

## **X-025 - EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR: 2009 A 2011**

**Adelmo Menezes de Aguiar Filho<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Atua como bolsista de iniciação científica pelo programa Jovens Talentos para a Ciência (CAPES/CNPq) no grupo de pesquisas GAMA-UFBA (Growing with Applied Multivariate Analysis) e é colaborador de pesquisas no grupo de pesquisas BIOMA-IFBA (Biotecnologia e Meio Ambiente). Possui formação técnica em operação de processos industriais e químicos pelo Instituto Federal da Bahia (IFBA).

**Édler Lins de Albuquerque**

Graduado em Engenharia Química pela UFAL (1999), doutorado (2007) e mestrado (2002) em Engenharia Química pela UNICAMP, especializações em Eng. de Processos Químicos (1999) e Eng. Ambiental (2002). Tem experiência na área de poluição atmosférica, química analítica com ênfase em análise de traços e química ambiental, análise multivariada de dados químicos e otimização de processos, atuando nos temas: COV, monitoramento do ar, impactos ambientais da poluição atmosférica.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Aristides Novis, 02 - Universidade Federal da Bahia - Departamento de Engenharia Química - Escola Politécnica - Federação - Salvador - BA - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 3283-9802 - e-mail: [aguiar.soul@gmail.com](mailto:aguiar.soul@gmail.com).

### **RESUMO**

A temática relacionada ao controle da qualidade do ar nos grandes centros urbanos obteve importante destaque nos últimos anos pelas diversas iniciativas governamentais em prol da redução das emissões veiculares, tal como a publicação do 1º inventário nacional de emissões veiculares e da legislação voltada para o PCPV e I/M. Neste contexto, o presente projeto de pesquisa tem como objetivos a elaboração do inventário de emissões veiculares da Região Metropolitana de Salvador (RMS) para o ano de 2011 e a avaliação do resultado dos últimos inventários desta região. Foi utilizado o 2º método de cálculo da agência europeia de proteção ambiental que utiliza fatores de emissão associados à quilometragem veicular para estimativa da emissão de poluentes. Propôs-se ainda a correção das estimativas em função do aumento das emissões pela idade veicular e do volume do biodiesel no diesel veicular. A análise das incertezas dos resultados foi elaborada conforme as recomendações do ministério do meio ambiente para a construção dos inventários veiculares com o objetivo de compreender a influência da qualidade da informação na estimativa das emissões. Os resultados obtidos indicaram um total de 531.236 toneladas emitidas em 2011, das quais 72,5% correspondem a emissão de CO, 6,2% a emissão de NMHC, 20,4% aos NO<sub>x</sub> e menos de 1% das emissões estão associadas ao dióxido de enxofre e material particulado. O inventário da RMS 2011 obteve semelhança qualitativa com os inventários anteriores, em que os automóveis e caminhões foram às categorias veiculares mais poluidoras e os veículos mais antigos responsáveis por mais da metade das emissões de poluentes. Espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de parâmetro norteador para a gestão da qualidade do ar na RMS.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inventário de Emissões, Poluição Veicular, RMS.

### **INTRODUÇÃO**

O crescimento da frota de veículos automotores nos grandes centros urbanos brasileiros implicou nos últimos anos em uma maior preocupação com as questões relacionadas à qualidade do ar, estimativas de BRASIL (2011), por exemplo, indicam que a frota veicular do Brasil deve ultrapassar a marca de 50 milhões em 2013. Os veículos são responsáveis pela emissão de toneladas de poluentes atmosféricos, dos quais se destacam o monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, material particulado e hidrocarbonetos (U.S.EPA, 2006).

São consequências da poluição veicular a ocorrência de chuvas ácidas, formação de ozônio troposférico e *smog* fotoquímico, problemas cardiorrespiratórios e até danos em construções (BAIRD, 2011). Em Miraglia (2005), o uso da metodologia DALY (Disability-Adjusted Life Years) permitiu associar um custo indireto na faixa de milhões de reais anualmente em função da poluição atmosférica. Martins (2001) verificou correlação

estatística entre o monóxido de carbono e o dióxido de carbono com o atendimento de idosos com infecções nas vias aéreas superiores. Desta forma, é possível compreender o controle da qualidade do ar como uma ferramenta para a gestão da saúde urbana.

Conforme abordado em IPIECA (1999), o gerenciamento da qualidade do ar no meio urbano envolve a seleção de objetivos claros para a qualidade do ar de uma região (padrões primários, limites de emissão etc.), desenvolvimento de estudos da dispersão dos poluentes, avaliação de critérios sociais e econômicos como forma de prever as futuras emissões e a execução de planos de ação em busca das metas estabelecidas. A coleta de informações em todas as etapas descritas é essencial e pode ser desenvolvida a partir dos inventários de emissão.

Os inventários de emissões atmosféricas são ferramentas de gestão ambiental que permitem a estimativa das emissões de poluentes, identificação das fontes mais poluidoras, construção de estudos de monetização de impactos pela poluição veicular, avaliação do atendimento de resoluções ambientais, dentre outras possibilidades (U.S.EPA, 2004; DELUCCHI, 2001).

Os inventários de emissões veiculares são usualmente construídos a partir do uso de fatores de emissão associados a um parâmetro do nível de atividade dos veículos, como por exemplo, o consumo de combustível e a quilometragem anual média (EEA, 2008). É interessante notar a existência de métodos de cálculo capazes de classificar as emissões em função da temperatura do motor (emissões frias e quentes) e o desgaste dos pneus e pastilhas de freios. Verifica-se, contudo, que no Brasil a disponibilidade de dados é um fator limitador para uso de algumas destas metodologias, o que resulta muitas vezes no uso de aproximações que podem não corresponder à realidade da frota de veículos da região estudada. O uso de softwares especializados também é uma alternativa na construção destes inventários, dentre os quais se podem citar o MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) da agência de proteção ambiental norte-americana e o IVE Model (International Vehicle Emissions Model) da ISSRC (U.S.EPA, 2004; ISSRC, 2012).

