

Análise do ciclo de vida do biodiesel no mercado brasileiro e quantificação das emissões liberadas pelo uso desse combustível

Analysis of the life cycle of biodiesel in the Brazilian market and quantification of emissions released by the use of this fuel

Fábio Pivotto

Engenheiro Elétrico, especialista em Engenharia Ambiental
Universidade Nove de Julho.
São Paulo, SP [Brasil]
f.pivotto@hotmail.com

Maurício Lamano Ferreira

Biólogo, Doutorando em Ecologia e Professor do curso de
Ciências Biológicas
Universidade Nove de Julho.
São Paulo, SP [Brasil]
mauecologia@yahoo.com.br

Ana Paula Nascimento Lamano Ferreira

Bióloga, Doutora em Ecologia Aplicada, Professora do curso
de Ciências Biológicas Universidade Nove de Julho.
São Paulo, SP [Brasil]
ana_paula@uninove.br

Resumo

Na pesquisa realizada, buscou-se descrever o uso do biodiesel no mercado brasileiro para analisar seu ciclo de vida e as emissões liberadas por esse combustível. Para isso, foi realizada uma comparação entre o consumo de diesel e biodiesel entre os anos de 2006 e 2009, como também foi calculada a estimativa de dióxido de carbono (CO₂) emitida no ano de 2009. O uso de combustíveis fósseis pode ser considerado o maior responsável por emissões de CO₂ no meio ambiente. A busca por energias alternativas aparece como a solução mais viável para reduzir a poluição atmosférica. A substituição do óleo diesel convencional pelo biodiesel vem-se tornando um recurso interessante e ambientalmente correto. Neste trabalho, foi verificado que quanto maior a porcentagem do biodiesel misturado ao diesel, menor é a taxa de emissão de CO₂ o que implica melhoria nas condições atmosféricas.

Palavras-chave: Biodiesel. Dióxido de carbono. Medições das emissões. Meio ambiente.

Abstract

The purpose of this research was to describe the use of biodiesel in the Brazilian market in order to analyze the fuel's life cycle and its emissions release. To do this, a comparison was made between the consumption of diesel and biodiesel between 2006 and 2009; the estimated carbon dioxide (CO₂) emitted in the year 2009 was also calculated. The use of fossil fuels can be considered the largest contributor to CO₂ emissions in the environment. The search for alternative energy appears as the most viable solution to reduce air pollution. The substitution of conventional diesel fuel by biodiesel has become an interesting and environmentally friendly solution. In this study it was found that the higher the percentage of biodiesel, the lower the rate of CO₂ emissions, resulting in an improvement of atmospheric air.

Key words: Biodiesel. Carbon dioxide. Emissions measurements. Environment.

1 Introdução

Nas grandes cidades, a população está sofrendo muito com a piora das condições atmosféricas. A poluição do ar pode afetar o homem e o seu ambiente de diversas formas, sendo uma das principais causas de doenças respiratórias nos seres humanos, atingindo todas as faixas etárias (BUENO et al., 2010; NEGRETE et al., 2010; NOVAES, et al., 2010). As emissões de dióxido de carbono (CO_2), que é o principal gás do efeito estufa, estão em constante crescimento. Estima-se que desde a Revolução Industrial até os dias atuais o aumento absoluto de CO_2 seja de 25%. A queima de combustíveis fósseis é responsável pela maior parcela do dióxido de carbono emitido para a atmosfera (BRAGA et al., 2005).

O controle da emissão de CO_2 é um grande desafio a ser enfrentado por autoridades e ambientalistas. No Brasil, o setor de transporte é responsável por mais de 30% dessa emissão (BRAGA et al., 2005). De acordo com Novaes et al. (2010), a poluição do ar gerada por veículos está relacionada a mortalidade infantil, para minimizá-la e, conseqüentemente, reduzir o efeito estufa é necessária a busca por energias alternativas à utilização de derivados de petróleo. Hoje, as novas fontes de energia que despertam maior interesse dos pesquisadores são as de origem vegetal, como o álcool e, mais recentemente, o biodiesel (SORANSO et al., 2008; GAMA, et al., 2010).

