

**CHRISTINE FÉO PASCOAL**

**CLAUDIO VIOLANTE FERREIRA**

**MARIA DE FÁTIMA MARTINS MATOS**

**ESTUDO DO POLUENTE MONÓXIDO DE CARBONO, SEUS EFEITOS NO  
MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA**

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Especialista em Higiene  
Ocupacional.

**São Paulo**

**2006**

**CHRISTINE FÉO PASCOAL**  
**CLAUDIO VIOLANTE FERREIRA**  
**MARIA DE FÁTIMA MARTINS MATOS**

**ESTUDO DO POLUENTE MONÓXIDO DE CARBONO, SEUS EFEITOS NO  
MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA**

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Especialista em Higiene  
Ocupacional.

**São Paulo**

2006

## **AGRADECIMENTOS**

À Petrobras pela oportunidade de participar do Curso de Especialização em Higiene Ocupacional e adquirir conhecimentos.

Aos nossos familiares pela compreensão e estímulo.

Ao colega de trabalho, Fernando do Sacramento Cardoso pela solidariedade e auxílio no desenvolvimento do trabalho.

## **RESUMO**

O presente texto reúne uma pesquisa sobre os poluentes atmosféricos e seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana, principalmente, os poluentes resultantes da combustão do óleo diesel, com ênfase para o monóxido de carbono. Os poluentes do diesel estão presentes no Posto de Controle de Cargas pela movimentação constante de cargas em veículos movidos a óleo diesel. O objetivo do texto além da pesquisa sobre os poluentes é realizar uma avaliação preliminar da exposição ocupacional ao Monóxido de Carbono dos trabalhadores que exercem atividades no Posto de Controle, relacionar os fatores que podem contribuir para a dispersão dos poluentes e promover um melhor ambiente de trabalho. O texto apresenta, no capítulo de conclusões, recomendações e ações que podem prevenir as emissões ou auxiliar a reduzir a emissão dos poluentes e conseqüentemente minimizar a exposição dos trabalhadores aos efeitos deletérios destes agentes.

## **ABSTRACT**

The present monograph gathers a research on the atmospheric pollutants and its effects to the environment and to the human health, mainly, the pollutants resultants of the combustion of the diesel oil, with emphasis for the carbon monoxide. The pollutants of the diesel are present in the Posto de Controle de Cargas for the constant movement of loads in vehicles, moved by diesel oil. The objective of the monograph besides the research on the pollutants is to accomplish a preliminary evaluation of the occupational exposure to the carbon monoxide of the workers who does activities in the Posto de Controle, to relate the factors that can contribute to the dispersion of the pollutants and to promote a better work atmosphere. The monograph presents, in the chapter of conclusions, recommendations and actions that can prevent the emissions or assistant to reduce the emission of the pollutants and consequently to minimize the exhibition of the workers to these agents' deleterious effects.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 Conceituação do tema .....                                               | 1         |
| 1.2 Objetivos.....                                                           | 2         |
| 1.3 Justificativa .....                                                      | 2         |
| <b>2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....</b>                                           | <b>4</b>  |
| 2.1 Poluente Atmosférico .....                                               | 6         |
| 2.2 Fontes de Poluição.....                                                  | 9         |
| <b>3 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MEIO AMBIENTE .....</b>              | <b>12</b> |
| 3.1 O aumento do Efeito Estufa.....                                          | 13        |
| 3.2 A redução da Camada de Ozônio .....                                      | 17        |
| 3.3 Chuva Ácida .....                                                        | 18        |
| 3.4 <i>Smog</i> .....                                                        | 19        |
| <b>4 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA SAÚDE HUMANA .....</b>               | <b>21</b> |
| 4.1 Sistema Respiratório .....                                               | 22        |
| 4.2 Fisiologia da Respiração .....                                           | 26        |
| 4.3 Efeitos dos principais poluentes atmosféricos sobre a saúde humana ..... | 28        |
| <b>5 QUALIDADE DO AR .....</b>                                               | <b>32</b> |
| 5.1 Programa Nacional de Qualidade do Ar .....                               | 32        |

|       |                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2   | Padrões de Qualidade .....                                                       | 33 |
| 5.3   | Conceituação dos Padrões Primários e Secundários .....                           | 34 |
| 5.4   | Níveis de Qualidade do Ar .....                                                  | 35 |
| 6     | VEÍCULOS MOVIDOS A DIESEL: EMISSÕES E CONTROLE .....                             | 36 |
| 6.1   | As emissões dos motores a diesel .....                                           | 37 |
| 6.2   | Regulamentações para as emissões diesel.....                                     | 39 |
| 6.3   | Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores               | 42 |
| 6.4   | Regulamentação Complementar sobre Poluição Veicular .....                        | 46 |
| 7     | METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO .....                                  | 48 |
| 7.1   | Descrição do Local de Trabalho .....                                             | 48 |
| 7.2   | Propriedades Físico-químicas e Limites de Exposição do Monóxido de Carbono ..... | 51 |
| 7.2.1 | Propriedades Físico-químicas do Monóxido de Carbono .....                        | 51 |
| 7.2.2 | Limite de Exposição Ocupacional .....                                            | 52 |
| 7.2.3 | Índices Biológicos de Exposição .....                                            | 53 |
| 7.3   | Grupo Homogêneo de Exposição (GHE).....                                          | 54 |
| 7.3.1 | Atividades do Grupo Homogêneo de Exposição.....                                  | 54 |
| 7.4   | Análise Preliminar de Riscos para Higiene Ocupacional .....                      | 55 |
| 7.4.1 | Descrição dos Campos da APR-HO .....                                             | 55 |
| 7.5   | Fatores Externos que podem interferir na Avaliação.....                          | 58 |
| 7.6   | Estratégia de Amostragem.....                                                    | 58 |
| 7.6.1 | Identificação do Exposto de Maior Risco .....                                    | 60 |
| 7.7   | Método Analítico de Amostragem .....                                             | 60 |
| 7.7.1 | Aplicabilidade .....                                                             | 60 |
| 7.7.2 | Amostragem e Medições.....                                                       | 61 |
| 7.7.3 | Calibração e Controle de Qualidade.....                                          | 61 |

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 7.7.4 | Cálculos.....                                                | 61 |
| 7.8   | Características do Instrumento de Medição .....              | 62 |
| 7.9   | Orientações para o trabalho de campo e acompanhamento.....   | 64 |
| 8     | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                   | 65 |
| 8.1   | Coleta de Amostras .....                                     | 65 |
| 8.2   | Condições Meteorológicas durante a Avaliação.....            | 65 |
| 8.3   | Apresentação de Resultados .....                             | 65 |
| 9     | CONCLUSÕES.....                                              | 68 |
|       | ANEXO I - Calibração do Impact Pro.....                      | 70 |
|       | ANEXO II - Método Analítico para o Monóxido de Carbono ..... | 73 |
|       | ANEXO III - Previsão do Tempo – Somar Meteorologia .....     | 77 |
|       | ANEXO IV - Previsão do Tempo - INPE.....                     | 79 |
|       | LISTA DE REFERÊNCIAS.....                                    | 81 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.1</b> – Estrutura Vertical da Atmosfera. Fonte: Myspace (2005). .....                                                                                           | 5  |
| <b>Figura 3.1</b> – O efeito estufa. Fonte: IBAMA (2005).....                                                                                                               | 13 |
| <b>Figura 3.2</b> – Gráfico da variação da temperatura e da concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera nos últimos 160 mil anos. Fonte: Terra Meio Ambiente (2005). ..... | 16 |
| <b>Figura 3.3</b> – O processo de formação da chuva ácida .....                                                                                                             | 18 |
| Fonte: USP apud Terra Meio Ambiente (2005). .....                                                                                                                           | 18 |
| <b>Figura 3.4</b> – Smog em Melbourne (Austrália) e Cidade do México.Fonte: Cave (2005) .....                                                                               | 20 |
| <b>Figura 4.1</b> – Sistema Respiratório Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).22                                                                                  |    |
| <b>Figura 4.2</b> – Detalhe da Laringe (a) e cordas vocais (b). Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005). .....                                                       | 23 |
| <b>Figura 4.3</b> – Traquéia. Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005). .....                                                                                         | 24 |
| <b>Figura 4.4</b> – Pulmões. Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005). .....                                                                                          | 25 |
| <b>Figura 4.5</b> – Bronquíolos e Alvéolos. Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005). .....                                                                           | 25 |
| <b>Figura 4.6</b> – Diafragma. Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005). .....                                                                                        | 26 |
| <b>Figura 4.7</b> – Ventilação pulmonar. Fonte: Vilela (2005).....                                                                                                          | 26 |
| <b>Figura 4.8</b> – Transporte de Oxigênio. Fonte: Vilela (2005). .....                                                                                                     | 27 |
| <b>Figura 4.9</b> – Esquema da Hematose. Fonte: Vilela (2005).....                                                                                                          | 27 |
| <b>Figura 4.10</b> – Transporte de Gás Carbônico – CO <sub>2</sub> . Fonte: Vilela (2005). .....                                                                            | 28 |
| <b>Figura 7.1</b> – Vista aérea do Terminal Alfandegado de Imbetiba, Macaé – RJ. ....                                                                                       | 49 |
| <b>Figura 7.2</b> – Vista externa do Posto de Controle de Cargas, Imbetiba, Macaé - RJ. 50                                                                                  |    |
| <b>Figura 7.3</b> – Vista interna do Posto de Controle de Cargas – Entrada de Veículos. 50                                                                                  |    |
| <b>Figura 7.4</b> - Fluxograma de decisão para Tolerabilidade Preliminar. ....                                                                                              | 59 |
| <b>Figura 7.5</b> – O instrumento de medição – Modelo Impact Pro.....                                                                                                       | 62 |
| <b>Figura 7.6(a)</b> – Especificações Técnicas do Modelo Impact Pro.....                                                                                                    | 63 |
| <b>Figura 7.6(b)</b> – Especificações Técnicas do Modelo Impact Pro. ....                                                                                                   | 64 |
| <b>Figura 8.1</b> – Concentração de CO(ppm) pelo percentual de amostras no dia 03/01/2006.....                                                                              | 66 |
| <b>Figura 8.2</b> – Concentração de CO(ppm) pelo percentual de amostras no dia 04/01/2006.....                                                                              | 66 |
| <b>Figura 8.3</b> – Concentração de CO(ppm) pelo percentual de amostras no dia 04/01/2006.....                                                                              | 67 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 2.1</b> – Relação entre Fontes e seus Poluentes Característicos. (Fonte: CETESB (2002) apud Pires (2005)).                                                                                                         | 11 |
| <b>Tabela 5.1:</b> Padrões Nacionais de Qualidade do Ar - Resolução CONAMA 3/1990.                                                                                                                                           | 34 |
| <b>Tabela 5.2:</b> Critérios para episódios agudos de poluição do ar - Resolução CONAMA 3/1990.                                                                                                                              | 35 |
| <b>Tabela 6.1</b> – Concentrações médias, em g por kg de combustível, de alguns compostos emitidos na exaustão de máquinas a diesel e à gasolina do final da década de 80 Fonte: NEEFT et al (1996) apud BRAUN et al (2003). | 38 |
| <b>Tabela 6.2</b> – Limites padrões de emissão, expressos em g/bHP-h *, para máquinas de elevada potência nos Estados Unidos e na Califórnia. Fonte: SUMMERS (1996) apud BRAUN et al (2003).                                 | 40 |
| <b>Tabela 6.3</b> – Emissões padrões de máquinas diesel para a Comunidade Européia. Fonte: Zelenka et al (1996) apud BRAUN et al (2003).                                                                                     | 41 |
| <b>Tabela 6.4</b> – Emissões padrões de máquinas diesel para a Califórnia e mais 49 estados dos EUA. Fonte: Zelenka et al (1996) apud BRAUN et al (2003).                                                                    | 41 |
| <b>Tabela 6.5</b> – Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento - Ciclo de testes ESC/ELR. Fonte: IBAMA (2004).                                                                                      | 43 |
| <b>Tabela 6.6</b> – Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e Pós-tratamento - Ciclo de testes ETC. Fonte: IBAMA (2004).                                                                                              | 44 |
| <b>Tabela 6.7</b> – Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento - Ciclo de testes ESC/ELR. Fonte: IBAMA (2004).                                                                                                     | 45 |
| <b>Tabela 7.1</b> – Composição e Fórmula Química do Monóxido de Carbono.                                                                                                                                                     | 51 |
| <b>Tabela 7.2</b> – Limites de Exposição para o Monóxido de Carbono.                                                                                                                                                         | 52 |
| <b>Tabela 7.3</b> – Índices Biológicos para o Monóxido de Carbono.                                                                                                                                                           | 53 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Conceituação do tema

Desde a Revolução Industrial no Século XIX, foram observadas grandes mudanças nas atividades humanas, que até então se caracterizavam como economias majoritariamente rurais, levaram a sociedade a se aglomerar nas cidades em busca de novas oportunidades de emprego e subsistência, levando a um aumento drástico da poluição atmosférica.

Os poluentes, quando presentes em quantidades superiores à capacidade do meio ambiente em absorvê-los, provocam degradação da qualidade do ar. Assim, as quantidades de poluentes presentes no ar influenciam diretamente na sua qualidade. No entanto, em escala local, a magnitude de emissões não constitui o único fator determinante da qualidade do ar. Nesta escala, a interação entre os poluentes e as variáveis meteorológicas influenciará na capacidade de diluição destes no ar, contribuindo, assim, para a definição do nível de qualidade do ar em uma região.

Aos processos naturais de lançamento de poluentes na atmosfera, tais como, erupções vulcânicas, queimas de florestas e decomposição natural de matéria orgânica, foram acrescentados àqueles que são produzidos pela combustão, muitas vezes incompleta ou não controlada, de combustíveis fósseis utilizados para movimentar os veículos, as indústrias, geradores de energia elétrica, usinas termelétricas etc. Esta queima de combustíveis, em quantidade cada vez maiores, impulsionada pelo ritmo acelerado de crescimento populacional concentrado nos centros urbanos tem acarretado o aumento da poluição.

O Monóxido de Carbono, com fórmula química CO, é um gás incolor e inodoro que é emitido por fontes naturais e antropogênicas. As fontes antropogênicas formam o monóxido de carbono a partir da combustão incompleta de combustíveis com carbono em veículos automotores, instalações industriais, plantas termelétricas e incineradores. O tempo de residência, a turbulência na câmara de combustão, a temperatura da chama e o excesso de oxigênio afetam a formação de CO.

A conversão de monóxido de carbono para dióxido de carbono na atmosfera é lenta e leva de dois a cinco meses. Os veículos automotores são os principais contribuintes para as emissões antropogênicas de CO.

Os níveis atmosféricos de CO nas áreas urbanas mostram uma correlação direta e positiva com a densidade de tráfego veicular e uma correlação negativa com a velocidade dos ventos. Áreas urbanas podem apresentar níveis médios de CO, em ordem de ppm, muitas vezes maior do que em áreas remotas.

## **1.2 Objetivos**

Um dos objetivos desta monografia é realizar uma pesquisa bibliográfica sobre os poluentes atmosféricos, em especial o monóxido de carbono relacionando seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana.

Outro objetivo é realizar uma avaliação preliminar da exposição ocupacional ao monóxido do carbono dos trabalhadores que exercem suas atividades no Posto de Controle de Cargas do Terminal Alfandegado de Imbetiba, na Cidade de Macaé, no Rio de Janeiro, utilizando para tal avaliações qualitativas e quantitativas, fundamentadas relacionando os fatores que podem promover a dispersão de poluentes, tais como, características das edificações, condições climáticas. Esta avaliação preliminar pretende somente um diagnóstico preliminar da exposição dos trabalhadores.

## **1.3 Justificativa**

Com a descoberta de petróleo na Bacia de Campos pela Petrobras, a cidade de Macaé, no Estado do Rio de Janeiro se tornou um ponto de referência mundial e o Terminal Alfandegado de Imbetiba, na Base Geólogo Carlos Walter Marinho Campos concentra toda a operação portuária que sustenta 80% da produção nacional de petróleo, movimentando anualmente cerca 3.000.000 de toneladas de materiais, produtos, equipamentos e resíduos.

O controle de toda frota de veículos mobilizada neste grande esquema de logística é realizado no Posto de Controle de Cargas do Terminal Alfandegado de Imbetiba, onde são fiscalizados os veículos quanto à documentação da carga transportada e do próprio veículo, verificando o estado geral do veículo, condições de segurança da carga, habilitação dos condutores, equipamentos de emergência para transporte de produtos perigosos.

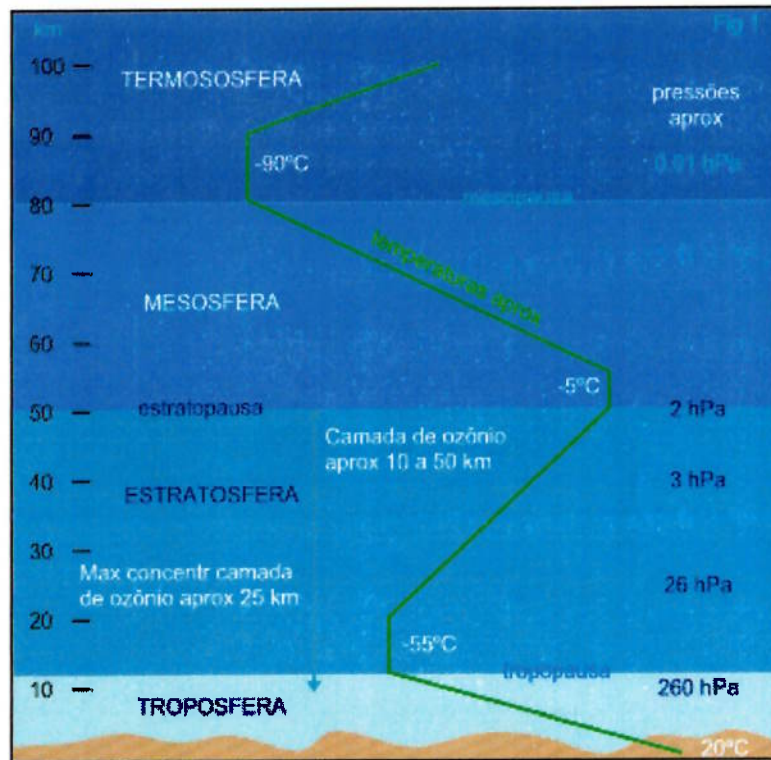
Os trabalhadores que executam estas atividades de fiscalização e inspeção são vigilantes e inspetores de segurança patrimonial, que trabalham em regime de turno, todos os dias da semana, que registraram em seu levantamento de riscos ambientais a exposição a poluentes atmosféricos pela constante movimentação de veículos movidos à óleo diesel. Além de manifestarem seu desconforto pela presença de poluentes, através de contatos telefônicos e por correio eletrônico endereçados à equipe de Segurança do Trabalho.

## 2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A atmosfera é uma espessa camada de gases contendo líquidos em suspensão e partículas sólidas que envolvem completamente a Terra, e junto com esta formam um sistema ambiental integrado (KEMP (1994) apud PIRES (2005)). Quase toda massa da atmosfera, cerca de 90%, localiza-se nos primeiros 30 km de altitude, sendo que 50 % estão concentrados nos primeiros 5 km (RIBEIRO et al (2000) apud PIRES (2005)).

A região mais próxima à superfície da terra é chamada troposfera, sendo uma camada de ar estreita e densa que contém praticamente toda a massa gasosa da atmosfera (75%), além de quase todo vapor d'água e aerossóis. É a zona na qual ocorre a maioria dos fenômenos atmosféricos e onde a manifestação dos problemas ambientais globais - chuva ácida, turbidez atmosférica e aquecimento global - têm sua origem e alcança sua maior extensão, devido ao nível de intervenção humana a que está submetida.

A camada seguinte, a estratosfera, é mais seca e contém grandes quantidades de ozônio, tendo uma importância científica grande em função dos processos de absorção e dispersão dos raios solares que ali incidem. Acima da estratosfera estão as regiões quimiosfera (mesosfera) e ionosfera (termosfera), que influenciam diretamente na quantidade e na distribuição espectral da energia solar e nos raios solares cósmicos que alcançam as camadas inferiores. Esta estrutura vertical da atmosfera, sua delimitação em várias camadas sobrepostas, está baseada no perfil de temperatura traçado na medida que se varia a altitude, conforme mostra a **Figura 2.1**.



**Figura 2.1** – Estrutura Vertical da Atmosfera. Fonte: Myspace (2005).

Durante centenas de anos os seres humanos vêm realizando atividades que têm contribuído significativamente para a modificação da composição química da atmosfera, que mantém trocas dinâmicas com dois outros sistemas terrestres, a hidrosfera e a litosfera. Esta deterioração da qualidade original da atmosfera advinda não só de atividades humanas, mas também de atividades naturais, recebe o nome de poluição atmosférica.

Existem opiniões divergentes sobre este conceito, pois, alguns pesquisadores atribuem a poluição atmosférica somente à ação das atividades humanas, porém uma definição desta natureza seria um pouco limitada (CAVALCANTI (2003) apud PIRES (2005)).