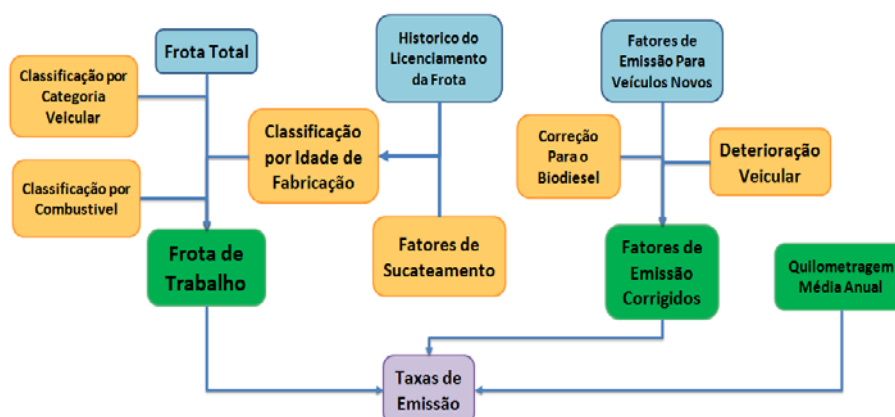
Nos últimos anos, diversas iniciativas vem sendo executadas no Brasil em prol do melhor conhecimento e controle da poluição por fontes móveis. A resolução CONAMA 418/09 instituiu aos estados e municípios a criação de planos para controle da poluição veicular (PCPV) e do programa de inspeção e manutenção (I/M) que deveriam ser dimensionadas com base na frota de veículos e nos resultados de um inventário de emissões a ser desenvolvido (CONAMA, 2009). No início de 2011, o ministério do meio ambiente divulgou o 1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários, o qual avaliou o panorama das emissões para uma grande faixa de tempo e fomentou a utilização da metodologia apresentada nos inventários brasileiros (BRASIL, 2011).

A Região Metropolitana de Salvador engloba um total de 13 municípios com uma área total superior a quatro milhões de km<sup>2</sup> com uma população estimada superior a 3 milhões de habitantes (IBGE, 2012). Sua frota de veículos licenciada em 2011 ultrapassou 900.000 veículos com um progressivo aumento destes números anualmente (DETRAN-BA, 2012). Deve ser destacado que a elaboração do inventário de emissões veiculares para o ano de 2003 (LYRA, 2008) serviu de base ao estudo de dispersão que determinou a posição das estações de monitoramento da qualidade do ar que atualmente a cidade do Salvador possui.

Neste contexto, o presente projeto de pesquisa tem por objetivo a elaboração do inventário de emissões atmosféricas por fontes veiculares para o ano de 2011 da Região Metropolitana de Salvador (RMS) e a avaliação dos resultados com os inventários de emissões dos anos de 2009 e 2010. Conforme orientações de BRASIL (2011), foi realizada a análise das incertezas do inventário elaborado como forma de compreender a influência da qualidade dos dados nos resultados do inventário de emissões. A metodologia aplicada, por utilizar estatísticas disponíveis de forma online e sob uso de determinadas considerações que possam aproximar a realidade local à nacional, pode ser aplicada em grande parte dos municípios brasileiros.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a avaliação das emissões por fontes veiculares na RMS foram compilados os resultados dos últimos inventários de emissões desta região (AGUIAR FILHO & ALBUQUERQUE, 2012) e estimadas as emissões referentes ao ano de 2011. A Figura 1 apresenta o resumo da metodologia que será detalhada adiante:



**Figura 1: Resumo da metodologia utilizada no inventário.**

Para o inventário do ano de 2011 foram consideradas as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx), material particulado (MP) e hidrocarbonetos não metânicos (NMHC) das categorias veiculares que são apresentadas no Quadro 1. A seleção dos poluentes deu-se por estes serem considerados poluentes prioritários da qualidade do ar (LISBOA, 2008), representando mais de 90% dos problemas de contaminação do ar.

**Quadro 1: Categorias veiculares consideradas no inventário de emissão.**

Categoria	Classificação	Combustível processado
Automóveis	Veículos leves	Gasolina, diesel, álcool e GNV
Comerciais leves		Gasolina, diesel, álcool e GNV
Motocicletas e similares		Gasolina
Micro-ônibus	Veículos pesados	Diesel
Ônibus		Diesel
Caminhões		Diesel

Na estimativa das emissões veiculares utilizou-se o método de cálculo descrito em EEA (2008) que relaciona a quantidade de poluentes emitida por uma frota de veículos com seu fator de emissão característico e com a quilometragem anual média desenvolvida por esta. Para fins metodológicos a frota de veículos foi classificada por sua categoria veicular, por seu ano de fabricação e pelo combustível processado. A Equação 1 apresenta o método descrito:

$$E_{p,t} = \sum_k \sum_i \sum_c (F_{k,t,c} \times FC_{p,k,t,c} \times Kma_{k,t}) \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

$E_{p,t}$  = Emissão total de um poluente p em um ano t;

$F_{k,t,c}$  = Frota de veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c;

$FC_{p,k,t,c}$  = Fator de emissão corrigido de um poluente p, para veículos novos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c;

$Kma_{k,t}$  = Quilometragem média anual desenvolvida por veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t.

As estatísticas referentes ao número total de veículos e sua estratificação por categoria veicular foram obtidas por meio de DETRAN-BA (2012) a partir dos dados de licenciamento da frota. Para a classificação de cada categoria veicular em função do seu ano de fabricação utilizou-se os dados de emplacamento de veículos disponíveis em DENATRAN (2012) associado às curvas de sucateamento de veículos apresentadas em BRASIL (2011). A estratificação da frota pelo combustível processado foi realizada com base nas estatísticas nacionais de venda de veículos (ANFAVEA, 2011), para isto, considerou-se que as cidades da RMS possuem perfil similar ao nacional em razão da falta de estatísticas locais. Também em razão da disponibilidade de dados, os veículos com ano de fabricação igual ou menor a 1998 foram considerados pertencentes a uma única categoria. Destaca-se que para a caracterização da frota de automóveis que processam gás natural foi realizada

uma aproximação linear dos dados de conversão de automóveis na Bahia (GASNET, 2011) para a frota de veículos da RMS.

