

INVENTÁRIO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR.

Autor:

Diógenes Ganghis Pimentel de Lyra

Engenheiro Químico da Cetrel S.A, Doutorando em Engenharia Química pela UNICAMP, Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia/2001, Especialista em Gerenciamento Ambiental na Universidade Católica do Salvador/1999 e Professor do Dep. de Processos Industriais do Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-BA.

1. Resumo

A poluição atmosférica tem sido um dos principais temas de interesse no meio científico, tendo em vista sua implicação na qualidade da saúde humana, dos ecossistemas e dos bens construídos, identificando-se com uma dimensão fundamental na busca do desenvolvimento sustentável.

O inventário de emissões de poluentes atmosféricos é um instrumento estratégico para o manejo do recurso atmosférico e reflete a intensidade com que diferentes usuários utilizam este recurso ambiental comum. O inventário identifica os emissores de poluentes atmosféricos, caracteriza os poluentes emitidos, a periodicidade da emissão e sua localização. Tanto as fontes fixas como móveis necessitam ser inventariadas continuamente a fim de direcionar as medidas preventivas ou corretivas que assegurem a melhoria e manutenção da qualidade do ar.

A avaliação da qualidade do ar numa região depende da obtenção de dados confiáveis que descrevam as condições ambientais existentes e sejam representativos. Tudo isso nos leva a encarar a poluição atmosférica como um problema de gestão pública e do bem estar comum e, em decorrência desta premissa, à montagem de uma Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para a Região Metropolitana de Salvador (RMS).

A área objeto de estudo selecionada contempla a toda RMS onde contempla a área de influência de dois grandes pólos industriais e 10 municípios totalizando 3 milhões de habitantes. A área de estudo compreende um quadrado de 6.536 Km².

O presente trabalho apresenta assim o inventário das emissões atmosféricas das indústrias e veículos da Região Metropolitana. O principal resultado é que, após o levantamento das emissões industriais e veiculares, obteve-se que, apesar de que uma grande concentração industrial as emissões veiculares são em média 75% de todas as emissões atmosféricas.

Palavras-Chave: poluição atmosférica, modelagem matemática, inventário de emissões.

2. Introdução

O inventário de emissões é uma poderosa ferramenta para avaliar o progresso obtido no cumprimento das metas de redução de emissões ou ainda, um importante

instrumento de avaliação da estratégia de controle ou manutenção da qualidade do ar.

Essa ferramenta permite uma avaliação global de todos os poluentes emitidos, bem como a localização das emissões e as suas características físicas. Os inventários são usados prioritariamente no estudo de tendências anuais para verificar se o aumento ou a diminuição da produção de uma empresa repercute em mudanças detectadas na qualidade do ar.

Cabe destacar que os resultados obtidos em um inventário possuem uma série de usos importantes, além de sua utilização como dados de entrada nos simuladores de dispersão dos poluentes, como, por exemplo, identificar as principais fontes de emissões, os principais poluentes emitidos e estabelecer uma base para programas/estratégias de controle de perdas.

3. Tipos de estimativa de emissões

A escolha de um procedimento para determinação das emissões atmosféricas depende do tipo de fonte, do tipo de poluente e do nível de precisão desejado ou requerido pela legislação.

A melhor forma de estimar as emissões de poluentes é usar dados provenientes do monitoramento das fontes de emissão. Porém, é quase impossível monitorar todas as fontes, devido o alto custo financeiro de tal procedimento, por este motivo são usados os fatores de emissão da U.S.EPA (1996), que permite uma estimativa rápida, baseando-se em alguns parâmetros conhecidos. Deve-se observar que o levantamento das emissões atmosféricas deve ser realizado de forma homogênea, para que seja possível comparar as emissões de diferentes unidades industriais, por exemplo, caldeiras de diferentes empresas. Ressaltam-se quatro técnicas preferenciais, o monitoramento contínuo das emissões, medição de fonte, balanço material e fatores de emissão.

- O *monitoramento contínuo de emissões* permite o registro das emissões por um período de tempo extenso e ininterrupto. As taxas de emissão são calculadas multiplicando-se a concentração do poluente pela vazão dos gases de saída. Esta é a melhor maneira de se realizar um inventário embora os custos sejam elevados. A alternativa é a utilização de uma das demais técnicas.
- A *medição de fonte* é muito usada para estimativa das emissões de processo e consiste em medições em uma chaminé ou em um “vent” de processo. A diferença essencial entre a medição na fonte e o monitoramento contínuo é o tempo de medição, que, no primeiro caso, é feito por um curto período.
- Os *fatores de emissão* constituem uma das mais úteis técnicas para estimar as emissões atmosféricas de uma planta. Um fator de emissão estabelece uma relação simples entre a quantidade de poluente emitida e um parâmetro conhecido de processo como, por exemplo, o consumo de combustível. Os dados de análise do combustível podem ser usados para estimar as emissões com base nas leis de conservação da massa. Uma vez conhecida a concentração de um poluente, ou do precursor de um poluente, assume-se que todo o poluente é emitido para a atmosfera.
- *Balanço material* ou *balanço de massa* é muito usado para estimar as emissões de diferentes tipos de fontes. Estimam-se as emissões pela diferença entre os materiais de entrada e saída em um vaso, no processo ou em toda a planta. Só deve ser usado quando a medição na fonte não for possível ou quando não

houver fatores de emissão ou outras técnicas disponíveis. O Balanço material é mais apropriado quando as perdas de uma determinada substância, através dos efluentes líquidos e dos resíduos sólidos puderem ser calculadas com grande exatidão.

4. Emissões Industriais

A emissão de um determinado poluente atmosférico está relacionada com as diferentes origens de emissão. A emissão de dióxido de enxofre (SO₂) está relacionada, principalmente com a queima de combustível. Já a emissão de orgânicos voláteis (COV) pode ocorrer na estocagem, como em seu processamento. Com o objetivo de se estabelecer alguns critérios práticos para, o levantamento das emissões atmosféricas, estas emissões foram classificadas em pontuais, fugitivas e evaporativas para as emissões industriais e ainda as emissões veiculares.

4.1. Emissões Pontuais

As emissões pontuais são as chaminés de fornos e caldeiras, unidades de processo como vents, flares, colunas de destilação e absorção. Destas fontes, devem-se conhecer os seguintes dados: altura, diâmetro e coordenadas das chaminés (x,y) em UTM – Projeção Universal Transversal de Mercator (posição geográfica no globo), temperatura, velocidade e concentração de saída dos gases.

4.1.1. Fornos/Caldeiras

As emissões da queima de combustível dependem do estado físico do combustível, de sua composição, pois variando as características dos combustíveis variam, também suas emissões. Também é importante conhecer o tipo de equipamentos utilizados na queima, tais como o tipo de caldeira, queimadores, etc.

Com o objetivo de calcular as emissões atmosféricas, provenientes destas fontes, é necessário conhecer os dados referentes ao consumo e composição do combustível (óleo e/ou gás combustível); tipo de caldeira/forno; horas de operação por ano e a densidade do óleo/gás em kg/m³. A partir destes dados são calculadas as emissões de SO₂, NO_x, CO, Material Particulado e Compostos Orgânicos Totais. Para isso, devem-se aplicar os coeficientes apresentados na compilação de fatores de emissão apresentada pela U.S. EPA no AIR CHIEF¹ NTIS (2003) que mostra qual a taxa de emissão de um determinado poluente por m³ de combustível consumido. Como por exemplo, os fatores de emissão para queima de óleo combustível em caldeiras não controladas, são apresentados na Tabela 1.

Para a elaboração do inventário, com o objetivo de calcular a dispersão dos poluentes na atmosfera, deve-se fornecer a vazão e temperatura dos gases de combustão na saída da chaminé, número de horas de operação de cada unidade para o período de um ano típico e as dimensões das chaminés.

Tabela 1 - Fatores de emissão para queima de óleo combustível em caldeiras, NTIS (2003).

