

X-019 – AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES PROVENIENTES DA QUEIMA DE BLENDA DE BUTANOL E ÓLEO DIESEL EM UM MOTOR CICLODIESEL

Bruno Alisson Fernandes⁽¹⁾

Acadêmico do quinto ano do curso de Engenharia Química da Universidade da Região de Joinville/Univille. Bolsista Voluntário PIBIC.

Iruana Maria Gruber⁽²⁾

Acadêmica do quarto ano do curso de Engenharia Química da Universidade da Região de Joinville/Univille. Bolsista Iniciação Científica PIBIC.

Jean Carlo Bona⁽³⁾

Acadêmico do quarto ano do curso de Engenharia Química da Universidade da Região de Joinville/Univille. Bolsista Iniciação Científica PIBIC.

Cleiton Vaz⁽⁴⁾

Professor do Departamento de Engenharia Química da Universidade da Região de Joinville/Univille. Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado de Santa Catarina.

Luciano André Deitos Koslowski⁽⁵⁾

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade do Estado de Santa Catarina. Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.

Endereço⁽⁵⁾: Rua Alfredo Ross, 105 – Costa e Silva - Joinville - SC - CEP: 89217340 - Brasil - Tel: (47) 9170.4427 e-mail: lucianoandre@yahoo.com

RESUMO

O óleo diesel destaca-se pela sua eficiência energética em comparação a outros combustíveis de origem fóssil, no entanto, a partir da sua queima são gerados diversos poluentes que afetam o meio ambiente. Estudos vêm sendo realizados avaliando a utilização de outros combustíveis em motores ciclo diesel no intuito de atenuar os impactos causados pela combustão do óleo diesel. Uma das alternativas propostas consiste na mistura com biocombustíveis, na qual o butanol demonstra promissora aplicação devida sua miscibilidade com o óleo diesel e o oxigênio presente em sua molécula. O presente estudo analisou os impactos decorrentes da utilização de blends de 10 e 15% de butanol junto ao óleo diesel, além de óleo diesel puro para fins de comparação, avaliando o consumo de combustível, a temperatura e as concentrações dos gases gerados através da combustão destas blends, além de comparar com as emissões oriundas da queima do óleo diesel puro. Neste contexto foi utilizado um motor diesel estacionário com rotação estabelecida em 3000 rpm. Foram avaliados a formação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) absorvidos em água deionizada, o pH e a turbidez provenientes da queima das misturas. Nos testes realizados comprovou-se o aumento das emissões de CO emitidas e diminuição das emissões de CO₂. Foi observado uma redução na emissão de NO_x, na formulação contendo butanol e óleo diesel bem como uma redução na concentração de HPAs absorvidos em água deionizada. Comprovou-se também o aumento do consumo de combustível quando utilizado as blends, além da diminuição das temperaturas dos gases de escape.

PALAVRAS-CHAVE: Diesel, butanol, emissões atmosféricas, HPA.

INTRODUÇÃO

No planeta, a maior parte da energia consumida é derivada dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), que são fontes de energia limitadas e não renováveis, levando ao aumento dos custos de exploração. Assim, a procura e o desenvolvimento por tipos de fontes alternativas de energia se tornam mais relevantes (Gauer, 2012).

O óleo diesel é o produto mais abundante obtido com o refino do petróleo e é considerado um grande contribuinte na emissão de material particulado e gases poluentes para a atmosfera. Sua estrutura básica possui hidrocarbonetos e em baixas concentrações: nitrogênio, oxigênio e enxofre. É empregado nos motores de ciclo

a diesel, ou motores de ignição por compressão, utilizados em caminhões, trens, navios, ônibus e veículos destinados à agricultura. (Lopes et al., 2014).

No caso de ocorrer um processo de equilíbrio termodinâmico ideal, a combustão completa do óleo diesel forma apenas CO₂ e H₂O. Porém, por diferentes razões, como o tempo de ignição, turbulências na câmara de combustão e relação ar-combustível, sua queima completa pode formar produtos indesejáveis, como hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SOX), óxidos de carbono (CO e CO₂), óxidos de nitrogênio (NOX), material particulado e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's).

