

# PERFIS DAS EMISSÕES INSTANTÂNEAS (CO, NO E SO<sub>2</sub>) DERIVADAS DE VEÍCULOS CICLOS OTTO E DIESEL PARA DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTÍVEL E CONDIÇÕES DE ROTAÇÃO DO MOTOR

S. O. AGUIAR<sup>1</sup>, G. M. M. SILVA<sup>1</sup>, K. A. RODRIGUES<sup>1</sup>, R. S. ARAÚJO<sup>1</sup>, M. L. M. OLIVEIRA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Pós Graduação de Tecnologia e Gestão Ambiental

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Pós Graduação de Tecnologia e Gestão Ambiental e Universidade Estadual do Ceará - Mestrado Ciências Físicas Aplicadas  
E-mail para contato: [suzanaoliveira@ifce.edu.br](mailto:suzanaoliveira@ifce.edu.br)

**RESUMO** – A má qualidade do ar nos centros urbanos tem sido atribuída, sobretudo, às emissões veiculares, as quais são fontes de crescentes preocupações ambientais e de saúde pública. Assim, este trabalho avaliou os perfis de emissões no escapamento (CO, NO e SO<sub>2</sub>) de veículos equipados com motores ciclos Otto e Diesel, mediante teste estático. As emissões foram abordadas segundo os diferentes tipos de veículos, combustíveis e condições de rotação do motor. Os dados foram coletados instantaneamente usando um analisador eletroquímico portátil. Os resultados mostraram que, no arranque a frio, o veículo leve (a álcool e a gasolina), emite concentrações de CO superiores a 50.000 ppm, valor bem superior ao limite de 39 ppm recomendado pela OMS, enquanto o veículo Diesel emite a menor quantidade deste poluente, devido as suas características de operação sob maior taxa de oxigênio. Na partida com motor quente observou-se que, para a maioria dos poluentes e classes veiculares testados, a temperatura dos gases de exaustão na presença do catalisador, reduz os níveis de emissão. A motocicleta e o veículo a diesel destacaram-se na emissão de NO e SO<sub>2</sub>. Assim, apesar do desenvolvimento tecnológico no gerenciamento eletrônico, motores e combustíveis mais “limpos”, os veículos automotivos ainda contribuem significativamente para elevadas taxas de emissões, seja em ambiente aberto e/ou confinado, mesmo sem executar um ciclo de condução.

## 1. INTRODUÇÃO

A má qualidade do ar tem sido associada diretamente às emissões veiculares, devido ao elevado crescimento da frota de veículos, sobretudo nos grandes centros urbanos. As projeções de agências internacionais é que no mundo, dois bilhões de veículos deverão estar nas ruas em 2050 (GTS, 2011 e EIA, 2014). No caso do Brasil, onde mais de 80% da sua população vive em áreas urbanas, admite-se que a maior parte das emissões veiculares se concentra nessas regiões (ANDERSON, 2009; CARVALHO, 2011; YAMAMOTO *et al.*, 2014).

De fato os veículos automotores são fontes relevantes de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, compostos orgânicos voláteis, particulados e CO<sub>2</sub> (WENZEL *et al.*, 2000; De VLIEGER *et al.*, 2000). O setor de transporte responde por cerca de 20% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, que é um dos principais gases causadores do efeito estufa (CARVALHO, 2011). Neste contexto, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) foi criado em 1986 visando à redução dos níveis das emissões veiculares com a promoção do uso e pesquisa de novas tecnologias menos poluentes e a criação de programas de inspeção veicular. Assim, desde 1993 foram estabelecidos limites máximos de emissões que reduziram em mais de 90% as emissões unitárias de vários poluentes pelos veículos. No entanto, o problema é que a frota mais que triplicou nesse período, reduzindo os efeitos benéficos da medida (SANTANA *et al.*, 2012).

