



DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E OLEAGINOSAS ALTERNATIVAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Carlo Alessandro Castellanelli

Universidade Federal de Santa Maria

castellanelli@bol.com.br

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Carlo Alessandro Castellanelli (2016): "Desenvolvimento sustentável: aproveitamento de resíduos e oleaginosas alternativas para a produção de biocombustíveis", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Brasil, (mayo 2016). En línea:
<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/16/biocombustiveis.html>

RESUMO

A busca por fontes alternativas e renováveis de energia tornou-se uma constante no mundo contemporâneo devido à escassez e aos impactos ambientais causados por fontes não renováveis. Dentre as fontes renováveis, destaca-se o Biodiesel, o qual pode ser obtido através de diversas matérias-primas e que ocupa posição de destaque nas discussões energéticas e ambientais atuais. No entanto, muitas das fontes potenciais para a sua produção estão sendo desperdiçadas e/ou possuem pouca divulgação de seu potencial. Este artigo apresenta algumas destas fontes que podem vir a contribuir com o setor energético global, e evitar impactos ambientais.

ABSTRACT

The search for alternative and renewable sources of energy became a constant focus in the contemporary world due to scarcity and to the environmental impacts caused by non-renewable sources. Amongst the renewable sources, is distinguished the Biodiesel, which can be produced through diverse raw materials, and it occupies prominence position in energy and environmental current discussions. However, many of the potential sources for its production are being wasted and/or have low divulgation of its potential. This paper presents some of these sources which can contribute with the global energy sector, and to prevent environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO

PRICE (1995), em um trabalho sobre a energia e a evolução humana, ressaltou a capacidade única da humanidade, em relação às outras formas de vida do planeta, de adaptação extra-somática. Este tipo de adaptação faria com que a tradicional tendência da evolução fosse acelerada. Com ela o homem poderia dispor dos recursos ao seu alcance para contornar as eventuais dificuldades que o clima e a busca por alimentos apresentassem o que corroboraria a teoria de WHITE (1949). Neste trajeto, a humanidade aprendeu como gerar mais energia, de um modo diverso do que era proporcionado pelas próprias mãos humanas, ou posteriormente por animais.

Enquanto esta energia extra-somática provinha de fontes naturais ou renováveis não houve na atmosfera mudança significativa de origem antrópica, salvo a mais rápida devastação de florestas do que a natureza conseguia naturalmente renovar. Esta fase da humanidade é historicamente encerrada em meados do século XVIII. A partir de então a nova “revolução” em curso, baseada na força do vapor como força motriz, passou a demandar mais do que a natureza conseguiria repor, nos acelerados prazos que esta nova “revolução” determinava.

A lenha para alimentar as caldeiras já não seria mais suficiente, e passou-se a usar o carvão mineral como combustível. Toda a tecnologia advinda deste processo acelerou de forma nunca vista a produção de bens e o consumo cada vez maior de recursos. Porém um limite estava sendo ultrapassado. Ao se queimar cada vez mais combustíveis fósseis o nível de gás carbônico na atmosfera começou a aumentar, não sendo suficientes os recursos naturais de absorção deste gás para que o equilíbrio se restabelecesse. A temperatura média da superfície do planeta desde então vem aumentando pelo agravamento artificial do “Efeito Estufa”. O aproveitamento do petróleo sucedeu rapidamente, a partir do final do século XIX, ao carvão como principal combustível da máquina desenvolvimentista das nações mais ricas. Deste somatório de ofertas de combustíveis fósseis resultou o aceleração do processo de acúmulo dos gases responsáveis pelo efeito de aquecimento, muito além do equilíbrio conhecido. A maior facilidade de obtenção e uso dos subprodutos do petróleo tornou a queima deste combustível quase que universal pela inércia da infra-estrutura técnica e dos hábitos (MARTIN, 1990), pela disponibilidade de tecnologia e pelo preço sem concorrente. Quem não consumisse petróleo, ou seu eventual substituto o carvão, estaria fora do concerto das nações. Enquanto esta dependência do petróleo continua vigendo, alternativas renováveis aos combustíveis fósseis, devido à escassez dos mesmos e as diversas questões ambientais atuais, estão sendo desenvolvidas e pesquisadas cada vez mais.

Neste contexto surge o Biodiesel, um combustível renovável e biodegradável, ambientalmente correto, obtido a partir de uma reação de óleos vegetais com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool com um catalisador, processo conhecido como transesterificação.

O biodiesel passou a ser mais divulgado no Brasil através do Probi biodiesel (Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel), criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. A tradição agrícola e a pesquisa voltam-se para a produção deste combustível e tem se mostrado viável pela grande extensão territorial para plantação. O principal insumo é a soja, já que o país é um dos grandes produtores mundiais do grão e, em 2003, ocupou o primeiro lugar em exportação de oleaginosas como mamona, dendê, algodão e soja. No entanto, o Brasil, país de grande biodiversidade, muito rico em oleaginosas, muitas das

culturas que estão sendo destinadas à produção de biodiesel, ainda estão direcionadas principalmente a fins alimentícios. Há um grande potencial de fontes de matérias-primas de biodiesel a ser explorado, tanto em relação ao aproveitamento energético de culturas temporárias e perenes, como em relação ao aproveitamento energético do óleo residual proveniente da alimentação, resíduos de certos processos, e ainda oleaginosas com grande potencial de aproveitamento para a produção de Biodiesel que ainda não são exploradas e amplamente conhecidas.

Este artigo visa apresentar algumas fontes potenciais de produção do Biodiesel, ainda pouco exploradas, que podem contribuir com o aumento do volume produzido, mitigar impactos ambientais e gerar empregos, não só no Brasil, como em todo o mundo.