Os fatores de emissão utilizados na análise foram obtidos em CETESB (2012), os quais correspondem aos ensaios de homologação veicular do PROCONVE. Para os fatores de emissão da frota produzida antes do ano de 1999 foi estimado a partir de uma média ponderada dos fatores de emissão com a frota de veículos em circulação entre 1957 e 1998 na região metropolitana da cidade de São Paulo (UEDA, 2008). Os fatores de emissão para veículos pesados disponibilizados em CETESB (2012) foram convertidos das unidades de g/kWh para g/km para uso na Equação 1. A conversão foi realizada conforme Ueda (2008) utilizando o consumo específico e a densidade do diesel veicular por meio da Equação 2.

$$Fe_{km} = \frac{Fe_{kWh} \times C \times \rho}{\beta} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

$Fe_{km}$ : fator de emissão em gramas de poluente por quilômetro;

$Fe_{kWh}$ : fator de emissão em gramas de poluente por kWh de energia fornecida pelo combustível;

C: consumo em litros por quilometro dos veículos pesados, assumido igual a 0,299 L/km, conforme Bartholomeu (2006);

$\rho$ : massa específica do diesel brasileiro, cujo valor assumido foi igual a de 850 g/L (Silveira et al., 2004);

$\beta$ : Consumo específico em gramas de combustível por kWh, assumido igual a 193 g/kWh (Silveira et al., 2004).

Além disso, foi realizado o ajuste dos fatores de emissão com relação a dois aspectos: o percentual de biodiesel no diesel veicular e o aumento das emissões pela deterioração mecânica do veículo. Para a correção dos fatores de emissão pelo percentual de biodiesel foi realizado o procedimento descrito em U. S. EPA (2002). A Equação 3 descreve o fator de correção que foi multiplicado pelo fator de emissão original dos veículos a diesel:

$$f_b^i = \exp\{a_i \times V_b\} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

$f_b^i$ : fator de correção das emissões de um poluente i em função do percentual de biodiesel no diesel;

$a_i$ : coeficiente relacionado a um poluente i;

$V_b$ : Volume percentual de biodiesel no diesel veicular.

Os valores para o coeficiente  $a_i$  são apresentados na Tabela 1. O volume de 5% de biodiesel foi assumido neste inventário de emissão por se tratar do percentual definido como obrigatório no ano de 2001 (ANP, 2011).

**Tabela 1: Valores do coeficiente  $a_i$**

Poluente	Valor
CO	-0.006561
NMHC	-0,011195
NOx	0,0009794
MP	-0,006384

Fonte: U.S.EPA (2002).

Como os fatores de emissão utilizados são provenientes de ensaios para veículos novos fez-se necessário sua correção em função da idade veicular, visto o progressivo aumento das emissões de poluentes pela deterioração mecânica dos veículos (DUTRA et al., 2007). Foi utilizado procedimento descrito em PROCONVE (2006) para a correção das emissões de CO, NMHC e NOx dos automóveis em função da quilometragem acumulada conforme as Equações 4, 5 e 6:

$$f_{c_{\leq 80.467 km}}^i = \frac{ZML + DR1 * y}{ZML} \quad \text{equação (4)}$$

$$f_{c_{> 80.467 km}}^i = \frac{ZML + DR1 * 5 + DR2 * y}{ZML} \quad \text{equação (5)}$$

$$y = \frac{(-367,87v^2 + 13644v)}{1,61 \times 10^4}$$

equação (6)

Sendo:

$f_{c \leq 80.467 km}^i$  : Correção da emissão de um poluente i em pela deterioração para veículos com quilometragem acumulada maior que 80.467 km;

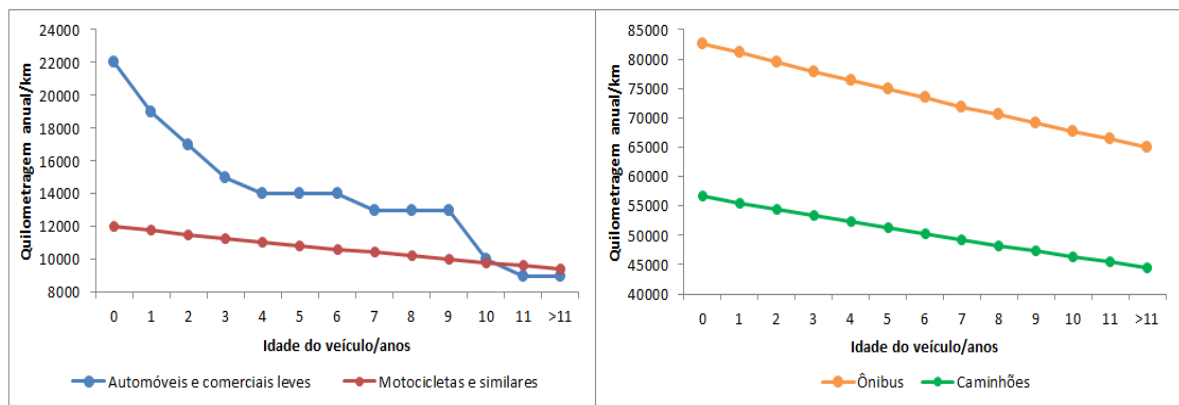
$f_{c > 80.467 km}^i$  : Correção da emissão de um poluente i em pela deterioração para veículos com quilometragem acumulada maior que 80.467 km;

$v$  : idade do veículo em anos;

$y$ : Quilometragem acumulada do veículo;

DR1, DR2, ZML: Coeficientes relacionados a um poluente i emitido por um veículo produzido em determinado ano.

