

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**

**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS**

Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana  
de Salvador.

**Autor: Diógenes Ganghis Pimentel de Lyra**

**Orientador: Prof. Dr. Edson Tomaz**

**Tese de doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Química.**

Campinas - São Paulo

Fevereiro de 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L989m Lyra, Diógenes Ganghis Pimentel de  
Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da  
região metropolitana de Salvador / Diógenes Ganghis  
Pimentel de Lyra.--Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Edson Tomaz  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Ar - Poluição. 2. Ar - Qualidade. 3. Dispersão. I.  
Tomaz, Edson. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Air management quality integrated model for the slavador  
metropolitan region

Palavras-chave em Inglês: Air pollution, Air dispersion, Emission atmospheric

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos

Titulação: Doutor em Engenharia Química

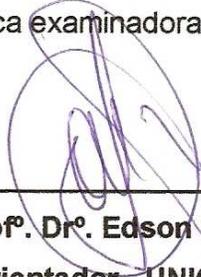
Banca examinadora: Meuris Gurgel Carlos da Silva, Marcelino Luiz Guimenes, Ana  
Claudia Camargo de Lima Tresmondi, Isimar Azevedo Santos

Data da defesa: 27/02/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

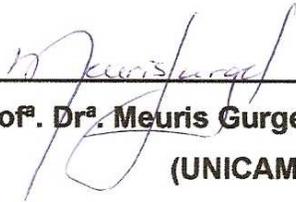
## FOLHA APROVAÇÃO

Tese de doutorado defendida por **Diógenes Ganghis Pimentel de Lyra** e aprovada em 27 de janeiro de 2008 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



---

**Prof. Dr. Edson Tomaz**  
**(Orientador - UNICAMP)**



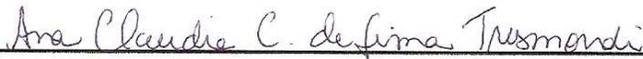
---

**Prof. Dr. Meuris Gurgel Carlos da Silva**  
**(UNICAMP)**



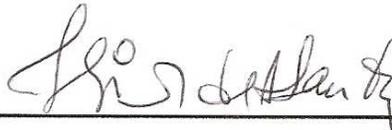
---

**Prof. Dr. Marcelino Luiz Guimenes**  
**(Universidade Estadual de Maringá - UEM)**



---

**Prof. Dr. Ana Claudia Camargo de Lima Tresmondi**  
**(UNIPINHAL)**

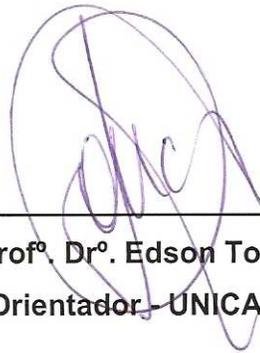


---

**Prof. Dr. Isimar Azevedo Santos**  
**Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ)**

## FOLHA VERSÃO FINAL

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Engenharia Química defendida por Diógenes Ganghis Pimentel de Lyra e aprovada pela banca examinadora em 27 de fevereiro de 2008.



---

**Prof. Dr. Edson Tomaz**  
**(Orientador - UNICAMP)**

## DEDICATÓRIA

Dedico este projeto à cidade de Salvador e seus cidadãos, que desde 1998 me acolheram e contribuíram com o meu sonho de estudar engenharia ambiental, fornecendo-me, indiretamente, os subsídios para a conclusão deste projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas colaboraram, de alguma forma, com o desenvolvimento deste trabalho, por isso seria impossível citar todos, entretanto, algumas pessoas merecem um agradecimento especial, como:

A Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Edson Tomaz, por sua confiança no projeto, inestimável orientação, dedicação e incentivo incondicional para o desenvolvimento deste trabalho e formação acadêmica.

Aos engenheiros e amigos Rogério Assunção e Nelson Lopes pela participação direta, o esforço e paciência concedidos ao longo de todo o trabalho.

Ao CEFET/BA pelo crédito e confiança em disponibilizar minha carga horária para o desenvolvimento deste doutorado.

Aos amigos Édler Lins e Elaine Cabral pela ajuda incondicional.

Ao Dr<sup>o</sup>. Isimar Azevedo, aos senhores Dênio Cidreira, Maurício Prado, Demóstenes Carvalho, e a senhora Danielle Senatore pela colaboração e incentivo.

Em destaque a minha esposa Glaucia Izabele e ao meu filho Pedro Lucena pelas inúmeras horas de paciência, dedicação, apoio e comprometimento com nossa vida particular.

Aos meus pais Delson & Glória Lyra, e ao meu irmão Denison, minha cunhada Adriana e lindos sobrinhos, pela paciência nas horas necessárias e inestimável ajuda para minha formação como cidadão.

A Lakes Environmental por conceder uma cópia gratuita do programa de simulação para o desenvolvimento do trabalho.

Finalmente a CETREL S. A. e o COFIC pela contribuição no fornecimento de subsídios técnicos e de informações imprescindíveis para a elaboração deste estudo.

## EPÍGRAFE

“Se existe uma forma de fazer melhor ... Descubra-a!”

***Thomas Edson***

## 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.

A avaliação da qualidade do ar numa região depende da obtenção de dados confiáveis que descrevam as condições ambientais existentes e que sejam representativos da região em estudo. Os parâmetros a serem monitorados permitirão determinar o grau de controle necessário e, portanto, os respectivos recursos. desta forma encarar-se a poluição atmosférica como um problema de gestão pública e do bem estar comum.

O presente trabalho apresenta o projeto para instalação de uma Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para a Região Metropolitana de Salvador - RMS, detalhando os parâmetros a serem monitorados, a localização dos pontos de monitoramento, num total de 25 estações, a especificação preliminar dos equipamentos e outros recursos e necessidades para o monitoramento dos poluentes convencionais, assim como dos parâmetros meteorológicos.

A implantação desta Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar - RMA ratificará a abertura e o interesse da gestão municipal atual com relação ao conhecimento da qualidade do ar a nível regional, demonstrando sua preocupação com relação à exposição da população à poluição ambiental urbana.

**Palavras-chave:** Poluição do ar, estudo de dispersão e emissões atmosféricas.

## **ABSTRACT**

The atmospheric pollution has been one of the main points of interest in the scientific community, considering its implication on the human health quality, the ecosystems and buildings, identifying itself to the main dimension in the search for the sustainable development.

The air quality evaluation in a region depends on the availability of reliable data describing the existing ambient conditions, being representative. The parameters to be monitored will allow the assessment of the degree of the necessary control e, therefore, the respective resources. All of this makes us face the atmospheric pollution as a problem of public administration and welfare.

The present work presents then, the project of an Air Quality Monitoring Network to be installed in the RMS, detailing the parameter to be monitored, the location of the monitoring points, totalizing 25 stations, the preliminary specification of the equipment and other resources and necessities for the conventional pollutants monitoring, as well as the meteorological parameters.

The implementation of this Air Monitoring Network will reassure the municipal management openness and concerns regarded the air quality knowledge at a regional level, outlining its concerns regarded the population exposure to the ambient urban pollution.

**Key word:** air pollution, air dispersion and emission atmospheric.

## NOMECLATURA

- ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- AGV – Amostrador de grandes volumes de ar, para análise de material particulado.
- AP-42 – Compilação de fatores de emissão, usados para a elaboração de inventários de emissões.
- APM2 – Adaptative Puff Model
- AWMA – Air Waste Management Association.
- BACKGROUND – Concentração preexistente de poluentes atmosféricos, ou seja, concentração deste poluente anterior à existência de uma determinada fonte poluidora.
- CALGRID – Califórnia Photochemical Grid Model
- CALPUFF – California Puff Model
- cc - Cilindradas
- CEPRAM – Conselho Estadual de Proteção Ambiental do Estado da Bahia.
- CETESB – Companhia Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo.
- CETREL – Empresa de Proteção Ambiental do Pólo Petroquímico de Camaçari
- CFCs – Compostos orgânicos a base de Cloro, Flúor e Carbono.
- CIA – Centro Industrial de Aratu
- CLA – Camada Limite Atmosférica
- CO – Monóxido de Carbono
- COFIC – Conselho de Fomento Industrial de Camaçari.
- COPEC – Pólo Petroquímico de Camaçari
- COT – Compostos Orgânicos Totais
- COVs – Compostos Orgânicos Voláteis.
- CPL – Camada limite planetária
- CRA – Centro de Recursos Ambientais.
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

- DETRAN-Ba – Departamento de Transito do Estado da Bahia
- DOWNWASH – Fenômeno de caimento da pluma de poluentes em direção ao solo.
- EDMS – Emissions and Dispersion Modeling System
- ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.
- EXINTER – Interface gráfica do ISCST3 para o Windows.
- FOG - Fenômeno constituído por finas partículas líquidas, (0,002 a 100  $\mu\text{m}$ ) geradas pela condensação da umidade presente no ar atmosférico.
- FORTRAN – Software utilizado para elaboração de rotinas computacionais.
- GIS – Sistema de informações georeferenciadas.
- HC - Hidrocarbonetos
- HOTMAC – Higher-order Turbulent Model for Atmospheric Circulation
- HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INM – Índice de Necessidade de monitoramento
- ISC-AERMOD View – Interface foi criada pela empresa LAKES – ENVIRONMENTAL
- ISCST3 – Industrial Source Complex, Short Term, 3ª geração.
- IQAr – Índice de Qualidade do Ar
- LAGOON - Módulo de cálculo da emissão gasosa de compostos orgânicos voláteis na fase líquida, como por exemplo, bacia de separação água e óleo. Este módulo pertence ao programa Exinter.
- LPM – Lagrangian Particle Model
- MM5 – Mesoscale Model
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MEC – Ministério da Educação
- $\text{MP}_{10}$  – Material Particulado com partículas menores que 10 micra.
- $\text{MP}_{2,5}$  – Material Particulado com partículas menores que 10 micra.

- NATCH - National Air Toxics Information Clearinghouse.
- NATICH – National Air Toxics Information Clearinghouse
- NHECM – Non-hydrostatic E-e Closure Model
- NMHC – Hidrocarbonetos não Metânicos.
- NO – Monóxidos de Nitrogênio
- NO<sub>2</sub> – Dióxidos de Nitrogênio
- NO<sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio
- O<sub>3</sub> – Ozônio
- OCD – Offshore and Coastal Dispersion Model
- PAN – Nitrato de Peroxiacetila.
- PI - Partículas Inaláveis
- PNDU – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.
- PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
- PROMOT – Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares.
- PTS – Partículas Totais em Suspensão
- PUFF – Nuvem de material poluente
- RAMS – Regional Atmospheric Modeling System
- RAPTAD – Random Puff Transport and Diffusion
- RCOH – Grupos de compostos orgânicos com radical do grupo funcional do aldeídos.
- RDM – Random Dispersion Model
- RLAM - Refinaria Landulfo Alves
- RMA – Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar.
- RMS – Região Metropolitana e Salvador
- SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
- SET – Superintendência de Engenharia de Tráfego

- SLPTDM – Seven-level Puff Transport and Diffusion Model
- SMOG – termo derivado das palavras smoke (fumaça) e fog (neblina), originalmente referido à poluição causada pela queima do carvão.
- SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre
- SODAR – Radar acústico meteorológico (Sound Detection and Ranging)
- SO<sub>x</sub> – Óxidos de Enxofre
- STP – Secretaria municipal de transportes públicos
- SUDIC – Superintendência para Desenvolvimento Industrial e de Comercio do Estado da Bahia.
- SUMMA CANISTER – Equipamento responsável pela coleta de amostra de ar ambiente. Possui a finalidade de determinar a quantidade de compostos orgânicos voláteis presentes no ar.
- SURFER – Software para construção de isolinhas, gráficos com três variáveis.
- TLV/TWA – Concentração média ponderada no tempo para uma jornada de 8 h diárias e 40 h semanais.
- TRAP CRIOGÊNICO – Equipamento utilizado para análise de amostras de compostos orgânicos voláteis presentes no ar.
- TVM – Tridimensional Vorticy Model
- U. S. EPA – Agência Americana de Proteção Ambiental.
- UAM – Urban Airshed Model
- URV – Unidades de Remoção de Voláteis.
- UTM – Projeção Universal Transversal de Mercator (posição geográfica no globo)
- UV – Raios Ultravioleta.

### **Variáveis**

→  $\frac{\partial C}{\partial t}$  - Fluxo de Poluente;

→  $\nabla^2 C = \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$  - Gradiente de concentração em relação à posição;

- $S(x', t')$  - Taxa de adição de espécies;
- $\dot{m}$  - vazão mássica (ton/ano)
- %<sub>S</sub> – Teor de Enxofre (porcentagem em peso)
- $\rho_a$  - densidade do ar, (g/cm<sup>3</sup>);
- $\mu_a$  - viscosidade do ar, (g/cm s);
- $\gamma_d$  - Taxa de variação vertical da temperatura adiabático seco.
- $\Delta H$  - elevação da pluma (m);
- $\sigma_y$  - coeficientes de dispersão horizontal;
- $\sigma_z$  - coeficientes de dispersão vertical;
- $A_{tot}$  - área total, (m<sup>2</sup>);
- $C$  - Concentração do poluente no ponto receptor (10<sup>-6</sup> g/ m<sup>3</sup>);
- $c$  - concentração média;
- $CD$  – Coeficiente de Difusividade;
- $c_i$  - concentração da espécie  $i$ ;
- $c_p$  – calor específico a pressão constante
- $D$  - Diâmetro interno da chaminé, (m);
- $d_e$  - diâmetro efetivo, (m);
- $E$  - taxa de Emissão do componente (g/s);
- $Fat_{Emis}$  – fator de Emissão (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  – aceleração da gravidade
- $g_c$  - constante gravitacional;
- $H_e$  - altura efetiva da pluma (  $H_e = H_{real} + \Delta H$ ), (m);
- $H_{real}$  – altura real da chaminé, (m);
- $P_{bar}$  - pressão barométrica;
- $Q$  – vazão mássica;
- $R$  - constante universal dos gases (atm m<sup>3</sup>/g mol K);

- $Re$  - número de Reynold's;
- $R_i$  - taxa de geração das espécies por reações químicas, que dependem da temperatura;
- $S_i$  - taxa de adição das espécies na posição  $x$  e no tempo;
- $T$  - temperatura (K);
- $T_a$  - temperatura ambiente;
- $TE$  – taxa de emissão (ton/ano)
- $T_e$  - temperatura do efluente, (K);
- $T_s$  - temperatura de emissão;
- $u$  - velocidade do vento (m/s);
- $U_{10}$  - velocidade do vento a dez metros acima da superfície do líquido, (m/s);
- $u_j$  -  $j$  ésimo componente da velocidade do escoamento;
- $V_s$  - velocidade de saída dos gases na chaminé, (m/s);
- $x$  – distância do receptor na direção  $x$ ;
- $y$  - distância do receptor na direção  $y$ ;
- $z$  - distância do receptor na direção  $z$ ;

# SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>EPÍGRAFE .....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>NOMECLATURA .....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS, TABELAS, EQUAÇÕES E GRÁFICOS.....</b>	<b>xxv</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>3</b>
<b>ORGANIZAÇÃO DA TESE.....</b>	<b>9</b>
<b>1. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
1.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....	11
1.1.1. Apresentação.....	11
1.1.2. Histórico .....	12
1.1.3. Origem dos Poluentes Atmosféricos.....	14
1.1.4. Principais Poluentes Atmosféricos.....	15
1.1.5. Meteorologia e a poluição atmosférica .....	18
1.2. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR .....	25
1.2.1. Principais objetivos da rede .....	25
1.2.2. Tipo de Redes de Monitoramento.....	26
1.2.3. Escalas espaciais e temporais.....	26
1.2.4. Determinação do cumprimento dos padrões legais.....	27
1.2.5. Legislação para os Poluentes Orgânicos.....	29
1.2.6. Métodos de Monitoramento .....	31
1.3. INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS .....	33
1.3.1. Tipos de estimativa de emissões .....	33
1.3.2. Tipos de Emissões Atmosféricas Industriais.....	36
1.3.3. Emissões Atmosféricas Veiculares .....	44
1.4. DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....	48
1.4.1. Histórico dos modelos de dispersão .....	49
1.4.2. Definição de dos modelos.....	50
1.4.3. Modelos Matemáticos .....	50

1.4.4.	Modelos de dispersão atmosféricas disponíveis no mercado .....	66
1.4.5.	Aplicação do modelo matemático Industrial Source Complex .....	70
1.4.6.	Limitações dos Modelos .....	74
<b>2.</b>	<b>ESTUDO DE DISPERSÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR .....</b>	<b>77</b>
2.1.	INTRODUÇÃO.....	77
2.2.	CARACTERIZAÇÃO DA RMS .....	78
2.2.1.	Qualidade do Ar na RMS .....	79
2.2.2.	Indústrias da RMS .....	83
2.2.3.	Frota de Veículos da RMS .....	84
2.3.	ETAPAS DO ESTUDO .....	88
2.4.	SIMULADOR DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA – ISC-AERMOD VIEW .....	90
2.5.	METEOROLOGIA .....	92
2.6.	TOPOGRAFIA.....	99
2.7.	INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS .....	100
2.7.1.	Emissões Industriais .....	102
2.7.2.	Emissões Veiculares.....	112
2.7.3.	Inventário da RMS .....	117
2.8.	RECEPTORES.....	119
2.9.	RESUMO DAS CONDIÇÕES SIMULADAS .....	119
2.10.	PRINCIPAIS RESULTADOS .....	120
2.10.1.	Avaliação Macro .....	121
2.10.2.	Avaliação Micro.....	127
2.10.3.	Análise Estatística.....	130
<b>3.</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE NECESSIDADE DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>141</b>
3.1.	INTRODUÇÃO.....	141
3.2.	INDICADORES EPIDEMIOLÓGICOS EM SAÚDE AMBIENTAL.....	143
3.3.	ÍNDICE DE NECESSIDADE DE MONITORAMENTO .....	147
3.3.1.	Introdução .....	147
3.3.2.	Metodologia de Cálculo do INM.....	149
3.3.3.	Impacto a Saúde Humana .....	151
3.3.4.	Tipo de Exposição .....	152
3.3.5.	Concentração de Poluentes.....	152
3.3.6.	Densidade Demográfica .....	152
3.3.7.	Resultados.....	153

<b>4. RMA DE SALVADOR .....</b>	<b>158</b>
4.1. PARÂMETROS A SEREM MONITORADOS .....	158
4.2. TECNOLOGIA DOS ANALISADORES.....	159
4.2.1. Material Particulado Inalável (MP <sub>10</sub> ).....	159
4.2.2. Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	160
4.2.3. Monóxido de Carbono (CO).....	160
4.2.4. Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	161
4.2.5. Ozônio (O <sub>3</sub> ).....	162
4.3. TECNOLOGIA DOS ANALISADORES E SENSORES METEOROLÓGICOS .....	162
4.3.1. Velocidade do Vento.....	162
4.3.2. Direção do Vento .....	162
4.3.3. Radiação Solar .....	163
4.3.4. Temperatura e umidade.....	163
4.4. EQUIPAMENTOS AUXILIARES.....	163
4.5. INFRA-ESTRUTURA MÍNIMA.....	166
4.6. ARMAZENAMENTO DOS DADOS .....	167
4.7. EQUIPE TÉCNICA.....	168
4.8. PRINCIPAIS ATIVIDADES OPERACIONAIS .....	169
4.9. CALIBRAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE .....	169
4.10. GERENCIAMENTO DAS INFORMAÇÕES .....	170
4.11. CUSTOS E PRAZOS RELACIONADOS.....	172
<b>5. RESPONSABILIDADES .....</b>	<b>174</b>
5.1. MODELO DE PARCERIA.....	174
5.2. GANHOS E RESPONSABILIDADES.....	174
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>178</b>
6.1. ANÁLISE DO INVENTÁRIO .....	179
6.2. ESTUDO DE DISPERSÃO.....	180
6.3. ÍNDICE DE NECESSIDADE DE MONITORAMENTO .....	182
6.4. REDE DE MONITORAMENTO DO AR PARA A RMS.....	183
6.5. PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES .....	185
<b>7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>187</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>188</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>203</b>
9.1. ROSA DOS VENTOS MENSAL E HORÁRIA .....	204

9.2.	INVENTÁRIO DETALHADO DAS FONTES PONTUAIS.....	210
9.3.	INVENTÁRIO DETALHADO DAS FONTES EVAPORATIVAS .....	216
9.4.	INVENTÁRIO DETALHADO DAS FONTES FUGITIVAS .....	220
9.5.	DETALHES DOS CUSTOS .....	221
9.6.	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO – PLUMAS DA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES .....	223

## ÍNDICE DE FIGURAS, TABELAS, EQUAÇÕES E GRÁFICOS.

Figura 1 - Evolução anual do número de veículos para a Região Metropolitana de Salvador (DENATRAN, 2006). .....	3
Figura 2 – Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar da RMS .....	6
Figura 3 - Representação das interações entre o Clima - Oceano - Terra – Homem Adaptado de HUGHTON (1998).....	19
Figura 4 – Rosa dos ventos da Estação Camaçari, 2003. ....	21
Figura 5 - Altura de Emissão para Fontes Volume.....	41
Figura 6 - Representação de uma pluma pela aproximação do tipo puff. (Adaptado de Haan, 1995).....	52
Figura 7 - Dispersão de uma pluma, nas direções vertical e horizontal. (STERN, 1994). .....	63
Figura 8 - Região Metropolitana de Salvador.....	81
Figura 9 – Distribuição espacial das principais vias fluxo de veículos de Salvador.....	87
Figura 10– Estrutura do estudo de dispersão atmosférica. ....	90
Figura 11 – Localização da estação de monitoramento e do radar acústico.....	93
Figura 12 – Comportamento mensal e horário da velocidade do vento, temperatura e altura da camada de mistura - 2003.....	98
Figura 13 – Topografia da região de interesse.....	99
Figura 14 – Características das Indústrias avaliadas no estudo. ....	101
Figura 15 – Localização das chaminés na RMS. ....	101
Figura 16 – Detalhe da localização das chaminés no Pólo Petroquímico de Camaçari. .....	105
Figura 17 – Pontos e equipamento de monitoramento das emissões fugitivas.....	106
Figura 18 – Comportamento das Emissões de COT versus tipo de fonte.....	107
Figura 19 – Tanques de tratamento de efluentes.....	109
Figura 16 – Emissões Industriais por tipo de Poluente. ....	111
Figura 21 - Contribuição das emissões atmosféricas na RMS por tipo de fonte - 2003. .....	117
Figura 22 – Comparação das características das emissões da RMS com outras regiões metropolitanas do país. ....	118
Figura 23 – Área de Estudo.....	119
Figura 24 – Comportamento diário da concentração do dióxido de enxofre. ....	123
Figura 25 – Comportamento anual da concentração do dióxido de enxofre. ....	124

Figura 26 – Comportamento horário da concentração de monóxido de carbono.....	125
Figura 27 – Comportamento médio de 8 horas da concentração de monóxido de carbono. ....	126
Figura 28 – Área de estudo para a cidade de Salvador .....	128
Figura 29 – Detalhamento do comportamento das emissões de monóxido de carbono na cidade de Salvador.....	129
Figura 30 - Correlação entre a concentração dos valores horários estimados e os observados na Estação Camaçari.....	132
Figura 31 – Localização dos pontos para análise discreta do modelo de dispersão....	133
Figura 32 - Correlação espacial entre as concentrações estimadas e as observadas.	134
Figura 33 - Comportamento horário das concentrações estimadas de SO <sub>2</sub> e CO. ....	136
Figura 34 - Comportamento mensal das concentrações de SO <sub>2</sub> e CO.....	137
Figura 35 – Correlação entre o comportamento da temperatura e a concentração de SO <sub>2</sub> e CO em Camaçari. ....	138
Figura 36 – Correlação entre o comportamento da temperatura e a concentração de SO <sub>2</sub> e CO em Camaçari. ....	139
Figura 37 – Correlação entre o comportamento da classe de estabilidade e a concentração de SO <sub>2</sub> e CO em Camaçari.....	140
Figura 38 – Correlação entre o comportamento da altura da camada de mistura e a concentração simulada de SO <sub>2</sub> e CO em Camaçari. ....	140
Figura 39 – Diagrama para o cálculo do INM. ....	151
Figura 40 – Localização espacial dos pontos de interesse. ....	154
Figura 41 - Mapa da localização preliminar das estações da RMA de Salvador.....	157
Figura 42 – Modelo de container sugerido. ....	164
Figura 43 – Visão interna dos containeres e manifold - Sistema de coleta de ar.....	165
Figura 44 – Resumo da Matriz de Responsabilidades .....	177
Figura 45 – Comportamento mensal da direção do vento.....	205
Figura 46 – Comportamento horário da direção do vento. ....	209
Figura 47 – Comportamento da média 24h de de SO <sub>2</sub> . ....	224
Figura 48 – Comportamento da média anual de SO <sub>2</sub> .....	225
Figura 49 – Comportamento da média 1h NO <sub>x</sub> . ....	226
Figura 50 – Comportamento da média anual NO <sub>x</sub> .....	227
Figura 51 – Comportamento da média 1h de CO.....	228
Figura 52 – Comportamento da média 8h de CO.....	229
Figura 53 – Comportamento da média 24h MP.....	230
Figura 54 – Comportamento da média anual MP.....	231

Figura 55 – Comportamento da média 24h de COV. ....	232
Figura 56 – Comportamento média anual de COV .....	233
Tabela 1 – Propriedades das Redes de Monitoramento da Qualidade do Ar. ....	5
Tabela 2 - Poluentes Primários e Secundários (SEINFELD & PANDIS, 1998). ....	15
Tabela 3 - Direção do Vento.....	21
Tabela 4 - Categorias de Estabilidade, PASQUILL-GIFFORD (1960) .....	22
Tabela 5 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, (CONAMA, 1990) .....	29
Tabela 6 - Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar, (CONAMA, 1990). ....	29
Tabela 7 - Padrões de poluentes orgânicos, CEPRAM (1999). ....	30
Tabela 8 - Poluentes atmosféricos e suas fontes potenciais de emissão, U.S.EPA (1997). ....	35
Tabela 9 - Fatores de emissão para queima de óleo combustível em caldeiras, (NTIS, 2003). ....	37
Tabela 10 – Emissões de caldeira de óleo, (NTIS, 2003). ....	38
Tabela 11 - Classe dos fatores de emissão, (NTIS, 2003). ....	38
Tabela 12 - Emissões de Estireno da Fabricação de Poliestireno, (NTIS, 2003). ....	39
Tabela 13 - Fatores médios de emissão para indústria química orgânica, (NTIS, 2003). ....	40
Tabela 14 - Fatores médios de emissão dos veículos em uso na RMSP. Fonte, CETESB,2003. ....	46
Tabela 15 - Fatores médios de emissão de veículos leves novos.( CETESB,2006).....	47
Tabela 16 - Aplicações dos Modelos de Dispersão.....	61
Tabela 17 – Resumo de alguns modelos de dispersão atmosférica (Adaptado de FRANCO ,2005) .....	69
Tabela 18 – Dados dos Municípios da Região Metropolitana de Salvador. ....	82
Tabela 19 – Principais Vias Fluxo de Veículos de Salvador .....	86
Tabela 20 – Comportamento meteorológico. ....	94
Tabela 21 – Comportamento médio mensal da meteorologia. ....	94
Tabela 22 – Comportamento médio horário da meteorologia. ....	95
Tabela 23 – Resumos das emissões atmosféricas industriais da RMS. ....	103
Tabela 24 – Resumos das emissões atmosféricas industriais por tipo de fonte. ....	104
Tabela 25 – Percentual de veículos por Tipo de combustível, SISAET (2003) .....	112
Tabela 26 – Idade da Frota, DENATRAN (2003) .....	112
Tabela 27 – Tipos de veículos, DENATRAN (2003).....	113

Tabela 28 – Fator médio de emissão, CETESB (2004) .....	113
Tabela 29 – Taxa anual de emissão veicular .....	114
Tabela 30 - Taxa de emissão veicular na RMS.....	115
Tabela 31 – Principais vias da cidade de Salvador .....	116
Tabela 32 – Valores das emissões atmosféricas na RMS por tipo de fonte .....	117
Tabela 33 - Percentual da contribuição das emissões atmosféricas nas regiões metropolitanas do Brasil. CETESB (2006) .....	118
Tabela 34 – Resumo das Condições da Simulação.....	120
Tabela 35 – Pontos para análise discreta do modelo de dispersão. ....	133
Tabela 36 - Lista mínima de indicadores para o monitoramento da qualidade do ar na Bacia do Alto Rio Tietê – SP, (CASTRO, 2003).....	145
Tabela 37 – Cálculo do Índice de Necessidade Monitoramento.....	155
Tabela 38 - Detalhes da RMA de Salvador .....	156
Tabela 39 – Custos de investimentos, implantação, partida e operação para a RMA na Região Metropolitana de Salvador. ....	173

## OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é propor uma metodologia de elaboração de projeto de rede de monitoramento da qualidade do ar que possa ser aplicada em regiões metropolitanas de todo País como, por exemplo, Região Metropolitana de Salvador. Este trabalho tem como premissas:

- Utilizar a maior quantidade de dados indiretos possível, de forma a reduzir o tempo de elaboração do projeto;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Atender as legislações em vigor no Brasil e aos critérios técnicos internacionais;
- Promover a integração dos dados direta ou indiretamente relacionada com a poluição atmosférica
- Disponibilizar a informação buscando educar a comunidade;

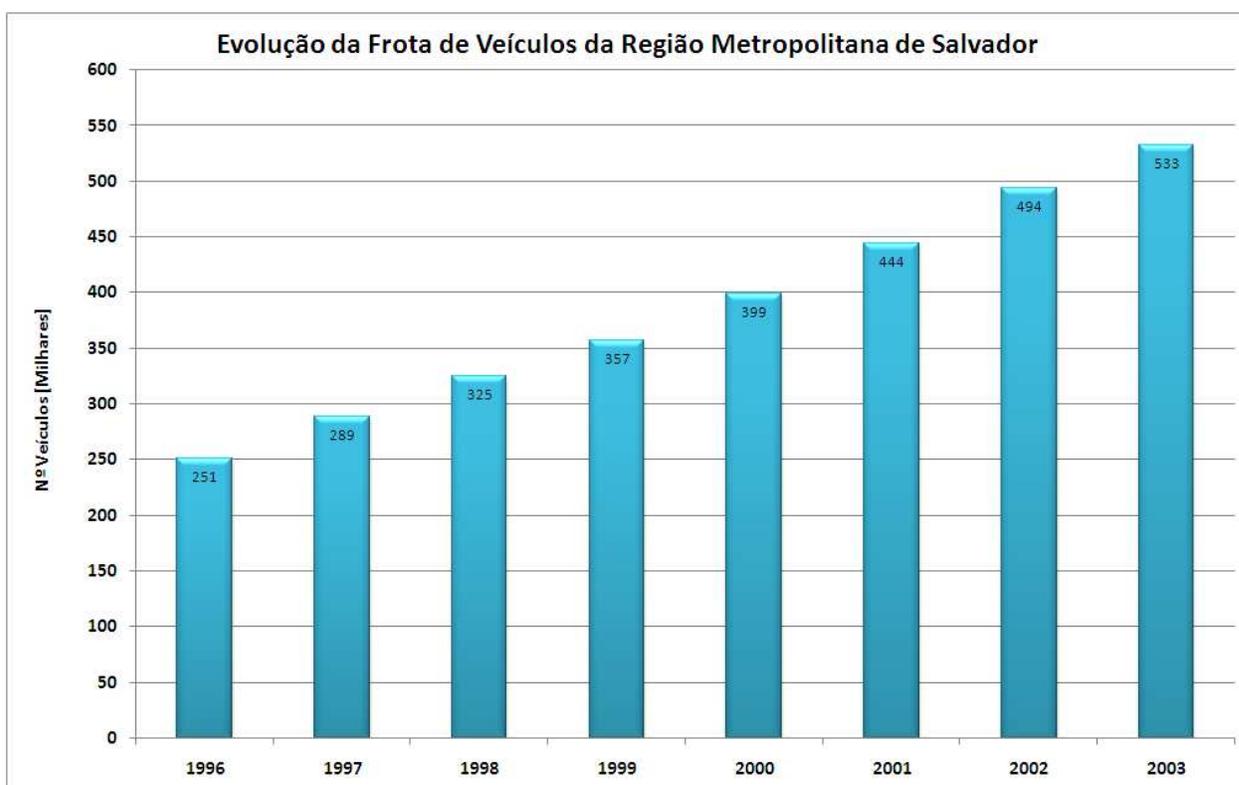
Além dos itens já mencionados, o presente estudo tem ainda, como objetivos específicos:

- Inventariar as emissões atmosféricas das fontes móveis (veículos) e fontes estacionárias (indústrias), estabelecendo um procedimento para elaboração do inventário em qualquer outra região do país.
- Avaliar os efeitos da meteorologia na dispersão dos poluentes atmosféricos da região.
- Simular a dispersão dos poluentes atmosféricos e avaliar as áreas de maior impacto.
- Estabelecer uma rede de monitoramento da qualidade do ar baseada em critérios técnicos, econômicos e sociais, levantando seus custos de implantação e operação.

- Propor metodologia de gestão de dados para um melhor aproveitamento das informações.
- Criar um programa de educação ambiental com o enfoque na qualidade do ar.
- Estabelecer uma matriz de responsabilidades entre as personagens, pública e privada, responsáveis diretamente ou indiretamente pela qualidade do ar.

## JUSTIFICATIVA

Desde 1993 até 2003, a frota de veículos da Região Metropolitana de Salvador (RMS) teve um aumento médio por ano de 12%, conforme ilustra a Figura 1. Este crescimento, associado à falta de um planejamento urbano adequado, levou a uma piora nas condições de tráfego da RMS e a um agravamento da qualidade do ar. Fonte: Relatório da Evolução da frota de veículos segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios das Capitais - 1990 a 2003 do DENATRAN (<http://www.denatran.gov.br/frota.htm> (Acesso 09-09/2006))



**Figura 1 - Evolução anual do número de veículos para a Região Metropolitana de Salvador (DENATRAN, 2006).**

Ressalta-se ainda que a RMS possui três grandes núcleos industriais: O Pólo Industrial de Camaçari, a Refinaria Landolfo Alves (RLAM) e o Complexo industrial de Aratu que juntos somam mais de 40 empresas.

Em Salvador, cerca de 70% dos veículos é movida à gasolina e, no transporte coletivo, a frota que circula atualmente utiliza óleo diesel. Os dois combustíveis são considerados os mais poluentes e se mantêm no topo do consumo. Em meio ao

desconhecimento encontra-se a população, exposta aos gases e partículas sem saber a real qualidade do ar da capital baiana.

Os poluentes atmosféricos provocam processos inflamatórios no organismo quando expostos por minutos, horas ou dias. No aparelho respiratório a inflamação pode destruir o epitélio das vias aéreas; no sistema cardiovascular, provoca inflamação de vasos sanguíneos e do músculo do coração. Isso pode significar eventos como obstrução das artérias e quadros de arritmia cardíaca.

O contato repetitivo com os poluentes provoca efeitos lesivos que podem evoluir para câncer. De acordo com o Laboratório Experimental de Poluição Atmosférica da USP, 8% das mortes por doenças respiratórias e cardiovasculares de São Paulo são causadas pela poluição atmosférica. A exposição ao dióxido de nitrogênio, por exemplo, está relacionada a mortes fetais na 28ª semana de gestação, segundo pesquisa desenvolvida no laboratório da USP.

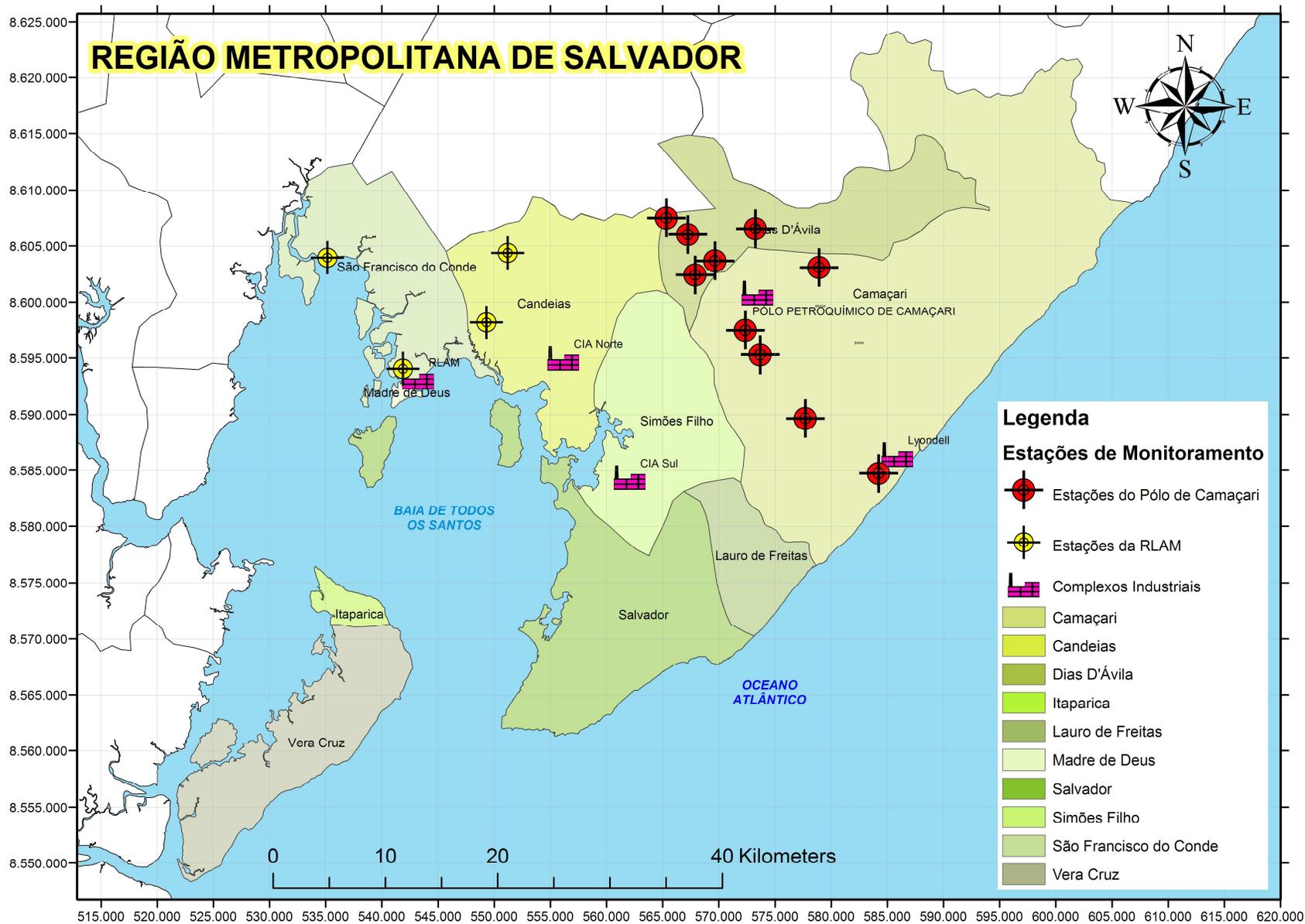
A tecnologia de gestão da qualidade do ar a cada dia se encontra mais avançada. Dentre as técnicas mais atuais destaca-se:

- Monitoramento contínuo de partículas muito finas (MP2,5);
- Previsão de eventos da qualidade do ar com antecedência de até 72h;
- Modelos de dispersão atmosféricas com reação química (fotoquímicos).

Entretanto, no Brasil, possui uma grande diferença entre os estados, alguns estão alinhados às melhores tecnologias, como São Paulo, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, mas os outros estão muito distantes destas melhores tecnologias mundiais. Em suma, apenas 10 Estados brasileiros possuem algum tipo de monitoramento da qualidade do ar, seja por meio de amostragens manuais, ou por sistemas automáticos, num total de 182 pontos de medição, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1 – Propriedades das Redes de Monitoramento da Qualidade do Ar.**

Cidade	Nº de Estações	Monitoramento ativo (Automáticas e Manuais)									Meteorológicos	Dados On-line	Modelos de Previsão da qualidade do ar
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	CO	PTS	MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	COV	Metais			
Paris – Região	46	x	x	x	x		x	x	x	x	X	x	x
Califórnia - Região	250	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x
Canadá - Nacional	145	x	x	x	x	x	x	x	x		X	x	x
Londres - Região	100	x	x	x	x		x	x	-	-	X	x	-
São Paulo - Estado	71	x	x	x	x	x	x	-	-	-	X	x	-
Rio de Janeiro – Região	35	x	x	x	x	x	x	-	-	-	X	x	-
Vitória – Região	8	x	x	x	x	x	x	-	x	-	X	x	-
Curitiba - Região	11	x	x	x	x	x	x	-	-	-	X	x	-
Belo Horizonte – Região	5	x	-	-	-	-	x	-	-	-	X	x	-
Fortaleza	4	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Recife	10	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Porto Alegre – Região	12	x	x	x	x		x	-	-	-	X	x	-
Brasília	7	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Florianópolis	4	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Salvador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



**Figura 2 – Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar da RMS**

Em particular, a Cidade de Salvador não possui qualquer tipo de monitoramento e está entre as maiores cidades do país. Entretanto, na região metropolitana existem duas redes privadas de monitoramento da qualidade do ar totalizando 14 estações automáticas que são responsáveis pela avaliação da qualidade do ar na área de influência da Refinaria Landulfo Alves e no Pólo Petroquímico de Camaçari, conforme ilustra a Figura 2.

Conforme SALDIVA (2006), no Brasil conscientização ambiental está se formando. Em outros locais como a Europa e Estados Unidos, mais especificamente no estado da Califórnia, as pessoas estão dispostas a pagar mais para utilizar um combustível mais limpo ou uma tecnologia de transporte mais limpa. Isso vai acontecer por aqui também, pelo Brasil também. Por exemplo, os Estados Unidos estão pressionando para reduzir as emissões atmosféricas porque fizeram uma conta e mostraram que se gasta mais com saúde devido à não-regulamentação ou não-adoção de tecnologias mais limpas do que o valor necessário para implementá-las.

Estima-se que no ano de 2005 o custo de saúde devido a mortes por doenças cardiovasculares, bronquite crônica, enfisema, asma e câncer de pulmão foi da ordem de US\$ 450 milhões. Salienta-se que não é esse o valor pago pelo governo. Uma parte destas pessoas morreu sem que o governo tivesse dado um tostão, mas não por falta de atenção, e sim porque as pessoas não usaram o sistema de saúde público. Não é possível saber quantos doentes de câncer do pulmão não são diagnosticados, operados, passam por quimioterapia ou radioterapia, tudo que eles têm direito. Refere-se aqui ao custo não do atendimento médico, mas sim de um custo que a sociedade paga, o relacionado à perda de vidas humanas, o custo que uma família teve, a perda de impostos, o custo da perda da força de trabalho. Isso não é o custo do sistema de saúde, é o custo financeiro da vida. (SALDIVA, 2006).

Assim, conforme o exposto, este trabalho não só se justifica pela busca de avanços tecnológicos, desenvolvimento de métodos e práticas, mas também, como uma ferramenta para auxiliar na gestão pública de bens e recursos, com um grande objetivo que é a preservação e garantia da qualidade de vida das pessoas.

Todos estes fatores nos motivaram este trabalho a encarar a poluição atmosférica da Cidade de Salvador como um problema de gestão da saúde pública e bem estar comum e, por isso, propor um Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador.

## **ORGANIZAÇÃO DA TESE**

Esta tese foi organizada em nove capítulos visando o melhor entendimento de cada etapa. O primeiro capítulo apresenta a revisão da literatura sobre o tema central da poluição atmosférica avaliando sua origem, assim como potenciais danos causados a saúde. Neste capítulo ainda avaliaram-se os princípios do monitoramento do ar, os detalhes para elaboração de um inventário de emissões e por fim, os princípios da dispersão de poluentes atmosféricos.

O capítulo dois apresenta os conceitos descritos no capítulo anterior nas condições particulares da Região Metropolitana de Salvador. Neste capítulo são apresentados uma caracterização da área em estudo, sua meteorologia, topografia e o inventário das emissões atmosféricas industriais e veiculares da região. Após esta caracterização, é discutida a simulação da concentração dos poluentes atmosféricos na região e a avaliação detalhada destes resultados.

No capítulo três é p uma metodologia para interrelacionar os dados de concentração de poluentes com a densidade demográfica, o uso do solo e o impacto à saúde humana, buscando estabelecer uma prioridade entre diferentes locais para monitoramento da qualidade do ar, ou seja, o que se apresenta neste capítulo é a proposta de um indicador ambiental que determine a necessidade de monitoramento da qualidade do ar de uma determinada área estudada.

O capítulo quatro ilustra as propriedades da rede de monitoramento da qualidade do ar proposta, definindo métodos, equipamentos, infra-estrutura, equipe técnica mínima, e a gestão dos dados obtidos. Cabe destacar que neste capítulo é apresentada uma estimativa de custos para investimento e operação de uma rede de monitoramento.

No capítulo cinco é apresentada uma proposta simplificada para elaboração de um programa de educação ambiental e sua importância para a garantia da divulgação das informações obtidas no monitoramento.

O capítulo seis estabelece uma matriz de responsabilidades entre o Estado, Município e a iniciativa privada, buscando assim estabelecer oportunidade de ganhos para todos os atores envolvidos.

Por fim o capítulo o sete apresenta as principais conclusões de cada um dos capítulos buscando sua integração. As sugestões de trabalhos futuros são apresentadas no capítulo oito e as referências bibliográficas no capítulo nove.

# 1. REVISÃO DA LITERATURA

## 1.1. Poluição Atmosférica

### 1.1.1. Apresentação

Dentre os diferentes tipos de poluição identificados no meio ambiente, 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. (BRAGA et al, 2002, CAMPOS, 2002, SALDIVA, 1997, CETESB, 1999).

A poluição atmosférica é um tema abrangente com uma interação entre diversas dimensões, e assim, nesta primeira parte do trabalho serão estudados os principais conceitos sobre a poluição atmosférica, tais como:

- Conhecimento da atmosfera;
- Tipos de poluentes atmosféricos e suas principais fontes de emissões;
- Os efeitos da poluição atmosférica sobre o meio ambiente e o homem;
- Controle e o monitoramento da poluição atmosférica;
- Meteorologia;
- Inventário das emissões atmosféricas e;
- Fundamentos da dispersão atmosférica.

Torna-se necessário refletir em conjunto sobre o fato de que, quando as fábricas, os veículos e atividades naturais, como, por exemplo, os vulcões, lançam uma carga significativa de poluentes na atmosfera é desencadeado um processo de

dispersão destes poluentes, que pode ser agravado a depender das condições meteorológicas e dos seus respectivos níveis de concentração na atmosfera.

O agravamento das concentrações dos poluentes atmosféricos levará os impactos à saúde numa área e à biodiversidade em geral, além de contribuir para as mudanças climáticas em nosso planeta.

Então, o estudo da poluição atmosférica conduzirá a um maior entendimento dos problemas ambientais em escala global e local, criando as condições técnico-científicas para o seu enfrentamento.

### 1.1.2. Histórico

Durante anos o ser humano usou o fogo em suas residências de uma maneira que o ar que respiravam estava contaminado com os produtos da combustão incompleta. Após a invenção da chaminé, foi possível remover esses produtos do ambiente doméstico. Entretanto, fora das casas os problemas continuaram.

Na Europa, de acordo com STERN (1994), nos séculos 12 e 13, a madeira para uso como combustível tornou-se tão escassa que foi necessário buscar um combustível alternativo. Então o carvão mineral, que era abundante, foi a solução encontrada. A fumaça densa e negra criada através de sua queima era considerada um impacto aceitável. Verificou-se que de fato era mesmo aceitável comparado com o que estava para acontecer a partir da revolução industrial.

Com isso a poluição simbolizava expansão econômica e progresso tecnológico. A civilização industrial desenvolveu-se gerando resíduos que, ainda hoje, são lançados no ar, no solo, nos rios, nos lagos e nos mares.

Conforme descreveu STERN (1994), a Inglaterra liderou a abordagem do problema da poluição do ar e, em 1853 e 1856, o parlamento promulgou duas leis específicas sobre o assunto, inclusive dando poderes à polícia para fiscalizar a fumaça das chaminés.

No século XX, no período de 1900 a 1925, houve uma grande mudança na tecnologia e, conseqüentemente, nas fontes de emissão da poluição atmosférica e no seu controle. Entretanto, não houve nenhuma mudança significativa na legislação, nem mesmo conhecimento do problema ou manifestações públicas a esse respeito. E à medida que as cidades e fábricas aumentavam de tamanho agravavam-se os problemas de poluição.

Entre as décadas de 20 e 50 ocorreram inúmeros problemas de poluição, como acidentes graves envolvendo episódios da poluição atmosférica nos seguintes locais:

- Bélgica - um intenso FOG<sup>1</sup> ocorreu na área industrial de Meuse Valley, entre 1 e 5 de dezembro de 1930, causada pela emissão de poluentes, principalmente material particulado, na faixa de 2-6  $\mu\text{m}$ , e agravada por uma inversão térmica que acarretou doenças e mortes.
- Estados Unidos – Um severo episódio de poluição atmosférica ocorreu em Donora, na Pensilvânia, no período de 25 a 31 de outubro de 1948, devido às emissões de SO<sub>2</sub>, material particulado e CO, provenientes de fontes próximas à cidade, causando a morte de 20 pessoas.
- Entre 5 e 9 de dezembro de 1952 um grave acidente aconteceu em Londres, denominado “The Great Smog<sup>2</sup>”, quando 4000 pessoas morreram. Este episódio foi causado por emissões de SO<sub>2</sub> e material particulado, agravado por uma inversão térmica.

Estes acidentes levaram ao estabelecimento de leis mais rigorosas, principalmente nos Estados Unidos e na Europa e, em 1963 foi promulgado nos EUA o “Clean Air Act”, ato que estabeleceu padrões da qualidade do ar e estratégias de controle da poluição na fonte. Além disso, menciona-se a importância da pressão da sociedade, dos meios de comunicação e das organizações ambientalistas, principalmente a partir dos anos 60/70.

---

<sup>1</sup> FOG - Fenômeno constituído por finas partículas líquidas, (0,002 a 100  $\mu\text{m}$ ) geradas pela condensação da umidade (vapor d’água) presente no ar atmosférico.

### 1.1.3. Origem dos Poluentes Atmosféricos

Todo conforto e toda tecnologia moderna requerem grandes gastos de energia, e sua produção é a principal responsável pela poluição do ar. Grande parte da energia consumida no mundo é obtida através da queima de combustíveis fósseis, como o petróleo. Os automóveis, fábricas, usinas termoelétricas etc usam este tipo de energia. Em decorrência dessas atividades, a composição geral da camada de gases que envolvem a terra, a atmosfera, vem sendo alterada, devido à emissão de gás carbônico, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, enxofre, etc. Esta alteração da composição da atmosfera é a poluição do ar.

Existem basicamente dois tipos de fontes de emissão:

- *Emissões naturais* - spray marinho, erupções vulcânicas (ex: um vulcão em erupção emite particulado e gases, como H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> e metano, que podem impactar o meio ambiente, mesmo a distâncias consideráveis da fonte vulcânica), processos biológicos, etc.
- *Emissões antropogênicas* - carros, aviões, indústrias, etc.

Os poluentes são classificados como: *Poluentes primários* que são os aqueles emitidos diretamente para a atmosfera, como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, etc. e *Poluentes secundários* (O<sub>3</sub>, aldeídos, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, etc.) que são os formados na atmosfera a partir da emissão de seus precursores, conforme informações de SEINFELD & PANDIS, (1998) apresentadas na Tabela 2. Os poluentes reagem física e quimicamente na atmosfera, convertendo-se, às vezes, em outras formas ainda mais danosas, como o ozônio, por exemplo, um poluente formado na troposfera a partir de hidrocarbonetos, NO<sub>x</sub> e luz solar.

---

<sup>2</sup> SMOG – termo derivado das palavras smoke (fumaça) e fog (neblina), originalmente referido à poluição causada pela queima do carvão.

**Tabela 2 - Poluentes Primários e Secundários (SEINFELD & PANDIS, 1998).**

<b>Tipo</b>	<b>Poluente primário</b>	<b>Poluente secundário</b>	<b>Fontes</b>
Compostos de Enxofre	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S.	SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Sulfatos.	Combustão
Compostos de Nitrogênio	NO, NH <sub>3</sub> .	NO <sub>2</sub> , Nitratos.	Combustão a Altas Temperaturas
Compostos de Carbono	Hidrocarbonetos	Aldeídos, Cetonas, Ácidos orgânicos.	Combustão
Compostos Halogenados	HF, HCl	-	Indústria Petroquímica
Óxido de Carbono	CO, CO <sub>2</sub>	-	Combustão
Material Particulado	Partículas totais em suspensão e inaláveis	-	Petroquímica, Metalúrgicas, Combustão, Fertilizante.

#### 1.1.4. Principais Poluentes Atmosféricos

Considera-se poluente atmosféricos qualquer substância presente no ar e que, a depender de sua concentração, possa torná-lo impróprio, ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. O nível de poluição do ar é avaliado através das substâncias poluente presentes, e que o tornam nocivo à saúde pública e prejudicial aos materiais, à fauna e a flora. Os poluentes incluem qualquer elemento ou compostos químicos, naturais ou artificiais, capazes de permanecer em suspensão no ar ou ser arrastado pelo vento. Essas substâncias podem existir na forma de gases, no estado líquido, em forma de gotas ou de partículas sólidas. Assim, a seguir serão descritas algumas características dos principais poluentes atmosféricos.

→ **Material Particulado** - As partículas totais em suspensão podem ser definidas como sendo partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 100µ. Outro parâmetro adotado são as partículas inaláveis, com diâmetro aerodinâmico equivalente menor ou igual que 10µ. Dentre as partículas inaláveis, as mais grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório. Dentre estas, as mais finas, penetram mais profundamente. As submicrônicas podem inclusive atingir os alvéolos pulmonares. De acordo com recentes estudos da Organização Mundial de Saúde – OMS, foi estimado que 6% das mortes na Europa (1 em cada 17 mortes) são causadas por exposição a material particulado oriundo da queima veicular de combustíveis fósseis, COVILE et al. (2003). Estimam-se

40.000 mortes prematuras causadas por poluição atmosférica na Áustria, Suíça e na França, relacionadas às emissões veiculares de material particulado, (KUNZLI et al, 2000). Esses estudos demonstram a prioridade de um planejamento do setor de transporte, levando-se em consideração a poluição atmosférica causada por material particulado, (LONDON HEALF COMMISION, 2000).

- **Dióxido de Carbono** - Principal produto dos processos de combustão de combustíveis fósseis e de outros materiais combustíveis que contenham carbono. Ressalta-se a importante contribuição das emissões deste poluente são provenientes dos processos fermentativos naturais, como por exemplo a decomposição dos vegetais na natureza. Os principais problemas acarretados pelo CO<sub>2</sub> estão relacionados com as alterações climáticas, (BRAGA, 2002).
- **Monóxido de Carbono** - Proveniente da combustão incompleta de materiais fósseis como petróleo e carvão, emissões biogênicas, oceanos, oxidação de compostos metânicos e não metânicos e ainda, da queima de biomassa, este gás é muito nocivo à saúde humana. Segundo STERN (1994) exposição ao CO pode agravar as doenças já existentes de pulmão e coração. Altas concentrações reduzem a absorção de oxigênio pelo sangue, podendo até causar a morte. Seus efeitos são mais danosos nos fetos, recém nascidos, idosos e os doentes, porém qualquer pessoa pode estar sujeita aos seus efeitos, se a dose for elevada.
- **Dióxido de Enxofre** - Oriundos da queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa e vulcões. O ar poluído com dióxido de enxofre agrava as infecções respiratórias, ataca árvores e plantas e material de construção. O SO<sub>2</sub> agrava as doenças respiratórias preexistentes e também contribui para seu desenvolvimento. Sozinho provoca irritação no sistema respiratório e, absorvido em partículas pode ser conduzido mais profundamente, podendo causar danos nos tecidos do pulmão, (STERN, 1994).
- **Óxidos de Nitrogênio** - São provenientes de motores de combustão (aviões, fornos, incineradores, etc.), do emprego excessivo de certos fertilizantes, iluminação e de instalações industriais. No caso dos óxidos de nitrogênio (NO e

NO<sub>2</sub>), somente o NO<sub>2</sub> é motivo de preocupação por si mesmo. Devido à sua baixa solubilidade, é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo dar origem às nitroaminas, algumas das quais podem ser carcinogênicas. Este poluente é gerado a partir dos processos de combustão ou de processos de descargas elétricas na atmosfera, (BRAGA, 2002).

- **Poluentes Orgânicos** - Os poluentes orgânicos são provenientes de um grande número de fontes, tanto naturais quanto antropogênicas. Enquanto as fontes naturais ocorrem, por exemplo, através de processo de fermentação, as emissões antropogênicas são, de modo geral, provenientes de áreas industrializadas, (NEVES, 1999). Além de seu papel como um dos precursores na formação de ozônio troposférico e outros produtos de reações fotoquímicas, os poluentes orgânicos específicos também são de grande interesse devido aos efeitos diretos associados à sua exposição, sendo eles: depressão do sistema nervoso central – SNC, cefaléia, tonturas, fraqueza, espasmos musculares, vômitos, dermatites, fibrilação ventricular, convulsões, coma e até a morte quando existe exposição prolongada, (STERN, 1994).
  
- **Ozônio** - Segundo STERN (1994), o ozônio é um oxidante secundário formado no SMOG FOTOQUÍMICO. É considerado o maior poluente fitotóxico atmosférico existente, onde provoca redução na colheita e no crescimento de árvores, porque inibe a fotossíntese. Provoca irritação nas vias respiratórias, dor de cabeça, tontura cansaço e tosse. Não existem emissões antropogênicas significantes de ozônio na troposfera, sendo produzido principalmente a partir de reações fotoquímicas, envolvendo emissões naturais e antropogênicas, de óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos não metânicos. Alta temperatura e luz solar são condições termodinâmicas adequadas para a formação de O<sub>3</sub> em áreas urbanas. O smog afeta a visibilidade, além dos outros danos à saúde, causados pelo ozônio, que são inúmeros: pode provocar ressecamento das membranas mucosas da boca, nariz e garganta, dor de cabeça, alterações na visão, ardor nos olhos, mudanças funcionais no pulmão e edema. Pode agravar problemas respiratórios existentes, como a asma, e aumentar a suscetibilidade à infecção pulmonar. Algumas pessoas apresentam náusea, tosse e dor no peito

após exposição ao ozônio. Seus efeitos podem ser agudos (imediatos) ou crônicos (em longo prazo). É o ozônio, dentre os poluentes convencionais, que causa maiores danos às plantas. Além disso, deteriora as tintas à base de óleo, produtos de borracha, pintura de automóveis, etc., (SEINFELD & PANDIS, 1998).

#### 1.1.5. Meteorologia e a poluição atmosférica

A magnitude do impacto na qualidade do ar em determinada região depende das condições atmosféricas dominantes, responsáveis pelo transporte, transformação e dispersão dos poluentes emitidos, bem como pelas possíveis ocorrências de situações críticas de poluição do ar, provenientes de fontes industriais ou não, (NEVES, 1999).

O efeito da poluição atmosférica é função de um conjunto de parâmetros meteorológicos que atuam simultaneamente no sentido de aumentar ou reduzir os níveis desta poluição em uma determinada região. Pode-se observar que o clima está interagindo continuamente com o oceano, a terra e as atividades humanas, conforme ilustra a Figura 3 conforme ilustrou HUGHTON (1998).

##### 1.1.5.1. *Escalas de Movimento*

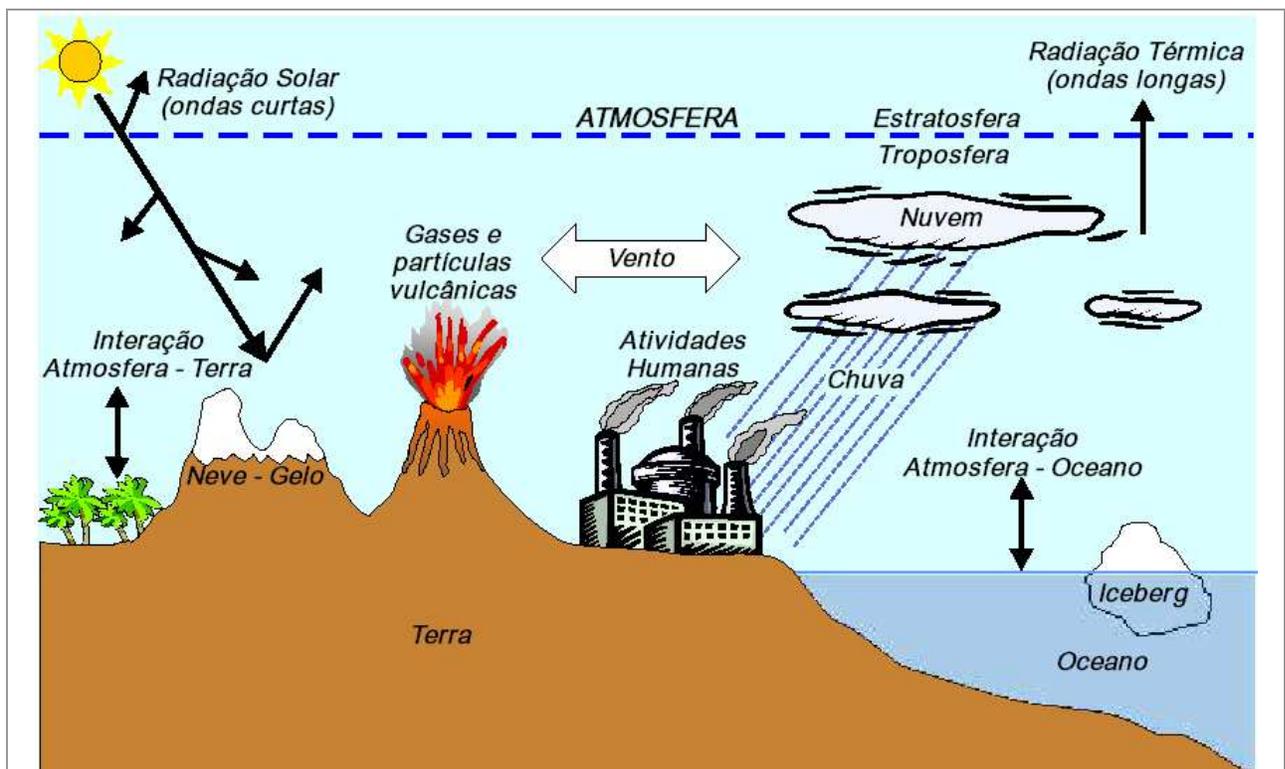
Os processos atmosféricos determinam o potencial de dispersão dos poluentes atmosféricos e, para quantificar este potencial, é necessário avaliar em qual escala de movimento está sendo estudada, ou seja, qual o tamanho da área em estudo e quais parâmetros meteorológicos estão influenciando. As escalas de movimento classificam-se em macro, meso e microescala, (SEINFELD & PANDIS, 1998).

- Macroescala – fenômenos que ocorrem sobre áreas de milhares de quilômetros, tais como as zonas de altas pressões semipermanentes, situadas principalmente sobre os oceanos. Os efeitos na macroescala ocorrem durante dias até várias semanas ou meses.
- Mesoescala – fenômenos que ocorrem sobre distâncias médias de centenas de quilômetros tais como as brisas marítimas e terrestres, os ventos de vales e montanhas, linhas de instabilidade associadas aos sistemas frontais. Esses

efeitos ocorrem sobre a temperatura, precipitação, umidade relativa, altura da camada limite, etc.

→ Microescala – fenômenos que ocorrem sobre distâncias médias de 1 km, em região de superfície quase plana, tais como movimento oscilatório de uma pluma de fumaça a partir de uma chaminé ou a circulação aerodinâmica do vento sobre morros montanhas e edifícios. Os efeitos micrometeorológicos sobre a dispersão ocorrem em escala de tempo de minutos.

Cada uma destas escalas desempenha um papel no transporte e dispersão de poluentes, uma vez que a escala de tempo atua em distâncias diferentes na transformação e sedimentação dos poluentes dentro do volume de ar da atmosfera.



**Figura 3 - Representação das interações entre o Clima - Oceano - Terra – Homem Adaptado de HUGHTON (1998).**

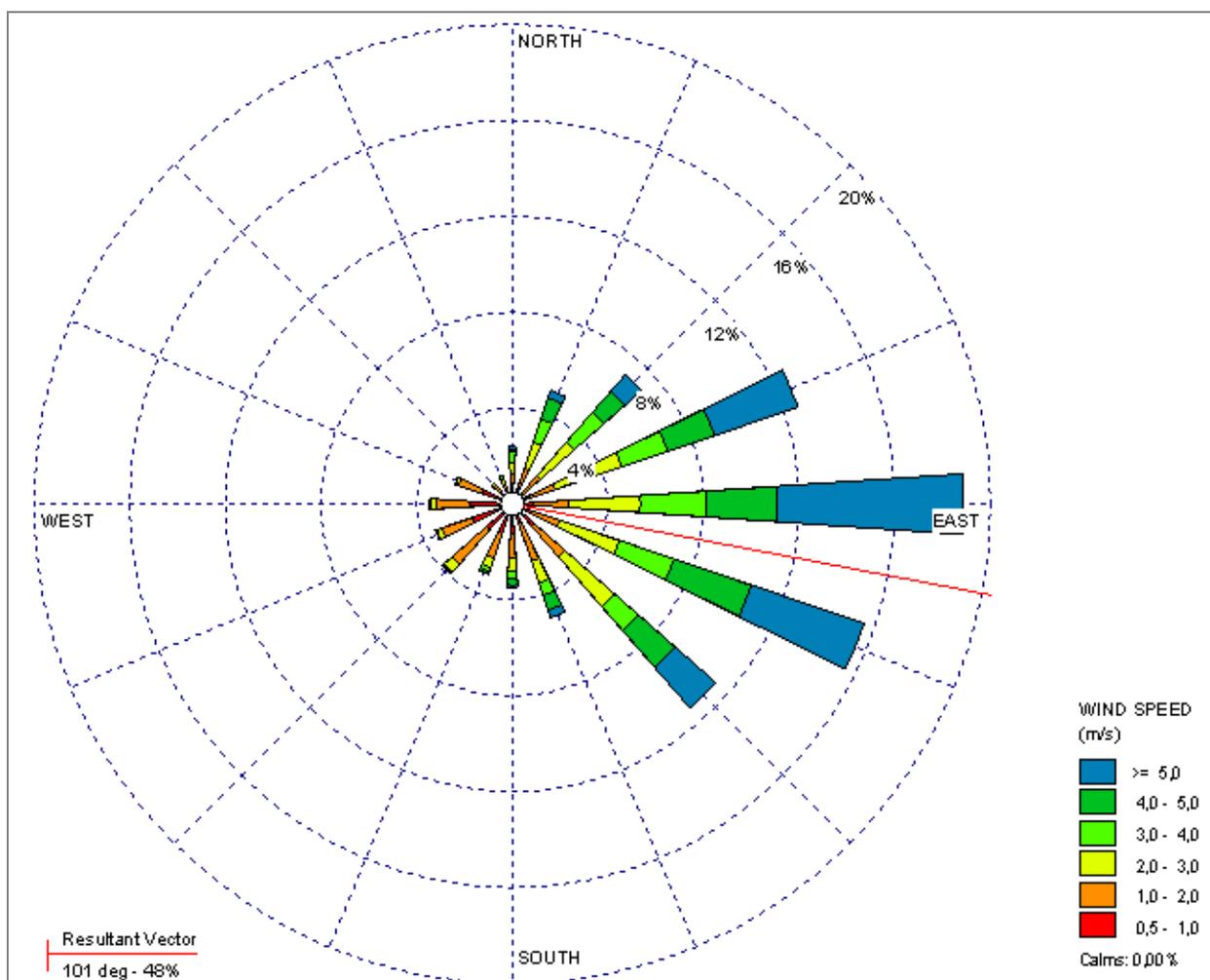
### 1.1.5.2. *Principais parâmetros meteorológicos relacionados à poluição do ar*

A poluição do ar está diretamente relacionada com o comportamento diário das condições meteorológicas de uma determinada região urbana ou industrial, que são monitoradas através de diversos parâmetros meteorológicos dentre eles:

- **Vento próximo à superfície** - O vento de superfície é o ar em movimento horizontal em relação à superfície terrestre. O vento é o elemento básico na circulação geral da atmosfera, como consequência da rotação da terra, diferença de pressão, temperatura e das diversas formas de energia, às quais a atmosfera é submetida.
  
- **Direção e velocidade do vento** - A direção do vento é o sentido de onde sopra o vento, ou seja, vento Sul significa que o vento está soprando do Sul para o Norte, considerando o observador como referencial fixo. O vento pode, eventualmente, soprar nas 16 direções existentes durante um ciclo de 24 horas, porém ele passa a maior parte do tempo soprando em uma das direções conhecidas como direção predominante. A representação gráfica do comportamento do vento é conhecida como a rosa dos ventos, que reúne, simultaneamente, a velocidade e a direção do vento e a frequência de ocorrência, apresentando os setores preferenciais de predominância do campo do vento de onde ele esteja soprando sobre uma determinada região. A Tabela 3 fornece as 16 direções do vento a cada 22,5°. Para melhor compreensão da Rosa dos Ventos, as direções estão representadas na Figura 4.
  