De acordo com o conceito de proteção atmosférica em alguns países industrializados, como a Alemanha, poluição atmosférica é a introdução direta ou indireta de materiais na atmosfera em quantidades que afetam sua qualidade e composição resultando em efeitos negativos para o bem estar humano, a natureza viva e não viva, aos ecossistemas, aos materiais, aos recursos naturais e à utilização do meio ambiente (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987) apud PIRES (2005)).

Este conceito foi ampliado pela Convenção da Comissão Econômica Européia sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça de Longo Alcance (UNECE (2005)), que passou a considerar a poluição atmosférica não só a emissão de substâncias materiais no ar, como também a emissão de qualquer forma de energia capaz de causar efeitos nocivos.

## **2.1 Poluente Atmosférico**

O ar é uma mistura complexa de muitas substâncias com aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e os 1% restantes incluindo pequenas quantidades de substâncias como o dióxido de carbono, metano, hidrogênio, argônio, hélio, além de vapores orgânicos e material particulado em suspensão.

Sucintamente, poluentes atmosféricos são substâncias que, em função de suas concentrações anormais, podem tornar o ar nocivo à saúde dos seres vivos, danoso à fauna, à flora ou aos materiais. Eles podem surgir diretamente na atmosfera, a partir das emissões dessas substâncias, ou mesmo indiretamente por meio de reações químicas que ocorram na própria atmosfera. Tais reações podem ocorrer em função de aumentos nas concentrações de certos gases. (GEO BRASIL (2002))

A Resolução CONAMA nº 03 de 1990 estende este conceito através de uma definição que incorpora a variável energia como possível poluente, assim, de acordo com CONAMA (1990a), poluente atmosférico é "... qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- ✓ Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- ✓ Inconveniente ao bem-estar público;
- ✓ Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- ✓ Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade, e às atividades normais da comunidade."

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como sólidos, líquidos e/ou gasosos, de acordo com seu estado de agregação. Na prática estes três grupos podem ser combinados de acordo com alguns pontos de vista.

Substâncias sólidas ou líquidas podem ser agrupadas como particulado ou material particulado, desde que princípios físicos sejam frequentemente utilizados para sua remoção e suas densidades sejam aproximadamente três vezes maiores do que a do ar onde estão diluídos. Cabe frisar aqui, que, segundo a EPA (“Environmental Protection Agency”, EUA), a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América, o material particulado, ou simplesmente particulado, é definido como qualquer massa que é coletada em um filtro de exaustão de veículo ou máquina específica, após um determinado ciclo de operação, colocado a uma temperatura de exaustão mantida constante a 52 °C.

Os gases e vapores formam outro grupo, sendo que os gases propriamente ditos existem permanentemente no estado físico de gás, enquanto que os vapores podem à temperatura ambiente sofrer condensação e voltar à forma líquida original (BOUBEL et al (1984) apud PIRES (2005)).

De acordo com sua composição química, os poluentes podem ser classificados em inorgânicos e orgânicos. Podem ser classificados também como poluentes primários e secundários, sendo os primeiros já emitidos na forma de poluentes e os outros formados na atmosfera por reações químicas ou fotoquímicas com a participação de dois ou mais poluentes ou com a participação de componentes próprios da atmosfera (PARTER (1978) apud PIRES (2005)). Os poluentes podem ainda ser classificados, de acordo com os seus efeitos, em substâncias radioativas, metais pesados, tóxicas, carcinogênicos, mutagênicos etc.

Existe um conjunto bastante elevado de gases que, em determinadas condições, podem ser classificados como poluentes, ou que podem contribuir para a sua formação. Dentre os que provocam os maiores problemas ambientais na atmosfera, em âmbito local, merecem destaque o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), o ozônio troposférico (O<sub>3</sub>) e os materiais particulados:

➤ O monóxido de carbono é um gás que surge principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis. As principais fontes são os veículos automotores, pois as condições ótimas de combustão nem sempre são obtidas. Esse gás é classificado como um asfixiante sistêmico, pois é uma substância que prejudica

a oxigenação dos tecidos. Níveis altos de monóxido de carbono estão relacionados à confusão mental, prejuízo dos reflexos, inconsciência, parada das funções cerebrais e, em casos extremos, morte (CETESB (1999) apud GEO BRASIL (2002)).

➤ O dióxido de enxofre surge, principalmente, de processos em que há queima de óleo combustível, queima de carvão e em motores Diesel. Nos seres vivos, níveis elevados do gás causam desconforto na respiração e o agravamento de problemas respiratórios e cardiovasculares; na atmosfera podem levar à formação de chuva ácida, provocando diversos efeitos sobre o meio ambiente (CETESB (1999) apud GEO BRASIL (2002)).

➤ O dióxido de nitrogênio é proveniente principalmente de processos de combustão em veículos, em indústrias e em centrais térmicas que utilizam óleo combustível ou gás natural. Nos seres vivos, as altas concentrações do gás estão associadas a problemas como asma, bronquite e baixa resistência a infecções respiratórias. Altas concentrações de dióxido de nitrogênio também podem levar à formação de chuva ácida (CETESB (1999) apud GEO BRASIL (2002)).

➤ O ozônio troposférico não é emitido diretamente na atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Assim, surge principalmente a partir dos gases provenientes dos escapamentos dos automóveis e da poluição industrial, sendo encontrado em maior concentração nas áreas urbanas. O gás também surge em consequência da queima da vegetação, quando então sua concentração se eleva, atingindo altos níveis, particularmente em regiões como a Amazônia. O ozônio é um gás que apresenta funções diversas, conforme a altitude em que se encontra. Na troposfera comporta-se como um gás tóxico que, em altas concentrações, é prejudicial aos seres vivos e ao homem em particular, provocando irritações nos olhos e uma série de problemas respiratórios. Além disso, altas concentrações de ozônio podem também resultar em danos às plantações e à vegetação natural (KIRCHHOFF (1989) apud GEO BRASIL (2002)).

➤ Sob a denominação material particulado, são agregados os poluentes partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e fumaça. São partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar na forma de poeira, neblina,

aerossol, fumaça, fuligem etc. As principais fontes destas substâncias são termoelétricas, siderúrgicas, queimadas, veículos movidos a Diesel, fábricas de cimento e alguns ramos da indústria química. Os efeitos resultantes do aumento da concentração destes poluentes incluem problemas respiratórios como asma e bronquite. Além disso, tais poluentes podem causar danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo (CETESB (1999) apud GEO BRASIL (2002)).

## **2.2 Fontes de Poluição**

São muitas as fontes de poluição do ar, podendo ser de origem natural, como as emissões vulcânicas, os incêndios florestais, os aerossóis dos oceanos etc., ou de origem antropogênica (que resultam das inúmeras atividades humanas), como por exemplo (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST (1987) apud PIRES (2005)):

1 – Um local do qual escapam substâncias poluentes (chaminés, dutos, descargas de ar, etc.);

2 – Processos e/ou equipamentos de produção (caldeiras, fornos, linhas de produção, câmaras de combustão, etc.);

3 – Uma área como conjunto de pontos e/ou processos e equipamentos numa região específica, capazes de liberar matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a poluída.

Em algumas situações torna-se difícil classificar uma fonte como natural ou antropogênica. Stern et al (1984) apud Pires (2005) assinalou que se, por exemplo, uma atividade humana resultasse na remoção da camada superficial da terra e posteriormente o particulado ali formado fosse carregado pelo vento para outra região onde as pessoas sofressem o prejuízo, ficaria difícil decidir se o evento é natural ou resultante da atividade humana. A correta definição dependeria do tempo de análise. Outro exemplo é o caso dos incêndios florestais, que podem ter origem natural ou antropogênica, com produção de emissões bastante significativas.

As emissões das fontes naturais ocorrem com frequência diferente das emissões das fontes antropogênicas, porém são emissões bastantes significativas e muitas vezes superam as emissões de origem antrópica. Como assinalou Bretschneider e Kurfürst (1987) apud Pires (2005), a erupção do vulcão Krakatoa,

em 1883, introduziu mais poeira na atmosfera do que toda fumaça produzida pelas atividades humanas ao longo da história.

Além das erupções vulcânicas, outros fenômenos naturais como queimadas nas florestas e a dispersão de areia pelo vento, entre outros, são fatores que intensificam o fluxo de matéria introduzida na atmosfera, “contaminando” o ar. Esta “contaminação” é na verdade a poluição natural como definiu Boubel et al (1984) apud Pires (2005), e que introduz na atmosfera gases que atualmente são considerados poluentes.

As várias fontes de poluição do ar podem ser classificadas do seguinte modo:

- Fontes estacionárias ou fontes fixas: que podem ser subdivididas em dois grupos: um abrangendo atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como queimadas, lavanderias e queima de combustíveis em padaria, hotéis e outras atividades consideradas não industriais; outro formado por atividades individualmente significativas, em vista à variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como a poluição dos processos industriais.
- Fontes móveis: são todos os meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre que utilizam motores à combustão como força motriz.
- Fontes naturais: são todos os processos naturais de emissão que vêm ocorrendo durante milhares de anos, como atividades vulcânicas, os aerossóis marinhos, a liberação de hidrocarbonetos pelas plantas, a ação eólica entre outros. (CAVALCANTI (2003) apud PIRES (2005))

A **Tabela 2.1** a seguir enquadra as fontes descritas acima e apresenta os seus principais poluentes.

**Tabela 2.1 – Relação entre Fontes e seus Poluentes Característicos. (Fonte: CETESB (2002) apud Pires (2005)).**

| Fontes               |                            | Poluentes                                                                                                                                                               |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classificação        | Tipo                       |                                                                                                                                                                         |
| Fontes Estacionárias | Combustão                  | Material particulado<br>Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre<br>Monóxido de carbono<br>Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio                                       |
|                      | Processo Industrial        | Material particulado (fumos, poeiras e névoas)<br>Gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl e Hidrocarbonetos<br>Mercaptans, HF, H <sub>2</sub> S, NO <sub>x</sub> |
|                      | Queima de Resíduos Sólidos | Material particulado<br>Gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, NO <sub>x</sub>                                                                                 |
|                      | Outros                     | Hidrocarbonetos, material particulado.                                                                                                                                  |
| Fontes Móveis        | Veículos Automotores       | Material particulado, monóxido de carbono<br>Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio                                                                                   |
|                      | Aviões e Barcos            | Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre                                                                                                               |
|                      | Locomotivas, etc           | Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos                                                                                                                            |
| Fontes Naturais      |                            | Material particulado – poeiras<br>Gases - SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, NO <sub>x</sub> ,<br>hidrocarbonetos                                                 |
| Reações Químicas     |                            | Poluentes secundários - O <sub>3</sub> , aldeídos<br>Ácidos orgânicos, nitratos orgânicos<br>Aerossol fotoquímico, etc.                                                 |

### 3 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MEIO AMBIENTE

Os veículos automotores constituem mundialmente umas das principais fontes de poluição do ar nas grandes regiões urbanas. Há outras fontes de contaminação, tais como indústrias, centrais termelétricas e de incineração de resíduos, mas o aumento da frota de veículos movidos à gasolina e a óleo diesel nas últimas décadas fez da poluição veicular um dos principais responsáveis pela má qualidade do ar que se respira nas cidades.

Em todo o mundo, as megacidades com mais de 10 milhões de habitantes enfrentam sérios problemas causados pela poluição veicular. Ao contrário do que se poderia supor, a poluição não é mais grave nos países mais ricos e desenvolvidos. Atualmente, grandes metrópoles como Paris, Nova York, Londres e Tóquio são menos poluídas do que muitas cidades de países em desenvolvimento, como a Cidade do México, Buenos Aires e São Paulo. Nesse ranking, os países pobres levam desvantagem, pois carecem de investimentos em transporte coletivo e outras medidas capazes de melhorar a qualidade do ar.

No Brasil, os paulistanos são os que mais sofrem com a poluição do ar. São Paulo tem sido apontada como a quinta cidade mais poluída do planeta. Em 2003, segundo dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), órgão responsável pelo monitoramento da qualidade do ar no Estado, a região metropolitana possuía uma frota de 7,5 milhões de veículos e cerca de 2 mil indústrias. Estima-se que essas fontes de poluição são responsáveis pelas emissões para a atmosfera de: 1,8 milhões de t/ano de CO, 415 mil t/ano de HC, 409 mil t/ano de NO<sub>x</sub>, 67 mil t/ano de MP e 37 mil t/ano de SO<sub>x</sub> (IBAMA (2005)).

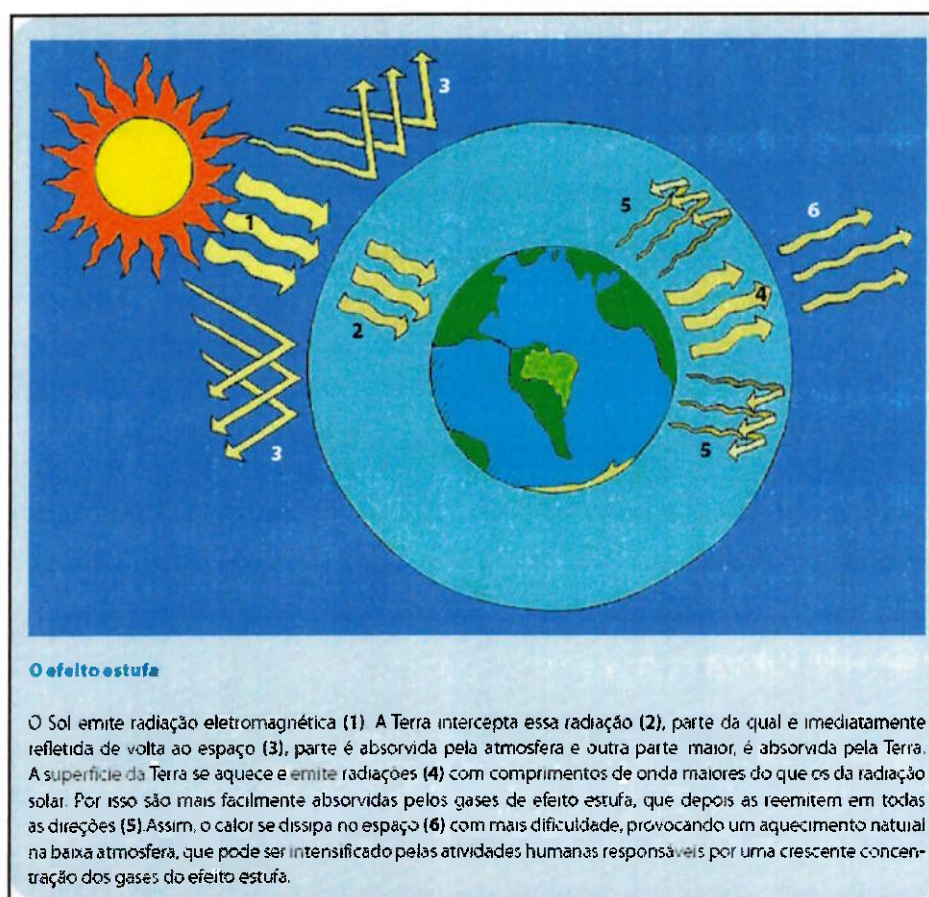
Desses totais, os veículos são responsáveis por 98% das emissões de CO, 97% de HC, 97% de NO<sub>x</sub>, 52% de MP e 55% de SO<sub>x</sub>. Da frota que circula na região metropolitana de São Paulo, 5,8% dos veículos são movidos a óleo diesel (cerca de 400 mil veículos, entre ônibus, caminhões e caminhonetes) e despejam anualmente 12,4 mil toneladas de fumaça preta na atmosfera, colocando em risco o meio ambiente e a saúde da população (IBAMA (2005)).

Os danos ao meio ambiente provocados pela contaminação do ar mais conhecidos, são: a chuva ácida, o aumento do efeito estufa, a redução da camada de ozônio e o *smog*.

### 3.1 O aumento do Efeito Estufa

Ao contrário do que é normalmente difundido, o efeito estufa é um fenômeno natural benéfico, de extrema importância para a manutenção da vida na Terra. Sem ele, a temperatura média do planeta estaria em torno de 19 °C negativos.

O efeito estufa é produzido por uma camada natural de gases na atmosfera que protege a Terra da diminuição excessiva de temperatura, impedindo que o calor se dissipe em níveis que façam o planeta se resfriar em demasia, da mesma forma que os vidros de um carro fechado ou o revestimento de uma estufa para cultivo de vegetais ou flores sob a incidência do sol, vide **Figura 3.1**.



**Figura 3.1 – O efeito estufa. Fonte: IBAMA (2005)**

Os principais gases causadores do fenômeno são: o Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Clorofluorcarbonos (CFCs), Óxido de Nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Ozônio Troposférico ( $\text{O}_3$ ) e o Vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Esses gases, que ocorrem na atmosfera como traços, tem alto potencial de interação com outros elementos químicos e com a radiação infravermelha, podendo ser classificados numa primeira aproximação em: de origem natural e de origem antropogênica.

Durante o passado geológico do planeta Terra, diversas fontes naturais de gases de efeito estufa proporcionaram a manutenção das condições de temperatura na superfície terrestre. Dentre eles estão o Vapor d'água – o mais importante dos gases naturais de efeito estufa e o Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) – naturalmente adicionado à atmosfera principalmente através das explosões vulcânicas e por processos de respiração celular dos organismos vivos.

O gás que tem maior consequência individual na geração do aquecimento global é o vapor d'água troposférico, mas sua concentração atmosférica depende menos de atividades antropogênicas, cabendo a fontes naturais (evapotranspiração, vulcões, etc) sua contribuição mais significativa (WATSON et all (1990) apud TERRA MEIO AMBIENTE ( 2005)).

As principais fontes antropogênicas dos gases estufa são as atividades industriais, a produção e a utilização de energia, e o desflorestamento relacionado a queimadas (como as atividades agropecuárias em geral). A seguir, são apresentadas, por tipo de gás emitido, as principais fontes responsáveis pelo efeito, segundo a literatura especializada:

- Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) – extração, transformação, transporte e uso final de combustíveis fósseis. Desmatamentos, através de queimadas de grandes áreas florestadas.
- Metano ( $\text{CH}_4$ ) – produzido através de processos de decomposição anaeróbica ou por combustão incompleta: mudanças no uso do solo (cultivo de arroz em áreas alagadas, queima de biomassa - florestal e resíduos agrícolas, inundação de áreas florestadas em reservatórios) e áreas naturais pantanosas; criação de animais

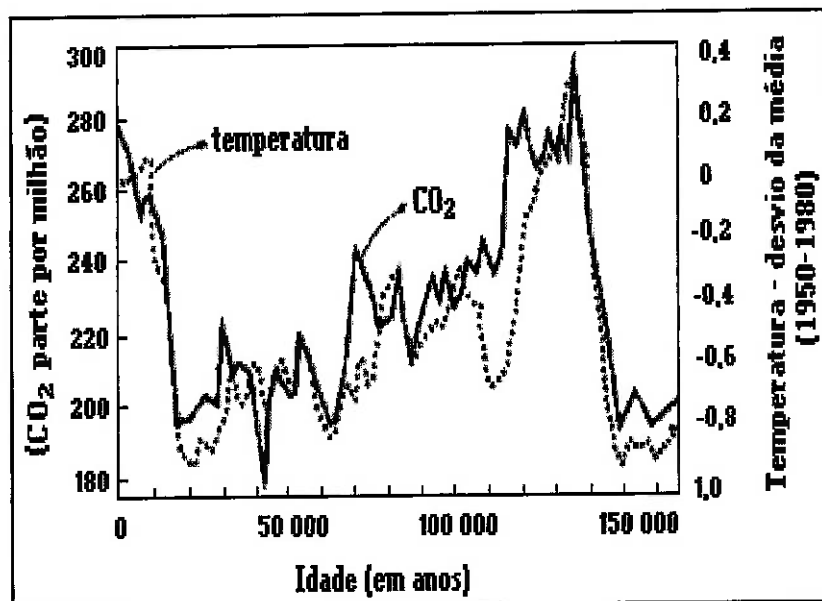
ruminantes (dejetos e criação), utilização energética (produção, armazenagem, queima de carvão mineral e produção e transporte de gás natural).

- Clorofluorcarbonos (CFCs) – Atividade industrial, gases refrigerantes (ar condicionado, refrigeradores), aerossóis.
- Ozônio ( $O_3$ ) - Consequência de reações complexas na alta atmosfera (reação fotoquímica com o Monóxido de Carbono ( $CO$ ), metano ( $CH_4$ ), e radicais oxidados de nitrogênio ( $NO_x$ )).
- Óxido de Nitrogênio ( $N_2O$ ) – Indústrias químicas e decomposição microbiológica do nitrogênio em fertilizantes.

Dentre as emissões de gases provenientes das atividades antropogênicas, o mais importante é o  $CO_2$ , seguido pelos CFCs em segundo, o Metano ( $CH_4$ ) em terceiro, o Ozônio ( $O_3$ ) em quarto e por último o Óxido de Nitrogênio ( $N_2O$ ).

Todo ano, a atmosfera recebe uma carga de aproximadamente 9.1015 mol de  $CO_2$ , principalmente de três fontes: a respiração das plantas e animais (93%), queimadas florestais e combustão de matéria orgânica de origem vegetal (2%) e a queima de combustíveis fósseis como óleo, carvão mineral, gás natural etc (5%) (TERRA MEIO AMBIENTE (2005)).