TIPO DE CALDEIRA	EMISSIONES (Kg/m ³ DE ÓLEO)					
	SO ₂	SO ₃	NO _x	CO	MP	COT ^(a)
Caldeira para geração de energia elétrica, com queima frontal.	19 % _S ^(b)	0,69 S	8	0,6	(c)	0,125
Caldeira industrial (óleo tipo 5 ou 6)	19 % _S	0,24 S	6,6	0,6	(c)	0,154
Caldeira industrial (óleo n.º 4)	8 % _S	0,24 S	2,4	0,6	(c)	0,030
Caldeira industrial (óleo destilado)	17 % _S	0,24 S	2,4	0,6	(c)	0,030

(a) COT = Compostos orgânicos totais. (b) %_S - Indica que a porcentagem (em peso) de enxofre no óleo deve ser multiplicada pelo coeficiente fornecido na tabela. (c) Os fatores de emissão para partículas variam em função do tipo de óleo e do teor de enxofre no óleo, de acordo com as seguintes equações: 1) Óleo N^o 6: 1,12S + 0,37 Kg/m³, 2) Óleo N^o 5: 1,2 Kg/m³, 3) Óleo N^o 4: 0,84 Kg/m³, 4) Óleo N^o 2: 0,24 Kg/m³.

4.1.2. Flare

O Flare é uma emissão do tipo pontual, que é necessário determinar mais alguns dados que os demais tipos de fontes pontuais, por este se tratar de um processo de combustão aberta. Em geral, a composição e a vazão do gás enviado para o flare variam extremamente e são ainda, de difícil monitoração. As emissões do Flare devem ser calculadas com base nos coeficientes de emissão do AP-42, NTIS (2003), mostrados Tabela 2, onde as emissões provenientes deste equipamento são baseadas na queima de um gás cuja composição contém 80% de propeno e 20% de propano. Ressalta-se que esta estimativa é bastante conservadora uma vez que não se conhece a composição de alimentação do flare.

Para realizar o inventário de emissões de flare, deve-se determinar a altura do Flare (m), diâmetro interno (m), número de horas de operação por ano, vazão (m³/s), temperatura de queima (K), composição da corrente de alimentação (% volumétrico) e calor de combustão de cada componente da mistura.

Tabela 2 - Classe dos fatores de emissão, NTIS (2003).

COMPONENTE	FATOR DE EMISSÃO (Kg/10 ⁶ Kcal)
Hidrocarbonetos totais ^(a)	0,252
Monóxido de carbono	0,666
Óxidos de nitrogênio	0,122
Material particulado (MP)	0 - 274 ^(b)

(a) Medidos como equivalente de metano. (b) O fator de emissão para MP é expresso em µg/l, e varia de acordo com o nível de fumaça.

4.1.3. Emissões de Processo

Os fatores de emissão das unidades pontuais de processo, torres de destilação, torres de stripping, vent's, variam de acordo com os produtos químicos manipulados e deve-se tomar como fonte de referência o AP-42, NTIS (2003). A Tabela 3 apresenta a emissão de Estireno na produção de Poliestireno.

Recomenda-se que, quando não existir coeficientes de emissões disponíveis usem as técnicas de balanço material. Pode-se também adotar os mesmos fatores usados em Refinarias de Petróleo, NTIS (2003), para se obter estimativas razoáveis, nas emissões pontuais.

Tabela 3 - Emissões de Estireno da Fabricação de Poliestireno, NTIS (2003)

FONTE	TIPO DE PROCESSO	EMISSÕES SEM CONTROLE
		KG DE ESTIRENO/T DE RESINA
Tanque de Mistura	Contínuo	0,009
Vent do Reator	Batelada	0,15 – 1,35
Vent do Condensador	Batelada	0,25-0,75
	Contínuo	0,05-0,06
Vent do Condensador da unidade de recuperação de Estireno.	Contínuo	0,05-0,13
Vent da Extrusora	Batelada	0,15-0,30
	Contínuo	0,009-0,01

4.2. Emissões Fugitivas

As emissões fugitivas são provenientes de compostos de orgânicos voláteis, e incluem-se perdas de vapores oriundas dos equipamentos do processo. No levantamento de emissões fugitivas devem-se incluir as bombas, válvulas, flanges, conexões e tomada de amostra, e estas são consideradas fontes do tipo volume.

A emissão deste equipamento representa uma parcela significativa das emissões totais de uma planta de processamento de orgânicos. Isto se deve ao fato de que, apesar de individualmente esses acessórios contribuírem pouco, o seu grande número faz com que o total de emissões seja extremamente significativo.

Para simplificar a tarefa de estimar estas emissões, recomenda-se quantificar estes equipamentos em “um” processo que seja representativo para toda a empresa, ou caso seja necessário, classificar as unidades em pequena, média e grande, contando os equipamentos em cada uma delas; extrapolar o número total de válvulas, flanges, bombas e compressores (estimados) para toda a indústria e determinar com o pessoal de operação dos processos envolvidos se a estimativa do número destes equipamentos é razoável.

Após esta estimativa inicial dos números de acessórios deve-se aplicar a metodologia baseada em fatores de emissão específicos para os diferentes tipos de serviços (líquido, gás etc.) destacados na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores médios de emissão para indústria química orgânica, NTIS (2003)).

FONTE	SERVIÇO	FATOR DE EMISSÃO (kg/h/fonte) ^(*)
Válvulas	Gás/Vapor	0,00597
	Líquido leve	0,00403
	Líquido pesado	0,00023
Selos de bombas	Líquido leve	0,0199
	Líquido pesado	0,00862
Selos de compressores	Gás/Vapor	0,228
Válvulas de alívio	Gás/Vapor	0,104
Flanges/Conexões	Todos os tipos	0,00183
Linhas abertas(Drenos)	“ “ “	0,0017
Conexões para tomada de amostras	“ “ “	0,0150

(*) Os fatores referem-se a compostos orgânicos totais

Além do conhecimento do número de equipamento, de acordo com SCHAICH

(1991), é importante determinar a que altura as emissões estão ocorrendo e qual é a área da unidade, pois estas informações aproximam a situação mais próxima da realidade. Então, para completar o levantamento de emissões fugitivas é necessário conhecer:

- Altura de emissão acima do solo: no caso das unidades industriais, considera-se a altura das emissões fugitivas da planta como a metade da altura média de cada unidade.
- As dimensões laterais (σ_{y0}) e verticais (σ_{z0}) das fontes volume: os modelos matemáticos usam um algoritmo para as “fontes pontuais virtuais” para modelar os efeitos das fontes volumes, o que significa que uma fonte pontual virtual ou imaginária é localizada a certa distância a montante, das fontes volumes, denominada “distância virtual”.

4.3. Emissões Evaporativas

As emissões evaporativas são provenientes de áreas abertas para a atmosfera. Compõe este tipo de emissão as bacias de decantação, lagoas de estabilização, reatores abertos como as bacias de tratamento biológico de efluentes líquidos, separadores de água e óleo, redes de drenagem, tanques, ilhas de carregamento e torres de refrigeração.

4.3.1. Bacias e Lagoas

As bacias de decantação, lagoas de estabilização, reatores abertos como as bacias de tratamento biológico de efluentes líquidos, separadores água e óleo e redes de drenagem são consideradas fontes do tipo área.

Para o cálculo das emissões deste tipo de fonte, deve-se, inicialmente, alimentar o Exinter, ASSUNÇÃO (2000), interface Windows do simulador de dispersão de poluentes atmosféricos, ISCST3, desenvolvido pela US.EPA no modo LAGOON¹ que permite realizar o cálculo de emissões gasoso de efluentes líquidos, separadamente, para cada poluente presente na fase líquida, para calcular sua razão de emissão para o ar, baseado na lei de Henry, EXINTER (1996).

