seu consumo final como energético. Essa tabela mostra claramente o forte incremento do consumo total de carvão mineral entre 2020 e 2030, principalmente por conta da participação crescente da sua conversão em energia elétrica.

A **Tabela 4** apresenta as projeções de oferta de carvão mineral no cenário de referência do PNE 2030, desagregadas para o carvão vapor e o carvão metalúrgico. Nelas, pode-se observar a importância, no futuro também, das importações de carvão metalúrgico, e o forte incremento na produção de carvão vapor a partir de 2020, por conta da hipótese de um aumento de 40% nas reservas medidas de carvão no país, a partir de 2015, e investimentos substanciais na construção de novas usinas termelétricas a carvão durante o período 2020-2030.

### 3.4 Urânio

O consumo de urânio no país tem sido cíclico, com valores bem mais elevados registrados a partir de 1997, por conta da entrada em operação da segunda central nuclear brasileira, Angra II, em 2000 (EPE/MME, 2008).

O Brasil possui atualmente duas usinas nucleares, Angra I e Angra II, do tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR), com 657 MW e 1.350 MW de capacidade instalada, respectivamente. A primeira opera desde 1982 e a segunda desde 2000. Ambas se situam na praia de Itaorna, em Angra dos Reis (RJ) e são operadas pela Eletronuclear, uma subsidiária da Eletrobrás. As duas empresas são estatais e estão vinculadas ao Ministério de Minas e Energia.

O PDE 2008/2017 menciona a construção, pela Eletronuclear, de uma única usina nuclear em seu horizonte de projeção, a usina Angra III, de 1.350 MW, semelhante à Angra II, prevista ser instalada em novembro de 2014, no mesmo sítio das duas usinas nucleares hoje existentes.

No PNE 2030, a EPE prevê a instalação da usina nuclear Angra III até 2015. Para o período 2016-2030, a EPE considerou, entre várias outras alternativas de aumento da oferta de energia elétrica, o possível acréscimo de mais 6.000 MW de novas usinas nucleares, sendo 3.000 MW na região Sudeste e 3.000 MW na região Nordeste. Foram adotadas para essas usinas uma capacidade instalada de 1.000 MW por usina, um fator de capacidade de 85% e uma vida útil de 40 anos. Para as projeções de demanda associadas ao cenário de referência no PNE 2030, o modelo Melp, de otimização de expansão da oferta de eletricidade, indicou a instalação de 4.000 MW de novas usinas nucleares, divididas por igual entre as regiões Sudeste e Nordeste. A primeira dessas usinas deve entrar em operação em 2019, na região Nordeste, entre Recife e Salvador. O sítio a ser escolhido para as duas novas centrais nucleares da região Sudeste deverá se situar entre o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. O total das usinas nucleares no país geraria, nesse cenário de demanda, 15 TWh em 2010, 30,5 TWh em 2020 e 51,6 TWh em 2030 (EPE/MME, 2007).

As projeções da EPE para a produção e importação de urânio em 2010, 2020 e 2030, no PNE 2030, associadas ao cenário de referência, estão indicadas na **Tabela 5**. Observe-se que, segundo essas projeções, a produção crescente deve zerar as importações em 2030.

**Projeções das demandas de carvão vapor e de carvão metalúrgico no Brasil**

*Em 10<sup>3</sup> t, para transformação e para consumo final, no cenário "surfando a marola"*

**Tabela 3**

		2010	2020	2030
Carvão vapor	Transformação	8.653	10.397	20.918
	Consumo final	1.082	1.657	2.311
Carvão metalúrgico	Transformação	10.456	13.818	15.380
	Consumo final	6.034	9.216	11.804
<b>Total</b>	<b>Transformação</b>	<b>19.109</b>	<b>24.215</b>	<b>36.298</b>
	<b>Consumo final</b>	<b>7.116</b>	<b>10.874</b>	<b>14.115</b>

Fonte: EPE/MME, 2007

**Projeções da oferta de carvão mineral** *Em 10<sup>3</sup> t, no PNE 2030*

**Tabela 4**

		2010	2020	2030
Produção	Carvão vapor	9.735	12.055	23.228
	Carvão metalúrgico	210	210	210
	Total	9.945	12.265	23.438
Importação	Carvão metalúrgico	16.281	22.824	26.974

Fonte: EPE/MME, 2007

### 3.5 Biocombustíveis Líquidos

É desigual a maturidade dos mercados para os biocombustíveis líquidos no Brasil. Enquanto o uso regular de etanol, em mistura com a gasolina, teve início ainda nas primeiras décadas do século passado, o biodiesel deve ser considerado um produto inovador, comercializado apenas a partir de 2003. De todo modo, em 2008 os biocombustíveis representaram 16,5% da demanda energética no setor de transportes (EPE/MME, 2009a), e apresentam boas perspectivas de expansão nos próximos anos.

#### 3.5.1 Etanol

Refletindo a importância crescente dos veículos com motores flexíveis, introduzidos no mercado brasileiro em 2003 e que têm respondido pela maioria das vendas de veículos leves nos últimos anos, o consumo de etanol hidratado tem aumentado em volumes absolutos e relativos, deslocando parte do consumo de gasolina e etanol anidro. De acordo com os números do Balanço Energético Nacional, em 2008 foram consumidos 13,3 milhões de m<sup>3</sup> de etanol hidratado e 6,3 milhões de m<sup>3</sup> de etanol anidro, representando, respectivamente, variações médias anuais de 14,3% e -3,2 no período entre 2003 a 2008 (EPE/MME, 2009a).

Pelo lado da produção, na última safra (2008/2009) foram produzidas no Brasil 572 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, parcialmente utilizadas para produzir o volume recorde de 26,6 bilhões de litros de etanol. Durante os últimos anos, como mostrado na Tabela 6, em função da evolução da demanda indicada anteriormente, a produção de etanol hidratado superou a produção de etanol anidro, com uma importante expansão da produção total e do volume exportado.

**Tabela 5** Projeções da oferta de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, em t, no PNE 2030

	2010	2020	2030
Produção	151	844	1.646
Importação	304	127	0

Fonte: EPE/MME, 2007

**Tabela 6**

**Produção de etanol no Brasil** Em mil m<sup>3</sup>

Safra	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09
Etanol anidro combustível	7.689	7.352	5.128	6.354	6.406
Etanol hidratado combustível	5.118	5.973	7.696	10.964	13.821
Etanol exportado	2.631	2.526	3.928	3.518	5.228
Etanol total para outros usos	703	708	729	686	1.166
<b>Total</b>	<b>16.141</b>	<b>16.559</b>	<b>17.481</b>	<b>21.522</b>	<b>26.621</b>

Fonte: Mapa, 2009

O setor sucroalcooleiro conta com 418 unidades produtoras, sendo 155 produtoras de álcool, 15 de açúcar e 248 de açúcar e álcool, que atendem bem à demanda interna e geram crescentes excedentes exportáveis. Há vários projetos em curso para elevar a capacidade instalada de produção de álcool de cana-de-açúcar, com estimativas (pré-crise financeira internacional) do setor produtivo indicando investimentos da ordem de US\$ 33 bilhões até 2012 (US\$ 23 bilhões na área industrial e US\$ 10 bilhões na área agrícola) (UNICA, 2008).

Com relação às perspectivas de evolução desse mercado, Meira Filho e Macedo (2009), a partir de projeções de demanda desenvolvidas por cinco instituições (Mapa, EPE, IE-UFRJ, UNICA e Cepea), indicam para 2020 uma demanda provável de 45 milhões de m<sup>3</sup> de etanol hidratado e 5 milhões de m<sup>3</sup> de etanol anidro, volume 155% superior ao observado em 2008, significando um crescimento médio anual de 12,9%.

Ainda que as projeções estejam sujeitas a incertezas determinadas pelo nível de atividade e, particularmente, pelo perfil da frota veicular, que poderá incorporar novas tecnologias como veículos elétricos e híbridos, considerando que se trata do horizonte de uma década, as projeções parecem razoáveis, especialmente tendo em vista que, nesse horizonte, a frota veicular brasileira, atualmente estimada em 24 milhões de automóveis (41% flexíveis), poderá ser da ordem de 40 milhões de veículos (75% flexíveis) (EPE/MME, 2007).

### 3.5.2 Biodiesel

Com o mercado garantido pela exigência de uma mistura de biodiesel ao óleo diesel comercializado no país (5% a partir de 2010), como definido pela lei 11.097/2005, a produção desse biocombustível se expandiu de forma acelerada. Estima-se que a capacidade anual de produção supere 3 bilhões de litros, com um consumo de cerca de 1,2 bilhão de litros em 2008, produzidos majoritariamente a partir de óleo de soja, complementado por sebo e, em menor quantidade, por diversas outras oleaginosas (Nogueira, 2009).

Como o biodiesel é destinado exclusivamente ao uso em misturas com o óleo diesel, a estimativa de sua demanda futura no mercado brasileiro está associada às projeções da demanda de óleo diesel e às hipóteses de evolução dos teores de biodiesel.

Para avaliar a evolução do mercado de óleo diesel, foi utilizada a estimativa apresentada no cenário de referência do Plano Nacional de Energia. Nesse cenário se assumiu uma estabilidade do processo de expansão econômica, com progressiva integração comercial entre os mercados, continuidade do processo de ajuste interno, algum aumento do poder aquisitivo e expectativas de taxas médias anuais de crescimento do produto econômico de 4,3% para o Brasil no período 2005 a 2030. Nesse contexto, a demanda de óleo diesel (incluindo ou não biodiesel), que já é significativa, deverá se expandir de forma importante, principalmente devido aos setores de transporte e agropecuário, com sua participação na demanda final de energia passando de 17% em 2005 a 19% em 2030, quando o consumo nacional deverá alcançar 82,8 milhões de m<sup>3</sup> (EPE/MME, 2007).

A partir desse estudo, que aponta para 2020 uma demanda de óleo diesel de 82,8 milhões de m<sup>3</sup>, e assumindo um teor de 5% em biodiesel, a demanda desse biocombustível nesse horizonte poderá ser 3.084 mil

m<sup>3</sup>, que corresponde à capacidade de produção atualmente instalada. Outras análises podem ser efetuadas, considerando a segmentação do mercado do biodiesel no setor agropecuário, na geração de energia elétrica nos sistemas isolados e no mercado do diesel metropolitano, bem como a eventual exportação desse biocombustível, embora a atual configuração de preços não seja atrativa (Nogueira, 2009).

### 3.6 Eletricidade

O consumo de energia elétrica no Brasil em 2008 foi de 428,7 TWh, valor 4% superior ao consumo de 2007, que foi de 412,1 TWh (EPE/MME, 2009a).

A taxa média de crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil entre 1980 e 2005 foi de 4% ao ano. Incorporando-se a esse período a década de 1970, quando se verificou forte crescimento tanto do Produto Interno Bruto (PIB) como do consumo de eletricidade, essa taxa média anual salta para 6,2% (EPE/MME, 2007).

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) define quatro cenários alternativos de crescimento da economia brasileira até 2030, articulados com três cenários de evolução da economia mundial (EPE/MME, 2007). Os quatro cenários nacionais são denominados “na crista da onda”, “surfando a marola”, “pedalinho” e “náufrago”, e as denominações dos três internacionais são “mundo uno”, “arquipélago” e “ilha” (Bajay, 2009b).

O cenário “surfando a marola” foi adotado como cenário de referência no PNE 2030 e serviu de base para as projeções de expansão da oferta dos diversos energéticos, em geral, e da capacidade de geração dos diversos tipos de usinas, em particular. A taxa média de crescimento do PIB nesse cenário é de 4,1% ao ano e a taxa média de crescimento da demanda de eletricidade também é de 4,1% ao ano, que é um pouco maior do que a taxa de crescimento do consumo registrada no período 1980-2005, que foi de 4% ao ano.

No Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 (PDE 2008-2017), adotou-se um cenário de referência que contempla crescimento da economia em torno de 4% em 2009 e de 5% ao ano no período 2010-2017 e crescimento da população de 1,2% no horizonte de estudo. Com base nessas premissas, o crescimento do consumo de energia elétrica, inclusive a parcela referente à autoprodução, seria de 5,4% ao ano.

A **Tabela 7** mostra as capacidades contratadas dos diversos tipos de usinas e os preços pagos, nos vários leilões de energia nova realizados até 2008.

O PDE 2008-2017 prevê, em seu cenário de referência, vigorosa expansão da capacidade instalada de geração no país, 55.055 MW. A **Tabela 8** apresenta essa expansão, por tipo de usina, até 2017.