Dois processos naturais consomem 95% do  $CO_2$  emitido, cada um contribuindo igualmente. Um deles é a fotossíntese e o outro é a absorção de  $CO_2$  pelos oceanos devido à reação deste gás com íons cálcio (e magnésio) e consequente formação de depósitos calcários no fundo dos mares. Com esses dois processos restam apenas 5% de todo o gás carbônico emitido sem ser reciclado, o que significa uma quantidade percentualmente pequena, mas grande o suficiente para que pequenas variações na sua quantidade influenciem o aumento da temperatura média global do planeta, vide **Figura 3.2**.



**Figura 3.2** – Gráfico da variação da temperatura e da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera nos últimos 160 mil anos. Fonte: Terra Meio Ambiente (2005).

Durante os últimos 100 anos, a temperatura média global subiu entre 0,4 e 0,8 °C e de acordo com o Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC-2001 (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), as atividades humanas provocarão um aumento da temperatura terrestre entre 1,4 e 5,8 °C até o final deste século (ano 2100).

Estima-se que esse aquecimento vai provocar o aumento do nível do mar, na medida em que as geleiras e camadas de gelo polar da superfície derretam e que o volume das águas marítimas sofra uma expansão térmica com o aumento da temperatura média do planeta. A elevação do nível do mar é preocupante e a previsão é de que, até 2100, aumente entre 9 cm e 88 cm. As ilhas e cidades costeiras são as áreas mais vulneráveis, com possibilidade de inundações a médio e longo prazo. Para alguns países, isso poderá significar a perda de boa parte de suas terras cultiváveis.

A mudança climática deverá provocar ainda o aumento das precipitações em algumas partes e a diminuição em outras. Também aumentará a evaporação e a mudança do clima repercutirá na produção de alimentos. Haverá uma maior incidência de doenças tropicais, como malária e dengue e o aumento do nível dos mares contaminará lençóis freáticos com água salgada, atingindo o consumo humano, a pesca e a irrigação agrícola.

### 3.2 A redução da Camada de Ozônio

O ozônio é um gás que filtra os raios ultravioletas do Sol. Se esses raios chegassem à superfície terrestre com mais intensidade provocariam queimaduras na pele, que poderiam até causar câncer, e destruiriam as folhas das árvores. A camada de ozônio protege a terra dos raios ultravioleta do sol, que são extremamente prejudiciais à vida. Ela está situada na faixa de 15 e 50 km de altitude.

Durante as décadas de 1970 e 1980, vários estudos realizados alertaram para uma possível redução da camada de ozônio e conseqüente aumento na incidência de radiação ultravioleta. De início, o problema foi diagnosticado no Hemisfério Sul, particularmente sobre a Antártida, onde foi identificada uma rarefação acentuada ('buraco') na concentração do ozônio. Posteriormente o mesmo fenômeno foi verificado sobre o Ártico, porém em menor intensidade.

Paralelamente, estudos demonstraram que certas substâncias produzidas pelo homem e que continham cloro (Cl) e bromo (Br), ao entrarem em contato com o ozônio estratosférico, contribuíam para o seu esgotamento. Os principais grupos de tais substâncias são os Clorofluorcarbonos (CFCs), misturas de átomos de cloro e carbono.

Presente no ar poluído, o CFC é transportado até elevadas altitudes quando é bombardeado pelos raios solares ocasionando a separação do cloro e do carbono. O cloro, por sua vez, tem a capacidade de destruir as moléculas de ozônio. Basta um átomo de cloro para destruir milhares de moléculas de ozônio ( $O_3$ ) formando um buraco, pelo qual, os raios UV passam chegando a atingir a superfície terrestre.

Outras substâncias destruidoras de ozônio são os halons, tetracloreto de carbono, metilclorofórmio, hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), brometo de metila, hidrobromofluorcarbonos e bromoclorometano. Tais substâncias são amplamente utilizadas em sistemas de refrigeração de ar, como propelentes de aerossóis, na fabricação de espumas, produção e utilização de solventes e em equipamentos para extinção de incêndios, entre outros usos.

Além de afetar diretamente os seres vivos, eventuais reduções na concentração do ozônio estratosférico podem também provocar alterações na temperatura terrestre e no padrão de circulação dos gases na atmosfera. A

combinação desses efeitos altera o equilíbrio dos ecossistemas, podendo, inclusive, gerar consequências negativas na produtividade das plantações.

### 3.3 Chuva Ácida

A chuva ácida também é um produto da sobrecarga atmosférica. A queima de carvão e de combustíveis fósseis e os poluentes industriais lançam hidrocarbonetos voláteis, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio no ar. Esses gases combinam-se com o hidrogênio presente na atmosfera sob a forma de vapor de água, o resultado é a chuva ácida, que tem um pH entre 5 e 6. As águas da chuva, assim como a geada, neve e neblina, ficam carregadas de ácido sulfúrico, ácido nítrico, sais de amônia e outros, vide **Figura 3.3**.

Muitas vezes essas chuvas ácidas vão ocorrer em locais distantes da região poluidora, inclusive em países vizinhos, devido aos ventos que carregam esses gases de uma área para outra. Ao caírem na superfície, alteram a composição química do solo e das águas, atingem as cadeias alimentares, destroem florestas e lavouras, atacam estruturas metálicas, monumentos e edificações. Podem também dissolver rochas e criar cavernas calcárias, desfiladeiros e formações rochosas, num processo que normalmente levaria milhares de anos.



**Figura 3.3** – O processo de formação da chuva ácida  
Fonte: USP apud Terra Meio Ambiente (2005).

### 3.4 *Smog*

A palavra *smog* é uma combinação de *smoke* e *fog*. O *smog* é um fenômeno que aparece nos grandes centros urbanos. É identificado por uma grande massa de ar estagnado em conjunto com vários gases, vapores de ar e fumaça que acabam em nossos pulmões. O processo de formação do *smog* abrange centenas de reações diferentes envolvendo um número indeterminado de substâncias químicas, que ocorrem simultaneamente. Os reagentes que produzem o tipo mais comum de *smog* são principalmente as emissões provenientes de automóveis, embora nas áreas rurais alguns dos ingredientes originem-se das florestas.

Na metade do século 20, várias cidades industrializadas do Ocidente apresentaram, durante o inverno, episódios de *smog* provocados pela poluição composta de fuligem e enxofre tão graves que a taxa de mortalidade aumentou de forma notável. Por exemplo, em Londres, Inglaterra, em dezembro de 1952 cerca de 4.000 pessoas morreram em poucos dias devido ao aumento na concentração desses poluentes, que se acumularam aprisionados em uma massa de ar que permaneceu estagnada em virtude de uma inversão térmica nas proximidades do solo. As pessoas que foram expostas a um maior risco foram os idosos que já sofriam de problemas brônquicos e as crianças menores.

O *smog* fotoquímico que se origina a partir dos óxidos de nitrogênio, em muitas cidades, é mais importante que o *smog* baseado no enxofre, particularmente as de grande população e densidade de veículos. Ele consiste de gases, como o ozônio, e de uma fase aquosa contendo compostos orgânicos e inorgânicos solúveis em água na forma de partículas suspensas. Em contraste com os *smogs* de Londres, que são de natureza química redutora devido ao dióxido de enxofre, os *smogs* fotoquímicos são oxidantes. A **Figura 3.4** a seguir mostra fotos de Melbourne na Austrália e da Cidade do México num dia claro e num dia com *smog*. Nestas fotos, as cidades estão escondidas pela neblina provocada por partículas aéreas em suspensão, resultado do processo de *smog* fotoquímico.



**Figura 3.4** – Smog em Melbourne (Austrália) e Cidade do México. Fonte: Cave (2005)

#### **4 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA SAÚDE HUMANA**

Na América Latina encontram-se algumas das metrópoles mais poluídas do mundo: Santiago do Chile, Cidade do México e São Paulo. O problema tem reflexos diretos sobre a saúde da população: alergias, irritação nos olhos, coceira na garganta, tosse, além de problemas mais graves, como doenças respiratórias e até cardiovasculares.

Embora a medicina ainda não tenha esclarecido muitos dos mecanismos, pelos quais as substâncias tóxicas presentes no ar afetam o organismo, várias pesquisas científicas na área de saúde pública já demonstraram que a incidência de problemas respiratórios e cardiovasculares e até de mortes aumenta quando os índices de poluição chegam a patamares elevados.

Em muitas cidades, como São Paulo, é comum ocorrer no inverno um fenômeno conhecido como inversão térmica, quando uma camada de ar quente se sobrepõe à camada de ar frio próxima do solo, impedindo que o ar se dissipe. O efeito é visível: a cidade fica encoberta por uma névoa que nada mais é que a poluição concentrada sobre a cidade. Nesses dias, em que a poluição atinge os maiores picos, o perigo para a saúde é ainda maior.

Um levantamento feito pelo Departamento de Medicina Preventiva da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo revelou que, nos dias mais poluídos, o número de internações por doenças respiratórias cresce cerca de 8%, e a mortalidade geral aumenta entre 4% e 6%. O mesmo estudo mostra que os mais afetados são os idosos e as crianças. Esses dados científicos têm sido importantes para comprovar que a poluição do ar não é apenas uma questão ambiental, mas também um problema de saúde pública (IBAMA (2005)).

Segundo especialistas, a redução das emissões traria benefícios imediatos à saúde da população: só nos Estados Unidos, isso poderia evitar 18.700 mortes e 3 milhões de faltas ao trabalho por ano. Se nada for feito, segundo estimativa da Organização Mundial de Saúde, até o ano 2020 a poluição deverá matar 8 milhões de pessoas em todo o mundo.

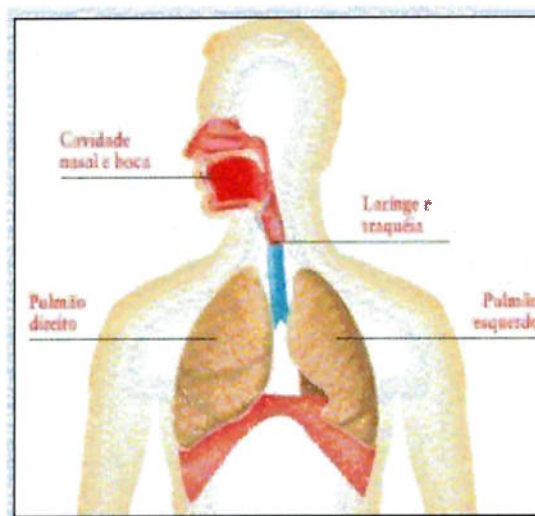
Do exposto acima, fica claro que o sistema respiratório humano mantém uma relação direta com o meio ambiente, permitindo que vários agentes presentes no ar o

modifiquem ao entrarem em contato com sua superfície. Os pulmões abrigam a membrana mais nobre que o organismo humano dispõe para proteger-se contra as agressões ambientais, e a superfície dessa membrana permite o contato com agentes aéreos, desde os mais inofensivos até os mais danosos. É através desta película que veiculam os hidrocarbonetos cancerígenos, a maioria dos microorganismos que infectam os seres humanos, o monóxido de carbono, entre outros.

Seguindo este raciocínio e com o intuito de facilitar o entendimento dos efeitos gerados pela poluição atmosférica na saúde humana, será dada uma descrição geral do sistema respiratório e da fisiologia da respiração, e logo após, serão citados os principais agentes poluentes e suas consequências na saúde da população.

#### 4.1 Sistema Respiratório

O sistema respiratório humano é constituído por um par de pulmões e por vários órgãos que conduzem o ar para dentro e para fora das cavidades pulmonares, vide **Figura 4.1**. Esses órgãos são as fossas nasais, a boca, a faringe, a laringe, a traquéia, os brônquios, os bronquíolos e os alvéolos, os três últimos localizados nos pulmões.



**Figura 4.1** – Sistema Respiratório Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).

➤ Fossas nasais: são duas cavidades paralelas que começam nas narinas e terminam na faringe. Elas são separadas uma da outra por uma parede cartilaginosa denominada septo nasal. Em seu interior há dobras chamadas cornetos nasais, que

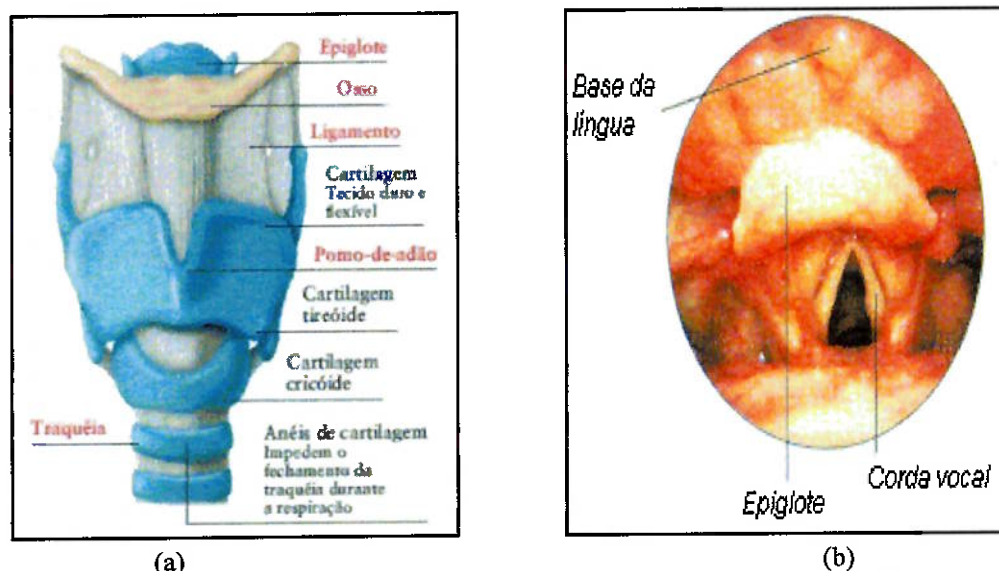
forçam o ar a turbilhonar. Possuem um revestimento dotado de células produtoras de muco e células ciliadas, também presentes nas porções inferiores das vias aéreas, como traquéia, brônquios e porção inicial dos bronquíolos. No teto das fossas nasais existem células sensoriais, responsáveis pelo sentido do olfato. Têm as funções de filtrar, umedecer e aquecer o ar.

➤ **Faringe:** é um canal comum aos sistemas digestivo e respiratório e comunica-se com a boca e com as fossas nasais. O ar inspirado pelas narinas ou pela boca passa necessariamente pela faringe, antes de atingir a laringe.

➤ **Laringe:** é um tubo sustentado por peças de cartilagem articuladas, situado na parte superior do pescoço, em continuação à faringe, **Figura 4.2 (a)**. O pomo-de-adão, uma saliência que aparece no pescoço, faz parte de uma das peças cartilaginosas da laringe.

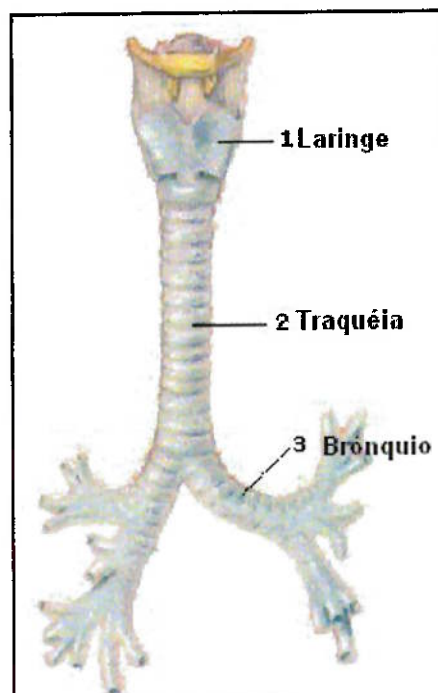
A entrada da laringe chama-se glote. Acima dela existe uma espécie de ‘lingüeta’ de cartilagem denominada epiglote, que funciona como válvula. Durante a alimentação, a laringe sobe e sua entrada é fechada pela epiglote. Isso impede que o alimento ingerido penetre nas vias respiratórias.

O epitélio que reveste a laringe apresenta pregas, as ‘cordas vocais’, capazes de produzirem sons durante a passagem de ar, **Figura 4.2 (b)**.



**Figura 4.2** – Detalhe da Laringe (a) e cordas vocais (b). Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).

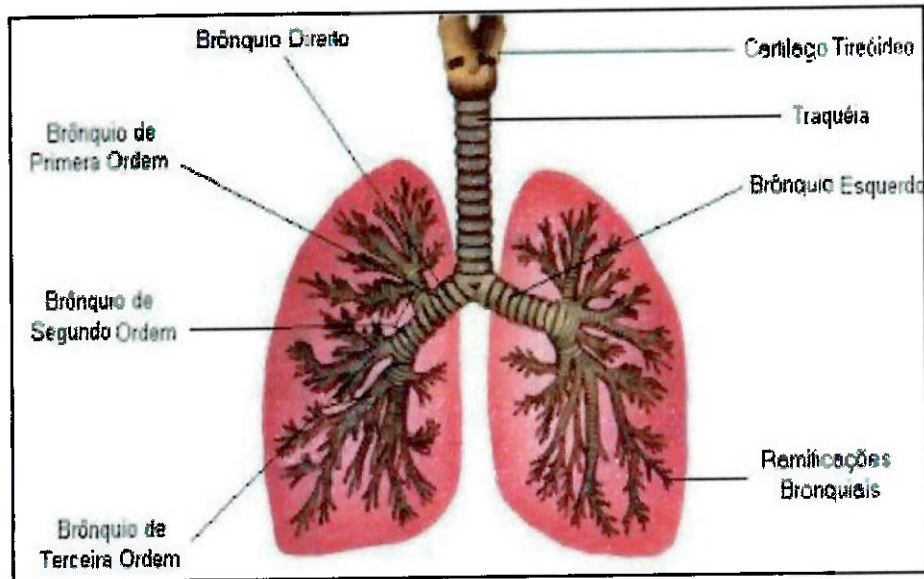
➤ **Traquéia:** é um tubo de aproximadamente 1,5cm de diâmetro por 10 a 12 centímetros de comprimento e cujas paredes são reforçadas por anéis cartilagosos, **Figura 4.3**. Bifurca-se na sua região inferior, originando os brônquios, que penetram nos pulmões. Seu epitélio de revestimento muco-ciliar adere partículas de poeira e bactérias presentes em suspensão no ar inalado, que são posteriormente varridas para fora (graças ao movimento dos cílios) e engolidas ou expelidas.



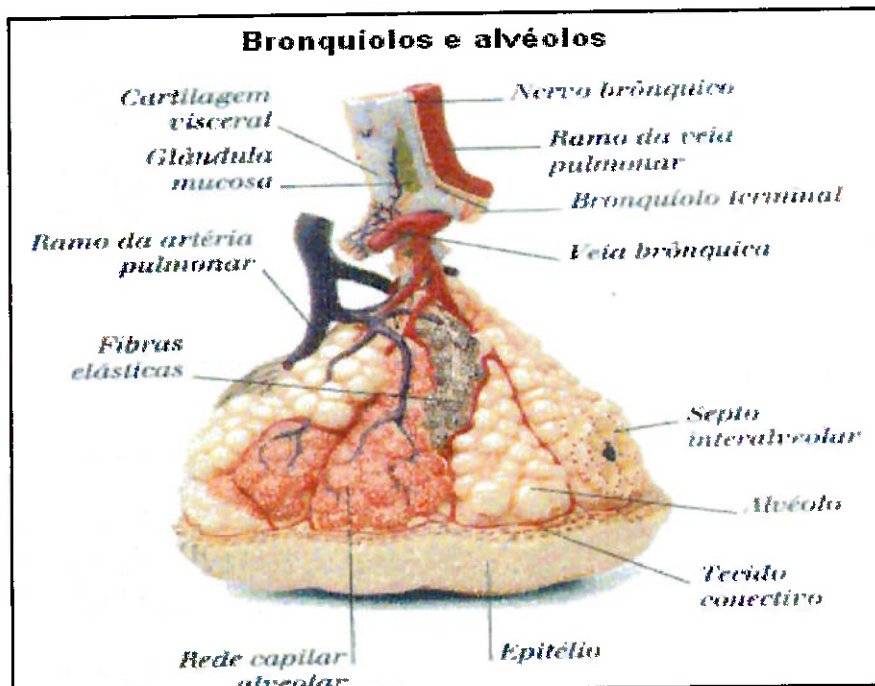
**Figura 4.3** – Traquéia. Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).

➤ **Pulmões:** Os pulmões humanos são órgãos esponjosos, com aproximadamente 25 cm de comprimento, sendo envolvidos por uma membrana serosa denominada pleura, vide **Figura 4.4**. Nos pulmões os brônquios ramificam-se profusamente, dando origem a tubos cada vez mais finos, os bronquíolos. O conjunto altamente ramificado de bronquíolos é a árvore brônquica ou árvore respiratória.

Cada bronquíolo termina em pequenas bolsas formadas por células epiteliais achatadas (tecido epitelial pavimentoso) recobertas por capilares sanguíneos, denominadas alvéolos pulmonares.