No sistema de transportes brasileiro a gasolina (com adição de 25% de etanol), o diesel (com adição de 5% de biodiesel) e o etanol são os três principais combustíveis utilizados (MME, 2007). Basicamente, para os veículos a diesel (motores com ignição espontânea) as concentrações das espécies poluentes de maior influência são as partículas e NO<sub>x</sub>, enquanto as concentrações de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos são principalmente derivadas de veículos de ciclo Otto (motores com ignição por faísca) (ANDERSON, 2009; ACHOUR *et al.*, 2011; YAO *et al.*, 2013). Deste modo, ressalta-se que estas emissões são dependentes do modo de operação dos veículos. Por exemplo, veículos que operam em partida a frio emitem quantidades consideravelmente maiores que em condições estabilizadas de temperatura do motor (MANZOLI e SCHAAL, 2009);

Segundo Hansen (2008) os muitos modelos estáticos de estimativa de emissões existentes consideram valores médios das variáveis de tráfego e distribuem as emissões uniformemente por toda a rede, muitas vezes, não levando em consideração os adicionais da partida quando o motor encontra-se frio, e/ou outras condições do motor que não somente em ciclo de condução. É importante ressaltar que contabilizar as diversas situações que se encontra o veículo favorece um melhor resultado na estimativa total de emissão difusa (SANTANA *et al.*, 2012).

Nesse contexto, este trabalho avalia o perfil dos gases poluentes (CO, NO e SO<sub>2</sub>) emitidos por veículos automotores movidos gasolina, álcool e diesel em condições estáticas, segundo diferentes condições de funcionamento do motor.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As emissões veiculares foram abordadas segundo os seguintes aspectos: diferentes classes veiculares (automóvel, caminhonete e motocicleta), tipo de combustível (álcool, gasolina e diesel), tipo de motor (Otto e Diesel) e condições de combustão (partida a frio e a quente), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de veículos e combustíveis testados.

Veículo	Características gerais	Ciclo do motor	Combustível
Automóvel	Palio Attractive; Fiat; 1.0; 8V; Flex; 2012/2013	Otto	Gasolina
Automóvel			Álcool
Caminhonete	L200 Triton GLS; Mitsubishi; 3.2; 180 cv; Diesel, 2012/2012	Diesel	Diesel
Motocicleta	CG Titan; Honda; 149,2 cc; Injeção eletrônica; Flex; 2011/2011	Otto	Gasolina

Para todos os testes, as determinações das emissões poluentes derivadas dos veículos supracitados foram realizadas mediante o uso de um analisador portátil de gases modelo Chemist 400 da Eurotron Instruments. O analisador é composto por uma sonda tipo Pitot, instalada na saída do tubo de escape dos veículos, células eletroquímicas para análise de CO, NO/NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> e bomba de sucção dos gases com fluxo de 7,0 LPM. Foram avaliadas as emissões de CO, NO e SO<sub>2</sub> em duas condições de funcionamento do motor referentes ao modo de partida: *a*) Partida ou arranque a frio, onde o veículo com motor frio é acionado, e se analisa instantaneamente os gases de exaustão durante 180 segundos. Sequencialmente, o mesmo era desligado, e após 10 (dez) minutos iniciava-se uma nova partida até o aquecimento “ideal” do motor ( $T > 30^{\circ}\text{C}$ ) e *b*) Partida ou arranque a quente: onde o veículo com motor quente ( $T > 30^{\circ}\text{C}$ ) é acionado e se analisa instantaneamente (ppm/s) durante 180 segundos as exaustões emitidas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta as temperaturas mínimas e máximas observadas durante as análises dos gases de exaustão dos veículos testados para os modos de partidas analisados.

Tabela 2 - Temperatura dos gases de exaustão nas partidas dos veículos analisados.

Temperatura Inicial (°C)	Gasolina		Álcool		Diesel		Motocicleta	
	Frio	Quente	Frio	Quente	Frio	Quente	Frio	Quente
	29,7	45,2	29,6	47,9	30,0	51,2	30,0	46,0

#### 3.1. Partida a Frio

A Figura 1 representa os resultados obtidos na avaliação das emissões instantâneas de monóxido de carbono (1a), óxido de nitrogênio (1b) e dióxido de enxofre (1c) na partida do motor no modo a frio para as diferentes classes de veículos em estudo e combustível utilizado.

