

**VI-081 – AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE BTEX, CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> PROVENIENTES DA COMBUSTÃO, EM MOTOR MONOCILÍNDRICO, DE DIESEL, BIODIESEL DE ÓLEO DE FRITURA E SUAS MISTURAS.**

**Magnun Maciel Vieira<sup>(1)</sup>**

Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental Pela UFSC. Pesquisador do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC.

**Waldir Nagel Schirmer<sup>(2)</sup>**

Graduado em Engenharia Química Pela UFSC. Mestre e Doutor em Engenharia Ambiental Pela UFSC. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO.

**Marina Eller Quadros Lacey<sup>(1)</sup>**

Eng<sup>a</sup> Sanitarista e Ambiental graduada pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003/2). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/ENS/UFSC.

**Gilson Rodrigo de Miranda<sup>(1)</sup>**

Graduado em Química e Química Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Eng<sup>a</sup> Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Pesquisador do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/ENS/UFSC).

**Henrique de Melo Lisboa<sup>(1)</sup>**

Prof. do ENS/UFSC; Eng. Civil pela UFSC (1980); Especialização em Hidrologia pela Escola de Hidrologia e Recursos Hidráulicos - Madrid (1981); Mestre em Meteorologia - USP (1986); DEA em Química da Poluição Atmosférica e Física do Meio-ambiente pela Université Paris VII (1993); Doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès (França, 1996).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Santa Catarina. Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário / Trindade, Florianópolis, SC. CEP: 88040-970 Brasil. Fone (48) 331-9597 R.206 Fax: (048) 234-6459. e-mail: gmiranda@ens.ufsc.br

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Universidade Estadual do Centro-Oeste. Departamento de Engenharia Ambiental, Presidente Zacarias, 875. Cx.Postal 3010. Tel (042) 3621-1000. Fax (042)3621-1090. CEP 85015-430 Guarapuava - PR

## RESUMO

O trabalho tem por finalidade a determinação da concentração dos gases orgânicos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), e inorgânicos, CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>, provenientes da combustão de mistura de diesel e biodiesel de resíduos de óleo de fritura. Para tanto, utilizou-se um motor agrícola monocilíndrico, ciclo diesel, quatro tempo e 9 cavalos vapor (cv) de potência máxima à 2000 rpm (marca Tobata, modelo TR 9). A alimentação do motor foi realizada com diferentes misturas de diesel e biodiesel (B0, B2, B5, B10, B50 e B100). As coletas foram realizadas diretamente do sistema de exaustão, sem filtro catalisador, do motor. Para os gases inorgânicos dois analisadores de gases de combustão foram empregados. O intervalo total de análise para cada mistura foi de 15 minutos, sendo cada leitura realizada em intervalos de 3 minutos. Os resultados preliminares demonstram uma diminuição na concentração de CO e SO<sub>2</sub> e aumento de NO e NO<sub>x</sub> devido a adição de biodiesel ao diesel.

Para as análises de compostos orgânicos (BTEX) os efluentes gasosos da exaustão foram coletados em sacos Tedlar (material inerte), utilizando-se bombas diafragma (vácuo/pressão), com posterior extração no laboratório dos compostos em tubos adsorventes. As análises foram realizadas utilizando-se um cromatógrafo gasoso (GC), Auto System XL, acoplado à espectrometria de massas (MS), TurboMass, e equipado com dessorção térmica automática (ATD), TurboMatrix, todos da Perkin Elmer (PE). Para aumentar a eficiência da separação dos compostos na coluna cromatográfica, foram utilizadas duas colunas cromatográficas agrupadas em série. Os resultados demonstram uma diminuição na concentração dos BTEX com adição de biodiesel ao diesel.

**PALAVRAS-CHAVE:** Combustão de diesel e biodiesel, SO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>x</sub> e BTEX.

## **INTRODUÇÃO**

A poluição atmosférica tem emergido como um dos maiores problemas globais. Na última década, o desenvolvimento de novos motores, o uso de diferentes formas de tratamento dos gases nas exaustões e o aumento na qualidade dos combustíveis, têm gerado uma significativa redução de poluentes (regulamentados ou não). No entanto, o número de veículos circulando vem crescendo tanto que, em grandes áreas urbanas, os valores limites de vários poluentes são freqüentemente excedidos (TURRIO-BALDASSARI et al, 2006).

Estas emissões regionais estão diretamente relacionadas às alterações climáticas globais. O penúltimo relatório do IPCC<sup>1</sup> (2001, p.06) evidência claramente as alterações na quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera, causada por emissões antropogênicas, após a revolução industrial. A concentração atmosférica do CO<sub>2</sub>, por exemplo, segundo este mesmo relatório, aumentou cerca de 31% desde 1750. Três quartos da emissão antropogênica de CO<sub>2</sub> no século XX, é devida à queima de combustíveis fósseis. O restante das emissões de CO<sub>2</sub> (um quarto, portanto) está ligado principalmente ao desflorestamento. A atual taxa de crescimento de emissão deste composto não ocorreu nos últimos 20.000 anos, o que sugere uma alteração atmosférica com efeitos desconhecidos sobre o clima global (IPCC, 2001, p.07, 2007).

No Brasil, a natureza da poluição da atmosfera urbana pode ser considerada predominantemente veicular, embora até recentemente se acreditasse que a indústria era a grande “vilã”. Somente depois da década de 80 varias pesquisas indicaram que a emissão veicular era a mais importante fonte de poluição nas grandes cidades (CORREA;ARBILLA, 2006, tradução nossa; TURRIO-BALDASSARI, 2006).