2. O BIODIESEL

O uso de óleos vegetais em motores de combustão interna começou com Rodolf Diesel utilizando óleo de amendoim em 1900. Razões de natureza econômica levaram ao completo abandono dos óleos vegetais como combustíveis à época. Entretanto, na década de 70, o mercado de petróleo foi marcado por dois súbitos desequilíbrios entre oferta e demandas mundiais conhecidos como 1º e 2º Choques do Petróleo. Em resposta a estas crises, o mercado sentiu a necessidade de diminuir a dependência do petróleo, levando ao investimento no desenvolvimento de tecnologia de produção e uso de fontes alternativas de energia (OLIVEIRA, 2001).

De acordo com a lógica de usar fontes alternativas de energia redutoras de poluição, capazes de gerar empregos e com custos competitivos, o biodiesel apresenta-se como candidato natural a um programa global e que também vem ganhando espaço nas discussões energéticas do Brasil. A Agência Nacional do Petróleo do Brasil definiu, através da portaria 225 de setembro de 2003, o biodiesel como o conjunto de ésteres de ácidos graxos oriundos de biomassa, que atendam a especificações determinadas para evitar danos aos motores.

O biodiesel é uma evolução na tentativa de substituição do óleo diesel por biomassa, iniciada pelo aproveitamento de óleos vegetais “*in natura*”. É obtido através da reação de óleos vegetais, novos ou usados, gorduras animais, com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool com um catalisador, processo conhecido como transesterificação (figura 1).

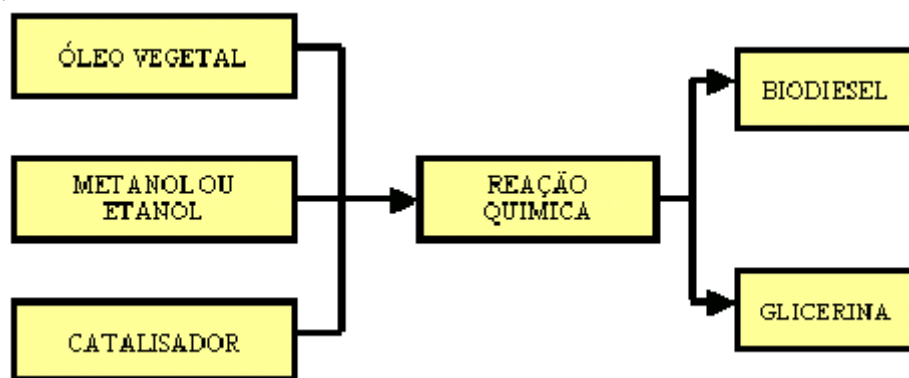


Figura 1 – Reação de transesterificação

Fonte: www.ceplac.gov.br

Os produtos da reação química são um éster (o biodiesel) e glicerol. No caso da utilização de insumos ácidos, como esgoto sanitário ou ácidos graxos, a reação é de esterificação e não há formação de glicerol, mas de água simultaneamente ao biodiesel. Os ésteres têm características físico-químicas muito semelhantes às do diesel, conforme demonstram as experiências realizadas em diversos países (ROSA et al., 2003), o que possibilita a utilização destes ésteres em motores de ignição por compressão (motores do ciclo Diesel).

A reação de transesterificação pode empregar diversos tipos de álcoois, preferencialmente os de baixo peso molecular, sendo os mais estudados os álcoois metílico e etílico. FREEDMAN et al (1986) demonstraram que a reação com o metanol é tecnicamente mais viável do que com etanol. O etanol pode ser utilizado desde que anidro (com teor de água inferior a 2%), visto que a água atuaria como inibidor da reação. A separação da glicerina obtida como subproduto, no caso da síntese do éster metílico é resolvida mediante simples decantação, bem mais facilmente do que com o éster etílico, processo que requer um maior número de etapas.

Quanto ao catalisador, a reação pode utilizar os do tipo ácido ou alcalino ou, ainda, pode ser empregada a catálise enzimática. Entretanto, geralmente a reação empregada na indústria é feita em meio alcalino, uma vez que este apresenta melhor rendimento e menor tempo de reação que o meio ácido, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos. Por outro lado, os triglicerídeos precisam ter acidez máxima de 3%, o que eleva seus custos e pode inviabilizar o processo em países onde o óleo diesel mineral conta com subsídios cruzados, como no Brasil.

Sob o aspecto ambiental, o uso de biodiesel reduz significativamente as emissões de poluentes, quando comparado ao óleo diesel, podendo atingir 98% de redução de enxofre, 30% de aromáticos e 50% de material particulado e, no mínimo, 78% de gases do efeito estufa (ROSA et al, 2003).

3. GERAÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE RESÍDUOS URBANOS

O lixo, para a geração elétrica (OLIVEIRA, 2000), e o biodiesel, principalmente para propulsão veicular, mas, em alguns casos, também para geração elétrica apresentam qualidades adicionais à biomassa cultivada. Suas principais vantagens são: (i) os equipamentos e insumos necessários para sua produção são de origem nacional e, por isto, são cotados em moeda brasileira; (ii) são intensivos em mão-de-obra, uma vez que requerem triagem – do lixo, para obter biomassa residual e reciclável, e dos insumos residuais para a produção de biodiesel – e cultivo e extração, para obtenção de insumos novos para biodiesel; (iii) estão disponíveis, normalmente, junto aos consumidores, o que reduz o custo de transporte, seja da energia ou do combustível; e (iv) acarretam a redução da poluição, decorrente da substituição de combustíveis fósseis por Fontes Alternativas de Energia e, quando estas são oriundas de resíduos, consequência da coibição de sua decomposição. No caso do biodiesel, é reduzida a importação de óleo diesel e petróleo.