Na ausência de informações locais sobre quilometragem média dos veículos, esta foi estimada através de estatísticas nacionais ou regionais obtidas com base em Borba (2008), Azuaga (2000) e Ueda (2008). Para as motocicletas assumiu-se uma quilometragem de 12.000 km no primeiro ano com redução de 2% em sua quilometragem conforme apresentado em ISSRC (2008). Considerou-se neste estudo que a quilometragem dos micro-ônibus é a metade apresentada pelos ônibus. A Figura 2 apresenta as curvas de quilometragem anual dos veículos em função da sua idade veicular.



**Figura 2: Quilometragem média dos veículos. Adaptado de Borba (2008), Azuaga (2000) e Ueda (2008).**

Também foi escopo deste inventário a análises das incertezas dos resultados como forma de melhor interpretar e comparar as emissões estimadas nos diferentes inventários da RMS. Na ausência de informações nacionais sobre a qualidade dos dados utilizados no inventário foram utilizadas as faixas de incerteza para a quilometragem média e os fatores de emissão disponíveis em EEA (2008) que estão resumidas na Tabela 2.

Por ser informada uma faixa para a incerteza, trabalhou-se com dois cenários para seu cálculo: (1) com o intervalo inferior das faixas de incertezas (que passou a ser denominado melhor cenário para as incertezas – MCI) e (2) com o intervalo superior das faixas de incertezas (que passou a ser denominado pior cenário para as incertezas – PCI). A propagação das incertezas deu-se pelas Equações 7 e 8 descritas em E.E.A (2008):

$$U_{produto} = \sqrt{\sum_i (U_i)^2}$$

equação (7)

$$U_{soma} = \sqrt{\frac{\sum_i (U_i \times \tau_i)^2}{\sum_i \tau_i}}$$

equação (8)

Sendo:

$U_{\text{produto}}$ : Incerteza percentual do produto dos fatores;

$U_{\text{soma}}$ : Incerteza percentual da soma dos fatores;

$U_i$ : Incerteza percentual do fator  $i$ ;

$z$ : Emissão total em toneladas.

**Tabela 2: Faixas de incerteza para os parâmetros do inventário.**

Quilometragem média	Fatores de emissão
30% a 100%	10% a 30%

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

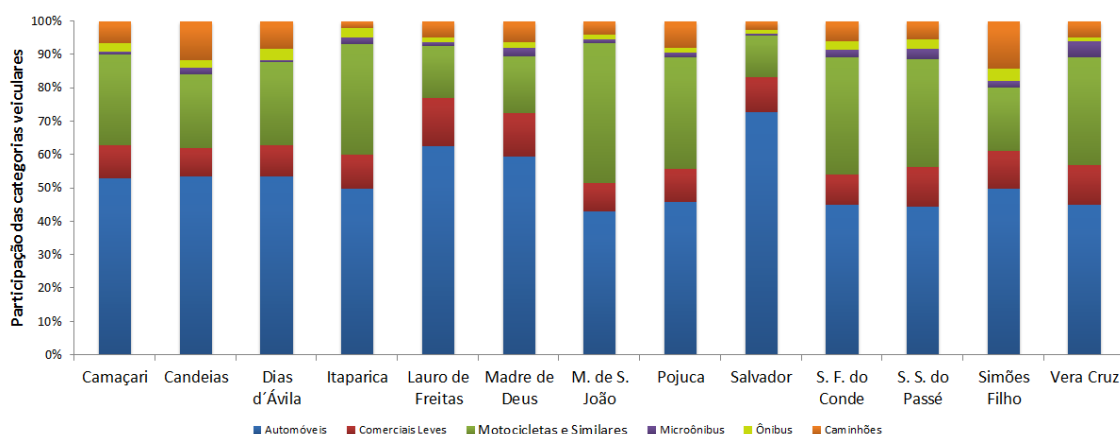
O inventário de emissões da RMS para o ano de 2011 indicou tendências de emissão semelhantes em relação aos anos anteriores quanto à participação da frota de cada município nas emissões de poluentes (AGUIAR FILHO & ALBUQUERQUE, 2012). Salvador, Camaçari e Lauro de Freitas responderam por 86% do total emitido dos poluentes inventariados, dos quais apenas a emissão da cidade do Salvador é responsável por aproximadamente 73%. A Tabela 3 apresenta a emissão total por município da RMS na emissão dos poluentes prioritários da qualidade do ar.

**Tabela 3: Emissão de poluentes por município na RMS.**

Cidades	Emissão de poluentes/(toneladas/ano)				
	CO	NMHC	NOx	SOx	MP
Camaçari	26466,3	2493,4	10062,7	72,1	261,0
Candeias	10502,7	1027,5	4535,9	27,2	106,8
Dias d'Ávila	7683,4	739,5	3149,9	20,3	76,8
Itaparica	676,5	62,1	232,1	1,9	6,5
Lauro de Freitas	21606,5	1916,0	6905,7	63,9	202,3
Madre de Deus	921,1	85,3	339,8	2,6	8,9
Mata de São João	2136,9	197,3	711,9	6,1	21,3
Pojuca	2992,5	286,5	1172,9	8,2	30,5
Salvador	288431,1	23789,5	70747,4	865,7	2402,7
São Francisco de Conde	1894,0	182,0	751,5	5,1	19,2
São Sebastião do Passé	2703,7	260,3	1088,2	7,3	27,7
Simões Filho	17720,2	1771,6	8189,8	45,2	185,1
Vera Cruz	1566,2	148,3	592,8	4,4	15,9

