

Análise das Emissões Aéreas e Performance de Grupos Geradores de Energia Elétrica Utilizando Biodieseis de Diversas Fontes em Misturas Proporções de B2 a B50.

Sérgio Peres, Carlos H T Almeida, Adalberto Freire Jr., Bernardo C A Geraldo, Ronan N. Dias, Wagner R. Lima, Juliana D. B. C. Dias, Fabíola R. da Silva

Resumo – Este artigo relata os resultados (parciais) das emissões aéreas de um grupo gerador utilizando os biodieseis de soja e de milho nas proporções de 5 a 50% misturados com os óleos dieiseis metropolitano e o interior operando com cargas zero, parcial e nominal. Serão utilizados outros biodieseis nas misturas. As emissões aéreas analisadas são SO₂, NO, NO₂, CO, CO₂. Os CO_x contribuem na promoção do efeito estufa, enquanto os demais são responsáveis pela formação de chuva ácida. Os resultados parciais mostraram que as emissões variam significativamente com a carga e tem menor influencia do aumento do teor e tipo de biodiesel. Porém, foram evidenciadas uma redução nas emissões de CO e CO₂ com a utilização do biodiesel. O teor de enxofre influencia nas emissões de NO e NO₂. Também ficou evidenciado que o teor de biodiesel na mistura diminui as emissões de SO₂ e aumenta as emissões de NO_x.

Palavras-chave – biodiesel, diesel, emissões aéreas, grupo gerador, misturas biodiesel/diesel.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho visa fornecer uma análise das emissões aéreas provenientes de um grupo gerador de pequeno porte operando com biodiesel e suas misturas com óleo diesel mineral metropolitano (S50) e interior (S1800). Apesar de que neste artigo estejam reportados somente os resultados obtidos com os biodieseis de soja e milho, serão analisadas as emissões com canola, girassol, palma, sebo de boi e suas blendas. A obrigatoriedade da utilização do biodiesel

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Agradecimentos à TERMOPE – UTE TERMOPE/PERNAMBUCO, do grupo NEOENERGIA que através do projeto TPE-024 patrocinou esta pesquisa na sua totalidade. S. Peres é professor do Departamento de Engenharia Mecânica e coordenador do POLICOM – Laboratório de Combustível e Energia da Universidade de Pernambuco- UPE (emails: sergperes@gmail.com e speres@poli.br)

C. Almeida, A. Freire Jr e B. Cirne são pesquisadores do POLICOM- UPE (e-mails: carlostexal@yahoo.com, adalbertofreire2@gmail.com, bernardocirne@gmail.com).

Ronan N. Dias, Wagner R. Lima, Juliana D. B. C. Dias são funcionários da Termopernambuco S.A. e Fabíola R. da Silva é funcionária da Start (Emails: ronan.dias@termope.com.br, wlima@termope.com.br, jdias@termope.com.br, Fabiola.start@termope.com.br).

misturado ao óleo diesel comercializado no Brasil, inicialmente com 2% de mistura volumétrica, o chamado B2, até o atual de 5% de mistura (v/v), o B5, provocou uma alteração dos níveis de emissões aéreas e de consumo de combustíveis nos motores dieiseis. Estas alterações no funcionamento e performance do motor diesel são atribuídas não somente à adição do biodiesel ao óleo diesel, mas, também devido à origem e características do biodiesel utilizado nas misturas. Além disso, os resultados de emissão e performance do motor diesel também são afetados com o tipo de diesel utilizado na mistura com o biodiesel.

Os óleos dieiseis comercializados em Pernambuco e na maioria dos estados brasileiros são de dois tipos: o metropolitano e o interior. A principal diferença entre eles é o teor de enxofre que no diesel metropolitano é de 50 ppm (partes por milhão), enquanto que no interior é de 1800 ppm, ou seja, 36 vezes maior. Logo, o teor de enxofre no óleo diesel, as diferentes composições dos biodieseis e as condições de carga no grupo gerador afetam significativamente o consumo de combustível e as emissões nos motores diesel. Portanto, o objetivo desta pesquisa é analisar as emissões dos óxidos de carbono (monóxido e dióxido), óxidos de nitrogênio (monóxido, dióxido e totais) e do dióxido de enxofre, provenientes das misturas dos diversos tipos de biodiesel de origem animal e/vegetal e suas blendas com os óleos dieiseis S50 e S1800, em misturas B5, B10, B20, B30, B40 e B50.

O código ANEEL para esta pesquisa é o 2290-002/2007, e estão sendo apresentados, neste artigo, os resultados parciais da pesquisa, que ainda está em execução. A pesquisa está sendo patrocinada pela TERMOPE, e está sendo executada pela POLICONSULT – Associação Politécnica de Consultoria e Universidade de Pernambuco. A pesquisa está sendo realizada no Laboratório de Combustíveis e Energia (POLICOM), da Escola Politécnica de Pernambuco, da Universidade de Pernambuco.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Nesta seção estão descritos a metodologia aplicada para o desenvolvimento da pesquisa, uma breve revisão bibliográfica descrevendo as emissões, as características dos dieiseis utilizados, o processo de produção do biodiesel, os resultados da caracterização do biodiesel e de suas misturas com o

diesel, os resultados obtidos, os benefícios e as dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto.

A. Metodologia

Esta pesquisa está sendo desenvolvida em etapas, que são: - pesquisa bibliográfica; - especificação, aquisição, instalação e comissionamento de equipamentos para caracterização de biodiesel e misturas; - aquisição e comissionamento de um grupo gerador de 4 kVA e de analisador de emissões portátil; - adaptação do laboratório para instalação dos novos equipamentos; - desenvolvimento de um banco de resistência para consumo de carga gerada pelo grupo gerador; - desenvolvimento de uma central de produção de biodiesel em batelada de 20 litros; - produção e caracterização dos biodieseis e misturas; - realização de testes com óleo diesel puro (tipo A) metropolitano e interior nas diversas condições de carga (zero, cargas parciais e nominal); - realização de testes com biodieseis de diversas origens com os óleos dieséis metropolitano e interior nas proporções de B5 a B50 (em andamento); - Análises dos dados; e, emissão de relatório parciais e final.