Neste sentido, governos e companhias de todo o mundo passaram a desenvolver novos combustíveis com qualidade superior que possam atender a necessidade energética e minimizem os impactos gerados ao meio ambiente. No Brasil, desde 2011 apenas é permitido o consumo de óleo diesel S500 (teor máximo de enxofre de 500 ppm) e S10 (teor máximo de enxofre de 10 ppm), visando assim diminuir os impactos gerados pelo alto teor de enxofre contido no óleo diesel brasileiro e atender a mais nova geração de motores diesel, projetados para emitir menores teores de material particulado e NO_x (ANP, 2011; Petrobras, 2015).

Pesquisadores tem desenvolvido amplo estudo para o uso de biocombustíveis como óleos vegetais, gorduras animais, álcoois, éteres, biodiesel e combustíveis gasosos. O uso de álcoois, em especial do Butanol, mostra-se promissor por possuir características como menor higroscopia, maior energia calorífica, maior número de cetano, menor pressão de vapor, maior viscosidade e uma quase perfeita miscibilidade junto ao diesel (Rakopoulos, 2015).

Na produção de butanol ocorre a maior dificuldade para a sua utilização como um combustível alternativo, já que as pesquisas para potencializar a obtenção do mesmo ainda são escassas, diferentes de outros biocombustíveis como etanol e biodiesel. A produção é realizada pelo processo de fermentação de biomassa, no qual se obtém três produtos distintos, acetona-butanol-etanol, com uma razão volumétrica de produto entre 3:6:1. Apesar de uma quantidade maior de butanol ser produzida, existe um alto custo na energia necessária para separá-lo dos demais produtos, reduzindo seu valor econômico e restringindo sua utilização como um combustível alternativo (Ma et al., 2015).

Existem alguns estudos que revelam os efeitos benéficos da utilização de blendas de butanol junto ao óleo diesel envolvendo as emissões e a melhora no rendimento do motor (Giakoumis et al., 2013). Deste modo o presente artigo apresenta um estudo dos efeitos da utilização do butanol misturado ao óleo diesel em um motor ciclo diesel estacionário e avaliadas as emissões provenientes da queima das misturas, seus efeitos sobre o consumo de combustível a as concentrações de HPAs absorvidos em água deionizada, além de seu pH e turbidez.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema utilizado para avaliar efeitos de blendas de butanol nas emissões atmosféricas geradas é constituído por um motor ciclo diesel estacionário da marca Branco, modelo BD – 5.0, com 4,2 cv de potência e rotação máxima de 3600 rpm, uma coluna de absorção de leito fixo e um deionizador, além dos demais equipamentos para realizar a avaliação e controle do processo. Deve-se salientar que o tanque de combustível do motor foi substituído por uma bureta de 250 ml para medir a quantidade gasta de combustível durante os testes. Na Figura 1 pode ser observada a constituição básica do sistema utilizado.



Figura 1: Sistema utilizado para medição dos gases e coleta de amostras.

O sistema projetado permite que os gases formados durante a combustão passem primeiro por uma coluna de absorção antes de chegar à atmosfera. Para coletar amostras líquidas utilizou-se um deionizador que alimentava água deionizada em contracorrente aos gases de escape. A coluna de absorção utilizada é de leito fixo, fabricada em alumínio com 10 cm de diâmetro e 120 cm de altura. Seu interior foi preenchido com um recheio composto por 500 g de cerâmica, promovendo uma maior área de contato entre os gases de escape e a água deionizada alimentada em contracorrente. Para conectar o escape do motor à coluna de adsorção, foi utilizada uma mangueira flexível de borracha nitrílica. Entre esta mangueira e a saída do escape foi instalado ainda um termopar para medir a temperatura dos gases.

Para melhor avaliar as variáveis analisadas durante os testes e otimizar o tempo para obtenção de resultados, utilizou-se duas metodologias diferentes. A primeira objetivou-se em analisar a concentração dos gases da combustão, sua temperatura e o combustível gasto durante os testes; e a segunda em avaliar a concentração de HPA's, turbidez e pH nas amostras líquidas. Em ambas as metodologias foram utilizadas blends de 10 e 15 % de butanol e óleo diesel S10, além de S10 puro para fins de comparação. Também, em ambas, os testes foram realizados em triplicata e os resultados obtidos através da média aritmética dos valores analisados.