Estas qualidades adicionais podem ser comprovadas através de uma análise integrada (técnica, social, econômica e ambiental) dos diversos efeitos deste aproveitamento. Entre eles está o potencial de aumentar em 30% a oferta de energia elétrica e substituir 1% do óleo diesel imediatamente, a custos já competitivos (ROSA et al, 2003); e alavancar a produção agrícola para atender à demanda interna e externa.

Na esfera residual ocupam lugar de destaque os insumos derivados de processos industriais, pecuária, e principalmente da indústria alimentícia, que apresentam potencial químico para transformação em biocombustível. Os mais representativos são os óleos vegetais utilizados na fritura de alimentos, e os ácidos graxos encontrados tanto na gordura animal quanto no esgoto sanitário (este é um resíduo público, enquanto os demais são resíduos privados).

A isto, somam-se os fatos de estarem disponíveis imediatamente, uma vez que não é necessário planejar sua produção, e de sua localização ser a mesma dos consumidores de energia, quer estejam nas cercanias das cidades (uma vez que o lixo é praticamente padronizado em todo o território nacional) ou nas unidades produtivas rurais (onde os insumos são mais específicos), sinalizando para a prioridade de seu aproveitamento.

Assim, ao contrário da energia eólica e das PCHs (Pequenas Centrais Termelétricas), cuja exploração depende da disponibilidade do recurso natural e cujas áreas para instalação de empreendimentos normalmente ficam longe dos centros urbanos, a biomassa residual pode ser utilizada em usinas instaladas nas áreas de vazadouro de lixo, o que exige menos investimento em linhas de transmissão, ou nas fazendas de cultivo.

A questão econômica, refletida pela modicidade dos preços, já pode ser atingida com os insumos residuais. A quantidade disponível de insumos residuais, no Brasil, é pequena, quando comparada ao consumo de óleo diesel, é de cerca de 1% do consumo, ou 500 milhões de litros por ano, (HIDROVEG, 2005), o que demonstra que o óleo diesel continuaria majoritariamente no mercado mesmo com o uso de todos os insumos residuais para a produção de biodiesel. Embora pouco representativa em escala global, estes insumos, que envolvem óleo de fritura usado, ácidos graxos, gordura animal e esgoto sanitário, além de terem menores custos, apresentam a vantagem de poderem ser consumidos imediatamente e estarem disponíveis junto aos aglomerados urbanos. Além disto, esta transformação dos resíduos em biocombustíveis permite reduzir o impacto ambiental causado pela sua má disposição final, e diminui a emissão de gases de efeito estufa, outrora emitidos em larga escala pelo diesel convencional.

3.1. Óleo de Fritura Usado

A reciclagem de resíduos de frituras vem ganhando espaço investigativo no Brasil, com proposição de metodologias de reciclo apropriados, destacando-se, entre outros, a produção de ésteres de ácidos graxos, os biocombustíveis. Além disso, os ésteres de ácidos graxos não contribuem com a formação do “smog” fotoquímico, fenômeno que é caracterizado pela formação de substâncias tóxicas e irritantes como o de peroxiacetileno, a partir de nitrogênio e hidrocarbonetos, na presença de energia solar. Este aspecto positivo dos ésteres de ácidos pode ser explicado pelo fato de que estes compostos não apresentam nitrogênio em suas estruturas. Convém ressaltar que os ésteres de ácidos graxos também não apresentam enxofre, e desta forma, também não contribuem com fenômenos com o de acidificação das precipitações.

O descarte de óleos de fritura usados nas pias e vasos sanitários, ou diretamente na rede de esgotos, além de provocar graves problemas ambientais, pode provocar o mau funcionamento das Estações de Tratamento de Águas Residuais e representa um desperdício de uma fonte de energia. Os óleos de frituras usados, se lançados na rede hídrica e nos solos, provocam a poluição dos mesmos. Se o produto for para a rede de esgoto encarece o tratamento dos resíduos, e o que permanece nos rios provoca a impermeabilização dos leitos

e terrenos adjacentes que contribuem para a enchente. Também provoca a obstrução dos filtros de gorduras das Estações de Tratamento, sendo um obstáculo ao seu funcionamento ótimo (FELIZARDO, 2003).

O resíduo óleo de fritura usado, pode ser processado de várias formas interessantes, para produção de artigos de uso comum como o sabão, lubrificante ou biocombustível. Levando em conta que a utilização para produção de biocombustíveis traz vantagens do ponto de vista ambiental, e apresenta a melhor relação preço x eficácia, em termos de recolhimento e recuperação.

QUERCUS (2002), relata que a produção de Biodiesel a partir de óleos alimentares usados permite reutilizar e reduzir em 88% o volume destes resíduos, sendo 2% matéria sólida, 10% glicerina e 88% éster com valor energético. Ou seja, recupera um resíduo que de outra forma provoca danos ao ser despejado nos esgotos. Segundo PETERSON E REECE (1994), testes nas emissões mostraram uma diminuição de 54% em HC, 46% de CO₂ E 14,7 de NO_x, na utilização do biodiesel obtido através de óleos de fritura usados, em comparação ao diesel convencional.