Há uma diminuição da participação das usinas hidrelétricas, de 81,9% em 2008, para 70,9% em 2017, compensada por aumentos na participação dos demais tipos de usinas, com destaque para o forte incremento da participação das usinas termelétricas a óleo combustível, que passa de somente 0,9% em 2008, para 5,7% em 2017. Essa “guinada” em direção a uma matriz elétrica “mais poluente” no país tem sido alvo de

**Capacidades contratadas e preços pagos, por tipo de usina/combustível nos leilões de energia nova** *Em MW e R\$/MWh*

Tabela 7

	A-5 2005 16/12/05	A-3 2006 29/6/06	A-5 2006 10/10/06	FA 2007 18/6/06	A-3 2007 26/7/06	A-5 2007 16/10/07	SA 2007 19/5/08	Jl 2008 19/5/08	A-3 2008 17/9/08	A-5 2008 30/9/08	Total	%
Hidrelétrica	1.006	1.028	569	46		715	1.443	1.383		121	6.311	37,3%
Biomassa	224	60	61	140						35	520	3,1%
Carvão	546					930				276	1.752	10,4%
Gás natural	1.264	270	200								1.734	10,3%
GNL						351			265	703	1.319	7,8%
Gás de processo			200								200	1,2%
Biogás		10									10	0,1%
Óleo diesel	244	102	69								415	2,5%
Óleo combustível		212	5		1.304	316			811	1.990	4.638	27,4%
<b>Total</b>	<b>3.284</b>	<b>1.682</b>	<b>1.104</b>	<b>186</b>	<b>1.304</b>	<b>2.312</b>	<b>1.443</b>	<b>1.383</b>	<b>1.076</b>	<b>3.125</b>	<b>16.899</b>	
<b>(R\$/MWh)</b>												
Preço médio		128,95	128,90	137,32	134,67	128,33	78,87	71,37	128,42	141,78		
Hidrelétrica			120,86	134,99		129,14	78,87	71,37		98,98		
Térmica			137,44	138,85	134,67	128,37			128,42	145,23		

• FA= fontes alternativas; AS=Santo Antonio, Jl=Jirau

Fonte: EPE

**Expansão da capacidade do parque gerador brasileiro, por tipo de usina** *(Em MW, de acordo com previsão no PDE 2008-2017)*

Tabela 8

Fontes	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Hidro <sup>b</sup>	84.374	86.504	89.592	91.480	92.495	95.370	98.231	103.628	110.970	117.506
Nuclear	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.357	3.357	3.357	3.357
Óleo <sup>c</sup>	1.984	3.807	5.713	7.153	7.397	10.463	10.463	10.463	10.463	10.463
Gás Natural	8.237	8.237	8.453	8.948	10.527	12.204	12.204	12.204	12.204	12.204
Carvão	1.415	1.415	1.765	2.465	2.815	3.175	3.175	3.175	3.175	3.175
F. Alternativa <sup>d</sup>	1.256	2.682	5.420	5.479	5.479	5.593	5.593	5.913	6.233	6.233
Gás de Processo e Vapor	469	959	959	959	959	959	959	959	959	959
UTE Indicativa	-	-	-	-	-	-	-	900	900	900
<b>Total</b>	<b>99.742</b>	<b>105.611</b>	<b>113.909</b>	<b>118.491</b>	<b>121.679</b>	<b>129.771</b>	<b>133.982</b>	<b>140.599</b>	<b>148.261</b>	<b>154.797</b>

<sup>a</sup> potência instalada em dezembro de cada ano; <sup>b</sup> inclui PCH; <sup>c</sup> óleo combustível e óleo diesel; <sup>d</sup> biomassa e eólica • Fonte: (EPE/MME, 2009b).

virulentas críticas de vários segmentos da sociedade brasileira, desde que diversas usinas termelétricas a óleo combustível saíram vencedoras de leilões de “energia nova” realizados nos últimos anos.

Esse resultado dos leilões não foi absolutamente previsto no PNE 2030, publicado em 2007. A Tabela 9 mostra a evolução prevista, nesse plano, da capacidade instalada dos vários tipos de centrais de potência elétrica.

#### ► 4 Reservas/recursos e potenciais de produção

Esta seção, ao trazer elementos fundamentais para a discussão das possibilidades de desenvolvimento da matriz energética nacional, apresenta uma síntese das disponibilidades de recursos energéticos primários que devem ser explorados para a produção dos diferentes vetores que podem ser utilizados no atendimento das necessidades apontadas anteriormente.

##### 4.1 Petróleo e seus derivados

Em 31 de dezembro de 2008, as reservas provadas de petróleo no Brasil eram de 12,64 bilhões barris, o que correspondia a uma relação reserva/produção igual a 19 anos<sup>[9]</sup> (ANP, 2009). Nessa ocasião, as reser-

Tabela 9

**Evolução prevista da capacidade instalada dos vários tipos de usinas de potência no Brasil, segundo o PNE 2030** Em MW

Fonte	Capacidade instalada em		Acréscimo	
	2020	2030	2005-2030	2015-2030
<b>Hidrelétricas</b>	116.100	156.300	87.700	57.300
Grande porte <sup>1</sup>	115.100	156.300	87.700	57.300
<b>Térmicas</b>	26.897	39.897	22.945	15.500
Gás natural	14.035	21.035	12.300	8.000
Nuclear	4.347	7.347	5.345	4.000
Carvão <sup>2</sup>	3.015	6.015	4.600	3.500
Outras <sup>3</sup>	5.500	5.500	700	-
<b>Alternativas</b>	8.783	20.322	19.468	15.350
PCH	3.330	7.769	7.000	6.000
Centrais eólicas	2.282	4.682	4.653	3.300
Biomassa da cana	2.971	6.571	6.515	4.750
Resíduos urbanos	200	1.300	1.300	1.300
<b>Importação</b>	8.400	8.400	-	-
<b>Total</b>	<b>160.180</b>	<b>224.919</b>	<b>130.113</b>	<b>88.150</b>

<sup>1</sup>Inclui usinas bionacionais • <sup>2</sup>Refere-se somente ao carvão nacional, não houve expansão com carvão importado • <sup>3</sup>A expansão após 2015 é, numericamente, pouco significativa, por referir-se aos sistemas isolados remanescentes (0,2% do consumo nacional).  
Fonte: EPE/MME, 2007

vas provadas de petróleo da Petrobras correspondiam a 94,2% das reservas provadas do país. Em 2008, o índice de reposição de reservas da estatal foi de 123% (Petrobras, 2009c).

As reservas provadas de petróleo nacionais podem dobrar apenas com os volumes recuperáveis em áreas do pré-sal já anunciados. Os recursos anunciados variam de 8 a 14 bilhões de barris, distribuídos da seguinte forma: 5 a 8 bilhões de barris de Tupi; 3 a 4 bilhões de Iara; e 1,5 bilhão de barris do Parque das Baleias. No entanto, tudo indica que as mencionadas reservas são ainda maiores. Isso porque a área da província do pré-sal que já foi concedida (41.000 km<sup>2</sup>) correspondente a apenas 38% da área total. Nessa linha, o diretor-geral da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), em apresentação feita em audiência pública das Comissões de Minas e Energia e de Desenvolvimento Econômico, Indústria e Comércio, da Câmara dos Deputados, realizada em 13 de maio de 2009, falou de expectativas de reservas provadas de 50 bilhões de bbl por conta do pré-sal (Sousa, 2009b).

#### 4.2 Gás natural

Em 31 de dezembro de 2008, as reservas provadas de gás natural no Brasil eram de 364.236 milhões de m<sup>3</sup> (ANP, 2009), com 63% desse volume correspondendo a gás natural associado ao petróleo. Isso significa que a maior parte da produção futura de gás natural continuará a depender da produção de petróleo. A participação da Petrobras nesse volume era de 92,7% (337.620 milhões de m<sup>3</sup>). Já a razão reserva/produção nessa ocasião era de 17 anos, como se pode observar na Tabela 10.

Isso não quer dizer que o gás natural vai acabar daqui a 17 anos, porquanto novas descobertas vêm sendo feitas. Prova disso, é o fato que a taxa de crescimento das reservas provadas de gás natural no período de 1997 a 2007 foi de 4,8% ao ano, mesmo com o crescimento da produção observado durante esse período.

Evolução das reservas nacionais de gás natural

Tabela 10

Reservas provadas (em milhões de m <sup>3</sup> )	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Brasil	Reservas	216.574	219.692	244.548	327.673	322.485	306.395	347.903	365.688	364.236
	R/P (anos)	21	20	20	26	24	21	24	25	17
	Terra	78.597	77.009	76.070	76.597	73.761	71.752	71.462	68.131	66.305
	Mar	137.977	142.683	168.477	251.075	248.724	234.642	276.441	297.558	297.931
	Gás Associado	157.237	157.550	173.969	178.411	182.195	188.914	209.022	217.764	229.209
	Gás Não Associado	59.337	62.143	70.578	149.262	140.290	117.482	138.881	147.925	135.027

Nota: Os dados relativos às reservas provadas de gás natural estão atualizados de acordo com a Superintendência de Desenvolvimento de Produção da ANP.

Fonte: ANP, janeiro de 2009.

Não apenas o desempenho pretérito autoriza uma expectativa otimista de grande incremento das reservas provadas de gás natural em um horizonte de médio prazo. De fato, o anúncio da descoberta de grandes volumes recuperáveis de hidrocarbonetos da área do pré-sal (da ordem de 8 a 14 bilhões de barris de petróleo <sup>[10]</sup>) também aponta na mesma direção (Sousa, 2009a), em que pesem as dificuldades relacionadas com a logística de produção do gás natural associado na província do pré-sal, tais como: alta concentração de CO<sub>2</sub>, gasodutos de mais de 18" em lamina de água de 2.200m e longa distância da costa (aproximadamente 300km).

### 4.3 Carvão mineral e seus derivados

As reservas medidas e indicadas de carvão mineral no Brasil em 31/12/2007 eram de 10.084 10<sup>6</sup> t. Nessa mesma data, as reservas inferidas desse combustível primário eram de 22.240 10<sup>6</sup> t, ou seja, as reservas totais eram de 32.324 10<sup>6</sup> t <sup>[11]</sup>, que correspondem a 2.752.932 toneladas equivalentes de petróleo (tep). Das reservas totais, 27.175 10<sup>6</sup> t (84%) eram de carvão vapor e só 5.149 10<sup>6</sup> t eram de carvão metalúrgico. As reservas totais conhecidas de turfa no país em 31/12/2007 eram de 487 10<sup>6</sup> t (EPE/MME, 2008a).

O Brasil detém a décima maior reserva de carvão mineral do mundo (EPE/MME, 2007).

Os estudos de prospecção mineral na área do carvão estão virtualmente paralisados, no Brasil, há 20 anos. Evidência disso é que o volume de reservas totais está "congelado" em torno de 32 bilhões de toneladas desde 1985 (EPE/MME, 2007).

As reservas brasileiras de carvão mineral se localizam majoritariamente no Rio Grande do Sul <sup>[12]</sup>, onde a maior parte da mineração é a céu aberto. Há, também, reservas significativas de carvão em Santa Catarina, onde a maioria das minas são subterrâneas, e reservas pequenas no Paraná.

### 4.4 Urânio

As reservas totais de urânio no Brasil são, desde 1997 <sup>[13]</sup>, de 309.370 t de U3O8, correspondendo a 1.254.681 tep <sup>[14]</sup>. Dessas, 177.500 t são reservas medidas e indicadas e 131.870 t são reservas inferidas (EPE/MME, 2008a). Ela é a sexta maior reserva de urânio do mundo (Mongelli, 2006).

Vale observar, ainda, que 57% dessas reservas estão associadas a custos inferiores a US\$ 80/kgU, mostrando-se, portanto, competitivas, segundo os padrões internacionais, e apenas 25% do território nacional foram objeto de prospecção de urânio até hoje (EPE/MME, 2007).

### 4.5 Biocombustíveis líquidos

O potencial de produção de biocombustíveis e, em particular, de etanol e de biodiesel está associado à dis-

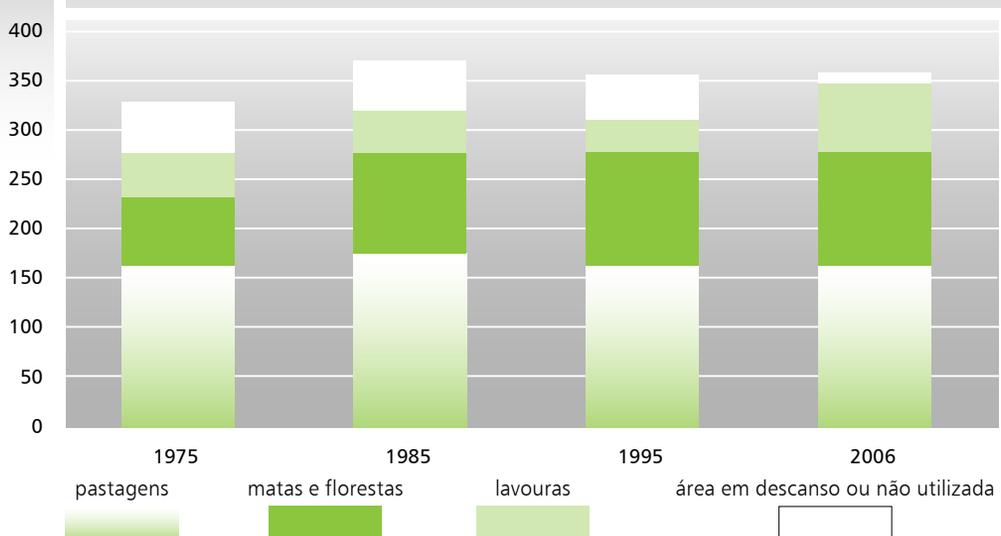
ponibilidade de recursos naturais necessários para sua produção de forma eficiente e sustentável. No caso brasileiro e em grande parte dos países tropicais úmidos, a área disponível em terras agrícolas desocupadas ou subutilizadas é expressiva e, considerando a adoção das melhores rotas tecnológicas disponíveis, a capacidade de produção de biocombustíveis excede em muito as atuais expectativas de demanda.

O Brasil possui superfície de 851,4 milhões de hectares, em grande parte coberta por florestas tropicais. Com base nos resultados do Censo Agropecuário de 2006, a área das propriedades rurais, que exclui áreas protegidas, inaptas e corpos d'água e inclui as reservas legais de formações nativas, soma 354,8 milhões de hectares, correspondentes a 42% da área do país, dedicados a pastagens naturais e plantadas, silvicultura, florestas nativas e lavouras perenes e anuais. Entre 1995 e 2006, a agricultura brasileira cresceu 83,5% e passou a ocupar 76,7 milhões de hectares, cerca de 9% da área nacional e, como indicado na **Figura 5**, esse crescimento se deu, essencialmente, sobre as áreas não utilizadas ou em descanso e, em menor grau, sobre a área das pastagens. Esse processo de crescimento da agricultura vem ocorrendo de modo sistemático desde os anos 1970 e fez a relação da área dos pastos sobre a área das lavouras se reduzir de 4,5, em 1970, para 2,2, em 2006 (Nogueira, 2009).

Como balizamento do potencial para a expansão da produção de biocombustíveis no Brasil (considerando-se particularmente o etanol de cana-de-açúcar), foi desenvolvido, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (Embrapa, 2009). A estimativa é que 64,7 milhões de hectares (7,5% do território) estariam disponíveis para a produção canieira no Brasil. Nessa estimativa, levou-se em conta áreas agrícolas e de pecuária nas quais a cana-de-açúcar ainda não é cultivada mas apresenta potencial. Foram consideradas também informações de mapas de solo, de cli-

**Figura 5**

**Uso da terra nas propriedades rurais no Brasil** Em milhões de ha



Fonte: IBGE (2008).

ma, de áreas de reserva ambiental, aspectos geomorfológicos e topográficos. Além disso, foram examinados a legislação ambiental federal e estadual e dados agrônômicos da cana-de-açúcar, como temperaturas ideais para seu crescimento, melhores tipos de solo, necessidades hídricas etc. Somando a superfície ocupada pelos canaviais, 7,8 milhões de hectares (para açúcar e etanol) e a área adicional a ser cultivada com cana até 2017 (estimada nesse estudo em 6,7 milhões de hectares), a ocupação do solo com a cana seria equivalente a 1,5% do território nacional (cerca de 20% da área definida como apta pelo zoneamento).