Na metodologia 1 os testes foram realizados em intervalos de trinta minutos, iniciando com o motor a frio e rotação ajustada e mantida em 3000 rpm. As medições das concentrações dos gases de escape foram feitas em intervalos de 5 minutos durante os 30 minutos, com o auxílio de uma sonda da marca MRU, modelo optima 7, especial para medições de gases da combustão. Para realizar a medição a sonda de gases foi posicionada no tubo de escape durante o intervalo de 1,5 minutos antes de serem anotados os valores, pois neste tempo ocorre a estabilização dos resultados mostrados no display do equipamento. Nesta metodologia de testes também foi medida a quantidade de combustível consumido a cada minuto pela variação do volume contido na bureta, e a temperatura de saída dos gases usando um termopar na saída do escape do motor.

Na metodologia 2, os testes foram realizados em intervalos de 10 minutos, sendo o motor pré-aquecido durante 30 minutos com óleo diesel S10 puro antes de iniciar os testes para alcançar o estado estacionário, visando evitar variações significativas em sua rotação devido às baixas temperaturas. Para a coleta das amostras líquidas acionou-se o deionizador após 9 minutos de operação do motor, com uma vazão de 30 L/h. Desta forma, a água deionizada era mantida em contracorrente aos gases de escape por 1 minuto antes do início da coleta de amostras, que foi realizada no minuto final de operação, no caso 10 minutos. A Figura 2 apresenta a descrição das metodologias propostas.

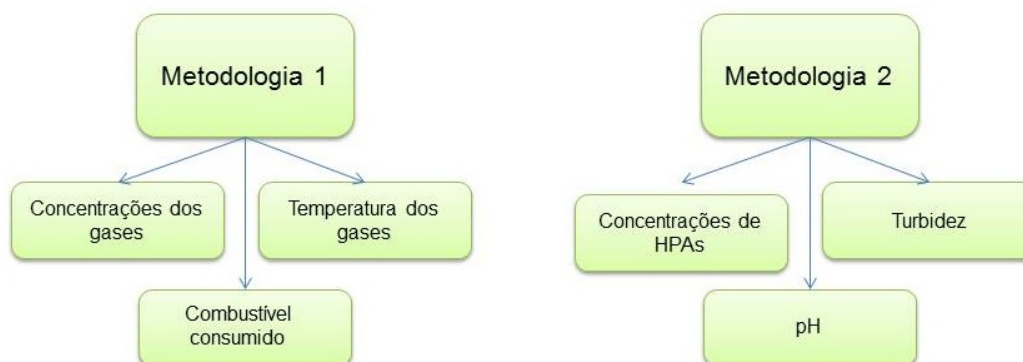


Figura 2: Variáveis medidas de acordo com a metodologia.

Após coletadas, as amostras líquidas foram imediatamente submetidas para as análises da concentração de HPAs, pH e turbidez. Para a determinação das concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) obtidas na água deionizada, foi utilizada uma sonda submersível de alta sensibilidade fabricada pela TriOS science, modelo enviroFlu-HC. Para análise do pH utilizou-se um pHmetro da marca Hanna, modelo HI 2214 e para análises de turbidez um turbidímetro, também da marca Hanna, modelo HI 93703.

RESULTADOS

TEMPERATURA DOS GASES DE ESCAPE E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Nas análises de temperatura dos gases de escape realizadas, pôde-se observar que até os 15 minutos de teste, as diferenças de temperatura entre os combustíveis permaneceram as mesmas, variando de 1 a 3°C, porém no final a diferença chegou a 6°C entre a blenda de 15% e o óleo diesel puro. Em relação ao combustível consumido, ficou evidente o maior consumo de combustível de acordo com o aumento do teor de butanol nas misturas utilizadas.

OXIGÊNIO

Ao longo dos testes a concentração de oxigênio emitida se manteve praticamente inalterada para os três combustíveis utilizados, demonstrando que a quantidade de oxigênio proveniente do ar consumido na combustão tanto do S10 puro, quanto das blends com butanol foram iguais. Exceto no início dos testes, onde se obteve uma pequena variação das concentrações, podendo ser associado às menores temperaturas na câmara de combustão. Os resultados obtidos conferem com os de Rakopoulos (2015) que demonstrou que a relação ar-combustível na queima das blends com butanol continua a mesma.

