

6

Referências Bibliográficas

Adams, O., Elements of Diesel Engineering, 2ª edição, The Norman W. Henley Publishing CO., 1949.

Agência Nacional de Energia Elétrica, página <http://www.aneel.gov.br>, acessada em Novembro de 2005.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, página <http://www.anp.gov.br>, acessada em Novembro de 2005.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Resolução ANP nº 42, 2004.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Resultado Final do 3º Leilão de Compra de Biodiesel, 2006.

Ali, Y., Hanna, M.A., Leviticus, L.I., Emissions and Power Characteristics of Diesel Engines on Methyl Soyate and Diesel Fuel Blends, Bioresource Technology Magazine, vol. 52,1995, pp. 185 - 195.

American Society for Testing and Materials, Norma ASTM D 6751, Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, 2002.

American Society for Testing and Materials, Norma ASTM D 975, Standard Specification for Diesel Fuel Oils, 2005.

Arkhangelsky, V., Khovakh, M., Stepanov, Y., Trusov, V., Vikhert, M., Voinov, A., Motor Vehicle Engines, Mir Publishers, 1971.

Athayde, E., Arábia Saudita das Energias Renováveis, Jornal Gazeta Mercantil, 16 de Maio de 2006.

Backman, M., Biodiesel – The Dispatchable Renewable, Anais do Power-

Gen International Conference, 2003.

Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico Social (BNDES), página <http://www.bndes.gov.br>, acessada em março de 2006.

Câmara de Comércio de Energia Elétrica, página <http://www.ccee.org.br>, acessada em Novembro de 2005.

Canakci, M., Erdil, A., Arcaklioglu, E., Performance and Exhaust Emissions of a Biodiesel Engine, Applied Energy, 2006, pp 594-605.

Cardoso, D., Tecnologia brasileira do Biodiesel, Jornal Gazeta Mercantil, 15 de Março de 2006.

Carranca, J.N., Green Power From Diesel Engines Burning Biological Oils and Recycled Fat, Anais do Rio 5 – World Climate & Energy Event, fevereiro de 2005, pp 283 – 292.

Coelho, S.T, Mecanismos para Implementação da Cogeração de Eletricidade a partir da Biomassa - Um modelo para o Estado de São Paulo, tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1999.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Relatório da qualidade do ar 2003, publicado em maio de 2004.

Congresso Nacional, Lei nº 11.097 – Introdução do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira, 2005.

Costa, L.R, Biodiesel: Estratégias para Produção e Uso no Brasil, Relatório Técnico apresentado à Promon Engenharia, 2005.

Deutsches Institute für Normung, Norma DIN EN 14214, Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods, 2003.

Eletrobrás, página <http://www.eletrobras.gov.br>, acessada em Novembro de

2005.

Estill, L., Biodiesel Power - the Passion, the People, and the Politics of the Next Renewable Fuel, 1ª edição, New Society Publishers, Gabriola Island, Canadá, 2006.

European Biodiesel Board (EBB), página <http://www.ebb-eu.org>, acessada em Janeiro de 2005.

Finn, D., Biodiesel as a Renewable Fuel for GENSET Technology, anais do 16th Prime Power Diesel Inter-Utility Conference, 2003.

Giacosa, D., Motores Endotermicos, 3ª edição, Editorial Cientifico – Medica, 1970.

Greene, A.B., Lucas, G.G., The Testing of Internal Combustion Engines, 1ª edição, The English Universities Press Ltd., 1969.

Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), A Viabilidade de Utilização de Óleo Vegetal - Biodiesel como Fonte Alternativa de Energia, relatório final, Casa Civil, Ministério dos Transportes, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Ministério de Minas e Energia, Ministério da Fazenda, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Integração Nacional, Ministério das Cidades, 2003.

Haga, N., Vegetable Oil as Fuel in Diesel Generating Sets, anais do 10th International Cogeneration, Combined Cycle & Environment Conference and Exhibition, Istanbul, maio de 2004.

Heywood, C.F., Internal Combustion Engine Fundamentals, 1ª edição, Editora McGraw-Hill, 1988.

Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C., Sakellaropoulos, F., An Investigation of Using Biodiesel/Marine Diesel

Blends on the Performance of Stationary Diesel Engine, Biomass & Bioenergy Magazine, vol. 24, 2002, pp. 141 - 149.

King, B., About Diesel Fuel, página <http://www.flashoffroad.com>, acessada em Julho de 2006.