O biodiesel, segundo o artigo 4º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores à combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Ele é biodegradável, não tóxico e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos. Seu uso, principalmente nas grandes cidades, vi-

sando substituir a frota de veículos movidos a óleo diesel, contribuirá com a redução dos poluentes lançados na atmosfera.

Dessa forma, o objetivo neste trabalho foi descrever o uso do biodiesel no mercado brasileiro, para analisar seu ciclo de vida e também as emissões liberadas por esse combustível.

Produção do biodiesel

O biodiesel é um biocombustível, ou seja, é um combustível produzido a partir de produtos orgânicos naturais não fósseis, de origem vegetal ou animal (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007). Por apresentar características semelhantes ao óleo diesel, pode ser utilizado para substituí-lo. Segundo Rodriguez (2010), é o único combustível renovável alternativo que pode ser usado diretamente em qualquer motor diesel sem a necessidade de realizar algum tipo de modificação nesse equipamento.

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleo vegetal ou de gordura animal por meio de uma reação química denominada transesterificação (FERRARI et al., 2005). Essa reação é necessária, pois a ação direta do óleo vegetal ou da gordura animal, devido a sua alta viscosidade, pode causar diversos danos aos motores de ciclo diesel, tais como a obstrução do filtro de óleo e bicos injetores, diluição parcial do combustível no lubrificante, comprometimento da durabilidade do motor (QUINTELLA et al., 2009).

A transesterificação é a reação de um lipídio com um álcool (metanol ou etanol). Na maioria dos países, utiliza-se o metanol por ser o mais barato dos alcoóis. Entretanto, no Brasil prefere-se a usar o etanol no processo, pois além da disponibilidade de matéria-prima e de tecnologia que permite uma produção economicamente viável, ele é renovável e muito menos tóxico que o metanol. Essa reação forma os ésteres e também, como subproduto, o glicerol (glicerina) que possui diversas

aplicações nas indústrias químicas e farmacêuticas. Para acelerar a reação, é utilizado um catalisador que pode ser uma base, ácido ou enzima (LIMA, 2005; KNOTHE et al., 2006).

O processo de produção do biodiesel, demonstrado na Figura 1, começa com a preparação da matéria-prima, etapa em que é eliminada sua umidade e acidez, submetendo-a a um processo de neutralização. Na sequência, ocorre a reação de transesterificação, na qual é realizada a conversão do óleo ou gordura em ésteres. O próximo passo é a separação das fases, em que por meio do processo de decantação e/ou de centrifugação, separam-se a glicerina bruta dos ésteres. A próxima etapa é a recuperação do álcool provenientes da glicerina e dos ésteres pelo processo de evaporação. Depois é realizada a desidratação do álcool pela destilação, eliminando-se a água presente. Em seguida, realiza-se a purificação dos ésteres, sendo lavados por centrifugação e desumificação, resultando no biodiesel. O último passo é a destilação da glicerina a vácuo para que ela fique límpida e transparente para ser comercializada (GÓES, 2006).

Diversas matérias-primas podem ser utilizadas para a produção do biodiesel. Depende muito da disponibilidade regional e da viabilidade econômica. Segundo Rodriguez (2010), os óleos vegetais refinados são os que apresentam os melhores resultados. A Tabela 1 demonstra a produtividade dos principais óleos vegetais típicos do Brasil que estão sendo estudados e/ou utilizados.

Tabela 1: Produtividade dos principais óleos vegetais típicos do B

ESPÉCIE	PRODUTIVIDADE (L/ha)
SOJA	400
GIRASSOL	800
MAMONA	1200
BABAÇU	1600
PEQUI	3100
MACAÚBA	4000
DENDÊ	5990

Fonte: Rodriguez (2010).

