

PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL ETÍLICO NA UEPG

BIODIESEL PRODUCTION AND ITS USE AT UEPG

Roseli Aparecida Ferrari¹, Ardalla Scabio², Vanessa da Silva Oliveira²

¹ Autor para contato: Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Campus em Uvaranas, Departamento de Engenharia de Alimentos, Ponta Grossa, PR, Brasil; (42) 220-3725; e-mail: ferrarir@uepg.br

² Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Campus em Uvaranas, Departamento de Engenharia de Alimentos - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq/UEPG.

Recebido para publicação em 23/08/2004

Aceito para publicação em 22/11/2004

RESUMO

Biodiesel (ésteres etílicos) obtido através da transesterificação do óleo de soja com etanol anidro na presença de catalisador alcalino NaOH, foi avaliado quantitativamente em relação ao rendimento médio do processo e a taxa conversão em ésteres etílicos. A conversão qualitativa foi observada através de cromatografia em camada delgada – CCD. Inicialmente, misturas de biodiesel e diesel comercial foram testadas em gerador de energia elétrica nas proporções de 5; 10; 20; 40; 60 e 80%, e o consumo médio foi determinado em L/h de funcionamento do equipamento mantido sob as mesmas condições de operação. Posteriormente, testes com o combustível B5 foram realizados em ônibus da UEPG, sendo verificados o comportamento do motor, a emissão de fumaça pelo escapamento e a média de consumo do combustível. O rendimento médio do processo de obtenção do biodiesel foi de 57% e a taxa de conversão média em ésteres etílicos de 104%. Observou-se no gerador de energia que com a adição de até 20% de biodiesel ocorreu uma diminuição do consumo do combustível. A média de consumo do diesel puro era de 5,19 km/L e com a utilização de B5 passou a 4,81 km/L, um valor abaixo do anterior, mas que se enquadra na faixa de normalidade para veículos deste porte, visto que os trajetos percorridos pelo ônibus não são constantes.

Palavras-chave: biodiesel, rendimento, consumo, motores

ABSTRACT

Biodiesel (ethyl esters) produced through the transesterification of soybean oil with anhydrous ethanol and alkaline catalyser NaOH was evaluated quantitatively

related to the yield of the process and the conversion tax in ethyl esters. The qualitative conversion was monitored through thin layer chromatography, TLC. Initially the mixtures of biodiesel and commercial diesel were tested in an electric energy generator in which were used in the ratios of 5; 10; 20; 40; 60 and 80%, and their average consumption was determined in L/h of running the equipment on the same conditions. After that, tests with the B5 fuel were carried out on a bus of the Ponta Grossa State University/PR, and the engine performance, the smoke emission of the exhaust pipe and the average of consumption of the fuel were monitored. The average income of the process of attainment of biodiesel was 57% and a tax of average conversion was 104%. It was observed that with the addition of up to 20% of biodiesel in the energy generator a reduction of the consumption of the fuel occurred. The average of consumption of pure diesel was 5.1 km/L and with the use of B5 was 4.8 Km/L, a value below the previous one, but still in the range of normality for that kind of vehicle, since the routes covered by the bus were not constant.

Key words: biodiesel, yield, consumption, engines

1. Introdução

O uso de óleos vegetais em motores de combustão interna remonta ao início da operação satisfatória do próprio motor Diesel, em fins do século XIX. Rudolf Diesel projetou em 1896 seu primeiro motor, com eficiência da ordem de 26%, e testou-o com petróleo, álcool e, em 1900, com óleos vegetais. Razões de natureza econômica, principalmente o maior custo e menor disponibilidade frente aos derivados de petróleo, levaram ao completo abandono dos óleos vegetais como combustíveis (IVIG, 2002).