Knothe, G., Krah, J., Gerpen, J.V., The Biodiesel Handbook, 1ª edição, OACS Press, Illinois, 2005.

Knothe, G., Sharp, C.A., Ryan III, T.W., Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Methyl Esters, and Alkanes in a New Technology Engine, Energy & Fuels Magazine, vol. 20, 2006, pp. 403 - 408.

Laforgia, D., Ardito, V., Biodiesel Fueled IDI Engines: Performances, Emissions and Heat Release Investigation, Bioresource Technology Magazine, vol. 51, 1994, pp. 53 - 59.

Lora, E.E.S, Nascimento, M.A.R, Geração Termelétrica – Planejamento, Projeto e Operação, volumes I e II, 1ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

Macedo, G.M., Macedo, J.A., Produção de Biodiesel por Transesterificação de Óleos Vegetais, revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, vol. 32, 2004, pp. 38 - 46.

Martins, H., Teixeira, L.C, Balanço Energético da Produção de Óleos Vegetais Transesterificados, Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, vol. 4, Rio de Janeiro, 1984, pp. 1642 - 1649.

Ministério das Minas e Energia, página <http://www.mme.gov.br>, acessada em Novembro de 2005.

Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE), Biocombustíveis, Caderno número 2, 2005, pp 11 - 51.

Oliveira, L.B., Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de

Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil, tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, 2004.

Operador Nacional do Sistema, página <http://www.ons.org.br>, acessada em Novembro de 2005.

Pahl, G., Biodiesel - Growing a New Energy Economy, 1ª edição, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, 2005.

Parente, E.J.S., Biodiesel: uma Aventura Tecnológica num País Engraçado, relatório final, 2003.

Pereira, R.H., Avaliação Experimental e Previsão do Desempenho de Motores Diesel Consumindo Gás Natural, tese de doutorado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica, 2006.

Peres, J.R.R., Insumos Oleaginosos para o Biodiesel, Anais do 1º Simpósio de Biodiesel do Estado do Paraná, Londrina, 2003.

Portal do Biodiesel, página <http://www.biodiesel.gov.br>, acessada em Junho de 2006.

Petrovsky, N., Marine Internal Combustion Engines, Mir Publishers, 1975.

Rangel, J., BR amplia venda de Biodiesel, Jornal OGLOBO, 18 de maio de 2006.

Rede Baiana de Biocombustíveis, página <http://www.redebaianadebiocombustiveis.ba.gov.br>, acessada em Junho de 2006.

Ribeiro, S.K., Santos, M.P.S.S., Balassiano, R., Almeida, A.F.S., D'Agosto, M.A., O Uso do Biodiesel no Brasil - Efeitos na Atividade de Distribuição de Combustíveis, relatório final, COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia de Transportes, 2004.

Santos, N.O., Termodinâmica Aplicada às Termelétricas – Teoria e Prática, 1ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2000.

Schumacher, L.G., Borgelt, S.C., Fosseen, D., Goetz, W., Hires, W.G., Heavy-Duty Engine Exhaust Emission Tests Using Methyl Ester Soybean Oil/Diesel Fuel Blends, Bioresource Technology Magazine, vol. 57, 1996, pp. 31 – 36.

Sulgas, página <http://www.sulgas.rs.gov.br>, acessada em Agosto de 2006.

Tavares, M., Jungblut, C., Combustível Verde-Amarelo, Jornal O GLOBO, 4 de Fevereiro de 2006.

Taylor, C.F., Taylor, E.S., The Internal-Combustion Engine, Textbook Company, 1961.

Torres, E.A., Aguiar, L.M.G., Lima, P.F., Correia, P.R.S., Barata, E., Estudos de Avaliação de Alternativas para Queima de Óleos Pesados em Usinas Termoelétricas a Base de Motores Diesel, relatório final, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica da Bahia, 2005.

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP), Biodiesel Production and Marketing in Germany, relatório, 2005.

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP), página <http://www.ufop.de>, acessada em Janeiro de 2006.

United States Government Department of Energy, Biodiesel Handling and Use Guidelines, 2004.

Wärtsilä Corporation, Power Plants Product Programme, catálogo, 2004.

Wylen, G.V., Sonntag, R., Borgnakke, C.; Fundamentos da Termodinâmica Clássica, tradução da 4ª edição americana, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1995.