Dois fatores afetam a emissão veicular: a melhoria nas tecnologias relacionadas aos motores, como qualidade do combustível, e o uso de catalisadores para reduzir as emissões; por outro lado, o aumento no número de automóveis e conseqüentemente engarrafamentos, tem o efeito oposto (CORREA;ARBILLA, 2006, tradução nossa; TURRIO-BALDASSARI, 2006).

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de novos motores, as melhorias nos sistemas de tratamento da descarga e o aumento na qualidade dos combustíveis tem gerado uma significativa redução na emissão de poluentes regulamentados (inorgânicos) e os não regulamentados (orgânicos) (TURRIO-BALDASSARI, 2006).

No entanto, a poluição veicular tem várias fontes, como as emissões do cano de escape, do tanque de combustível durante a operação de abastecimento, óleo do Carter, pneus e freios. Existem também a resuspensão de material particulado devido ao tráfego, especialmente em estradas não pavimentadas (CORREA;ARBILLA, 2006, tradução nossa).

Em 2004, a contribuição dos veículos para a poluição atmosférica foi estimada em 77 %, 98 % e 95 % para o Rio de Janeiro (FEEMA, 2004 apud CORREA;ARBILLA, 2006), São Paulo (CETESB, 2004 apud CORREA;ARBILLA, 2006) e Porto Alegre (MELCHORS et al., 1997 apud CORREA;ARBILLA, 2006), respectivamente. Um detalhado estudo realizado por Faiz, Gautam e Burki (1995) indicou que os automóveis são a principal fonte de poluição em cidades da América Latina, como a Cidade do México, Santiago e Caracas.

Os motores dos veículos emitem os principais poluentes quando o combustível injetado não recebe a quantidade necessária de ar para que aconteça a combustão completa. Os principais poluentes primários são: óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio, álcoois, aldeídos, cetonas, compostos sulfurados e hidrocarbonetos. Estes poluentes reagem entre eles ou com a radiação solar para produzirem os chamados poluentes secundários: ozônio, PAN<sup>2</sup>, entre outros. Os poluentes secundários podem ser mais prejudiciais para o meio ambiente que os primários (CORREA;ARBILLA, 2006, tradução nossa).

A emissão de cada tipo de poluente depende do veículo e do tipo de combustível, tecnologia do motor e suas modificações, manutenção e o tipo de percurso. Se o motor não é periodicamente ajustado, as emissões aumentam assim como o consumo de combustível (CORREA;ARBILLA, 2006).

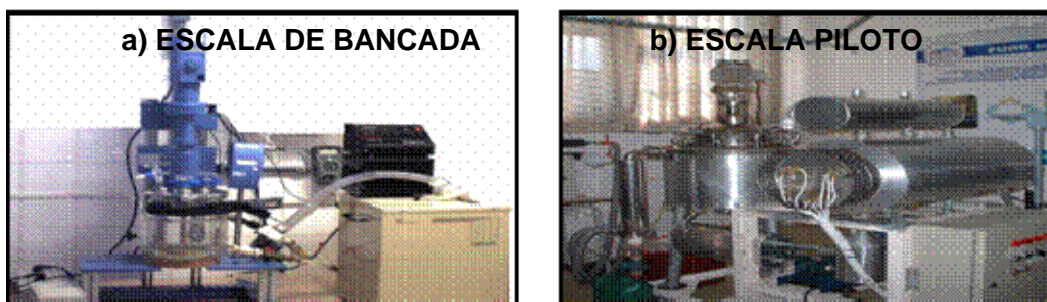
<sup>1</sup> Do inglês “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC).

<sup>2</sup> Do inglês “Peroxy Acetyl Nitrate”

Mesmo que os veículos que utilizam diesel como combustível representem somente 5,93% da frota brasileira, aproximadamente 2,5 milhões de caminhões e ônibus (DENATRAN, 2006, apud CORREA;ARBILLA, 2006), suas emissões são maiores que as dos veículos menores. Além disso, a distância de viagem desses tipos de veículos é muito elevada, como pode ser comprovado pelo consumo de 44% do combustível do brasileiro, totalizando 39 milhões de metros cúbicos (ANP, 2006 apud CORREA;ARBILLA, 2006).

## MATERIAIS E MÉTODOS

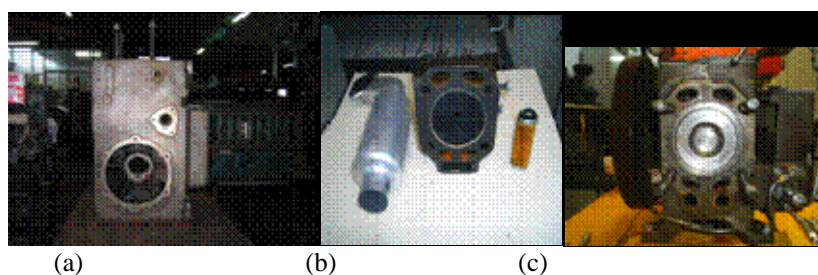
A se Na catálise homogênea utilizou-se álcool etílico anidro 99,5%, catalisador hidróxido de sódio a 1,0 % e resíduo gorduroso. A reação ocorreu em um reator batelada IKA LR-2 ST, com capacidade de 2 Litros, na escala de bancada e em um reator batelada multi-propósito, com capacidade de 20 Litros, para escala piloto, conforme Figura 1. A relação resíduo gorduroso para óleo é 1: 6 molar, com um tempo de reação de uma hora (1:00 h). Após este tempo, fez-se destilação do excesso de álcool, lavagem e secagem do biodiesel.



