

4º CONGRESSO  
internacional de  
**BIOENERGIA**  
4 International Bioenergy Congress



1º CONGRESSO BRASILEIRO  
de GERAÇÃO DISTRIBUÍDA  
e ENERGIAS RENOVÁVEIS

Toda tecnologia em Bioenergia e Biocombustíveis,  
juntas no mesmo evento  
Comprehensive Bioenergy and Biofuels technology,  
gathered in the same event

Editora

**fupef**



**18 a 21 Agosto 2009**

August 18<sup>th</sup> to 21<sup>th</sup>, 2009

EXPO UNIMED CURITIBA  
CURITIBA-PARANÁ-BRASIL





# EMIÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO POR MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO BIODIESEL, ÓLEO VEGETAL E ETANOL: UMA COMPARAÇÃO COM DIESEL CONVENCIONAL.

José Luiz Bernardo Borges<sup>1</sup>, Márcio Turra de Ávila<sup>2</sup>, Ricardo Ralisch<sup>3</sup>, Murilo Daniel de Mello Innocentini<sup>4</sup>,  
Cristiane Sanchez Farinas<sup>5</sup>, Nanci Cristina Rodrigues<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Bolsista Mestrado CAPES, Universidade Estadual de Londrina, borges-jl@hotmail.com. <sup>2</sup> Eng. Mecânico, Pesq. Doutor, Embrapa Soja, marcio@cnpso.embrapa.br. <sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Universidade Estadual de Londrina, ralisch@uel.br. <sup>4</sup>Eng. Químico, Prof. Doutor, Universidade de Ribeirão Preto, muriloinnocentini@yahoo.com.br. <sup>5</sup>Eng. Química, Pesq. Doutora, Embrapa Instrumentação Agropecuária, cristiane@cnpdia.embrapa.br. <sup>6</sup>Iniciação Científica, Universidade de Ribeirão Preto, nancycris@hotmail.com

## Resumo

O objetivo deste estudo foi quantificar a emissão de material particulado de misturas ternárias compostas de álcool, biodiesel e óleo vegetal em um motor ciclo Diesel, tendo como testemunha um motor idêntico funcionando com diesel de petróleo. Para a comparação da emissão dos dois combustíveis, foi realizada a coleta de material particulado proveniente dos escapamentos dos motores através do uso de um papel filtro circular, confeccionado a partir de fibra de vidro. Os resultados obtidos com a utilização das misturas ternárias de biocombustíveis indicaram uma redução expressiva no nível de material particulado emitido pelo motor em sua rotação máxima. Pode-se concluir com o trabalho que, a utilização das misturas ternárias, nas condições e métodos de realização do experimento, foi eficiente na redução de emissão de material particulado presente nos gases de exaustão do motor ciclo Diesel.

## Abstract

*Particulate matter emissions from ternary blends containing biodiesel, ethanol and vegetable oil: a comparison with petrol diesel.* The purpose of this study was quantify the particulate matter emission from ternary blends comprehending ethanol, biodiesel and vegetable oil in a Diesel cycle engine, and an identical engine working with petrol diesel as a witness. To compare the fuels' emissions, the particulate matter from the engine's exhaust was collected, using a circle filter paper maked from fiber glass. The results achieved utilizing ternary blends showed an expressive reduction of particulate matter level exhausted by the engine, in its maximum rotation. We can conclude with this work that the utilization of ternary blends, with the methods and conditions of this experiment, was efficient to reduce the particulate emission from exhausted gas of Diesel cycle engine.

## INTRODUÇÃO

Os compostos de emissão, tanto dos motores a diesel quanto a gasolina ou combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde, ou seja, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>; e os que apresentam perigos à saúde, sendo esses subdivididos em compostos cuja emissão está regulamentada, que são: CO, os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e material particulado (MP); e aqueles que ainda não estão sob regulamentação: aldeídos, amônia, benzeno, cianetos, tolueno e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HPA) (NEEFT et al., 1996).