Segundo Encinar *et al.* (1999), a aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada em virtude de algumas propriedades físicas dos mesmos, principalmente a sua alta viscosidade, baixa volatilidade e seu caráter poliinsaturado, que implicam em alguns problemas nos motores, bem como numa combustão incompleta (Encinar *et al.*, 2002; Dorado *et al.*, 2003; Agarwal, 2001). Assim, visando reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como: diluição, microemulsificação com metanol ou etanol, craqueamento catalítico e reação de transesterificação com etanol ou metanol (Nascimento, 2001). Entre essas alternativas, a transesterificação tem se apresentado como a melhor opção (Noureddini, 1998), visto que o processo é relativamente simples (Schuchardt, 1998) e promove a ob-

tenção de um combustível denominado biodiesel (mono-alquil éster de ácidos graxos), cujas propriedades são similares às do óleo diesel (Dunn, 2002; Dorado *et al.*, 2002).

Biodiesel pode ser obtido através de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais (Canakci e Van Gerpen, 2001; Monyem e Van Gerpen, 2001; Monyem, 2001) e sua utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores do ciclo diesel (Knothe, 2002; Haas *et al.*, 2001), sem haver a necessidade de nenhuma modificação no motor (Lue, 2001).

Além de ser uma alternativa de biocombustível não poluente e biodegradável, a opção de biodiesel constituído de ésteres etílicos deve ser considerada como estratégica e de alta prioridade para o país, já que a adoção da rota etílica leva em consideração fatos como o de que o Brasil é o maior produtor de álcool de cana (etanol) do mundo, além de ser o segundo consumidor e produtor de óleo de soja (Dabdoub, 2003).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o rendimento e a conversão do processo de obtenção de biodiesel através de óleo de soja transesterificado, bem como testar seu consumo em gerador de energia elétrica e, posteriormente, em ônibus da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

2. Material e métodos

2.1. Obtenção de Ésteres Etílicos

As matérias-primas óleo de soja (refinado, neutro e usado em fritura), etanol anidro e catalisador alcalino (NaOH) nas proporções 100:50:0,5 foram utilizadas para a obtenção de biodiesel. A reação de transesterificação foi conduzida em reator com capacidade de 5L a 45°C, ao qual foram adicionadas as matérias-primas, promovendo-se a reação por 5 minutos. Ao término da reação foi incorporado ao sistema 20% de glicerina p.a., em relação ao volume inicial de óleo, resultando ao final, por decantação, um sistema de duas fases. A fase superior contendo ésteres etílicos de ácidos graxos foi neutralizada com uma solução aquosa de HCl a 0,5% a 90°C, obtendo-se biodiesel neutro. A eficiência da etapa de lavagem foi indicada por um teste com indicador de pH, utilizando-se uma solução de fenolftaleína a 1%. Também se determinou o teor de glicerol livre no éster (Método Ea 6-51 AOCS, 1995). Retirada e descartada a fase aquosa, filtrou-se o biodiesel com sulfato de sódio anidro, eliminando assim possíveis traços de umidade. A fase inferior contendo glicerina, o excesso de etanol, o catalisador, bem como os sabões formados durante a reação e traços de ésteres etílicos e glicérides parciais, foi submetida a um processo de destilação a vácuo a 80°C a fim de se recuperar o excesso de etanol e separar a fase glicerina.

2.2. Rendimento do processo e taxa de conversão em ésteres etílicos

• *Análise Quantitativa*

Após o preparo de diversas bateladas, avaliou-se o rendimento médio e a taxa de conversão do processo de obtenção de biodiesel desenvolvido no Laboratório de Biotecnologia de Lipídeos da UEPG.

• *Análise Qualitativa*

A conversão qualitativa em ésteres etílicos foi observada através de cromatografia em camada delgada – CCD. Como fase estacionária utilizou-se placa de sílica na qual foram aplicados os padrões (triglicérides, ácidos graxos e ésteres de ácidos graxos) e a amostra – biodiesel diluído em éter de petróleo. A fase móvel utilizada foi uma mistura de éter de petró-

leo, éter etílico e ácido acético na proporção de 80:20:1, respectivamente. Após eluição, o cromatograma foi revelado com vapor de iodo e o R_f das manchas dos padrões e dos componentes das amostras foram determinados e comparados para identificação.

