

# **Bioetanol de cana-de-açúcar**

## **Energia para o desenvolvimento sustentável**

**Resumo executivo**

**BNDES, CGEE, FAO e CEPAL**

**2008**

## **Resumo executivo<sup>1</sup>**

A crescente necessidade de ampliar de modo sustentável o uso de fontes renováveis de energia, para proporcionar maior segurança ao suprimento energético e reduzir os impactos ambientais associados aos combustíveis fósseis, encontra no bioetanol de cana-de-açúcar uma alternativa viável economicamente e com significativo potencial de expansão. A produção e o uso de bioetanol como combustível veicular são praticados regularmente no Brasil desde 1931, com notável evolução durante as últimas décadas, alcançando maturidade e consistência, segundo um modelo produtivo que pode ser adaptado e implementado em contextos similares. Por meio do bioetanol e da bioeletricidade, a cana-de-açúcar representa atualmente a segunda mais importante fonte primária e a principal forma de energia renovável na matriz energética brasileira.

Esta obra apresenta, sob vários pontos de vista, as características desse biocombustível e de sua agroindústria, com ênfase na experiência brasileira e, em alguns casos, cotejando com outras tecnologias bioenergéticas. Desenvolvido em nove capítulos, brevemente descritos a seguir, o trabalho é orientado para leitores brasileiros e de outros países com interesses em bioetanol,.

### **Bioenergia e biocombustíveis**

Através da fotossíntese, a radiação solar se converte em produtos vegetais, que podem ser utilizados como combustível, diretamente ou depois de processados. A lenha de eucalipto e o bioetanol, produzido com base na cana-de-açúcar ou no milho, são exemplos de vetores bioenergéticos. Em suas formas tradicionais, o uso de bioenergia se confunde com a história da humanidade, mas, mediante tecnologias modernas e eficientes, como biocombustíveis líquidos, vem sendo considerado nos últimos tempos uma fonte energética renovável alternativa aos combustíveis fósseis, capaz de atenuar graves problemas ambientais. Uma condição fundamental a ser observada para a viabilidade da produção bioenergética é a eficiência na captação da energia solar, associada à produtividade por unidade de recursos naturais utilizados.

---

<sup>1</sup> Foram suprimidas as referências bibliográficas. Para mais detalhes, referir-se ao texto completo original.

A produtividade vegetal depende, essencialmente, das condições climáticas (disponibilidade hídrica, insolação e temperatura) e da fertilidade do solo cultivado, variando de acordo com a espécie vegetal. Entre as plantas utilizadas para fins bioenergéticos, as gramíneas se destacam, como é o caso da cana-de-açúcar, cuja eficiência fotossintética é das mais altas entre todos os vegetais. Considerados tais pressupostos, as regiões tropicais úmidas, especialmente na América Latina e na África, apresentam-se indiscutivelmente como as mais promissoras para a produção bioenergética, a ser promovida, naturalmente, de forma sustentável.

Sem considerar a bioenergia como a virtual substituta de todas as formas convencionais de energia em uso pela sociedade moderna, mas uma componente necessária de um novo contexto, constata-se que, em caráter global, existe grande disponibilidade de área para a produção vegetal e um uso ainda muito limitado da radiação solar, que incide generosamente em amplas regiões do planeta. Desse modo, é razoável supor que nos próximos anos a bioenergia se desenvolva de modo importante.

### **Etanol como combustível veicular**

O etanol apresenta algumas diferenças importantes em relação aos combustíveis convencionais, derivados de petróleo. A principal delas é o elevado teor de oxigênio, que constitui cerca de 35% em massa do etanol. De modo geral, as características do etanol possibilitam uma combustão mais limpa e o melhor desempenho dos motores (ciclo Otto), o que contribui para reduzir as emissões poluidoras. Para o uso de etanol hidratado puro (com cerca de 5% de água), os motores devem ser adaptados, mas, para o emprego de misturas com teores até 10% de etanol, podem ser utilizados os motores convencionais a gasolina sem qualquer ajuste. Nos motores flexíveis (*flex-fuel vehicle* – FFV), com grande penetração no mercado brasileiro, podem ser utilizadas misturas com qualquer teor de etanol.

Na comparação com a gasolina pura, uma análise detida dos aspectos mais relevantes do uso das mesclas gasolina/etanol, como octanagem, volatilidade, desempenho, separação de fases, compatibilidade de materiais (elastômeros e metais) e emissões de gases de escape (incluindo monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, de enxofre e aldeídos), mostra como esse biocombustível pode ser utilizado sem problemas de ordem técnica e ambiental. Com efeito, a expressiva maioria dos fabricantes de automóveis aceita o uso de gasolina com 10% de etanol em seus motores.

Confirmando a maturidade desse biocombustível, diversos motores aeronáuticos (para aviões agrícolas e de pequeno porte) têm sido homologados para uso de etanol puro. A utilização de etanol em motores diesel apresenta perspectivas interessantes, mas ainda se encontra em desenvolvimento.

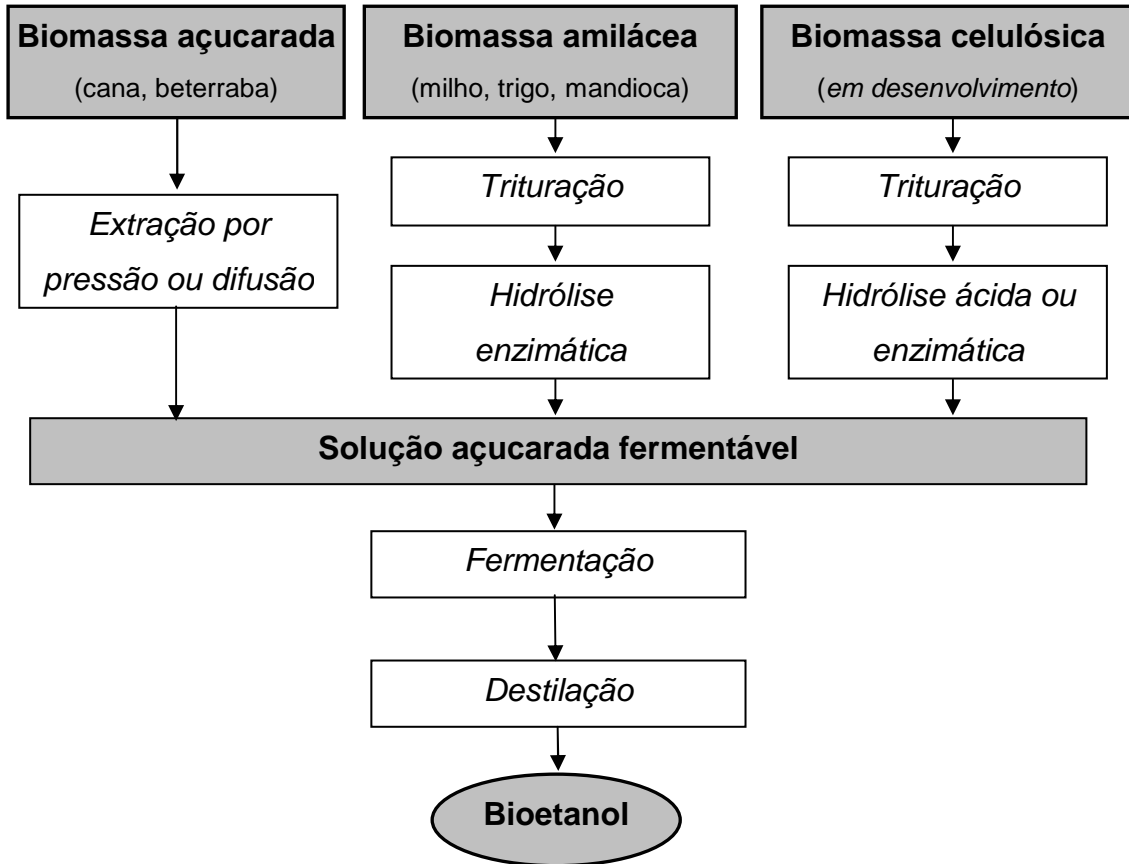
Do ponto de vista econômico, a análise dos custos de oportunidade do bioetanol de cana-de-açúcar, frente ao açúcar e ao melaço, e a comparação dos preços pagos aos produtores de bioetanol no Brasil com os preços internacionais da gasolina durante a última década confirmam a atratividade do emprego desse biocombustível e reforçam a importância de que sejam promovidos em bases competitivas e, na extensão possível, sob reduzida intervenção governamental. No entanto, para desenvolver adequadamente o mercado do bioetanol e potencializar suas vantagens, o Estado deve assumir responsabilidades importantes, como definir as especificações do bioetanol e os teores mínimos compulsórios de mistura na gasolina, assim como estabelecer um marco tributário equilibrado no mercado dos combustíveis.

Para completar a revisão dos aspectos relacionados ao uso do etanol como combustível, cabe comentar a logística para esse biocombustível, em que a sazonalidade da produção impõe a formação de estoques de entressafra, cujo volume depende diretamente da extensão do período produtivo. Para a movimentação do bioetanol, pode-se recorrer aos modais usualmente empregados para os demais combustíveis, inclusive o dutoviário.