Os testes para determinação das emissões e sua análise utilizaram como linha de base as emissões resultantes do uso dos dieséis puros (tipo A) S50 (metropolitano) e S1800 (interior), que são os comercializados em Pernambuco. Para isso, foi necessário contar com o apoio da distribuidora de combustíveis SETTA Combustíveis, para fornecer o combustível puro, ou seja, sem estar misturado com o biodiesel, uma vez que os biodieseis que estão sendo utilizados na pesquisa são produzidos e caracterizados no POLICOM. A obtenção do óleo diesel puro só foi possível devido à sua utilização para fins de pesquisa acadêmica, pois, é obrigatória a comercialização dos dieséis B (B5) em território brasileiro, conforme [1].

Uma vez que foram determinadas as emissões com os óleos dieséis tipo A (linha de base), foram realizados testes de emissões utilizando as misturas de B5, B10, B20, B30, B40 e B50 com os dieséis A S50 e S1800, com os biodieseis produzidos no POLICOM.

Para a garantia da qualidade do biodiesel utilizado foram realizados alguns experimentos para caracterização dos biodieseis.

Ao todo foram caracterizados oito tipos de biodieseis: soja, milho, girassol, sebo de boi, palma (dendê), canola, oliva e óleo de fritura (residual). Para estes biodieseis foram determinados a composição química, poder calorífico inferior e superior e o índice de cetano.

No estágio atual da pesquisa foram utilizados blendas dos óleos dieséis S50 e S1800 com os biodieseis de soja e de milho, nas proporções de 5%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% (v/v), cujos resultados estão reportados neste artigo. A pesquisa será continuada com a realização de testes de emissões com os biodieseis mais factíveis de serem utilizados comercialmente como o biodiesel de sebo de boi, girassol, palma, canola e de fritura. Não serão realizados testes de emissões com óleo de oliva devido ao seu elevado custo de aquisição.

B. Equipamentos utilizados

- Cromatógrafo a gás, GC Master, equipado com FID;
- destilador manual, Mod. LAB-DS1;
- Fulgorímetro TANAKA;
- Equipamento para medição do Ponto de Entupimento de Filtro a Frio – TANAKA;
- Criotermostato JULABO
- Equipamento para medição da corrosividade ao cobre – PETROTEST;
- Calorímetro IKA C-2000
- Analisador de gases de emissão TEMPEST 100
- Grupo gerador Motomil mod. MDG 5000 S

C. Dificuldades no Desenvolvimento da Pesquisa

As maiores dificuldades encontradas estão relacionadas com a aquisição dos equipamentos importados. Foi necessário especificar os fornecedores de equipamentos para caracterização de biodiesel que atendessem as especificações descritas na ref. [2], e, enfrentar uma burocracia para obtenção das proformas invoices e das Licenças de Importação (LI). Além disso, ainda foi feito o transporte dos equipamentos do exterior e desembaraço alfandegário. Após a chegada dos equipamentos ainda foi necessário agendar a instalação, treinamento com os representantes dos equipamentos no Brasil. Outro problema enfrentado foi que os fornecedores não informaram os requisitos para funcionamento dos equipamentos depois de confirmadas as compras. E, para o funcionamento destes equipamentos, foram requisitados outros equipamentos auxiliares (coifa, capela, no-break, computadores) e materiais de consumo (soluções com certificação RBC) não previstas no projeto original, o que demandou tempo para serem atendidos. Toda esta burocracia consumiu muito tempo e, foi necessário realizar um ajuste de dois meses no cronograma original, para não comprometer o desenvolvimento do projeto.

D. Revisão Bibliográfica

O biodiesel é um combustível biodegradável obtido pelos processos de esterificação ou transesterificação, sendo este último o processo mais comum [3]. A transesterificação consiste na reação química de óleos vegetais ou gorduras animais com um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol), na presença de um catalisador, tendo como produtos o biodiesel e a glicerina [3]. Após o processo de purificação com a retirada dos contaminantes é obtido o biodiesel puro, ou seja, o B100.

A referência [2] define o biodiesel (BD) puro, o B100, como um combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais e de gorduras animais, cujas características devem atender especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Também define como BX, a mistura óleo diesel/biodiesel, composta de X% em volume do biodiesel em (100-X)% de óleo diesel. Desta maneira, o biodiesel B5, que é utilizado no Brasil desde 01/01/2010, possui 5% de biodiesel em volume no óleo diesel (ou petrodiesel) [4].

Uma das grandes desvantagens da utilização do biodiesel é o aumento do consumo de combustível em relação ao diesel de petróleo devido ao seu menor poder calorífico (PC), que chega a ser 13% menor ao do óleo diesel [3],[5].

Os grandes benefícios da utilização do BD no Brasil são na área social e ambiental, além da redução das importações do petróleo [5]. Segundo [6] para cada 1% de biodiesel adicionado ao óleo diesel haveria uma geração de 45 mil empregos rurais e 135 mil urbanos. Com a adoção do B5, haveria uma geração de um milhão de empregos, sendo 270 mil empregos rurais e 810 mil na indústria, comércio e distribuição do biodiesel [7]. Na área ambiental, [6] concluiu que as emissões de poluentes locais do biodiesel variam em função do tipo de óleo vegetal (soja, mamona, palma, girassol, etc.) ou gordura animal usados na produção do biodiesel. Ainda, [6] relata que o uso do B100 de soja poderia reduzir as emissões do monóxido de carbono (CO) em 48%, de material particulado (MP) em 47%, do óxido de enxofre (SOx) em praticamente 100% e dos hidrocarbonetos totais (HC) em 67%.

A referência [8] apresenta os resultados das emissões medidas para as misturas B5, em banco dinamométrico. Estes resultados mostraram uma redução nas emissões de CO (7%), HC (5%), MP (10%) e um acréscimo para NOx (4%) em média, não havendo diferença estatística significativa entre as emissões da utilização de biodieseis metílicos e etílicos de soja e mamona. Para misturas acima de 5%, houve uma tendência de aumento nas emissões específicas de NOx e, redução das emissões de CO, HC e MP em relação ao óleo diesel. Quanto ao consumo, foi relatado um aumento ligeiramente superior ao consumo de óleo diesel para o B5, em relação ao B0. Portanto, estes estudos patrocinados pelo MCT para validação do uso de B5 em motores e veículos foram bastante restritos.

