

X-009 – INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS VEICULARES PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR**Adelmo Menezes de Aguiar Filho⁽¹⁾**

Aluno do último ano letivo do curso técnico integrado de Operação de Processo Industriais e Químicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Bolsista de iniciação científica Jr. pelo programa de bolsas do CNPq. Atua na área de inventários de emissão veicular.

Fernanda Borges Ramos

Aluna do curso de graduação em Engenharia Química do IFBA, cursando atualmente o quinto semestre. Bolsista de iniciação científica do programa de bolsas da FAPESB. Atua na área da qualidade do ar com foco na realização de inventário de emissão de poluentes atmosféricos.

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. Hoje é professor do IFBA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Emídio dos Santos, S/N - Barbalho - Salvador - BA - CEP: 40301-015 - Brasil - Tel: +55 (71) 2102-9535 - e-mail: aguiar.soul@gmail.com

RESUMO

A qualidade do ar urbano é uma das temáticas mais abordadas e estudadas no atual cenário em que a necessidade de planejamento urbano e ambiental se confrontam. Ao mesmo tempo em que se desenvolvem métodos de controle da poluição mais apurados, o significativo crescimento da frota veicular promove grandes taxas de emissão de poluentes nos centros urbanos, o que vem piorando a qualidade do ar nestes ambientes. Os inventários de emissão tornam-se, então, uma ferramenta fundamental na quantificação dos poluentes emitidos, sendo essencial no desenvolvimento de estratégias de controle ambiental. O presente trabalho buscou realizar o inventário das emissões veiculares para a Região Metropolitana de Salvador (RMS) para o ano de 2009. Utilizou-se o método de cálculo aconselhado pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (U. S. EPA), utilizando dados disponíveis nos sites eletrônicos de instituições especializadas. Os resultados encontrados informam que de um total de 173953,8 toneladas de poluentes emitidos no ano de 2009, 71% correspondem à emissão de monóxido de carbono (CO); 19% a óxidos de nitrogênio (NOx); 8% de hidrocarbonetos (HC); 1% a óxidos de enxofre (SOx) e 2% a materiais particulados. Deste total, os automóveis são responsáveis pela maioria das emissões de CO, HC e SOx, enquanto os caminhões são responsáveis pela maior parte das emissões de NOx e MP. Os resultados apresentados neste inventário poderão fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas em prol da manutenção do meio ambiente e preservação da saúde humana na RMS.

PALAVRAS-CHAVE: Inventários de emissão, Fontes móveis, Qualidade do ar, Poluição urbana, RMS.

INTRODUÇÃO

As regiões metropolitanas vem crescendo nos últimos 40 anos em todo o Brasil. Isso se deve a urbanização das grandes cidades, aumentando cada vez mais a concentração populacional, industrial e seus efeitos nocivos à qualidade de vida da população. Um destes prejuízos inclui a poluição atmosférica e todos seus impactos.

Nesse contexto, estão presentes especialmente nas atmosferas urbanas, diversos tipos de poluentes, representando uma ameaça ao bem-estar da população e à sobrevivência dos ecossistemas situados nas regiões circunvizinhas. Sabe-se que, na área urbana, os veículos são as principais fontes desses poluentes devido ao processo de combustão incompleta que ocorre nos motores (CETESB, 2009). Neste processo são emitidos poluentes como CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarbonetos), MP (material particulado), NOx (óxidos de nitrogênio) e SOx (óxidos de enxofre), entre muitos outros. Esses poluentes causam diversos danos ao ambiente, como ocorre com a chuva ácida desencadeada a partir das emissões de NOx e SOx e malefícios à saúde humana como a incidência e/ou agravamento de doenças respiratórias (BAIRD, 2002).

Diversos estudos vem melhorando a tecnologia de motores e alterando combustíveis, com objetivo de diminuir as emissões desses poluentes sem afetar a potência dos veículos (FEPAM, 2009). Ainda assim, a poluição veicular é a principal percussora da poluição urbana, pois a frota de veículos vem crescendo cada vez mais, tendo conseqüência o agravamento do tráfego nas cidades.

Tendo em vista o agravamento das emissões veiculares nos grandes centros urbanos, seguido do aumento da frota veicular, é de grande importância o emprego de ferramentas que auxiliem o poder público e tomadores de decisão na criação de estratégias de combate à poluição atmosférica. Nesta perspectiva, inventários de emissões atmosféricas para fontes móveis se mostram importantes por trazerem informações qualitativas e quantitativas a respeito das emissões de poluentes por todas as fontes emissoras numa dada área em um determinado intervalo de tempo (U. S. EPA, 2004).

O inventário de emissões se mostra, portanto, como uma ferramenta de gestão ambiental relevante que tem grande importância para a avaliação de impactos ambientais e definição de metas para redução de poluentes em um determinado local, além de ser possível também detectar qual poluente é emitido em maior quantidade em um intervalo de tempo (LYRA, 2008). Os resultados de um inventário de emissões podem ser utilizados em estudos de dispersão de poluentes atmosféricos, possibilitando identificar as áreas mais afetadas por esses poluentes (LYRA, 2008; UEDA, 2010).

A Região Metropolitana de Salvador (RMS) compreende 13 municípios distribuídos numa área total de 4.375,123 Km². A população atual nesta região é estimada em 3.574.804 habitantes (IBGE, 2010). Assim como em outros grandes centros urbanos brasileiros, não é comum a realização de inventários de emissões na região. O último foi efetuado em 2008, tomando como base o ano de 2003 (LYRA, 2008). Desde este período, a RMS cresceu bastante, a frota veicular mudou seu perfil e cresce em ritmo acelerado, em uma taxa de aproximadamente 60 mil veículos por ano (IBGE, 2010).

Poucas metrópoles brasileiras realizam um inventário de emissões veiculares anualmente, e sabe-se que as grandes cidades européias atualizam seus inventários a cada ano. Um dos inventários realizados atualmente foi feito por UEDA (2010) na região de Campinas. O trabalho foi baseado nos fatores de emissão para veículos novos utilizado pela CETESB em seus relatórios anuais de qualidade do ar (CETESB, 2009). Levou-se em conta o perfil da frota (distribuição por tipo de veículo), a idade do veículo, fator de deterioração e as quilometragens médias percorridas por idade de veículo. Uma das principais dificuldades para realizar esse inventário foi a disponibilidade de dados para a região de Campinas. Com isso, UEDA (2010) utilizou alguns dados da cidade de São Paulo, como por exemplo, a quilometragem anual percorrida por idade de veículo. O resultado do inventário da Região de Campinas mostrou que a maior parte dos automóveis dessa região é movida à gasolina, mas se pode perceber que a utilização de veículos movidos a bicomcombustíveis está crescendo cada vez mais, tendo sua participação maior que veículos movidos a etanol. Percebe-se também que os veículos movidos à gasolina vem caindo acentuadamente, isso se deve ao retorno dos veículos movidos a etanol e à introdução dos bicomcombustíveis. Para automóveis, os poluentes com maior taxa de emissão por ano são CO, HC e NO_x, sendo os automóveis movidos à gasolina a principal fonte poluidora. A maioria dos veículos comerciais leves também é movida à gasolina, seguido de diesel. O número de veículos comerciais leves movidos a etanol e bicomcombustíveis são praticamente iguais. As emissões de CO e HC tem maiores contribuições dos veículos à gasolina. Já para o NO_x, os veículos a diesel tem maior participação. Como foi considerado que os veículos pesados utilizam apenas diesel, o poluente mais significativamente emitido foi o NO_x.