Efetivamente, o potencial de produção de cana-de-açúcar no Brasil excede amplamente os requerimentos de matéria-prima, dentro dos cenários de demanda mais otimistas, incluindo-se a exportação. Como exercício das potencialidades existentes, considerando os valores globais da safra 2007/2008, foi produzido, no Brasil, cerca de 22 bilhões de litros de etanol em 3,6 milhões de hectares. Baseado nesse dado empírico, para promover, nas condições atuais, a adição de 10% de álcool anidro em toda a gasolina consumida no mundo (1,3 bilhão de metros cúbicos), seriam necessários 136,5 bilhões de litros de bioetanol, cuja produção, nas condições brasileiras, demandaria 23 milhões de hectares, área equivalente à atualmente ocupada pela soja no país e cerca de um terço da área apta, apontada pelo zoneamento agroecológico.

Ao analisar o contexto brasileiro e empregar modelos de uso de solo e imagens de satélite para estudar a dinâmica da expansão da cultura canavieira nas diferentes regiões do país, Nassar e colaboradores (2008) demonstram de modo convincente que o crescimento dessa cultura tem ocorrido majoritariamente em pastagens. Eles também indicam que os canaviais poderão continuar se expandindo de forma análoga, sem afetar a produção de carne e leite, mesmo com o crescimento estimado do rebanho bovino em 5,1%, devido aos ganhos de produtividade nesse período (Nogueira, 2009).

## ► 5 Evolução tecnológica e eficiências de conversão

### 5.1 Petróleo e seus derivados

A exploração da camada do pré-sal no litoral brasileiro irá requerer novos desenvolvimentos tecnológicos tanto nas fases de prospecção como de produção.

Em termos de geofísica, a camada de sal funciona como um espelho contra a penetração de ondas acústicas, o que dificulta o estudo preciso de sua espessura e das condições encontradas abaixo dela.

Outro desafio é a deposição de parafinas presentes no petróleo. A 8 mil metros, a temperatura do petróleo é de 60° C ou 70° C, mas, ao escoar pelas tubulações, ele sofre um resfriamento brutal (com a água a 4° C) e a parafina se solidifica. Entre as soluções possíveis estão o aquecimento das tubulações, o reforço do isolamento térmico e o uso de compostos químicos que solubilizem a parafina.

As reservas do pré-sal possuem elevadas quantidades de CO<sub>2</sub>, que precisam ser separadas de forma econô-

mica na superfície, recondicionadas, pressurizadas e reinjetadas nos reservatórios para aumentar a pressão, solubilizar o óleo e facilitar o escoamento.

## 5.2 Gás natural

Inovações tecnológicas em usinas termelétricas a gás natural têm sido propiciadas por avanços incrementais na tecnologia das turbinas a gás, associadas ao uso de novos materiais e novas concepções dos sistemas de refrigeração das pás das turbinas, que têm possibilitado o uso de temperaturas mais elevadas na entrada das turbinas e, conseqüentemente, eficiências mais elevadas.

## 5.3 Carvão mineral e seus derivados

Como característica geral, os carvões da região Sul do Brasil são carvões de baixo grau de carbonificação, denominados comercialmente como alto-voláteis e apresentam um elevado teor de cinzas (cerca de 50%) e teor variável de enxofre. O carvão bruto (ROM) do Rio Grande do Sul possui em torno de 1% de enxofre, enquanto que o de Santa Catarina tem cerca de 4% e o do Paraná, 7%. A matéria mineral disseminada na matéria orgânica torna o beneficiamento difícil e com baixo rendimento, com exceção do carvão do Paraná que apresenta um melhor rendimento (Osório *et alii*, 2008).

A eficiência de usinas termelétricas que consomem carvão mineral pulverizado e operam com ciclos a vapor subcríticos, como as instaladas no Brasil, é relativamente baixa, variando de 33% a 35%. O emprego de ciclos de vapor supercrítico e ultra-supercrítico pode elevar essa eficiência para 44% e 50%, respectivamente. A utilização de caldeiras de combustão em leito fluidizado permite atingir eficiências entre 40% e 44%. A gaseificação do carvão integrada com um ciclo combinado (IGCC), já empregada em diversas usinas de demonstração no exterior, pode elevar a eficiência de uma termelétrica a carvão para até 52% (EPE/MME, 2007).

Na estimativa da capacidade de novas usinas termelétricas que poderiam ser instaladas no Brasil para consumir as reservas nacionais de carvão, a EPE considerou, no PDE 2008/2017, um fator de recuperação das minas de 60%, um percentual aproveitável de 50%, um fator de capacidade médio de 55% e uma eficiência de 35% para as usinas (EPE/MME, 2009).

## 5.4 Urânio

Um quilo de urânio, na forma do pó de  $UO_2$  contido nos elementos combustíveis, requer a mineração de 8 kg de  $U_3O_8$ , a conversão de 7 kg de  $U_3O_8$  em  $UF_6$  e o enriquecimento de 4,8 kg de  $UF_6$ .

A eficiência média de usinas do tipo PWR de segunda geração, como Angra II e Angra III, é de 33% (EPE/MME, 2007).

Os projetos dos reatores de primeira e segunda geração confiam exclusivamente em sistemas de segurança ativos e em características inerentes de segurança (Mongelli, 2006).

Os reatores nucleares de terceira e quarta gerações ainda estão em fase de desenvolvimento, embora já haja algumas unidades operando de forma comercial.

As características principais dos reatores de terceira geração são (Mongelli, 2006):

- Padronização do projeto de cada tipo de reator, com a finalidade de agilizar o licenciamento, de diminuir os custos de capital e de reduzir os tempos de construção.
- Projetos simplificados, que facilitam a operação dos reatores e os tornam menos vulneráveis a falhas operacionais.
- Maior disponibilidade e aumento da vida útil para até 60 anos.
- Minimização da possibilidade de fusão do núcleo.
- Emprego de sistemas de segurança avançados.
- Maiores taxas de queimas, para minimizar a quantidade de rejeitos.
- Utilização de venenos queimáveis para aumentar a vida do combustível.

Vários países estão dedicando grandes esforços de pesquisa e desenvolvimento nos ciclos fechados de combustível nuclear e no conceito de partição e transmutação, que consiste na separação dos elementos transurânicos e produtos de fissão de meia vida longa, do combustível, e a queima desses em “reatores dedicados”, em um ciclo de combustível denominado duplo estrato. Esse ciclo duplo consiste no ciclo convencional dos reatores térmicos e rápidos (primeiro estrato), no qual o U e o Pu (Th) podem ser reciclados através de reprocessamento aquoso (Purex/Thorex), complementado por um ciclo de transmutação. Nesse ciclo de transmutação (segundo estrato), os actinídeos menores, produtos de fissão de meia vida longa e Pu (Th) são separados (partição) através de processos eletroquímicos para alimentar um “reator queimador” dedicado (transmutação). O primeiro estrato do ciclo está tecnicamente dominado, mas os processos do segundo estrato ainda estão em uma fase de demonstração (Mongelli, 2006).

Os reatores de quarta geração, chamados na indústria nuclear de revolucionários para distingui-los dos reatores de terceira geração, ou evolucionários, obedecem aos requisitos de segurança mais modernos com uma combinação de sistemas de segurança ativos, passivos e inerentes. Tais requisitos prevêm que qualquer acidente, severo, de fusão do núcleo de um reator tem que ser confinado na planta, reduzindo ou eliminando, assim, os requisitos de evacuação e emergência (Mongelli, 2006).

A maioria dos reatores de quarta geração utiliza um ciclo fechado de combustível, com o duplo objetivo de minimizar a produção de rejeitos e maximizar o aproveitamento do combustível. Como se tem uma reciclagem mais eficiente do combustível em um reator com espectro rápido, a maioria dos projetos de reatores dessa quarta geração, ora em desenvolvimento, são reatores rápidos.

## 5.5 Biocombustíveis

Apesar da tecnologia utilizada na produção convencional de etanol de cana ter evoluído significativamente, com incremento médio anual de 3,1% na produtividade agro-industrial durante as três últimas décadas, ainda existem interessantes oportunidades de aperfeiçoamento. A utilização de sistemas de cogeração com caldeiras de alta pressão, a colheita da cana crua, com aproveitamento energético da palha da cana e a introdução de processos de hidrólise dos resíduos celulósicos na fabricação de etanol são exemplos de tecnologias que ampliarão a sustentabilidade energética dessa agroindústria, em alguns casos já em fase de implementação. Particularmente na fase agrícola, são notáveis os resultados dos esforços no melhoramento de variedades, na aplicação do controle biológico de pragas, na utilização dos sistemas de agricultura de precisão e na adoção de sistemas logísticos de alto desempenho.

Uma síntese da evolução observada e das possibilidades de médio prazo para a os ganhos de desempenho da produção de etanol na agroindústria canavieira é apresentada na **Tabela 11**, com os valores da produtividade agrícola e industrial. Para mais detalhes, ver Nogueira (2009).

Os níveis de desempenho indicados para o primeiro estágio de otimização dos processos, esperado para o período entre 2005 e 2010, têm sido efetivamente atingidos e, em algumas usinas, até mesmo superados, principalmente nas novas unidades. Como pode ser observado, o incremento previsto para a produtividade agroindustrial, sem considerar a introdução de outras rotas para produção, como o bioetanol celulósico, deverá permitir, nos próximos anos, redução de 3,4% na superfície plantada, por unidade de bioetanol produzido, um relevante resultado da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico nessa agroindústria. Caso seja considerada também a produção de bioetanol com base em resíduos celulósicos, a produtividade poderia alcançar, nesse mesmo horizonte de tempo, 10.400 litros de bioetanol por hectare (Nogueira, 2009).

Considerando a introdução de novas tecnologias, com melhor utilização dos resíduos da lavoura canavieira, adoção de processos de conversão hidrolítica da celulose e uso de sistemas de cogeração otimizados, Ma-

**Impacto da introdução de novas tecnologias na produção de bioetanol**

Período		Produtividade Produtividade		
		Agrícola (t/ha)	Industrial (litro/t)	Agroindustrial (litro/ha)
1977–1978	Fase inicial do Programa Nacional do Álcool. Baixas eficiências no processo industrial e na produção agrícola.	65	70	4.550
1987–1988	Consolidação do Programa Nacional do Álcool. A produtividade agrícola e a produtividade industrial aumentam significativamente.	75	76	5.700
Situação atual	Processo de produção de bioetanol operando com a melhor tecnologia disponível.	85	80	6.800
2005–2010	Primeiro estágio de otimização dos processos.	81	86,2	6.900
2010–2015	Segundo estágio de otimização dos processos	83	87,7	7.020
2015–2020	Terceiro estágio de otimização dos processos	84	89,5	7.160

Fonte: CGEE (2007).

cedo e colaboradores (2008) estimaram uma evolução favorável do balanço energético nessas unidades. A relação entre a energia produzida e a consumida no processo, avaliada em 9,3 usando dados de 2006, deve passar para 12,1 em 2020, seja visando maximizar a produção de etanol ou de eletricidade.

No caso do biodiesel, considerando-se as tecnologias convencionais, suas rotas de produção mostram igualmente boas perspectivas de aperfeiçoamento. Contudo, existem ainda incertezas sobre a viabilidade de alguns cultivos, especialmente do ponto de vista do balanço energético, impondo esforços para melhor caracterizar os sistemas produtivos mais recomendáveis. Em um horizonte mais distante, novas possibilidades, como o desenvolvimento de processos de produção de biodiesel a partir de algas com alto teor de lipídios, ou mediante processos fermentativos empregando polissacarídeos como matéria-prima, podem ser possibilidades promissoras, mas ainda a confirmar.

## ► 6 Competitividade dos biocombustíveis

Os preços e os custos dos biocombustíveis são fatores relevantes para definir a conveniência e a sustentabilidade de sua utilização. No caso do biodiesel, o mercado está definido pelo uso mandatório e os preços têm sido definidos mediante os leilões promovidos periodicamente pela ANP. Considerando-se os leilões realizados no período de vigência da obrigatoriedade da mistura e ponderados os volumes arrematados, o preço médio do biodiesel nesse período foi 2,42 R\$/litro (ANP, 2009a). Pela forma como é definido, acredita-se que esse preço cubra adequadamente os custos de produção. Entretanto, ele é significativamente superior ao preço (ex-tributos) do óleo diesel substituído, o que confirma o estágio de desenvolvimento ainda embrionário desse biocombustível.

Bastante diferente é o quadro do etanol, cujo mercado é bem mais complexo, com livre definição de preços e com um mercado dividido entre a mistura obrigatória na gasolina (etanol anidro) e o uso como combustível puro (etanol hidratado). Nos próximos parágrafos, procura-se analisar a competitividade do etanol no contexto brasileiro.

Inicialmente, cabe observar que os estudos econômicos do mercado de etanol de cana-de-açúcar, envolvendo a determinação de custos de produção e os estudos dos mecanismos de formação de preços, apresentam complexidade própria. Essa decorre da possibilidade de se utilizar a matéria-prima para diferentes produtos, como açúcar, com importante mercado interno e externo, bem como a relevante possibilidade dos consumidores de etanol hidratado utilizando veículos flexíveis, de uso crescente na frota veicular brasileira, optarem ou não por esse biocombustível, dependendo dos preços no momento do abastecimento. Dessa forma, além dos custos usuais, associados aos fatores de produção, no mercado de etanol os custos de oportunidade também apresentam grande importância.

Contribuem, ainda, para dificultar os estudos econômicos: I a expressiva rigidez dos mercados internacionais de açúcar, com diferentes regimes de comercialização e a fixação de cotas pelos principais compradores, distorcendo a formação dos preços; II a artificialidade do mercado de petróleo, cujos preços não guardam relação com

os custos diretos; e **III** especialmente para o etanol brasileiro, a virtual ausência de mecanismos estabilizadores frente a essas fontes de instabilidade, como poderiam ser os estoques reguladores ou mercados futuros.

