



ÓLEO DE GIRASSOL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIOCOMBUSTÍVEIS

Décio Luiz Gazzoni

Introdução

A demanda projetada de energia no mundo aumentará 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando alcançará 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP ou Toe, na sigla internacional, em inglês) por ano (Mussa, 2003). Sem alteração da matriz energética mundial, os combustíveis fósseis responderiam por 90% do aumento projetado na demanda mundial até 2030.

De outra parte, o mundo está cada vez mais temeroso dos impactos negativos dos combustíveis fósseis sobre o clima. No Brasil, são poucos os estudos do efeito das mudanças climáticas na agropecuária. Entretanto, recentemente, Assad et al. (2004) apresentaram resultados com modelos matemáticos, que projetam alterações profundas na temperatura do planeta e desastrosas conseqüências para o agronegócio. As alterações do clima acarretam modificações na incidência de pragas agrícolas, com sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais. O cenário fitossanitário atual seria significativamente alterado, expondo a vulnerabilidade da agropecuária a essas mudanças e a necessidade de desenvolver estratégias adaptativas de longo prazo.

Embora não exista um estudo definitivo comparando a geração de emprego e renda e sua distribuição, cotejando as cadeias de energia de carbono fóssil e de bioenergia, a experiência brasileira e o senso comum indicam que é possível gerar 10-20 vezes mais empregos na agricultura de energia, comparativamente à cadeia de petróleo – com a vantagem de que os empregos seriam gerados internamente, auxiliando na solução de um dos mais sérios desafios brasileiros. A produção agrícola desconcentra renda mais intensamente que a extração de petróleo ou gás, podendo tornar o Brasil um paradigma mundial de como enfrentar três grandes desafios do século XXI, com uma única política pública: através do incentivo à agricultura de energia, é possível enfrentar os desafios da produção de energia sustentável, da proteção ambiental e da geração de emprego e renda, com distribuição mais equitativa.

Os principais fatores que impulsionam o desenvolvimento tecnológico para aproveitamento da biomassa energética são:

- a. a crescente preocupação com as mudanças climáticas globais que, no ponto futuro, convergirão para políticas globais de redução da poluição;
- b. o reconhecimento da importância da energia de biomassa para efetuar a transição para uma nova matriz energética e substituir o petróleo como matéria prima, em seu uso como combustível ou insumo para a indústria química;
- c. a crescente demanda por energia e as altas taxas recentes de uso de biomassa energética. Os países em desenvolvimento demandarão 5 TW de energia nova, nos próximos 40 anos, sendo inadmissível imaginar que essa energia possa ser proveniente de fontes fósseis, pelo seu alto impacto ambiental e pelo esgotamento das reservas;
- d. os custos ambientais serão paulatinamente incorporados ao preço dos combustíveis fósseis, através de tributos punitivos (taxa de poluição), tornando-os progressivamente mais caros, fator agravado com o aumento natural de preços, devido ao esgotamento das reservas e aos conflitos regionais;
- e. o preço também oscilará, mantendo tendência crescente, em função das disputas políticas e bélicas pelas últimas reservas disponíveis, tornando inseguros os fluxos de abastecimento e o cumprimento de contratos de fornecimento de petróleo;
- f. cresce, em progressão logarítmica, o investimento público e privado no desenvolvimento de inovações que viabilizem as fontes renováveis de energia, com ênfase para o aproveitamento da biomassa;
- g. também crescem os investidores internacionais interessados em contratos de longo prazo, para o fornecimento e biocombustíveis, especialmente o álcool e, em menor proporção, o biodiesel;
- h. a energia passará a ser um componente importante do custo de produção agropecuário e da agroindústria, tornando progressivamente atrante a geração de energia dentro da propriedade.

Demanda de energia

Além das pressões ambiental e social, considere-se o ocaso da era do petróleo. Posta a escassez do petróleo e a extração mais complexa, os preços

dispararão. De algum modo esse processo está em andamento, posto que, nos últimos 30 anos, o preço nominal do petróleo aumentou 2.650% (Williams, 2005), sendo a valorização real de 505% (85% entre o final de 2004 e meados de 2005). Entre os analistas internacionais passa a ser aceito o cenário que prevê o preço do barril de petróleo em torno de US\$100,00, no início da segunda década do século XXI. Esta cotação pode ser julgada fantasiosa, entretanto, atente-se para dois fatos. O primeiro deles é o pico histórico da cotação do petróleo (US\$90,00/barril), atingido durante a guerra Irã-Iraque. O segundo é a proposta apresentada pelo Dr. Matthew Simmons ao Plano Energético dos EUA (em elaboração no segundo semestre de 2004), propondo que os EUA fixassem a cotação interna do petróleo em US\$182 imediatamente, para equilibrar oferta e demanda (Porter, 2004).

Enquanto nos denominados primeiro e segundo choques de petróleo (anos 70), a razão estrutural preponderante para o aumento de preços foi a diminuição voluntária da oferta, o salto verificado neste século está ligado à expansão da demanda. Sob o ponto de vista estratégico, a expansão da demanda é muito mais preocupante que a contração da oferta pois, enquanto a segunda pode ser negociada, no sentido amplo da palavra, a primeira é uma constatação factual de mais difícil solução, que não a própria expansão da oferta ou a mudança radical nos hábitos de consumo de energia.