De acordo com MITTLEBACH e TRITTHART (1988), o biodiesel resultante da transesterificação de óleos de fritura apresentou características bastante semelhantes aos ésteres de óleos antes da utilização para fritura. Apesar de ser um combustível oriundo de um óleo parcialmente oxidado, suas características foram bastante próximas as do óleo diesel convencional, apresentando, inclusive boa homogeneidade obtida quando da análise da curva de destilação. Os autores realizaram testes de performance utilizando ésteres metílicos resultantes da transesterificação de óleos residuais de fritura. Os ésteres metílicos foram misturados ao diesel convencional na proporção de 1/1 e o teste realizado com 100 litros, sem que nenhuma mudança de operação dos veículos tenha sido observada. A emissão de fumaça foi extremamente menor e foi possível observar um leve cheiro de gordura queimada. O consumo do biocombustível foi praticamente o mesmo observado com a utilização do diesel convencional. O biodiesel obtido por estes dois pesquisadores foram confrontados com um padrão de diesel convencional, o US-2D (US number 2). Os resultados estão na Tabela 1:

Tabela 1 – Especificações de combustíveis.

PARÂMETROS	US-2D	Ésteres metílicos de óleo residual de fritura
Densidade a 15°C (Kg/m ³)	0.849	0.888
Ponto de ebulição inicial (°C) ^a	189	307(1%)
10%	220	319
20%	234	328
50%	263	333
70%	286	335
80%	299	337
90%	317	340
Ponto de ebulição final (°C)	349	342(95%)
Aromáticos (% v/v) ^b	31.5	--
<i>Análises</i>		

Carbono(%)	86.0	77.4
Hidrogênio(%)	13.4	12.0
Oxigênio(%)	0.0	11.2
Enxofre(%)	0.3	0.03
Índice de Cetano ^c	46.1	44.6
Número de Cetano ^d	46.2	50.8
Proporção H/C ^e	1.81	3.62
Valor Calorífico líquido(MJ/Kg)	42.30	37.50

Fonte: MITTELBAACH, M., TRITTHART, P., (1988)

a ASTM D - 86 correlação para ASTM D-2887.

b ASTM D – 1019 , olefinas + hidrocarbonetos aromáticos em destilados de petróleo .

c Este índice estima o número de cetano a partir da gravidade API e 50% do ponto de ebulição dos combustíveis destilados, ASTM D - 96.

d O número de cetano descreve a qualidade da ignição dos combustíveis diesel, ASTM D – 613 .

De acordo com a Tabela 1, o biodiesel obtido por estes pesquisadores, apresentou valor calorífico muito próximo ao diesel convencional de referência. Com relação à curva de destilação, as temperaturas registradas para o ponto de ebulição inicial e volumes destilados de 10 a 50% são consideravelmente superiores às verificadas para o diesel convencional de referência. As temperaturas registradas para o ponto de ebulição final foram semelhantes.

De acordo com o IPCC (1996), as emissões totais de Gases de Efeito Estufa no ciclo de vida do biodiesel de óleo residual são aquelas geradas na coleta do óleo usado, no consumo de energia elétrica pela planta química, acrescidas das emissões que ocorrem na sua distribuição e na sua combustão.

Apesar dos excelentes resultados obtidos por diversos autores (ROSA et al., 2003), é inevitável admitir que o óleo de fritura traz consigo muitas impurezas, oriundas do próprio processo de cocção de alimentos. Portanto, para minimizar esse problema, é sempre aconselhável proceder a uma pré-purificação e secagem dos óleos antes da reação de transesterificação.

3.2. Escuma de esgoto

A produção de biodiesel da escuma de esgoto é uma inovação mundial e que a solicitação de patente foi depositada a 06/05/2003 pela UFRJ, que licenciou a exploração para a empresa GERAR Ltda., selecionada para instalar-se na Incubadora de Empresas de Base Tecnológica da COPPE/UFRJ, em julho de 2003. Este tipo de insumo representa um potencial pequeno, 0,25% quando analisado o consumo nacional, mas sua disponibilidade imediata, proximidade aos consumidores, produção continuada (espécie de extrativismo urbano), baixo custo de produção e potencial de redução de poluição configuram uma oportunidade para iniciar o uso deste combustível, além do potencial de exportação da tecnologia.

A partir do domínio da reação de esterificação foi possível utilizar insumos mais baratos, como a gordura presente no esgoto sanitário, cuja média de produção diária por pessoa é de 200 litros de esgoto, onde há 160 gramas de sólidos flutuantes (escuma), dos quais 10% é gordura.

3.3. Sebo bovino

O Brasil possui o segundo maior rebanho de gado bovino do mundo, produzindo anualmente 200.000 toneladas de sebo bovino. Esse resíduo gorduroso é constituído por triacilglicerídeos que tem na sua composição principalmente os ácidos palmítico (~30%), esteárico (~20-25%) e oléico (~45%), (ABOISSA, 2006). Considerando a sua alta produção e baixo custo de comercialização, o sebo bovino apresenta-se como uma opção de matéria-prima para a produção de biodiesel, combustível alternativo ao diesel de petróleo.

A determinação das características físico-químicas e da estabilidade térmica e/ou oxidativa do sebo bovino devem ser monitoradas, visando a sua utilização como matéria-prima na produção de biodiesel. O controle da qualidade do biodiesel do sebo bovino, também deve ser realizado para evitar problemas com o seu manuseio, transporte e armazenamento desse combustível. Na determinação das propriedades físico-químicas do biodiesel utilizam-se as normas da Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) e da “American Society for Testing and Material” (ASTM), indicadas pela ANP. No caso da estabilidade oxidativa as técnicas termoanalíticas podem ser empregadas, com várias vantagens diante das técnicas convencionais (SOUZA et al, 2004).

É importante salientar ainda, que outras fontes de gordura animal podem ser utilizadas para obter o biodiesel, como a gordura suína.