### **Produção de bioetanol**

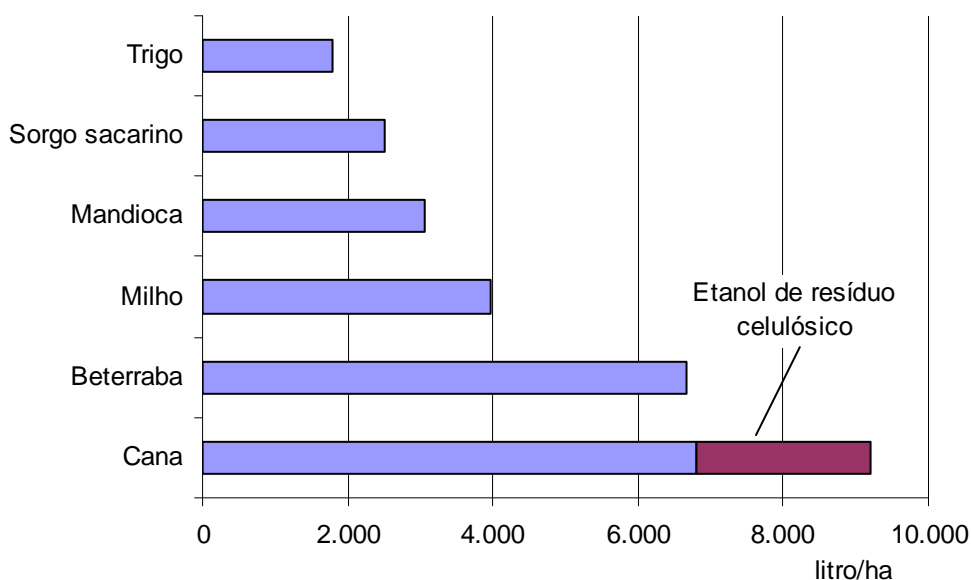
A produção de bioetanol é efetuada em bases comerciais por duas rotas tecnológicas, utilizando matérias-primas doces, diretamente fermentáveis, como a cana-de-açúcar e a beterraba açucareira, ou matérias-primas amiláceas, como o milho e o trigo, cujo amido deve ser convertido em açúcares (sacarificado) antes da fermentação, como esquematizado na Figura 1. Uma terceira rota, utilizando a biomassa disponível em materiais como o bagaço e a palha, hidrolisa as cadeias celulósicas e produz uma solução fermentável de açúcares, apresentando grande interesse graças ao baixo custo da matéria-prima. Contudo, essa rota de valorização energética da biomassa ainda não está disponível em escalas comerciais, embora haja expectativas de que nos próximos anos possa alcançar viabilidade econômica.

**Figura 1 – Rotas tecnológicas para produção de bioetanol**



Em função das diferenças entre a produtividade agrícola e a produtividade industrial, os volumes de bioetanol produzido por unidade de área cultivada variam bastante, conforme o Gráfico 1. No caso da cana-de-açúcar, são valores representativos uma produtividade agrícola de 80 toneladas de cana-de-açúcar por hectare e um rendimento industrial de 85 litros de bioetanol, resultando numa produção de 6.800 litros de bioetanol por hectare cultivado. Nesse gráfico, para a cana-de-açúcar, considera-se ainda a produção de etanol dos resíduos celulósicos, tecnologia ainda em desenvolvimento, assumindo a utilização de 30% do bagaço disponível e metade da palha, convertida em bioetanol à razão de 400 litros por tonelada de biomassa celulósica seca. Dos 51 bilhões de litros de bioetanol produzidos em 2006, a produção norte-americana, com base no milho, e a brasileira, com base na cana, representaram 70% do total. Os outros grandes produtores de bioetanol são a Índia, a China e a União Européia, mas em escala bem menor.

**Gráfico 1 – Produtividade média de bioetanol por área para diferentes culturas**

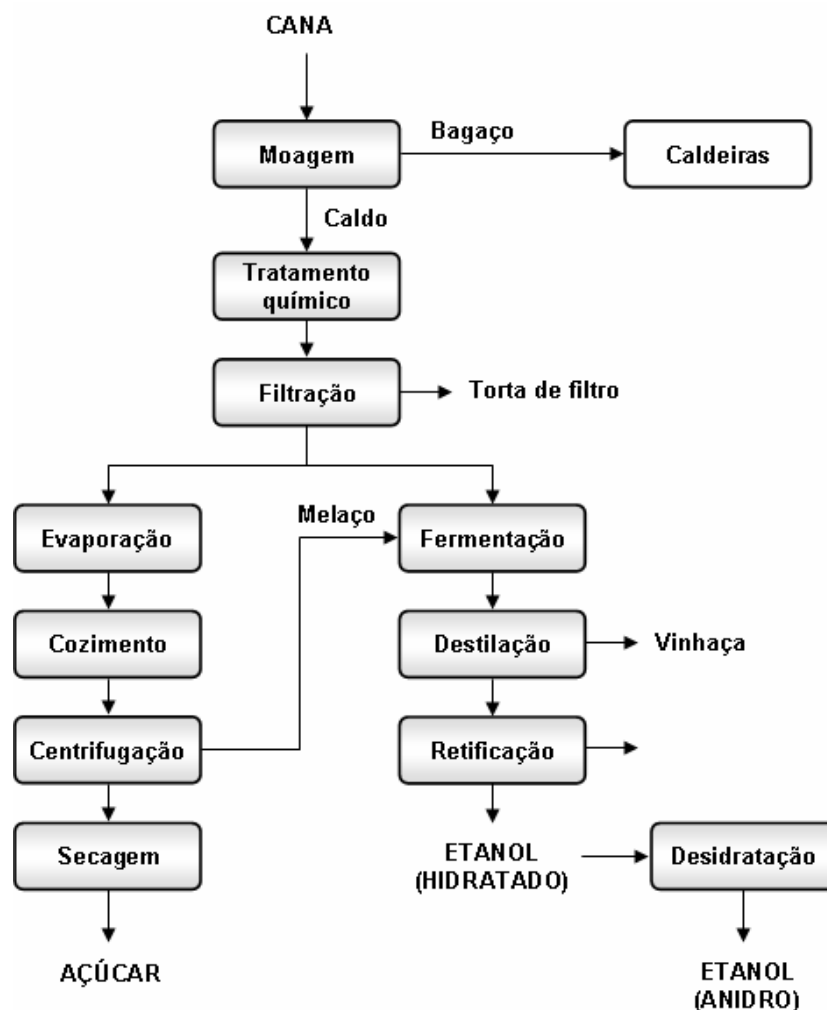


Um dos cultivos de maior importância em todo o mundo, a cana-de-açúcar ocupa mais de 20 milhões de hectares, nos quais foram produzidos cerca de 1,3 bilhões de toneladas em 2006/2007, com destaque para o Brasil, que, com uma área plantada de cerca de 7 milhões de hectares, respondeu por cerca de 42% do total produzido. O clima ideal para o cultivo da cana é aquele que apresenta duas estações distintas: uma quente e úmida, para proporcionar a germinação, o perfilhamento (formação de brotos) e o desenvolvimento vegetativo, seguida de outra fria e seca, para promover a maturação e o conseqüente acúmulo de sacarose nos colmos. O ciclo produtivo da cana-de-açúcar é, geralmente, de seis anos, dentro do qual ocorrem cinco cortes, quatro tratos de soqueiras e uma reforma, com redução gradual da produtividade, que torna mais interessante reformar o canavial do que efetuar um novo corte. O período da colheita da cana varia de acordo com o regime de chuvas, para possibilitar as operações de corte e transporte e para permitir alcançar o melhor ponto de maturação e acumulação de açúcares. Nas condições médias do Centro-Sul brasileiro, a cana colhida apresenta teores de sacarose e de fibra da ordem de 14% e 13%, respectivamente.

No contexto brasileiro, a produção de bioetanol de cana-de-açúcar é efetuada geralmente em unidades agroindustriais que produzem também açúcar, dando origem a melaços que podem, junto com o caldo de cana, compor mostos fermentáveis, como mostrado na Figura 2. Assim, consegue-se uma boa sinergia entre os dois processos produtivos, que utilizam em comum os equipamentos de extração (tipicamente

moendas, mas recentemente passaram a ser adotados também difusores) e os sistemas auxiliares e de utilidades. Após a fermentação do mosto, as leveduras são recuperadas e o vinho resultante segue para a destilação, no qual o bioetanol é produzido.

**Figura 2 – Esquema da produção de açúcar e bioetanol de cana**



O processo industrial consome significativa quantidade de energia térmica e elétrica, mas, no caso da agroindústria com base na cana, essas demandas podem ser providas por um sistema combinado de produção de calor e potência (sistema de cogeração) instalado na própria usina. Esse sistema utiliza apenas bagaço como fonte de energia elétrica e ainda pode gerar excedentes para a rede pública.

A outra matéria-prima importante para a produção de bioetanol, o milho, é cultivado atualmente em todos os continentes e ocupa cerca de 147 milhões de hectares, nos quais foram produzidos cerca de 725 milhões de toneladas em 2004, constituindo um

importante componente da oferta de alimentos em vários países, como alimento humano e animal. Em 2006, a produção americana foi superior a 267 milhões de toneladas de grãos, para uma área colhida de pouco mais de 28 milhões de hectares. Quase 20% da produção foi destinada à fabricação de bioetanol.

O bioetanol pode ser produzido de milho por meio de dois processos, adotando moagem úmida ou seca. A via úmida era a opção mais comum até os anos 1990, mas, hoje em dia, a via seca se consolidou como o processo mais utilizado para a produção do bioetanol. No processo úmido, as diferentes frações do grão do milho são separadas, possibilitando a recuperação de diversos produtos, como proteínas, nutrientes, gás carbônico, amido e óleo de milho. O amido (e, por conseguinte, o bioetanol) é produzido em maior volume, com rendimentos em torno de 440 litros de bioetanol por tonelada de milho.

Para as demais matérias-primas, os processos são similares, dependendo das características da biomassa, que pode conter açúcares ou amido. Assim, podem ser utilizados, de modo semelhante à cana, o sorgo sacarino e a beterraba e, de modo semelhante ao milho, a mandioca e o trigo, entre outros cultivos.

Pela diversidade de alternativas de matérias-primas para a fabricação de bioetanol, é importante notar que as mais adequadas são aquelas que, em um sentido amplo, se mostram mais eficientes. Assim, cabe priorizar os cultivos que minimizem os requerimentos de terra, água e aportes externos de agroquímicos, entre outros aspectos. Além disso, a viabilidade econômica deve ser levada em conta: há pouco sentido em propor o uso de cultivos nobres e de bom valor de mercado como fonte de bioenergia. A matéria-prima representa, tipicamente, entre 60% e 70% do custo final do bioetanol e a busca de alternativas de baixo custo é fundamental. A existência de co-produtos e subprodutos, de valor alimentício, industrial ou energético, é igualmente importante, na medida em que pode conferir uma desejável flexibilidade na produção bioenergética, associando a disponibilidade de biocombustíveis a outras fontes de valor econômico.

Outro ponto relevante para a adequada seleção de biomassas com potencial para produção de bioetanol é o balanço energético de cada uma delas, ou seja, a relação entre a energia produzida e a demanda de energia direta e indireta para produzir tal energia. Portanto, são mais interessantes os cultivos de alta produtividade e baixa demanda de insumos energéticos exógenos. Como uma consequência natural dos balanços energéticos, é possível estimar os níveis de emissão de gases de efeito estufa (GEE), aspecto relevante na avaliação dos biocombustíveis e bastante

diferenciado em função da matéria-prima utilizada. Considerando os cultivos usualmente mencionados como de interesse para a produção de bioetanol, na Tabela 1 apresentam-se valores para o balanço energético e o nível de mitigação das emissões de GEE.