- **Turbulência** - A turbulência é o movimento irregular do vento os poluentes emitidos na atmosfera dispersam ou separam-se espalhando-se a depender deste parâmetro. A turbulência pode ser causada pela rugosidade da superfície sobre a qual o ar passa. Portanto as árvores, edificações e relevo do terreno provocam turbulência, e quanto mais altos estes elementos, maior a turbulência.

**Tabela 3 - Direção do Vento**

Identificação	Graus		Localização
1	0°	N	Norte
2	22,5°	NNE	Nortenordeste
3	45,0°	NE	Nordeste
4	67,5°	ENE	Estenordeste
5	90,0°	E	Este
6	112,5°	ESE	Estesudeste
7	135°	SE	Sudeste
8	157,5°	SSE	Sulsudeste
9	180,0°	S	Sul
10	202,5°	SSW	Sulsudoeste
11	225,0°	SW	Sudoeste
12	247,5°	WSW	Oestesudoeste
13	270,0°	W	Oeste
14	292,5°	WNW	Oestenoroeste
15	315,0°	NW	Nortoeeste
16	337,5°	NNW	Nortenoroeste



**Figura 4 – Rosa dos ventos da Estação Camaçari, 2003.**

→ **Estabilidade** - O conceito de estabilidade está diretamente ligado ao grau de equilíbrio de uma parcela de ar, que em seu movimento vertical tende a se elevar ou descer, dependendo da sua temperatura, pressão e densidade. Assim, tem-se que quanto maior a instabilidade da atmosfera, maior será sua capacidade de dispersão dos poluentes e que, em condições estáveis, como por exemplo inversões térmicas, irão restringir a dispersão na direção vertical. A determinação das classes de estabilidade pode ser realizada, segundo dois métodos, Sigma – A e método de Turner.

- Método do SIGMA-A ( $\sigma_A$ ) - baseado na turbulência atmosférica, ou seja, no desvio padrão da variação horizontal do vento. Um dos métodos disponíveis para a determinação desta variação é o método do Sigma-A, descrito na publicação da U.S.EPA, denominada “On-Site Meteorological Program Guidance For Regulatory Modeling Applications” (EPA, 1987). De acordo com Pasquill-Gifford, (EPA, 1976), existem seis classes de estabilidade atmosférica, que medem a turbulência horizontal (desvio padrão da direção do vento) e elas são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4 - Categorias de Estabilidade, PASQUILL-GIFFORD (1960)**

<b>Categoria de estabilidade</b>	<b>Condição de estabilidade</b>	<b>Observação</b>
A -- 1	Muito instável	Refere-se a condições instáveis, que em geral ocorrem durante o dia.
B -- 2	Instável	
C -- 3	Pouco instável	
D -- 4	Neutra	À noite ou durante o dia.
E -- 5	Pouco estável	Durante a noite
F -- 6	Estável	

- Método empírico de TURNER, (AWMA, 2000) é baseado em uma estimativa do aquecimento da atmosfera, proveniente da radiação solar e da cobertura de nuvens. Este método apresenta alguns inconvenientes, como por exemplo, a dificuldade para obtenção de dados, entretanto é muito eficiente se aplicado em estudo da meteorologia em tempo real. Os dados necessários para calcular as classes de estabilidade para cada hora, através do método de Turner, para uma determinada região, podem ser adquiridos através da WMO – Organização Mundial de Meteorologia. Já para o método Sigma-A, utilizam-se dados de estações meteorológicas locais.

- **Radiação solar** - Toda energia emitida pelo sol é, no conjunto, referenciada como radiação eletromagnética. A superfície da Terra recebe a radiação de onda curta e reemite para o espaço em forma de calor sensível, calor latente e radiação de onda longa. A transferência de calor entre a Radiação Solar, os oceanos e a superfície terrestre é o principal processo que comanda as mudanças diárias do tempo. A radiação contribui para a formação de ozônio e poluentes secundários.
  
- **Pressão atmosférica** - A Pressão atmosférica se refere ao peso de uma coluna de ar sobre determinada área da superfície terrestre, ou a força que o ar exerce sobre uma área imediatamente adjacente ao solo. As pressões atmosféricas mais altas contribuem para piorar as condições de dispersão dos poluentes. O ar frio é mais pesado do que o ar quente. Uma massa de ar de alta pressão é freqüentemente composta de ar frio e pesada. Por outro lado uma massa de ar de baixa pressão é composta de ar mais quente e menos pesada. Diferenças de pressão fazem o ar se deslocar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão, produzindo o vento, (AHRENS, 1993).
  
- **Altura da Camada Limite** - As inversões térmicas ou de temperatura ocorrem freqüentemente na baixa atmosfera e constituem, sem dúvida, um fator importante na dispersão dos poluentes, pois funcionam como uma barreira à dispersão dos poluentes atmosféricos. A camada limite é uma cobertura de ar que vai da superfície do solo até o nível da primeira inversão térmica, encontrada no perfil de temperatura. Esta camada possui uma altura média de 500 metros. Dentro desta camada os poluentes podem ser facilmente misturados a outras substâncias em suspensão, assim como ao vapor d'água. Segundo SEINFELD & PANDIS (1998), este é o motivo pelo qual a camada limite se comporta razoavelmente homogênea desde a superfície até a base da camada de inversão térmica e a sua temperatura potencial permanece praticamente constante com a altura. Quanto mais baixa a altura desta camada, menor o volume disponível para diluição dos poluentes na atmosfera.
  
- **Umidade** - A umidade é a presença de vapor d'água na atmosfera, cuja concentração máxima é de aproximadamente 4%. A umidade relativa é uma

medida do quanto o ar está próximo do ponto de saturação do vapor d'água. A umidade aumenta a massa e densidade das partículas, aumentando sua velocidade de queda.

## 1.2. Monitoramento da Qualidade do Ar

Entre os efeitos da poluição do ar estão os aumentos das doenças e mortes prematuras, a deterioração dos materiais, a redução das atividades agrícolas, a redução da visibilidade, os problemas de odores e outros efeitos negativos. O controle da poluição do ar pode beneficiar a sociedade, reduzindo estes danos.

A escolha do nível e da política de controle a serem adotados requer a comparação dos custos e benefícios das várias alternativas, para que o impacto total sobre o bem estar da sociedade seja o mínimo possível.

A avaliação da qualidade do ar numa região depende da obtenção de dados confiáveis que descrevam as condições existentes e sejam representativos de redes razoavelmente amplas e uniformes.

Os parâmetros monitorados pela rede permitirão determinar o grau de controle necessário e, portanto, os recursos necessários para a diminuição da poluição.

### 1.2.1. Principais objetivos da rede

Os principais objetivos para o monitoramento dos poluentes convencionais e não convencionais selecionados são:

- Avaliação da qualidade do ar para comparação com os padrões legislados;
- Determinação das tendências a longo, médio e curto prazo, incluindo subsídios para o controle da poluição atmosférica, que permitam avaliar a eficiência das medidas e equipamentos de controle da poluição atmosférica implantados;
- Determinação e planejamento do controle da poluição e seu acompanhamento;
- Estudos sobre os efeitos nas pessoas, materiais, flora e fauna
- Outros - relatório de impacto sobre o meio ambiente, compreensão dos fenômenos de transporte meteorológico de dispersão, etc.

### 1.2.2. Tipo de Redes de Monitoramento

De acordo com a Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA, 1986), existem basicamente dois tipos de redes de monitoramento da qualidade do ar:

- Rede tipo "Área": onde as variações espaciais são levadas em consideração, através de estações de monitoramento do ar, com o objetivo de medir a concentração média da área. Este tipo de rede é dirigido a áreas urbanas ou rurais.
- Segundo tipo de rede consiste na medição da qualidade do ar nos locais onde possam ocorrer às concentrações máximas dos poluentes, ou as maiores médias nas proximidades de fontes pontuais.

Os critérios exigidos pelos órgãos de controle ambiental americano requerem que cada estação meça uma concentração representativa do que está ocorrendo numa área do maior tamanho possível.

A localização das estações baseia-se também na densidade e localização da população, na localização e tipo das fontes de emissão (industrial ou veicular), na topografia e nos fatores meteorológicos.

Pelo menos uma estação deve estar dirigida para a coleta de dados das concentrações de fundo, que será denominada "Estação Controle" onde são definidos os níveis de concentração do ar "limpo" que chega a uma fonte ou conjunto de fontes. O somatório destas concentrações com a contribuição da fonte, ou das fontes, fornecerá o resultado total.

### 1.2.3. Escalas espaciais e temporais

Ainda segundo a EPA (1986), outra classificação do tipo de medição da qualidade do ar refere-se à escala espacial que se deseja que elas representem. As escalas podem ser divididas nas seguintes categorias:

- Regional - compreende medição da concentração de poluentes típicos de grandes áreas rurais, de geografia relativamente homogênea e que se estendem por dezenas ou até, centenas de quilômetros.
- Urbana - representa as concentrações de uma cidade com escala de dezenas de quilômetros. Em geral, são necessárias várias estações para se poder obter valores realmente representativos.
- Bairro - define a concentração de uma área correspondente a um bairro ou bairros, com o uso do solo relativamente uniforme ou homogêneo. As dimensões normais deste tipo de categoria são de um a vários quilômetros.
- Média - geralmente define estudos com áreas de dimensões de dezenas e centenas de metros. Esta escala compreende estudos relativos a estradas e ruas, assim como a avaliação das emissões fugitivas de unidades industriais.
- Micro - compreende estudos de pequena escala, com dimensões de até dezenas de metros.

As escalas temporais das medições dos poluentes basicamente são definidas pela legislação, porém, dependendo do instrumento disponível, freqüentemente é de interesse medir as variações das concentrações com escala temporal mais detalhada do que a exigida pela legislação.

#### 1.2.4. Determinação do cumprimento dos padrões legais

Um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada. São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar, primários e secundários, de acordo com a Resolução CONAMA N° 003/90 (BRASIL, 1990)

- Padrões Primários da qualidade do ar correspondem às concentrações de poluentes que ultrapassadas poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.
- Padrões Secundários de qualidade do ar correspondem às concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em metas de longo prazo. O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para a política de prevenção e degradação da qualidade do ar.

A razão da escolha dos parâmetros como indicadores da qualidade do ar está ligada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente e que são de modo geral, os mesmos legislados na maioria dos países: material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>).

Através da Portaria Normativa N<sup>o</sup>. 348 de 14/03/90, o IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, posteriormente submetidos ao CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, em 28/06/90, que se transformaram na Resolução CONAMA N<sup>o</sup> 003/90 observados na Tabela 5.

Existe um outro critério para legislação, que é para episódios agudos de poluição do ar. A Resolução CONAMA N<sup>o</sup> 003/90 estabelece padrões para os níveis de atenção, alerta e emergência, conforme

Tabela 6.

**Tabela 5 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, (CONAMA, 1990)**

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário		Padrão Secundário		Método de Medição <sup>(iv)</sup>
		µg/m <sup>3</sup>	ppb	µg/m <sup>3</sup>	ppb	
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas <sup>(i)</sup> MGA <sup>(ii)</sup>	240 80		150 60		Amostrador de grandes volumes
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	24 horas MAA <sup>(iii)</sup>	365 80	139 30,5	100 40	38,2 15,3	Pararosanilina
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora <sup>(i)</sup> 8 horas	40.000 10.000	35.000 9.000	40.000 10.000	35.000 10.000	Infravermelho não dispersivo
Ozônio (O <sub>3</sub> )	1 hora <sup>(i)</sup>	160	81,6	160	81,6	Quimioluminescência
Fumaça	24 horas <sup>(1)</sup> MAA <sup>(iii)</sup>	150 50		100 40		Reflectância
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas <sup>(i)</sup> MAA <sup>(3)</sup>	150 50		150 50		Separação inercial/Filtração
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	1 hora <sup>(i)</sup> MAA <sup>(iii)</sup>	320 100	170 53,2	190 100	101 53,2	Quimioluminescência

(i) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(ii) Média geométrica anual

(iii) Média aritmética anual

(iv) Analisados Posteriormente

**Tabela 6 - Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar, (CONAMA, 1990).**

Poluente	Tempo de amostragem	Níveis					
		Atenção		Alerta		Emergência	
		µg/m <sup>3</sup>	ppb	µg/m <sup>3</sup>	Ppb	µg/m <sup>3</sup>	ppb
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas	375		625		875	
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	800	305	1600	611	2100	802
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	17175	15000	34350	30000	45800	40000
Ozônio (O <sub>3</sub> )	1 hora	400	204	800	408	1000	510
Fumaça	24 horas	250		420		500	
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas	250		420		500	
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	1 hora	1130	601	2260	1202	3000	1596

### 1.2.5. Legislação para os Poluentes Orgânicos

Observa-se que não existem padrões de concentração ambientais para poluentes orgânicos na legislação brasileira, e por este motivo em 1996 foi efetuado um

estudo, em conjunto entre a CETREL – Empresa de Proteção Ambiental responsável pelo controle ambiental no Pólo Petroquímico de Camaçari, o COFIC – Conselho de Fomento Industrial de Camaçari, representando as empresas do Pólo e o CRA – Centro de Recursos Ambientais do Estado da Bahia, visando atender ao inciso XIX do artigo 4, da Resolução CEPRAM (1999) 2113/99 – Conselho Estadual de Proteção Ambiental, que estabelece a necessidade de propor limites para os poluentes orgânicos.

Como parte do estudo, foram efetuadas campanhas de monitoramento de orgânicos em três zonas urbanas (Salvador, Simões Filho e Praia do Forte) com o objetivo de conhecer e comparar os dados obtidos em áreas distantes do Pólo com as das estações da RMA – Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar, CETREL (2004) Utilizou-se também a legislação americana, apresentada na publicação da U.S.EPA (1995): “NATICH – National Air Toxics Information Clearinghouse”, que contém todos os padrões nacionais e estaduais adotados nos Estados Unidos para compostos orgânicos tóxicos. O estudo gerou um relatório denominado “Proposta de Padrões de Qualidade do Ar para a Região de Influência do Pólo Petroquímico”, submetido ao CEPRAM para posterior avaliação, conforme Tabela 7. Atualmente são utilizados como padrões ambientais para orgânicos, os estabelecidos pela Resolução CEPRAM 2878/01, que foi embasada na proposta de padrão citada anteriormente.

**Tabela 7 - Padrões de poluentes orgânicos, CEPRAM (1999).**

Composto	Padrão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Composto	Padrão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1,1 Dicloroetano	10240	Benzeno	5
1,1 Dicloroetano	61	Bromometano	NP
1,1,1 Tricloroetano	1750	Cloreto de Metileno	250
1,1,2 Tricloroetano	102	Cloreto de Vinila	25
1,1,2 Triclorotrifluoreto	5000	Clorobenzeno	50
1,1,2,2 Tetracloroetano	5	Cloroetano	NP
1,2 Dibromoetano	100	Clorofórmio	53
1,2 Diclorobenzeno	125	Clorometano	NP
1,2 Dicloroetano	50	Diclorodifluormetano	NP
1,2 Dicloroetano	1000	Estireno	250
1,2 Dicloropropano	NP	Etilbenzeno	500
1,2 Diclorotetrafluoreto	NP	Hexaclorobutadieno	NP
1,2,4 Triclorobenzeno	278	m-p-Xilenos	1230
1,2,4 Trimetilbenzeno	1420	o-Xileno	1230
1,3 Diclorobenzeno	526	Tetracloroeto de carbono	25
1,3 Dicloropropeno (cis)	NP	Tetracloroetano	125
1,3 Dicloropropeno (trans)	NP	Tolueno	250
1,3,5 Trimetilbenzeno	125	Tricloroetano	250
1,4 Diclorobenzeno	50	Triclorofluormetano	3900

### 1.2.6. Métodos de Monitoramento

Os poluentes convencionais: SO<sub>2</sub>, CO, MP, NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> são monitorados através de modernos equipamentos automáticos e contínuos. No Brasil existem redes de monitoramento da qualidade do ar, como por exemplo, a da CETESB na Região Metropolitana de São Paulo e interior, e a do Pólo Petroquímico de Camaçari no Estado da Bahia, que são similares às redes de monitoramento do ar em funcionamento em países da Europa e nos Estados Unidos, (TAVARES, 1996), e os métodos de determinação desses poluentes consistem basicamente em:

- SO<sub>2</sub> – Fluorescência no ultravioleta;
- NO<sub>x</sub> – Quimioluminescência;
- O<sub>3</sub> – Fotometria no ultravioleta;
- CO – Infravermelho associado a filtros de correlação;
- COV's - Cromatografia gasosa,
- MP – Material Particulado
  - AGV – é um amostrador de grandes volumes, que consiste em amostrar durante 24 horas seguidas, uma grande quantidade de ar, que passa por um filtro especial. Este filtro coleta as partículas com diâmetros menores que 100 micra<sup>3</sup>. Este método atende a determinação de Partículas Totais em Suspensão (PTS)
  - MP<sub>10</sub> – Este equipamento é semelhante ao AGV, porém monitoram apenas as partículas menores que 10 micra. A amostragem é feita durante 24 horas, a cada seis dias. Este método atende a determinação de Partículas Inaláveis (PI).

---

<sup>3</sup> Micra- Plural de Micron, milésima parte do milímetro.

### 1.3. Inventário de Emissões Atmosféricas

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.

Uma grande aplicação para o inventário de emissões é o estudo da dispersão de poluentes atmosféricos. Para isso, é necessário conhecer, com os maiores detalhes e menores incertezas possíveis, as emissões de poluentes provenientes das diferentes fontes.

Cabe destacar que os resultados obtidos em um inventário possuem uma série de outros 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.

#### 1.3.1. 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 permitem 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 e fundamentais para o gerenciamento da qualidade do ar. Têm sido extremamente utilizados nas refinarias de petróleo, bem como nas indústrias químicas, petroquímicas, etc, desde a década de 70. Estimativas das emissões são importantes para o desenvolvimento de estratégias de controle das mesmas. (NEVES & ASSUNÇÃO, 2001). 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. 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. As principais referências para o uso de fatores de emissão são: o “Air Chief” ([www.epa.gov/ttn/chief](http://www.epa.gov/ttn/chief)) da EPA, que inclui o AP-42 adotado neste trabalho, onde a cada fator é associada uma classe de qualidade do FEM, que varia de “A” a “E”, sendo “A” o melhor valor. Quanto mais alta a qualidade do fator, maior é a probabilidade de que ele seja representativo das emissões de uma determinada fonte.

→ 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.

De uma forma preliminar, é possível se identificar os tipos de poluentes atmosféricos existentes, relacionando-os com os diferentes tipos de fontes de emissão. A Tabela 8 indica os principais poluentes atmosféricos associados aos segmentos produtivos e operações industriais, (EPA, 1997).

**Tabela 8 - Poluentes atmosféricos e suas fontes potenciais de emissão, U.S.EPA (1997).**

FONTE	DESCRIÇÃO	COVs	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	MP
Queima de combustível	Óleo, gás, carvão, outros;		X	X	X	X
Fabricação de produtos químicos	Produtos orgânicos	X	X			
	Produtos inorgânicos		X			
	Polímeros e resinas	X				
	Outros produtos químicos	X	X			
Processamento de metais	Metais não-ferrosos		X			X
Outros processos industriais	Papel e celulose	X	X			X
Utilização de solventes	Desengraxe	X				
Estocagem e transporte	Produtos orgânicos	X				
	Produtos inorgânicos					X
Tratamento de Efluentes e resíduos	Incineração		X			X
Outras fontes	Estações de tratamento	X				
	Torres de refrigeração	X				

### 1.3.2. Tipos de Emissões Atmosféricas Industriais

A emissão de um determinado poluente atmosférico está relacionada com as diferentes origens de emissão. Verifica-se na Tabela 8 a emissão de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) está relacionada com a queima de combustível. Já a emissão de orgânicos voláteis (VOC) pode ocorrer na estocagem de material, 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 emissões veiculares.

#### 1.3.2.1. *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, deve-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.

As emissões da queima de combustível dependem do tipo de óleo ou gás, 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.

Dados de análise do combustível são 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 no combustível, assume-se que todo o poluente é emitido para a atmosfera. Este método é bastante apropriado para poluentes como NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. A quantidade de poluente emitido depende também do pico de temperatura na câmara de combustão, concentração de oxigênio, tempo de exposição á temperatura máxima, e condições de operação.

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/m<sup>3</sup>.

A partir destes dados são calculadas as taxas emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Material Particulado e Orgânicos Totais. Para isso, devem-se aplicar os coeficientes apresentados na compilação de fatores de emissão apresentada pela EPA no AIR CHIEF-NTIS (2003) que mostra qual a taxa de emissão de um determinado poluente por quantidade de combustível consumido. Como por exemplo, os fatores de emissão para queima de óleo combustível em caldeiras não controladas, são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9 - Fatores de emissão para queima de óleo combustível em caldeiras, (NTIS, 2003).**

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

(a) COT = Compostos orgânicos totais. (b) %<sub>S</sub> - 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° 6: 1,12S + 0,37 Kg/m<sup>3</sup>, 2) Óleo N° 5: 1,2 Kg/m<sup>3</sup>, 3) Óleo N° 4: 0,84 Kg/m<sup>3</sup>, 4) Óleo N° 2: 0,24 Kg/m<sup>3</sup>.

Supondo-se, como exemplo, uma caldeira do tipo queima frontal operando durante todas as horas do ano e queimando 1170 ton/ano de óleo do tipo N° 6 com um teor de enxofre de 0,34% (em peso) e densidade de 912,8 kg/m<sup>3</sup>. Baseado nos fatores de emissão mostrado na Tabela 9 e na equação 1 aplicada a taxa de emissão de poluentes atmosféricos, pode-se determinar as taxas de emissões dos poluentes. Estes valores são apresentados na Tabela 10.

$$TE = \frac{Fat_{Emis} * \dot{m}}{\rho_{\text{óleo}}} \quad \text{Eq 1}$$

Onde:

- TE – Taxa de emissão (ton/ano)
- FatEmis – Fator de Emissão (kg/m<sup>3</sup>)
- $\dot{m}$  - vazão mássica do combustível (ton/ano)
- $\rho_{\text{óleo}}$  – Densidade do óleo (kg/m<sup>3</sup>)

**Tabela 10 – Emissões de caldeira de óleo, (NTIS, 2003).**

POLUENTE	TAXA DE EMISSÃO (ton/ano)
SO <sub>2</sub>	8,28
SO <sub>3</sub>	0,30
NO <sub>x</sub>	10,25
CO	0,77
MP	0,96
COT	0,16

Para a elaboração do inventário, com o objetivo de calcular a dispersão dos poluentes na atmosfera, deve-se fornecer a vazão volumétrica 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.

#### 1.3.2.2. 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, impossíveis de serem monitoradas. As emissões do Flare devem ser calculadas com base nos coeficientes de emissão do AP-42, NTIS (2003), mostrados Tabela 11, 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.

**Tabela 11 - Classe dos fatores de emissão, (NTIS, 2003).**

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

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.

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 (m<sup>3</sup>/s), temperatura de queima (K), composição da corrente de alimentação (% volumétrico) e calor de combustão de cada componente da mistura.

### 1.3.2.3. 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 12 apresenta a emissão de Estireno na produção de Poliestireno.

**Tabela 12 - Emissões de Estireno da Fabricação de Poliestireno, (NTIS, 2003).)**

FONTE	TIPO DE PROCESSO	EMISSIONES 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

Recomenda-se que, quando não existir coeficientes de emissões disponíveis usa-se 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.

### 1.3.2.4. 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 proveniente 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 significativo. O estudo de emissões realizado na Refinaria Amoco Oil Company's em Yorktown, Virginia, Estados Unidos, EPA (1992), com capacidade de refino de aproximadamente 10000 m<sup>3</sup>/dia de petróleo, mostra que as emissões fugitivas de hidrocarbonetos correspondem a 10% do total.

Portanto, é necessário o conhecimento do número de equipamentos e tipo de instalação existentes em um determinado processo.

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, que são específicos para os diferentes tipos de serviço (líquido, gás etc.), da Tabela 13.

**Tabela 13 - Fatores médios de emissão para indústria química orgânica, (NTIS, 2003).**

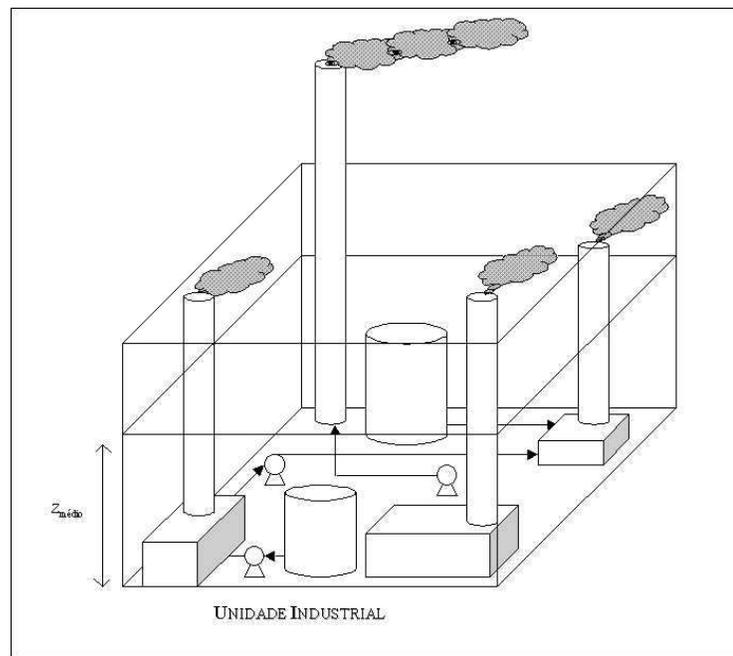
FONTE	SERVIÇO	FATOR DE EMISSÃO (kg/h/fonte) <sup>(*)</sup>
Válvulas	Gás/Vapor	0,00597
	Líquido leve	0,00403
	Líquido pesado	0,00023
Selos de bombas	Líquido leve	0,0199
	Líquido pesado	0,00862
Selos de compressores	Gás/Vapor	0,228
Válvulas de alívio	Gás/Vapor	0,104
Flanges/Conexões	Todos os tipos	0,00183
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 apresentam a situação mais próxima da realidade. Com isso, 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. A altura da emissão é considerada como se estivesse no centro

de um cubo, localizado sobre o solo, como apresenta a Figura 5. Observa-se que não existe uma elevação da pluma associada com as fontes volume, pois elas não possuem energia de movimento e também a temperatura dos gases, proveniente de emissões fugitivas não é elevada, como ocorre com as chaminés.



**Figura 5 - Altura de Emissão para Fontes Volume.**

→ As dimensões laterais ( $\sigma_{y0}$ ) e verticais ( $\sigma_{z0}$ ) 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”. *Initial lateral dimension* ( $\sigma_{y0}$ ) é a dimensão lateral inicial, igual a um dos lados a unidade quando esta ocupa uma área quadrada, porém se as unidades forem retangulares ou assumirem formatos irregulares, neste caso calcula-se a área equivalente da unidade, e considera-se sua dimensão lateral inicial, como a raiz quadrada da área total. O  $\sigma_{y0}$  é obtido dividindo-se esta dimensão lateral inicial por 4,3. *Initial vertical dimension* ( $\sigma_{z0}$ ) é a dimensão vertical inicial. O  $\sigma_{z0}$  é obtido dividindo-se a altura da unidade ou a altura média da unidade por 2,15.

### 1.3.2.5. 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.

### 1.3.2.6. 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. Uma possibilidade para determinação deste tipo de emissão é descrita abaixo.

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 LAGOON<sup>4</sup> que permite realizar o cálculo de emissões gasosas 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) conforme a equação 2 aplicada à emissão para sistemas de tratamento de efluentes.

$$E = K * C_L * A \quad \text{Eq 2}$$

Onde:

- E = Taxa de Emissão do componente (g/s);
- K = Coeficiente global de transferência de massa (m/s);
- CL = Concentração do componente na fase líquida (g/m<sup>3</sup>); e

---

<sup>4</sup> LAGOON – Módulo de cálculo da emissão de VOCs da fase líquida para a atmosfera, este módulo pertence ao programa Exinter.

→  $A = \text{Área Superficial do líquido (m}^2\text{)}$ .

### 1.3.2.7. *Armazenamento: estocagem e transferências*

As áreas 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.
- 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 elaboração do inventário de emissões de tanques pode ser utilizado o programa Tank's, (NTIS, 2003).

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.

### 1.3.3. 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 e suspensão de material. A composição e proporção dos gases dependem da natureza do combustível (álcool, diesel, gasolina, gás natural, etc.) e sistema de combustão, (MELCHORS et al, 2003).

Os gases mais conhecidos e cujos limites estão definidos na legislação são o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>). Também podem ser citados outros poluentes emitidos tais como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), aldeídos (RCHO), clorofluorcarbono (CFC) e material particulado (MP). A maioria destes poluentes causa problemas respiratórios, mas convém ressaltar outros malefícios causados.

#### 1.3.3.1. *Evolução do controle de emissões veiculares*

Segundo Melchors (2000), nos anos 70 os motores eram projetados para privilegiarem, sobretudo, a potência, ou seja, eram calibrados para trabalhar com uma mistura rica em combustível. Assim, ocorriam maiores emissões de CO e HC e menores de NO<sub>x</sub>. Observavam-se emissões de CO da ordem de 20 a 30 g/km, os veículos mais antigos emitiam até 70 g/km. Para os HC e NO<sub>x</sub> as emissões oscilavam de 2 a 5 g/km e 1,5 a 2 g/km, respectivamente.

Felizmente, em 1986, o governo, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente, regulamentou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos

Automotores (PROCONVE). Este programa fixou limites de emissão obrigando o desenvolvimento tecnológico dos motores, da qualidade dos combustíveis e de combustíveis alternativos.

Desde sua implantação, o Programa reduziu a emissão de poluentes de veículos novos em cerca de 97%, por meio da limitação progressiva da emissão de poluentes, através da introdução de tecnologias como catalisador, injeção eletrônica de combustível e melhorias nos combustíveis automotivos.

A CETESB adaptou as metodologias internacionais às necessidades brasileiras e desenvolveu os fundamentos técnicos para combater a poluição gerada pelos veículos automotores, que serviu de base para que o CONAMA criasse o Programa.

Assim, todos os novos modelos de veículos e motores nacionais e importados são submetidos obrigatoriamente à homologação quanto à emissão de poluentes. Para tal, são analisados os parâmetros de engenharia do motor e do veículo relevantes à emissão de poluentes, sendo também submetidos a rígidos ensaios de laboratório, onde as emissões de escapamento são quantificadas e comparadas aos limites máximos em vigor.

Visando complementar o controle do Proconve e assim contribuir para a redução da poluição do ar oriunda de fontes móveis no Brasil, foi criado, em 2002, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares - Promot.

O Promot estabeleceu limites de emissão para gases poluentes provenientes de motocicletas novas e previu exigências quanto à durabilidade de emissões, controle da qualidade da produção, critérios para a implantação de programas de inspeção e manutenção periódica e fiscalização em campo.

Além da produção de veículos menos poluentes, o Proconve, dentro de seus objetivos, previu a implantação, pelos órgãos estaduais de controle ambiental, de programas regionais de inspeção e manutenção dos veículos em uso.

### 1.3.3.2. Metodologia para estimativa das emissões veiculares

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 equação 3:

$$E = F_E * KM * 10^{-6} \quad \text{Eq 3}$$

A forma de cálculo apresentada na equação 3 é, usualmente, empregada para a realização do inventário de emissões veiculares pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e pela CETESB. Os fatores de emissão médios da CETESB (2006) são apresentados na Tabela 14 e Tabela 15

**Tabela 14 - Fatores médios de emissão dos veículos em uso na RMSP. Fonte, CETESB,2003.**

FONTES DE EMISSÃO	TIPO DE VEÍCULO	FATOR DE EMISSÃO (g/km)				
		CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
TUBO DE ESCAPAMENTO	GASOLINA COMUM	12,30	1,26	0,7	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	19,70	2,60	0,10	0,04	0,05
EMISSÃO DE CÁRTER	GASOLINA	--	2,00	--	--	--
	ÁLCOOL	--	1,50	--	--	--
	MOTOCICLETA E SIMILARES	--	1,40	--	--	--
PNEUS	TODOS OS TIPOS	--		--	--	0,07

**Tabela 15 - Fatores médios de emissão de veículos leves novos.( CETESB,2006)**

ANO	COMBUSTÍVEL	CO	HC	NO <sub>x</sub>	RCHO	EMIÇÃO EVAPORATIVA DE COMBUSTÍVEL
MODELO		(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/teste)
PRÉ - 80	Gasolina	54	4,7	1,2	0,05	ND
80 - 83	Gasolina C	33	3	1,4	0,05	ND
	Álcool	18	1,6	1	0,16	ND
84 - 85	Gasolina C	28	2,4	1,6	0,05	23
	Álcool	16,9	1,6	1,2	0,18	10
86 - 87	Gasolina C	22	2	1,9	0,04	23
	Álcool	16	1,6	1,8	0,11	10
88	Gasolina C	18,5	1,7	1,8	0,04	23
	Álcool	13,3	1,7	1,4	0,11	10
89	Gasolina C	15,2 (-46%)	1,6 (-33%)	1,6 (00%)	0,040 (-20%)	23,0 (0%)
	Álcool	12,8 (-24%)	1,6 (0%)	1,1 (-08%)	0,110 (-39%)	10,0 (0%)
90	Gasolina C	13,3 (-53%)	1,4 (-42%)	1,4 (-13%)	0,040 (-20%)	2,7 (-88%)
	Álcool	10,8 (-36%)	1,3 (-19%)	1,2 (00 %)	0,110 (-39%)	1,8 (-82%)
91	Gasolina C	11,5 (-59%)	1,3 (-46%)	1,3 (-19%)	0,040 (-20%)	2,7 (-88%)
	Álcool	8,4 (-50%)	1,1 (-31%)	1,0 (-17%)	0,110 (-39%)	1,8 (-82%)
92	Gasolina C	6,2 (-78%)	0,6 (-75%)	0,6 (-63%)	0,013 (-74%)	2,0 (-91%)
	Álcool	3,6 (-79%)	0,6 (-63%)	0,5 (-58%)	0,035 (-81%)	0,9 (-91%)
93	Gasolina C	6,3 (-77%)	0,6 (-75%)	0,8 (-50%)	0,022 (-56%)	1,7 (-93%)
	Álcool	4,2 (-75%)	0,7 (-56%)	0,6 (-50%)	0,040 (-78%)	1,1 (-89%)
94	Gasolina C	6,0 (-79%)	0,6 (-75%)	0,7 (-56%)	0,036 (-28%)	1,6 (-93%)
	Álcool	4,6 (-73%)	0,7 (-56%)	0,7 (-42%)	0,042 (-77%)	0,9 (-91%)
95	Gasolina C	4,7(-83%)	0,6 (-75%)	0,6(-62%)	0,025(-50%)	1,6 (-93%)
	Álcool	4,6 (-73%)	0,7 (-56%)	0,7 (-42%)	0,042 (-77%)	0,9 (-91%)
96	Gasolina C	3,8 (-86%)	0,4 (-83%)	0,5 (-69%)	0,019 (-62%)	1,2 (-95%)
	Álcool	3,9 (-77%)	0,6 (-63%)	0,7 (-42%)	0,040 (-78%)	0,8 (-92%)
97	Gasolina C	1,2 (-96%)	0,2 (-92%)	0,3 (-81%)	0,007 (-86%)	1,0 (-96%)
	Álcool	0,9 (-95%)	0,3 (-84%)	0,3 (-75%)	0,012 (-93%)	1,1 (-89%)
98	Gasolina C	0,8 (-97%)	0,1 (-96%)	0,2 (-88%)	0,004 (-92%)	0,8 (-97%)
	Álcool	0,7 (-96%)	0,2 (-88%)	0,2 (-83%)	0,014 (-92%)	1,3 (-87%)
99	Gasolina C	0,7 (-98%)	0,1 (-96%)	0,2 (-88%)	0,004 (-92%)	0,8 (-97%)
	Álcool	0,6 (-96%)	0,2 (-88%)	0,2 (-83%)	0,013 (-93%)	1,6 (-84%)
00	Gasolina C	0,73 (-97%)	0,13 (-95%)	0,21 (-87%)	0,004 (-92%)	0,73 (-97%)
	Álcool	0,63 (-96%)	0,18 (-89%)	0,21 (-83%)	0,014 (-92%)	1,35 (-87%)
01	Gasolina C	0,48 (-98%)	0,11 (-95%)	0,14 (-91%)	0,004 (-92%)	0,68 (-97%)
	Álcool	0,66 (-96%)	0,15 (-91%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	1,31 (-87%)
02	Gasolina C	0,43 (-98%)	0,11 (-95%)	0,12 (-95%)	0,004 (-92%)	0,61 (-97%)
	Álcool	0,74 (-96%)	0,16 (-90%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	ND
03	Gasolina C	0,40 (-98%)	0,11 (-95%)	0,12 (-93%)	0,004 (-92%)	0,75 (-97%)
	Álcool	0,77 (-95%)	0,16 (-90%)	0,09 (-93%)	0,019 (-89%)	ND
	Flex-Gasol.C	0,50 (-98%)	0,05 (-98%)	0,04 (-98%)	0,004 (-92%)	ND
	Flex-Álcool	0,51 (-88%)	0,15 (-90%)	0,14 (-93%)	0,020 (-89%)	nd
04	Gasolina C	0,35 (-99%)	0,11 (-95%)	0,09 (-94%)	0,004 (-92%)	0,69 (-97%)
	Álcool	0,82 (-95%)	0,17 (-89%)	0,08 (-93%)	0,016 (-91%)	ND
	Flex-Gasol.C	0,39 (-99%)	0,08 (-97%)	0,05 (-97%)	0,003 (-94%)	ND
	Flex-Álcool	0,46 (-97%)	0,14 (-91%)	0,14 (-91%)	0,014 (-92%)	ND

(1) Médias ponderadas de cada ano-modelo pelo volume da produção. ND: não disponível. (%) refere-se à variação verificada em relação aos veículos 1985, antes da atuação do PROCONVE. Gasolina C: 78% gasolina + 22% álcool.

#### **1.4. Dispersão de Poluentes Atmosféricos**

A gestão e a proteção da qualidade do ar pressupõem o conhecimento do estado da atmosfera. Esse conhecimento envolve um aspecto propriamente cognitivo e um interpretativo. Segundo MOREIRA & TIRABASSI (2004), o controle da qualidade do ar requer instrumento interpretativo capaz de extrapolar no espaço e no tempo os valores medidos na posição dos analisadores, enquanto a melhoria da atmosfera pode ser obtida somente com planos que reduzam as emissões e, então, com instrumentos (como o modelo matemático de dispersão na atmosfera) capazes de ligar a causa (a fonte) de poluição com o efeito (a concentração do poluente).

Os processos que governam o transporte e a difusão de poluentes são numerosos e de uma complexidade tal que não é possível descrevê-los sem a utilização de modelos matemáticos, que resultam, então, serem um instrumento técnico indispensável para a gestão ambiental. Os modelos matemáticos são capazes de:

- Descrever e interpretar os dados experimentais;
- Controlar em tempo real e/ou analisar a qualidade do ar;
- Administrar as liberações emergenciais e avaliar as áreas de risco;
- Identificar as fontes poluidoras;
- Avaliar a contribuição de uma única fonte à carga poluidora;
- Administrar e planejar o território.

Existem numerosos modelos matemáticos de difusão de poluentes na atmosfera, também notavelmente diferentes uns dos outros, que podem ser utilizados para descrever os propósitos descritos acima. Atualmente, o fenômeno da difusão turbulenta na atmosfera não é completamente formulado, no sentido de que não existe ainda um modelo único que explique todos os fenômenos observados.

#### 1.4.1. Histórico dos modelos de dispersão

Desde o advento da modelagem computacional da atmosfera, em 1948, os modelos matemáticos têm servido para a aplicação nos estudos do tempo, clima, e a poluição do ar nas escalas urbana, regional e global, (FRONDIZI, 1991). O estudo do modelo matemático nos leva ao entendimento das propriedades físicas e químicas da poluição do ar e da meteorologia.

Inicialmente os modelos eram usados para fins militares, durante a primeira Guerra Mundial. Ambas as partes envolvidas no conflito utilizaram gases venenosos como armas de guerra. Os ingleses organizaram o “Chemical Defense Research Establishment”, em Porton Down, durante a guerra, (STERN, 1994). Pesquisas naquela instituição dominaram o campo de modelos de dispersão por mais de 30 anos, até o fim da segunda Guerra Mundial.

Com o advento do uso potencial de energia nuclear para gerar energia elétrica, a Comissão de Energia Atômica, (STERN, 1994) dos EUA investiu pesado para compreender natureza dos processos de transporte e difusão atmosférica. O exército e a força aérea americana têm estudado também os processos atmosféricos para entender os efeitos potenciais das armas químicas e biológicas.

Um uso importante dos modelos matemáticos destina-se ao atendimento da legislação. Desde 1973 o uso destes modelos, nos EUA, para cumprir a legislação é muito mais intensivo do que seu uso para fins de engenharia. Isto ocorre por que os países são muito grandes e monitorar todas as áreas é muito caro, por isso, os modelos de dispersão fornecem um meio rápido e barato de realizar esta análise. Estes usos incluem os seguintes propósitos:

- Desenvolver novos padrões para emissões atmosféricas;
- Determinar o atendimento da legislação;
- Demonstrar as melhorias da qualidade do ar em áreas denominadas “non-attainment”, que não atendem a legislação;
- Determinar zonas de vulnerabilidade da população.

Após o conhecimento das propriedades da atmosfera, meteorologia e das fontes de poluição, deve-se aplicar todas essas informações no estudo do comportamento dos poluentes após sua emissão para a atmosfera. Este será o objeto do desenvolvimento desta seção.

#### 1.4.2. Definição de dos modelos

Um modelo de dispersão é uma descrição matemática do processo de difusão turbulenta e transporte que ocorrem na atmosfera. A relação entre o poluente e a concentração medida em um receptor específico é uma função das condições meteorológicas e da relação espacial entre a fonte e o receptor.

Em sua forma mais simples um modelo requer três tipos de dados de entrada: informações sobre as *fontes dos poluentes, dados meteorológicos e topografia da região*. E a partir destes dados o modelo simula matematicamente o transporte e a dispersão dos poluentes, e em alguns modelos, as transformações físicas e químicas, bem como os processos de remoção. O resultado do modelo é a concentração do poluente, para um período de tempo específico e para um receptor específico.

#### 1.4.3. Modelos Matemáticos

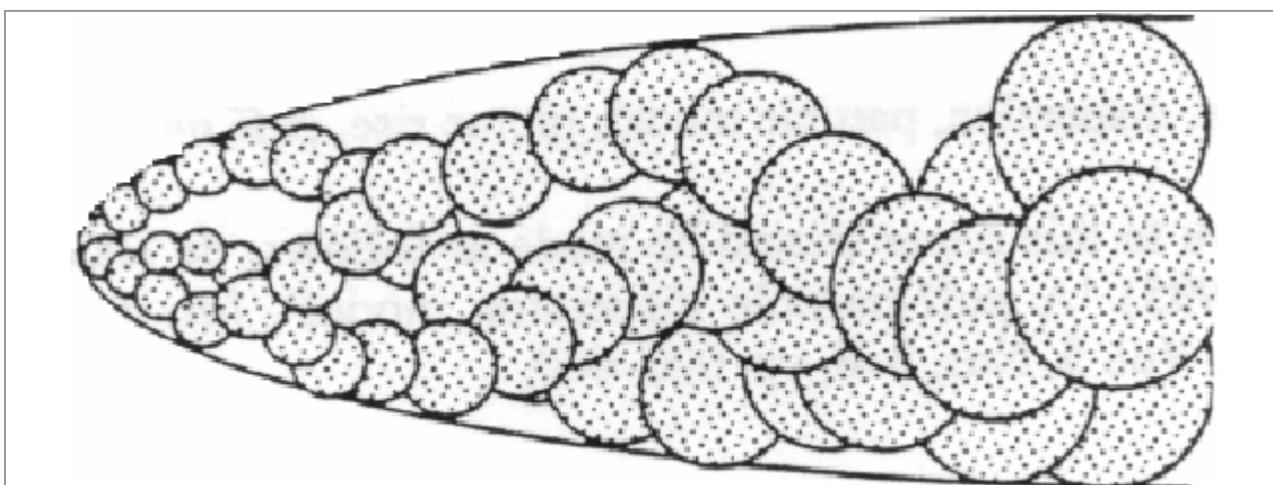
De acordo com MORAES (2001) a investigação da dispersão e do transporte de poluentes na atmosfera é uma atividade fundamental na proteção da qualidade do ar. Nas últimas décadas, o estudo do transporte e dispersão de poluentes na atmosfera tornou-se um assunto bastante estudado. A importância do assunto tornou-se evidente com o aumento das emissões de poluentes causadas pelo crescimento das áreas urbanas e industriais. Outro fator decisivo que tem levado ao estudo sistemático do comportamento da dispersão de poluentes na atmosfera é a localização dos grandes centros urbanos e industriais. Em geral estes centros estão localizados em regiões bastante heterogêneas em termos de relevo, tipos de solo e ocupação. Estas peculiaridades tornam mais complexas a caracterização da dispersão de contaminantes nestes locais. Como consequência da própria configuração do terreno pode surgir

circulação local que torna ainda mais crítica a previsão da concentração de contaminantes. Portanto uma melhor compreensão destes processos pode nos levar a um melhor controle e gerenciamento da qualidade do ar. Em tempos passados a instalação de uma indústria, por exemplo, não se considerava as características meteorológicas do local onde a mesma estava sendo colocada. Sabe-se hoje em dia que certos locais podem ser totalmente inadequados para a instalação de uma fonte poluidora. A instalação de uma nova usina termoelétrica ou de uma indústria de materiais cerâmicos, por exemplo, deve passar por um estudo detalhado do seu possível impacto sobre o ecossistema local.

O cálculo do transporte e dispersão de poluentes leva em consideração diversos fatores, entre eles, condições meteorológicas, características das fontes poluidoras e dos gases emitidos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , etc). Dados como temperatura da atmosfera, velocidade dos ventos, incluído suas flutuações (turbulência), insolação no local de implantação da indústria, direção do vento, grau de estabilidade ou instabilidade da atmosfera, relevo, entre outros, são os fatores mais importantes. Ainda é necessário saber as dimensões da chaminé (altura e diâmetro), a localização da indústria e a composição química dos gases. A intensidade da propagação dos gases é diferente para cada tipo de fonte. As emissões provenientes das indústrias de papel e celulose, por exemplo, possuem uma intensidade muito forte.

A dispersão, portanto, é um processo extremamente complexo. Isto é devido ao fato que o escoamento na baixa atmosfera, na chamada camada limite planetária (CLP), é governada pela turbulência, cuja física ainda permanece longe de ser completamente compreendida, (MORAES, 2001). Portanto os modelos de transporte e dispersão de poluentes devem ser capazes de simular em detalhes os efeitos da turbulência para obter previsões confiáveis de contaminantes. Estes modelos variam em grau de complexidade e podem ser classificados em duas principais classes, os eulerianos e lagrangeanos. Os modelos eulerianos utilizam soluções da equação difusão-advecção, em um sistema de referência fixo em relação a terra. Já os modelos lagrangeanos, que simulam trajetórias de partículas de poluentes são hoje em dia, segundo alguns autores, as ferramentas mais potentes para o estudo do transporte e dispersão de poluentes. Os modelos gaussianos, que podem ser considerados como

uma subclasse dos dois anteriores, (LONGHETTO, 1980), são os mais comuns, mas por sua vez são extremamente limitados. Eles se aplicam somente a situações de vento constante e turbulência homogênea, que dificilmente são encontradas na CLP. Modelos gaussianos/lagrangeanos do tipo puff, que são aperfeiçoamentos destes últimos, já possuem uma aplicabilidade bem maior, com a vantagem de consumir em média 30 vezes menos tempo de processamento do que os modelos lagrangeanos de partícula, SOUTO et al. (2001). Nestes modelos a pluma é representada por uma série de pacotes (nuvens) de material poluente. No restante do texto será mantido o termo puff, seguindo a literatura internacional, para designar nuvem de material poluente. A Figura 6 mostra a representação da pluma por uma série de puffs.



**Figura 6 - Representação de uma pluma pela aproximação do tipo puff. (Adaptado de Haan, 1995).**

As informações meteorológicas, variando no tempo, necessárias para os modelos de dispersão, incluindo os efeitos da turbulência, podem vir de observações ou de saídas de modelos meteorológicos. Os modelos meteorológicos podem ser classificados ainda como diagnósticos ou prognósticos.

Os modelos diagnósticos utilizam observações meteorológicas ou saídas de outros modelos para produzir os campos de velocidade necessários aos modelos de dispersão. Isto é feito utilizando as equações de conservação, sem os termos de variação temporal, onde os campos produzidos obedecem a conservação de massa. Em resumo, estes modelos calculam a melhor solução para os campos de velocidade de um determinado local para um dado tempo, a partir das informações meteorológicas fornecidas a ele. Em geral são utilizados procedimentos do tipo análise objetiva.

Neste procedimento as informações meteorológicas disponíveis (observações) são extrapoladas para os volumes (pontos) da malha (grade) utilizando basicamente dois tipos de esquemas. No primeiro são utilizadas funções peso, e as variáveis dependentes, nos pontos de malha (grade), são funções da distância entre os pontos e as observações. No segundo, utilizam-se rotinas de análise variacional, aonde uma ou mais relações de conservação são aplicadas para minimizar a variância da diferença entre os campos observados e analisados, (PIELKE, 1984). No entanto, os resultados fornecidos por estes diagnósticos vão depender da densidade das observações ou da resolução da malha para poder representar com precisão as escalas de interesse. Como os dados de observação na maioria das vezes são esparsos (no tempo e no espaço), e as malha grosseiras, estes modelos nem sempre oferecem resultados confiáveis. Os modelos meteorológicos prognósticos, por sua vez, resolvem as equações de conservação avançando no tempo. Estes modelos fornecem os campos de velocidades, temperaturas e outras variáveis de interesse, que por ventura o modelo de dispersão possa necessitar. Os grandes avanços na modelagem numérica da atmosfera obtidos nas últimas décadas tornaram possíveis através destes modelos preverem, com um grande grau de precisão, circulações atmosféricas relevantes para a dispersão de poluentes em um determinado local para um tempo futuro próximo (~ 72h). Isto é obtido pela integração das equações governante, utilizando métodos numéricos, tarefa que hoje é conhecida como *previsão numérica do tempo*. Com os avanços nas técnicas de solução e melhorias na representação dos processos físicos, é possível hoje em dia representar com um grande grau de precisão os fenômenos atmosféricos das mais diversas escalas de tempo e espaço. Os chamados modelos regionais de previsão do tempo são hoje em dia as ferramentas mais avançadas na representação destes fenômenos.

Os modelos *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS), (PIELKE et al. 1992), *NCAR/PennState Mesoscale Model* (MM5) (GRELL et al, 1994), *Mesoscale Compressible Community* (MC2) (BENOIT et al, 1997) e *Advanced Regional Prediction System* (ARPS) (XUE et al, 2000) estão entre os mais conhecidos e utilizados atualmente.

Como os modelos de transporte de poluentes necessitam das condições atmosféricas variando no tempo para poderem representar melhor estes fenômenos, passou-se a acoplar estes modelos aos últimos mencionados. Isto adicionou uma vantagem aos modelos de dispersão, pois as informações meteorológicas até então disponíveis, fornecidas pelas redes de superfície, eram escassas e com isto pode-se aumentar enormemente a quantidade de informação para estes modelos. Desta forma pode-se obter uma melhor representação da dispersão de poluentes. Uma grande variedade de estudos deste tipo, para diferentes condições de terreno e condições meteorológicas, vem sendo desenvolvidas e validadas através de observações. O resultado disto são os chamados sistemas de modelos (*dispersion modeling system* ou *air-quality system*), ou seja, modelos atmosféricos acoplados a modelos de dispersão que podem ser utilizados para um monitoramento constante da qualidade do ar com um grau maior de precisão. Os modelos *California Photochemical Grid Model* CALGRID (YAMARTINO et al., 1992), *California Puff Model* (CALPUFF) (SCIRE et al., 2000) e *Urban Airshed Model* (UAM) (EPA, 1990) são exemplos de modelos de dispersão que tem sido rotineiramente acoplado a modelos atmosféricos para o estudo do transporte de poluentes na atmosfera.

Segundo MORAES (2001), ferramentas deste tipo são bastante comuns em países desenvolvidos, onde são utilizadas pelas agências responsáveis pelo meio ambiente como uma alternativa de controle. No entanto pouca coisa neste sentido tem sido tentada no Brasil. Muitos estudos de dispersão, usando sistemas de modelos, vêm sendo feitos, mas a implementação a nível operacional deste tipo de ferramenta ainda é incipiente ou parece inexistente. Na revisão a seguir são comentados estes tipos de modelos. É dada ênfase aos estudos de dispersão sobre terrenos complexos com modelos eulerianos, lagrangeanos e lagrangeanos do tipo *puff*.

#### 1.4.3.1. Modelos Gaussianos do Tipo Puff

YAMADA et al. (1991) utilizaram um sistema de modelos para simular os experimentos realizados em Montain Iron (EUA) em 1965 e 1966. O sistema consistia do modelo atmosférico tridimensional *Higher-order Turbulent Model for Atmospheric*

*Circulation* (HOTMAC) (YAMADA, 1991) e do modelo de *puff* lagrangeano *Random Puff Transport and Diffusion* (RAPTAD) (YAMADA, 1991). Foram utilizadas observações de vento na superfície, sondagens de ar superior e valores de concentração na superfície de partículas fluorescentes. Os resultados foram comparáveis ao de modelos empíricos (gaussianos) e melhores do que estes aonde não havia dados de observação de vento. Segundo os autores o sistema de modelos pode ser utilizado com ferramenta muito útil no caso de situações de emergência como, por exemplo, emissões acidentais perigosas.

Um sistema de modelos, consistindo do modelo de camada limite *Non-hydrostatic E-e Closure Model* (NHECM) e do modelo de *puff* lagrangeano *Seven-level Puff Transport and Diffusion Model* (SLPTDM) foi desenvolvido e utilizado no estudo do transporte e dispersão de um poluente ( $\text{SO}_2$ ) em uma região próxima a Hong-Kong, conforme relatado em WANG e JIANG (1998). O poluente liberado de uma fonte elevada, em condições típicas de formação de brisa, foi simulado pelo sistema e os resultados comparados com dados de observação. Os resultados obtidos pelo sistema indicaram que as variações temporais e a não uniformidade das circulações e da turbulência afetaram as distribuições de concentrações, principalmente durante as transições entre as brisas marítimas e terrestre. Os resultados foram comparados também com outros obtidos com um modelo gaussiano. No geral os resultados concordaram bem com as observações.

SOUTO et al. (2001) utilizaram dois modelos de dispersão lagrangeanos, o *Adaptive Puff Model* (APM2) e o *Lagrangian Particle Model* (LPM), para simular a dispersão de  $\text{SO}_2$  em torno do complexo termoelétrico de *As Pontes* na Espanha. As informações meteorológicas foram simuladas pelo modelo atmosférico PMETEO. Os resultados de ambos os modelos foram comparados para situações de atmosfera convectiva. Resultados numéricos de concentração no nível de solo e das variáveis meteorológicas também foram comparados com medidas efetuadas por 17 estações automáticas, nove torres meteorológicas e um SODAR localizados a 30 km do complexo. Os resultados obtidos pelo modelo LPM foram superiores aqueles obtidos pelo APM2.

#### 1.4.3.2. Modelos Eulerianos

O método Euleriano formula as estatísticas de concentração de espécies em função das propriedades estatísticas das velocidades do escoamento medidas em pontos fixos, sendo este, dependente da posição do observador. As aproximações Eulerianas da difusão turbulenta conduzem ao problema de resolução das equações matemáticas para as reações não lineares não permitindo assim uma solução exata para a equação 4 , (EPA, 1983) da concentração das espécies, segundo a equação 4.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} u_j c_i = D_i \frac{\partial^2 c_i}{\partial x_j^2} + R_i(c_1, \dots, c_n, T) + S(x, t) \quad \text{Eq 4}$$

Onde:

- $c_i$  - concentração da espécie  $i$ ;
- $u_j$  -  $j$ ésimo componente da velocidade do escoamento;
- $D_i$  - difusividade molecular das espécies;
- $R_i$  - taxa de geração das espécies por reações químicas, que dependem da temperatura;
- $S_i$  - taxa de adição das espécies na posição  $x(x_1, x_2, x_3)$  e no tempo.

DAWSON et al. (1991) simularam a dispersão de um poluente, SF<sub>6</sub>, sobre uma montanha de 300 m, Steptoe Butte, utilizando os códigos de laboratório TEMPEST e PEST. O código TEMPEST é um programa tridimensional, não hidrostático em diferenças finitas que resolve as equações do movimento, continuidade e energia para escoamentos incompressíveis e turbulentos, incluído também a aproximação de Boussinesq. O programa utiliza um sistema de coordenadas cartesianas e uma técnica de solução similar aquela de AMSDEN e HARLOW (1970) para resolver as equações de movimento e energia explicitamente, e as equações para pressão densidade implicitamente. Um modelo de turbulência  $\kappa$ - $\epsilon$  foi empregado para os termos de escala subgrade (termos representando escalas de movimento não resolvidas explicitamente pelo modelo devido a resolução empregada). O modelo PEST foi desenvolvido baseado

na equação de convecção/difusão tridimensional utilizando modelos de turbulência de primeira e segunda ordem. Os resultados das simulações foram comparados com as medidas efetuadas durante os meses de maio e junho de 1981. Vinte e uma emissões testes foram realizadas enquanto observações simultâneas de ar superior eram também executadas. Os resultados das simulações, tendo em vista uma série de simplificações utilizadas nos modelos, foram encorajadores no sentido de poder aplicar tais modelos na previsão de poluentes na atmosfera.

BOÇON e MALISKA (1998) utilizaram o modelo de dispersão euleriano SMOKE acoplado ao modelo hidrodinâmico NAVIER, para simular o escoamento estratificado e a dispersão de um poluente sobre uma montanha (Cinder Cone Butte) nos EUA. Um modelo de turbulência  $\kappa$ - $\epsilon$ , não isotrópico, foi aplicado aos termos de escala subgrade para as simulações. A divergência lateral do ar nas camadas inferiores (contorno do escoamento ao redor da montanha) pode ser bem reproduzida pelo modelo hidrodinâmico. Concentrações ao nível da superfície foram superestimadas, provavelmente, segundo os autores, por causa dos grandes desvios da direção do vento próximo ao solo durante o experimento de campo, que por sua vez, espalharam a pluma resultando em baixos níveis de concentração no solo.

JIANG et al. (1998) utilizaram dois sistemas de modelos para simular um caso de altas concentrações de ozônio no Lower Fraser Valley, Columbia Britânica (Canadá). Os resultados das simulações com os modelos, para concentrações de  $O_3$ , NO,  $NO_x$  e CO foram comparados entre si e também com dados observados. Os modelos MC2/CALGRID e SAIMM/UAM-V foram utilizados para simular também a dispersão de PAN, HONO,  $HNO_3$ , HCHO, *higher aldehydes* e  $H_2O_2$ . O mesmo banco de dados de emissões foi fornecido para ambos os modelos. Os resultados das simulações para o ozônio obtidas com o sistema SAIMM/UAM-V foram um pouco melhores do que com o sistema MC2/CALGRID. Contudo, no geral, os modelos apresentaram comportamento similar. Foi observado também que a comparação entre os resultados obtidos das simulações com os modelos foi boa, ao passo que a comparação de ambos os resultados dos modelos com as observações foram piores. Apesar das diferenças na representação dos mecanismos químicos de cada modelo, os autores reconheceram

que a meteorologia contribuiu para as diferenças encontradas nos resultados entre os dois modelos.

BARNA et al. (2000) realizaram três tipos de simulação para a dispersão de um poluente na região da Cascadia, noroeste dos EUA, para os dias 11-14 de julho de 1996. A região é caracterizada por possuir um terreno bastante acidentado e heterogêneo. O estudo foi motivado pelo fato desta área possuir um histórico de ocorrência de eventos onde os níveis de ozônio excederam os limites prescritos pela legislação federal. As simulações utilizaram três diferentes previsões para os campos de vento. Estes campos de vento, obtidos com o modelo prognóstico MM5 e com o modelo diagnóstico CALMET, foram posteriormente utilizados pelo modelo euleriano de dispersão CALGRID. A primeira simulação para o campo de ventos, obtida a partir do modelo MM5, não utilizou de técnicas do tipo FDDA (*four dimensional data assimilation*) no processo de assimilação de dados meteorológicos. Os resultados foram um tanto pobres, principalmente nas regiões de montanha. O segundo campo de velocidades foi combinado com as soluções fornecidas pelo modelo CALMET, através das técnicas de análise objetiva contidas neste modelo. Desta vez os resultados foram melhores e as simulações da dispersão condizentes qualitativamente com as observações. No entanto, o tempo de computação necessário para as simulações foi bem maior. Por último, foram efetuadas simulações incorporando dados observados através da técnica de FDDA. Estes dados eram informados ao modelo MM5, como condição de contorno a cada 1 hora. Estes resultados mostraram-se ainda melhores quando comparados com a segunda simulação e mais uma vez as previsões de concentração melhoraram. Segundo os autores estes resultados ilustram importância da utilização das técnicas de FDDA nas simulações com os modelos prognósticos, principalmente quando se tem em vista aplicações de qualidade do ar.

#### 1.4.3.3. Modelos Lagrangeanos

O método Lagrangeano descreve as estatísticas de concentração, observando as trajetórias das partículas liberadas no fluido. A relação fundamental para concentração média de espécies num escoamento turbulento é apresentada na equação 5.

$$\langle c(x,t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Q(x,t | x_0, t_0) \langle c(x_0, t_0) \rangle dx_0 + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Q(x,t | x', t') S(x', t') dt' dx' \quad \text{Eq 5}$$

Onde:

- $c$  - Concentração Média variando no espaço ( $x$ ) e tempo ( $t$ );
- $Q$  – Vazão mássica, variando no espaço ( $x$ ) e tempo ( $t$ );
- $S(x', t')$  - Taxa de adição de espécies.

O primeiro termo da **Eq 5** representa a concentração no instante  $t_0$  e o segundo termo corresponde à contribuição da concentração entre o  $t_0$  e  $t$ .

Segundo CARVALHO (1999), os trabalhos envolvendo a aplicação de modelos meteorológicos acoplados a modelos de partículas lagrangeano no estudo da dispersão, especificamente sobre terreno complexo, são poucos. A maioria deles está relacionada a estudos de transporte e dispersão de longo alcance. Portanto a revisão a seguir refere-se a trabalhos de simulação da difusão de poluentes na mesoescala (~ 20-500 km) e microescala (< 20 km). Esses trabalhos foram escolhidos tomando como base a revisão bibliográfica de CARVALHO (1999).

SEGAL et al. (1988) utilizou o modelo lagrangeano de partículas *Lagrangian Particle Dispersion Model* (LPDM) acoplado ao modelo atmosférico RAMS para simular o transporte e a dispersão de  $\text{SO}_2$  na região sul da península da Flórida. Na época havia uma dúvida se as emissões provenientes das usinas termoelétricas da região estariam causando ou não danos à flora dos parques próximos. Foram consideradas quatro fontes elevadas, referentes as usinas geradoras próximas a Miami, Fort Lauderdale, Port Everglades e Fort Myers. Os ventos predominantes eram de leste, com velocidades de 5.8 m/s aproximadamente, e as resoluções da malha utilizada no modelo atmosférico foram de 11 km. Apesar dos resultados de concentração encontrados pelo sistema terem sido bem abaixo do limite permitido pela legislação local, os autores reconheceram que uma verificação contra dados de observação ainda era necessária.

KARAM et al. (1996) utilizaram um sistema de modelos para simular a dispersão de um poluente na região de Candiota (RS). O trabalho apresenta resultados de uma simulação numérica da dispersão de SO<sub>2</sub> emitidos pela Usina Termoelétrica de Candiota (RS). O modelo lagrangeano de partículas RDM (*Random Dispersion Model*), desenvolvido por YAMADA e BUNKER (1987), e o modelo TVM (*Tridimensional Vorticity Model*), desenvolvido por BORNSTEIN et al. (1987) foram empregados na simulação. A trajetória das partículas e o campo de concentração foram determinados sobre uma área de 120×120 km praticamente plana. A trajetória das partículas de poluente pode ser afetada numa escala de 100 km sobre a região. A concentração média diária máxima na superfície mostra valores entre 60 e 80 µg/m<sup>3</sup> próximo à fonte.

CARVALHO (1999) utilizou o modelo lagrangeano estocástico de partículas SPRAY acoplado ao modelo numérico RAMS para simular a dispersão de um poluente, SF<sub>6</sub>, liberado na atmosfera durante o experimento TRACT (*Transport of Air Pollutants over Complex Terrain*). Este experimento foi realizado na Europa central entre 7 e 23 de setembro de 1992 e tinha como objetivo principal realizar estudos experimentais do transporte e difusão de poluentes sobre terreno complexo. Os modelos RAMS e SPRAY foram acoplados através de um programa de interface denominado MIRS (*Método para o Interfaceamento entre RAMS e SPRAY*), e os resultados das simulações comparados com dados de observação colhidos durante o experimento. Os campos de velocidade, temperatura e outras variáveis de interesse obtidas do modelo RAMS, e utilizadas pelo modelo SPRAY, também foram comparados com as observações meteorológicas feitas durante o experimento. Foi feita ainda uma simulação com o modelo atmosférico UB/NMC ETA (*University of Belgrade/National Meteorological Center, Washington*) e os resultados comparados com aqueles obtidos pelo modelo RAMS. Os resultados dos cálculos de concentração foram analisados através da aplicação de índices estatísticos contra os dados observados e mostraram que os modelos considerados reproduziram bem o comportamento geral da pluma do poluente, a distribuição temporal e espacial da concentração e a localização do máximo de concentração.

#### 1.4.3.4. Modelos Gaussianos

Os modelos mais comumente usados são os denominados “Modelos de Dispersão Gaussianos”, porque eles usam a distribuição Gaussiana (normal), para estimar a taxa de poluentes, provenientes da pluma inicial, que se mistura ao ar ambiente.

A principal estrutura das equações que formam a base da estimativa da dispersão dos poluentes na atmosfera é geralmente denominada modelo de pluma gaussiana, ou modelo de dispersão gaussiana. Estes requerem dados de entrada relativamente simples, os resultados são razoáveis e o custo benefício também, uma vez que é mais barato usar modelos do que monitorar toda uma área, antes de projetar uma rede (SEINFELD & PANDIS, 1998 e STERN, 1994).

Dentre os modelos gaussianos, existem vários modelos matemáticos disponíveis, destinados as mais diversas situações, cada um deles apresentam características próprias, que os tornam adequados ou não á situação que se deseja estudar, segundo Tabela 16, (JACOBSON, 1999) e TRINITY, 1994).

**Tabela 16 - Aplicações dos Modelos de Dispersão.**

<b>Tipo de análise</b>	<b>Modelo de dispersão</b>
Sem a meteorologia da região	Screen
Refinada para fontes múltiplas	ISCST3 – Aermod
Terreno complexo	Complex1
Vazamento de produtos tóxicos	Spills; trpuf; degadis(gás pesado)

A modelagem pode ser desenvolvida em vários graus de sofisticação, existem os modelos “screening”, que não são especificamente representativos da meteorologia presente na região. Estes modelos incluem uma larga faixa de condições meteorológicas e tendem a serem muito conservadores em sua estimativa de concentrações em locais específicos.

Os modelos mais refinados permitem a entrada de dados meteorológicos reais e, portanto fornecem uma representação mais precisa da situação local. Isto em geral resulta em estimativas das concentrações dos poluentes ao nível do solo, mais baixas. Estes modelos permitem ainda o cálculo das concentrações referentes a vários períodos, média horária, diária, anual, etc., bem como várias opções para a malha de

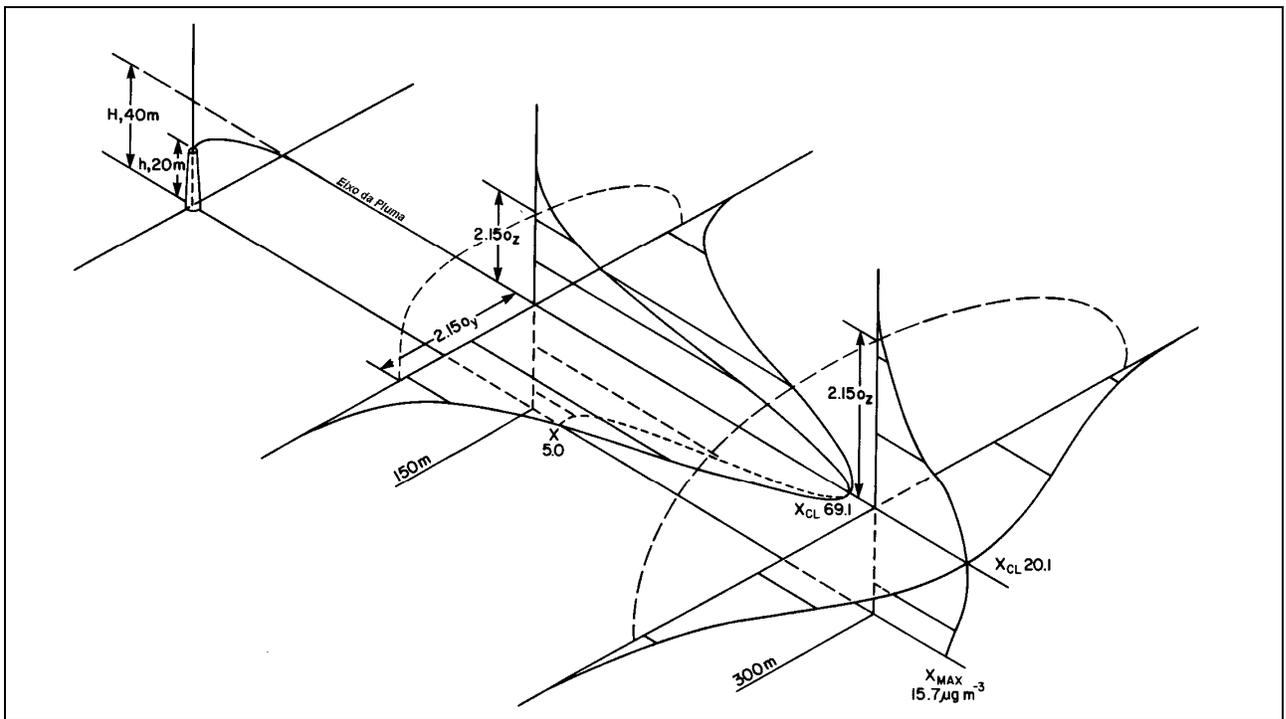
receptores, o que representa uma das maiores vantagens destes.