3.4. Óleo de Frango

Na cadeia produtiva de carne de frango é gerado um resíduo, óleo de frango, com potencial para produção de biodiesel. Segundo estudo realizado na cidade de Cascavel – PR por SOUZA (2002), o óleo obtido a partir das vísceras de frango apresentou grau de acidez compatível com a rota proposta, álcool e catalisador. O índice de peróxido encontrado para as amostras foi de zero, caracterizando seu baixo grau de degradação, e o percentual de umidade de 0,127%, também não se mostrou problemático, tanto no que dizia respeito ao favorecimento de reações secundárias ou consumo dos reagentes. Depois de realizado o processo de transesterificação em laboratório, conforme metodologia proposta, utilizando 1,8 g de catalisador e 35 mL de álcool, avaliou-se qualitativamente a efetivação da reação de transesterificação, e a conversão dos triglicerídeos em ésteres de álcool primário.

No abate de aves são descartadas as seguintes partes, conforme tabela 2, gerando uma quebra, resíduos, de 30,0% do peso da ave viva, sendo extraído deste percentual de resíduos 11,3% de gordura.

Tabela 2 - Partes descartadas no abate e processamento de aves

Parte	%
Sangue	2.368
Penas	6.335
Vísceras não comestíveis	7.290
Quebra (Ossos, resíduos e rejeitos)	14.007

Fonte: Souza (2006).

As cooperativas do oeste do estado do Paraná operam plantas modernas de abate de aves, geralmente com capacidade de abate de 10.000 aves/h em cada linha, sendo que algumas destas possuem duas linhas instaladas. Sendo a capacidade total de aves abatidas nas cooperativas do oeste do Paraná de 1.140.000 aves/dia ou 300.960.000 aves/ano, o qual gera uma produção diária de 77.292,00 Kg de óleo de frango ou anual de 20.405.088,00 Kg.

Todas estas cooperativas encontram-se em raio em torno de 70 Km, o que justifica a instalação de uma planta industrial para processamento desta matéria-prima. A qual poderia abastecer as máquinas agrícolas dos próprios cooperados, com B100, eliminando assim problemas relacionados à revenda e transporte do biodiesel até as empresas que fariam a mistura B2 ou B5, com a autorização da ANP.

Resultados apontaram um rendimento, de 95%, foi satisfatório para a rota utilizada, podendo as cooperativas citadas produzirem 73.959,13 Kg/dia ou 19.525.209,00 Kg/ano de biodiesel. As cooperativas podem operar uma planta para produção de biodiesel para atender com 37,1% a quantidade total de biodiesel necessária no estado como aditivo legal na forma de B2 (2%).

4. BIODIESEL OBTIDO A PARTIR DE MICROALGAS

Os óleos encontrados nas microalgas possuem características físico-químicas e químicas similares aos de óleos vegetais e por isto elas podem ser consideradas como potencial matéria-prima para a produção de biodiesel (SHEEHAN et al 1998). Do Quadro 1, pode-se verificar que os óleos de algumas microalgas promissoras como matéria-prima para a produção de biodiesel apresentam composição em ácidos graxos semelhante à de óleos vegetais; não foram disponibilizados dados sobre as propriedades físico-químicas destes. Sabe-se que entre os óleos vegetais, a composição em ácidos graxos varia e, por conseguinte, variam as suas propriedades físico-químicas (exemplo, a estabilidade à oxidação) o mesmo ocorrerá com o óleo extraído de diferentes microalgas e de condições variadas de cultivo.

Quadro 1 – Microalgas potenciais.

Microalgas	Principais ácidos graxos ¹
Dunaliella Salina	C14:0/ C14:1/ C16:0/ C16:3/ C16:4/ C18:2/ C18:3
Isocrysis sp.	C14:0/ C14:1/ C16:0/ C16:1/ C18:1/ C18:3/ C18:4/ C22:6
Nannochloris sp.	C14:0/ C14:1/ C16:0/ C16:1/ C16:3/ C20:5
Nitzschia sp.	C14:0/ C14:1/ C16:0/ C16:1/ C16:3/ C20:6

^[1]C14:0(mirístico),C14:1(miristoléico),C16:0(palmítico),C16:1(palmitoléico),C18:0(oléico), C18:2(linoléico), C18:3(linolênico), C20:5(eicosapenteneóico).

As microalgas são potencialmente adequadas para a produção de combustíveis, entretanto, os dados de laboratório acerca desta produção são limitados e não existe um redimensionamento, assim como não existem muitos dados sobre o cultivo de microalgas para a produção de combustíveis. Desta forma, a discussão sobre a utilização destes microorganismos na produção de combustíveis tem que ser baseada em extrapolações.

O cultivo de microalgas apresenta várias características interessantes: custos relativamente baixos para a colheita e transporte e menor gasto de água, comparados aos de

cultivo de plantas; pode ser realizado em condições não adequadas para a produção de culturas convencionais (SHEEHAN et al 1998). Segundo BROWN (1993), as microalgas apresentam maior eficiência fotossintética que os vegetais superiores e podem ser cultivadas em meio salino simples; além disto, são eficientes fixadoras de CO₂.

Estudos recentes mostraram que no caso de algas com 50% de sua massa seca em óleo, somente 0,3% da área cultivada dos EUA poderiam ser utilizadas para produzir biodiesel suficiente para repor todo o combustível usado em transporte; além disto, a terra utilizada para o cultivo de microalgas é desértica, com baixo valor econômico para outros usos e com alta irradiação solar e que neste cultivo podem ser utilizados resíduos de outras produções, como o CO₂ de processos industriais e resíduos orgânicos (BENNEMAN 1997).