4.3.2. Armazenamento: estocagem e transferências

A área de armazenamento (tanques) e transferência (ilhas de carregamento) constitui uma grande fonte de emissões atmosféricas de material volátil. Por isso, deve-se sempre inventariar estas unidades. Para tanques é necessário conhecer os seguintes dados:

- O tipo de produto armazenado nos tanques.
- A curva de pressão de vapor ou as constantes de Antoine do produto armazenado.
- As dimensões dos tanques.

¹ LAGOON – Módulo de cálculo da emissão de VOCs na fase líquida para a atmosfera, este módulo pertence ao programa Exinter.

- A altura máxima e média do líquido no tanque.
- O volume de trabalho, ou seja, o volume da carga que o tanque costuma trabalhar.
- A quantidade de vezes em que o tanque é esvaziado e cheio por ano – TURNOVER.
- Se o tanque é aquecido.
- O tipo de teto do tanque: fixo ou móvel?
- A cor do costado e do teto - branco, alumínio brilhoso, alumínio difuso, cinza claro, cinza médio ou vermelho.
- Se o estado de conservação do tanque e do teto é bom ou ruim.
- Caso o teto do tanque seja flutuante, é necessário saber qual o tipo de selagem - mecânica, líquida ou vapor.

Para a determinação das emissões evaporativas faz-se necessário o conhecimento dos parâmetros meteorológicos, tais como a pressão atmosférica local, as medidas da temperatura máxima e mínima, a radiação solar e a velocidade média do vento de todos os meses do ano da região em estudo, pois esses parâmetros influenciam diretamente na quantidade de poluente emitido.

4.4. Emissões Atmosféricas Veiculares

As emissões de origem veicular advêm do tubo de escapamento (gases), do sistema de alimentação de combustível, respiros, juntas e conexões (emissão evaporativa) e dos respiros do cárter (emissão do cárter). Também deve ser considerado o material particulado gerado pelo processo de combustão e desgaste de pneus e de pastilhas ou lonas de freios. A composição e proporção dos gases dependem da natureza do combustível (álcool, diesel, gasolina, gás natural, etc.) e sistema de combustão, Melchioris (2003).

Os gases mais conhecidos e cujos limites estão definidos na legislação são o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x). Também podem ser citados outros poluentes emitidos tais como o dióxido de carbono (CO₂), aldeídos (RCHO), clorofluorcarbono (CFC) e material particulado (MP). A maioria destes poluentes causa problemas respiratórios, mas convém ressaltar outros malefícios causados.

4.4.1. Metodologia

A emissão dos poluentes veiculares é determinada pela multiplicação da quilometragem anual média rodada (KM) por um número N de veículos da frota de cada ano e por um fator de emissão (F_E). Este fator, expresso em g/km, é determinado em laboratório de acordo com a NBR 6.601. Seu valor depende do combustível, ano/modelo do veículo e varia de poluente para poluente. Pode-se dizer que, para veículos novos, a emissão E (toneladas/ano) de um dado poluente pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$E = F_E * KM * 10^{-6}$$

A forma de cálculo apresentada na equação acima é, usualmente, empregada para a realização do inventário de emissões veiculares pela Agência de Proteção

Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e pelo Órgão Estadual de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - CETESB. Os fatores de emissão médios da CETESB (2004) são apresentados na Figura 1.

FONTES DE EMISSÃO	TIPO DE VEÍCULO	FATOR DE EMISSÃO (g/km)				
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
TUBO DE ESCAPAMENTO	GASOLINA C	12,30	1,26	0,70	0,12	0,08
	ÁLCOOL	19,30	2,09	1,16	--	--
	DIESEL	17,80	2,90	13,00	0,43	0,81
	TÁXI	1,00	0,20	0,25	0,11	0,06
	MOTOCICLETA E SIMILARES	19,70	2,60	0,10	0,04	0,05
EMISSÃO DO CÂRTER E EVAPORATIVA	GASOLINA C	-	2,00	-	-	-
	ÁLCOOL	-	1,50	-	-	-
	MOTOCICLETA E SIMILARES	-	1,40	-	-	-
PNEUS	TODOS OS TIPOS	--	--	--	--	0,07

Figura 1 - Fatores médios de emissão dos veículos em uso na RMSP- Tabela 3 do Relatório da CETESB 2004.

5. Emissões da Região Metropolitana de Salvador

5.1. Caracterização da RMS

A Região Metropolitana de Salvador - RMS é formada por 10 municípios, uma região com áreas predominantemente residenciais, como por exemplo, Salvador e Lauro de Freitas, e outras áreas industriais como Camaçari e Candeias, ver Figura 2. A sua população é de aproximadamente 3 milhões de habitantes divididos entre a zona urbana (98%) e rural (2%), sendo que a cidade de Salvador corresponde a 81% da população da RMS.

A RMS está localizada na costa nordestina do Brasil, região de clima tropical – quente e úmido, apresentando índices pluviométricos superiores a 1.900 mm anuais e ventos praticamente constantes, do quadrante leste (SE, E, NE), com velocidade média em torno de 3 m/s.

A principal cidade da RMS é Salvador, capital do Estado da Bahia, que é composta por três fachadas: as fachadas leste e sul, voltadas para o Oceano Atlântico e a fachada oeste, voltada para a Baía de Todos os Santos.

A topografia da cidade é complexa, com um relevo cheio de detalhes acidentados com cumeadas interligadas e vales intersticiais onde estão implantadas as principais vias de tráfego.