Os resultados do inventário de emissões são interpretados através do estudo de dispersão atmosférica. Para tal conhecimento, é necessária a utilização de outras ferramentas, como os modelos matemáticos. O estudo de dispersão atmosférica estabelece uma relação entre as fontes de emissão e as concentrações de poluentes (MOREIRA e TIRABASSI, 2004). Existem diversos modelos matemáticos, com diferentes abordagens, para diferentes locais estudados. Escolher um modelo específico depende dos tipos de poluentes emitidos, da complexidade da fonte, da meteorologia e topografia do local de estudo, entre outros fatores (U. S. EPA, 2010).

Tendo por motivação a falta de dados mais atuais sobre a emissão de poluentes do ar na RMS, esta pesquisa teve como objetivo apresentar um inventário mais atual de emissões atmosféricas veiculares para esta região. O ano de 2009 foi escolhido como ano base em função da disponibilidade das informações necessárias. Adicionalmente, esta pesquisa emprega uma metodologia de estimativa das emissões de fácil compreensão e que se baseia em dados de acesso público, viabilizando o acesso às informações e conhecimentos necessários à

realização de inventários de emissões veiculares, permitindo seu emprego a qualquer momento onde se faça necessário.

METODOLOGIA

Os inventários de emissões atmosféricas são ferramentas estratégicas na manutenção da qualidade ambiental, uma vez que deles provem informações acerca das principais fontes poluidoras, as taxas de emissão de poluentes, as futuras tendências de emissão e do cumprimento das resoluções ambientais. Sua elaboração perpassa pelo tratamento de uma série de dados relacionados à frota veicular: distribuição etária; quilometragem desenvolvida; combustíveis processados; tecnologias de controle da poluição; etc.

No inventário de emissões efetuado nesta pesquisa contabilizou-se a contribuição das emissões provenientes dos veículos leves (automóveis, comerciais leves e motocicletas e similares) e dos veículos pesados (ônibus, microônibus e caminhões) licenciados na Região Metropolitana de Salvador (RMS) no ano de 2009. Para fins de classificação dos veículos, seguiu-se a nomenclatura das categorias veiculares conforme a resolução nº 340 de 25 de fevereiro de 2010 do CONTRAN. Segundo esta nomenclatura, os automóveis da RMS foram divididos em veículos leves e veículos pesados. Os veículos leves compreenderam os automóveis movidos à gasolina, diesel, flexfuel e álcool, os comerciais leves (caminhonetes e caminhonetes) movidos à gasolina, diesel, álcool e flexfuel, além de motocicletas e similares movidos à gasolina tipo C. Os veículos pesados compreendem os caminhões, ônibus e micro-ônibus, os quais são movidos essencialmente a diesel.

Uma das primeiras considerações estabeleceu que os veículos licenciados em cada cidade apenas trafegam nesta e, por falta de estatísticas oficiais, não foi possível contabilizar o fluxo dos veículos de cidades exteriores à RMS dentro desta região.

O método de cálculo empregado para a determinação das taxas de emissão foi o recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (U. S. EPA), descrito pelo “*EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2009*” como o 2º nível de cálculo (Tier) para inventários de emissão, mesmo método utilizado pela CETESB (Órgão de Proteção Ambiental do Estado de São Paulo) em seus inventários de emissão. Neste método de cálculo são necessários dados referentes à quilometragem média desenvolvida pelos veículos no período de um ano, fatores de emissão específicos para cada categoria de veículos, dados sobre os combustíveis processados e a idade da frota. A expressão matemática que define este método é indicada pela Equação 1, descrita a seguir.

$$E_i = \sum_k \sum_j \sum_p (Fe_{ikjp} \times Fc_{ikjp} \times Kma_{kj} \times N_{kjp} \times 10^{-6}) \quad (1)$$

Onde:

E_i = Taxa de emissão anual de um poluente i em toneladas.

Fe_{ikjp} = Fator de emissão para veículos novos, em gramas de um poluente i por Km rodado, para veículos de uma categoria k , fabricados em um ano j e que processam um combustível p .

Fc_{ikjp} = Fator de correção para o poluente i , emitido por um veículo de categoria k , fabricado em um ano j e que processa um combustível p .

Kma_{kj} = Quilometragem média anual desenvolvida por veículos de uma categoria k e que foram fabricados em um ano j .

N_{kjp} = Número de veículos de uma categoria k , que foram fabricados em um ano j e que processam um combustível p .

Para a realização dos cálculos, inicialmente, foram coletados os números totais da frota da RMS no ano de 2009 e sua classificação por categoria veicular. Tais informações foram obtidas junto ao DETRAN-BA (2009) através dos dados de licenciamento da frota. A participação de cada categoria veicular no ano de 2009 pode ser visualizada na Figura 1.

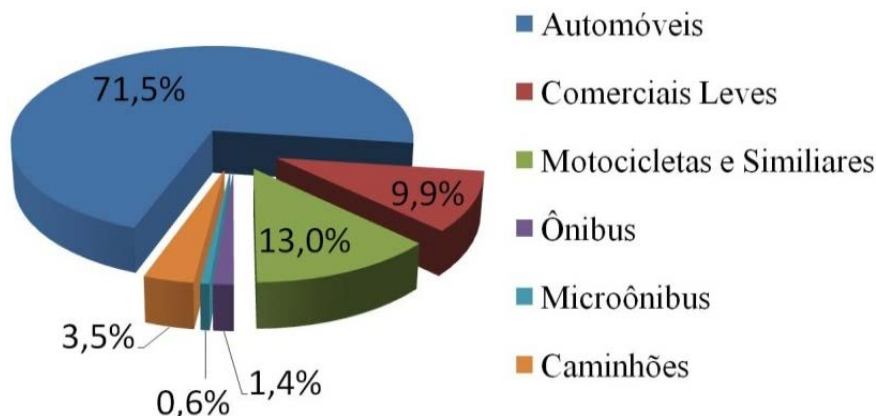


Figura 1: Participação das categorias veiculares na frota da RMS no ano de 2009. Fonte: DETRAN-BA (2009).