No quadro atual, ainda deveria ser agregada a esses fatores a grande volatilidade dos preços das *commodities*, principalmente do petróleo e dos indicadores cambiais e financeiros. Assim, os valores apresentados a seguir são indicativos, mas permitem estabelecer algumas referências interessantes da viabilidade econômica do etanol de cana-de-açúcar, associados à sua estrutura de custos e competitividade frente ao petróleo.

### 6.1 Preços e custos do etanol

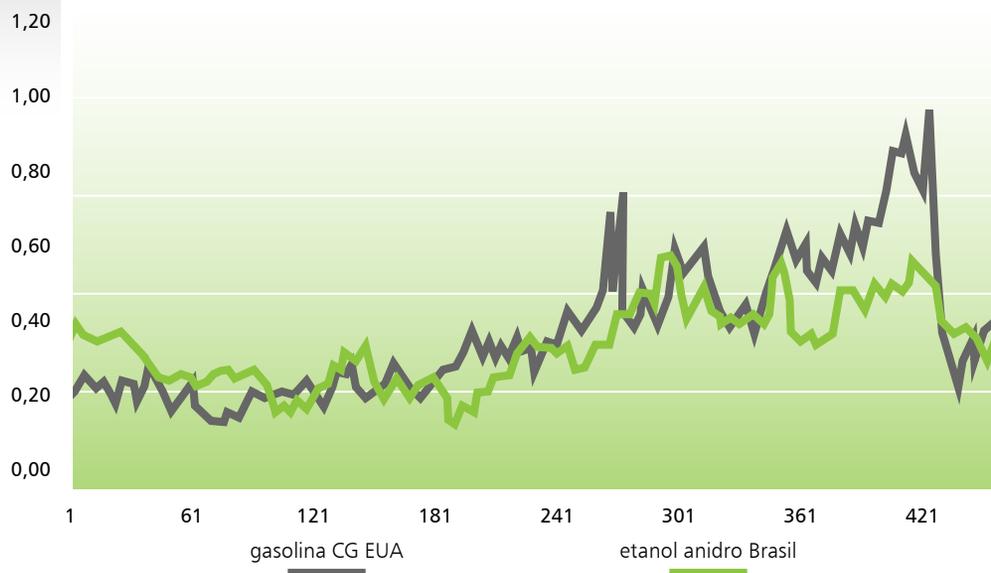
Como resultado do progressivo aperfeiçoamento nos processos, com ganhos de produtividade nas fases agrícola e industrial, o etanol de cana-de-açúcar no Brasil é, reconhecidamente, o biocombustível de mais baixo custo em todo o mundo (BNDES, 2008). Ele se mostra competitivo com a gasolina em termos de custos e preços ao produtor e preços para os consumidores, entretanto sofrendo perdas devido às distorções no mercado brasileiro de derivados de petróleo.

A viabilidade do uso de etanol em substituição à gasolina pode ser confirmada ao se comparar preços nas unidades de produção, sem fretes e sem tributos, como mostrado na **Figura 6**, com os valores referidos ao preço médio do etanol anidro no Estado de São Paulo, e o preço da gasolina comum no mercado *spot* da costa do Golfo do México. O preço do álcool é informado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

**Figura 6**

#### Evolução dos preços pagos ao produtor para gasolina nos EUA e etanol de cana no Brasil

*Em US\$/litro, sem tributos*



Fonte: Cepea (2009) e EIA (2009).

(Cepea), da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, enquanto que o preço da gasolina nos EUA é informado pela Energy Information Administration, do governo americano.

A partir dessas curvas, é possível concluir que, além de mostrar menor volatilidade que a gasolina, nos últimos anos o etanol de cana-de-açúcar passou a apresentar preços consistentemente mais atrativos do que esse derivado de petróleo, ao nível do produtor, sem considerar qualquer tributo ou subsídio. Em outras palavras, nessas condições, sem tributos, a adição de etanol anidro permitiu, na maior parte do tempo, reduzir o preço médio da gasolina C (mistura de gasolina A com álcool anidro) colocada no mercado.

Outra forma de avaliar a evolução da atratividade do etanol frente aos combustíveis convencionais, agora ao nível de consumidores finais, é comparando o preço médio de venda, ao consumidor, do etanol hidratado com o preço praticado para a gasolina comum. Observando as séries de preços sintetizadas nas curvas da **Figura 6**, constata-se que o etanol hidratado tem se apresentado regularmente competitivo frente à gasolina, com menor custo por quilômetro percorrido, em função de seu menor preço, ao nível dos produtores, bem como da matriz tributária. Os valores da **Figura 6** são provenientes de levantamentos de preços de combustíveis regularmente disponibilizados pela ANP, aplicados em uma ampla amostra que cobre todo o território brasileiro (ANP, 2009b).

No caso dos veículos flexíveis, o etanol tem sido adotado, em geral, até um limite de 70% do preço da gasolina. Nesse contexto, observa-se que, durante a maior parte dos últimos anos, o emprego do etanol tem sido mais econômico que a gasolina, exceto durante alguns curtos períodos. Naturalmente, essa diferença de preços varia conforme a região, sendo mais expressiva nas regiões produtoras, onde durante o ano todo o uso de etanol é mais interessante que a gasolina, enquanto nas regiões mais afastadas, a gasolina se apresenta quase sempre mais competitiva.

Na **Figura 7**, também pode ser observado o padrão regular de variação dos preços, elevando-se ao final da safra e reduzindo-se com seu início em meados do primeiro semestre. Esse padrão foi rompido no período mais recente, em que o preço da gasolina foi represado artificialmente pela Petrobras, por orientação governamental. Tal intervenção, realizada de forma pouco clara e sem regras, é uma das distorções mais preocupantes no mercado brasileiro de combustíveis, na medida em que sinaliza mal os custos, orienta equivocadamente o mercado e, a rigor, configura um desrespeito à legislação: vender por preços abaixo do custo é *dumping* e vender acima dos preços de mercado é igualmente pernicioso e sinal da existência de barreiras de mercado a serem eliminadas. Esse tema é retomado adiante, ao se abordar a questão legal e regulatória.

Após apresentar uma visão da competitividade do etanol em relação à gasolina em nível de produtores e consumidores, é oportuno revisar os custos de produção. Durante muito tempo, no Brasil, os custos da agroindústria sucroalcooleira eram auditados pelo governo federal, a quem cabia definir todos os preços ao longo da cadeia de produção e comercialização da indústria canavieira, de forma similar aos mecanismos que vigoraram, também por décadas, nas cadeias de combustíveis e eletricidade até a implementação do atual marco regulatório no setor energético. Em uma mudança importante, a partir da safra de 1997, teve início o processo de liberação dessa agroindústria, processo concluído em 2002, que possibilitou aos

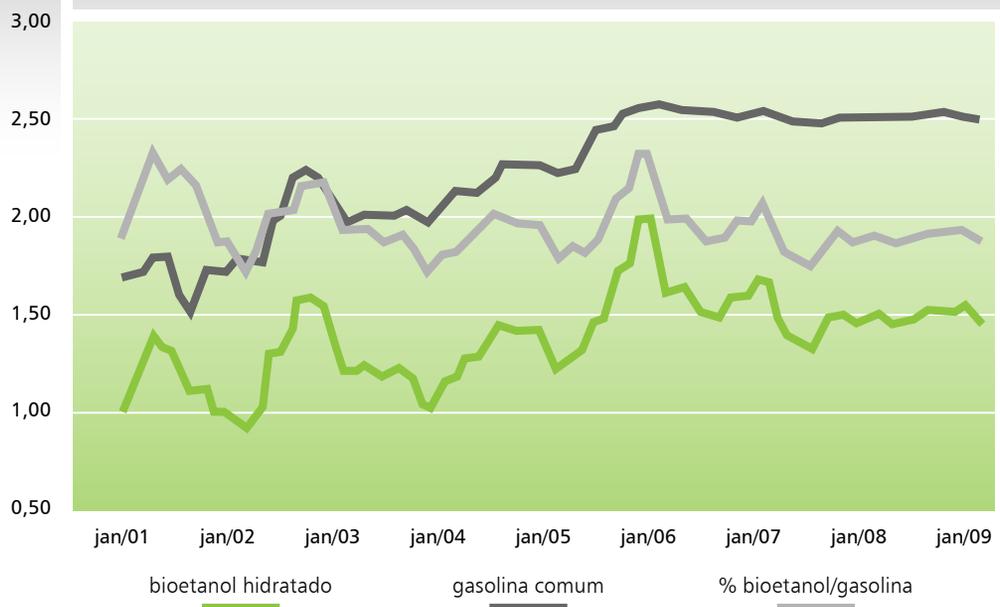
agentes econômicos decidir seus preços livremente, com base em estratégias de mercado, considerando as disponibilidades e as perspectivas nos mercados do açúcar e dos combustíveis. Nesse ambiente competitivo, estimar custos é uma tarefa complexa, pois, além da grande diversidade de situações, com diferentes produtividades e tecnologias sendo utilizadas, o principal componente no custo do etanol é a matéria-prima, que pode ser produzida pela própria empresa processadora, em terrenos arrendados, ou cultivada por produtores independentes. A dificuldade de conhecer custos de produção de modo consistente não é característica apenas do mercado de bioetanol; de maneira análoga, são ainda menos disponíveis os custos detalhados de produção para o petróleo e o gás natural.

Como uma referência para as condições na região Centro-Sul no início da safra de 2009, a Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (Orplana) estimava um custo total de produção do etanol de R\$ 0,762 por litro, com a matéria-prima correspondendo a 62,1%. Esse valor revela uma margem bastante apertada para os produtores e, eventualmente, negativa em alguns períodos, que se agrava ao considerar a flexibilidade relativamente baixa da agroindústria canavieira, sujeita a marcadas sazonalidade, trabalhando com uma matéria-prima que deve ser colhida todos os anos, o que impõe a formação de estoques elevados para a entressafra.

A Conab, órgão responsável pelo acompanhamento das atividades da agricultura brasileira, reconhece que esses fatores levaram o setor sucroalcooleiro a uma “crise econômica de grande intensidade, certamente, a mais persistente e duradoura desde o final do processo de liberalização desse setor”, sendo necessários ajustes importantes para resgatar a atratividade dessa agroindústria (Conab, 2009).

Figura 7

Evolução do preço médio ao consumidor de gasolina regular e etanol hidratado Em R\$/litro



Fonte: ANP (2009).

## 6.2 Aspectos tributários da competitividade do etanol

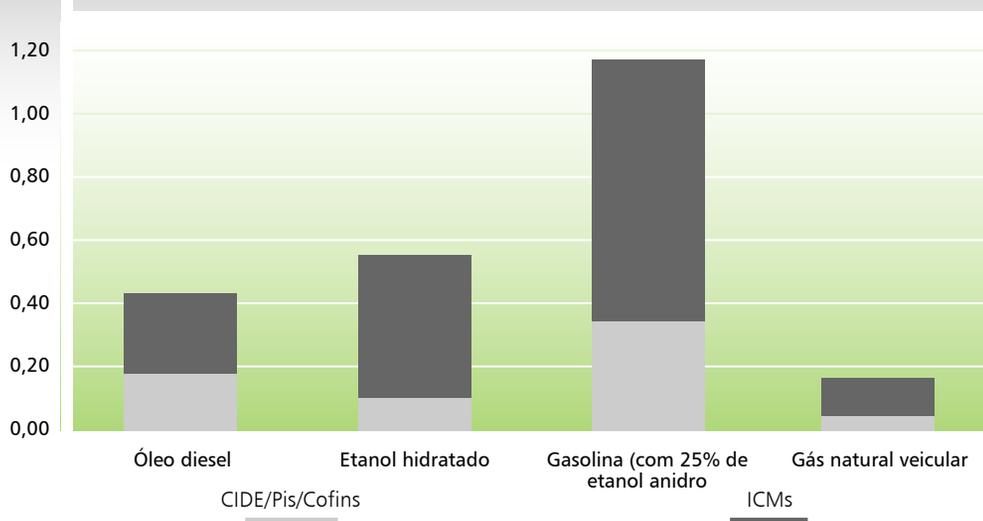
Um dos instrumentos de maior importância e efetividade na implantação de políticas energéticas, utilizado em diversos países, são os tributos e taxas sobre os combustíveis, que, além de serem fontes relevantes de recursos fiscais, permitem diferenciar produtos aparentemente similares e promover a evolução da matriz energética que se deseja. No caso do etanol esse aspecto é essencial, devendo ser mais bem utilizado.

No Brasil, os tributos têm sido diferenciados entre os vários combustíveis veiculares, por conta das implicações econômicas e das aplicações típicas de cada um deles, particularmente privilegiando: **a)** o óleo diesel, utilizado para atividades produtivas, transporte de carga e passageiros; **b)** o gás natural, cujo consumo em princípio interessaria promover para viabilizar a produção nacional e viabilizar a implantação da infra-estrutura de transporte e distribuição; e **c)** os biocombustíveis, por seus benefícios sociais, ambientais e econômicos. Entretanto, dado que tanto a União como os Estados tributam os combustíveis colocados à disposição do consumidor brasileiro, a composição final dos preços desses combustíveis é complexa e varia entre os Estados, dependendo das alíquotas e da forma de aplicação do ICMS (Nogueira, 2009). Como exemplo, a **Figura 8** apresenta os tributos que gravam os combustíveis veiculares no Rio de Janeiro (Sindcomb, 2009).

O valor desses tributos é decisivo sobre o preço final para o consumidor, representando, muitas vezes, o diferencial que define o combustível a utilizar, particularmente para os veículos com plena flexibilidade para utilizar mais de um combustível, como ocorre com o gás natural e grande parte da frota com motores a etanol. No Brasil, a situação difere dos demais países, onde não existem tantos combustíveis e tampouco a frota apresenta a mesma flexibilidade no momento do abastecimento. Vale observar que os investimentos diferenciais necessários para a flexibilidade veicular, relativamente baixos no caso do etanol e mais elevados

Figura 8

Tributos sobre os combustíveis veiculares no Rio de Janeiro Em maio de 2009, R\$/litro



para o gás natural, são importantes para o consumidor, considerando custos fixos e operacionais, no momento da aquisição do automóvel, porém têm reduzida relevância depois de efetuados, quando passam a ser decisivos os custos operacionais.