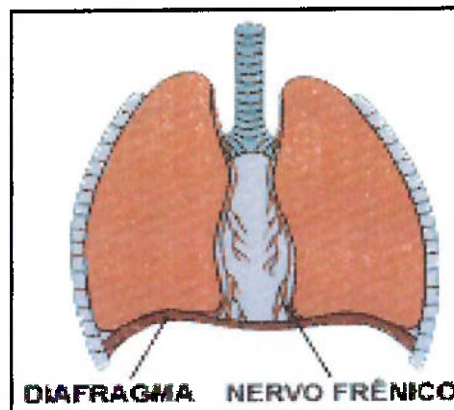
**Figura 4.4 – Pulmões.** Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).



**Figura 4.5 – Bronquíolos e Alvéolos.** Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).

➤ **Diafragma:** A base de cada pulmão apóia-se no diafragma, **Figura 4.6**, órgão músculo-membranoso que separa o tórax do abdômen, presente apenas em mamíferos, promovendo, juntamente com os músculos intercostais, os movimentos

respiratórios. Localizado logo acima do estômago, o nervo frênico controla os movimentos do diafragma.

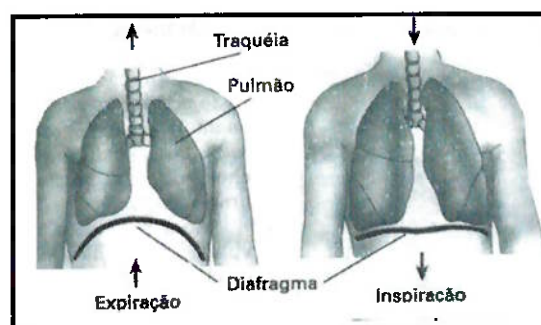


**Figura 4.6** – Diafragma. Fonte: Editora Ática (1997) apud Vilela (2005).

## 4.2 Fisiologia da Respiração

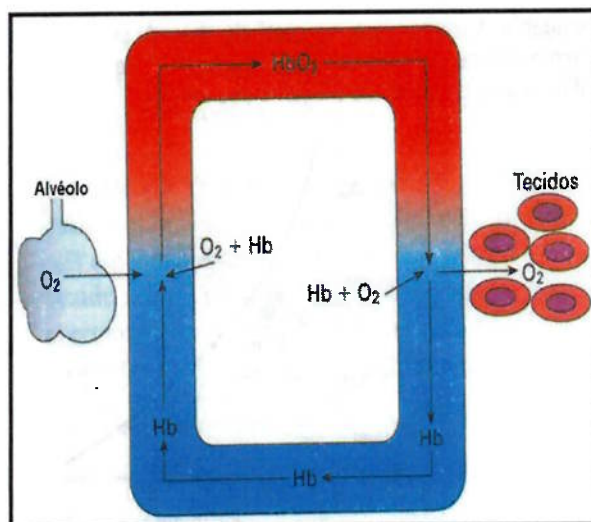
A inspiração, que promove a entrada de ar nos pulmões, dá-se pela contração da musculatura do diafragma e dos músculos intercostais. O diafragma abaixa e as costelas elevam-se, promovendo o aumento da caixa torácica, com conseqüente redução da pressão interna (em relação à externa), forçando o ar a entrar nos pulmões, **Figura 4.7**.

A expiração, que promove a saída de ar dos pulmões, dá-se pelo relaxamento da musculatura do diafragma e dos músculos intercostais. O diafragma eleva-se e as costelas abaixam, o que diminui o volume da caixa torácica, com conseqüente aumento da pressão interna, forçando o ar a sair dos pulmões.



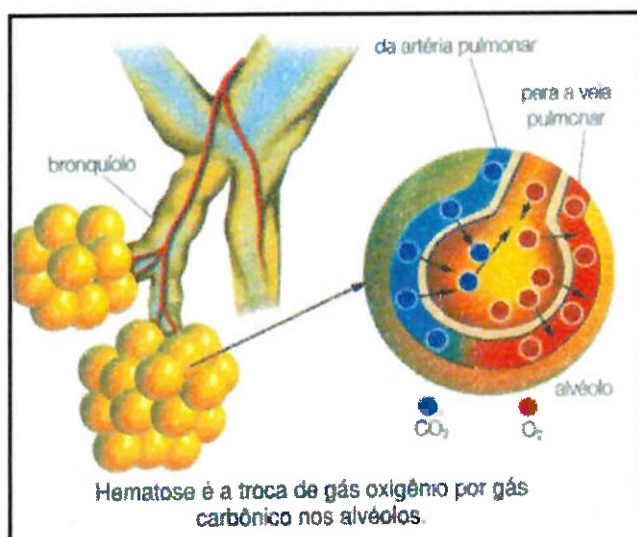
**Figura 4.7** – Ventilação pulmonar. Fonte: Vilela (2005).

O transporte de gás oxigênio está a cargo da hemoglobina, proteína presente nas hemácias, **Figura 4.8**. Cada molécula de hemoglobina combina-se com 4 moléculas de gás oxigênio, formando a oxi-hemoglobina.



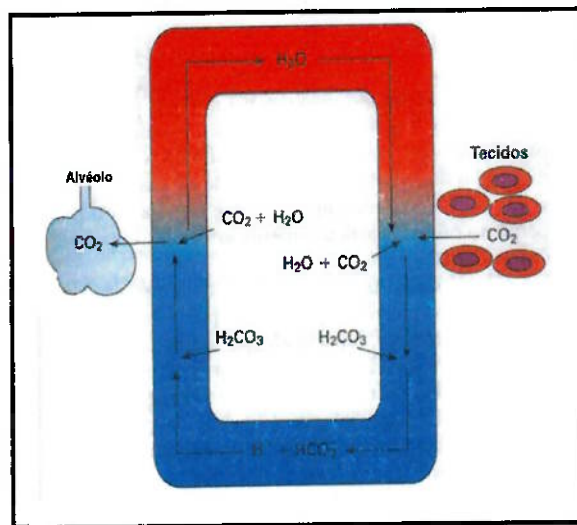
**Figura 4.8** – Transporte de Oxigênio. Fonte: Vilela (2005).

Nos alvéolos pulmonares o gás oxigênio do ar difunde-se para os capilares sanguíneos e penetra nas hemácias, onde se combina com a hemoglobina, enquanto o gás carbônico ( $CO_2$ ) é liberado para o ar, este processo é denominado hematose, **Figura 4.9**.



**Figura 4.9** – Esquema da Hematose. Fonte: Vilela (2005).

Nos tecidos ocorre um processo inverso: o gás oxigênio dissocia-se da hemoglobina e difunde-se pelo líquido tissular, atingindo as células, **Figura 4.10**. A maior parte do gás carbônico (cerca de 70%) liberado pelas células no líquido tissular penetra nas hemácias e reage com a água, formando o ácido carbônico, que logo se dissocia e dá origem a íons  $H^+$  e bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), difundindo-se para o plasma sanguíneo, onde ajudam a manter o grau de acidez do sangue. Cerca de 23% do gás carbônico liberado pelos tecidos associam-se à própria hemoglobina, formando a carboemoglobina e o restante dissolve-se no plasma.



**Figura 4.10** – Transporte de Gás Carbônico –  $CO_2$ . Fonte: Vilela (2005).

#### 4.3 Efeitos dos principais poluentes atmosféricos sobre a saúde humana

O número estimado de mortes causadas por problemas decorrentes da poluição atmosférica no mundo é de cerca de 3 milhões. Este valor representa 5% do total de 55 milhões de mortes que ocorrem anualmente no mundo (OMS (2000) apud IBAMA (2005)).

No Brasil, os problemas respiratórios representaram, no ano de 2000, a segunda causa de morbidade na distribuição de doenças (MS (2002) apud Roseiro (2002)), resultado da influência direta da poluição atmosférica, entre outros fatores.

Estudos realizados em São Paulo indicaram que um aumento de 30% no número mortes em função de doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, poderia ser relacionado a uma elevação de  $75mg/m^3$  na concentração de dióxido de nitrogênio (OMS (2000) apud IBAMA (2005)).

Também em São Paulo, estudo desenvolvido pela Secretaria de Estado da Saúde, em parceria com a Universidade de São Paulo e com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), mostrou que 10% das internações por doenças respiratórias na infância e 9% das mortes em idosos estão relacionadas com elevadas concentrações atmosféricas de material particulado (FREITAS (2002) apud IBAMA (2005)).

Pesquisas indicam que em algumas populações, cerca de 30 a 40% dos casos de asma e 20 a 30% de todas as doenças respiratórias podem ser relacionadas à poluição atmosférica. Apontam também que, uma redução de 20% na poluição do ar em ambientes fechados pode reduzir os índices de mortalidade, em função de infecções respiratórias agudas, em pelo menos 4 a 8% (OMS (2000) apud IBAMA (2005)).

Como podem ser observados, os efeitos na saúde humana devido aos poluentes atmosféricos têm sido um tema intensamente estudado nos últimos anos, mostrando que a exposição a estes agentes vem causando um aumento na morbimortalidade e nas internações hospitalares devido a problemas respiratórios. Infelizmente, estes efeitos não podem ser deduzidos das leis gerais da biologia ou fisiologia, devendo ser estabelecidos experimentalmente.

A seguir, são listados alguns poluentes atmosféricos e seus efeitos mais conhecidos no organismo:

➤ Monóxido de Carbono (CO): Resulta da oxidação parcial do carbono, regida pela quantidade de oxigênio disponível no momento da queima. Quando inalado, combina com a hemoglobina do sangue formando a carboxihemoglobina. A afinidade da hemoglobina pelo CO é em torno de 200 a 240 vezes maior do que pelo oxigênio. Logo, a exposição ao CO resulta em uma condição em que há redução do suprimento de oxigênio para os tecidos do corpo devido a menor quantidade de oxigênio transportado dos pulmões para os tecidos. Pode provocar tonturas, dor de cabeça, sono e redução dos reflexos. A emissão contínua de CO, em ambiente fechado ou pouco ventilado, pode resultar num acúmulo capaz de provocar a morte. Altos índices de monóxido de carbono em áreas de intenso trânsito de veículos têm

sido apontados como causas adicionais de acidentes de tráfego (CETESB (1996) apud VILLALOBOS (2000)).

- Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ): Leva rapidamente a hiperventilação (respiração extremamente rápida e profunda), transpiração e dor de cabeça. Os sintomas iniciais podem vir seguidos pela perda de consciência e a morte.
- Hidrocarbonetos (HC): Terminologia própria para a emissão de veículos alimentados exclusivamente a gasolina ou diesel. Trata-se de pequenas quantidades de combustíveis que não queimaram ou terminaram o processo de combustão, apenas parcialmente oxidados. Provocam irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório. Diversos HC podem causar dano celular sendo que alguns, como o benzeno, são considerados carcinogênicos e/ou mutagênicos. Participam das reações de formação do *smog* fotoquímico que além da geração de oxidantes como o Peroxiacetilnitrato, reduz a visibilidade.
- Óxidos de Enxofre ( $\text{SO}_x$ ): Em altas concentrações, causam inflamações graves nas mucosas das vias respiratórias, podendo em alguns casos ser fatal. O  $\text{SO}_x$  e o Material Particulado costumam estar junto na atmosfera e podem ter efeito sinérgico com outros poluentes. Existem evidências de que o  $\text{SO}_2$  agrava as doenças respiratórias preexistentes e, também, contribui para seu desenvolvimento. Sozinho, produz irritação no sistema respiratório, e absorvido em partículas pode ser conduzido mais profundamente podendo produzir danos aos tecidos do pulmão.

Estudos epidemiológicos e clínicos mostram que certas pessoas são mais sensíveis ao dióxido de enxofre que outras. Exposições prolongadas a baixas concentrações de dióxido de enxofre têm sido associadas ao aumento de mortalidade cardiovascular em pessoas idosas.

Têm-se especulações que a poluição devida o  $\text{SO}_2$  e sulfatos causa diminuição na resistência ao câncer de colo e de mama em pessoas que vivem nas latitudes situadas mais ao norte. A explicação baseia-se no fato de que o  $\text{SO}_2$  absorve os raios UV-B e as partículas de sulfatos causam o seu espalhamento, havendo assim uma redução da quantidade disponível de UV-B que é necessário para formar vitamina D, um agente protetor para ambos os tipos de câncer.

➤ Óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ): Resultam da combinação do oxigênio e do nitrogênio presentes no ar emitidos pelo motor, em condições de temperatura e pressão altas. Os  $\text{NO}_x$  podem provocar irritação e constrição das vias respiratórias, diminuem a resistência orgânica às infecções, participam no desenvolvimento de doenças pulmonares e, à semelhança dos hidrocarbonetos, têm parte ativa nas reações de formação do *smog* fotoquímico.

O  $\text{NO}_2$  não é muito solúvel, sendo um intenso irritante dos bronquíolos e alvéolos. Em baixas concentrações, pode produzir apenas sintomas suaves no trato respiratório superior. O gás inalado se dissolve no revestimento médio aquoso da mucosa nasal e faríngeo onde rapidamente são formados os ácidos nítrico e nitroso.

Em intensas exposições, a formação dos ácidos pode imediatamente causar irritação da mucosa do sistema respiratório superior. Sintomas similares de irritação da mucosa podem também aparecer nos olhos (conjuntivite). Nos pulmões a resposta inicial pode ser tosse, dispnéia e reação broncoscópica. Inalações de altas concentrações podem resultar em edema pulmonar e até morte.

➤ Ozônio ( $\text{O}_3$ ): Um dos efeitos esperados após a exposição ao ozônio é a diminuição da resistência às doenças infecciosas devido à destruição dos tecidos pulmonares. Acredita-se que a exposição crônica a altos níveis de ozônio urbano leva ao envelhecimento prematuro dos tecidos pulmonares. Em nível molecular, o ozônio ataca prontamente substâncias que contenham em sua estrutura ligações  $\text{C}=\text{C}$ , ligações duplas, tais como as que se encontram nos tecidos dos pulmões.

➤ Material particulado (MP): Trata-se de partículas diminutas que resultam da queima incompleta de combustíveis e de seus aditivos e do desgaste de pneus e freios. As partículas maiores são filtradas de modo eficiente pelo nariz (seus pêlos) e pela garganta e geralmente não são transportadas até os pulmões. Ao contrário, das partículas mais finas que inaladas chegam até os pulmões (por isso chamadas de 'respiráveis') podendo ser adsorvidas na superfície das células. Dentre os sintomas relacionados com a inalação de MP, tem-se alergias, asma, bronquite crônica e agravamento de sintomas produzidos por outros poluentes, em especial, os óxidos de enxofre.

## **5 QUALIDADE DO AR**

A preocupação, no Brasil, relativa à poluição atmosférica intensificou-se no início da década de 70, período de forte crescimento econômico e industrial. Problemas de grave poluição do ar nas áreas de grandes cidades - São Paulo, Cubatão, Porto Alegre, etc. - evidenciaram a necessidade de se adotar políticas públicas sobre o tema.

Em nível federal, a primeira legislação mais efetiva de controle da poluição atmosférica foi a Portaria do Ministério do Interior de nº 231, de 27 de abril de 1976, que visava a estabelecer padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos.

Nos anos 80, com o crescimento da frota automobilística no Brasil, o Governo Federal propôs o estabelecimento de um programa de controle de poluição veicular, o que foi feito por meio da Resolução Conama nº 18, de 06 de maio de 1986.

No entanto, percebeu-se ser de igual importância a criação de um programa nacional que contemplasse as fontes fixas de poluição atmosférica. Tendo em vista que a maioria dos estados não dispunha de padrões locais de emissão de fontes, observou-se a necessidade da fixação de dispositivos de caráter normativo e do estabelecimento de ações de monitoramento atmosférico.

Assim, por meio da Resolução do Conama de nº 05, de 15 de junho de 1989, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar — PRONAR — com o intuito de promover a orientação e controle da poluição atmosférica no país, envolvendo estratégias de cunho normativo, como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a implementação de uma política de prevenção de deterioração da qualidade do ar, a implementação da rede nacional de monitoramento do ar e o desenvolvimento de inventários de fontes e poluentes atmosféricos prioritários.

### **5.1 Programa Nacional de Qualidade do Ar**

A estratégia básica do PRONAR, conforme disposto na referida resolução, é de estabelecer limites nacionais para as emissões, por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação

complementar de controle. Para que isso fosse implementado, foram definidas metas de curto, médio e longo prazo para que se priorizasse a alocação de recursos e fossem direcionadas as ações.

Como medidas de curto prazo foram estabelecidas: a definição dos limites de emissão para fontes poluidoras prioritárias; a definição dos padrões de qualidade do ar; o enquadramento das áreas na classificação de usos pretendidos; o apoio à formulação dos Programas Estaduais de Controle de Poluição do Ar; a capacitação laboratorial e a capacitação de recursos humanos.

Entretanto, os avanços observados foram limitados, tendo sido fixados tão somente limites de emissão para óleo e carvão. Maiores avanços deram-se quanto à definição dos padrões de qualidade do ar.

O primeiro dispositivo legal decorrente do PRONAR, foi a Resolução do Conama de nº 03, de 28 de junho de 1990, que estabeleceu os novos padrões nacionais de qualidade do ar em substituição aos fixados pela Portaria Minter nº 231/76. Além de estender o número de parâmetros regulamentados de quatro para sete (partículas totais, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e ozônio troposférico), foi introduzida na legislação a figura dos padrões secundários de qualidade do ar, mais restritivos que os primários, constituindo-se seu atendimento em meta de longo prazo.

## **5.2 Padrões de Qualidade**

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, de modo a garantir a proteção da saúde e o bem estar das pessoas, sem ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral Resolução Conama nº 03/1990. Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

- Fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica (falta de vento e chuva), quando os níveis de poluentes na atmosfera possam apresentar risco à saúde pública.
- Avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para estabelecer a saúde e o bem estar das pessoas.

➤ Acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões de poluentes.

### 5.3 Conceituação dos Padrões Primários e Secundários

A Resolução Conama nº 03/1990, estabelece os seguintes conceitos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, Tabela 5.1.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Estes padrões servem de base para a estratégia de controle a ser fixadas e devem orientar a elaboração dos Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar, conforme parágrafo único, Art. 2º, da citada Resolução Conama.

**Tabela 5.1 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar - Resolução CONAMA 3/1990.**

| Poluente                                    | Tempo de Amostragem | Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Método de Medição             |
|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Partículas totais em suspensão (PTS)</b> | 24 horas*           | 240                                      | 150                                        | Amostrador de grandes volumes |
|                                             | MGA**               | 80                                       | 60                                         |                               |
| <b>Fumaça</b>                               | 24 horas*           | 150                                      | 100                                        | Refletância                   |
|                                             | MMA***              | 60                                       | 40                                         |                               |
| <b>Partículas Inaláveis</b>                 | 24 horas*           | 150                                      | 150                                        | Separação inercial/filtração  |
|                                             | MMA                 | 50                                       | 50                                         |                               |
| <b>Dióxido de enxofre</b>                   | 24 horas*           | 365                                      | 100                                        | Pararonasilina                |
|                                             | MMA                 | 80                                       | 40                                         |                               |
| <b>Monóxido de carbono</b>                  |                     | 40.000                                   | 40.000                                     | Infravermelho não-dispersivo  |
|                                             | 1 hora*             | (35 ppm)                                 | (35 ppm)                                   |                               |
|                                             | 8 horas*            | 10.000<br>(9 ppm)                        | 10.000<br>(9 ppm)                          |                               |
| <b>Ozônio</b>                               | 1 hora*             | 160                                      | 160                                        | Quimiluminescência            |
| <b>Dióxido de nitrogênio</b>                | 1 hora              | 320                                      | 190                                        | Quimiluminescência            |
|                                             | MMA                 | 100                                      | 100                                        |                               |

\* Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano

\*\* Média Geométrica Anual

\*\*\* Média Aritmética Anual

#### 5.4 Níveis de Qualidade do Ar

Foram definidos níveis de ação conforme descrito a seguir e na Tabela 5.2:

- O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes.
- O Nível de Alerta será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes.
- O Nível de Emergência será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes.

**Tabela 5.2 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar - Resolução CONAMA 3/1990.**

| Parâmetros                                                                              | Níveis  |         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|------------|
|                                                                                         | atenção | alerta  | emergência |
| Partículas totais em suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h.                     | 375     | 625     | 875        |
| Fumaça ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h.                                             | 250     | 420     | 500        |
| Partículas Inaláveis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h.                               | 250     | 420     | 500        |
| Dióxido de enxofre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h.                                 | 800     | 1.600   | 2.100      |
| Monóxido de carbono (ppm) - 8 h.                                                        | 15      | 30      | 40         |
| Ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1 h.                                              | 400     | 800     | 1.000      |
| Dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 1 h.                               | 1.130   | 2.260   | 3.000      |
| SO <sub>2</sub> X PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )x( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - 24 h. | 65.000  | 261.000 | 393.000    |

## 6 VEÍCULOS MOVIDOS A DIESEL: EMISSÕES E CONTROLE

O diesel é um combustível derivado do petróleo, constituído, predominantemente, por hidrocarbonetos alifáticos contendo de 9 a 28 átomos de carbono na cadeia. Durante o processo de produção, o diesel é destilado em temperaturas na faixa de 433 a 683 K, enquanto que a gasolina destila-se na faixa de 353 a 393 K. O diesel contém ainda outros compostos que porventura destilam-se na mesma faixa de temperatura, tais como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e seus derivados alquilicos. Outra característica importante do diesel é o alto teor de enxofre, que varia de 0,1 a 0,5% (BRAUN et al (2003))

Para se referir à qualidade do diesel como combustível, utiliza-se como parâmetro o número de cetana, que é similar ao número de octana para a gasolina. Comercialmente, a composição do diesel varia muito, devido a diferentes origens do petróleo utilizado como matéria-prima e diferentes processos de refino. Além disso, a qualidade do diesel tem mudado constantemente desde sua introdução no mercado como combustível.