Em seguida, fez-se a determinação do percentual da frota pelo tipo de combustível processado a partir dos dados de produção nacional de veículos, disponíveis no site eletrônico da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2009). Desta forma, foi necessário considerar que a evolução da participação dos combustíveis da frota nacional em função do combustível corresponde à realidade da Região Metropolitana de Salvador. Pela ausência de estatísticas para os anos anteriores a 1999, utilizou-se a mesma distribuição do ano de 1999 para tais anos. São mostradas nas figuras 2 e 3 as evoluções da participação dos combustíveis nas frotas de automóveis e comerciais leves.

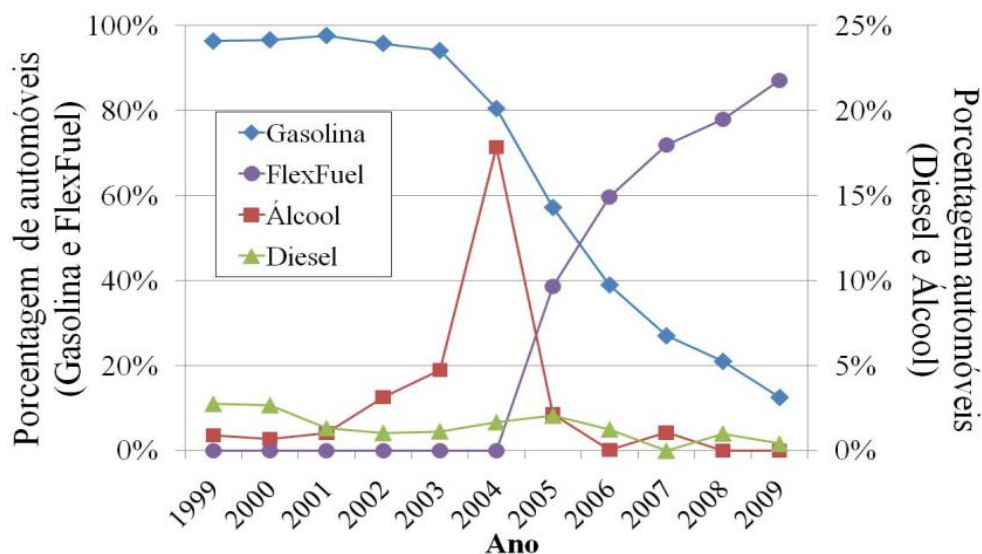


Figura 2: Distribuição da frota de automóveis da RMS por tipo de combustível. Fonte: ANFAVEA, 2009.

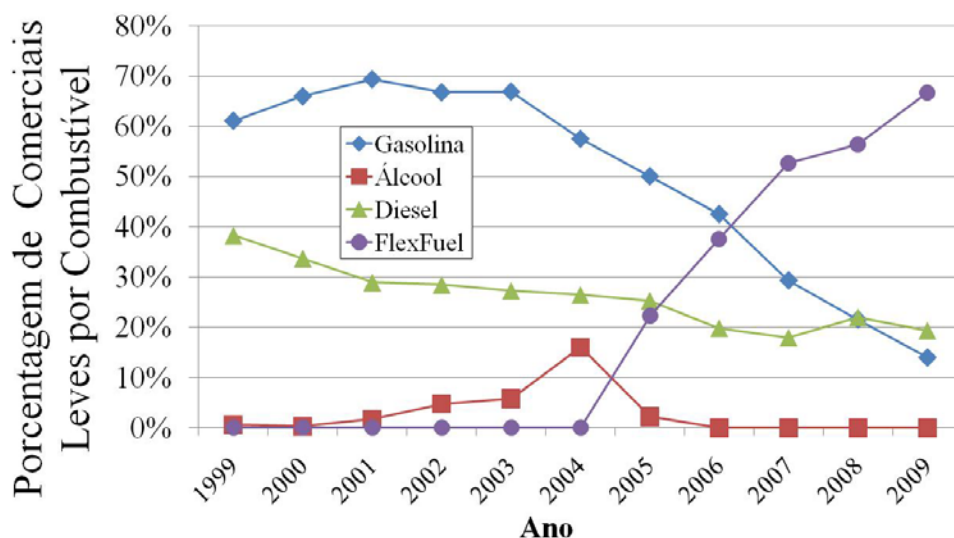


Figura 3: Distribuição da frota de Comerciais leves da RMS por tipo de combustível. Fonte: ANFAVEA (2009).

Os dados da ANFAVEA não apresentam as estatísticas de veículos que processam gás natural veicular (GNV), uma vez que não são fabricados veículos movidos exclusivamente a este combustível, na realidade instalam-se kits de adaptação do veículo ao processamento de GNV. Assim, para a determinação da frota de automóveis que processam GNV foram utilizados os dados fornecidos para o estado da Bahia pelo sítio eletrônico do GASNET (2009). Para que fosse possível determinar o número de veículos convertidos para GNV na RMS, considerou-se que a razão entre o número de automóveis da RMS convertidos para GNV e o número de automóveis do estado da Bahia convertidos para GNV teria a mesma proporção apresentada entre o número de automóveis da RMS e o número de automóveis da Bahia. O número de veículos estimados convertidos para GNV foi, então, subtraído da frota de automóveis que processam gasolina tipo C. A figura 4 apresenta o número de conversões realizadas por ano no estado da Bahia.

A frota de motocicletas e similares foi assumida apenas processando gasolina do tipo C, pois é pequena fração de motocicletas que processam outro tipo de combustível. Na frota de veículos pesados, segundo os dados da ANFAVEA (2009), o percentual que processa outro combustível além do diesel é irrisório. Desta forma, considerou-se que todos os veículos pesados processam diesel.

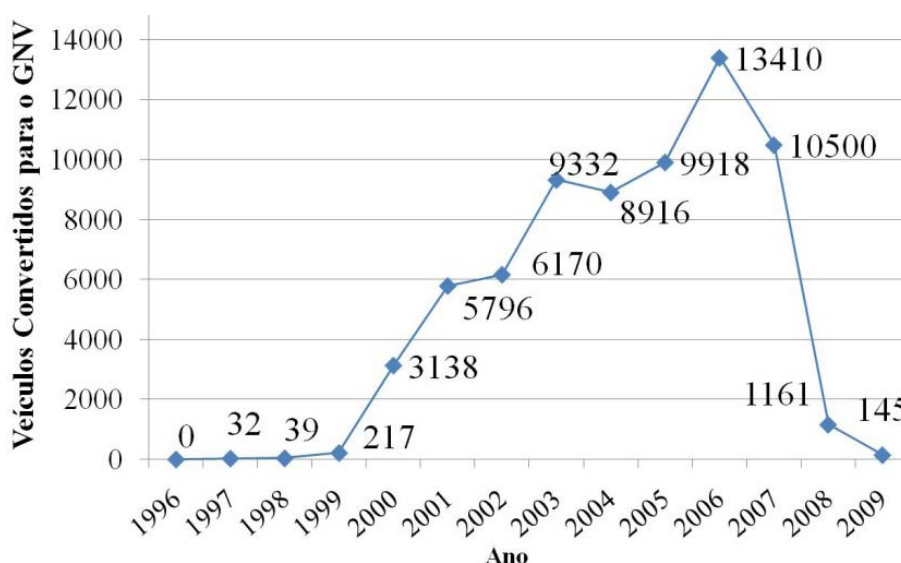


Figura 4 – Conversões de veículos para gás natural veicular no estado da Bahia. Fonte: GASNET (2009).