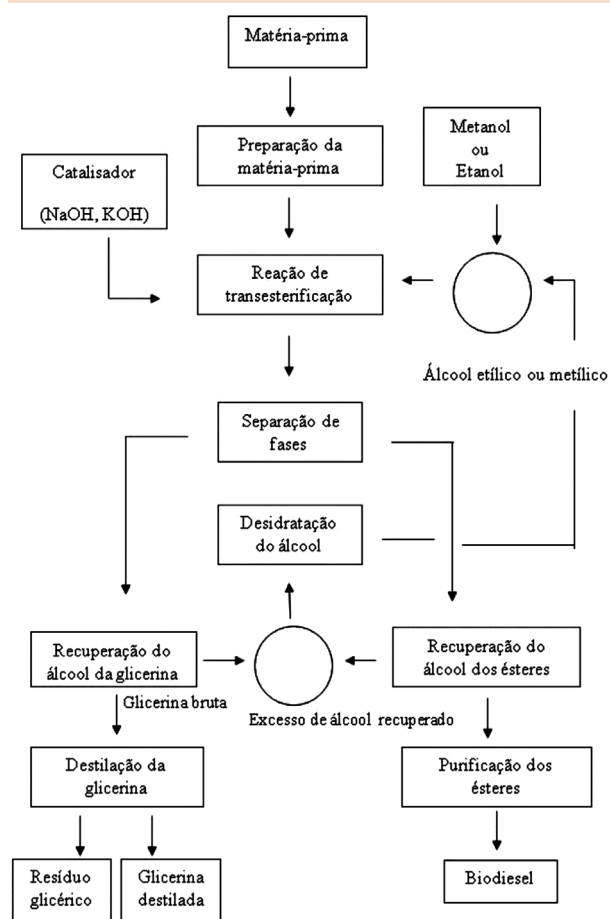


Figura 1: Processo de obtenção do biodiesel

Fonte: Adaptada do Plano Nacional de Agroenergia (2006).

No Brasil, a produção e a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira atende a uma legislação e a uma regulamentação específica. Segundo a Lei nº 11.097/05, desde janeiro de 2008 é obrigatória a adição de 2% de biodiesel ao diesel (B2), e a partir de 2013 essa adição será 5% (B5). Antecipando as previsões, o Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) tornou obrigatória a adição de 3% de biodiesel ao diesel (B3) a partir de 1º de junho de 2008, sendo aumentada para 4% (B4) em 1º de julho de 2009 e, finalmente, em 1º de janeiro de 2010 foi atingida a meta, com três anos de antecipação, de 5% (B5). Essas medidas, além de fortalecer a indústria nacional e reduzir a participação do diesel na matriz energética, vi-

sam escoar a produção nacional do biodiesel (LOBO et al., 2009).

1.1 Vantagens e desvantagens do biodiesel

A grande vantagem do biodiesel em relação ao diesel é a redução da emissão de poluentes. De acordo com a Tabela 2, há uma significativa redução na emissão de monóxido de carbono (CO), de material particulado (MP) e de hidrocarbonetos, tanto para uma mistura de 5% de biodiesel (B5), quanto para 20% (B20) e, principalmente, para a utilização do biodiesel puro (B100). É essencial para a saúde humana a diminuição da emissão desses poluentes. O CO é um gás extremamente venenoso, que interfere no processo respiratório. Ele apresenta afinidade com a hemoglobina 240 vezes maior que o oxigênio, por isso pode diminuir a capacidade do sangue em transportar o oxigênio e até causar hipóxia tecidual (CANÇADO et al., 2006). O MP é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. As partículas finas e ultrafinas podem causar lesões teciduais no sistema respiratório (SILVA A. M. C. et al., 2010). Já os hidrocarbonetos são os mais danosos à saúde, apresentando atividades mutagênicas e carcinogênicas, além de agirem como desreguladores do sistema endócrino (GODOI et al., 2004 apud HESS et al., 2009).