Conforme WU (2006), em relação ao rendimento em óleo, o de microalgas é pelo menos quinze vezes maior que o de palma, e existe uma estimativa de produção de óleo de microalgas de 15.000 a 30.000 L/Km². A sua extração é simples, pode ser realizada com hexano, exatamente como em indústria alimentícia. Existe, ainda, a possibilidade de um máximo aproveitamento dos resíduos, como exemplo, a fermentação a metano. Os teores em lipídios e triglicerídios (TG) dependem das condições das culturas, sendo que nos anos de 1940, foram relatados percentuais bastante elevados, de 70 a 85% em lipídios, em vista do seu percentual de lipídios. Em relação à *Dunaliella*, do lipídio produzido pelas células, obteve-se até 57% como TG – molécula de partida para a produção do biodiesel (TAGAKI, 2006).

5. BIODIESEL A PARTIR DE INSUMOS DO EXTRATIVISMO VEGETAL

Os insumos oriundos do extrativismo, como babaçu, buriti e castanha do Pará, também estão disponíveis imediatamente e têm potencial para empregar um maior número de mão-de-obra do que os insumos residuais. Ainda que estejam disponíveis em locais remotos, o que implicará em custos de transporte elevados, seu potencial é de 3 bilhões de litros anuais, cerca de 8% do consumo nacional (LA ROVERE, 1981), (DI LÁSCIO, 2001). Esta característica pode beneficiar a substituição do óleo diesel também para geração elétrica, uma vez que nestas regiões estão os principais sistemas elétricos isolados, aqueles abastecidos por grupo-geradores ciclo diesel, cuja substituição por combustíveis renováveis já conta com incentivo federal, através da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) (ANEEL, 1999). Os custos, ainda que superiores ao preço do óleo diesel, podem ser compensados, tanto pela CCC, quanto pela redução do custo de transporte de derivados das refinarias, muito distantes da região norte, e, muitas vezes obtido via importação.

Com exceção do esgoto e dos ácidos graxos (cujo subproduto é água), o processamento dos demais insumos gera, como subproduto, o glicerol, que atualmente é usado na indústria farmacêutica, sobretudo de cosméticos e alimentícia, e só não está sendo utilizado como insumo para fluido de perfuração na indústria de petróleo por ser caro. Nesse momento a PETROBRÁS está realizando testes para identificar o nível de beneficiamento necessário, o que pode representar uma receita adicional e facilitar a viabilização do sistema.

6. OUTRAS OLEAGINOSAS POTENCIAIS

Em relação ao uso de oleaginosas para a produção de biodiesel, há diversas possibilidades como soja, girassol, milho, pequi, dendê, macaúba, algodão, amendoim, entre outros. A seguir serão apresentadas algumas fontes promissoras, as quais ainda não são amplamente conhecidas para o fim energético.

6.1. Maconha (*Cannabis Sativa L.*)

Segundo TICKELL (2003), a maconha vem sendo cultivada e processada há mais de 5 mil anos na Rússia, China e em outras partes da Ásia, onde é usada como fonte de fibra e para a alimentação. Alguns países vêm testando a maconha na fabricação de papel e fibras têxteis.

A maconha é uma planta com um potencial de produção de óleo a partir de sua semente de 0.5 a 2 toneladas por hectare, dependendo de sua forma de extração. A semente de maconha produz aproximadamente 30% de óleo, similar à canola, enquanto a soja contém 18% de óleo apenas (CAMPBELL, 1997). O óleo obtido se degrada no meio ambiente ainda mais rápido do que outros óleos vegetais. Nos Estados Unidos um projeto denominado “Hemp Car Transamerica” utiliza o Biodiesel obtido através da maconha, com o propósito de demonstrar o conceito deste combustível, através da sua utilização em um veículo diesel, promovendo a idéia da utilidade da maconha com fins legais e principalmente como mitigador ambiental.

No momento, porém, esta alternativa esbarra nas questões legais, sendo que a maconha até agora é considerada uma substância ilegal em muitos países, e sua produção é mais onerosa do que a soja ou a canola por exemplo. É preciso considerar o fato que a maconha não é amplamente cultivada como a soja, sendo que a ampliação de seu cultivo pode tornar a sua utilização viável para a produção de biodiesel.

6.2. Oiticica (*Licania rigida Benth*)

Originária da família Chrysobalanaceae, é uma espécie ciliar dos cursos de água temporários do Semi-Árido nordestino, e tem grande importância, quer pelo aspecto ambiental de ser uma espécie arbórea perene sempre verde que preserva as margens dos rios e riachos temporários na região da caatinga, quer como espécie produtora de óleo. Essa espécie está concentrada nas margens das bacias hidrográficas nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. A semente de um fruto maduro contém uma amêndoa rica em um óleo secante, atualmente empregado na indústria de tintas de automóvel e para tintas de impressoras jato de tinta, além de vernizes e outros. Essa espécie pode ser importante para a sustentabilidade do biodiesel no Semi-Árido, aliado ao fato da época de colheita ser realizada entre os meses de dezembro a fevereiro, período de total escassez de renda para a agricultura familiar (Palmeira, 2006).

Segundo estudo realizado por MELLO et al (2006), através do uso da extração com hexano foi determinado que as amêndoas das sementes de oiticica apresentaram um teor médio de óleo de 54% em base seca. Foi observada uma variabilidade 2% no teor de óleo entre diferentes tipos de amostras que foi atribuída a diversos fatores, tais como: variabilidade genética, graus de maturação variados e diferentes estados de conservação dos frutos.