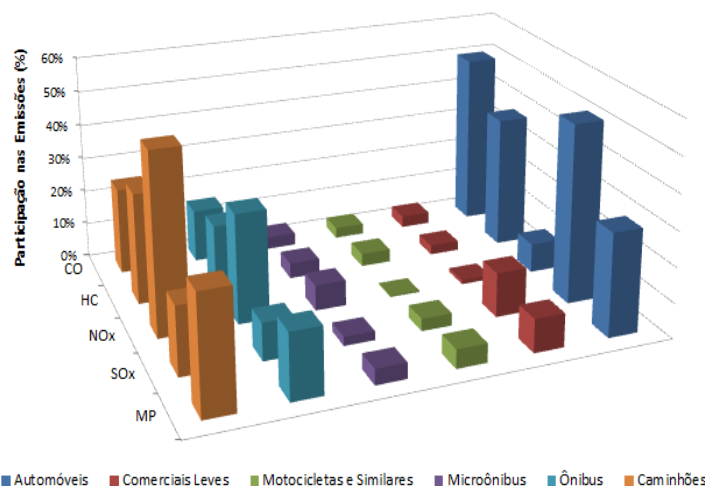
O tamanho da frota de veículos das cidades foi o fator determinante para a contribuição dos municípios na emissão total de poluentes, visto que, guardadas suas devidas exceções, a participação de cada categoria veicular (Figura 3) na frota total dos municípios e o perfil de idade das frotas são semelhantes. Nesta primeira avaliação do perfil das emissões é possível verificar, por exemplo, as cidades que seriam prioritárias ao recebimento dos programas de inspeção e manutenção veicular (I/M). A CONAMA 418/09 define que cidades com frota superior a 3 milhões de veículos podem vir a implantar programas de I/M, por sua vez, a partir dos resultados do inventário é possível avaliar a construção destes programas na cidade do Salvador visto sua relevância no total emitido.





**Figura 3: Participação das categorias veiculares na frota das cidades da RMS. Adaptado de DETRAN-BA (2012).**

A Figura 4 apresenta a participação de cada categoria veicular (automóveis, comerciais leves, motocicletas e os veículos pesados) na emissão dos poluentes inventariados. Os automóveis constituem a categoria que mais contribuiu para as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e dióxido de enxofre. Mesmo possuindo menor fator de emissão para estes poluentes que os veículos pesados, a frota de automóveis é consideravelmente maior (Figura 3), o que nas estimativas resultou na predominância dos automóveis na emissão destes poluentes.

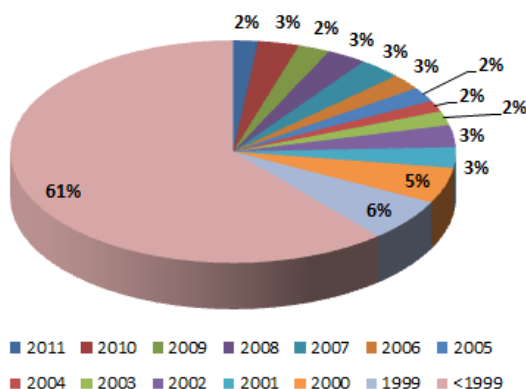


**Figura 4: Participação das categorias veiculares nas emissões de poluentes.**

Os caminhões foram a segunda categoria mais representativa no total das emissões, sendo responsável pela maior parte das emissões de óxidos de nitrogênio e de material particulado. O resultado demonstrou estar em concordância com as características dos motores do tipo DIESEL que possuem altos fatores de emissão para NOx em função da combustão mais rica em oxigênio nestes motores e da adição de biodiesel no diesel combustível (FELTES et al., 2010). Desta forma, é possível verificar, por exemplo, a prioridade nos programas de PCPV e I/M em relação aos automóveis, caminhões e ônibus circulantes.

Deve-se destacar que o percentual de biodiesel, mesmo elevando as emissões de NOx, contribuiu para uma importante redução nas emissões de SOx, CO e de NMHC, portanto, sua associação com tecnologias para o abatimento de NOx (e.g. ARLA-32) é de grande benefício ao meio ambiente.

A análise das emissões de poluentes também foi realizada em função da idade veicular, com a restrição dos veículos fabricados antes de 1999 comporem um único grupo. A Figura 5 apresenta a participação da frota de veículos classificada por ano de fabricação na emissão total de poluentes. Em geral, 70% da frota de veículos da RMS foi fabricada nos últimos 10 anos (em relação ao ano de 2011). Contudo, como pode ser observado na Figura 5, a frota mais antiga de veículos foi a que mais contribuiu no total das emissões, enquanto que a frota fabricada nos últimos 10 anos foi responsável por aproximadamente 25% destas emissões.



**Figura 5: Participação dos veículos de diferentes anos de fabricação na emissão total de poluentes.**

Os resultados obtidos pela Figura 5 indicam a oportunidade de implantação de programas de sucateamento da frota de veículos mais antiga, o que poderia levar a redução de mais de 300 mil toneladas de poluentes anualmente na RMS. As tecnologias de controle da poluição e de combustão dos veículos mais novos possuem eficiência elevada, o que permitiu nos últimos 12 anos, por exemplo, uma redução de 91% nos fatores de emissão de NOx dos automóveis e de 79% para os fatores de emissão de NMHC (CETESB, 2012).

A análise das incertezas dos resultados nos dois cenários propostos permitiu compreender a influência da qualidade dos dados utilizados no inventário em seus resultados. Em função da disponibilidade de informações só foi possível considerar a incerteza associada aos fatores de emissão e a quilometragem média com base nos valores da agência de proteção ambiental europeia (EEA, 2008). A Tabela 5 resume os resultados do inventário 2011 da RMS associados ao pior e ao melhor cenário para as incertezas.