O fato de não terem sido realizados testes de emissões com outras oleaginosas como o girassol, milho, canola e gorduras animais como o sebo de boi, banha de porco e óleo de frango, em misturas B5 e superiores e em várias situações de carga, foi o grande motivador para realização deste projeto de pesquisa. Desta maneira os biodieseis produzidos com outras matérias-primas foram caracterizados e utilizados para a realização testes de emissões. Assim, as variações das emissões com a carga, com tipo e teor de biodiesel nas misturas BX utilizando as blendas com o S50 e S1800 puderam ser e estão sendo determinadas nesta pesquisa utilizando um grupo gerador monocilíndrico.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa foram utilizados os biodieseis de origem vegetal e animal. Os biodieseis de origem vegetal foram produzidos com os óleos de soja, milho, canola, sebo de boi, azeite de dendê (palma), girassol e oliva. Os biodieseis de origem animal foram produzidos com sebo de boi, banha de porco e óleo de frango. Ainda, foi utilizado o óleo de fritura, que é um óleo residual que se descartado erradamente possui um efeito bastante danoso ao meio ambiente.

Os óleos vegetais, que serviram de matéria-prima para produção de biodiesel, foram adquiridos em supermercados da região. As gorduras e óleo de origem animal foram obti-

dos em abatedouros, açougue e em supermercados (óleo de frango). Os biodieseis foram produzidos através da transesterificação na rota metílica no Laboratório de Combustíveis e Energia da Universidade de Pernambuco (POLICOM) e foram analisados utilizando um GC-Master equipado com FID (LCI-UFPE) para determinação da sua composição química;

As análises do B100 e das misturas BX com o óleo diesel S50 e S1800, os testes e análises de emissões no grupo gerador MOTOMIL foram realizadas no POLICOM.

Os poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) foram determinados num calorímetro IKA C-2000; a temperatura de entupimento de filtro (TEFF) a frio dos óleos dieiseis, do B100 e misturas BX foram realizadas em equipamento próprio da TANAKA; os testes de corrosividade ao cobre foram realizados em equipamento da PETROSTEST; o índice de cetano (IC) foi calculado através da Equação das quatro variáveis, método descrito na NBR 14759 [9],[10].

A. Caracterizações dos biodieseis

Nesta seção são relatados os resultados das caracterizações dos biodieseis, B100.

A.1. Biodiesel de soja

Tabela I. Composição química e características do BD de soja.

Componente	Área (%)
C16:0	12,7
C18:0	2,9
C18:1	21,1
C18:2	57,2
C18:3	6,1
PCS (MJ/kg)	39,91
PCI (MJ/kg)	39,67
IC	57,9 ± 0,8

A.2. Biodiesel de milho

Tabela II. Composição química e características do BD de milho.

Componente	Área (%)
C12:0	3,1
C14:0	1,0
C16:0	12,7
C18:0	1,9
C18:1	33,5
C18:2	46,8
C18:3	0,9
PCS (MJ/kg)	39,77
PCI (MJ/kg)	39,58
IC	57,84 ± 0,4

A.3. Biodiesel de canola

Tabela III. Composição química e características do BD de canola.

Componente	Área (%)
C16:0	5,05
C18:0	2,04
C18:1	64,53
C18:2	20,21

C18:3	8,17
PCS (MJ/kg)	39,71
PCI (MJ/kg)	39,46
IC	57,65 ± 0,7

A.4. Biodiesel de palma (dendê)

Tabela IV. Composição química e características do BD de palma.

Componente	Área (%)
C16:0	16,70
C18:0	3,69
C18:1	31,17
C18:2	43,10
C18:3	5,34
PCS (MJ/kg)	39,38
PCI (MJ/kg)	39,18
IC	57,47 ± 0,2

A.5. Biodiesel de girassol

Tabela V. Composição química e características do BD de milho.

Componente	Área (%)
C16:0	12,7
C18:0	1,9
C18:1	33,5
C18:2	46,8
C18:3	0,9
PCS (MJ/kg)	39,43
PCI (MJ/kg)	39,22
IC	58,12 ± 0,3

A.6. Biodiesel de oliva

Tabela VI. Composição química e características do BD de oliva.

Componente	Área (%)
C16:0	16,70
C18:0	3,69
C18:1	31,17
C18:2	43,10
C18:3	5,34
PCS (MJ/kg)	39,66
PCI (MJ/kg)	39,44
IC	58,28 ± 0,9

A.7. Biodiesel de banha de porco

Tabela VII. Composição química e características do BD de banha de porco.

Componente	Área (%)
C14:0	2,15
C15:0	0,68
C16:0	21,18
C16:1	2,75
C17:0	1,42
C18:0	9,30
C18:1	42,34
C18:2	15,95
C18:3	0,87

C20:0	3,36
PCS (MJ/kg)	40,18
PCI (MJ/kg)	39,84

A.8. Biodiesel de sebo de boi

Tabela VIII. Composição química e características do BD de sebo de boi.

Componente	Área (%)
C12:0	4,31
C14:0	27,31
C16:0	2,55
C18:0	26,33
C18:1	30,63
C18:2	5,52
C18:3	3,36
PCS (MJ/kg)	39,91
PCI (MJ/kg)	39,71
IC	57,91 ± 0,2

A.9. Biodiesel de óleo de frango

Tabela IX. Composição química e características do BD de óleo de frango.

Componente	Área (%)
C16:0	23,91
C16:1	4,33
C18:0	4,05
C18:1	39,85
C18:2	25,92
C18:3	1,94
PCS (MJ/kg)	39,71
PCI (MJ/kg)	39,30

A.10. Biodiesel de fritura

Tabela X. Composição química e características do BD de soja.

Componente	Área (%)
C16:0	16,7
C18:0	3,69
C18:1	31,17
C18:2	43,10
C18:3	5,34
PCS (MJ/kg)	39,38
PCI (MJ/kg)	39,18
IC	57,87 ± 0,3

Os resultados de PCS e PCI para o óleo diesel A S50 e S100 estão ilustrados a seguir.

Tabela XI. Poder Calorífico Superior e Inferior para o S50 e S1800.