**Tabela 1 – Comparação das diferentes matérias-primas para a produção de bioetanol**

| <b>Matéria-prima</b>       | <b>Relação de energia</b> | <b>Emissões evitadas</b> |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Cana                       | 9,3                       | 89%                      |
| Milho                      | 0,6 – 2,0                 | -30% a 38%               |
| Trigo                      | 0,97 – 1,11               | 19% a 47%                |
| Beterraba                  | 1,2 – 1,8                 | 35% a 56%                |
| Mandioca                   | 1,6 – 1,7                 | 63%                      |
| Resíduos lignocelulósicos* | 8,3 – 8,4                 | 66% a 73%                |

\*Estimativa teórica, processo em desenvolvimento.

A efetiva redução das emissões de gases de efeito estufa possivelmente é um dos efeitos positivos mais importantes associados ao bioetanol de cana-de-açúcar. Conforme a Comunicação Brasileira para a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima, com valores para 1994, a utilização da energia da cana reduziu em 13% as emissões de carbono de todo o setor energético. Nas condições atuais, para cada 100 milhões de toneladas de cana-de-açúcar destinadas a fins energéticos, poderia ser evitada a emissão de 12,6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, considerando bioetanol, bagaço e o excedente adicional de energia elétrica fornecida à rede.

### **Co-produtos do bioetanol de cana-de-açúcar**

Além do bioetanol, a agroindústria de cana-de-açúcar produz uma gama crescente de outros produtos de uso final e matérias-primas intermediárias, que ampliam seu significado econômico e permitem, mediante sinergias interessantes, agregar valor ao processo como um todo. Entre esses produtos, destacam-se o açúcar, produto pioneiro e tradicional dessa indústria, e, nos últimos anos, a energia elétrica.

Atualmente, mais de 130 países produzem açúcar, cuja produção mundial na safra 2006/2007 atingiu 164,5 milhões de toneladas. Cerca de 78% do total foi produzido de cana-de-açúcar, cultivada principalmente em regiões tropicais e subtropicais do

hemisfério sul, e o restante utilizou a beterraba açucareira, cultivada nas zonas temperadas do hemisfério norte. Como os custos de produção de açúcar de cana são inferiores aos custos com base na beterraba, cada vez mais amplia-se a fração produzida pelos países em desenvolvimento, à medida que são retiradas as barreiras comerciais que impedem o livre comércio desse produto.

O consumo mundial de açúcar tem se expandido de modo regular a uma taxa anual de 2% ao longo das últimas décadas, o que significa cerca de 3 milhões de toneladas a mais na demanda a cada ano. O crescimento tem ocorrido principalmente nos países em desenvolvimento, como um reflexo do aumento da renda dos consumidores e das mudanças nos padrões alimentares. Esses mercados já representam, atualmente, mais de 60% do atual consumo mundial de açúcar.

A produção de açúcar mostra uma larga faixa de custos de produção. O Brasil apresenta o menor custo entre todos os países produtores, o que se deve, em grande parte, ao desenvolvimento da tecnologia agrícola e industrial associada à expansão da produção de bioetanol.

A bioeletricidade é produzida há décadas na agroindústria canavieira, utilizando o bagaço como combustível em sistemas de co-geração que atendem também, com elevada eficiência, as necessidades de potência mecânica e de calor de processo. Durante décadas, a produção de energia elétrica limitava-se a atender às necessidades próprias da agroindústria. Entretanto, com a evolução do marco regulatório do setor elétrico, tornou-se possível incrementar o desempenho dos sistemas de co-geração que passaram a gerar excedentes para a rede pública, com crescente importância econômica, contribuindo para a oferta de eletricidade em muitos países, como o Brasil.

Como indicadores da maior disponibilidade de energia elétrica, enquanto as condições típicas das caldeiras empregadas nas usinas brasileiras durante os anos 1980 permitiam produzir excedentes da ordem de 10 kWh/tc (tonelada de cana processada), atualmente atingem cerca de 28 kWh/tc na maioria das unidades produtoras e 72 kWh/tc nas usinas mais modernas. Com a utilização de parte da palha da cana colhida e aperfeiçoamentos no processo industrial, os excedentes de energia elétrica poderão atingir mais de 150 kWh/tc. No início de 2008, a capacidade instalada nas usinas de açúcar e bioetanol no Brasil era de 3,1 GW e há perspectivas de que a geração de energia elétrica para a rede pública com base no bagaço possa alcançar 15 GW até 2015, ou 15% da atual potência instalada nas centrais elétricas brasileiras.

Uma avaliação dos custos de oportunidade do bagaço – de acordo com cenários prospectivos de rendimentos e custos de capacidade, nas configurações típicas de preços do bioetanol e da bioeletricidade – indica que a produção de energia elétrica por essa via tende a ser mais atrativa que a produção de biocombustível.

A produção de energia elétrica com base no bagaço é elegível para a obtenção de créditos de carbono sendo a quantificação e a certificação desses créditos, estabelecidas nos termos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme o Protocolo de Quioto.

A cana-de-açúcar permite produzir bem mais do que bioetanol, açúcar e eletricidade. Entre os co-produtos tradicionais da cana, poderiam ser citados o melaço, a aguardente, o bagaço, a levedura, a torta de filtro e a vinhaça, enquanto a lista dos novos produtos, numerosa e variada, inclui desde realçadores de sabor para a indústria de alimentos até plástico para embalagens. Um estudo publicado em 2005 apresenta mais de 60 tecnologias empregando a cana-de-açúcar como matéria-prima em diferentes setores industriais, em boa parte relacionados com a indústria de alimentos.

### **Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar**

Além dos produtos e processos comentados anteriormente, tecnologias inovadoras têm sido propostas para a utilização da cana-de-açúcar como insumo industrial e energético. Tais tecnologias envolvem a produção de bioetanol e consideram processos voltados para a valorização dos materiais lignocelulósicos, mediante sua hidrólise ou gaseificação, e a produção de plásticos biodegradáveis. Neste capítulo, esses temas, que constituem linhas de pesquisas e desenvolvimento, em alguns casos em plantas-piloto, são comentados em seus aspectos tecnológicos e quanto à sua viabilidade econômica.

As tecnologias de hidrólise para a obtenção de bioetanol com base em materiais lignocelulósicos envolvem o fracionamento dos polissacarídeos da biomassa em açúcares fermentescíveis e sua posterior fermentação para a produção do bioetanol. Para executar essa tarefa, a hidrólise utiliza tecnologias complexas e multifásicas, com base no uso de rotas ácidas e/ou enzimáticas para a separação dos açúcares e remoção da lignina. Há uma grande influência da composição e da estrutura da matéria-prima sobre o desempenho dos processos, sendo relevantes as fases iniciais de preparação e pré-tratamento. São igualmente importantes os processos de fermentação das pentoses, ainda pouco desenvolvidos. Embora a hidrólise com ácido

diluído esteja em um estágio de aperfeiçoamento mais avançado que as demais rotas, a hidrólise enzimática tem mais viabilidade e concentra atualmente maior atenção, em especial nos processos com sacarificação e fermentação simultâneas.

Menos trabalhada, mas não menos importante, a outra linha de estudos para a valorização dos resíduos lignocelulósicos da agroindústria emprega processos térmicos, mediante sua gaseificação e posterior conversão do gás obtido em biocombustível ou bioeletricidade. As reações envolvidas são complexas e o desenho dos gaseificadores é ainda relativamente limitado em capacidade, impondo maiores esforços para seu desenvolvimento. A geração de energia elétrica associada à gaseificação de biomassa poderá permitir o emprego de turbinas a gás e ciclos combinados de alta eficiência, mas a alimentação e a operação de gaseificadores pressurizados de grande capacidade, a limpeza do gás, com a separação de álcalis e particulados, assim como a modificação das turbinas a gás para uso de combustível com baixo poder calorífico são aspectos não totalmente equacionados. Na vertente da utilização do gás de biomassa para a síntese de biocombustíveis, em particular nos processos tipo Fischer-Tropsch, há também grande interesse e igual necessidade de aperfeiçoamento dos processos, equipamentos e catalisadores, com expectativas de viabilidade econômica em médio prazo.

Um extenso campo de aplicações para a cana-de-açúcar e para o bioetanol, em especial, é a produção de polímeros diversos, seja no contexto da indústria petroquímica convencional – que tem passado a incluir o bioetanol entre os insumos para a fabricação de etileno e outros produtos intermediários –, seja no âmbito da chamada etanolquímica, que contempla processos mais específicos e avançados, como a fabricação de plásticos biodegradáveis, atualmente em desenvolvimento no Brasil.

À medida que toda a cana, com seus açúcares e fibras, passa a ser uma fonte de materiais de interesse, passível de ser utilizada em uma ampla gama de produtos em processos integrados e interdependentes, as usinas de açúcar e bioetanol decididamente se configuram cada vez mais no contexto das chamadas biorrefinarias, que mimetizam as atuais refinarias da indústria do petróleo, mas em novas bases, renováveis e ambientalmente mais saudáveis.

### **O bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil**

A história quase secular do uso de bioetanol de cana-de-açúcar como combustível no Brasil oferece perspectivas interessantes, desde a progressiva construção de um

arcabouço institucional e a evolução dos parâmetros técnicos agroindustriais, que traçam uma trajetória exemplar de ganhos de produtividade, até a gradual ampliação dos benefícios ambientais, como a redução da demanda de água e o crescente uso de processos de reciclagem.

No desenvolvimento histórico do uso de bioetanol como combustível no Brasil, intervieram visionários e técnicos dedicados, ao mesmo tempo em que se estabeleceu aos poucos uma base legal e institucional que permitiu a esse biocombustível tornar-se um componente regular da matriz energética brasileira. Em 1931, com base nos bons resultados de testes de campo de veículos utilizando bioetanol e com o objetivo de reduzir os impactos da total dependência de combustíveis derivados de petróleo, bem como de utilizar os excedentes de produção da indústria açucareira, o governo brasileiro editou o Decreto 19.717, determinando a mistura compulsória de, no mínimo, 5% de bioetanol anidro à gasolina. Em 1975, sob os efeitos do primeiro choque do petróleo, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), mediante o Decreto 76.593, com metas de produção (3 bilhões de litros de bioetanol em 1980) e incentivos para expandir a produção e o uso de bioetanol combustível, inicialmente incrementando-se a adição de bioetanol anidro à gasolina. Com o recrudescimento da crise do petróleo em 1979, o Proálcool foi intensificado e estimulou-se o uso de bioetanol hidratado em motores adaptados ou especificamente produzidos para o emprego desse biocombustível. Em tais condições, a produção de bioetanol atingiu 11,7 bilhões de litros em 1985, acima da meta inicialmente pretendida.