**Tabela 4: Resultados do inventário de emissões para 2011 em toneladas/ano.**

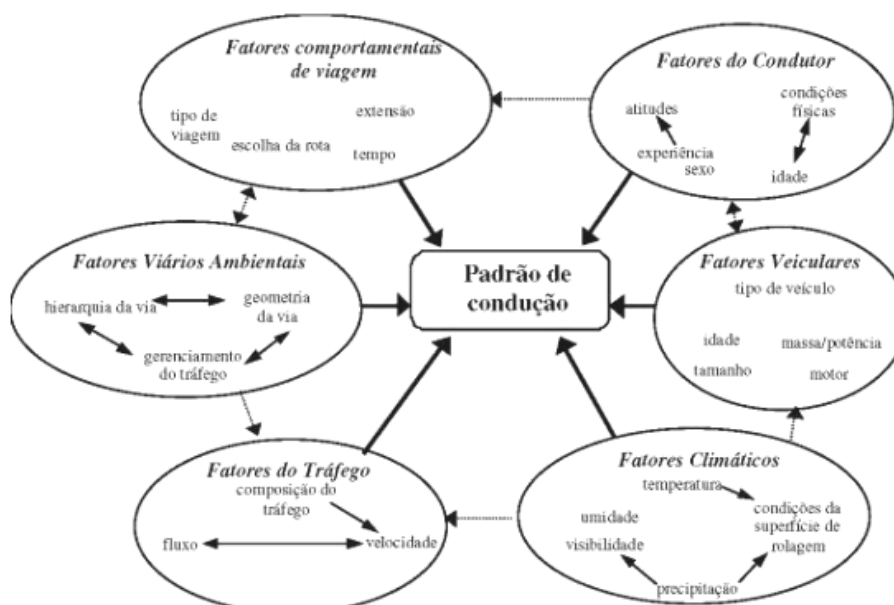
Cenário	CO	HC	NOx	SOx	MP
PCI*	$(4,0 \pm 2,0) \times 10^5$	$(4,0 \pm 1,3) \times 10^4$	$(10,8 \pm 3,0) \times 10^4$	$(11,3 \pm 3,3) \times 10^2$	$(33,7 \pm 6,0) \times 10^2$
MCI**	$(3,85 \pm 0,61) \times 10^5$	$(3,30 \pm 0,40) \times 10^4$	$(10,85 \pm 0,90) \times 10^4$	$(11,3 \pm 1,0) \times 10^2$	$(33,7 \pm 1,9) \times 10^2$

\*Pior cenário para as incertezas

\*\*Melhor cenário para as incertezas

São diversas as fontes de incertezas das emissões veiculares, dentre as quais podem ser destacadas: a incerteza no ensaio dos fatores de emissão, qualidade do combustível utilizado, métodos de correção das emissões pelo desgaste mecânico do veículo, o perfil de idade e combustível considerado no inventário, estatísticas do licenciamento da frota etc. (AGUIAR FILHO, 2012). A incerteza associada à quilometragem dos veículos (padrão de condução) possui relevância nesta análise pela quantidade de fontes associadas à variabilidade deste parâmetro conforme pode ser avaliado na Figura 6.





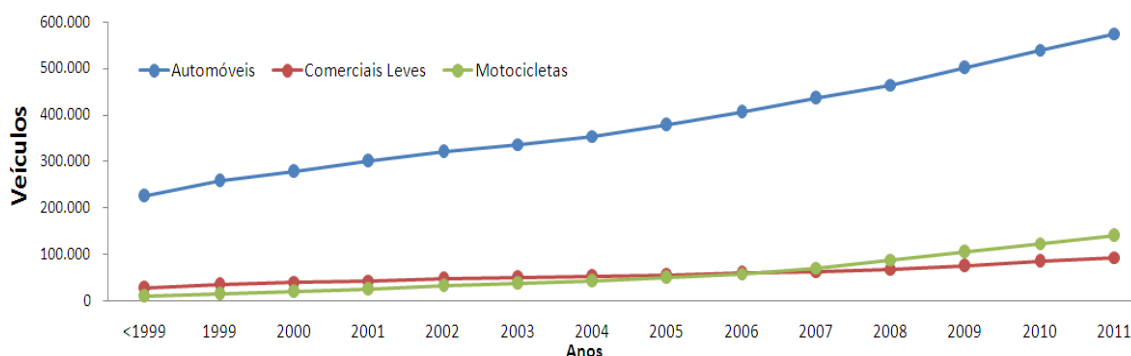
**Figura 6: Causas e efeitos da variabilidade do padrão de condução.**  
(ERICSSON, 2000 apud HANSEN, 2008).

A compilação dos resultados dos últimos inventários de emissões da RMS (2009 a 2011) é apresentada na Tabela 5. É possível verificar nos resultados uma tendência na redução das emissões de monóxido de carbono, a qual pela análise da frota de automóveis está associada com a renovação destes veículos, visto os menores fatores de emissão dos automóveis mais novos (CESTESB, 2012). A Figura 7 apresenta a evolução da frota dos veículos leves da RMS (DENATRAN, 2012).

**Tabela 5: Evolução das emissões veiculares nos últimos 3 anos em toneladas/ano.**  
Adaptado de (AGUIAR FILHO, A. M.; ALBUQUERQUE, E. L., 2012).

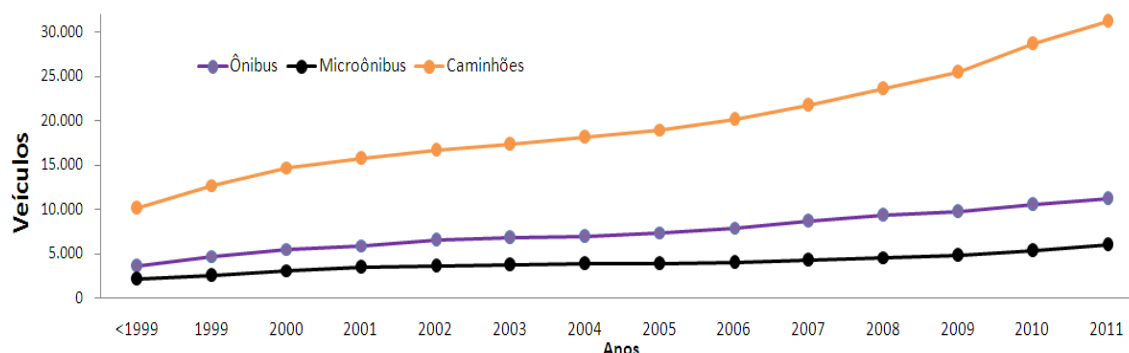
Ano	CO	HC	NOx	SOx	MP	Total
2009	392714	32770	100593	1139	3080	530296
2010	386416	32548	103819	1133	3220	527136
2011	385301	32959	108481	1130	3365	531236