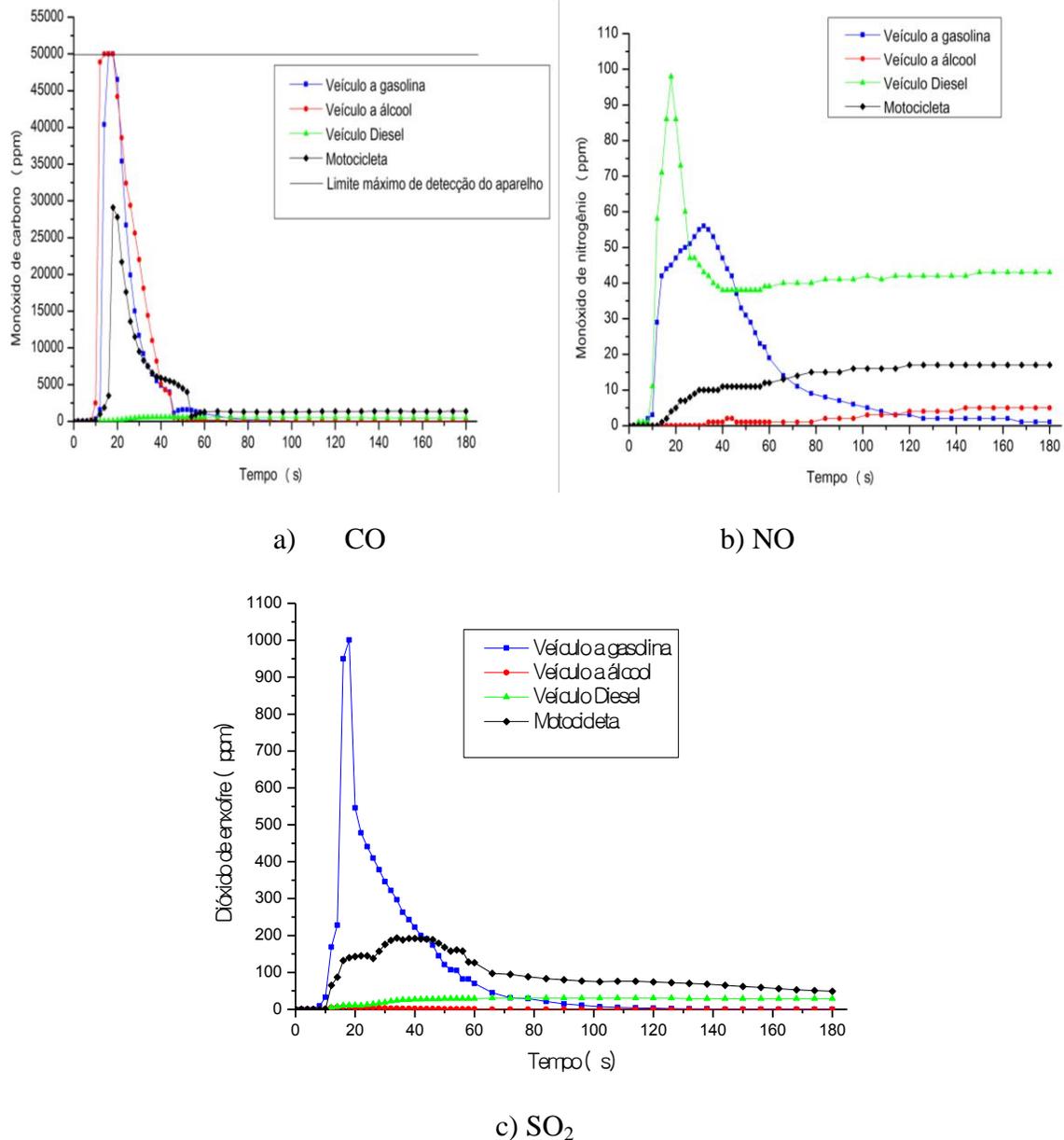


Figura 1 – Emissões instantâneas no modo partida a frio para os veículos testados.

Na Figura 1 observa-se que a emissão de CO, por partida a frio, para todos os veículos equipados com motor Otto, atingiram aos 14 segundos, o limite máximo de detecção do aparelho (50.000 ppm). No caso da motocicleta, a emissão de CO foi de 29.200 ppm, enquanto que, o nível máximo atingido para o veículo diesel foi de 561 ppm. Para VIEIRA (2009), os veículos automotores do ciclo Otto são a principal fonte de emissão de monóxido de carbono de origem antropogênica. Segundo Manzoli e Schaal (2009), quando o motor está frio, a variável de maior importância em relação à produção de CO é a temperatura, que conforme se eleva, reduz a emissão de CO. Vale a pena ressaltar que, de

acordo com a OMS, o limite de tolerância desse poluente é de 39 ppm ( $43 \text{ mg/m}^3$ ) em atmosfera com deficiência de oxigênio para funcionários com jornada de trabalho de 48 horas semanais (SANTANA *et al.*, 2012). Em geral, as concentrações encontradas neste trabalho excedem demasiadamente o recomendado pela OMS, o que revela um dado importante no gerenciamento de emissões veiculares, uma vez que não se deve considerar somente as situações de tráfego, mas também em curtos percursos, estacionamentos e garagens.

