

FACULDADE MARIO SCHENBERG  
CEAT  
CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS E TREINAMENTO / TRÂNSITO

VAGNER APARECIDO QUINTILIANO

**PROBLEMAS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA  
VEICULAR**

São Paulo

2015

VAGNER APARECIDO QUINTILIANO

**PROBLEMAS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA VEICULAR**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-graduação do Centro de Estudos Avançados e Treinamento / Trânsito, como exigência parcial para obtenção do título de ESPECIALISTA em Gestão e Direito de Trânsito.

São Paulo

2015

Dedico este trabalho a todos os meus amigos e professores que de uma maneira ou outra contribuíram para chegar a este momento.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por proporcionar a vida e fortalecer-me todos os dias.

A minha família, por estar sempre presente.

Aos meus mestres que incansavelmente sempre estiveram presentes e dispostos a proporcionar o máximo de conhecimento e a todos os meus amigos.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Teresa de Calcutá)

## RESUMO

Diversos problemas de saúde estão surgindo e cada vez mais os governos debruçam-se com gastos públicos intermináveis em todo o mundo. São inúmeras as origens de diversas doenças que acometem os seres humanos, plantas e toda a flora do planeta, entretanto, países de consumo desenfreado e uma sociedade moderna capitalista proporcionam ao meio ambiente diversos poluentes que permeiam por toda a atmosfera terrestre. Alguns problemas mundiais e comuns a todos como o efeito estufa, chuva ácida, poluição das águas de consumo e dentre tantos outros estão sendo tratados de forma emergencial e local de acordo com cada característica de sua região atingida e contaminada. A questão da poluição do ar causada por veículos automotores torna-se um assunto de interesse social, industrial e político para a sobrevivência de todos os seres vivos. O organismo humano possui uma capacidade natural de defender-se contra alguns agentes externos invasores, sejam eles de forma física, biológica ou química, contudo este sistema imunológico possui sua limitação natural e então se superam as adversidades no indivíduo surgindo patologias de diversas fontes com uma problemática médica complicada de identificação em curto prazo por alguns agentes desconhecidos. Ao passar dos anos, a sociedade observa uma adequação de regramentos jurídicos e as transformações da engenharia automotiva com o objetivo de otimizar a emissão dos poluentes derivados da queima dos combustíveis utilizados por estes veículos, entretanto, não somente a ciência necessita desta posição, mas outros conceitos irão se relacionar para um planeta mais saudável e duradouro.

**Palavras-chave:** Meio Ambiente. Poluentes. Doenças. Transporte.

## ABSTRACT

Several health problems are emerging and increasingly governments pore with endless government spending worldwide. There are numerous sources of different diseases which affect humans, plants and all the flora of the planet, however, countries of unbridled consumerism and a modern capitalist society provide many environmental pollutants that pervade Earth's atmosphere. Some global and common to all problems as the greenhouse effect, acid rain, water pollution and consumption among many others are being treated in emergency and locally according to each characteristic of your region affected and infected. The issue of air pollution caused by motor vehicles becomes a matter of social, industrial and political interest for the survival of all living beings. Our body has a natural ability to defend itself against some invading foreign agents, be they physical, biological or chemical forms, yet this natural immune system has its limitations and is then overcome adversity in individual emerging diseases from various sources with a complicated medical problems of identification in the short term by some unknown agents. Over the years the company observes a legal appropriateness of specific regulations and changes in automotive engineering with the objective of optimizing the emission of pollutants derived from burning fuel used by these vehicles, however not only science requires this position but other concepts will relate to a more healthy and sustainable planet.

**Keywords:** Environment. Pollutants. Diseases. Transportation.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Emissões de poluentes atmosféricos nos EUA, ano 1970 (em milhões de toneladas)	20
Tabela 2 – Emissão de poluentes atmosféricos, período de 1940 a 1970 (em milhões ton./ano)	21
Tabela 3 – Qualidade do ar e efeitos na saúde	22
Tabela 4 – Concentração e efeitos do CO sobre o organismo humano	35
Tabela 5 – Relação entre tamanho de molécula e comportamento físico	45
Tabela 6 – Frações do Petróleo	46
Tabela 7 - Principais gases constituintes do Efeito Estufa	49
Tabela 8 – Emissão de Poluentes por tipo e faixa de população (milhões ton./ano) – 2011	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos

Br<sub>2</sub> – Bromo

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> - Etila (Radicais de Ligação)

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH - Álcool/Álcool Etilico/Etanol

C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> - Octano

CaCO<sub>3</sub> - Carbonato de Cálcio ou Calcário

CaO - Óxido de Cálcio/Cal viva

CaOH<sub>2</sub> - Hidróxido de Cálcio

CaSO<sub>4</sub> - Sulfato de Cálcio

Cd - Cádmi

CETESB - Companhia de Saneamento Ambiental

CFC - Clorofluorado(s) de Hidrocarboneto(s)/Clorofluorcarbono(s)

CH<sub>2</sub>O - Metanal/Formaldeído

CH<sub>3</sub> - Metila (Radicais de ligação)

CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub> - Sulfeto de Dimetila

CH<sub>3</sub>SH - Metil Mercaptano

CH<sub>4</sub> - Metano

Cl<sub>2</sub> – Cloro

CLA - Certificado de Licenciamento Anual

CO - Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - Carbonatos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambient

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CRLV - Certificado de Registro e Licenciamento do Veículo

CTB - Código de Trânsito Brasileiro

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

EPA - *Environmental Protection Agency*

F<sup>-</sup> - Fluoreto

F<sub>2</sub> - Flúor

Fe<sub>2</sub>S - Sulfeto de Ferro

GL - Gay-Lussac

H<sub>2</sub> - Hidrogênio

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - Ácido Carbônico

H<sub>2</sub>O - Água

H<sub>2</sub>S - Sulfeto de Hidrogênio ou Gás Sulfídrico

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - Ácido Sulfúrico

HCl - Ácido Clorídrico

HNO<sub>3</sub> - Ácido Nítrico

I<sub>2</sub> - Iodo

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LCA - Lei de Crimes Ambientais