A emissão total de poluentes, por outro lado, obteve seu maior valor no ano de 2011. Este fato vem a ser justificado pelo aumento da frota de caminhões no último ano, visto que o aumento total das emissões esteve associado principalmente ao aumento da emissão dos óxidos de nitrogênio e material particulado (poluentes identificados no inventário de emissões como os mais emitidos pelos caminhões). A Figura 8 apresenta a evolução da frota de veículos pesados em circulação de 1998 até o ano de 2011 (DENATRAN, 2012).



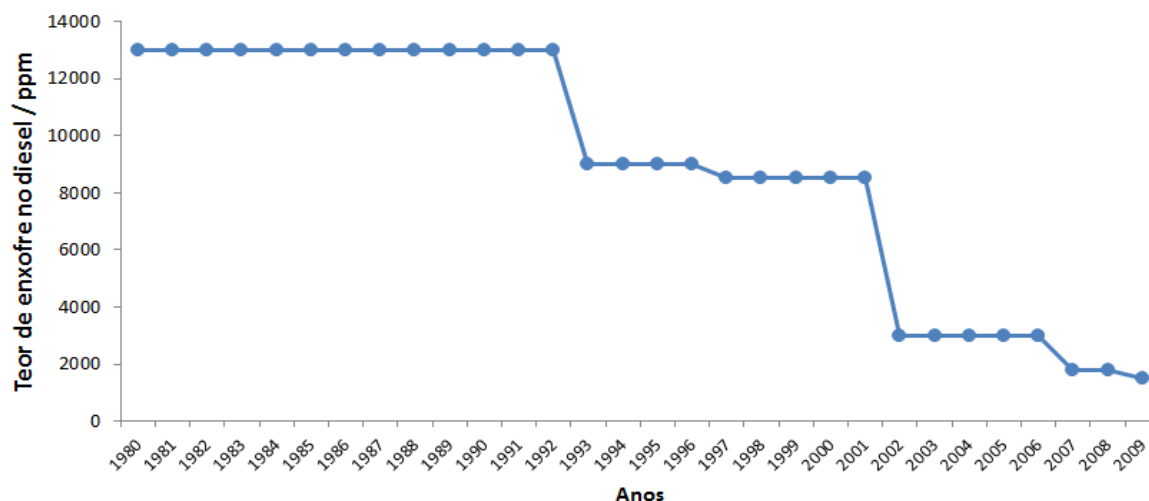
**Figura 7: Evolução da frota de Veículos Leves da RMS. Adaptado de DENATRAN (2012).**

Ao associar a ordem de grandeza da incerteza obtida no inventário da RMS 2011 com os resultados dos últimos inventários da RMS (Tabela 5), pode-se verificar que os resultados dos três inventários estão dentro do intervalo associado às incertezas, ou seja, do ponto de vista estatístico, nos três anos estudados manteve-se o mesmo nível nas emissões veiculares totais dentro da RMS. Deste fato, ratifica-se a importância de estudos que possam estimar a incerteza das fontes de dados de maneira mais próxima à realidade nacional.



**Figura 8: Evolução da frota de Veículos Pesados da RMS. Adaptado de DENATRAN (2012).**

Espera-se que nos próximos anos seja possível verificar diferenças mais significativas na emissão de poluentes da RMS, visto as novas tecnologias de controle da poluição e políticas públicas ambientais que estão sendo aplicadas desde o ano de 2012. São exemplos de tecnologias aplicadas aos combustíveis: o ARLA-32 (Agente Redutor Líquido Automotivo) que constitui um agente químico que associado a catalisadores SCR (Redução Catalítica Seletiva) converte os óxidos de nitrogênio em nitrogênio gasoso, e o Diesel S50 (diesel com concentração máxima de 50 ppm de enxofre) que representa um marco histórico da concentração de enxofre no diesel brasileiro (Figura 9), o qual já obteve concentrações superiores a 12000 ppm (INMETRO, 2011; PETROBRAS, 2012; ANP, 2011).



**Figura 9: Evolução da concentração de enxofre no diesel. Adaptado de BRASIL (2011).**

Desde a década de 70, observam-se ações do governo brasileiro com o objetivo de compreender e atuar sobre a poluição atmosférica urbana, sobretudo naquela causada por veículos automotores. Durante este período, a criação do PROCONVE (Programa de Controle da Poluição Veicular), PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar) e do Ministério do Meio ambiente brasileiro permitiram a construção da atual legislação voltada para os Programas de Inspeção e Manutenção (CONAMA, 2012). Os programas I/M já são realidade há várias décadas em países como a Alemanha e Japão, onde para um veículo circular legalmente é necessário que este seja submetido a ensaios para avaliar seus fatores de emissão e, caso estejam acima do permitido, estes devem passar por posterior manutenção para voltar a trafegar (SZWARC & BRANCO, 2012).

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento e controle das emissões veiculares são essenciais para o bom gerenciamento da qualidade do ar no meio urbano e deve ser encarado além da questão ambiental, como um importante aspecto para a qualidade de vida e saúde da população. A elaboração de inventários emissões é passo fundamental em todo o processo de gerenciamento da poluição atmosférica, pois fornece importantes informações para a estruturação de PCPV e avaliação do desempenho de tecnologias e de legislações ambientais.