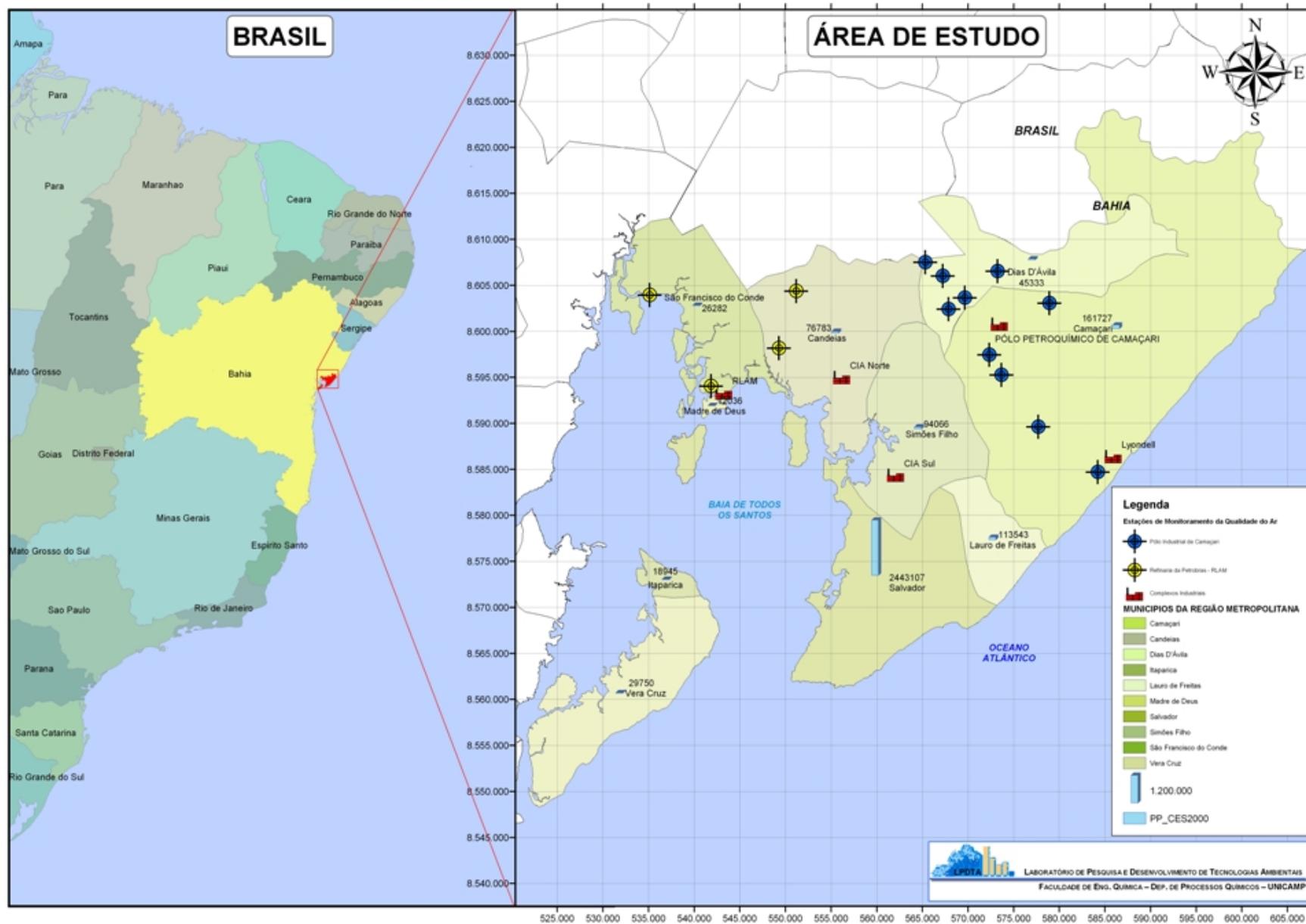


Figura 2 – Região Metropolitana de Salvador.

5.1.1. Indústrias da RMS

Na Bahia, o setor Químico e Petroquímico é um dos mais importantes de sua economia. É responsável por 35% da produção industrial do Estado, além de representar 18% dos investimentos privados na Bahia. Estão previstos para o setor, até 2007, aproximadamente 4 bilhões de reais em investimentos, num total de 74 projetos, segundo dados da SEI (Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia).

A região de maior desenvolvimento na indústria química e petroquímica do Estado é o Eixo Metropolitano. Esse eixo caracteriza-se pela maior concentração industrial e dos investimentos direcionados para a Bahia, com uma participação de 63% da produção do Estado, 21,5% da população baiana e três principais centros industriais da região ligado ao setor químico e petroquímico, relacionados abaixo

- Pólo Industrial de Camaçari: Município de Camaçari, a 35 km de Salvador. Área total: 233,53 km². O Pólo ocupa área de 233,53 km² na Região Metropolitana da cidade de Salvador e é formado por 60 empresas, dentre elas 34 químicas e petroquímicas. O Pólo tem capacidade instalada de 8 milhões de toneladas por ano de produtos químicos e petroquímicos básicos, intermediários e finais e fornece praticamente a metade das necessidades de produtos químicos e petroquímicos do país. O Pólo é o maior e mais importante complexo industrial integrado da América Latina. São produzidos cerca de 2,4 milhões de toneladas/ano de petroquímicos básicos destinados ao suprimento de cerca de 40 indústrias de segunda geração petroquímica ou à exportação. Além do setor químico/petroquímico, complementam o Pólo, indústrias dos segmentos de celulose, bebidas, metalurgia do cobre, têxtil e automotivo.
- Centro Industrial de Aratu (CIA): Municípios de Simões Filho e Candeias, a 18 km de Salvador. Área total: 196 km². O CIA possui 150 km de rodovias internas, que o conectam aos portos de Aratu e Salvador, por onde escoam seus produtos industriais. Suas empresas totalizam 170 e operam em atividades da indústria química, metal-mecânica, madeireira, processadora de alimentos, metalúrgica, farmacêutica, têxtil, de borracha, de artefatos de plástico e outros.
- Refinaria Landolfo Alves (RLAM): Localiza da no município de São Francisco do Conde, com área construída de 6,4 km². Seus principais produtos são propano, propeno, iso-butano, gás de cozinha, gasolina, diesel, nafta petroquímica, querosene, querosene de aviação, parafinas, óleos combustíveis e asfaltos. A refinaria possui uma capacidade instalada de 307 mil barris/dia. A RLAM é a principal fornecedora de matéria-prima (Nafta) ao Pólo Petroquímico de Camaçari.

5.1.2. Frota de Veículos da RMS

A RMS possui uma frota que corresponde a 43% de toda a frota de veículos do Estado da Bahia, sendo que a cidade de Salvador corresponde a 88% desta frota. Sendo assim, o foco do estudo das emissões veiculares será a Capital do estado, Salvador.

O sistema viário de Salvador é caracterizado por vias construídas sobre as cumeadas servindo como vias coletoras do tráfego dos núcleos residenciais, comerciais e de serviços e por avenidas de vales que recebem o tráfego das cumeadas constituindo-se em importante canal de escoamento de veículos ligando diversas regiões da cidade. Também fazem parte, e são de extrema importância

para a cidade, às vias perimetrais que contornam praticamente toda a costa da cidade, sejam a costa atlântica ou a costa da Baía de Todos os Santos.

No período de 1992 a 2003, a frota total de Salvador aumentou 21,4%, passando de 393.127 para 477.288 veículos. A frota de veículos movidos à gasolina sofreu um grande aumento de 1992 a 1999 (de 131.873 para 291.955 veículos). Já a frota de veículos a álcool tem diminuído a partir de 1993, apesar de este decréscimo ter reduzido entre os anos de 1996 e 1999, o que indica um pequeno aumento da frota entre os anos de 1997 e 1999.

Os automóveis representam a maior parcela da frota de veículos (77,6%). É por isso que a maior preocupação dos grandes centros urbanos com a poluição do ar recai sobre os veículos leves, ou seja, sobre os automóveis. Assim este será um foco do estudo.

5.2. Emissões Industriais

Não existe muitos resultados de medição em fontes pontuais, por este motivo a metodologia básica de trabalho utilizada consiste no uso de balanços de massa e na aplicação de fatores de emissão, específicos para processos petroquímicos, refinarias de petróleo, obtidos na literatura especializada, e que, aplicados a parâmetros conhecidos dos processos, tais como: quantidade de produto final de determinada unidade industrial; Consumo de combustíveis em fornos e caldeiras, permitem calcular as emissões atmosféricas. Os fatores de emissão são frequentemente o melhor ou o único método disponível para estimar emissões, apesar de suas limitações.

Os fatores de emissão utilizados neste trabalho são os desenvolvidos e recomendados pela EPA através de suas publicações “Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42” e “Preferred and Alternate Methods for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks” (EPA, 1995). As principais referências para o uso de fatores de emissão são: o “Air Chief” (www.epa.gov/ttn/chief) da EPA, que inclui o AP-42 adotado neste trabalho.

Um fator de emissão é um valor representativo que relaciona a carga de um determinado poluente emitida para a atmosfera, e a atividade associada à emissão do poluente. Eles são, geralmente, desenvolvidos para representar as cargas de poluentes médias, emitidas em um longo prazo, como por exemplo, as cargas médias anuais, e em condições normais de operação. Por isto os fatores de emissão não são aconselháveis para estimar emissões durante períodos curtos (NEVES & ASSUNÇÃO, 2001).

Seguindo os critérios do AP-42, foram analisadas as principais empresas atualmente em funcionamento na RMS, na qual foram selecionadas quarenta e duas (42) delas para compor o inventário de emissões. Estima-se que estas empresas selecionadas sejam responsáveis por mais de 80% das emissões industriais de poluentes do ar na área objeto de estudo. Ressalta-se que existem mais algumas fontes de emissão, entretanto as os dados não estavam disponíveis.

Sendo assim, o levantamento baseado no inventário de 42 empresas do Pólo Petroquímico de Camaçari e na Refinaria Landulfo Alves – dados de 2003. Os dados estão disponíveis no órgão estadual de meio ambiente (Centro de Recursos Ambientais da Bahia – CRA). Os parâmetros inventariados foram: Material Particulado (MP), Dióxido de enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Composto orgânicos totais (COT). A Tabela 5 mostra o resumo

de todas as emissões atmosféricas industriais, já a Tabela 6 mostra a variação entre as 42 empresas estudadas. Ambas as tabelas estão detalhadas por tipo de fonte e poluente detalhadas por diferentes tipos de fonte e poluentes.