MONÓXIDO DE CARBONO

Em comparação com o CO, o CO₂ é resultante de uma combustão mais completa e sua formação é preferível, já que é absorvido pelas plantas e, assim como o CO, não causa danos à saúde humana. Em compensação o CO₂ é considerado o maior contribuinte para o aquecimento global (Prapeja; Mahla 2015).

A média de CO₂ emitida pela utilização de óleo diesel puro foi de 1,91%. Para as blends de 10% butanol foi de 1,69% e para as blends com 15% as concentrações foram na faixa de 1,48%. O desvio padrão para os resultados foi de 0,22%. Considerando em medidas de concentrações (ppm), obteve-se valores de CO para o S10 puro na faixa de 1174 ppm, 1558 ppm para as blends de 10% e 1658 ppm para as blends com 15% de butanol, sendo o desvio padrão dos resultados de 234 ppm. Deve-se considerar que os resultados são dados em % para o CO₂ devido o maior volume deste gás ser lançado na atmosfera se comparado com as concentrações de CO, que são dadas em ppm. Os resultados podem ser observados na Figura 3.

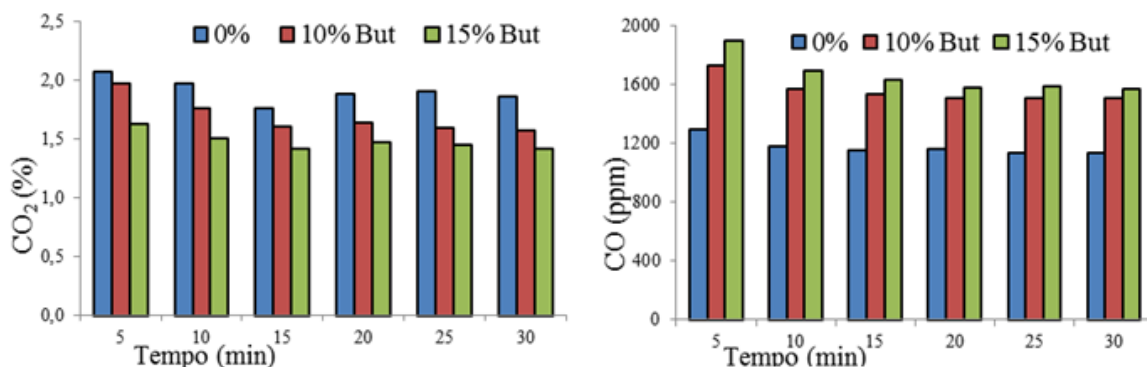


Figura 3: Concentrações de CO₂ e CO emitidas conforme composição de combustíveis.

Os resultados obtidos são similares aos de Tutak et al. (2015), em que o oxigênio presente na molécula de butanol não auxiliou em uma combustão mais completa do combustível, pelo contrário, aumentou as concentrações de CO e diminuiu as concentrações de CO₂ emitidas pela utilização das blends de butanol. Além disso, é visível que logo no início dos testes houve maiores níveis de concentrações tanto para o CO quanto para o CO₂ para todos os combustíveis utilizados. Por seguinte, houve praticamente a estabilização das concentrações de CO e CO₂ emitidas para todos os combustíveis, não havendo uma diferença significativa. Em contrapartida os resultados divergem dos apresentados por Papreja e Mahla (2015) onde há a diminuição das concentrações de CO e aumento do CO₂ emitido para a atmosfera quando utilizadas as blends de butanol e óleo diesel.

ÓXIDOS DE NITROGÊNIO

Os óxidos de nitrogênio e o material particulado provenientes da combustão do motor ciclo diesel são os poluentes mais críticos provenientes presentes na composição de emissão. Os óxidos de nitrogênio consistem em sua maioria de óxido nítrico (NO), e dióxido de nitrogênio (NO₂) que somados formam os óxidos de nitrogênio (NO_x), especialmente conhecidos pelo seu caráter prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente (Giakoumis et al., 2013).