A exaustão diesel é bastante complexa, sendo composta por três fases: sólidos, líquidos e gases (DEGOBERT, 1995). A operação em condições oxidantes das máquinas diesel, que contribui para uma boa economia de combustível, resulta, comparativamente com motores à gasolina, em menor produção de CO<sub>2</sub>, num processo de combustão operando em temperaturas mais baixas, com formação e, conseqüentemente, emissão de menor quantidade de NO<sub>x</sub>, CO e hidrocarbonetos (HC). Entretanto, esse processo também resulta em elevados níveis de emissão de material particulado (MP) e de compostos responsáveis pelo odor característico da emissão diesel, sendo a emissão desses últimos altamente crítica durante condições de operação em baixo nível de temperatura. (BRAUN et. al, 2003).

O material particulado produzido por uma máquina diesel consiste, basicamente, de aglomerados de núcleos de carbono, e de hidrocarbonetos, SO<sub>3</sub> ou ácido sulfúrico, e água, adsorvidos ou condensados sobre esses núcleos carbônicos (NEEFT et. al., 1996; LAHAYE & EHRBURGER-DOLLE, 1994).



Os núcleos carbônicos são partículas primárias, ou seja, pequenas unidades esféricas compostas basicamente de carbono e algum material inorgânico com diâmetro aproximado na faixa de 10 a 80 nm, o que equivale a, aproximadamente, um milhão de átomos desse elemento. Sobre os núcleos carbônicos se adsorvem os hidrocarbonetos resultantes da combustão incompleta do óleo diesel e do óleo lubrificante, gerando agregados. Vários agregados assim formados, por sua vez, aglomeram-se e formam as partículas secundárias, com diâmetros aerodinâmicos entre 100 e 1000 nm. Entretanto, 90% do material particulado produzido por uma máquina diesel qualquer apresenta diâmetro médio menor que 300 nm. A aglomeração dos núcleos de carbono contendo HC adsorvidos começa na câmara de combustão e continua até a exaustão, onde grandes moléculas de hidrocarbonetos podem se condensar sobre esses na temperatura que prevalece na exaustão diesel (KERMINEN et al., 1997). O conglomerado final denomina-se “material particulado”, ou simplesmente “particulado”.

A composição básica média do material particulado é 70% em massa de carbono, 20% de oxigênio, 3% de enxofre, 1,5% de hidrogênio, menos que 1% de nitrogênio e, aproximadamente, 1% de elemento traços. (NEEFT et al. 1996).

A Figura 1 mostra o aspecto de partículas ambientais (partículas totais em suspensão), coletadas em filtro de nitro-celulose, mostrando uma grande variação de sua morfologia.



Figura 1. Partículas coletadas no centro de Porto Alegre – RS (LPAE/FMUSP, 2007)

O material particulado é o poluente atmosférico mais consistentemente associado a efeitos adversos à saúde humana. A toxicidade do material particulado depende de sua composição e diâmetro aerodinâmico. Diversos estudos têm relacionado a exposição continuada aos níveis ambientais de material particulado com a redução da expectativa de vida (LIPFERT 1984; DOCKERY & POPE, 1994; ABBEY 1999).

Os efeitos crônicos também têm sido demonstrados a partir da detecção de alterações estruturais dos pulmões de indivíduos que habitam regiões com concentrações de MP. A primeira demonstração clara de que os níveis de MP promovem alterações inflamatórias difusas do trato respiratório em humanos veio de estudos de Souza et al. (1998), onde foram detectados hiperplasia muco-secretora, remodelamento com fibrose das pequenas vias aéreas e lesão da região centro acinar de jovens falecidos por causas externas na região metropolitana de São Paulo. Neste mesmo estudo, as lesões observadas estavam em íntima relação anatômica com focos de deposição e retenção de material carbonáceo (antracose), sugerindo uma relação de causa e efeito.