5.2.1. Fontes Pontuais

As fontes de emissões industriais consideradas neste estudo formando um grupo de 218 fontes pontuais identificadas e com suas localizações em coordenadas globais.

Para cada fonte pontual de poluição do ar foram obtidos os seguintes dados: Localização das fontes pontuais em coordenadas globais (X, Y); Combustível utilizado ou características de processo: quantidade de combustível para as fontes de combustão; tipo de queimador, especificação e teor de enxofre; Altura e diâmetro da chaminé (m); Gases na saída da chaminé: velocidade (m/s) ou vazão (m³/s), temperatura (k) e a Concentração dos poluentes ou taxa de emissão.

Nesta etapa do inventário se verificou que a maioria das emissões pontuais corresponde a fornos ou caldeiras, que é uma característica típica em processos de refino de petróleo e indústria petroquímica.

Este tipo de fonte contribuiu com aproximadamente 36% em número de fontes, e com exceção de COT, corresponde a 100% das emissões dos poluentes MP, SO₂, CO e NO_x, ver Tabela 5.

5.2.2. Fontes Fugitivas

As emissões fugitivas das unidades, provenientes de válvulas, bombas e flanges, de cada planta foram tratadas como uma única fonte volume. Este tipo de emissão corresponde a 42% de toda a emissão de COT, conforme ilustra a Tabela 5 Salienta-se que não existiu especiação dos compostos orgânicos.

O levantamento das emissões fugitivas foi estabelecido através de estimativa usando fatores de emissão, ver Tabela 4, aplicado aos diferentes equipamentos industriais: Válvulas, Drenos, Flanges, Bombas, Pontos de retirada de amostra e Compressores; e ainda, algumas empresas realizaram trabalhos de monitoramento mais detalhados que além de contra os equipamentos relacionados acima, mediram a quantidade de compostos orgânicos de acordo com o procedimento estabelecido pela EPA (1995) "*Protocol for Equipment Leak Emission Estimates Emission Standard Division*".

5.2.3. Fontes Evaporativas

As emissões provenientes dos **tanques** inventariadas como fontes volume, onde a altura de emissão é igual à metade da altura do tanque.

O inventário deste tipo de fonte foi contemplado neste estudo e correspondeu a aproximadamente 47% em número de fontes, e com 18% da emissão industrial de compostos orgânicos, ver Tabela 5. No presente projeto, para a estimativa dessas emissões, através de cálculos, foi usado o programa TANK'S, desenvolvido pela EPA (1995) que por sua vez usa as equações desenvolvidas pela American Petroleum Industry – API (NEVES & ASSUNÇÃO, 2001).

5.2.4. Fontes área

As fontes do tipo área consideradas neste estudo foram os quatro tanques de aeração das estações de tratamento de efluentes da Cetrel² e mais sete lagoas de equalização ou separadores água e óleo.

Segundo (LYRA, 2002) o método preferido para estimar as emissões do sistema de tratamento de efluentes líquidos é baseado em modelos computacionais para cálculo de emissões. Existe um grande número de software disponível para estas estimativa. Estes modelos podem ser, gratuitos, ou privativos. Diferenças nos modelos incluem aplicabilidade para os tipos de sistemas de tratamento, dados dos contaminantes, etc. Dentre os softwares disponíveis escolheu-se para o desenvolvimento deste trabalho, o WATER9, software desenvolvido pela U.S. EPA, o principal motivo desta escolha se deve ao fato deste modelo ser usado, com respaldo legal, em todo o Estados Unidos, país que possui um alto padrão de exigência legal, e ainda ser disponível gratuitamente na Internet, no endereço <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/water>.

O WATER9 modela as emissões de compostos orgânicos voláteis em unidades de tratamento de efluentes líquidos, inclusive sistemas com aeração ou lodos ativados. O programa tem um banco de dados com as características de mais 950 substâncias químicas, permitindo ainda o acréscimo de novos agentes químicos pelo usuário. As equações matemáticas usadas no cálculo das emissões estão baseadas nas aproximações descritas na publicação da EPA (1994), "*Air Emissions Models for Waste and Wastewater*".

A composição do efluente que entra no sistema de tratamento varia de acordo com a operação das unidades industriais que antecedem a Estação Integrada de Tratamento de Efluentes do Pólo Industrial de Camaçari, isto porque existe uma sazonalidade no consumo de matérias-primas e conseqüentemente na produção e esta variação depende do mercado consumidor. Assim, devem-se avaliar as emissões destes compostos voláteis, de acordo com os diferentes meses do ano, para que seja possível abranger o maior número possível de variações do sistema.

Assim, após o levantamento dos dados iniciais, determinaram-se as emissões destas bacias, lagoas e tanques de aeração totalizando 97,12 t/ano.

Tabela 5 – Resumo das emissões atmosféricas industriais

TIPO	QUANTIDADE	EMIÇÃO (T/ANO)				
		MP	SO ₂	CO	NO _x	COT
CHAMINÉS	218	3.745,42	18.867,49	25.151,18	25.794,16	12.382,18
FUGITIVAS	96	-	-	-	-	16.485,88
TANQUES	284	-	-	-	-	6.688,96
LAGOAS	11	-	-	-	-	97,12
TOTAL	609	3.745,42	18.867,49	25.151,18	25.794,16	35.654,14

² Empresa responsável pelo tratamento dos efluentes do Pólo Petroquímico de Camaçari e pelo monitoramento ambiental em sua área de influência.