**Figura 1. Unidades Experimentais: a)Bancada ; b)Piloto.**

## Condições do motor

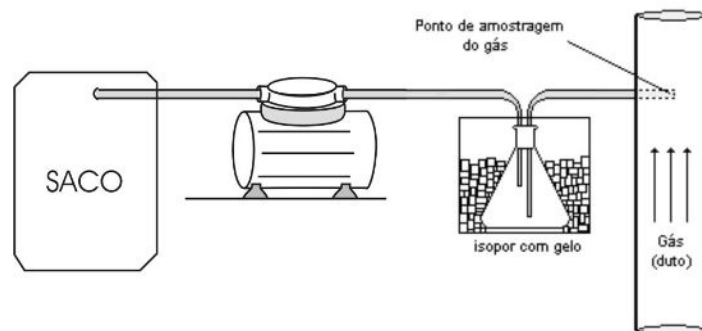
Os experimentos de combustão foram realizados no Laboratório de Combustão e Sistemas Térmicos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Antes do motor ser utilizado nas coletas, foram realizados reparos no mesmo (como retífica do cabeçote, troca e brunimento do cilindro e troca do pistão) com o intuito de garantir seu perfeito funcionamento durante os ensaios. Além disso, antes de abastecer o motor com qualquer mistura de combustível, a câmara de combustão e as demais partes que continham algum tipo de resíduo de ensaios anteriores foram limpas. A Figura 2 mostra fotos realizadas no processo de retífica e limpeza das partes do motor antes que os ensaios fossem realizados.



**Figura 2. Reparos e limpeza realizados antes e entre os ensaios: (a) Motor na retífica, (b) Peças antes dos ensaios e (c) câmara de combustão limpa.**

## Coleta dos gases na exaustão do motor

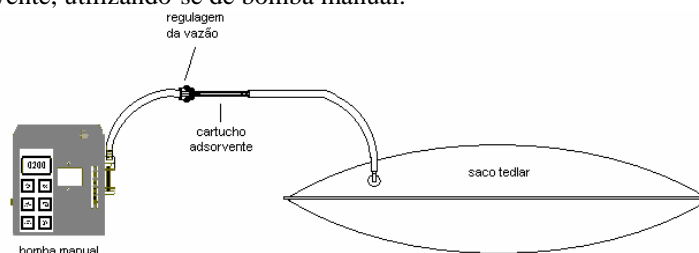
As amostras foram coletadas em sacos Tedlar (material inerte), específicos para coletas desta natureza. Neste caso, a amostra passa por uma bomba diafragma pressão/vácuo, que possui interior revestido de inox, para não absorver odores (Figura 3). Para amostragem de pontos com concentração odorante muito diferente, porém, a bomba deve ser limpa entre uma amostragem e outra. Antes de atingir o saco, porém, o gás passa por um sistema de resfriamento para condensação dos vapores de água contidos na corrente gasosa da descarga do motor.



**Figura 3. Esquema da coleta de gases no cano de exaustão do motor**

#### **Amostragem de laboratório para análises físico-químicas**

Conforme apresentado na Figura 4, a partir dos sacos foi feita a extração dos gases amostrados em campo sobre o suporte adsorvente, utilizando-se de bomba manual.

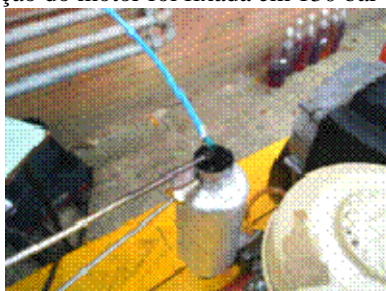


**Figura 4. Esquema de amostragem do gás do saco sobre o adsorvente**

Os procedimentos da amostragem de laboratório seguiram a metodologia TO-17 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1997), que se baseia na amostragem ativa dos gases através da passagem do ar contaminado por tubos (cartuchos) preenchidos com material adsorvente. O material adsorvente selecionado, no caso, para amostragem específica de compostos orgânicos voláteis (COV), foi o Carbotrap<sup>TM</sup>, constituído de carvão ativado. A quantidade de carvão em cada cartucho é de 400 mg. Os volumes amostrados foram de 300 mL para todas as misturas de combustíveis.

#### **Parâmetros para análises das emissões inorgânicas**

Durante a coleta dos gases de exaustão, dois analisadores foram colocados transversalmente ao fluxo de gases do escapamento, conforme recomendação dos fabricantes dos equipamentos. A Figura 5 mostra uma foto do esquema de coleta. A pressão de injeção do motor foi fixada em 130 bar e as rotações em 1000 rpm.



**Figura 5. Esquema da coleta de gases no cano de exaustão do motor**

Foram avaliadas as emissões de CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> provenientes de seis misturas de combustível.