Óleo Diesel A	Poder Calorífico
S50	PCS 45,99 MJ/kg
	PCI 45,50 MJ/kg
S1800	PCS 45,99 MJ/kg
	PCI 45,50 MJ/kg

Portanto, os PC's dos biodieseis são aproximadamente

13% menores que o do óleo diesel, o que implica no maior consumo de combustível quando forem utilizadas as misturas BX. Devido ao menos PC do biodiesel, quanto maior for o teor de biodiesel na mistura, maior será o custo com combustíveis, o que implica num custo de operação dos motores diesel, em relação ao custo com óleo diesel puro.

Os testes de corrosividade ao cobre tanto para os BD's produzidos como para os óleos dieleis S50 e S1800 tipo A, e das misturas BX apresentaram valores de 1(b), e encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela ANP [2].

Salienta-se que os apenas os BD's de soja e girassol foram os utilizados para os testes de emissão no grupo gerador MOTOMIL. Os demais biodieseis foram caracterizados, mas, os testes de emissão não foram ainda executados, uma vez que a pesquisa ainda está em desenvolvimento.

B. Ponto de Entupimento de Filtro a Frio

Os testes para determinação do ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF) foram realizados em equipamento específico, conforme ilustrado na figura 1.



Figura 1. Equipamento para medição do ponto de entupimento de filtro a frio.

Foram realizados testes para medição de entupimento de filtro a frio utilizando o biodiesel de soja B100 e suas misturas com o óleo diesel S50 (metropolitano) A. Os resultados estão ilustrados na figura 2.

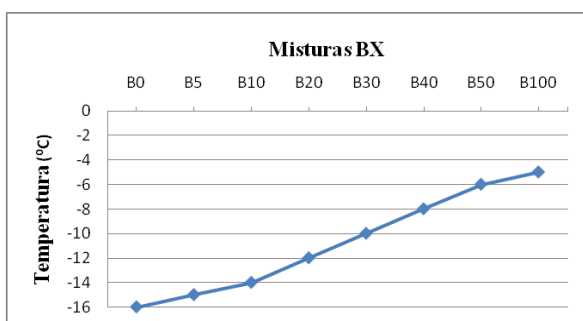


Figura 2. Determinação do PEFF para o BD de soja e misturas BX.

Como pode ser observado na figura 2, o diesel metropolitano apresentou um PEFF de -16°C , enquanto que o biodiesel de soja, o B100, apresentou um PEFF de -5°C . Os valores obtidos encontram-se bem melhores que o valor máximo especificado pela ANP, que varia de 0 a 12°C .

C. Emissões do grupo gerador

Os testes de emissões foram realizados utilizando um grupo gerador MOTOMIL modelo MDG5000S. Para e-

xecução destes testes foram utilizados os biodieseis de soja e de milho e suas misturas com os óleos dieleis S50 e S1800 nas seguintes proporções B0, B5, B10, B20, B30, B40 e B50. Também foram efetuadas medições com o gerador operando com carga zero, cargas parciais e com a carga nominal.



Figura 3. Grupo gerador Motomil

A figura 3 ilustra o grupo gerador utilizado nos testes de emissões. Para a realização dos testes de emissão foi realizada uma extensão do escape de gases, de modo que fosse permitida a entrada da sonda do TEMPEST 100 para efetuação das medições das emissões. Também de maneira a permitir a que fossem efetuados testes de carga no grupo gerador, foi projetado um banco de resistências para consumo da carga do grupo gerador, em intervalos de 25%. Portanto, foram efetuadas medições com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da carga nominal. Os aparatos utilizados nos experimentos de determinação de emissões estão ilustrados na figura 4.



Figura 4. Grupo gerador com os aparatos para teste de emissões

Foram monitoradas as emissões de CO_2 , CO , NO , NO_2 , NO_x e SO_2 . A importância do monitoramento destas emissões é que os óxidos de carbono (monóxido e dióxido) contribuem na promoção do efeito estufa, enquanto os demais são poluentes primários que responsáveis pela formação de chuva ácida, em reações secundárias. Os resultados parciais das medições de emissões com os biodieseis de soja e milho e suas misturas com os óleos dieleis S50 e S1800 são mostrados a seguir.

C.1. Emissões utilizando o Biodiesel de Soja

Nesta seção estão ilustradas emissões para o BD de soja e suas misturas com o S50 (diesel metropolitano) e S1800

(diesel interior). Foram utilizadas as seguintes proporções: B0, B5, B10, B20, B30, B40 e B50. Teores mais altos de BD foram utilizados, mas, estavam apresentando problemas de funcionamento do grupo gerador, e estes testes foram descontinuados.

C.1.1. Monitoramento das emissões de CO₂ e CO

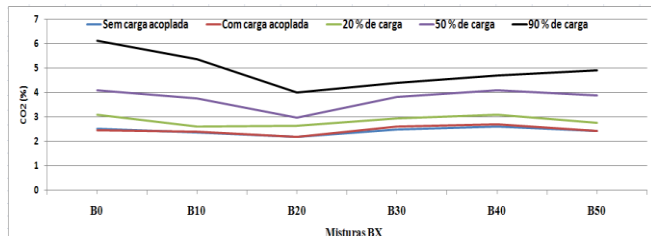


Figura 5. Emissões de CO₂ com S50 utilizando BD de soja

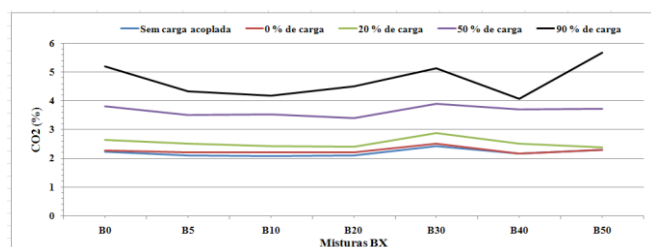


Figura 6. Emissões de CO₂ com S1800 utilizando BD de soja

As figuras 5 e 6 ilustram as variações das emissões do CO₂ com o teor BX do BD de soja misturados, respectivamente, aos óleos diesel (S50 e S1800) e carga do grupo gerador. Nestas figuras observa-se que há um aumento de emissões de CO₂ com o aumento de carga para o mesmo BX. O aumento das emissões de CO₂ se deve ao fato de haver um aumento do consumo de combustível com um maior carregamento do motor. Nota-se que há uma redução nas emissões de CO₂ com a adição de BD, nos teores de 5 e 10%, para o S1800, e de 0 a 20% para o B20. Em ambas as figuras, houve um aumento das emissões de CO₂ para misturas de B30 e B50.