Apêndice I - O Motor Diesel, seu inventor e o óleo diesel

Rudolf Christian Karl Diesel nasceu no dia 18 de Março de 1858 em Paris. Em 1870 a França declarou guerra contra a Prússia e os Diesel, assim como qualquer um de origem germânica, começaram a ser vistos como suspeitos e indesejados. A família então migrou para a Inglaterra onde Rudolf pode finalizar seus estudos na *London School*.

Aos 14 anos, já na Alemanha, decidiu seguir a carreira de engenheiro e mesmo após o fim da guerra franco-prussiana ter terminado e sua família ter voltado a viver em Paris, Rudolf decidiu continuar na Alemanha para continuar seus planos.

Em outubro de 1873 entrou em um programa de engenharia mecânica em Augustburg. Durante seu curso, em uma aula no laboratório de física, Rudolf viu um equipamento “misterioso” que certamente chamou bastante sua atenção. O equipamento consistia em um pequeno cilindro fabricado em vidro, no qual ar era substancialmente comprimido. Com o aumento da pressão no cilindro, ocorria um aumento na temperatura e podia ser visto uma faísca através do vidro.

Uma vez graduado, Rudolf ganhou uma bolsa da *Technische Hochschule München* - Escola Técnica de Munique, mas também conhecida como Instituto de Tecnologia de Munique. Lá ele teve contato com o professor Carl Von Linde, quem desenvolveu o primeiro refrigerador por compressão de amônia eficiente e confiável. Ainda em Munique, Diesel começou a considerar seriamente a possibilidade de desenvolver o que ela chamava de “heat engine”, onde não seria necessária uma centelha para iniciar uma combustão, assim como acontecia no misterioso experimento do laboratório de física.

Naquele momento a fonte principal de energia das indústrias, eram motores a vapor e a uma baixa eficiência – algo abaixo de 10% e extremamente caros e conseqüentemente favoreciam as grandes empresas. Motivado por uma consciência social, talvez potencializado pelas dificuldades que sua família havia passado, e utilizando os conhecimentos adquiridos em engenharia e termodinâmica, começou a trabalhar no projeto de um novo e revolucionário motor.

Após a graduação no Instituto de Tecnologia de Munique, em 1880, Rudolf Diesel foi contratado pela grande e sólida empresa *Gebrüder Sulzer Maschinenfabrik* – fábrica de máquinas dos irmãos Sulzer. Nesta fábrica,

localizada em Winterthur, Suíça, ele teve bastante experiência em mecânica industrial, mas logo voltou a Paris, onde o antigo professor Carl Von Linde havia arranjado para ele um emprego em uma nova fábrica de refrigeradores que estava sendo construída. Ganhando experiência em refrigeração, em 1881 Diesel obteve sua primeira patente na área: uma máquina de fazer gelo. Com esta patente começou a procurar um fabricante para sua idéia e logo entrou em acordo com Maschinenfabrik Augsburg, conhecida hoje como Maschinenfabrik Augsburg-Nuerenberg, ou simplesmente MAN AG. Em 1883 começou a fabricar seu invento e no mesmo ano casou com Martha Flasche.

Em 1890, Diesel e sua esposa e três filhos voltaram para a Alemanha, desta vez a cidade foi para Berlim, onde começou a desenvolver o projeto do motor a combustão, o qual foi patenteado em 28 de Fevereiro de 1892. No ano seguinte ele publicou o famoso paper “Theory and Construction of a Rational Heat Engine to Replace the Steam Engine and Contemporary Combustion Engine”.

O primeiro protótipo, construído em 1893, consistia em um motor de um único cilindro e que funcionou inicialmente com kerosene e depois com gasolina e na seqüência outros combustíveis também foram experimentados.

Após a construção de outros protótipos e algumas participações em exposições internacionais, o invento de Rudolf Diesel se tornou um sucesso e mundialmente conhecido.

Nos seus últimos anos de vida Diesel era inquestionavelmente um defensor do uso de combustíveis renováveis, em 1911 ele disse “...*the diesel engine can be fed with vegetables oils and would help considerably in the development of agriculture of the countries which use it*” (Pahl, 2005).