$\text{Na}_3\text{AlF}_6$  - Criolita

$\text{NH}_3$  - Amônia

$\text{NO}$  - Monóxido de Nitrogênio

$\text{NO}_2$  - Dióxido de Nitrogênio

$\text{NO}_2^-$  - Nitritos

$\text{NO}_3^-$  - Nitratos

$\text{NO}_x$  - Óxidos de Nitrogênio

$\text{O}_2$  - Oxigênio

$\text{O}_3$  - Ozônio

ONU - Organização das Nações Unidas

PAN - Nitrato de Peroxiacetila

Pb - Chumbo

$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  - Chumbo Tetraetila

$\text{PbO}_2$  - Dióxido de Chumbo

$\text{PO}_4^{2-}$  - Fosfato

ppb - partes por bilhão

ppm - partes por milhão

S - Enxofre

$\text{S}^{2-}$  - Sulfeto

$\text{SO}_2$  - Dióxido de Enxofre

$\text{SO}_3$  - Trióxido de Enxofre

$\text{SO}_3^{2-}$  - Sulfito

$\text{SO}_4^{2-}$  - Sulfato

$\text{ZnCl}_2$  - Cloreto de Zinco

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 PRINCIPAIS POLUENTES AMBIENTAIS DO AR E SUAS CONSEQUÊNCIAS	15
1.1 Poluentes Químicos	23
1.1.1 Chumbo	23
1.1.2 Níquel	25
1.1.3 Bário	27
1.1.4 Enxofre	28
1.1.5 Nitrogênio	32
1.1.6 Monóxido de Carbono	35
1.1.7 Dióxido de Carbono	37
1.1.8 Ozônio	38
1.1.9 Aldeídos	40
1.1.10 Materiais Particulados	42
1.1.11 Hidrocarbonetos	43
1.1.12 Outros Poluentes do Ar	48
1.2 Efeito Estufa	49
1.2.1 Estratégias para Evitar o Aquecimento Global	51
1.3 Chuva Ácida	55
1.4 Poluição fotoquímica	60
1.5 Poluição das águas	60
2 ALGUMAS DOENÇAS QUE AFETAM A SAÚDE HUMANA	65
3 FISCALIZAÇÃO VEICULAR DA EMISSÃO DE POLUENTES	70 72
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
REFERÊNCIAS	74

## INTRODUÇÃO

O organismo humano pode sofrer contaminações por inalação, absorção ou ingestão de qualquer substância tóxica ou acumulativa no transcorrer de toda a vida, isto pode contribuir ou propiciar o surgimento de doenças ou anomalias que precisam de um diagnóstico da comunidade médica mais aprofundado e testado de indivíduo para indivíduo.

Sabe-se que alguns poluentes que estão presentes no ar resultados são o resultado de um avanço tecnológico positivo sob certo aspecto e com características negativas por outra concepção de ciência. Citam-se dentre os principais poluentes alguns elementos como o Cádmio, Enxofre, Nitrogênio, Aldeídos, Materiais particulados e tantos outros mais que isolados ou quando combinados formam um entrelaçamento químico, biológico e físico de difícil compreensão e investigação.

É devido a esses poluentes que surgiram questões ambientais de grande proporção como o Efeito Estufa, a Chuva Ácida, Poluição de águas e solos e, conseqüentemente, os custos operacionais, sociais, tecnológicos estão se tornando cada vez mais vultosos e envolvendo toda a sociedade civil do planeta.

Pode-se citar a corrosão de monumentos, destruição da biota de lagos, surgimento de doenças ocupacionais e de impacto cruel na classe econômica menos favorecida por todo o consumo desenfreado proveniente desse conforto e também da comodidade disponível para algumas pessoas.

Dentre algumas reações químicas que ocorrem na atmosfera por efeitos da luz solar e a presença de agentes poluentes, chamados de reação fotoquímica, são aquelas de alterações climáticas nos grandes centros urbanos, tanto da ordem visual e aumentando os casos de doenças respiratórias com complicações de caráter acumulativo no organismo humano.

No decorrer deste trabalho serão demonstrados os principais poluentes químicos encontrados na atmosfera, gerados pela queima de combustíveis fósseis dos automóveis e indústrias que também os utilizam nos seus meios de produção.

A problemática ambiental de contaminação dos solos férteis e as águas serão tratadas com exemplos de alguns locais no planeta que foram poluídos e superaram o problema, serão apontadas soluções possíveis e condizentes com a realidade de muitos dos países em desenvolvimento, aproveitando os recursos e sua estrutura ambiental disponíveis.

Assim sendo, este estudo tem por objetivo apresentar os principais poluentes ambientais existentes no ar e as consequências que essa poluição pode trazer para o homem e para o meio ambiente. A pesquisa se justifica na medida em que a poluição do ar causada por veículos automotores torna-se um assunto de interesse social, industrial e político para a sobrevivência de todos os seres vivos.

Em capítulo à parte serão apresentadas as principais doenças e consequências no corpo humano pela poluição dos gases eliminados pelos veículos, algumas características de doenças pela contaminação em excesso de poluentes, doenças ocupacionais derivadas da fabricação, manuseio ou deslocamento desses elementos poluentes e o desafio da comunidade médica para a identificação precoce e difícil de cada componente.

Alguns exemplos de doenças correlacionadas e semelhanças também serão demonstrados no transcorrer do capítulo dois. E também nesse mesmo capítulo algumas ações da comunidade científica, sociedade civil e políticas públicas serão citadas.

No final, o capítulo três versará acerca dos aspectos legais e jurídicos referentes às legislações em vigor no Brasil em detalhes e na íntegra os artigos do Código de Trânsito Brasileiro e da Lei de Crimes Ambientais, com suas distinções de competências e atribuições dos órgãos públicos.

Também nesse capítulo serão elencadas as sanções e penalidades aplicáveis aos veículos submetidos à fiscalização de emissão de poluentes e as responsabilidades de condutor e proprietário.

## 1 PRINCIPAIS POLUENTES AMBIENTAIS DO AR E SUAS CONSEQUÊNCIAS

A pele que reveste o corpo humano tem cerca de  $2\text{m}^2$  de área e contando todos os alvéolos pulmonares somam-se  $70\text{m}^2$ . As incontáveis ramificações alveolares, se abertas uma a uma, dão, em média, essa fantástica superfície. Com estes dados torna-se mais fácil compreender por que a poluição atmosférica é tão grave. Inspiram-se milhares de partículas sólidas a todo instante; essas partículas dos mais variados elementos entram em contato com a área pulmonar, muitas vezes bloqueando as capilares ramificações dos pulmões e causando uma série de doenças respiratórias e outros males. Entre os efeitos crônicos, cita-se a bronquite que, inclusive, já foi tomada como medida de poluição atmosférica na Europa, e só a Inglaterra concorreu com vinte e oito mil, duzentos e cinquenta e sete casos em um ano, seguida da Alemanha, com dez mil. A poluição atmosférica é ainda pior do que a poluição das águas. Pode-se evitar beber uma água contaminada, todavia não se pode ficar sem respirar o ar, esteja poluído ou não. Todos os dias o homem necessita de 1,5kg de alimento sólido, 2 kg de água e 15 kg de ar para garantir a sua sobrevivência. (BANDEIRA, 1977)

Em uma rua de grande movimento de automóveis frequentemente o nariz e os olhos ardem em virtude dos hidrocarbonetos provenientes da gasolina não queimada dos carros. Os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) também dos veículos – reagem entre si, sob a ação de luz ultravioleta do sol e produzem ozônio ( $\text{O}_3$ ) que, em excesso, deixa de ser benéfico para a saúde e torna-se nocivo para os pulmões (mais à frente cita-se cada componente e sua influência na saúde humana). Uma simples concentração de 0,35 partes por milhão (ppm) de  $\text{O}_3$  põe em alerta as escolas de algumas cidades americanas que proíbem que crianças participem de jogos energéticos. (BANDEIRA, 1977)

As fumaças dos autos também expõem outros gases venenosos, dentre eles o perigoso e conhecido monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) que, em quantidades agudas, combina-se com a hemoglobina do sangue formando a carboxihemoglobina, que bloqueia o transporte de oxigênio ( $\text{O}_2$ ), ocasionando a sufocação do indivíduo. (BANDEIRA, 1977)