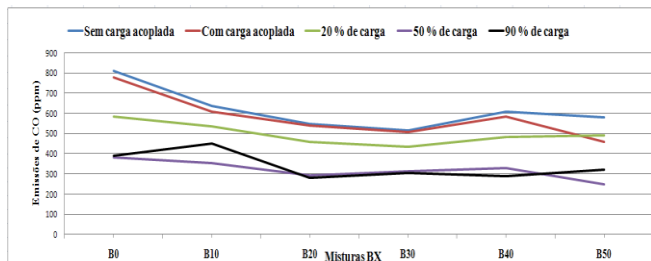


Figura 7. Emissões de CO com S50 utilizando BD de soja

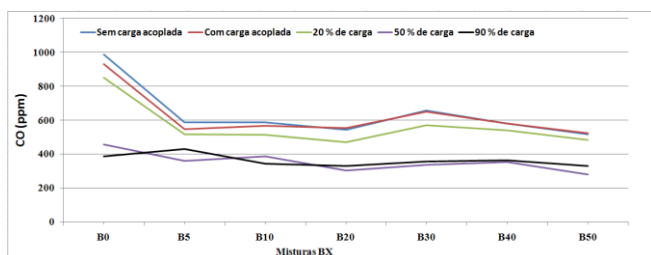


Figura 8. Emissões de CO com S1800 utilizando BD de soja

De forma geral, observou-se pelas figuras 7 e 8 que as e-

missões de CO para as misturas BX são menores que as emissões obtidas com o óleo diesel A (B0). Também foi observado que as emissões de CO diminuem com o aumento da carga no grupo gerador para um mesmo percentual de biodiesel na mistura BX. As variações das emissões de CO com o aumento do teor do biodiesel foram menos significativas, que às variações com a carga.

Comparando-se as emissões de CO (figuras 7 e 8) com as de CO₂ (figura 5 e 6), observou-se uma melhora na eficiência na combustão com o aumento de carga, pois, houve uma menor formação CO (oriundos da combustão incompleta) e aumento nas emissões de CO₂ (produto de combustão completa).

É importante mencionar que o CO é um gás combustível, tóxico e possui um potencial de aquecimento global três vezes o do CO₂ [8].

C.1.2. Monitoramento das emissões de NO, NO₂ e NO_x

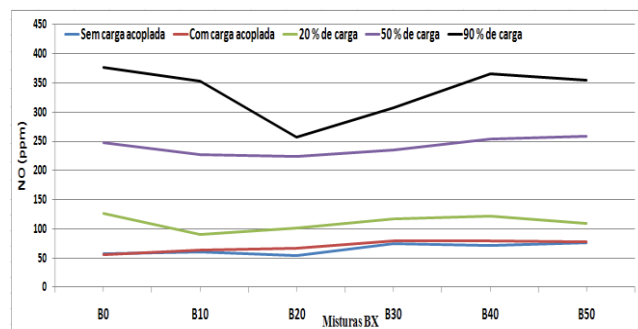


Figura 9. Emissões de NO com S50 utilizando BD de soja

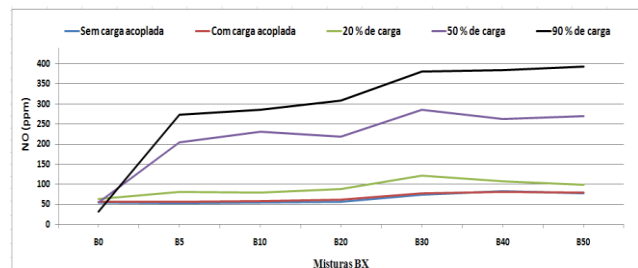


Figura 10. Emissões de NO com S1800 utilizando BD de soja

Analisando as figuras 9 e 10, observou-se que as emissões de NO para o S1800 são oito vezes menores que para o S50 quando usados puros (tipo A) no motor diesel. Observou-se também, que com misturas de B0 A B20, as emissões do S50 diminuíram, enquanto que as emissões para o S1800 aumentam com o maior teor de BD no óleo diesel. Verificou-se ainda, o teor de enxofre parece influenciar nas taxas de emissão de NO, tornando-as mais baixas para teores mais baixos de BD no óleo diesel. À medida que as misturas se aproximam do B50, parece que o teor de enxofre não exerce mais influência nas emissões de NO, pois, as emissões, tanto para o S50 como para o S1800, são da mesma ordem.

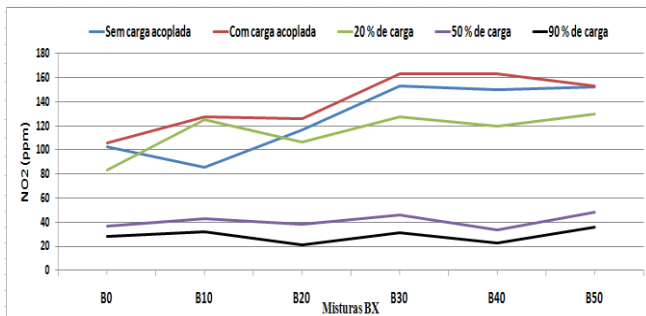


Figura 11. Emissões de NO₂ com S50 utilizando BD de soja

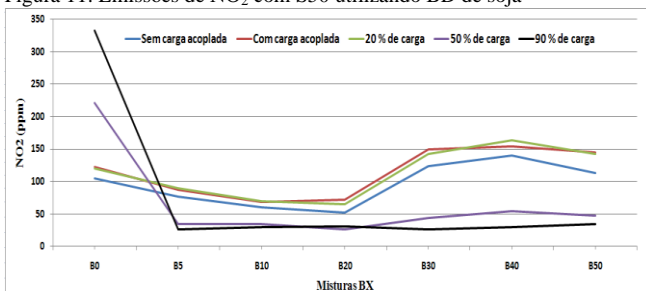


Figura 12. Emissões de NO₂ com S1800 utilizando BD de soja

Analisando as figuras 10 e 11, observou-se que para cargas próximas a nominal, as emissões de NO₂ para o B0 são maiores com o S1800 que com o S50. À medida que se aumenta o teor de biodiesel no combustível há uma tendência de aumento de emissões para cargas parciais baixas, enquanto que os níveis de emissões de NO₂ ficam estáveis para cargas mais altas (75% e 95% da nominal) em valores próximos a 40 ppm, sem influência significativa do teor de BD. Também é observado que o teor de enxofre no óleo diesel não exerce influência nas emissões de NO₂ para as misturas BXs.