Os motores diesel são máquinas que geram energia para veículos utilizados principalmente em aplicações que precisem de elevada potência, o que inclui ônibus, grandes caminhões, tratores e máquinas para mineração e dragagem. Atualmente, as máquinas diesel vêm atraindo uma porção crescente do mercado mundial de veículos de carga leve, cujos motores fornecem baixa potência.

Na Europa, por exemplo, 100% dos veículos de carga pesada, e cerca de 60% dos de carga leve, incluindo os utilitários, e ainda 20% dos carros para transporte de passageiros, o que inclui as *vans*, são movidos a diesel. Cabe esclarecer que os veículos podem ser classificados em três classes, de acordo com o peso bruto: veículos com menos de 1,7 t são classificados como de carga leve; aqueles com peso entre 1,7 e 2,6 t, como de carga média e, acima de 2,6 t, como de carga pesada.

A popularidade das máquinas a diesel deve-se, principalmente, à eficiência do diesel como combustível em relação à gasolina, ou mesmo com relação a outros combustíveis simples ou misturados, como o metanol, por exemplo, o que chega a conferir uma economia relativa de 25 a 45%. Além disso, o preço do diesel é muito

inferior ao de outros combustíveis, o que se reflete na grande utilização do mesmo em caminhões e ônibus em muitas áreas urbanas.

Os motores diesel apresentam ainda uma excepcional durabilidade, pois é comum um motor diesel para veículos de carga pesada ter um tempo de vida superior a um milhão de quilômetros, ou seja, cerca de dez vezes mais que a durabilidade apresentada por um motor à gasolina.

Assim, as vantagens oferecidas pelos motores a diesel, tais como durabilidade, segurança e eficiência, justificam sua utilização em vários tipos de máquinas, apesar dos problemas relacionados com a composição de sua emissão e ainda, com os níveis de poluentes sob regulamentação contidos na mesma.

### **6.1 As emissões dos motores a diesel**

Os compostos de emissão, tanto dos motores a diesel quanto à gasolina ou de combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde, ou seja,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $N_2$ ; e os que apresentam perigos à saúde, sendo esses subdivididos em compostos cuja emissão está regulamentada, que são: CO, os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), os óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e material particulado (MP); e aqueles que ainda não estão sob regulamentação: aldeídos, amônia, benzeno, cianetos, tolueno e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HPA).

Os três principais poluentes sob regulamentação, presentes na exaustão dos motores à gasolina, são o CO, os HC e os  $NO_x$ , existindo também a emissão de material particulado (MP), mas em quantidades muito pequenas. A exaustão diesel, entretanto, é muito mais complexa, sendo composta por três fases: sólidos, líquidos e gases.

A operação em condições oxidantes das máquinas diesel, que contribui para uma boa economia de combustível, resulta, comparativamente com motores à gasolina, em menor produção de  $CO_2$ , e em um processo de combustão operando em temperaturas mais baixas, com formação e, conseqüentemente, emissão, de menor quantidade de  $NO_x$ , CO e hidrocarbonetos (HC).

Entretanto, esse processo também resulta em elevados níveis de emissão de material particulado (MP) e de compostos responsáveis pelo odor característico da emissão diesel, sendo a emissão desses últimos considerada altamente crítica durante condições de operação em baixo nível de temperatura.

Os hidrocarbonetos das emissões diesel são, em média, muito mais pesados que os das emissões à gasolina, além disso, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e seus derivados alquílicos, que porventura estejam presentes no diesel, podem resistir ao processo de combustão, volatilizando-se e escapando para a atmosfera pela exaustão.

É importante citar que outros HPA podem ser formados durante a combustão do diesel, e que, devido à grande quantidade de ar no processo de combustão e ainda à elevada temperatura, pode ocorrer a conversão dos HPA em compostos oxigenados e nitrados na câmara de combustão ou no sistema de exaustão.

Com relação aos compostos não regulamentados, a emissão desses pelos motores à gasolina é muito maior, da ordem de dezenas de vezes para aldeídos e benzeno, e de cerca de 120 vezes para tolueno, com exceção dos HPA, que são mais abundantes na emissão diesel.

A Tabela 6.1 mostra as concentrações médias dos compostos emitidos pelos motores a diesel e à gasolina do final da década de 80.

**Tabela 6.1** – Concentrações médias, em g por kg de combustível, de alguns compostos emitidos na exaustão de máquinas a diesel e à gasolina do final da década de 80 Fonte: NEEFT et al (1996) apud BRAUN et al (2003).

|                                                | CO       | HC       | NO <sub>x</sub><br>(como<br>NO <sub>2</sub> ) | SO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup><br>(como<br>SO <sub>2</sub> ) | MP        |
|------------------------------------------------|----------|----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| Máquinas diesel<br>(veículos de carga<br>leve) | 3 - 30   | 0,5 - 10 | 5 - 20                                        | 0,5 - 5                                                      | 1 - 10    |
| Máquinas à<br>gasolina                         | 20 - 200 | 10 - 50  | 10 - 60                                       | 0,1 - 1                                                      | 0,1 - 0,4 |

(1) proporcional ao conteúdo de enxofre do combustível

## 6.2 Regulamentações para as emissões diesel

A fim de se monitorar adequadamente os níveis de emissão dos veículos, vários procedimentos foram criados, chamados ‘testes de performance’ (*test cycles*). Esses testes são regulamentados e específicos para cada estado ou localidade de cada país, ou mesmo para um país como um todo, e foram criados com o objetivo de submeter os diversos tipos de veículos a situações que se assemelhem às existentes no tráfego real dessas regiões sujeitas à legislação reguladora, por exemplo, pode-se citar o tráfego urbano lento, o rápido e o intermitente, o tráfego em auto-estrada, etc.

Assim, o motor é submetido a uma série programada de aceleração e desaceleração, realizada em um dinamômetro durante, em média, 10 min. Alguns desses testes incluem a verificação das condições da emissão dos veículos com o motor ‘frio’. Os métodos analíticos associados a esses testes também são regulamentados, podendo incluir métodos gravimétricos, espectroscópicos, magnéticos, eletroquímicos e cromatográficos. A concentração dos poluentes, mensurada através desses testes, é expressa como a massa emitida por unidade de distância percorrida, baseada em um dado ciclo.

As primeiras regulamentações dos níveis de emissão automotiva dos EUA, mais especificamente da Califórnia, datam de 1959 e, da Europa, de 1956, ambas com o intuito de regulamentar as emissões de CO e HC. Em 1966, foi criada a primeira legislação no Japão, a fim de regulamentar apenas a emissão de CO. A regulamentação de material particulado foi introduzida nos EUA na década de 60 e, há alguns anos, em vários países industrializados, sendo que os limites para a emissão desse poluente estão a cada dia mais restritos, em especial nos países mais desenvolvidos (DEGOBERT (1995) apud BRAUN et al (2003)).

Com relação à restrição dos níveis de material particulado emitido por motores diesel, pode-se citar que, nos EUA, em 1986, por exemplo, a emissão de particulados de um motor diesel típico de caminhão era de 0,6 g/bHP-h, e que as máquinas produzidas no início dos anos 90 ainda eram capazes de respeitar os limites de HC, CO e NO<sub>x</sub> das emendas de 1994 à legislação dos EUA de 1990 (“Clean Air Act Amendment”).

Entretanto, para se respeitar os limites de emissão de MP da legislação desse mesmo ano, que exigia uma redução dos níveis para menos que 0,1g/bHP-h para caminhões, e para ônibus, não maiores que 0,07g/bHP-h, com manutenção dessa performance por, pelo menos, 290.000 milhas (aproximadamente 460.000 km), foram necessárias modificações no projeto dessas máquinas (FARRAUTO (1996) apud BRAUN et al (2003)).

A Tabela 6.2 mostra a evolução dos níveis máximos de emissão de poluentes de ônibus e caminhões equipados com máquinas diesel, determinados pela legislação em vigor nos EUA desde 1984.

**Tabela 6.2** – Limites padrões de emissão, expressos em g/bHP-h \*, para máquinas de elevada potência nos Estados Unidos e na Califórnia. Fonte: SUMMERS (1996) apud BRAUN et al (2003).

| Limites Padrões    | Caminhões       |     | Ônibus          |              |
|--------------------|-----------------|-----|-----------------|--------------|
|                    | NO <sub>x</sub> | MP  | NO <sub>x</sub> | MP           |
| 1984-87 (Federal)  | 10,7            | -   | 10,7            | -            |
| 1988-89 (Federal)  | 10,7            | 0,6 | 10,7            | -            |
| 1994 (Federal)     | 5,0             | 0,1 | 5,0             | 0,07         |
| 1994 (Califórnia)  | 5,0             | 0,1 | 5,0             | 0,05         |
| 1998 (Federal)     | 4,0             | 0,1 | 4,0             | 0,05         |
| Proposta para 2004 | 2,0             | 0,1 | <sup>a</sup>    | <sup>a</sup> |

\* - expressa a relação entre a massa de poluente (em gramas), gerada em 1 h de teste, e a potência média do motor em cavalos-vapor (bHP-h); 1bHP-h é equivalente a 0,746 kWh;

a - corresponde ao limite de detecção dos instrumentos de medição.

Deve-se ressaltar que, embora o nível de emissão de material particulado para caminhões esteja constante em 0,1 g/bHP-h desde 1993 nos EUA, e desde 1991 na Califórnia, as medidas para manter esses níveis por parte dos fabricantes não permaneceram estáticas, visto que a restrição aos níveis de emissão de NO<sub>x</sub> nesse mesmo período foram conseguidas por modificações nos motores, o que, como consequência, levou a um aumento da emissão de particulados.

Pode-se observar que os limites das emissões, tanto para particulados quanto para os óxidos de nitrogênio em vigor nos EUA a partir do ano 2004, são bastante rigorosos. Ao mesmo tempo em que os limites para MP e NO<sub>x</sub> são o maior desafio para máquinas de carga pesada, a redução dos hidrocarbonetos e CO também o são

para os veículos de transporte de passageiros, especialmente para os veículos equipados com motores diesel com injeção direta.

Os limites atuais e os que estão para serem implantados em carros de passageiros e veículos de carga pesada, na maioria das cidades industrializadas, são mostrados nas **Tabelas 6.3 e 6.4**.

**Tabela 6.3** – Emissões padrões de máquinas diesel para a Comunidade Européia.

Fonte: Zelenka et al (1996) apud BRAUN et al (2003).

| Data de Implementação e Tipo de ciclo teste | Veículos de carga leve/g km <sup>-1</sup>        |     |                                              | Veículos de carga pesada/g km <sup>-1</sup> |                 |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|
|                                             | MP                                               | CO  | HC + NO <sub>x</sub>                         | MP                                          | NO <sub>x</sub> |
| 1996 (EURO II)                              | 0,10 (DI) <sup>a</sup><br>0,08 (ID) <sup>b</sup> | 1,0 | 0,9(DI) <sup>a</sup><br>0,7(ID) <sup>b</sup> | 0,15                                        | 7,0             |
| 1999 (EURO III)                             | 0,04                                             | 0,5 | 0,5 (0,1 + 0,4)                              | 0,1                                         | 5,0             |
| ~2003 (EURO IV)                             | 0,025                                            | *   | (0,05 + 0,14)                                | 0,10                                        | 3,0             |

a - Máquinas diesel equipadas com injeção direta; b - máquinas com injeção indireta; \* valor ainda não especificado.

**Tabela 6.4** – Emissões padrões de máquinas diesel para a Califórnia e mais 49 estados dos EUA. Fonte: Zelenka et al (1996) apud BRAUN et al (2003).

| Data de Implementação | Veículos de carga leve/g km <sup>-1</sup> |     |                 |                        | Veículos de carga pesada/g km <sup>-1</sup> |                         |
|-----------------------|-------------------------------------------|-----|-----------------|------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|
|                       | MP                                        | CO  | HC <sup>c</sup> | NO <sub>x</sub>        | MP                                          | NO <sub>x</sub>         |
| 1996                  | 0,1(0,08) <sup>b</sup>                    | 4,2 | 0,31            | 1,25(1,0) <sup>b</sup> | 0,1(0,05) <sup>a</sup>                      | 5,0(3,9) <sup>c,d</sup> |
| 1998                  | - <sup>e</sup>                            | -   | -               | -                      | 0,1(0,05) <sup>a</sup>                      | 4,0                     |
| 2003                  | -                                         | -   | -               | -                      | 0,1(0,05) <sup>a</sup>                      | 2,0                     |

a - Ônibus urbanos; b - limites diferenciados para a Califórnia; c - hidrocarbonetos exceto metano (NMHC); d - (NMHC + NO<sub>x</sub>); e - espaços assinalados com “-” significam que os valores de emissão estão abaixo do limite de detecção dos aparelhos de monitoração.

No Brasil, existe tendência de se seguir os limites da legislação imposta nos EUA e em países da Europa. O CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) tem a responsabilidade de estabelecer padrões e métodos ambientais em todo o território nacional.

### 6.3 Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores

A necessidade de se criar um programa nacional que contemplasse as emissões atmosféricas de origem veicular, começou a tomar corpo no início dos anos oitenta, a partir da constatação de que a grave poluição ambiental verificada nos grandes centros urbanos era causada predominantemente pelos poluentes atmosféricos gerados na queima de combustíveis em veículos automotores.

Cabe ressaltar que, sobre a região metropolitana de São Paulo, são lançadas, anualmente, cerca de 22,9 mil toneladas de fumaça preta oriundas da frota de ônibus, caminhões e caminhonetes movidos à diesel, além de cerca de 1029 mil t/ano de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre.

Procurando viabilizar um programa de controle de emissões veiculares que fosse tecnicamente factível e economicamente viável o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA criou, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE. O programa foi bem aceito e elogiado por todos os segmentos envolvidos, considerado, mesmo a nível internacional, como um dos mais bem elaborados para o controle de emissão em fontes móveis.

O PROCONVE tem como objetivos a redução dos níveis de emissão de poluentes nos veículos automotores além de incentivar o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automotiva, como em métodos e equipamentos para a realização de ensaios e medições de poluentes. Os limites máximos de emissão de poluentes foram fixados, com um cronograma específico para três categorias distintas de veículos, são elas: 'Veículo Leve de Passageiros' (automóveis); 'Veículo Leve Comercial' (pick-up, van, utilitários, etc) e 'Veículo Pesado' (ônibus e caminhões).

Para o cumprimento destes limites, necessita-se a aplicação de tecnologias e sistemas que otimizem o funcionamento dos motores para proporcionar uma queima perfeita de combustível e, conseqüente diminuição das emissões bem como do consumo de combustível. Na fase implantada em 1992, a utilização de catalisadores se fez necessária. Para a fase atual de exigências iniciada em 1997, além do catalisador é preciso que se acrescentem novos dispositivos, tais como: a injeção eletrônica e outros componentes que compõem a chamada eletrônica embarcada.

A melhoria do parque industrial nacional voltado para o controle de emissões de poluentes veiculares, é hoje uma realidade: instalação de linhas de produção de sistemas de injeção de combustível, de conversores catalíticos, de sistemas de absorção de vapores de combustível, de equipamentos de medição, instalação de vários laboratórios de emissão, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias, são alguns exemplos desta evolução.

A melhoria da qualidade de nossos combustíveis também está sendo perseguida pelo PROCONVE, que, em parceria com a PETROBRAS e ANFAVEA vem conseguindo resultados expressivos: a retirada do chumbo da gasolina, a adição de álcool à gasolina a redução gradativa do teor de enxofre do óleo Diesel, são alguns exemplos.

Os resultados práticos e positivos alcançados até agora mostram redução de até 98% dos índices de emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) óxidos de nitrogênio (NOx), e de aldeídos (CHO) para veículos leves. As tabelas a seguir apresentam os limites determinados pelo PROCONVE para veículos movidos a diesel.

**Tabela 6.5 – Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento - Ciclo de testes ESC/ELR. Fonte: IBAMA (2004).**

| POLUENTES                                             | LIMITES           |                                    |                           |
|-------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------|
|                                                       | até<br>31/12/2005 | desde<br>01/01/2004 <sup>(1)</sup> | a partir de<br>01/01/2009 |
| Monóxido de Carbono<br>(CO em g/kW.h)                 | 4,0               | 2,10                               | 1,50                      |
| Hidrocarbonetos<br>(HC em g/kW.h)                     | 1,10              | 0,66                               | 0,46                      |
| Óxidos de Nitrogênio<br>(NOx em g/kW.h)               | 7,00              | 5,00                               | 3,50                      |
| Material Particulado <sup>(2)</sup><br>(MP em g/kW.h) | 0,25              | 0,10 ou 0,13 <sup>(3)</sup>        | 0,02                      |
| Opacidade ELR (m <sup>-1</sup> )                      | NE                | 0,80                               | 0,50                      |

(1) em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;

em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção;

a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

**Alternativamente:**

em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;  
 em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;  
 a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

(2) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

(3) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm<sup>3</sup> e rotação à potência nominal superior a 3000 m<sup>-1</sup>;

(NE) não exigível.

**Tabela 6.6 – Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e Pós-tratamento - Ciclo de testes ETC. Fonte: IBAMA (2004).**

| POLUENTES                                      | LIMITES                               |                           |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
|                                                | desde<br>01/01/2004 <sup>(1)(2)</sup> | a partir de<br>01/01/2009 |
| Monóxido de Carbono<br>(CO em g/kW.h)          | 5,45                                  | 4,00                      |
| Hidrocarbonetos não metano<br>(NMHC em g/kW.h) | 0,78                                  | 0,55                      |
| Metano<br>(CH <sub>4</sub> em g/kW.h)          | NE                                    | NE                        |
| Óxidos de Nitrogênio<br>(NOx em g/kw.h)        | 5,0                                   | 3,50                      |
| Material Particulado<br>(MP em g/kW.h)         | 0,16 ou 0,21 <sup>(3)</sup>           | 0,03                      |

(1) Aplicável somente para veículos com pós-tratamento

(2) em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;  
 em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção;  
 a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados

#### **Alternativamente**

em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;  
 em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;  
 a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

(3) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm<sup>3</sup> e rotação à potência nominal superior a 3000 m<sup>-1</sup>;

(NE) não exigível.

**Tabela 6.7 – Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento -**  
Ciclo de testes ESC/ELR. Fonte: IBAMA (2004).

| POLUENTES                                             | LIMITES           |                                    |                           |
|-------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------|
|                                                       | até<br>31/12/2005 | desde<br>01/01/2004 <sup>(1)</sup> | a partir de<br>01/01/2009 |
| Monóxido de Carbono<br>(CO em g/kW.h)                 | 4,0               | 2,10                               | 1,50                      |
| Hidrocarbonetos<br>(HC em g/kW.h)                     | 1,10              | 0,66                               | 0,46                      |
| Óxidos de Nitrogênio<br>(NOx em g/kW.h)               | 7,00              | 5,00                               | 3,50                      |
| Material Particulado <sup>(2)</sup><br>(MP em g/kW.h) | 0,25              | 0,10 ou 0,13 <sup>(3)</sup>        | 0,02                      |
| Opacidade ELR (m <sup>-1</sup> )                      | NA                | 0,80                               | 0,50                      |

(1) em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;

em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção;

a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

#### **Alternativamente**

em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;

em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;

a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

(2) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

(3) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm<sup>3</sup> e rotação à potência nominal superior a 3000 m<sup>-1</sup>;

(NA) não aplicável.

#### **6.4 Regulamentação Complementar sobre Poluição Veicular**

Abaixo são listadas algumas regulamentações complementares que versam sobre poluição veicular no Brasil:

- Resolução CONAMA No. 251 de 12 de janeiro de 1999 - Estabelece os critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão de escapamento dos veículos automotores do ciclo Diesel, a serem utilizados em programas de I/M.
- Resolução CONAMA No. 252 de 01 de fevereiro de 1999 - Estabelece, para os veículos automotores, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso.
- Resolução CONAMA No. 256 de 30 de junho de 1999 - Aprova a inspeção de emissões de poluentes e ruído prevista no Artigo n.º 104 da Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997.
- Resolução CONAMA No. 282 de 12 de julho de 2001 -Estabelece os requisitos para os conversores catalíticos destinados a reposição, e dá outras providências.
- Resolução CONAMA No. 291 de 25 de outubro de 2001 - Regulamenta os conjuntos de componentes dos Sistemas de Gás Natural para instalação em veículos e dá outras providências.
- Resolução CONAMA No. 297 de 26 de fevereiro de 2002 - Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos.
- Resolução CONAMA No. 299 de 25 de outubro de 2001 - Estabelece os procedimentos para elaboração de relatórios para o controle das emissões dos veículos novos produzidos e/ou importados.
- Resolução CONAMA No 315 de 29 de outubro de 2002 - Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE.