Entre 2002 e 2004, o consumo diário de petróleo no mundo expandiu de 78 para 82 milhões de barris. A China respondeu por 36% desse aumento e os EUA por 24%. No caso da China, as suas altas taxas de crescimento econômico fizeram com que o país passasse de exportador para importador de petróleo, volatilizando o balanço mundial, mesmo fenômeno verificado, com o Reino Unido (Mussa, 2003). A Índia é um país energeticamente vulnerável e o seu crescimento ocorrerá à custa de maior pressão sobre a demanda atual de combustíveis fósseis. A mesma análise pode ser aplicada à Indonésia, ao Japão e à Coreia, países dependentes de importação de energia e com grande potencial de crescimento econômico.

Em 2004, o consumo de energia dos países ricos alcançou 4,5 toneladas equivalentes de petróleo (TEP) por pessoa por dia, para um agrupamento estimado em 1 bilhão de cidadãos. Já nos países emergentes, o consumo situa-se em 0,75 TEP/pessoa/dia, porém em um universo de 5 bilhões de habitantes (World Bank, 2004). A globalização cultural e de mercados e a assimilação de costumes de países ricos pelos emergentes, provoca uma forte pressão de consumo energético, que é sentida com maior intensida-

de nos países emergentes. E é nesses países que continuará a ocorrer o maior crescimento demográfico, ao longo do século XXI, conseqüentemente pressionando a demanda energética.

Enquanto os países ricos aumentaram seu consumo em menos de 100%, nos últimos 20 anos, no mesmo período a Coréia do Sul aumentou sua demanda em 306%, a Índia em 240%, a China em 192% e o Brasil em 88% (IEA, 2004). Deduz-se que qualquer tentativa de inclusão social promoverá uma pressão adicional sobre o consumo de energia.

Cientistas estimam que, antes do início da exploração, as reservas de petróleo alçavam-se a pouco mais de 2 trilhões de barris. As atuais reservas comprovadas de petróleo somam 1,137 trilhões de barris, 78% dos quais no subsolo dos países do cartel da OPEP (OPEC, 2005). Essas reservas permitem suprir a demanda mundial por 40 anos, mantido o atual nível de consumo. É evidente que tanto as reservas quanto o consumo se incrementarão, ao longo deste período.

Projetando os números dos últimos 50 anos, é lícito inferir que as reservas crescerão a taxas mais tímidas que o consumo. Em especial, quando se examinam os números referentes às reservas comprovadas de petróleo, verifica-se que, nos últimos 15 anos, houve incorporação líquida de 13% nas reservas comprovadas (0,8% ao ano) (OPEC, 2005). Cotejando com o crescimento da demanda de 1,9% a.a. resulta que, abstraindo as alterações na matriz energética, o ocaso da era do petróleo está contratado para meados do presente século.

Um cenário de futuro

Nas próximas décadas, o agronegócio mundial estruturar-se-á em quatro macro-segmentos: alimentação e fibras, biomassa, plantas ornamentais e nichos especializados, com faixas de sobreposição entre si. A biomassa será a base da energia renovável, e também servirá como insumo para a indústria química. Os mesmos especialistas antevêm que esse segmento movimentará o maior volume de recursos das transações agrícolas internacionais, a partir do ano de 2050. Entretanto, o crescimento da agricultura de energia significará, também, aumento da produção de alimentos. Por exemplo, a expansão do cultivo de girassol para fins energéticos significará, necessariamente, o aumento da oferta da torta ou farelo de girassol, matéria prima da indústria de rações ou alimentos.

É possível que o maior potencial em energia renovável, no médio prazo seja proveniente do desenvolvimento de biomassa moderna (70 a 140EJ), seguido pela energia solar (16-22EJ) e eólica (7-10EJ). No longo prazo, a contribuição de bioenergia é estimada em 1.300EJ ano⁻¹ (EIA, 2004).

A portabilidade, a capacidade de estocagem e a densidade energética de uma fonte são atributos importantes para a sua consolidação e para ampliar o seu espaço na matriz energética. Por exemplo, o biodiesel possui portabilidade, o que lhe permite ser transportado e estocado além-mar, ao contrário da energia elétrica, que possui limitações de transmissão. Adicionalmente, os biocombustíveis derivados de óleo vegetal possuem as mesmas características do álcool, porém apresentam o atributo de maior densidade energética, o que reduz o seu custo relativo de transporte e de estocagem, quando medido pela energia potencial por unidade de volume ou peso.