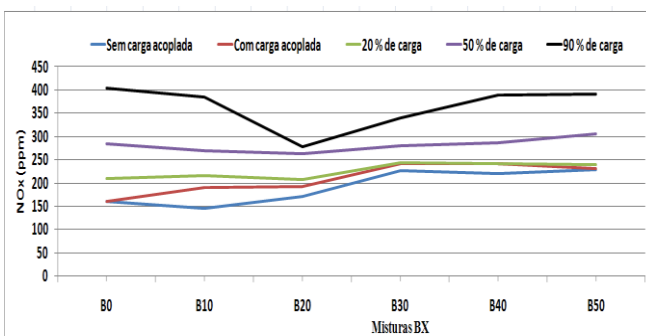


Figura 13. Emissões de NO_x com S50 utilizando BD de soja

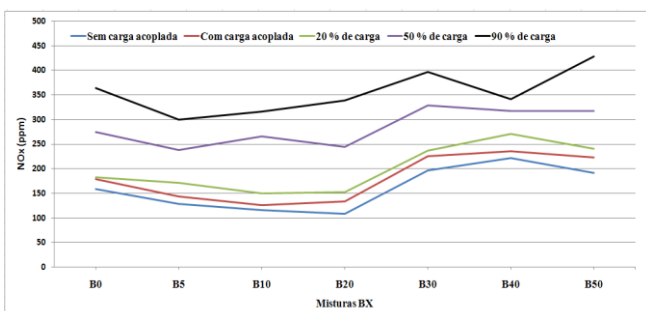


Figura 14. Emissões de NO_x com S1800 utilizando BD de soja

Ao analisar as figuras 13 e 14, observou-se que as emissões totais de NO_x são similares para as misturas BX com os

óleos S50 e S1800. Porém, foi notado um pequeno aumento das emissões de NO_x com o aumento do teor de BD na mistura. Verificou-se também que o aumento da carga influencia de maneira significativa as emissões de NO_x. Isto pode ser explicado pelo maior consumo de combustível em cargas mais altas e, pela temperatura de combustão mais alta, que são atingidas nestas condições de funcionamento do motor diesel.

Este comportamento de aumento de emissões de NO_x com o aumento do teor de BD no diesel foi reportado por vários autores [5],[7],[12].

C.1.3. Monitoramento das emissões com SO₂

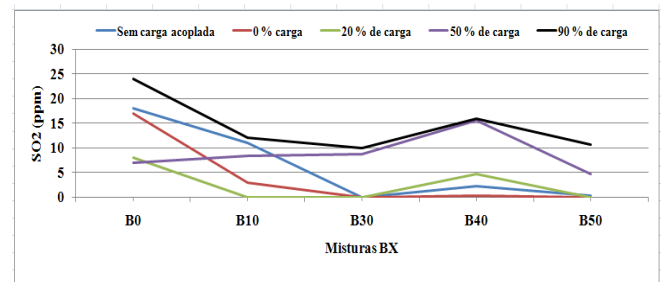


Figura 15 - Emissões de SO₂ com S50 utilizando BD de soja

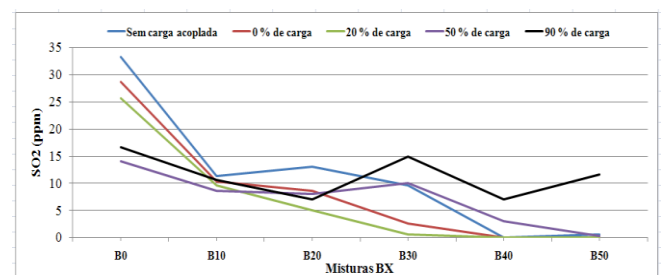


Figura 16 - Emissões de SO₂ com S1800 utilizando BD de soja

Pela análise das figuras 15 e 16, observa-se que as maiores emissões de SO₂ detectadas foram para o S1800 operando no gerador sem carga, para o S50, os maiores níveis foram para o gerador com 90% da carga. Também é notado que a adição de biodiesel nos óleos dieséis tem um efeito de reduzir as emissões de SO₂. O efeito da adição é mais efetivo nas operações com cargas mais baixas, onde o consumo de combustível é menor e as temperaturas de combustão são mais baixas que quando o grupo gerador opera com cargas mais altas.

C.2. Emissões utilizando o Biodiesel de Milho

Nesta seção estão ilustradas emissões para o BD de milho e suas misturas com o S50.

C.2.1. Monitoramento das emissões com CO e CO₂

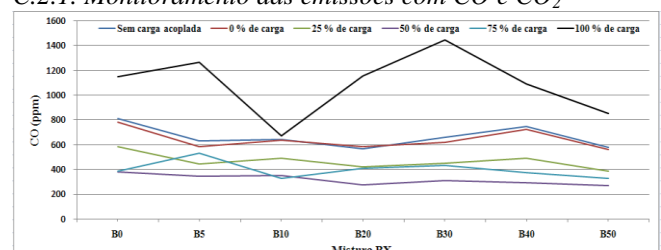


Figura 17 - Emissões de CO com S50 utilizando BD de milho

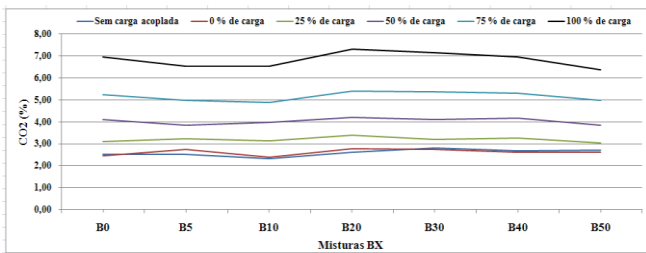


Figura 18 - Emissões de CO₂ com S50 utilizando BD de milho

Analisando as figuras 17 e 18, obtidas com as misturas BX de milho com o S50, observou-se que as emissões de CO e CO₂ apresentaram comportamento similar ao das emissões com biodiesel de soja, ou seja, as emissões variaram significativamente com a carga. Porém, não foram observadas variações significativas devido ao aumento do teor de BD no óleo diesel. As emissões de CO com o BD de milho foram cerca de três vezes maior que as obtidas com o BD de soja, para as misturas com o S50.