A diferença entre as concentrações se mostraram consideráveis, com um teor máximo de 23 ppm quando utilizadas as blends com 15% de butanol, 38 ppm para as blends com 10% de butanol 65 ppm para o óleo diesel S10 puro, sendo o desvio padrão obtido de 21,25 ppm. Pode-se correlacionar ao fato de não haver nitrogênio presente na molécula de butanol, diminuindo a concentração deste durante a combustão e por consequência a diminuição nas taxas de óxidos de nitrogênio lançados para a atmosfera. Já, em relação à formação de NO₂ durante os testes, não houve interferências significativas nos resultados entre os combustíveis utilizados, apenas uma ligeira queda com uma faixa de 75 ppm para ambas as blends e 80 ppm para o óleo diesel S10 puro, tendo um desvio padrão de 2,38 ppm. Como descrito anteriormente, os óxidos de nitrogênio são a soma das concentrações de NO e NO₂. Dos resultados obtidos, principalmente em relação às concentrações de NO sob a utilização das blends de butanol, fica evidente uma queda na concentração do NO_x total, no qual as blends com 15% apresentaram valores próximos a 100 ppm, as com 10% valores aproximados a 115 ppm e um valor superior de 147 ppm para o óleo diesel puro, sendo o desvio padrão de 23,68 ppm. Lujaji (2013), que estudou especificamente a formação de NO_x em um motor ciclo diesel utilizando butanol e óleo diesel misturado ao combustível, obteve resultados similares, tanto na obtenção de menores temperaturas dos gases de escape, quanto na menor formação de NO_x.

DIÓXIDO DE ENXOFRE

Os dióxidos de enxofre são conhecidos pelo seu caráter tóxico ao ser humano, que em função do alto teor de enxofre presente no combustível brasileiro, implica em grandes gastos do governo com o sistema de saúde pública. Com base nos testes o óleo diesel gerou uma concentração próxima a 54 ppm durante todo o período de testes. Já com a utilização das blends, os valores ficaram bem próximos, sendo uma média de 49 ppm para as blends de 10% e 47 ppm para as blends de 15%, tendo um desvio padrão entre os valores de 3,50 ppm, demonstrando não haver uma interferência significativa pelo conteúdo extra de butanol presente no meio.

CONCENTRAÇÃO DE HPA's

Os HPA's são conhecidos por seu potencial cancerígeno e por suas propriedades mutagênicas no organismo humano (Souza, 2015), e podem ser ingeridos pelo organismo via inalação direta junto ao ar ou consumidos junto a alimentos. Sua formação acontece principalmente com a queima de combustíveis fósseis, como o óleo diesel. Os valores obtidos durante os testes para o óleo diesel puro se mostraram os maiores, tendo uma média de 77 $\mu\text{g/L}$, 67,7 $\mu\text{g/L}$ para as blendas de 10% e 68,6 $\mu\text{g/L}$ para as blendas de 15% de butanol, com um desvio padrão de 5,2 $\mu\text{g/L}$. Com as análises realizadas para medir a concentração de HPA's na água deionizada fica evidente que a utilização de blendas diminui as concentrações de HPA's na água, porém o aumento do volume de butanol não surtiu maiores efeitos.

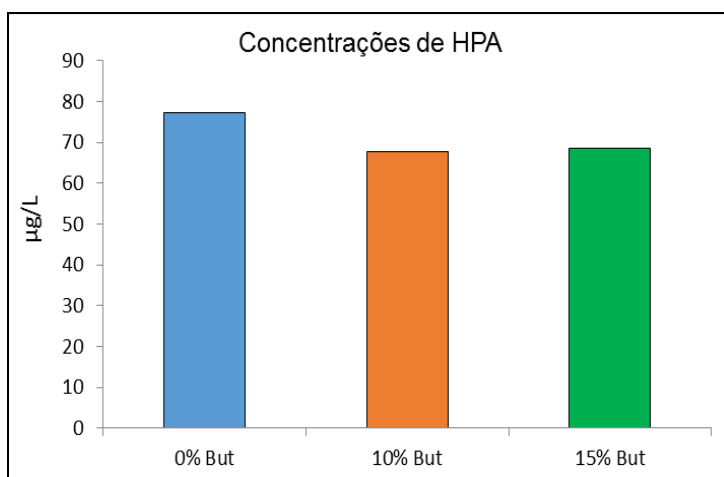


Figura 4: Concentrações de HPAs de acordo com as blendas utilizadas.