Apesar de sua enorme importância, os tributos sobre os combustíveis brasileiros têm sido estabelecidos de forma desarticulada e, poucas vezes, levando em conta estratégias para o desenvolvimento nacional. O etanol, em que pesem as menores alíquotas de Cide e de ICMS com relação a seus sucedâneos, tem sido prejudicado por distorções nos preços ao produtor de gás natural e de gasolina. Como apresentado na **Figura 8**, a partir de valores médios praticados nas refinarias brasileiras e americanas (ANP, 2009c (convertidos segundo taxas de câmbio informadas pelo Banco Central do Brasil (BC, 2009); EIA, 2009), nos últimos anos os preços da gasolina no Brasil têm sido mantidos durante a maior parte do tempo artificialmente baixos através do congelamento dos valores nas refinarias e da redução dos tributos federais.

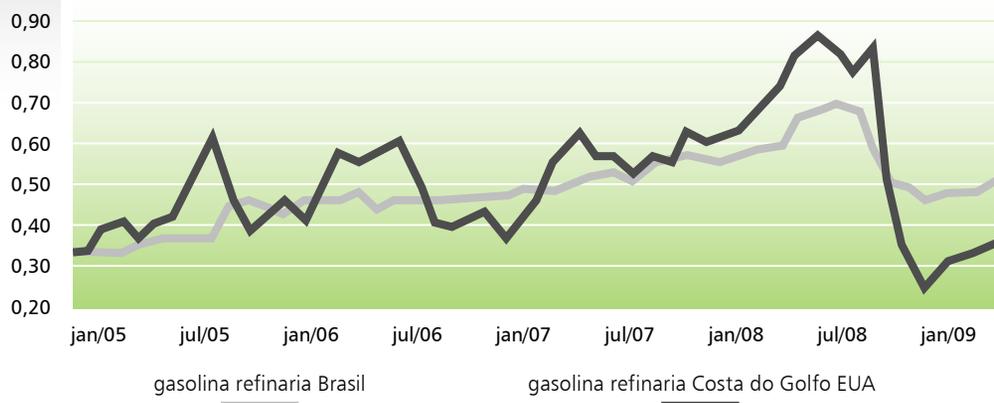
Tal procedimento sinaliza de forma equivocada o valor dos energéticos aos consumidores, aumenta as incertezas no mercado e promove expressiva renúncia fiscal. Considerando as diferenças entre os preços internos e os preços internacionais, as perdas da Petrobras no período 2005-2008 seriam da ordem de US\$ 2,8 bilhões. Mais grave, para a sociedade brasileira e o equilíbrio fiscal no governo federal, é a renúncia fiscal implícita em tal procedimento: apenas em 2008 (a partir de abril), a redução da Cide (Contribuição sobre a Intervenção no Domínio Econômico) em R\$ 0,10 (desconto de 35,7%) significou perda de R\$ 1,2 bilhão para o Tesouro Nacional, sem a suficiente clareza para a sociedade de algum benefício relevante, meta ou estratégia a ser alcançada. A **Figura 9** mostra também que, em determinados períodos, os preços internos são superiores aos preços no mercado internacional, o que propicia elevados ganhos para a mencionada estatal.

Como pode ser constatado, a legislação tributária tem afetado negativamente a competitividade do etanol, devendo ser aperfeiçoada como instrumento de política energética. Nesse sentido, caberia considerar

**Figura 9**

**Evolução dos preços da gasolina regular pagos ao produtor no Brasil e EUA**

US\$/litro, sem tributos



Fonte: EIA (2009) e ANP (2009c).

duas ações: (a) recuperar o caráter regulatório da Cide como diferenciadora relevante do custo final dos combustíveis e atenuadora das volatilidades de preços no mercado internacional do petróleo; e (b) rever as diferenças entre as alíquotas da Cide e do ICMS, de forma a estimular, de modo equilibrado e com eficiência, o desenvolvimento energético na direção desejada. Para tanto, é fundamental que a estrutura dos preços dos combustíveis veiculares, resultante dos custos, margens e tributos, bem como levando em conta os rendimentos de conversão e os custos eventuais de adaptação dos motores, induza a robustecer a matriz energética de forma coerente com as disponibilidades, impactos e benefícios de cada combustível.

### 6.3 Geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana

O setor elétrico brasileiro comercializa energia elétrica no atacado usando o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL); a busca de modicidade tarifária é hoje a principal política para a geração de energia elétrica (Bajay, 2009b).

No ACR a contratação de energia é feita através de leilões (menor preço), de energia gerada em usinas já existentes (energia “velha”) e em usinas a serem instaladas (energia “nova”), para o atendimento dos consumidores “cativos”; há também leilões de energia de reserva. Nos leilões de energia nova, os empreendedores ofertam energia, na forma de quantidades de lotes (QL) de, no mínimo, 1 MW<sub>médio</sub> e a receita fixa requerida (RF). Os vencedores são definidos pelo critério de menor tarifa. Para centrais termelétricas, o Índice de Custo Benefício (ICB), calculado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), é o preço médio esperado caso as usinas sejam despachadas dentro das premissas de operação utilizadas na modelagem do leilão pela EPE. Conforme indicado mais adiante, nesta seção, a metodologia de cálculo desse indicador tem sido objeto de críticas e não tem refletido a competitividade das usinas que geram eletricidade a partir do bagaço da cana.

No ACL, geradores, comercializadores e consumidores “livres” negociam contratos bilaterais.

A Lei no 10.438, de 26/04/2002, criou incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a serem implementados em duas fases: na primeira fase do Proinfa seriam instalados 3.300 MW até 2006 (PCH, geradores eólicos e usinas termelétricas /plantas de cogeração a biomassa); em uma segunda fase, que deveria durar até 2022, a geração oriunda dessas usinas atenderia a 15% do crescimento anual da carga e 10% do consumo total de eletricidade. O Proinfa, revisado pela Lei no 10.762, de 11/11/2003, é visto, no novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro, como criador de oportunidades de diversificação do parque gerador nacional. A forte ênfase do modelo na modicidade tarifária, no entanto, acabou cerceando a execução da segunda fase do programa.

O valor da energia dos contratos do Proinfa é o mais caro do país, de acordo com a edição de junho de 2009 do Informativo Tarifário do DGSE/MME. Segundo o documento, o preço da energia elétrica do Proinfa em maio/2009 <sup>(3)</sup> era R\$ 165,92 por MWh, enquanto o preço de energia mais barata que compõe o mix energético brasileiro era de R\$ 71,49 por MWh. O informativo aponta ainda que, depois do Proinfa, a energia mais cara é proveniente de termelétricas. O preço médio dos leilões de energia para biomassa, com

entrega a partir de 2010, ficou em R\$ 153,48/MWh, enquanto para as térmicas a óleo combustível, com entrega a partir desse ano, o preço médio é de R\$ 147,20, para ficarem em disponibilidade. O preço médio dos leilões de energia tendo como combustível o gás natural, com entrega a partir de 2011, estimado pelo MME, é de R\$ 145,24/MWh. Para as térmicas que utilizam o carvão como combustível, a média de preços do leilão de energia, com entrega a partir de 2012, é de R\$ 141,08/MWh.

Os valores publicados no Informativo Tarifário do DGSE/MME para as usinas termelétricas correspondem a médias dos índices de custo benefício das usinas que venceram os leilões de energia nova realizados desde 2005, ou seja, esses valores estão atrelados aos fatores de capacidade simulados pela EPE antes de cada um desses leilões. Em um período hidrológico seco, em que usinas com um alto grau de flexibilidade e elevado custo de combustível, como as centrais que consomem GNL ou óleo combustível, terão que ser despachadas com um fator de capacidade bem superior ao calculado antes dos leilões correspondentes; seus custos unitários de geração serão, também, bem superiores aos valores dos respectivos índices de custo benefício.

A EPE não tem utilizado a mesma matriz de valores de preços de liquidação de diferenças (PLD) nos cálculos dos parâmetros COP e CEC e da garantia física dos empreendimentos, que fazem parte da fórmula de cálculo do ICB (Bajay, 2009b).

A Wise Systems, com o auxílio da Tractebel Energia S.A. <sup>(6)</sup>, maior geradora privada de energia elétrica do país, calculou o ICB para seis usinas termelétricas com diferentes combustíveis, para valores da taxa interna de retorno (TIR) variando de 10 a 16% e aplicando três matrizes de PLD nos cálculos da garantia física, COP e CEC. As matrizes 2007 e 2008 foram baseadas nos PDEs 2006-2015 e 2007-2016 e serviram para os cálculos de COP e CEC nos leilões de energia nova de 2007 e 2008, respectivamente. A matriz CME corresponde à utilização, nos cálculos de COP e CEC, dos mesmos valores de PLD empregados no cálculo da garantia física das usinas.

A primeira dessas usinas é uma planta de cogeração consumindo bagaço de cana, a ser instalada na região Sudeste, com uma capacidade de 50 MW, custo variável unitário (CVU) nulo e operação completamente inflexível. Duas usinas serão instaladas próximas a minas de carvão nacional, uma delas de carvão oriundo das minas do Rio Grande do Sul e a outra usina de carvão proveniente de Santa Catarina, Cada uma delas tem uma capacidade instalada de 350 MW, taxa equivalente de indisponibilidade forçada (TEIF) de 7,5% e indisponibilidade programada (IP) de 8,5%. O CVU da usina gaúcha é R\$ 48,10/MWh e o seu grau de inflexibilidade é de 60%, enquanto que o CVU da usina catarinense é 50% mais elevado – R\$ 72,60, mas o grau de inflexibilidade é menor. A quarta usina também é a carvão e possui capacidade instalada também de 350 MW, mas consumirá carvão importado e será instalada na região Nordeste; seu TEIF = 3,5%, IP = 5,5% e CVU = R\$ 83,81/MWh. A capacidade instalada da quinta usina também é de 350 MW, mas ela consumirá óleo combustível e será instalada na região Nordeste; seu CVU = R\$ 266,05/MWh, TEIF = 1% e IP = 2%. Finalmente, o combustível da sexta central, de 500 MW de potência instalada, será GNL; sua localização será na região Sudeste, seu CVU = R\$ 172,20, TEIF = 2,2% e IP = 6,3%. A operação dessas três últimas usinas é 100% flexível.

As garantias físicas calculadas para as usinas a biomassa, carvão do Rio Grande do Sul, carvão de Santa Catarina, carvão importado, GNL e óleo combustível são  $17 \text{ MW}_{\text{med}}$ ,  $298 \text{ MW}_{\text{med}}$ ,  $298 \text{ MW}_{\text{med}}$ ,  $300 \text{ MW}_{\text{med}}$ ,  $315 \text{ MW}_{\text{med}}$  e  $174 \text{ MW}_{\text{med}}$ , respectivamente.

As mesmas condições de financiamento, pelo BNDES, em uma operação do tipo *Project Finance*, foram aplicadas às seis centrais.

As simulações efetuadas pela Wise Systems mostram o quanto o ICB das usinas termelétricas varia com o valor da TIR desejada e, sobretudo, com a matriz de PLD adotada. As usinas termelétricas, ou plantas de cogeração, que se mostraram mais competitivas, dentre as simuladas, são a que consome carvão importado e a que utiliza bagaço de cana.

Por trabalhar com configurações estáticas tanto para a demanda como para a oferta, a metodologia “marginalista” utilizada pela EPE não proporciona boas estimativas da garantia física das usinas, sobretudo das termelétricas, ao longo seja do período dos seus contratos no ACR, seja de sua vida econômica (Bajay, 2009b). Castro, Brandão e Dantas (2009) mostram que essa metodologia tem subestimado a garantia física das usinas termelétricas a biomassa e superestimado a garantia física de usinas termelétricas de elevado CVU, como as usinas termelétricas a carvão mineral importado, a GNL e a óleo combustível.

## ► 7 Política, planejamento e regulação

### 7.1 O mercado de combustíveis veiculares

Até meados da década de 1990, o Brasil era muito dependente da importação de petróleo e de seus derivados. Mas já em 2007, com consumo de 32,7 milhões de  $\text{m}^3$  de óleo diesel e 32,5 milhões de  $\text{m}^3$  de gasolina equivalente (considerando os combustíveis para motores do ciclo Otto usados em veículos leves: gasolina, etanol e gás natural veicular), o Brasil foi exportador de etanol (3,5 milhões de  $\text{m}^3$ ) e gasolina (3,7 milhões de  $\text{m}^3$ ) e importou óleo diesel (3,3 milhões de  $\text{m}^3$ ). No Brasil, a segmentação do mercado de transporte entre veículos leves, basicamente para uso pessoal, e veículos comerciais, para transporte de carga e passageiros e empregando motores do ciclo Diesel, resultou eficiente e permitiu a adoção de diferenciais tributários em favor das atividades econômicas.

Durante os últimos 40 anos foram observadas importantes mudanças na participação relativa dos combustíveis usados em veículos leves, devido às restrições de oferta, alterações de políticas governamentais e inovações tecnológicas. O consumo de gasolina caiu continuamente (desde o aumento da participação do etanol, em 1979), chegando ao mínimo em 1988. Depois voltou a subir até 2006 e estabilizou-se desde então. Para o etanol hidratado, o comportamento foi o inverso: cresceu desde 1979, com um máximo em 1989. Passou então a se reduzir até 2004, quando voltou a crescer com a introdução dos motores bicompostíveis (*flex*) e preços atrativos. Os dados sobre etanol anidro são menos precisos, mas acompanharam, de algum modo, o mercado da gasolina, sujeitos ainda às variações de teor de etanol na gasolina, entre 20

a 25%, de acordo com as políticas de curto prazo adotadas pelo governo. Tornando esse mercado ainda mais complexo, o uso de GNV, iniciado em 1991, atende hoje uma frota de 1,6 milhão de veículos e respondeu por 9% do consumo de combustíveis dos veículos leves em 2007.

É importante notar que a opção atual pelo etanol, com o carro *flex*, vem da competição direta: com preços de etanol até 70% do preço da gasolina o etanol é preferido. O custo do etanol de cana-de-açúcar, avaliado a fatores de produção, situa-se entre 0,35 e 0,41 US\$/litro, que corresponde ao petróleo entre 60 e 72 US\$/barril.