Os mesmos são programados também para representar os diferentes comportamentos da pluma de poluentes gasosos, bem como as mudanças da topografia no entorno da fonte. Alguns modelos são apropriados somente para uso em terrenos planos ou terrenos levemente ondulados. Outros são capazes de efetuar cálculos adicionais que permitem uma melhor representação das interações da pluma com o terreno, que se eleva acima do topo das chaminés. Em geral, mesmo estes modelos não podem ser usados quando a topografia do terreno se eleva abruptamente, estes casos requerem considerações ainda mais específicas.

Os modelos gaussianos de dispersão de poluentes na atmosférica baseiam-se na premissa de que o perfil da distribuição espacial da concentração de substâncias emitidas para a atmosfera segue aproximadamente a distribuição normal com uma dependência da concentração dos poluentes, cuja forma quando representada em um histograma é a de um sino. A esta representação da distribuição é dado também o nome de curva de Gauss. A associação desse conceito de dispersão, ou seja, a fundamentação matemática associada à distribuição normal, deu o nome de modelo gaussiano, cuja equação de difusão permite estimar a concentração de poluentes nos pontos receptores, previamente definidos no arquivo de entrada do modelo matemático.

Este conceito surgiu em 1733, na França, com Abraham de Moivre, que pensou que sua única aplicação prática seria em jogos de azar. Mais tarde Gauss usou a curva para descrever a teoria de erros acidentais das medições envolvidas nos cálculos das órbitas de corpos celestes, e por isto a curva leva seu nome.

O modelo gaussiano assume que a carga de poluentes que é continuamente emitida é transportada na direção oposta à direção do vento, ou seja, se o vento sopra do sul, a pluma irá à direção norte, e o espalhamento dos poluentes em relação ao tempo, resultará em seções transversais da concentração dos poluentes, tanto no plano horizontal quanto no vertical, que seguem a distribuição normal, como mostra a Figura 7, (STERN, 1994). A dispersão gaussiana está baseada nos conceitos da difusão de Fick, que será vista a seguir.



**Figura 7 - Dispersão de uma pluma, nas direções vertical e horizontal. (STERN, 1994).**

A descrição da difusão deve-se aos estudos de transferência de massa realizados por Albert Fick, baseado na suposição de que as moléculas de um sólido têm uma tendência a mover-se aleatoriamente sem direção preferida, conforme **Eq 6** de difusão aplicada e fluxo de poluentes

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_{transp} \nabla^2 C \quad \text{Eq 6}$$

Onde:

→  $\frac{\partial C}{\partial t}$  - Fluxo de Poluentes

→ C –Concentração do poluente.

→  $K_{transp}$  – Coeficiente de transporte turbulento na atmosfera ( $m^2/s$ ).

→  $\nabla^2 C = \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$  - Gradiente de concentração em relação à posição

→ x – distância do receptor na direção x.

→  $y$  - distância do receptor na direção  $y$ .

→  $z$  - distância do receptor na direção  $z$ .

A analogia entre a difusão de Fick e a difusão turbulenta, não é considerada completamente correta, porque na atmosfera a mistura devido ao movimento molecular é desprezada em comparação com o movimento turbulento, dificultando a resolução da equação 5 aplicada ao método lagrangeano de concentração de poluentes.

A aproximação para uma fonte pontual é dada através do método estatístico desenvolvido por SUTTON (1953). Admitindo-se algumas hipóteses, as equações de difusão gaussiana podem ser desenvolvidas para descrever a dispersão atmosférica de uma pluma de uma fonte contínua, são elas:

→ Todos os poluentes emitidos de uma fonte pontual de vazão contínua;

→ O vento é uniforme na camada onde ocorre a dispersão;

→ A distribuição de concentração ao longo dos eixos  $y$  e  $z$  da pluma é gaussiana;

→ Os poluentes se conservam durante o tempo, ou seja, não são perdidos por reações químicas ou deposição.

Para um modelo mais simples, assume-se que uma pluma se desloque na direção  $x$ , com uma velocidade média  $u$  e se dispersa horizontalmente na direção  $y$  e verticalmente na direção  $z$  tal que a concentração de um poluente numa seção transversal da pluma tenha uma distribuição de probabilidade normal. Resolvendo a equação 6 e aplicando as condições de contorno listada abaixo:

→  $C(x,y,z) \rightarrow 0$  quando  $t=0$  para todos os pontos  $x,y,z$  maiores que a origem;

→  $C \rightarrow 0$  quando  $x,y$  ou  $z \rightarrow \infty$ ;

→ A quantidade total de poluentes  $Q$  emitida pela fonte para atmosfera é sempre igual à geração inicial na fonte, isto é  $\iiint C \delta x \delta y \delta z = Q$ .

→ Assumindo que o solo tende a refletir mais do que remover os poluentes;

- Considerando que não ocorre remoção de poluente pelo vento;
- E que o escoamento atmosférico possui o coeficiente de difusão turbulenta constante nas três direções.

Através da equação 7 pode-se encontrar a equação que determina a concentração C do poluente em um ponto (x,y,z) da pluma, ver **Eq 7**

$$C(x, y, z) = \frac{E}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} * e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)} * \left[ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-He}{\sigma_z}\right)^2} - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+He}{\sigma_z}\right)^2} \right] \quad \text{Eq 7}$$

Onde:

- C = a concentração do poluente no ponto receptor, (g/ m<sup>3</sup>);
- E = taxa de emissão dos poluentes (g/s);
- u = velocidade do vento (m/s);
- $\sigma_y$  = coeficientes de dispersão horizontal (indicam como a pluma se espalha no eixo horizontal)
- $\sigma_z$  = coeficientes de dispersão vertical (indicam como a pluma se espalha no eixo vertical);
- y = distância do receptor, coordenada horizontal (m);
- z = distância do receptor, coordenada altura, (m);
- H<sub>e</sub> = altura efetiva da pluma ( H<sub>e</sub> = H<sub>real</sub> + ΔH), (m);
- H<sub>real</sub> – altura real da chaminé, (m);
- ΔH – elevação da pluma, (m);

Este modelo fornece a concentração dos poluentes em determinada região, em função de sua distância da fonte de emissão, dos parâmetros meteorológicos, da topografia da área e das características da fonte de emissão.

Estes dados são alimentados ao modelo matemático, selecionado para o caso específico, e apesar da atmosfera não ser estacionária e não apresentar homogeneidade vertical e raramente horizontal, a distribuição Gaussiana é amplamente utilizada para fornecer as concentrações nos pontos em que se deseja analisar a qualidade do ar, seja nas áreas urbanas ou industriais.

#### 1.4.4. Modelos de dispersão atmosféricas disponíveis no mercado

Existe uma grande variedade de modelos de dispersão atmosférica disponíveis no mercado, como mencionado anteriormente, os quais foram desenvolvidos baseados em o princípios distintos. Segundo FRANCO (2005), a EPA desenvolveu diversos modelos para aplicações para aplicações específicas e que consideram as características (origem, aplicação, tipo, poluentes aplicados, escala geográfica, transformações químicas, classe de estabilidade, dados meteorológicos, elevação da pluma, topografia), destes modelos comparando-as entre si. A Tabela 17 apresenta o resumo de alguns modelos disponíveis. A seguir, é apresentada uma descrição destes modelos com suas principais características.

- ***Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS)***: É um modelo combinado de emissão e dispersão para cálculo de poluição em aeroportos civis e bases aéreas. Este modelo produz um inventário de emissões de todas as fontes de aeroportos e calcula concentrações produzidas por estas fontes em receptores específicos. Transformações químicas não são consideradas. Recomendado para as seguintes aplicações: efeitos cumulativos de alterações em operações de aeronaves, emissões de fontes pontuais e fontes móveis em aeroportos ou bases aéreas, em terrenos simples, distâncias de transporte inferiores a 50 Km e tempos médios de uma hora a anuais. (MORAES, 2001)
  
- ***ISCST3***: É um modelo de difusão atmosférica gaussiana que foi desenvolvido pela EPA e de uso comum no Brasil. A equação Gaussiana é à base da maiofranco 2005

→ r parte dos simuladores de dispersão atmosférica, e supõe-se que a distribuição da concentração em qualquer corte ou seção da pluma é Gaussiana, tanto vertical como horizontalmente. O algoritmo mais utilizado para simulação a dispersão de poluentes de fontes estacionárias é o ISC - Industrial Source Complex Dispersion Models, desenvolvido na década de 70, e originalmente disponibilizado, pela EPA (1987). Foram modificadas várias vezes ao longo dos anos, para aumentar sua qualidade e confiabilidade (EPA, 1996), e tem como interface de entrada de dados um editor Fortran, software específico para elaboração de programas para resolução de rotinas computacionais e sua escolha deve-se ao fato deste possui uma grande robustez e de ampla utilização. o modelo ISCST é suficientemente robusto, permitindo especificação de vários tipos de fontes de emissão com multiplicidade de unidades e pontos receptores (NEGRI, 2002). Na próxima seção detalhará este modelo.

→ ***Offshore and Coastal Dispersion Model (OCD)***: Trata-se de um modelo Gaussiano tipo linha desenvolvido para determinar o impacto de emissões não litorâneas de fontes pontuais, área ou linha na qualidade do ar de regiões costeiras. Incorpora o transporte e a dispersão da pluma sobre as águas, assim como as mudanças que ocorrem quando a pluma atravessa a costa. Necessita de dados meteorológicos horários da região costeira e não costeira (temperatura da água à superfície, temperatura do ar sobre a água, altura de mistura e umidade relativa). Usado para modelar poluentes primários, não considera deposição e sedimentação. As transformações químicas são tratadas considerando-se decaimento exponencial, sendo que diferentes taxas podem ser especificadas em função do mês, ou dia ou noite (MORAIS, 2002).

→ ***Califórnia Line source Dispersion Model (CALINE 4)***: Utilizado para estimar as concentrações de poluentes não-reativos de estradas com tráfego, situadas em terrenos relativamente simples. Modelo gaussiano de estado estacionário. Aplicável para qualquer direção de vento, orientação da estrada e localização do receptor. O modelo contém ajustes para tempos médios e superfícies rugosas, e pode suportar 20 ligações e 20 receptores. Também contém um algoritmo para velocidade de deposição e sedimentação, de tal forma que as concentrações de

particulados possam ser preditas. Utilizado para modelar poluentes primários. Não considera transformação química. Recomendado para áreas urbanas ou rurais; terrenos simples; distâncias de transporte inferiores a 50 Km e tempos médios que podem variar de 1 a 24 horas (MORAIS, 2002).

- **CALPUFF:** É um modelo de dispersão de vários níveis, simula as variações do espaço e tempo das concentrações, do transporte e na remoção da poluição. O modelo CALPUFF pode ser aplicado em diferentes escalas que variam de metros a quilômetros. Pode ser usado também nos estudos de remoção de poluentes na mesoescala, incluindo também a dispersão úmida, deposição seca e a transformação química, usa o campo de vento tridimensionalmente, podendo ser ajustado para fonte linha, pontual, volume ou área (FRANCO, 2005).
  
- **AUSTAL View:** é uma interface gráfica, e modela a dispersão dos poluentes atmosféricos de forma lagrangeana, e foi desenvolvida pela agência ambiental do governo alemão. O modelo leva em consideração a influência da topografia e do campo de vento. A entrada dos dados do modelo necessita das fontes e receptores, e gera também um sistema de séries temporais das emissões. Permite controlar eficientemente os parâmetros dependentes do tempo e, verifica a adequação das informações do projeto antes de realizar as simulações (FRANCO, 2005).

**Tabela 17 – Resumo de alguns modelos de dispersão atmosférica (Adaptado de FRANCO ,2005)**

Nome	Emission and dispersion Modeling System – EDMS 3.1	Industrial Source Complex - ISC	Offshore and coastal Dispersion Model - OCD	Caline 3	Calpuff	Austal 86
Origem	EPA, EUA	EPA, EUA	EPA, EUA	EPA, EUA	EPA, EUA	Ta-Luft, Alemanha
Aplicação	Contaminantes associados a aeroportos.	Fontes pontuais, área linha e volume, associadas a complexos industriais	Fontes pontuais, área linha e volume	Fonte Linha	Fontes pontuais, área linha e volume	Emissão de chaminé
Tipo	Pluma gaussina	Pluma gaussina	Pluma gaussina	Pluma gaussina	Pluma gaussina	Pluma gaussina
Contaminantes	Contaminantes primários reativos	Contaminantes primários e emissões contínuas de contaminantes tóxico resíduos perigosos. Considera deposição seca.	Contaminantes primários	Contaminantes primários	Contaminantes primários não reativos	Contaminantes primários não reativos
Escala Geográfico	< 50 km	< 50 km	< 50 km	< 50 km	< 50 km	< 50 km
Escala Temporal	1 hora a um ano	1 hora a um ano	1h	1 a 24h	1 hora a um ano	1 ano
Transformação química	Não considerada	Considera o decaimento linear ou exponencial	Considera o decaimento linear ou exponencial	Não considerada	Considera parametrizações para o SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HNO <sub>3</sub> e aerossóis orgânicos. Considera deposição seca e úmida.	Não considerada
Classificação de estabilidade	Pasquil-gifford	Pasquil-gifford	Pasquil-gifford	Fórmula de Turner	Pasquil-gifford (rural) e Mcelroy - Pooler	Ta-Luft classe 4
Dados meteorológicos	Horária	Horária	Horária	Horários	Completo e tridimensional usando o CALMET	Distribuição de frequência
Elevação da pluma	Fórmula de Briggs	Fórmula de Briggs	Fórmula de Briggs	Não considerada	Formulas de SHULMAN&SCIRE (1980); BROGGS (1974,1975)	Fórmula de Briggs
Topografia	Linear e complexa	Linear e complexa	Complexo	Linear	Linear e complexa	Não disponível
Tipo do solo	Urbana e rural	Urbana e rural	Não disponível	Urbana e rural	Urbana e rural	Não disponível
Fonte	BENSON (1979)	US EPA (1995)	DiCristofaro & Hanna (1989)	BENSON (1979)	SCIRE et al (2000)	TA-LUFT(1986)

#### 1.4.5. Aplicação do modelo matemático Industrial Source Complex

O modelo Industrial Source Complex (ISC3) é usado para prever concentrações de poluentes em pontos, áreas ou volume contínuo.

Esse modelo desenvolvido pela United States. Environmental Protection Agency (USEPA), é um modelo de pluma Gaussiana de regime permanente que pode ser usado para calcular concentrações de poluentes de uma grande variedade de fontes associadas com um complexo de fontes industriais (TOMAZ & CLEMENTE, 2000), sendo apropriado para as seguintes aplicações:

- Fontes industriais complexas;
- Áreas urbanas ou rurais;
- Terreno plano ou elevado;
- Transporte a distâncias de até 50 quilômetros;
- Concentrações médias para períodos de 1 hora a 1 ano;
- Emissões contínuas de poluentes do ar.

O modelo ISC3 é disponível em 2 versões: um modelo de curta duração “*Industrial Source Complex Short Term (ISCST3)*” e o modelo de longa duração “*Industrial Source Complex Long Term (ISCLT3)*”, que se diferem pelo período médio disponível para os cálculos, distâncias maiores do terreno, opção de deposição e o formato de dados meteorológicos de entrada.

Ambos os modelos, possuem a utilização das “*Regulatory Default Options*”, que consiste na seleção automática dos parâmetros e condições recomendadas pela USEPA dos seguintes parâmetros:

- Altura final da pluma;
- Efeito “downwash” devido à chaminé que considera o efeito de dispersão da pluma devido à altura de prédios e instalações;

- Efeito downwash devido a prédio e instalações: considera o efeito de dispersão da pluma quando a altura da chaminé é menor que 50% da altura ou da largura dos prédios e instalações;
- *Buoyancy induced dispersion* (dispersão induzida pela flutuação da pluma, isto é, que considera o efeito térmico de elevação da pluma);
- Gradiente de temperatura vertical;
- Tratamento da condição de calmarias;
- Expoentes para o perfil vertical dos ventos;
- Meia-vida para poluentes específicos (consideração da transformação química para alguns poluentes).

A aplicação do modelo de dispersão requer as seguintes informações e parâmetros de entrada:

- **Características das fontes:** os dados das fontes necessários são a localização, taxa de emissão dos poluentes, altura da chaminé, velocidade de saída do gás da chaminé, diâmetro interno da chaminé e temperatura dos gases na saída da chaminé. Para fontes áreas faz a integração dupla
- **Parâmetros meteorológicos:** ISC3 requer dados meteorológicos horários do local tais como: temperatura ambiente, direção e velocidade do vento, temperatura e altura de mistura e classe de estabilidade. Para ISCLT3 os dados de entrada incluem estabilidade da rosa do vento, média da altura de mistura da tarde e da manhã e temperatura média do ar.
- **Dados do receptor:** Os dados do receptor necessários são as coordenadas e a elevação terreno para cada receptor.
- **Dados de entrada opcionais:** os dados opcionais incluem elevação da fonte, dimensões da construção, distribuição do tamanho da partícula com correspondentes velocidades de sedimentação e coeficiente de reflexão da superfície.

- **Tipo de poluentes:** ISC3 pode ser usado para modelos de poluentes primários e emissões contínuas de poluentes tóxicos ou perigosos. A sedimentação e a deposição de poluentes podem ser consideradas.
- **Dispersão horizontal:** Para a dispersão rural são usados o coeficiente de Turner (1969), sem ajustes para superfícies rugosas ou tempo médio, para a dispersão urbana o coeficiente de Briggs (GIFFORD, 1976), dispersão induzida pela flutuação da pluma (PASQUILL,1976) e seis classes de estabilidade (EPA,1995).
- **Dispersão vertical:** Da mesma forma que para dispersão horizontal são usados o coeficiente de TURNER (1969), sem ajustes para superfícies rugosas, dispersão induzida pela flutuação da pluma (PASQUILL,1976) e seis classes de estabilidade (EPA,1995). A altura da mistura é calculada com reflexões múltiplas até que o desvio padrão da pluma vertical seja igual a 1,6 vezes a altura de mistura; a mistura vertical fica uniforme acima deste ponto. A reflexão no solo é considerada especular.
- **Relação entre fonte-receptor:** O ISC3 é aplicado em locais especificados pelo usuário para fonte linha, pontual, área e volume e especificações de localização de receptores ou de grades de recepção.
- **Comportamento da pluma:** O cálculo da Elevação da Pluma pode ser realizado através da Fórmula de Holland ( $\Delta H$ ), US H.E.W (1962), ver Eq 8

$$\Delta H = \frac{V_s d}{u} \left( 1,5 + 2,68 \cdot 10^{-3} P_{bar} \frac{(T_s - T_a)}{T_s} D \right) \quad \text{Eq 8}$$

Onde:

- $\Delta H$  = elevação da pluma (m)
- $T_s$  = Temperatura de emissão (K).
- $T_a$  = Temperatura ambiente (K)

- $D$  = Diâmetro interno da chaminé (m)
- $V_s$  = Velocidade de saída dos gases (m/s)
- $u$  = Velocidade do vento (m/s)
- $P_{bar}$  = Pressão barométrica (mBar)

→ **Ventos horizontais e verticais:** O modelo ISC3 considera as seguintes hipóteses para os ventos verticais e horizontais:

- Ventos constantes e uniformes (regime permanente) são considerados para cada hora;
- É considerado o transporte da pluma em linha reta para todas as distâncias na direção do vento;
- São usados expoentes do perfil da velocidade do vento separados para casos rurais e urbanos;
- A velocidade do vento vertical é considerada igual à zero.

→ **Transformação química:** No modelo ISC3, as transformações químicas são tratadas usando decaimento exponencial, sendo que a constante do tempo é um dado de entrada fornecido pelo usuário.

→ **Remoção Física:** Efeitos de deposição seca para partículas são tratadas usando uma formulação de resistência na qual a velocidade de deposição é a soma de um termo de resistências à transferência dos poluentes dentro da camada da superfície da atmosfera, mais um termo gravitacional de deposição.

A resposta do modelo ou os dados de saída incluem as seguintes informações:

- Parâmetros de controle do programa, dados das fontes e dos receptores;
- Tabelas dos dados meteorológicos horários para todos os dias do ano considerado;

- Concentração média diária ou deposição total calculada para cada receptor ou para qualquer combinação de fontes desejada;
- Valores de concentração ou deposição calculada para qualquer combinação de fontes desejadas em todos os receptores para qualquer dia especificado ou período de tempo no prazo de um dia;
- Tabelas dos maiores valores até o décimo valor mais alto de concentração ou valores de deposição calculada para cada receptor, num período de tempo específico para qualquer combinação de fonte desejada;
- Tabelas de concentrações ou deposição dos 50 valores máximos calculados, num período de tempo específico para qualquer combinação de fonte desejada.

#### 1.4.6. Limitações dos Modelos

No Brasil não é definido um procedimento padrão de avaliação da performance dos modelos. É evidente, então, a necessidade de iniciarem ações que contenham a formulação de um procedimento aprovado pela comunidade científica e possível de ser realizado na prática, e que permita expressar um julgamento sobre o desempenho dos modelos. Contemporaneamente, isto deve operar de modo que este procedimento seja aplicado corretamente. Na realidade, uma correta utilização dos modelos de transporte e difusão na atmosfera não pode prescindir de um estudo sobre suas capacidades de representarem corretamente situações reais. Quando possível, deve-se verificar a confiabilidade do modelo utilizado com os dados, cenários topográficos e meteorológicos próprios da área de seu emprego. Por exemplo, modelos considerados seguros nos EUA e aplicados em uma configuração particular no Brasil poderão ter um comportamento não correspondente à expectativa. (MOREIRA & TIRABASSI, 2004).

Normalmente, uma rede para o controle da qualidade do ar, seja essa relativa a um sítio urbano ou industrial, é concebida com critérios que por si só não fornecem informações em quantidade suficiente para a "validação" de um modelo: o número de pontos e a tipologia da medida dos parâmetros químicos e meteorológicos não permitem, geralmente, uma cobertura mais refinada do território, nem garante a

completa informação necessária para a verificação dos modelos, o que é perfeitamente compreensível. Enquanto isto, na concepção de uma rede que deve funcionar estavelmente no território, tende-se a minimizar o número de pontos de medida, que são usualmente fixos, e, como resultado. Coloca-se no relevo mais o andamento temporal da concentração do que a sua distribuição espacial. (MOREIRA & TIRABASSI, 2004).

FRANCO (2005) afirma que os modelos existentes de dispersão de poluentes atmosféricos apresentam sempre algumas limitações, no sentido de não representar por completo os fenômenos físicos envolvidos. Como exemplo, as limitações para fonte pontual em áreas urbanas, a sua deficiência está no fato de não haver um tratamento adequado da estrutura de turbulência acima das cidades. A estrutura é modificada pelos maiores elementos urbanos como rugosidade e aspereza das áreas rurais relativas aos efeitos das propriedades térmicas das diferentes superfícies e com a aproximação de lagos, rios e o mar.

Conforme sugerido por FRANCO (2005), os modelos numéricos mais avançados de dispersão de poluentes na atmosfera procuram enfatizar e representar com mais atenção os processos químicos, e outros procuram detalhar os fenômenos atmosféricos envolvidos no transporte de mesoescala, ou concentram esforços na determinação dos parâmetros de difusão turbulenta associados aos efeitos topográficos na pequena escala, e nesse caso alguns modelos enfatizam os fenômenos meteorológicos.

Segundo FRANCO (2005) o que fica claro, é que existe uma deficiência no estudo da dispersão atmosférica, ou seja, não existe um modelo matemático relativamente amplo que possa representar e descrever os problemas que acontecem nas diferentes escalas, e que também, esteja relacionado ao escoamento turbulento na camada limite, por outro lado, que sejam considerados os fenômenos físicos relevantes que ocorrem na baixa atmosfera e a sua interação da pluma com o vento, aliado a um modelo de dispersão que permita prever os campos das concentrações de poluentes primários e secundários emitidos por fontes industriais.

Cabe salientar neste momento que os modelos de dispersão estimam concentrações para receptores específicos, e que em determinados casos representam, a média do conjunto de repetidas medições do mesmo evento. E nessa situação, podem ocorrer variações de 50% e apresentar erros na ordem de 5 a 10% em relação à direção do vento, provocando assim, erros no resultado das concentrações final de 20 a 70%. Estimativas de longo prazo são mais confiáveis que de curto prazo (NEGRI, 2002).

Sendo assim defende-se a hipótese que o estudo de dispersão de poluentes atmosféricos utilizando modelos gaussianos e dados meteorológicos de superfície não podem ser avaliados com resultados instantâneos mais sim, avaliando os resultados das médias anuais.

Como a escala de tempo do fenômeno da dispersão de plumas na microescala atmosférica é da ordem de uma hora, fica evidente que nesta escala os parâmetros atmosféricos relevantes como a condição de estabilidade, estratificação e altura da camada de mistura são consideradas como constantes nos modelos. Desta forma, fica limitada uma boa representação do sistema como um todo. Por isso, os modelos meteorológicos acoplados a de estudo de dispersão procuram suprir essas deficiências.

Entretanto, a aplicação desta tecnologia requer um grande desenvolvimento matemático e um processamento computacional elevado. Estas restrições demandam dos órgãos estaduais ou municipais de meio ambiente um alto grau de conhecimento técnico dedicado e investimento em infra-estrutura que, atualmente, não existe no Brasil.

Concluída a revisão da literatura, é possível agora aplicar os conhecimentos ressaltados nesta revisão e assim determinar as concentrações dos poluentes atmosféricos na Região Metropolitana de Salvador - RMS, utilizando dados indiretos e disponíveis na internet. O seu detalhamento é realizado no próximo capítulo a seguir.

## **2. ESTUDO DE DISPERSÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR**

### **2.1. Introdução**

O projeto da Rede de monitoramento da qualidade do ar de uma região se constitui uma série de etapas. No presente trabalho partiu-se do pressuposto de que para uma rede identificar e avaliar a qualidade do ar no menor tempo possível, e com o menor custo, deve-se necessariamente utilizar modelos matemáticos de dispersão no seu projeto.

A metodologia básica utilizada para o projeto da rede de monitoramento consistiu em utilizar as estimativas teóricas fornecidas pelos modelos, com o objetivo de reduzir o número de locais onde será feito o monitoramento. Devido ao elevado custo dos equipamentos utilizados é importante que seja usado o menor número (porém suficiente) de estações, que forneçam os dados desejados e com um nível de confiança aceitável.

As principais etapas consideradas neste trabalho para projetar uma rede são:

- Avaliação preliminar da região de interesse;
- Levantamentos dos fatores influenciadores na qualidade do ar;
- Estabelecimento do índice de necessidade de monitoramento;
- Especificação das propriedades operacionais;
- Levantamento dos custos relacionados;
- Determinação da Matriz de Responsabilidades;

Buscando o melhor esclarecimento deste trabalho, este capítulo foi dividido em sete etapas destacando-se: caracterização da área em estudo, a descrição da ferramenta de simulação, levantamento dos dados meteorológicos, topografia, inventário de emissões atmosféricas, definição dos receptores e avaliação dos resultados obtidos.

## 2.2. Caracterização da RMS

A Região Metropolitana de Salvador - RMS é formada por 10 municípios, conforme mostram a Figura 8 e a Tabela 18, uma região com áreas predominantemente residenciais, como por exemplo, Salvador e Lauro de Freitas, e outras áreas industriais como Camaçari e Candeias. 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. De acordo com NERY et al. (1997), a cidade pode ser dividida em três espaços geográficos distintos:

- Planície atlântica ou litorânea, que se caracteriza por um relevo com cotas inferiores a 40m de altura; o planalto (Região do Miolo), que abrange a maior área da cidade, possui uma altitude média de 60 m e o centro da cidade, chegando a 100m nas áreas ao norte;
- A faixa da Baía de Todos os Santos, cuja largura varia de poucos metros a 3 km, é limitada pela falha de Salvador, de um lado e pelas águas da baía, do outro, e possui uma área praticamente plana ao nível do mar.

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.

A condição de península e a forma trapezoidal fazem com que se tenha uma pequena variação de temperatura entre o dia e a noite. Acredita-se que este relativo equilíbrio térmico, juntamente com a topografia da cidade, contribua com a não existência de inversões térmicas na RMS significativas, possibilitando uma dispersão

vertical dos poluentes ao longo de toda a camada limite. A limitação do gabarito na orla oceânica e a configuração dos vales, praticamente perpendiculares à fachada leste, permitem a penetração dos ventos alísios – de nordeste, sudeste e leste – para o interior da cidade, o que também proporciona uma boa dispersão dos poluentes atmosféricos. Cabe destacar, que o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano - PDDU da Cidades de Salvador está sendo revisado, e um dos itens de maior interesse é a construção de prédios na orla da cidade.

### 2.2.1. Qualidade do Ar na RMS

Como se destacou na seção de justificativa deste trabalho, a Cidade de Salvador não possui qualquer tipo de monitoramento institucionalizados e está entre as maiores cidades do país. Entretanto, na região metropolitana existem duas redes privadas de monitoramento da qualidade do ar totalizando 14 estações automáticas que são responsáveis pela avaliação da qualidade do ar na área de influência da Refinaria Landolfo Alves e do Pólo Industrial de Camaçari.

Entretanto, na cidade de Salvador, foram realizadas diversas pesquisas acerca da poluição atmosférica veicular da cidade. QUEIROZ & TAVARES (2003) apresenta o inventário das pesquisas realizadas na Universidade Federal da Bahia – UFBA, sobre a poluição atmosférica veicular na Cidade do Salvador, e destacou que foram encontrados dez estudos com dados das seguintes espécies: SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, formaldeído, acetaldeído, etanol, metanol, n-alcanos, HPA, íons no material particulado em suspensão e íons na deposição úmida e total. As avaliações foram realizadas comparando-se a concentração dos compostos estudados com os padrões nacionais de qualidade do ar, com as concentrações de referência estabelecidas pela EPA, com o valor diretriz de qualidade do ar recomendado pela WHO, ou com as concentrações nas estações background.

O estudo realizado por QUEIROZ & TAVARES (2003) concluiu que, apesar da cidade não apresentar grandes problemas de poluição do ar e acidez da chuva, é necessária a implantação de uma rede de monitoramento em locais estrategicamente posicionados para avaliação de poluentes específicos, não necessariamente

convencionais; e a realização de pesquisas com enfoque no sistema de transporte e tráfego urbano.



Figura 8 - Região Metropolitana de Salvador.

**Tabela 18 – Dados dos Municípios da Região Metropolitana de Salvador.**

PRINCIPAIS DADOS		Camaçari	Candeias	Dias D'Ávila	Itaparica	Lauro de Freitas	Madre de Deus	Salvador	São Francisco do Conde	Simões Filho	Vera Cruz
Dados Gerais <sup>1</sup>	Área (km²)	762,7	265,5	208,3	116,4	60	11,2	709,5	267,6	193	474,3
	Altitude (m)	50	50	31	6	36	5	50	40	50	19
	Latitude	12°42'0"	12°40'0"	12°37'0"	12°53'0"	12°54'0"	12°44'0"	13°00'0"	12°38'0"	12°47'0"	12°58'0"
	Longitude	38°20'0"	38°33'0"	38°18'0"	38°41'0"	38°19'0"	38°37'0"	38°30'0"	38°41'0"	38°23'0"	38°36'0"
	Distância da Capital	41	46	45	285	22	63	0	66	22	289
Dados Populacionais <sup>1</sup>	Total	161.727	76.783	45.333	18.945	113.543	12.036	2.443.107	26.282	94.066	29.750
	Urbana	154.402	69.127	42.673	18.945	108.385	11.599	2.442.102	21.870	76.905	27.872
	Rural	7.325	7.656	2.660	-	5.158	437	1.005	4.412	17.161	1.878
	Densidade Demográfica (hab/km²)	212,0	289,2	217,6	162,8	1892,4	1074,6	3443,4	98,2	487,4	62,7
Dados Rodoviários <sup>2</sup>	Total	18.773	6.883	4.845	674	20.209	601	477.288	990	8.728	1.224
	Automóvel	10.243	3.817	2.530	370	13.176	330	370.305	531	4.231	586
	Camioneta	2.113	685	446	115	2.713	63	44.274	139	1.006	252
	Caminhão	1.424	622	428	24	1.407	81	13.922	100	1.535	107
	Ônibus	1.294	884	663	49	1.016	88	10.171	109	1.002	56
	Moto	3.503	764	741	90	1.672	35	31.977	94	766	150
	Outros(1)	196	111	37	26	225	4	6.639	17	188	73
Outros Dados <sup>1,3 e 4</sup>	Produto Municipal (milhões de reais)	3.727,87	3.212,27	651,12	38,47	660,24	67,08	9.947,31	334.281,97	1.911,99	110,57
	Industria Extrativa	10	2	3	---	7	---	51	---	---	---
	Industria de Transformação	259	52	51	---	316	---	2623	5	---	---
	Tipo climático	Subúmido a úmido	Subúmido a úmido	Úmido a subúmido	Úmido a subúmido	Úmido	Úmido	Úmido	Úmido a subúmido	Úmido	Úmido
	Relevo	Bacia sedimentar	Bacia sedimentar	Bacia sedimentar	Baixada Litorânea	Planalto costeiro	Baixada Litorânea	Planalto costeiro	Bacia sedimentar	Planalto costeiro	Baixada Litorânea
	Temperatura (°C)	25	24,7	24,7	---	25,4	---	25,3	24,5	24,7	---
	Índice de Desenvolvimento Econômico (Bahia)	2º	3º	15º	94º	7º	80º	1º	22º	5º	38
	Índice de Desenvolvimento Social (Bahia)	10º	28º	22º	19º	3º	7º	1º	50º	31º	15
	Índice de Desenvolvimento Humano	0,734	0,719	0,732	0,712	0,771	0,740	0,805	0,714	0,730	0,704

Fonte: 1 - SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia; 2 – DETRAN/Bahia: Frota de Veículos Cadastrados por Município 2003. 3 - IBGE – 2000; 4 - PNDU, ONU/2003.

## 2.2.2. 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. Foram previstos para o setor, até 2007, aproximadamente quatro bilhões de reais em investimentos, num total de 74 projetos, segundo dados da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia - SEI.

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 são setor químico e petroquímico, relacionados abaixo

→ **Pólo Petroquímico de Camaçari (COPEC):** Município de Camaçari, a 35 km de Salvador. O COPEC ocupa área de 233,53 km<sup>2</sup> 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 COPEC, indústrias dos segmentos de celulose, bebidas, metalúrgia do cobre, têxtil e automotivo.<sup>5</sup>

→ **Centro Industrial de Aratu (CIA):** Municípios de Simões Filho e Candeias, a 18 km de Salvador. Área total: 196 km<sup>2</sup>. O CIA possui 150 km de rodovias internas, que o conectam aos portos de Aratu e Salvador, por onde escoam seus produtos

---

<sup>5</sup> Fonte: Comitê de Fomento para Indústria de Camaçari – COFIC e Secretaria de Indústria e Mineração do Estado da Bahia.

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 Landulfo Alves (RLAM):** Localizada no município de São Francisco do Conde, com área construída de 6,4 km<sup>2</sup>. 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.

### 2.2.3. 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 foi 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, as 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.

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, sendo que este foi um foco do estudo.

Para a elaboração deste estudo foi de fundamental importância a interação com diversos órgãos públicos, pois estes dispõem de informações importantes para a execução do trabalho, como por exemplo:

- Superintendência de Engenharia de Tráfego (SET) da cidade de Salvador, que é responsável pelo gerenciamento do fluxo de trânsito na maior cidade da RMS.
- DETRAN/BA, que gerencia os dados da frota de todo o estado (quantidades, idade, tipo, classificação por tipo de combustível).
- Secretaria municipal de transportes públicos (STP), que coordena a frota de ônibus e táxi de Salvador.

Durante a execução do levantamento de campo, observou-se, de acordo com um relatório da Superintendência de Engenharia de Tráfego de Salvador - SET, publicado no Anuário estatístico de acidentes de trânsito em Salvador ano 2003 - SET (Quadro 3.1) publicado em 2004, as 32 principais vias de fluxo de veículos da cidade de Salvador, Tabela 19 e Figura 9. Foi baseado neste levantamento que se estudou as emissões veiculares na cidade.

Salienta-se ainda que, de acordo com dados da Superintendência de Engenharia e Tráfego (SET), durante os diferentes horários do dia o fluxo de veículos varia entre 20% a 230% do fluxo normal, de acordo a tabela em destaque na Figura 9 abaixo. Esta variação ocorre em função do fluxo diário de carros na cidade de Salvador, resumida em sete períodos distintos, entre eles horários de baixo fluxo como de 1 às 4h e em outros de pico como de 7 as 8h. Desta forma, é possível avaliar a contribuição das emissões veiculares durante as diferentes horas do dia.

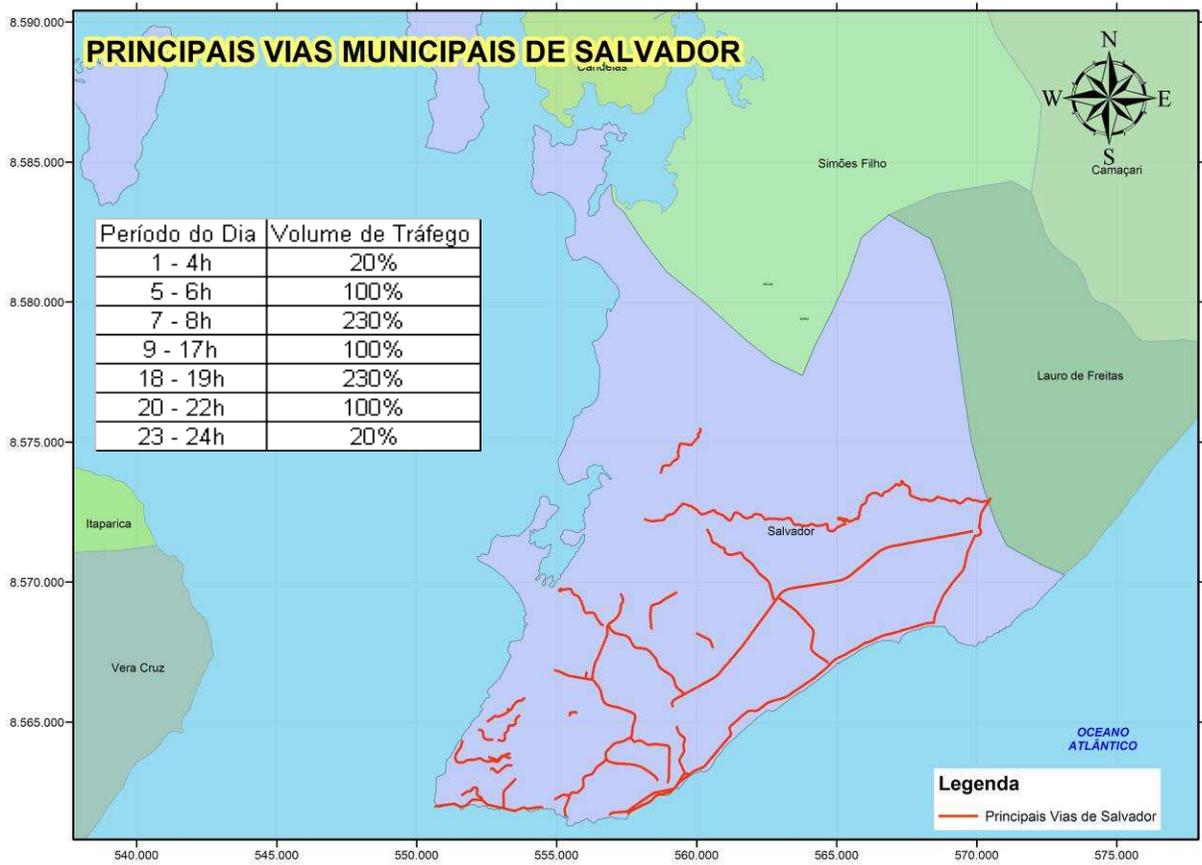
**Tabela 19 – Principais Vias Fluxo de Veículos de Salvador**

LOCAL	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	FLUXO DIÁRIO	% FLUXO	FLUXO DO PICO
AV ACM	5.600	20	22.031	2,22%	1.800
AV ADHEMAR DE BARROS	2.500	10	37.150	3,74%	3.224
AV BARROS REIS	3.000	10	25.538	2,57%	2.216
AV COSTA E SILVA	1.460	10	25.909	2,61%	2.351
AV EDGAR SANTOS	2.500	10	10.362	1,04%	1.240
AV GARIBALDI	3.620	10	55.078	5,55%	5.194
AV HEITOR DIAS	400	10	25.000	2,52%	2.238
AV JOANA ANGÉLICA	1.870	10	10.274	1,04%	952
AV JURACY MAGALHÃES	2.500	20	35.530	3,58%	3.265
AV LUIS EDUARDO MAGALHÃES	3.900	20	19.141	1,93%	2.981
AV LUIS VIANA (PARALELA)	13.120	40	71.941	7,25%	7.731
AV MAGALHÃES NETO	1.800	20	31.065	3,13%	3.024
AV MANOEL DIAS DA SILVA	4.250	20	33.984	3,42%	2.826
AV MIGUEL CALMON	2.500	10	26.963	2,72%	2.623
AV OCEÂNICA	4.130	20	19.752	1,99%	1.853
AV OTÁVIO MANGABEIRAS	18.700	20	79.112	7,97%	6.882
AV PAULO VI	2.750	10	26.247	2,65%	2.277
AV PINTO AGUIAR	3.120	10	10.841	1,09%	1.680
AV SABINO SILVA	1.000	10	6.639	0,67%	568
AV SAN MARTIN	2.120	10	28.533	2,88%	2.772
AV SAN RAFAEL	2.250	10	15.616	1,57%	1.530
CAMPO DA PÓLVORA	100	10	17.243	1,74%	1.667
DIQUE DO TORORÓ		10	30.544	3,08%	2.567
ESTRADA ALIOMAR BALEEIRO (EVA)	15.600	20	7.999	0,81%	779
ESTRADA DAS BARREIRAS	1.893	20	7.866	0,79%	897
ESTRADA VELHA DAS CAMPINAS DE PIRAJÁ	4.700	20	7.158	0,72%	757
LARGO DO TANQUE	285	20	8.787	0,89%	826
PRAÇA LORD COCKRANE	403	20	51.250	5,16%	4.911
RÓTULA DE ABACAXI	264	10	76.921	7,75%	6.837
RUA CAETANO MOURA	930	10	7.987	0,80%	728
RUA FERNANDO MENZES	700	10	14.036	1,41%	1.273
RUA LUCAIA	600	10	71.786	7,23%	5.640
VALE DOS BARRIS	760	10	73.991	7,46%	6.265
<b>TOTAL</b>	<b>109.325</b>	<b>--</b>	<b>992.274</b>	<b>2,22%</b>	<b>92.374</b>

Fluxo diário: N<sup>o</sup> de veículos por dia

% fluxo: N<sup>o</sup> de Veículos o local por N<sup>o</sup> de veículos total

Fluxo do pico: N<sup>o</sup> de veículos no horário das 07 - 09h ou 17 – 19 h.



**Figura 9 – Distribuição espacial das principais vias fluxo de veículos de Salvador**

### 2.3. Etapas do Estudo

O trabalho de modelagem matemática para simulação da dispersão dos poluentes na atmosfera envolveu basicamente quatro etapas:

1ª Etapa: Elaboração do arquivo de dados meteorológicos para o ano de 2003, contendo os dados referentes a todas às 8.760 horas do ano, obtidos na torre meteorológica instalada em Camaçari, latitude 12º 42' 21,18" S e longitude 38º 19' 17,06" W. Os dados horários da altura da camada de mistura foram obtidos na CETREL, através do Radar Acústico, conforme detalhado a seguir:

- Dados de direção e velocidade de vento, e temperatura ambientes foram obtidos na Estação Câmara. A direção do vento é corrigida, antes de sua alimentação no arquivo de dados meteorológicos: Se a direção for menor ou igual 180º, a direção real deve ser somada a 180º, e se a direção do vento for maior ou igual 181º, a direção real deve ser subtraída de 180º. Esta correção é para que os resultados da modelagem levem em conta a direção para onde o vento carrega os poluentes, uma vez que de acordo com a convenção internacional, a direção do vento é o sentido de onde sopra o vento.
- Cálculo das Classes de Estabilidade foi feito através dos dados obtidos na Veracel para desvio padrão da direção do vento, e metodologia da EPA (1987), denominada Sigma-a.
- Dados horários da altura da camada de mistura foram obtidos através do radar acústico da Cetrel. O Radar acústico ou SODAR (Sound Detection and Ranging ) é um equipamento que mede os fenômenos de turbulência, na baixa atmosfera, a partir da emissão vertical de pulsos sonoros. O software utilizado em conjunto com o radar permite analisar o sinal de retorno, que identifica as camadas turbulentas do ar, determinando sua velocidade, e direção do movimento da turbulência atmosférica, relacionado com o pulso sonoro, emitido pela antena parabólica do equipamento. Fisicamente seu funcionamento baseia-se no registro de ecos refletidos da atmosfera, e os principais fenômenos de pequena e mesoescala detectados pelo equipamento são: Altura da camada de inversão,

Altura da camada de mistura, Atividade convectiva, Estabilidade atmosférica. O radar consiste basicamente de três partes principais: um registrador, um receptor e transmissor de sinais, e uma antena com blindagem acústica. E deve ser instalado longe de obstáculos e ruídos, como de tráfego de veículos, rota de aviões, etc., pois o ruído artificialmente provocado, próximo ao equipamento produzirá interferências nas medições.

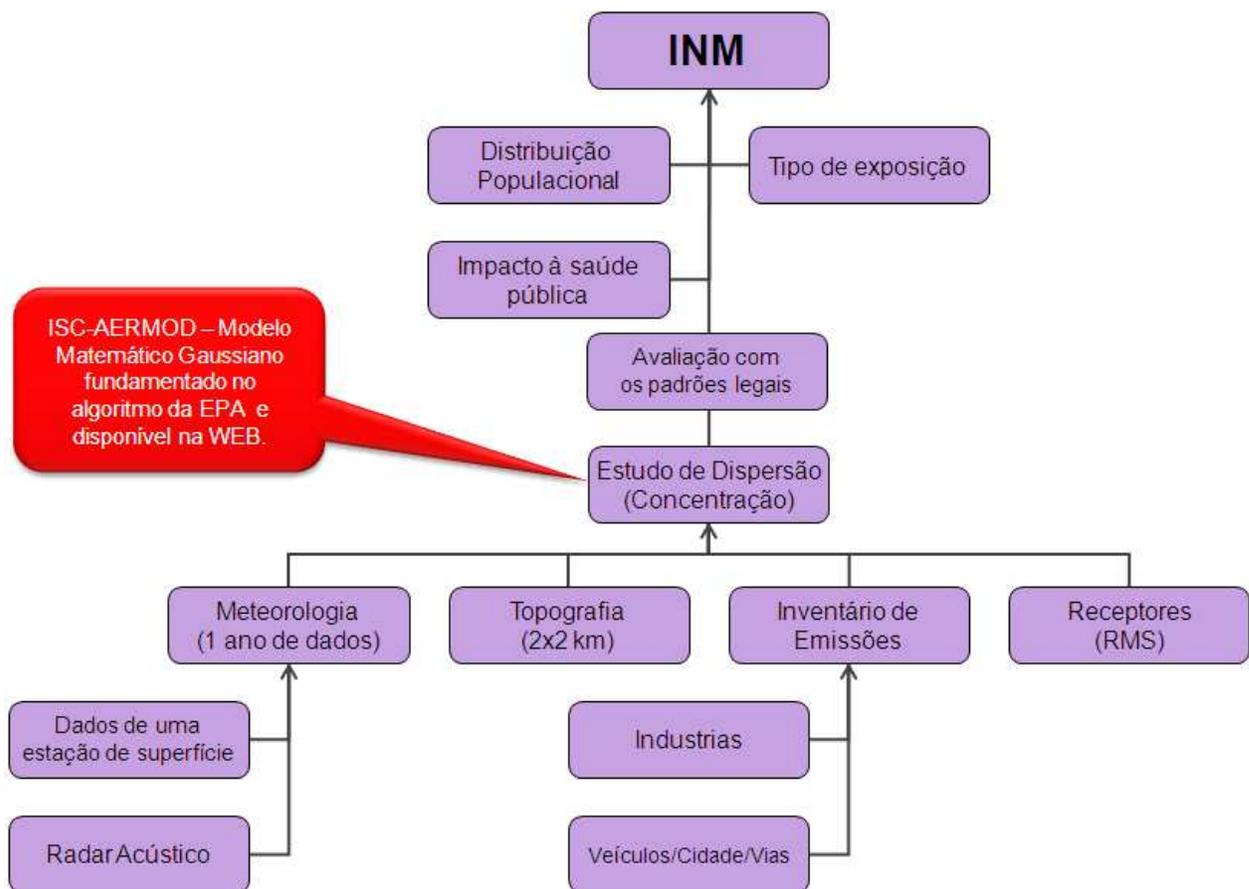
→ As falhas de dados foram preenchidas a partir de critérios estatísticos denominados “Procedure for substituting values for missing NWS meteorological data for use in regulatory air quality models” (ATKINSON & LEE, 1992). O modelo matemático usado neste projeto não aceita falhas de dados no arquivo contendo os dados meteorológicos. Por isto é extremamente importante solucionar este problema seguindo a metodologia mencionada.

2ª Etapa: Elaborar o *grid*, ou seja, a malha dos pontos para os quais foi processado o modelo, identificando todos os pontos através das suas coordenadas x, y e z, onde x e y são as coordenadas UTM, e z refere-se à topografia da área.

3ª Etapa: Elaborar os arquivos contendo os dados das fontes para os vários poluentes considerados.

4ª Etapa: Processar o modelo matemático para os vários poluentes, e seus respectivos períodos, estabelecidos pelo CONAMA 003/90, ou pela publicação da EPA-Environmental Protection Agency, denominada NATICH – National Air Toxics Information Clearinghouse, e finalmente analisar e interpretar os resultados.

Salienta-se que a concentração dos poluentes estimado na simulação é uma das quatro variáveis fundamentais para a gestão integrada da qualidade do ar. Desta forma, o relacionamento desta variável com a densidade demográfica, impacto à saúde humana e o tipo de exposição que a comunidade está sujeita. A Figura 10 ilustra o relacionamento destas variáveis e a estrutura de trabalho do estudo de dispersão aplicado à determinação do Índice de Necessidade de Monitoramento - INM da Qualidade do Ar.



**Figura 10– Estrutura do estudo de dispersão atmosférica.**

#### **2.4. Simulador de Dispersão Atmosférica – ISC-AERMOD View**

Existe uma grande variedade de modelos de dispersão atmosférica disponíveis no mercado, como mencionado anteriormente, os quais foram desenvolvidos segundo princípios distintos. Assim, modelos numéricos, estatísticos, gaussianos etc. são usados nas mais diversas ocasiões e para os vários fins.

Neste trabalho, a escolha recaiu sobre um modelo gaussiano, desenvolvido pela EPA, denominado ISCST- Industrial Source Complex Short Term, de ampla aceitação nos Estados Unidos, principalmente no âmbito judicial.

Originalmente este modelo foi disponibilizado, pela USEPA, tendo como interface de entrada de dados um editor Fortran cujo uso apresentava certa dificuldade. A saída de dados, por sua vez, era unicamente tabular, não permitindo uma saída gráfica.

Assim, devido à abrangência do uso do modelo e seu grau de aceitação, muitas empresas do ramo de ciências atmosféricas, mantendo a integridade conceitual e matemática, desenvolveram interfaces que permitissem o uso do modelo de uma maneira mais fácil do que o uso do editor Fortran. Os recursos de saída de dados foram também melhorados.

Subseqüentemente recursos de pós-processamento foram acrescentados permitindo representações gráficas que mostrassem a dispersão atmosférica de uma forma georeferenciada, enriquecendo e facilitando a avaliação e interpretação dos resultados.

O ISC-AERMOD View utilizado neste trabalho, é uma interface amigável para o algoritmo de dispersão de poluentes atmosféricos desenvolvido pela US.EPA. Esta interface foi criada pela empresa LAKES – ENVIRONMENTAL, situada em Waterloo, no Canadá. O ISC-AERMOD View foi desenvolvido especialmente para o Microsoft Windows 95/98, e Windows NT.

O ISC-AERMOD View é um software de dispersão gaussiana de poluentes atmosféricos, desenvolvido para um Complexo industrial contendo múltiplas fontes com emissões constantes de poluentes. O ISC-AERMOD View possui as seguintes propriedades:

- Fácil interface gráfica
- É usado para modelar lançamentos de contaminantes convencionais e tóxicos.
- Importa uma grande variedade de formatos de bases cartográficas (arquivo XYZ, arquivo DXF, USDGS DEM, STOP 30 DM, UK DTM e UK NTF);
- Modela fontes múltiplas, inclusive do tipo pontuais, flares, fugitivas, e tipos de fonte de lagoas. Também podem ser modeladas fontes de linha, como por exemplo uma canaleta aberta com efluente contaminado de compostos orgânicos.
- Visualização em 3D;

- Permite a importação de mapas para aprimorar e auxiliar a interpretação dos resultados da simulação. A integração da tecnologia GIS permite um maior controle da área de estudo.
- Processamento meteorológico
- O modelo possui um módulo capaz de avaliar a interação entre os parâmetros meteorológicos, as fontes pontuais e os edifícios, ou seja, é possível avaliar a interferência das construções na dispersão dos poluentes. Por falta de informações disponíveis, este efeito, denominado “Building Downwash”, não foi considerado neste estudo por falta de dados disponíveis para a região..
- Contém algoritmos capazes de modelar os efeitos da remoção de partículas, tanto seca, deposição seca, quanto úmida, chuva ácida. Estas ferramentas não foram consideradas no estudo por não fazerem parte dos objetivos deste.
- O Software pode ser usado para simular a dispersão de poluentes em um local particular, denominado receptor discreto, como por exemplo uma escola, ou ainda, uma malha de receptores, ou seja em diferentes pontos de uma cidade. Ambos os recursos foram usados neste estudo.
- O Software pode realizar análises para diferentes tipos de terreno, simples, onde a altura da região não ultrapasse a da chaminé, complexo, altura da região acima da chaminé, ou ainda, intermediária, uma combinação destes dois tipos de terreno.
- É baseado em um modelo matemático conservativo e não considera reações químicas, remoção dos poluentes através da ação da chuva ou qualquer outro tipo de remoção e emissão contínua dos poluentes na atmosfera;
- Geração automática de isolinhas de concentração dos resultados simulados.

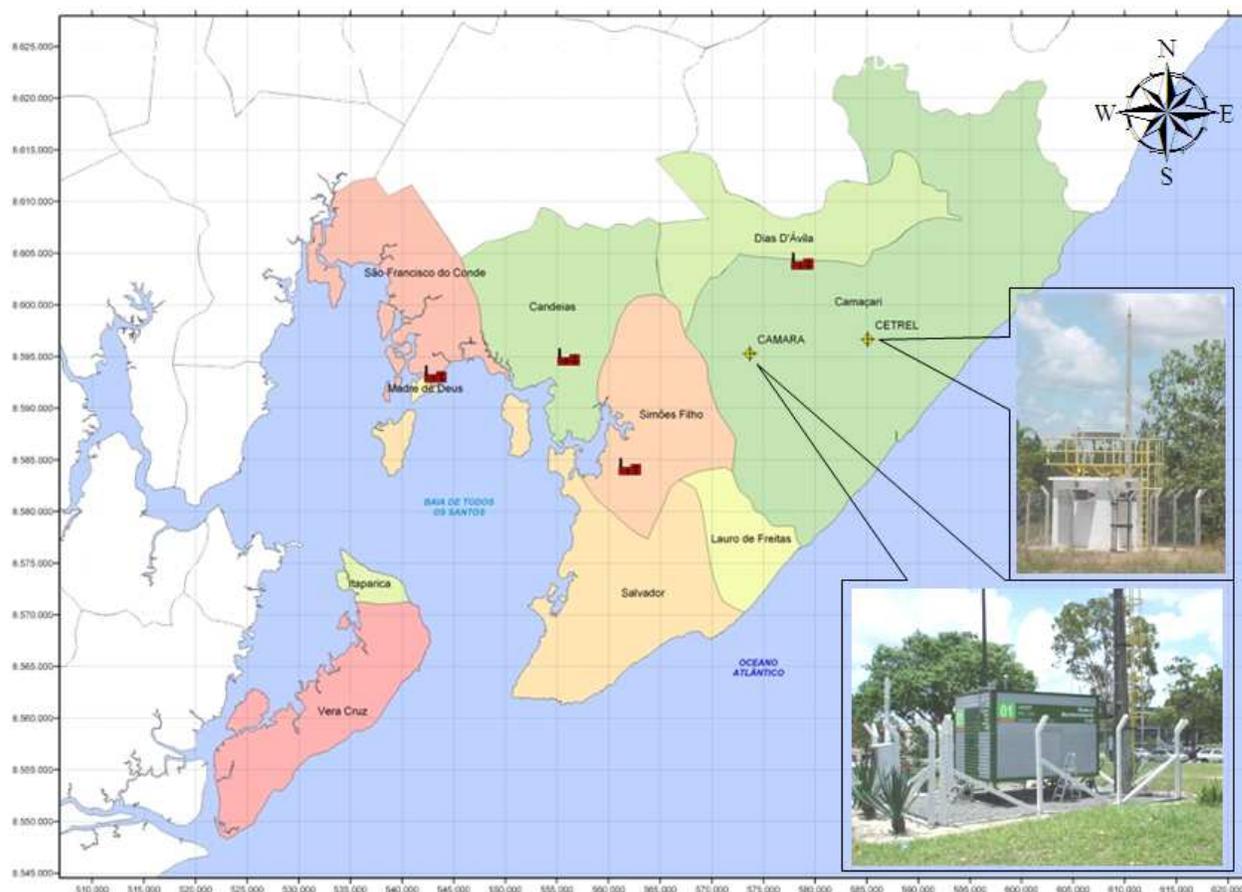
## 2.5. Meteorologia

A magnitude do impacto na qualidade do ar em determinada região depende das condições atmosféricas dominantes, responsáveis pelo transporte, transformação e

dispersão dos poluentes emitidos, bem como pelas possíveis ocorrências de situações críticas de poluição do ar, provenientes de fontes industriais ou não.

O acompanhamento da meteorologia foi uma etapa fundamental neste trabalho. O conhecimento dos parâmetros meteorológicos levou a um maior entendimento das propriedades físicas da atmosfera da RMS.

A RMS está localizada entre dois grandes corpos d'água que tornam a meteorologia da região muito particular. Em função da dificuldade para obtenção de dados meteorológicos para a Cidade de Salvador, para a elaboração deste projeto utilizaram-se os dados de superfície da estação Câmara, integrante da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do Pólo Petroquímico de Camaçari e os dados de camadas superiores foram obtidos no radar acústico. Ambas as estações são geridas pela CETREL, conforme ilustra Figura 11. A estação Câmara já está em funcionamento desde 1992 e o radar acústico desde 1998.



**Figura 11 – Localização da estação de monitoramento e do radar acústico.**

Um método alternativo para obtenção de dados meteorológicos é o uso de modelos meteorológicos de mesoescala que são capazes de gerar descrições bastante pormenorizadas do comportamento do vento local e outros aspectos atmosféricos relevantes dentro da Camada Limite Atmosférica. Esta é uma abordagem que vem sendo apoiada pelo EPA em aplicações ambientais

Como, no caso específico deste trabalho existem dados e disponíveis, usaram-se assim estas informações e sua análise é detalhada a seguir.

Analisando os dados dos parâmetros meteorológicos de 2003 verifica-se principalmente que:

- A direção predominante do vento para o ano de 2003 foi de leste 101°, conforme mostra a Figura 4. Os valores médios e a faixa de variação dos demais parâmetros são apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 – Comportamento meteorológico.**

Comportamento	Velocidade do Vento (m/s)	Temperatura (°C)	Classe de Estabilidade	Altura da camada de Mistura (m)
Mínimo	0,5	18,4	1	100
Médio	3,1	25,4	4	728
Máximo	9,4	34,7	6	1.853

- O comportamento mensal dos parâmetros meteorológicos variou conforme mostra a Tabela 21 e uma variação horária são mostradas na Tabela 22.

**Tabela 21 – Comportamento médio mensal da meteorologia.**

Mês	Direção do Vento (°)	Velocidade do Vento (m/s)	Temperatura (°C)	Classe de Estabilidade	Altura da camada de Mistura (m)
Jan	64	3,4	26,5	4	750
Fev	63	3,5	27,1	4	737
Mar	102	3,0	27,0	4	759
Abr	125	2,6	26,2	4	749
Mai	144	2,3	24,7	4	670
Jun	146	2,5	23,9	4	725
Jul	136	2,7	23,5	4	667
Ago	120	2,9	23,4	4	721
Set	92	2,9	24,3	4	725
Out	90	3,7	25,2	4	786
Nov	92	3,5	25,8	4	720
Dez	74	3,9	26,8	4	722

→ Destaca-se que o comportamento mensal da direção do vento mostra uma variação entre 63º e 146º (Esterodeste - Sudeste), conforme anexo 9.1. Este comportamento sugere que o vento carrega os poluentes do oceano para o continente. Este mesmo comportamento se repete na avaliação horária com exceção do período entre 3 e 4 horas quando o vento sopra do continente para o oceano, dados detalhados na Tabela 21 e Tabela 22.

**Tabela 22 – Comportamento médio horário da meteorologia.**

Hora do Dia	Direção do Vento (º)	Velocidade do Vento (m/s)	Temperatura (ºC)	Classe de Estabilidade	Altura da camada de Mistura (m)
1	103	2	22,9	4	555
2	116	2	22,7	4	544
3	262	1	22,5	4	551
4	263	1	22,4	4	553
5	80	1	22,3	4	562
6	89	1	23,0	5	623
7	54	2	25,0	5	613
8	79	3	26,8	4	696
9	86	4	27,8	3	831
10	90	4	28,3	3	951
11	97	5	28,8	3	1.038
12	101	5	29,0	3	1.045
13	104	5	29,0	3	1.074
14	106	5	28,7	3	1.017
15	106	5	28,3	4	994
16	104	5	27,5	4	918
17	104	4	26,3	4	815
18	104	3	25,1	4	693
19	103	3	24,4	4	622
20	100	3	24,1	4	557
21	102	2	23,9	4	542
22	102	2	23,6	4	561
23	97	2	23,3	4	558
24	102	2	23,1	4	545

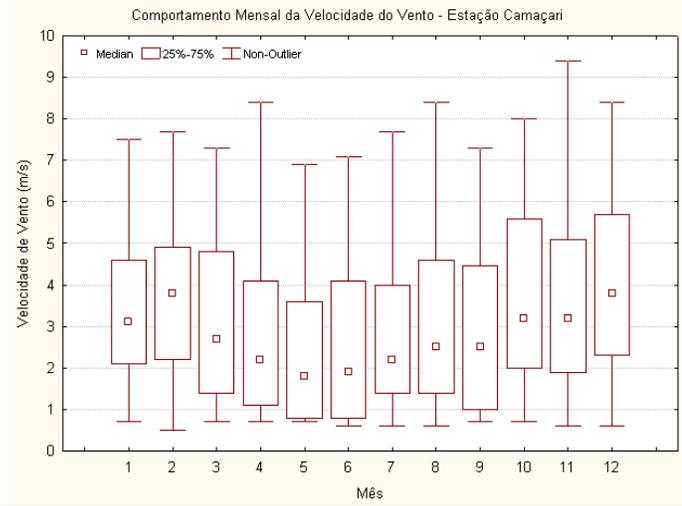
→ A velocidade do vento variou entre 0,5 a 9,4 m/s. Os meses de outubro a dezembro, ver Figura 12 (a), e o período das 10 às 15h Figura 12 (b), apresentaram as maiores velocidade do vento configurando assim o período mais favorável à dispersão dos poluentes atmosféricos.

→ A Temperatura variou entre 291,5 a 307,9 K (18,4 a 34,7ºC). Os meses de março e dezembro, ver Figura 12 (c), e o período das 10 às 15h, ver Figura 12 (d),

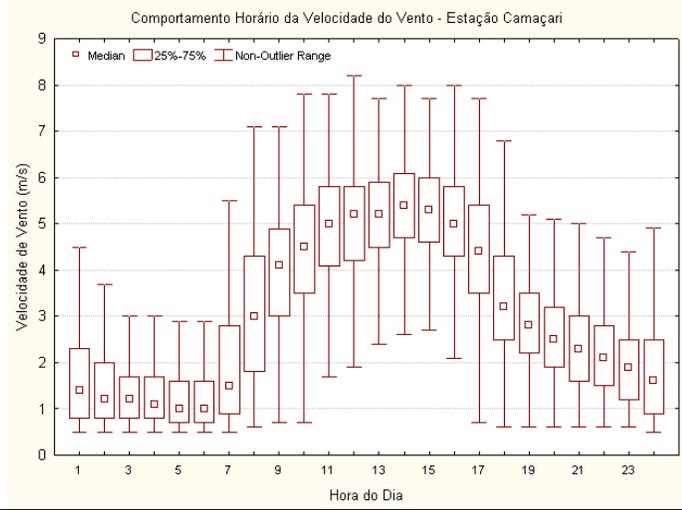
apresentaram as maiores temperatura configurando assim o período mais favorável à dispersão dos poluentes atmosféricos.

- A classe de estabilidade não variou mensalmente permanecendo na classe 4 durante todos os meses do ano, não influenciando assim na variação mensal da dispersão atmosférica, ver Tabela 21. Pode-se afirmar que a classe de estabilidade apresentou-se estável, de acordo com a classificação de PASQUIL & GILFFORD (1960), ver Tabela 4. No que diz respeito ao comportamento horário deste parâmetro, verifica-se através Tabela 22, que no período das 9 às 14h apresentam a classe 3, pouco instável, o que favorece a dispersão atmosférica.
- A altura da camada de mistura variou mensalmente entre 100 a 1.853 m. Os meses de maio a julho, ver Figura 12 (e), e o período da 01 às 06h e das 20 às 24h apresentaram os menores valores configurando assim o período mais desfavorável à dispersão dos poluentes atmosféricos.