Nas últimas décadas, um grande esforço tem sido feito para reduzir a utilização de combustíveis derivados de petróleo para geração de energia e transporte em todo o mundo. Dentre as recentes alternativas propostas, biodiesel, etanol, além de misturas contendo biodiesel/diesel e álcool/diesel, têm chamado muita atenção para o uso em motores de ciclo Diesel, apresentando-se como uma das soluções, em diversos países, para redução de suas importações de petróleo e diminuição de suas emissões de poluentes.

Etanol, óleo vegetal e biodiesel são todos derivados da biomassa e, ao contrário do petróleo, são combustíveis renováveis. Entre estes combustíveis, o álcool etílico hidratado combustível (AEHC) se apresenta



como um interessante combustível alternativo ao óleo diesel para reduzir as emissões de poluentes. Isso porque o etanol contém oxigênio na sua molécula, é um combustível extremamente volátil, que queima como grupo e porque o AEHC contém água na sua composição (7% em massa). Essas características são geralmente favoráveis para uma boa combustão (PÉREZ et al. 2006).

Nesse sentido, muitos trabalhos de pesquisa estão investigando os efeitos da adição de etanol na formação de poluentes oriundos da queima de diesel. Tem sido amplamente mostrado que quando é adicionado o etanol ao diesel, o principal benefício é a redução de fuligem e material particulado, seguido pela diminuição de CO. Ajav et al. (1999) mostraram que ao incrementar a porcentagem de etanol na mistura com diesel, a temperatura de saída de gases e as emissões de CO e MP foram reduzidas. Suppes (2000) analisou os resultados experimentais de diferentes autores concluindo que se pode falar efetivamente de uma redução do material particulado quando se adiciona etanol ao diesel. Mas não se pode concluir o mesmo para o NO<sub>x</sub>, dado que uns pesquisadores reportam aumento de sua emissão e outros sua diminuição.

A redução destes particulados também é destacada na ampla revisão bibliográfica feita por Hansen et al. (2005).

O uso de etanol como combustível é defendido por muitos especialmente por causa da redução nas emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa ao substituir os combustíveis fósseis. Macedo (2004) analisou o balanço energético de energia fóssil consumida na produção e processamento da cana-de-açúcar comparativamente à energia proporcionada pelo uso do etanol e à energia gerada pelo bagaço da cana. A relação entre a energia renovável produzida e a energia fóssil consumida na produção de etanol é de 8,3 a 10,2, isto é, a cada unidade de energia fóssil gasta no ciclo de produção do etanol, são obtidas de volta entre 8,3 a 10,2 unidades de energia renovável.

Segundo Mma & Lima/coppe/ufRJ (2002), o álcool praticamente não possui enxofre em sua composição, logo o seu uso não contribui para a emissão de SO<sub>x</sub>, e ainda a sua menor complexidade molecular possibilita uma combustão com baixíssima formação de partículas de carbono, o que resulta em uma emissão desprezível de MP.

Outro fator de estímulo ao mercado de álcool é a possibilidade de adição de etanol ao diesel: testes demonstraram que a utilização de mistura de 3% de etanol para 97% de diesel pode ser adotada em qualquer motor sem ocasionar problemas, reduzindo as emissões de material particulado e de outros poluentes (GELLER et al, 2004; HE et al, 2003).

No Brasil, estudos com a mistura álcool/diesel vêm sendo realizados desde 1984, quando foi verificado que misturas de óleo diesel com álcool anidro eram viáveis, pois não causavam perda de eficiência do motor ou aumento do consumo de combustível, e geravam redução na emissão de particulados. Desta maneira, trabalhos de pesquisa e testes de campo têm sido realizados para implantação de um programa de adição de etanol à matriz energética do diesel. (ECONOMY & ENERGY, 2001).