Tabela 2: Taxa de redução do biodiesel em relação ao diesel nas misturas B5, B20 e B100

POLUENTES DO AR	B5	B20	B100
NO _x	+0,5 %	+2,0 %	+10,0 %
CO	-2,5 %	-11,0 %	-48,0 %
MP	-4,0 %	-10 %	-66 %
HIDROCARBONETOS	-5,0 %	-21,1 %	-67,0 %

Fonte: Knothe et al. (2006).

Outra vantagem do biodiesel é que ele é biodegradável (SILVA M. S. et al., 2010), não tóxico

e tem um ponto de fulgor de aproximadamente 150° C, contra 64° C do diesel. Essas características tornam seu derramamento muito mais seguro e menos problemático. Além disso, ele não possui enxofre, é praticamente isento de cloro (BARNWAL, 2005 apud RODRIGUEZ, 2010), e produzido a partir de fontes renováveis (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007), diferentemente dos combustíveis derivados de petróleo.

Ainda vale ressaltar que o biodiesel possui um ciclo de carbono praticamente fechado. Durante o cultivo, as plantas oleaginosas consomem CO₂ para o seu desenvolvimento, o que reduz drasticamente o acúmulo desse gás na atmosfera, com uma diminuição de 78% em relação ao uso do diesel (KNOTHE et al., 2006). De acordo com Rodriguez (2010), cada tonelada de carbono que deixa de ser emitida é contabilizada como créditos de carbono proveniente do Mercado de Reduções Certificadas de Emissões. Esse mecanismo é uma excelente alternativa de investimentos financeiros a fim de reduzir o custo do biodiesel produzido das plantas.

Também é importante ressaltar ser extremamente vantajosa a comercialização da glicerina, que é gerada como subproduto, e, que dependendo do seu aproveitamento, pode chegar a um valor agregado superior ao próprio produto. Atualmente, a glicerina é utilizada em diversas indústrias, destacando-se as indústrias farmacêuticas, de cosméticos, de cigarros, têxtil e alimentícia (ENCARNAÇÃO, 2008).

A grande desvantagem do biodiesel é o aumento dos monóxidos de nitrogênio (NO) e dos dióxidos de nitrogênio (NO₂) em relação ao diesel. Esse aumento está relacionado a um pequeno deslocamento no intervalo de injeção do combustível que é causado por diferenças nas propriedades mecânicas do biodiesel em relação ao diesel (KNOTHE et al., 2006). O NO₂, na presença de luz solar, reage com os hidrocarbonetos e com o

oxigênio, formando o ozônio na troposfera. Nessa situação, ele pode causar danos à saúde do homem como doenças respiratórias, irritação nos olhos, tosse e inflamação (CANÇADO et al., 2006).

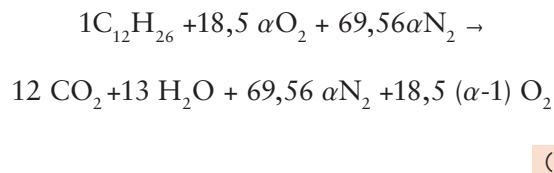
Outra desvantagem que pode ser levada em consideração é que as lavouras de soja e de dendê, cujos óleos são fontes potencialmente importantes de biodiesel, estão invadindo as florestas tropicais. Embora, essas lavouras, no momento, não tenham o objetivo de ser usadas para o biodiesel, essa preocupação deve ser considerada, principalmente com a tendência da elevação da demanda do biodiesel (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007).

Ainda convém lembrar os efeitos que a produção do biodiesel pode causar sobre a demanda mundial de alimentos. Impactos sobre a elevação dos preços dos alimentos podem ocorrer tanto pela competição do uso da terra quanto pela utilização dos derivados alimentícios (óleos comestíveis e azeites) (SANTOS et al., 2009), e poderá ter, como consequência, a agravação da fome em países pobres.