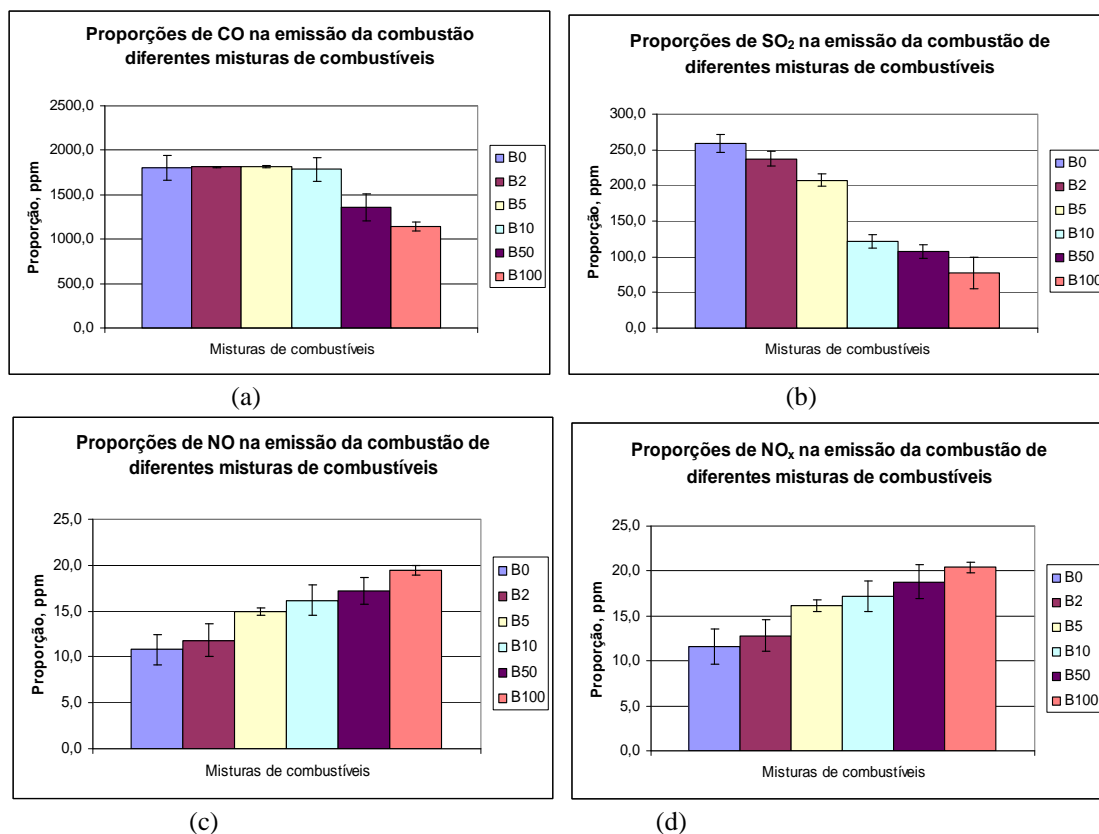
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os compostos inorgânicos determinados na exaustão da combustão de diferentes combustíveis (B0, B2, B5, B10, B50 e B100) foram CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. A Tabela 1 relaciona os valores de proporção, para estes compostos, encontrados na emissão da exaustão do motor.

**Tabela 1. Média (n=5)<sup>3</sup> e desvio padrão (95% de confiança) das análises de CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> exauridos da combustão de misturas de diesel e biodiesel**

Combustível	Emissão, ppm			
	CO	NO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
<b>B0</b>	1800,4 ± 140,4	10,8 ± 1,6	11,6 ± 1,9	259,0 ± 12,6
<b>B2</b>	1809,4 ± 101,7	11,8 ± 1,8	12,8 ± 1,8	237,4 ± 10,7
<b>B5</b>	1814,2 ± 110,1	14,9 ± 0,4	16,1 ± 0,6	207,0 ± 8,7
<b>B10</b>	1783,2 ± 130,8	16,2 ± 1,6	17,2 ± 1,6	122,0 ± 9,2
<b>B50</b>	1361,9 ± 152,1	17,2 ± 1,5	18,8 ± 1,9	106,8 ± 9,4
<b>B100</b>	1141,3 ± 54,9	19,4 ± 0,5	20,4 ± 0,5	77,6 ± 22,0

A Figura 6 mostra, de forma esquemática, os resultados das proporções de CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> na combustão de diferentes combustíveis.



**Figura 6. Média (n=5) e desvio padrão (95% de confiança) das análises de (a) CO, (b) SO<sub>2</sub>, (c) NO e (d) NO<sub>x</sub> exauridos da combustão de misturas de diesel e biodiesel.**

### Monóxido de carbono (CO)

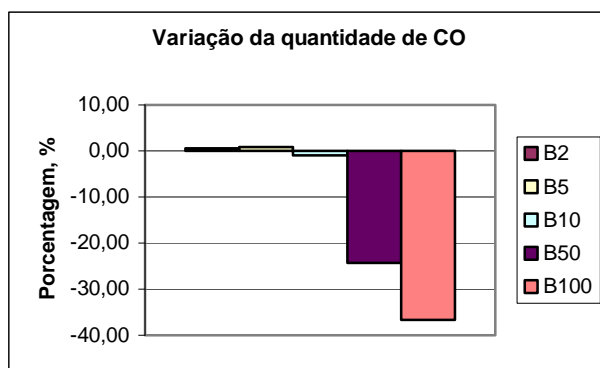
Os resultados da quantificação de monóxido de carbono (CO) mostraram-se em concordância com trabalhos da literatura, como o de Usta et al (2005, p.751) e Tashtoush, Al-Widyan e Ai-Shyoukh (2003, p.290), que realizaram testes em bancada dinamométrica com condições similares às empregadas neste trabalho. Em

<sup>3</sup> n = número de replicatas



rotações próximas a 1000 rpm e alimentação de oxigênio próxima àquela empregada nos testes deste trabalho (18 %), a faixa de proporção de CO na exaustão encontrada por estes autores é similar àquela aqui encontrada.