Pode-se dizer que, mantido o atual cenário de preços ao consumidor de gasolina e de etanol hidratado, a grande maioria dos veículos com motores flexíveis vai continuar a ser preponderantemente abastecida com etanol. Para assegurar a oferta necessária, vultosos investimentos na ampliação da capacidade de produção de álcool vêm sendo realizados pela iniciativa privada. Outro fator que atua no sentido de manter e até mesmo ampliar o espaço do etanol na matriz de combustíveis diz respeito à perspectiva de significativos ganhos de produtividade do etanol no futuro, inclusive com o aumento de excedentes de energia elétrica. Entretanto, é possível que a demanda por etanol seja fortemente afetada caso sejam implementadas políticas equivocadas, ou mesmo, se faltarem políticas claras no mercado energético para manter equilibrado o uso dos biocombustíveis e for promovido o consumo de gasolina nos motores *flex* e o uso de óleo diesel no mercado atual do ciclo Otto.

## 7.2 Uma lei para os biocombustíveis líquidos

Depois de décadas de desenvolvimento pioneiro de um mercado energético renovável no Brasil, em que dois biocombustíveis (etanol e biodiesel) são hoje largamente empregados, é importante avaliar as novas perspectivas que trazem o expressivo crescimento das reservas provadas e da produção de petróleo no Brasil até 2020. Há intenção de se ampliar a capacidade de refino em cerca de 1.360 mil bpd até 2014, elevando em 67% a capacidade de refino nacional existente em 2008, para minimizar a exportação de petróleo bruto e agregar valor ao petróleo nacional. Dessa forma, segundo os planos governamentais se propiciará a geração de grandes excedentes exportáveis de gasolina e de óleo diesel a partir de 2017. Naturalmente, essa exportação depende do mercado externo e deve ser considerado o risco de que a produção nacional de combustível fóssil se volte para o mercado interno e, particularmente no caso dos veículos leves com motores flexíveis, seja promovido o consumo de gasolina deslocando a demanda de etanol hidratado.

Tal contexto encontra a agroindústria da cana debilitada por safras sucessivas com baixa rentabilidade, vivendo uma crise preocupante de esvaziamento econômico, como retratada pela Conab (2009). Durante a última década a produção de etanol passou a ser o objetivo preponderante do setor canavieiro. Entretanto, o mercado interno, com o advento dos veículos flexíveis passou a ser pautado pelos preços da gasolina, que tem seus valores definidos de forma pouco transparente e submetidos a eventuais contingenciamentos, enquanto o mercado externo permanece praticamente travado por elevadas barreiras protecionistas. É importante explicitar na política energética os benefícios diferenciais dos biocombustíveis e resgatar as estratégias que permitiram seu desenvolvimento aos níveis atuais, sem o que os melhores cenários apresentados anteriormente poderão ficar apenas como boas intenções.

Nesse sentido, é importante corrigir uma deficiência: no Brasil o álcool etílico é utilizado há décadas, mas não há uma lei específica para ordenar o seu mercado, como as que existem em vários países que têm procurado estimular o uso de etanol e biodiesel. Uma lei específica, além de objetivos mais gerais, como estimular investimentos produtivos, promover uma competição equilibrada e a defesa da ordem econômica, e assegurar o fluxo de informações, poderia:

- Consolidar a legislação existente, sobretudo com relação à cadeia decisória, às condições e instrumentos de acompanhamento do mercado e autorização para os agentes. Por exemplo, o Cima (Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool), responsável pela definição das políticas públicas relacionadas com o etanol, deve ser valorizado e ter suas funções de coordenação reforçadas.
- Definir de forma clara o marco tributário para os biocombustíveis, considerando-se as externalidades e estabelecendo os mecanismos de sustentação da competitividade nos contextos de volatilidade, possivelmente mediante a arbitragem flexível dos tributos. Nesse sentido, a Cide incidente sobre a comercialização de derivados de petróleo deve ter redefinidos seus procedimentos de reajuste e aplicação.
- Estabelecer mecanismos de suporte regular das atividades de pesquisa e desenvolvimento no âmbito da agroindústria energética, por exemplo, com a constituição de um fundo setorial específico para financiar estudos básicos e aplicados.

### 7.3 O mercado da termoeletricidade e as oportunidades para a bioeletricidade

Sobre as condições atuais do mercado atacadista de energia elétrica no Brasil, há algumas observações importantes que remetem à necessidade de mudanças (Bajay, 2009b):

- A política de priorização de novas usinas hidrelétricas de médio e grande porte e as políticas ambientais do próprio governo federal e dos governos estaduais não têm convergido. Nesse contexto, as projeções de crescimento da oferta de novas hidrelétricas no Plano Decenal de Expansão (PDE) 2008-2017 e no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 dificilmente se materializarão.
- A maioria das novas usinas hidrelétricas opera a fio de água, comprometendo a capacidade de regularização plurianual dos grandes reservatórios do sistema hidrotérmico brasileiro e requerendo a instalação e despacho crescentes de usinas termelétricas para complementação. As projeções de crescimento da participação das usinas termelétricas e talvez de fontes renováveis alternativas, como a eólica e PCH, estão subestimadas no PDE 2008-2017 e no PNE 2030.
- As regras de cálculo de preços, nos leilões de energia nova, têm favorecido a contratação de usinas termelétricas de elevado Custo Variável Unitário (a óleo combustível, gás natural liquefeito e carvão importado). Essas, por sua vez, levam a maiores tarifas de energia elétrica quando são despachadas, tarifas essas que são bem superiores a média prevista nas simulações da EPE. Também ocasionam aumento significativo da emissão de poluentes.

Modificações na metodologia de cálculo do ICB das termelétricas são necessárias. Elas devem levar em conta (Bajay, 2009b): as condições de despacho fora da ordem de mérito, utilizadas pelo Operador Nacio-

nal do Sistema Elétrico (ONS); o fator de capacidade crescente dessas usinas ao longo do período de seus contratos de suprimento; e aprimoramento do cálculo da Garantia Física (GF), para plantas de biomassa (CVU nulo) e para usinas com elevado CVU (carvão importado e óleo combustível).

O Ministério de Minas e Energia (MME) precisa implementar políticas de longo prazo que levem à inserção gradual de (Bajay, 2009b):

- I usinas termelétricas e unidades de cogeração que atendam a base da curva de carga do Sistema Interligado Nacional (SIN) com recursos não renováveis de CVU não muito elevado (usinas nucleares, centrais que consomem carvão nacional, e plantas de cogeração com gás natural);
- II centrais geradoras que utilizem fontes renováveis de energia e complementem a geração hidrelétrica nos períodos de baixa hidraulicidade (como plantas de cogeração com bagaço de cana nas regiões Sudeste e Centro-Oeste), ou que atuem na base da curva de carga (PCH e plantas de cogeração consumindo resíduos da biomassa, incluindo os da cana-de-açúcar).
- III parâmetros padronizados por tecnologia/combustível que reflitam os custos e benefícios sócio-ambientais das diversas opções de geração de energia elétrica no cálculo do ICB. Essa solução é melhor que estabelecer compensações ambientais de usinas a carvão ou óleo combustível, como estabelecido pela Instrução Normativa nº 7, de 13 de abril de 2009, do Ibama (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

Quanto ao Proinfa, seria adequado que as parcelas de mercado estabelecidas por fonte alternativa de energia elétrica (PCH, biomassa, eólicas) considerassem metas associadas a políticas ambientais, os custos e volumes disponíveis e a capacidade de manufatura local (ou o interesse em fomentá-la). É importante que o programa inclua incentivos para a redução dos custos da energia produzida pelas usinas participantes, que poderiam ser obtidos com a realização de leilões específicos, ou tornando negociáveis os Certificados de Energia Renovável, previstos para a segunda fase do programa (Bajay, 2009b).

Especificamente, uma política e metas de fomento à geração de eletricidade a partir de resíduos da cana-de-açúcar poderiam ser implementadas através dessa reformulação do Proinfa, ou através de uma nova lei, estabelecendo a base legal de um marco regulatório para os biocombustíveis no país.

## ► 8 Opções para a evolução da matriz energética no Brasil

Até a década de 1960, o planejamento da expansão de sistemas energéticos, no mundo, era essencialmente setorial e os setores envolvidos eram o elétrico, o de petróleo e gás, e, em alguns países, o de carvão. O planejamento era do lado da oferta. O desafio das projeções da demanda energética era tentar capturar as principais tendências do mercado.

Os choques dos preços do petróleo, em 1973 e 1979, mostraram a necessidade de se planejar também do lado da demanda, via programas de conservação de energia, tarifas horosazonais, tarifas interruptíveis etc.

Ações multissetoriais do lado da oferta e da demanda foram desenvolvidas na segunda metade da década de 1970 e na primeira metade da década de 1980, tendo como principal motivação a busca de alternativas para diminuir a dependência de derivados de petróleo e aumentar a segurança do suprimento energético, com fontes locais ou pelo menos fontes externas menos voláteis do que o petróleo.

A queda e a posterior estabilização nos preços do petróleo, a partir de meados da década de 1980, frearam parcialmente esse processo. Por outro lado, as crescentes preocupações sobre os impactos ambientais da indústria de energia – chuva ácida, *smog*, camada de ozônio e efeito estufa – reacenderam o interesse pelo uso dessas abordagens mais abrangentes.

A preocupação com a incorporação crescente de fontes renováveis na matriz energética da maior parte dos países foi bastante forte na década de 1970, perdeu importância nas duas décadas seguintes e retornou com força nos anos 2000.

A década de 1990 mostrou que é possível haver competição em alguns mercados antes considerados como monopólios naturais. Naquela década também se iniciou um processo de globalização da atuação de diversos importantes *players* da indústria da energia, não só em termos geográficos, como também de mercados setoriais. As rígidas fronteiras entre as indústrias de energia elétrica e de petróleo e gás natural começavam a desmoronar.

Fontes renováveis de energia estão sendo fomentadas na atual década na maior parte dos países, com destaque para os biocombustíveis em diversos desses países, sobretudo o etanol e o biodiesel. Enfim, independentemente do grau de importância que cada país está dando ao planejamento de sua matriz energética, essa matriz hoje compreende, em geral, toda a indústria de energia e envolve ações tanto do lado da oferta como da demanda.

O planejamento da evolução dessa matriz é um problema que envolve múltiplos objetivos, dentre os quais podem ser destacados: I suprimento da demanda energética a custos razoáveis; II diversificação das fontes de energia e dos suprimentos, de forma a diminuir riscos de desabastecimento e minimizar o poder de mercado de alguns fornecedores grandes; e III minimização de impactos ambientais e sociais negativos. Como ocorre com todo problema envolvendo objetivos conflitantes, deve-se buscar soluções de compromisso. As fontes renováveis de energia, de forma geral, e as mais competitivas, em particular, desempenham papel fundamental na busca dessas soluções.

O Brasil dispõe de inúmeras alternativas para aumentar o seu suprimento energético a partir de fontes próprias. Poucos países são aquinhoados com tal diversidade e disponibilidade de recursos naturais que podem ser utilizados como combustíveis, ou para gerar energia elétrica. De fato, analisando a série histórica de dados disponíveis no Balanço Energético Nacional, constata-se que tem havido diversificação das fontes de energia de 1970 até 2007. Segundo as projeções do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), essa diversificação deve continuar aumentando até 2030.

Por outro lado, a participação de fontes renováveis na oferta interna de energia diminuiu de 57,7% em 1970 para 45,9% em 2007 e, segundo as projeções do PNE 2030, deve diminuir mais ainda, para 44,7%, em 2030. Embora o país detenha participação de fontes renováveis em sua matriz bem superior à média mundial (12,9%, em 2007), está se caminhando na contramão da maioria dos demais países, que estão adotando uma série de políticas de fomento para incrementar a participação das fontes renováveis em suas matrizes energéticas.

Um dos principais objetivos das recentes políticas de fomento a fontes renováveis de energia no mundo tem sido a busca de reduções dos impactos ambientais negativos decorrentes da produção e do consumo de energia, sobretudo de diminuição das emissões de gases que causam o efeito estufa. No Brasil, o inverso tem acontecido nos últimos anos, particularmente após os resultados dos últimos leilões de energia nova, em que capacidades substanciais de geração termelétrica a óleo combustível e a carvão mineral, de elevado potencial poluidor, foram contratadas.

Os custos marginais de suprimento dos principais combustíveis e da energia elétrica têm se mostrado crescentes nos últimos anos no Brasil. Além disso, há muitas incertezas hoje em dia sobre os custos unitários de produção de várias fontes e/ou tecnologias, como petróleo e gás natural oriundos das camadas de pré-sal recém descobertas, biodiesel, usinas nucleares, usinas termelétricas a carvão nacional etc.. A leitura do Plano Decenal de Energia 2008-2017 (PDE 2008-2017) e, sobretudo, do PNE 2030, permite detectar essas incertezas. Logo, para minimizar o custo do suprimento energético, o governo brasileiro deve fomentar a expansão de fontes energéticas de baixo custo unitário de produção, como as usinas hidrelétricas – pequenas e grandes – e o etanol, fontes que propiciam ao Brasil grandes vantagens competitivas.

O Brasil avançou no planejamento de sua matriz energética nos últimos anos, com a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que prepara os planos decenais e de longo prazo para o Ministério de Minas e Energia (MME). Avanços adicionais, no entanto, encontram hoje formidável barreira, que é a falta de políticas energéticas de longo prazo, que ainda precisam ser definidas pelo órgão competente na administração federal, que é o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), presidido pelo Ministro de Minas e Energia e do qual participam os principais ministros afetos à área energética.

O país se depara com duas grandes opções em relação à evolução futura de sua matriz energética. Se forem mantidas as atuais políticas energéticas – a maior parte delas com perspectiva de curto ou médio prazo e com as regras de funcionamento dos mercados de combustíveis e de energia elétrica vigentes – a tendência é que a participação das fontes renováveis na oferta interna de energia diminua ainda mais que o previsto no PNE 2030. Descontadas hipóteses muito otimistas em relação ao crescimento de algumas fontes renováveis, como a geração de eletricidade em grandes hidrelétricas, esse plano não levou em conta as novas reservas de petróleo e gás natural do pré-sal.

Se, por outro lado, o governo brasileiro quiser reverter esse quadro, passando a fomentar de forma consistente e contínua as fontes renováveis de energia, sobretudo as mais competitivas como o etanol, terá que estabelecer políticas e metas de longo prazo para balizar os novos exercícios de planejamento. Essas metas, por seu turno, deveriam ser estabelecidas de forma a refletir os benefícios ambientais, sociais (geração de

empregos), de desenvolvimento tecnológico (etanol de segunda geração, por exemplo) e de redução dos custos de suprimento energético que podem ser propiciadas por essas fontes.