Apesar do crescente domínio dos combustíveis derivados do petróleo, Diesel continuou acreditando nos combustíveis renováveis e em discurso acontecido em 1912 em Saint Louis, Missouri, quando estava descrevendo recentes mudanças nos atomizadores de combustível para serem utilizados nos seus motores e possibilitando então a utilização de outros óleos vegetais como óleo de amêndoa, dendê e outros; ele disse célebre frase: “...*the use of vegetable oils for engine fuels may seems insignificant today, but such oils may become, in the course of time, as important as petroleum and coal-tar products of the present time*”(Pahl, 2005).

Ainda neste ano, um antes da sua trágica morte (nota: A morte de Rudolf Diesel é cercada de mistério. Ele estava navegando da Atuérpia, Bélgica para

Harwich, Inglaterra e acompanhado de outros 2 tripulantes. Diesel misteriosamente desapareceu durante a noite. Por ter sido uma noite relativamente calma, a hipótese de acidente foi descartada e rapidamente a imprensa levantou a hipótese de ele ter sido assassinado pelo Serviço Secreto Britânico ou por agentes ligados a grandes companhias de petróleo. A imprensa americana sugeriu que ele havia sido executado pelos alemães, como traidor, para assegurar os segredos da última promessa bélica: os U-Bolts. A verdade é que não se pode garantir que, por exemplo, não aconteceu suicídio. (Pahl, 2005) já eram mais de 70.000 motores diesel operando em todo o mundo, mas por causa das características de tamanho e peso eram praticamente restritos á usos estacionários como em fábricas ou em plantas de geração de energia.

Apesar de seu motor ter sido originalmente projetado para queimar diversos óleos vegetais já citados ou ainda outros combustíveis como óleo de baleia ou óleo de cânhamo, Rudolf Diesel optou por utilizar querosene como combustível primário, por causa do seu baixo custo e grande abundância que eram praticados naquela época.

No começo do século XX a indústria bélica, motivada pelo crescente temor de novas guerras começou a equipar seus navios e submarinos, que eram a mais nova e promissora ameaça aos países inimigos; impulsionou a já fortíssima indústria do petróleo a desenvolver um combustível menos volátil que a querosene ou mesmo a gasolina para ser armazenado e transportado nas embarcações com mais segurança.

Foi desenvolvido então um combustível, sub produto do refino da gasolina e passou a ser chamado de óleo diesel. Os motores desenvolvidos por Rudolf Diesel foram então modificados para funcionar com este novo e poluente combustível derivado do petróleo. O novo motor, infelizmente, se afastava cada vez mais do objetivo inicial do seu inventor que era para ser utilizado com combustíveis limpos e renováveis, pois o casamento do motor com o novo combustível foi bem feito e as vendas cresciam exponencialmente. Parecia que o sonho ecológico e social de Rudolf Diesel estava cada vez mais longe de ser realizado.

Embora naquele momento mais tímidos, os experimentos em cima da utilização de óleos vegetais não foram completamente abandonados. Por volta dos anos 40, diversos experimentos foram conduzidos especialmente nas colônias dos países Europeus, como na África. Durante a segunda guerra mundial, óleos vegetais eram utilizados como combustíveis alternativos quando

o suprimento de combustíveis derivados de petróleo era interrompido. Mas com o fim do conflito e com o refortalecimento do suprimento dos combustíveis minerais e a preços novamente baixos, as pesquisas com óleos vegetais praticamente foram interrompidas, até a década de 70.

Embargo do petróleo e a retomada das pesquisas em combustíveis verdes

No dia 6 de outubro de 1973, o exército Egípcio atacou Israel através do canal de Suez enquanto simultaneamente forças militares Sírias atacavam pelo norte. O exército de Israel foi pego de surpresa recuou, mas após ter recebido apoio militar de outras nações como os Estados Unidos, eles contra-atacaram e expulsaram os invasores de seu território e adicionaram terras daqueles ao território de Israel. Um acordo de paz foi concluído em Novembro e as Nações Árabes sentindo-se humilhados pelas perdas prepararam uma retaliação as nações ocidentais que haviam dado suporte a Israel.

A Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEC (*“Organization of Petroleum Exporting Countries”*) iniciou um embargo de petróleo aos países ocidentais, entre eles os Estados Unidos. O embargo teve consequências dramáticas as economias de diversos países espalhados pelo mundo pois o preço da energia teria sido inflacionado. Depois de uma noite o preço do barril de petróleo subiu de US\$3 para US\$5 e ao final de 1974 já estava em US\$14 (Pahl, 2005). O caos estava decretado nos países desenvolvido e extremamente dependentes de petróleo, o mundo ocidental estava vivenciando uma grande recessão econômica.