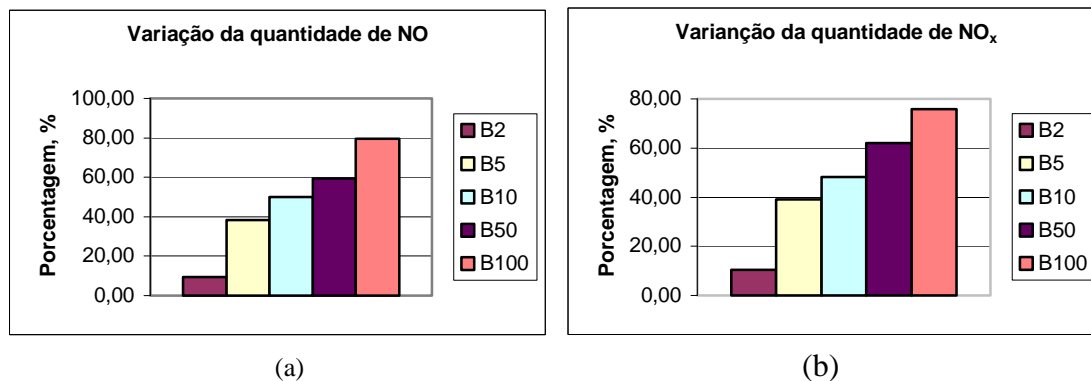
Um comportamento similar ao observado em diversos estudos (USTA et al, 2005; TASHTOUSH, AL-WIDYAN E AL-SHYOUKH, 2003; DOURADO et al, 2003; TURRIO-BALDASSARI et al, 2004; CANAKCI, 2007) foi encontrado para o CO neste trabalho. Sua proporção na emissão reduziu em cerca de 35 %, em relação ao diesel, quando se alimentou o motor com biodiesel puro (B100). A Figura 7 mostra um comparativo das emissões de CO na combustão de B2, B5, B10, B50 e B100 em relação as encontradas para o diesel (B0). Percebe-se que variações significativas na proporção de CO foram encontradas para misturas contendo maior quantidade de biodiesel (B50 e B100).



**Figura 7. Variação da quantidade de CO, em relação ao B0, exaurida da combustão de misturas de diesel e biodiesel.**

### Monóxido e óxido de nitrogênio (NO e NO<sub>x</sub>)

Os resultados de NO e NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) estão em concordância com o estudo de Dourado et al (2003, p.1314), que utilizou biodiesel de óleo de fritura. Houve um aumento de aproximadamente 80 % na emissão de NO e 75 % na emissão de NO<sub>x</sub>.



**Figura 8. Variação da quantidade de (a) NO e (b) NO<sub>x</sub>, em relação ao B0, exaurida da combustão de misturas de diesel e biodiesel.**

Duas interpretações divergem quanto a explicação do comportamento das emissões de NO<sub>x</sub> (USTA et al, 2005, p.742). Alguns trabalhos, como Lin e Huang (2003 apud USTA et al, 2005, p.742), relatam a redução na emissão de NO<sub>x</sub> para motores alimentados com biodiesel. Aumento de oxigênio na mistura encurta o tempo de ignição. Desta forma, reduz a quantidade de combustível premisturado e a temperatura máxima de combustão. Reduzir a temperatura máxima de combustão, significa a redução na emissão de NO<sub>x</sub>. No entanto, a maioria dos estudos, como o de Gonzalez et al (2000) e Agarwal et al (2001 apud USTA et al, 2005, p.742), defende que maior temperatura de combustão do biodiesel causa um aumento na emissão de NO<sub>x</sub>. Maior temperatura de exaustão dos gases provenientes da combustão do biodiesel indicam maior concentração de NO<sub>x</sub>.

Estudos mais recentes, como o de Canakci (2007, p.1172), defendem que a maior quantidade de oxigênio no biodiesel pode propiciar um aumento deste elemento na câmara de combustão e com isso facilitar a formação de  $\text{NO}_x$ . No entanto, sua formação está associada a outros fatores, como a concentração de oxigênio e a temperatura de combustão.

### Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )

Os resultados demonstraram uma significativa diminuição (70%) na emissão de  $\text{SO}_2$  (Figura 9). Estes resultados mostram concordância com diversos trabalhos na literatura e pode ser justificado pela pequena quantidade de enxofre presente no biodiesel comparativamente ao diesel (TASHTOUSH;AL-WIDYAN;AL-SHYOUKH,2003; DOURADO et al, 2003). A redução da emissão de  $\text{SO}_2$  reduz o risco de chuva ácida. Consequentemente, a redução de potenciais chuvas ácidas é um motivador mundial ao aumento da quantidade de biodiesel adicionado ao diesel.

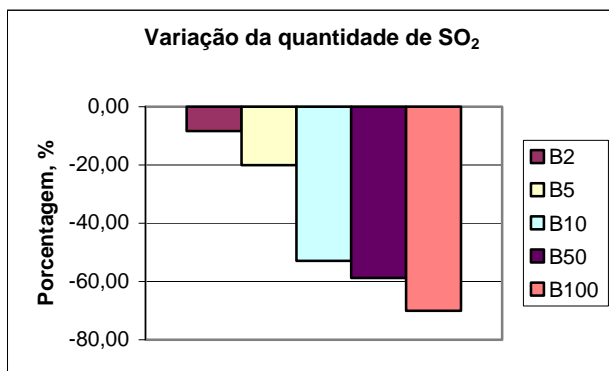


Figura 9. Variação da quantidade de  $\text{SO}_2$ , em relação ao BO, exaurida da combustão de misturas de diesel e biodiesel.