2 Metodologia

Para um correto prosseguimento do trabalho, foi necessário levantar dados junto ao Ministério de Minas e Energia (MME) sobre a utilização final de energia no setor de transporte brasileiro, sendo feita uma comparação entre o consumo de diesel e biodiesel, no período de 2006 a 2009, e os cálculos realizados são referentes ao ano de 2009.

Os cálculos realizados sobre as quantidades de CO₂ emitidas pelo óleo diesel foram extraídos da Equação 1, a seguir, que representa a reação de combustão do óleo diesel, estequiometricamente equilibrada, de acordo com Rodriguez (2010). Dessa equação, tem-se 528 g de CO₂ por 170 g de diesel, o que resulta em 2,683 ton de CO₂ por cada m³ utilizado.



Os cálculos realizados sobre as quantidades de CO₂ emitidas pelo biodiesel foram extraídos da Equação 2, mostrada na sequência, que representa a reação de combustão do biodiesel, estequiometricamente equilibrada, de acordo com Rodriguez (2010). Dessa equação tem-se 282,45 g de CO₂ por 100 g de biodiesel, o que resulta em 2,48 ton de CO₂ por cada m³ utilizado.

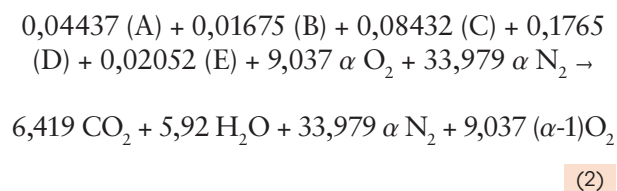


Tabela 3: Peso molecular e fórmula química do biodiesel (óleo de soja)

Ácido graxo	Peso (%)	Peso molecular (g)	Fórmula
Palmítico (A)	12	270,46	C ₁₅ H ₃₁ CO ₂ CH ₃
Estearico (B)	5	298,52	C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ CH ₃
Oléico (C)	25	296,5	C ₁₇ H ₃₃ CO ₂ CH ₃
Linoléico (D)	52	294,48	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ CO ₂ CH ₃
Linolênico (E)	6	292,46	CH ₃ (CH ₂ CH=CH) ₃ (CH ₂) ₇ CO ₂ CH ₃

Fonte: National Biodiesel Foundation (2007).

Ao considerar o ciclo de vida do biodiesel, em que no período de cultivo as plantas consomem CO₂ durante o seu crescimento pela fotossíntese, reduzindo em 78,45% as emissões de dióxido de carbono em relação ao diesel, chega-se a 0,578 ton de CO₂ para cada m³ utilizado.

3 Resultados e discussões

O total de diesel e biodiesel utilizado pelo setor de transporte entre os anos de 2006 e 2009

está representado na Tabela 4. Observa-se que a utilização do biodiesel vem crescendo constantemente. Isso ocorre pelo aumento ano a ano da porcentagem do biodiesel utilizado na mistura com o diesel.

Tabela 4: Consumo no setor de transporte

Ano	Diesel (10 ³ m ³)	Biodiesel (10 ³ m ³)	Soma total Biodiesel + Diesel (10 ³ m ³)	Porcentagem da utilização do biodiesel (10 ³ m ³)
2006	31972	69	32041	0,21
2007	33881	404	34285	1,18
2008	36204	876	37080	2,36
2009	35813	1228	37041	3,32

Fonte: MME (BRASIL, 2010).

A Tabela 5 mostra o cálculo da emissão total de CO₂ produzida pelo diesel e pelo biodiesel entre os anos de 2006 e 2009.