Os vetores da mudança

Apesar de a mudança da matriz energética mundial ser indiscutível, no longo prazo, existem diversos condicionantes (tecnológicos, políticos, culturais, econômicos, sociais, comerciais e ambientais) que podem apressar ou retardar as mudanças consideradas inexoráveis. Considerando a bioenergia como um segmento importante do agronegócio do futuro, as seguintes considerações podem ser efetuadas, para embasar a tomada de decisão do investidor:

- a. o preço dos combustíveis fósseis é crucial para apressar a transição e para estender o tempo de duração das reservas, tornando a transição menos turbulenta. Sob um quadro de preços moderados de combustíveis fósseis, poucas fontes de energias renováveis são competitivas, como é o caso do etanol, derivado de cana-de-açúcar, já claramente competitivo;
- b. os custos de obtenção de energia são fortemente ligados às condições locais e às regiões de menores custos serão exploradas em primeiro lugar. Esse fato gera diferenciais competitivos entre as diferentes regiões;
- c. acordos internacionais – como a entrada em vigor do Protocolo de Quioto – ou intrablocos – como a Diretiva para Obtenção de Eletricidade de Fontes Renováveis, do Parlamento Europeu – são poderosos indutores do uso de energias renováveis e criam reservas de mercado para a bioenergia;

- d. o apoio intenso, garantido e continuado aos programas de PD&I constituirá a pedra angular para acelerar a taxa de utilização de energias renováveis. Inovações têm o condão de viabilizar técnica e economicamente as fontes renováveis de energia, bem como permitir a exploração comercial, o ganho de escala e a redução de custos;
- e. a co-geração de energia se constituirá em um diferencial importante para a viabilização econômica de fontes de bioenergia. A técnica já é utilizada na produção de etanol, porém pode ser estendida para outras fontes, incluindo a utilização energética de dejetos;
- f. a expansão da área de agricultura energética não poderá ocorrer à custa da contração da oferta de alimentos, nem de impactos ambientais acima da razoabilidade, sob pena de forte reação contrária da sociedade, o que inviabilizaria o negócio bioenergia. Ao contrário, entende-se que haverá uma tríplice associação entre energia, alimento e indústria química.

A agricultura de energia

Sob o conceito de biomassa, três grandes vertentes dominarão o mercado da agricultura de energia: os derivados de produtos intensivos em carboidratos ou amiláceos, como o etanol; os derivados de óleos vegetais, como o biodiesel e o ecodiesel; e os derivados de madeira e outras formas de biomassa, como briquetes ou carvão vegetal. Aceitas as premissas anteriormente relacionadas, qualquer cenário que venha a ser traçado para o médio e o longo prazos, revela as vantagens comparativas do Brasil para ser o paradigma do uso de energia renovável e o principal *player* do *biotrade* – o mercado que está sendo plasmado, consolidando os negócios internacionais, envolvendo a oferta de energia renovável.

Igualmente, o Brasil reúne condições para ser o principal receptor de recursos de investimento, provenientes do mercado de carbono nos segmentos de bioenergia. Os contornos desse mercado já estão visíveis e ele será rapidamente catapultado posta a ratificação do Protocolo de Quioto pela Rússia, destarte a recusa em subscrevê-lo por parte do maior devorador de energia fóssil e maior emissor de poluentes atmosféricos, que são os Estados Unidos.

O sinergismo entre as vantagens comparativas naturais (solo, água, mão de obra, e radiação solar intensa e abundante) e as captações de capital proveniente de projetos vinculados aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, tornarão o País ainda mais atrativo para macro-investidores ávi-

dos por disputarem o *market share* do *biotrade*. Esses capitais comporão um portfólio de investimento direto na produção, além de auxiliar na formação de uma logística adequada para o armazenamento e o escoamento da produção (comunicações, tancagem, ferrovias e hidrovias e instalações portuárias). Isso posto, entende-se que a agricultura de energia será a jóia da coroa do agronegócio brasileiro, no médio e longo prazos.

Do ponto de vista agrônômico, além das vantagens de área agricultável para expansão e de clima adequado, o Brasil conta com uma biodiversidade invejável, no tocante às plantas oleaginosas, tanto cultivadas atualmente quanto potenciais. Entre as plantas atualmente em exploração, destacam-se a soja, o girassol, a canola, o dendê e a mamona. Entretanto, a lista de plantas potenciais ascende a mais de uma centena, das quais ao menos uma dezena delas apresenta boas potencialidades para domesticação e para futura exploração comercial.

Para o momento, o Brasil pode contar com as oleaginosas já em exploração. Entretanto, no horizonte dos próximos 20 anos, poderemos contar com outras plantas, especialmente palmáceas, considerando que o eixo da bioenergia se situará nas regiões amazônica, dos cerrados, meio norte e semi-árido. Para garantir que este potencial possa se tornar realidade, a Embrapa está investindo no desenvolvimento de tecnologia adequada e na prospecção de novas plantas, que ampliem a base da oferta de matéria prima para a produção de bioenergia. Igualmente, estudos de sistemas de produção sustentáveis fazem parte da agenda da Embrapa, para conferir competitividade ao conjunto da produção de biocombustíveis.

Obtenção de biocombustíveis de óleos vegetais

Através da biomassa, é possível substituir, parcialmente, os produtos obtidos com o refino do petróleo. Assim, o etanol pode substituir a fração gasolina e parte do querosene. A partir de oleaginosas, é possível obter sucedâneos do óleo diesel, da gasolina, do querosene e do gás. E, a partir de biomassa, é possível obter substâncias que servirão de insumos para a indústria química. Assim, o bagaço da cana-de-açúcar, o álcool, os óleos vegetais, o biodiesel, a torta de oleaginosas ou a glicerina resultante da produção de biodiesel serão insumos importantes para a indústria química do futuro.