Os monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, apresentaram relativa diminuição com a adição do biodiesel ao diesel. A Figura 11 mostra os resultados obtidos, usando diferentes adsorventes, para a determinação da proporção de benzeno na exaustão de diferentes misturas combustíveis. Para o Carbotrap<sup>TM</sup> e mistura de adsorventes os valores de proporção estão muito próximos. Já para o Tenax TA<sup>TM</sup> os valores foram discrepantes dos outros adsorventes. Desta forma, percebe-se que os resultados foram similares para dois dos materiais adsorventes, em todas as misturas. Considerando-se, no entanto, o grande desvio padrão para as determinações empregando-se somente o Tenax TA<sup>TM</sup>, percebe-se que a faixa de resultados está dentro daquela dos outros adsorventes.

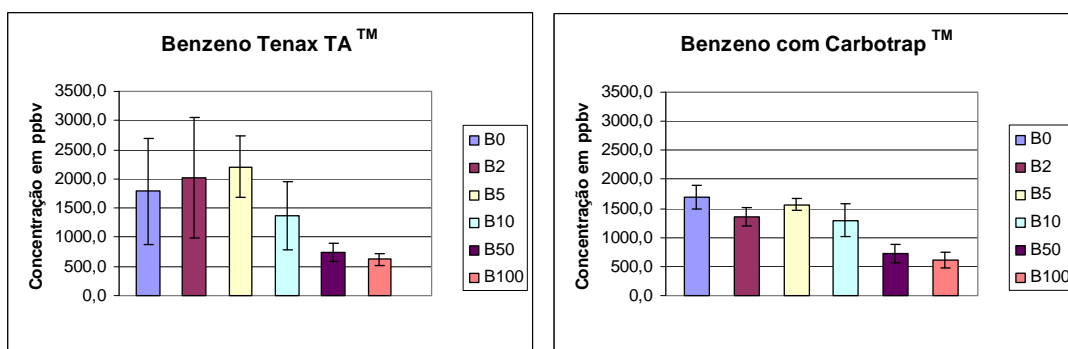
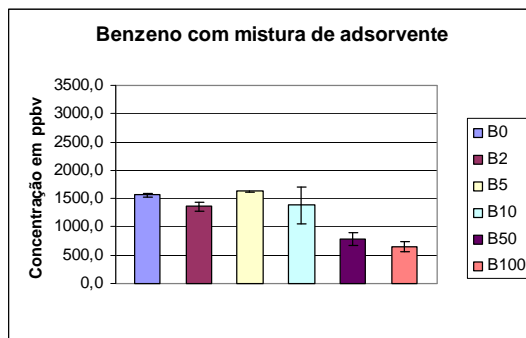


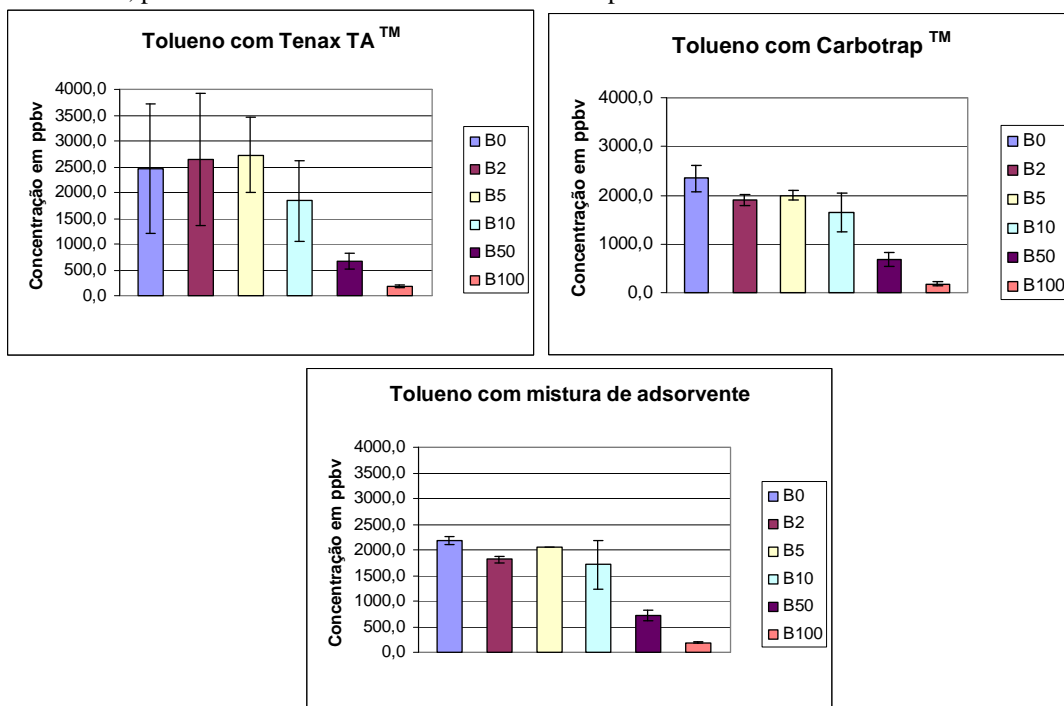
Figura 10<sup>A</sup>. Resultados de quantificação do Benzeno com três tipos de adsorventes, Carbotrap<sup>TM</sup>, Tenax TA<sup>TM</sup> e mistura de Cartotrap<sup>TM</sup> e Tenax TA<sup>TM</sup> em série.