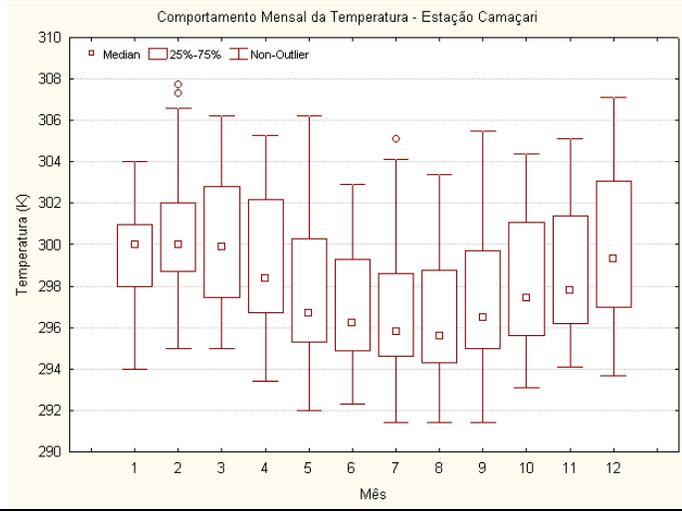
Com essas informações pode-se observar que o período do dia de 9 às 16h são os mais favoráveis à dispersão dos poluentes atmosféricos na RMS



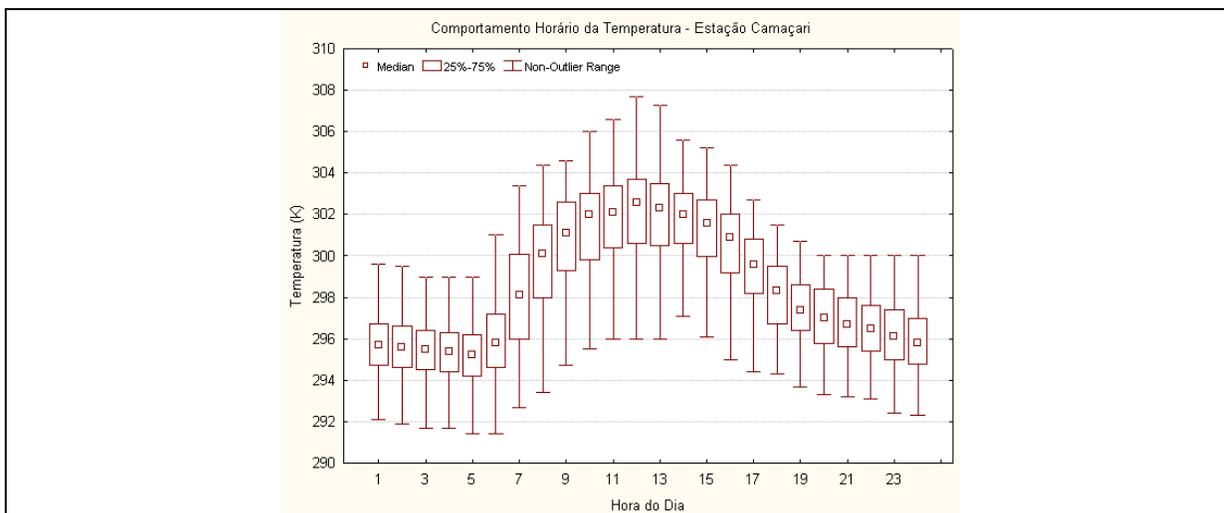
(a) Velocidade de vento média mensal



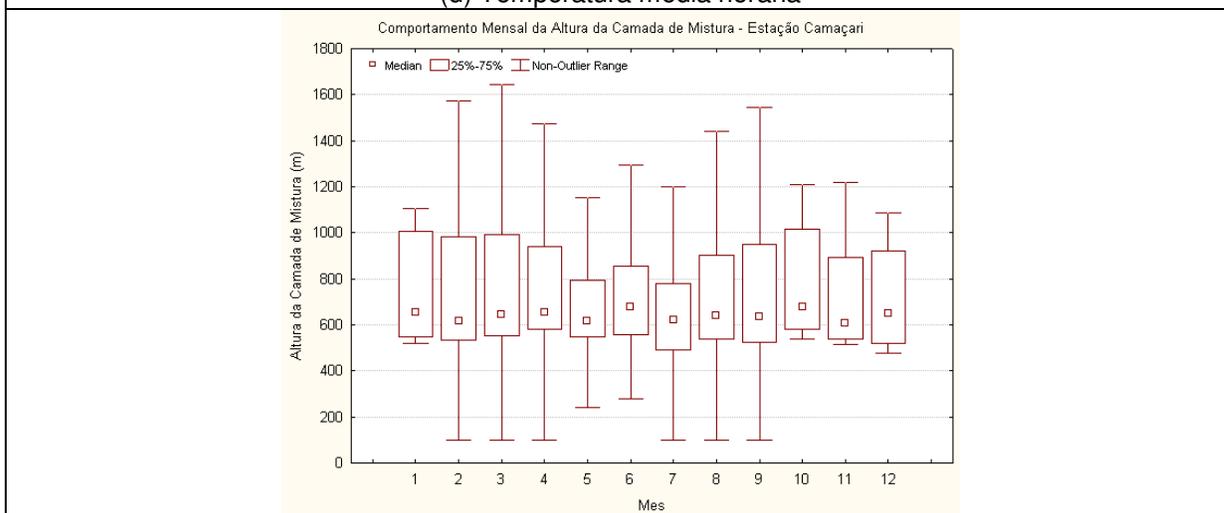
(b) Velocidade de vento média horária



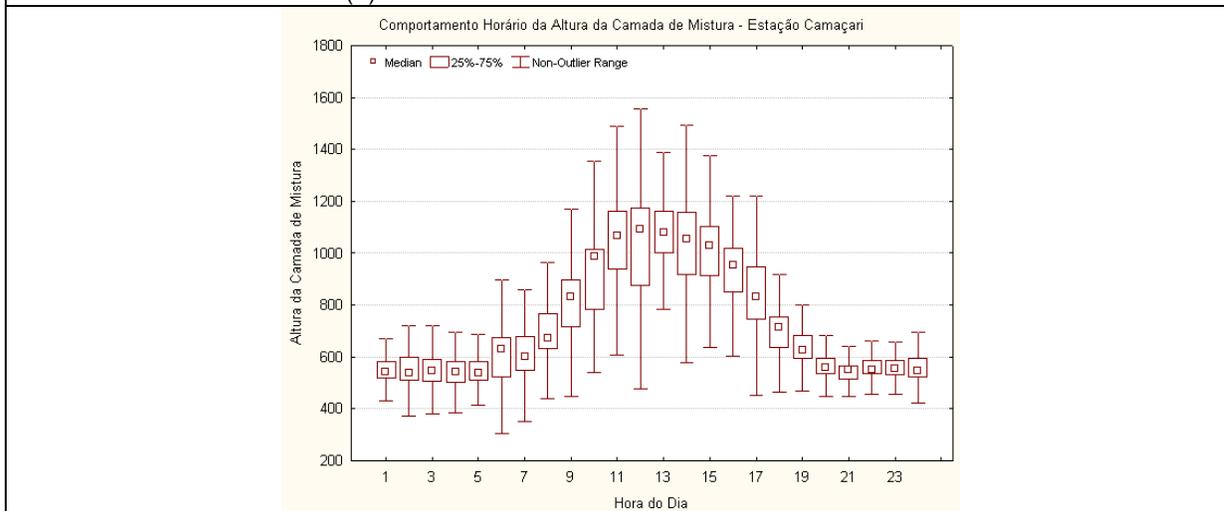
(c) Temperatura média mensal



(d) Temperatura média horária



(e) Altura da camada de mistura média mensal



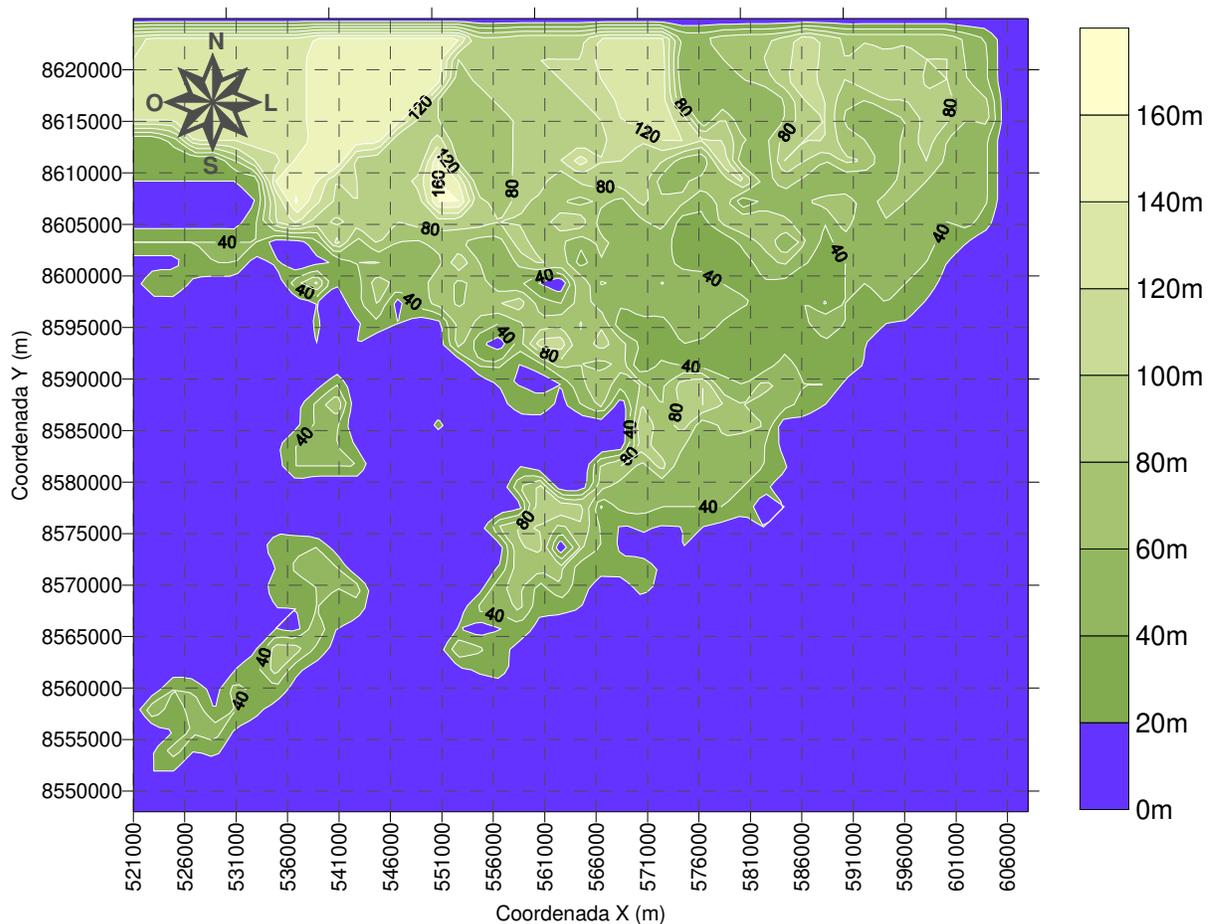
(f) Altura da camada de mistura média horária

**Figura 12 – Comportamento mensal e horário da velocidade do vento, temperatura e altura da camada de mistura - 2003.**

## 2.6. Topografia

A RMS não possui acidentes topográficos significativos, entretanto, na cidade de Salvador, existem diversos vales que canalizam o vento, interferindo no comportamento da meteorologia de superfície. Assim, a topografia é um dos pontos significativos do estudo de dispersão.

Levantamento topográfico foi realizado em uma escala de 1:100.000, e com as áreas de maior interesse numa escala de 1:20.000 (Salvador, Camaçari e Candeias). Pela análise dos dados disponíveis, verifica-se que a altura varia entre 0,0 m e 160 m, sendo a altura média da região de 45 m. Vale salientar que, em função do tamanho e da escala da área estudada, algumas variações planialtimétricas podem não ser observadas, como por exemplo alguns vales, conforme ilustra a Figura 13. A fonte de informação para a realização do levantamento de dados para análise da topografia da RMS foi a Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER.



**Figura 13 – Topografia da região de interesse.**

## 2.7. Inventário de Emissões Atmosféricas

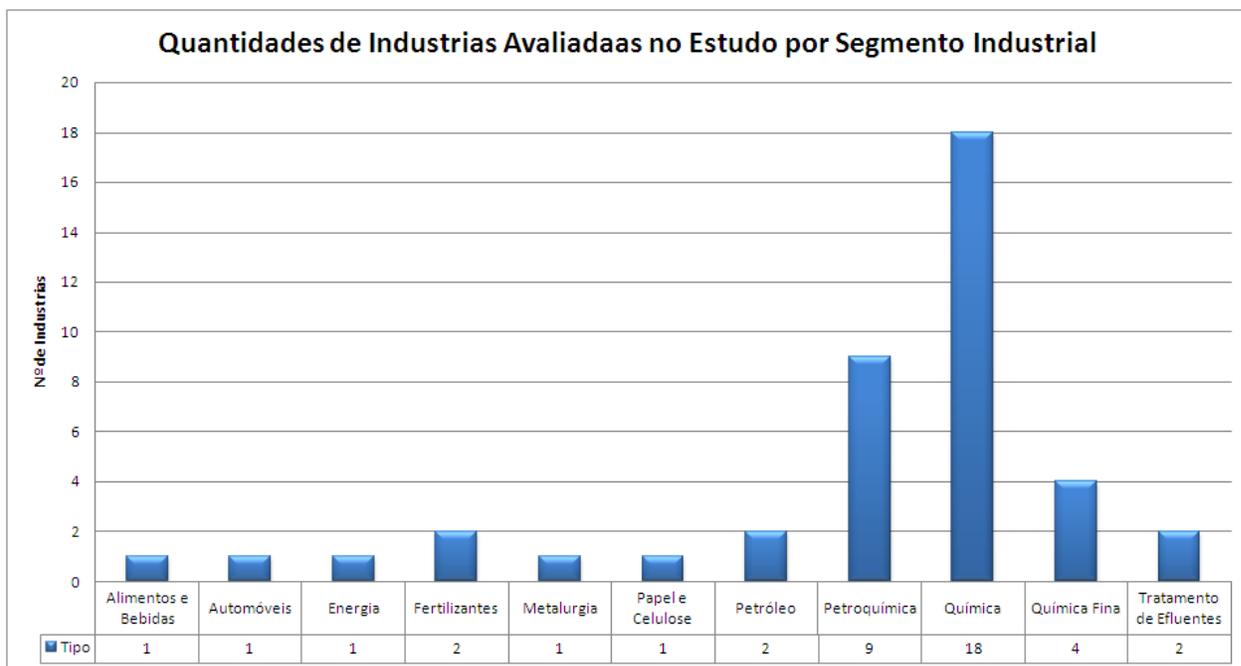
O inventário de emissões de poluentes atmosféricos é um instrumento estratégico para o manejo do recurso atmosférico e reflete a intensidade com que diferentes usuários utilizam este recurso ambiental comum. O inventário identifica os emissores de poluentes atmosféricos, caracteriza os poluentes emitidos, 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 área objeto de estudo selecionada contempla a toda a região metropolitana de Salvador com a área de influência do Pólo Petroquímico de Camaçari e a Refinaria Landolfo Alves compreendendo um quadrado de 6.536 Km<sup>2</sup>, de tal forma que as principais fontes situam-se na região Nordeste e sudoeste da RMS, conforme ilustra a Figura 15.

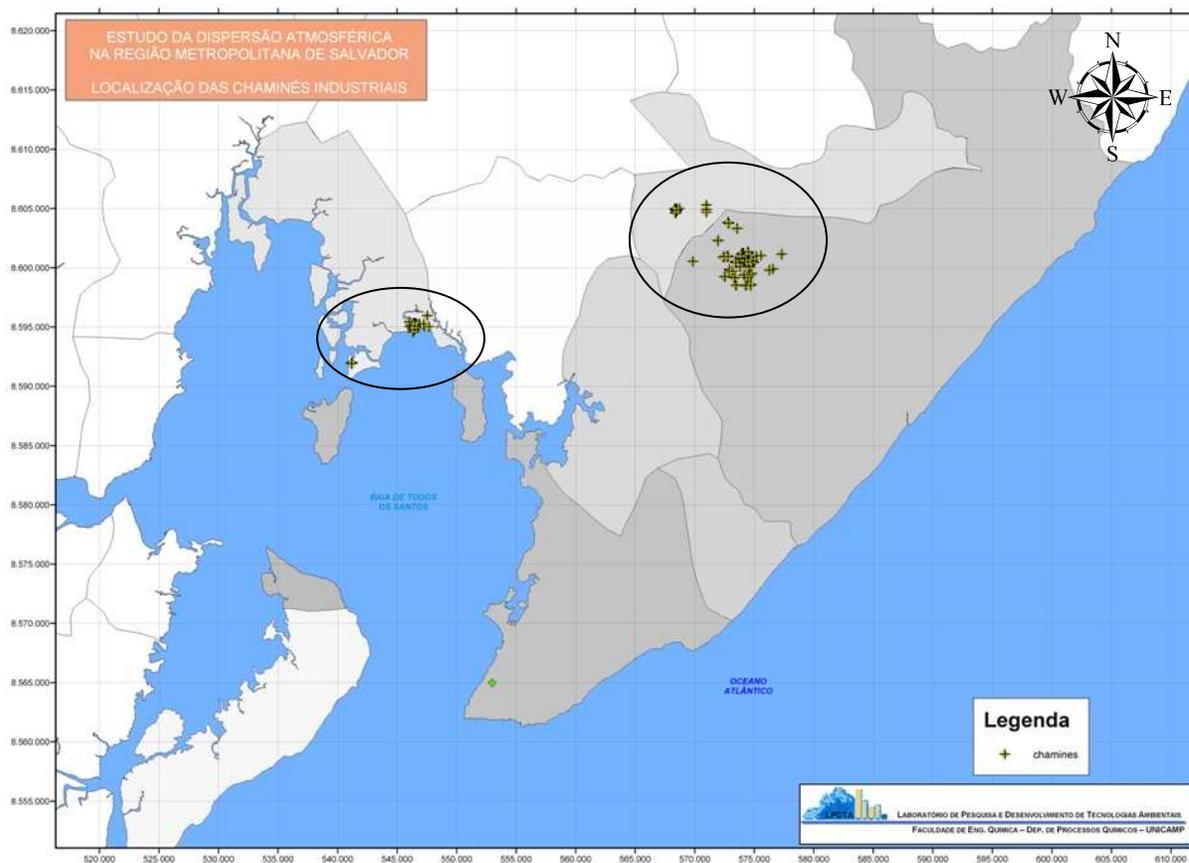
As fontes de poluição selecionadas seguiram os seguintes critérios: Tipo e o porte da indústria, capacidade de produção e tipo e quantidade dos poluentes emitidos.

Seguindo estes critérios, foram analisadas as grandes empresas atualmente em funcionamento em Camaçari e região, na qual foram selecionadas quarenta e duas (42) delas para compor o inventário de emissões. Destaca-se que das 42 empresas, 18 são do setor químico, e 9 do petroquímico, ver Figura 14.

Ressalta-se aqui que existem outras fontes industriais de emissão atmosférica na RMS, entretanto, em função da não disponibilização de dados, não foi possível levar em considerações estes dados no estudo.



**Figura 14 – Características das Industrias avaliadas no estudo.**



**Figura 15 – Localização das chaminés na RMS.**

### 2.7.1. 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: 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).

Seguindo os critérios do AP-42, foram analisadas as principais empresas atualmente em funcionamento na RMS, dentre os quais foram selecionadas quarenta e duas (42) delas para compor o inventário de emissões.

Ressalta-se que existem mais algumas indústrias, como por exemplo, as empresas dos municípios de Simões Filho, Candeias e Lauro de Freitas, entretanto os dados não estavam disponíveis.

Sendo assim, utilizou-se no estudo em questão, o levantamento baseado no inventário de 42 empresas do Pólo Petroquímico de Camaçari e na Refinaria Landolfo 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 (SO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e Composto orgânicos totais (COT).

A Tabela 23 apresenta um resumo das emissões por empresa e a Tabela 24 apresenta um resumo das emissões por tipo de fonte deste inventário apresentado em detalhes no anexo.

**Tabela 23 – Resumos das emissões atmosféricas industriais da RMS.**

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

**Tabela 24 – Resumos das emissões atmosféricas industriais por tipo de fonte.**

Tipo	Quantidade	Emissão (t/ano)				
		MP	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	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
<b>TOTAL</b>	<b>609</b>	<b>3.745,42</b>	<b>18.867,49</b>	<b>25.151,18</b>	<b>25.794,16</b>	<b>35.654,14</b>

#### 2.7.1.1. 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 estão mostradas no anexo 9.2.

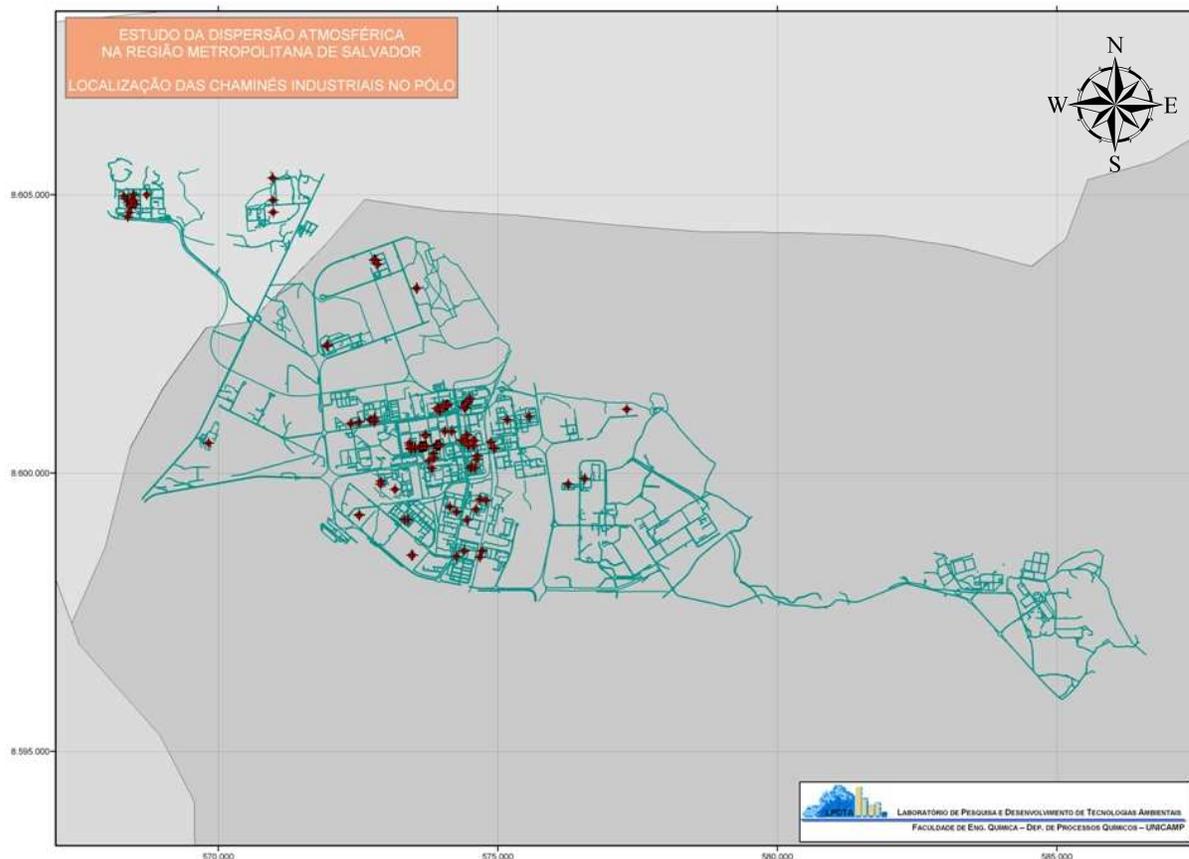
Para cada fonte pontual de poluição do ar foram obtidos os seguintes dados:

- 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 (m<sup>3</sup>/s), temperatura (k);
- 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 industrial contribuiu com aproximadamente 36% em número total de fontes, e corresponde a 100% das emissões atmosféricas dos poluentes MP, SO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub>, a exceção de COT, pois existem emissões deste poluentes para fugitivas, tanques, e lagoas.

A Figura 16 apresenta a localização detalhada de todas as 218 fontes de emissão pontuais do Pólo Petroquímico de Camaçari.



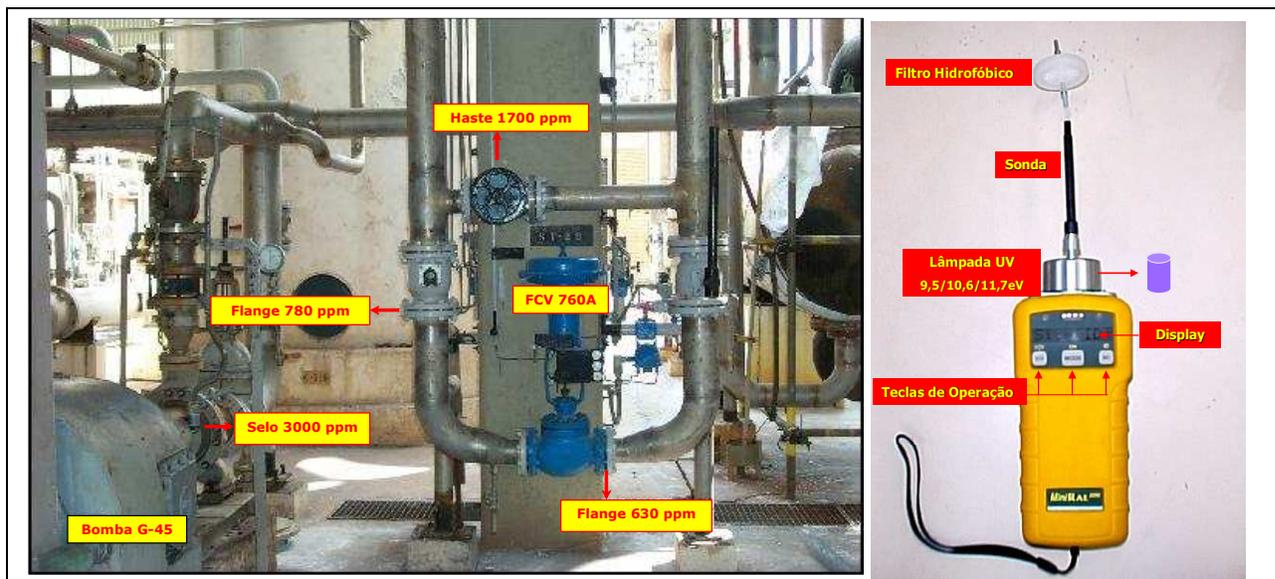
**Figura 16 – Detalhe da localização das chaminés no Pólo Petroquímico de Camaçari.**

#### 2.7.1.2. Fontes Fugitivas

As emissões fugitivas das unidades, provenientes de válvulas, bombas e flanges, de cada planta foram tratadas como uma única fonte volume, e não somente como fonte área, com o objetivo de simular uma situação mais próxima da realidade, neste caso considerou-se que as emissões ocorrem à metade da altura total da unidade. Este tipo de emissão corresponde a 42% de toda a emissão de COT. Salienta-se que não existiu especiação dos compostos orgânicos.

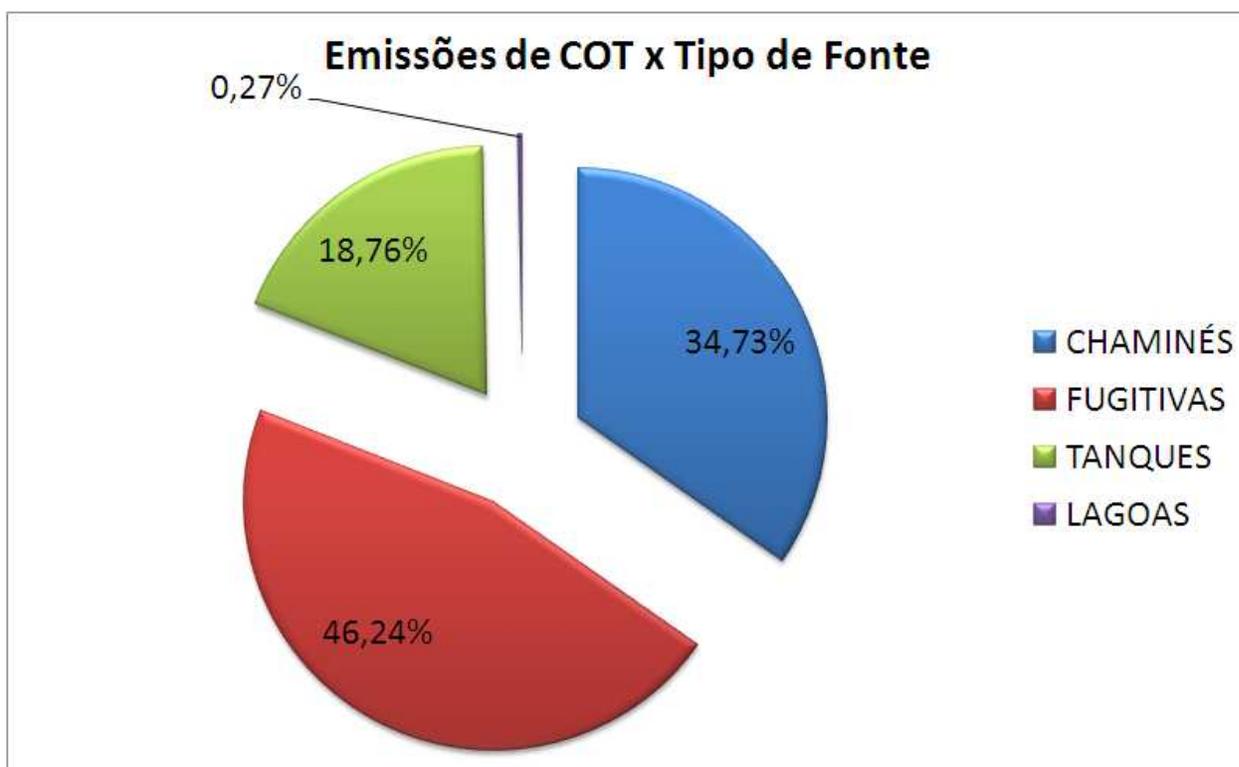
O levantamento das emissões fugitivas foi estabelecido através de estimativa usando fatores de emissão, segundo Tabela 13, aplicado aos diferentes equipamentos industriais: Válvulas, Drenos, Flanges, Bombas, Pontos de retirada de amostra e

Compressores; e ainda, algumas empresas realizaram trabalhos de monitoramento mais detalhados que além de contar 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*”. A Figura 17 ilustra os pontos de emissão e os equipamentos para monitoramentos das emissões fugitivas. Cada equipamento destacado na figura deve ser monitorado e, posteriormente, este valor de é consolidado com todos os outros dados da unidade industrial elaborando assim o inventário das emissões fugitivas de cada uma unidades industriais.



**Figura 17 – Pontos e equipamento de monitoramento das emissões fugitivas.**

Neste estudo foram avaliadas 96 fontes de emissões fugitivas em 22 empresas diferentes. Estas emissões corresponderam a aproximadamente 46% de todas as emissões de compostos orgânicos totais, conforme se verifica na Figura 18.



**Figura 18 – Comportamento das Emissões de COT versus tipo de fonte.**

### 2.7.1.3. Fontes Evaporativas

As emissões provenientes dos **tanques** foram inventariadas como fontes volume, onde a altura de emissão é igual à metade da altura do tanque. O Inventário detalhado, no anexo 9.3, apresenta todos os dados necessários para alimentação destas fontes no modelo.

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 24 e Figura 18.

Tanques de armazenamento de produtos líquidos orgânicos, puros ou em misturas, representam uma das mais importantes fontes de emissões atmosféricas em uma refinaria de petróleo ou indústrias petroquímicas.

Segundo NEVES & ASSUNÇÃO (2001), em estudos realizados em algumas refinarias, a depender do grau de controle adotado para a redução das emissões, as

emissões provenientes dos tanques podem ser de 30% das emissões totais de hidrocarbonetos voláteis (HC). Em uma refinaria de petróleo ou indústrias petroquímicas, a grande quantidade de tanques de armazenamento de produtos, de vários tamanhos e regimes de operação, fazem com que a quantificação dessas emissões seja uma tarefa fundamental em estudos ambientais.

Apesar da evaporação de COT em tanques variar conforme o tipo do tanque, existe basicamente as perdas que ocorrem durante a operação, e que em linhas gerais, que são as perdas resultantes de seu enchimento e esvaziamento.

As emissões devido à armazenagem em si, estão relacionadas às emissões para a atmosfera que ocorrem devido as perdas causadas pela mudança da pressão barométrica, temperatura e outros fatores meteorológicos sem que ocorra alteração do nível do líquido do tanque. Elas obedecem a mecanismos que variam de acordo com o tipo de tanque. 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).

#### *2.7.1.4. Fontes área*

As fontes do tipo área consideradas neste estudo foram os quatro tanques de aeração das estações de tratamento de efluentes da CETREL<sup>6</sup> e mais sete lagoas de equalização ou separadores água e óleo. A Figura 19 ilustra um tanque de aeração do sistema biológico de tratamento de efluentes do Pólo Petroquímico de Camaçari.

---

<sup>6</sup> Empresa responsável pelo tratamento dos efluentes do Pólo Petroquímico de Camaçari e pelo monitoramento ambiental em sua área de influência.



**Figura 19 –Tanques de tratamento de efluentes.**

Segundo LYRA et al (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 de domínio público ou comerciais. 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>***.

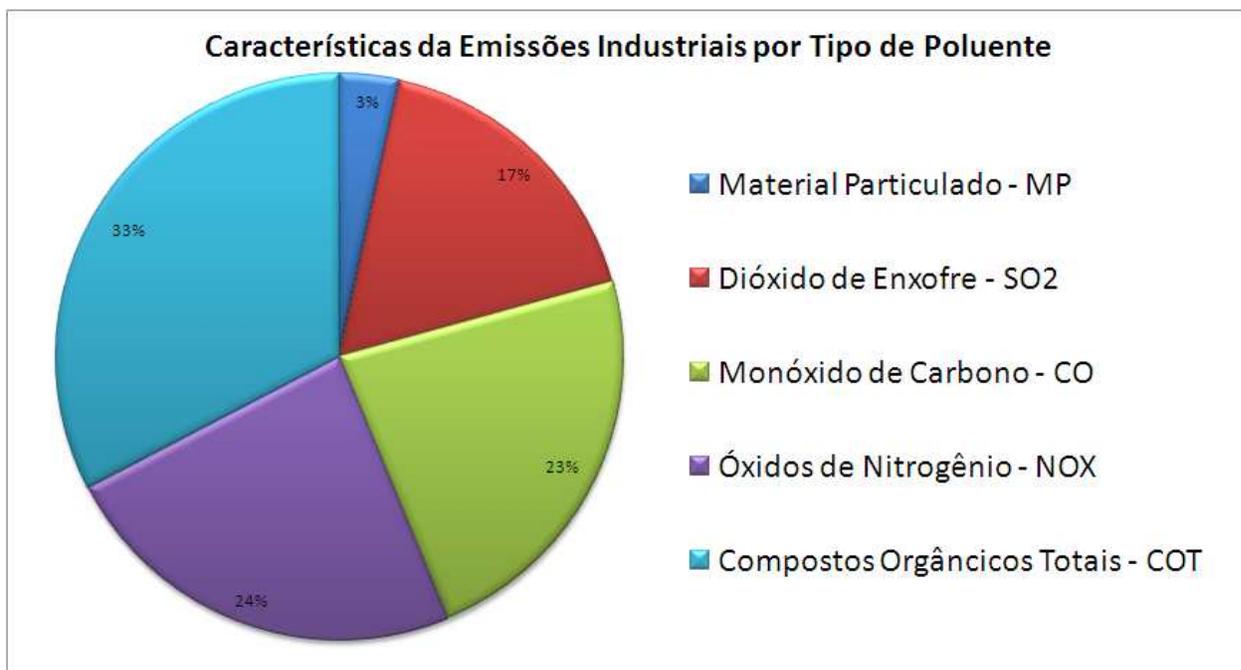
O WATER9 modela as emissões de compostos orgânicos voláteis em unidades de tratamento de efluentes líquidos, inclusive sistemas com aeração ou lodos ativados. O programa tem um banco de dados com as características de mais 950 substâncias

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 ETE, 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, verifica-se que, para as 11 unidades estudadas nas duas empresas que possuem este tipo de fonte, ver Tabela 23, as emissões destas bacias, lagoas e tanques de aeração totalizaram 97,12 t/ano, dados referentes ao ano de 2003. Este dados correspondem a menos de 0,5% de todas as emissões de COT.

Após a avaliação dos diferentes tipos de fontes e tipos de poluentes é possível verificar que as emissões fugitivas são maioria no universo estudado e que as emissões de compostos orgânicos totais apresentação a maior taxa de emissão para o ano de 2003, conforme ilustra Figura 18 e Figura 20 respectivamente.



**Figura 20 – Emissões Industriais por tipo de Poluente.**

## 2.7.2. Emissões Veiculares

Levando-se em consideração o procedimento descrito na seção 1.3.3, as emissões veiculares ou emissões de transporte foram calculadas com base nos fatores de emissão; quilômetros veiculares rodados e número e idade dos veículos. A estimativa das emissões, calculada em toneladas anuais, é feita através da multiplicação do fator de emissão pela quantidade de veículos vezes os quilômetros veiculares rodados por ano. (CETESSB, 2004)

A Tabela 25 mostra o tipo de combustível dos tipos de veículos da frota da RMS, a Tabela 26 destaca idade da frota (PERES, 2003) e a km média rodada tipo do veículo, já a Tabela 27 apresenta a distribuição veicular pelas diferentes cidades da RMS e os fatores médios de emissão apresentados na Tabela 28 sugeridos pela CETESB (2004). Desta forma foi possível estimar as emissões atmosféricas provenientes dos veículos para toda a RMS.

**Tabela 25 – 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 26 – 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
<b>TOTAL</b>	<b>532.699</b>	<b>100,0%</b>	<b>19.745*</b>

- - Km média anual para o período de 1993 a 2003.

**Tabela 27 – Tipos de veículos, DENATRAN (2003)**

Cidades	Total	Automóvel	Camioneta	Caminhão	Ônibus	Moto
Camaçari	18.577,0	10.243,0	2.113,0	1.424,0	1.294,0	3.503,0
Candeias	6.772,0	3.817,0	685,0	622,0	884,0	764,0
Dias D'Ávila	4.808,0	2.530,0	446,0	428,0	663,0	741,0
Itaparica	648,0	370,0	115,0	24,0	49,0	90,0
Lauro de Freitas	19.984,0	13.176,0	2.713,0	1.407,0	1.016,0	1.672,0
Madre de Deus	597,0	330,0	63,0	81,0	88,0	35,0
Salvador	470.649,0	370.305,0	44.274,0	13.922,0	10.171,0	31.977,0
São Francisco do Conde	973,0	531,0	139,0	100,0	109,0	94,0
Simões Filho	8.540,0	4.231,0	1.006,0	1.535,0	1.002,0	766,0
Vera Cruz	1.151,0	586,0	252,0	107,0	56,0	150,0
<b>RMS</b>	<b>532.699,0</b>	<b>406.119,0</b>	<b>51.806,0</b>	<b>19.650,0</b>	<b>15.332,0</b>	<b>39.792,0</b>
<b>Bahia</b>	<b>1.208.689,0</b>	<b>736.628,0</b>	<b>151.547,0</b>	<b>69.330,0</b>	<b>26.858,0</b>	<b>224.326,0</b>

**Tabela 28 – Fator médio de emissão, CETESB (2004)**

Poluentes	Fator de Emissão Médio (g/km)			
	Gasolina	Álcool	Diesel	Moto
CO	12,30	19,30	17,80	19,70
COT	3,26	3,59	2,90	4,00
NOx	0,70	1,16	13,00	0,10
SOx	0,12		0,43	0,04
MP	0,08		0,81	0,05

Um fato importante que merece destaque é que as informações relativas ao inventário das emissões veiculares foram obtidas na internet, ou seja, estão disponíveis para público em geral; destaca-se:

→ **Dados da frota:** Relatório da Frota de Veículos Cadastrados dos Municípios da Bahia\_Detran/BA (<http://www.detran.ba.gov.br/estatistica/index.php>) (Acesso 09/09/2006).

→ **Tipo de combustível:** Anuário Estatístico dos Transportes 2003 do SISAET - Sistema de Informações do Anuário Estatístico dos Transportes (<http://www.geipot.gov.br/novaweb/IndexAnuario.htm>) (Acesso 09/09/2006).

→ **Idade da frota:** Relatório da Evolução da frota de veículos, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios das Capitais - 1990 a 2003 do DENATRAN (<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>) (Acesso 09/09/2006).

→ **Quilometragem média rodada p/ caminhões e ônibus:** Relatório de Mobilidade urbana nas regiões metropolitanas - Secretaria municipal dos transportes públicos.

Novembro

de

2003

([http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/cidade\\_13.pdf](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/cidade_13.pdf))  
(Acesso 09/09/2006).

(Acesso

→ **Fatores médios de emissão:** Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2003. (Tabela 3) (<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/relatorios.asp>) (Acesso 09/09/2006).

→ **Dados da frota/vias de Salvador:** Anuário estatístico de acidentes de trânsito em Salvador ano 2003 - SET ([http://www.setsalvador.com.br/relatorios/{C5A36685-31F2-41C3-80A7-CA9A8C259653}\\_Anuário\\_2003\\_Capa.pdf](http://www.setsalvador.com.br/relatorios/{C5A36685-31F2-41C3-80A7-CA9A8C259653}_Anuário_2003_Capa.pdf)). (Acesso 09/09/2006).

Após a aplicação da metodologia citada na seção Emissões Atmosféricas Veiculares, obteve-se as emissões atmosféricas que estão detalhadas na Tabela 29.

**Tabela 29 – Taxa anual de emissão veicular**

CIDADES	TAXA DE EMISSÃO (ton/ano)				
	CO	COT	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
Camaçari	16.522	3.080	9.985	487	762
Candeias	8.355	1.475	5.401	215	367
Dias D'Ávila	6.033	1.071	3.915	163	274
Itaparica	479	90	275	13	21
Lauro de Freitas	15.469	2.866	8.957	382	627
Madre de Deus	901	155	601	22	39
Salvador	212.686	43.188	94.645	4.886	7.242
São Francisco do Conde	1.169	206	753	29	51
Simões Filho	13.448	2.316	9.029	336	594
Vera Cruz	1.005	185	607	27	44
RMS	276.066	54.633	134.168	6.561	10.019

Analisando a Tabela 29 é possível verificar que monóxido de carbono - CO corresponde a 57% seguido pelas emissões dos óxidos de nitrogênio - NO<sub>x</sub> com 28% de todas as emissões veiculares..

Para as emissões veiculares serem alimentadas ao software de dispersão foi realizada três aproximações que são:

→ Como a cidade de Salvador, possui a maior concentração de veículos (70%), suas emissões foram distribuídas como fonte do tipo linha. Esta distribuição foi realizada entre as 31 principais vias onde, inclusive, é acompanhado pela a SET (2003), ver Tabela 31 e Figura 9;

- As demais cidades foram distribuídas como fontes do tipo de área, pois não existe um detalhamento das vias para cada uma das cidades em questão. O detalhamento das taxas de emissão é apresentado na Tabela 30 onde estas taxas são expressas na unidade de emissão por unidade de área.
- Além do descrito acima e como mencionado na seção 2.2.3, durante os diferentes horários do dia o fluxo de veículos varia entre 20% a 230% do fluxo normal, de acordo com a tabela em destaque na Figura 9. Esta variação ocorre em função do fluxo diário de carros na cidade de Salvador, resumida em sete períodos distintos, entre eles, horários de baixo fluxo como de 1 às 4h e em outros de pico como de 7 às 8h. Sendo assim, levou-se em consideração esta variação diária das emissões veiculares durante as diferentes horas do dia. Aplicando um fator multiplicador da emissão em função do fluxo horário, ou seja, para os horários de pico, 7 às 8h e de 18 às 19h multiplicou-se as emissões veiculares da cidade de Salvador pelo fator de 2,3. O fator multiplicador é proporcional ao fluxo veicular horário, ou seja, de acordo com os dados da SET (2003), nos horários de pico o fluxo de da frota de veículos aumenta 2,3 vezes.

**Tabela 30 - Taxa de emissão veicular na RMS.**

CIDADES	ÁREA (m <sup>2</sup> )	TAXA DE EMISSÃO (g/s*m <sup>2</sup> )				
		CO	COT	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
Camaçari	13.136.907	3,99E-05	7,43E-06	2,41E-05	1,18E-06	1,84E-06
Candeias	4.711.008	5,62E-05	9,93E-06	3,64E-05	1,45E-06	2,47E-06
Dias D'Ávila	10.443.592	1,83E-05	3,25E-06	1,19E-05	4,95E-07	8,31E-07
Itaparica	737.616	2,06E-05	3,89E-06	1,18E-05	5,71E-07	8,91E-07
Lauro de Freitas	24.099.990	2,04E-05	3,77E-06	1,18E-05	5,02E-07	8,25E-07
Madre de Deus	1.938.745	1,47E-05	2,54E-06	9,83E-06	3,55E-07	6,36E-07
São Francisco do Conde	1.667.929	2,22E-05	3,92E-06	1,43E-05	5,60E-07	9,65E-07
Simões Filho	20.868.269	2,04E-05	3,52E-06	1,37E-05	5,10E-07	9,02E-07
Vera Cruz	6.758.759	4,71E-06	8,67E-07	2,85E-06	1,27E-07	2,06E-07

**Tabela 31 – Principais vias da cidade de Salvador**

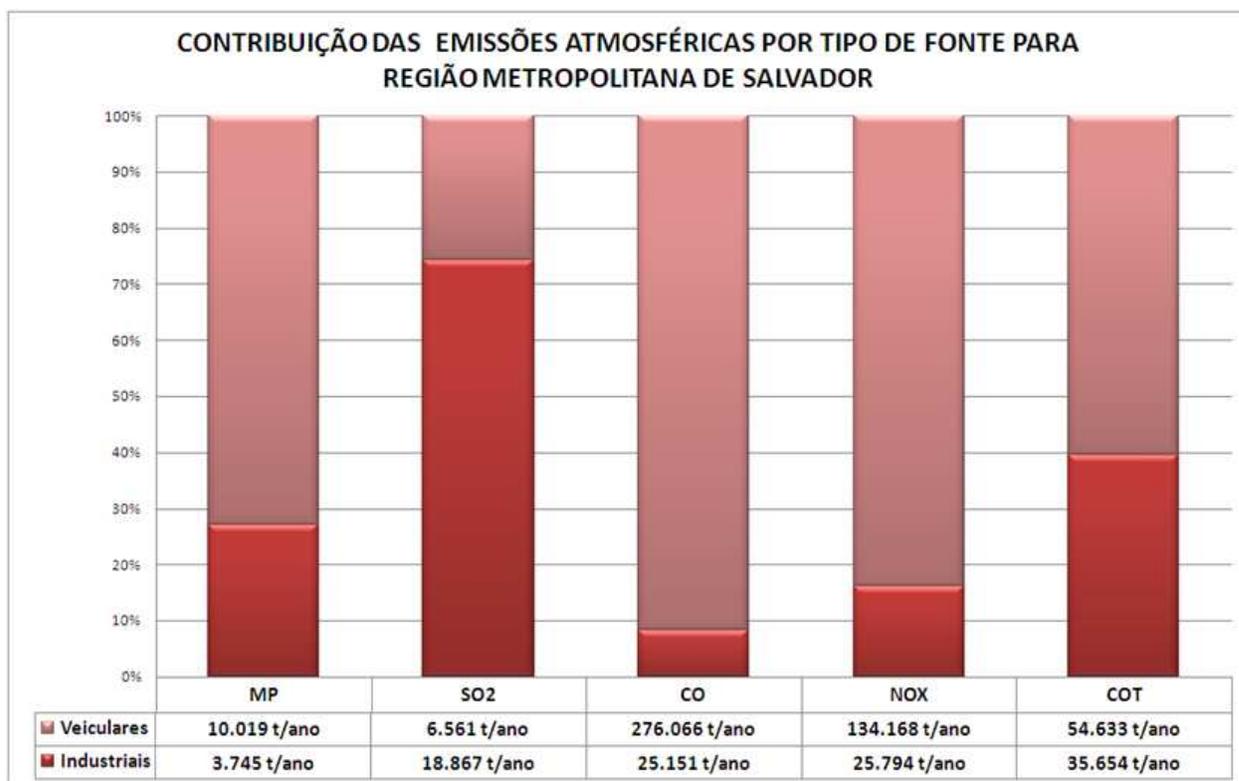
LOCAL	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	FLUXO DIÁRIO	% FLUXO	TAXA DE EMISSÃO (g/s)				
					CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
AV OCEÂNICA	4.130	20	19.752	2,05%	138,5	28,1	61,6	3,2	4,7
AV SABINO SILVA	1.000	10	6.639	0,69%	46,6	9,5	20,7	1,1	1,6
AV ADHEMAR DE BARROS	2.500	10	37.150	3,86%	260,5	52,9	115,9	6,0	8,9
RUA CAETANO MOURA	930	10	7.987	0,83%	56,0	11,4	24,9	1,3	1,9
PRAÇA LORD COCKRANE	403	20	51.250	5,33%	359,4	73,0	159,9	8,3	12,2
AV GARIBALDI	3.620	10	55.078	5,73%	386,2	78,4	171,9	8,9	13,2
AV MIGUEL CALMON	2.500	10	26.963	2,80%	189,1	38,4	84,1	4,3	6,4
VALE DOS BARRIS	760	10	73.991	7,69%	518,9	105,4	230,9	11,9	17,7
AV JOANA ANGÉLICA	1.870	10	10.274	1,07%	72,0	14,6	32,1	1,7	2,5
CAMPO DA PÓLVORA	100	10	17.243	1,79%	120,9	24,6	53,8	2,8	4,1
AV COSTA E SILVA	1.460	10	25.909	2,69%	181,7	36,9	80,9	4,2	6,2
AV HEITOR DIAS	400	10	25.000	2,60%	175,3	35,6	78,0	4,0	6,0
RUA LUCAIA	600	10	71.786	7,46%	503,4	102,2	224,0	11,6	17,1
AV JURACY MAGALHÃES	2.500	20	35.530	3,69%	249,2	50,6	110,9	5,7	8,5
AV MANOEL DIAS DA SILVA	4.250	20	33.984	3,53%	238,3	48,4	106,1	5,5	8,1
AV PAULO VI	2.750	10	26.247	2,73%	184,1	37,4	81,9	4,2	6,3
RUA FERNANDO MENZES	700	10	14.036	1,46%	98,4	20,0	43,8	2,3	3,4
AV MAGALHÃES NETO	1.800	20	31.065	3,23%	217,8	44,2	96,9	5,0	7,4
AV ACM	5.600	20	22.031	2,29%	154,5	31,4	68,7	3,5	5,3
RÓTULA DE ABACAXI	264	10	76.921	8,00%	539,4	109,5	240,0	12,4	18,4
AV BARROS REIS	3.000	10	25.538	2,66%	179,1	36,4	79,7	4,1	6,1
AV SAN MARTIN	2.120	10	28.533	2,97%	200,1	40,6	89,0	4,6	6,8
LARGO DO TANQUE	285	20	8.787	0,91%	61,6	12,5	27,4	1,4	2,1
AV LUIS EDUARDO MAGALHÃES	3.900	20	19.141	1,99%	134,2	27,3	59,7	3,1	4,6
ESTRADA DAS BARREIRAS	1.893	20	7.866	0,82%	55,2	11,2	24,5	1,3	1,9
AV EDGAR SANTOS	2.500	10	10.362	1,08%	72,7	14,8	32,3	1,7	2,5
AV SAN RAFAEL	2.250	10	15.616	1,62%	109,5	22,2	48,7	2,5	3,7
AV PINTO AGUIAR	3.120	10	10.841	1,13%	76,0	15,4	33,8	1,7	2,6
AV LUIS VIANA (PARALELA)	13.120	40	71.941	7,48%	504,5	102,4	224,5	11,6	17,2
ESTRADA ALIOMAR BALEEIO (EVA)	15.600	20	7.999	0,83%	56,1	11,4	25,0	1,3	1,9
ESTRADA VELHA DAS CAMPINAS DE PIRAJÁ	4.700	20	7.158	0,74%	50,2	10,2	22,3	1,2	1,7
AV OTÁVIO MANGABEIRAS	18.700	20	79.112	8,23%	554,8	112,7	246,9	12,7	18,9
<b>TOTAL</b>	<b>109.325</b>	<b>--</b>	<b>961.730</b>	<b>100%</b>	<b>6.744,22</b>	<b>1.369,47</b>	<b>3.001,17</b>	<b>154,95</b>	<b>229,63</b>

### 2.7.3. Inventário da RMS

Após o levantamento das emissões industriais e veiculares, verifica-se que, apesar da grande concentração industrial, as emissões veiculares são em média 75% de todas as emissões atmosféricas, com exceção do SO<sub>2</sub> que as maiores contribuições foram industriais, conforme apresentado na Tabela 32 e Figura 21

**Tabela 32 – Valores das emissões atmosféricas na RMS por tipo de fonte**

TIPO DE FONTE	TAXA DE EMISSÃO (T/ANO)				
	MP	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT
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
<b>TOTAL</b>	<b>13.764,7</b>	<b>25.428,1</b>	<b>301.217,5</b>	<b>159.962,4</b>	<b>90.286,9</b>

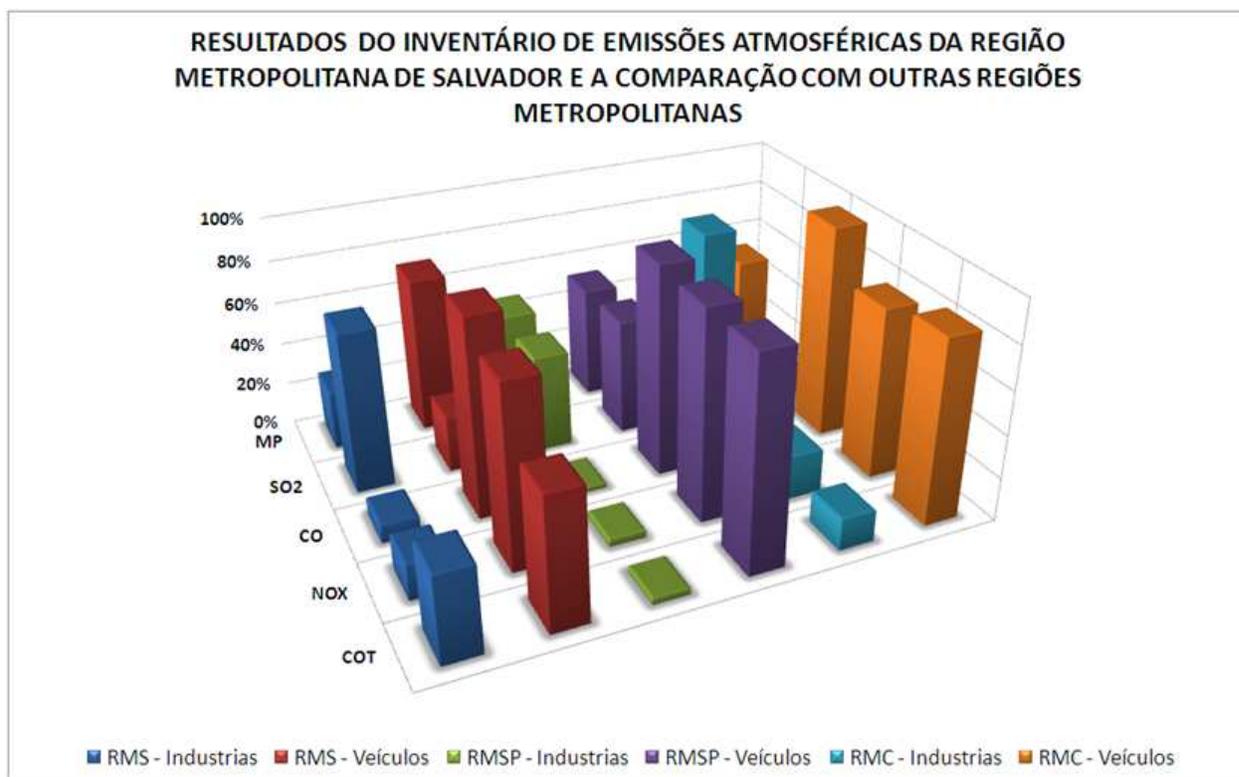


**Figura 21 - Contribuição das emissões atmosféricas na RMS por tipo de fonte - 2003.**

Este comportamento encontrado nas emissões da RMS é muito semelhante aos encontrados em outras Regiões Metropolitanas de São Paulo e de Campinas, segundo Tabela 33 e Figura 22 .

**Tabela 33 - Percentual da contribuição das emissões atmosféricas nas regiões metropolitanas do Brasil. CETESB (2006)**

POLUENTE	% DE EMISSÃO VEICULAR			% DE EMISSÕES INDUSTRIAIS		
	RMS	RMSP	RMC	RMS	RMSP	RMC
MP	72,8%	52,6%	52,2%	27,2%	47,4%	47,8%
SO <sub>x</sub>	25,8%	54,3%	11,3%	74,2%	45,7%	88,7%
CO	91,7%	97,9%	99,8%	8,3%	2,1%	0,2%
NO <sub>x</sub>	83,9%	96,6%	79,6%	16,1%	3,4%	20,4%
COT	60,5%	97,1%	85,3%	39,5%	2,9%	14,7%



**Figura 22 – Comparação das características das emissões da RMS com outras regiões metropolitanas do país..**

O processo de elaboração do inventário das emissões industriais teve início antes do começo 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.

## 2.8. Receptores

A área estudada possui 6.536 km<sup>2</sup>, e é apresentada quadriculada na Figura 23. Adotou-se um retângulo de 86 por 76 Km, localizado nos limites da Região Metropolitana de Salvador, e que inclui todas as cidades da RMS. Os receptores foram espaçados em 1 x 1 km totalizando 6.700 pontos, começando na coordenada sudoeste X = 521.000 m e Y = 8.548.000 m.

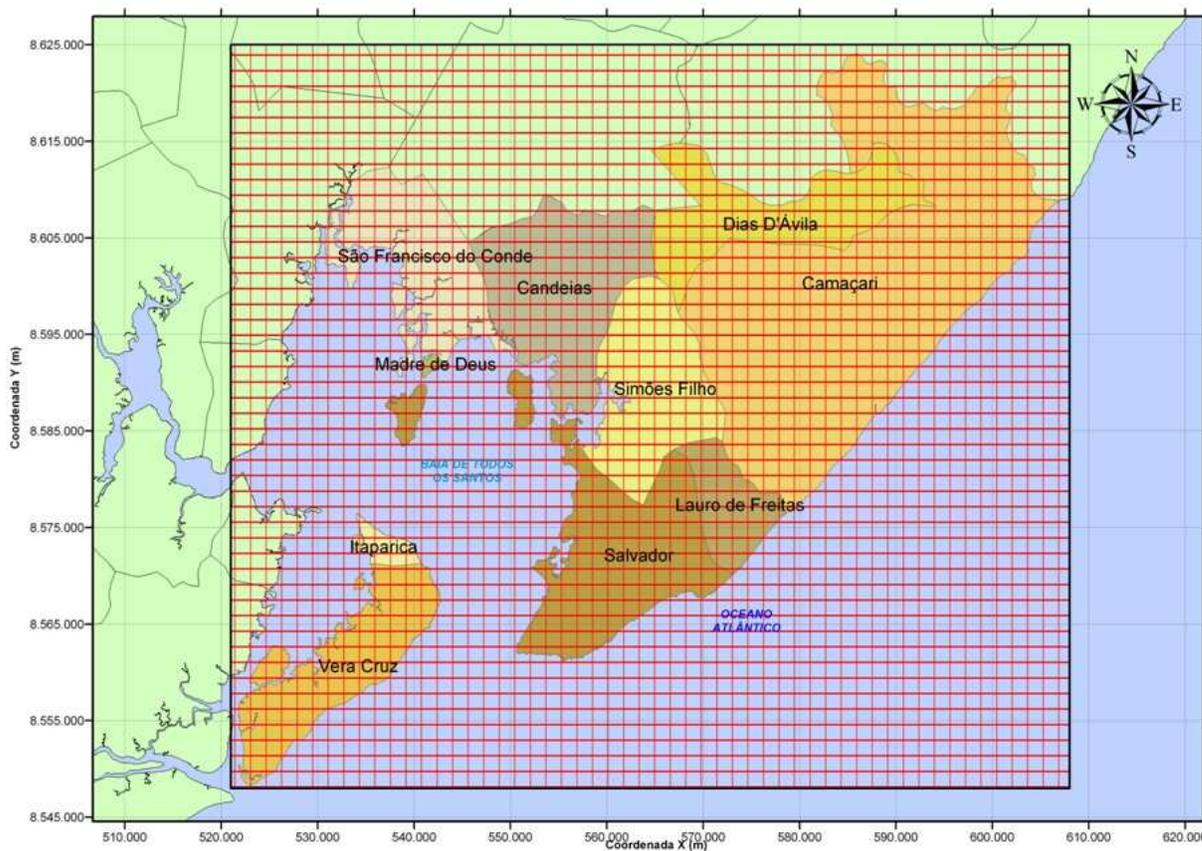


Figura 23 – Área de Estudo

## 2.9. Resumo das condições simuladas

Após o levantamento das condições meteorológicas, topografia, inventário das emissões atmosféricas e por fim, especificação dos receptores, foi possível avaliar o comportamento da dispersão das emissões de Material Particulado Inalável (MP<sub>10</sub>); Monóxido de Carbono (CO); Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>); Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Compostos Orgânicos Totais (COT) oriundos das indústrias e emissões veiculares da RMS comparando os resultados com a legislação existente. A estrutura utilizada para o

desenvolvimento deste trabalho está ilustrada na Figura 10. A Tabela 34 resume todas as condições utilizadas nas simulação.

**Tabela 34 – Resumo das Condições da Simulação.**

Poluentes	Área	Período Modelado	Limite Ambiental de Referência <sup>1</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
MP	RMS	24h	150
		Anual	50
CO	RMS	1h	40.000
		8h	10.000
SO <sub>2</sub>	RMS	24h	365
		Anual	80
NO <sub>2</sub>	RMS	1h	320
		Anual	100
COT	RMS	24h	NE
		Anual	NE

*1 - Os padrões ambientais sugeridos os limites do CONAMA 003/90. NE – Não existe padrão proposto no Brasil para este tipo de poluente.*

Na próxima seção serão apresentados os principais resultados obtidos na simulação e a sua correlação com as condições meteorológicas da região.

## 2.10. Principais Resultados

Os trabalhos de modelagem consistiram em determinar as concentrações resultantes nos pontos, denominados “receptores”, e dentro da região de confiabilidade do modelo, para cada um dos poluentes estudados, com todas as fontes emissoras de poluentes pertinentes, simultaneamente, com o objetivo de calcular as concentrações nos pontos receptores, em toda a Região Metropolitana de Salvador, nos períodos estabelecidos pela legislação ambiental.

Na primeira fase, o objetivo foi conhecer a dispersão dos poluentes na área de estudo, de uma maneira geral, para verificar o comportamento dos poluentes em sua região de influência, ou seja, as tendências da dispersão nas zonas urbanas que apresentavam as maiores e menores concentrações dos poluentes estudados.

Cabe observar que as concentrações modeladas para estes poluentes devem ser somadas as já existentes no ar ambiente denominadas concentrações de fundo ou de "background", e que podem ter como origem processos naturais ou originados pelo homem na área estudada, ou até mesmo a distâncias maiores do município. Cabe aqui destacar que para o estudo de dispersão realizado, não foram consideradas as

concentrações de Background em função da falta de dados para a principal cidade da região, Salvador.

A avaliação dos resultados realizou-se em três etapas distintas. Primeiro verificou-se o comportamento da pluma em toda a RMS e denominou-se de Avaliação Macro. Em um segundo momento avaliou-se apenas a cidade de Salvador, denominada Avaliação Micro. Por fim avaliou-se a correlação entre os dados simulados com os dados medidos na região ainda sua relação com a meteorologia, esta etapa foi denominada de Análise estatística. Cada uma das etapas será discutida a seguir.

#### 2.10.1. Avaliação Macro

Para avaliação dos resultados da simulação nesta escala buscou-se identificar condições de estudo, baseado nas principais características das emissões. Desta forma dividiu-se as emissões em dois grandes grupos típicos que são Industriais e Veiculares, sendo as emissões destes grupos representadas pelos poluentes  $\text{SO}_2$  e CO respectivamente. Após análise do comportamento das plumas de concentração, conforme mostra a Figura 24 que ilustra a comportamento diário da concentração de  $\text{SO}_2$ , e Figura 25 que detalha comportamento anual da concentração de  $\text{SO}_2$ , Figura 26 que mostra o comportamento horário da concentração de CO e a Figura 27 que detalha a comportamento diário da concentração de CO, as principais conclusões obtidas através deste trabalho de modelagem, para as condições simuladas são:

- As maiores concentrações de  $\text{SO}_2$  estão distribuídas nas proximidades dos pólos industriais da região. Isto está em alinhamento com o inventário das emissões que mostra que 72% destas são de fontes industriais. Desta forma, as cidades de Camaçari, Dias D'Ávila e Madre de Deus são principalmente impactadas por estas emissões industriais, conforme mostra a Figura 24 e Figura 25. Este comportamento é observado tanto na média diária quanto na média anual. É importante destacar que, os dados também apontam uma influência na Região da Cidade de Salvador, devendo-se as emissões veiculares provenientes da queima de Diesel.
- As demais cidades estão, prioritariamente, sob a influência das emissões veiculares, caracterizadas pelas emissões de CO, que estão espalhadas em toda a RMS, conforme mostra a Figura 26 e Figura 27. Esta variação é verificada tanto na média

horária quanto na média oito horas; Este é um comportamento esperado para áreas com grande número de veículos circulando na região.

O comportamento das plumas dos demais poluentes, está ilustrado na seção 9.6.

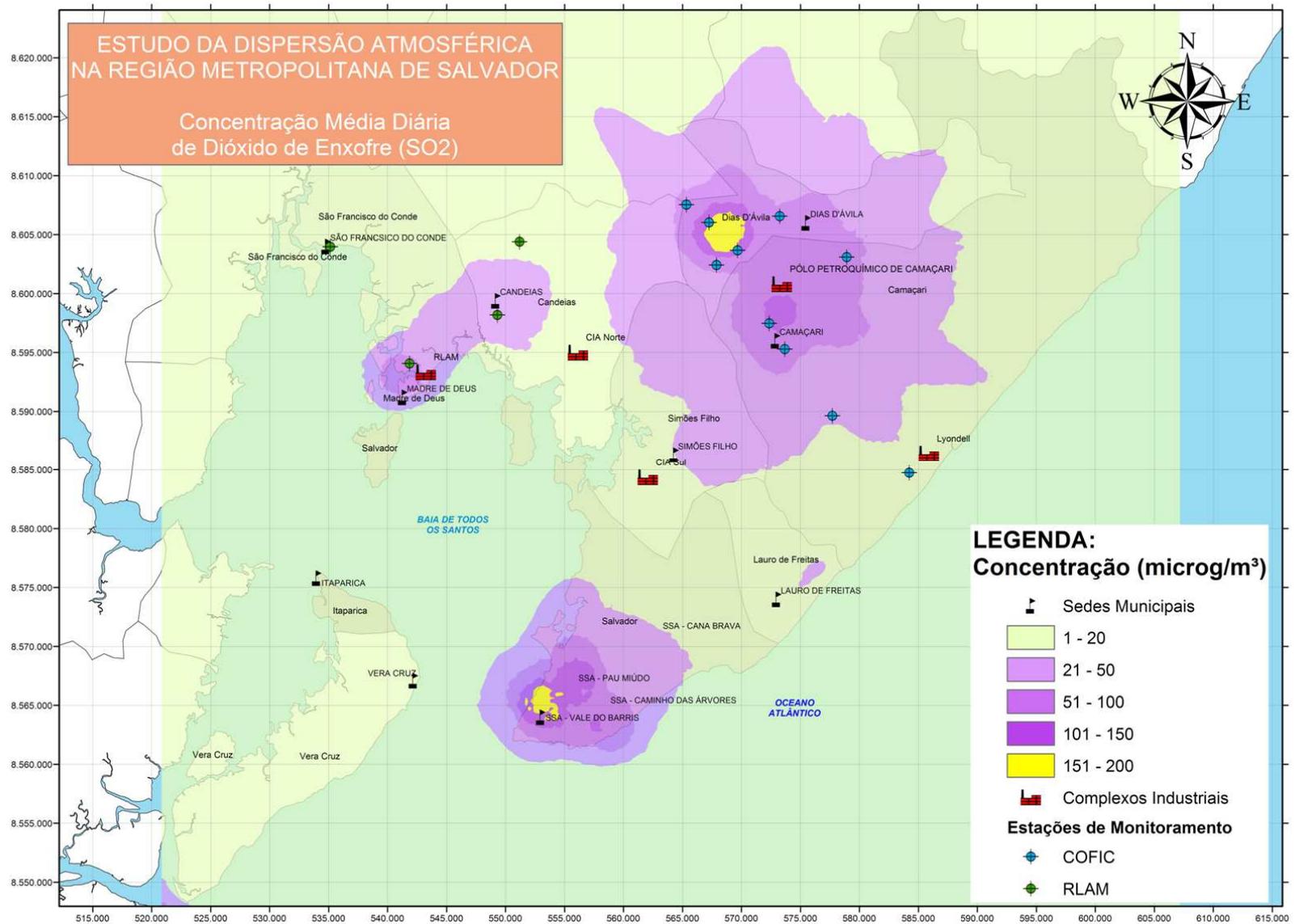
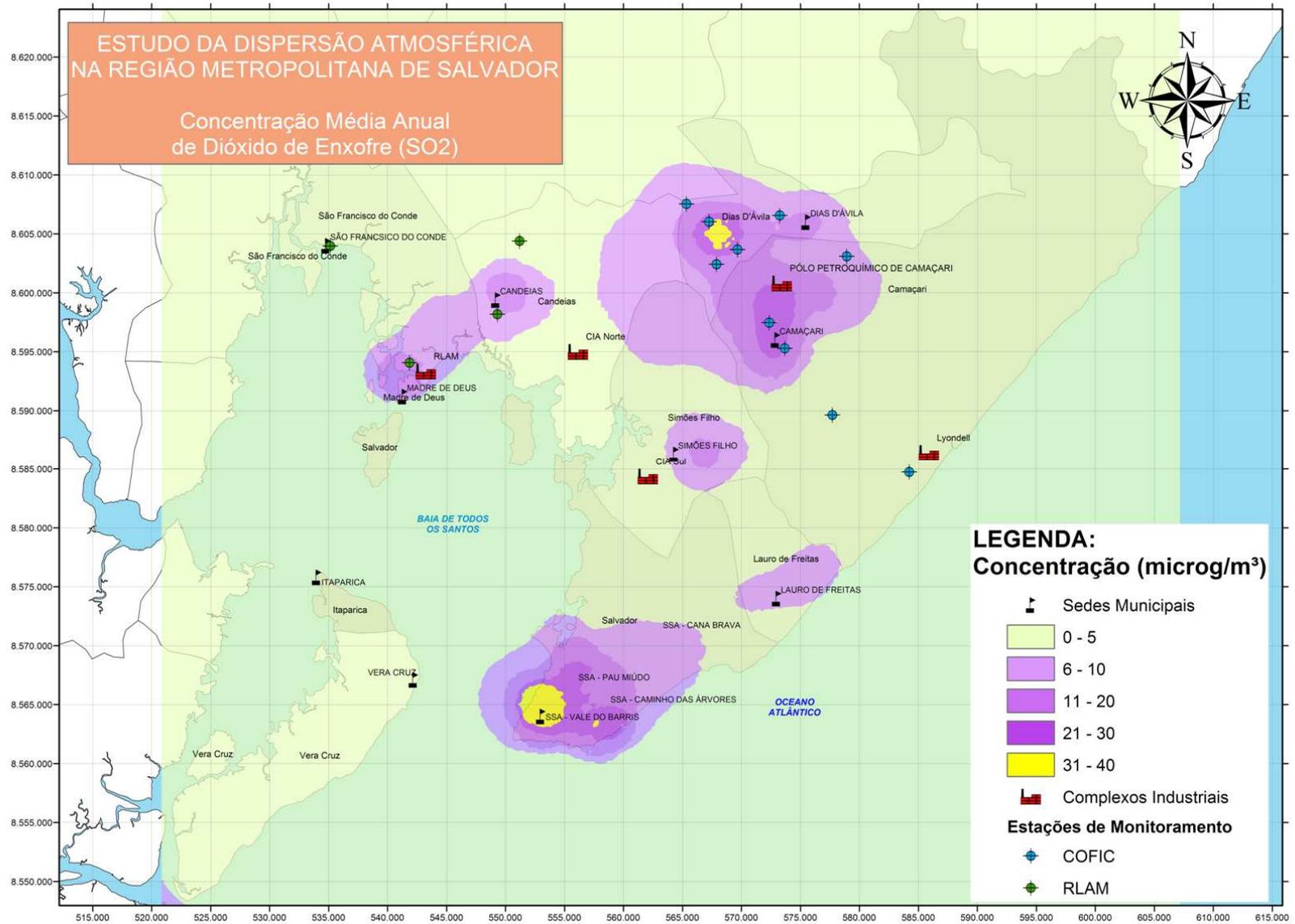


Figura 24 – Comportamento diário da concentração do dióxido de enxofre.