- Resolução CONAMA No. 342 de 25 de setembro de 2003 - Regulamenta novos limites para emissão de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos em observância à Resolução CONAMA nº 297/2002.
- Resolução CONAMA No. 354 de 13 de dezembro de 2004 - Regulamenta os requisitos para adoção de sistemas OBD nos veículos automotores leves objetivando preservar a funcionalidade dos sistemas de controle de emissão.
- Instrução Normativa Ibama nº 13 - Institui Termo de Referência para Agente Técnico Conveniado para o PROCONVE.
- Instrução Normativa Ibama nº 15 - Regulamenta os procedimentos para a utilização de GNV em veículos automotores.
- Instrução Normativa Ibama nº 17 - Regulamenta os procedimentos para a implantação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares – PROMOT.
- Instrução Normativa Ibama nº 25 - Institui o Selo de Homologação do PROCONVE/PROMOT e regulamenta os procedimentos para sua utilização.
- Instrução Normativa Ibama nº 28 - Regulamenta os procedimentos para a homologação de veículos automotores rodoviários movidos a qualquer percentual da mistura Álcool Etílico Hidratado Carburante (AEHC) e Gasolina "C".
- Instrução Normativa Ibama nº 53/04 - Complementa a Instrução Normativa nº 25 referente à aplicação dos Selos do PROCONVE e PROMOT.
- Instrução Normativa Ibama nº 54/04 - Regulamenta os procedimentos para a medição do poluente NMHC referido na Resolução CONAMA nº 315/02. Instrução Normativa Ibama nº 55/04 - Regulamenta o método e procedimentos para a realização dos ensaios ESC e ELR para medição das emissões em veículos pesados dos ciclos Diesel e Otto(usando GNV).

## 7 METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Para avaliar e analisar a exposição ocupacional de um determinado grupo de trabalhadores é necessário conhecer ou reconhecer os riscos ou agentes ambientais, aos quais este grupo possivelmente está exposto, conforme também determinado pela Norma Regulamentadora -09 do Ministério do Trabalho e do Emprego, que estabelece o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais com o objetivo de preservar a saúde e a integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais.

A avaliação qualitativa é tão importante quanto a quantitativa, conhecendo as atividades, o ambiente de trabalho, as possíveis interferências internas e externas, o *modus operandi* dos trabalhadores, é possível relacionar a exposição aos processos e às atividades.

A partir da caracterização básica que representa um processo de conhecimento inicial em higiene ocupacional, é possível a estruturação das amostragens para todos os trabalhadores de uma empresa. Este conhecimento se divide em três vertentes: o ambiente de trabalho, os expostos e os agentes ambientais.

A metodologia aplicada para a avaliação da exposição ao monóxido de carbono foi dividida desta mesma forma, se desdobrando nos itens seguintes: Descrição do Ambiente de Trabalho; Descrição das Atividades; Propriedades Físico-químicas e Limites de Exposição do Monóxido de Carbono; Grupo Homogêneo de Exposição (GHE); Análise Preliminar de Risco em Higiene Ocupacional; Fatores Externos que podem interferir na Avaliação; Identificação do Exposto de Maior Risco; Método Analítico de Amostragem; Características do Instrumento de Medição.

### 7.1 Descrição do Local de Trabalho

O Posto de Controle de Cargas do Terminal Alfandegado da Base Geólogo Carlos Walter Marinho Campos, no Bairro Imbetiba, no Município de Macaé, concentra toda a movimentação de cargas que embarcam e desembarcam de Plataformas Marítimas, de Sondas de Perfuração e Embarcações de Serviços, além

de fornecer suprimentos para as operações terrestres que garantem a continuidade operacional no mar, vide **Figura 7.1**.



**Figura 7.1** – Vista aérea do Terminal Alfandegado de Imbetiba, Macaé – RJ.

O Posto de Controle de Cargas situa-se a margem da faixa de areia da Praia Campista, vide **Figura 7.2**, não existindo outras edificações entre o posto e a praia. As características de construção do Posto de Controle de Cargas promovem a circulação de correntes de ar provenientes do oceano e da terra favorecendo a dispersão de possíveis poluentes presentes.

O grande fluxo de veículos pesados, em determinados momentos, congestionam a pista de rolamento da Praia Campista, na área externa. Na área interna em certos momentos observa-se também grande número de veículos aguardando liberação para saída da Base da Petrobras ou entrada na área do Porto.



**Figura 7.2** – Vista externa do Posto de Controle de Cargas, Imbetiba, Macaé - RJ.

Estas salas estão construídas a cerca de 1,60m da pista de rolamento para facilitar o contato com os motoristas e a fiscalização das cargas, possuindo entradas para as duas pistas de entrada e saída, conforme **Figura 7.3**.



**Figura 7.3** – Vista interna do Posto de Controle de Cargas – Entrada de Veículos.

Além dos veículos pesados movidos a diesel também passam diariamente pelo Posto de Controle de Cargas, através da ferrovia (**Figura 7.3**), vagões-tanques com diesel para suprir os tanques de estocagem localizados no Morro do Engenheiro.

Destes tanques de estocagem, o combustível é bombeado para as embarcações que atendem às plataformas, sondas e algumas embarcações.

## 7.2 Propriedades Físico-químicas e Limites de Exposição do Monóxido de Carbono

O Monóxido de Carbono é um gás inodoro, incolor, é um agente redutor ativo a temperaturas elevadas, contudo é principalmente encontrado como uma emissão residual da resultante da combustão incompleta de materiais contendo carbono, como o óleo diesel.

As principais propriedades físico-químicas são apresentadas a seguir.

**Tabela 7.1 – Composição e Fórmula Química do Monóxido de Carbono.**

| Nome                | Nº CAS   | Fórmula Molecular | Classificação Toxicológica | Peso Molecular |
|---------------------|----------|-------------------|----------------------------|----------------|
| Monóxido de Carbono | 630-08-0 | CO                | Gás asfixiante bioquímico  | 28,01          |

### 7.2.1 Propriedades Físico-químicas do Monóxido de Carbono

- Estado físico: Gasoso
- Cor: Incolor
- Odor: Inodoro
- pH: Não aplicável
- Temperaturas específicas ou faixas de temperatura nas quais ocorrem mudanças de estado físico:

Ponto de ebulição: -191,5 °C

Ponto de congelamento: - 205,1 °C

- Temperatura de auto-ignição: 630 °C
- Ponto de fulgor: Não determinado

- Limite de explosividade: Limite de Explosividade Inferior: 12,5 % Limite de Explosividade Superior: 74,0 %
- Densidade: 1,15 kg/m<sup>3</sup> a 21 °C e 1 atm
- Densidade do gás no ponto de ebulição: 793 kg/m<sup>3</sup>
- Pressão de vapor: Acima da temperatura crítica -140,2 °C (21 °C e 1 atm)
- Solubilidade: Levemente solúvel em água.

### 7.2.2 Limite de Exposição Ocupacional

O controle da exposição do trabalhador ao Monóxido de Carbono no seu local de trabalho de acordo com os limites estabelecidos visam prevenir o envenenamento agudo por CO; proteger o empregado de alterações deletérias no miocárdio associadas com níveis de carboxihemoglobina acima de 5 % e prever a proteção do trabalhador de efeitos adversos resultantes da exposição ao monóxido de carbono, ainda que à baixos níveis de exposição, vide **Tabela 7.2**.

**Tabela 7.2 – Limites de Exposição para o Monóxido de Carbono.**

| Nome                       | Limite de Exposição | Tipo             | Efeito                                              | Referências                                                         |
|----------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Monóxido de Carbono</b> | <b>25 ppm</b>       | <b>TLV - TWA</b> | <b>Anóxia;<br/>SCV*;<br/>SNC**;<br/>Reprodutivo</b> | <b>ACGIH, 2005</b>                                                  |
|                            | <b>39 ppm</b>       | <b>LT</b>        |                                                     | <b>Ministério do Trabalho e Emprego, NR-15, Anexo 11, Quadro 01</b> |

\*- Sistema Cardiovascular;

\*\*- Sistema Nervoso Central.

### **7.3 Grupo Homogêneo de Exposição (GHE)**

Conhecer o agente ambiental, suas características físico-químicas relevantes e aspectos de toxicologia, vias de entrada no corpo humano e seus efeitos são também importantes, para que se possa definir o Grupo Homogêneo de Exposição (GHE). O GHE deve ser de fácil identificação, a partir do reconhecimento de riscos, ou caracterização básica.

O reconhecimento do Grupo Homogêneo de Exposição (GHE) apresenta vantagens técnica, gerencial e econômica. Observando e conhecendo as exposições podemos reunir os trabalhadores em grupos que possuem chances iguais de exposição a um determinado agente ambiental. Esta similaridade existe do ponto de vista da exposição ocupacional no desenvolvimento de rotinas e tarefas essencialmente idênticas. Portanto, o GHE só faz sentido numa mesma edificação ou sítio operacional, não é possível agrupar trabalhadores que executam suas atividades em locais diferentes. O GHE se inicia pelo ambiente (edificação ou sítio), e pelo agente, seguindo essas premissas, as funções ou atividades tornam a exposição similar.

#### **7.3.1 Atividades do Grupo Homogêneo de Exposição**

As atividades da equipe de Segurança Patrimonial que expõem de forma similar os trabalhadores nos cargos de vigilante e inspetor de segurança interna e que caracterizam o Grupo Homogêneo de Exposição são as seguintes:

- Vistoriar as instalações industriais e administrativas, acessos, cercas e áreas descobertas;
- Fiscalizar entrada e saída de viaturas, vistoriando-as interna e externamente, registrando os horários correspondentes;
- Controlar a entrada e saída de pessoas, exigindo apresentação de documentos e fornecendo plaqueta de identificação, impedindo entradas indevidas;
- Fiscalizar o carregamento ou descarregamento de produtos ou outros materiais, de navios, caminhões ou similares, fora do horário administrativo ou quando solicitado;

- Orientar motoristas quanto ao trânsito e estacionamento nas Unidades, proibindo o acesso às áreas críticas.

#### 7.4 Análise Preliminar de Riscos para Higiene Ocupacional

A Análise Preliminar de Riscos para Higiene Ocupacional (APR-HO) é uma metodologia para a fase de identificação da exposição a agentes ambientais, seja por antecipação (novos projetos, reformas de equipamentos, mudanças de processos) ou reconhecimento (processos de operação). A APR-HO visa a caracterização básica das exposições, através de pesquisa sistemática das tarefas desenvolvidas por um determinado Grupo Homogêneo de Exposição (GHE), subsidiando a tomada de decisão para estabelecer prioridades e periodicidade das avaliações e também verificar a possibilidade de controles que mantenhas as exposições dentro das faixas toleráveis.

A APR-HO é uma ferramenta adaptada da técnica de Análise Preliminar de Riscos (APR), considerando os itens regulamentados pela Norma Regulamentadora – 09, do Ministério do Trabalho.

Seguindo a metodologia foi elaborada uma APR-HO para o Posto de Controle de Cargas que está reproduzida na **Tabela 7.4**.

##### 7.4.1 Descrição dos Campos da APR-HO

- **Risco Ambiental:** Informar o risco relacionado com a atividade, para cada risco utilizar uma linha diferente.
- **Causa/Fonte:** determinar as possíveis fontes geradoras do risco.
- **Trajatória/Meio de Propagação:** Identificar as possíveis trajetórias e os meios de propagação dos agentes no ambiente de trabalho.
- **Efeito potencial:** informar os possíveis danos à saúde, disponíveis em literatura técnica, que possam estar relacionados ao risco identificado. Este campo deve ser preenchido com o suporte técnico dos especialistas em medicina do trabalho.
- **Categoria de Risco:** Para cada agente identificado, estabelecer a categoria do risco. A categoria é atribuída em função das consequências (efeitos), que vão definir prioridades básicas do PPRA em termos de avaliação e controle.
- **Medidas de Controle:** Especificar as medidas de controle existentes para cada agente identificado. Sugerir ou propor medidas adicionais, a serem

ratificadas pelos resultados das avaliações da exposição e a critério da supervisão ou gerência.

- ***E / F / I ou NA***: designar os controles já existentes pela letra “E”; aqueles a serem implementados no futuro pela letra “F”; aqueles que necessitem ser adotados imediatamente, pela letra “I” e “NA” para não aplicável.

### 7.2.3 Índices Biológicos de Exposição

Os Índices Biológicos de Exposição são valores guias de orientação para avaliar os resultados do monitoramento biológico, representam os níveis de determinantes que mais provavelmente serão observados em amostras coletadas de trabalhadores saudáveis que foram expostos a substâncias químicas na mesma intensidade que trabalhadores com exposição por via respiratória no Limite de Exposição. Para o Monóxido de Carbono, os Índices Biológicos de Exposição estão na **Tabela 7.3**.

**Tabela 7.3 – Índices Biológicos para o Monóxido de Carbono.**

| <b>Nome</b>                              | <b>Índice Biológico de Exposição</b> | <b>Tipo</b>            | <b>Horário de Coleta</b> | <b>Notas</b>    |
|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|
| <b>Carboxihemoglobina no sangue</b>      | <b>3,5% da hemoglobina</b>           | <b>BEI<sup>©</sup></b> | <b>Final da jornada</b>  | <b>B*, Ne**</b> |
| <b>Monóxido de Carbono no ar exalado</b> | <b>20ppm</b>                         | <b>BEI<sup>©</sup></b> | <b>Final da Jornada</b>  | <b>B*, Ne**</b> |

\* – O determinante pode estar em presente em amostras biológicas coletadas de pessoas que não foram ocupacionalmente expostas em uma concentração que poderia afetar a interpretação do resultado. Tais concentrações basais estão incorporadas no valor do **BEI<sup>©</sup>**

\*\* - Não específico o determinante é não específico, sendo também observado depois da exposição a outras substâncias químicas.

Tabela 7.4: APR-HO Segurança Patrimonial

| RISCO AMBIENTAL           | CAUSA/FONTE TRAJETÓRIA                        | EFEITOS                                                                                          | CATEGORIA DE RISCO <sup>(a)</sup> | MEDIDAS DE CONTROLE                                                                                                                                                                                                                                     | E/F <sup>(b)</sup> | OBSERVAÇÕES                                                                                                                                                                         |
|---------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monóxido de Carbono       | Inspeção de veículos pesados movidos a diesel | Tonturas, dor de cabeça, sono e redução dos reflexos                                             | III                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Exigir que os motores permaneçam desligados no Posto de Controle de Cargas</li> <li>Implementar junto a Contratadas o Programa de Auto –Fiscalização de Emissões</li> </ul>                                      | E                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar lista de verificação com itens referentes a autofiscalização de emissões.</li> </ul>                                             |
|                           |                                               |                                                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         | F                  |                                                                                                                                                                                     |
| Materiais Particulados    | Inspeção de veículos movidos a diesel         | Alergias, asma, bronquite crônica e agravamento de sintomas produzidos por outros poluentes      | III                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Exigir que os motores permaneçam desligados no Posto de Controle de Cargas</li> <li>Implementar junto a Contratadas o Programa de Auto –Fiscalização de Emissões</li> </ul>                                      | E                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar lista de verificação com itens referentes a autofiscalização de emissões.</li> <li>Realizar avaliações seguindo PPRA.</li> </ul> |
|                           |                                               |                                                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         | F                  |                                                                                                                                                                                     |
| Outros Gases de Combustão | Inspeção de veículos movidos a diesel         | Causam inflamações graves nas mucosas das vias respiratórias, podendo em alguns casos ser fatal. | III                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Exigir que os motores permaneçam desligados no Posto de Controle de Cargas</li> <li>Implementar junto a Contratadas o Programa de Auto –Fiscalização de Emissões</li> </ul>                                      | E                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar lista de verificação com itens referentes a autofiscalização de emissões.</li> <li>Realizar avaliações seguindo PPRA.</li> </ul> |
|                           |                                               |                                                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         | F                  |                                                                                                                                                                                     |
| Ruído                     | Inspeção de veículos movidos a diesel         | Redução da acuidade auditiva para doses acima da unidade(100%)                                   | III                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Exigir que os motores permaneçam desligados no Posto de Controle de Cargas</li> <li>Implementar junto a Contratadas o Programa de Auto –Fiscalização de Emissões</li> <li>Utilizar protetor auricular</li> </ul> | E                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar a eficiência da proteção individual.</li> <li>Realizar avaliações seguindo PPRA.</li> </ul>                                        |
|                           |                                               |                                                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         | F                  |                                                                                                                                                                                     |
|                           |                                               |                                                                                                  |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         | E                  |                                                                                                                                                                                     |

### **7.5 Fatores Externos que podem interferir na Avaliação**

Durante a avaliação ocupacional dos trabalhadores do Posto de Controle de Cargas verificou-se que fatores externos como velocidade do ar e umidade do ar deveriam ser pesquisados e controlados durante o período de amostragem para evitar que interferências destes fatores implicassem na invalidação das amostras.

O município de Macaé conta com 11 quilômetros de litoral, com clima quente e úmido na maior parte do ano, com temperaturas que variam entre 18 °C e 30 °C, a amplitude térmica considerável ocasionada pela troca de ventos entre o litoral e a serra, relativamente próximos.

O local onde está instalado o Posto de Controle de Cargas no Bairro de Imbetiba, na Cidade de Macaé se caracteriza pelos ventos constantes na direção nordeste e pela alta umidade justificada pela proximidade com o oceano.

O Posto de Controle de Cargas está construído de tal forma que favorece a dispersão de poluentes, constituído de um pórtico com mais de seis metros de altura, com aberturas na direção predominante dos ventos.

### **7.6 Estratégia de Amostragem**

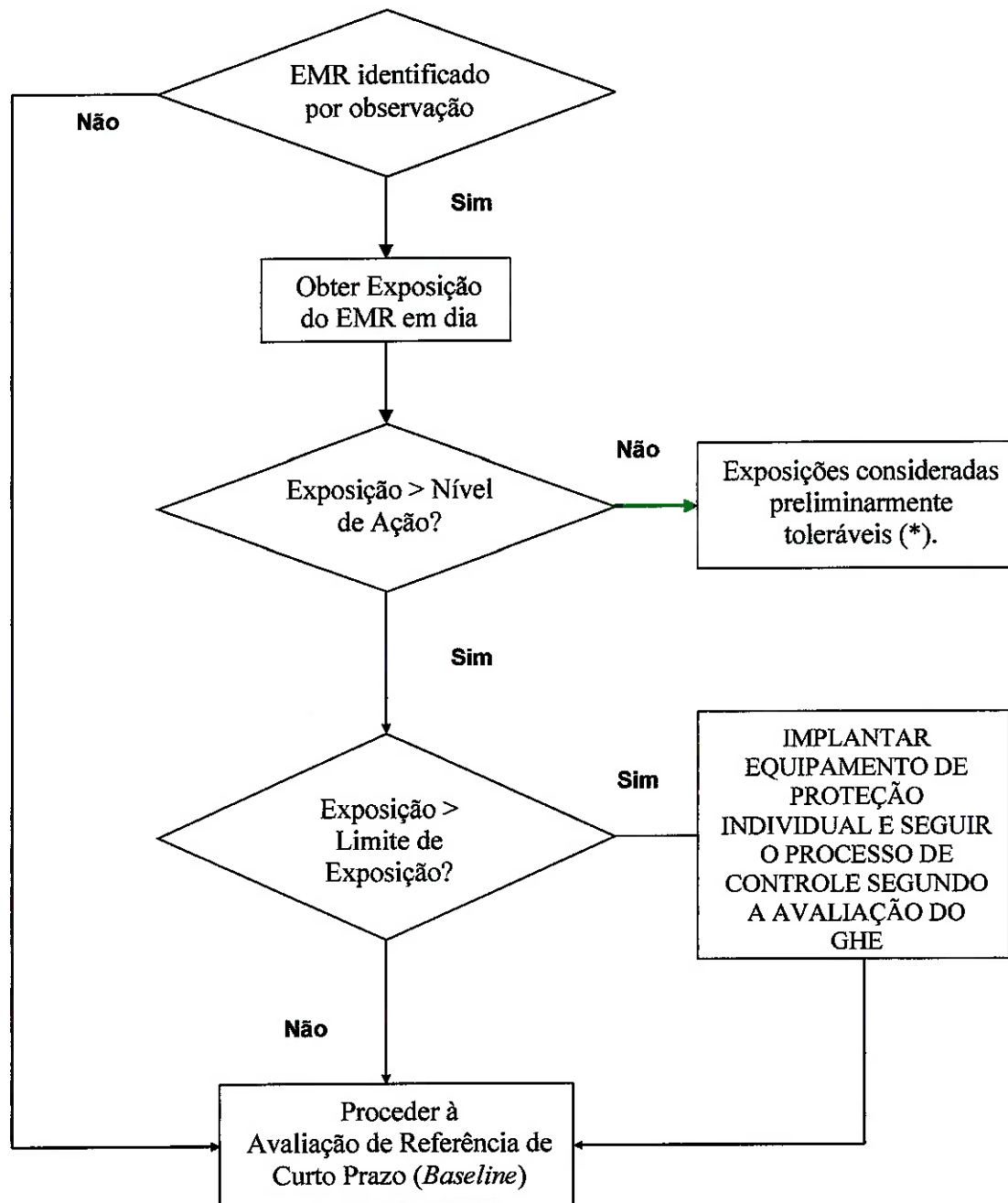
A Estratégia de Amostragem selecionada para avaliação da Exposição Ocupacional do GHE – Segurança Patrimonial atuando no Posto de Controle de Cargas está fundamentada no conceito de Exposto de Maior Risco (EMR), justificado pela observação de campo pelos profissionais higienistas, pelo detalhamento das atividades nas entrevistas com os componentes do GHE e pelo conhecimento dos mecanismos de ação do agente Monóxido de Carbono e as características da exposição.