Após a determinação da evolução da frota em função do combustível processado e do conhecimento da composição da frota em função das categorias, procurou-se obter o perfil de idade da frota da RMS por categoria. Utilizou-se como fonte de dados as tabelas estatísticas fornecidas pelo DENATRAN (2009), tais tabelas apresentam o número de veículos emplacados para cada ano. A determinação do número de veículos novos que entrou em circulação em um dado ano j foi obtido por meio do cálculo indicado na Equação 2.

$$Nf_{kj} = (NL_{kj} - NL_{k(j-1)}) \times Fs_{kj} \quad (2)$$

Onde:

Nf_{kj} = Número de veículos novos de uma categoria k que entraram em circulação no ano j .

NL_{kj} = Número de veículos de uma categoria k emplacados em um ano j .

$NL_{k(j-1)}$ = Número de veículos de uma categoria k emplacados no ano anterior a j .

Fs_{kj} = Fator de sucateamento de veículos de uma categoria k de um ano j .

A diferença entre o número de veículo emplacados em um ano j e um ano anterior a este indica quantos veículos novos entraram em circulação no ano j . Como de um ano para o seguinte há uma parcela da frota que é retirada de circulação por sucateamento, é necessário retirar da frota estimada estes veículos. Para isto usam-se fatores de sucateamento. Os fatores de sucateamento relacionam o número de veículos de determinada categoria e idade ainda em circulação em função do desgaste sofrido por estes. Estes foram obtidos por meio do “1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários” (MMA, 2011), publicado no início de 2011 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011). O perfil de idade da frota da RMS é apresentado nas figuras 5 e 6 abaixo.

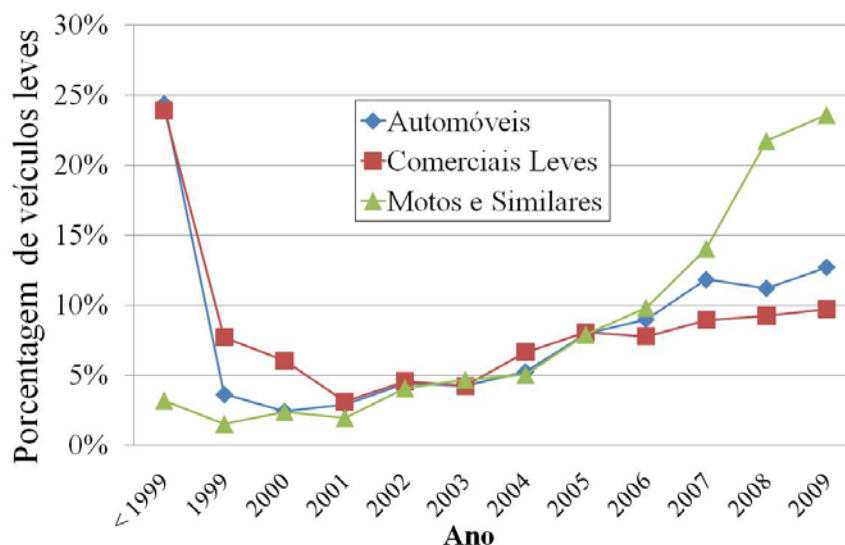


Figura 5 – Distribuição etária da frota de veículos leves da RMS para o ano de 2009. Fonte: DENATRAN (2009).

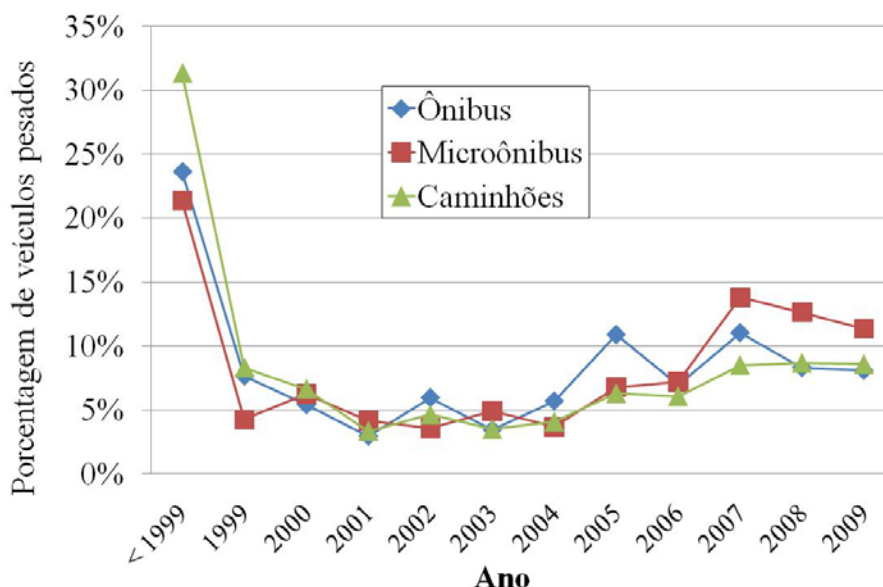


Figura 6 – Distribuição etária da frota de veículos pesados da RMS para o ano de 2009. Fonte: DENATRAN (2009).

A necessidade de se estimar a frota dentro destes três parâmetros (categoria, combustível e ano de fabricação) ocorre pelo fato do método de cálculo utilizado implicar no uso de fatores de emissão específicos para cada tipo de frota. Como os fatores de emissão utilizados quantificam a massa de poluente emitido por quilometro rodado, todos estes fatores influenciam no aumento ou decréscimo da quantidade de poluentes emitidos. A partir da equação 3, estimou-se os números da frota de veículos específicos para cada fator de emissão, com base na sua categoria, ano de fabricação e tipo combustível processado.

$$N_{KJP} = n \times \gamma_k \times \gamma_j \times \gamma_p \quad (3)$$

N_{jkp} : Número de veículos de um ano j, de uma categoria k e que processam um combustível p

n: Número total de veículos da frota

γ_k : Fração de veículos correspondentes a uma categoria k.

γ_j : Fração de veículos correspondentes a um ano j.

γ_p : Fração de veículos que processam um combustível p.