**Figura 25 – Comportamento anual da concentração do dióxido de enxofre.**

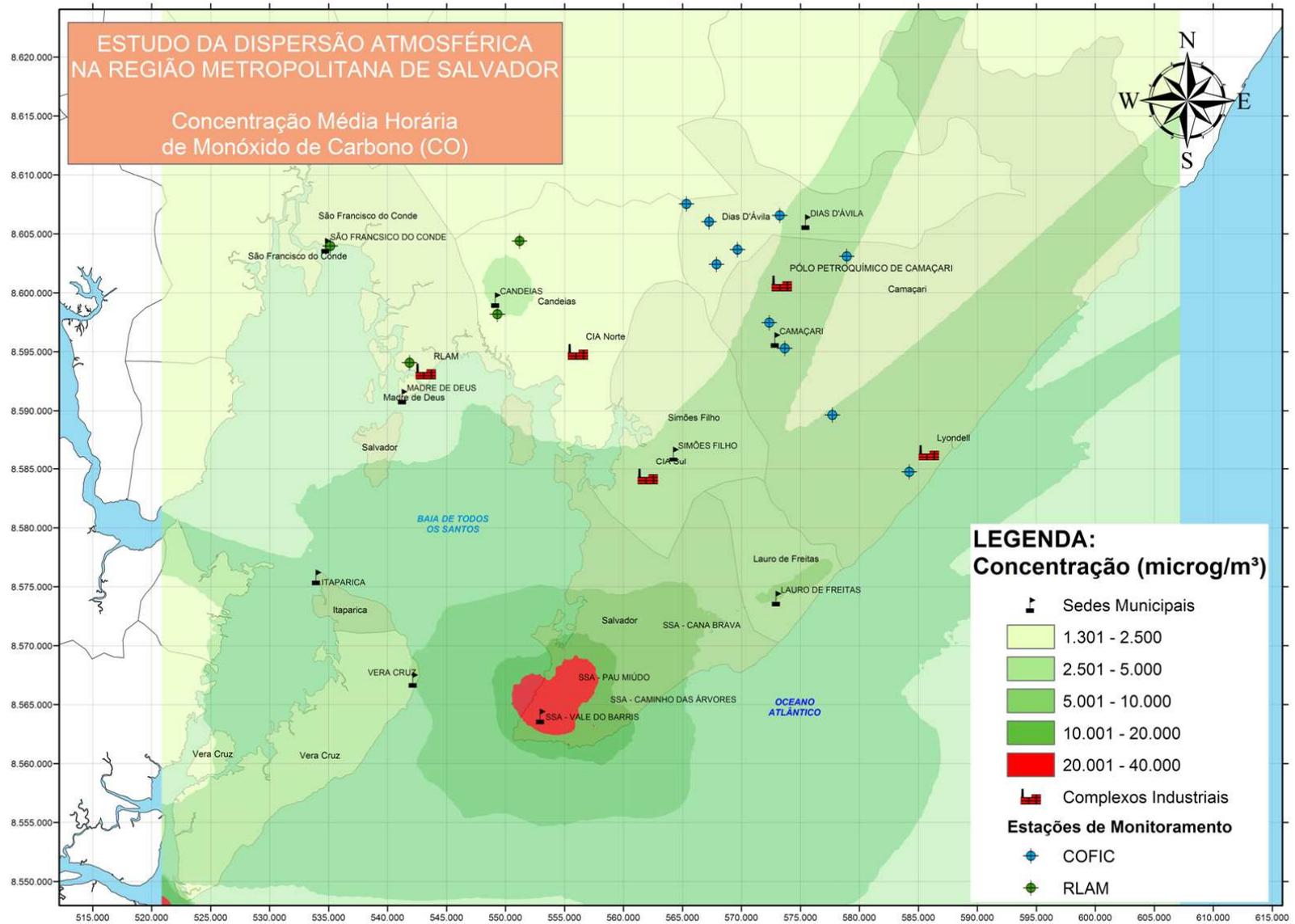


Figura 26 – Comportamento horário da concentração de monóxido de carbono.

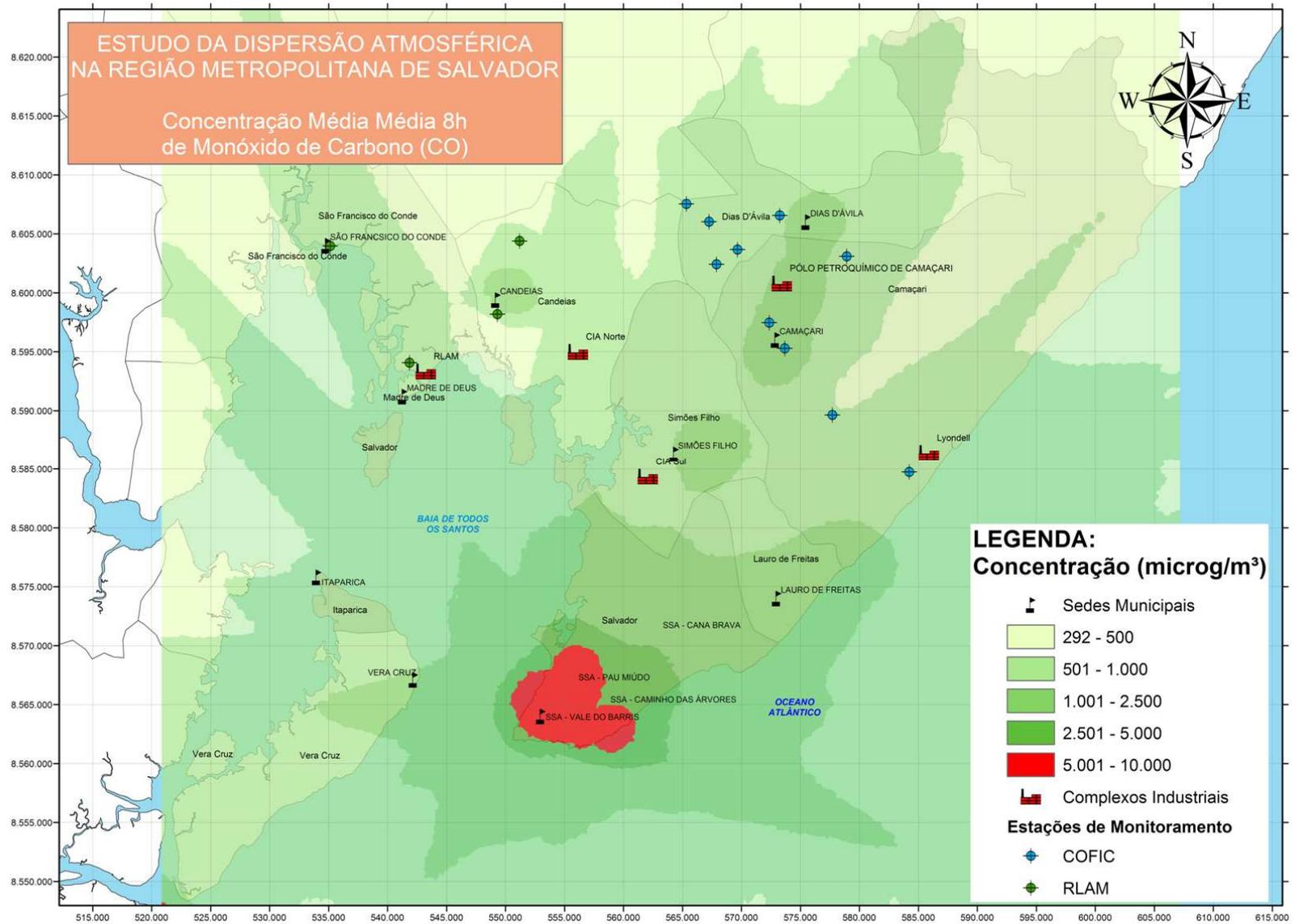


Figura 27 – Comportamento médio de 8 horas da concentração de monóxido de carbono.

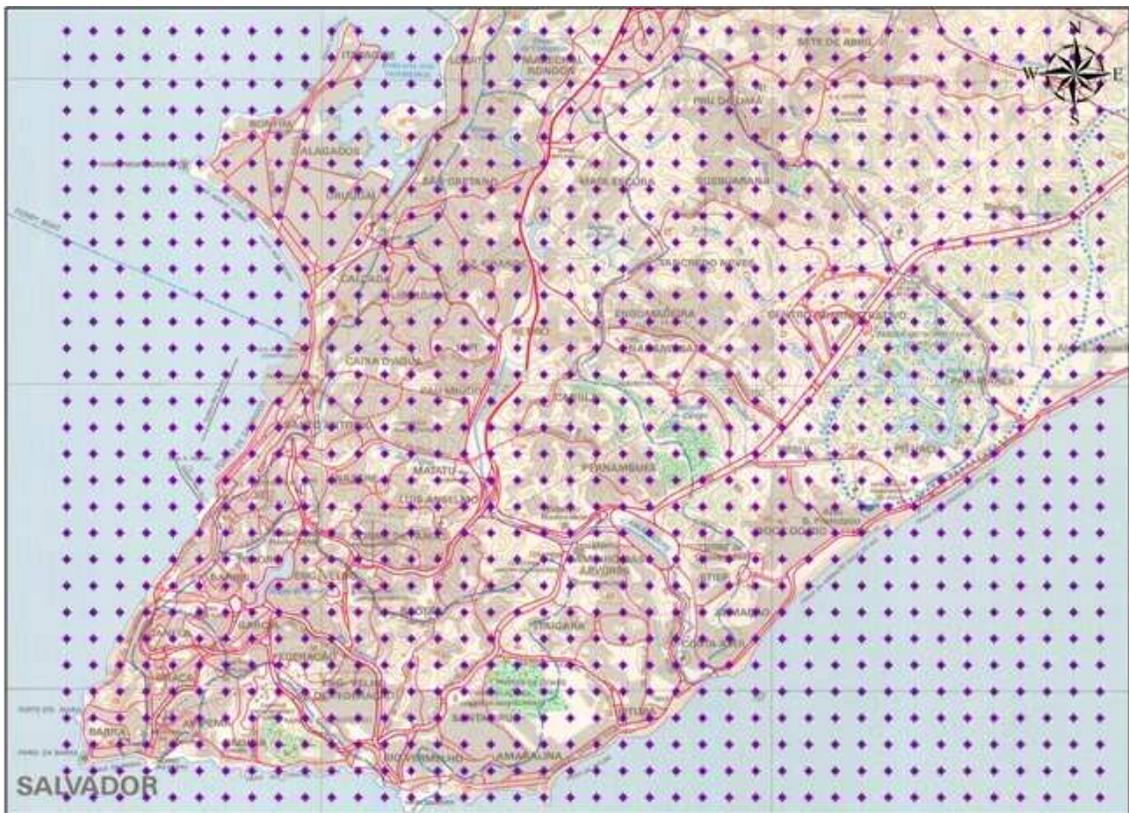
## 2.10.2. Avaliação Micro

É importante destacar que, conforme a Figura 26 e Figura 27, verifica-se que as maiores concentrações de SO<sub>2</sub> e CO estão localizados no centro da cidade de Salvador. Buscando visualizar este comportamento com mais detalhes, foi realizada uma simulação apenas para a área central de Salvador, com maior adensamento populacional, de forma a compreender o comportamento do monóxido de carbono (CO), poluente característico do grupo de emissões veiculares, na região.

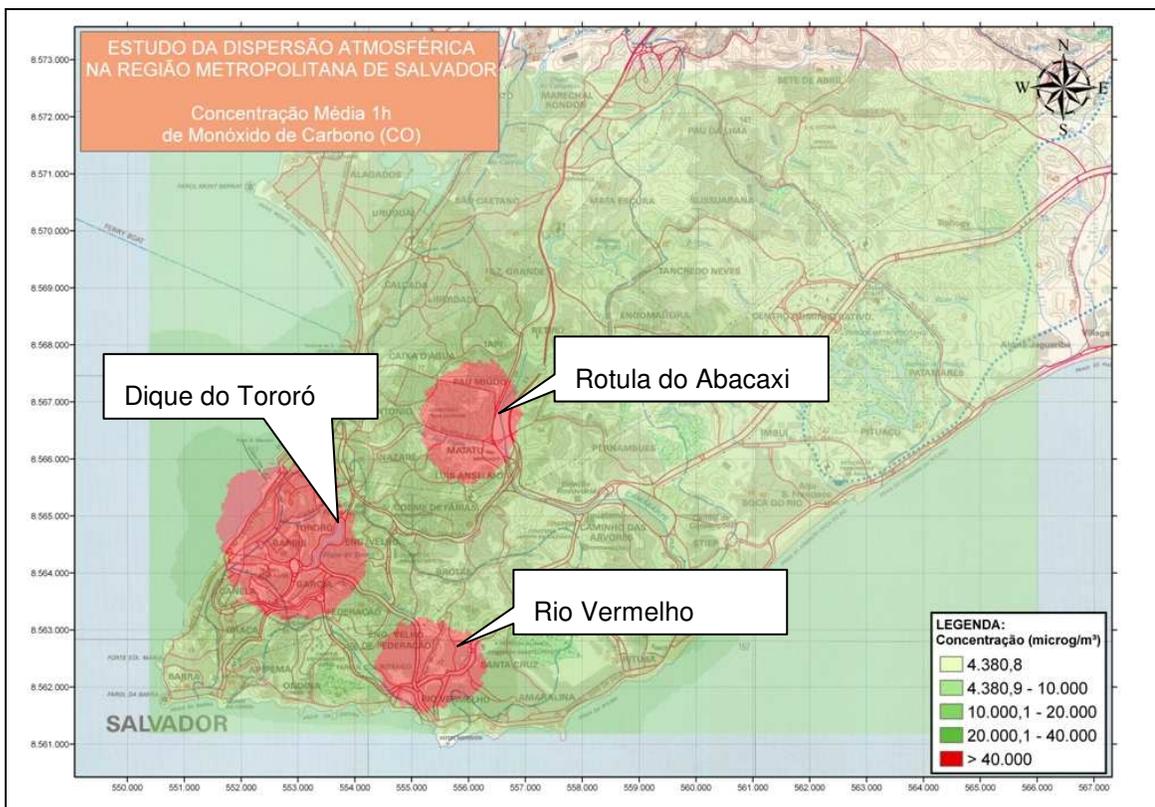
Salienta-se ainda que, além do mencionado acima, nas outras áreas em destaque com maiores concentrações de SO<sub>2</sub>, ver Figura 24 e Figura 25, já foram estudadas durante a etapa de elaboração dos respectivos projetos de Redes de Monitoramentos da Qualidade do Ar, desta forma será avaliado aqui apenas a região de Salvador.

A área estudada possui 181 km<sup>2</sup>, e é apresentada na Figura 28. Adotou-se um retângulo de 11,6 por 15,6 Km, localizado nos limites da Salvador, que inclui os bairros mais populosos. Os receptores foram espaçados em 400 x 400 m totalizando 1.200 pontos.

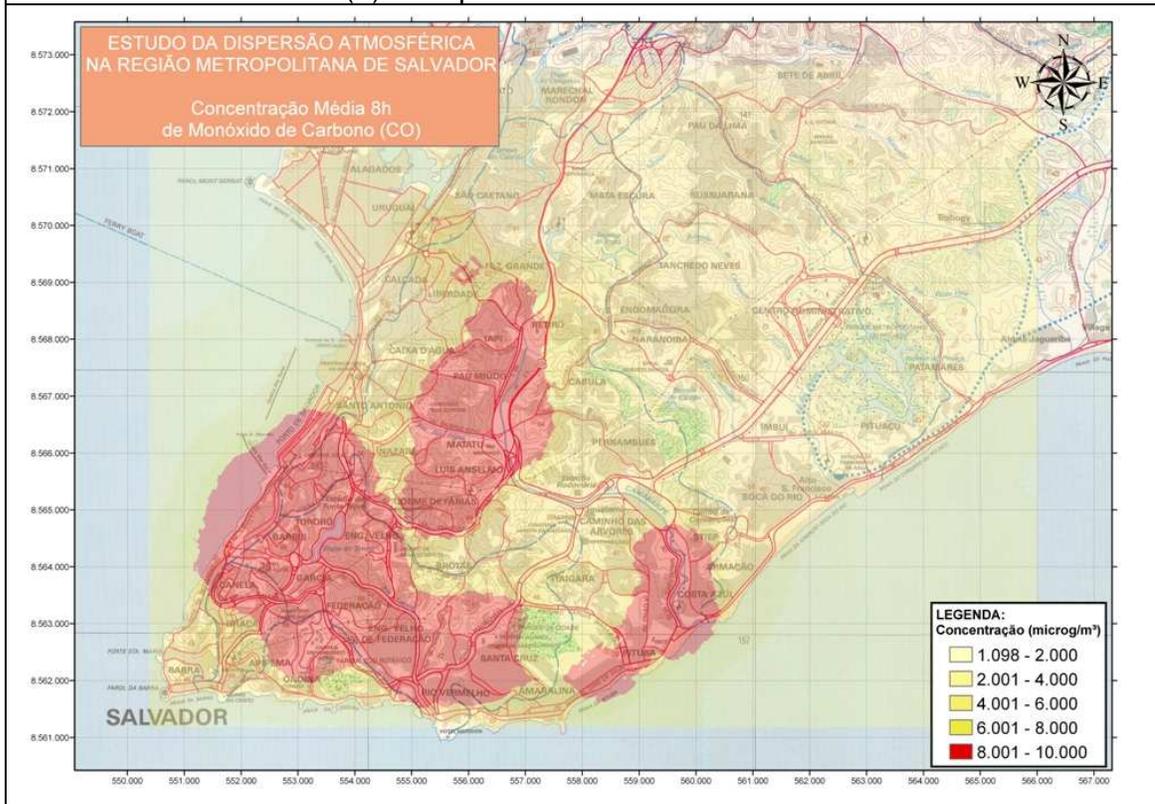
Após avaliação dos resultados encontrados na simulação desta escala micro que estão e ilustrados na Figura 29 (a) e (b), verifica-se que existem três áreas com uma maior concentração de monóxido de carbono, a região da Rótula do Abacaxi, Dique do Tororó e no Bairro do Rio Vermelho. Estes pontos têm entre si uma característica em comum de um grande fluxo de veículos, impactando mais significativamente a qualidade do ar nestas regiões.



**Figura 28 – Área de estudo para a cidade de Salvador**



(a) Comportamento média horária



(b) Comportamento média oito horas

**Figura 29 – Detalhamento do comportamento das emissões de monóxido de carbono na cidade de Salvador**

### 2.10.3. Análise Estatística

Nesta etapa, foram realizadas diversas avaliações buscando verificar a relação entre os dados estimados pelo modelo e os observados em 2003 nas estações de monitoramento existentes na região (CETREL, 2003 e RLAM, 2003).

Como para a elaboração deste estudo utilizou apenas dados de uma única estação meteorológica que está situada na cidade de Camaçari, conforme ilustra a Figura 11, foi realizada uma análise dos resultados de concentração de SO<sub>2</sub> e CO, poluentes típicos de emissões industriais e veiculares, respectivamente, para cada uma das 8760 horas do ano.

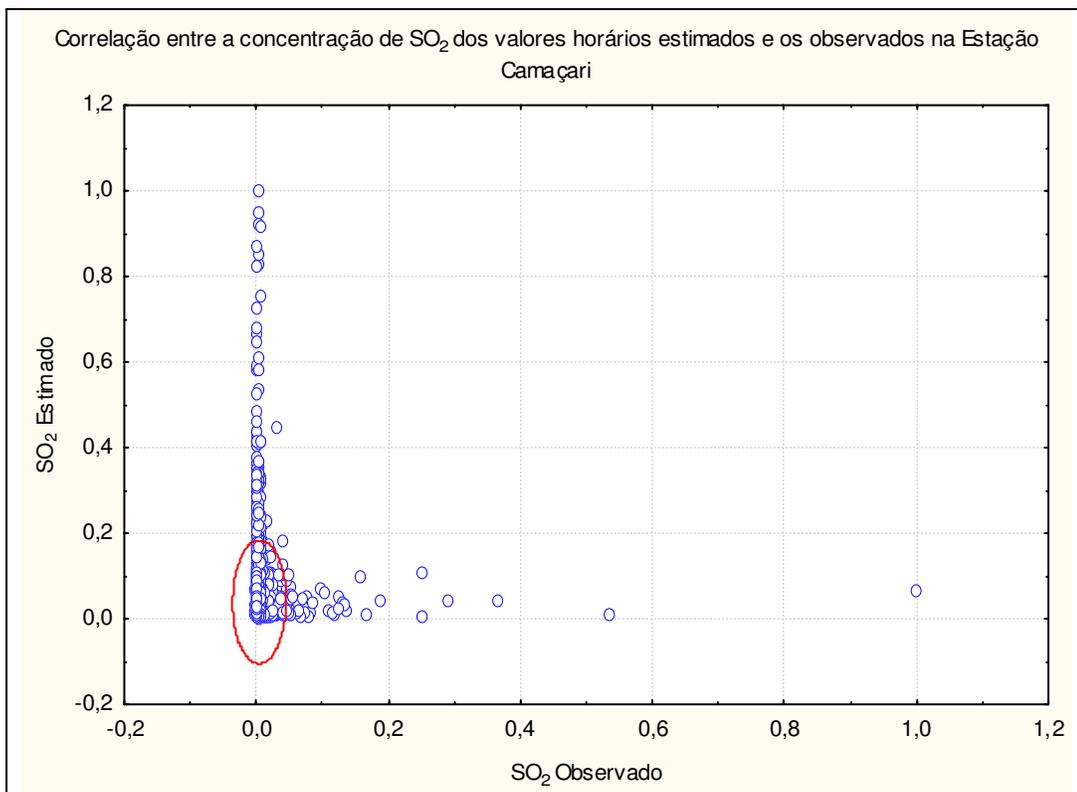
#### *2.10.3.1. Correlação entre as concentrações observadas e estimadas para um ponto discreto.*

Realizou-se uma simulação para um ponto discreto localizado na Cidade de Camaçari e determinou-se assim, as concentrações para cada uma das 8760 horas do ano, após isso se comparou os resultados entre si e os principais resultados encontrados foram:

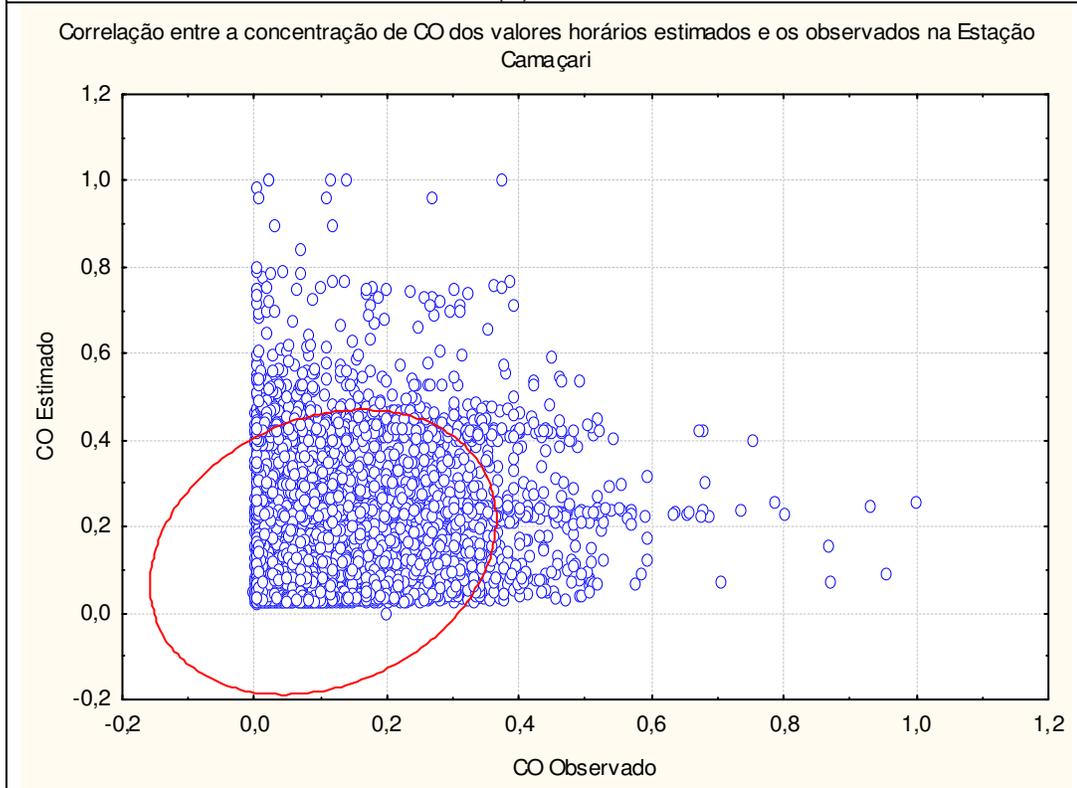
- Após a normalização dos resultados estimados e observados, verificou-se que a distribuição dos dados é aleatória mas que existe uma correlação positiva entre os dados estimados e observados para o SO<sub>2</sub>, conforme ilustra a Figura 30 (a), entretanto com o coeficiente de correlação fraco. Isto se deve, provavelmente, ao fato do modelo utilizado não levar em consideração a remoção deste poluente na atmosfera. Esta hipótese é reforçada pelo fato das concentrações estimadas serem maiores que os valores observados.
- Para as concentrações de CO, o coeficiente de correlação é mais forte indicando assim uma maior correlação positiva entre os dados estimados e observados. Os dados estão em mesma ordem de grandeza, conforme ilustra a Figura 30 (b).
- De forma a complementar a análise da correlação entre as concentrações observadas e estimadas, se avaliou o comportamento espacial da concentração estimada e observada entre diferentes pontos onde existem monitoramento de SO<sub>2</sub>

e CO. Foram levantadas 9 estações de monitoramento, conforme ilustra a Tabela 35 e a Figura 31.

- Existe uma correlação positiva entre os dados estimados e observados tanto para o  $\text{SO}_2$  e para CO, conforme ilustra a Figura 32 (a) e (b), entretanto com o coeficiente de correlação, fraco para  $\text{SO}_2$  e forte para o CO, semelhante à análise anterior.
- Entre as 9 estações avaliadas, a Estação Hospital apresentou a melhor correlação entre os dados estimados e observados. Em função do efeito da topografia e do fato da Estação Câmara estar localizada dentro da cidade, esta não apresenta correlação semelhante à Estação Hospital.



(a) SO<sub>2</sub>

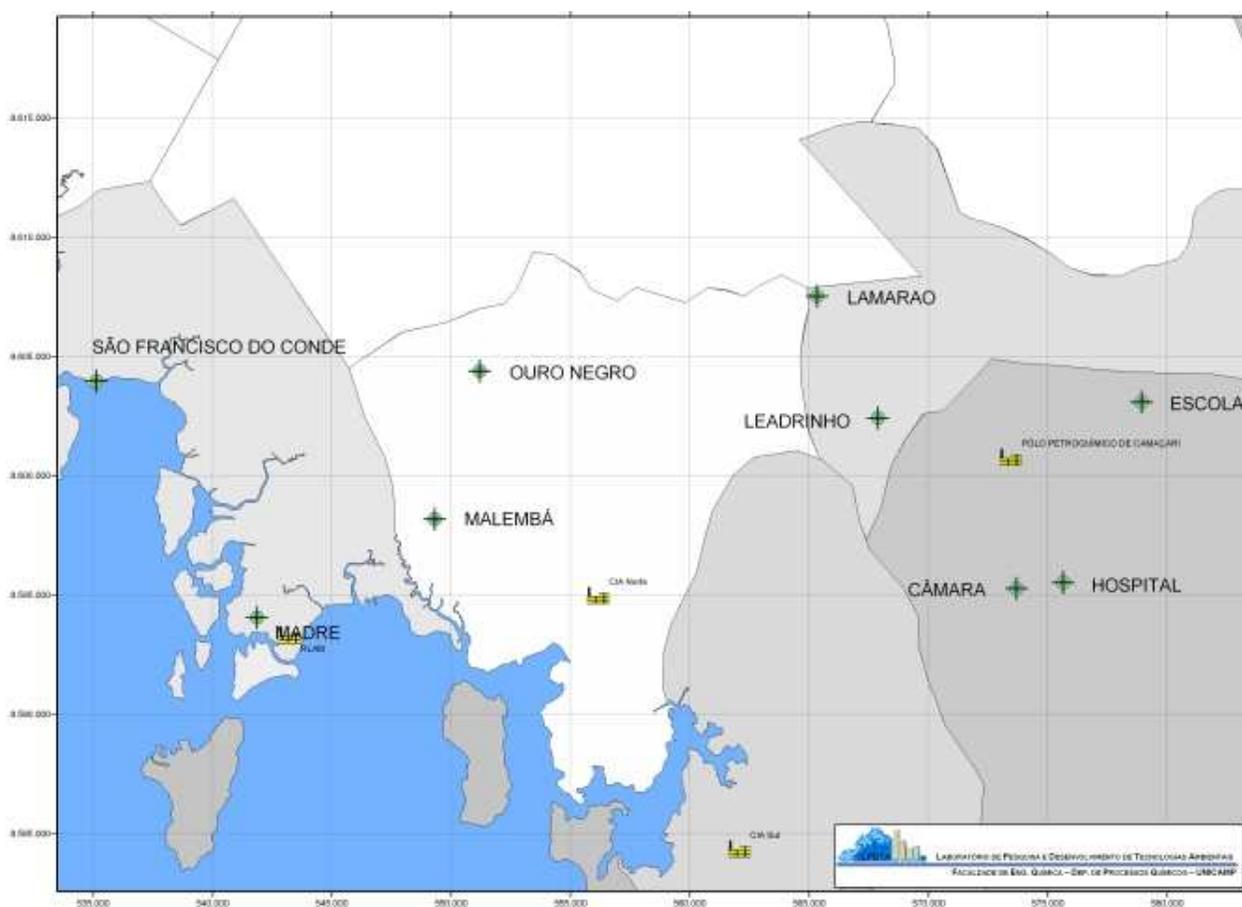


(b) CO

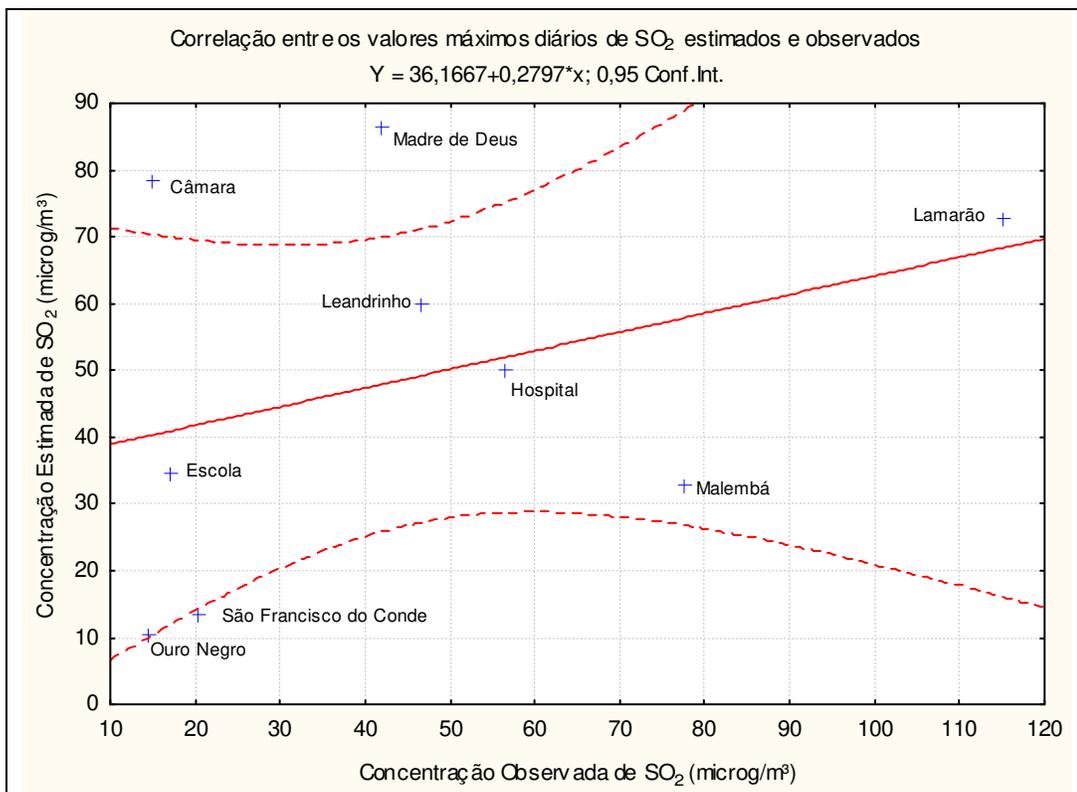
**Figura 30 - Correlação entre a concentração dos valores horários estimados e os observados na Estação Camaçari**

**Tabela 35 – Pontos para análise discreta do modelo de dispersão.**

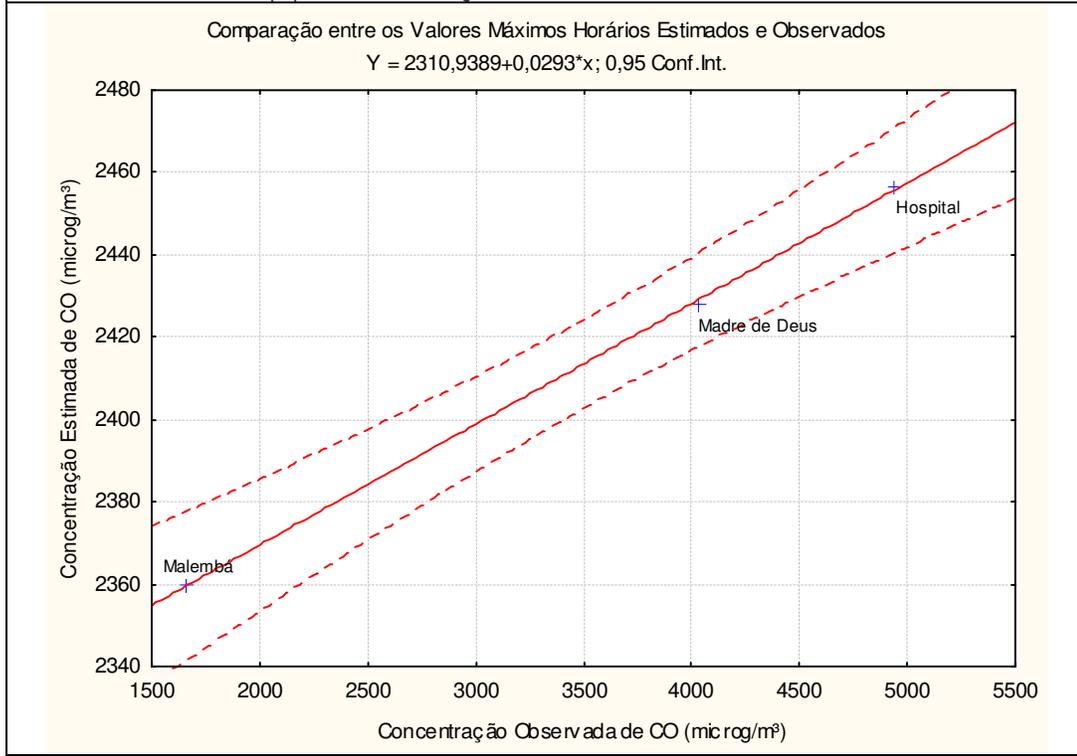
Nome da Estação	Máxima concentração 24h de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		Máxima concentração 1h de CO (µg/m <sup>3</sup> )	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado
Hospital		56	50	4.935
Câmara		15	78	
Lamarão		115	73	
Escola		17	35	
Malembá		78	33	1.660
Madre de Deus		42	86	4.030
São Francisco do Conde		20	13	
Ouro Negro		14	10	
Leandrino		47	60	



**Figura 31 – Localização dos pontos para análise discreta do modelo de dispersão.**



(a) Concentração máxima diária de SO<sub>2</sub>



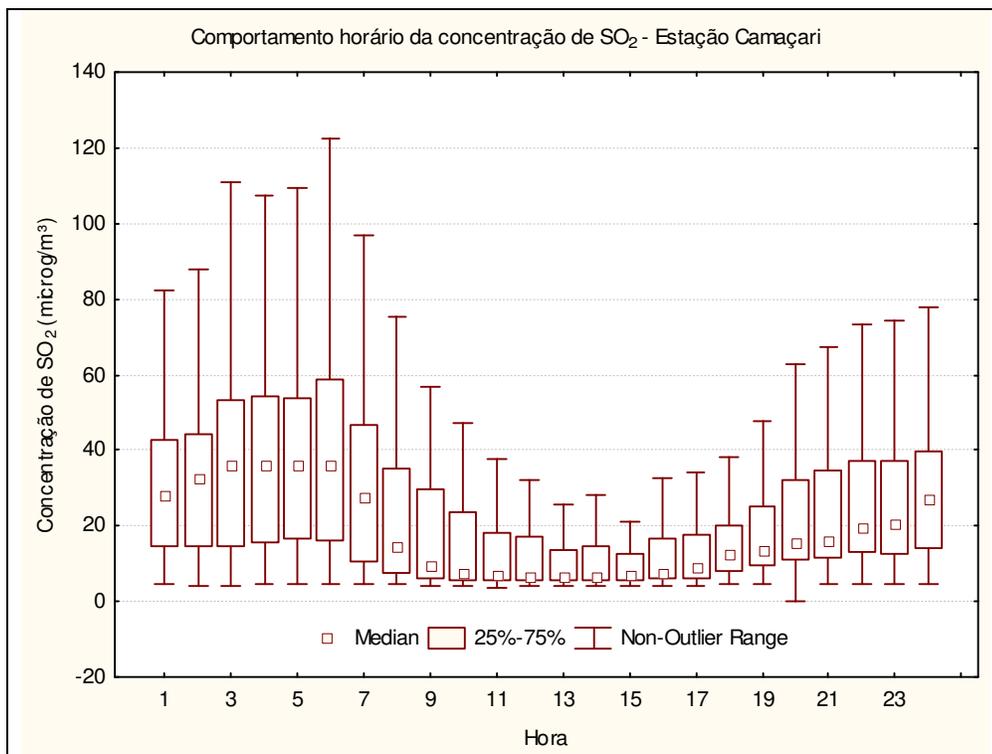
(b) Concentração máxima horária de CO

**Figura 32 - Correlação espacial entre as concentrações estimadas e as observadas.**

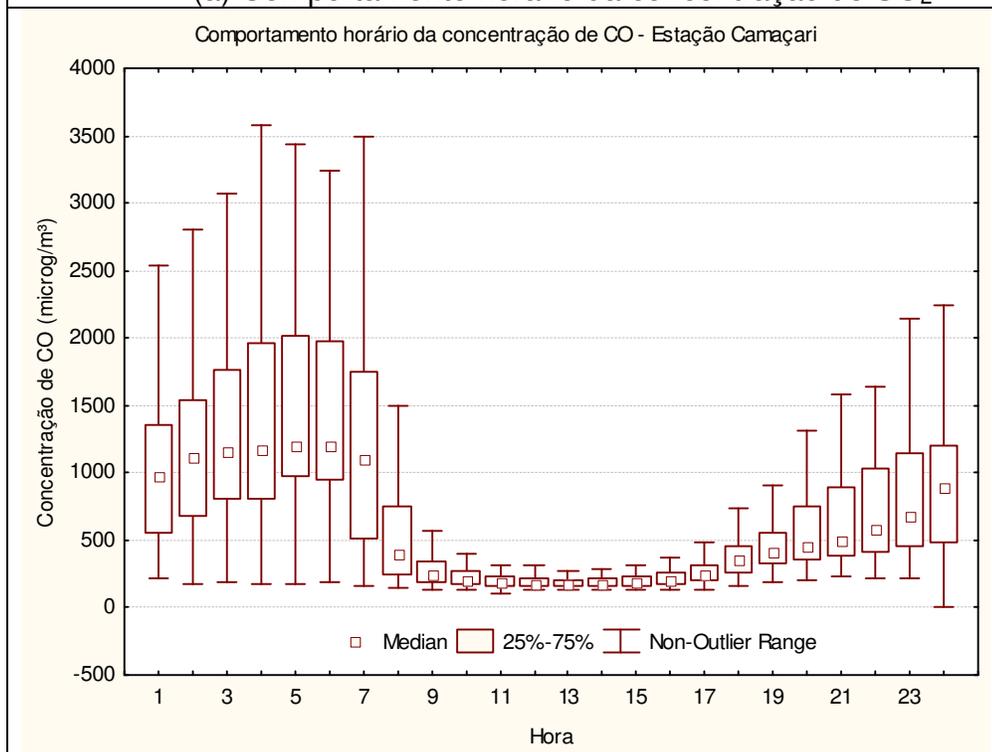
### 2.10.3.2. *Comportamento Mensal e Horário das concentrações de SO<sub>2</sub> e CO*

Analisando o comportamento horário e mensal das concentrações de SO<sub>2</sub> e CO para cada uma das 8760 horas do ano, os principais resultados encontrados foram:

- Para os pontos de interesse, o horário mais favorável de dispersão, ou seja, com as menores concentrações, durante o dia ocorre entre 09 – 16h, conforme ilustra a Figura 33(a) e Figura 33(b).
  
- A variação mensal das características físicas da atmosfera influenciou significativamente entre os poluentes de interesse não sendo possível estabelecer um perfil único para a RMS, como era de se esperar. Salienta-se que, para as cidades, que são influenciadas pelas emissões industriais, o mês de janeiro, ver Figura 34 (a), e, no outro caso, as cidades submetidas a emissões veiculares, o mês de maio foi um mês crítico para a dispersão da atmosfera, conforme mostra a Figura 34 (b).

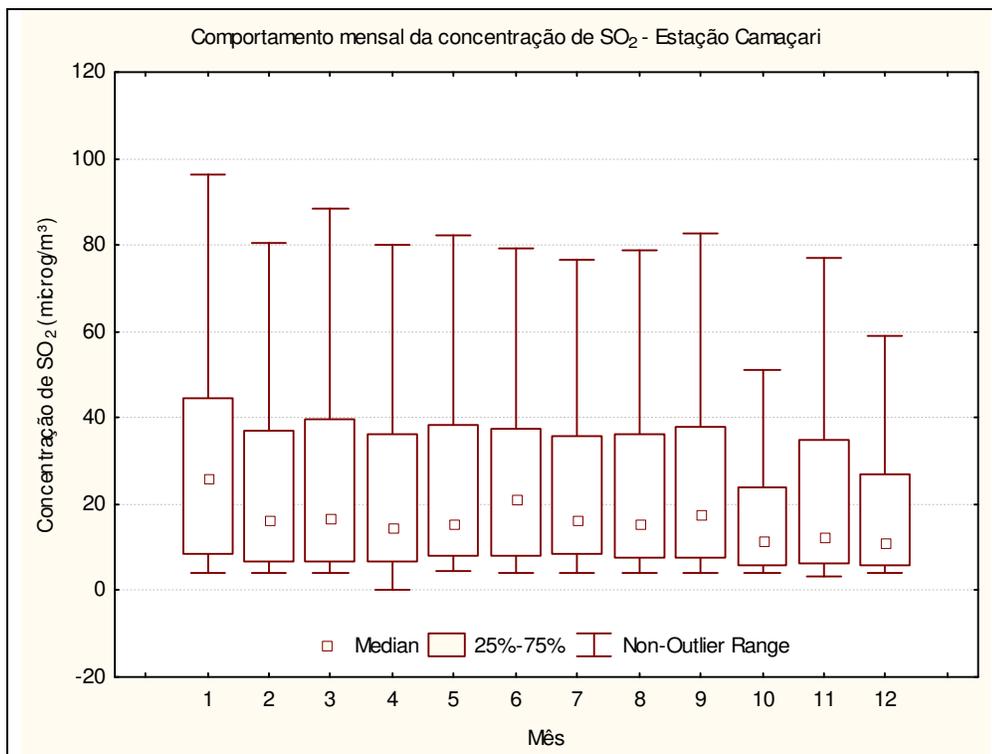


(a) Comportamento horário da concentração de SO<sub>2</sub>

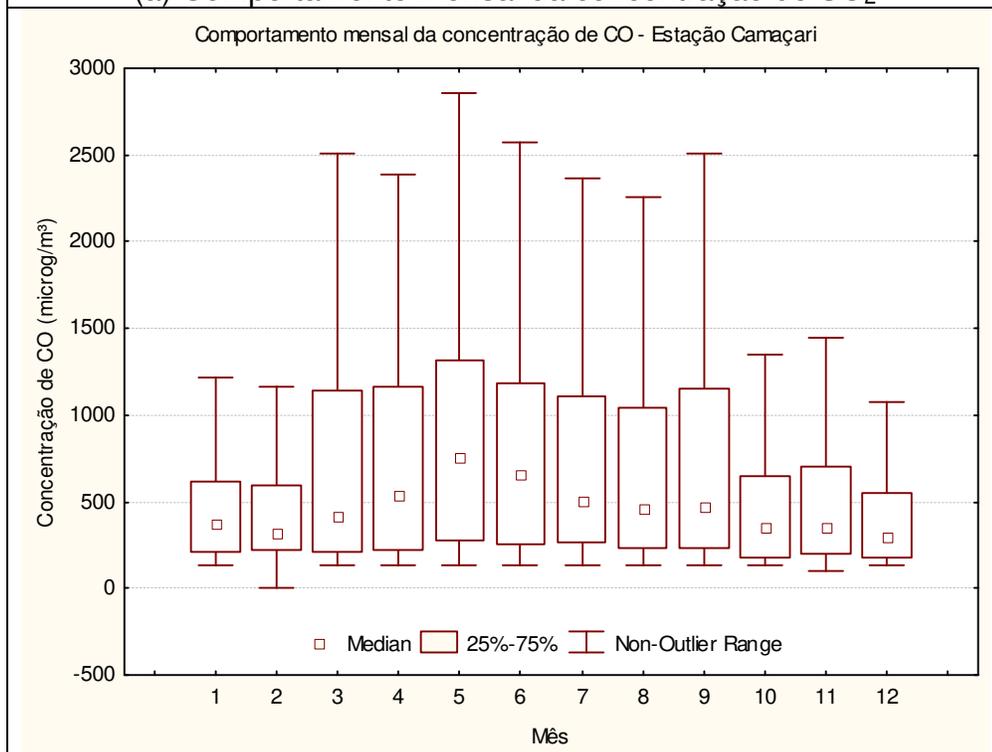


(b) Comportamento horário da concentração de CO

Figura 33 - Comportamento horário das concentrações estimadas de SO<sub>2</sub> e CO.



(a) Comportamento mensal da concentração de SO<sub>2</sub>



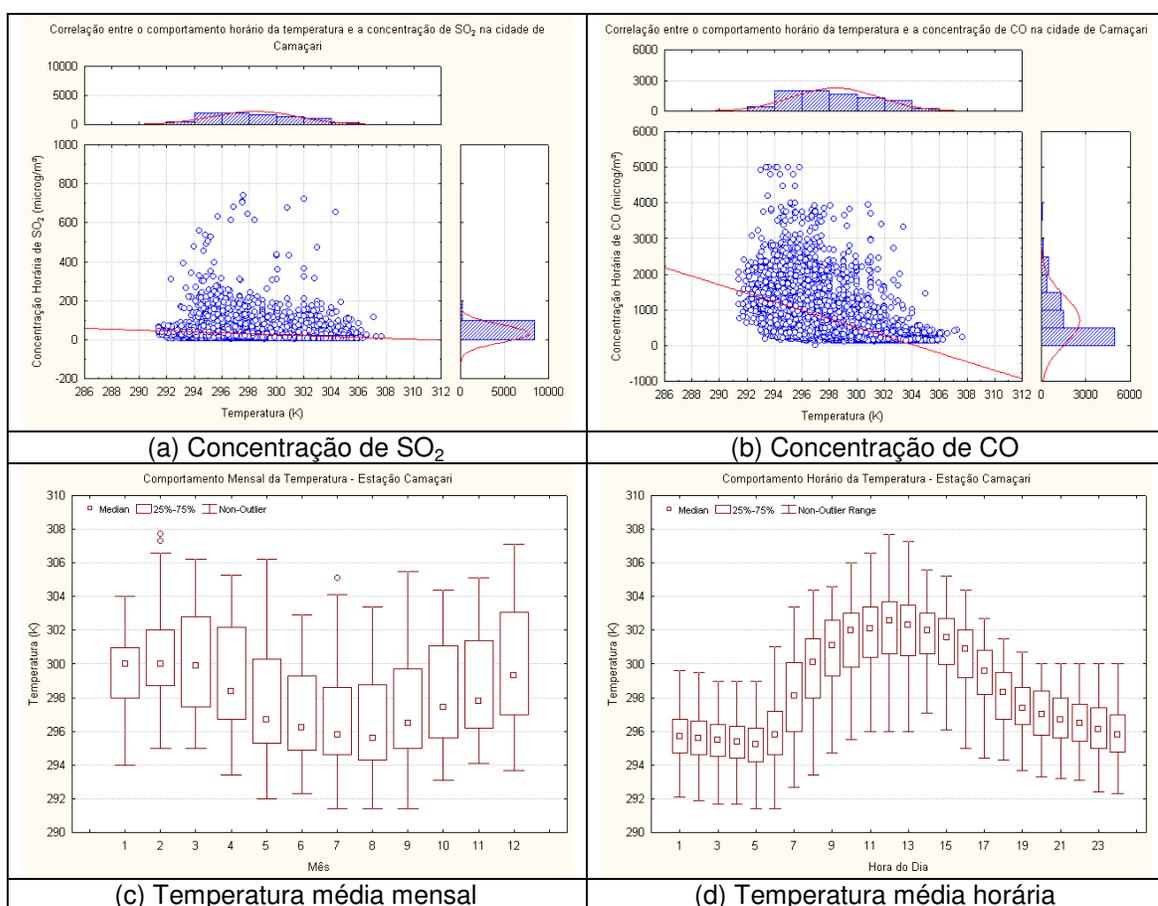
(b) Comportamento mensal da concentração de CO

Figura 34 - Comportamento mensal das concentrações de SO<sub>2</sub> e CO.

### 2.10.3.3. Correlação entre as concentrações simuladas e a meteorologia

A variação das características físicas da atmosfera influenciou significativamente entre os pontos de interesse não sendo possível estabelecer um perfil único para a RMS, como era de se esperar. As principais constatações são:

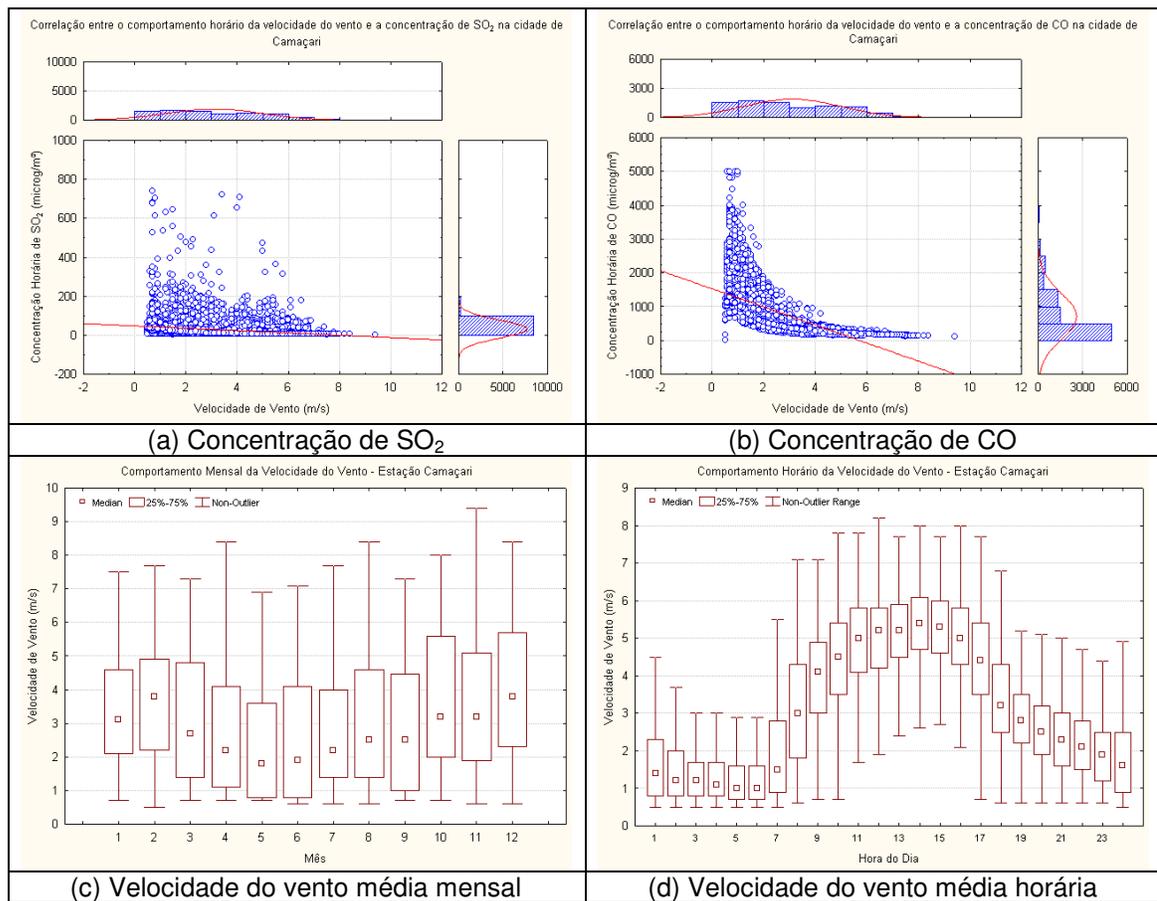
→ A elevação da temperatura influencia a diminuição da concentração dos poluentes tanto de  $\text{SO}_2$  como  $\text{CO}$ , conforme aumenta a temperatura, as concentrações tendem a diminuir. As Figura 35 (a) e (b) ilustram este comportamento, verifica-se que esta elevação ocorreu principalmente nos meses de março e dezembro, conforme Figura 35 (c) e no período das 9 às 15h conforme Figura 35 (d).



**Figura 35 – Correlação entre o comportamento da temperatura e a concentração de  $\text{SO}_2$  e  $\text{CO}$  em Camaçari.**

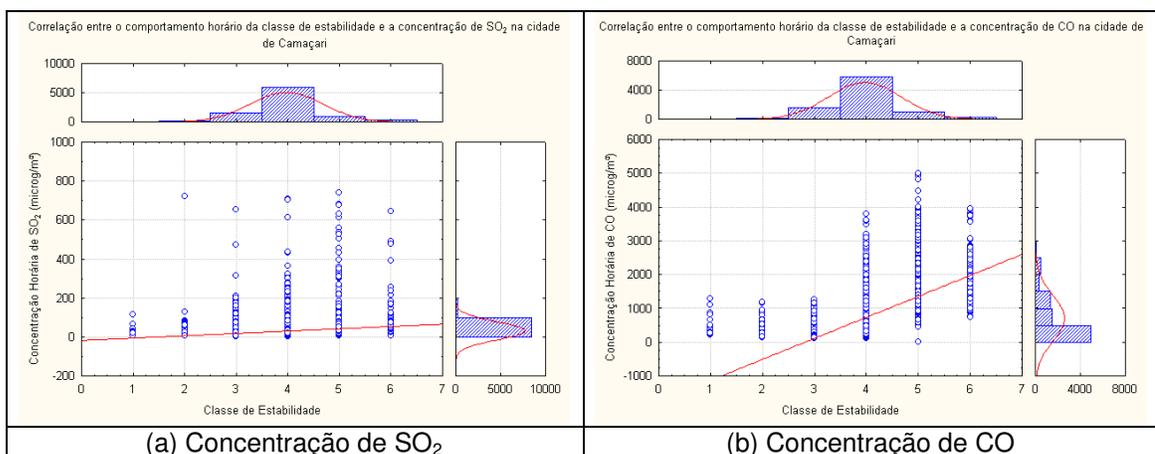
→ Quanto à velocidade do vento, sua elevação influencia na diminuição da concentração dos poluentes tanto de  $\text{SO}_2$  como  $\text{CO}$ , conforme aumenta a velocidade, as concentrações tendem diminuir. As Figura 36 (a) e (b) ilustram este comportamento, verifica-se que esta elevação ocorreu principalmente nos meses de

outubro a dezembro, e no período das 11 às 17h conforme Figura 36 (c) e (d) respectivamente.

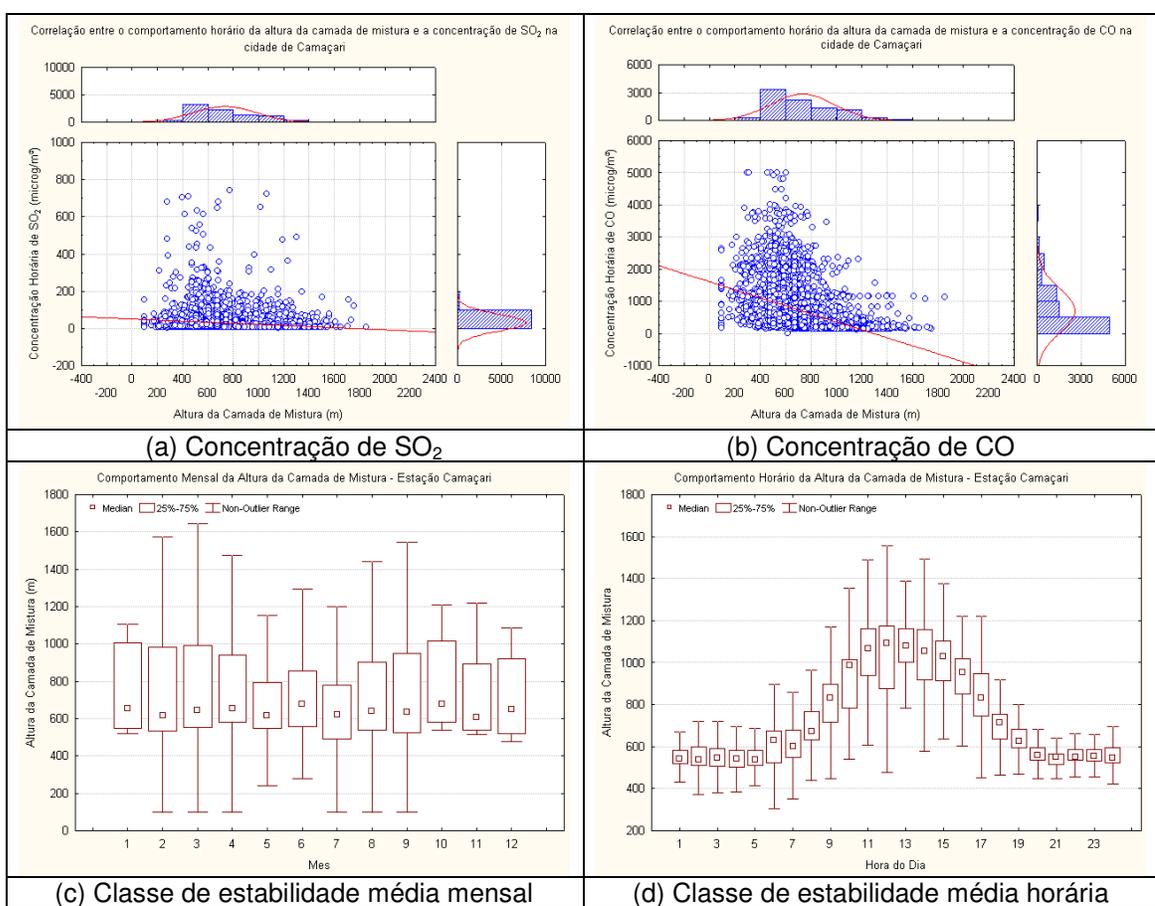


**Figura 36 – Correlação entre o comportamento da temperatura e a concentração de SO<sub>2</sub> e CO em Camaçari.**

- No que diz respeito à classe de estabilidade, sua diminuição favorece a dispersão dos poluentes tanto de SO<sub>2</sub> como CO reduzindo assim a concentração. As Figura 37 (a) e (b) ilustram este comportamento. Verifica-se que esta elevação ocorreu principalmente nos meses de maio e junho, Tabela 21 e no período das 11 às 13h conforme Tabela 22.
- A elevação da altura da camada de mistura influencia a diminuição da concentração dos poluentes tanto de SO<sub>2</sub> como CO. As Figura 38 (a) e (b) ilustram este comportamento. Verifica-se que esta elevação ocorreu principalmente nos meses de janeiro a março e setembro, conforme Figura 38 (c) e no período das 11 às 15h conforme Figura 38 (d).



**Figura 37 – Correlação entre o comportamento da classe de estabilidade e a concentração de SO<sub>2</sub> e CO em Camaçari.**



**Figura 38 – Correlação entre o comportamento da altura da camada de mistura e a concentração simulada de SO<sub>2</sub> e CO em Camaçari.**

Após então a obtenção de todos os resultados e concluídas as avaliações descritas anteriormente, é possível se estabelecer Índice de Necessidade de Monitoramento para a região em estudo. O seu detalhamento é realizado no próximo capítulo.

### 3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE NECESSIDADE DE MONITORAMENTO

#### 3.1. Introdução

Data do final da década de 80 o surgimento de propostas de construção de indicadores ambientais e de sustentabilidade. Tais propostas possuem em comum o objetivo de fornecer subsídios à formulação de políticas nacionais e acordos internacionais, bem como à tomada de decisão por atores públicos e privados. Também buscam descrever a interação entre a atividade antrópica e o meio ambiente e conferir ao conceito de sustentabilidade maior concretude e funcionalidade (BRAGA *et al*, 2002).

Ainda de acordo com BRAGA *et al* (2002), as tentativas de construção de indicadores ambientais e de sustentabilidade seguem três vertentes principais. A primeira delas, de vertente biocêntrica, consiste principalmente na busca por indicadores biológicos, físico-químicos ou energéticos de equilíbrio ecológico de ecossistemas. A segunda, de vertente econômica, consiste em avaliações monetárias do capital natural e do uso de recursos naturais. A terceira vertente busca construir índices síntese de sustentabilidade e qualidade ambiental que combinem aspectos do ecossistema natural a aspectos do sistema econômico e da qualidade de vida humana, sendo que em alguns casos, também são considerados aspectos dos sistemas político, cultural e institucional.

No caso do presente trabalho, buscou-se indicadores de sustentabilidade urbana. A conceituação de sustentabilidade urbana aqui adotada combina a definição adotada pelo URBAN WORLD FORUM (2002) com a terceira das matrizes discursivas de sustentabilidade urbana identificadas por ACSERALD (1999). Uma cidade é considerada sustentável na medida em que é capaz de evitar a degradação e manter a saúde de seu sistema ambiental, reduzir a desigualdade social, prover seus habitantes de um ambiente construído saudável, bem como construir pactos políticos e ações de cidadania que o permitam enfrentar desafios presentes e futuros.

A carência de informações sistemáticas, tanto em relação à qualidade de vida quanto em relação ao meio ambiente, é problema recorrente para aqueles que trabalham com indicadores ambientais. A construção dos índices envolve ainda a complicação adicional de tornar comparáveis dados de diferentes fontes, produzidos a partir de escalas distintas, com cobertura e distribuição espacial e temporal diversas. Daí a necessidade de se buscar formas alternativas e aproximadas para imputar dados faltantes e construir concentradores de comunicação adequados e representativas de informações inexistentes.

Desta forma, o Índice poderá ser utilizado não apenas para a avaliação comparativa da qualidade de vida e do ambiente na região estudada, como também para auxiliar no processo de planejamento das cidades e micro-regiões em relação à integração entre meio ambiente e crescimento/desenvolvimento econômico.

Segundo BRAGA *et al* (2002), a concepção metodológica do Índice de Sustentabilidade Urbana é composto por quatro índices temáticos:

- O Índice de Qualidade do Sistema Ambiental, um indicador de estado, mede a saúde do sistema ambiental local, através da qualidade da água e da biota presente nos sedimentos do rio. Nesse contexto, o rio é visto como “testemunho-síntese” da qualidade do sistema ambiental como um todo, uma vez que registra as alterações e agressões ambientais ocorridas em sua bacia de drenagem.
- O Índice de Qualidade de Vida, um indicador de estado, mede aspectos relacionados à qualidade da vida humana e do ambiente construído para o momento atual.
- O Índice de Redução da Pressão Antrópica, um indicador de pressão, mede o estresse exercido pela intervenção antrópica – urbanização e principais atividades econômicas – sobre o sistema ambiental local, com especial atenção para seu potencial poluidor, ritmo de crescimento e concentração espacial. Mensura tanto o estresse interno à cidade quanto o estresse causado por ela ao entorno.
- Por fim, o Índice de Capacidade Político-Institucional, um indicador de resposta, mede a capacidade dos sistemas político, institucional, social e cultural locais de

superar as principais barreiras e oferecer respostas aos desafios presentes e futuros de sustentabilidade.

Os indicadores e variáveis foram selecionados a partir de revisão bibliográfica e das matrizes do projeto Biodiversidade, População e Economia (PAULA, 1997), tendo como balizador à concepção de sustentabilidade local adotada na pesquisa. Os critérios considerados na escolha foram:

- Relevância, capacidade da variável em traduzir o fenômeno.
- Aderência local, capacidade da variável (indicador) em captar fenômeno produzido ou passível de transformação no plano local
- Disponibilidade, cobertura e atualidade dos dados.
- Capacidade da variável em permitir comparações temporais.

### **3.2. Indicadores Epidemiológicos em Saúde Ambiental**

De acordo com a Organização Panamericana de Saúde (OPAS), indicador ambiental pode ser entendido como uma expressão da relação entre a saúde e o ambiente e pode ser definido como “um valor agregado a partir de dados e estatísticas, transformado em informação para uso direto dos gestores e deste modo contribuindo para aprimorar o gerenciamento e a implementação de políticas” (CORVALÁN *et al*, 1996, e MACIEL *et al*, 1999)

Os indicadores são úteis para a vigilância ambiental em saúde, e sua escolha contribui para uma ação eficaz no controle dos poluentes, orienta a prática e fornece elementos para a tomada de decisões. (CASTRO *et al*, 2003).

De um modo geral, os indicadores utilizados para a decisão no controle da qualidade do ar devem apresentar algumas características que facilitem seu uso e interpretação:

- Primeiro, devem corresponder à realidade local e ou regional, como por exemplo, medir poluentes que façam parte da matriz dos poluentes locais. Esta informação pode ser conseguida a partir do conhecimento do modelo socioeconômico local e/ou regional;
- Segundo, os indicadores devem ter sustentabilidade científica, ou seja, a informação e a interpretação do indicador devem ter comprovada validade científica;
- Terceiro, o indicador deve ser de fácil manuseio pelo usuário local e mostrar uma fácil compreensão do seu papel na relação entre saúde e ambiente;
- Quarto, o indicador deve, sempre que possível, compor uma matriz global no sistema de informação, em todos os seus níveis.

O indicador de saúde ambiental corresponde à intersecção entre a relação de danos na saúde e o ambiente.

De acordo com a OMS, a proposta da construção dos indicadores ambientais em saúde é uma adaptação da estrutura de Pressão-Situação-Resposta do modelo desenvolvido pela Organização para a Cooperação Econômica e o Desenvolvimento (OECD), tendo por base o modelo encomendado pelo Governo Canadense (CASTRO *et al*, 2003).