No inventário de emissões elaborado para a RMS em 2011, foram estimadas as emissões dos automóveis, comerciais leves, motocicletas e dos veículos pesados (caminhões, ônibus e micro-ônibus). O monóxido de carbono foi o poluente mais emitido (CO) pelos veículos (tendo os automóveis como sua principal fonte de emissão), seguido dos óxidos de nitrogênio (NOx).

A RMS apresentou tendências de emissão semelhantes em seus últimos inventários, contudo, observou-se durante este período uma contínua renovação da frota de automóveis, o que pode vir a justificar a redução nas estimativas de emissão de CO. Através da inserção do ARLA-32 e do diesel com baixa concentração de enxofre (S50 e S10) espera-se uma redução significativa das emissões provenientes dos veículos pesados, principalmente os NOx e SOx, o que contribui para menores impactos ao ambiente e à população da cidade.

São sugestões para trabalho futuros, a modelagem computacional da dispersão dos poluentes para a cidade do Salvador (considerando nesta análise os novos empreendimentos, vias de tráfego e meios de transportes que estão sendo implementados na cidade), avaliações do custo financeiro gerado pela poluição atmosférica e estudos que avaliem o impacto à saúde da população em função da concentração dos poluentes na atmosfera da cidade do Salvador. A partir deste tipo de estudo é possível propor novas configurações para a atual rede de monitoramento da qualidade da cidade e investigar o impacto ambiental das principais vias de tráfego.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR FILHO, A. M., ALBUQUERQUE, E. L. Análise das incertezas e da escolha metodológica de um inventário de emissões veiculares. In: XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador, 2012a.
2. AGUIAR FILHO, A. M., ALBUQUERQUE, E. L. Impactos da evolução da política ambiental brasileira no controle da emissão de poluentes por fontes veiculares. In: I seminário de Sustentabilidade, Desenvolvimento Regional e Recursos Naturais, Salvador, 2012.
3. ANP. Resolução ANP Nº 63 de 7.12.2011. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Brasília, 2011.
4. ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). Tabelas estatísticas da frota produzida por ano. Disponível em: < <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em 03/08/2012.
5. AZUAGA, D. Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil. Tese de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000, 193 p..
6. BAIRD, C. Química Ambiental, 4ª ed., Bookman, Porto Alegre - RS, Brasil, 2011.
7. E.E.A (European Environment Agency). Emep/Eea Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009. Disponível em: < <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>>.
8. BRASIL. 1º Inventário Nacional De Emissões Atmosféricas Por Veículos Automotores Rodoviários. Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/estruturas/182/\\_arquivos/emissoes\\_veiculares\\_182.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/emissoes_veiculares_182.pdf)>. Acesso em 24/02/2011.
9. DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Frota fabricada por município. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 31/01/2011.
10. DETRAN-BA (Departamento Estadual de Trânsito do Estado da Bahia). Frota de veículos por CIRETRAN e municípios. Disponível em: <<http://www.detran.ba.gov.br/estatistica/index.php>>. Acesso em 17/02/2011.
11. GASNET. Perfil do GNV no Brasil - Conversões por estado. Disponível em: <[http://www.gasnet.com.br/novo\\_gnv/perfil\\_gnv\\_brasil.asp](http://www.gasnet.com.br/novo_gnv/perfil_gnv_brasil.asp)>. Acesso em 13/03/2011.
12. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 05/01/2013
13. ISSRC (International Sustainable Systems Research Center). Disponível em: < <http://www.issrc.org/ive>>. Acesso em 20/01/2011.
14. LYRA, D. G. P. Modelo Integrado de Gestão de Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Tese de doutorado, 2008.

15. FELTES, S. et al. Inventário das emissões atmosféricas das fontes móveis da Região Metropolitana de Porto Alegre - RMPA / frota diesel/biodiesel. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 2010.
16. CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2011, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.
17. CONAMA. Resoluções do CONAMA: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2012.
18. INMETRO. Portaria Inmetro 139/2011 - Procedimento para fiscalização de agente redutor líquido de NOx automotivo – ARLA 32. Brasília, 2011.
19. MIRAGLIA et al. An Evaluation of Air Pollution Health Impacts and Costs in São Paulo, Brazil. Environmental Management Vol. 35, No. 5, pp. 667–676. 20011
20. U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency). A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report, 2002.
21. U.S.EPA. The Master List of Compounds Emitted by Mobile Sources. Draft Technical Report, 2006.
22. SILVEIRA, G. L. Avaliação de Parâmetros de Consumo de Combustível do Tritrem no Transporte de Madeira. Revista Árvore, v.28, n.1, p.99-106, 2004.
23. UEDA, A. C.. Inventário de Emissões e Estudo de Dispersão de Fontes Fixas e Móveis da Região de Campinas. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Tese de doutorado, 2010, p.216.
24. BORBA, B. S. M. C. Metodologia de Regionalização do Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 2008.
25. CONAMA. Resolução CONAMA Nº 415, de 25 de novembro de 2009. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2009.
26. PETROBRAS. Perguntas Frequentes - Diesel S50, Flua Petrobras e Lubrax Advento. Brasília, 2012.
27. MARTINS et al. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. Rev. Bras. Epidemiol. Vol. 4, Nº 3, 2001.
28. DUTRA et al. Metodologia para determinação de fatores de deterioração das emissões de poluentes para veículos leves. In: 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco, 2007.
29. DELUCCHI et al. The health and visibility cost of air pollution: a comparison of estimation Methods. Journal of Environmental Management 64, 139–152, 2011.
30. LISBOA, H. M. Controle da poluição atmosférica. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
31. HANSEN, M. Proposição de um método para avaliação do adicional de emissões veiculares em partida a frio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
32. SZWARC, A.; BRANCO, G. M. O que um japonês, um alemão e um norte-americano diriam sobre a Inspeção Veicular em São Paulo. Texto para discussão, 2012.
33. IPIECA. Urban Air Quality Management Series. Volume 1 – An approach to the management of urban air quality: local needs, local solutions, 1999.