Tabela 5: Emissão total de CO₂ gerada pelo diesel e pelo biodiesel no setor de transporte

Ano	Diesel (ton)	Biodiesel (ton)	Biodiesel considerando o ciclo de vida (ton)	Total (ton)	Total considerando o ciclo de vida do biodiesel (ton)
2006	85.780.876	171.120	39.882	85.951.996	85.820.758
2007	90.902.723	1.001.920	233.512	91.904.643	91.113.235
2008	97.135.332	2.172.480	506.328	99.307.812	97.641.660
2009	96.086.279	3.045.440	709.784	99.131.719	96.796.063

Para se ter uma ideia de quanto é benéfica a substituição do diesel pelo biodiesel para o controle do efeito estufa, foi realizada uma estimativa e uma comparação no ano de 2009 da emissão de CO₂ emitida pelo setor de transporte. Levou-se em consideração a soma total de diesel e biodiesel utilizada em 2009 e estimou-se o total de emissão de CO₂ se fossem utilizadas as seguintes misturas: B0 (100 % de diesel), B5 (5 % de biodiesel e 95 % de diesel), B20 (20 % de biodiesel e 80 % de diesel) e B100 (100 % de biodiesel). Os resultados desses cálculos estão descritos na Tabela 6 e a taxa de redução na Figura 2. Nota-se que quanto maior a

porcentagem do biodiesel, menor é a taxa de emissão de CO₂.

Tabela 6: Estimativa da emissão de CO₂ gerada pelo setor de transporte em 2009, levando-se em consideração as seguintes participações do biodiesel

Mistura utilizada	Quantidade de CO ₂ (ton)	Quantidade de CO ₂ considerando o ciclo de vida do biodiesel (ton)	Taxa de redução em relação ao B0	Taxa de redução considerando o ciclo de vida
B0	99.381.003	99.381.003	—	—
B5	99.005.037	95.482.437	0,38 %	3,9 %
B20	97.877.138	83.786.742	1,5 %	15,7 %
B100	91.861.680	21.409.698	7,6 %	78,5 %

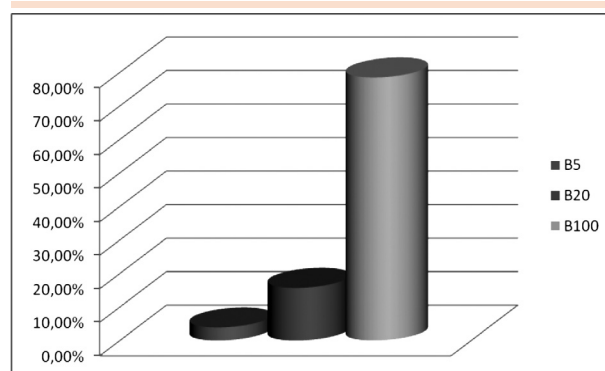


Figura 2: Taxa de redução de CO₂ do biodiesel comparado com o diesel

4 Considerações finais

As vantagens ambientais oferecidas pela utilização do biodiesel descritas neste trabalho superam algumas poucas desvantagens, o que torna viável a introdução desse biocombustível no mercado brasileiro. O ciclo de vida do biodiesel de origem vegetal, desde o cultivo da planta até a utilização final do produto, reduz a emissão de CO₂, quando comparado com o óleo diesel, o que contribui para a redução da poluição atmosférica

nas grandes cidades e conseqüentemente para a diminuição do efeito estufa.

Os resultados referentes à mistura dos dois tipos de combustível mostram que quanto maior a quantidade de biodiesel utilizada nessa composição, menor é a taxa de poluentes lançados na atmosfera. Por isso, deseja-se que a porcentagem desse biocombustível nessa mistura continue aumentando ano a ano, o que irá reduzir gradativamente a participação do óleo diesel na matriz energética brasileira e aumentará a do biodiesel.