C.2.3. Monitoramento das emissões com NO, NO₂ e NO_x

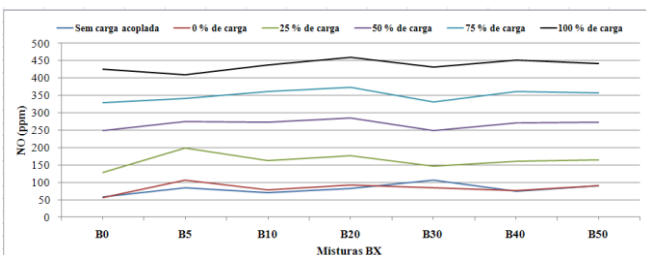


Figura 19- Emissões de NO com S50 utilizando BD de milho

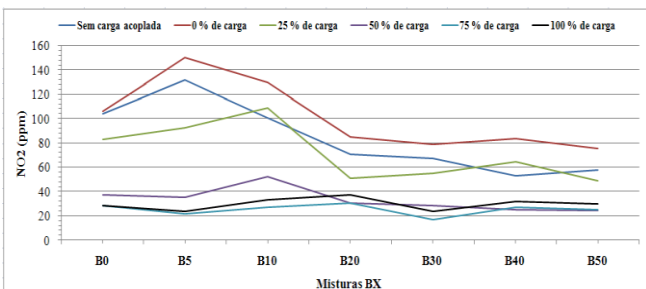


Figura 20 - Emissões de NO₂ com S50 utilizando BD de milho

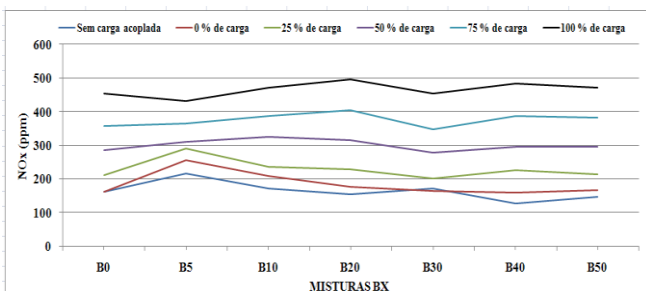


Figura 21 - Emissões de NO_x com S50 utilizando BD de milho

A figura 19 mostra que emissões de NO aumentam significativamente com a carga, e, que o aumento do teor de BD de milho no S50 produziu um leve aumento das emissões. Porém, foi observado na figura 20, que as emissões de NO₂ variaram inversamente com a carga, ou seja, quanto maior a

foi a carga, menor foram as emissões de NO₂.

Houve um aumento de emissões de NO₂ com o grupo gerador operando com as misturas BX em cargas parciais em relação às emissões com o S50 puro. Porém ao aumentar o teor de BD na mistura, observou-se uma diminuição das emissões de NO₂ com o S50.

A figura 21 mostra que as emissões totais de NO_x aumentaram com o aumento de carga, chegando a emitir 2,5 vezes mais NO_x quando operou a plena carga em relação as emissões obtidas sem carga. Também foi observado que o aumento do teor da mistura do BD no S50 de milho produziu um leve aumento nas emissões de NO_x. Mais uma vez, ficou evidenciado que as emissões sofrem uma maior influência da carga do grupo gerador que do aumento do teor de BD no óleo diesel.

C.2.6. Monitoramento das emissões com SO₂

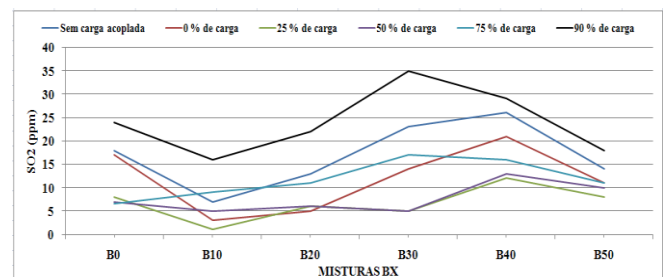


Figura 22 - Emissões de SO₂ com S50 utilizando BD de milho

A análise das emissões de SO₂ utilizando S50 e o BD de milho mostra o mesmo comportamento apresentado para o BD de soja. As emissões mais elevadas foram para a carga de 90% da nominal. A adição de biodiesel não teve um efeito claro nas emissões.

Como a pesquisa está em andamento, conclusões cargas precisas serão obtidas ao fazer experimentos com outros tipos de biodiesel e com S1800. Todavia, uma conclusão que já pode ser tirada é que quanto maior a carga, maiores são as emissões de SO₂.

IV. CONCLUSÕES PARCIAIS

Até o momento, as conclusões obtidas no desenvolvimento deste trabalho (até o momento) são as seguintes: a qualidade do biodiesel deve ser assegurada para que o biodiesel utilizado seja isento de impurezas (contaminantes) como o metanol, glicerina, óleo não reagidos, que vão interferir na combustão das misturas BX. As diversas matérias-primas utilizadas para produção do biodiesel fazem que os biodieles produzidos tenham características distintas. As diferenças mais importantes são o poder calorífico e a composição química do BD, que afetam outras características também importantes como a viscosidade e o ponto de fulgor.

O poder calorífico (PC) mais baixo do BD aumenta o consumo de combustível. Desta forma, sendo o PC do BD aproximadamente 13% menor que o do óleo diesel, a sua utilização acarretará num aumento do consumo de combustível proporcional ao teor de BD na mistura.

Os teores de enxofre no óleo diesel, S50 (50 ppm) e

S1800 (1800 ppm), refletem nos resultados das emissões, gerando comportamentos distintos quando no funcionamento do motor diesel com o diesel puro e com as misturas BX. Notadamente, o efeito do teor de enxofre é mais significativo nas emissões de CO, CO₂, NO e NO₂, mas, pouco significativo no NO_x. Isto sugere uma diferença na reatividade do enxofre frente ao carbono nas reações de combustão, que precisa ser melhor estudada.