Em tese, os óleos vegetais puros podem ser utilizados como combustíveis alternativos. Esta idéia ocorreu a Rudolph Diesel que usou óleo de amendoim em seus motores na exposição de Paris, em 1900. Contudo, os óleos vegetais possuem alta viscosidade e, para que sejam utilizados em motores de ciclo Diesel sem necessidade de adaptações, é preciso reduzir os valores de viscosidade a valores próximos ao do diesel convencional (MA & HANNA, 1999; RABELO, 2003).

Um pouco mais recente que o etanol, o biodiesel também encontra seu espaço e apresenta crescimento acelerado no mercado nacional de biocombustíveis líquidos. Porém, ao contrário do etanol, que encontrou na cana-de-açúcar sua matéria-prima ideal, o biodiesel ainda está em estágio de intensa pesquisa e desenvolvimento (PNA, 2005). Entretanto, diversos são os trabalhos que apontam uma vantagem ambiental a favor do biodiesel em relação ao diesel convencional, fato que o coloca na linha de frente dos sucedâneos ao petrodiesel.

Peterson & Reece (1996) testaram ésteres metílico e etílico de óleo de colza em um motor de ciclo Diesel, marca Cummins, numa bancada dinamométrica. As emissões de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado (MP) proporcionadas pelo óleo vegetal tiveram, respectivamente, variações de - 52,5%, - 7,6%, 0,9%, - 10,0%, em relação às obtidas com o óleo diesel.

Características da emissão de poluentes em testes dinamométricos com motor de ignição por compressão, utilizando diesel, biodiesel e misturas de biodiesel/diesel (B20, B35, B65 e B100), foram determinadas por Schumacher et al. (2001). Os autores observaram que a emissão de NO<sub>x</sub> aumentou, enquanto as de HC, CO e MP diminuíram com o aumento da concentração de biodiesel.

Na mesma linha de pesquisa, Muñoz et al. (2004) testaram misturas de metil éster de girassol e diesel (B25, B50, B75 e B100) em um motor Diesel automotivo para determinação dos níveis de emissão de poluentes. Nos testes realizados, a emissão de hidrocarbonetos com as misturas de biodiesel foi menor em relação ao diesel somente em algumas condições de operação, especialmente em cargas baixas. A concentração de NO<sub>x</sub> com biodiesel puro, entretanto, foi sempre maior do que com o diesel. Contudo, a redução do grau de enegrecimento e da emissão específica de material particulado medido são representativas e favoráveis ao uso do biodiesel, o



que, em parte, é explicado pela ausência de enxofre no biodiesel. O enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado.

Segundo Fernando & Hanna (2004), o biodiesel tem sido usado não somente como uma alternativa para substituir o diesel de petróleo, mas também como um aditivo emulsificante para compor misturas ternárias de diesel/biodiesel/álcool.

Nesse contexto apresentado, o objetivo deste trabalho situou-se em quantificar a emissão de material particulado de misturas ternárias compostas de álcool, biodiesel e óleo vegetal em um motor de ciclo Diesel, tendo como testemunha um motor idêntico funcionando com diesel convencional, numa tentativa de demonstrar o potencial de utilização dessas misturas como possível combustível sucedâneo ao petrodiesel.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes envolvendo misturas de combustíveis alternativos foram realizados no setor de mecanização agrícola da unidade experimental da Embrapa Soja, em Londrina - PR, onde estão alocados os motores estacionários e o gerador de eletricidade empregados na experimentação.

Foram utilizados para os testes dois motores estacionários, de ciclo Diesel a 4 tempos, da marca Toyama (Figura 2), modelo 70f, refrigerados a ar, com injeção direta e 6 hp de potência nominal, onde um deles foi abastecido somente com óleo diesel e o outro com as misturas ternárias contendo óleo vegetal/biodiesel/etanol; dessa forma, cada motor pôde ser avaliado individualmente de acordo com o combustível empregado. As principais especificações técnicas e medidas dos motores são descritas na Tabela 1. Foi empregado também, afim de imprimir carga aos motores, um gerador elétrico da marca Bambozzi, de 10 KVa, com rotação nominal de 1.800 rpm, portanto, passível de ser utilizado com o motor supracitado que possui rotação nominal de 3.000 a 3.600 rpm.