No caso dos biocombustíveis, uma legislação específica que tenha perspectiva de longo prazo, como ocorre nos EUA, daria sequência às legislações recentes propostas para o gás natural (já aprovadas pelo Congresso Nacional) e para a exploração de petróleo e gás na camada do pré-sal, na costa brasileira. Isso poderia assegurar um desenvolvimento futuro harmonioso da produção, consumo e exportação de biocombustíveis, vis-à-vis seus concorrentes de origem fóssil.

As condições do mercado de combustíveis – diversificado, com volumes expressivos, aportando benefícios sociais e ambientais e com demanda estimulada pela flexibilidade de escolha do combustível – são completamente diferentes do contexto nos anos 1970, quando se regulamentou a introdução do etanol hidratado. É preciso, frente à nova realidade e novas exigências, atendendo o interesse da sociedade, assegurar a sustentabilidade dos biocombustíveis no Brasil, cuja matriz energética deve manter-se baseada em elevada participação de recursos renováveis.

## Referências bibliográficas

- Anfavea, *Carta da Anfavea* – Junho 2009, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – Anfavea, São Paulo, 2009.
- ANP, *Anuário Estatístico 2008*, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, Rio de Janeiro, 2008.
- ANP, *Resultados dos leilões de biodiesel*, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, disponível em <http://www.anp.gov.br/biodiesel/leiloes.asp>, consultado em julho de 2009a.
- ANP, *Preços dos combustíveis*, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, diversos links no site <http://www.anp.gov.br/index.asp>, consultado em junho de 2009b.
- ANP, *Preços dos derivados: Produtores*, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, disponível em <http://www.anp.gov.br/petro/produtores.asp>, consultado em junho de 2009c.
- Bajay, S. V., Carvão mineral e urânio, Nota Técnica para a União da Indústria de Cana-de-açúcar, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (Nipe), Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, SP, junho de 2009a.
- Bajay, S. V., Geração termelétrica, Nota Técnica para a União da Indústria de Cana-de-açúcar, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, SP, agosto de 2009b.
- BC, *Taxas de Câmbio*, Banco Central do Brasil, disponível em <http://www.bancocentral.gov.br/?TXCAMBIO>, consultado em junho de 2009.
- BNDES, *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008.
- Castro, N. J., Brandão, R. e Dantas, G. A., *A competitividade da bioeletricidade e a metodologia dos leilões de energia nova*, Grupo de Estudos do Setor Elétrico (Gesel), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- Conab, *Os Fundamentos da Crise do Setor Sucroalcooleiro no Brasil*, Companhia Nacional de Abastecimento, Superintendência de Informações do Agronegócio, Brasília, setembro de 2009.
- EIA, *Petroleum Statistics*, Energy Information Administration, Department of Energy, disponível em [http://www.eia.doe.gov/oil\\_gas/petroleum/info\\_glance/petroleum.html](http://www.eia.doe.gov/oil_gas/petroleum/info_glance/petroleum.html), consultado em maio de 2009.
- Embrapa Solos, *Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar*, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Documento 110, Rio de Janeiro, 2009.
- EPE/MME, *Plano Nacional de Energia 2030*, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 2007.
- EPE/MME, *Balanco Energético Nacional 2008*, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 2008.
- EPE/MME, *Balanco Energético Nacional 2009 (resultados preliminares)*, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 2009a.
- EPE/MME, *Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017*, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 2009b.
- *Folha do GNV* – Junho 2009, GNV GROUP, Rio de Janeiro, 2009. URL: [www.ngvgroup.com](http://www.ngvgroup.com). Acesso em 16 de julho de 2009.

- IEA, Medium-Term Oil Market Report, International Energy Agency – IEA, 2009. URL: <http://www.iea.org>, acesso em 29/6/2009.
- Macedo, I.C., Seabra, J., Silva, J.E.A.R., “Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020”, *Biomass and Bioenergy*, Vol 32, 2008.
- MAPA, *Anuário estatístico da agroenergia*, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 2009.
- Meira Filho e Macedo, *Etanol e mudança do clima: a contribuição para o PNMC e as metas para o Pós-Kyoto*, Nota Técnica, Projeto Perspectivas para a Matriz Energética Brasileira, UNICA, São Paulo, 2009.
- MME, *Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2008*, Ministério de Minas e Energia, Brasília - MME, 2009.
- Mongelli, S. T., *Geração Núcleo-Elétrica: Retrospectiva, Situação Atual e Perspectivas Futuras*, dissertação de mestrado em ciências, na área de tecnologia nuclear – reatores, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.
- Nassar, A.M., Rudorff, B.F.T., Antoniazzi, L.B., Aguiar, D.A., Bacchi, M.R.P., Adami, M., “Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes”, in Zuurbier, P. and Vooren, J. (editors), *Sugarcane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2008.
- Nogueira, L. A. H., *Biocombustíveis líquidos*, Nota Técnica para a União da Indústria de Cana-de-açúcar, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá – Unifei, setembro de 2009.
- Osório, E., Vilela, A. C. F. e Sampaio, C. H., *Carvão mineral e coque – viabilização do carvão brasileiro*, Nota Técnica TR05 para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, DF, 2008.
- Petrobras, Nota à imprensa – Lucro líquido de R\$ 5 bilhões 816 milhões no 1º trimestre de 2009, Rio de Janeiro, 2009. URL: <http://petrobras.com.br>, acesso em 25/05/2009.
- Sindcomb, 2009, *Formação estimada do preço dos combustíveis*, Sindicato do Comércio Varejista de Combustíveis, Lubrificantes e Lojas de Conveniência do Município do Rio de Janeiro, disponível em <http://www.sindcomb.org.br/economia.php>, consultado em maio de 2009.
- Sousa, F. J. R., *Gás natural*, Nota Técnica para a União da Indústria de Cana-de-açúcar, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (Nipe), Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, SP, julho de 2009a.
- Sousa, F. J. R., *Petróleo e seus derivados*, Nota Técnica para a União da Indústria de Cana-de-açúcar, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (Nipe), Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, SP, agosto de 2009b.
- Turkemburg, W. C. *et alii*, “Renewable energy technologies”. In: Goldemberg, J. (ed.), *World energy assessment of the United Nations*, Capítulo 7, Nova York: UNDP, Undesa/WEC, UNDP, 2000.
- UNICA, *Evolução do Mercado de etanol e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Produtivo*, (por Szwarc, A.), XII Simpósio Agroindustrial Internacional da STAB, Sertãozinho, setembro de 2008.
- Wise Systems, *A Competitividade do Carvão Mineral Nacional na Produção de Energia Elétrica*, Relatório Técnico – ABCM/104/08, dezembro de 2008.
- Zancan, F. L., *Carvão mineral & combustível estratégico para o Brasil*, apresentação feita na Associação Brasileira de Carvão Mineral, em Tubarão, SC, em 16/02/2009.

## Notas explicativas

- 01** Trata-se da Portaria nº 23, de 6 de junho de 1994, do extinto Departamento Nacional de Combustíveis (DNC).
- 02** Considerados os seguintes rendimentos médios de veículos informados pela Folha do Gás Natural: gás natural veicular (10 km/m<sup>3</sup>) e álcool hidratado (7 km/l).
- 03** Fonte: [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br), link "dados estatísticos".
- 04** Fonte: [www.anp.gov.br/petro/dados\\_estatisticos](http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos).
- 05** As importações de gás natural da Bolívia tiveram início em agosto de 1999.
- 06** Algumas autoridades e especialistas defenderam, no início de 2008, que o uso do gás natural como combustível automotivo não deveria ter prioridade por ser possível a sua substituição por outros combustíveis.
- 07** Caso se considere uma taxa de sucateamento anual de 3%, seriam sucateados 47.895 veículos em 2009, quantidade bem superior ao volume de conversões previsto para esse período com base em extrapolação do volume verificado em março/2009.
- 08** O modelo Melp (Modelo de Planejamento da Expansão da Geração de Longo Prazo), desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel), ligado à Eletrobrás.
- 09** A relação reserva/produção no mundo em 31/12/2008 era igual a 42 anos (BP, 2009).
- 10** Convém ter presente que há gás natural em solução no petróleo.
- 11** Esse valor de reserva total permanece o mesmo desde 1986, indicando falta de prospecção geológica desse mineral nas últimas décadas.
- 12** Cerca de 90%.
- 13** No caso do urânio também não tem ocorrido levantamentos geológicos recentes.
- 14** Considerando perdas na mineração e no beneficiamento e não levando em conta a reciclagem de plutônio e urânio residual.
- 15** Atualizado pela variação do IPCA
- 16** A Tractebel Energia realizou o cálculo da garantia física dos empreendimentos.

## ► Autores e Coordenadores

• **Eduardo L. Leão de Sousa**, organizador deste livro, é diretor-executivo da UNICA desde outubro de 2007. Entre 2003 e 2007, foi economista-sênior e coordenador regional dos programas em agricultura e meio ambiente do Banco Mundial em Washington. Entre 1999 e 2002, foi coordenador-geral de produtos agrícolas e agroindustriais do Ministério da Fazenda. Como pesquisador-sênior da Fipe, da FEA/USP, integrou o Programa de Estudos dos Negócios dos Sistemas Agroindustriais (Pensa). Também coordenou o departamento de assessoria econômica da Faesp. É Bacharel em engenharia agrônoma, doutor em economia aplicada pela Esalq/USP.

• **Isaias de Carvalho Macedo**, organizador e um dos autores deste livro, é engenheiro mecânico pelo ITA (1967), com PhD pela University of Michigan (1971). Até 1983, foi professor de engenharia mecânica no ITA e Unicamp, onde assessorou a reitoria. Entre 1981 e 2001, planejou e coordenou programas de pesquisa e desenvolvimento no Centro de Tecnologia Copersucar, primeiro na área industrial e desde 1994 como gerente. Desde 2001 trabalha como consultor em energia para o governo federal e empresas privadas. Coordena projetos de energia da biomassa como pesquisador-visitante do Nipe e é conselheiro do Cosema (Fiesp).

**Adriano Pires**, diretor-fundador do Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), foi professor do Programa de Planejamento Energético da Coppe/UFRJ, assessor do diretor-geral da ANP e superintendente das áreas de importação e exportação e abastecimento. É doutor de ciência em economia industrial pela Universidade Paris XIII (1988) e economista pela UFRJ (1981).

**Alfred Szwarc** é engenheiro mecânico, mestre em controle da poluição ambiental e especialista em gestão ambiental, transporte sustentável e biocombustíveis. Foi diretor de engenharia ambiental da Cetesb. Participou da idealização e implantação dos programas nacionais de controle de emissão e de ruído para veículos e liderou estudos que subsidiaram a regulamentação da inspeção ambiental veicular. É diretor da ADS Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável e consultor da UNICA em tecnologia e emissões.

**Carolina Policarpo Garcia** é graduanda em economia pela FEA/USP. Atualmente, desenvolve trabalhos de pesquisa na área de defesa da concorrência sob orientação da professora Elizabeth Farina. Participou do Programa de Intercâmbio do Cade (Conselho Administrativo de Defesa Econômica) e trabalhou na Fipecafi com modelagem para o mercado de seguros.

**Cynthia Cabral da Costa**, engenheira agrônoma, é doutora em economia aplicada pela Esalq/USP. Trabalhou no Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (Icône) e atualmente pertence ao corpo docente da UFSCar (campus Sorocaba).

**Claudia Viegas**, coordenadora de projetos da área de economia do direito da LCA Consultores, é economista pela FEA/USP, com mestrado e doutorado pela mesma instituição. Foi secretária-adjunta da Secretaria de Acompanhamento Econômico do Ministério da Fazenda (Seae/MF), de 2004 a 2007, quando atuou na área de defesa da concorrência e regulação econômica.

**Elizabeth Maria Mercier Querido Farina** é professora titular do departamento de economia da USP, que chefiou entre 2002 e 2004. Foi presidente do Cade de 2004 a 2008. Foi vice-coordenadora do Pensa (Programa de Estudos dos Negócios do Sistema Agroindustrial) da USP por mais de 10 anos. Obteve os títulos de doutor em economia (1983) e livre docência (1996) pela USP. Publicou mais de 40 trabalhos, entre artigos, capítulos de livros e livros.

**Fabiola Cristina Ribeiro de Oliveira** é economista, doutoranda em economia aplicada pela Esalq/USP, mestre em economia aplicada pela mesma instituição. Na dissertação de mestrado desenvolveu estudo sobre o mercado de trabalho na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias. Pesquisadora do Grupo de Extensão em Mercado de Trabalho (Gemt) da Esalq/USP. Tem publicações com ênfase em mercado de trabalho, desigualdade de renda e pobreza e métodos econométricos.

**Francisco Emílio Baccaro Nigro** é engenheiro mecânico pela Escola Politécnica da USP e PhD em mechanical engineering pela University of Waterloo, Canadá. Foi pesquisador do IPT de 1968 a 2006 e é professor da Escola Politécnica desde 1970. No instituto ocupou diversas posições de chefia e se aposentou como diretor. Orientou mestres e doutores, desenvolveu e coordenou pesquisas em máquinas e equipamentos, com ênfase especial no uso de combustíveis alternativos em motores e veículos. Atualmente é assessor técnico da Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo.

**Francisco José Rocha de Sousa** é engenheiro civil formado pela Universidade de Brasília, com especialização em engenharia de petróleo pelo Centro de Ensino da Bahia da Petrobras e mestrado em planejamento de sistemas energéticos pela Unicamp. É consultor legislativo da Câmara dos Deputados na área de minas, energia e recursos hídricos. Foi assessor do secretário-executivo do Ministério de Minas e Energia e do superintendente de regulação econômica da Aneel. Foi também superintendente-adjunto de abastecimento da ANP, chefe de divisão do Departamento Nacional de Combustíveis do MME, assessor da Comissão Nacional de Energia e engenheiro de produção da Petrobras.

**Guilherme de A. Dantas** é doutorando do Programa de Planejamento Energético da Coppe/UFRJ. Mestre em economia e política da energia e do ambiente pela Universidade Técnica de Lisboa com graduação em economia pela UFRJ. É pesquisador-sênior do Gesel/IE/UFRJ e especialista em fontes alternativas de energia, regulação da distribuição e biocombustíveis.