2.3. Testes de consumo em Gerador de Energia Elétrica

Testes de consumo médio de biodiesel e suas misturas com diesel comercial nas proporções de 5; 10; 20; 40; 60 e 80% foram realizados em um gerador de energia elétrica de Marca Yanmar do Brasil S.A/ NSB50 – Kohlbach S.A/ Rot. 1800/ Hz 60, mantido sob as mesmas condições de operação. Também foram determinadas características de densidade e viscosidade, respectivamente segundo as normas ABNT NBR 7148 e ABNT NBR 10441 (ANP, 2003).

2.4. Avaliação do consumo de biodiesel (B5) em ônibus da UEPG

Testes com o combustível B5 (5% biodiesel e 95% diesel) foram realizados em ônibus “Mercedes Benz” motor 608 da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no qual foram avaliados o comportamento do motor, a emissão de fumaça pelo escapamento e a média de consumo do combustível, medido em km/L.

3. Resultados e discussão

A taxa de conversão do óleo de soja em ésteres etílicos depende significativamente do curso da reação de transesterificação, que é influenciado por vários fatores que incluem o tipo de catalisador (alcalino ou ácido), razão molar álcool/óleo vegetal, temperatura, teor de ácidos graxos livres e principalmente a pureza dos reagentes. Sendo assim, adotou-se neste trabalho o processo de catálise básica, tendo em vista o fato deste apresentar seletividade, melhor rendimento e menor tempo de reação se comparado com o processo de catálise ácida (Noureddini, 1997) que pode provocar a corrosão dos componentes do motor devido à presença de traços de ácido (Dorado *et al.*, 2003).

A presença de umidade durante a reação tem uma influência bastante negativa no desenvolvimento da alcoólise, tornando-se, por isso, absolutamente necessário o emprego de álcoois anidros para a maior eficiência da conversão em ésteres, já que o abaixamento do grau alcoólico resulta na queda abrupta da produção do óleo esterificado, decorrente da menor solubilidade dos triglicerídeos na fase alcoólica (MIC/STI, 1985).

Visando aumentar o rendimento de alquil ésteres e permitir a formação de uma fase separada de glicerol, um excesso de etanol anidro foi utilizado devido ao caráter reversível da reação de transesterificação (Schuchardt, 1998; Freddman, 1986). Este excesso de agente transesterificante desloca o equilíbrio da reação para a direita favorecendo o aumento da conversão de óleo em éster, conforme demonstrado pela Figura 1.

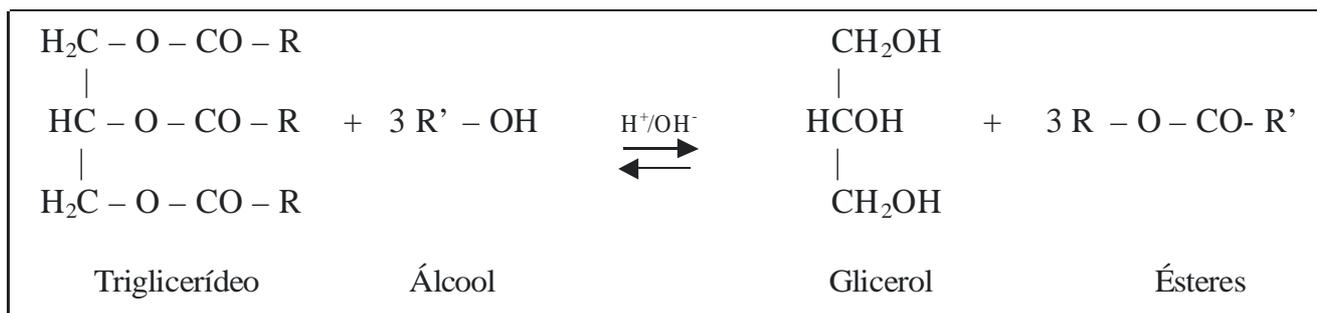


Figura 1 - Transesterificação de triglicerídeos, onde R representa a cadeia carbônica dos ácidos graxos e R', a cadeia carbônica do álcool reagente.