A transmissão de energia mecânica do motor Diesel para o gerador foi realizada por correias e um conjunto de polias acopladas em ambos eixos dos equipamentos.

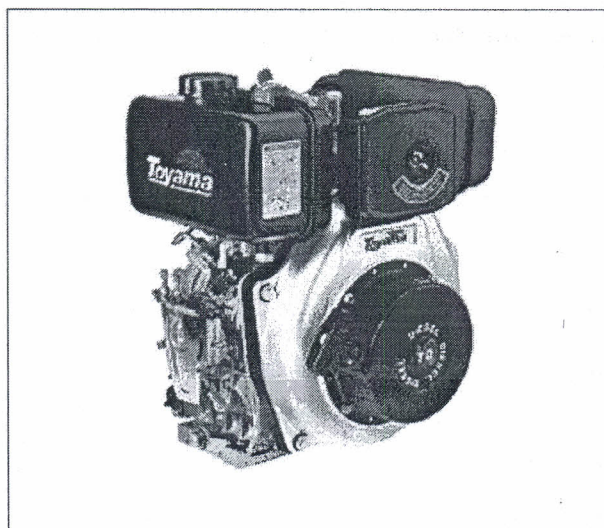


Figura 2: Motor Diesel Toyama T 70f.

Tabela 1. Especificações técnicas e medidas do motor Toyama 70f.

Item	Especificação Técnica
Tipo	Mono cilíndrico, 4 tempos
Refrigeração	Refrigerado a ar
Cilindrada (L)	0,296



Rotação nominal (RPM)	3.000	3.600
Potência nominal (hp)	5,4	6,0
Velocidade média do pistão (m/s)	6,2	7,44
Pressão efetiva média (kgf/cm <sup>2</sup> )	5,52	5,07
Relação de consumo de combustível (g/HP.h)	< 206	< 215
Relação de consumo de óleo lubrificante (g/HP.h)	< 3	
Capacidade do tanque de combustível (L)	3,5	
Sentido do eixo de rotação	Horário, visto do volante	
Tipo e lubrificação	Bomba de óleo	
Tipo de partida	Manual retrátil	
Peso líquido (kg)	33	

As misturas utilizadas no experimento eram compostas por:

- Mistura 1: 60% de biodiesel, proveniente de óleo de soja, 30% de etanol anidro e 10% de óleo vegetal refinado de soja;

- Mistura 2: 50% de biodiesel, proveniente de óleo de soja, 40% de etanol anidro e 10% de óleo vegetal refinado de soja.

Além, é claro, do combustível óleo Diesel convencional derivado de petróleo, empregado no motor testemunha.

Para a comparação da emissão dos combustíveis, foi realizada a coleta de material particulado proveniente dos escapamentos dos motores através do uso de um papel de filtro circular, com diâmetro de 5 cm, confeccionado a partir de fibra de vidro, da empresa Energética – Qualidade do ar.

Esse material foi desidratado previamente em estufa a 105°C para eliminação da umidade existente. Após esta secagem, os filtros foram pesados e tarados em balança digital de precisão para, finalmente, serem instalados na extremidade final da tubulação de escape, onde foram capazes de reter o material particulado expelido pelo motor.

A sistemática de trabalho empregada foi a seguinte: os filtros permaneceram acoplados na extremidade do escapamento durante 5 minutos, tempo necessário para a retenção de quantidade suficiente de partículas, já que os filtros foram expostos a um tempo maior e não houve diferença nos pesos dos mesmos.