Em síntese, o conjunto de incentivos adotados pelo Proálcool nessa época, que se mostrou efetivamente capaz de motivar os agentes econômicos, incluía os seguintes pontos: a) definição de níveis mínimos mais elevados no teor de bioetanol anidro na gasolina, que foram, progressivamente, elevados até atingirem 25%; b) garantia de um preço ao consumidor para o bioetanol hidratado menor do que o preço da gasolina (nessa época, os preços dos combustíveis, ao longo de toda a cadeia produtiva, eram determinados pelo governo federal); c) garantia de remuneração competitiva para o produtor de bioetanol, mesmo frente a preços internacionais mais atrativos para o açúcar do que para o bioetanol (subsídio de competitividade), d) abertura de linhas de crédito com empréstimos em condições favoráveis para os usineiros incrementarem sua capacidade de produção; e) redução dos impostos (na venda de carros novos e no licenciamento anual) para os veículos a bioetanol hidratado; f) estabelecimento da obrigatoriedade de venda de bioetanol hidratado nos postos; e g) manutenção de estoques estratégicos para assegurar o abastecimento na entressafra.

Com a redução dos preços do petróleo e a recuperação dos preços do açúcar a partir

de 1985, foram revistas as políticas de fomento ao bioetanol, com o estímulo à fabricação de açúcar para exportação. Nesse quadro de dificuldades e desatenção governamental para com o bioetanol, o mercado se desorganizou e surgiram descontinuidades na oferta de produto, o que levou à adoção de medidas emergenciais, como a redução do teor de bioetanol na gasolina, a importação de bioetanol e o uso de mesclas de gasolina com metanol como substituto de bioetanol.

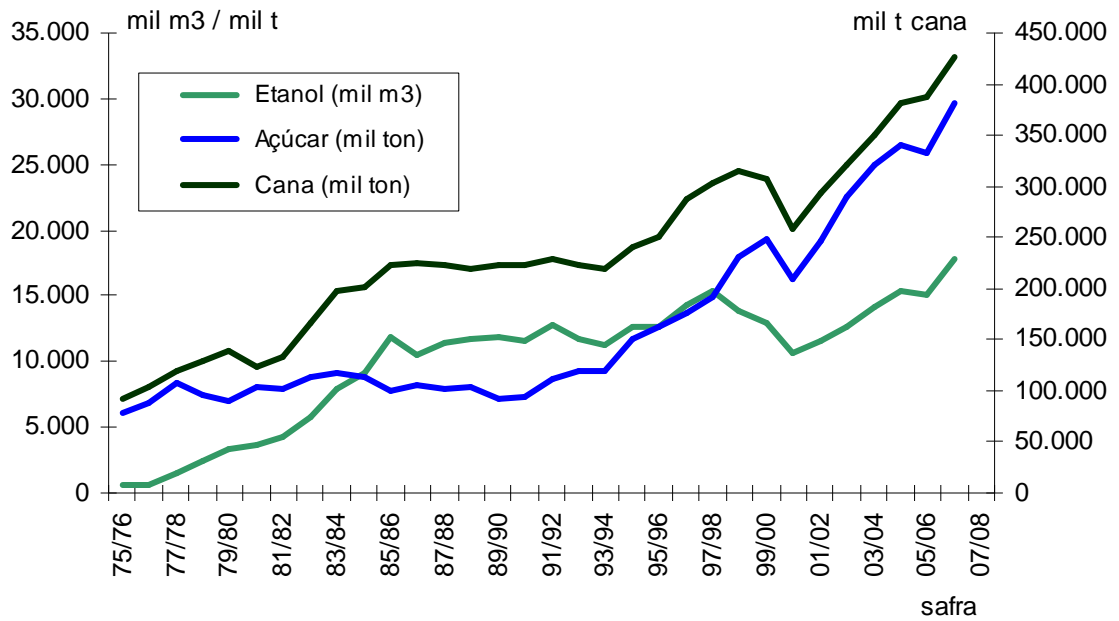
A indústria sucroalcooleira no Brasil, bem como o mercado de combustíveis, que por décadas desenvolveram suas atividades com elevado nível de intervenção governamental, com a definição de mercados, cotas e preços, viveram durante os anos 1990 um processo de liberalização, com a progressiva retirada dos subsídios e o fim do tabelamento dos preços. Como conseqüência, passou a vigorar um novo modelo de relacionamento entre produtores de cana-de-açúcar, produtores de bioetanol e empresas distribuidoras de combustível, no qual prevaleceram as regras de mercado atualmente adotadas no país. Do quadro original de medidas legais e tributárias que permitiram consolidar o bioetanol combustível no Brasil, permanece vigente apenas a tributação diferencial do bioetanol hidratado e dos veículos a bioetanol, que procuram manter em condições mais ou menos paritárias para o consumidor o uso de bioetanol hidratado ou gasolina.

Atualmente, na configuração institucional da agroindústria do bioetanol, destacam-se os seguintes órgãos: Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), cujas atribuições incluem o estabelecimento de diretrizes para os programas de produção e uso dos biocombustíveis; a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), responsável pela regulação e fiscalização das atividades econômicas relacionados ao bioetanol e o biodiesel, pela implementação da política nacional desses produtos com ênfase na garantia de suprimento em todo o território nacional e pela proteção dos interesses do consumidor; e o Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (Cima), entidade que delibera sobre as políticas relacionadas com as atividades do setor sucroalcooleiro no Brasil.

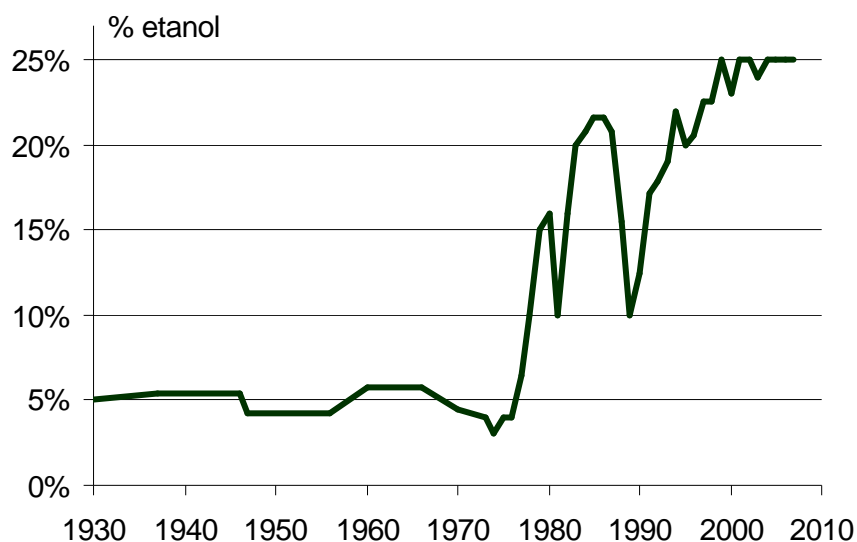
A partir de 2003, com o advento dos carros flexíveis e sua grande aceitação pelos consumidores, retomou-se o crescimento do consumo do bioetanol hidratado no mercado interno, abrindo-se novas perspectivas para a expansão da agroindústria da cana no Brasil, que se somam às possibilidades do mercado internacional de bioetanol anidro para uso em misturas com a gasolina. Desde então, a agroindústria canavieira brasileira tem se expandido a taxas elevadas, como sintetizam os Gráficos 2, 3 e 4, que apresentam, respectivamente, a evolução da produção de cana e bioetanol (anidro e hidratado) e açúcar, a evolução do teor de bioetanol anidro na

gasolina e o comportamento da produção de veículos a bioetanol hidratado.

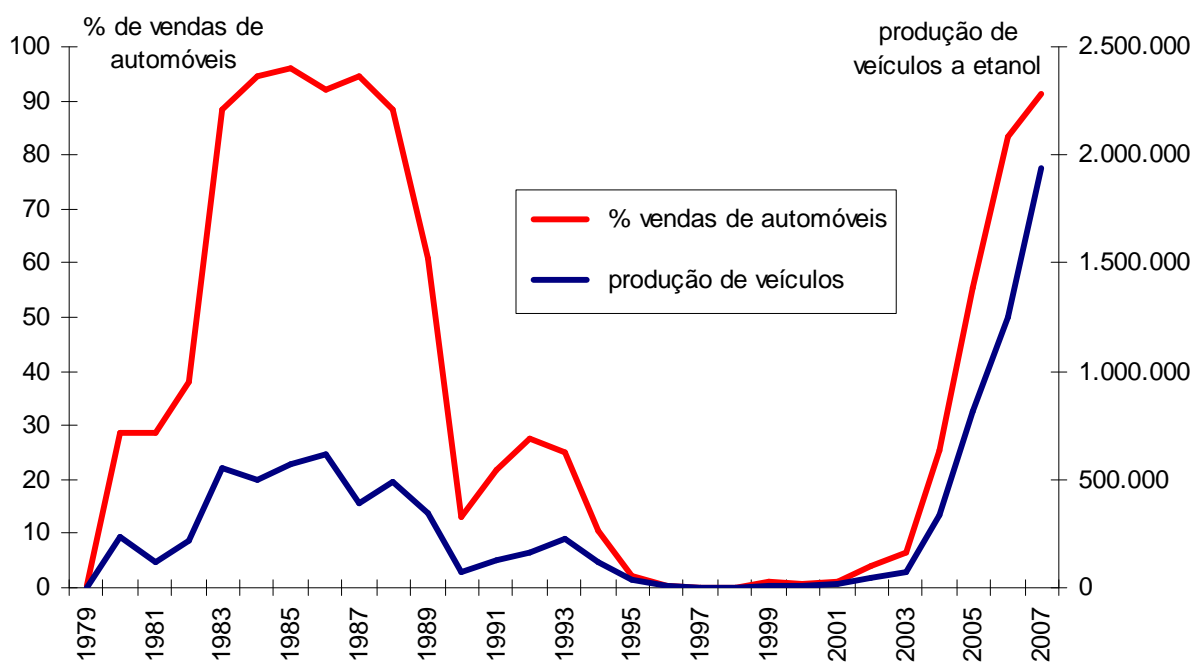
**Gráfico 2 – Evolução da produção de cana-de-açúcar, bioetanol e açúcar no Brasil**