**Figura 11<sup>B</sup>. Resultados de quantificação do Benzeno com três tipos de adsorventes, Carbotrap<sup>TM</sup>, Tenax TA<sup>TM</sup> e mistura de Cartotrap<sup>TM</sup> e Tenax TA<sup>TM</sup> em série.**

A Figura 12 relaciona os resultados obtidos para a quantificação do tolueno. Um comportamento similar ao benzeno foi encontrado para o tolueno no que se refere aos adsorventes. A concentração do tolueno é maior que a do benzeno, como foi verificado também por Corrêa e Arbilla (2006, p.6825).

A razão entre os monoaromáticos (MAH)<sup>4</sup> é geralmente utilizada para caracterizar a fonte de emissão do diesel.(CORRÊA E ARBILLA , 2006).. As razões de benzeno/tolueno, benzeno/etilbenzeno e benzeno/xilenos encontradas por Turrio-Baldassarri et al (2004) foram, respectivamente, de 0,30, 2,47 e 0,45. No presente trabalho as mesmas razões para as coletas em Tenax TA<sup>TM</sup> foram 0,72, 2,29 e 0,48. Para o material adsorvente Carbotrap<sup>TM</sup> essas razões foram de 0,72, 2,33 e 0,50. Já para as coletas onde se empregou a mistura de adsorventes, as razões foram 0,72, 2,35 e 0,51. Com exceção à razão benzeno/tolueno, todas as demais razões, para os três materiais adsorventes estão em pleno acordo com os valores relatados na literatura.



**Figura 12. Resultados de quantificação do Tolueno com três tipos de adsorventes, Carbotrap<sup>TM</sup>, Tenax TA<sup>TM</sup> e mistura de Cartotrap<sup>TM</sup> e Tenax TA<sup>TM</sup> em série.**

A Figura 13 relaciona os resultados obtidos para a quantificação do etilbenzeno na emissão das diferentes misturas de combustível. Este composto apresentou a menor quantificação entre os compostos quantificados. O mesmo comportamento foi encontrado por Corrêa e Arbilla (2006). A razão entre benzeno/etilbenzeno, determinada para a mistura de adsorventes (2,35), foi muito próxima daquela encontrada na literatura (2,45).

<sup>4</sup> Do inglês “Mono-aromatic hydrocarbons”



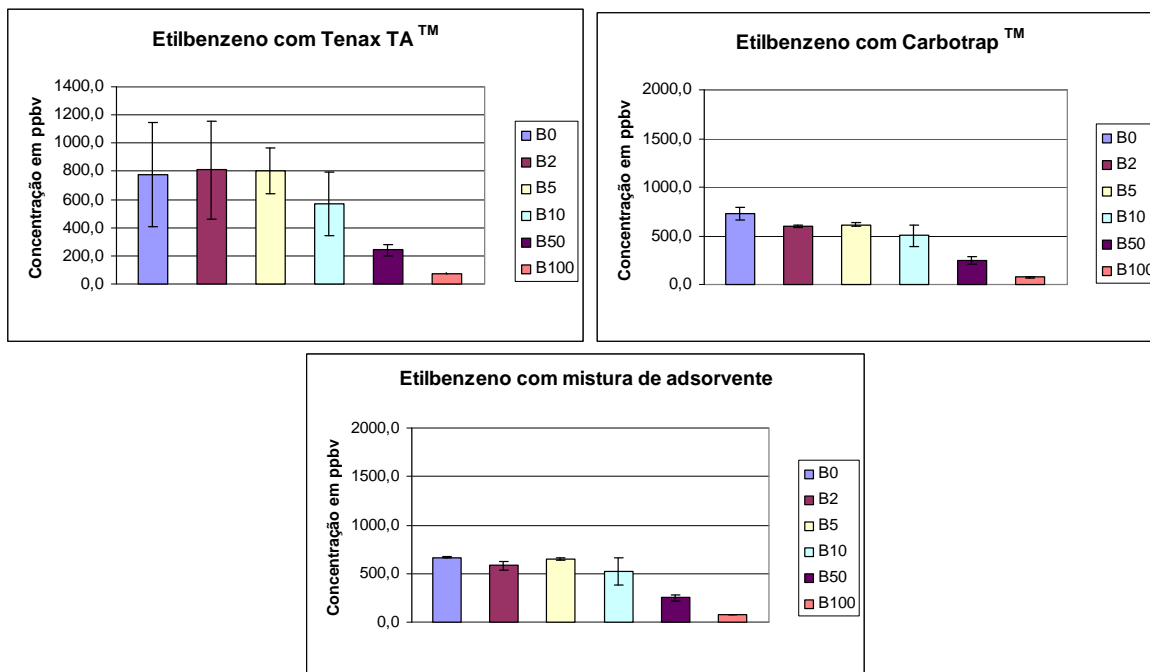


Figura 13. Resultados de quantificação do Etilbenzeno com três tipos de adsorventes, Carbotrap™, Tenax TA™ e mistura de Cartotrap™ e Tenax TA™ em série.

Os resultados de quantificação dos xilenos, Figura 14, demonstram que a sua concentração foi a maior entre os BTEX. As relações benzeno/xilenos encontrada (0,48-0,51) foram, também, muito próximas às referenciadas na literatura.