Dessa forma, serão estabelecidas relações complexas entre a agropecuária, a agroindústria, a indústria energética e a indústria química, permitindo

um escalonamento no processo de agregação de valor dos produtos agrícolas. Assim, onde houver uma grande agricultura de energia, baseada em plantas oleaginosas, haverá, necessariamente, uma concentração de produção animal (bovinos, suínos, aves) para melhor aproveitamento da torta resultante da extração do óleo, aumentando a competitividade do agronegócio.

Através da Fig. 1, é possível visualizar, esquematicamente, a obtenção de biocombustíveis a partir de uma fonte de triglicéridos, que tanto podem ser óleos vegetais, quanto gorduras animais. Existem, atualmente, duas grandes rotas tecnológicas para a transformação de triglicéridos em biocombustíveis, além do uso direto do óleo em motores de ciclo Diesel. As rotas de produção de biocombustíveis são as seguintes:

1. Transesterificação. A partir de uma reação química relativamente simples, é possível substituir o radical do glicerol, presente nos triglicéridos, por radicais metila ou etila, provenientes, respectivamente, de metanol ou etanol. A reação ocorre em ambiente fortemente ácido ou básico, sendo o hidróxido de sódio o catalisador comumente utilizado. Pesquisas estão sendo desenvolvidas para obtenção de catalisadores heterogêneos, que aumentem a eficiência e a velocidade de reação, permitindo, também,

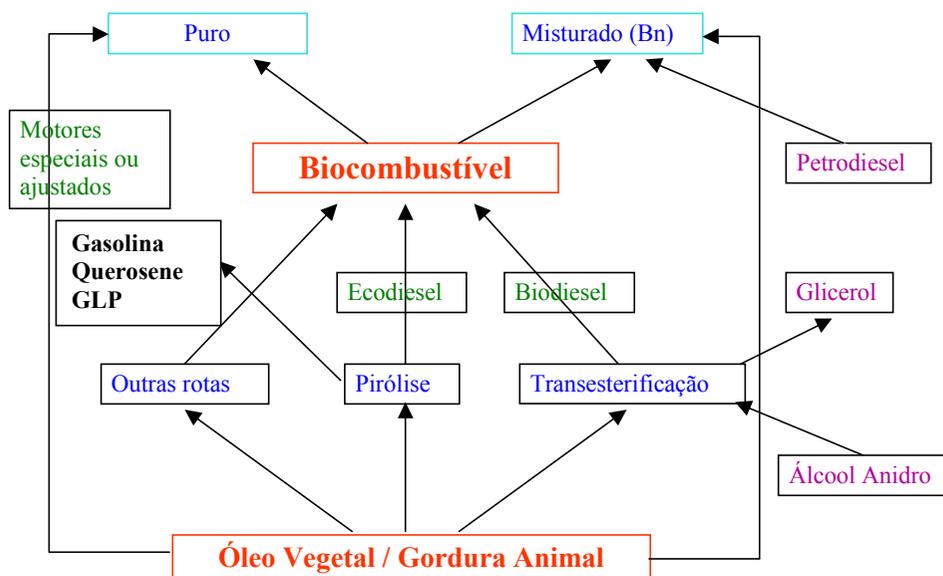


Fig. 1. Obtenção de biocombustíveis a partir de óleos vegetais ou gorduras animais.

melhor separação de fases ao final da reação. O modelo geral da reação está exposto na Fig. 2.

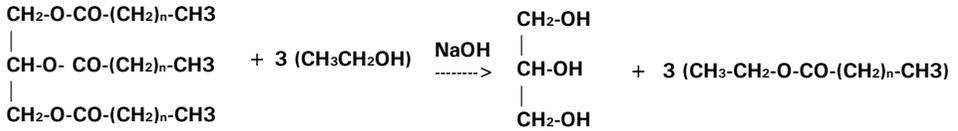


Fig. 2. Reação de transesterificação etanólica de um triglicéride.

O biodiesel é definido, cientificamente, como um monoéster etílico ou metílico de um ácido graxo (ex.: monoéster etílico do ácido oléico ou oleato de etila). A proporção estequiométrica da reação é de 100:11 -> 11:100. Isto significa que, para cada 100kg de triglicérido são adicionados 11kg de álcool, produzindo 11kg de glicerol e 100 kg de biodiesel. Esta relação é válida para o uso de metanol, pois o etanol exige um volume um pouco maior. Os estudos ainda não geraram uma tecnologia consolidada para o uso do etanol como reagente, porém estima-se que o valor deva ser aproximadamente 10% superior ao do metanol. Na prática, utiliza-se excesso de álcool para forçar a reação e evitar a reação reversa. Com o excesso, adicionam-se cerca de 30 kg de álcool para cada 100 kg de óleo, sendo o excedente, que não foi utilizado na reação, recuperado ao final do processo.

O procedimento pós-reação inclui a separação de fases (glicerina, álcool, biodiesel), a lavagem do biodiesel, a purificação e a destilação da glicerina, para futuro aproveitamento. Para evitar a reação de saponificação, em que os triglicéridos reagem com água e hidróxido de sódio, formando sais de sódio (sabões), é fundamental que tanto a fonte de ácidos graxos quanto o álcool sejam anidros. A presença de água propiciará a formação de sabões, que inviabilizam o uso do produto obtido como combustível.