Segundo a OMS, “este é o modelo através do qual as forças motrizes geram pressões que modificam a situação do ambiente e, em última análise, a saúde humana, por meio das diversas formas de exposição, onde as pessoas entram em contato com o meio ambiente, causando os efeitos na saúde. Várias ações podem ser desenvolvidas em diferentes pontos da cadeia” (MACIEL *et al*, 1999). A Tabela 36 apresenta uma proposta de lista mínima de indicadores para o monitoramento da qualidade do ar na Bacia do Alto Rio Tietê – SP (CASTRO *et al*, 2003).

O modelo precisa ser compreendido como uma possibilidade para o seu uso na gestão de riscos e agravos. Não se limita apenas à causa direta e aos efeitos na saúde, mas proporciona uma visão macro, possibilitando ações de vigilância exequíveis em saúde ambiental. Neste sentido, as ações no âmbito da força motriz são mais eficazes do que as ações sobre os efeitos gerados pelos poluentes.

**Tabela 36 - Lista mínima de indicadores para o monitoramento da qualidade do ar na Bacia do Alto Rio Tietê – SP, (CASTRO, 2003)**

	Indicadores	Ações
Força motriz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Política de incentivo à construção de veículos automotores</li> <li>- Política de transporte à base de combustível derivado de petróleo</li> <li>- Ausência de planejamento viário urbano</li> <li>- Densidade populacional /ano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervenção nas políticas públicas</li> <li>- Planejamento e controle da distribuição espacial da população</li> </ul>
Pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantidade de veículos/tipo de combustível usado</li> <li>- Tecnologia do veículo/tamanho da frota</li> <li>- Qualidade da rede viária</li> <li>- Quantidade de veículos/dia</li> <li>- Volume (t) das substâncias lançadas por plantas industriais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução dos valores de emissão</li> <li>- Determinação de medidas de redução do nº de veículos nas áreas mais poluídas</li> <li>- Redução de nº de veículos circulantes</li> </ul>
Situação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentração de gases por tipo em 24 horas/bairro</li> <li>- Ritmo das temperaturas em 24 horas</li> <li>- Direção dos ventos/mês</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação e controle dos níveis de poluição/qualidade do ar</li> <li>- Acompanhamento das medidas para a redução da poluição</li> </ul>
Exposição	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas de monitoramento ambiental para níveis de exposição individual</li> <li>- Medidas de monitoramento biológico para indivíduos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoramento do risco</li> <li>- Uso de Equipamento de Proteção Individual</li> <li>- Programas de orientação</li> </ul>
Efeito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incidência de internação hospitalar por tipo de evento e ano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamento de doenças</li> </ul>

Existem dois principais tipos de estudos que estão avaliados a seguir:

→ Estudos epidemiológicos com distintas abordagens têm sido utilizados com o objetivo de se examinar a associação entre a exposição à poluição do ar e seus efeitos na saúde da população. Assim como em outras áreas da investigação epidemiológica, as estratégias básicas empregadas nestes estudos podem ser divididas entre as observacionais e as experimentais ou de intervenção. Uma das grandes vantagens dos estudos epidemiológicos para avaliação dos efeitos da poluição na saúde é que eles medem a exposição ambiental à qual, de fato, estamos expostos, além de examinar os efeitos dessa exposição em populações representativas. Conseqüentemente, os resultados podem ser generalizados para a população como um todo. Por outro lado, têm a desvantagem de possibilitar erros de mensuração, principalmente em relação à exposição. Isto porque o caráter ubíquo dessa exposição, que está além do controle individual e tipicamente afeta muitos indivíduos ao mesmo tempo, dificulta muito a obtenção de medidas de exposição individual. A exposição via de regra é medida indiretamente e de maneira agregada, através de uma abordagem ecológica, ou seja, pelos níveis de poluição da área de residência dos indivíduos objetos do

estudo. Medidas de exposição individual à poluição do ar são possíveis, mas o custo dos monitores pessoais e as dificuldades logísticas de tal empreendimento as tornam restritas a estudos com pequeno número de participantes e por períodos de tempo muito restrito (AVOL *et al*, 1998 e BRAUER *et al*, 2001).

→ Estudos ecológicos são aqueles em que a unidade de análise não é o indivíduo, mas sim um grupo de indivíduos, ou seja, as informações, tanto sobre a exposição à poluição do ar quanto sobre os indicadores de doença ou evento de interesse, não estão disponíveis individualmente para cada participante do estudo, mas, ao contrário, para um agregado de indivíduos. Os grupos podem ser definidos através de unidades geográficas/espaciais (bairros, cidades, regiões ou países) e a análise baseia-se na comparação dos indicadores de exposição e doença entre as diversas unidades. A evidência de associação é obtida a partir da concordância entre essas variáveis: por exemplo, maiores coeficientes de mortalidade em localidades que apresentam maiores níveis de poluição. Na sua grande maioria, esses estudos baseiam-se em informações coletadas rotineiramente e, portanto, podem ser realizados de forma muito rápida e a baixo custo. Por conseguinte, esta abordagem tem sido utilizada em diversos estudos, inclusive em nosso meio. Todavia, a possibilidade de erros ou vieses é muito grande devido à dificuldade de se controlar adequadamente para possíveis variáveis de confusão. Além disso, comparações geográficas implicam na utilização de períodos de tempo de maior duração, sendo avaliados principalmente os efeitos crônicos da poluição na saúde. (CASTRO *et al*, 2003).

Os estudos epidemiológicos são úteis para caracterizar a qualidade do ar e os efeitos na saúde (CASTRO *et al*, 2003). O Brasil precisa acompanhar a tendência mundial no controle dos poluentes do ar e estímulo à identificação dos agravos dela decorrentes. Torna-se premente o desenvolvimento de uma estratégia para reduzir o crescimento das emissões de poluentes, como, por exemplo, desestimulando o uso de automóveis nas metrópoles, investindo em transporte público de qualidade, não-polvente, e encorajando alternativas como o ciclismo. No setor industrial é necessária uma política de controle e eliminação de resíduos no ar, atuando no sentido do princípio da precaução e reduzindo os efeitos na saúde. No campo, devem ser implementadas a

redução de queimadas e uma proposta de agricultura saudável. É necessária ainda uma atuação conjunta dos três poderes e de todas as esferas do poder público Federal, Estadual e Municipal para garantir a execução de propostas e projetos que reduzam a poluição, possibilitando uma vida mais saudável para a população.

### **3.3. Índice de Necessidade de Monitoramento**

#### **3.3.1. Introdução**

Avaliando os resultados levantados como dados meteorológicos, topografia da região em estudo, inventário das emissões veiculares e industriais e ainda, analisando os resultados de concentração obtidos na simulação detalhada na seção anterior, surge um questionamento natural: onde se deve monitorar?

A RMS possui uma grande área que tem um adensamento populacional heterogêneo e com características de uso do solo diferenciadas, onde se tem pequenas plantações, indústrias, áreas residenciais, parques ecológicos, espaços de exploração turística, dentre outros.

Tem-se então o desafio de estabelecer as condições técnicas justificáveis para a definição do número de pontos de monitoramento e parâmetros para serem monitorados, isto porque, o investimento necessário para fazê-lo é alto, conforme detalhamento da seção 4.11.

Como o Brasil possui regiões extremamente pobres, com um pequeno índice de desenvolvimento humano, e social, desta forma é fundamental, que se encontre uma forma de investir na área ambiental sem comprometer o desenvolvimento dos Estados e Municípios nas demais áreas que são tão necessárias quanto, visto que investimentos em controle ambiental, refletem em melhoria da qualidade de vida da população.

Situa-se, portanto, no centro do desafio de um desenvolvimento econômico ambientalmente sustentado e socialmente justo, de sorte a garantir a preservação e o uso racional dos recursos naturais para as presentes e futuras gerações, (SANTILLI 2002).

A partir da década de 50, o crescimento da economia brasileira começou a mudar do eixo eminentemente agrícola-ruralista para um perfil industrial-urbanista. Esse movimento foi determinante para que outro idêntico se verificasse na população: antes caracterizada por considerável índice populacional no ambiente rural, é obrigada a realizar êxodo crescente para as cidades, o que finda determinando a imensa concentração de pessoas no ambiente urbano, bem como o crescimento descontrolado e desordenado das cidades e o surgimentos de outras tantas com o mesmo perfil<sup>7</sup>.

Esse modelo de desenvolvimento se manteve e se agravou historicamente, apresentando-se entre os fatores mais significativos para duas conseqüências básicas, aqui destacadas em razão dos objetivos deste trabalho:

- O crescimento econômico centrado na industrialização e na exploração agrícola de grande monta (agronegócios), muito contribui para a não preservação dos recursos naturais e não tem sido eficiente na redução dos níveis de exclusão social;
- A “urbanização” sem planejamento estrutural, inclusive marcada por bolsões de pobreza e miséria, torna-se causa importante de destruição de recursos da natureza e compromete, a cada dia, o padrão de qualidade do convívio urbano.

Entretanto, ainda é surpreendente constatar que, apesar de toda a evolução registrada no tratamento das questões ambientais no Brasil – desde os primeiros escritos, da época colonial, até o apogeu atingido com a dimensão política, econômica e jurídica posta na Constituição de 1988 (SANTILLI, 2005). – o enfoque ainda persiste muito mais centrado no denominado “ambiente natural” do que nos ambientes urbanos.

A maioria dos estudos e das medidas de proteção têm se concentrado nos ecossistemas mais complexos e globalmente mais importantes como a Floresta Amazônica, o Pantanal, a Mata Atlântica, a Zona Costeira, não sem motivo, claro. Nessas regiões os recursos ambientais foram e continuam sendo perigosamente

---

<sup>7</sup> Em 2000, mais de 80% da população brasileira já vivia nas cidades e essa tendência é crescente: IBGE, Censo Demográfico de 2000 – [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

destruídos pelos antigos e novos modos de produção, novas tecnologias produtivas, novos padrões de consumo, novos conflitos sociais, (FERNANDES, 2002).

Enquanto isso, ainda é sobremodo negligenciada a discussão acerca do meio ambiente urbano brasileiro, onde os componentes, ocupação desordenada, exclusão social e industrialização não sustentada comprometem a qualidade do convívio sócio-ambiental sustentado. Não é o caso, contudo, de perder de vista que os problemas ambientais brasileiros são decorrentes de causas múltiplas e inter-relacionadas.

### 3.3.2. Metodologia de Cálculo do INM

Então, após muitas reflexões, verificou-se que não existe uma forma única ou arbitrária para determinação da necessidade de monitoramento da qualidade do ar, que possa ser aplicada em qualquer região do país. O que na verdade se precisa é de um método flexível, subjetivo, e que considere as particularidades físicas, sociais, políticas e econômicas. Claro que com uma dimensão técnico/científica justificável e bem fundamentada. Desta forma, propõe-se que se estabeleça um Índice de Necessidade de Monitoramento (INM) que é um método que busca analisar espacialmente a contribuição das emissões atmosféricas, a densidade demográfica, o tipo de exposição da comunidade e que impacto à saúde pública a poluição atmosférica esta causando.

A inter-relação destas quatro dimensões fornece um número (INM) que dirá onde deverão ser monitorado diretamente, adequando assim os investimentos necessários. O modelo sugerido neste trabalho, foi adaptado dos modelos de MELLO, (2003) apresentados e JUNIOR, (1998).

Foram estabelecidas quatro dimensões de necessidade de monitoramento e suas respectivas faixas de valoração, ver Figura 39, aplicada a cada um dos 6.700 pontos do estudo de dispersão para cada um dos receptores da região (Grid de 1 x 1 km). Cada critério recebeu um peso de acordo com sua importância e então foi feita a valoração abaixo.

A determinação do INM foi determinada a partir do somatório dos pesos das quatro dimensões multiplicados pelos seus respectivos pesos da criticidade, conforme Eq 08.

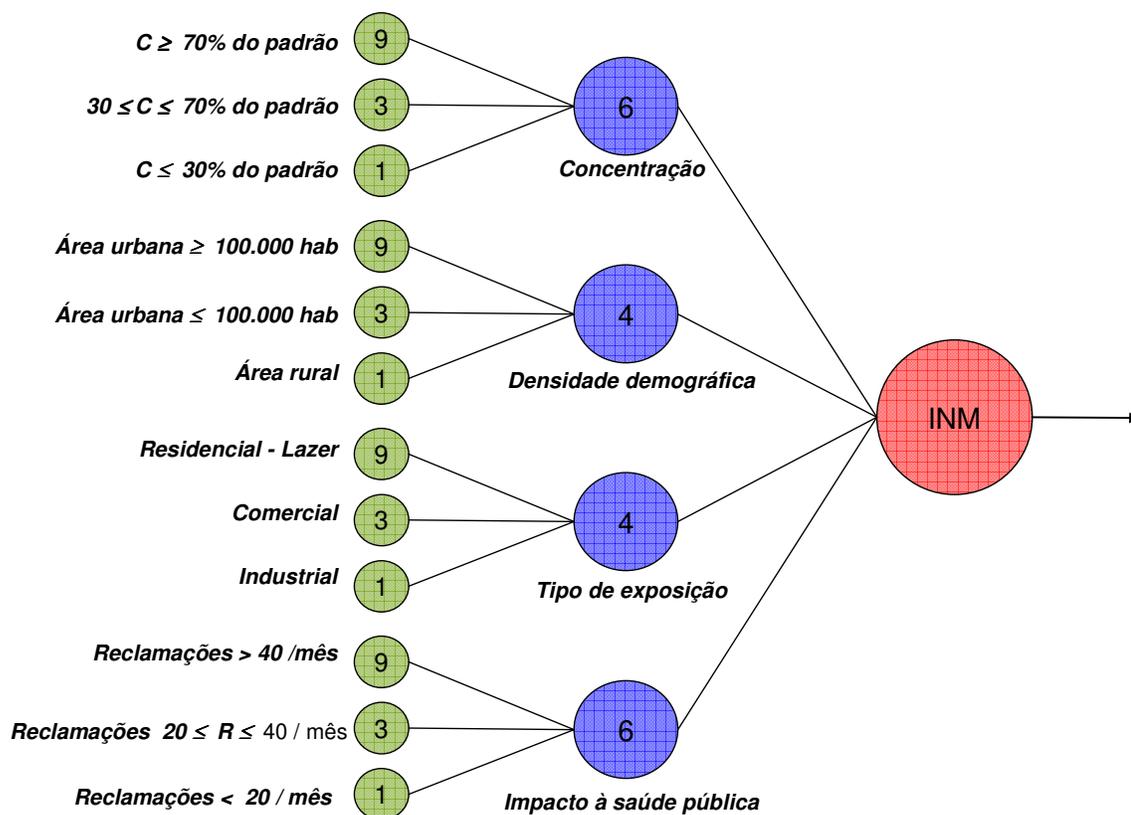
$$INM = \sum P_D * P_C \quad \text{Eq 9}$$

Onde:

- INM: Índice de Necessidade de Monitoramento
- $P_D$ : Pesos atribuídos a cada dimensão.
- $P_C$ : Pesos atribuídos a criticidade.
- Se:  $INM \geq 90$  – monitorar ou  $INM < 90$  acompanhar indiretamente.

Salienta-se que os pesos e as faixas de valoração foram estabelecidos de forma subjetiva podendo ser adaptado às particularidades de qualquer outra região em estudo. Resumindo o que foi descrito acima, elaborou-se o diagrama mostrado na Figura 39.

É fundamental ter um conhecimento prévio da área para que seja possível obter as informações relacionadas acima. Na Região Metropolitana de Salvador ainda existe a disponibilização das informações necessárias para estabelecer o INM. A disponibilização destes dados On-Line, é extremamente útil para que estudos interdisciplinares possam ser realizados, como por exemplo, a localização dos postos de saúde ou número de reclamações.



OBS - 1 – Criticidade baixa ou inexistente; 3 – Criticidade mediana e 9 – Alta Criticidade.

**Figura 39 – Diagrama para o cálculo do INM.**

### 3.3.3. Impacto a Saúde Humana

Destaca-se que a variável, Impacto a Saúde Humana é mensurada através das reclamações que podem ser tanto da comunidade como das instituições públicas responsáveis pelo acompanhamento e consolidação de informações da área, como por exemplo Secretarias Municipais de Saúde, Postos de Atendimento Emergencial, etc. Salienta-se que durante a elaboração deste trabalho, não foi possível obter dados destas reclamações para a região em estudo. Defende-se a existência dos mesmos, mas, como foi um dos objetivos deste trabalho utilizar a maior quantidade de dados indiretos possível, de forma a reduzir o tempo de elaboração do projeto de gestão da qualidade do ar, seria necessário o levantamento destas informações nos vários postos de saúde espalhados pela região metropolitana, pois estes não estão disponíveis abertamente a comunidade. Sendo assim, para aplicar o modelo sugerido, usou-se a menor criticidade a esta variável.

#### 3.3.4. Tipo de Exposição

Como se trata de uma grande área em estudo e com uma característica de ocupação do solo como de produção rural e ainda muito próximo ao litoral, buscou-se refinar o estudo em função deste conhecimento prévio, restringido o universo de avaliação. Para tanto, as seguintes premissas foram estabelecidas:

- Áreas urbanas na área de influência das fontes de emissão ;
- Parques
- Pontos já monitorados

Assim, consolidou-se 33 pontos diferentes espalhados na RMS, incluindo pontos onde já existe monitoramento (14) e novos (19). Para a escolha dos pontos priorizaram-se os bairros com alta densidade demográfica, parques e praças.

#### 3.3.5. Concentração de Poluentes

No que tange o estabelecimento da criticidade da dimensão de 1.1.1. Concentração de Poluentes, usou-se o seguinte método, depois de localizado espacialmente cada um dos 33 pontos de interesse, usando o software Arcgis da ESRI, buscou-se os que estavam localizados na região (raio de 1km) de concentração maior ou igual a 70% do padrão CONAMA, recebendo desta forma o peso 9, caso estiver entre 70 e 30% do padrão recebe o peso 3 e caso seja inferior a 30% peso 1. Este procedimento foi repetido para cada um dos poluentes simulados e concentração legislada.

#### 3.3.6. Densidade Demográfica

Após a o primeiro refinamento dos pontos em função dos critérios da seção 3.3.4, avaliou-se, como é o adensamento populacional entre os pontos escolhidos, alguns dados estão ilustrados na Figura 40 e aplicou-se a criticidade proposta na Figura 39.

### 3.3.7. Resultados

Após o estabelecimento de cada um dos pesos de criticidade, calculou-se o INM para cada um dos poluentes e após, calculou-se os valores médios entre os índices de cada um dos poluentes e selecionaram-se os pontos que apresentaram um INM médio maior igual a 90, conforme Tabela 37. Desta forma, de acordo com os resultados e compilados para que se tenha uma boa representatividade da qualidade do ar em toda a região Metropolitana de Salvador, será necessário instalar mais 9 estações de monitoramento da qualidade do ar.

Além destes acima foi necessário incluir duas estações de controle: Pirajá e Paralela. Os pontos destacados pela metodologia são:

- Cabula
- Calçada
- Campo Grande
- Dique do Tororó
- Iguatemi
- Parque da cidade
- Rio Vermelho
- Pirajá
- Paralela
- Lauro de Freitas
- Simões Filho

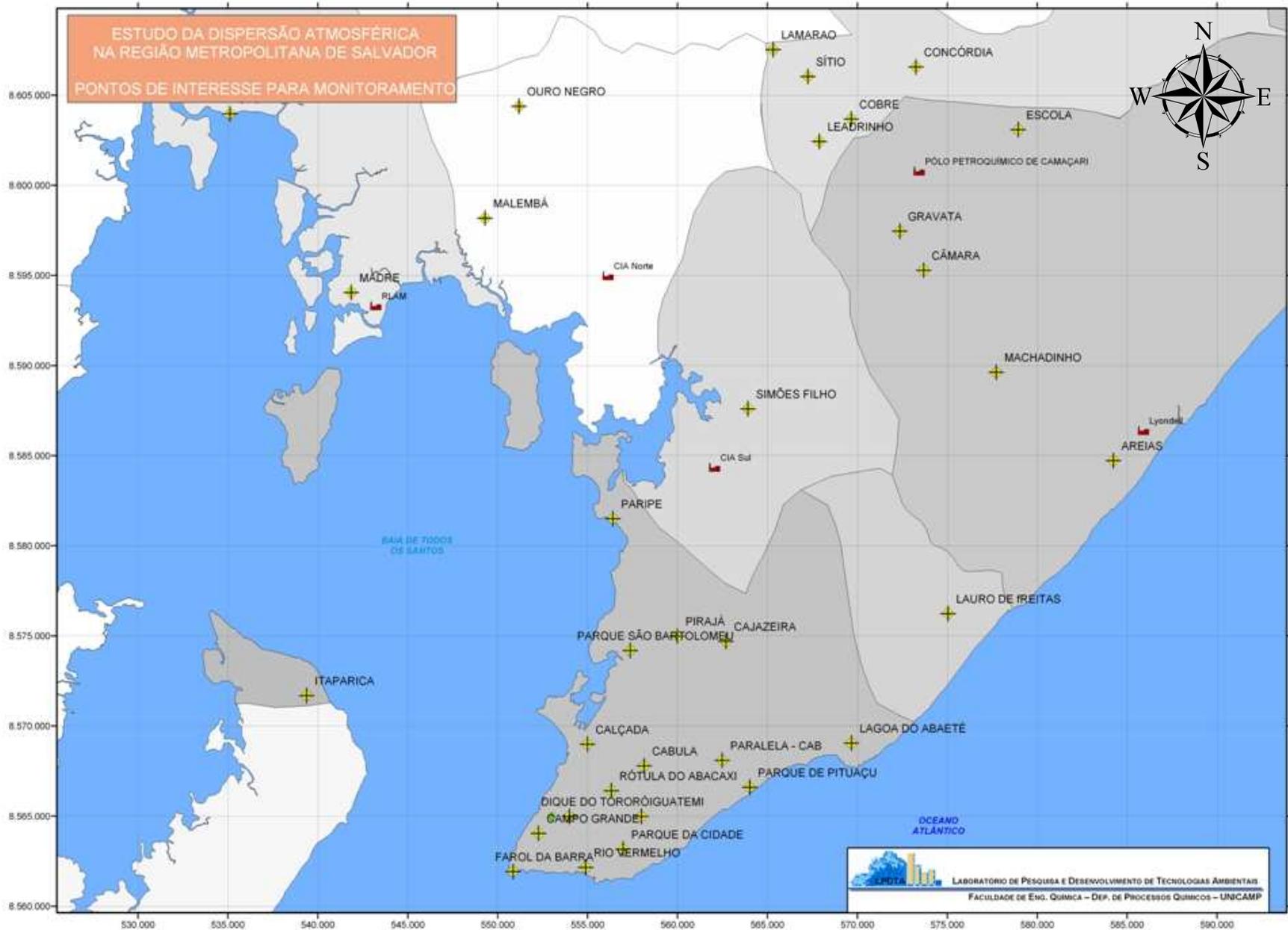


Figura 40 – Localização espacial dos pontos de interesse.

**Tabela 37 – Cálculo do Índice de Necessidade Monitoramento**

Nº	PONTO DE INTERESSE	Tipo	Legislação SO <sub>2</sub>	Legislação CO	Legislação PTS	Legislação NOX	Densidade Demográfica	Tipo de Exposição	Impacto à Saúde Humana	INM SO <sub>2</sub>	INM CO	INM PTS	INM NOX	INM MÉDIO
1	AREIAS	Monitorado	1	1	1	3	1	3	1	28	28	28	40	31
2	CABULA	Novo	1	9	3	9	9	9	1	84	132	96	132	111
3	CAJAZEIRA	Novo	1	1	1	3	9	9	1	84	84	84	96	87
4	CALÇADA	Novo	3	9	9	9	9	9	1	96	132	132	132	123
5	CÂMARA	Monitorado	3	1	9	9	9	9	1	96	84	132	132	111
6	CAMPO GRANDE	Novo	9	9	9	9	3	9	1	108	108	108	108	108
7	COBRE	Monitorado	9	1	9	3	1	1	1	68	20	68	32	47
8	CONCÓRDIA	Monitorado	1	1	9	9	1	9	1	52	52	100	100	76
9	DIQUE DO TORORÓ	Novo	9	9	9	9	3	9	1	108	108	108	108	96
10	ESCOLA	Monitorado	1	1	3	3	3	9	1	60	60	72	72	66
11	FAROL DA BARRA	Novo	1	1	3	9	3	3	1	36	36	48	84	51
12	GRAVATA	Monitorado	9	1	9	3	9	9	1	132	84	132	96	111
13	IGUATEMI	Novo	1	9	9	9	9	3	1	60	108	108	108	96
14	ITAPARICA	Novo	1	1	1	3	3	9	1	60	60	60	72	63
15	LAGOA DO ABAETÉ	Novo	1	1	1	9	1	9	1	52	52	52	100	64
16	LAMARAO	Monitorado	1	1	3	3	3	9	1	60	60	72	72	66
17	LAURO DE FREITAS	Novo	1	1	3	3	9	9	1	84	84	96	96	90
18	LEADRINHO	Monitorado	1	1	3	3	3	9	1	60	60	72	72	66
19	MACHADINHO	Monitorado	1	1	1	3	1	9	1	52	52	52	64	55
20	MADRE DEUS	Monitorado	1	1	1	9	9	9	1	84	84	84	132	96
21	MALEMBÁ	Monitorado	1	3	1	9	9	3	1	60	72	60	108	75
22	OURO NEGRO	Monitorado	1	1	1	3	1	9	1	52	52	52	64	55
23	PARALELA - CAB	Novo	1	3	3	9	3	3	1	36	48	48	84	54
24	PARIPE	Novo	1	1	1	3	9	9	1	84	84	84	96	87
25	PARQUE DA CIDADE	Novo	3	9	9	9	3	9	1	72	108	108	108	99
26	PARQUE DE PITUAÇU	Novo	1	3	3	9	3	9	1	60	72	72	108	78
27	PARQUE SÃO BARTOLOMEU	Novo	1	3	3	9	3	9	1	60	72	72	108	78
28	PIRAJÁ	Novo	1	1	3	9	3	9	1	60	60	72	108	75
29	RIO VERMELHO	Novo	3	9	9	9	9	3	1	72	108	108	108	99
30	RÓTULA DO ABACAXI	Novo	9	1	1	9	9	3	1	108	60	60	108	84
31	SÃO FRANCISCO DO CONDE	Monitorado	1	1	1	3	1	9	1	52	52	52	64	55
32	SIMÕES FILHO	Novo	1	1	3	9	9	9	1	84	84	96	132	99
33	SÍTIO	Monitorado	9	1	9	9	1	1	1	68	20	68	68	56

Assim, levando-se em conta as características das estações de monitoramento já existente e o INM para cada um poluente aplicada a cada um dos novos pontos sugeridos, a metodologia proposta, consolidou que a rede integrada de monitoramento da qualidade do ar para a Região Metropolitana de Salvador deverá ter 25 estações dentre elas 14 existentes e 11 novas. As estações estão divididas em três tipos que são: Industrial (6), Urbana (15) e Controle (4) conforme a Tabela 38 e Figura 41 que destaca a localização dos pontos de monitoramento já existentes e os novos.

Além dos poluentes avaliados foi incluído o monitoramento de poluente secundário Ozônio (O<sub>3</sub>) nas estações de controle e ainda nas estações de referência urbana do Dique do Tororó e no Parque da Cidade.

**Tabela 38 - Detalhes da RMA de Salvador**

Nº	Pontos de Monitoramento	Situação	Tipo	SO <sub>2</sub>	CO	MP	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	MET
1	AREIAS	Existente	Industrial	x					
2	CABULA	Nova	Urbana		x	x	x		x
3	CALÇADA	Nova	Urbana	x	x	x	x		x
4	CÂMARA	Existente	Urbana	x	x		x	x	x
5	CAMPO GRANDE	Nova	Urbana	x	x	x	x		x
6	COBRE	Existente	Industrial	x					
7	CONCÓRDIA	Existente	Industrial	x	x	x	x	x	x
8	DIQUE DO TORORÓ	Nova	Urbana	x	x	x	x	x	x
9	ESCOLA	Existente	Urbana	x		x	x	x	x
10	GRAVATA	Existente	Urbana	x	x	x	x		x
11	IGUATEMI	Nova	Urbana						x
12	LAMARAO	Existente	Industrial	x					x
13	LAURO DE FREITAS	Nova	Urbana			x	x		x
14	LEADRINHO	Existente	Industrial	x	x	x	x		x
15	MACHADINHO	Existente	Controle	x	x	x	x		x
16	MADRE DEUS	Existente	Urbana	x	x		x	x	x
17	MALEMBÁ	Existente	Urbana	x	x		x	x	x
18	OURO NEGRO	Existente	Controle	x			x		x
19	PARALELA - CAB	Nova	Controle	x	x	x	x	x	x
20	PARQUE DA CIDADE	Nova	Urbana					x	x
21	PIRAJÁ	Nova	Controle	x	x	x	x	x	x
22	RIO VERMELHO	Nova	Urbana						x
23	SÃO FRANCISCO DO CONDE	Existente	Urbana	x			x		x
24	SIMÕES FILHO	Nova	Urbana			x	x		x
25	SÍTIO	Existente	Industrial	x					
TOTAL DE EQUIPAMENTOS				18	13	12	17	9	21

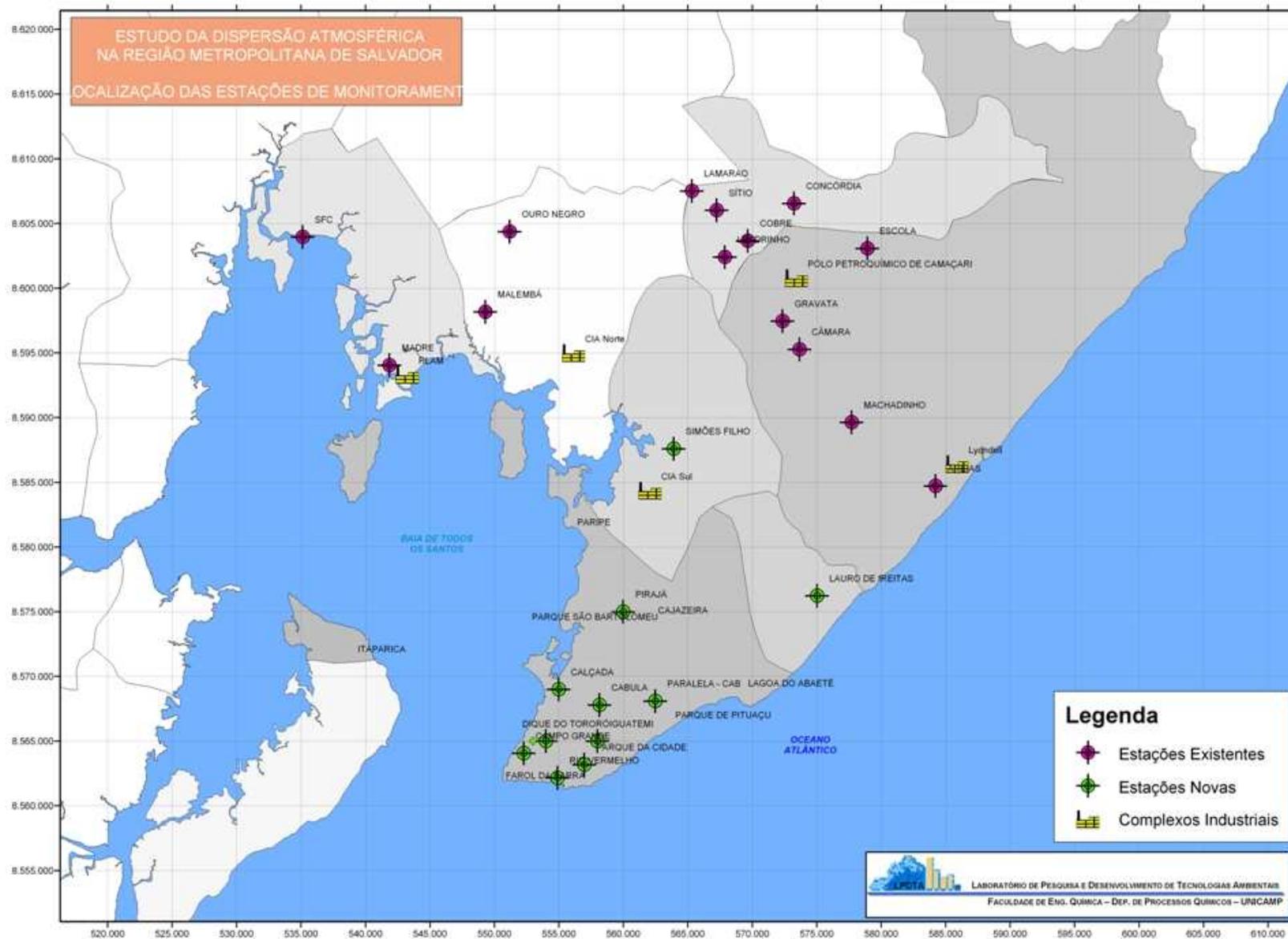


Figura 41 - Mapa da localização preliminar das estações da RMA de Salvador

## 4. RMA DE SALVADOR

Na Rede de Monitoramento do Ar de Salvador deverão medidos dois tipos de parâmetros, concentração de poluentes e parâmetros meteorológicos.

Nos itens seguintes serão apresentadas as metodologias e instrumentos necessários para cada um dos parâmetros. A seguir faz-se uma breve descrição de cada parâmetro selecionado com o objetivo de fornecer uma idéia geral para melhor compreensão dos parâmetros individualizados.

### 4.1. Parâmetros a serem monitorados

O principal objetivo da rede consiste no monitoramento das concentrações de vários poluentes convencionais (legislados na Resolução CONAMA 03/90). Os poluentes que serão monitorados na Região Metropolitana de Salvador são:

- Material Particulado Inalável (MP<sub>10</sub>);
- Monóxido de Carbono (CO);
- Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>);
- Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>, NO e NO<sub>x</sub>);
- Ozônio (O<sub>3</sub>);

O monitoramento dos parâmetros meteorológicos é uma exigência formal em relação à poluição do ar, por serem considerados imprescindíveis na compreensão do comportamento dos poluentes atmosféricos. Esse monitoramento possui os seguintes objetivos:

- Calibração dos modelos de dispersão;
- Determinação "*post facto*" de quais eram as condições reinantes em períodos de altas concentrações dos poluentes;

→ Determinação das fontes emissoras causadoras de altas concentrações.

Recomenda-se que em todas as estações sejam monitorados os parâmetros meteorológicos diretamente relacionados com a dispersão de poluentes. Os parâmetros de interesse são:

→ Velocidade do vento;

→ Direção do vento;

→ Radiação Solar;

→ Temperatura e umidade ambiente;

→ Precipitação pluviométrica;

→ Pressão atmosférica.

## **4.2. Tecnologia dos Analisadores**

Neste item são apresentadas, para cada poluente, as metodologias de amostragem existentes e as mais recomendadas, entre outras considerações relevantes.

### **4.2.1. Material Particulado Inalável (MP<sub>10</sub>)**

Existem duas tecnologias para medição de MP<sub>10</sub> (partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente menor ou igual que 10 micra): Processo contínuo e descontínuo. A metodologia descontínua consiste basicamente consiste em colocar um pré-filtro separador em um HI-VOL (amostrador de grandes volumes), selecionando e separando todas as partículas com diâmetro entre 10 e 100 micra, só deixando passar, para um filtro secundário, aquelas menores que 10 micra. As amostragens são feitas durante 24 horas seguidas, a cada 6 dias, para que o dia da semana em que a medição será feita varie a cada semana.

O processo contínuo (Princípio da Atenuação Beta) é o sistema mais avançado equipamento de monitoramento de partículas. Este monitor possui uma fonte radioativa, porém é inferior a 100  $\mu\text{Ci}$ . O princípio de operação é que as partículas contidas no ar ambiente são depositadas numa fita filtrante de fibra de vidro. As partículas beta são emitidas por uma fonte e passam através da fita (filtro) e da camada de partículas depositadas. O aumento da massa de partículas depositadas causa uma redução na medição dos raios beta na câmara de medição. Uma câmara de compensação recebe uma porção igual de partículas beta e é usada como referência, comparando a medição da amostra coletada na câmara de medição com a energia transmitida através de uma lâmina de compensação, a qual apresenta a mesma atenuação que um filtro limpo. À medida que as partículas são coletadas e se depositam na fita filtrante, a leitura diferencial muda e o sinal resultante é convertido pelo microprocessador do sistema para concentrações de  $\text{MP}_{10}$ .

#### 4.2.2. Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )

A metodologia recomendada é a de medição contínua do  $\text{SO}_2$  por fluorescência, que é mais precisa e automática, não requerendo uso de reagentes, análises ou mão de obra. Foi desenvolvida nos EUA no final da década de 70, sendo sua aplicação praticamente universal, em vários países, inclusive no Brasil.

Numa descrição resumida desta metodologia, o ar, contendo  $\text{SO}_2$ , passa por uma pequena câmara preta, na qual as moléculas do ar são iluminadas por uma luz com comprimento de onda específico, e somente as moléculas de  $\text{SO}_2$  absorvem energia (luz). Após um curtíssimo espaço de tempo, esta luz é interrompida e as moléculas de  $\text{SO}_2$  (e só elas) emitem luz (fluorescência), que é detectada por um tubo fotomultiplicador. Este aparelho então emite um sinal, quase instantâneo, diretamente proporcional à concentração das moléculas de  $\text{SO}_2$ , existentes no interior da câmara de reação. Este sinal é convertido e processado eletronicamente, fornecendo o resultado em unidades de concentração, que pode ser ppm, ppb ou  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.2.3. Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )

No caso do Monóxido de Carbono, praticamente não existem alternativas

significativas em relação a diferentes metodologias, pois só existe uma metodologia básica disponível que é a metodologia usada na prática e é a única aprovada como de referência, a chamada de NDIR, ou seja, Infra Vermelho não Dispersivo.

Nesta metodologia, o ar contendo o CO é succionado através de uma pequena bomba, instalada no interior do monitor de CO, em seguida passa através de um câmara de forma prismática alongada. Nos extremos opostos desta câmara tem-se: num extremo, uma fonte controlada de radiação infravermelha emitindo um feixe no sentido do outro extremo, no qual uma célula detectora, de alta sensibilidade, detecta o comprimento de onda emitida pela fonte.

A faixa do infravermelho escolhida é justamente aquela em que o CO (e apenas outros poucos gases) absorve a luz. Deste modo, quando o feixe percorre a câmara que tem ar com CO, a intensidade da luz emitida será maior do que a intensidade da luz que atinge a célula detectora, pois uma parte da luz foi absorvida pelas moléculas de CO presentes na câmara. A quantidade de radiação infravermelha absorvida será diretamente proporcional à concentração do CO existente, de maneira que, quanto menor a luz detectada pela célula, maior a concentração de CO medida.

#### 4.2.4. Óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ )

A metodologia automática e contínua, adotada como referência é denominada de quimioluminescência Baseia-se no princípio físico-químico em que a reação química entre o NO e  $\text{O}_3$  provoca geração de luz.

Nesta metodologia, as concentrações de  $\text{NO}_2$  no ar ambiente são determinadas por diferença, medindo-se fotometricamente a intensidade da luz, em comprimentos de onda superiores aos 600 nm que resultam da reação quimioluminescente do NO com ozônio ( $\text{O}_3$ ).

O  $\text{NO}_2$  existente no ar é inicialmente reduzido a NO, em um conversor de alta eficiência. O NO, que comumente coexiste com o  $\text{NO}_2$  no ar ambiente, passa através do conversor sem sofrer qualquer modificação, fornecendo então uma concentração total de  $\text{NO}_x$ , como soma do NO e do  $\text{NO}_2$ .

Uma parcela do ar ambiente reage diretamente com  $O_3$ , sem ter passado previamente através do conversor. Neste caso, só a concentração do NO é medida. Finalmente, através da diferença entre a concentração do  $NO_x$  e a do NO é obtida a concentração do  $NO_2$ .

#### 4.2.5. Ozônio ( $O_3$ )

A metodologia mais moderna e mais segura recomendada é denominada de fotometria no ultravioleta. Um fotômetro U.V. determina a concentração de Ozônio mediante a medição da atenuação da luz em uma célula de absorção, no comprimento de onda de 254 nm. A concentração de Ozônio está diretamente relacionada com a magnitude desta atenuação. A precisão e exatidão dos dados obtidos por um analisador de Ozônio dependem basicamente da sua calibração. O método utilizado é o da calibração multiponto.

### **4.3. Tecnologia dos Analisadores e Sensores Meteorológicos**

Nesta etapa são apresentadas algumas características dos instrumentos necessários, cujas tecnologias são conhecidas e não possuem maiores inconvenientes ou dificuldades, embora devam ter sempre a manutenção preventiva, como todos os outros equipamentos da rede, para evitar descontinuidade de sua operação.

#### 4.3.1. Velocidade do Vento

Este sensor deve ser do tipo de alta sensibilidade (três conchas). O sensor de velocidade deve ter capacidade para começar a medir ventos de 0,5 m/s e recomenda-se que seja do tipo "reed switch" ou fotoelétrico o que diminui a manutenção e a possibilidade de quebra. A precisão recomendada é de 1,5% e baixa inércia.

#### 4.3.2. Direção do Vento

Também é recomendável que seja do tipo sensível balanceado e com grande área, já que é de interesse medir as variações da direção do vento para cálculos do valor de sigma horizontal. O método de medição potenciométrico é o mais utilizado

nestes casos. Uma sensibilidade de + ou - 5 graus é a mínima recomendada.

#### 4.3.3. Radiação Solar

A função do sensor de radiação solar é determinar a intensidade da energia solar total que está sendo recebida pelo solo. O sensor sugerido é do tipo fotoelétrico, e é necessário que não sofra desvios consideráveis devido ao ângulo do sol em relação ao horizonte.

#### 4.3.4. Temperatura e umidade

Recomenda-se que o sensor de temperatura seja do tipo termistor com precisão de 0,1° Celsius e que possua proteção contra radiação. Os dois parâmetros são medidos em conjunto, por um equipamento só.

### **4.4. Equipamentos Auxiliares**

As estações devem funcionar em estruturas especialmente destinadas para essa finalidade, consistindo de Containers metálicos termicamente isolados, com dimensões internas de 2.800 x 2.200 x 2.500 mm, confeccionados em alumínio e duralumínio com estrutura do piso em vigas U com capacidade de carga interna de 1500Kg/m<sup>2</sup>, permitindo a permanência interna de duas pessoas durante períodos prolongados, como na manutenção e calibração dos monitores, segundo apresentado na Figura 42.



**Figura 42 – Modelo de container sugerido.**

Cada uma das estações terá diversos equipamentos montados em “racks”, conforme a Figura 43, incluindo analisadores de poluentes, calibradores, etc.

Dentro da área de cada estação, conforme a Figura 42, será instalada também uma torre meteorológica de 10 metros, com capacidade para medir continuamente alguns parâmetros meteorológicos.

As estações deverão possuir ainda outros equipamentos, tais como:

- Manifold – acessório que coleta as amostras de ar ambiente, dotado de uma bomba e um tubo de vidro envolvido por uma serpentina, que serve para evitar a condensação do ar amostrado ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ), pois no interior da estação a temperatura é inferior à ambiente. A Figura 43 apresenta detalhes do manifold.



**Figura 43 – Visão interna dos containeres e manifold - Sistema de coleta de ar.**

- Aparelhos de ar-condicionado – todas as estações terão dois aparelhos funcionando alternadamente, pois a temperatura acima de 29°C interfere no desempenho dos monitores de poluentes. É recomendável que seja instalado um sistema para colocar os equipamentos de ar condicionados alternadamente em funcionamento, a cada 12 horas.
- No-Break – este equipamento isola os circuitos de entrada e saída dos equipamentos e portanto, é mais eficiente do que os estabilizadores normais (que estabilizam, mas não suportam picos de tensão acima de 40 %) para suportar sobretensão. Esta seria sua principal função na rede e cada estação deve ter um no-break para proteger todos os equipamentos. Como também serve para manter os equipamentos em funcionamento em caso de falta de energia, porém a autonomia do no-break sugerido neste projeto é de apenas 15 minutos. Acima deste período, seu custo aumenta bastante. A sala central da rede deve ter um no-break menor para proteger também o computador central.
- Telefone ou rádio e modem
- Sistema de alarme – Recomenda-se que as estações sejam dotadas de um sistema de proteção contra roubo e o mais simples seria a implantação de um sistema de alarme, conectado à Central através de rádio ou telefone,

independente da telemetria da RMA.

#### **4.5. Infra-estrutura mínima**

Além dos equipamentos e componentes que estarão instalados em cada estação, a rede requer também outros componentes para a adequada operação da rede:

- Veículo utilitário;
- Computador com impressora;
- Software de simulação, gestão de dados e um pacote operacional Windows com o Office;
- Ferramentas;
- Sala central com mobília, arquivos e material de escritório.

Uma descrição resumida destes componentes, é feita a seguir:

- Um veículo é indispensável para a rede, pois mesmo tendo telemetria, é necessário visitar as estações pelo menos uma vez por semana, além das visitas de calibração e manutenção. O veículo recomendado deve ter capacidade para carga, com tamanho (altura) mínimo para transportar os equipamentos, cilindros de gás, calibradores, etc., e deve ser equipado com "rack", para maior segurança.
- Na sala central dever estar instalado o computador, com a configuração mínima de: pentium IV, "hard drive" de 4 giga, 1 "drives" de 3,5 polegadas e um para leitor e gravador de CD, telefone, impressora jato de tinta e modem.

Entre as ferramentas necessárias na sala central da rede, recomendam-se a inclusão, além de um conjunto de ferramentas comuns, os seguintes itens:

- Multímetro digital;
- Ferramentas porta-placas e para retirada de chips;
- Conjunto para solda de componentes;
- Pequeno armário com peças eletrônicas.

A operação da rede, em especial as medições com HI-VOL, exigem uma série de equipamentos comuns de laboratório, entre os quais se destacam:

- Balança analítica;
- Dessecador.

Finalmente, a sala central da rede deve ter capacidade para duas ou três pessoas trabalharem, local para o computador, impressora, arquivos, etc. Mapas da região de todo o município, onde estarão marcadas as estações da RMA, deverão estar também disponíveis para auxiliar na avaliação e interpretação dos dados.

#### **4.6. Armazenamento dos Dados**

Uma rede como a proposta para a Região Metropolitana de Salvador terá capacidade para gerar a cada dia, um grande número de dados, já que estará monitorando simultaneamente uma série de parâmetros de concentrações e meteorológicos, em vários locais e continuamente.

Torna-se então indispensável contar com um sistema em cada estação, que permita ler continuamente estes dados e armazená-los numa memória até que possam ser transferidos, através de telemetria, para seu processamento e armazenamento finais, em um computador, localizado na sala de aquisição de dados.

Com o objetivo de armazenar os dados gerados a melhor tecnologia disponível são os sistemas telemétricos. A proposta para o presente projeto é o envio telemétrico dos dados, ou seja, em cada estação existirão computadores que transmitirão via modem (tecnologia GSM) os dados medidos até uma estação central de

armazenamento e processamento dos dados. Esta tarefa é feita diariamente. Quanto à telemetria, ela possui inúmeras vantagens, tais como:

- O acesso aos dados se dá quase em tempo real;
- A possibilidade de perda de dados é substancialmente menor;
- Não é necessário percorrer todas as estações diariamente, o que reduz os gastos com combustível;
- O diagnóstico dos equipamentos pode ser feito remotamente, evitando discontinuidades operacionais prolongadas, caso ocorra a manutenção deverá ser rapidamente providenciada.

#### **4.7. Equipe técnica**

A última etapa necessária no projeto da rede é a determinação do pessoal necessário, sua qualificação e treinamento.

Dependendo da rede, pode ser necessário apenas um ou dois técnicos, podendo incluir um instrumentista e um engenheiro. No caso da RMA de Salvador, recomenda-se que a equipe seja composta de um engenheiro ou químico, dois técnicos em análise química, e um técnico em instrumentação que possa também operar a rede além de um auxiliar de campo. Toda a equipe deverá ter excelentes conhecimentos de informática.

Na composição da equipe deve constar à consultoria com meteorologista para avaliação e interpretação de dados e outros especialistas, como por exemplo, na área de tecnologia de informação.

#### **4.8. Principais atividades Operacionais**

Em uma RMA, as principais atividades de Acompanhamento Técnico e Administrativo, são:

- Gerenciamento de dados de Poluentes Atmosféricos e Meteorológicos, que são coletados das estações para um computador central. A coleta é feita via linha telefônica, com modems instalados nas estações e na Central. O computador da central faz contato a cada hora com as estações e a partir de então os dados são coletados e devidamente tratados.
- A partir dos dados tratados será gerado diariamente um “boletim de qualidade do ar”, contendo um Índice de Qualidade do Ar - IQAr. O Boletim poderá ser gerado por região onde as estações serão implantadas. Os Índices de qualidade do Ar deverão ser divulgados à população através de painéis eletrônicos. É oportuno salientar que esse boletim poderá ser disponibilizado na Internet para divulgação a toda a comunidade.
- Gerenciamento das tarefas de Manutenção Preventiva, englobando a Calibração dos analisadores, realizadas mensalmente, conforme procedimentos elaborados a partir dos Manuais de Operação dos próprios analisadores e demais equipamentos que compõem a Rede. Estão previstas também a realização de uma Manutenção Anual de toda a Rede, objetivando avaliar, além de itens específicos dos analisadores, aspectos relacionados com as condições dos próprios containers.

#### **4.9. Calibração e Controle de Qualidade**

Para se obter resultados válidos, os instrumentos devem ser calibrados com uma frequência adequada. Para isso é necessário dispor de procedimentos de calibração, misturas de gás padrão, as quais deverão ser injetadas nos equipamentos, para que sua resposta seja ajustada até obter o valor correto.

Existem basicamente dois tipos de calibração:

- A mais complexa , chamada de calibração multiponto, na qual são preparadas várias (entre três a sete) misturas com diferentes concentrações (por exemplo, 20%, 40%, 60% e 80% da escala plena) e montada uma curva de calibração. Esta calibração deve ser feita pelo menos uma vez por ano, por ocasião da manutenção anual da rede, em todos os equipamentos.
- Com maior freqüência são feitas calibrações com ponto único. Isto, mais do que uma calibração é uma verificação de que o instrumento está operando corretamente. Deve-se ter cuidado, pois a freqüência de calibração depende da estabilidade e necessidade de ajustes. Quanto mais estável o instrumento, menor a freqüência.

Existem cilindros contendo misturas padrão sob pressão, disponíveis no mercado, ou pode-se também encomendar às empresas fabricantes de gases, as misturas que se deseja

#### **4.10. Gerenciamento das informações**

Estabelecida a RMA para a Região Metropolitana de Salvador, será detalhada a forma de gerenciamento de todos os dados obtidos no monitoramento e ainda, as informações dos mais diversos segmentos que influenciam diretamente na qualidade do ar, como por exemplo, o nº. de veículos, condições meteorológicas nas regiões adjacentes à RMS, dados de saúde pública etc.

Os fabricantes de equipamentos para monitoramento de poluentes convencionais dispõem também de sofisticados softwares para armazenamento, tratamento e apresentação dos dados obtidos através de redes de monitoramento do ar, que permitem a elaboração de gráficos, histogramas, rosas do vento, rosas de poluição, etc.

Como a geração de dados em uma RMA é muito grande, quanto mais automático e simplificado for o processamento dos dados, menos e menores os erros e menores esforço e despesas, utilizando-se um sistema automatizado.

- Análise estatística dos dados de monitoramento;
- Elaboração de um boletim de qualidade do ar;
- Divulgação on-line dos dados do monitoramento da qualidade do ar através da internet;
- Elaboração de um plano de acompanhamento de doenças respiratórias da RMS;
- Uso de um sistema de informações georeferenciadas (ArcGis) para utilização integrada das diversas variáveis ambientais.

Algumas análises comuns deverão ser feitas em relação aos dados de qualidade do ar, são:

- Distribuição de freqüências;
- Obtenção de médias para diferentes períodos (1 hora; 24 horas, anual, etc);
- Comparação com padrões legais.

A magnitude do erro no processo de análise depende de uma série de fatores, entre os quais:

- Tipo de analisador usado;
- Métodos e freqüência das calibrações;
- Habilidade e treinamento do pessoal na operação e manutenção dos instrumentos.

Além disso, a qualidade dos resultados depende muito da freqüência de amostragem e do período das medições.

Deverão elaborados relatórios mensais apresentando os resultados referentes aos poluentes, suas concentrações e comparação com os padrões legislados. Será calculado também o IQA – Índice de Qualidade do Ar, para cada estação.

Pode-se resumir o disposto anteriormente nas etapas principais, são elas:

- Análise estatística dos dados de monitoramento buscando o relacionamento entre o tipo de fonte e a concentração;
- Divulgação on-line dos dados através da internet: Boletim de qualidade do ar, Relatórios mensais e anuais; Dados em tempo real.
- Avaliação da trajetória da poluição através da simulação da dispersão de poluentes atmosféricos: Modelo atmosférico para interseção espacial, Modelo gaussiano; Modelo pré-editivo e fotoquímico;
- Integração da RMQA com as demais redes de monitoramento da RMS: Dados mensais da frota de veículos; Acompanhamento de doenças respiratórias.
- Elaboração de um plano de acompanhamento de doenças respiratórias da RMS;
- Uso de um sistema de informações georeferenciadas (ArcGis) para utilização integrada das diversas variáveis ambientais.

#### **4.11. Custos e prazos relacionados**

Os recursos necessários para a implantação da Rede de Monitoramento do Ar estão divididos em três categorias diferentes:

- Equipamentos e componentes,
- Montagem, partida e treinamento,
- Operação e manutenção

A Tabela 39 a seguir fornece uma estimativa geral para a implantação da Rede de Monitoramento do Ar proposta para Salvador, considerando os fabricantes de equipamentos com renome internacional. No presente documento considerou-se uma

taxa de importação no valor de 60% dos custos FOB e utilizaram-se as seguintes cotações: Dólar de R\$ 1,79 (25/01/2008) e Euro de R\$ 2,63 (25/01/2008)

Salienta-se que o custo levantado, levou em consideração apenas o investimento necessário para aquisição das novas estações.

Os custos totais para Investimentos (equipamentos e componentes), implantação (montagem, partida e treinamento) e para um ano de operação e manutenção da RMA de Região Metropolitana de Salvador, a partir das considerações e especificações dos equipamentos apresentados no presente trabalho, estão estimados em R\$ \$8.923.241,00 (oito milhões, novecentos e vinte e três mil, duzentos e quarenta e um reais), detalhado no anexo 9.5.

Os prazos envolvidos estão divididos em 4 meses para importação dos equipamentos, 2 para implantação e início da operação.

**Tabela 39 – Custos de investimentos, implantação, partida e operação para a RMA na Região Metropolitana de Salvador.**

<b>Item</b>	<b>Custo Total *</b>
<b>Investimento</b>	<b>R\$ 6.062.902,00</b>
Analísadores Contínuos	R\$ 2.503.239,00
Consumíveis (Kits anuais) Analísadores	R\$ 105.831,00
Peças Sobressalentes	R\$ 139.917,00
Sensores Meteorológicos	R\$ 240.537,00
Peças sobressalentes Meteorológicos	R\$ 219.571,00
Acessórios	R\$ 2.343.283,00
Sistema de Gestão de Dados	R\$ 468.986,00
Projeto do LayOut	R\$ 41.538,00
<b>Instalação &amp; Partida</b>	<b>R\$ 777.560,00</b>
Instalação	R\$ 496.650,00
Treinamento	R\$ 93.912,00
Mão de Obra	R\$ 105.336,00
Diversos	R\$ 81.662,00
<b>Operação &amp; Manutenção (1 ano)</b>	<b>R\$ 2.082.779,00</b>
MÃO DE OBRA	R\$ 429.000,00
Diversos	R\$ 184.753,00
Consultoria	R\$ 72.241,00
Consumíveis	R\$ 1.396.785,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 8.923.241,00</b>

\* Diversos fabricantes foram utilizado na composição deste custos.

## **5. RESPONSABILIDADES**

### **5.1. Modelo de Parceria**

O presente projeto de implantação e operação da Rede de Monitoramento do Ar na Região Metropolitana de Salvador tem por premissa um modelo de parceria tripartite nas ações atribuídas a cada uma das partes envolvidas: executor, responsável pelas atividades técnicas e operacionais, a Estado/Município, na figura responsável pelas ações institucionais e por fim uma empresa pública-privada na qualidade de investidor do projeto, responsável pelos custos de todo o empreendimento.

### **5.2. Ganhos e Responsabilidades**

Caberá a executor as ações técnicas relativas à implantação, operação e manutenção da rede, a saber:

- Gerenciamento dos dados do monitoramento dos Poluentes Atmosféricos e Meteorológicos, coletados nas estações e enviadas para o computador da estação central. A coleta será feita via linha telefônica, com modems instalados nas estações e na Central. O computador da central faz contato horário com as estações.
- A partir dos dados tratados será gerado diariamente um “Boletim da Qualidade do Ar”, apresentando o Índice de Qualidade do Ar – IQAr, de acordo com os critérios do Air Quality da EPA. As informações do Boletim serão disponibilizadas à população através dos meios de comunicação e de painéis, colocados em locais estratégicos na cidade.
- Gerenciamento das tarefas de Manutenção Preventiva, englobando a Calibração dos analisadores, realizadas mensalmente, Corretiva e Preditiva, conforme procedimentos elaborados a partir dos Manuais de Operação dos próprios analisadores e demais equipamentos que compõem a Rede. Estão prevista também a realização de uma Manutenção Anual de toda a Rede, objetivando avaliar, além

de itens específicos dos analisadores, aspectos relacionados com as condições das próprias estações.

- Fechando as atividades mensais e anuais serão elaborados os respectivos relatórios contemplando as atividades realizadas, assim como os resultados obtidos da Rede. O Relatório Anual, especificamente, por englobar toda a atividade desenvolvida durante um ano, reveste-se de uma complexidade não exigida naqueles elaborados mensalmente.

Caberá a Estado/Município, a responsabilidade pelas ações institucionais relativas à Rede de Monitoramento do Ar, incluindo-se aí as ações de infra-estrutura, a gestão e divulgação dos dados nos principais meios de comunicação e segmentos sociais, assim como a responsabilidade pelas ações de Educação Ambiental, a serem implementadas junto à população.

- As ações de infra-estrutura abrangem a disponibilidade de linhas telefônicas tanto para a transmissão dos dados das estações para a Central da RMA, através do sistema de telemetria, quanto para a comunicação entre a equipe de operação e manutenção da RMA, o fornecimento de energia elétrica, vital para o funcionamento das estações de monitoramento do ar e a garantia de condições gerais de funcionamento das mesmas, contemplando a existência de uma adequada segurança das cabines. O Estado/Município deverá disponibilizar um local para que seja estruturada a Central da RMA, que deverá ser climatizada e deverá contar com um computador com capacidade suficiente para a realização das tarefas de coleta e transferência dos dados, o armazenamento e tratamento dos mesmos. É recomendável que haja um equipamento de reserva caso o computador da RMA apresente qualquer tipo de falha. A central deverá contar com estrutura suficiente para o armazenamento de peças de reposição da RMA, assim como para a guarda e arquivamento de eventuais equipamentos e documentação a ser gerada pela mesma. Os equipamentos da central deverão também contar com Nobreak para as eventuais falhas no fornecimento de energia elétrica, de responsabilidade do Estado/Município.

- A gestão e divulgação dos dados gerados pela RMA, dizem respeito à apresentação dos mesmos à população, após a sua devida validação pelo responsável da RMA junto ao **ESTADO/MUNICÍPIO**. A apresentação dos dados será feita por meio de Boletins contendo os Índices de Qualidade do Ar, produto final do tratamento dos dados gerados nas estações da RMA, através dos principais meios de comunicação, incluindo a mídia escrita e/ou televisiva. Esses Boletins serão também apresentados à população através de painéis eletrônicos, instalados em pontos estratégicos da cidade, levando-se em consideração a densidade populacional primordialmente. Nesses painéis serão apresentados os Índices de Qualidade do Ar da estação mais próxima, considerando a abrangência da estação ou a representatividade de seu monitoramento.
  
- Arelada ao processo de geração, tratamento e divulgação dos dados da RMA, será implementado um programa de Educação Ambiental junto a alguns segmentos da população, notadamente em escolas da Rede Estadual e Municipal. O programa terá como premissa o conhecimento dos conceitos fundamentais acerca da poluição atmosférica e seus reflexos na saúde da população exposta, apresentando-se assim a importância do monitoramento da qualidade do ar em questão.

A iniciativa da implantação da RMA pelo **ESTADO/MUNICÍPIO**, traduzindo a abertura e o interesse da gestão municipal atual com relação ao conhecimento da qualidade do ar a nível regional, trará significativos ganhos para a mesma, no tocante inicialmente à sua imagem, demonstrando sua preocupação com relação à exposição da população à poluição ambiental urbana. Essa ação vem equiparar a cidade do Salvador aos grandes centros urbanos a nível nacional, onde já existe a preocupação e o acompanhamento da qualidade do ar. Os dados meteorológicos gerados pela RMA serão de grande valia para diversos segmentos da gestão municipal, como por exemplo, na realização de obras de infra-estrutura, adicionando dados para subsidiar ações na rede de saúde, na ordenação do trânsito, etc.

Caberá ao **INVESTIDOR** a responsabilidade pelo custeio integral da RMA, englobando a compra de todos os equipamentos e acessórios, os custos da sua implantação, operação e manutenção.

A exemplo dos ganhos ocorridos com a **ESTADO/MUNICÍPIO**, o **INVESTIDOR** também logrará ganhos notadamente em sua imagem institucional, consolidando sua ação com relação à Responsabilidade Social, assim como ganhos financeiros indiretos traduzidos pela excelente oportunidade de marketing gerada pela operação da RMA e do respectivo processo de divulgação dos seus resultados.

A Figura 44, resume a Matriz de responsabilidades entre o EXECUTOR, ESTADO/MUNICÍPIO e o INVESTIDOR.



**Figura 44 – Resumo da Matriz de Responsabilidades**

## 6. CONCLUSÕES

Após análise e discussão vários tópicos importantes, ao longo dos capítulos pode-se concluir que o modelo de elaboração de rede de monitoramento da qualidade do ar atende aos objetivos propostos, pois se verificou principalmente que:

- Existem dados disponíveis (internet ou relatórios oficiais) para a realização de estudos semelhantes, sendo assim a metodologia proposta pode ser aplicada em qualquer outra região do País.
- As ferramentas, procedimentos, modelos e técnicas de monitoramento são de uso comum, validadas pelos órgãos ambientais internacionais, como por exemplo, EPA – Agência Americana de Proteção Ambiental e a, Air Parif – Organização Responsável pelo Monitoramento da qualidade do ar na região metropolitana de Paris etc.
- O trabalho integrou diferentes dimensões relacionadas à gestão da qualidade do ar que são: Iniciativa privada, População e Estado.

A metodologia proposta atendeu aos objetivos, pois foi possível:

- Caracterizar as emissões atmosféricas da Região das fontes móveis ( $\approx$  540 mil veículos) e fontes estacionárias ( $\approx$  610 fontes industriais), ilustrando um procedimento para elaboração do inventário em qualquer outra região do país.
- Determinar as regiões mais impactadas: Salvador, Camaçari e Madre de Deus.
- Relacionar a concentração com a densidade populacional e tipo de exposição.
- Estabelecer o Índice de Necessidade de Monitoramento para 24 diferentes pontos da RMS.
- Identificar as responsabilidades do Estado/Município, que precisa integrar/coordenar as ações de dados das frotas de veículos e a atualização do inventário das emissões industriais; acompanhamento e validação dos resultados encontrados no monitoramento; acompanhamento de doenças respiratórias; identificação da

capacidade de atuação na área impactada; conscientização e acompanhamento da população; divulgação pública dos dados gerados.

Além do cumprimento e verificação dos objetivos propostos, destaca-se que a cidade de Salvador, apesar de sua agradável brisa e relevo suave, está sujeita as altas concentrações dos poluentes legislados no Brasil e se faz necessário um monitoramento da qualidade do ar em sua extensão.

Em função da dimensão do trabalho proposto, será realizado um fechamento da análise dos principais temas deste trabalho: inventário de emissões, estudo de dispersão, índice de necessidade de monitoramento, a Rede de Monitoramento do ar par a Região Metropolitana de Salvador, e ainda, as principais recomendações para estudos futuros.

## **6.1. Análise do inventário**

Um bom inventário permitirá melhorias no processo, reduzindo ainda, os impactos ambientais. Assim, após analisarmos e discutirmos vários tópicos importantes, pode-se 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 uso 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 SO<sub>2</sub> onde 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 similar para alguns componentes 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.

## **6.2. Estudo de dispersão**

Após o levantamento das condições meteorológicas, topografia, inventário das emissões atmosféricas e por fim, especificação dos receptores, foi possível avaliar o comportamento da dispersão das emissões de Material Particulado Inalável (MP<sub>10</sub>) Monóxido de Carbono (CO); Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>); Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Compostos Orgânicos Totais (COT) oriundos das indústrias e emissões veiculares da RMS comparando os resultados com a legislação existente.

Como foi mencionado na seção 2.10, a avaliação dos resultados realizou-se em três etapas distintas. Primeiro verificou-se o comportamento da pluma em toda a RMS e denominou-se de Avaliação Macro. Em um segundo momento avaliou-se apenas a cidade de Salvador, denominada Avaliação Micro. Por fim avaliou-se a correlação entre os dados simulados com os dados medidos na região e ainda a sua relação com a meteorologia, esta etapa foi denominada de Análise estatística.

- Avaliação Macro: As principais conclusões obtidas através deste trabalho de modelagem, para as condições simuladas são:

- As maiores concentrações de SO<sub>2</sub> estão distribuídas nas proximidades dos pólos industriais da região, isto está em alinhamento com o inventário das emissões que mostra que 72% destas são de fontes industriais. Desta forma, as cidades de Camaçari, Dias D'Ávila e Madre de Deus são principalmente impactadas por estas emissões industriais. É importante destacar que, os dados também apontam uma influência na Região da Cidade de Salvador, devendo-se as emissões veiculares provenientes da queima de Diesel.
  - As demais cidades estão, prioritariamente, sob a influência das emissões veiculares, caracterizadas pelas emissões de CO, que estão espalhadas em toda a RMS. Este é um comportamento esperado para áreas com grande número de veículos circulando na região.
- Avaliação Micro: Buscando visualizar este comportamento com mais detalhes, foi realizada uma simulação apenas para a área central de Salvador, com maior adensamento populacional, de forma a compreender o comportamento do monóxido de carbono (CO) na região. Após avaliação dos resultados encontrados na simulação verifica-se que existem três áreas com uma maior concentração de monóxido de carbono, a região da Rótula do Abacaxi, Dique do Tororó e no Bairro do Rio Vermelho. Estes pontos têm entre si uma característica em comum de um grande fluxo de veículos, impactando mais significativamente estas regiões.
- Análise Estatística: Nesta etapa, foram realizadas diversas avaliações buscando verificar a relação entre os dados estimados pelo modelo e os observados em 2003 nas estações de monitoramento existentes na região. E verificou-se que:
- Após a normalização dos resultados estimados e observados, verificou-se que a distribuição dos dados é aleatória mas que existe uma correlação positiva entre os dados estimados e observados para o SO<sub>2</sub> entretanto, com o coeficiente de correlação fraco. Isto se deve, provavelmente, ao fato do modelo utilizado não levar em consideração

a remoção deste poluente na atmosfera. Esta hipótese é reforçada pelo fato das concentrações estimadas serem maiores que os valores observados.

- Para as concentrações de CO, o coeficiente de correlação é mais forte sugerindo assim uma maior correlação positiva entre os dados estimados e observados.
- Para os pontos de interesse, o horário mais favorável de dispersão, ou seja, com as menores concentrações, durante o dia ocorre entre 09 – 16h.
- Correlação entre as concentrações e a meteorologia: A variação das características físicas da atmosfera influenciou significativamente entre os pontos de interesse não sendo possível estabelecer um perfil único para a RMS. Confirmou-se através do cruzamento dos dados medidos da meteorologia com os valores estimados da concentração que a elevação da temperatura, o aumento da velocidade do vento, a diminuição da classe de estabilidade e a elevação da altura da camada de mistura influenciaram diminuição da concentração dos poluentes tanto de SO<sub>2</sub> como CO.
- No que diz respeito à classe de estabilidade, sua diminuição favorece a dispersão dos poluentes tanto de SO<sub>2</sub> como CO reduzindo assim a concentração.
- A elevação da altura da camada de mistura influencia a diminuição da concentração dos poluentes tanto de SO<sub>2</sub> como CO.

### **6.3. Índice de necessidade de monitoramento**

As regiões metropolitanas do Brasil possuem uma grande área que tem um adensamento populacional heterogêneo e com características de uso do solo

diferenciadas, onde se tem pequenas plantações, indústrias, áreas residenciais, parques ecológicos, espaços de exploração turística, dentre outros.

Desta forma, tem-se então o desafio de estabelecer as condições técnicas justificáveis para a definição do número de pontos de monitoramento e parâmetros para serem monitorados, isto porque, o investimento necessário para fazê-lo é alto. Como o Brasil possui regiões extremamente pobres, desta forma é fundamental, ou ainda, básico, encontrar uma método para realização de investimentos na área ambiental sem comprometer o desenvolvimento dos Estados e Municípios nas demais áreas que são tão necessárias quanto, visto que investimentos em controle ambiental refletem em melhoria da qualidade de vida da população.