O óleo obtido apresentou cor amarelada a castanha. O biodiesel produzido por transesterificação metílica apresentou valores de massa específica e viscosidade cinemática elevados, sendo importante sua mistura com biodiesel de outras oleaginosas e/ou com óleo diesel de petróleo. O ponto de fulgor e índice de acidez apresentaram valores dentro dos padrões estabelecidos pela ANP tanto para o B100 como para o óleo diesel de petróleo.

6.3. Pinhão Manso (*Jatropha Curcas* L.)

O pinhão manso pode ser considerado uma das mais promissoras oleaginosas para substituir o diesel de petróleo, pois as amêndoas podem gerar de 50 a 52% de óleo depois de extraído com solventes e 32 a 35% em caso de extração por expressão (PINHÃO MANSO, 2006). Seu óleo é empregado como lubrificante em motores a diesel e na fabricação de sabão e tinta. Além disso, a torta que resta é um fertilizante rico em nitrogênio, potássio, fósforo e matéria orgânica, porém, pela substância tóxica presente não pode ser utilizada para alimentação animal. A casca dos pinhões pode ser usada como carvão vegetal e matéria-prima na fabricação de papel.

Observa-se que a cultura do pinhão-manso está entre as mais promissoras fontes de grãos oleaginosos, pois, além do alto índice de produtividade, as maiores facilidades de manejo e, principalmente, de colheita das sementes em relação a outras espécies como palmáceas, tornam a cultura bastante atrativa e especialmente recomendada para um programa de produção de óleos vegetais. Outros aspectos positivos se referem à possibilidade de armazenagem das sementes por longos períodos de tempo, sem os inconvenientes da deterioração do óleo por aumento da acidez livre, conforme acontece com os frutos de dendê, por exemplo, os quais devem ser processados o mais rapidamente possível.

6.4. Gergelim (*Sesamum indicum*)

Adaptada aos climas tropical e subtropical, apresenta tolerância à seca e facilidade de cultivo, possuindo alto potencial agrônomo, podendo ser usada em rotação e sucessão de culturas. O sistema de consórcio pode ser vantajoso desde que verificado os aspectos sobre a configuração de plantio a fim de se obter um sistema eficiente e mais estável que o monocultivo. Em muitos países o gergelim é usado em consórcio com o algodão, milho, sorgo, amendoim, soja e outras variedades de *Phaseolus*. Além disso, existe a possibilidade de se cultivar o gergelim em consórcio com fruteiras (caju, por exemplo), árvores florestais ou palmeiras com benefícios significativos para o ecossistema, sendo recomendada para as regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Atualmente o gergelim é cultivado em 71 países, especialmente na Ásia e África. A produção mundial está estimada em 3,16 milhões de toneladas, obtidas em 6,56 milhões de hectares, com uma produtividade de 480 kg/ha. Índia e Myanmar são responsáveis por 49% da produção mundial. O Brasil é um pequeno produtor, com 15 mil toneladas produzidas em 25 mil hectares e rendimento em torno de 750 kg/ha (FAO, 2006). Além do cultivo tradicional na maioria dos Estados nordestinos, o gergelim é cultivado em São Paulo, Goiás (maior produtor), Mato Grosso e Minas Gerais.

O gergelim é um alimento de alto valor nutricional, rico em óleo e proteínas. As sementes fornecem óleo muito rico em ácidos graxos insaturados, oleico e linoleico, além de vários constituintes secundários como sesamol, sesamina, sesamolina e gama tocoferol que

determinam sua elevada qualidade, em especial a estabilidade química devido à resistência a rancificação por oxidação, propriedade atribuída ao sesamol (EMBRAPA ALGODÃO, 2006). A torta restante é rica em proteínas e possui baixo teor de fibras, podendo ser destinada à alimentação humana e animal, sem quaisquer restrições. Além dos fins alimentares, seus grãos encontram diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e óleo-química.

Embora com produção inferior a maioria das oleaginosas cultivadas, como por exemplo, a soja, o dendê, o girassol e a mamona, o cultivo do gergelim merece um grande incentivo na sua exploração por representar uma excelente opção agrícola ao alcance do pequeno e médio produtor, exigindo práticas agrícolas simples e de fácil assimilação e com preço de mercado representativo no que tange a lucratividade por hectare.

7. CONCLUSÃO

Além das fontes conhecidas utilizadas na produção de biocombustíveis, a quantidade de matérias-primas que podem ser utilizadas parece ser imprevisível. Em nível mundial, o crescente interesse em tecnologias limpas, sustentáveis e orgânicas, na obtenção de produtos para o consumo humano, demanda uma contínua busca por espécies e/ou variedades capazes de sintetizar grandes quantidades de compostos específicos e de como é possível potencializar a biossíntese destes (condições de cultivo, melhoramento genético etc.). Igualmente, há a necessidade de pesquisas visando ao desenvolvimento e, principalmente, ao aperfeiçoamento dos sistemas de produção em escala comercial, a fim de tornar comercialmente viáveis alguns dos sistemas conhecidos. Estas pesquisas, por fim, também, se fazem necessárias à identificação dos produtos que podem ser extraídos das microalgas, resíduos, plantas oleaginosas, entre outros.

Somado a isso, os insumos cultivados, soja, mamona, girassol, dendê e coco, no Brasil, por exemplo, não estão disponíveis imediatamente, visto que já têm mercado definido (alimentício e químico). Apesar de todas as vantagens provenientes da produção de biodiesel, esta atividade encontra dificuldades com relação às áreas cultivadas e problemas de distribuição.