Também o chumbo tetraetila ( $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ), que é colocado na gasolina para aumentar a potência do carro e como elemento antidetonante, é um perigosíssimo veneno e numa

concentração de 8 ppm é tóxico ao organismo humano. Nos EUA, cerca de duzentas e cinquenta toneladas de chumbo são atiradas na atmosfera, anualmente. O corpo do americano médio contém até 3 ppm. Mulheres grávidas expostas ao Pb ( $C_2H_5$ )<sub>4</sub> sujeitam-se a abortos e partos prematuros. (BANDEIRA, 1977)

Talvez o principal aspecto da poluição atmosférica seja o descaso que o homem dá a flora. Considerando os incalculáveis benefícios das florestas é preciso que ocorra um pensamento um pouco mais cuidadoso nesse extraordinário potencial biológico e compreenda-se também que as árvores são uma das principais fontes de alimento do mundo: o O<sub>2</sub>. O homem, no afã do crescimento desordenado, no insensato pensamento do imediatismo, não mede as consequências inevitáveis dessa catástrofe que poderá antecipar o fim de toda geração. (BANDEIRA, 1977)

Alterar um elemento da natureza é arriscar a alteração do conjunto. Nada é imutável no mundo. O O<sub>2</sub> ingerido é um exemplo: ele é consumido constantemente pela vida animal que dele serve e o expira como gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Se não houvesse a providencial substituição do O<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub> não fosse removido da atmosfera, a vida animal pereceria em pouco tempo. (BANDEIRA, 1977)

Poluição não é só a imagem de uma chaminé expelindo fumo e fuligem. O simples corte de uma árvore também é poluição. Cada árvore abatida significa menos O<sub>2</sub> produzido e menos CO<sub>2</sub> removido. (BANDEIRA, 1977)

Por estranho que pareça, muitas pessoas desconhecem que é somente o vegetal que produz o O<sub>2</sub> no planeta. E não somente o vegetal terrestre, como também, e principalmente, os vegetais marinhos – os fitoplânctons – que produzem cerca de 70% do O<sub>2</sub> vital. Mas lamentavelmente, enquanto na terra o fogo, o machado e a serra elétrica destroem as florestas, nas grandes áreas oceânicas o fitoplâncton está sendo continuamente envenenado por pesticidas oriundos das lavouras. (BANDEIRA, 1977)

O índice de CO<sub>2</sub> aumentou 15% nos últimos cem anos. Um jato, por exemplo, cruzando o Atlântico, consome trinta e cinco toneladas de O<sub>2</sub> e produz o dobro de CO<sub>2</sub>. Sabendo que há milhares de jatos cruzando os céus do mundo a todo instante e que na superfície terrestre os automóveis e as indústrias, ambos em número astronômico, dão

também sua pesada contribuição na destruição da atmosfera, torna-se visível o caos que poderá futuramente evidenciar-se. (BANDEIRA, 1977)

A poluição é, realmente, uma consequência da industrialização, mas torna-se necessário ser implantada a legislação que obrigue todas as indústrias a “filtrarem” seus dejetos em benefício da própria indústria, pois uma clientela doentia não cria bom mercado. (BANDEIRA, 1977)

Não se pode admitir que nações como a Suécia, por exemplo, em que toda a indústria a ser instalada tem que provar que não irá poluir, e outros países que se preocupam com a preservação da natureza venham a ser invadidos pelos detritos e despejos conscientemente criminosos de outros países. A Inglaterra descarrega na sua atmosfera sete milhões de toneladas de enxofre (S) por ano. Entretanto, lá a poluição pelo dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) não tem aumentado muito em virtude de a Grã-Bretanha ser uma ilha alongada e estreita e de terem sido, inteligentemente, construídas chaminés bem altas que transportam o SO<sub>2</sub> para bem longe da terra britânica antes dele se depositar no solo. A Escandinávia recebe grande parte desse refugo, que, combinado com a água da chuva, transforma-se em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), e isto tem afetado drasticamente o crescimento das florestas daquele país. Também em 1969 a conhecida neve negra que caiu em regiões norueguesas e suecas era formada por cinzas negras com alto teor de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que veio do Ruhr, na antiga Alemanha Ocidental. (BANDEIRA, 1977)

A Grécia há muito vem sofrendo os efeitos nocivos dos poluentes industriais derivados do S. A famosa e milenar acrópole de Atenas – o mais importante conjunto arqueológico do mundo – está ameaçado de se tornar, em poucos anos, um amontoado de pilastras corroídas e deformadas pelo SO<sub>2</sub>, transformado em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pela ação da água da chuva. (BANDEIRA, 1977)

No início deste século o índice de CO<sub>2</sub> na atmosfera era de 290 ppm; já no ano de 2000 este índice alcançou 330 ppm, caso não sejam descobertas novas fontes de energia não-fósseis pode-se chegar aos 600 ppm, que elevarão a temperatura média do planeta de 1,5°C, o que poderá causar degelo nas regiões árticas, ocasionando catastróficas inundações pela consequente elevação do nível dos oceanos. (BANDEIRA, 1977)

Em maio de 1969 os tripulantes da Apollo 10 reconheceram nitidamente a cidade de Los Angeles a 40.000 km de altitude, em virtude da visível mancha de sujeira existente sobre a cidade. E nas grandes cidades industriais de todo o mundo, é fácil de observar a diferença de tonalidade entre as camadas de ar, quando há ausência de ventos para misturar nelas as dezenas de gases venenosos, poeiras e partículas sólidas, ocasionando diversos tipos de doenças desde a conjuntivite até o câncer. (BANDEIRA, 1977)

Os principais gases expelidos na atmosfera são o CO, o SO<sub>2</sub> e o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Os dois primeiros, absorvidos em doses relativamente altas, podem ser mortais ao ser humano. No ano de 1952, na Inglaterra, a cidade de Londres foi afetada por uma inversão térmica (fenômeno de aprisionamento dos gases poluentes pelo ar frio próximo à superfície, geralmente em grandes centros urbanos), com grande concentração de SO<sub>2</sub>, causando a morte de cerca de quatro mil pessoas, em apenas quatro dias. Quanto aos outros poluentes, CO e NO<sub>2</sub>, em conjunto com o SO<sub>2</sub> ou isoladamente, acarretam uma série de outros transtornos aos homens, animais e plantas. (BANDEIRA, 1977)

As plantas reagem de forma impressionante à contaminação da atmosfera antes de qualquer outro organismo. Os líquens e os musgos são especialmente sensíveis e podem ser até empregados como indicadores do grau de poluição atmosférica em determinadas áreas. Nas zonas urbanas, em lugares de grande tráfego automotor, os líquens têm sido exterminados pelos gases de escape dos carros. É um efeito mortal direto. A poluição do ar prejudica o ciclo metabólico ambiental das plantas. Inibe, ainda, o processo de fotossíntese, por meio do qual as plantas absorvem CO<sub>2</sub> e expelem O<sub>2</sub>. Ademais, a camada escura de poluentes concentrados na atmosfera prejudica a penetração dos raios solares, dificultando ou impossibilitando o crescimento vegetal, além de prejudicar a assimilação da vitamina D, oriundo dos raios solares, pelo organismo humano. (BANDEIRA, 1977)