Após a determinação do Índice de Necessidade de Monitoramento (INM) para cada um dos poluentes em cada um dos 33 pontos diferentes espalhados na RMS incluindo pontos onde já existe monitoramento (14) e novos (19) selecionaram-se os pontos que apresentaram um INM maior igual a 90, e desta forma, para que se tenha uma boa representatividade da qualidade do ar em toda a Região Metropolitana de Salvador. Concluiu-se que será necessário instalar mais 9 estações de monitoramento da qualidade e mais duas estações de controle totalizando 11 estações. Os pontos destacados pela metodologia são: Cabula, Calçada, Campo Grande; Dique do Tororó, Iguatemi, Parque da Cidade, Rio Vermelho, Pirajá, Paralela, Lauro de Freitas e Simões Filho. Com isso, a metodologia mostrou que a rede integrada de monitoramento da qualidade do ar para a Região Metropolitana de Salvador terá 25 estações dentre elas 14 existentes e 11 novas. As estações estão divididas em três tipos que são: Industrial (6), Urbana (15) e Controle (4).

#### **6.4. Rede de monitoramento do ar para a RMS**

A rede proposta para o monitoramento do ar na Região Metropolitana de Salvador, incluirá o monitoramento dos poluentes convencionais ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$  e  $MP_{10}$ ) e parâmetros meteorológicos, com a instalação de 11 novas estações automáticas de monitoramento. Para tanto será necessária uma equipe técnica

composta de um engenheiro ou químico, dois técnicos em análise química, e um técnico em instrumentação que possa também operar a rede além de um auxiliar de campo. Cabe destacar que para a melhor interpretação dos dados e cruzamento de informações se faz necessário o apoio de principalmente um meteorologista.

Os custos totais para investimentos, implantação e para um dois de operação e manutenção da RMA de Região Metropolitana de Salvador, a partir das considerações e especificações dos equipamentos apresentados no presente trabalho, estão estimados em aproximadamente nove milhões reais.

Salienta-se ainda que a implantação da Rede de Monitoramento do Ar – RMA na Região Metropolitana de Salvador deverá ser acompanhada de ações relacionadas a um Programa de Educação Ambiental. Estas ações deverão englobar um amplo leque de temas relacionados ao Meio Ambiente no universo Urbano, tendo como premissa o conhecimento dos conceitos fundamentais acerca da poluição ambiental e seus reflexos na saúde da população exposta, apresentando-se assim a importância do monitoramento da qualidade do ar em questão. O Programa de Educação Ambiental recomendado deverá ser implementado junto a alguns segmentos da população, notadamente em escolas da Rede Estadual e Municipal.

O presente projeto de implantação e operação da Rede de Monitoramento do Ar na Região Metropolitana de Salvador tem por premissa um modelo de parceria tripartite nas ações atribuídas a cada uma das partes envolvidas: executor, responsável pelas atividades técnicas e operacionais, a Estado/Município, na figura responsável pelas ações institucionais. A iniciativa da implantação da RMA pelo Estado/Município, traduzindo a abertura e o interesse da gestão municipal atual com relação ao conhecimento da qualidade do ar a nível regional, trará significativos ganhos para a mesma, no tocante inicialmente à sua imagem, demonstrando sua preocupação com relação à exposição da população à poluição ambiental urbana. Por fim uma empresa pública ou privada na qualidade de investidor do projeto, responsável pelos custos de todo o empreendimento com ganhos notadamente em sua imagem institucional, consolidando sua ação com relação à Responsabilidade Social.

A ação de implantação da RMA vem equiparar a cidade de Salvador aos grandes centros urbanos a nível nacional, onde já existe a preocupação e o acompanhamento da qualidade do ar e seus benefícios à saúde da população. Os dados meteorológicos gerados pela RMA serão de grande valia para diversos segmentos da gestão municipal, como por exemplo, na realização de obras de infraestrutura, adicionando dados para subsidiar ações na rede de saúde, na ordenação do trânsito, etc.

## **6.5. Principais recomendações**

Após a aplicação da metodologia sugerida no piloto que foi a Região Metropolitana de Salvador, e dos gratos resultados obtidos, recomendam-se ações que podem ser aplicadas nas demais regiões metropolitanas do país. Dentre as principais, destaca-se:

- Elaboração de um procedimento nacional de inventário de emissões atmosféricas industriais e móveis.
- Consolidação de um banco dados meteorológicos existentes em todo o País.
- Construção de um banco de dados nacional de reclamações da população relativas às doenças respiratórias.
- Reavaliação do comportamento da poluição atmosférica de todas as grandes cidades do País (> 1.000.000 hab)
- Os custos envolvidos são elevados e desta forma, é fundamental um apoio da iniciativa privada para realização do investimento.
- Formação de educadores ambientais para divulgação das informações relacionadas à poluição atmosféricas para que a comunidade tenha clareza dos riscos e assim possa colaborar com sua minimização.
- Divulgação pública das informações geradas ou existentes.

→ Estabelecimento de políticas públicas com o objetivo de propiciar a redução do potencial poluidor dos combustíveis, a redução na emissão dos veículos novos, o Controle da emissão dos veículos em uso, produção de veículos novos com menor consumo de combustível, incentivo para a renovação da frota de transporte público circulante, gerenciamento integrado da demanda de transporte público e privado oferecendo, dentre outros, estacionamentos periféricos nas regiões metropolitanas e por fim, aprimoramento das políticas de uso e ocupação do solo e planejamento urbano das cidades.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da experiência obtida durante o desenvolvimento deste trabalho e algumas incertezas ou falta de dados para validação e confirmação das hipóteses aqui propostas, apresenta-se então, como sugestão para trabalhos futuros:

- Levantar a concentração dos poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos na cidade de Salvador com o intuito de se estabelecer um perfil claro de toda a Região Metropolitana, já que se estabeleceu na micro região do Pólo Petroquímico de Camaçari.
- A realização de um inventário das emissões atmosféricas incluindo as emissões industriais do complexo industrial de Aratu, os pequenos empreendimentos industriais da Cidade de Salvador, postos de gasolina, emissões veiculares das rodovias federais de influência, portos e aeroportos de toda a região.
- Sugere-se também que as partículas  $MP_{2,5}$  sejam avaliadas, as quais em função de seu tamanho (diâmetro menor igual a  $2,5 \mu m$ ) causam maiores danos à saúde da população. A análise desta forma de material particulado pode ajudar a esclarecer os processos que ocorrem na atmosfera da região.
- Realizar uma análise de epidemiológica de toda a Região Metropolitana, cruzando estes resultados encontrados com os impactos das emissões atmosféricas. Um estudo desta natureza visa estabelecer o grau de risco que determinada comunidade está sujeita à poluição, e assim, fomentar ações de controle focada na qualidade da saúde da população.
- Simular o comportamento da poluição atmosférica utilizando modelos matemáticos de meso-escala, como por exemplo, o Callpuff, acoplados a modelos de previsão meteorológica como o MMS, RAMS ou ainda, modelos adaptados às condições meteorológicas do Brasil. Desta forma, será possível inclusive, prever as concentrações dos poluentes atmosféricos, e assim antecipar ações de controle.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACGIH – Limites de Exposição (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos e Índices Biológicos (BEIs). São Paulo, 1999, 120 p.
- ACSERALD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, Campinas, n.1, maio. 1999.
- AHRENS, A. D. – Essentials of meteorology: na invitation to the atmosphere. West Publishing Compny. New York, 1993. 374 p.
- AMSDEN, A.A., and ARLOW, F.H.: The SMAC method: A numerical technique for calculating incompressible flows. Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-4370. 1970.
- ANDRADE, J. C. – Estratégias e Tecnologias para redução das emissões dos poluentes convencionais – Salvador, 1995. 278 p.
- ASSUNÇÃO, R. S. –Utilização do Modelo de dispersão Exinter – Expert Interface/ U.S. EPA. Salvador. Fevereiro, 2000. 20 p.
- ATKINSON, D. & LEE R. *“Procedure for substituting values for missing NWS meteorological data for use in regulatory air quality models”*. Julho, 1992.
- AVOL, E.L.; NAVIDI, W.C.; RAPPAPORT, E. B.; PETERS, J.M.: Acute effects of ambient ozone on asthmatic, wheezy, and healthy children. Res Rep Health Eff Inst 1998 May; (82): iii, 1-18.
- AWMA – Air & Waste Management Association – Fundamentals of Dispersion Modeling. Pittsburgh. Novembro, 2000. 492 p.
- BARNA, M. and Lamb, B.: Improving ozone modeling in regions of complex terrain using observational nudging in a prognostic meteorological model. Atmospheric Environment, 34, 4889-4906. 2000.
- BENOIT, R., Desgagne, M., Pellerin, P., Pellerin, S., Chartier, Y. and Desjardins, S. : The Canadian MC2: a semi- lagrangian, semi- implicit wideband atmospheric

model suited for finescale process studies and simulation. Monthly Weather Review, 125, 2382-2415. 1997.

BERGLUND, Ronald L. et al. Fugitive emissions from the ethylene oxide production industry. Env. Progress, vol. 9, no 1, 230-9, February, 1990. 187 p.

BNDES - Relatório de Mobilidade urbana nas regiões metropolitanas - Secretaria municipal dos transportes públicos. Novembro de 2003 ([http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/cidade\\_13.pdf](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/cidade_13.pdf)) (Acesso 09/09/2006).

BOÇON, F.T. AND MALISKA, C.R. (1998): Numerical modeling of flow over complex terrain, Proceedings of XVIII Iberian Latin Congress on Computational Methods in Engineering, Brasília – DF, published in CD-ROM.

BORNSTEIN, R.D., Pechinger, U., Miller, R.K., Street, R.: Modeling the polluted coastal urban environment, Vol 1: The PBL model. Electric Power Research Institute EPRI and Bornstein, R.D., Cordova, J., Salvador, R. and Shieh, L.J. (1987): Modeling the polluted urban environment, Vol 3: Electric Power research Institute – EPRI – Report EA-5091, Research Project 1630-13.1987.

BRAGA, B et al. Introdução à Engenharia Ambiental. Prentice Hall, São Paulo, 2002. 305p.

BRAGA, T. M.; FREITAS, A. P. G.; DUARTE, G. S.: Índice de sustentabilidade urbana, I Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Meio Ambiente e Sociedade, Indaiatuba, SP. Novembro, 2002.

BRAUER, M.; EBELT, S. T.; FISHER, T. V.; BRUMM, J.; PETKAU, A. J.; VEDAL, S.: Exposure of chronic obstructive pulmonary disease patients to particles: respiratory and cardiovascular health effects. J Expo Anal Environ Epidemiol 2001 Nov-Dec; 11(6): 490-500.

- CAMPOS V. H.F., MORAES, M.R. Ramos, F.M., DEGRAZIA, G.A: Anautomatic methodology for estimating eddy diffusivity from experimental data. IINuovo Cimento, 23 C, N. 1, 65-84. 2002
- CARVALHO, J.C.: Estudo dos processos de transporte e difusão na camada limite planetaria utilizando os modelos RAMS e SPRAY: Aplicação ao caso do experimento TRACT. Tese de doutorado, IAG-USP. 1999.
- CASTRO, H. A.; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J. A.: Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. Rev. Bras. Epidemiol. Vol. 6, Nº 2, 2003.
- CEPRAM - Resolução Conselho Estadual de Meio Ambiente, Nº 2113, Salvador/BA, 1999.
- CEPRAM - Resolução Conselho Estadual de Meio Ambiente, Nº 2878, Salvador/BA, 2001.
- CETESB - Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, CETESB, <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/Relatorios/relatorioAr2001.zip>, 2001. (Acesso 09/09/2006).
- CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2003. (Tabela 3) (<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/relatorios.asp>) (Acesso 09/09/2006).
- CETESB – Relatório da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo. 2004. 98 p.
- CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2005. (Tabela 3) (<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/relatorios.asp>) (Acesso 20/05/2007).
- CETREL - Relatório do Inventário das Emissões Atmosféricas da RLAM/Petrobras. Janeiro de 2000. Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental.
- CETREL S.A.– Relatórios Mensais do Monitoramento de Efluentes e Controle na Fonte do ano 2000. 1000 p.

- CETREL - Relatório de reavaliação da rede de monitoramento da qualidade do ar da área de influência do Pólo Petroquímico de Camaçari. Abril de 2002. Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental.
- CETREL S.A.– Relatório Anual da Rede de Monitoramento do Ar da Área de Influência do Pólo Petroquímico de Camaçari. 2004. 120 p.
- BRASIL - Resolução Conselho Nacional de Meio Ambiente, Nº 003. Brasília, 1990.
- CONDER – Cartografia Básica da Região Metropolitana de Salvador – Mapas de Folhas: 50, 51, 52, 61, 63 e 63.
- CORVALÁN, C.; BRIGGS, D.; KJELLSTROM, T.: Development of Environmental Health Indicators. In: Linkage methods for environmental and health analysis, General Guidelines. A report of the Health and Environment Analysis for Decision-making (HEADLAMP) project. Geneva; (WHO - Office of Global and Integrated Environmental Health); 1996.
- COVILE, R.N., GOMEZ-PERALES, J.E., NIEUWENHUIJSEN, M.J. Use of dispersion modelling to assess road-user exposure to PM<sub>2.5</sub> and its source apportionment. Atmospheric Environment 37 2773–2782, march 2003.
- DAWSON, P., Stock, D.E. and Lamb, B.: The numerical simulation of airflow and dispersion in three-dimensional atmospheric recirculation zones. Journal of Applied Meteorology, 30, 1005-1024. 1991.
- DENATRAN - Relatório da Evolução da frota de veículos, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios das Capitais - 1990 a 2003 do DENATRAN (<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>) (Acesso 09/09/2006).
- DETRAN - Relatório da Frota de Veículos Cadastrados dos Municípios da Bahia\_ Dezembro de 2003\_Detran/BA (<http://www.detran.ba.gov.br/estatistica/index.php>) (Acesso 09/09/2006).
- EMBRAPA - Atlas do Meio ambiente do Brasil – EMBRAPA, São Paulo, Editora Terra Viva, 1997. 43 p.

- EPA – Air Emissions Models for Waste and Wastewater. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, North Carolina. 1994.
- EPA - Appendix H do AP-42 Vol. II da USEPA - <http://www.epa.gov/otaq/ap42.htm>. (Acesso 09/09/2006).
- EPA – Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling. Research triangle park, NC. March, 1976.44p.
- EPA – Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air - Determination of volatile organic compounds (VOCs) in ambient air using specially prepared canisters with subsequent analysis by gas chromatography. Cincinnati, January, 1997. 73 p.
- EPA – Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources, Fifth Edition, AP-42. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina. 1995.
- EPA – Guideline on air quality models”. North Caroline, 1986. 173 p
- EPA – Guideline on Air Quality Models (Revised) and Supplement A., September. 1987. 180 p.
- EPA – Industrial Wastewater Volatile Organic Compound Emissions – Background Information for BACT/LAER Determinations. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, North Carolina. 1990.
- EPA – Emission Inventory Improvement Program, Volume II. July, 1997. 215 p
- EPA – Introduction to Stationary Point Source Emission Inventory Development Volume II, Chapter 1, July, 1997. 178 p.
- EPA – NATCH – National Air Toxics Information Clearinghouse”. September, 1995. 450 p.

- EPA – On-site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modelling Applications”. June, 1987. 202 p.
- EPA – Pollution Prevention Projectc-Amoco, Virginia, USA, 1992. 102 p.
- EPA – Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Boiler Volume II, Chapter 2, Final Report, June, 1996. 125 p.
- EPA – Preferred and Alternative Methods for Estimating Fugitive Emissions from Equipment Leaks Volume II, Chapter 4, Final Report, November 1996. 225 p.
- EPA – Protocol for Equipment Leak Emission Estimates Emission Standard Division U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina, November, 1995. 247 p.
- EPA – Upper Air Digital Files - U.S. Departamente of Commerce, Nacional and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data and Information Service, NCDC – National Climatic Climatic Data Center , Asheville , North Caroline. 1998. 70 p.
- EPA – User’s Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. September, 1995. 380 p.
- EPA – User’s Guide for Exinter 1.0 Draft Version. October, 1996. 420 p.
- EPA – User’s Guide for the Urban Airshed Model (seven volumes) EPA- 450/4-90-007, US EPA Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711. 1990.
- EPA AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Mobile Sources. (<http://www.epa.gov/otaq/ap42.htm>), 2000. (Acesso 09/09/2006).
- EPA. – Emissions Data and Model Review for Wastewater Treatment Operations. August 1985. p. 4-3.
- EUA - United States Of America. Selected Environmental Law Statutes., Title 40 - List of Priority Pollutants & Title 42 - Public Health and Welfare 7412(b)(1) - List of Pollutants. Washington DC. 1990-1999. 1305 p.

- FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (<http://www.feema.rj.gov.br/proconve-promot.asp?cat=65&subcat=70#>). (Acesso: 09/09/2006)
- FERNANDES, Edésio: *Desenvolvimento Sustentável e Política ambiental no Brasil: confrontando a questão urbana*, in O Direito para o Brasil Socioambiental (LIMA, André – Organizador. Sérgio Fabris Editor – Porto Alegre:2002), pg. 351 a 354.
- FIGUEIREDO, S.A. Nigro, F. E. B., Funari, F. – IPT - Relatório Técnico nº45745 Avaliação Técnico-Econômica de Modelos de Implantação da Inspeção Técnica de Veículos Agrupamento de Motores da Divisão de Mecânica e Eletricidade.
- FRANCO, NJ do Nascimento: *Aplicação de um modelo de trajetórias na simulação do transporte de radionuclídeos na atmosfera*. Tese de Doutorado defendida Programa de Pós Graduação em Ciências Atmosféricas em Engenharia da UFRJ em julho de 2005. pg 213.
- FRONDIZI, C.A., “Poluição do Ar: Modelos de Dispersão”. 1991. 180 p.
- GIFFORD, F. A.. Atmospheric dispersion calculations using the generalized gaussian plume model. Nucl Saf. 2 (2) 1960. 56 – 59 p.
- GOFFIN, L. L’environnement comme éco-socio-système. In: LORIAUX, M. Populations et développements: une approche globale et systémique. Louvain-la-Neuve/Paris: Academia-Bruylant/L’Harmattan, p. 199-230, 1999.
- GRAEDEL, T.E., e Crutzen, P.J. . The changing atmosphere, Sci. Am. February. 1989. 210 p.
- GRELL, G.A., Dudhia, J. and Stauffer, D.R.: A description of the fifth generation Penn State/ NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note NCAR/TN - 398 + STR, 138 pp. 1994.
- GUIBET, J.C. Carburant et moteurs, tomes 1 e 2, Institut Français du pétrole, Ed. Technip, Paris, 1997.

- HAAN, P.D., and Rotach, M.W.: A puff-particle dispersion model, *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, Nos. 3-6. 1995
- HANNA, S. R., BRIGGS, G. A. & HOSKER Jr., R. P. – Handbook on Atmospheric Diffusion. United State Department of Energy, January. 1982. 430 p.
- HUGHTON, J. – Global Warming: The complete briefing – 2<sup>a</sup> Ed. Cambridge University Press , 1998. 251 p.
- HWANG, S. T. – Toxic Emissions from Land Disposal Facilities. *Environmental Progress*. February 1982. p:46-52.
- JACOBSON, M. Z. – Fundamental of Atmospheric Modeling – 1<sup>a</sup> Ed. Cambridge University Press, New York, December. 1999. 420 p.
- JIANG, W., Hedley, M. and Singleton, D.L.: Comparison of the MC2/CALGRID and SAIMM/UAM-V photochemical modeling systems in the lower Fraser valley, British Columbia. *Atmospheric Environment*, 32, 2969-2980. 1998.
- JUNIOR, E. V. Sistema integrado de gestão ambiental. São Paulo: Aquariana, 1998. 224p.
- KARAM, H.A., Oliveira, A.P., Soares, J. Carvalho, J.C., Moraes, O.L.L., Degrazia, G.A, Bornstein, R.D.: Simulação numérica da CLP em Candiota através de um modelo de mesoescala. *Air Pollution and Acid Rain: The Candiota Program*, Editors: O.L.L. Moraes, A.P. Oliveira, E.S. Caetano Neto, G.A. Degrazia, FAPESP, Bauru (SO), Brasil, pp. 86-96. 1996.
- KUNZLI, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F., Puybonnieux-Textier, V., Quenel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.C., Sommer, H.,. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 356 (9232), 795–801. 2000
- LEAN, G; HINRICHESEN, D e MARHAM, A – Atlas of the environment – WWF, New York, December. 1990. 80 p.

- LHC - London Health Commission, 2000. On line. On the Move Final Report. <http://www.doh.gov.uk/london/onthemove.pdf>, Department of Health. Accessed on 22/05/02.
- LONGHETTO, A. Atmospheric Planetary Boundary Layer Physics. New York, Elsevier. 1980.
- LUNNEY, P. D. – Characterization of Wind and Depth Effects Upon Liquid Phase Mass Transfer Coefficients: Simulation Studies. Master's thesis, University of Arkansas, Fayetteville, AR. January 1983. p. 119.
- LYRA, D. G. P., Santana, E. M., Neves, N. M. e Assunção, R. - Re-evaluation of the Air Monitoring Network of an Petrochemical Complex. Air & Waste Management Association's 95th Annual. June/2002.
- LYRA, D. G. P., SANTANA, E. M., NEVES, N. M. e ASSUNÇÃO, R. - Use of Mathematical Models to Estimate the Emissions Inventory and to Simulate the Atmospheric Dispersion of a Wastewater Plant of a Large Petrochemical Complex.. Air & Waste Management Association's 95th Annual. June/2002.
- MACIEL, A.A.; GÓES, C. D.; CÂNCIO, J. A.; OLIVEIRA, M. L.; COSTA, S. S.: Indicadores de Vigilância Ambiental em Saúde. Informe Epidemiológico do SUS 1999; 8(3): 59-66.
- MACKAY, D., and A. Yeun. – Mass Transfer Coefficient Correlations for Volatilization of Organic Solutes from Water. Environmental Science and Technology. 1983.p 17:211-217.
- MELCHIORS, D. J., 1994.- Estudo Comparativo da Qualidade do Ar em Porto Alegre Utilizando-se Diferentes Oxigenados na Gasolina, II Seminário Sobre Qualidade e Uso de Gasolina, IBP, Rio de Janeiro
- MELCHIORS, D.J, et al, - Inventário de Emissões Veiculares da Região Metropolitana de Salvador. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Set/2003

- MELCHIORS, 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.
- MELCHIORS, 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.
- MELLO , Elaine T. e Pawlowsky – Minimização de resíduos em uma indústria de bebidas. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 8 Nº 4- out/dez 2003, 249-256.
- MIHELIC, James R., C. Robert Baillod, John C. Crittenden, and Tony N. Rodgers. - Estimation of VOC Emissions from Wastewater Facilities by Volatilization and Stripping. Air & Waste, Journal of the Air & Waste Management Association. 43: 97-105, January. 1993.
- MORAES, M. R., Maliska C. R. - Implementação de um Sistema de Modelos para a Qualidade do Ar. Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 109 p
- MOREIRA, D., TIRABASSI, T. - Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: Um instrumento técnico para a gestão ambiental. Ambiente & Sociedade – Vol. VII nº. 2 jul./dez. 2004.
- NEVES, N M, ASSUNÇÃO R; Inventário das Emissões Atmosféricas da RLAM. 2001, 94p.
- NEVES, N. M.; Conhecimentos Básicos Sobre Poluição Atmosférica – Salvador. Dezembro, 1999. 70 p.
- NEVES N. M.; Simulação da Dispersão de Poluentes na Atmosfera – Salvador. Fevereiro, 2000. 45 p.

- NERY, J. et al. Primeira aproximação para estudo de clima urbano em Salvador. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais .... Salvador: FAUFBA/LACAM; ANTAC. p.124-128. 1997
- NEGRI, J. C.; Modelo Preditivo a Emissão de Dispersão de NOx Gerador em Usinas Termoelétricas como Instrumento de /análise de Inserção e Capacidade de Suporte Regional da Qualidade do Ar. Teses de Doutorado da Universidade de São Paulo – USP. 34p. 2002.
- NTIS - National Technical Information Service, Air CHIEF, Version 9.0 (on CD-ROM), September. 2003.
- OLIVEIRA, S.. Curso de meteorologia para o controle da poluição do ar, Rio de Janeiro. 1996. 63 p.
- PASQUILL, F. The estimation of the dispersion of windbrone material. Meteorological Magazine. 90 (1063) 1961. 33 – 49 p.
- PAULA, João A. et al. Biodiversidade, População e Economia: Uma região de Mata Atlântica. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar; ECMXC; PADCT/CIAMB, 1997.
- PEAVY, Howard S. Environmental Engineering. 1ª Ed. McGraw-Hill, New York, 1985. 699 p.
- PERES, L. A. P. - Subsídios metodológicos para avaliação das emissões anuais de veículos leves em regiões metropolitanas. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Set/2003
- PIELKE, R.A. Mesoscale Meteorology Modeling. Academic Press. New York. 1984.
- PIELKE, R.A., Mcnider, R.T., Walko, R.L., Tremback, C.J., Nicholls, M.E., Moran, M.D., Weslwy, D.A., Lee, T.J. and Copeland, J.H.: A comprehensive meteorological modeling system. – RAMS. Meteo. Atmos. Phys., 49, 69-91. 1992.
- PLANETA Terra II: atmosfera, <http://myspace.eng.br/terra/terra2.asp>) Último acesso 16/05/2005.

- PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), <http://www.ibama.gov.br/proconve/divs/pubProconve.pdf>, 1998. (Acesso 09/09/2006).
- QUEIROZ, C. T. ; TAVARES, T., M. Poluição Atmosférica Veicular - Panorama dos Dados da Cidade do Salvador. II Congresso Interamericano de Qualidade do AR, Canoas/RS, Julho-2003.
- REINHARDT, J. R. - Gas-Side Mass-Transfer Coefficient and Interfacial Phenomena of Flat-Bladed Surface Agitators. Ph.D. dissertation, University of Arkansas, Fayetteville, AR. 1977. p 96.
- SALDIVA, P. Em entrevista, o Prof. Dr. Paulo Saldiva alerta que São Paulo precisa mudar seu modo de transporte – CONPET – Programa Nacional de Racionalização do uso dos derivados de petróleo e do gás natural. ([http://www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php?segmento=consumidor&id\\_noticia=787](http://www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php?segmento=consumidor&id_noticia=787)) (Acesso 09/09/2006)
- SANTILLI, Juliana – *Socioambientalismo e novos direitos*. Editora Fundação Petrópolis Ltda – São Paulo: 2005, pg. 25 a 43.
- SANTILLI, Juliana e Márcio: *Meio Ambiente e Democracia: participação social na gestão ambiental*, in O Direito para o Brasil Socioambiental (LIMA, André – Organizador. Sérgio Fabris Editor – Porto Alegre:2002), pg. 49.
- SAUERBRONN, D., SZWARC, A , FARAH, E. L., Branco, G. M., 1994. – Inventário de Emissão Veicular – 1992: Metodologia de Cálculo, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Emissão de Veículos, CETESB, São Paulo.
- SAUVÉ, Lucie: Educação Ambiental: possibilidades e limitações. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 317-322, maio/ago. 2005. Traduzido do original L'éducation relative à l'environnement: possibilites et contraintes, Connexion

(Revista de Educação Científica, Tecnológica e Ambiental da UNESCO), v. XXVII, n. 1-2, p. 1-4, 2002. Tradução de Lólio Lourenço de Oliveira.

SCHAICH, Joanne R. Estimate Fugitive Emissions from Process Equipment Ch. Engineering Progress, August. 1991. 190 p.

SCIRE, J.S., Strimaitis D.G. and Yamartino, R.J. : A user's guide for the CALPUFF dispersion Model (Version 5). Earth Tech. Inc. 196 Baker Avenue, Concord, MA 01742. 2000.

SEGAL, M., Pielke, R.A., Arritt, R.W., Moran, M.D. Yu, C.-H. And Henderson, D. : Application of a mesoscale atmospheric dispersion modeling system to the estimation of so2 concentrations from major elevated source in southern Florida. Atmospheric environment, 22, 1319-1334.1988.

SEINFELD, J. H. & PANDIS, Spyros N. Atmospheric Chemistry and Physics. 1ª Ed. Wiley Interscience, Denver, 1998. 1234 p.

SET - Anuário estatístico de acidentes de trânsito em Salvador ano 2003 - SET ([http://www.setsalvador.com.br/relatorios/{C5A36685-31F2-41C3-80A7-CA9A8C259653}\\_Anuário\\_2003\\_Capa.pdf](http://www.setsalvador.com.br/relatorios/{C5A36685-31F2-41C3-80A7-CA9A8C259653}_Anuário_2003_Capa.pdf)). (Acesso 09/09/2006).

SISAET - Anuários Estatísticos dos Transportes 2003 do SISAET - Sistema de Informações do Anuário Estatístico dos Transportes (<http://www.geipot.gov.br/novaweb/IndexAnuario.htm>) (Acesso 09/09/2006).

SORRENTINO, M. ; TRAJBER, R. ; MENDONÇA, P.; JÚNIOR, L. A. F.: Educação ambiental como política pública. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 285-299, maio/ago. 2005.

SOUTO, M.J., Souto, J.A, Perez-Munuzuri, V., Casares, J.J., Bermudez, J.L.: A comparison of operational lagrangian particle and adaptative puff models for plume dispersion forecasting. Atmospheric Environment , 35, 2349-2360. 2001

SPRINGER, C., P. D. Lunney, and K. T. Valsaraj. – Emission of Hazardous Chemicals from Surface and Near Surface Impoundments to Air. U.S. Environmental

- Protection Agency, Solid and Hazardous Waste Research Division. Cincinnati, OH. December 1984. p. 3-4 to 3-16.
- STERN, A. C. ; Boubel, R. W.; Turner, D. B. & Fox D. L.. Fundamentals of Air Pollution. 3<sup>a</sup> Ed. Academic Press, Orlando . 1994. 580 p.
- SUCHBACH, R.. Relatório Técnico: Inventário das Emissões Atmosféricas da COPENE, Camaçari, Abril, 2001. 11p.
- SUTTON, O. G.. Micrometeorology. 1<sup>a</sup> Ed Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1953. 376 p.
- TANIMOTO, A. e Soares, P.. Substâncias destruidoras da camada de ozônio e sua legislação, Salvador, 1999. 94 p.
- TAVARES, T. – Apostila de Poluição Atmosférica. Salvador. 1996. 48 p.
- TOMAZ, E. ; CLEMENTE, D. A. . Estudo da dispersão do dióxido de enxofre em Paulínia -SP empregando o modelo ISCST3. In: II Congresso Nacional sobre Meio Ambiente na Bahia, 2000, Salvador Bahia. Anais do II Congresso Nacional sobre Meio Ambiente na Bahia, 2000. p. 186-188.
- TRINITY Consultants, “Computer Modeling Laboratory”. 1994. 150 p.
- TURNER, D. B. Workbook of atmospheric Diffusion Estimates, . U.S. Environmental Protection Agency, Washgintom, DC, 1969.
- URBAN WORLD FORUM, 2002. Reports On Dialogues li - Sustainable Urbanization. Disponível em: (<http://www.unchs.org/uf/aia.html>). Acesso em 13/04/2006.
- US. H.E.W. – Meteorological Aspect of Air Pollution, Air Pollution Traing Program, Cincinnati, 1962.
- WANG, W. and Jiang, W.: A 3-Dimensional nonhydrostatic dispersion modeling system for modeling of atmospheric transport and diffusion over coastal complex terrain in the Hongkong-Shenzhen area. Meteorological Atmospheric Physics, 68, 23- 33. 1998.

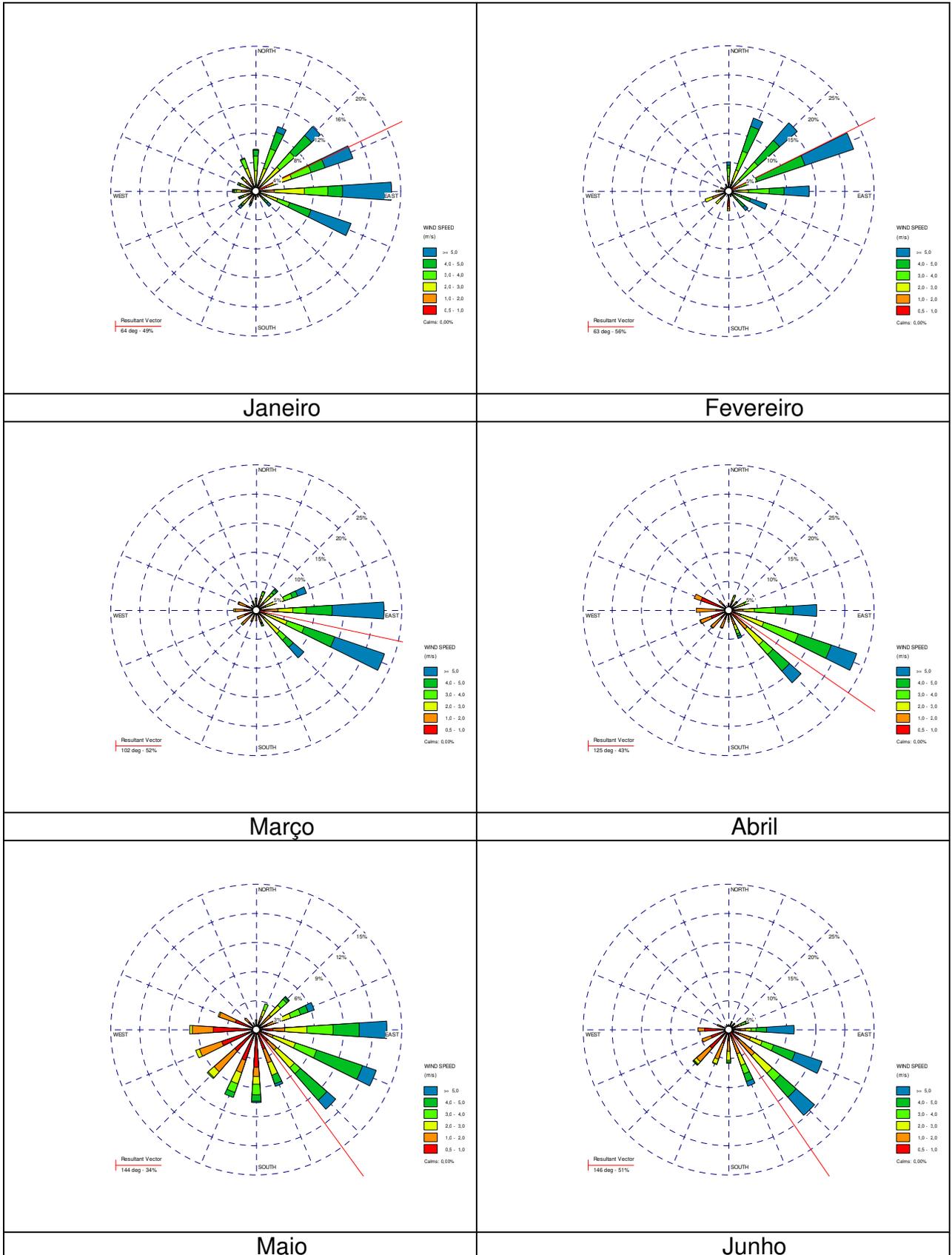
- XUE, M., Droegemeier, Wong, V.: The advanced regional prediction system (ARPS)- A multi-scale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction model. Part I: Model Dynamics and Verification. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 75, 161-193. 2000.
- YAMADA, T., Bunker, S., Moss, M.: Numerical simulations of atmospheric transport and diffusion over coastal complex terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 565-578.1991.
- YAMADA, T., Bunker, S., Moss, M.: Numerical simulations of atmospheric transport and diffusion over coastal complex terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 565-578. 1991.
- YAMARTINO, R.J., J.S. Scire, S.R. Hanna, G.R. Carmichael and Y.S. Chang,: The CALGRID mesoscale photochemical grid model. Volume I: Model formulation document. Sigma Research Corp., Concord, MA. 1992.

## 9. ANEXOS

Nesta seção são apresentados outros documentos essenciais a elaboração e entendimento desta tese. Para melhor compreensão, estes anexos estão divididos em seis subseções relacionadas abaixo.

- Rosa dos ventos mensal e horária: Rosas dos ventos da Estação Câmara, Camaçari/BA subdivididas em todos os meses do ano as horas do dia.
- Inventário detalhado das fontes pontuais: Detalhamento das propriedades das fontes pontuais tais como, altura e diâmetro da chaminé, temperatura, velocidade e taxa de emissão.
- Inventário detalhado das fontes evaporativas: Detalhamento das propriedades das fontes evaporativas tais como, dimensões dos tanques de armazenamento, taxa de emissão.
- Inventário detalhado das fontes fugitivas. Detalhamento das propriedades das fontes fugitivas tais como, área e taxa de emissão.
- Detalhes dos custos: Detalhamento dos itens mínimos para compor uma rede de monitoramento da qualidade do ar.
- Resultados da simulação – plumas da concentração de poluentes: Mostra o comportamento das plumas dos poluentes atmosféricos estudados: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, MP<sub>10</sub> e COV.

## 9.1. Rosa dos ventos mensal e horária



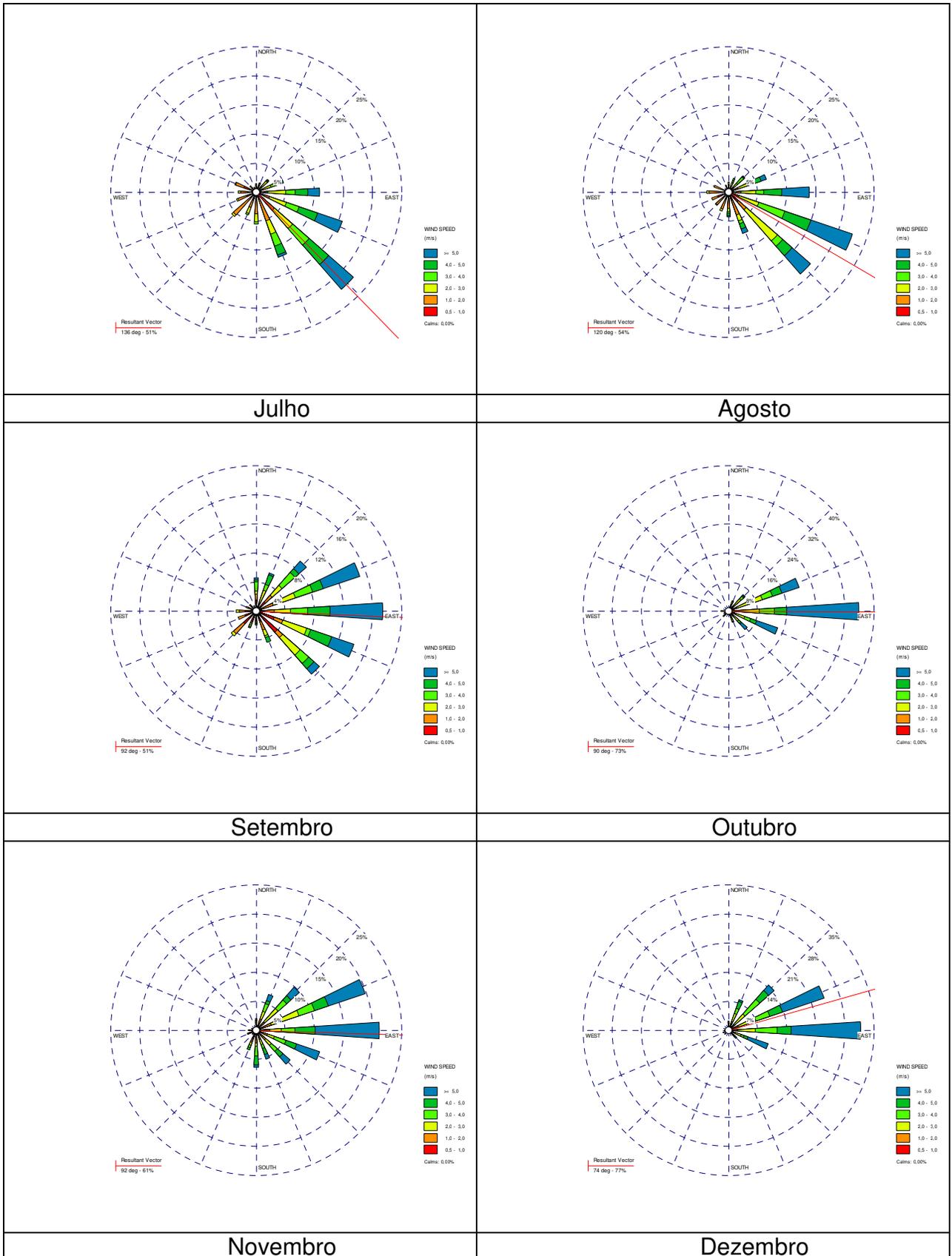
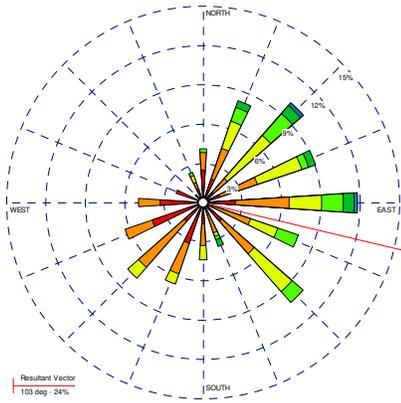
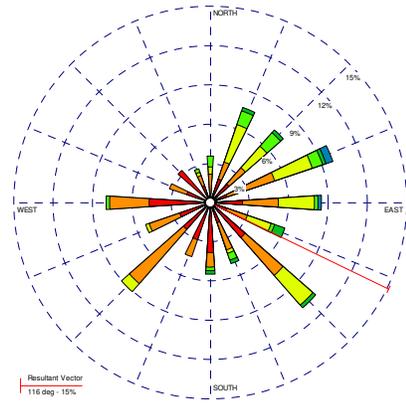


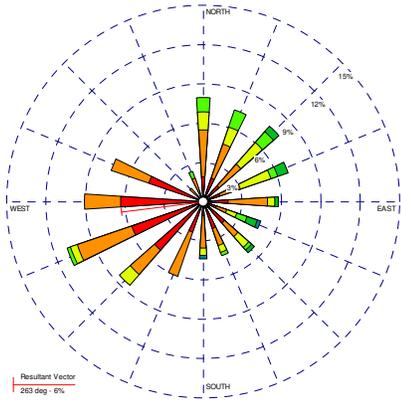
Figura 45 – Comportamento mensal da direção do vento.



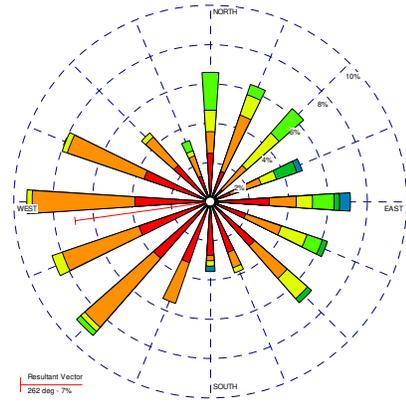
1h



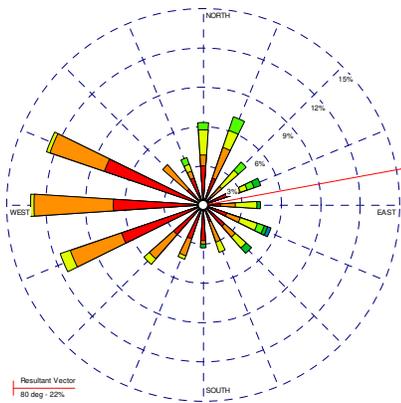
2h



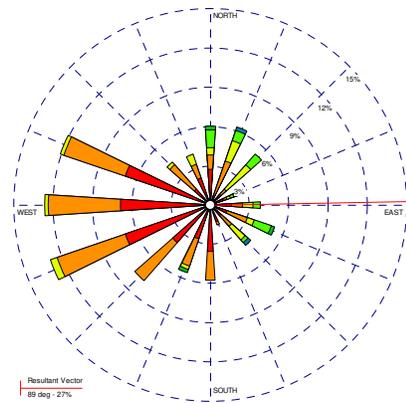
3h



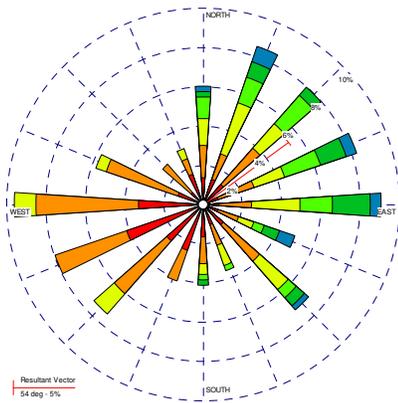
4h



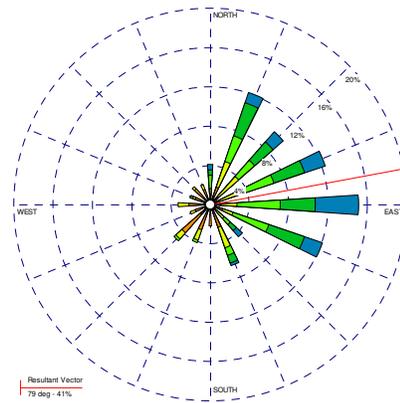
5h



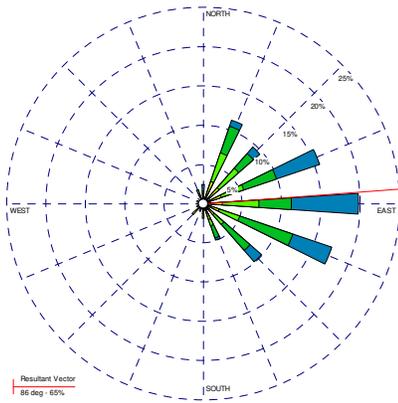
6h



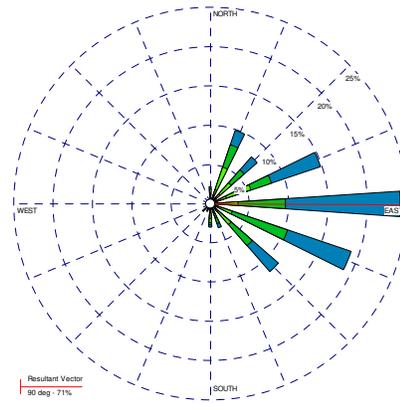
7h



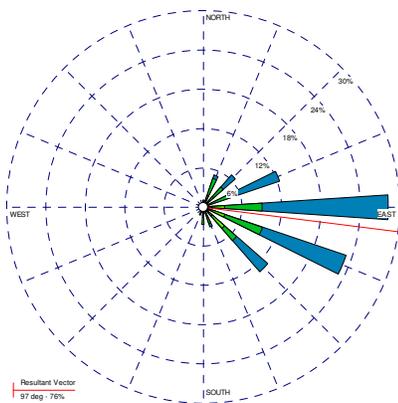
8h



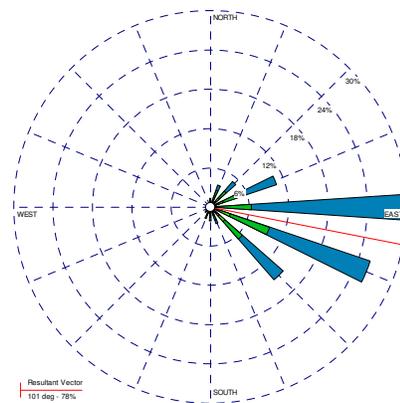
9h



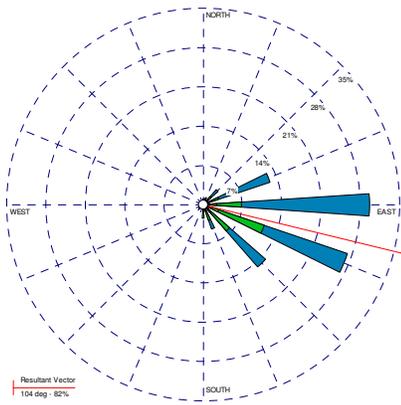
10h



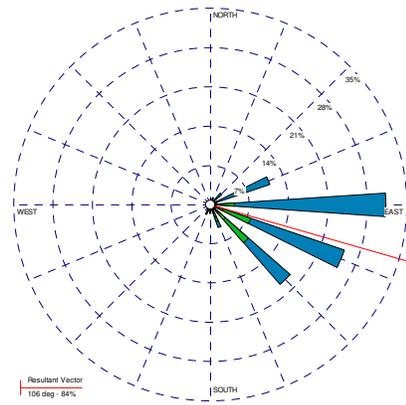
11h



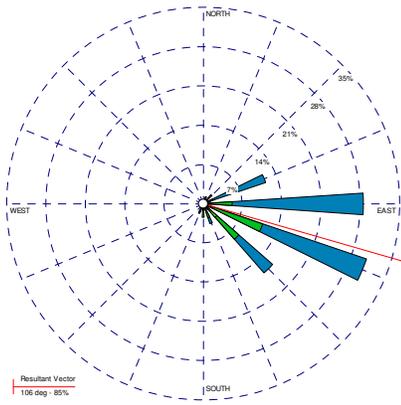
12h



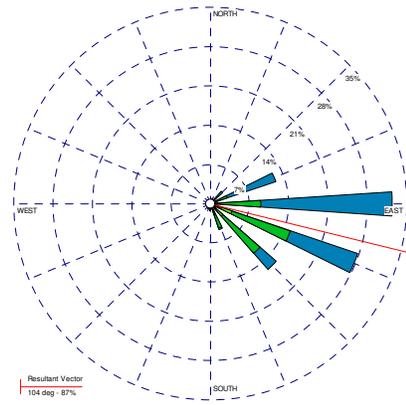
13h



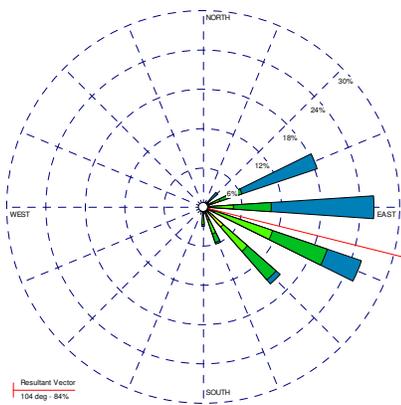
14h



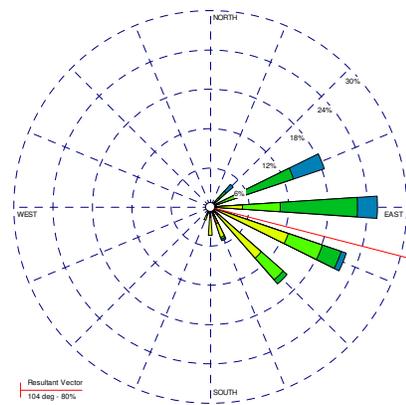
15h



16h



17h



18h

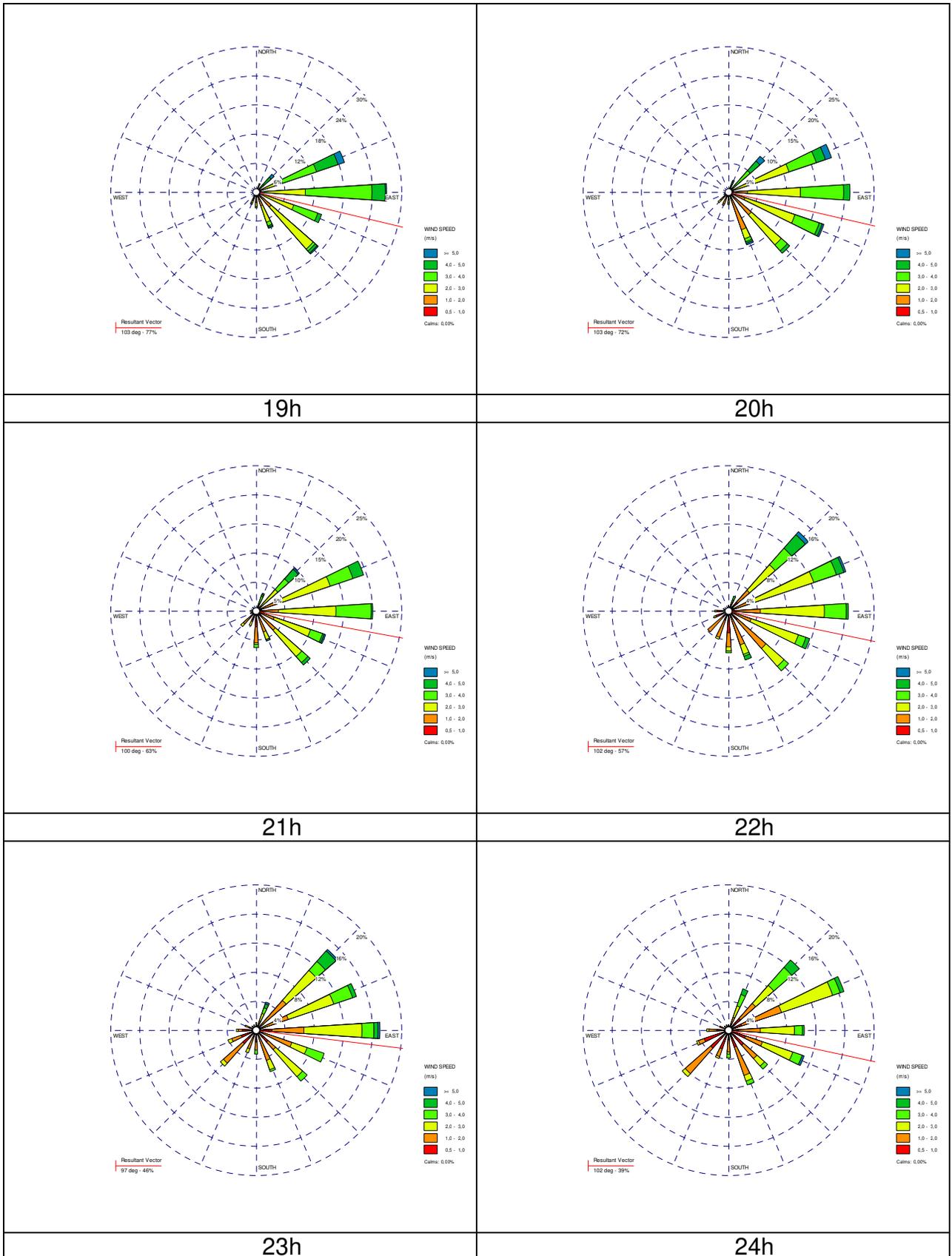


Figura 46 – Comportamento horário da direção do vento.

## 9.2. Inventário Detalhado das fontes pontuais

FONTE DE EMISSÃO	COORDENADAS		ALTURA m	DIÂMETRO m	TEMPERATURA K	VELOCIDADE m/s	TAXA DE EMISSÃO (t/ano)				
	X	Y					MP	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT
CHAMINÉ 1	574.400,0	8.598.600,0	46,0	2,6	1.120,0	5,9	845,800	5.606,000	-	38,000	-
CHAMINÉ 2	574.260,0	8.598.500,0	61,0	0,6	313,0	61,1	-	-	6.849,000	343,000	5.768,000
CHAMINÉ 3	574.400,0	8.600.580,0	32,0	2,0	415,0	12,3	5,780	4,030	46,250	115,630	1,660
CHAMINÉ 4	574.450,0	8.600.580,0	20,0	0,2	394,0	71,7	-	-	-	-	1,230
CHAMINÉ 5	574.350,0	8.600.580,0	35,0	0,2	313,0	47,2	-	-	-	-	64,915
CHAMINÉ 6	574.718,6	8.598.601,6	13,3	0,2	303,0	6,8	-	-	-	-	12,870
CHAMINÉ 7	574.680,2	8.598.486,1	15,5	0,2	439,0	26,7	-	-	0,069	0,013	0,054
CHAMINÉ 8	573.455,0	8.598.523,0	15,0	2,2	463,0	0,2	0,436	0,042	-	-	-
CHAMINÉ 9	573.465,0	8.598.523,0	15,0	2,2	463,0	0,2	-	-	2,470	9,870	-
CHAMINÉ 10	573.475,0	8.598.523,0	15,0	2,2	373,0	0,2	-	-	-	-	0,405
CHAMINÉ 11	571.945,0	8.602.300,0	50,0	3,0	457,6	11,1	119,450	71,400	-	111,270	-
CHAMINÉ 12	571.810,0	8.602.300,0	35,0	0,9	452,7	15,9	6,220	-	-	-	-
CHAMINÉ 13	571.955,0	8.602.300,0	45,2	1,2	346,4	6,5	34,080	-	-	-	-
CHAMINÉ 14	571.945,0	8.602.280,0	50,0	2,5	443,0	0,8	-	0,700	-	101,000	-
CHAMINÉ 15	571.945,0	8.602.320,0	45,5	1,5	603,0	19,4	36,550	925,270	-	26,070	-
CHAMINÉ 16	572.367,0	8.600.886,0	12,4	0,8	523,0	0,8	-	0,004	1,232	0,264	-
CHAMINÉ 17	572.519,0	8.600.916,0	15,0	0,2	303,0	5,1	-	-	-	-	0,053
CHAMINÉ 18	568.403,0	8.604.810,0	40,0	1,4	373,0	10,4	95,000	84,000	-	-	-
CHAMINÉ 19	568.445,0	8.604.820,0	48,0	1,5	323,0	22,3	65,000	432,000	-	-	-
CHAMINÉ 20	568.458,0	8.604.857,0	40,0	1,9	623,0	5,0	2,000	20,400	-	-	-
CHAMINÉ 21	568.435,0	8.604.890,0	35,0	1,5	318,0	3,7	21,000	14,000	-	-	-
CHAMINÉ 22	568.445,0	8.604.880,0	40,0	0,9	373,0	6,3	6,800	2,300	-	-	-
CHAMINÉ 23	568.440,0	8.604.885,0	40,0	1,4	343,0	17,0	81,000	78,000	-	-	-
CHAMINÉ 24	568.440,0	8.604.880,0	40,0	0,9	1.073,0	5,0	0,400	0,600	-	-	-
CHAMINÉ 25	568.514,0	8.604.825,0	35,0	1,2	273,0	5,0	7,000	393,000	-	-	-
CHAMINÉ 26	568.475,0	8.604.845,0	55,0	4,0	313,0	5,0	195,000	605,000	-	-	-
CHAMINÉ 27	568.485,0	8.604.996,0	60,0	3,0	453,0	12,1	129,000	114,000	-	-	-
CHAMINÉ 28	568.500,0	8.604.890,0	35,0	5,0	343,0	0,5	14,000	2,800	-	-	-
CHAMINÉ 29	568.720,0	8.605.000,0	30,0	5,0	303,0	1,0	-	2,200	-	-	-
CHAMINÉ 30	568.720,0	8.605.015,0	30,0	0,1	633,0	-	0,600	-	-	-	-
CHAMINÉ 31	568.825,0	8.604.865,0	40,0	0,7	633,0	-	1,000	-	-	-	-
CHAMINÉ 32	568.415,0	8.604.680,0	40,0	1,2	453,0	9,6	22,000	99,000	-	-	-
CHAMINÉ 33	568.315,0	8.604.975,0	60,0	3,0	363,0	8,9	-	3.600,000	-	-	-
CHAMINÉ 34	568.370,0	8.604.915,0	108,0	2,2	623,0	5,0	10,000	58,000	-	-	-

CHAMINÉ 35	568.380,0	8.604.600,0	10,0	2,8	773,0	5,0	-	0,010	-	15,500	-
CHAMINÉ 36	575.050,0	8.601.350,0	30,0	0,8	500,0	2,0	15,500	10,500	4,970	9,570	1,040
CHAMINÉ 37	575.060,0	8.601.350,0	30,0	0,8	500,0	5,0	7,070	0,050	-	0,840	0,000
CHAMINÉ 38	570.981,0	8.604.687,0	15,6	6,0	673,0	3,0	2,200	0,352	23,469	322,693	1,027
CHAMINÉ 39	570.980,0	8.604.901,0	15,6	6,0	673,0	6,0	-	-	-	-	-
CHAMINÉ 40	570.971,0	8.605.299,0	15,6	6,0	673,0	1,0	1,467	0,235	15,646	215,128	0,684
CHAMINÉ 41	572.810,0	8.603.820,0	22,0	0,1	288,0	21,5	-	-	-	-	5,560
CHAMINÉ 42	572.820,0	8.603.820,0	22,0	0,1	288,0	14,3	-	-	-	-	4,560
CHAMINÉ 43	572.800,0	8.603.820,0	22,0	0,1	288,0	57,4	-	-	-	-	6,620
CHAMINÉ 44	572.790,0	8.603.830,0	22,0	0,1	288,0	31,6	-	-	-	-	1,050
CHAMINÉ 45	572.780,0	8.603.830,0	22,0	0,3	301,0	0,1	-	-	-	-	0,005
CHAMINÉ 46	572.800,0	8.603.830,0	22,0	12,0	301,0	1,0	-	-	-	-	7,630
CHAMINÉ 47	572.850,0	8.603.750,0	50,0	0,6	473,0	7,5	2,510	0,430	-	8,290	5,720
CHAMINÉ 48	573.300,0	8.599.160,0	15,5	1,0	423,0	11,0	151,000	-	3.909,000	-	-
CHAMINÉ 49	573.330,0	8.599.160,0	15,5	1,0	424,0	5,5	-	199,000	-	17,000	-
CHAMINÉ 50	573.360,0	8.599.160,0	15,5	1,0	425,0	5,5	10,900	-	-	-	-
CHAMINÉ 51	573.390,0	8.599.160,0	35,0	6,0	426,0	0,5	192,000	-	266,000	48,000	100,000
CHAMINÉ 52	573.429,3	8.600.496,5	63,2	2,7	423,0	4,4	16,641	158,652	44,007	345,860	7,304
CHAMINÉ 53	573.446,0	8.600.426,2	60,0	2,2	653,0	3,7	3,444	17,125	22,879	87,080	3,163
CHAMINÉ 54	573.526,4	8.600.456,5	41,0	1,4	523,0	4,0	4,326	46,399	5,956	79,420	1,241
CHAMINÉ 55	573.422,9	8.600.539,1	60,0	1,9	623,0	8,3	11,475	112,929	25,473	157,050	4,452
CHAMINÉ 56	573.513,9	8.600.445,6	60,0	1,0	523,0	4,2	1,279	9,233	5,926	25,590	0,866
CHAMINÉ 57	573.443,8	8.600.434,0	60,8	2,6	433,0	0,8	6,598	27,367	48,720	196,870	6,645
CHAMINÉ 58	573.846,5	8.600.352,1	120,0	4,9	453,0	7,6	117,500	1.577,223	115,561	1.541,060	24,075
CHAMINÉ 59	573.859,2	8.600.268,0	120,0	4,9	453,0	7,6	50,610	0,087	327,324	1.254,550	45,391
CHAMINÉ 60	573.768,8	8.600.218,6	39,3	3,6	453,0	9,8	15,997	-	176,811	589,470	23,154
CHAMINÉ 61	573.888,9	8.600.494,0	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 62	573.896,8	8.600.495,2	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 63	573.907,6	8.600.496,8	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 64	573.915,6	8.600.498,0	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 65	573.926,4	8.600.499,6	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 66	573.934,3	8.600.500,8	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 67	573.945,2	8.600.502,5	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 68	573.952,1	8.600.503,5	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 69	573.964,0	8.600.505,3	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 70	573.970,9	8.600.506,3	34,5	1,9	423,0	10,6	4,874	-	53,870	179,590	7,054
CHAMINÉ 71	573.649,3	8.600.473,0	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 72	573.635,5	8.600.471,0	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 73	573.629,5	8.600.470,1	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024

CHAMINÉ 74	573.614,7	8.600.467,8	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 75	573.609,7	8.600.467,1	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 76	573.670,1	8.600.476,2	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 77	573.655,2	8.600.473,9	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 78	573.594,9	8.600.464,9	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 79	573.693,8	8.600.479,8	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 80	573.708,6	8.600.482,0	27,0	1,6	493,0	9,9	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 81	573.675,0	8.600.476,9	25,0	1,6	493,0	4,6	1,620	-	17,905	59,685	2,345
CHAMINÉ 82	573.660,2	8.600.474,7	25,0	1,6	493,0	4,6	1,620	-	17,905	59,685	2,345
CHAMINÉ 83	573.718,5	8.600.483,5	60,0	2,4	493,0	6,2	3,471	-	38,369	127,920	5,024
CHAMINÉ 84	573.704,6	8.600.669,5	17,0	1,0	953,0	3,3	0,278	-	3,069	10,230	0,402
CHAMINÉ 85	573.707,5	8.600.691,1	20,0	1,1	423,0	0,7	0,167	-	1,842	6,140	0,241
CHAMINÉ 86	574.051,5	8.600.750,1	32,8	0,9	423,0	0,7	0,111	-	1,228	4,090	0,161
CHAMINÉ 87	574.420,0	8.601.160,0	99,4	1,8	773,0	0,6	0,200	75,856	40,400	7,400	15,400
CHAMINÉ 88	574.420,0	8.601.060,0	99,4	1,8	773,0	0,6	1,100	392,617	209,400	38,400	78,700
CHAMINÉ 89	572.903,0	8.599.797,0	30,0	0,1	311,0	153,1	-	-	-	-	171,810
CHAMINÉ 90	575.170,0	8.600.955,0	50,0	1,5	423,0	12,2	0,140	1,310	0,100	0,440	0,020
CHAMINÉ 91	574.680,0	8.599.525,0	60,0	1,8	434,0	6,6	3,890	0,780	3,970	33,700	38,360
CHAMINÉ 92	574.786,0	8.599.510,0	60,0	1,8	434,0	6,6	3,890	0,780	3,970	33,700	38,360
CHAMINÉ 93	574.610,0	8.599.350,0	60,0	0,5	673,0	0,3	0,070	-	0,580	7,980	0,030
CHAMINÉ 94	574.800,0	8.599.510,0	7,2	0,4	297,0	13,2	-	5,694	-	-	-
CHAMINÉ 95	574.932,0	8.600.457,0	30,0	0,8	783,0	14,3	-	10,813	1,945	-	-
CHAMINÉ 96	574.934,0	8.600.446,0	30,0	0,5	721,0	12,8	-	4,437	0,850	-	-
CHAMINÉ 97	574.934,0	8.600.440,0	30,0	0,5	773,0	27,0	-	3,834	2,291	-	-
CHAMINÉ 98	574.874,0	8.600.555,0	30,0	0,4	723,0	0,5	-	123,592	-	-	-
CHAMINÉ 99	574.262,3	8.599.299,9	64,5	1,5	533,0	8,9	3,090	23,630	3,450	45,770	0,310
CHAMINÉ 100	574.138,1	8.599.390,1	30,5	1,5	873,0	10,1	-	-	0,013	-	4,944
CHAMINÉ 101	578.157,8	8.598.554,2	15,0	0,5	500,0	15,0	-	0,510	0,740	-	18,000
CHAMINÉ 102	574.445,3	8.600.681,8	15,0	0,1	310,0	1,8	-	-	-	15,210	528,818
CHAMINÉ 103	574.444,9	8.600.681,8	15,0	0,1	336,0	1,6	-	-	-	0,096	44,737
CHAMINÉ 104	574.559,4	8.600.584,6	17,0	0,1	369,0	5,2	-	-	-	-	21,962
CHAMINÉ 105	574.585,2	8.600.578,4	48,8	0,7	308,0	8,1	-	-	-	-	0,270
CHAMINÉ 106	574.512,8	8.600.529,1	30,0	0,9	519,0	13,2	1,881	-	-	-	-
CHAMINÉ 107	574.176,8	8.600.745,5	13,2	0,5	306,0	8,1	-	-	-	-	2,544
CHAMINÉ 108	574.631,1	8.600.306,5	25,0	0,5	304,0	5,3	-	-	-	1,440	0,027
CHAMINÉ 109	574.549,9	8.600.591,8	20,0	0,4	301,0	35,8	-	-	-	-	-
CHAMINÉ 110	572.910,0	8.599.850,0	26,0	0,5	434,0	2,2	-	0,051	0,315	0,058	-
CHAMINÉ 111	585.295,0	8.584.695,0	50,0	1,0	362,0	15,6	-	270,000	-	-	-
CHAMINÉ 112	585.180,0	8.584.710,0	44,0	1,0	328,0	12,9	-	40,000	-	-	-