De acordo com as normas determinadas pela União Européia, o biodiesel deve conter um valor mínimo de ácidos graxos livres, álcool, glicerina e água e o combustível deve apresentar pelo menos 96,5% de pureza (Karaosmanoglu *et al.*, 1996). Sendo assim, uma etapa importante do processo é a remoção das impurezas que permaneceram na fase éster, como por exemplo, sabões, traços de NaOH, traços de etanol e glicerol livre. Para tanto, esta fase foi submetida à lavagem com água destilada acidificada (0,5%) com HCl a 37% a 90°C, e sua eficiência foi indicada por um teste com indicador de pH. Através do controle de pH da água de lavagem que sai do reator, com uma solução de fenolftaleína a 1% pode-se observar se o pH do éster está neutro, ou seja, quando testada não apresentou variação de coloração. Além disso, a análise do teor de glicerol livre no éster resultou um valor de 0,0109%, podendo-se afirmar que o glicerol foi removido com sucesso, o que indica que as etapas de purificação e neutralização foram adequadamente conduzidas.

Com relação ao rendimento médio do processo de obtenção do biodiesel, em um balanço total da re-

ação, verificou-se um valor de aproximadamente 57% em ésteres etílicos, sendo seus subprodutos (glicerina e etanol recuperados) e perdas no processo responsáveis pelos 43% restantes, como pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Rendimento médio de diversas bateladas do processo de obtenção do biodiesel.

Produto	Rendimento do processo (%)
Biodiesel (ésteres etílicos)	57,26 ± 3,65
Glicerina	22,29 ± 2,24
Etanol	10,04 ± 2,99
Perdas	10,42 ± 2,82

Ainda, vale salientar que da quantidade de óleo que adentrou o processo registrou-se uma taxa de conversão média de 104% em ésteres etílicos, como pode ser verificado na Tabela 2, com produção de glicerina como co-produto.

Tabela 2 - Taxa de conversão em ésteres etílicos de diversas bateladas e diferentes matérias primas.

Matéria-Prima	Óleo (mL)	Éster (mL)	Conversão
OSN	3000	3150	105,0%
OSN	3000	3250	108,0%
OSR	3000	3150	105,0%
OSR	3000	3155	105,0%
OFRU	3000	2985	99,5%
OFRU	3000	3150	105,0%
OFRU	3000	3200	106,0%
OFRU	3000	3100	103,0%
			Média 104,0%

OSN: óleo de soja neutro, OSR: óleo de soja refinado, OFRU: óleo de soja usado em fritura no Restaurante Universitário.

Através da cromatografia em camada delgada (CCD), verificou-se pelos R_f das manchas obtidas a produção de somente ésteres etílicos, conforme a Tabela 3, confirmando a eficiência de conversão total dos ácidos graxos em biodiesel pelo procedimento adotado neste trabalho.

Tabela 3 - R_f de padrões e de amostra de biodiesel obtido a partir de óleo neutro de soja.

Composto	R_f
Triglicerídeos	0,64
Ácidos graxos	0,44
Ésteres de ácidos graxos	0,75
Biodiesel óleo de soja	0,75

Desta forma, considera-se que a CCD é uma

técnica simples e que pode ser utilizada de forma bastante eficiente, pois permite avaliar qualitativamente se houve a completa conversão em ésteres etílicos para que o biodiesel possa ser utilizado de forma adequada sem que ocorram problemas no motor pela presença de contaminantes do combustível.

O consumo, em litros por hora, de diesel e de suas misturas com biodiesel nos testes utilizando gerador de energia elétrica, é apresentado na Tabela 4, sendo o seu perfil de consumo demonstrado pela Figura 2.

Tabela 4 - Valores médios de consumo de combustível no gerador de energia elétrica YANMAR.