As indústrias expelem para a atmosfera seus resíduos poluentes e ainda provocam nos operários uma série de ameaças de contaminação tóxica, que além do mal causado à saúde pela concentração de poluentes no próprio local de maior permanência, ainda os predispõem aos acidentes de trabalho. (BANDEIRA, 1977)

Contudo, o trágico depoimento de um homem de Seveso, na Itália, de que: “se minha filha não tivesse vindo ao meu encontro, chamando-me papai, seria impossível reconhecê-la dentre as outras vítimas”, foi um dos atestados da contaminação de uma região inteira daquele

país. A dioxina – herbicida tóxico e cancerígeno liberado por uma indústria – segundo os professores Benedetti Nicoletti, catedrático da Faculdade de Medicina de Roma, e Philip Kearney, do Centro de Pesquisas Agrícolas de Washington, é comparada a uma minibomba atômica. (BANDEIRA, 1977)

Essa criança intoxicada e deformada pelo gás é uma das dezesseis vítimas diretas do veneno. Cientistas de todo o mundo reconhecem na dioxina um agente teratogênico produtor de monstruosidades, capaz de provocar deformações fetais. Todas as duzentas e cinquenta mulheres grávidas, segundo uma pesquisa na região, foram aconselhadas a praticar o aborto terapêutico. (BANDEIRA, 1977)

Desde que a Revolução Industrial se instalou no planeta, o homem tem se beneficiado de incontáveis melhorias, conforto e bem-estar, todavia não se deve resignar ao fato de que o ser humano, muitas vezes em proveito próprio, raras vezes acidentalmente, contamina imensas áreas do pequeno e frágil mundo. Prevenir é melhor do que remediar, mas os métodos de cura devem e precisam ser utilizados quando falha a prevenção. A ação enérgica das autoridades deve ser usada nos locais em que o futuro das gerações estiver em jogo. Não estará além da vontade do homem a aplicação pronta e eficiente da solução eficaz para cada situação apresentada. (BANDEIRA, 1977)

O certo é que, se nada for feito para melhorar a qualidade de vida neste planeta, muitas doenças pulmonares, cardíacas ou infecções de agentes desconhecidos, irão exterminar o organismo humano, porque ainda este não criou anticorpos e talvez nunca consiga criar. (BANDEIRA, 1977)

A verdade aí está: uma contaminação de substâncias tóxicas, insolúveis, cujo efeito deletério obstrui os pulmões e outros órgãos do corpo e esta é impossível de ser eliminada por intermédio de secreções ou excreções, que não os meios naturais de limpeza orgânica do corpo humano. (BANDEIRA, 1977)

Nos brônquios, os raios X mostram várias sombras escuras que os especialistas já conhecem. E, na pele, a água e o sabão não conseguem penetrar no fundo dos poros, que se alojam os resíduos de poluentes, que se depositam diariamente na superfície epitelial, dificultando ou impedindo a respiração cutânea. (BANDEIRA, 1977)

A crescente poluição atmosférica das cidades, enquanto persiste contrariamente ao desejo de uma ação dilatatória não faz o eco esperado, obrigando a tomar uma medida paliativa, uma sugestão de que se evite o constante pingar colírios nos olhos. É menos prejudicial por enquanto – andar com os olhos irritados, o que é comum nos grandes centros urbanos, do que viciar o globo ocular, que passa a irritar-se mais frequentemente, com a utilização de colírios. Outra sugestão é, ao caminhar pelas ruas, procurar respirar sempre pelas narinas evitando a passagem de ar pela boca, pois este ar terá uma melhor retenção de impurezas. Finalmente, procurar viver com mais plantas em seu lar. As plantas garantem uma atmosfera agradável, além de suavizar o ambiente. (BANDEIRA, 1977)

Cientificamente quanto à sua origem, os poluentes do ar podem ser classificados basicamente em:

- poluentes primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes;
- poluentes secundários: os formados na atmosfera por interações químicas entre os

poluentes primários e constituintes normais da atmosfera. (BRANCO & ROCHA, 1984)

Segundo alguns estudos da agência ambiental americana (EPA), a emissão de poluentes nos Estados Unidos, somente durante o ano de 1970, atingiu os seguintes valores:

Tabela 1 – Emissões de poluentes atmosféricos nos EUA, ano 1970 (em milhões de toneladas)

Fonte	CO	Partículas	Sulfurosos	Orgânicos	Nitrogenados
Transportes	111,0	0,7	1,0	19,5	11,7
Queima de combustíveis em fontes fixas	0,8	6,8	26,5	0,6	10,0
Processos Industriais	11,4	13,1	6,0	5,5	0,2
Disposição de Resíduos Sólidos	7,2	1,4	0,1	2,0	0,4
Vários	16,8	3,4	0,3	7,1	0,4
<b>TOTAL</b>	<b>147,2</b>	<b>25,4</b>	<b>33,9</b>	<b>34,7</b>	<b>22,7</b>

Fonte: BRANCO & ROCHA, (1984, p.57)

Muitos elementos-traço (elementos químicos em pequenas quantidades) são capazes de causar doenças no homem. Em alguns casos, o envenenamento é uma consequência de exposição no local de trabalho. Em outros, a doença resulta do uso de medicamentos prescritos e não prescritos ou de um efeito adverso de procedimentos médicos, como hemodiálise ou inserção de aparelhos protéticos. Ocasionalmente, o envenenamento por elementos-traço resulta de tentativas de suicídio ou homicídio. Cada vez mais a fonte do envenenamento é o alimento, o líquido ou o ar: alguns solos ou águas possuem naturalmente altas concentrações de toxinas em potencial como arsênico, mas com maior frequência a contaminação ambiental é feita pelo homem. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Durante as últimas décadas, uma maior conscientização das consequências de substâncias industriais sobre a saúde, uma mais rigorosa regulamentação estadual e federal e um temor de processos judiciais resultaram em ambientes de trabalho mais saudáveis. Por outro lado, os avanços tecnológicos aumentaram o uso de elementos-traço, frequentemente com precauções inadequadas de segurança, até que os efeitos adversos fossem reconhecidos. A maior parte da força de trabalho potencialmente exposta é empregada por pequenas indústrias, e podem não ter instalações médicas ou não insistir em uma proteção adequada ao trabalhador.

Na tabela a seguir estão expressas as quantidades de poluentes atmosféricos nos EUA.

Tabela 2 - Emissão de poluentes atmosféricos, período de 1940 a 1970 (em milhões ton./ano)

Ano	CO	Partículas	Sulfurosos	Orgânicos	Nitrogenados
1940	85	27	22	19	7
1950	103	26	24	26	10
1960	128	25	23	32	14
1968	150	26	31	35	21
1969	154	27	34	35	22
1970	147	25	34	35	23

Fonte: BRANCO & ROCHA (1984, p 57.)

Em estudos mais detalhados notam-se alterações para as atividades humanas e diversas consequências da qualidade do ar inspirado no cotidiano; e isto está bem evidenciado na tabela a seguir.