Após a coleta do material, os papéis-filtro foram novamente secados e, então, levados para a balança de precisão, para ser aferida a quantidade, em massa, dos particulados produzidos pelos motores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a utilização das misturas ternárias de biocombustíveis indicaram uma redução expressiva no nível de material particulado emitido pelo motor em sua rotação nominal máxima (3.600 rpm), comportamento este proveniente da substituição de um combustível de cadeia carbônica longa (óleo diesel), em média 13 carbonos, e alto ponto de ebulição (de 190° a 330°C), por uma mistura de combustíveis contendo etanol, de cadeia mais simples e menor temperatura de ebulição.

Os valores obtidos no experimento estão apresentados na Figura 3, na forma de massa específica do material retido, num intervalo de 5 minutos de coleta, utilizando o filtro de fibra de vidro.



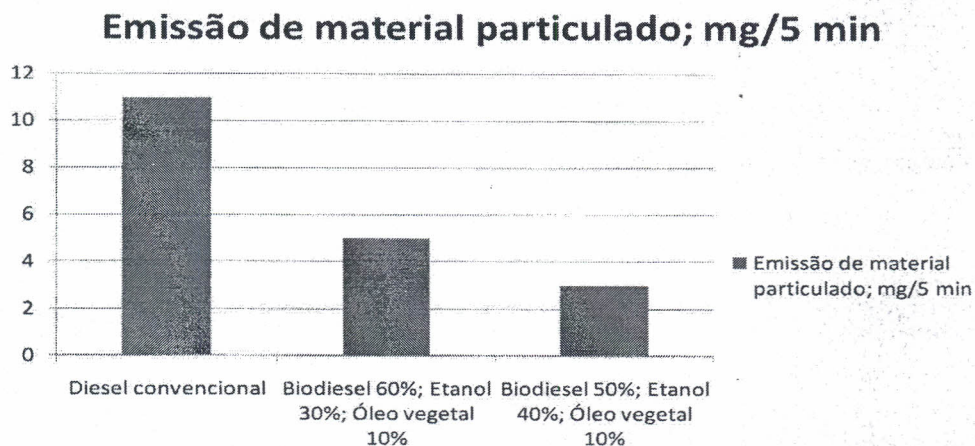


Figura 3. Emissão de material particulado coletado.

Nota-se pelo gráfico acima que, à medida em que se eleva a quantidade de etanol na mistura ternária, ocorre, concomitantemente, uma queda na emissão de material particulado, fato que, segundo Dietrich & Bindel (1983), se explica pela presença de etanol que conduz a uma combustão mais fácil, implicando em redução no teor de carbono não queimado, o que corrobora, assim, os resultados encontrados no experimento.

Redução na emissão de particulados também foi verificada nos experimentos de Holmer et al. (1980), que realizaram substituições de até 32% do óleo diesel por etanol, através do uso do artifício da microemulsão. Resultados similares foram obtidos por Goering et al. (1992) que notaram supressão na emissão de fumaça quando utilizaram injeção de etanol no coletor de admissão ou no injetor do cilindro. Nessa mesma linha de pesquisa, Feitosa (2003) conseguiu expressiva diminuição de emissão de particulados com substituição de até 50% de diesel por etanol.

Outro composto presente na mistura, que também foi responsável pela queda na emissão de particulados, é o biodiesel. Apesar de a quantidade de material particulado retido pelo filtro ser maior com o aumento da concentração de biodiesel nas misturas, devido à diminuição da quantidade etanol (Figura 3), o combustível contendo biodiesel presente nas duas misturas mostrou ser menos poluente do que o diesel convencional, atestando, desta forma, a importante capacidade desse biocombustível em reduzir as emissões de particulados do motor.

Na literatura, diversos autores demonstram a eficiência do biodiesel na redução dos particulados totais do motor. Misturas de biodiesel de girassol/diesel (B25, B50, B75 e B100) foram utilizadas por Muñoz et al. (2004), em motor Diesel automotivo, para determinação dos níveis de emissão de poluentes. A redução do grau de enegrecimento e da emissão específica de material particulado medido foi bastante representativa e favorável ao uso do biodiesel, o que, em parte, é explicado pela ausência de enxofre no biodiesel.