Combustível	Consumo (L/h)
Diesel	0,698 ± 0,012
Biodiesel 5%	0,672 ± 0,007
Biodiesel 10%	0,657 ± 0,020
Biodiesel 20%	0,687 ± 0,007
Biodiesel 40%	0,711 ± 0,004
Biodiesel 60%	0,725 ± 0,006
Biodiesel 80%	0,755 ± 0,008
Biodiesel	0,791 ± 0,016

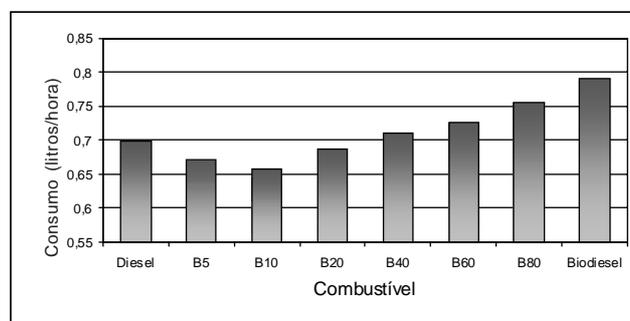


Figura 2 - Perfil de consumo de diesel, misturas de diesel/biodiesel e biodiesel em gerador de energia elétrica

A análise gráfica permite demonstrar que com a adição de até 20% de biodiesel ao diesel ocorreu uma diminuição do consumo do combustível pelo equipamento se comparado com o diesel puro, contudo quando o teor de biodiesel na mistura foi mantido acima de 20% ocorreu uma elevação no consumo do combustível utilizado, provavelmente em virtude da variação da viscosidade observada na Figura 3.

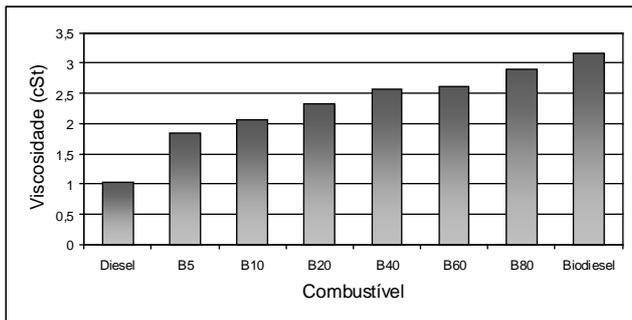


Figura 3 - Viscosidade do biodiesel, do diesel e das misturas.

Verifica-se na Figura 3, que a viscosidade do Biodiesel puro é praticamente três vezes maior que a viscosidade do diesel convencional. Entretanto, utilizando-se uma mistura B5 (5% de biodiesel e 95% de diesel) este fato seria sanado, já que a viscosidade da mistura B5 é a que mais se aproxima do diesel.

Ao contrário da viscosidade, os valores das densidades do biodiesel e diesel puros estão próximos bem como de todas as misturas analisadas, como pode ser verificado na Figura 4.

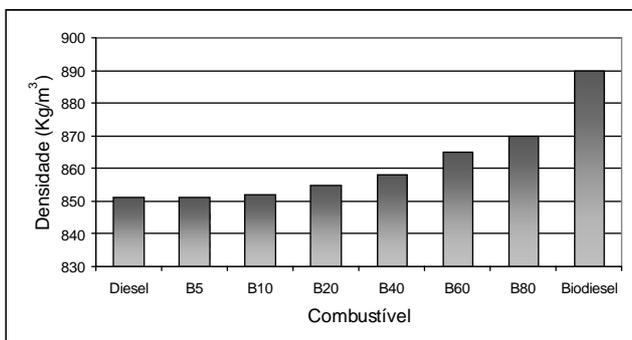


Figura 4 - Densidade do biodiesel, do diesel e das misturas.

Da mesma forma, Agarwal (2001) verificou que 20% da mistura de biodiesel no óleo diesel, testado

em um motor a diesel, teve o melhor desempenho dentre todas as misturas analisadas, com um benefício de 2,5% na eficiência térmica máxima e uma substancial redução nos teores de fumaça. Já Dorado *et al.* (2002) puderam concluir que o motor a diesel, analisado sem nenhuma modificação, funcionou de maneira bem sucedida com misturas de 10% de biodiesel de óleo de fritura e 90% de óleo diesel, sem nenhum dano aparente nos componentes do motor.