O glicerol obtido necessita sofrer um processamento, para posterior aproveitamento. O maior uso atual é na indústria de cosméticos (sabões, sabonetes, xampus). Porém a gliceroquímica será um ramo da química industrial que ganhará enorme impulso, pois o crescimento da produção de biodiesel tenderá a aumentar a oferta de matéria prima, conseqüentemente diminuindo seu preço que, atualmente, oscila em torno de US\$1.000,00 t⁻¹. O mercado atual demanda cerca de 1,2 milhões de toneladas anuais de glicerol, porém novos usos, que incluem polímeros, filmes, compósitos e materiais de construção, se encontram

em desenvolvimento e devem gerar novas utilidades, ainda no correr desta década.

2. Pirólise. No caso de óleos vegetais utiliza-se a pirólise de baixa temperatura (inferior a 500° C), podendo ou não ser assistida por catalisadores específicos. O processo de pirólise consiste no aquecimento dos óleos vegetais ou gorduras animais em um reator, até atingir a temperatura de ebulição, quando sofrem um processo de craqueamento. A Embrapa, em parceria com a Universidade de Brasília, está desenvolvendo uma micro-refinaria para obtenção de biocombustíveis, através dessa rota tecnológica, cujo diagrama esquemático está mostrado na Fig. 3.

As moléculas de triglicérides são decompostas em moléculas menores, normalmente hidrocarbonetos lineares de cadeia curta ou média, conforme visualizado na Fig. 4. Entretanto, podem ser formadas moléculas de hidrogênio, metano, etano ou butano, que são gases. Adicionalmente, tam-

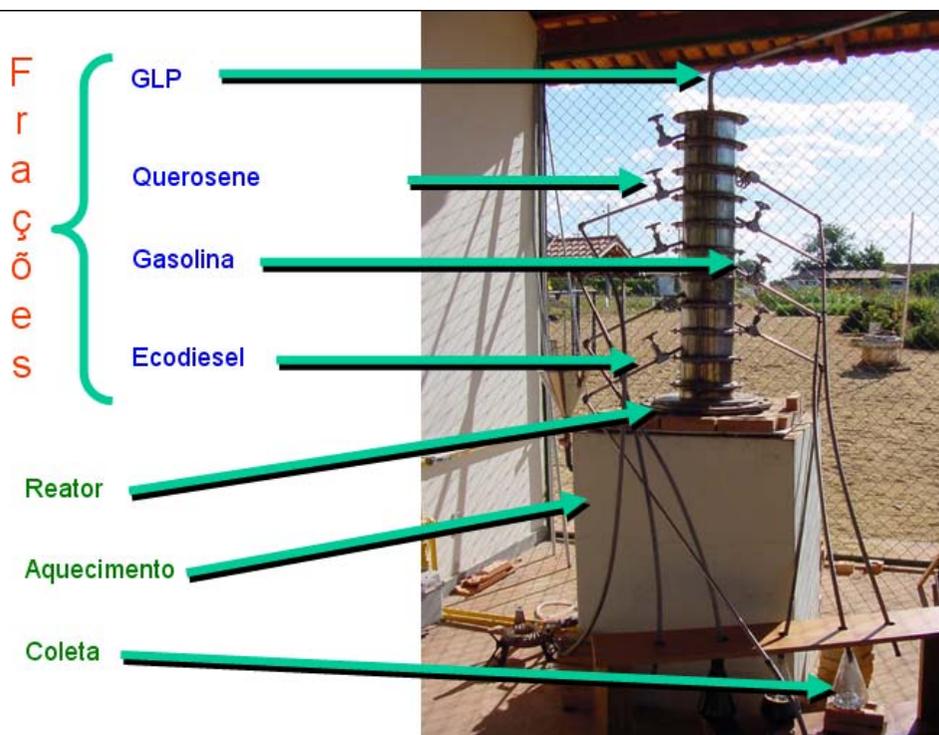


Fig. 3. Representação esquemática da micro-refinaria para craqueamento pirolítico de óleo diesel.

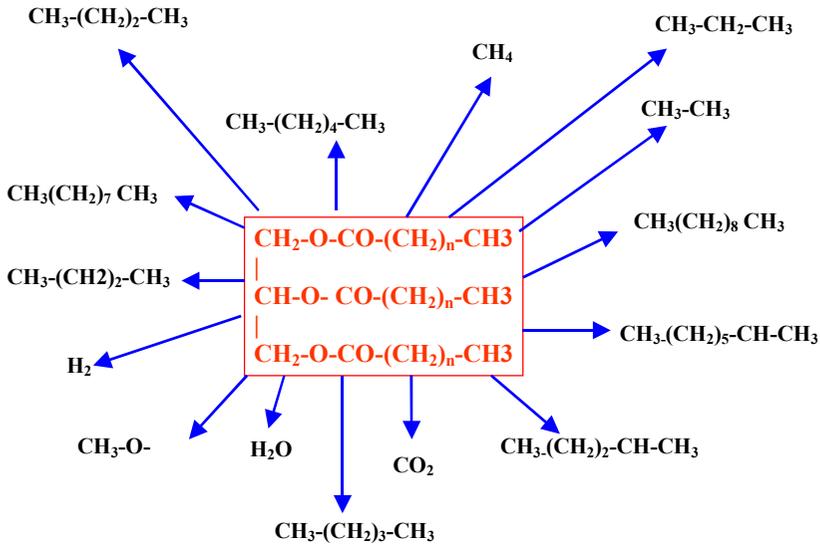


Fig. 4. Exemplos de substâncias obtidas a partir do craqueamento pirolítico de triglicérides.

bém se formam água e gás carbônico, utilizando os átomos de oxigênio presentes nos triglicérides.