**Gráfico 3 – Teor médio de bioetanol anidro na gasolina brasileira**



**Gráfico 4 – Evolução da produção de veículos a bioetanol hidratado e de sua participação nas vendas de veículos novos**

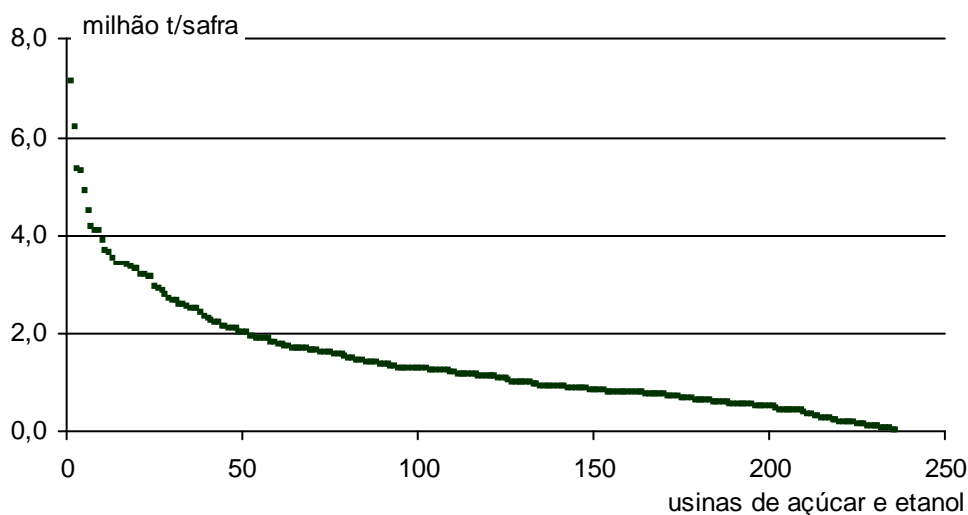


Atualmente, a cana ocupa cerca de 9% da superfície agrícola do país e é a terceira cultura mais importante em superfície ocupada, depois da soja e do milho. Em 2006, a área colhida foi de 5,4 milhões de hectares, para uma área plantada de mais de 6,3 milhões de hectares e produção total de 425 milhões de toneladas. A região produtora

de maior destaque é a do Centro-Sul-Sudeste, que concentra mais de 85% da produção, com cerca de 60% no Estado de São Paulo.

O sistema de produção envolve mais de 330 usinas, com capacidade entre 600 mil e 7 milhões de toneladas de cana processada por ano. Uma usina média tem capacidade para moer cerca de 1,4 milhão de toneladas anuais. A distribuição da capacidade de moagem é apresentada no Gráfico 5 (valores para a safra 2006/2007). Pode-se observar que as dez maiores usinas respondem por 15% do total de matéria-prima processada, enquanto as 182 menores unidades processam metade da cana, sinalizando uma baixa concentração econômica. Do ponto de vista do perfil de produção, as usinas brasileiras podem ser classificadas em três tipos de instalações: as usinas de açúcar, que produzem exclusivamente açúcar; as usinas de açúcar com destilarias anexas, que produzem açúcar e bioetanol; e as instalações que produzem exclusivamente bioetanol, ou destilarias autônomas. A grande maioria das instalações é formada por usinas de açúcar com destilarias anexas (cerca de 60% do total), seguidas por um considerável montante de destilarias autônomas (cerca de 35%) e por algumas unidades de processamento exclusivo de açúcar. As usinas brasileiras trabalham, em média, com 80% da cana proveniente de terras próprias e arrendadas ou de acionistas e companhias agrícolas com alguma vinculação às usinas. Os 20% restantes são fornecidos por cerca de 60 mil produtores independentes, a maioria utilizando menos de dois módulos agrícolas.

**Gráfico 5 – Distribuição da capacidade anual de processamento das usinas de açúcar e bioetanol no Brasil**



Conforme números da safra 2006/2007, o agronegócio da cana-de-açúcar, que engloba a produção de cana, açúcar e bioetanol, movimentou em 2007 cerca de R\$ 41 bilhões, correspondentes a faturamentos diretos e indiretos. Foram produzidos 30 milhões de toneladas de açúcar e 17,5 bilhões de litros de bioetanol e foram exportados 19 milhões de toneladas de açúcar (US\$ 7 bilhões) e 3 bilhões de litros de bioetanol (US\$ 1,5 bilhão), representando 2,65% do Produto Interno Bruto (PIB). Além disso, foram recolhidos R\$ 12 bilhões em impostos e taxas e realizaram-se investimentos anuais de R\$ 5 bilhões em novas unidades agroindustriais. Associada à expansão da produção sucroalcooleira, tem ocorrido uma significativa diversificação da composição e da origem do capital investido na agroindústria, originalmente quase todo baseado em empresas familiares.

É importante observar que a expansão da produção de bioetanol e açúcar nas últimas décadas ocorreu não apenas com o aumento da área cultivada, mas também com expressivos ganhos de produtividade nas fases agrícola e industrial, que apresentaram incrementos anuais acumulados de 1,4% e 1,6%, respectivamente, e resultaram em uma taxa de crescimento anual de 3,1% na produção de bioetanol por hectare cultivado, ao longo de 32 anos. Graças a esses ganhos de produtividade, a área atualmente dedicada à cultura da cana para produção de bioetanol, cerca de 3,5 milhões de hectares, é 38% da área que seria requerida considerando a produção atual e a produtividade agroindustrial observada no início do Proálcool, em 1975. Esse

notável ganho de produtividade, multiplicando por 2,6 o volume de bioetanol produzido por área cultivada, foi conseguido essencialmente mediante a contínua incorporação de novas tecnologias. Como conseqüência direta da evolução da produtividade, observou-se uma progressiva redução dos custos, configurando um processo de aprendizagem e consolidação similar ao apresentado por outras tecnologias energéticas inovadoras.

Na promoção do desenvolvimento tecnológico, foi e é importante a existência de instituições públicas, federais e estaduais, bem como empresas privadas voltadas para a agregação de conhecimento à cadeia produtiva do bioetanol de cana-de-açúcar, em particular na etapa agrícola. Esse processo envolve melhoramento genético, mecanização agrícola, gerenciamento, controle biológico de pragas, reciclagem de efluentes e práticas agrícolas conservacionistas de maior desempenho, apresentando resultados efetivos e com promissoras perspectivas de ganhos adicionais de eficiência nos sistemas de produção.

#### **A sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar: a experiência brasileira**

Em uma acepção ampla, de um modo cada vez mais decisivo, impõe-se que os sistemas energéticos sejam não apenas conceitualmente renováveis, mas também efetivamente sustentáveis. Contudo, determinar a sustentabilidade de um sistema energético não é uma tarefa simples, pois depende não apenas do vetor energético, mas, fundamentalmente, do contexto de sua produção e utilização, com procedimentos e métodos ainda por consolidar. Entretanto, ainda que o debate sobre a sustentabilidade das bioenergias esteja em curso e, com freqüência, se polarize entre visões utilitaristas e preservacionistas, o aproveitamento pelas sociedades humanas da produção vegetal vem sendo praticado há milênios mediante a agricultura nos mais diferentes ecossistemas e deve ser considerado uma alternativa energética a ser mais bem conhecida e promovida nos contextos em que se mostrar adequada.

Nesse sentido, este capítulo apresenta a produção de bioetanol de cana-de-açúcar sob o prisma da sustentabilidade, definida como a possibilidade de os sistemas bioenergéticos manterem sua produção em largo prazo, sem depleção sensível dos recursos que lhe dão origem, como a biodiversidade, a fertilidade do solo e os recursos hídricos. Tal enfoque se baseia em uma das definições clássicas de sustentabilidade: "condição em que a produção pode ser mantida indefinidamente sem degradar os estoques de capital, incluindo-se os estoques de capital natural", considerados os seus três pilares – ambiental, social e econômico – e avaliando-se a produção de bioetanol de cana-de-açúcar como praticada no Brasil.

Considerando os temas mais relevantes associados aos impactos ambientais na produção de cana e bioetanol, com base em diversos estudos de campo, é possível mostrar como a agroindústria canaveira no Brasil tem evoluído positivamente. As emissões de efeito global (gases de efeito estufa) são efetivamente mitigadas pela produção e o uso do bioetanol e do bagaço, substituindo combustíveis fósseis, enquanto as emissões de caráter local, especialmente associadas à queima pré-colheita da cana, vêm se reduzindo pela adoção da colheita mecanizada da cana crua, em cumprimento aos protocolos firmados entre a agroindústria e o governo.

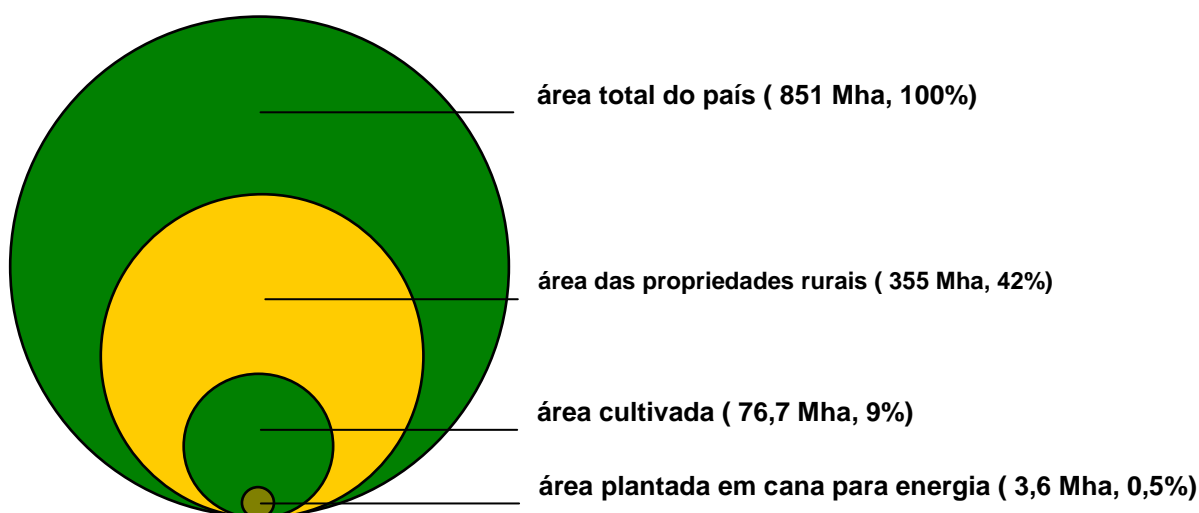
Do ponto de vista dos recursos hídricos, constata-se uma notável redução da captação de água e lançamento de efluentes, superior a 60%, alcançada mediante a racionalização do uso e a adoção de técnicas de reuso, enquanto a disposição final da vinhaça em sistemas de fertirrigação permitiu aumentar a produtividade agrícola e reduzir o emprego de fertilizantes. Quanto ao uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, tem sido demonstrado como a cana-de-açúcar, comparada a outros cultivos de importância, demanda menor aporte de agroquímicos, seja pela maior reciclagem dos nutrientes, seja pela ampla adoção de métodos biológicos de controle de pragas.