O ônibus da Universidade Estadual de Ponta Grossa utilizado para os testes da mistura Diesel/Biodiesel durante 1 ano, percorreu um total de 19.240 km em condições normais de trabalho, utilizando 5% de biodiesel e 95% de diesel convencional (B5). O veículo apresentou desempenho normal, exceto por um leve odor de óleo de fritura expelido pelo escapamento e pela menor emissão de fumaça, fato de suma importância para a redução dos níveis de poluição ambiental nos grandes centros urbanos e a conseqüente redução do efeito estufa. Verificou-se também que durante o período de aplicação de B5 no ônibus, não foi necessário nenhum reparo no motor, comprovando que os óleos vegetais transesterificados se adaptam perfeitamente ao motor ciclo diesel como é descrito na literatura. A média de consumo do diesel anterior à adição de biodiesel era de 5,19 km/L para um total de aproximadamente 21.000 km percorridos. Já a média de consumo da mistura B5 foi de 4,81 km/L, um valor abaixo do anterior, mas que se enquadra na faixa de normalidade para veículos deste porte, visto que os trajetos percorridos pelo ônibus não são constantes.

A Figura 5 demonstra o perfil de consumo do combustível B5 pelo ônibus em comparação com o consumo de diesel puro, em período anterior à adição de biodiesel.

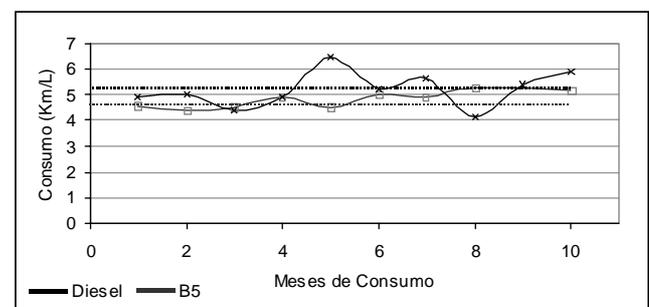


Figura 5 - Perfil de consumo comparativo entre combustível B5 e diesel em ônibus da UEPG.

Na Figura 5, as linhas tracejadas representam a média de combustível consumido nos referidos períodos mencionados anteriormente. Comparando-se os perfis de consumo, pode-se observar que o consumo da mistura B5 pelo ônibus apresentou uma menor variação em relação ao consumo médio e ao consumo de diesel puro, que mostrou picos máximos e mínimos mais acentuados. Tal fato pode ser explicado pelas características físicas do biodiesel que conferem ao combustível uma maior fluidez e conseqüentemente um menor consumo, como, por exemplo, maior índice de cetano, viscosidade favorável e maior poder calorífico que o diesel, características que determinam a excepcional qualidade carburante dos óleos vegetais transesterificados (MIC/STI, 1985).

4. Conclusão

Neste estudo, o processo de obtenção de biodiesel a partir da reação de transesterificação entre óleo de soja e etanol anidro promoveu uma taxa de conversão média em ésteres etílicos de 104% e um rendimento médio em torno de 57% com um total de apenas 10% de perdas, as quais, juntamente com a recuperação do etanol e a comercialização da glicerina gerada, tornam o processo viável. Dos testes realizados no gerador de energia elétrica observou-se uma diminuição do consumo do combustível quando adicionado até 20% de éster ao diesel. A utilização da mistura B5 no ônibus da UEPG tem se mostrado satisfatória, já que foi observado até o momento um consumo normal de combustível e uma menor emissão de fumaça pelo escapamento. Diante de todos os resultados obtidos, pode-se concluir que com a adição do biodiesel ao diesel quando o teor do mesmo na mistura é mantido na faixa de até 20% há uma diminuição do consumo de combustível, o que nos estimula a recomendar esta adição.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio concedido, ao PIBIC/CNPq/UEPG pela bolsa de iniciação científica, à empresa COINBRA pelo fornecimento de

óleo de soja neutro e refinado, e ao Restaurante Universitário da UEPG por disponibilizar o óleo de soja usado em fritura.