As moléculas geradas pelo craqueamento, em estado gasoso, seguem para uma coluna de destilação fracionada, onde são separadas por faixas de ponto de condensação, podendo-se extrair até quatro combustíveis, que são sucedâneos do óleo diesel, da gasolina, do querosene e do gás liquefeito de petróleo.

O craqueamento rompe o equilíbrio elétrico interno ou as ligações de covalência das moléculas de triglicérides, gerando a necessidade de recombinação ou a eventual formação de duplas ligações ou cadeias cíclicas. Por exemplo, para o butano foi estabelecida a seqüência de craqueamento exposta na Fig. 5.

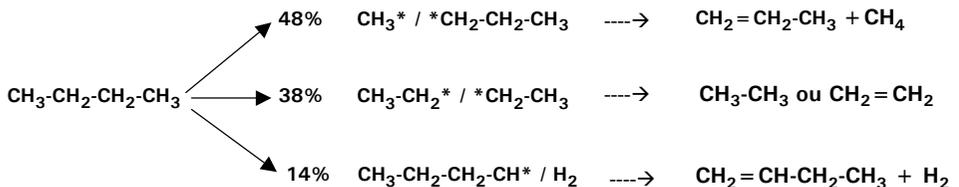


Fig. 5. Substâncias químicas obtidas pelo craqueamento do butano.

Verifica-se que, a partir de uma molécula de triglicérido, com cadeia média superior a 50 átomos de carbono, é possível produzir uma multiplicidade de substâncias com cadeias menores, praticamente todas com elevada energia potencial, podendo ser utilizadas como combustível, com exceção daquelas completamente oxidadas (CO_2 ou H_2O). A destilação fracionada objetiva permitir que os vapores sejam condensados dentro de determinada amplitude de temperatura, estabelecida através de diversos experimentos, para que a coleta, em determinado ponto da coluna, corresponda às especificações para cada um dos combustíveis obtidos (biodiesel, gasolina, querosene ou gás).

3. Óleo sem transformação. O óleo vegetal sem transformação pode ser usado como combustível em motores de ciclo Diesel, pois possui capacidade de auto-ignição sob altas taxas de compressão e valor calorífico semelhante ao petrodiesel. Existem diversos relatos do uso de óleo vegetal puro, inclusive com experiências em andamento, como o uso de óleo de dendê para conferir sustentabilidade energética para comunidades isoladas da Amazônia, conduzidos pelo CENBIO/USP ou o uso do óleo de girassol para movimentar tratores, que vem sendo testado pela CATI/SP.

Apesar da possibilidade teórica de uso em motores diesel sem transformação, em especial com injeção direta, a experiência acumulada demonstra existirem problemas decorrentes de seu uso, em especial ambientais, de saúde humana e de impacto sobre os motores e o sistema de alimentação.

Deve-se considerar que a queima direta do óleo no cilindro do motor é precedida por um craqueamento instantâneo, porém sem o controle do processo, como ocorre quando este é efetuado através de micro-refinaria. Entre os problemas ambientais, saliente-se a emissão de componentes que podem prejudicar a saúde humana, como é o caso do propenal (acrilaldeído, aldeído acrílico ou acroleína - $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$). A combustão de óleos vegetais também pode produzir dioxinas. A dioxina mais comum é a tetraclorodibenzodioxina, ou 2,3,7,8-TCDD. A estrutura da dioxina, tecnicamente chamada de dibenzo-p-dioxina consiste de dois anéis benzênicos conectados por dois átomos de oxigênio. Ambos os produtos causam diversos distúrbios orgânicos, incluindo tumores malignos

O óleo puro possui viscosidade superior ao óleo diesel, sendo, portanto, totalmente compatível com o sistema de alimentação e de injeção, projetado para trabalhar, em condições ótimas, com a viscosidade do petrodiesel. Além disso, se o óleo não for perfeitamente filtrado, pode carregar impurezas que provocam entupimento do filtro de combustível. Tanto o entupimento do filtro quanto a viscosidade elevada causam sobrecarga da bom-

ba de combustível e operação inadequada da bomba injetora, além de prejudicar a operação dos bicos injetores.

Para contornar o problema, pode ser utilizado um motor de ciclo Elsbett, que foi desenvolvido para operar no conceito multi-combustível, aceitando uma amplitude maior de especificação de combustível. A empresa detentora da patente do motor Elsbett afirma que é perfeitamente possível a queima direta de óleos vegetais em seus motores, sem os contratempos de funcionamento ou a emissão de substâncias perniciosas. Um dos óleos vegetais recomendados pela empresa é o de girassol. Maiores informações podem ser obtidas em www.elsbett.com.