A avaliação da Exposição Diária Típica do Exposto de Maior Risco é a primeira informação do GHE, que vai servir para uma separação inicial dos grupos homogêneos de exposição como de exposição tolerável ou não, em função dessa exposição estar abaixo ou acima do Nível de Ação, para ser considerada como válida esta avaliação deve ser feita em um dia típico.

Para que a análise não esteja fundamentada em apenas um dia típico, foram realizadas coletas de amostras em três dias consecutivos e os resultados foram

avaliados comparando com o estabelecido no fluxograma de decisão para tolerabilidade preliminar, conforme **Figura 7.4**.

**Figura 7.4** - Fluxograma de decisão para Tolerabilidade Preliminar.



(\*) Reavaliar esta conformidade preliminar em até 2 anos, antecipando se houver alterações na organização do trabalho, nos processos, nos procedimentos, no ambiente, nos produtos ou caso haja indicador biológico excedido.

### **7.6.1 Identificação do Exposto de Maior Risco**

O conceito de Exposto de Maior Risco é originário do NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) em Manual de Estratégias de Amostragens de Agentes Ambientais. O Exposto de Maior Risco é um conceito importante para a otimização de ações de Estratégia de Amostragem, já que Grupos Homogêneos podem ser caracterizados a partir da exposição do EMR, sob determinadas condições.

A caracterização e determinação do Exposto de Maior Risco pode ser feita a partir do julgamento do profissional de higiene, considerando as observações de campo, com conhecimento detalhado das operações, das atividades executadas, do agente em estudo e da também da forma de exposição vinculada ao mesmo.

O Exposto de Maior Risco, EMR, é o trabalhador de um grupo homogêneo (GHE) que se julga possuir a maior exposição relativa em seu grupo. O entendimento de mais exposto do grupo é dado no sentido qualitativo.

Como Exposto de Maior Risco (EMR) foi identificado o Vigilante da empresa prestadora de serviços para a Petrobrás, por exercer suas atividades no turno de 07:00h às 19:00h, notadamente o de maior fluxo de entrada e saída de veículos e, por executar suas atividades de modo mais próximo as fontes do agente, no caso os veículos de carga. Essa exposição diferenciada ocorre pela necessidade de vistoria das cargas e veículos, que acontecem em maior número no horário diurno.

## **7.7 Método Analítico de Amostragem**

Para avaliação da exposição ocupacional ou ambiental ao monóxido de carbono o método analítico utilizado e reconhecido como adequado é o método analítico da NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), número 6604 (Anexo 2), que utiliza como amostrador o monitor de leitura direta para CO (monóxido de carbono) equipado com um sensor eletroquímico. A faixa de precisão está entre 0 e 200ppm.

### **7.7.1 Aplicabilidade**

Os monitores portáteis de leitura direta para monóxido de carbono são aplicáveis para qualquer ambiente de trabalho ou monitoramento de área.

### 7.7.2 Amostragem e Medições

- O monitor deve ser ‘zerado’ com ar livre de CO (monóxido de carbono) na mesma temperatura e umidade relativa do local de trabalho a ser avaliada, se possível.

### 7.7.3 Calibração e Controle de Qualidade

- Calibrar com uma mistura padrão de CO no ar de um cilindro pressurizado com o nível de CO recomendado pelo fabricante do monitor (normalmente, 20 a 50ppm). O monitor deve ser calibrado à temperatura e à umidade relativa<sup>1</sup> tão próximo quanto possível do ambiente de trabalho no qual será utilizado.

- Verificar a calibração diariamente e recalibrar sempre que as leituras do monitor variem de 5% ou mais do ‘span’ gás, ou então de acordo com a recomendação do fabricante.

### 7.7.4 Cálculos

- Fazer a leitura da concentração diretamente da tela do monitor.
- Alguns monitores mantêm uma gravação contínua dos dados, sendo acumulados e podem calcular a Média, o TWA, o Pico, e outras concentrações. Estes dados podem ser lidos da tela a qualquer tempo. Alguns monitores também podem armazenar estas informações para serem transmitidas para um computador ou impressora ao final do período de monitoramento. Outros monitores unicamente indicam na tela as leituras correntes, o que requer do operador a gravação manual dos

---

<sup>1</sup> Nota: Os monitores são mais sensíveis a variações de temperatura do que as variações de umidade. A maioria dos monitores tem circuito de compensação para temperatura.

- Para monitoramento pessoal, posicionar o monitor tão próximo quanto possível da zona respiratória.

- Para monitoramento ambiental, posicionar o monitor numa área com boa circulação de ar e numa de 1,50 m a 1,75 m acima do piso.

- Para qualquer uma das aplicações deve ser assegurado que o sensor não esteja obstruído.

dados. Todos os monitores são equipados com alarmes (sonoros, visuais ou ambos) que sinalizarão ao usuário sempre que a concentração de CO exceder os níveis pré-gravados de alarme. Muitos são equipados com dois níveis de alarme.

### 7.8 Características do Instrumento de Medição

Foram realizadas medições com instrumento de leitura direta, marca Zellweger Analytics Limited, representada no Brasil pela Zell Ambiental, modelo Impact Pro, Monitor de Gás Portátil. Conforme manual do instrumento seu propósito é monitorar continuamente a atmosfera, em uma área onde houver a presença reconhecida de até quatro (04) gases perigosos. Essas concentrações de gases no ar são medidas através de sensores com tecnologia Zellweger Analytics. O equipamento possui alarmes sonoros e visuais que alertarão o usuário do perigo, quando o nível de exposição aos gases exceder os limites de segurança.

O instrumento está equipado com quatro sensores para detecção de oxigênio, gases inflamáveis e dois sensores para gases tóxicos, neste caso o monóxido de carbono e gás sulfídrico. Os quatro sensores estão em um cartucho de fácil reposição, vide **Figura 7.5**.



**Figura 7.5** – O instrumento de medição – Modelo Impact Pro.

O Impact Pro foi projetado para alertar o usuário sobre atmosferas potencialmente perigosas, principalmente nas atividades em espaços confinados. O instrumento deverá ser ligado e colocado com a grade dos sensores posicionada próximo à zona respiratória, seguindo também a recomendação do método NIOSH. Uma grande variedade de acessórios poderá ser utilizada para acomodar o instrumento de maneira prática.

Em operação normal o Impact Pro, poderá ser usado no cinto, com alças para fixação no corpo ou segurando-o pelas mãos. Quando ativado o Impact Pro monitora continuamente a atmosfera, que é alcançada pelos sensores por difusão através da grade dos sensores, ou amostrada por meio de mangueiras através da utilização de um aspirador manual ou bomba automática. Para instrumentos configurados sem bomba automática, o movimento do ar é suficiente para levar uma amostra para os sensores e estes reagem imediatamente às alterações das concentrações dos gases medidos ao redor do instrumento. Especificações Técnicas do Modelo Impact Pro estão na Figuras 7.6 (a) e (b).

MAN - MPAC1PRO

Versão 0 - 07/03

## 12. APÊNDICE B

### 12.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

#### 12.1.1 Especificações do Instrumento

| <b>Peso</b>                         | 5,0 kg (+10%) incluindo bateria e bomba                                                                                                                                        |                 |                          |               |                   |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|---------------|-------------------|
| <b>Dimensões</b>                    | 480mm x 84mm x 138mm (19" x 3,3" x 5,3")                                                                                                                                       |                 |                          |               |                   |
| <b>Sensores</b>                     | <b>Faixa</b>                                                                                                                                                                   | <b>Precisão</b> | <b>Tempo de Resposta</b> | <b>Impact</b> | <b>Impact Pro</b> |
| Infra-vermel                        | 0-100% LEL                                                                                                                                                                     | ± 3% LEL        | < 10s                    | ✓             | ✓                 |
| Oxigênio                            | 0-25% v/v                                                                                                                                                                      | ± 0,3% v/v      | < 10s                    | ✓             | ✓                 |
| Monóxido de Carbono                 | 0-500 ppm                                                                                                                                                                      | ± 12,5 ppm      | < 30s                    | ✓             | ✓                 |
| Gás Hidrocarbono                    | 0-50 ppm                                                                                                                                                                       | ± 2,5 ppm       | < 30s                    | ✓             | ✓                 |
| Dióxido de Enxofre                  | 0-20 ppm                                                                                                                                                                       | ± 1 ppm         | < 60s                    |               | ✓                 |
| Cloro                               | 0-10 ppm                                                                                                                                                                       | ± 0,5 ppm       | < 60 s                   |               | ✓                 |
| Dióxido de Cloro                    | 0-5 ppm                                                                                                                                                                        | ± 0,2 ppm       | < 60s                    |               | ✓                 |
| Nitrogênio                          | 0-20 ppm                                                                                                                                                                       | ± 1 ppm         | < 80s                    |               | ✓                 |
| Amônia                              | 0-100 ppm                                                                                                                                                                      | ± 5 ppm         | < 90s                    | ✓             |                   |
| Dióxido de Carbono                  | 0-3% v/v                                                                                                                                                                       | ± 0,2% v/v      | < 150s                   |               | ✓                 |
| <b>Alarme Visual</b>                | 4 LEDs vermelhos de alta intensidade<br>2 LEDs verdes para sinalização de guarda                                                                                               |                 |                          |               |                   |
| <b>Alarme Acustico</b>              | 85 dBA a 1 metro                                                                                                                                                               |                 |                          |               |                   |
| <b>Tela</b>                         | Grande tela gráfica de cristal líquido com iluminação traseira                                                                                                                 |                 |                          |               |                   |
| <b>Padrão IP</b>                    | Instrumento IP65 (NEMA 4X) - Carucho IP54 (NEMA 4)                                                                                                                             |                 |                          |               |                   |
| <b>Temperatura de Operação</b>      | -20° C (-4° F) a +55° C (+131° F)                                                                                                                                              |                 |                          |               |                   |
| <b>Temperatura de Armazenamento</b> | Instrumento, partes e peças e acessórios:<br>-40° C a +80° C (-40° F a +176° F)<br>Caruchos e acessórios de reposição:<br>-40° C a +80° C (-40° F a +176° F) 6 meses no máximo |                 |                          |               |                   |
| <b>Pressão</b>                      | 800-1200 kPa                                                                                                                                                                   |                 |                          |               |                   |

101

**Figura 7.6(a) – Especificações Técnicas do Modelo Impact Pro.**

MAN\_IMPACTPRO

Versão 0 = 07.03

## 12. APÊNDICE B

|                                                 |                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Escala de Umidade</b>                        | 20 até 90% HR contínua                                                                                                                            |
| <b>Bomba de Amostragem (quando configurada)</b> | 0.5 l/hrs/minuto até 20 metros (66').<br>Detecção de falha no fluxo e sistema automático (gar-desliga)                                            |
| <b>Aprovação EMC</b>                            | EN 50270                                                                                                                                          |
| <b>Bateria</b>                                  | NiMH recarregáveis, tempo de operação > 14 horas<br>Carregamento máximo de 5 horas<br>Pilhas alcalinas descartáveis, tempo de operação > 20 horas |
| <b>12.3.2 ESPECIFICAÇÕES DO CARREGADOR</b>      |                                                                                                                                                   |
| 2302D0816                                       | 230Vac 50Hz formato de plug Europeu, 12Vdc 500mA de saída regulada                                                                                |
| 2302D0818                                       | 230Vac 50Hz formato de plug Inglês, 12Vdc 500mA de saída regulada                                                                                 |
| 2302D0819                                       | 120Vac 60Hz formato de plug americano, 12Vdc 500mA de saída regulada                                                                              |
| 2302D0820                                       | 240Vac 50Hz formato de plug australiano, 12Vdc 500mA de saída regulada                                                                            |
| 2302D0815                                       | 12V/24VDC carregador veicular                                                                                                                     |

Temperatura de armazenamento (todas as versões) -20° C a +50° C  
 Temperatura de operação (todas as versões) 0° C a +35° C

102

**Figura 7.6(b) – Especificações Técnicas do Modelo Impact Pro.**

## 7.9 Orientações para o trabalho de campo e acompanhamento

O trabalho de campo foi supervisionado pela equipe de Engenheiros de Segurança, Christine Féo Pascoal, Maria de Fátima Martins Matos e Cláudio Violante Ferreira, com a colaboração do Técnico de Segurança, Fernando do Sacramento Cardoso e acompanhado todo o tempo por estagiários do Curso Técnico de Segurança do Trabalho, que estão sendo capacitados na Gerência de Segurança, Meio Ambiente e Saúde da Regional Bacia de Campos dos Serviços Compartilhados.

Foram esclarecidos os objetivos do trabalho e quais os comportamentos esperados, quando portando o instrumento de medição, ou seja, as atividades deveriam transcorrer de modo totalmente habitual, caracterizando o dia típico e atividade típica.

No transcorrer dos três dias não foram observadas ocorrências que inviabilizassem as amostras.

## **8 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **8.1 Coleta de Amostras**

As amostras foram coletadas entre os dias 03 e 05 de janeiro de 2006, tendo início por volta das 08:40h, com calibração dos equipamentos com o gás padrão e posicionamento do instrumento no Exposto de Maior Risco.

As amostras foram finalizadas sempre ao final do horário administrativo, por volta das 17 horas, considerando o período representativo da jornada integral.

O método de amostragem com instrumento de leitura direta com amostras pontuais de curta duração consiste de várias amostras, aleatórias quanto ao momento da realização de cada amostra, devendo ser distribuídas ao longo da jornada. Cabe ressaltar que são necessárias no mínimo 09 amostras durante a jornada para estimar a média ponderada para a jornada. Com a utilização do Impact Pro qualquer alteração na concentração do Monóxido de Carbono é detectada e registrada, sendo assim tem-se um bom conjunto de determinações que permitem avaliar a exposição ocupacional do GHE.

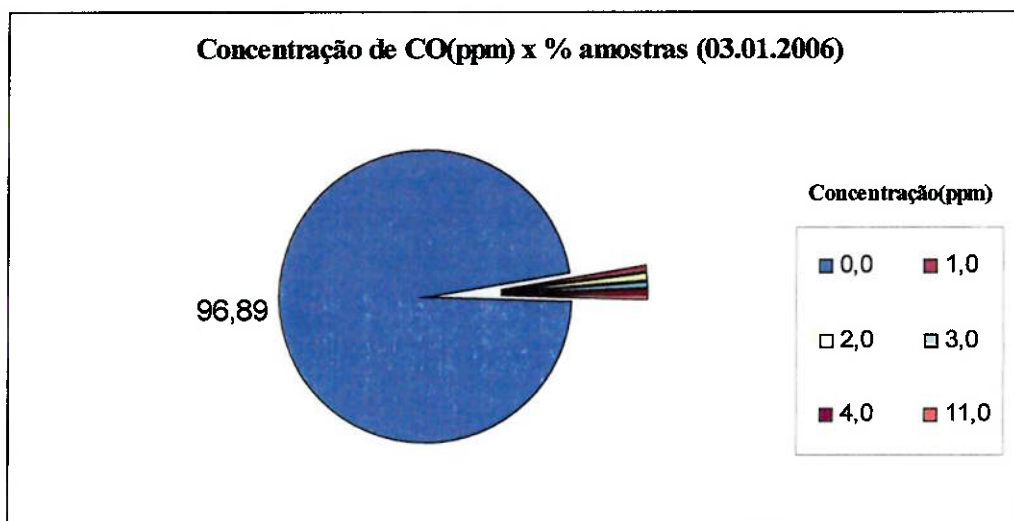
### **8.2 Condições Meteorológicas durante a Avaliação**

As condições meteorológicas que poderiam interferir na avaliação e no equipamento de medição, nos três dias se mantiveram conforme as previsões obtidas dos “sites” da Somar Meteorologia, na página virtual “Tempo Agora” e do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, INPE, na página virtual “Previsão de Tempo”, tempo encoberto com possibilidade de pancadas de chuva no decorrer do período, com ventos de Leste a Nordeste, com velocidades entre 6km/h a 22km/h e Umidade Relativa entre 62% e 83% (Anexo 4 e 5).

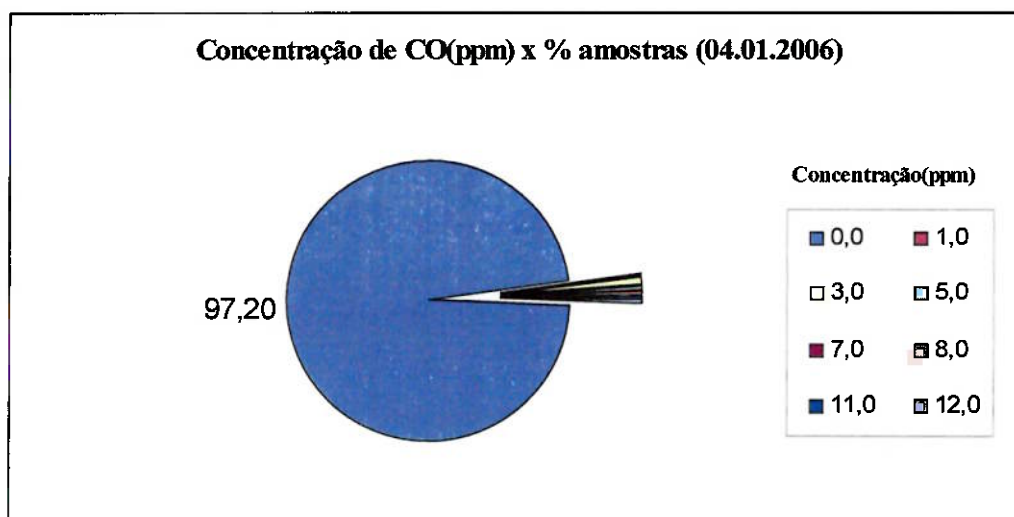
A predominância de ventos e a umidade relativa do ar caracterizam o dia típico na área em estudo, que conforme já citado anteriormente no item 7.5.

### **8.3 Apresentação de Resultados**

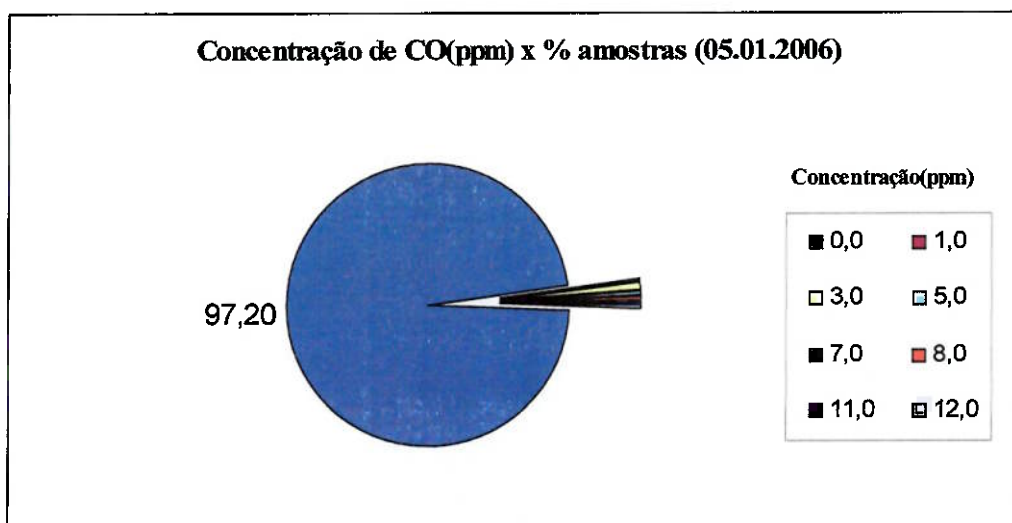
Verificou-se que as concentrações acima de zero, conforme **Figuras 8.1, 8.2 e 8.3**, não atingiram em momento algum níveis próximos do valor do nível de ação para o Monóxido de Carbono. O valor máximo atingido nos três dias de avaliação foi de 15ppm.



**Figura 8.1** – Concentração de CO(ppm) pelo percentual de amostras no dia 03/01/2006.



**Figura 8.2** – Concentração de CO(ppm) pelo percentual de amostras no dia 04/01/2006.



**Figura 8.3** – Concentração de CO(ppm) pelo percentual de amostras no dia 04/01/2006.

Os resultados dos três dias consecutivos evidenciam que a exposição ao agente Monóxido de Carbono, com valores de Média Geométrica e Média Aritmética iguais ou próximas ao valor zero está sob controle e abaixo do nível de ação no referido local de amostragem.

A constatação de que a exposição ao agente monóxido de carbono está sob controle e em níveis muito baixos é importante para esclarecer e tranquilizar os trabalhadores cotidianamente expostos a este agente.