REFERÊNCIAS

- 1 AGARWAL, A. K.; DAS, L. M. Biodiesel development and characterization for use as fuel in compression ignition engines. **J. Eng. Gas Turb. Power-T. ASME**, v.123, p.440-447, 2001.
- 2 ANP (2003). Agência nacional de Petróleo. ABNT NBR 7148/ABNT NBR 10441. Available: www.anp.gov.br/doc/legislacao/Minuta_Proge.pdf. [22 Jan 2003].
- 3 AOCS – American Oil Chemist's Society. **Official and Tentative Methods**, 5.ed., Chicago, 1995.
- 4 CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. **Trans. ASAE**, v.44, p.1429-1436, 2001.
- 5 DABDOUB, M. J. (2003). Uso de novos combustíveis permitirá a redução das importações de diesel em no mínimo 33%. Available: <http://dabdoub-labs.com.br>. [23 Mar 2003].
- 6 DORADO, M. P.; BALLESTEROS, E.; ARNAL, J. M.; GÓMEZ, J.; GIMÉNEZ, F. J. L. Testing waste olive oil methyl ester as a fuel in a diesel engine. **Energy Fuels**, v.17, p.1560-1565, 2003.
- 7 DORADO, M. P.; ARNAL, J. M.; GÓMEZ, J.; GIL, A.; LOPEZ, F. J. The effect of waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance. **Trans. ASAE**, v.45, p.525-529, 2002.
- 8 DUNN, R. O. Effect of oxidation under accelerated conditions on fuel properties of methyl soyate (biodiesel). **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v.79, p.915-920, 2002.
- 9 ENCINAR, J. M.; GONZÁLES, J. F.; RODRÍGUEZ, J. J.; TEJEDOR, A. Biodiesel fuels from vegetables oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with etanol. **Energy Fuels**, v.19, p.443-450, 2002.
- 10 ENCINAR, J. M.; GONZÁLEZ, J. F.; SABIO, E.; RAMIRO, M. J. Preparation and properties of biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v.38, p.2927-2931, 1999.
- 11 FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean oil. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v.63, p.1375-1379, 1986.
- 12 HAAS, M. J.; SCOTT, K. M.; ALLEMAN, T. L.; MCCORMICK, R. L. Engine performance of Biodiesel fuel prepared from soybean soapstock: a high quality renewable fuel produced from a waste feedstock. **Energy Fuels**, v.15, p.1207-1212, 2001.
- 13 IVIG - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (2002). Transesterificação de óleo comestível usado para

produção de biodiesel e uso em transportes. Available: www.ivig.coppe.ufrj.br/arquivos/cnpq1.pdf. [10 Nov 2002]

14 KARAOSMANOGLU, F.; CIGIZOGLU, K. B.; TUTER, M.; ERTEKIN, S. Investigation of the refining step of biodiesel production. **Energy Fuels**, v.10, p.890-895, 1996.

15 KNOTHE, G. Structure indices in FA chemistry. How relevant is the iodine value? **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v.79, p.847-854, 2002.

16 LUE, Y. F.; YEH, Y. Y.; WU, C. H. The emission characteristics of a small DI diesel engine using biodiesel blended fuels. **J. Environ. Sci. Health, Part A – Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.**, v.36, p.845-859, 2001.

17 MIC/STI - Ministério da Indústria e do Comércio/Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília: STI/CTI, 1985, 364p.

18 MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. H. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. **Biomass Bioenerg.** v.20, p.317-325, 2001.

19 MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. H.; CANAKCI, M. The effect of timing and oxidation emissions from biodiesel-fueled engines. **Trans. ASAE**, v.44, p.35-42, 2001.

20 NASCIMENTO, M. G.; COSTA NETO, P. R.; MAZZUCO, L. M. Biotransformação de óleos e gorduras: utilização de lipases para obtenção de biocombustível. **Biociência & Desenvolvimento**, v.19, p.28-31, 2001.

21 NOUREDDINI, H.; HARKEY, D.; MEDIKONDURU, V. A. Continuous process for the conversion of vegetable oil into methyl esters of fatty acids. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v.75, p.1775-1783, 1998.

22 NOUREDDINI, H.; MEDIKONDURU, V. Glycerolysis of fats and methyl esters. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v.74, p.419-425, 1997.

23 SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, M. Transesterification of vegetable oils. **J. Braz. Chem. Soc.**, v.9, p.199-210, 1998.