A redução da erosão e a proteção da fertilidade do solo são naturalmente favorecidas pelo fato de a cana ser um cultivo semiperene, mas também têm sido promovidas mediante técnicas agrícolas adequadas. Da mesma forma, a biodiversidade tem sido objeto de maior atenção na agroindústria, pela proteção das áreas de preservação permanente e pela renovação e diversificação da base de germoplasma em exploração. É importante observar que a efetiva aplicação da legislação e a difusão de uma postura mais favorável ao ambiente natural decorrem e dependem da presença clara e ativa do Estado, que tem a missão de implementar e fiscalizar a observância da legislação ambiental.

Como temas ambientais recentes e ainda pouco discutidos, analisam-se a emissão de gases de efeito estufa associada à mudança do padrão de uso do solo, com a perda de sua cobertura original, quando da implantação dos canaviais, e o processo indireto de desmatamento causado pela ocupação das áreas de pastagens pela cana. No caso do bioetanol no Brasil, é pouco provável que possam ser associadas perdas de cobertura florestal à produção de bioetanol, já que a expansão da lavoura canaveira tem ocorrido basicamente em áreas antes ocupadas por pastagens de baixa produtividade ou culturas anuais destinadas, em grande parte, à exportação, como a soja, casos em que o sistema radicular e a biomassa sobre o solo são, geralmente, de menor magnitude do que no caso da cana. Com referência ao desmatamento indiretamente induzido pela expansão da cultura da cana-de-açúcar, cabe comentar

que o Brasil, assim como diversos outros países situados na região tropical úmida do planeta, possui terras disponíveis para uma expressiva expansão da produção agrícola, podendo produzir de forma sustentável alimentos e bionergia sem precisar abrir mão de seu patrimônio florestal. Os canaviais destinados à produção de combustíveis, no Brasil, correspondem a uma reduzida parcela da área agrícola e do território do país, como mostrado na Figura 3. Efetivamente, a produção de bioetanol de cana-de-açúcar não implica desmatamento, cuja complexa problemática impõe o ordenamento da expansão das atividades agropecuárias na região amazônica e o reforço das medidas de fiscalização e execução legal.

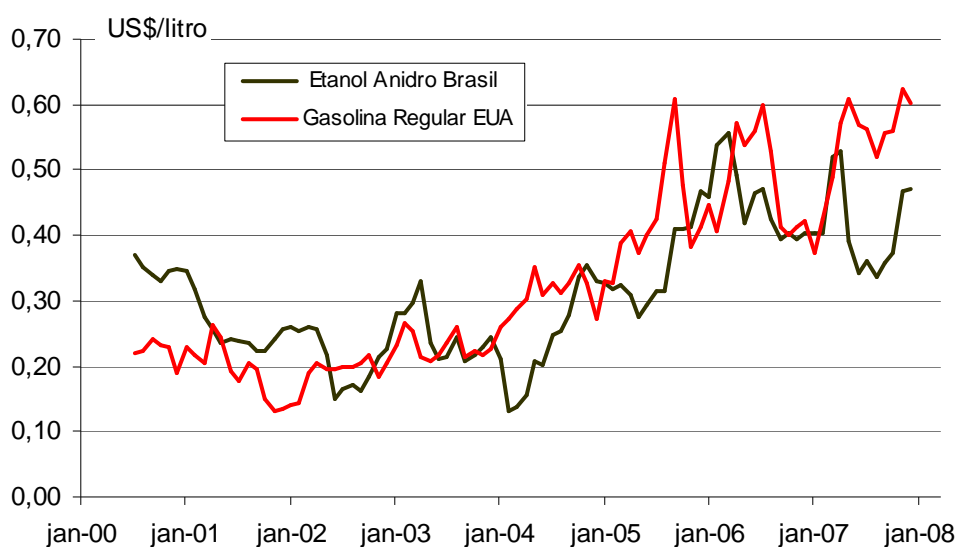
**Figura 3 – Uso da terra no Brasil**



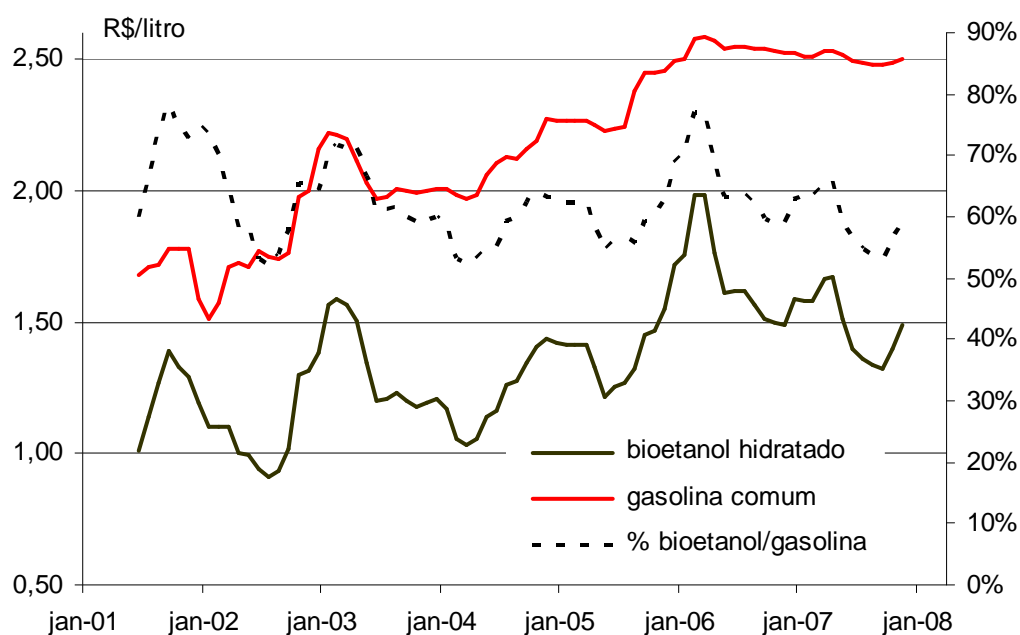
Um instrumento importante para o ordenamento da expansão da agroindústria do bioetanol no Brasil, o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar, desenvolvido pelo governo federal com base em informações de mapas de solo, de clima, de áreas de reserva ambiental, geomorfológicos e topográficos, estabelece as áreas aptas e as regiões para as quais não se recomenda essa cultura em grande escala. Por isso, esse trabalho pode ser utilizado como instrumento norteador de políticas de financiamento, investimentos em infra-estrutura e aperfeiçoamento do marco tributário, bem como deve servir para eventuais certificações socioambientais que venham a ser estabelecidas. Segundo esse levantamento, a área disponível e com aptidão para a cultura da cana, sem considerar o uso da irrigação, supera os 110 milhões de hectares.

Com referência à sustentabilidade econômica do bioetanol de cana-de-açúcar, como sintetizado nos Gráficos 6 e 7, o bioetanol se mostra competitivo frente aos combustíveis convencionais em termos de preços internacionais ao produtor (ex-tributos) nos mercados livres, bem como nos preços finais para o consumidor, nas condições praticadas no Brasil.

**Gráfico 6 – Evolução dos preços pagos ao produtor de gasolina nos EUA e de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil, sem tributos**



**Gráfico 7 – Evolução dos preços médios ao consumidor do bioetanol hidratado e da gasolina comum e da relação entre esses preços no Brasil**



Considerando os custos de produção – matéria-prima, operação, manutenção e investimento –, o custo final do bioetanol de cana-de-açúcar situa-se entre US\$ 0,35 e US\$ 0,40 por litro de bioetanol, valores correspondentes ao petróleo entre US\$ 50 e US\$ 57 o barril equivalente, significativamente inferior aos valores de mercado desse combustível fóssil. É provável que, nas usinas em implantação nas novas fronteiras produtoras, os custos do bioetanol sejam inferiores, tendo em vista a localização dessas plantas, com maior densidade dos canaviais (menores custos de transporte) e o fato de serem dedicadas apenas à produção de biocombustível, o que reduz os custos da matéria-prima e os investimentos. Por outro lado, considerando as usinas mais antigas e completamente amortizadas, o bioetanol poderá também apresentar menores custos de ordem financeira, do mesmo modo que níveis mais elevados de produção de energia elétrica com base no bagaço tendem a melhorar os indicadores dessa agroindústria, de modo geral. Outra ressalva importante se refere ao impacto da taxa de câmbio adotada, pois a expressiva valorização da moeda brasileira em anos recentes tem elevado bastante o valor dos produtos da agroindústria sucroalcooleira, quando avaliados em divisas.

Se forem levadas em conta as possibilidades de continuidade no processo de incremento da produtividade agrícola e industrial, é razoável esperar que os custos de

produção do bioetanol de cana-de-açúcar permaneçam estáveis ou se reduzam em termos relativos, enquanto, do lado dos combustíveis fósseis, os cenários esperados são de manutenção de preços elevados, sem perspectivas de redução aos níveis praticados há algumas décadas. Portanto, do ponto de vista econômico, a produção de bioetanol de cana-de-açúcar apresenta-se sustentável, com preços e custos efetivamente viáveis, sem necessidade de subsídios para competir com os combustíveis convencionais, desde já.