Com relação ao NO, os níveis máximos emitidos foram de 5 ppm (otto álcool), 17 ppm (motocicleta), 56 ppm (otto gasolina) e 98 ppm (diesel). Convém ressaltar que a emissão de  $\text{NO}_x$  em motores de ciclo diesel é superior devido às características de combustão desses motores, que funcionam sob temperaturas e pressões mais elevadas, além da presença de excesso de  $\text{O}_2$  (BRANCO e MURGEL, 1995). Deste modo, o NO é convertido a  $\text{NO}_2$  através da reação com  $\text{RO}_2$  (peroxiradicais) ou  $\text{O}_3$  (ozônio), que por sua vez vem também contribuir para a formação do *smog* fotoquímico (TEIXEIRA *et al.*, 2008).

Quanto as emissões de  $\text{SO}_2$ , os níveis máximos emitidos foram de 30 ppm (diesel), 192 ppm (motocicleta), 7 ppm (otto álcool), 1001 ppm (otto gasolina). Atingido tais valores observa-se uma queda na emissão de  $\text{SO}_2$ , devido à ação do catalisador, e uma posterior estabilização das concentrações, pois os motores atingiram a temperatura ideal de operação e a rotação do motor permanece constante. Destaca-se que a ANP vem progressivamente exigindo níveis menores de enxofre nos combustíveis, em função da legislação vigente. No caso da gasolina e diesel metropolitano, os valores máximos de enxofre permitidos são 50 e 10 ppm, respectivamente. Ressalta-se que na atmosfera, o  $\text{SO}_2$  reage com o radical  $\bullet\text{OH}$ , em presença de vapor de água, produzindo ácido sulfúrico e gerando a chuva ácida (TEIXEIRA *et al.*, 2008).

### 3.2. Partida a Quente

Na Figura 2 encontram-se os resultados obtidos na avaliação das emissões instantâneas de monóxido de carbono (Figura 2a), óxido de nitrogênio (Figura 2b) e dióxido de enxofre (Figura 2c), no modo partida a quente para as diferentes classes de veículos em estudo e combustível utilizado. Neste caso os níveis máximos de CO emitidos pelos veículos foram de 195 ppm (gasolina), 453 ppm (diesel), 1.576 ppm (álcool) e 3400 ppm (motocicleta). Comparando-se os níveis máximos da emissão CO, na partida a quente observaram-se elevadas reduções nas emissões para a maioria das condições avaliadas, as quais foram de: 99,6% para a gasolina, 96,9% para o álcool, 88,4% para a motocicleta e 19,3% para o diesel.