Referências

- BARNWAL, B. K.; SHARMA, M. P. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renewable and Sustainable Energy Review*, v. 9, n. 4, p. 363-378, 2005.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. 2. ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005. 336 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2010_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>. Acesso em 14 fev. 2011.
- BUENO, F. F. et al. Qualidade do ar e internações por doenças respiratórias em crianças no município de Divinópolis, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum Health Sciences*, Maringá, v. 32, n. 2, p. 185-189, 2010.
- CANÇADO, J. E. D. et al. Repercussões clínicas da exposição à exposição atmosférica. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 5-11, maio, 2006.
- ENCARNAÇÃO, A. P. G. *Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica*. 2008. 144f. Dissertação (Mestrado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos)– Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. da S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.
- GAMA, P. E.; GIL, R. A. S. S.; LACHTER, E. R. Produção de biodiesel através de transesterificação *in situ* de sementes de girassol via catálise homogênea e heterogênea. *Química Nova*, v. 33, n. 9, 1859-1862, 2010.
- GODOI, A. F. L. et al. Fast chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol samples from sugar cane burning. *Journal of Chromatography A*, v. 1027, p. 49-53, 2004.
- GÓES, P. S. de A. *O papel da Petrobras na produção de biodiesel: perspectiva de produção e distribuição do biodiesel de mamona*. 2006. 62f. Dissertação (Especialização em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo)–Departamento de energia ambiental, Universidade da Bahia, Salvador, 2006.
- GONÇALVES, M. A. B.; NOGUEIRA, R. G. O efeito estufa pode ser reduzido com a produção e a utilização do biodiesel? *Processos Químicos*, Goiânia, v. 1, n. 2, p. 51-59, jul./dez. 2007.
- HESS, S. C. et al. Distribuição espacial da mortalidade por doenças do aparelho respiratório no Brasil. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 607-624, dez. 2009.
- KNOTHE, G. et al. *Manual de Biodiesel*. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006. 340 p.
- LIMA, P. C. R. *Biodiesel: um novo combustível para o Brasil*. Consultoria Legislativa: Fev. 2005. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema16>>. Acesso em 14 fev. 2011.
- LOBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.
- National Biodiesel Foundation. Disponível em: <<http://www.biodieselfoundation.org/>>. Acesso em 18 abr. 2011.
- NEGRETE, B. R. et al. Poluição atmosférica e internações por insuficiência cardíaca congestiva em adultos e idosos em Santo André (SP). *Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde*, v. 35, n. 3, p. 208-12, set/dez. 2010.
- NOVAES, H. M. D.; GOUVEIA, N.; MEDEIRO, A. P. P. Mortalidade perinatal e poluição do ar gerada por veículos. *Revista Brasileira de Ginecol. e Obstet*, v. 32, n. 10, p. 471-475, 2010.
- PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006- 2011. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de produção e Agroenergia. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Disponível em: <http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionais/agroenergia_miolo.pdf>. Acesso em 13 fev. 2011.
- QUINTELLA, C. M. et al. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 793-808, 2009.



RODRIGUEZ, C. J. C. Análise termoeconômica da produção de biodiesel: aspectos técnicos, econômicos e ecológicos. 2010. 199f. Dissertação (Doutorado em engenharia mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

SANTOS, G. J. dos; et al. Agrocombustíveis, segurança e soberania alimentar: elementos do debate internacional e análise do caso brasileira. *Bahia Análise & Dados*, Bahia, v. 18, n. 14, p. 539-547, jan./mar. 2009.

SILVA, A. M. C. da; MATTOS, I. E.; FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; HACON, S. S. Material particulado (MP_{2,5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 337-351, jun. 2010.

SILVA, M. S.; MACEDO, L. C.; SANTOS, J. A. B. dos; MOREIRA; J. J. da S.; NARAIN, N.; SILVA, G. F. da. Aproveitamento de co-produtos da cadeia produtiva do biodiesel de mamona. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 279-288, 2010.

SORANSO, A. M. et al. Desempenho dinâmico de trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 553-559, set./out. 2008.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. *Química Nova*, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 2068-2071, 2007.

Recebido em 26 ago. 2011 / aprovado em 26 set. 2011

Para referenciar este texto

PIVOTTO, F.; FERREIRA, M. L.; FERREIRA, A. P. N. L. Análise do ciclo de vida do biodiesel no mercado brasileiro e quantificação das emissões liberadas pelo uso desse combustível. *Exacta*, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 293-300, 2011.