Tabela 3 - Qualidade do ar e efeitos na saúde

Nível de qualidade do ar	Qualificação	Descrição dos efeitos sobre a saúde	Precauções
	Boa	****	****
	Aceitável	****	****
Atenção	Inadequada	Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sadia.	Pessoas com doenças cardíacas ou respiratórias devem reduzir as atividades físicas.
Inadequada	Má	Decréscimo da resistência física e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cardiorrespiratórias. Sintomas gerais na população sadia.	Pessoas idosas ou com doenças cardiorrespiratórias devem reduzir as atividades físicas e permanecer em casa.
Emergência	Péssima	Aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.	Pessoas idosas e pessoas com enfermidades devem permanecer em casa e evitar esforço físico. A população em geral deve evitar atividades exteriores.
Crítico	Crítica	Morte prematura de pessoas doentes e pessoas idosas. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal.	Todas as pessoas devem permanecer em casa, mantendo as portas e janelas fechadas. Todos devem minimizar as atividades físicas e o tráfego.

Fonte: SILVA (1992, p. 61)

## 1.1 POLUENTES QUÍMICOS

### 1.1.1 Chumbo

No passado, o envenenamento pelo chumbo era atribuído á ingestão anormal entre crianças vivendo em casas arruinadas, com camadas de pintura com base de chumbo descascando. Nas últimas duas décadas, a intoxicação pelo chumbo ocorreu com maior frequência em áreas da cidade menos despojadas socioeconomicamente, bem como nos subúrbios mais ricos. Em parte, relaciona-se com a contaminação ambiental pela gasolina contendo chumbo: diversos estudos relacionam a contaminação pelo chumbo ambiental com

os padrões de densidade do tráfego. O solo contaminado também é uma fonte descrita de chumbo. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Nos Estados Unidos, milhares de ocupações acarretam uma exposição potencialmente significativa. Os trabalhadores da fundição de chumbo ou outros metais, ou os mineiros, soldadores, trabalhadores em baterias acumuladoras e oleiros estão particularmente muito expostos. Os trabalhadores de fábricas de automóveis, estaleiros e de fábricas de tintas e indústrias de tipografias também estão sob um risco substancial. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

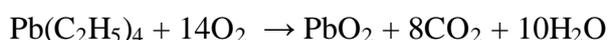
Nos séculos passados, o chumbo era adicionado ao vinho para adoçá-lo, uma fraude que eventualmente era punida com a morte; recentemente, a adição de chumbo a afrodisíacos e a ervas medicinais chinesas resultou em diversos casos de envenenamento (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

O ato de cheirar gasolina com propósitos hedonistas pode produzir envenenamento pelo chumbo tetraetilico orgânico, que possui inclinação pelo sistema nervoso. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Em certo sentido, todos estão sendo envenenados pelo chumbo: antes da revolução industrial, a massa corporal total de chumbo era de cerca de 2mg, enquanto que em sociedades industrializadas, o conteúdo é de cerca de 200mg. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

A maior parte do chumbo presente na atmosfera é proveniente da queima da gasolina, mais especificamente, de um composto de chumbo, o chumbo tetraetila,  $Pb(C_2H_5)_4$ , que é adicionado à gasolina para aumentar o seu índice de octanas (número de átomos de carbono presentes na molécula). (SILVA & SILVA, 1992)

Durante a combustão da gasolina, o  $Pb(C_2H_5)_4$  reage com o  $O_2$ . Nesse processo, os átomos de chumbo unem-se aos de  $O_2$ , produzindo o dióxido de chumbo ( $PbO_2$ ), essa substância é lançada na atmosfera sob a forma de pequenas partículas sólidas. observem a equação química abaixo: (SILVA & SILVA, 1992)



Uma vez na atmosfera, os compostos de chumbo, extremamente tóxicos, são inalados pelas pessoas durante a respiração, causando vários problemas ao organismo. Pequenas quantidades podem ocasionar fadiga, dor de cabeça e fraqueza muscular. Grandes quantidades interferem no sistema nervoso central, fígado, rins e aparelho reprodutor. (SILVA & SILVA, 1992)

As partículas de chumbo podem também ser transportadas, pelo vento, das cidades para as regiões agrícolas, depositando-se com o passar do tempo nas plantações. Felizmente, os vegetais não absorvem o chumbo; para evitar a ingestão desse elemento, uma boa lavagem antes do preparo já é o suficiente. (SILVA & SILVA, 1992)

Devido ao grau de toxidez, existe alguma controvérsia quanto à utilização de compostos de chumbo como aditivo na gasolina. Enquanto a decisão é tomada, quantidades cada vez maiores de chumbo são lançadas na atmosfera. (SILVA & SILVA, 1992)

No entanto, no Brasil a situação parecer ser um pouco diferente. Em São Paulo, a CETESB, – Companhia de Saneamento Ambiental – órgão responsável pelo controle ambiental, mediu em algumas regiões da cidade a quantidade de chumbo presente na atmosfera. Os testes foram realizados entre os anos de 1978 e 1983. (SILVA & SILVA, 1992)

No ano de 1983 o nível de chumbo na atmosfera de São Paulo era muito inferior aos valores admitidos internacionalmente. (SILVA & SILVA, 1992)

Esses dados mostram que a população paulistana esteve menos sujeita aos efeitos tóxicos do chumbo em 1983 do que em 1978. A questão é: Como se nesse período a quantidade de veículos aumentou?

A explicação reside nos seguintes fatos:

- o álcool combustível não contém  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ;
- o aumento da octanagem da gasolina conseguida através da adição de álcool ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) á gasolina possibilita a redução da quantidade de  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  a ser acrescentada á gasolina; e
- a utilização crescente de  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  como combustível. (SILVA & SILVA, 1992)

Embora dados tenham sido coletados em São Paulo, supõe-se que este fenômeno esteja ocorrendo nas outras regiões do Brasil, pois a composição dos combustíveis é praticamente igual em todo o território nacional, durante este período de estudo.

### **1.1.2 Níquel**

O níquel é amplamente usado na indústria em várias ligas, fundições de armações de ferro, produção de projéteis e próteses cardíacas e articulares. Ele é usado também em banhos de níquel: como um catalisador (acelerador da reação): em fitas magnéticas, corantes e tintas: e em plásticos acrílicos. É encontrado no petróleo e no carvão, em óleo diesel e no solo e ar. Os incineradores municipais podem contribuir para as concentrações de níquel no ar ambiental. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

O níquel é um potente alérgeno (substância capaz de desencadear uma reação alérgica) de contato: o efeito adverso mais frequente para o homem é a dermatite pelo níquel, que pode ser tanto persistente como grave. Sérias reações sistêmicas ocorrem em pessoas alérgicas às quais se administram fluidos, intravenosamente, por meio de agulhas contendo níquel. Válvulas cardíacas e articulares protéticas não tiveram sucesso devido a uma reação ao níquel da prótese. Casos de dermatite recalcitrante podem ser de restrição à ingestão desse metal na dieta. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

O níquel é considerado um potente carcinógeno (agente que pode provocar ou estimular o surgimento do câncer) do trato respiratório. Os estudos de trabalhadores da refinação do níquel, na década de 50, demonstraram um aumento de cinco vezes no risco de câncer pulmonar e um aumento de 150 vezes no risco de câncer nasal. Estudos recentes também indicam um risco substancialmente aumentado de câncer da laringe entre grupos de trabalhadores noruegueses que lidavam com níquel, um terço de todos os cânceres envolvia os pulmões, e um número adicional de 10% envolvia os seios. Dentre as ocupações de maior risco estão os trabalhadores que possuem suas atividades ligadas à ustulação (aquecimento do sulfeto com o gás oxigênio), fundição e eletrólise (processo de indução forçada de corrente elétrica). (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Alguns dados sugerem que o níquel existente no tabaco pode ter um papel no câncer pulmonar induzido pelo fumo, e que os compostos de níquel ligados às fibras de asbesto (amianto) podem contribuir para o potencial neoplásico (crescimento anormal de tecido). (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Alguns estudos em trabalhadores com incidência de câncer do trato respiratório em atividades ligadas ao níquel possuem ligação aos efeitos de co-carcinogênicos.