Para concluir a análise da sustentabilidade da produção de bioetanol de cana-de-açúcar, do ponto de vista das implicações sociais, é oportuno demonstrar a relevância da geração de empregos e renda nessa agroindústria. Em 2005, havia 982 mil trabalhadores diretamente e formalmente envolvidos com a produção sucroalcooleira. Estimava-se para esse mesmo ano um total de 4,1 milhões de pessoas trabalhando de algum modo dependentes da atividade da agroindústria da cana. No tocante à qualidade dos empregos, com base em dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) e adotando como variáveis o nível educacional dos empregados, o grau de formalidade do emprego, o rendimento recebido no trabalho principal e os auxílios recebidos pelos empregados, foram definidos índices quantitativos que permitem estabelecer uma avaliação objetiva das condições de trabalho e sinalizam melhorias importantes em diversos indicadores socioeconômicos para os trabalhadores na lavoura da cana-de-açúcar no Brasil nos últimos anos, como ganhos reais de salários, aumento e diversificação dos benefícios recebidos pelos trabalhadores, redução expressiva do trabalho infantil e elevação da escolaridade.

Apesar dessas melhorias, o trabalho na produção de bioetanol, especialmente nas atividades manuais no campo, é geralmente pesado e compete ao Estado a permanente fiscalização da estrita observância da legislação trabalhista, fator essencial para coibir as distorções ainda existentes e promover o progresso das relações de trabalho nesse setor.

A criação de oportunidades de trabalho e a distribuição entre trabalhadores do valor agregado na cadeia produtiva são duas das características mais importantes da bioenergia e, em particular, do bioetanol de cana-de-açúcar, constituindo um diferencial relevante entre essa tecnologia energética e suas congêneres. Mesmo com a progressiva adoção de tecnologias de alta produtividade, como a colheita mecanizada, a produção de bioetanol permanece uma grande geradora de empregos, cada vez de maior qualidade, com correspondente elevação dos requisitos de capacitação e da remuneração média. Do mesmo modo, cabe reconhecer o papel relevante da atividade agroindustrial como geradora de renda e dinamizadora da

atividade econômica local e regional, com benefícios indiretos significativos. Com base em uma análise desenvolvida com auxílio de uma matriz de relações intersetoriais (insumo-produto), ajustada para 2002, foi estimado que, para cada milhão de metros cúbicos de bioetanol colocado em produção, são agregados R\$ 119 milhões por ano devidos aos investimentos. Durante a operação, deve ser ainda gerado anualmente cerca de R\$ 1,46 bilhão, computados os efeitos diretos, indiretos e induzidos.

Como uma forma de assegurar a observância dos critérios de sustentabilidade na produção de biocombustíveis, têm sido propostos, principalmente por iniciativas de países industrializados, diversos sistemas de certificação visando explicitamente assegurar que a produção e a distribuição ocorram de modo sustentável. Acredita-se que, adequadamente desenhados e bem implementados, esses sistemas de informação poderão servir como instrumentos para que a produção dos biocombustíveis se desenvolva em um marco desejável de racionalidade, como tem sido demonstrado que o bioetanol de cana-de-açúcar pode atender competitivamente.

### **Perspectivas para um mercado mundial de biocombustíveis**

A existência de países com boas condições para a produção sustentável de bioetanol e a necessidade mundial de um combustível renovável e ambientalmente adequado sinalizam perspectivas interessantes para que esse biocombustível seja um produto global. Para tanto, é interessante caracterizar o potencial bioenergético, que depende de cenários geográficos, econômicos e políticos dinâmicos e tecnologias de produção e conversão, algumas ainda em desenvolvimento.

Por meio de metodologias que levam em conta a base de recursos naturais disponível e as projeções de demanda de bens agrícolas, estima-se que a contribuição potencial da biomassa para o futuro da oferta global de energia poderá variar de cerca de 100 EJ/ano a 400 EJ/ano, em 2050, o que significa de 21% a 85% do atual consumo total de energia no planeta, estimado em 470 EJ. Em outros estudos, detalhados por tipo de recurso e região, constata-se que o maior potencial para a produção de cultivos energéticos encontra-se na África Subsaariana e na América Latina e Caribe, que alcançam, no cenário com maior eficiência na alimentação animal, produções anuais de 317 EJ e 281 EJ, respectivamente.

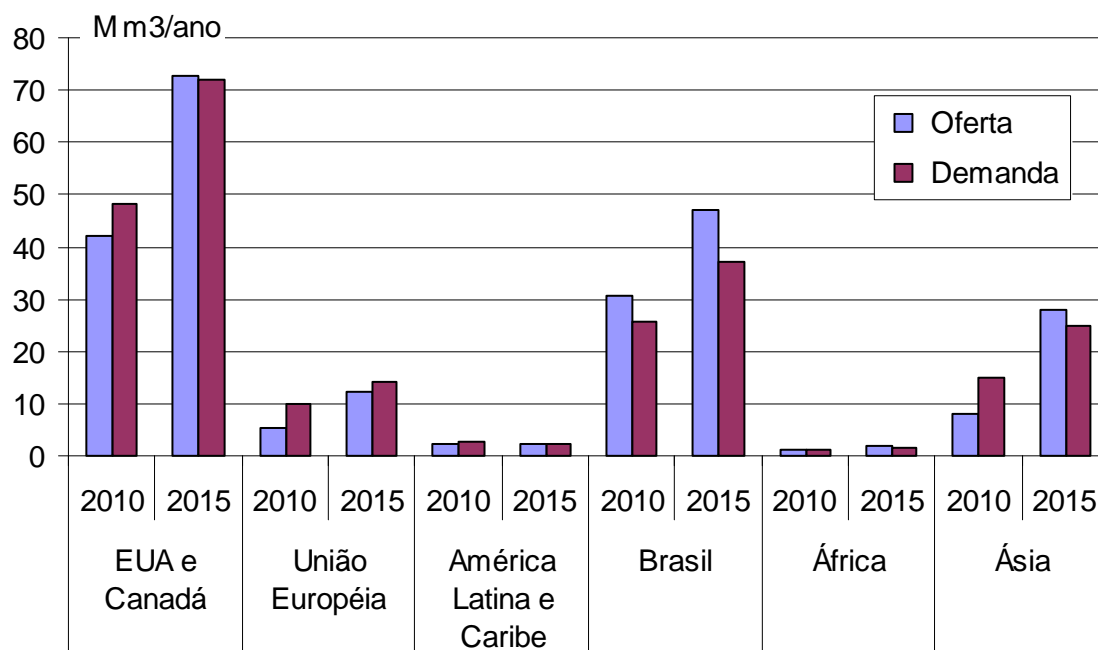
Um relatório da Agência Internacional de Energia aponta como realista a expectativa de que a atual contribuição da bioenergia, entre 40 EJ e 55 EJ por ano, aumentará consideravelmente, sendo esperado ainda neste século um aporte anual entre 200 EJ e 400 EJ. Esse relatório observa que um terço dessa energia poderia ser suprido por

resíduos, um quarto pela regeneração de terras degradadas ou marginais e o restante por terras agricultáveis e, sobretudo, pastagens atuais.

Com referência ao mercado para o bioetanol, projeta-se para 2010 uma demanda global de 101 bilhões de litros, frente a uma oferta estimada em 88 bilhões de litros, quadro que tende ao equilíbrio em 2015, quando a oferta deverá situar-se perto de 162 bilhões de litros, para uma demanda no patamar de 150 bilhões de litros, distribuindo-se entre as regiões de modo heterogêneo, conforme mostrado no Gráfico 8.

Como condição fundamental para que se desenvolvam nos próximos anos os potenciais de produção e, conseqüentemente, o mercado global de bioetanol, políticas voltadas para a promoção dos biocombustíveis têm sido propostas e implementadas em diversos países, em grau variável de clareza e objetividade. Uma análise dessas políticas mostra que o aumento da segurança energética e a mitigação de mudanças climáticas estão entre os mais importantes fatores de motivação para programas bioenergéticos na maioria dos países. As questões ambientais estão mais presentes nos países industrializados, enquanto a promoção do desenvolvimento rural é um objetivo relevante para os demais países, propósito quase sempre alinhado a uma agenda de combate à pobreza. Todos os países destacam em suas políticas diversos objetivos centrais e concorrentes, o que pode tornar o desenvolvimento da bioenergia uma tarefa difícil, eventualmente além das possibilidades de uma transição de bases energéticas, que, por si só, configura-se complexa. De todo modo, é positiva a clara inserção da bioenergia na agenda das políticas públicas.

**Gráfico 8 – Estimativas de oferta e demanda de bioetanol combustível para 2010 e 2015**



Relacionado com o desenvolvimento de um mercado global para os biocombustíveis, é essencial entender as interações entre os mercados de alimentos e a produção bioenergética. Em particular quanto à disponibilidade de recursos para produção de alimentos, constata-se que a utilização de terras agrícolas para produção de matérias-primas de interesse energético é quase desprezível frente à área total cultivada. Com efeito, atualmente, apenas cerca de 1% das terras aráveis do mundo é utilizada para a produção de biocombustíveis líquidos, com perspectivas de ser incrementada para 3% a 4% em 2030. Estruturalmente, não são as limitações de área cultivável que atentam contra a segurança alimentar e restringem as possibilidades de produção de biocombustíveis. Da mesma forma, a crise atual no mercado de produtos alimentares, decididamente, não é uma crise de insuficiência na produção de alimentos. A produção mundial de alimentos tem crescido de forma sistemática e sua oferta por pessoa aumentou 24% nos últimos 40 anos, passando de 2.360 para 2.803 calorias diárias *per capita*, enquanto a população evoluiu de três para seis bilhões de pessoas.

Apesar disso, é importante reconhecer que os impactos dos biocombustíveis são claramente diferenciados segundo sua origem. A produção de biocombustíveis mediante rotas tecnológicas de baixa produtividade nos contextos norte-americano e europeu apresenta limites evidentes, diretamente relacionados com a produção de

alimentos, envolvendo o aproveitamento de nichos de produção, especialmente em casos de excedentes agrícolas, que podem representar um pequeno percentual do consumo interno de combustíveis líquidos nesses países. Tal realidade abre uma janela de oportunidade para a produção racional e sustentável de biocombustíveis no contexto de países tropicais úmidos da América Latina e Caribe, África e Ásia, que gradualmente poderia permitir aos países de alto consumo energético atingir taxas de substituição bem mais elevadas, de 20% a 30%, sem afetar de forma relevante a produção de outros bens agrícolas e com um considerável potencial de desenvolvimento nessas regiões.