Em 1979, com a revolução do Irã o mundo novamente foi exposto a uma nova crise de energia. O preço do barril do petróleo, novamente dobrou em um curto espaço de tempo.

Motivado por estas crises, os países mais atingidos retomaram a pesquisa e desenvolvimento em combustíveis alternativos. Uma das linhas de ataque foi a do etanol, que já havia sido bastante desenvolvido principalmente durante a Primeira e Segunda Guerra mundial. Nestes períodos de guerra o etanol era utilizado como aditivo e/ou suplemento aos combustíveis derivados do petróleo. Com o fim da Segunda Guerra Mundial e com o restabelecimento do baixo preço do petróleo, as usinas de etanol perderam competitividade e fecharam, encerrado-se então a utilização de blends de gasolina e etanol, que era chamado naquela época de *gashol*. No início da década de 80, em reposta as crises do petróleo, o *gashol* foi reintroduzido nos Estados Unidos.

Paralelamente, outra linha de pesquisa se desenvolvia novamente em cima dos combustíveis vegetais alternativos ao óleo diesel.

Experimentos na Áustria, África do Sul e nos Estados Unidos

Logo após a crise de energia de 1973 importantes programas de pesquisa se instalaram pelo mundo, como na Áustria, África do Sul e nos Estados Unidos

O programa da Áustria se baseava tipicamente em misturar óleos vegetais em óleo diesel, formando um *blend*. Os experimentos essencialmente consistiam em testar diferentes concentrações nos blends em um pequeno e velho trator. Os primeiros resultados dos testes mostraram que a viscosidade do óleo vegetal deveria ser reduzida e que a sua utilização aumentaria consideravelmente os custos de manutenção dos motores devido a excessiva quantidade de depósitos nos componentes do motor. Ficou constatado também que no caso da utilização de óleos vegetais por um longo período de tempo, os motores poderiam ser condenados pelo desgaste. Concluíram que o combustível deveria ser adaptado para o motor diesel ou o motor deveria ser adaptado ao combustível, “decidimos adaptar o combustível”, relata Manfred Wörgetter, do Instituto Federal de Engenharia Agrícola (Bundesanstalt für Landtechnik – BLT) (Pahl, 2005). Em outubro de 1981 conversando com pesquisadores Sul Africanos, durante uma conferência sobre energia em Berlim, que haviam testado com sucesso um éster metílico de girassol, ficou convencido que produzir ésteres metílicos a partir de óleos vegetais seria uma excelente rota de pesquisa. A discussão sobre a utilização de éster metílico de girassol durante esta conferência é vista como o marco do que anos depois seria conhecido como Biodiesel.

Nos Estados Unidos, aproximadamente na mesma época, o Professor Charles Peterson da Universidade de Idaho iniciou testes misturando óleo vegetal no óleo diesel. Após alguns testes, assim como os pesquisadores Europeus e Africanos, concluiu que para se utilizar com sucesso óleos vegetais como combustíveis, ou estes ou os motores deveriam ser adaptados. Ele e seus colegas de pesquisa também concluíram que o melhor seria atacar o combustível. Testes com óleo de canola esterificado (Biodiesel) foi um marco real do início de experimentos com Biodiesel na universidade, atestou o Professor Peterson.

Apêndice II - Custo de produção do Biodiesel

Para se chegar aos custos do Biodiesel, o MDIC (2003) fez as seguintes considerações:

- a) Foi considerado o custo de produção do grão, incluída a margem de retribuição do produtor. No caso da soja, foi considerado o valor comercial da saca e subtraído o valor comercial do farelo.
- b) Foi subtraído o valor comercial dos sub-produtos (farelo ou torta e glicerina) sujeito à queda por aumento de oferta. No caso do dendê, a torta resultante de seu processamento, não foi considerado pois não tem valor de mercado para se usar como referência, embora seja possível de aproveitamento.
- c) Foi considerado custo para a moagem de aproximadamente US\$ 12,00/tonelada, para a soja pois esta matéria prima trabalha com este custo para a chamada “crush-margin” (custo para moagem). Foi considerado que para os demais produtos, os custos não devem ser muito diferentes disso.
- d) Os óleos vegetais, como insumo para Biodiesel, foram considerados isentos de tributos.