### **1.1.3 Bário**

Os compostos de bário são utilizados em tipografia: na produção de tintas, vidro, papel, couro, sabão e borracha: indústrias de cerâmica, plástico, aço, elo, artigos têxteis e corantes: como aditivo de combustíveis; e em inseticidas, venenos contra roedores e depilatórios. Há dois principais efeitos adversos. Após a ingestão acidental ou intencional de grandes quantidades, ocorrem dor abdominal, vômitos e aumento da peristaltese (movimento do tubo digestório). Se suficientemente absorvido, o potássio é deslocado intracelularmente, resultando em hipocalcemia (distúrbio metabólico) profunda, que por sua vez pode produzir paralisia flácida, arritmias cardíacas potencialmente lesivas e paralisia respiratória. O tratamento consiste na administração de potássio e de diurese forçada para promover a excreção do bário. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

O outro efeito adverso do contato com o bário é uma pneumoconiose benigna (doença pulmonar ocupacional pela inalação de poeiras), que pode sobrevir após um ou mais anos de exposição aos aerossóis (poeiras, fumaças ou neblinas). As radiografias de tórax demonstram extensos nódulos bilaterais, muito densos, de 4 a 5 mm de diâmetro, aos trabalhadores expostos. Não há sombras coalescentes (substâncias que aderem com facilidade) ou fibrose proeminente e nenhuma doença clinicamente significativa: os nódulos frequentemente regridem após a interrupção da exposição ocupacional. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

#### 1.1.4 Enxofre

O enxofre é um elemento químico relativamente abundante na Terra, ocorrendo em suas rochas mais internas, na crosta sólida, nos oceanos e nas águas superficiais ou subterrâneas. Como resultado dessa onipresença, ele aparece também na atmosfera sob a forma de diferentes compostos. Trata-se de um elemento fundamental para os seres vivos, fazendo parte das moléculas proteicas e de outras substâncias essenciais à vida. Complexos processos biogeoquímicos transformam os compostos de enxofre, mobilizando-os sob a forma de gases ou aerossóis atmosféricos. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

O derivado do enxofre mais comumente encontrado na atmosfera é o  $\text{SO}_2$ , que pode se originar de atividades naturais ou antropogênicas. Talvez erupções vulcânicas correspondam a mais possante fonte desse gás, sendo famosas as erupções dos vulcões El Chinchón (1982), no México, e Pinatubo (1991), nas Filipinas; este último lançou à atmosfera cerca de 20 a 30 milhões de toneladas de  $\text{SO}_2$ . (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Outras fontes deste gás são as combustões de materiais que incluem enxofre em sua composição como a hulha (carvão de pedra), derivados de petróleo, biomassa vegetal etc. A hulha brasileira é particularmente rica em compostos de enxofre, principalmente sulfeto de ferro ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ); sua utilização requer um tratamento prévio para diminuir seu teor. Tecnologias mais aprimoradas também procuram eliminar o enxofre do petróleo e seus derivados, evitando danosos efeitos da liberação de gases ricos em  $\text{SO}_2$ . Certos processos metalúrgicos, como a extração do cobre de seus minérios, também se destacam como fonte de  $\text{SO}_2$ . (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A presença de teores elevados deste óxido na atmosfera pode provocar danos aos vegetais, aos animais e ao homem, como induzir, secundariamente, alterações de materiais diversos, interferindo até mesmo com a transparência da atmosfera, causando diminuição da visibilidade. Entre os seus efeitos nocivos estão o odor sufocante a irritação que causa às mucosas dos olhos e do aparelho respiratório. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A história da poluição atmosférica registra alguns graves desastres ecológicos, provocados por situações específicas que conduziram a altos teores de  $\text{SO}_2$  na atmosfera. Em

1930, no vale do Meuse, na Bélgica, uma inversão térmica, que durou uma semana, levou a uma grande concentração deste derivado do enxofre na atmosfera local, causando a morte de sessenta pessoas. Ocorrência semelhante deu-se em Donora (Pensilvânia, Estados Unidos), em 1948: uma inversão térmica determinou uma alta concentração de  $\text{SO}_2$  sobre a região, o que acabou resultando na morte de vinte pessoas afetando gravemente 43% dos seus 14 mil habitantes. Nos dois casos o  $\text{SO}_2$  provinha de tratamentos de minérios de metais com elevado teor de enxofre. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Outro derivado do enxofre pode aparecer como integrante estranho da atmosfera; é o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), composto responsável pelo cheiro desagradável dos ovos podres. Sua origem está na decomposição da matéria orgânica existente em certos tipos de solos, sedimentos de rios e lagos, pântanos e mesmo oceanos. A sua produção nesses ambientes resulta da ação de bactérias anaeróbias (organismos que não necessitam de oxigênio para desenvolvimento). As águas servidas e os efluentes de esgotos sanitários também são importantes fontes do nauseabundo composto, que surge ainda como componente das emanções gasosas dos vulcões. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Na atmosfera, o  $\text{H}_2\text{S}$  sofre ações químicas e fotoquímicas, transformando-se em  $\text{SO}_2$ .<sup>19</sup> Outros compostos como os mercaptanos ou tiois, (possuem enxofre em sua formulação) possuem em suas fórmulas um grupo orgânico, por exemplo, metila ( $\text{CH}_3$ ), etila ( $\text{C}_2\text{H}_5$ ) etc. no lugar de um dos átomos de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) do  $\text{H}_2\text{S}$ . O composto mais simples dessa classe é o metil mercaptano ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ), que, como os demais companheiros de função química, possui cheiro muito desagradável. A presença destes compostos no ar atmosférico decorre de certos processos industriais como os da produção de celulose e papel (os arredores de grandes fábricas de papel são, em geral, malcheirosos devido à emissão desses gases), bem como do seu desprendimento das fezes dos animais, ou de gases intestinais. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Difícilmente os teores atmosféricos dos desagradáveis compostos de enxofre chegam a causar efeitos nocivos nos seres vivos, e alguns casos de intoxicação conhecidos resultaram de acidentes ocasionais. Da mesma forma cabe destacar que a sua presença no ar pode produzir irritações nos olhos e no aparelho respiratório; no último caso, sua ação tóxica pode até trazer consequências letais. Um fato muito comum, decorrente da presença destes compostos, é o escurecimento de objetos de prata ou de cobre, que perdem o seu brilho ou a