Tabela 6 – Consolidação do Inventário de Fontes Industriais

NOME	PONTUAIS					FUGITIVAS	EVAPORATIVAS	QUANTIDADE DE FONTES			
	MP	SO ₂	CO	NO _x	COT	COT	COT	CHAMINÉS	FUGITIVAS	TANQUES	LAGOAS
EMPRESA 1	832,67	5.578,44	6.845,59	379,07	5.778,75	31,74	81,69	2	1	4	-
EMPRESA 2	5,69	4,01	46,23	115,04	67,93	-	-	3	-	10	-
EMPRESA 3	-	-	0,07	0,01	28,72	18,99	14,88	3	2	-	-
EMPRESA 4	-	-	1,23	0,26	0,05	36,06	0,53	2	1	3	-
EMPRESA 5	-	-	-	-	-	2,09	-	-	1	-	-
EMPRESA 6	342,70	2.492,29	2.034,29	7.748,38	298,86	3.336,57	2.900,49	41	5	49	-
EMPRESA 7	31,31	4,84	3.968,53	-	202,78	-	28,74	1	-	-	-
EMPRESA 8	25,23	2,03	2.484,33	28,72	81,28	1,41	25,85	6	2	8	-
EMPRESA 9	-	-	1.497,76	-	2.078,19	-	125,12	9	-	8	-
EMPRESA 10	669,25	5.478,24	-	15,42	-	-	-	19	-	-	-
EMPRESA 11	0,43	0,04	2,47	9,82	0,41	0,27	-	3	1	-	-
EMPRESA 12	-	-	-	-	-	97,12	-	-	-	-	3
EMPRESA 13	22,22	10,50	4,97	10,36	1,04	-	-	2	-	-	-
EMPRESA 14	3,61	0,58	39,10	535,09	1,71	-	-	3	-	-	-
EMPRESA 15	2,47	0,43	-	8,25	31,20	-	2,44	7	-	10	-
EMPRESA 16	0,03	-	-	-	-	-	-	4	2	12	-
EMPRESA 17	348,41	198,02	4.172,92	64,67	100,19	322,88	2,48	1	-	-	-
EMPRESA 18	-	-	-	-	172,13	1,12	2,27	4	1	1	-
EMPRESA 19	7,73	7,22	8,52	75,00	76,89	3,04	6,13	4	1	2	-
EMPRESA 20	-	141,97	5,08	-	-	3,03	-	4	1	-	-
EMPRESA 21	3,04	23,51	3,46	45,54	5,26	3,17	47,03	2	3	22	-
EMPRESA 22	-	0,51	0,74	-	18,03	-	-	1	-	-	-
EMPRESA 23	-	-	-	-	1,47	112,91	5,08	2	6	4	-
EMPRESA 24	1,85	-	-	16,66	599,47	-	0,52	8	-	11	-
EMPRESA 25	0,16	2,41	0,04	0,41	0,01	-	5,90	2	-	13	-
EMPRESA 26	193,25	992,47	-	237,13	-	-	-	5	-	-	-
EMPRESA 27	-	0,05	0,31	0,06	-	5,98	32,57	1	1	1	-
EMPRESA 28	-	395,05	-	-	-	-	-	3	-	-	-
EMPRESA 29	-	0,01	2,64	8,71	0,66	5,79	-	5	2	-	-
EMPRESA 30	0,17	-	-	-	19,44	-	-	1	-	-	-
EMPRESA 31	6,44	0,63	36,99	147,27	276,79	27,07	0,88	4	9	3	-
EMPRESA 32	-	-	-	-	-	-	6,54	-	-	2	-
EMPRESA 33	-	44,58	356,82	2.284,35	-	-	-	3	-	-	-
EMPRESA 34	0,03	-	0,15	0,61	30,39	174,35	12,65	5	1	2	-
EMPRESA 35	-	-	-	-	1.988,80	175,06	11,88	1	1	1	-
EMPRESA 36	-	-	-	-	-	59,08	5,19	-	19	-	-
EMPRESA 37	1,61	0,11	7,62	30,25	340,39	251,44	6,91	9	3	6	-
EMPRESA 38	-	-	-	-	-	-	64,51	-	-	4	-
EMPRESA 39	-	7,56	-	-	-	-	-	2	-	5	-
EMPRESA 40	1,87	11,46	0,36	4,22	3,16	-	-	1	-	-	-
EMPRESA 41	0,14	1,30	0,10	0,44	0,02	-	-	1	-	-	-
EMPRESA 42	1.245,13	3.469,22	3.630,87	14.028,42	178,14	11.913,83	3.298,69	44	33	103	8
TOTAL	3.745,42	18.867,49	25.151,18	25.794,16	12.382,18	16.583,00	6.688,96	218	96	284	11

5.3. Emissões Veiculares

Levando-se em consideração o procedimento descrito na seção 4.4, as emissões veiculares ou emissões de transporte foram calculadas com base nos fatores da emissão; quilômetros veiculares rodados e número e idade dos veículos.

A Tabela 7 mostra o tipo de combustível por tipo de veículos, a Tabela 8 destaca idade da frota (PERES, 2003) e a km média rodada tipo do veículo, já a Tabela 9 apresenta a distribuição veicular pelas diferentes cidades da RMS e os fatores médios de emissão apresentados na Tabela 9 sugeridos pela Cetesb (2004).

Tabela 7 – Percentual de veículos por Tipo de combustível, SISAET (2003)

% POR TIPO DE COMBUSTÍVEL	GASOLINA	ÁLCOOL	DIESEL
Automóvel	80,88%	18,75%	0,37%
Camioneta	54,77%	16,63%	28,60%
Caminhão	0,00%	0,00%	100,00%
Ônibus	0,00%	0,00%	100,00%
Moto	100,00%	0,00%	0,00%
Proporção Média	73,30%	14,33%	12,38%

Tabela 8 – Idade da Frota, DENATRAN (2003)

IDADE DA FROTA	TOTAL	%	KM ANUAL MÉDIA
1993	170.546	32,0%	15.800
1994	24.004	4,5%	15.800
1995	26.558	5,0%	15.800
1996	30.149	5,7%	15.800
1997	37.260	7,0%	22.000
1998	36.281	6,8%	22.000
1999	32.411	6,1%	22.000
2000	41.326	7,8%	22.000
2001	45.748	8,6%	22.000
2002	49.460	9,3%	22.000
2003	38.955	7,3%	22.000
TOTAL	532.699	100,0%	19.745

Tabela 9 – Tipos de veículos, DENATRAN (2003)

CIDADES	TOTAL	AUTOMÓVEL	CAMIONETA	CAMINHÃO	ÔNIBUS	MOTO
Camaçari	18.577	10.243	2.113	1.424	1.294	3.503
Candeias	6.772	3.817	685	622	884	764
Dias D'Ávila	4.808	2.530	446	428	663	741
Itaparica	648	370	115	24	49	90
Lauro de Freitas	19.984	13.176	2.713	1.407	1.016	1.672
Madre de Deus	597	330	63	81	88	35
Salvador	470.649	370.305	44.274	13.922	10.171	31.977
São Francisco do Conde	973	531	139	100	109	94
Simões Filho	8.540	4.231	1.006	1.535	1.002	766
Vera Cruz	1.151	586	252	107	56	150
RMS	532.699	406.119	51.806	19.650	15.332	39.792
Bahia	1.208.689	736.628	151.547	69.330	26.858	224.326

Tabela 10 – Fator médio de emissão, CETESB (2004)

POLUENTES	FATOR DE EMISSÃO MÉDIO (G/KM)			
	GASOLINA	ÁLCOOL	DIESEL	MOTO
MP	0,08		0,81	0,05
SOx	0,12		0,43	0,04
CO	12,30	19,30	17,80	19,70
NOx	0,70	1,16	13,00	0,10
HC*	3,26	3,59	2,90	4,00

* - As emissões dos compostos orgânicos voláteis foram representadas como Hidrocarbonetos (HC). Salienta-se ainda que os fatores de emissão para o HC contemplam a soma das emissões de escapamento e cater.

Após a aplicação da metodologia citada na seção Emissões Atmosféricas Veiculares, obteve-se as emissões atmosféricas que estão detalhadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Taxa anual de emissão veicular

CIDADES	TAXA DE EMISSÃO (t/ano)				
	MP	SO ₂	CO	NO _x	HC*
Camaçari	762	487	16.522	9.985	3.080
Candeias	367	215	8.355	5.401	1.475
Dias D'Ávila	274	163	6.033	3.915	1.071
Itaparica	21	13	479	275	90
Lauro de Freitas	627	382	15.469	8.957	2.866
Madre de Deus	39	22	901	601	155
Salvador	7.242	4.886	212.686	94.645	43.188
São Francisco do Conde	51	29	1.169	753	206
Simões Filho	594	336	13.448	9.029	2.316
Vera Cruz	44	27	1.005	607	185
TOTAL	10.019	6.561	276.066	134.168	54.633

* - As emissões dos compostos orgânicos voláteis foram representadas como Hidrocarbonetos (HC)

Analisando os resultados encontrados, verifica-se que, as emissões atmosféricas veiculares, correspondem, principalmente, com emissões de monóxido de carbono (~ 57%), seguido pelas emissões de óxidos e nitrogênio (~ 28%).