Óleo de girassol para produção de biocombustível

Do ponto de vista químico, qualquer mistura de triglicérides, sejam óleos vegetais ou gorduras animais, serve como matéria prima para a produção de biocombustíveis, por qualquer rota tecnológica. Os óleos vegetais diferem entre si pela proporção entre os principais ácidos graxos, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Alguns detalhes devem ser considerados na seleção dos óleos para fornecer a matéria prima para a indústria de biocombustíveis.

1. Quanto menor a insaturação dos ácidos graxos, tanto maior a energia potencial do combustível gerado, pois a energia é liberada na oxidação do carbono das moléculas, com a formação de gás carbônico, ou do hidrogênio, formando vapor de água;
2. Entretanto, óleos saturados possuem maior viscosidade à temperatura ambiente, o que dificulta a operação dos motores;
3. Igualmente, os triglicérides saturados possuem ponto de fusão mais elevado que os equivalentes insaturados, dificultando seu uso ou exigindo tempo e energia para sua fluidificação (Tabela 2).

Em relação às oleaginosas, deve-se considerar os seguintes aspectos:

1. Oleaginosas com elevado teor de óleo (próximo ou acima de 40%) são desejáveis pois permitem a extração do óleo com maior facilidade e menor custo, inclusive com o uso de prensas, dispensando o condicionamento térmico prévio;
2. Oleaginosas com elevada produção de óleo por hectare (acima de 3 t ha⁻¹) serão mais competitivas, como é o caso das palmáceas;

Tabela 1. Composição percentual de ácidos graxos do óleo extraído de algumas oleaginosas

Oleaginosa	C12:0*	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C22:1	Outros
Algodão	1	29	4	24	40						2
Amêndoa		7	2	69	17						
Amendoim		6	5	61	22		2				4
Canola		4	2	17	13	9		15	40		
Canola baixo erúcido		5	2	63	17	9		1			1
Cártamo		7	2	13	78						
Cártamo alto oléico	5	1	78	16							
Coco	44	18	11	6	7	2					12
Dendê	1	48	4	38	9						
Girassol		7	4	17	72						
Girassol alto oléico		3	4	88	3						2
Milho		12	2	29	56	1					
Nozes		11	5	28	51	5					
Oliva		14	2	64	16	2					2
Pequi		40	1	2	54	2	1				
Soja		11	4	25	51	9					
.....
.....
Manteiga	3	11	27	12	29	2	1				15**
Sebo		3	24	19	43	3	1				7
Toucinho		2	26	14	44	10					4

* Número de carbonos: número de duplas ligações. As equivalências com os nomes dos ácidos graxos são as seguintes: 12:0 = Láurico; 14:0 = Mirístico; 16:0 = Palmítico; 18:0 = Estearico; 18:1 = Oléico; 18:2 = Linoléico; 18:3 = Linolênico; 20:0 = Araquídico; 20:1 = Gadoleico (Elaidico); 22:0 = Behênico; 22:1 = Erúcido; 24:0 = Lignosérico

** Butírico (4:0) 2,9; Capríico (6:0) 1,9; Caprílico (8:0) 0,8; Cáprico (10:0) 7,0; Linoléico 0,2; Linolênico 0,1, entre outros.
Elaboração: D.L. Gazzoni, a partir de diversas fontes consultadas.

Tabela 2. Ponto de fusão de alguns ácidos graxos

Ácidos graxos	Símbolo numérico	Ponto de fusão (°C)
Butírico	C4:0	- 5,3
Capróico	C6:0	- 3,2
Caprílico	C8:0	16,5
Cáprico	C10:0	31,6
Láurico	C12:0	44,8
Mirístico	C14:0	54,4
Palmitico	C16:0	62,9
Palmitoleico	C16:1	-
Esteárico	C18:0	70,1
Araquídico	C20:0	76,1
Behênico	C22:0	-
Lignocérico	C24:0	84,2
Oléico	C18:1	16,8
Linoléico	C18:2	5,0
Linolênico	C18:3	11,0

Fonte: Moretto & Alves (1986)

- Óleos nobres, como é o caso da canola e do girassol, com maior teor de ácidos graxos poli-insaturados, com elevado valor nutricional, são muito valorizados, podendo encarecer a matéria prima para obtenção de energia;
- Ao longo dos próximos anos, enquanto o mercado de óleo busca um novo patamar, será estratégico aumentar a oferta global de óleos, permitindo que o mercado de óleos comestíveis seja reservado para óleos nutricionalmente mais adequados, enquanto outros óleos (soja ou palmáceas) possam ser dirigidos para o mercado de energia;
- Culturas que possam adequar-se em “janelas” do sistema de produção, não competindo com a cultura principal, especialmente se permitirem o cultivo com menor exigência hídrica, terão importância estratégica na agricultura de energia;
- Progressivamente, os agricultores, individualmente ou em forma de cooperativas e associações, tenderão a produzir seu próprio biocombustível, como forma de agregar valor à produção agrícola, abrir novas oportunidades de uso de produtos agropecuários e para reduzir custos de produção.

O ponto de fusão (“derretimento”) dos ácidos graxos saturados aumenta com o comprimento da cadeia carbônica de - 4°C para o ácido butírico (C4:0) para 84°C no caso do ácido lignocérico (C24:0). Há diminuição no ponto de fusão com a insaturação crescente. Por exemplo, ácido esteárico (C18:0), 70°C; ácido oléico (C18:1), 14°C; ácido linoléico (C18:2), - 5°C; ácido linolênico (C18:3), -11°C e ácido araquidônico (C20:4) - 50° C.