Os fatores de emissão dos automóveis e comerciais leves para os poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx) foram obtidos por meio do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), enquanto os fatores de emissão destes mesmos poluentes para motocicletas e similares foram conseguidos por meio do Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT). Ambos fatores de emissão são publicados nos relatórios de qualidade do ar compilados pela CETESB (2009). Para os poluentes óxidos de enxofre (SOx) e material particulado (MP), utilizou-se os fatores médios de emissão da região metropolitana de São Paulo (RMSP), também disponíveis em CETESB (2009).

Nos dados existentes não se conhece o perfil etário da frota de automóveis e comerciais leves fabricados antes do ano de 1999. Todavia, como esta frota apresenta fatores de emissão bem distintos em função da idade dos veículos, o uso dos fatores de emissão mais novos ou mais antigos não estaria adaptado à taxa de emissão desta frota. Desta forma, fez-se necessário o cálculo de fatores de emissão ponderados que pudessem caracterizar a emissão de toda esta frota. Para isto, considerou-se que o perfil de idade da frota (anterior a 1999) deveria ser o mesmo que o perfil da frota da cidade de São Paulo, obtida em DETRAN-SP (2009) e, a partir disto, realizou-se uma média ponderada entre o percentual da frota de cada ano e os fatores de emissão disponíveis pela CETESB para estes veículos por ano de fabricação.

Já para a frota de motocicletas e similares empregou-se os fatores de emissão do ano de 1998 para a frota fabricada antes de 1999. Acredita-se que este emprego não implica em significativos desvios nas taxas de emissão, visto que, o total da frota de motocicletas fabricadas antes de 1999 é reduzida, quando comparada à frota mais nova.

No caso dos veículos pesados também foram utilizados os fatores de emissão disponibilizados pelo PROCONVE para CO, HC, NOx e MP referidos a esta categoria de veículos. Contudo, como tais fatores são encontrados em gramas de poluente emitido pela energia fornecida pelo combustível em kWh, fez-se necessário converter estes fatores para a unidade de gramas de poluente emitido por quilometro rodado, uma vez que o método de cálculo utiliza a quilometragem desenvolvida para estimar as emissões. Deste modo, utilizou-se a equação 4 (UEDA, 2008), a qual converte os fatores de emissão disponíveis em gramas por quilowatt em fatores de emissão nas unidades de grama por quilômetro rodado.

$$Fe \text{ (g/km)} = Fe \text{ (g/kWh)} \times C \times \rho / \beta \quad (4)$$

Onde:

Fe (g/km): fator de emissão em gramas por quilômetro rodado.

Fe (g/ kWh): fator de emissão fornecido pela CETESB em gramas de poluente por kWh de energia fornecida pelo combustível.

C: consumo em litros por quilometro dos veículos pesados, que segundo BARTHOLOMEU (2006), é de 0,299 L/km.

ρ : massa específica do diesel brasileiro, cujo valor é de 850 g/L (Silveira et al., 2004).

β : Consumo específico em gramas de combustível por kWh de energia gerado, o qual é de 193 g/kWh (Silveira et al., 2004).

A partir da Equação 4, foram convertidos os fatores de emissão para veículos pesados produzidos entre 2001 e 2005 (únicos fatores disponíveis) de gramas por kWh para a unidade de gramas por quilômetro rodado. Para os veículos fabricados anteriormente a 2001, foram empregados fatores de emissão do ano de 2001 e para os veículos produzidos após 2005 foram empregados fatores de emissão de 2005. Da mesma forma que para os veículos leves, os fatores de emissão para óxidos de enxofre corresponderam aos fatores médios de emissão disponíveis para a RMSP (CETESB, 2009).

De toda forma, os fatores de emissão obtidos pelas considerações descritas anteriormente ainda passaram por um tratamento para que se pudesse contabilizar o aumento das emissões em função do desgaste dos veículos e considerar a influência da fração de biodiesel que é adicionada ao diesel comercializado.

A correção dos fatores de emissão em função da idade foi calculada através de método desenvolvido por MURGEL (1987), o qual relaciona o aumento das emissões em função da idade e quilometragem acumulada dos veículos com um fator de deterioração para cada poluente ($F_{c_{ijkp}}$). O fator de deterioração para os poluentes CO ($F_{d_{CO}}$) e HC ($F_{d_{HC}}$) é obtida pela função quadrática da idade (X), como representado nas equações 5, 6 e 7. O fator de deterioração para os poluentes NOx, SOx e MP é igual a 1 (MURGEL, 1987; UEDA, 2010).

$$FD_{CO} = (56,34 + 2,55Y) / 56,34. \quad (5)$$

$$FD_{HC} = (4,43 + 0,25Y) / 4,43 \quad (6)$$

$$Y = (-367,87y^2 + 13.644y) / (1,61 \times 10^4) \quad (7)$$

A correção das emissões por veículos que processam diesel com percentual de biodiesel na composição foi realizada pela metodologia proposta por FEPAM (2010), descrita segundo a Equação 8. Nesta equação, a emissão de poluentes corrigida pelo volume de biodiesel (E_c) é uma função exponencial do volume de biodiesel presente no combustível, sendo E_i a taxa de emissão de poluentes sem a correção do biodiesel:

$$Ec_i = \exp \cdot [a \cdot (\text{vol\%biodiesel})] \cdot E_i \quad (8)$$

O parâmetro “a” presente na equação 8 assume diferentes valores para cada poluente. A tabela 1 apresenta os valores típicos para este parâmetro (U. S. EPA, 2002).

Tabela 1 – Coeficientes “a” para poluentes emitidos por motores do ciclo diesel. Fonte: (U. S. EPA, 2002).

Poluentes	Coeficiente “a”
CO	-0.006561
HC	-0,011195
NOx	0,0009794
PM	-0,006384

Para o emprego da equação 8 foram necessários ajustes, pois segundo a ANP durante o 1º semestre de 2009 o percentual de biodiesel no diesel comercializado era de 2% e no 2º semestre de 2009 esta porcentagem aumentou para 4%. Assim, realizou-se uma média entre os valores obtidos utilizando 2% e 4% de biodiesel para o cálculo das estimativas de emissão em todo o ano de 2009.

Por fim, a quilometragem média desenvolvida pelos veículos foi obtida a partir de diversas fontes em função da limitação dos dados existentes ou ainda da adaptação dos valores à realidade de tráfego na Região Metropolitana de Salvador. A quilometragem média para automóveis e comerciais leves foi obtida através de trabalho de MURGEL (1987) e é apresentada na figura 7. A quilometragem desenvolvida para motocicletas e similares foi considerada igual a 12.000 km (Murgel *et. al.*, 1987) com redução anual de 2% ao ano (ISSRC, 2008; UEDA, 2010). A quilometragem média para veículos pesados por categoria foi conseguida através de BORBA (2008), estimando-se a mesma redução anual de 2% na quilometragem dos veículos.

