

Etanol, meio ambiente e tecnologia

Reflexões sobre a experiência brasileira

Alexandre Betinardi Strapasson¹
Luís Carlos Mavignier de Araújo Job²

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

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

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

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

Introdução

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Objetivo

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

Etanol, meio ambiente e tecnologia

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

Fase agrícola

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

⁽¹⁾ F. O. Licht (2004).

⁽²⁾ Macedo (2005).

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

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

Fase industrial

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fonte: Haandel e Lier (2006).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

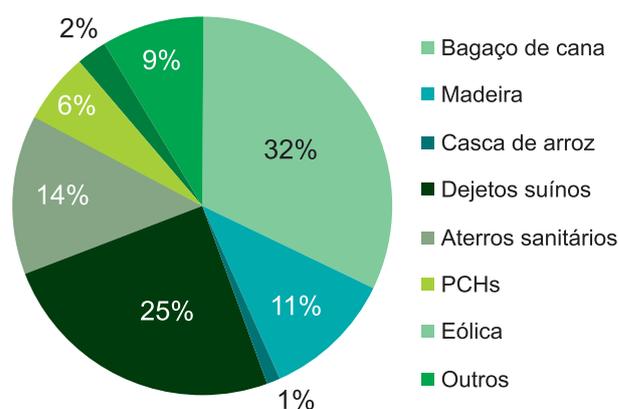


Fig. 1. Perfil dos projetos de MDL aprovados pelo governo brasileiro.
Fonte: Brasil (2006).

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

Distribuição e consumo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

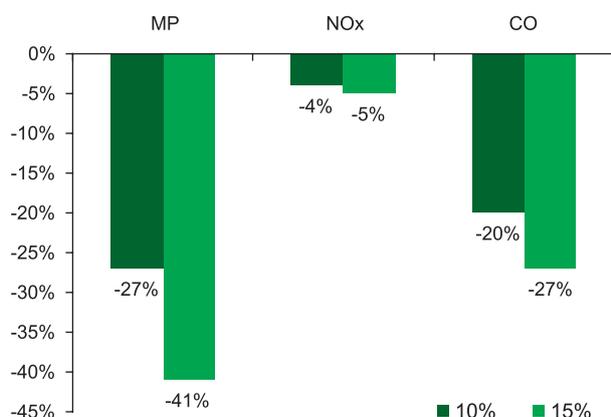


Fig. 2. Redução de emissões em mistura álcool/diesel (10% e 15%), em relação ao diesel puro.

Fonte: Ahmed (2002).

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

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

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

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

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

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

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

Fonte: Anfavea (2006a).

Considerações finais

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

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

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

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

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

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

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

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

Referências

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

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