O enxofre compartilha o oxigênio disponível na fase tardia da combustão com o carbono resultante da queima parcial, em algumas condições de funcionamento do motor, aumentando a produção de material particulado (MUÑOZ et al. 2004; GRABOSKI & MCCORNICK, 1997; SHARP et al., 2000).

Misturas ternárias estáveis contendo diesel/biodiesel/álcool etílico para alimentação de motores de ciclo Diesel foram preparadas com êxito por Kwanchareon et. al. (2006), Caetano (2003) e dos Santos (2005). Em todos os estudos, os autores obtiveram resultados positivos em relação à emissão de poluentes para a atmosfera, fato que, em tempos de exaustiva preocupação com a preservação do meio ambiente, mostra-se como uma excelente alternativa à utilização de um combustível puramente fóssil.

## CONCLUSÕES



- A utilização das misturas ternárias de biocombustíveis, nas condições e métodos de realização do experimento, foi eficiente na redução de emissão de material particulado presente nos gases de exaustão do motor de ciclo Diesel estudado.
- O aumento da concentração de etanol na mistura, nas condições de realização do trabalho, foi fundamental para a queda acentuada na emissão de material particulado.

## REFERÊNCIAS

- ABBEY, D. E.; NISHINO, N.; MCDONNELL, W. F.; BURCHETTE, R. J.; KNUTSEN, S. F.; BEESON, W. L.; YANG, J. X. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am. J. Resp. Crit. Care Méd.* 159, n. 373-382, 1999.
- AJAV, E. A.; SINGH, B.; BHATTACHARYA, T. K. Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel. *Biomass and Bioenergy*, n. 17, p. 357-365, 1999.
- BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel - a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. *Quim. Nova*, Vol. 27, n. 3, p. 472-482, 2003.
- CAETANO, T. Estudo da miscibilidade de etanol com componentes do diesel e biodiesel. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas.
- DEGOBERT, P. *Automobiles and Pollution*; ed. SAE Society of Automotive Engineers, Warrendale: United States of America, 1995.
- DIETRICH, W.; BINDEL, H. W. H. O desenvolvimento da “injeção piloto” para uso de álcoois em motores ciclo Diesel. I Simpósio de Engenharia Automotiva – XI Encontro dos Centros de Apoio Tecnológico, Anais, Brasília, p. 515-533. 1983.
- DOCKERY D. W.; POPE C.A. III. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annu Rev Public Health*. n. 15, p.107-132, 1994.
- ECONOMY & ENERGY, Progressos na Matriz Energética e de Emissões de Gases Causadores do Efeito Estufa, Brasília, n. 25, Mar/Abr. 2001. Disponível em <<http://www.ecen.com>> Acesso em 15 maio de 2008.
- FERNANDO S.; HANNA, M. Development of a novel biofuel blend using ethanol–biodiesel–diesel microemulsions. *Energy Fuel*, v.18, p. 1685–703, 2004.
- FEITOSA, M. V. Desenvolvimento do motor de ignição por compressão alimentado por injeção direta de óleo diesel e por etanol pós vaporizado no coletor de admissão. 2003. 217f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- GELLER, H. SCHAEFFER, R., SKLO, A., TOLMASQUIM, M. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil, *Energy Policy*. n. 32, p.1437-1450, 2004.
- GOERING, C. E.; CROWELL, T.J.; GRIFFITH, D.R.; JARRETT, M. W.; SAVAGE, L. D. Compression-ignition, flexible-fuel engine. *Trans. ASAE*, n.35(2). p. 423-428. 1992.
- GRABOSKI, M. S.; MCCORNICK, R. L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Prog. Energy Combust. Sci.* n. 24, p.125-164, 1997.
- HANSEN, A. C.; ZHANG, Q.; LYNE, P. W. L. Ethanol-diesel fuel blends a review. *Bioresoursource Technology*; n.. 96, p. 227-285; 2005.