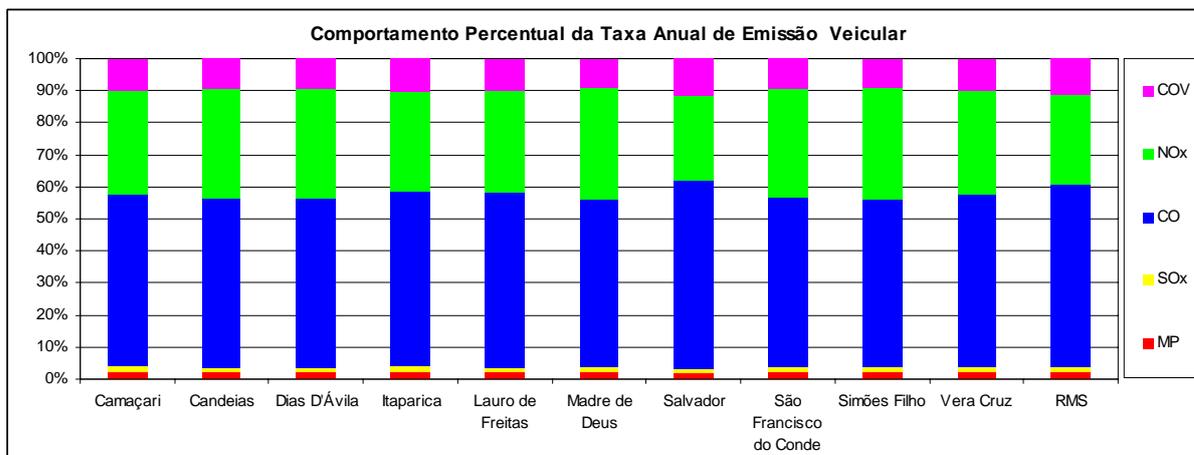


Figura 3 - Taxa anual de emissão veicular nas cidades da RMS.

5.3.1. Inventário Completo da RMS

Após o levantamento das emissões industriais e veiculares, obteve-se que, apesar de que uma grande concentração industrial as emissões veiculares são em média 75% de todas as emissões atmosféricas, com exceção do SO₂ que as maiores contribuições foram industriais, ver Figura 5 e Tabela 12

Tabela 12 – Contribuição das emissões atmosféricas na RMS por tipo de fonte

TIPO DE FONTE	TAXA DE EMISSÃO (T/ANO)				
	MP	SO ₂	CO	NO _x	COV
INDUSTRIAIS RMS	3.745,4	18.867,5	25.151,2	25.794,2	35.654,1
VEICULAR RMS	10.019,2	6.560,6	276.066,4	134.168,2	54.632,8
TOTAL	13.764,7	25.428,1	301.217,5	159.962,4	90.286,9

* - As emissões dos compostos orgânicos voláteis foram representadas também como Hidrocarbonetos (HC)

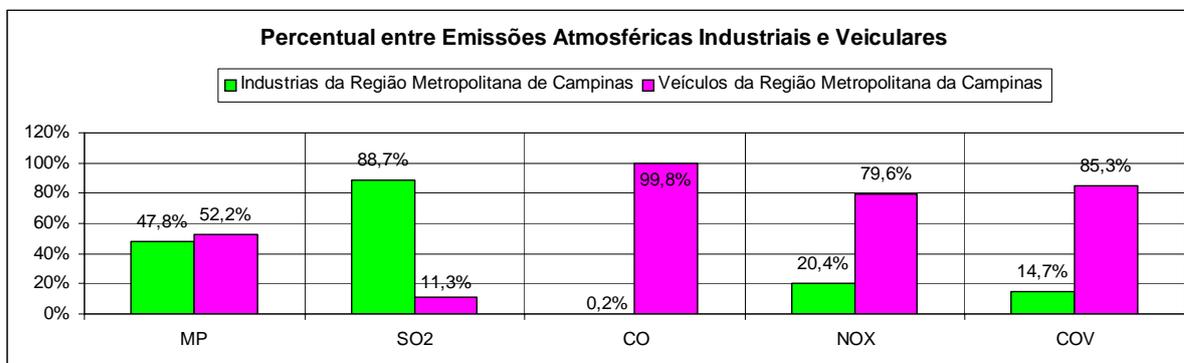
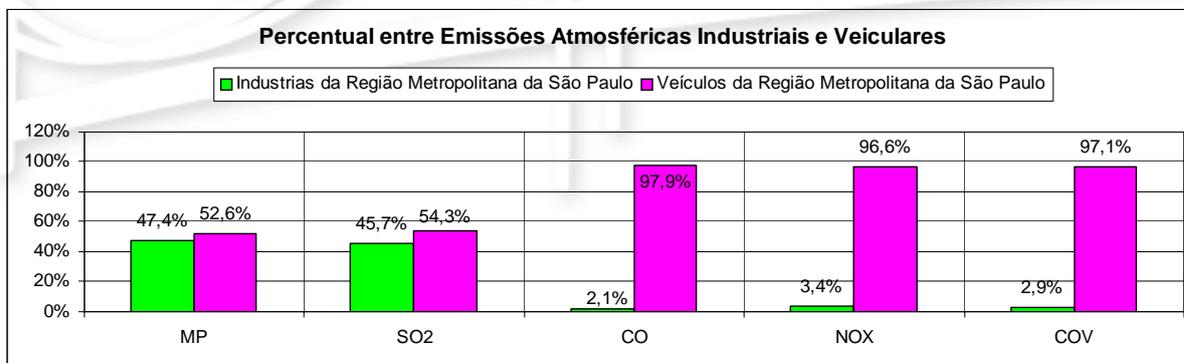
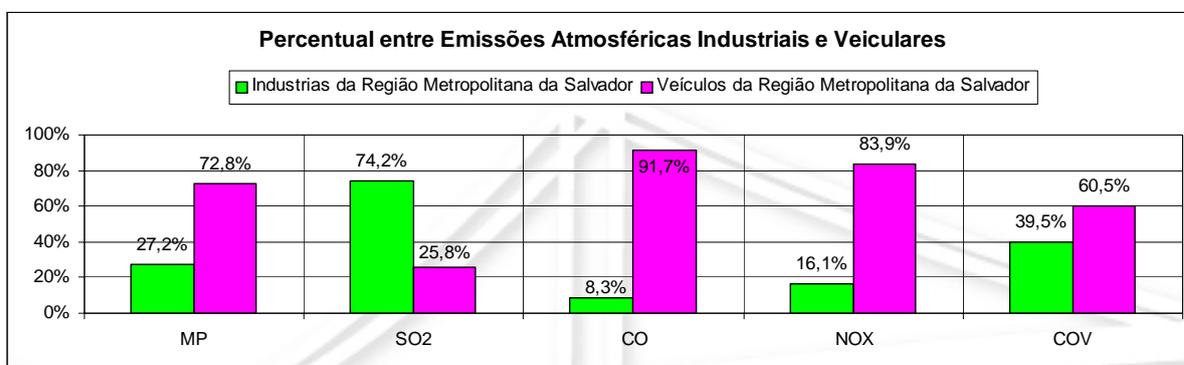


Figura 4 - Percentual da contribuição das emissões atmosféricas nas regiões metropolitanas do Brasil.

Analisando a quantidade total de massa, verifica-se que o perfil das emissões industriais difere das veiculares também na composição, pois o primeiro tem como principal componente os compostos orgânicos voláteis aproximadamente 33% confrontando com 11% das emissões veiculares. Entretanto, o perfil das emissões veiculares é mais marcante, quantitativamente, nas características das emissões atmosféricas da Região Metropolitana de Salvador, o caracterizando de composição muito semelhante ao seu comportamento, como mostra a Figura 6.