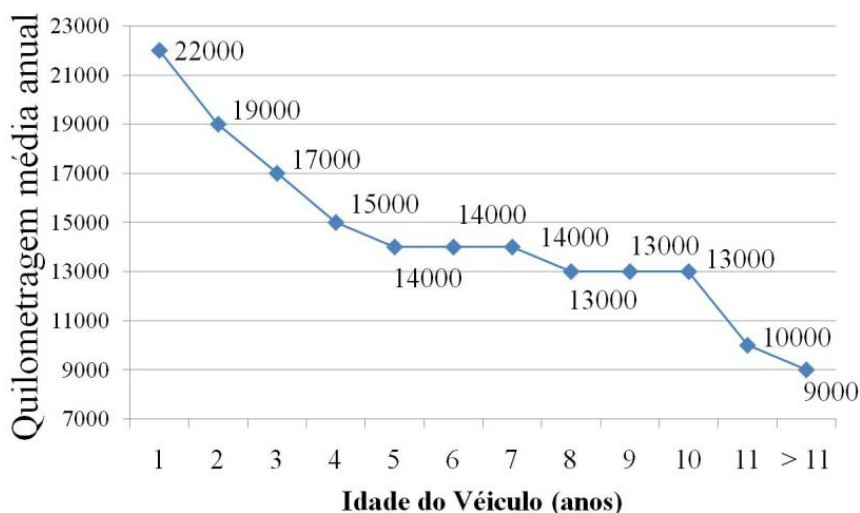


Figura 7: Quilometragem média desenvolvida por automóveis e comerciais leves. Fonte: MURGEL, 1990; AZUAGA, 2000

RESULTADOS

Por meio dos cálculos aplicados, obteve-se as taxas de emissão anual dos poluentes CO, HC, NOx, SOx e MP na região metropolitana do Salvador (RMS) em 2009. A tabela 2, a seguir, apresenta as taxas de emissão obtida para todos os poluentes em cada cidade da RMS no ano de 2009.

Tabela 2: Resultados do inventário de emissões para RMS no ano de 2009.

Cidades	Frota de Veículos	Distribuição percentual na RMS	Taxa de Emissão veicular na RMS para o ano de 2009 (toneladas/ano)				
			CO	HC	NOx	SOx	MP
Salvador	659867	82,7%	95302,7	10505,4	21622,5	961,9	2280,4
Camaçari	39931	5,0%	7568,8	1017,2	2879,3	67,3	226,5
Candeias	12217	1,5%	2834,5	393,6	1192,7	23,9	86,1
Dias d'Ávila	10492	1,3%	2302,4	319,7	957,0	19,6	70,5
Itaparica	1222	0,2%	193,0	25,4	66,5	1,8	5,8
Lauro de Freitas	37948	4,8%	6160,6	745,0	1840,0	60,8	167,7
Madre de Deus	1378	0,2%	284,7	37,9	109,0	2,6	8,4
Mata de São João	4333	0,5%	609,8	79,0	196,1	5,7	17,9
Pojuca	4885	0,6%	959,6	132,8	388,5	8,3	29,6
São Francisco de Conde	2596	0,3%	509,7	70,3	204,3	4,4	15,7
São Sebastião do Passé	3809	0,5%	756,4	104,2	304,7	6,7	23,5
Simões Filho	17105	2,1%	5100,8	748,1	2443,2	40,9	164,3
Vera Cruz	2493	0,3%	441,5	60,0	169,1	4,0	13,7
Total	798276	100,0%	123024,5	14238,6	32372,9	1207,8	3110,1

Os resultados apresentados na Tabela 2 informam que as cidades com maiores participação nas taxas de emissão de poluentes atmosféricos foram Salvador, Camaçari e Lauro de Freitas, enquanto Itaparica, Madre de Deus e Vera Cruz são os municípios com as menores taxas de emissão. Tais resultados já eram esperados uma vez que estes municípios apresentam as maiores e menores frotas da Região Metropolitana de Salvador (RMS), respectivamente.

O poluente com maior taxa de emissão foi o monóxido de carbono (CO) com um total de 123024,5 toneladas no ano de 2009, com uma participação de 71% do total emitido. O monóxido de carbono é um poluente gerado, principalmente, pela combustão incompleta do carbono presente nos combustíveis (CETESB, 2009). Em grandes quantidades, é extremamente danoso à saúde humana, causando falta de ar, tonturas e distúrbios visuais em concentrações elevadas (HINRICHS, 2003).

A segunda classe de poluentes de maior contribuição nas taxas de emissão foram os óxidos de nitrogênio. Nesta classe estão o óxido de nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂), os quais são gerados, principalmente, pela oxidação do nitrogênio presente no ar ou no combustível. NOx são precursores da chuva ácida, uma vez que o contato com água promovem a formação do ácido nítrico (BAIRD, 2002).

Os hidrocarbonetos corresponderam à terceira classe de poluentes mais emitidos, com um total de 14238,6 toneladas. A emissão de hidrocarbonetos é majoritariamente governada pela evaporação de solventes e combustíveis e pela queima parcial dos combustíveis. Juntamente com os óxidos de nitrogênio e a radiação solar formam o ozônio troposférico (O₃), forte oxidante de severos efeitos nocivos à saúde, aos materiais e ao meio ambiente (LYRA, 2008; BAIRD, 2002).

A participação das categorias veiculares (automóveis, comerciais leves, motocicletas e similares, ônibus, microônibus e caminhões) na emissão total de cada poluente é apresentada nas figuras 8, 9, 10, 11 e 12 que seguem abaixo.

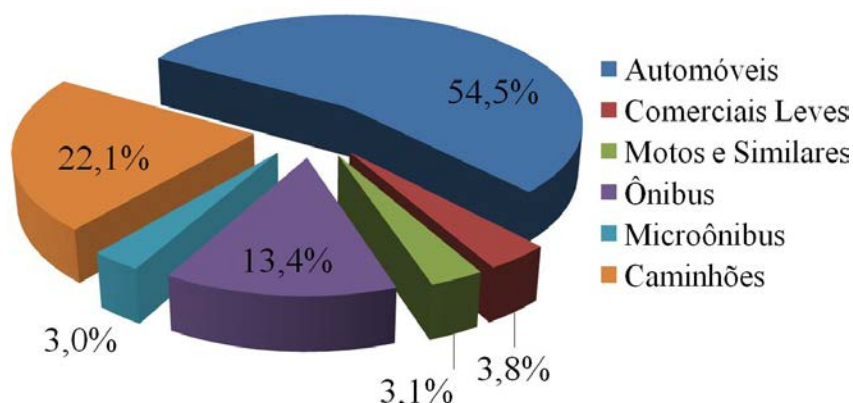


Figura 8: Participação das categorias veiculares na emissão de CO.