sua cor pela formação de uma camada fina de sulfeto ( $S^{2-}$ ), de cor predominantemente preta. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Também se encontra o  $SO_2$  existente na atmosfera que se oxida lentamente, passando o trióxido de enxofre ( $SO_3$ ). Como este composto apresenta grande afinidade pela água, ele vai aos poucos se transformando em  $H_2SO_4$ , que, sendo líquido, assume a forma de pequenas gotas; essas partículas podem permanecer suspensas na atmosfera, gerando um tênue nevoeiro. Graças à sua grande reatividade, o  $H_2SO_4$  reage com outras substâncias encontradas no ar, produzindo sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ). Os compostos (como o  $H_2SO_4$ ) apresentam-se sob a forma de aerossóis e difundem-se na atmosfera. Análises revelaram a presença de aerossóis de  $SO_4^{2-}$  em toda a estratosfera. Na troposfera, a ação destes aerossóis ácidos se faz sentir sob a forma de danos ao sistema respiratório (principalmente aos pulmões). (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A ativação do  $SO_2$  pela luz solar pode levar à formação de  $SO_3$  que pode passar a ácido sulfúrico, exercendo acentuada ação corrosiva sobre materiais de construção, estruturas metálicas, condutores elétricos etc. Materiais de constituição calcária, empregados na construção de edifícios e obras de arte, tais como mármore, cimentos e tintas à base de cal, podem ser danificados por reação com o  $SO_2$ . Neste caso, forma-se o sulfato de cálcio ( $CaSO_4$ ) que possui um volume molecular maior que o do calcário original ( $CaCO_3$ ), causando a sua desagregação. Este efeito é particularmente notório em afrescos antigos, pois a tinta utilizada era feita à base de calcário. Madeiras são prejudicadas em sua resistência pela formação de sulfitos que reagem com a lignina, tal como é feito industrialmente na produção da polpa de celulose. Livros são particularmente danificados pelos compostos sulfurosos: as páginas tornam-se amareladas e perdem a resistência, por ação do  $H_2SO_4$ , que causa hidrólise (quebra) ácida da celulose ou pela formação de ácidos lignossulfônicos com a lignina do papel. Couros são também danificados, perdendo sua resistência mecânica e flexibilidade por hidrólise de suas proteínas causada pelo  $H_2SO_4$ . O fenômeno já havia sido observado por Faraday, em 1843, nas poltronas de couro de seu clube londrino, atribuindo sua causa à presença de  $SO_2$  na atmosfera. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Mais recentemente, outro composto do enxofre vem despertando a atenção dos cientistas atmosféricos: o sulfeto de dimetila ( $CH_3SCH_3$ ). Esse gás, um dos responsáveis pelo cheiro “revigorante” do ar marinho, resulta da decomposição do sal, contendo enxofre, produzido pelas algas para mantê-las em equilíbrio osmótico com a água do mar. Sem este

sal, as algas perderiam água e murchariam, desta maneira ocorre, por exemplo, com o milho verde cozido com sal na água: ele murcha, pois a água migra das regiões com menos sal (os grãos de milho) para aquelas as quais há mais sal. Especula-se, atualmente, que o  $\text{CH}_3\text{SCH}_3$  desempenha importante papel no processo de formação de nuvens, principalmente sobre os oceanos, além de ser um componente essencial do ciclo do enxofre. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A presença de gases sulfurosos no ar atmosférico pode ser responsável por uma série de distúrbios fisiológicos no homem, em animais e também em plantas. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A inalação do  $\text{SO}_2$ , comumente encontrado como contaminante atmosférico, mesmo em concentrações muito baixas, provoca espasmos passageiros dos músculos lisos dos bronquíolos pulmonares (que são ramificações dos pulmões); aumentando-se progressivamente essas concentrações, observa-se aumento da secreção mucosa nas vias respiratórias superiores e depois inflamações graves da mucosa. Todos os sintomas são agravados quando o ar é frio. Está também demonstrada a redução do movimento ciliar no trato respiratório, movimento este que tem por função expulsar o excesso de muco e partículas estranhas. Todos os efeitos atuam de maneira prejudicial à respiração e à função dos pulmões.

A exposição contínua dos seres humanos a este gás propicia uma resistência moderada. Em alguns casos, entretanto, ocorre o contrário, isto é, a presença constante do gás provoca aumento de sensibilidade, como uma reação alérgica. Em certas condições, o  $\text{SO}_2$  pode transformar-se em  $\text{SO}_3$  por ação catalítica de metais e mediante absorção de energia solar. Este gás é ainda muito mais irritante às vias respiratórias do que o primeiro. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

As plantas em geral são sensíveis a concentrações muito mais baixas de  $\text{SO}_2$  que as necessárias para produzir consequências ao homem. Parece que os efeitos são devidos à ação redutora do gás e se caracterizam por alterações no processo fotossintético e até mesmo produção de lesões nas folhas que se traduzem por amarelecimento e morte das mesmas, quando as concentrações são mais elevadas. Outro efeito que tem sido observado com relação à exposição ao  $\text{SO}_2$  e outros contaminantes atmosféricos é o caracterizado por uma redução da resistência das plantas à ação das pragas. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Compostos sulfurosos, tais como o  $\text{SO}_2$  e o  $\text{H}_2\text{S}$ , encontram-se em concentrações variáveis no ar de todas as cidades civilizadas. O  $\text{H}_2\text{S}$  é originado, geralmente, de atividade biológica, tal como a decomposição anaeróbia de produtos orgânicos (esgotos domésticos, por exemplo). O  $\text{SO}_2$  é formado, sobretudo, a partir da queima de combustíveis fósseis. O carvão mineral contém até mais de 3% de compostos de enxofre com impurezas. A sua utilização como combustível é responsável por uma produção mundial de mais de cem milhões de toneladas de  $\text{SO}_2$  por ano (dados de 1965). O petróleo contém cerca de 0,05% de enxofre em sua composição, e é responsável pela produção de cerca de 30 milhões de toneladas de  $\text{SO}_2$  por ano. Contribuem, ainda, para contaminação do ar em  $\text{SO}_2$ , as fundições de metais (por exemplo: cobre 13 milhões de t/ano; chumbo 1,5 milhões de t/ano; zinco 1,3 milhões de t/ano). (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

O gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) desprendido de rios severamente poluídos por esgotos, como os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, em São Paulo, pode ser oxidado a  $\text{SO}_2$  constituindo também fonte desse poluente. Possivelmente essa transformação se dê por combinação com o  $\text{O}_3$  ou com o  $\text{O}_2$  atômico resultante da dissociação fotoquímica do  $\text{O}_3$ . (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

### 1.1.5 Nitrogênio

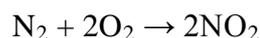
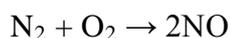
O gás nitrogênio destaca-se como o mais abundante componente da atmosfera seca e limpa, contribuindo com quase 80% do volume da mistura gasosa que envolve a Terra. Em seguida vem o gás oxigênio, com cerca de 20% do volume. Diversos fatores podem levar a reações entre os dois gases, com produção de derivados de nitrogênio, destacando-se, entre eles, o monóxido ( $\text{NO}$ ) e o dióxido ( $\text{NO}_2$ ). (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Um composto naturalmente produzido pelas descargas elétricas atmosféricas (relâmpagos e raios) durante as tempestades é o  $\text{NO}$ , formado naturalmente pela reação dos dois gases mencionados anteriormente. Certos micro-organismos do solo, ao agirem sobre a matéria orgânica, também podem dar origem ao  $\text{NO}$ , que passam à atmosfera. Entretanto, a maior fonte deste composto é a combustão de derivados de petróleo em motores de explosão.