Sob essa metodologia, o Biodiesel B100, isento de tributos federais (CIDE e PIS/COFINS) e estadual (ICMS), apresenta os seguintes custos de produção:

Produto	Custo de produção (R\$/litro) Sem impostos
Biodiesel B100 – Soja	0,902
Biodiesel B100 – Girassol	0,645
Biodiesel B100 – Mamona	0,761
Biodiesel B100 – Dendê	0,494

Custos de produção de Biodiesel, isentos de tributos federais e estaduais Fonte: MCDI (2003)

Tomando-se por base o preço ao consumidor de um litro de diesel mineral de R\$ 1,397 em 2003^[7], A adição de 5% de Biodiesel B5 poderia levar a duas situações distintas: com e sem isenção tributária.

Se a tributação fosse cobrada integralmente na venda do B5, haveria um aumento nos preços de venda de 0,72%, se a matéria-prima utilizada fosse a soja, e de 0,21% se a oleaginosa fosse a mamona. Usando-se girassol e dendê, haveria redução de 0,21% e 0,72%, respectivamente.

Na situação inversa, se houvesse isenção tributária, os preços de venda poderiam diminuir em 2,29% (dendê); 1,79% (girassol); 1,36% (mamona) e em 0,86% (soja), mas acarretaria numa considerável perda de arrecadação.

Neste cenário, o MCDI (2003) fez também simulações para se verificar quanto seria esta perda de arrecadação por parte da União e Estados. Foi admitido no estudo que 95,5% do consumo de diesel para uso geral fosse atendido pela mistura B5 e que 30% das máquinas agrícolas, que representam 15% do consumo nacional, passariam a utilizar B100, haveria perda de arrecadação da ordem de 9,3%, atingindo a cifra de R\$1,37 bilhão, repartida entre a União (55%) e os Estados (45%); divididos da seguinte maneira:

Uso	Impostos Federais (MR\$)	Impostos Estaduais (MR\$)
Uso geral (95,5% com B5)	392	315
Uso em máquinas agrícolas (30% x 15% com B100)	369	296

Perda de arrecadação devido à isenção tributária do Biodiesel, cenário 1. Fonte: MCDI (2003)

Em um segundo cenário foi admitido que transporte metropolitano passaria a ser atendido com a mistura B5 e que 30% das máquinas agrícolas, passariam a utilizar B100, a perda de arrecadação neste caso passaria a ser de 5,8% (R\$ 857 milhões), onerando a União e os Estados nos mesmos percentuais de 55% e 45%, respectivamente.

Uso	Impostos Federais (MR\$)	Impostos Estaduais (MR\$)
Diesel metropolitano (27% x 95,5% com B5)	106	86
Uso em máquinas agrícolas (30% x 15% com B100)	369	296

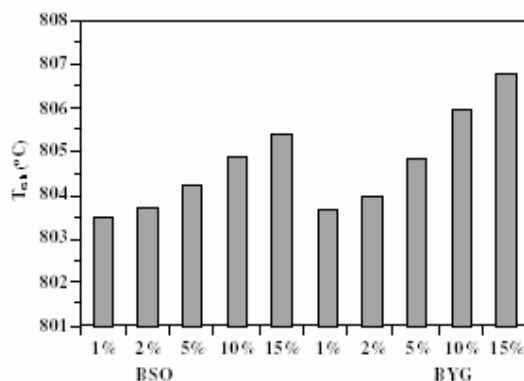
Perda de arrecadação devido à isenção tributária do Biodiesel, cenário 2. Fonte: MCDI (2003)

[7] As análises de impactos econômicos da introdução do Biodiesel na matriz energética nacional foram referenciadas no preço vigente de realização do diesel mineral que se encontrava influenciado pelas cotações do petróleo na ordem de US\$ 29/barril

Apêndice III – Estimativa da temperatura de exaustão para diferentes combustíveis

Canakci et al (2006) mediram a temperatura dos gases de exaustão para um motor operando com óleo diesel #2 puro e a diferentes misturas de Biodiesel de óleo de soja (BSO) e Biodiesel de gordura (BYG). O resultado (figura abaixo) mostra que, com o aumento da concentração de Biodiesel na mistura, aumenta a temperatura dos gases de exaustão.

O motor testado foi um John Deere 4276T, quatro cilindros, quatro tempos, turbo alimentado, com injeção direta de combustível, com potência máxima de 57,1 kW (@2100 rpm). Todos os testes foram realizados a carga total (100%) a uma velocidade igual a 1400 rpm, com torque igual a 257,6 Nm.