- HE, B. Q.; SHUAI, S. J.; WANG, J. X.; HE, H. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine, *Atmospheric Environment* 37, p. 4965-4971, 1994.
- HOLMER, E.; BERG, P. S.; BERTILSSON, B. I. The utilization of alternative fuels in a Diesel engine using different methods. Society of Automotive Engineers, SAE paper 800544. 1980.
- KWANCHARON, P.; LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*, v.10, p. 1053-1061, 2006.
- KERMINEN, V.; MÄKELÄ, T. E.; OJANEN, C. H.; HILLAMO, R. E.; VILHUNEN, J. K.; RANTANEN, L.; HAVERS, N.; VON BOHLEN, A.; KLOCKOW, D. *Environ. Sci. Technol.*, 31, 1883, 1997
- LAHAYE, J.; EHRBURGER-DOLLE, F. *Carbon* 1994, 32, 1319.
- LIPFERT F. W. Air pollution and mortality: specification searches using SMSA-based data. *J. Environ. Econ. Manage.* 11, p.208-243, 1984.
- MA, F.; HANNA, M.A. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, v.70, p. 1-15, 1999.
- MACEDO, I. C. Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Universidade Estadual de Campinas (NIPE). Campinas, jan. 2004.
- MMA, LIMA/COPPE/UFRJ, FEEMA. Avaliação do Programa de Inspeção e Manutenção de veículos em uso do Rio de Janeiro. 2002.
- MUÑHOZ, M.; MORENO, F.; MOREA, J. Emissions of an automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. *Transaction of the ASAE*. v. 47, n. 1, p. 5-11, 2004.
- NEEFT, J. P. A.; MAKKEE, M.; MOULIJN, J. A. Diesel particulate emission control. *Fuel Process. Technology*, v. 47, p.1- 69. 1996.
- PNA - Plano Nacional de Agroenergia. Caderno, n. 1, 118 p, 2005.
- PEREZ, E. P.; CARVALHO JUNIOR, J. A.; CARROCCI, L. R.. Substituição do óleo diesel por álcool etílico hidratado na queima direta, uma comparação. In: AGRENER GD 2006 - 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 2006, Campinas. AGRENER GD 2006. Campinas : NIPE - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, 2006. v. 01, p. 01-09.
- PETERSON, C. & REECE, D. Emission characteristics of ethyl and methyl ester of rapeseed oil compared with low sulfur diesel control fuel in a chassis dynamometer test of a pickup truck. *Transaction of the ASAE*. v. 39, n. 3, p. 805-816, 1996.
- RABELO, I. D. Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.
- SANTOS, M.A. dos. Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão. 2007. 123f. Dissertação (Mestrado – Programa interunidades de Pós-Graduação em energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SCHUMACHER, L. G.; MARSHALL, W.; KRAHL, J.; WETHEREL, W. B.; GRABOWSKI, M. S. Biodiesel emissions data from series 60 DDC Engines. *Transaction of the ASAE*. v. 44, n. 6, p. 1465-1468, 2001.
- SHARP, C. A.; HOWELL, S. A.; JOBE, J. The effect of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines. Part 1, Regulated emissions and performance, SAE technology paper ser. 2000-01-1967, 2000.



SOUZA M. B.; SALDIVA P. H.; POPE C. A. 3rd, Capelozzi V. L. Respiratory changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution: a histopathologic study in humans. *Chest*. 113(5): 1312-8, 1998.

SUPPES, G. J. Past Mistakes and Future Opportunities of Ethanol in Diesel. *Bioenergy*, Buffalo; October, 2000.

XING-CAI, L.; JIAN-GUANG, Y.; WU-GAO, Z.; ZHEN, H. Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel. *Fuel*; n. 83, p. 2013-2020, 2004.