TURBIDEZ e pH

A partir dos testes realizados percebe-se, em relação à turbidez, que não existe um comportamento definido em relação à utilização de butanol junto ao óleo diesel, já que as blendas com 10% de butanol apresentam valores ligeiramente menores em relação ao óleo diesel puro, enquanto que na utilização das blendas com 15% os valores tiveram um aumento.

Predominantemente, a utilização do butanol junto ao diesel resulta na diminuição da concentração de fuligem emitida, resultando em uma fumaça mais clara, o que foi averiguado durante os testes. No entanto, os resultados para turbidez não seguiram o mesmo padrão de clareamento. Os resultados podem ter sido obtidos por uma série de variáveis durante os testes, como por exemplo, a predileção da fuligem resultante da combustão ser ou não capturada pela água deionizada. Deve-se considerar que não houve uma significativa alteração dos resultados de pH obtidos pelo uso das blendas de butanol em comparação ao óleo diesel puro, com valores próximos a 3,3 para todas as amostras, a não ser uma ligeira queda para as blendas de 15%.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que quando utilizado o butanol junto ao óleo diesel há interferência em diversos parâmetros da combustão. Quanto maior a concentração de butanol nas blendas, maiores foram as concentrações de CO e menores de CO₂ emitidos. Para as emissões de NOX os resultados foram promissores, havendo uma redução nas concentrações emitidas. Em relação ao SO₂ emitido não houve diferença significativa nas emissões quando utilizado o butanol nos motores ciclo diesel.

No que tange às concentrações de HPA's, os valores se mostraram com concentrações emitidas menores para as blendas com butanol, não havendo uma interferência significativa conforme o aumento da concentração do aditivo. Quanto aos valores de turbidez e pH a utilização das blendas não implicou em diferenças consideráveis, podendo-se considerar que não houve a interferência significativa do butanol em relação a estas variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANP, resolução nº 65, de 09 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%2065%20-%202011.xml>. Acesso em: 08 de setembro de 2015.
2. DRUMM, Fernanda Caroline et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. Universidade Federal de Santa Maria. Reget, [s.l.], v. 18, n. 1, p.66-78, 2015.
3. GAUER, M. A. Avaliação do desempenho e das emissões gasosas decorrentes do uso de biodiesel de soja e de sebo bovino em diferentes misturas com o diesel em um motor gerador. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2012.
4. GIAKOUMIS, Evangelos G. et al. Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [s.l.], v. 17, p.170-190, jan. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.017.
5. LOPES, M. et al. Emissions characterization from EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the new European driving cycle. Atmospheric Environment, [s.l.], v. 84, p.339-348, fev. 2014. Elsevier BV.
6. LUJAJI, Frank. Experimental investigation of NOX emission on croton oil 1-butanol diesel in compression ignition (CI) engine. J. Mech. Eng. Res., [s.l.], v. 5, n. 6, p.104-111, 6 set. 2013. Academic Journals.
7. MA, Xiaokang et al. Evaporation characteristics of acetone-butanol-ethanol and diesel blends droplets at high ambient temperatures. Fuel, [s.l.], v. 160, p.43-49, nov. 2015. Elsevier BV.
8. PAPREJA, Atam Parkash; MAHLA, S K. Study and comparison of emission characteristics of nbutanol / diesel blend in CI engine. Ijret: International Journal Of Research In Engineering And Technology. Bangalore, p. 469-471. jun. 2015.
9. RAKOPOULOS, Dimitrios C.; GIAKOUMIS, Evangelos G.. Impact of properties of vegetable oil, bio-diesel, ethanol and n-butanol on the combustion and emissions of turbocharged HDDI diesel engine. Fuel, [s.l.], v. 156, p.1-19, set. 2015. Elsevier BV.
10. TUTAK, Wojciech et al. Alcohol-diesel fuel combustion in the compression ignition engine. Fuel, [s.l.], v. 154, p.196-206, ago. 2015. Elsevier BV.
11. SOUZA, Carolina Vieira de; CORRÊA, Sergio Machado. Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions in diesel exhaust using gas chromatography-mass spectrometry with programmed temperature vaporization and large volume injection. Atmospheric Environment, [s.l.], v. 103, p.222-230, fev. 2015. Elsevier BV.