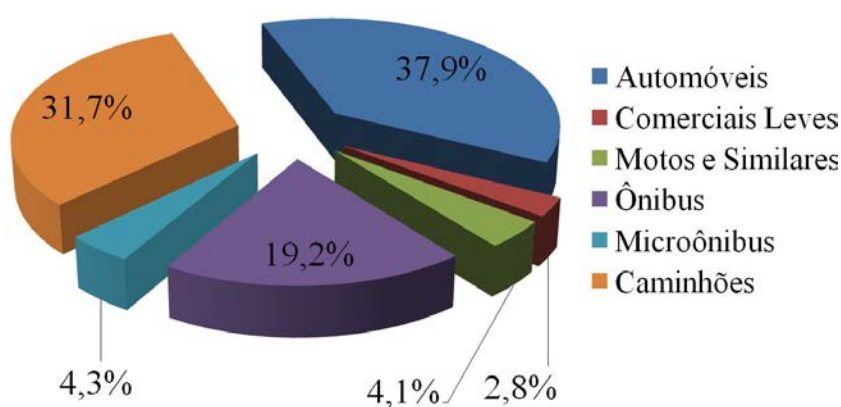


Figura 9: Participação das categorias veiculares na emissão de HC.

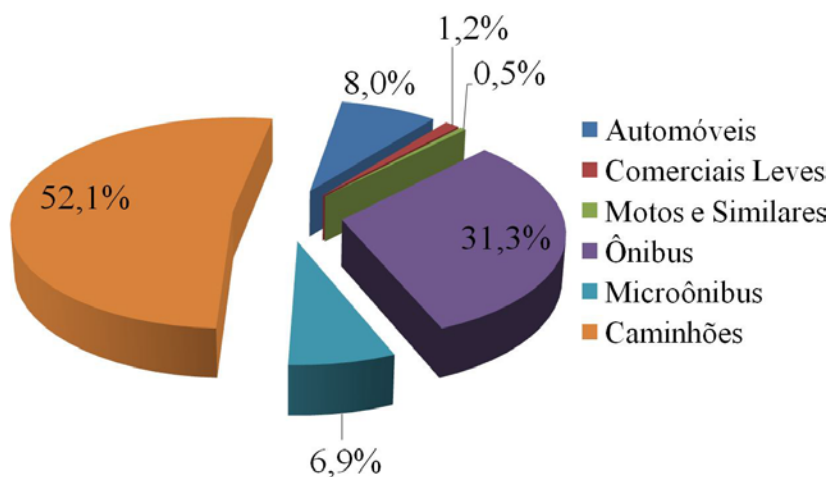


Figura 10: Participação das categorias veiculares na emissão de NOx.

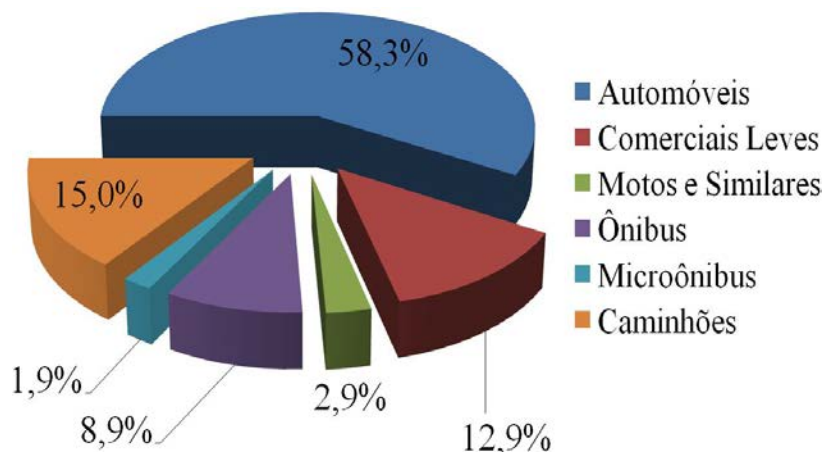


Figura 11: Participação das categorias veiculares na emissão de SOx.

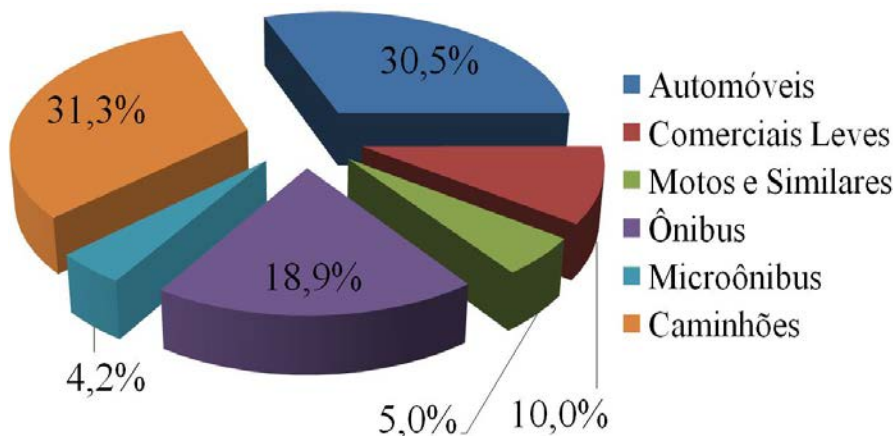


Figura 12: Participação das categorias veiculares na emissão de MP.

Os gráficos apresentados anteriormente indicam que os automóveis correspondem à fração da frota da RMS com maior participação nas taxas de emissão de poluentes, sendo responsáveis pela maior contribuição na emissão de monóxido de carbono (54,5%), hidrocarbonetos (37,9%) e óxidos de enxofre (58,3%). Entendem-se tais resultados como resultado do grande contingente de automóveis inseridos na frota veicular da RMS (cerca de 71% do total).

Os caminhões correspondem à segunda classe de veículos mais poluidora, sendo responsáveis pela emissão majoritária dos óxidos de nitrogênio (52,1%) e material particulado (31,3%). Especialmente no caso dos óxidos de nitrogênio, tal participação deve-se às características dos motores ciclo diesel (em relação à razão ar e combustível adicionado à câmara de combustão), à presença de oxigênio e nitrogênio na composição do diesel e da adição de 5% de biodiesel no combustível. Além de possuir a maior quilometragem média dentre as categorias veiculares, a frota de ônibus da RMS possui uma idade avançada, o que justifica sua significativa participação na emissão de poluentes, uma vez que o desgaste do veículo por questões do seu uso leva a um aumento das emissões (quando comparado com veículos novos).

Especialmente no caso dos óxidos de enxofre, é notório que os veículos pesados possuem fatores de emissão maiores, contudo, verificou-se que os automóveis emitem tal poluente numa quantidade bem superior. Isto é explicado em razão do percentual da frota de automóveis ser muito maior que a dos veículos pesados e por haver, na gasolina tipo C, uma pequena fração de enxofre em sua composição, o número de automóveis faz com que estes sejam os maiores emissores.