Conforme fluxograma de decisão para tolerabilidade preliminar, **Figura 7.4**, estas exposições são consideradas preliminarmente toleráveis, devendo ser reavaliada esta conformidade preliminar em até 2 anos, antecipando se houver alterações na organização do trabalho, nos processos, nos procedimentos, no ambiente, nos produtos ou caso haja indicador biológico excedido.

## 9 CONCLUSÕES

A pesquisa bibliográfica revelou que a queima de combustíveis fósseis contribui de forma preponderante para o aumento dos níveis de Monóxido de Carbono, resultando em poluição atmosférica e danos a saúde da população que está exposta de forma cotidiana ao agente ambiental. A legislação ambiental hoje vigente no Brasil tem mecanismos de autocontrole e regulação que promove um menor lançamento dos gases poluentes por veículos leves movidos a gasolina e por veículos pesados movidos a diesel.

A autofiscalização regulamentada pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE do Conselho Nacional de Meio Ambiente visa o maior controle por iniciativa dos fabricantes, revendedores e proprietários de veículos, direcionando a política ambiental para uma participação mais ativa.

Recomenda-se atuação pró-ativa das empresas clientes de serviços de transportes de carga, inserindo como requisito contratual, a informações de gestão o Programa de Autofiscalização de Emissões estabelecido pelo IBAMA, que pode resultar em ações de controle e manutenção da frota, em consequência deve ser esperada uma redução das concentrações dos poluentes no ambiente de trabalho.

Como resultado das observações de campo, verificou-se que condições favoráveis de ventos aliadas aos critérios construtivos adequados das edificações considerando as condições geográficas e climáticas promovem melhorias no ambiente de trabalho.

Como trabalhos futuros recomenda-se a reavaliação ainda no primeiro semestre de 2006, como desenvolvimento de atividades do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, PPRA. Propõe-se também novas avaliações num prazo inferior a 2 anos, já que está previsto um novo projeto para o Posto de Controle de Cargas, conforme **Figura 7.4**, Fluxograma de decisão para Tolerabilidade Preliminar.

Sugere-se ainda que, no primeiro semestre de 2006, haja um detalhamento da exposição para os outros agentes possíveis de estarem presentes no local de trabalho, resultantes da queima do combustível, tais como os materiais particulados, os óxidos de nitrogênio e de enxofre, para que se obtenha um diagnóstico minucioso da situação atual.

Este diagnóstico é importante, porque pode influenciar no novo projeto do Posto de Controle de Cargas, podendo alterar uma condição de operação hoje vigente, minimizando ou reduzindo em médio prazo a exposição dos trabalhadores aos agentes nocivos.

## **ANEXO I - Calibração do Impact Pro**

Calibration Certificate/Record ContentsIdentification

|                     | Instrument  | Cartridge    |
|---------------------|-------------|--------------|
| Type                | Impact Pro  | O2FLMICOVH2S |
| Serial Number       | ZEL0501546  | 0051417      |
| Date of Manufacture | 12/03/2004  |              |
| Date of Activation  | 30/07/2004  |              |
| Software Version    | Version 5.2 |              |

Alarm Setpoints

|     | Alarm 3  | Alarm 2    | Alarm 1 | STEL  | LTEL  |
|-----|----------|------------|---------|-------|-------|
| O2  | (18)%V/V | (19,5)%V/V | 23%V/V  |       |       |
| FLM | 50%LEL   | 20%LEL     | 10%LEL  |       |       |
| CO  | 100ppm   | 70ppm      | 58ppm   | 45ppm | 39ppm |
| H2S | 30ppm    | 20ppm      | 16ppm   | 10ppm | 8ppm  |

Note : Only enabled alarms are shown. Disabled alarms are shown as '-----'.  
() signifies a falling alarm.

Calibration

Date of Calibration: 02/01/2006 17:20:05  
Date Last Calibrated: 13/12/2005 15:16:00  
Flammable Calibration Gas: Methane

|     | Zero Reading | Calibration Gas Concentration | Cylinder Tolerance % | Cylinder Serial Number | Span Reading | Result |
|-----|--------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|--------------|--------|
| O2  | 20,9%V/V     | 15%V/V                        | +/- 5                | 800559                 | 14,7%V/V     | Pass   |
| FLM | 0%LEL        | 50%LEL                        | +/- 5                | 800559                 | 61%LEL       | Pass   |
| CO  | 0ppm         | 100ppm                        | +/- 5                | 800559                 | 107ppm       | Pass   |
| H2S | 0ppm         | 40ppm                         | +/- 5                | 800559                 | 40,1ppm      | Pass   |

Calibration carried out by:  
Signature:

*Christine F60 Pascoal*

Christine F60 Pascoal  
Mat: 023478-1  
Eng<sup>a</sup> de Segurança  
(QM/ARTILHADO/RBC/SMS)

|                     |             |            |  |
|---------------------|-------------|------------|--|
|                     |             | 0051411    |  |
| Date of Manufacture |             | 12/03/2004 |  |
| Date of Activation  |             | 05/08/2004 |  |
| Software Version    | Version 5.2 |            |  |

#### Alarm Setpoints

|     | Alarm 3  | Alarm 2    | Alarm 1 | STEL  | LTCL  |
|-----|----------|------------|---------|-------|-------|
| O2  | (18)%V/V | (19,5)%V/V | 23%V/V  |       |       |
| FLM | 50%LEL   | 20%LEL     | 10%LEL  |       |       |
| CO  | 100ppm   | 70ppm      | 58ppm   | 45ppm | 39ppm |
| H2S | 30ppm    | 20ppm      | 18ppm   | 10ppm | 8ppm  |

Note : Only enabled alarms are shown. Disabled alarms are shown as '-----'.  
() signifies a falling alarm.

#### Calibration

Date of Calibration: 02/01/2006 17:50:50  
Date Last Calibrated: 13/12/2005 15:21:00  
Flammable Calibration Gas: Methane

|     | Zero Reading | Calibration Gas Concentration | Cylinder Tolerance % | Cylinder Serial Number | Span Reading | Result |
|-----|--------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|--------------|--------|
| O2  | 20,9%V/V     | 15,0%V/V                      | +/- 5,0              | 800559                 | 14,6%V/V     | Pass   |
| FLM | 0,0%LEL      | 50,0%LEL                      | +/- 5,0              | 800559                 | 50,0%LEL     | Pass   |
| CO  | 0,0ppm       | 100,0ppm                      | +/- 5,0              | 800559                 | 100,0ppm     | Pass   |
| H2S | 0,0ppm       | 40,0ppm                       | +/- 5,0              | 800559                 | 40,0ppm      | Pass   |

Calibration carried out by.  
Signature:

*Christine Fco Pascoal*

Christine Fco Pascoal  
Mat: 023478-1  
Eng<sup>a</sup> de Segurança  
COMPARTILHADO:RBC/SMS

## **ANEXO II - Método Analítico para o Monóxido de Carbono**

## CARBON MONOXIDE

6604

CO MW: 28.00 CAS: 630-08-0  
 RTECS: FG3500000

|                                                                                               |                  |                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| METHOD: 6604, Issue 1                                                                         | EVALUATION: FULL | Issue 1: 15 May 1996                                                                                          |
| OSHA: 50 ppm<br>NIOSH: 35 ppm; C 200 ppm<br>ACGM: 25 ppm<br>(1 ppm = 1.14 mg/m <sup>3</sup> ) | PROPERTIES:      | gas; BP -192 °C, MF -207 °C, vapor density (air = 1) 0.867; flammable (explosive) limits in air 12.5 to 74.2% |

SYNONYMS: monoxide; carbon oxide; carbonic oxide; flue gas

| SAMPLING               |                                                      | MEASUREMENT    |                                                         |
|------------------------|------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------|
| SAMPLER:               | PORTABLE DIRECT-READING CO MONITOR                   | TECHNIQUE:     | ELECTROCHEMICAL SENSOR                                  |
| VOL-MIN:               | instrument dependent                                 | ANALYTE:       | carbon monoxide (CO)                                    |
| -MAX:                  | none                                                 | CALIBRATION:   |                                                         |
| SHIPMENT:              | routine shipment of instrumentation                  | - ZERO:        | CO-free air                                             |
| SAMPLE STABILITY:      | at least 7 days @ 25 °C [1]<br>(aluminized air bags) | -SPAN:         | standard cylinders of span gas in the desired range     |
| BLANKS:                | fresh air or compressed CO-free air from cylinder    | RANGE:         | 1 to 200 ppm                                            |
| ACCURACY               |                                                      | ESTIMATED LOD: | 1 ppm                                                   |
| RANGE STUDIED:         | 0 to 200 ppm                                         | PRECISION (%): | 3.035 @ 20 ppm<br>5.012 @ 50 ppm<br>3.005 @ 100 ppm [2] |
| BIAS:                  | - 1.7% [2]                                           |                |                                                         |
| OVERALL PRECISION (%): | 0.022 [2]                                            |                |                                                         |
| ACCURACY:              | ± 5.0%                                               |                |                                                         |

APPLICABILITY: Portable, direct-reading carbon monoxide monitors are applicable to any work environment for personal or area monitoring.

INTERFERENCES: Several gaseous pollutants (e.g., NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) may cause an interference at levels over 5 ppm. If these or other pollutants are known or suspected to be present, use a monitor with a chemical interference scrubber over the sensor. Unknown pollutants may require further experimentation to determine their effect on the sensor. As tested, SO<sub>2</sub> (5 ppm), CO<sub>2</sub> (500 ppm), methylene chloride (500 ppm), diesel fuel (5 µL/L, about 0.3 ppm benzene), and gasoline vapor (1 µL/L, about 1 ppm benzene) had no impact on most monitor readings [2]. Some monitors are equipped with a chemical interference scrubber while others offer this as an option.

OTHER METHODS: Bag samples may be collected in aluminized bags (5-L or larger) and analyzed later by placing the calibration cap over the sensor and pumping the sample across the sensor at a nominal rate of 0.250 L/min with a personal sampling pump.

**REAGENTS:**

1. CO\* calibration gas, 20 to 50 ppm, compressed gas cylinder, appropriate pressure regulator and other items as recommended by manufacturer for field check of monitor response.

\* See SPECIAL PRECAUTIONS

**EQUIPMENT:**

1. Carbon monoxide monitor: Envirocheck I single sensor CO Monitor (Quest Technologies), CO282 or STX70 (Industrial Scientific), MiniCO (MSA), or other electrochemical CO monitor with equivalent performance specifications.
2. Personal sampling pump, 0.250 L/min, with inlet and outlet, used for bag filling and sample analysis when off-site analysis is needed.
3. Air bags, aluminized, 2-L, or other appropriate sizes (optional).
4. Replacement batteries or battery recharger, as appropriate for monitor.

**SPECIAL PRECAUTIONS:** Carbon monoxide is a highly flammable, dangerous fire and explosive risk, and is toxic by inhalation. Shipments of compressed calibration gas must comply with 49 CFR 1962 regulations.

**SAMPLING AND MEASUREMENT:**

1. Zero monitor with CO-free air at the same temperature and relative humidity as the work environment, if possible.  
NOTE: Monitors are more sensitive to temperature variations than to humidity variations. Most monitors have temperature compensating circuitry.
2. For personal monitoring, locate the monitor as near the worker's breathing zone as possible.
3. For area monitoring, locate monitor in an area with good air circulation about 60 to 70 inches above the floor.  
NOTE: Make sure the sensor is not obstructed in either application.

**CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:**

4. Calibrate with a standard calibration mixture of CO in air from a pressurized cylinder at the CO level recommended by the monitor manufacturer (Normally, 20 to 50 ppm CO). The monitor should be calibrated at the temperature and relative humidity as near as possible to that of the work environment in which it will be used.
5. Check the calibration daily and recalibrate whenever the monitor reading varies from the span gas by 5% or more, or as the manufacturer recommends.

**CALCULATIONS:**

6. Read concentration directly from the monitor display.

Some monitors (data logger models) will maintain a continuous record of the data as it is accumulated and will calculate the Average, TWA, Peak, etc. concentrations. These data may be read from the display at any time. Some monitors will also store this information for downloading to a computer or printer at the end of the monitoring period. Other monitors only display the current reading, requiring the operator to manually record the data. All monitor models are equipped with alarms that will warn the user (audibly, visually or both) whenever the concentration of CO exceeds the preset level of the alarm. Many are equipped with two-level alarms [3].

**EVALUATION OF METHOD:**

The performance of six direct-reading carbon monoxide monitors was evaluated over a period of 12 months.

at CO concentrations up to 200 ppm and a range of ambient temperatures and relative humidities. Most of the tests were conducted at or near the PEL. For mean recovery studies, six different monitors were used and readings were taken approximately 1 h apart. Recovery at 20 ppm was 105% (n = 42); at 50 ppm, 99.8% (n = 36); and at 100 ppm, 99.9% (n = 30). Thus, the overall mean bias was calculated at -1.7%. The precision ( $S_x$ ) at 20 ppm was 0.035 (35 readings from 5 monitors over a 7-h period). At 50 ppm,  $S_x$  was 0.012 (30 readings from 5 monitors over a 6-h period), and at 100 ppm,  $S_x$  was 0.008 (30 readings from 6 monitors over a 6-h period). Tests also were conducted to determine response time, zero and span drift, alarm decibel level, battery life, life of the sensors, as well as the effects of selected interferences (gases, vapors, and RF) and the effects of handling and transporting to remote sites.

#### REFERENCES:

- [1] NIOSH [1977]. Backup data report no. S340, prepared under NIOSH Contract No. 210-76-0123.
- [2] Woodfin WJ, Woebkenberg ML (in preparation). An evaluation of portable direct-reading carbon monoxide monitors.
- [3] Ashley K [1994]. Electroanalytical applications in occupational and environmental health. *Electroanalysis* 6:805-820.

#### METHOD WRITTEN BY:

W James Woodfin, NIOSH, DPSE, MRB

**ANEXO III - Previsão do Tempo – Somar Meteorologia**

**TEMPO AGORA**  
 sites com TODAS as notícias do BRASIL

Home | Brasil | Mundo | Entenda o Tempo | Outros

Sua rádio oferece sempre as mesmas notícias?

A Empresa | Mapa do Site | Fale Conosco

### cidades

Busca por cidades:  OK

Brasil Mundo

**Quinta-Feira, 5 de Janeiro de 2006**

**Macaé-RJ**

**Condição Atual**

**encoberto**

TEMPERATURA: 25°C

Sens. Térmica: 24°C

VENTO: SSW - 10km/h

UMIDADE: 83%

Atualizado às 13:00hs de 05/01/2006

**Hoje**

NASCIMENTO: \*6:11h

POENTE: \*19:32h

horário oficial do Brasil

**previsão para os próximos dias**

**Qui-05/01 Macaé-RJ**

**pancadas**

saiba mais

27 °C

23 °C

3 mm

NE-6km/h

13 extrema

**Sex-06/01 Macaé-RJ**

**pancadas**

saiba mais

29 °C

24 °C

2 mm

NE-9km/h

13 extrema

**Sab-07/01 Macaé-RJ**

**pancadas**

saiba mais

28 °C

23 °C

4 mm

ENE-17km/h

12 extrema

**Dom-08/01 Macaé-RJ**

**poucas nuvens**

saiba mais

29 °C

22 °C

0 mm

E-16km/h

12 extrema

**Seg-09/01 Macaé-RJ**

**nublado com chuva**

saiba mais

27 °C

23 °C

8 mm

ENE-15km/h

12 extrema

5 moderada

**ONDE ESTÁ PREVISÃO PARA OS DIAS**

TEMPERATURA MÁXIMA

TEMPERATURA MÍNIMA

PRECIPITAÇÃO

VENTO

ÍNDICE DE RAIOS ULTRAVIOLETA

ÍNDICE DE RAIOS ULTRAVIOLETA

OSR. NEBULOSIDADE

copyright 2003 Southern Marine Weather Services S/S LTDA. O site Tempo Agora, seu logotipo e seu conteúdo são produtos da SOMAR Meteorologia. É proibida a reprodução total e/ou parcial sem prévia autorização.

**ANEXO IV - Previsão do Tempo - INPE**



# Previsão de Tempo

Home CPTEC / Tempo / Clima / Previsões Numéricas / Satélite / Ondas / Energia / Dados Observacionais / Pesq. & Desenvolvimento / Pós-Processamento

## Macaé-RJ

| Condições Atuais                                                                  |             |                  |                | 04/01/2006<br>14h00 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|----------------|---------------------|
|  | Temperatura | Umidade Relativa | Pressão        | Vento               |
|                                                                                   | <b>29°C</b> | <b>62%</b>       | <b>1007hPa</b> | <b>← E - 22km/h</b> |

**IUV Observa**  
04/01/2006  
**15h0**  
Horário Brasília

**Índice UV 5**  
Moderado

### Previsão de 04/01/2006

Temperaturas Estimadas por Sistema Automático

| Quarta - 04/01                                                                    |                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Temp. Máxima: <b>30°C</b>                                                         | Sol Nascente: <b>05:08:21</b>                                                     |
| Temp. Mínima: <b>25°C</b>                                                         | Sol Poente: <b>18:35:51</b>                                                       |

| Quinta - 05/01                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Temp. Máxima: <b>28°C</b>                                                         | Sol Nascente: <b>05:09:01</b>                                                       |
| Temp. Mínima: <b>23°C</b>                                                         | Sol Poente: <b>18:36:04</b>                                                         |

| Sexta - 06/01                                                                      |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Temp. Máxima: <b>28°C</b>                                                          | Sol Nascente: <b>05:09:41</b>                                                        |
| Temp. Mínima: <b>21°C</b>                                                          | Sol Poente: <b>18:36:17</b>                                                          |

| Sábado - 07/01                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Temp. Máxima: <b>29°C</b>                                                           | Sol Nascente: <b>05:10:22</b>                                                         |
| Temp. Mínima: <b>21°C</b>                                                           | Sol Poente: <b>18:36:27</b>                                                           |

**Veja a Previsão para sua Cidade**

[OK](#)

Obs: As horas apresentadas não são corrigidas para o horário de verão

Previsões para Índice UV para céu claro (sem nuvens).  
Clique aqui ou sobre o ícone para avaliar o índice sob condição de nebulosidade observada.  
**Recomendação da Organização Mundial da Saúde.**

## **LISTA DE REFERÊNCIAS**

AZUAGA, D. **Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil.** 2000.168p.

Dissertação (Mestrado) – Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2000.

BRAUN, S; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. A. **Poluição Gerada Por Máquinas De Combustão Interna Movidas À Diesel - A Questão dos Particulados. Estratégias Atuais para a Redução e Controle das Emissões e Tendências Futuras.** Quim. Nova, Vol. 27, No. 3, 472-482, 2003.

CASTANHO, A. D. A. **A Determinação Quantitativa de Fontes de Material Particulado na Atmosfera da Cidade de São Paulo.** 1999.

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1999.

CAVE, **Smog Fotoquímico, São Paulo, 2005.** Disponível em: <http://cave.cave.com.br/fio/smog/smog.htm>

GEO BRASIL 2002. **O estado do meio ambiente no Brasil.** Disponível em: [www.geobrasil.org.br](http://www.geobrasil.org.br) (Acessado em Junho/2005).

IBAMA. **Os Transportes e o Meio Ambiente.** Disponível em: [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br) (Acessado em Junho/2005).

IBAMA. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.** Brasília, 2004. Disponível em: [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br) (Acessado em Junho/2005).

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre Emissões Atmosféricas Estudo de Caso: Avaliação do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para Fontes Móveis.** 2005.153 p.

Dissertação (Mestrado) – Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, **Manual de Legislação Atlas, Segurança e Medicina do Trabalho**, 54ª Edição, 2004. 771p

MONTEIRO, A. G. **Estratégia de Redução de Emissões de Poluentes no Setor de Transportes por Meio de Substituição Modal na Região Metropolitana de São Paulo**. 1998. 114 p.

Dissertação (Mestrado) – Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.

MYSPLACE. Planeta Terra II, Atmosfera. Disponível em: <http://myspace.eng.br/terra/terra2.asp> (Acessado em Junho/2005).

PIRES, D. O. **Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2005. 188 p.

Dissertação (Mestrado) – Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

ROSEIRO, M. N. V. **Morbidade por Problemas Respiratórios em Ribeirão Preto – SP, de 1991 a 2001, Segundo Indicadores Ambientais, Sociais e Econômicos**. 2002.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2002.

SZWARCFITER, L. **Opções para o Aprimoramento do Controle de Emissões Veiculares de Poluentes Atmosféricos no Brasil – Uma Avaliação do Potencial de Programas de Inspeção e Manutenção e de Renovação Acelerada da Frota**. 2004.

Tese (Doutorado) – Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). **Descrição das atividades e organização.** Disponível em: [www.unece.org](http://www.unece.org) (Acessado em Junho/2005).

VILELA, A. L. M. **Anatomia e Fisiologia Humana: Sistema Respiratório.** Disponível em: <http://www.afh.bio.br/varios/analuisa.asp> (Acessado em Junho/2005).

VILLALOBOS, L. D. C. **Metodologia Para Otimizar o Cálculo de Planos para Semáforos Considerando o Atraso e a Poluição Atmosférica.** 2000.  
Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.