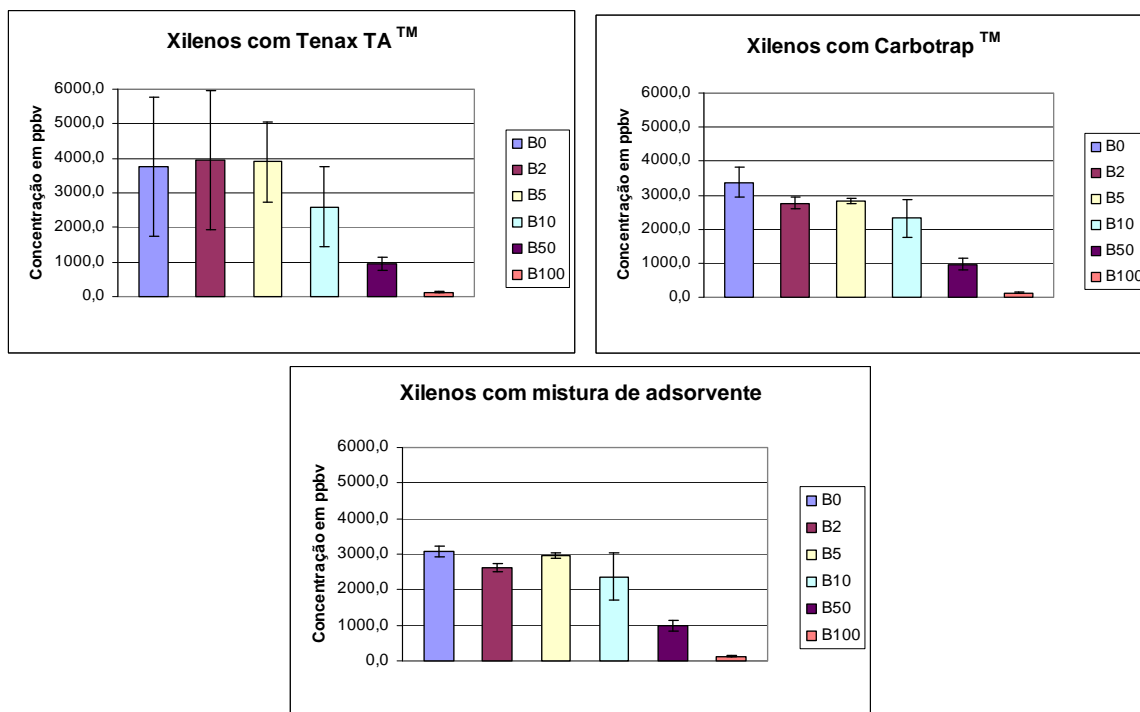


Figura 14. Resultados de quantificação dos Xilenos com três tipos de adsorventes, Carbotrap™, Tenax TA™ e mistura de Cartotrap™ e Tenax TA™ em série.

## CONCLUSÕES

A metodologia proposta foi eficiente para a quantificação de CO, NO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. A proporção determinada para esses compostos, está de acordo com os valores relatados em outros trabalhos da literatura, onde se empregou condições de combustão similares às empregadas neste trabalho. Entre as emissões do diesel e do biodiesel puros, existiram significativas reduções na quantidade emitida para CO (35%) e SO<sub>2</sub> (70%) quando se realizou a combustão do biodiesel. Para NO e NO<sub>x</sub>, no entanto, observou-se um aumento de aproximadamente 80% para as emissões do biodiesel em relação a do diesel.

A quantificação dos BTEX foi efetiva. A proporção determinada para esses compostos, com pequenas diferenças para o tolueno, está de acordo com os valores relatados em outros trabalhos da literatura, onde se empregou condições de combustão similares às empregadas neste trabalho. Entre as emissões do diesel e do biodiesel puros, existiram significativas reduções na quantidade emitida para os BTEX (cerca de 60%, 90%, 85% e 95% para benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, respectivamente).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CANAKCI, M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. **Bioresource Technology**, n. 98, p. 1167-1175, 2007.
2. CORREA, S.M.; ARBILLA, G. Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust. **Atmospheric Environment**, n. 40, p. 6821-6826, 2006.
3. DOURADO, M.P.; BALLESTEROS, E.; ARNAL, J.M.; GÓMEZ, J.; LÓPEZ, F.L. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. **FUEL**, n. 82, p. 1311-1315, 2003.
4. FAIZ, A.; GAUTAM, S.; BURKLE, E. Air pollution from motor vehicles: issues and options for Latin American countries. **The Science of the Total Environment**, n. 169, p. 303-310, 1995.
5. GONZALEZ, G. M.E., et al. Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota Diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral Diesel fuel. **Environ Monitor Assssment**, n. 65, p. 13-20, 2000.
6. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Climate Change 2001: The Scientific Basis. New York, 2001. Disponível no site: <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>. Acessado em: 02 fevereiro 2007.
7. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Climate Change 2007: The Scientific Basis. New York, 2007. Disponível no site: <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>. Acessado em: 02 fevereiro 2007.
8. TASHTOUSH, G.; AL-WIDYAN, M.I.; AL-SHYOUKH, A.O. Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace. **Applied Thermal Engineering**, n. 23, p. 285-293, 2003.
9. TURRIO-BALDASSARRI, L. et al. Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and 'biodiesel' blend. **Science of the Total Environmental**, n. 327, p. 147-162, 2004.
10. TURRIO-BALDASSARRI, L. et al. Evaluation of emission toxicity of urban bus engines: Compressed natural gas and comparison with liquid fuels. **Science of the Total Environment**, n. 355, p. 64-77, 2006.
11. USTA, N.; OZTURK, E.; CAN, O.; CONKUR, E.S.; NAS, S.; ÇON, A.H.; CAN, A.Ç.; TOPCU, M. Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine. **Energy Conversion & Management**, n. 46, p. 741-755, 2005.