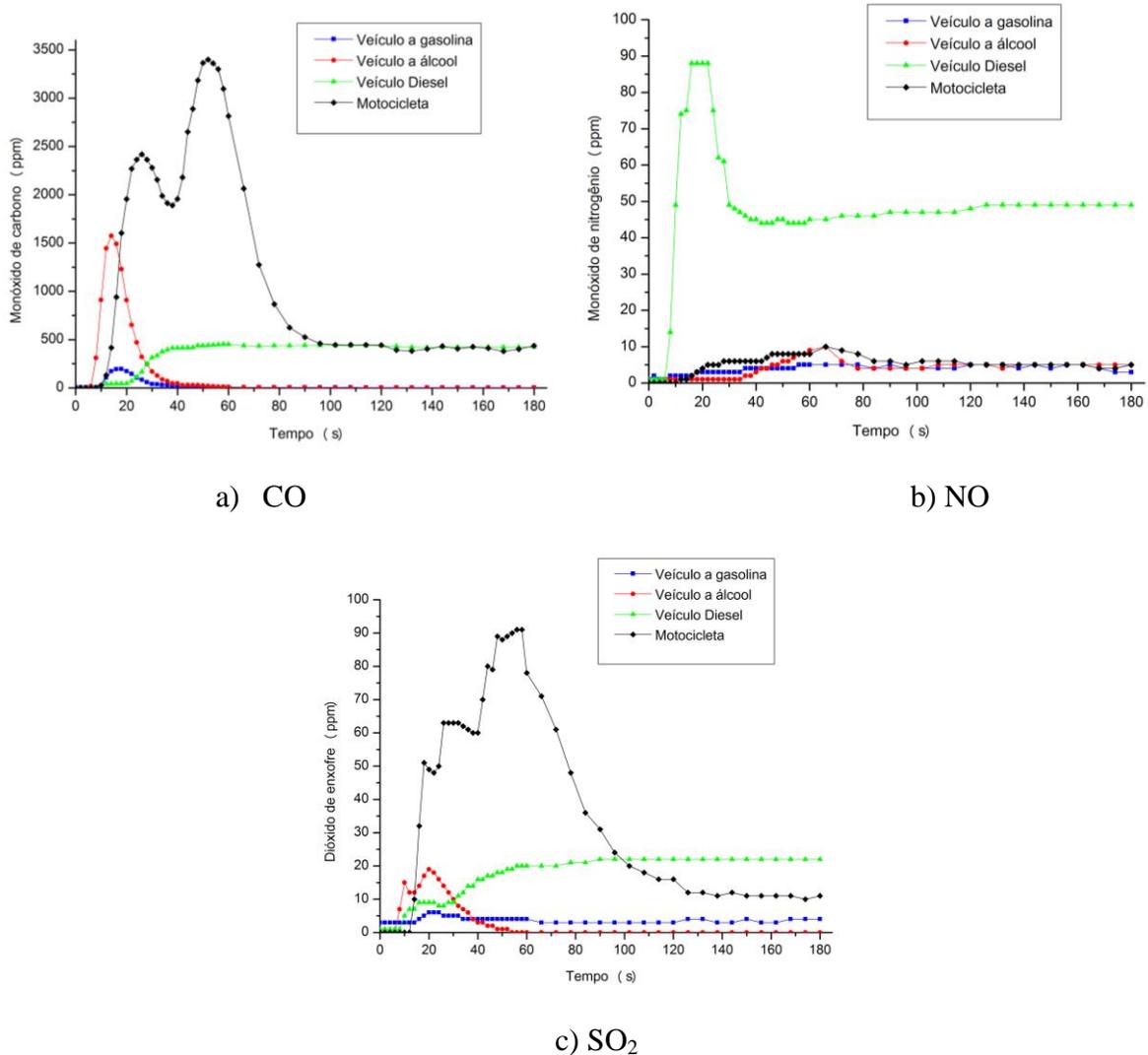


Figura 2 – Emissões instantâneas no modo partida a quente para os veículos testados.

Para a partida a quente, as emissões de NO destacam-se para o veículo diesel, devido se tratar de um motor a compressão, sendo este poluente produzido de forma mais acentuada pela rota térmica (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Para os demais veículos, o comportamento das emissões é bem similar. Os níveis máximos emitidos de NO foram de 5 ppm (gasolina), 10 ppm (álcool e motocicleta) e 88 ppm (diesel). Em comparação a emissão máxima de NO por partida a frio, a partida a quente reduz a emissão em 91,1% (gasolina); 41,2% (motocicleta) e 10,2% (diesel).

Da mesma forma que na partida a frio, a motocicleta e o veículo diesel destacam-se em relação às emissões de SO<sub>2</sub>. Comparativamente, na partida a quente as reduções de emissão de SO<sub>2</sub> foram de: 99,4% (gasolina); 52,6% (motocicleta) e 26,7% (diesel).