Observando as considerações anteriormente enumeradas, é possível inferir que o girassol se enquadra em diversos itens. Depõe contra o uso energético da cultura o fato de o girassol possuir um teor de ácido linoléico apenas inferior ao cártamo, apesar de esse ser de cultivo marginal. O ácido linoléico é considerado nutricionalmente adequado por favorecer as funções cardiovasculares, reduzir o teor de LDL-colesterol do sangue, consequentemente reduzindo o risco de acidentes cardíacos. Todavia, na composição do ácido linoléico, a presença de duas ligas duplas nos carbonos 6 e 9 reduz o número de átomos de hidrogênio de 34 para 32, o que, teoricamente, diminui o potencial calórico da combustão. Também a baixa produção por unidade de área limita o potencial de produção de óleo de girassol, no estado da arte atual da tecnologia, em, aproximadamente, 1500 kg ha⁻¹.

Por outro lado, a seu favor contam outros aspectos importantes. Devido ao seu alto teor de óleo na semente, é possível efetuar a extração a frio (sem condicionamento térmico prévio). O girassol pode ser cultivado antecipando-se à cultura principal, em algumas condições e, em outras, pode ser plantado na safrinha, como alternativa ao milho. Devido à sua baixa exigência hídrica, o girassol pode se constituir em excelente opção para o centro-oeste brasileiro. As necessidades hídricas do girassol ainda não estão perfeitamente definidas, existindo informações que indicam necessidades inferiores a 200 mm até valores superiores a 900 mm por ciclo (Unger, 1990). Correntemente, se aceita que cerca de 400 a 500 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, permitem obter rendimentos próximos ao potencial máximo da cultura. Além de abrir nova perspectiva de cultivo, o girassol também permite romper o ciclo gramínea/leguminosa, com ganhos agronômicos no sistema.

Quanto aos produtores que desejam obter biocombustíveis para uso próprio, derivados de óleos vegetais, o girassol também se apresenta como excelente alternativa. Com planejamento adequado, o grão girassol pode ser estocado e transformado em combustível de acordo com as demandas energéticas ao longo do ano.

Considerações finais

Um aspecto importante a considerar é que o girassol, assim como qualquer oleaginosa, após a extração do óleo exige o aproveitamento da torta ou do farelo restante. A principal opção disponível é o seu aproveitamento no arração animal de monogástricos ou ruminantes. Estudos estão sendo conduzidos para determinar a eficiência nutricional da torta de girassol na formulação de rações para nutrição animal. É sempre importante ter em conta que a extração de óleo através de prensas, que deve ser a opção preferencial na pequena produção de biocombustíveis, gera a chamada torta gorda, que contém em torno de 5% de óleo. A presença de ácidos graxos, em especial os insaturados, que são mais instáveis, permite a rancificação, pela transformação dos ácidos graxos em aldeídos, conferindo odor e gosto desagradável ao produto, além de reduzir seu valor nutritivo.

Finalmente, enquanto estratégia nacional e regional, é sempre útil ter em mente as alternativas que a cultura do girassol pode oferecer, no contexto da agricultura de energia, associada com a agricultura de alimentos. Mesmo que o óleo de girassol não seja destinado, integralmente ou em sua maior proporção, ao uso energético, ele contribuirá para aumentar a oferta global de óleos comestíveis do País. Além de aumentar a oferta quantitativa, a expansão da cultura de girassol permitirá a adoção de políticas públicas que eduquem o consumidor a preferir um óleo nutricionalmente mais apropriado. Esta política somente terá sucesso com a redução do preço do óleo de girassol ao consumidor, o que, por sua vez, depende da expansão da cultura em larga escala.

Referências

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO, J.J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.

IEA. **World energy outlook 2004**. Paris, 2004. 500 p.

MORETO, E.; ALVES, R.F. **Óleos e gorduras vegetais**: processamento e análise. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1986. 179p.

MUSSA, M. **A global growth rebound**: how strong for how long? Institute for International Economics, 2003. Disponível em: <<http://www.iie.com/publications/papers/mussa0903.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2005.

OPEC. Organization of the Petroleum Exporting Countries. **Statistical Bulletin**. Disponível em: <[http://www.opec.org/library/Annual Statistical Bulletin/asb2003.htm](http://www.opec.org/library/Annual%20Statistical%20Bulletin/asb2003.htm)>. Acesso em 15 mai. 2005.

PORTER, A. **Is the world's oil running out fast?** BBC News, UK Edition (Monday, 7 June, 2004, 07:41 GMT). Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/3777413.stm>>. Acesso em: 07 jun. 2004.

UNGER, P.W. Sunflower. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.775-794, (Agronomy, 30).

WILLIAMS, J. **WTRG Economics**. Disponível em: <<http://www.wtrg.com/prices.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2005.

WORLD BANK. **Global Economic Prospects 2004**: realizing the development promise of the Doha Agenda. Washington, 2003. Appendix 1, Regional Economic Prospects, p. 239. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/prospects/gep2004/full.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2003.