Efeito na variação da temperatura dos gases de exaustão ao se alterar a concentração de Biodiesel na mistura com óleo diesel.

Fonte: Canakci et al, 2005

A partir deste gráfico pode-se estimar a temperatura dos gases de exaustão no caso de operação do motor com 100% de BSO e BYG.

Pares de valores do gráfico acima foram imputados no programa Microsoft Excel. Com esta ferramenta pôde-se desenhar a linha de tendência e, então, determinar a equação (abaixo) que melhor descreve o comportamento da temperatura de exaustão em função da concentração de Biodiesel na mistura. Para o primeiro caso (BSO) a equação encontrada é a seguinte:

$$T [^{\circ}\text{C}] = 0,147(\%_{\text{BSO}}) + 803,28$$

Para para o segundo caso (BYG) é:

$$T [^{\circ}\text{C}] = 0,213(\%_{\text{BYG}}) + 803,50$$

Com estas equações pode-se calcular, aproximadamente, as temperaturas dos gases de exaustão para aquele motor operando com Biodiesel puro, que são respectivamente:

$$T_{100\% \text{ de BSO}} = 818,0 (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{100\% \text{ de BYG}} = 824,8 (^{\circ}\text{C})$$

Por outro lado, Giacosa (1970) cita que, a partir do Ciclo Diesel teórico (padrão ar), é possível calcular a temperatura de exaustão (T_4), a partir da equação abaixo:

$$T_4 = T_1 \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^k$$

onde T_1 é a temperatura de admissão e a razão $\left(\frac{V_3}{V_2} \right)$ é a razão de corte (“p” processo de expansão com adição de calor) e k é igual a:

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

Com isso tem-se que:

$$T_4 = T_1 \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^k = \rho^k$$

Sabendo-se qual é a temperatura de admissão do motor (temperatura ambiente), e ao se determinar como a razão de corte varia com a troca do combustível, pode-se calcular qual será a temperatura dos gases de exaustão com o novo combustível. Supondo que ambos os combustíveis sejam injetados à mesma taxa ($\dot{m}$), isto é, que a bomba injetora não tenha sido alterada, se o combustível substituto tiver menor poder calorífico, mais tempo (ângulo do eixo virabrequim) será necessário para injeção de combustível, para manter constante a potência mecânica. Com isso conclui-se que a razão de corte é inversamente proporcional ao poder calorífico do combustível, ou seja:

$$\frac{\rho_{\text{comb}_1}}{\rho_{\text{comb}_2}} = \frac{\text{PCI}_{\text{comb}_2}}{\text{PCI}_{\text{comb}_1}}$$

E com isso tem-se, que:

$$T_{4,\text{comb}_1} = T_{4,\text{comb}_2} \left(\frac{\text{PCI}_{\text{comb}_2}}{\text{PCI}_{\text{comb}_1}} \right)^k$$

Considerando o experimento de Canakci et al (2006), e o combustível 1 como sendo o óleo Diesel #2 com poder calorífico igual a 42.613 kJ/kg, pode-se estimar a temperatura de exaustão quando utilizado o Biodiesel BSO e BYG. Para o caso, Petrovsky (1975) sugere usar, ao invés de $k=1,4$ (ar), utilizar um expoente politrópico com valor entre 1,15 e 1,30. Com isto as temperaturas dos gases de exaustão estimadas ficam sendo:

$$T_{100\% \text{ de BSO, teórico}} = 881,87 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{100\% \text{ de BYG, teórico}} = 890,65 \text{ } (^{\circ}\text{C})$$

Estes valores são, respectivamente, 7,8% e 7,9% superiores aos estimados a partir dos resultados de Canakci et al (2006).

Não ausência de dados específicos sobre o motor analisado na presente dissertação utilizando diferentes combustíveis e utilizando a formulação acima, pode-se estimar as temperaturas dos gases de exaustão, como se segue:

Combustível	Temperatura estimada dos gases de exaustão (°C)
OCA1	317,0
OCA2	324,9
OCB1	304,9
OCB2	306,2
Biodiesel de Canola, Rota metílica	375,4
Biodiesel de Soja, Rota metílica	373,9
Biodiesel de Girassol, Rota metílica	352,7
Biodiesel de Dendê, Rota etílica	341,7
Biodiesel de Mamona, Rota etílica	332,2