O efeito da produção de biocombustíveis sobre a demanda de produtos agrícolas é agravado pelas práticas protecionistas amplamente adotadas pelos países industrializados, com sérias implicações, em pelo menos duas vertentes. Por um lado, a manutenção de preços de proteção para seus agricultores pressupõe a existência de barreiras tarifárias que dificultam ou impedem o acesso de produtos agrícolas oriundos dos países em desenvolvimento aos mercados dos países industrializados, desestimulando a produção para exportação. Por outro lado (e pior), os excedentes da produção subsidiada desequilibram de modo perverso o mercado mundial de bens agrícolas, o que causa o aviltamento dos preços internacionais e desestrutura a produção de alimentos na maioria dos países de menor renda.

A base de recursos naturais disponíveis no planeta é amplamente suficiente para a produção bioenergética sustentável em volumes razoáveis, com reduzido impacto em outras atividades, desde que sejam adotadas rotas tecnológicas racionais, como o bioetanol de cana-de-açúcar, que, por seus indicadores diferenciados de produtividade, dificilmente pode ser associado a uma crise de oferta e de preços dos alimentos. Além disso, a adoção de tecnologias mais eficientes, que reduzam perdas e racionalizem os sistemas produtivos agropecuários, possivelmente será ainda mais importante do que a larga disponibilidade de recursos naturais como fator mitigador da disputa entre produção de alimentos e bioenergia (e outros produtos agrícolas não-alimentares) por terras e demais recursos produtivos.

Com o propósito de dar mais consistência à discussão sobre os nexos entre a produção de biocombustíveis e a disponibilidade de alimentos, bem como para caracterizar correlações entre os preços dos diferentes produtos, foi avaliada a evolução dos preços internacionais para diferentes categorias de produtos agrícolas entre março de 1990 e março de 2008, agregados segundo sua relação direta, indireta ou não-relevante com a produção de biocombustíveis. Embora tenha sido determinado que há uma correlação clara entre os preços do petróleo e os dos produtos agrícolas

relacionados aos biocombustíveis, no caso do açúcar, associado à cana-de-açúcar, tal correlação é bem menor. Esse dado confirma o reduzido nexo entre o bioetanol de cana-de-açúcar e a elevação dos preços dos alimentos.

Existem bons motivos para promover, sob critérios de sustentabilidade, um mercado de bioetanol, que vão além da possibilidade de que os países produtores e consumidores desse biocombustível possam cumprir os objetivos dos acordos ambientais internacionais. Nesse sentido, as estratégias nacionais devem atender adequadamente às suas perspectivas de desenvolvimento e às demandas de energia, agricultura e comércio, o que implica considerar a entrada em um futuro mercado internacional de bioetanol ou priorizar o produto nacional para o desenvolvimento rural e para fornecimento de energia para uso doméstico. Em qualquer caso, na proposição de programas consistentes para a produção e o uso de bioetanol, em países onde essa tecnologia energética ainda é incipiente, é imperativo que sejam realizadas avaliações e estudos prévios, para estabelecer metas coerentes à base de recursos existentes. É bem provável que um mercado global para o bioetanol seja uma realidade em poucos anos. Contudo, sua magnitude e sua abrangência entre os países dependerão de diversos elementos que ainda estão se delineando, tais como as políticas dos países em relação aos seus mercados internos, discussões sobre critérios de sustentabilidade, negociações de comércio internacional e reação da sociedade civil nos países em desenvolvimento e nos países industrializados, compondo um quadro dinâmico e em definição.

### **Uma visão do futuro para o bioetanol combustível**

A bioenergia representa uma das melhores alternativas para captar e armazenar a energia solar, um dos poucos recursos naturais subutilizados pela humanidade, sempre que se disponha de terras livres, clima adequado (luz, água e temperatura) e, na mesma importância, conhecimento suficiente e disposição empreendedora para aplicá-lo. Especialmente apta para o suprimento de combustíveis veiculares, a energia solar na forma de bioetanol, produzido com eficiência e sustentabilidade, é capaz de atender às urgentes demandas para redução das emissões de gases de efeito estufa, melhorar a qualidade do ar nas metrópoles e competir em preço com as energias convencionais. Além disso, essa rota pode proporcionar uma nova dinâmica agroindustrial para os países tropicais com disponibilidade de terras e disposição para superar esquemas energéticos concentrados e ambientalmente problemáticos, capaz

de conferir segurança energética e trazer novas perspectivas de crescimento econômico.

A experiência brasileira nesse campo pode e deve ser uma referência para outros países e contextos similares. São muitos os países em condições de promover a produção e o uso de bioetanol de cana-de-açúcar, adaptando o exemplo do Brasil a suas características, potenciais e mercados. Esses países, no entanto, ainda carecem de estudos e avaliações mais detalhadas, para a adequada formulação e a implantação de programas nacionais, com eficiência e consistência. Da mesma forma, diversos países têm buscado reduzir sua dependência energética, diminuir suas emissões de carbono e melhorar a qualidade do ar de suas cidades, mas, de modo geral, ainda não incluem a utilização de bioetanol de cana-de-açúcar entre suas alternativas, erigindo barreiras que protegem rotas pouco eficientes e não-sustentáveis.

Constatados concretamente e bem documentados com base na experiência de décadas no Brasil, podem ser destacados os seguintes pontos que configuram o bioetanol de cana-de-açúcar como uma opção energética estratégica e sustentável, passível de ser replicada e adaptada em outros países com disponibilidade de terras e condições edafoclimáticas adequadas:

1. **O bioetanol pode ser utilizado em motores veiculares, puro ou em misturas com gasolina, com bom desempenho** e empregando essencialmente o mesmo sistema de distribuição e armazenamento existente para a gasolina. Em teores até 10%, os efeitos do bioetanol são quase imperceptíveis sobre o consumo dos veículos, que podem, nesses níveis, empregar esse biocombustível em seus motores sem qualquer modificação.
2. **O bioetanol de cana-de-açúcar é produzido com elevada eficiência na captação e na conversão de energia solar** (relação produção/consumo de energia acima de 8), com produtividade agroindustrial bastante superior à dos demais biocombustíveis. Esse produto alcança perto de oito mil litros por hectare e significativa disponibilidade de excedentes de interesse energético, como biocombustíveis sólidos (bagaço e palha) e, principalmente, bioeletricidade.
3. **O bioetanol de cana-de-açúcar, produzido nas condições brasileiras, mostra-se competitivo com o petróleo ao redor de US\$ 50 o barril**, com um custo de produção determinado principalmente pela matéria-prima. A tecnologia empregada para sua produção está aberta e disponível, podendo

ser, progressivamente, introduzida na agroindústria canavieira voltada para a fabricação de açúcar.

4. **Os impactos ambientais de caráter local associados à produção de bioetanol de cana-de-açúcar** sobre os recursos hídricos, o solo e a biodiversidade e decorrentes do uso de agroquímicos, entre outros, **podem ser e, em boa medida, foram efetivamente atenuados a níveis toleráveis**, inferiores à maioria de outras culturas agrícolas.
5. **O uso do etanol de cana-de-açúcar permite reduzir em quase 90% as emissões de gases de efeito estufa**, contribuindo de modo efetivo para mitigar a mudança climática. Nas condições atuais, para cada milhão de metros cúbicos de bioetanol de cana-de-açúcar empregado em mistura com gasolina, cerca de 1,9 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> deixam de ser emitidos para a atmosfera.
6. **São significativas as perspectivas de desenvolvimento tecnológico na agroindústria do bioetanol de cana-de-açúcar**, com aumento da produtividade e do desempenho energético e diversificação da gama de produtos, com destaque para as rotas de hidrólise e gaseificação, de interesse no incremento da produção de bioetanol e bioeletricidade.
7. **Os empregos na agroindústria do bioetanol de cana-de-açúcar apresentam bons indicadores de qualidade** e, ainda que a crescente mecanização na colheita da cana-de-açúcar reduza o trabalho braçal, a demanda de mão-de-obra permanece bastante elevada por unidade de energia produzida, em comparação com outras fontes energéticas.
8. **A produção de bioetanol de cana-de-açúcar, como desenvolvida no Brasil e em outros países com suficiente disponibilidade de terras, pouco afeta a produção de alimentos**, ocupando uma área muito reduzida em relação à área cultivada para alimentos e às áreas disponíveis para a expansão das atividades agrícolas em geral.
9. **A agroindústria do bioetanol de cana-de-açúcar articula-se com muitos setores da economia e promove o desenvolvimento de diversas áreas**, como a prestação de serviços, a indústria de equipamentos agrícolas e industriais e a logística.
10. **São amplas as possibilidades de expandir a produção de bioetanol de cana-de-açúcar**, não apenas no Brasil, como também em outros países

tropicais úmidos, considerando a disponibilidade de terras ociosas ou utilizadas com atividades pecuárias de baixa produtividade e a existência de clima adequado.

A agroindústria da cana-de-açúcar ainda apresenta grandes possibilidades de diversificação de seus produtos e incremento das disponibilidades energéticas, seja caminhando-se em direção às biorrefinarias, complexos produtivos capazes de fornecer bioenergia e biomateriais diversos, seja reforçando a base de recursos genéticos, inclusive com estudos ao nível do processo fotossintético. A agroindústria da cana-de-açúcar está apenas começando a mostrar suas possibilidades.

Há, certamente, muito que fazer e desafios por superar para a expansão dos sistemas bioenergéticos, mas os benefícios serão proporcionais, na medida em que um desenvolvimento energético saudável e consistente é determinante para consolidar uma nova relação entre a natureza e a sociedade. É com base nesse ponto de vista que a produção e o uso de bioetanol de cana-de-açúcar oferecem a perspectiva concreta de uma realidade energética mais sustentável e fazem dessa agroindústria a alavanca de desejáveis transformações sociais e econômicas. O modelo brasileiro, aperfeiçoado por décadas e com possibilidades de expandir-se com produtividade e eficiência, está à disposição dos países que buscam reduzir competitivamente suas emissões de gases de efeito estufa e diversificar suas fontes de suprimento energético ou que, por seu clima, seu solo e sua gente, poderão replicar com sucesso a produção eficiente de biocombustíveis, para uso e benefício de todos.