As motocicletas e similares não apresentaram participação expressiva nas taxas de emissão, mesmo representando uma parcela significativa do total da frota da RMS. Isto pode ser explicado por desenvolverem

uma quilometragem média menor que outras categorias veiculares e apresentar um perfil etário novo, o que implica no uso de estratégias de controle de emissões mais eficientes.

Os resultados encontrados quando comparados com os obtidos por LYRA (2008), inventário das emissões veiculares da RMS para o ano de 2003, apresentam resultados qualitativos semelhantes. Visto que, em ambos os inventários o CO e o NOx foram as classes de poluentes mais emitidas e tendo os automóveis como as maiores fontes poluidoras. Rigorosamente, os valores obtidos entre os inventários não poderiam ser equivalentes, uma vez que além de existir uma diferença temporal entre os mesmos e uma brusca mudança na composição da frota quanto aos combustíveis processados (observou-se durante este período a evolução da frota de veículos que processam flexfuel em detrimento da frota que processa álcool combustível), a metodologia e considerações utilizadas foram diferentes.

Os inventários realizados por UEDA (2008) e FEPAM (2010) para a região metropolitana de Campinas e para o estado do Rio Grande do Sul, respectivamente, apresentam os mesmos resultados em termos qualitativos e, em termos quantitativos, resultados proporcionais às frotas de cada região, obviamente com determinados desvios em função das considerações feitas em cada inventário.

As diversas limitações nos dados utilizados e as considerações feitas implicam incertezas no total emitido pela frota de veículos da RMS no ano de 2009. Destacam-se entre os fatores causadores destas incertezas o uso de fatores de emissão e dados de quilometragem média, os quais não foram desenvolvidos para a região de estudo, isto ocorreu pela falta de dados específicos para o Estado da Bahia. Além disso, não foi considerado o fluxo cruzado de veículos de outras regiões na RMS e o fluxo de veículos entre os municípios desta região. Tais incertezas levam a desvios tanto no valor absoluto das emissões, quanto na participação das cidades no total emitido. Por fim, como as estatísticas oficiais informam apenas o número de veículos licenciados, não foram computadas todas as contribuições.

O conhecimento dos resultados estimados através deste inventário por órgãos públicos e instituições especializadas é de importância estratégica na tomada de decisões de âmbito urbano e ambiental na RMS. A partir destas é possível traçar planos futuros para o controle da poluição, instalar redes de monitoramento da qualidade do ar em pontos estratégicos, analisar o impacto ambiental de novos empreendimentos e estabelecer um melhor controle do desenvolvimento nas cidades da região.

CONCLUSÃO

O presente trabalho quantificou as taxas de emissão veiculares da Região Metropolitana de Salvador para o ano de 2009. Foram considerados automóveis; comerciais leves (camionetes e caminhonetas); motocicletas e similares; ônibus, microônibus e caminhões, seguindo a nomenclatura do CONTRAN (2009). Os poluentes inventariados por este trabalho foram o monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e material particulado. Foram considerados veículos que processam gasolina do tipo C, álcool, flexfuel, diesel (com adição de biodiesel) e gás natural veicular.

Os resultados obtidos informam que o monóxido de carbono (CO) foi o poluente mais emitido, tendo como principal fonte os automóveis. Os óxidos de Nitrogênio constituíram a segunda maior classe de poluentes emitidos, sendo os caminhões sua principal fonte emissora.

Comparando as cidades da região, Salvador foi o município com a maior participação nas emissões, cerca de 75% do total de poluentes emitidos na RMS. Isto se verificou em função de sua frota licenciada. Em contrapartida, Itaparica (município com a menor frota licenciada) participa com menos de 0,2% do total emitido, apresentando a menor emissão anual de poluentes.

Observa-se que as fontes móveis são as principais responsáveis pela poluição nas cidades (BAIRD, 2002; LYRA, 2008; UEDA, 2010), sendo o significativo crescimento anual das frotas uma preocupação de cunho ambiental. Desta forma, a realização de inventários de emissão são ferramentas essenciais no atual cenário que se enfrenta, onde o aumento da mobilidade urbana e a qualidade do ar são interesses opostos, uma vez que é capaz de verificar tendências de emissões, cumprimento das legislações ambientais, e aprovação de decretos a favor da preservação do meio ambiente. Complementarmente, estas informações poderão ser alimentadas em softwares de dispersão de poluentes buscando determinar as regiões da RMS mais afetadas pela poluição, e os impactos ambientais que estas regiões estão sujeitas.

Por fim, pretendeu-se por meio deste inventário a divulgação da metodologia de cálculo e dos diversos bancos de dados que tornam possível estimar as taxas de emissão de poluentes. Pelo fato de terem sido empregadas informações de fácil acesso, as informações aqui dispostas constituem subsídios para que grupos de pesquisas e instituições especializadas possam promover a realização de inventários de emissões veiculares em outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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 01/02/2011.
2. 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..
3. BAIRD, C. Química Ambiental, 2ª ed., Bookman, Porto Alegre - RS, Brasil, 2002.
4. 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>. Acesso em 24/02/2011.
5. 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.
6. CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2009, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2010.
7. CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito). Resolução Nº 340, 25 de Fevereiro de 2010.
8. DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Frota fabricada por município. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 31/01/2011.
9. DETRAN-BA (Departamento Estadual de Trânsito do Estado da Bahia). Frota de veículos por CIRETRAN e municípios. Disponível em: <<http://www.detrان.ba.gov.br/estatistica/index.php>>. Acesso em 17/02/2011.
10. 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>>. Acesso em 15/02/2011.
11. FEPAM /RS (Fundação Estadual De Proteção Ambiental Henrique Luis, 1º Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul, Ano Base: 2009. Rio Grande do Sul, 2009.
12. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 15 mar 2011.
13. GASNET. Perfil do GNV no Brasil - Conversões por estado. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/novo_gnv/perfil_gnv_brasil.asp>. Acesso em 13/03/2011.
14. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 15mar 2011.
15. ISSRC (International Sustainable Systems Research Center). Disponível em: < <http://www.issrc.org/ive>>. Acesso em 20/01/2011.
16. 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.
17. MURGEL, E. M. Veículos Automotores, O Proálcool e a Qualidade do Ar, CNI, COASE, Rio de Janeiro, 1990.
18. MURGEL, E. M.; SZWARC, A.; SANTOS, M. D. S. R.; BRANCO, G.M.; CARVALHO, H. Inventário de Emissão Veicular – Metodologia de Cálculo. Engenharia Sanitária, vol. 26, nº 3, p. 292-296, 1987.
19. 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.
20. 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.
21. U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency). A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report, 2002.
22. U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency). Introduction to Emission Inventories. Disponível em: <<http://epa.gov/air/oaqps/eog/course419a/index.html>>. Acesso em 15/11/2010.