## 4. CONCLUSÕES

As emissões iniciais de monóxido de carbono para todos os veículos, principalmente para os veículos equipados com motor ciclo Otto, atingiram concentrações acima de 50.000 ppm na partida a frio, o que é alarmante uma vez que o limite de tolerância desse poluente é de 39 ppm, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS). O modo de partida a quente favorece a redução nos níveis de emissão de CO de 86%, 97%, 17% e 48%, respectivamente para os veículos, a gasolina, álcool, diesel e motocicleta. Para o SO<sub>2</sub> as reduções foram de 99%, 97%, 53% e 27%, respectivamente. De forma contrária, na partida a quente ocorre aumento dos níveis de emissão de NO, principalmente para o veículo a diesel. É de salientar que para a maioria dos poluentes e classes de veículos, a temperatura do motor favorece as reações catalíticas, reduzindo os níveis de poluição. Porém, apesar do desenvolvimento tecnológico no gerenciamento eletrônico, motores e combustíveis mais “limpos”, os veículos ainda contribuem significativamente para elevadas taxa de emissões de poluentes gasosos, seja em ambientes abertos e/ou confinados (estacionamentos, garagens, etc), mesmo sem executar um ciclo de condução.

## 5. REFERÊNCIAS

ACHOUR, H.; CARTON, J.G.; OLABI, A.G. Estimating vehicle emissions from road transport, case study: Dublin City. *Applied Energy*, v. 88, p. 1957-1964, 2011.

ANDERSON R. H. Air pollution and mortality: a history. *Atmospheric Environment*, v. 43, p. 142-152, 2009.

BRANCO, S. M.; MURGEL, E. Poluição do ar. 1. Ed. São Paulo: Editora Moderna, 1995.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 003, de 28 de junho de 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 04/12/2013.

BRAVO, C. A. F. 2006. 222 f. Estudo de catalisadores automotivos frente ao envenenamento com enxofre. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Química. Rio de Janeiro. 2006.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Report Pesquisa da Diretoria de Estudos Regionais e Urbanos (Dirur) do Ipea, 2011.

DE VLIEGER, I.; KEUKELEERE, D.; KRETZSCHMAR, J. G. Environmental Effects of Driving Behaviour and Congestion Related to Passenger Cars. *Atmospheric Environment*, v. 34, n. 27, p. 4649-4655, 2000.

EIA - International Energy Agency, <https://www.iea.org/aboutus/faqs/transport/>. Acesso em Abril de 2014.

GTS - Global Transport Scenarios 2050. Report of World Energy Council, 2011.

HANSEN M., PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO ADICIONAL DE EMISSÕES VEICULARES EM PARTIDA A FRIO. Dissertação (mestrado), Engenharia de

Produção em Sistemas de Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL (IBRAM). Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. Relatório de Monitoramento da Qualidade do Ar no Distrito Federal. Distrito Federal, 2008.

MANZOLI, A.; SCHAAL, R. E. Circulação de veículos com motores frios: o problema da emissão de CO e HC. *Rev. Minerva*, v. 6, n. 1, p. 31-38, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Nacional de Energia 2030. Brasília, 2007.

OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, C. M.; MORENO-TOST, R.; FARIAS, T. L.; JIMÉNEZ-LÓPEZ, A.; RODRÍGUEZ-CASTELLÓN, E. A study of copper-exchanged mordenite natural and ZSM-5 zeolites as SCR-NO<sub>x</sub> catalyst for diesel road vehicles: Simulation by neural networks approach. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 88, p. 420-429, 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Air guidelines for Europe. Copenhagen, 2000.

SANTANA, E.; CUNHA, K. B., FERREIRA, A. L., ZAMBONI, A., Padrões de qualidade do ar Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. Instituto de Energia e Meio Ambiente, SP-2012.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Química Nova*, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008.

VIEIRA, N. R. Poluição do ar: indicadores ambientais. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2009. 220 p.

VLASSOV, D. Fundamentos de combustão. VIII Curso de Especialização em Motores e Combustíveis. Curitiba: UTPR, 2008. 69 p.

WENZEL, T; SINGER, B. C.; SLOTT, R. Some Issues in the Statistical Analysis of Vehicle Emissions. *Journal of Transportation and Statistics*. n. 3, p. 1-14, 2000.

YAMAMOTO, S. S.; PHALKEY, R.; MALIK, A. A. A systematic review on air pollution as a risk factor for cardiovascular disease in South Asia: Limited evidence from India and Pakistan. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 217, p. 133 – 134, 2014.

YAO, Y.C.; TSAI, J.H.; WANG, I.T. Emissions of gaseous pollutant from motorcycle powered by ethanol-gasoline blend. *Applied Energy*, v.102, p. 93-100, 2013.