Desta forma, se faz necessário aproveitar outras fontes que podem ser utilizadas na fabricação de biocombustíveis, inclusive a matéria-prima obtida do enorme volume de resíduos sólidos e líquidos gerados diariamente nos centros urbanos que tem trazido uma série de problemas ambientais, sociais, econômicos e administrativos, todos ligados a crescente dificuldade de implementar uma disposição adequada desses resíduos. Este trabalho objetivou demonstrar que é possível obter biodiesel de várias fontes que ainda não são amplamente conhecidas, possibilitando ganhos sociais, econômicos e ambientais.

Em um momento em que os problemas relacionados ao meio ambiente atingiram um nível crítico, como a poluição das águas, o efeito estufa e o conseqüente aquecimento global, a proteção ambiental deixou de ser uma questão ligada apenas a grupos radicais (partidários e apartidários) para se tornar patrimônio comum de todas as forças sociais. Isto contribuiu para a difusão de uma consciência ambiental que se manifesta tanto no âmbito individual como no âmbito institucional. Daí o extraordinário desenvolvimento das ciências, que devem continuar a buscar meios de reduzir a dependência de fontes poluidoras e escassas de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOISSA ÓLEOS VEGETAIS. Disponível em: <http://www.aboissa.com.br/sebo/>. Acesso em 05 de abril de 2006.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução nº 245**. Brasil, 1999. Versa sobre a Conta de Consumo de Combustíveis.
- BENNEMAN, J.R. **CO₂ Mitigation with microalgae systems**. Energy Conversion Management, 38, S475-479, [s.l], 1997.
- BROWN, L.M.; ZEILER, K.G. **Aquatic biomass and carbon dioxide trapping**. Energy Conversion and Management, 34, 1005-13, 1993.
- CAMPBELL, C.J. **The coming oil crisis**. Multi-Science Publishing Company and Petroconsultants S.A. Essex, England, 1997.
- DI LÁSCIO, M.A. **Relatório do Projeto Equinócio**. Universidade de Brasília, 2001.
- EMBRAPA ALGODÃO. **A cultura do algodão**. Disponível em: <http://algodao.cnpa.embrapa.br>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- FELIZARDO, P.M. **Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Usados de Fritura**. Relatório de estágio. Lisboa: IST, 2003.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Economics and Statistics**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 12 dez. 2006.
- FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 63, 1375. [s.l], 1986.
- HIDROVEG. **Estimativa sobre o potencial de insumos residuais no país**. Comunicação pessoal, 2005.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE GREENHOUSE GAS INVENTORY. **Reference Manual (IPCC)**. Greenhouse Gas Inventory. Revised, chapter 6, Waste, 350 p. 1996.
- LA ROVERE, E. L. **Óleos vegetais para fins energéticos: análise comparativa de algumas avaliações econômicas**. FINEP. 43p, 1981.
- MARTIN, J. M. **A Economia Mundial da Energia**. Unesp, São Paulo, 1990.
- MELO, J.C. **Produção de Biodiesel de óleo de Oiticica**. Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste. Recife, 2006.

MITTELBACH, M.; TRITTHART, P. J. **Am. Oil Chem. Soc.**, 65, 1185, [s,l], 1988.

OLIVEIRA, L. B. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e abatimento de gases do efeito estufa.** Dissertação (de mestrado). Programa de Planejamento Energético. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. RJ. 148 p., 2001.

OLIVEIRA, L. B. **Biodiesel: Combustível Limpo para o Transporte Sustentável.** In: RIBEIRO, S.K. Transporte Sustentável: Alternativa para Ônibus Urbanos. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ, 2001.

PALMEIRA, H. S. **Relatório técnico sobre produção e comercialização da oiticica.** CETENE, 2006.

PETERSON, C.L. & REECE, D.L. **Emissions tests with an on-road vehicle fueled with methyl and ethyl esters of rapeseed oil.** ASAE paper no.946532. ASAE, St. Joseph, MI. 1994.

PINHÃO MANSO. Pinhão Manso: uma planta do futuro. Disponível em:<http://pinhaomanso.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2006.

PRICE, D. **Energy and Human Evolution.** Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies, Volume 16, Number 4, pp. 301-319, Human Science Press, 1995.

QUERCUS - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA Centro de Informação de Resíduos. **Estratégia para gestão de óleos alimentares usados.** Portugal, 2002.

ROSA, L.P. et al. **Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Óleos Vegetais.** In: TOLMASQUIM, M.T (Coord) Fontes Alternativas de Energia no Brasil - CENERGIA. 1a Ed. Editora Interciência. 515 p.

SHEHANN, J. et al. **A look back at the U. S. Department of Energy's Aquatic Species Program- Biodiesel from Algae.** Colorado, 1998.

SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M.,; SANTOS, J. C. O.; SILVA, M. C. D.; PRASAD S. **A thermoanalytical and kinetic study of sunflower oil.** Brazilian. Journal Chemical. Engineering. v. 21, n. 02, p. 256-273, 2004.

SOUZA, S.N.M. et al. **Potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango nas cooperativas do oeste do Paraná.** Agrener, Paraná, 2006.

TAGAKI, M., KARSENIO, Y.T. **Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae Dunaliella cells.** Journal of Bioscience and Bioengineering, 101, n.3, 223-6, 2006.

TICKELL, J. From the fryer to the Fuel Tank: The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel. Tickell Energy, Hollywood CA, 2003.

WHITE, L. The Science of Culture: a study of man and civilization. Farrar Strauss, New York, 1949.

WU, Q.; MIAO, X. Biofuels production from microalgae after heterotrophic growth. Tsinghua University. Disponível em <http://europa.eu.int%00/comm/research/energy/pdf/36_qingyu_wu_en.pdf> Acesso em: 25 de nov. de 2006.