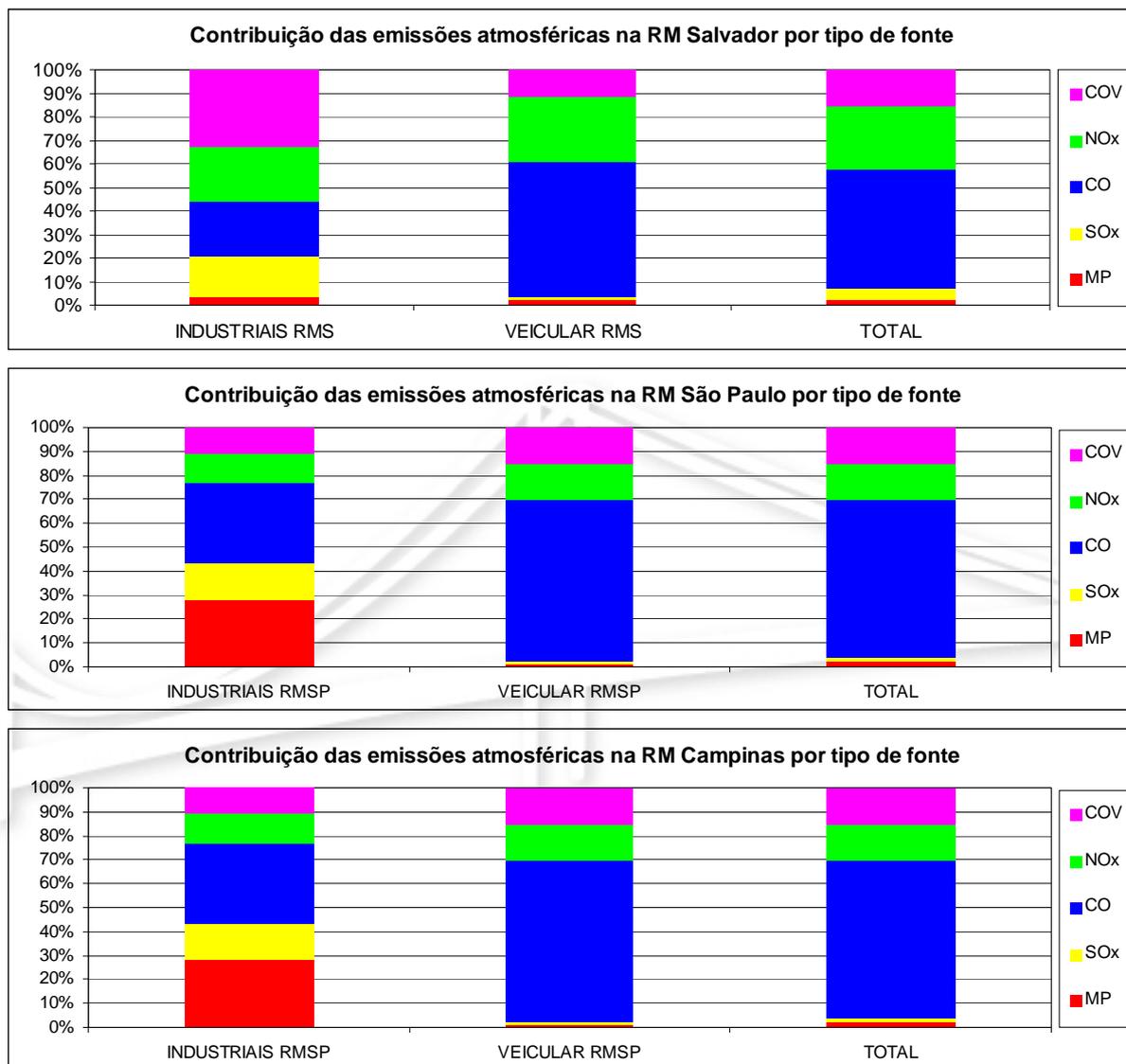


Figura 5 – Perfil das emissões atmosféricas nas regiões metropolitanas do Brasil.

Este comportamento encontrado nas emissões da Região Metropolitana de Salvador quando comparado com os resultados mostrados no Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, CETESB (2004) é muito semelhante aos encontrados em outras Regiões Metropolitanas, como por exemplo de São Paulo e Campinas, tanto no percentual das contribuições de cada um dos poluentes avaliados e no tipo de fonte de emissão, ver Figura 5 e Figura 6.

O processo de elaboração deste inventário das emissões industriais iniciou-se antes do início dos trabalhos do doutorado e sua elaboração durou aproximadamente 2 anos. O Órgão ambiental do Estado da Bahia Centro de Recursos Ambientais – CRA

estabeleceu na licença de operação das grandes empresas da RMS uma exigência legal de revisão obrigatória a cada 2 anos. Assim, como parte das funções profissionais do autor, foi colaborar com as indústrias aqui avaliadas, na elaboração deste inventário.

6. Considerações Finais

No Brasil, o uso do inventário de emissões atmosféricas está ligado ao licenciamento ambiental de atividades produtivas, junto aos órgãos ambientais. Entretanto, devido ao alto grau de complexidade do inventário, as empresas necessitam disponibilizar uma grande quantidade de recursos financeiros e humanos para a realização deste trabalho. Portanto, deve-se realizar um inventário de emissões atmosféricas, para que se conheça a fundo o quanto está sendo perdido de matéria-prima e produtos, pois só assim, é que será possível determinar o real rendimento do processo e o quando este está otimizado ou quanto ainda pode-se melhorar.

Um bom inventário permitirá melhorias no processo, reduzindo ainda, os impactos ambientais. Assim, após analisarmos e discutirmos vários tópicos importantes, podemos agora concluir que o modelo matemático para estimativa das emissões atmosféricas desenvolvido pela Agência Americana de Proteção Ambiental – EPA e adaptado pela Cetesb para as emissões veiculares, são aplicáveis para a aplicação em regiões metropolitanas industrializadas. Conclui-se ainda que:

- Apesar de que uma grande concentração industrial na Região Metropolitana de Salvador, as emissões veiculares são em média 75% de todas as emissões atmosféricas, com exceção do SO₂ que as maiores contribuições foram industriais (≈ 74%).
- As emissões atmosféricas veiculares, correspondem, principalmente, com emissões de monóxido de carbono (≈ 57%), seguido pelas emissões de óxidos e nitrogênio (≈ 28%). O perfil das emissões industriais difere das veiculares também na composição, pois o primeiro tem como principal componente os compostos orgânicos voláteis aproximadamente 33% confrontando com 11% das emissões veiculares.
- Este comportamento encontrado nas emissões da Região Metropolitana de Salvador é muito semelhante aos encontrados em outras Regiões Metropolitanas, como por exemplo de São Paulo e Campinas, tanto no percentual das contribuições de cada um dos poluentes avaliados e no tipo de fonte de emissão.
- Uma aplicação importante deste trabalho foi o de fornecer as informações necessárias para uma proposta de um Modelo Integrado de Gestão da qualidade do Ar em Região Metropolitana de todo País tendo como estudo de caso a Região de Salvador., trabalho em fase de conclusão pelo autor.

7. Bibliografia

- ASSUNÇÃO, R. S. –Utilização do Modelo de dispersão Exinter – Expert Interface/ U.S. EPA. Salvador. Fevereiro, 2000. 20 p.
- CETESB – Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo. 2004. 98 p.

- CETREL S.A - Relatório de reavaliação da rede de monitoramento da qualidade do ar da área de influência do Pólo Petroquímico de Camaçari. Abril de 2002.
- CETREL S.A.– Relatórios Mensais do Monitoramento de Efluentes e Controle na Fonte do ano 2000. 1000 p.
- EPA – Air Emissions Models for Waste and Wastewater. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, North Carolina. 1994.
- EPA - AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Mobile Sources. (<http://www.epa.gov/otaq/ap42.htm>), 2000.
- EPA – Protocol for Equipment Leak Emission Estimates Emission Standard Division U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina, November, 1995. 247 p.
- EPA – User's Guide for Exinter 1.0 Draft Version. October, 1996. 420 p.
- Melchior, D.J. A Qualidade do Ar e os Combustíveis In: "Zurita, M.L.L. e Tolfo, A.M. A Qualidade do Ar em Porto Alegre. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000. 92p.
- Melchior, D.J., Dalávia, D., Vilanova, L. C., 1997.- Estimativa de Emissões por Fontes Móveis para a Região Metropolitana de Porto Alegre, REFAP/DITEG/SEDEP, Porto Alegre.
- National Technical Information Service (NTIS) Air CHIEF, Version 9.0 (on CD-ROM), September. 2003.
- NEVES, Simulação da Dispersão de Poluentes na Atmosfera – Salvador. Fevereiro, 2000. 45 p.