**Joaquim José Martins Guilhoto**, especialista em análises estruturais de economias nacionais e regionais e modelos ambientais, é professor titular da USP e atualmente é professor-visitante no MIT. Tem mais de 200 trabalhos publicados no Brasil e no exterior.

**Luiz Augusto Horta Nogueira**, engenheiro mecânico pela Unesp (1987), mestre (1981) e doutor em engenharia (1987) pela Unicamp, atualmente é professor titular do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá, onde atua desde 1979. Foi catedrático do Memorial da América Latina em 2007, diretor-técnico da ANP de 1998 a 2004 e pesquisador-visitante junto ao Wood Energy Program (FAO, Roma) em 1997/1998 e à Ceapl (Santiago) em 2009. Orientou 34 teses acadêmicas sobre temas energéticos e é autor de cinco livros e diversos trabalhos técnicos e artigos especializados sobre biocombustíveis e uso racional de energia.

**Luiz Gustavo Antonio de Souza** é economista graduado pela Universidade Estadual de Londrina e doutorando em economia aplicada pela Esalq/USP. Em 2008 foi o primeiro colocado do Prêmio Corecon-PR de Monografia. Atualmente atua como pesquisador do Gemt, Esalq/USP, Nereus, FEA/USP e Geite-UEL. As áreas de pesquisa são: economia do trabalho, industrial, regional e da inovação.

**Luiz Gylvan Meira Filho**, pesquisador-visitante do Instituto de Estudos Avançados da USP, é engenheiro de eletrônica pelo ITA (1964) e PhD em astro-geofísica pela Universidade do Colorado (1970). Foi copresidente do Grupo de Trabalho Científico do IPCC e vice-presidente do Painel. Foi diretor-científico do atual Inpe,

liderou a criação do seu Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), criou e presidiu por sete anos a Agência Espacial Brasileira (AEB). Foi diretor da Organização Meteorológica Mundial. Presidiu os grupos de negociação dos Artigos 3 (metas dos países industrializados) e 12 (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) do Protocolo de Kyoto.

**Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes**, engenheira mecânica graduada pela Unicamp, é mestre e doutora em economia aplicada pela USP. Atualmente é professora doutora da Esalq/USP, nos cursos de graduação e pós-graduação. Realiza pesquisa em organização industrial e mercado de trabalho agrícola. Tem trabalhos publicados nos seguintes temas: agroindústria canavieira, organização industrial, mercado de trabalho agrícola. Coordena o grupo de pesquisa cadastrado no CNPq/Gemt.

**Marcos Fava Neves** é professor titular na área de planejamento e estratégia na FEA/USP (campus de Ribeirão Preto). Formou-se em engenharia agrônoma na Esalq e tem mestrado em administração na FEA/USP (1995), com especialização em marketing de alimentos na França, e doutorado na FEA/USP (1999), com especialização em cadeias produtivas na Holanda. É autor/coordenador de mais de 20 livros no Brasil, Argentina, Europa e Estados Unidos, entre eles, *Estratégias para a cana no Brasil*, Editora Atlas (2010). Criador e coordenador da Markestrat (Centro de Pesquisas e Projetos em Marketing e Estratégia, da USP), que tem hoje 35 pesquisadores. Tem mais de 80 artigos científicos publicados no exterior.

**Marcos S. Jank** é presidente da UNICA desde junho de 2007. Foi idealizador e presidente do Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (Icône). Por mais de 20 anos, foi professor de faculdades da USP (FEA, Instituto de Relações Internacionais e Esalq). É livre-docente e engenheiro agrônomo pela Esalq, doutor pela FEA e mestre em políticas agrícolas pelo IAM de Montpellier, França. Fez parte da divisão de integração, comércio e assuntos hemisféricos do BID, em Washington, e foi professor-visitante nas universidades de Georgetown e Missouri. Tem mais de 200 trabalhos publicados e cerca de 500 palestras realizadas no Brasil e no exterior.

**Maria de Fátima Andrade** possui bacharelado, mestrado e doutorado em física pela USP. Realizou pós-doutorado no California Institute of Technology, em 1994. Atualmente é docente da USP. Tem experiência na área de geociências, com ênfase em poluição atmosférica. Atua sobretudo nas seguintes áreas: química atmosférica, modelos fotoquímicos, aerossóis atmosféricos, modelos de qualidade do ar e modelos receptores.

**Matheus Alberto Consoli** é doutor em engenharia de produção pela USP (São Carlos) e pesquisador da Markestrat.

**Nivalde José de Castro** é professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do Gesel (Grupo de Estudos do Setor Elétrico), onde desenvolve pesquisa sobre o segmento de bioeletricidade vinculado ao setor sucroalcooleiro. Publicou estudos e artigos sobre a importância da bioeletricidade para o planejamento energético, com destaque para as sinergias e externalidades que ela pode trazer para a matriz elétrica. Foi coautor do livro *Bioeletricidade e a indústria de álcool e açúcar: possibilidades e limites* (2008).

**Paula Carvalho Pereda** é economista pela USP (2008), onde recebeu o título de mestre em teoria econômica. Desde 2009 faz parte do programa de doutorado. Desde 2006 atua como professora-assistente de econometria e microeconomia no departamento de economia da USP. Participou de diversas conferências nacionais e internacionais, apresentando trabalhos acadêmicos de microeconomia aplicada (economia da saúde, economia do trabalho e teoria do consumidor) desde 2008.

**Paulo Afonso de André** é engenheiro pela Escola Politécnica da USP com mestrado e doutorado pela Faculdade de Medicina da USP. Coordena o Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da USP e o Núcleo de Equipamentos e Projetos, onde desenvolve equipamentos e instalações para ensaios toxicológicos, além de cuidar da operação de equipamentos de amostragem de campo e análise de poluentes atmosféricos, dando suporte aos experimentos epidemiológicos e toxicológicos conduzidos pelo Inaiara (Instituto Nacional de Análise Integrada do Risco Ambiental).

**Paulo Hilário Nascimento Saldiva** é médico patologista e professor titular da Faculdade de Medicina da USP, chefe do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da USP e pesquisador do CNPq. Integra o comitê da Harvard School of Public Health e é membro de vários painéis da Organização Mundial da Saúde. Coordena o Inaira (Instituto Nacional de Análise Integrada do Risco Ambiental).

**Rafael Schechtman** é diretor do Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE). Foi professor do Programa de Planejamento Energético da Coppe/UFRJ. PhD em engenharia nuclear pelo MIT (1984) e engenheiro eletricista pela PUC/Rio (1975), foi assessor do diretor-geral da ANP e superintendente das áreas de controle das participações governamentais e de estudos estratégicos.

**Roberto Brandão** é economista, pesquisador-sênior do Gesel-IE-UFRJ e consultor de empresas do setor elétrico. Desenvolve pesquisas na área de matriz energética, energias alternativas e geração termoeletrica.

**Sergio Valdir Bajay** é engenheiro mecânico pela Unicamp (1973), onde obteve mestrado (1976), e PhD pela University of Newcastle upon Tyne, Inglaterra (1981). Desde 1974, é professor de engenharia mecânica da Unicamp, onde criou em 1987 o curso de pós-graduação em planejamento de sistemas energéticos. Foi também o criador, em 1993, do Nipe (Núcleo Interdisciplinar de Pesquisas Energéticas da Unicamp), onde é pesquisador-sênior. Entre 2001 e 2002 foi diretor do Departamento Nacional de Políticas Energéticas do MME. Desde 1982 é pesquisador e consultor nas áreas de formulação de políticas energéticas, planejamento energético e regulação de mercados de energia. É ainda membro do conselho consultivo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), estatal que realiza estudos de planejamento energético para o MME desde 2008.

**Simone Georges El Khouri Miraglia** é engenheira, graduada e mestre em engenharia pela Escola Politécnica da USP, tem doutorado e pós-doutorado pela Faculdade de Medicina da USP, onde escreveu tese sobre custos ambientais e de saúde devido à poluição atmosférica em São Paulo. É professora pesquisadora da Unifesp no curso de engenharia química. Estuda a valoração ambiental, a sustentabilidade, a poluição atmosférica e seus efeitos na saúde.

**Vinicius Gustavo Trombin** é doutorando em administração pela FEARP/USP e pesquisador da Markestrat.

UNICA

### União da Indústria de Cana-de-açúcar

*Presidente:* Marcos Sawaya Jank

*Diretor-Executivo:* Eduardo L. Leão de Sousa

*Diretor de Comunicação:* Adhemar Altieri

*Diretor Técnico:* Antônio de Padua Rodrigues

#### Sede:

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2179 – 9º andar

CEP: 01452-000 Jardim Paulistano

São Paulo, SP – Brasil

Tel: +55(11) 3093-4949 Fax: +55(11) 3812-1416

www.unica.com.br unica@unica.com.br

#### Escritórios Regionais:

Ribeirão Preto, Washington e Bruxelas

## Etanol e Bioeletricidade

A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética

#### Coordenação e Organização

Eduardo L. Leão de Sousa

Isaias de Carvalho Macedo

#### Edição de texto

Oscar Pilagallo

#### Planejamento, Projeto, Edição e Produção Gráfica

LUC Comunicação Integrada (11) 5044 6099

*Edição de Arte:* Ricardo Ferreira

*Projeto Gráfico e Capa:* Eduardo Matsuda

*Gráficos e tratamento de imagem:* Cláudio Santos

#### Equipe técnica e colaboradores

Alfred Szwarc, Beatriz Stuart Secaf, Carlos Dias,

Carlos Roberto Silvestrin, Daniel Lobo,

Diana Edna Nóbrega, Elimara Aparecida Assad

Sallum, Emmanuel Desplechin, Fabiane Cunha,

Francesco Gianetti, Geraldine Kutas, Jeanine Ferreira

de Souza, Joel Velasco, Leandro Pampin, Letícia

Phillips, Luciano Rodrigues, Luiz Fernando do Amaral,

Maria Luiza Barbosa, Mariana Regina Zechin, Nayana

Rizzo e Zilmar José de Souza.

#### Fotos

Acervo particular (orelha), Fotolia, Luc Imagens,

Stock Photos, Tadeu Fessel

#### Impressão

Gráficos Burti

*Impresso em Papel Duo Design 300g (capa)*

*e Pólen 90g (miolo). Produzido na família tipográfica*

*Humanist 777.*

**Tiragem** 5 mil exemplares

Junho de 2010

PROJETO AGORA

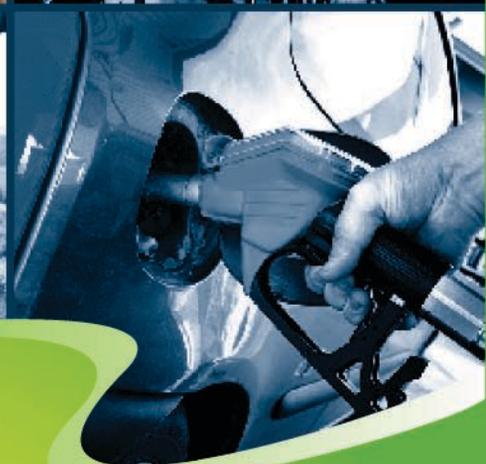
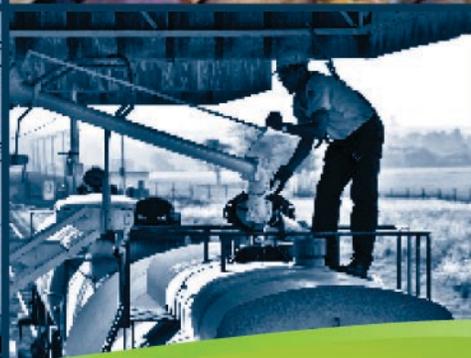
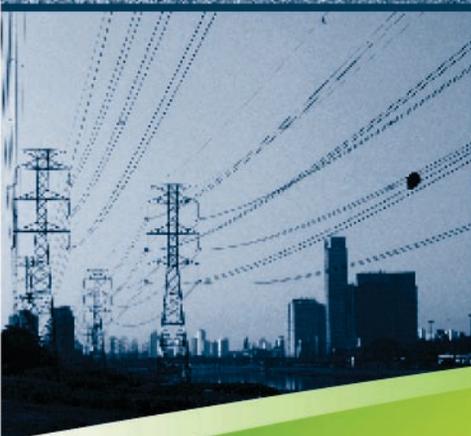
O **Projeto Agora – Agroenergia e Meio Ambiente** visa desenvolver um amplo esforço integrado de comunicação e marketing para divulgar os benefícios da produção e do uso de energias limpas, renováveis e sustentáveis de origem agrícola, como o etanol, a bioeletricidade, os bioplásticos e os hidrocarbonetos, entre outros.

São cinco os principais objetivos da entidade:

- Esclarecer e promover questões relacionadas às mudanças climáticas e ao meio ambiente, destacando a contribuição do etanol e da bioeletricidade;
- Informar e fomentar a cadeia produtiva sucroenergética, salientando seus impactos e benefícios para a economia brasileira;
- Ampliar o consumo de etanol em veículos automotores, incentivar novos usos e o crescimento da bioeletricidade;
- Promover o consumo e a inserção no mercado de novos produtos da cadeia produtiva da cana-de-açúcar;
- Esclarecer mitos sobre o setor sucroenergético.

O Projeto Agora congrega empresas e entidades que fazem parte da cadeia produtiva da cana-de-açúcar:

- Itaú
- Monsanto
- Amyris
- Basf
- BP
- FMC
- Sew Eurodrive
- ALCOPAR – Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná
- BioSul – Associação dos Produtores de Bioenergia de Mato Grosso do Sul
- Orplana – Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil
- SIAMIG – Sindicato da Indústria de Fabricação do Alcool no Estado de Minas Gerais
- Sifaeg – Sindicato da Indústria de Fabricação de Alcool do Estado de Goiás
- Sindalcool/MT – Sindicato das Indústrias Sucroalcooleiras do Estado de Mato Grosso
- UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar



**UNICA**

**UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

ETANOL • AÇÚCAR • ENERGIA      SÃO PAULO • BRASIL

PROJETO  
**AGORA**  
agroenergia e meio ambiente



**Fontes Mistas**

Grupo de produto proveniente de florestas bem manejadas e fontes controladas

Cert no. SW-COC-003192  
www.fsc.org

© 1996 Forest Stewardship Council

O selo FSC é a garantia de que a madeira utilizada na fabricação do papel deste livro provém de florestas bem manejadas e outras fontes controladas.