CHAMINÉ 113	585.350,0	8.584.640,0	30,0	2,4	343,0	7,5	-	87,000	-	-	-
CHAMINÉ 114	573.990,9	8.602.069,2	76,4	0,5	373,0	1,0	-	0,001	0,093	1,280	0,003
CHAMINÉ 115	573.990,9	8.602.069,2	76,4	0,5	373,0	1,0	-	0,001	0,093	1,280	0,003
CHAMINÉ 116	573.990,9	8.602.069,2	76,4	0,5	373,0	1,0	-	0,001	0,093	1,280	0,003
CHAMINÉ 117	573.990,9	8.602.069,2	76,4	0,5	373,0	1,0	-	0,001	0,093	1,280	0,003
CHAMINÉ 118	574.025,4	8.602.160,6	77,2	0,5	311,0	13,9	-	-	2,270	3,630	0,641
CHAMINÉ 119	574.650,0	8.600.212,0	60,0	0,5	428,0	21,4	-	-	2.485,000	-	-
CHAMINÉ 120	574.625,0	8.600.245,0	25,0	1,2	359,0	15,3	7,000	0,320	0,550	13,300	0,680
CHAMINÉ 121	574.570,0	8.600.106,0	58,0	0,6	363,0	32,2	-	-	-	12,200	-
CHAMINÉ 122	574.512,0	8.600.087,0	12,0	1,6	393,0	1,6	-	-	-	-	70,000
CHAMINÉ 123	574.530,0	8.600.124,0	30,0	0,7	872,0	7,0	5,420	1,720	0,020	3,370	0,054
CHAMINÉ 124	574.586,0	8.600.087,0	8,4	2,3	361,0	4,5	13,210	-	-	-	10,400
CHAMINÉ 125	573.161,0	8.599.704,0	50,0	2,0	423,0	1,4	0,170	-	-	-	19,400
CHAMINÉ 126	572.716,0	8.600.954,0	40,0	0,4	353,0	19,1	-	-	-	-	250,700
CHAMINÉ 127	572.789,0	8.600.989,0	31,0	0,4	370,0	22,6	-	-	-	-	19,500
CHAMINÉ 128	572.800,0	8.600.947,0	25,0	1,9	414,0	3,3	6,541	0,635	37,006	148,020	6,079
CHAMINÉ 129	572.791,0	8.600.918,0	5,6	0,2	313,0	3,8	-	-	-	-	-
CHAMINÉ 130	573.820,0	8.600.080,0	30,0	4,0	538,0	14,5	-	44,800	312,000	2.191,000	-
CHAMINÉ 131	574.000,0	8.599.950,0	28,0	1,5	505,0	8,9	-	-	45,000	-	-
CHAMINÉ 132	574.110,0	8.600.150,0	53,0	3,6	399,0	0,6	-	-	-	105,000	-
CHAMINÉ 133	574.279,3	8.601.359,9	10,2	2,9	393,0	1,0	-	-	-	-	24,000
CHAMINÉ 134	574.312,3	8.601.357,1	3,0	1,5	323,0	1,0	-	-	-	-	4,800
CHAMINÉ 135	574.282,1	8.601.384,6	20,0	1,0	313,0	1,0	0,027	0,003	0,154	0,618	0,025
CHAMINÉ 136	574.315,1	8.601.384,6	2,0	1,3	303,0	1,0	-	-	-	-	0,730
CHAMINÉ 137	574.249,1	8.601.376,4	6,0	0,7	313,0	1,0	-	-	-	-	0,780
CHAMINÉ 138	574.449,0	8.599.156,0	20,0	0,3	399,0	55,6	-	-	-	-	1.985,100
CHAMINÉ 139	573.910,0	8.601.158,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	0,395
CHAMINÉ 140	573.930,0	8.601.158,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	99,776
CHAMINÉ 141	573.960,0	8.601.108,0	100,0	1,5	399,0	2,3	1,640	0,110	7,620	30,400	1,100
CHAMINÉ 142	573.960,0	8.601.158,0	37,3	6,1	399,0	0,1	-	-	-	-	-
CHAMINÉ 143	574.107,0	8.601.221,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	21,290
CHAMINÉ 144	574.059,0	8.601.196,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	111,500
CHAMINÉ 145	574.030,0	8.601.221,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	95,300
CHAMINÉ 146	574.090,0	8.601.221,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	5,200
CHAMINÉ 147	574.070,0	8.601.221,0	40,0	0,5	399,0	20,7	-	-	-	-	5,200
CHAMINÉ 148	574.535,0	8.600.674,0	10,0	0,5	323,0	16,7	-	-	-	-	0,010
CHAMINÉ 149	575.557,0	8.601.014,0	10,0	0,5	323,0	16,7	-	-	-	-	1,460
CHAMINÉ 150	574.474,0	8.600.485,0	18,0	0,4	323,0	23,7	-	-	3.970,510	-	202,360
CHAMINÉ 151	574.564,0	8.600.490,0	25,0	0,9	423,0	6,8	31,800	4,860	-	0,000	0,047

CHAMINÉ 152	572.515,0	8.599.240,0	38,0	0,3	347,0	57,5	-	3,500	-	-	-
CHAMINÉ 153	572.525,0	8.599.250,0	38,0	0,3	354,0	15,4	-	4,100	-	-	-
CHAMINÉ 154	576.260,0	8.599.800,0	12,0	0,5	354,0	5,7	1,900	11,520	0,360	4,240	3,150
CHAMINÉ 155	573.545,0	8.603.320,0	15,0	0,4	608,0	5,2	0,012	0,176	0,003	0,030	0,001
CHAMINÉ 156	573.555,0	8.603.320,0	15,0	0,4	608,0	3,9	0,152	2,246	0,035	0,385	0,009
CHAMINÉ 157	575.088,0	8.599.243,0	20,0	1,1	500,0	15,0	-	-	-	-	-
CHAMINÉ 158	574.391,0	8.601.185,0	45,0	0,3	286,0	107,2	-	-	1.498,500	-	1.182,600
CHAMINÉ 159	574.401,0	8.601.200,0	16,0	0,3	287,0	110,0	-	-	-	-	-
CHAMINÉ 160	574.411,0	8.601.215,0	16,0	0,3	301,0	115,4	-	-	0,002	-	0,004
CHAMINÉ 161	574.421,0	8.601.230,0	16,0	0,3	283,0	108,5	-	-	-	-	218,700
CHAMINÉ 162	574.431,0	8.601.245,0	16,0	0,3	313,0	120,0	-	-	-	-	0,015
CHAMINÉ 163	574.441,0	8.601.260,0	20,0	0,6	313,0	5,1	-	-	-	-	290,000
CHAMINÉ 164	574.451,0	8.601.275,0	25,0	0,4	313,0	0,2	-	-	-	-	257,000
CHAMINÉ 165	574.461,0	8.601.290,0	28,7	0,6	313,0	1,7	-	-	-	-	80,000
CHAMINÉ 166	574.501,0	8.601.335,0	29,0	1,0	313,0	23,5	-	-	-	-	46,000
CHAMINÉ 167	546.161,6	8.595.321,3	64,7	2,3	748,0	6,2	11,003	92,497	11,948	125,112	2,327
CHAMINÉ 168	546.363,5	8.595.330,6	61,7	1,5	753,0	6,0	8,035	68,305	8,265	90,161	1,624
CHAMINÉ 169	546.363,8	8.595.310,8	42,6	1,8	726,0	0,8	0,274	0,037	1,551	6,204	0,255
CHAMINÉ 170	546.345,1	8.595.200,5	50,0	1,7	553,0	0,2	4,197	25,983	9,794	60,061	60,860
CHAMINÉ 171	546.211,9	8.595.198,4	21,0	1,5	613,0	4,9	1,139	0,111	6,446	25,781	1,059
CHAMINÉ 172	546.229,4	8.595.213,7	45,0	2,4	590,0	5,5	554,876	182,380	2.419,273	279,816	3,603
CHAMINÉ 173	546.494,4	8.595.343,4	67,0	2,9	623,0	7,4	14,738	115,104	30,300	412,407	3,018
CHAMINÉ 174	546.494,6	8.595.325,4	55,2	2,8	568,0	4,5	11,502	90,790	15,770	138,909	2,948
CHAMINÉ 175	546.569,6	8.595.248,3	25,0	1,1	898,0	4,3	1,140	7,875	2,176	15,271	0,389
CHAMINÉ 176	546.569,6	8.595.237,7	13,0	1,8	823,0	1,1	0,710	4,897	1,354	9,505	0,242
CHAMINÉ 177	546.636,5	8.595.251,3	24,0	2,1	790,0	1,5	1,339	9,194	2,545	17,865	0,455
CHAMINÉ 178	546.636,7	8.595.240,1	24,0	2,6	840,0	1,8	2,388	16,519	4,562	32,002	0,814
CHAMINÉ 179	546.826,9	8.595.247,4	22,5	0,9	913,0	3,8	1,255	10,634	1,318	14,163	0,259
CHAMINÉ 180	546.868,9	8.595.246,5	17,8	0,3	466,0	1,4	0,023	-	0,130	0,521	0,021
CHAMINÉ 181	546.680,3	8.595.019,7	64,0	3,8	503,0	1,6	0,864	0,138	9,221	126,783	0,404
CHAMINÉ 182	541.233,1	8.591.996,9	12,2	0,7	873,0	3,8	1,794	141,308	1,435	19,137	0,299
CHAMINÉ 183	541.169,4	8.591.959,7	16,4	1,1	453,0	1,8	2,067	162,733	1,653	22,040	0,345
CHAMINÉ 184	546.674,9	8.594.972,5	16,0	1,8	967,0	1,0	0,221	0,021	1,247	4,990	0,205
CHAMINÉ 185	546.675,4	8.594.953,5	16,0	1,8	892,0	1,0	0,221	0,021	1,247	4,990	0,205
CHAMINÉ 186	546.674,8	8.594.992,6	40,0	0,9	777,0	2,7	0,163	0,016	0,939	3,696	0,152
CHAMINÉ 187	541.173,6	8.591.911,7	16,4	1,1	453,0	4,4	4,948	389,713	3,958	52,779	0,824
CHAMINÉ 188	546.421,8	8.594.462,8	120,0	2,0	413,0	20,0	-	1.291,982	201,368	906,405	32,978
CHAMINÉ 189	546.086,4	8.595.050,9	60,0	2,3	632,0	6,7	2,331	0,226	13,190	52,760	2,168
CHAMINÉ 190	546.067,9	8.595.052,1	60,0	1,7	639,0	5,7	1,164	0,113	6,555	26,359	1,082

CHAMINÉ 191	546.268,3	8.594.941,6	75,0	4,1	618,0	9,9	35,446	263,497	79,121	982,831	8,513
CHAMINÉ 192	546.325,2	8.594.944,3	75,0	2,0	568,0	25,8	33,335	263,022	45,665	402,368	8,539
CHAMINÉ 193	546.351,1	8.594.793,6	60,0	4,0	473,0	19,9	480,994	7,685	512,734	7.050,144	22,435
CHAMINÉ 194	546.446,6	8.594.762,4	65,0	1,4	709,0	65,5	5,187	0,829	55,389	761,590	2,423
CHAMINÉ 195	546.447,6	8.595.240,4	70,0	2,8	523,0	19,8	17,357	112,706	61,408	840,169	4,338
CHAMINÉ 196	546.479,6	8.595.240,8	70,0	2,8	523,0	19,8	17,357	112,706	61,408	840,169	4,338
CHAMINÉ 197	546.503,7	8.595.241,1	50,0	2,6	523,0	8,5	11,565	84,240	30,636	418,117	2,578
CHAMINÉ 198	547.273,6	8.595.103,8	36,0	0,3	1.040,0	15,0	0,120	-	0,700	2,788	0,120
CHAMINÉ 199	547.270,2	8.595.092,7	36,0	0,2	950,0	15,0	0,070	-	0,380	1,509	0,066
CHAMINÉ 200	547.267,0	8.595.081,5	39,2	0,6	666,0	15,0	2,863	22,715	3,852	34,387	0,720
CHAMINÉ 201	542.229,6	8.592.248,5	80,0	0,6	754,0	15,0	0,035	-	0,200	0,799	0,033
CHAMINÉ 202	542.229,6	8.592.248,5	80,0	0,3	754,0	15,0	0,035	-	0,200	0,799	0,033
CHAMINÉ 203	547.519,0	8.595.950,3	15,0	0,8	383,0	7,1	31,080	1,919	-	-	1,339
CHAMINÉ 204	546.461,5	8.595.090,2	25,0	2,3	429,0	33,7	2,099	0,335	22,355	307,328	0,979
CHAMINÉ 205	546.680,3	8.595.019,7	15,0	0,3	323,0	15,0	-	-	-	-	0,200
<b>TOTAL</b>							<b>3.745,4</b>	<b>18.867,5</b>	<b>25.151,2</b>	<b>25.794,2</b>	<b>12.382,2</b>

### 9.3. Inventário detalhado das fontes evaportativas

FONTE DE EMISSÃO	COORDENADAS		ALTURA	ÁREA	TAXA DE EMISSÃO (t/ano)
	X	Y	m	m <sup>2</sup>	VOCS
TQ-01	574.387,0	8.598.590,0	7,3	6,4	5,793
TQ-02	574.350,0	8.598.590,0	7,3	6,4	5,793
TQ-03	574.425,0	8.598.580,0	14,5	18,8	51,418
TQ-04	574.400,0	8.598.580,0	14,5	18,8	15,998
TQ-05	574.798,5	8.598.510,3	9,6	8,2	4,270
TQ-06	574.795,7	8.598.496,4	7,5	6,6	0,340
TQ-07	574.773,4	8.598.548,9	14,4	9,9	0,280
TQ-08	574.792,8	8.598.482,0	9,6	9,0	1,330
TQ-09	574.815,5	8.598.563,9	7,5	6,6	0,140
TQ-10	574.817,8	8.598.575,3	7,5	6,6	3,330
TQ-11	574.820,1	8.598.586,7	9,0	8,9	2,660
TQ-12	574.813,6	8.598.553,9	7,5	5,0	0,008
TQ-13	574.790,2	8.598.546,5	8,9	8,9	1,080
TQ-14	572.526,0	8.600.927,0	12,0	7,5	0,412
TQ-15	572.536,0	8.600.937,0	6,0	6,7	0,048
TQ-16	572.546,0	8.600.947,0	6,0	6,7	0,048
TQ-17	572.760,0	8.603.850,0	6,6	2,4	0,182
TQ-18	572.770,0	8.603.850,0	10,2	2,4	0,331
TQ-19	572.780,0	8.603.850,0	10,2	2,4	0,187
TQ-20	572.790,0	8.603.850,0	6,4	2,4	0,454
TQ-21	572.800,0	8.603.850,0	6,4	2,4	0,325
TQ-22	572.760,0	8.603.870,0	6,4	2,4	0,200
TQ-23	572.770,0	8.603.870,0	6,4	2,0	0,313
TQ-24	572.780,0	8.603.870,0	6,4	2,0	0,222
TQ-25	572.790,0	8.603.870,0	6,4	2,4	0,102
TQ-26	572.800,0	8.603.870,0	10,2	2,4	0,040
TQ-27	573.300,0	8.599.190,0	12,0	13,7	0,670
TQ-28	573.330,0	8.599.190,0	4,0	2,4	0,108
TQ-29	573.360,0	8.599.190,0	4,0	2,4	0,108
TQ-30	573.390,0	8.599.190,0	4,1	2,5	0,166
TQ-31	573.300,0	8.599.220,0	8,8	13,7	0,155
TQ-32	573.330,0	8.599.220,0	5,5	5,0	0,078
TQ-33	573.360,0	8.599.220,0	5,5	5,0	0,078
TQ-34	573.390,0	8.599.220,0	4,6	3,0	0,272
TQ-35	573.300,0	8.599.250,0	4,6	3,0	0,272
TQ-36	573.330,0	8.599.250,0	7,3	3,0	0,137
TQ-37	573.360,0	8.599.250,0	4,0	3,2	0,177
TQ-38	573.390,0	8.599.250,0	4,0	3,2	0,175
TQ-39	573.471,9	8.600.770,9	12,2	14,8	19,154
TQ-40	573.427,9	8.600.794,6	12,2	16,0	27,288
TQ-41	573.418,7	8.600.856,0	12,2	18,3	36,444
TQ-42	573.414,9	8.600.880,7	12,2	18,3	11,099
TQ-43	573.467,5	8.600.800,6	16,7	16,5	497,000
TQ-44	573.464,8	8.600.818,4	16,7	16,5	508,400
TQ-45	573.460,3	8.600.848,1	12,2	24,4	92,048
TQ-46	573.455,4	8.600.880,7	12,2	24,4	4,193
TQ-47	573.416,9	8.600.827,4	12,2	24,4	7,600
TQ-48	573.422,5	8.600.763,5	12,2	16,0	17,638
TQ-49	573.432,4	8.600.765,0	12,2	16,0	23,393
TQ-50	573.347,4	8.600.536,8	14,6	48,8	49,759
TQ-51	573.263,4	8.600.524,1	14,6	48,8	183,633

TQ-52	573.302,4	8.600.654,4	12,2	24,4	156,629
TQ-53	573.291,4	8.600.600,1	12,2	20,4	18,500
TQ-54	573.252,1	8.600.599,3	12,2	42,7	280,699
TQ-55	573.363,6	8.600.611,0	12,2	16,8	10,300
TQ-56	573.329,9	8.600.605,9	12,2	19,3	29,499
TQ-57	573.355,8	8.600.662,4	12,2	27,4	11,264
TQ-58	574.127,2	8.600.543,0	14,7	19,7	75,215
TQ-59	574.114,3	8.600.736,3	12,2	12,8	4,270
TQ-60	574.096,4	8.600.720,4	12,2	12,8	25,382
TQ-61	574.093,9	8.600.703,9	12,2	7,3	19,928
TQ-62	574.104,7	8.600.705,5	12,2	7,3	19,947
TQ-63	574.085,4	8.600.760,2	7,5	6,5	28,370
TQ-64	574.096,3	8.600.761,9	7,5	6,5	28,737
TQ-65	574.110,1	8.600.764,0	7,5	6,5	28,308
TQ-66	574.112,1	8.600.764,3	7,5	6,5	28,701
TQ-67	574.301,5	8.600.668,4	14,6	26,9	49,609
TQ-68	574.293,7	8.600.719,8	14,6	26,9	5,401
TQ-69	574.122,4	8.600.574,7	12,2	20,4	34,084
TQ-70	574.296,5	8.600.768,8	14,6	24,4	105,317
TQ-71	574.311,3	8.600.603,1	12,2	19,3	20,413
TQ-72	573.917,3	8.600.855,3	12,2	27,4	26,400
TQ-73	573.942,5	8.600.822,6	12,2	10,7	11,871
TQ-74	573.971,7	8.600.863,4	12,2	24,4	18,479
TQ-75	573.922,7	8.600.819,7	12,2	15,2	4,607
TQ-76	573.958,3	8.600.825,0	12,2	10,7	3,576
TQ-77	573.110,3	8.601.116,9	12,2	37,9	510,124
TQ-78	573.097,2	8.601.002,7	12,2	19,8	1,243
TQ-79	573.090,1	8.601.050,2	12,2	14,4	1,437
TQ-80	573.147,4	8.601.058,8	12,2	14,4	0,876
TQ-81	573.120,9	8.601.234,8	10,5	19,0	24,640
TQ-82	573.063,5	8.601.226,2	10,5	19,0	24,222
TQ-83	573.151,6	8.601.031,1	12,2	11,4	1,071
TQ-84	573.154,6	8.601.011,3	12,2	19,8	5,011
TQ-85	573.094,2	8.601.022,5	12,2	19,3	22,835
TQ-86	574.820,0	8.599.520,0	4,4	5,5	4,440
TQ-87	574.830,0	8.599.530,0	10,1	11,3	1,490
TQ-88	574.308,1	8.599.292,2	9,7	0,2	4,370
TQ-89	574.311,1	8.599.304,3	9,7	0,2	4,370
TQ-90	574.221,3	8.599.285,5	5,7	0,2	2,970
TQ-91	574.242,4	8.599.324,5	6,0	0,2	0,740
TQ-92	574.223,6	8.599.237,1	6,0	0,2	2,620
TQ-93	574.336,8	8.599.214,1	6,0	0,2	0,700
TQ-94	574.288,2	8.599.330,1	7,3	0,2	1,470
TQ-95	574.288,2	8.599.330,1	7,3	0,2	1,470
TQ-96	574.243,9	8.599.262,2	6,0	0,2	1,050
TQ-97	574.252,2	8.599.262,6	6,0	0,2	0,690
TQ-98	574.255,6	8.599.252,6	6,0	0,2	0,690
TQ-99	574.246,6	8.599.247,0	6,0	0,2	0,690
TQ-100	574.295,1	8.599.227,5	6,0	0,2	0,440
TQ-101	574.245,1	8.599.226,2	6,0	0,2	0,160
TQ-102	574.197,1	8.599.423,9	13,0	0,2	0,800
TQ-103	574.226,4	8.599.409,0	13,0	0,2	0,800
TQ-104	574.303,9	8.599.369,8	12,8	0,2	3,060
TQ-105	574.250,7	8.599.396,7	18,0	0,2	2,390
TQ-106	574.280,3	8.599.387,6	12,6	0,2	5,640
TQ-107	574.051,6	8.599.497,4	12,6	0,2	5,170

TQ-108	574.270,0	8.599.377,2	10,0	0,2	5,170
TQ-109	574.333,9	8.599.379,8	10,0	0,2	0,020
TQ-110	574.570,0	8.600.500,0	2,9	1,6	0,042
TQ-111	574.590,0	8.600.500,0	2,1	1,2	0,000
TQ-112	574.550,0	8.600.500,0	1,9	1,2	0,001
TQ-113	574.530,0	8.600.500,0	6,3	3,7	0,037
TQ-114	574.510,0	8.600.500,0	6,3	3,7	0,037
TQ-115	574.570,0	8.600.600,0	4,9	4,7	0,040
TQ-116	574.590,0	8.600.600,0	4,9	4,7	0,040
TQ-117	574.550,0	8.600.600,0	4,9	4,7	0,040
TQ-118	574.530,0	8.600.600,0	7,5	5,6	0,006
TQ-119	574.510,0	8.600.600,0	4,6	1,9	0,006
TQ-120	574.500,0	8.600.600,0	7,0	14,0	0,250
TQ-121	574.510,0	8.600.600,0	19,70	13,78	4,750
TQ-122	574.510,0	8.600.610,0	31,50	28,22	23,300
TQ-123	574.520,0	8.600.610,0	12,14	12,80	26,950
TQ-124	574.510,0	8.600.620,0	31,50	28,22	7,380
TQ-125	574.626,00	8.600.042,00	5,84	4,78	0,010
TQ-126	574.646,00	8.600.042,00	10,60	8,15	6,200
TQ-127	574.666,00	8.600.042,00	15,60	13,40	15,500
TQ-128	574.686,00	8.600.042,00	7,40	5,74	0,036
TQ-129	574.626,00	8.599.980,00	14,30	11,50	1,300
TQ-130	574.646,00	8.599.980,00	5,40	3,80	0,003
TQ-131	574.656,00	8.599.980,00	5,35	4,30	0,220
TQ-132	572.617,00	8.601.095,00	9,23	8,60	0,283
TQ-133	572.635,00	8.601.095,00	9,23	8,60	0,283
TQ-134	572.820,00	8.600.930,00	9,15	4,00	0,283
TQ-135	572.830,00	8.600.930,00	47,70	93,05	3,160
TQ-136	572.820,00	8.600.940,00	47,70	93,05	3,160
TQ-137	574.419,60	8.601.379,13	30,00	20,00	4,200
TQ-138	574.419,60	8.601.379,13	30,00	20,00	8,030
TQ-139	573.727,00	8.601.260,00	6,00	5,00	1,287
TQ-140	573.727,00	8.601.270,00	6,00	5,00	1,287
TQ-141	573.727,00	8.601.280,00	3,00	3,30	0,550
TQ-142	573.777,00	8.601.260,00	4,80	3,82	0,641
TQ-143	573.777,00	8.601.270,00	9,75	7,64	0,297
TQ-144	573.777,00	8.601.280,00	9,75	5,73	2,616
TQ-145	575.527,00	8.601.004,00	5,30	5,20	0,398
TQ-146	575.603,00	8.600.911,00	4,20	3,10	0,025
TQ-147	575.517,00	8.601.004,00	8,05	7,35	3,547
TQ-148	574.515,00	8.600.634,00	4,80	2,85	0,942
TQ-149	574.450,00	8.600.480,00	9,75	10,67	5,760
TQ-150	574.430,00	8.600.480,00	9,75	10,67	9,420
TQ-151	574.410,00	8.600.480,00	4,60	3,75	0,020
TQ-152	574.450,00	8.600.450,00	6,09	4,57	12,560
TQ-153	574.430,00	8.600.450,00	9,99	22,00	0,030
TQ-154	573.600,00	8.603.256,00	4,57	3,60	0,189
TQ-155	573.600,00	8.603.260,00	22,40	3,60	3,357
TQ-156	573.600,00	8.603.270,00	2,50	3,60	0,375
TQ-157	573.600,00	8.603.270,00	1,98	3,60	0,047
TQ-158	573.600,00	8.603.290,00	4,57	3,60	0,110
TQ-159	573.610,00	8.603.256,00	10,45	3,60	0,346
TQ-160	573.620,00	8.603.256,00	7,63	3,17	0,958
TQ-161	573.620,00	8.603.256,00	8,00	3,17	0,039
TQ-162	573.640,00	8.603.256,00	4,80	2,77	0,058
TQ-163	573.650,00	8.603.256,00	4,80	2,7	0,058

TQ-164	573.660,00	8.603.256,00	4,80	2,70	0,008
TQ-165	573.700,00	8.603.256,00	7,55	2,78	0,086
TQ-166	573.670,00	8.603.256,00	4,68	3,26	0,079
TQ-167	574.541,00	8.601.380,00	11,00	11,00	32,974
TQ-168	574.581,00	8.601.425,00	11,00	11,00	8,158
TQ-169	574.621,00	8.601.470,00	11,00	11,00	3,725
TQ-170	574.661,00	8.601.515,00	11,00	11,00	3,923
TQ-171	574.701,00	8.601.560,00	11,00	11,00	3,725
TQ-172	574.741,00	8.601.605,00	10,50	18,30	20,124
TQ-173	574.781,00	8.601.650,00	6,10	3,60	0,003
TQ-174	574.821,00	8.601.695,00	10,50	15,00	48,367
TQ-175	541.060,55	8.591.287,00	2,00	336,23	3.153,600
TOTAL					6.688,962

## 9.4. Inventário Detalhado das fontes fugitivas

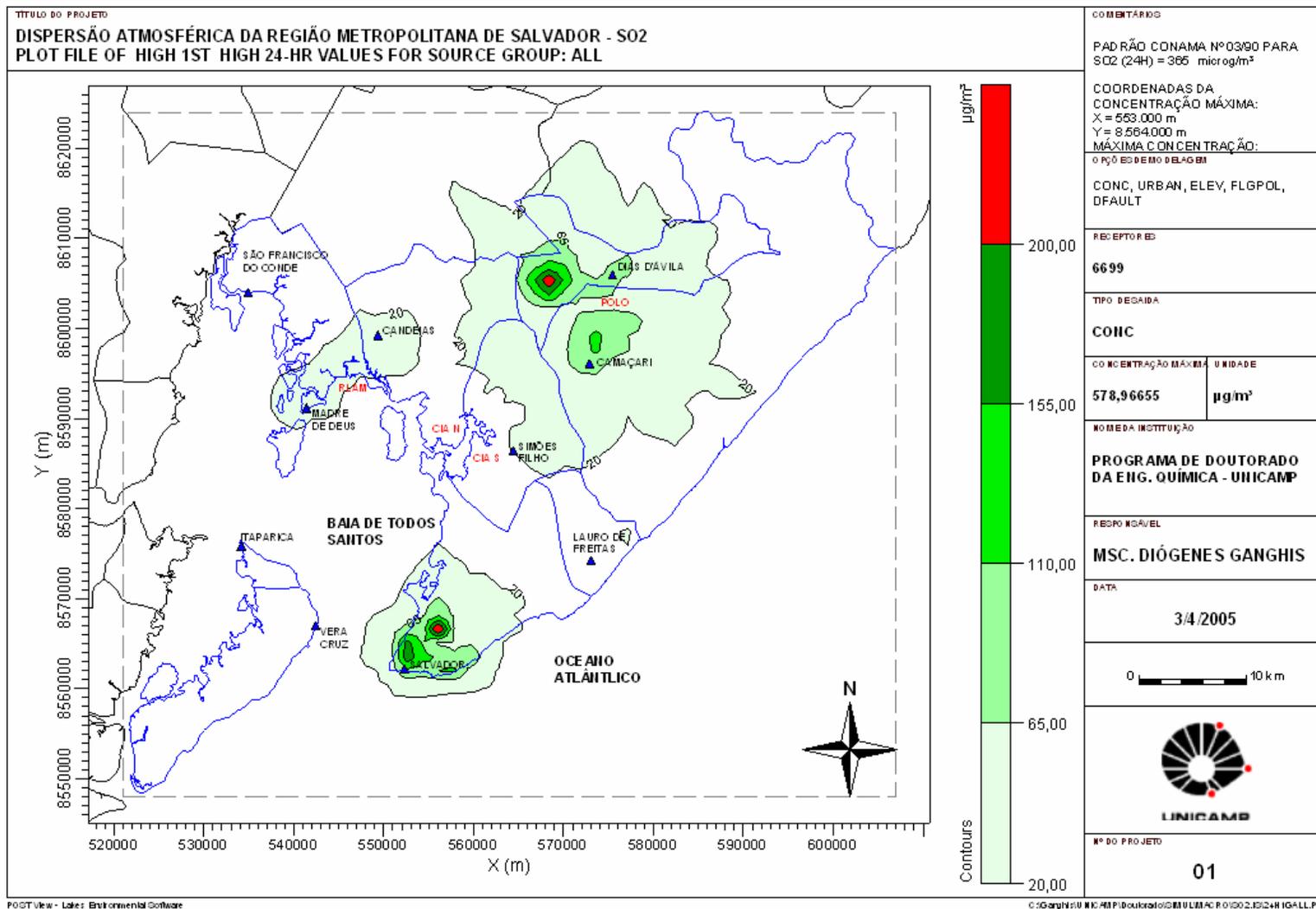
FONTE DE EMISSÃO	COORDENADAS		ALTURA	ÁREA	TAXA DE EMISSÃO (t/ano)
	X	Y	m	m <sup>2</sup>	VOCS
FUGITIVA 1	574.220,0	8.598.520,0	1,5	50.000,0	31,144
FUGITIVA 2	574.832,3	8.598.456,3	1,0	1.120,0	15,274
FUGITIVA 3	574.755,3	8.598.581,5	2,0	1.600,0	3,364
FUGITIVA 4	574.778,8	8.598.514,2	5,0	5,0	0,950
FUGITIVA 5	573.469,9	8.598.398,4	2,0	1.000,0	0,267
FUGITIVA 6	575.000,0	8.600.890,0	2,0	630,0	35,387
FUGITIVA 7	576.580,1	8.599.985,5			2,050
FUGITIVA 8	584.750,0	8.597.500,0	-	7.020,0	29,660
FUGITIVA 9	584.806,5	8.597.348,9	-	7.920,0	27,770
FUGITIVA 10	574.471,3	8.597.614,0	-	13.490,0	37,870
FUGITIVA 11	573.650,0	8.599.250,0	0,5	53.250,0	12,435
FUGITIVA 12	573.150,0	8.599.150,0	0,5	100.000,0	304,400
FUGITIVA 13	573.459,6	8.600.550,7	1,5	4.085,0	842,200
FUGITIVA 14	574.003,5	8.600.632,6	1,5	2.238,8	853,500
FUGITIVA 15	573.658,5	8.600.579,6	1,5	4.429,0	870,300
FUGITIVA 16	573.836,4	8.600.607,4	1,5	5.074,5	708,200
FUGITIVA 17	574.186,1	8.600.830,0	2,0	20,0	281,320
FUGITIVA 18	572.820,0	8.599.760,0	1,0	25.000,0	1,100
FUGITIVA 19	572.970,0	8.599.930,0	10,0	8,0	2,200
FUGITIVA 20	574.540,0	8.599.450,0	1,0	25.000,0	2,982
FUGITIVA 21	575.025,0	8.600.500,0	1,0	14.000,0	2,970
FUGITIVA 22	574.308,1	8.599.292,2	1,0	30.000,0	0,010
FUGITIVA 23	574.016,6	8.599.460,4	3,0	1,0	0,100
FUGITIVA 24	574.016,0	8.599.457,8	3,0	1,0	3,000
FUGITIVA 25	572.850,0	8.599.630,0	1,0	25.000,0	5,870
FUGITIVA 26	572.960,0	8.599.900,0	10,0	8,0	31,500
FUGITIVA 27	573.923,8	8.602.369,1	5,0	9.501,0	1,899
FUGITIVA 28	573.954,0	8.602.302,9	5,0	6.550,0	3,779
FUGITIVA 30	574.686,0	8.599.980,0	3,8	4,8	1,730
FUGITIVA 31	572.715,0	8.600.932,0	1,5	4.350,0	0,562
FUGITIVA 32	572.732,0	8.597.932,0	1,5	4.050,0	0,120
FUGITIVA 33	572.708,0	8.601.004,0	1,5	4.350,0	0,007
FUGITIVA 34	572.651,0	8.600.892,0	1,5	900,0	0,017
FUGITIVA 35	572.697,0	8.600.889,0	1,5	1.625,0	0,008
FUGITIVA 36	572.740,0	8.601.055,0	1,5	600,0	2,247
FUGITIVA 37	572.815,0	8.600.899,0	1,5	1.000,0	0,006
FUGITIVA 38	572.703,0	8.601.113,0	1,5	3.000,0	11,949
FUGITIVA 39	572.631,0	8.601.079,0	1,5	5.250,0	11,651
FUGITIVA 40	574.419,6	8.601.379,1	1,5	3.000,0	171,086
FUGITIVA 41	574.438,0	8.599.115,0	1,0	4.949,0	171,784
FUGITIVA 42	574.551,0	8.599.083,0	1,0	102,0	9,963
FUGITIVA 43	574.509,0	8.599.070,0	10,0	8,0	1,525
FUGITIVA 44	574.305,0	8.600.904,0	1,5	34.200,0	62,988
FUGITIVA 45	573.880,0	8.601.176,0	1,5	22.960,0	152,830
FUGITIVA 46	574.986,0	8.601.176,0	1,5	22.960,0	80,783
FUGITIVA 47	573.780,0	8.601.177,0	1,5	22.960,0	13,124
FUGITIVA 48	575.557,0	8.601.014,0	10,0	3.000,0	26,600
FUGITIVA 49	575.595,0	8.601.015,0	10,0	3.150,0	18,900
FUGITIVA 50	575.566,0	8.601.126,0	10,0	3.600,0	22,400
FUGITIVA 51	575.623,0	8.600.901,0	12,5	2.200,0	15,700
FUGITIVA 52	575.374,0	8.601.131,0	1,0	7.135,0	6,000
FUGITIVA 53	574.535,0	8.600.674,0	2,0	9.000,0	21,200
FUGITIVA 54	546.410,0	8.595.075,0	2,0	700,0	11.668,320
<b>TOTAL</b>					<b>16.583,001</b>

## 9.5. Detalhes dos custos

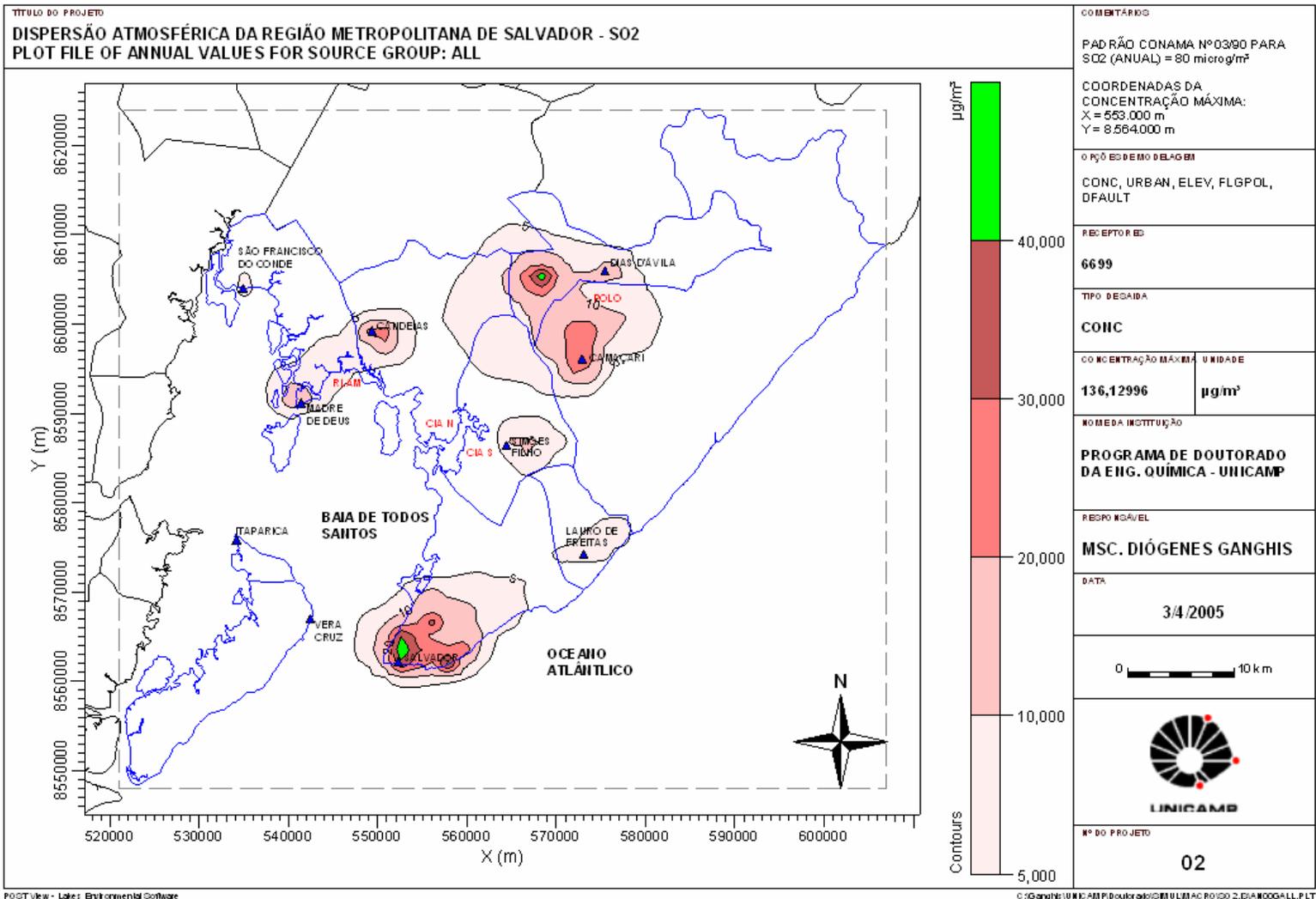
Item	Equipamento	Unid.	Quant.	Valor unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
<b>1</b>	<b>Analísadores Contínuos</b>				<b>\$ 2.503.239,00</b>
1.1	Analísador de SO2	und	4	73.598,00	\$ 294.392,00
1.2	Analísador de CO	und	11	65.470,00	\$ 720.170,00
1.3	Analísador de NOx	und	11	79.478,00	\$ 874.258,00
1.4	Analísador de O3	und	4	54.272,00	\$ 217.088,00
1.5	Analísador de MP10	und	11	36.121,00	\$ 397.331,00
<b>2</b>	<b>Consumíveis (Kits anuais) Analísadores</b>				<b>\$ 105.831,00</b>
2.1	Analísador de SO2	und	4	2.689,00	\$ 10.756,00
2.2	Analísador de CO	und	11	2.378,00	\$ 26.158,00
2.3	Analísador de NOx	und	11	3.517,00	\$ 38.687,00
2.4	Analísador de O3	und	4	2.591,00	\$ 10.364,00
2.5	Analísador de MP10	und	11	1.806,00	\$ 19.866,00
<b>3</b>	<b>Peças Sobressalentes</b>				<b>\$ 139.917,00</b>
3.1	Analísador de SO2	und	4	3.259,00	\$ 13.036,00
3.2	Analísador de CO	und	11	3.024,00	\$ 33.264,00
3.3	Analísador de NOx	und	11	2.720,00	\$ 29.920,00
3.4	Analísador de O3	und	4	2.864,00	\$ 11.456,00
3.5	Analísador de MP10	und	11	2.709,00	\$ 29.799,00
3.6	Multi Calibrador Fixo (MGC)+ZAG	und	2	11.221,00	\$ 22.442,00
<b>4</b>	<b>Sensores Meteorológicos</b>				<b>\$ 240.537,00</b>
4.1	Sensor de velocidade do vento	und	11	2.942,00	\$ 32.362,00
4.2	Sensor de direção do vento	und	11	4.490,00	\$ 49.390,00
4.3	Sensor de temperatura/umidade	und	11	4.361,00	\$ 47.971,00
4.4	Sensor de pressão atmosférica	und	11	2.426,00	\$ 26.686,00
4.5	Sensor de radiação solar	und	11	4.490,00	\$ 49.390,00
4.6	Sensor de chuva	und	11	3.158,00	\$ 34.738,00
<b>5</b>	<b>Peças sobressalentes Meteorológicos</b>				<b>\$ 219.571,00</b>
5.1	Sensor de velocidade do vento	und	11	2.871,00	\$ 31.581,00
5.2	Sensor de direção do vento	und	11	10.344,00	\$ 113.784,00
5.3	Sensor de temperatura/umidade	und	11	2.226,00	\$ 24.486,00
5.4	Sensor de pressão atmosférica	und	11	2.226,00	\$ 24.486,00
5.5	Sensor de radiação solar	und	11	2.226,00	\$ 24.486,00
5.6	Sensor de chuva	und	11	68,00	\$ 748,00
<b>6</b>	<b>Acessórios</b>				<b>\$ 2.343.283,00</b>
6.1	Manifolds	und	11	20.626,00	\$ 226.886,00
6.2	Multi Calibrador Fixo (MGC)+ZAG	und	2	169.995,00	\$ 339.990,00
6.3	Container metálico	und	11	92.469,00	\$ 1.017.159,00
6.5	Rack 19" + acessórios	und	11	1.084,00	\$ 11.924,00
6.6	Transdutor de sinais (Translator)	und	11	2.580,00	\$ 28.380,00
6.7	Ar condicionado 11.000BTUs	und	22	2.709,00	\$ 59.598,00
6.8	Painel de automação e controle de ar condic.	und	11	18.060,00	\$ 198.660,00
6.9	No Break - 3,7 KVA	und	13	16.254,00	\$ 211.302,00
6.10	Pintura dos Containers	und	11	9.030,00	\$ 99.330,00
6.11	Ferramentas	und	2	7.224,00	\$ 14.448,00
6.12	Telemetria	und	3	30.966,00	\$ 92.898,00
6.13	Bancada de manutenção	und	2	9.030,00	\$ 18.060,00
6.14	Aparelho de Telefone	und	13	90,00	\$ 1.170,00
6.15	Móveis	und	13	1.806,00	\$ 23.478,00
<b>7</b>	<b>Sistema de Gestão de Dados</b>				<b>\$ 468.986,00</b>
7.1	Computador Industrial Advantech	und	13	21.684,00	\$ 281.892,00
7.2	Notebook	und	1	12.642,00	\$ 12.642,00

7.3	Licenças dos Softwares (Envidas+Scanair)	und	2	70.453,00	\$ 140.906,00
7.4	AerMod / CallPuff	und	1	33.546,00	\$ 33.546,00
<b>8</b>	<b>Projeto do LayOut</b>				<b>\$ 41.538,00</b>
8.1	Desenhos das Estações	und	1	1.806,00	\$ 1.806,00
8.2	LayOut/Pintura	und	11	3.612,00	\$ 39.732,00
<b>9</b>	<b>Instalação</b>				<b>\$ 496.650,00</b>
9.1	Obra Civil	und	11	18.060,00	\$ 198.660,00
9.2	Instalação Elétrica	und	11	27.090,00	\$ 297.990,00
<b>10</b>	<b>Treinamento</b>				<b>\$ 93.912,00</b>
10.1	Viagem França	und	4	16.254,00	\$ 65.016,00
10.2	Hospedagem	und	4	5.418,00	\$ 21.672,00
10.3	Curso	und	4	1.806,00	\$ 7.224,00
<b>11</b>	<b>Operação e Manutenção - MÃO DE OBRA</b>				<b>\$ 429.000,00</b>
11.1	Eng. Pleno - Coordenador	HH	264	81,00	\$ 21.384,00
11.2	Eng. Junior - Operação	HH	2112	63,00	\$ 133.056,00
11.3	Técnico Operacional	HH	2112	54,00	\$ 114.048,00
11.4	Instrumentista	HH	2112	45,00	\$ 95.040,00
11.5	Auxiliar	HH	2112	31,00	\$ 65.472,00
<b>12</b>	<b>Operação e Manutenção - Diversos</b>				<b>\$ 184.753,00</b>
12.1	Alimentação	dia	1656	36,00	\$ 59.616,00
12.3	Material de Consumo	verba	1	18.060,00	\$ 18.060,00
12.4	Carro/Licenciamento/Seguro	Leasing	1	83.077,00	\$ 83.077,00
12.5	Combustível	L	4800	5,00	\$ 24.000,00
<b>13</b>	<b>Operação e Manutenção - Consultoria</b>				<b>\$ 72.241,00</b>
13.1	Educação Ambiental	verba	1	18.060,00	\$ 18.060,00
13.2	Consultoria - Meteorologista	verba	1	36.121,00	\$ 36.121,00
13.3	Consultoria - TI	verba	1	18.060,00	\$ 18.060,00
<b>14</b>	<b>Operação e Manutenção - Consumo</b>				<b>\$ 1.396.785,00</b>
14.1	Gases de Calibração	ano	1	146.289,00	\$ 146.289,00
14.2	Telefone (26 linhas + 2 Celulares)	mês	12	4.876,00	\$ 58.512,00
14.3	Energia	mês	12	9.030,00	\$ 108.360,00
14.4	Segurança	mês	12	90.302,00	\$ 1.083.624,00
<b>15</b>	<b>Instalação &amp; Partida - Mão de Obra</b>				<b>\$ 105.336,00</b>
15.1	Eng. Pleno - Coordenador	HH	264	81,00	\$ 21.384,00
15.2	Eng. Junior - Operação	HH	440	63,00	\$ 27.720,00
15.3	Técnico Operacional	HH	440	54,00	\$ 23.760,00
15.4	Instrumentista	HH	440	45,00	\$ 19.800,00
15.5	Eletricista	HH	352	36,00	\$ 12.672,00
<b>16</b>	<b>Instalação &amp; Partida - Diversos</b>				<b>\$ 81.662,00</b>
16.1	Alimentação	dia	300	36,00	\$ 10.800,00
16.2	Material diverso	verba	1	9.030,00	\$ 9.030,00
16.3	Carro Utilitário	mês	3	4.334,00	\$ 13.002,00
16.4	Combustível	L	2000	5,00	\$ 10.000,00
16.5	Celular	mês	3	903,00	\$ 2.709,00
16.6	Visita do Fabricante	und	1	36.121,00	\$ 36.121,00

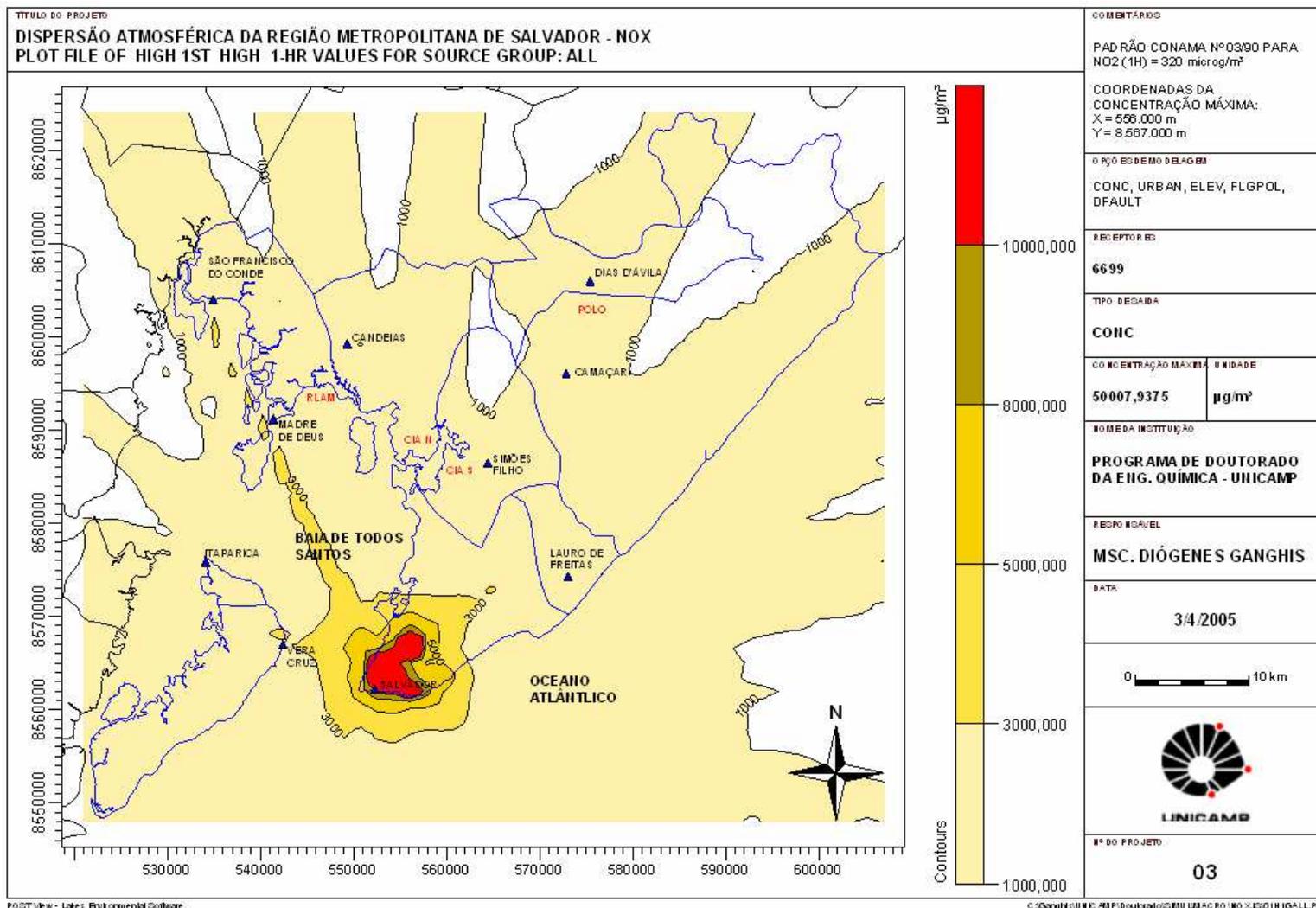
## **9.6. Resultados da simulação – Plumas da Concentração de Poluentes**



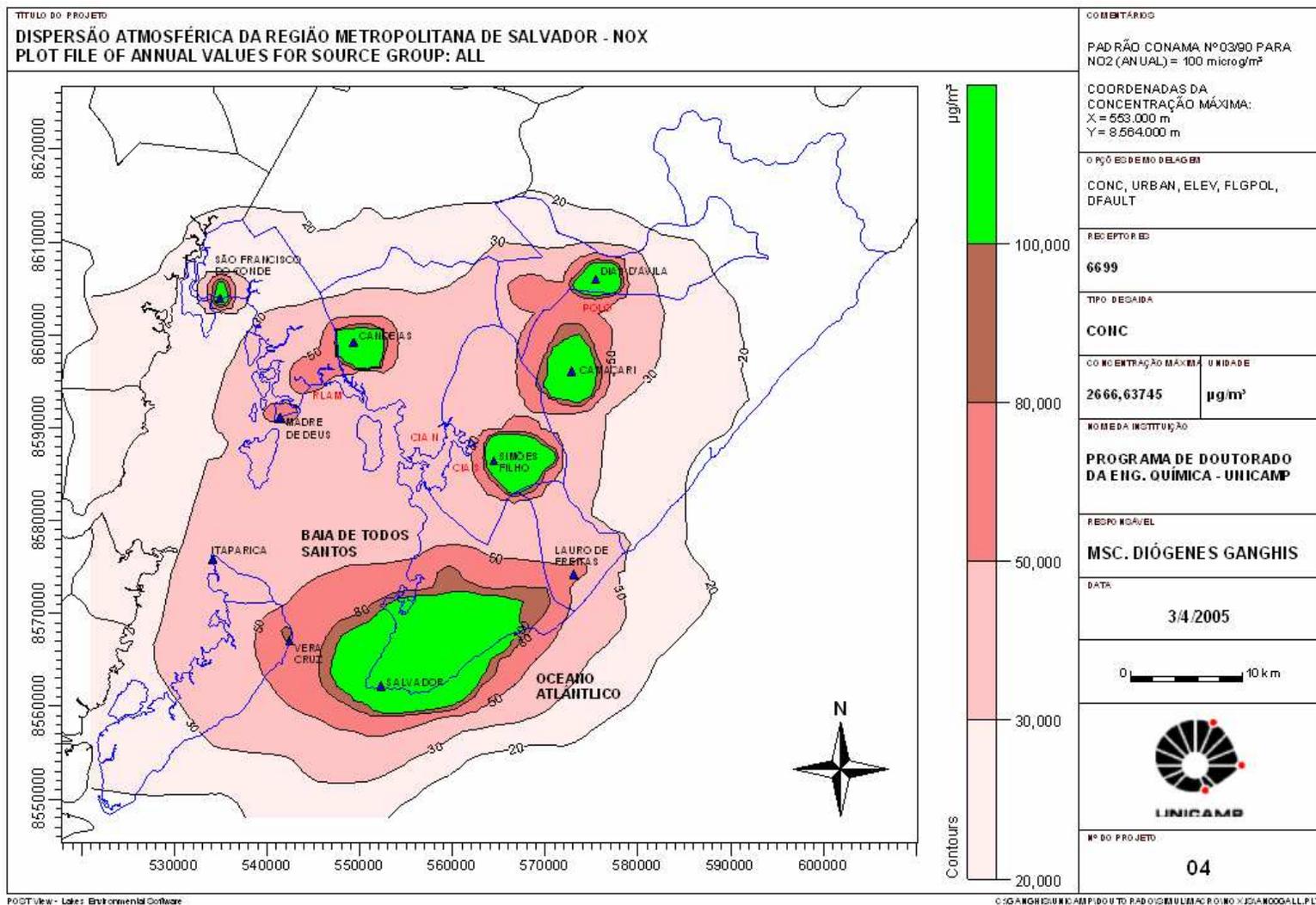
**Figura 47 – Comportamento da média 24h de de SO<sub>2</sub>.**



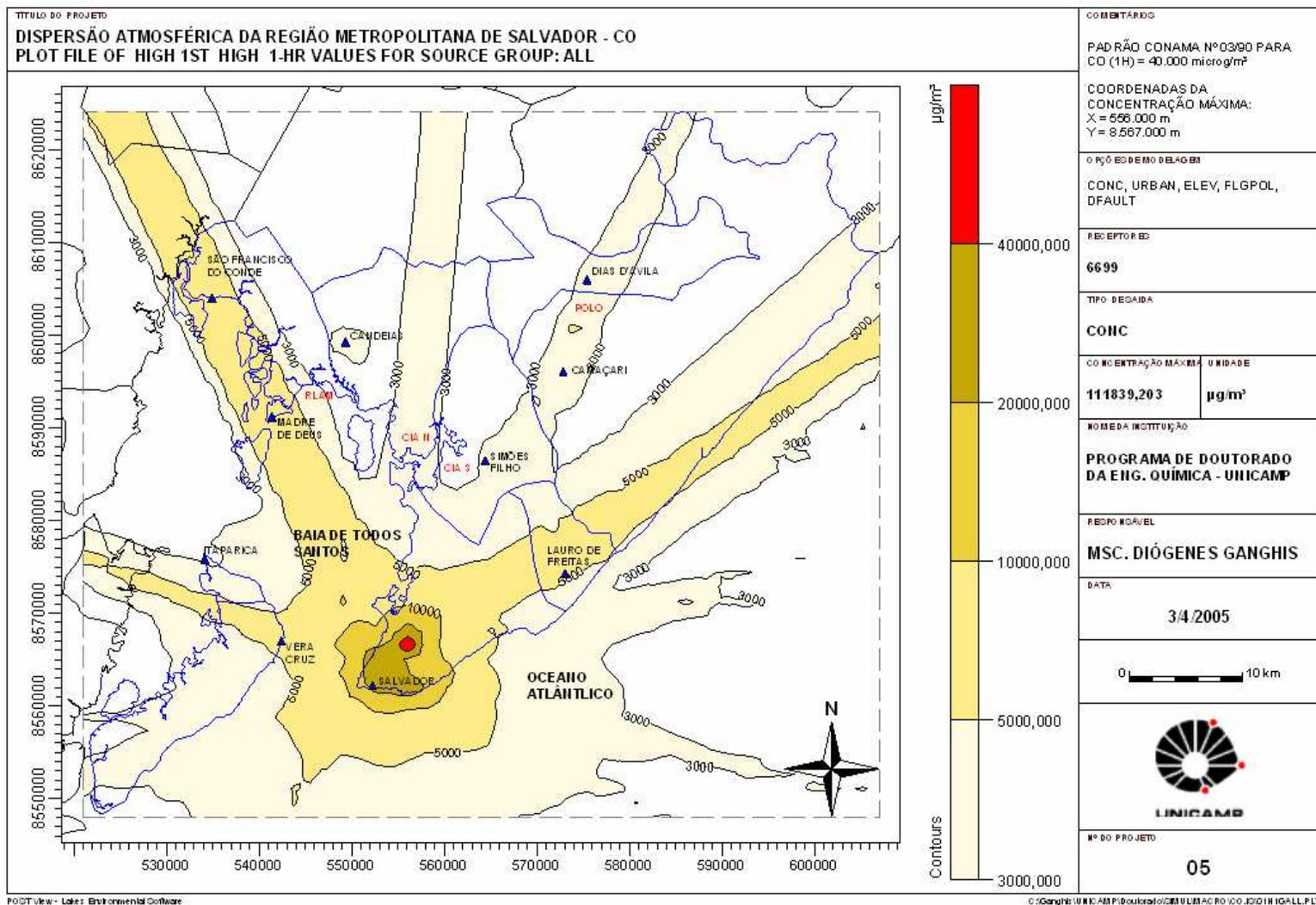
**Figura 48 – Comportamento da média anual de SO<sub>2</sub>.**



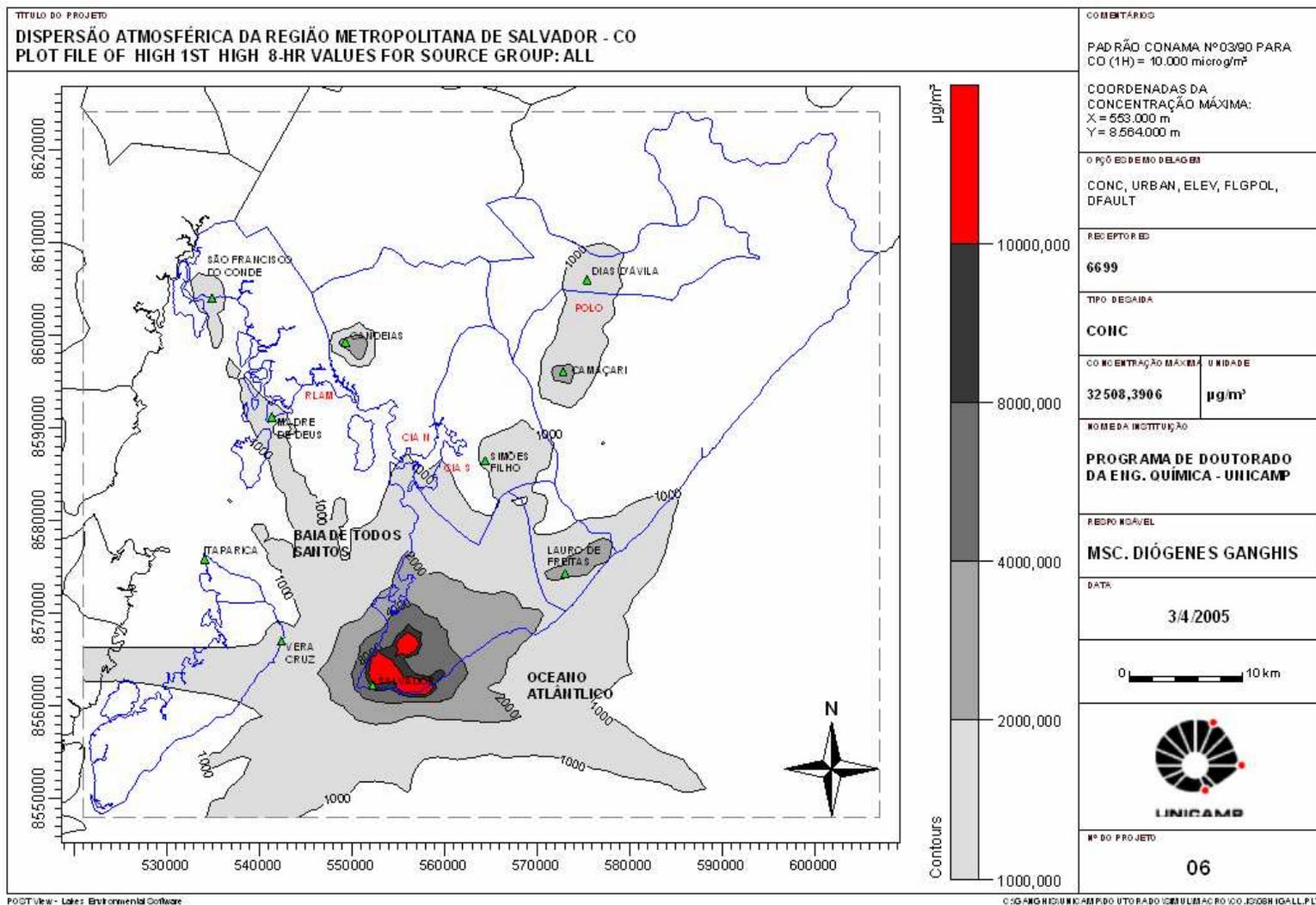
**Figura 49 – Comportamento da média 1h NO<sub>x</sub>.**



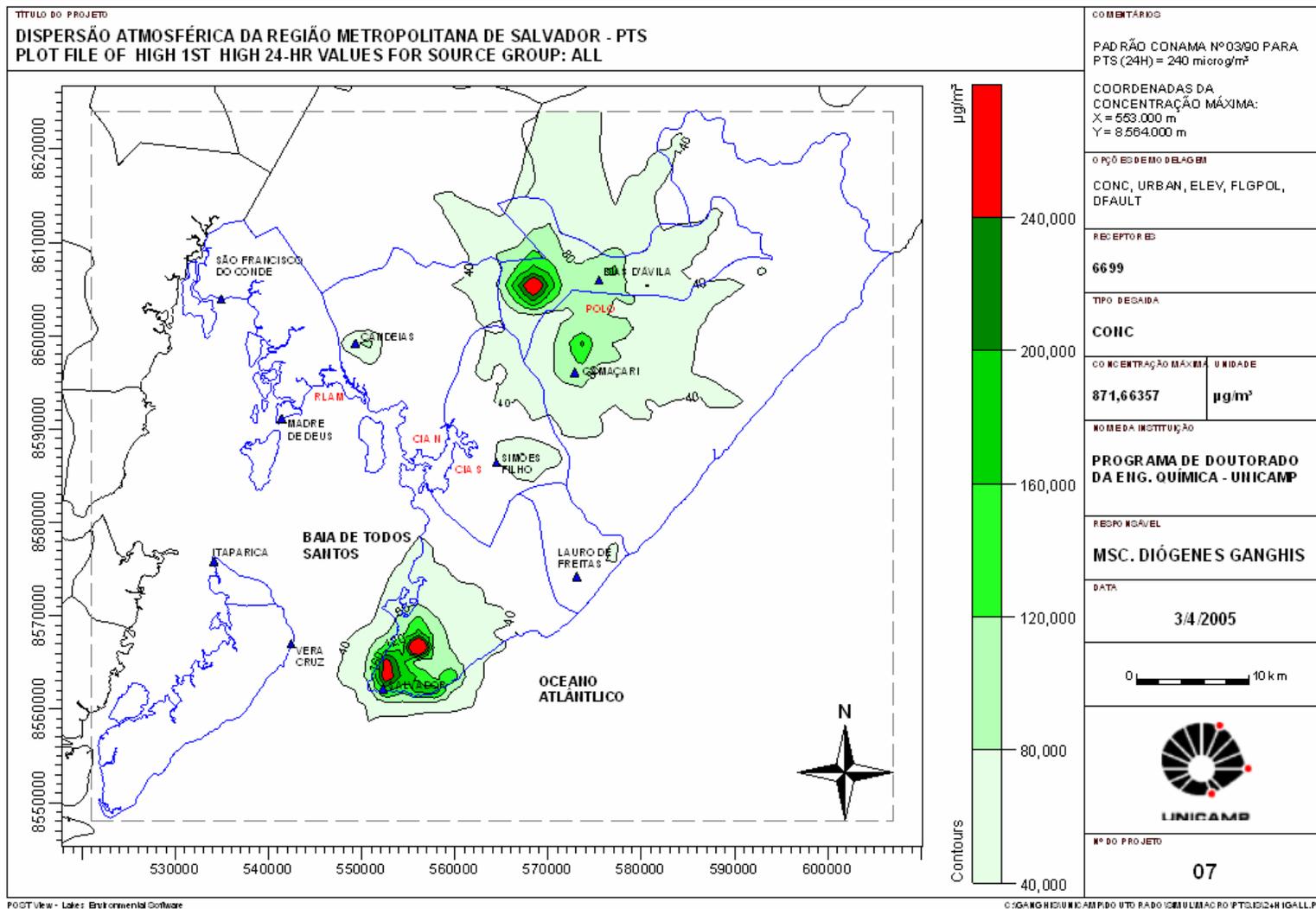
**Figura 50 – Comportamento da média anual NO<sub>x</sub>.**



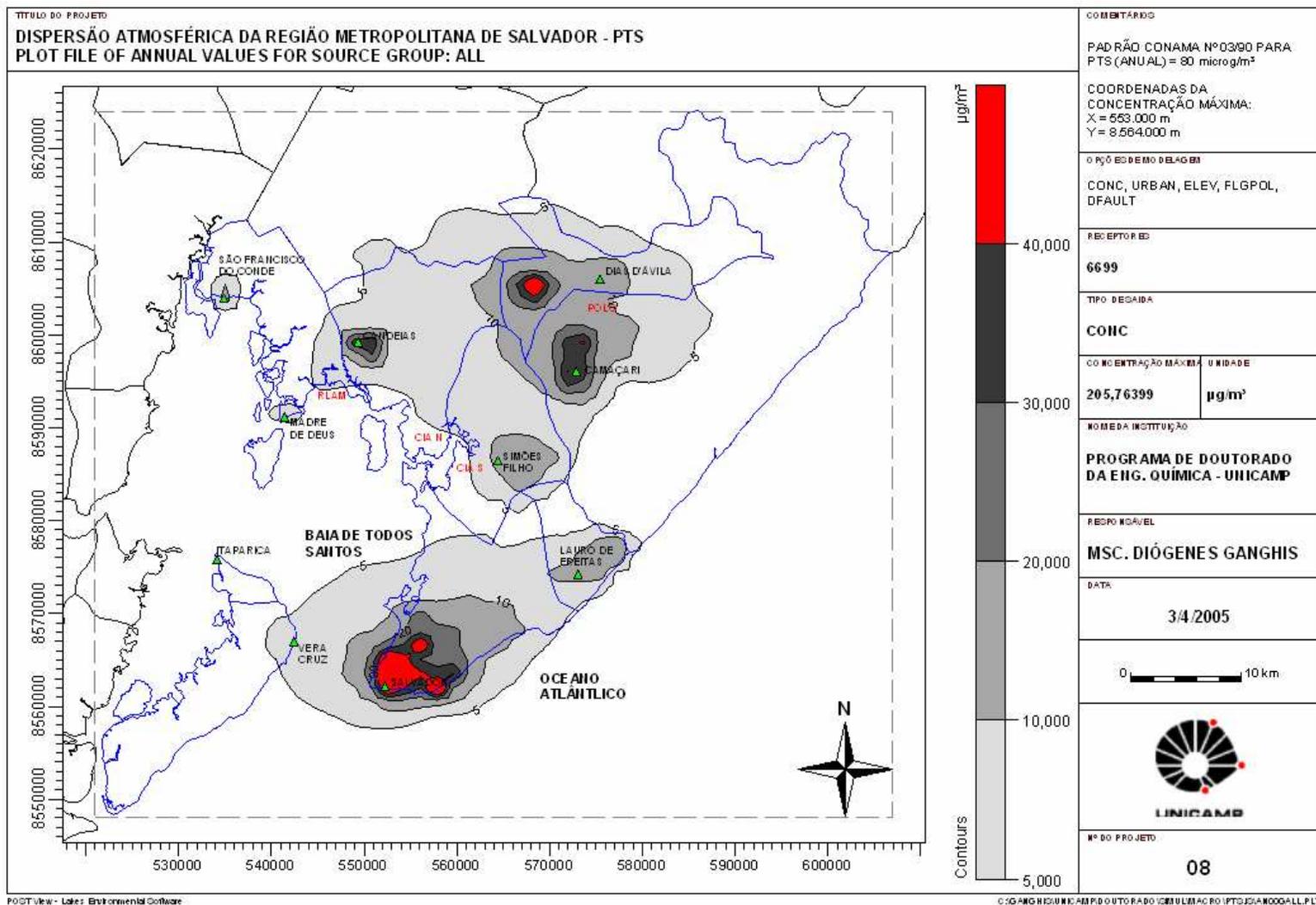
**Figura 51 – Comportamento da média 1h de CO.**



**Figura 52 – Comportamento da média 8h de CO.**



**Figura 53 – Comportamento da média 24h MP.**



**Figura 54 – Comportamento da média anual MP.**