Os resultados obtidos para as emissões oriundas do S50 e S1800 com as misturas com BD de soja mostram que a carga tem um grande efeito sobre as emissões. Quanto maior a carga, menores são as emissões de CO e maiores as de CO₂, o que indicam a melhor eficiência da combustão. Ao mesmo tempo, o teor do enxofre no óleo diesel parecer influenciar nas emissões de NO e NO₂, mas, não nas emissões totais de NO_x. Estas se apresentam maiores para cargas mais próximas as nominais e um pequeno acréscimo com o aumento do teor do biodiesel no óleo diesel. Para o S50, as emissões de NO foram baixas para cargas próximas as nominais, enquanto que para o NO₂ aconteceu o oposto. Para o S1800, as emissões de NO₂ foram altas para cargas próximas as nominais utilizando B0. Ao aumentar o teor de biodiesel na mistura, observou-se que as emissões caíram significativamente. As emissões totais de óxidos de nitrogênio variaram diretamente com o aumento do teor de BD. Maior o teor de BD implicaram numa maior emissão de NO_x. Em relação às emissões de SO₂, eles foram maiores quando o grupo gerador operou com cargas próximas à nominal, sendo menores em cargas parciais. Houve uma redução nas emissões de SO₂ com o uso de BD10. O aumento do teor de BD de soja nos óleos dieiseis acarretou numa diminuição das emissões de SO₂, comportamento que não foi observado para o BD de milho.

Desta forma, serão necessários mais experimentos utilizando não somente os biodieseis de soja e milho, como os oriundos de outras matérias-primas oleaginosas (canola, girassol etc.) e gorduras animais (sebo bovino, banha de porco e óleo de frango) misturados com os óleos dieiseis S50 e S1800.

Com as análises dos resultados obtidos, poder-se-á chegar a uma conclusão dos efeitos da composição dos biodieseis, do teor de enxofre, e dos percentuais de misturas entre o BD e óleos dieiseis nas emissões de CO, CO₂, NO_x e SO₂. Ao mesmo tempo, será necessário desenvolver um estudo mais aprofundado da cinética de combustão destes combustíveis, do mecanismo de formação dos poluentes primários e a forma de minimizá-los.

Portanto, ao término desta pesquisa, serão determinados os tipos de biodieseis, os teores de mistura ideais que devem ser misturados aos óleos dieiseis S50 e S1800, para minimizar as emissões de gases do efeito estufa e dos gases com potencial de formação de chuva ácida.

Com estes resultados, a TERMOPE e outras empresas do setor, que possuem grupos geradores de emergência (black-start) e UTE's com grupos geradores (ciclo Diesel) e utilizam óleo diesel como combustível, poderão minimizar as emissões de poluentes. Além disso, para os casos nos quais forem utilizadas misturas com biodiesel em percentual supe-

riores a 5%, poderão ser feitos estudos para comercialização dos créditos de carbono oriundos deste uso (X – 5%), através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Novas pesquisas poderão ser realizadas utilizando grupos geradores a diesel de maior porte (multicilindros) e/ou em turbinas a gás (ciclo Brayton) para investigar o efeito da adição de BD sobre as emissões de CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x e SO₂. Desta forma, poderá ser determinada a composição ideal do combustível para minimizar as emissões de gases do efeito estufa e causadores de chuva ácida.

V. AGRADECIMENTOS

Este projeto teve o apoio da SETTA COMBUSTÍVEIS que forneceu o óleo diesel S50 e S1800 – tipo A, que possibilitou a execução dos experimentos. Agradecimentos ao LCI – Laboratório de Cromatografia Industrial da UFPE, onde foram realizadas as análises cromatográficas dos biodieseis. Também agradecemos especialmente a toda a equipe do POLICOM que é composta de estagiários, bolsistas, mestrandos, professores e pesquisadores, que produziram e testaram os diversos biodieseis, realizaram os testes de emissões nos grupos geradores. Gostaríamos de agradecer também a Paulo Gama, Guilherme Cardim e a toda equipe de dirigentes da TERMOPE e NEOENERGIA pelo apoio dado a este projeto.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Resolução ANP 42 de 16.12.2009
- [2] Resolução ANP nº 4, de 2.2.2010 - DOU 3.2.2010 – retificada DOU 22.2.2010. Disponível: http://www.udop.com.br/download/legislacao/biodiesel/resolucoes/res_anp_4_biodiesel.pdf.
- [3] S. Peres, Thiago A. M. Campos, A. Schuler e C. Almeida, “Análise cromatográficas e calorimétricas de sete biodieseis de origem vegetal e do sebo de boi” nos Anais do III Congresso Brasileiro da RBTB, PP. 109-110, Set 2009.
- [4] Resolução CNPE de 16/9/2010. Disponível: www.mme.gov.br/mme/.../CNPE/resolucao_2009/Resoluxo_6_CNP E.pdf
- [5] G. Knothe, J. Gerpen, J. Krahl e L. P. Ramos, “Manual de Biodiesel”, 1st Ed., São Pauli, Ed. Edgard Blücher, 2006, pp. 182-190.
- [6] Relatório final do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – biodiesel como fonte alternativa de energia (Dez. 2003).
- [7] A. M. M. Azevedo, “Análise *top-down* e *bottom-up* de um programa de inovação tecnológica na área de energia: o programa nacional de produção e uso de biodiesel (PNPB), Tese de Doutorado, Depto de Pol. Cient. e Tec., UNICAMP, 2010”.
- [8] E.B. Andrade, A. Duarte Filho, R.S. Menezes, “Testes e ensaios para validação do uso da mistura biodiesel B5 em motores e veículos,” MCT, SETEC, Brasília: MCT, 2009, 176 p.
- [9] G. Guimarães da Silva, “Desenvolvimento de nova metodologia para determinação do índice de cetano para óleo diesel e biodiesel. TFC, Depto. Eng. Mec., Escola Politécnica, UPE, 2010”.
- [10] NBR 14759 *Índice de cetano calculado pela equação de quatro variáveis*. ABNT NBR Agosto de 2007. Rio de Janeiro- RJ
- [11] S. Peres, Thiago A. M. Campos, A. Schuler e C. Almeida, “Análise cromatográficas e calorimétricas de sete biodieseis de origem vegetal e do sebo de boi” nos Anais do III Congresso Brasileiro da RBTB, PP. 109-110, Set 2009.
- [12] M. Lapuerta, O. Armas, J.Rodríguez-Fernandez “Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions,” *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 34 pp. 198–223, 2008.