As altas temperaturas reinantes no interior dos cilindros desses engenhos determinam a reação do nitrogênio com o oxigênio, que lá são introduzidos juntamente com o combustível. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Já o NO<sub>2</sub> está entre os mais importantes componentes estranhos da atmosfera, sendo responsável por efeitos poluentes bastante nocivos, principalmente nas porções da atmosfera que ficam sobre os grandes centros urbanos. O impacto do óxido sobre a química da atmosfera e suas consequências danosas para a vida em geral, e também para a saúde humana, motivaram os especialistas a estudarem minuciosamente o seu comportamento, origens e destruição. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A reação de combustão deste gás é a seguinte:



Embora pequenas quantidades de NO<sub>2</sub> possam resultar de atividades naturais ou não, a maior parte deste composto gasoso deriva da oxidação do monóxido dele mesmo. Vários caminhos, ou reações químicas, conduzem à transformação do monóxido em dióxido, e todos eles envolvem, direta ou indiretamente, o gás oxigênio ou sua forma alotrópica, o ozônio. Entre os caminhos químicos que levam à eliminação de NO<sub>2</sub> na atmosfera, há a reversão a monóxido pela ação fotoquímica da radiação solar, a sua fixação a materiais da superfície terrestre e, finalmente, a sua transformação em ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), que é removido da atmosfera principalmente pela água das chuvas, contribuindo para a ocorrência de chuvas ácidas. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Dada a importância do NO<sub>2</sub>, as suas concentrações na atmosfera são bem conhecidas. Esse gás (presente no interior de veículos movidos á motor de explosão) é irritante do sistema respiratório. Recentemente a atenção dos pesquisadores tem se voltado para seu papel na saúde humana. Outra notável característica do NO<sub>2</sub> atmosférico é a de servir como catalisador (por oxidação) acelerando a transformação do dióxido de enxofre em trióxido. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A presença dos NO<sub>x</sub> e do HNO<sub>3</sub> na atmosfera pode desencadear reações secundárias, e estas podem dar origem a componentes com alta capacidade de irritar as mucosas dos

animais e de produzir efeitos danosos em colheitas agrícolas, principalmente nos chamados “vegetais verdes”.

Eles são, juntamente com outras substâncias, agentes causadores das neblinas fotoquímicas.

Não está ainda perfeitamente demonstrado que o NO constitua perigo à saúde nas concentrações em que se encontra no ar das cidades. Entretanto, o NO<sub>2</sub> é altamente tóxico ao homem. Além de irritante das mucosas, provocando uma espécie de enfisema pulmonar (doença obstrutiva crônica), ele pode ser transformado em nitrosaminas (compostos químicos cancerígenos), nos pulmões, algumas das quais são conhecidas como carcinogênicas potenciais. Transferido para o sangue, o NO<sub>2</sub> pode ainda constituir causa de metemoglobinemia (desordem do nível de glóbulos vermelhos no sangue). Sobre os vegetais, os NO<sub>x</sub> agem como inibidores de fotossíntese e podem também provocar lesões nas folhas. Entretanto, tais efeitos só se tornam sensíveis em presença de concentrações bem mais elevadas do que as que normalmente são encontradas na atmosfera das cidades. O NO<sub>2</sub> pode ainda exercer ação oxidante sobre tintas, descolorindo pinturas. (BRANCO, 1984)

Os óxidos de nitrogênio, bem como O<sub>3</sub> são constituintes do chamado “*smog* fotoquímico” ou névoa originada da ação das radiações solares sobre os gases de combustão expelidos principalmente pelos veículos automotores. O NO pode ser também produzido por fotodissociação de N<sub>2</sub>O que é formado principalmente no solo por ação bacteriana. Mas suas fontes principais são a oxidação da amônia (NH<sub>3</sub>) proveniente da fermentação de materiais orgânicos e/ou transformações provocadas por micro-organismos em fertilizantes como os sais de amônio e a ureia, e também a combustão em alta temperatura, por oxidação do nitrogênio do ar usado na queima do óleo. Em dias de intensa radiação solar, o NO é oxidado a NO<sub>2</sub> que aumenta de concentração em certas horas do dia. O fenômeno pode se agravar quando ocorre inversão de camadas atmosféricas, isto é, quando uma camada de ar aquecido se sobrepõe ao ar frio que está em mistura e homogeneização na atmosfera. Nessas condições, os gases expelidos pelos veículos e indústrias ficam retidos como sob uma redoma invisível e, sob a ação das quais se originam cerca de cem diferentes espécies de hidrocarbonetos (alguns de ação carcinogênica), formaldeído (do grupo dos aldeídos) e os mencionados óxidos de nitrogênio. (BRANCO, 1984)

### 1.1.6 Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO) é comumente produzido por máquinas de combustão interna, por aparelhos de aquecimento mal ventilados e por refrigeradores a gás. Níveis baixos podem existir nas oficinas de reparo de automóveis, em áreas de intenso tráfego de veículos e em solda galvânica. O gás natural é isento de CO, mas a sua combustão incompleta por aparelhos de aquecimento defeituosos pode produzir o CO. A fonte mais comum da exposição humana ao CO é o cigarro: os fumantes comumente têm concentrações de carboxiemoglobina de 3 a 8%. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

O CO provoca danos somente através da hipoxia (baixo teor de oxigênio nos tecidos). O CO tem uma afinidade pela hemoglobina do sangue, maior que a do oxigênio. Mesmo em pequenas quantidades de CO tem grandes efeitos na capacidade de transporte do oxigênio no sangue. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

A hemoglobina é responsável pelo transporte do oxigênio a todas as células do corpo. Nos pulmões, ela se combina com o oxigênio inalado e o conduz até as células, ao qual é liberado. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Nas células, o oxigênio queima os alimentos ingeridos. Essa reação produz energia, que necessária para se viver, e elimina-se CO<sub>2</sub>. A hemoglobina entra novamente em ação, combinando-se agora com uma parte do CO<sub>2</sub> que é transportado para os pulmões, este é expelido, e a hemoglobina livre combina-se novamente com o O<sub>2</sub> inalado, levando-o às células. (SILVA & SILVA, 1992)

Da mesma forma, o CO também é capaz de se combinar com a hemoglobina, e mais facilmente. (SILVA & SILVA, 1992)

Se, juntamente com o O<sub>2</sub>, for respirado o CO, a hemoglobina irá se combinar com qualquer uma dessas substâncias. Porém, se as quantidades inspiradas forem iguais, o índice de carboxiemoglobina (afinidade com a hemoglobina do sangue) formada, será aproximadamente 220 vezes maior que o de oxiemoglobina (afinidade da hemoglobina com o oxigênio gasoso). (SILVA & SILVA, 1992)

Desta maneira, quando uma pessoa inspira ar contendo CO, a quantidade de hemoglobina disponível para o transporte de oxigênio diminui. Conseqüentemente, menos oxigênio chega às células, provocando vários problemas graves e podendo, inclusive, levar à morte. (SILVA & SILVA, 1992)

Tabela 4 - Concentração e efeitos do CO sobre o organismo humano

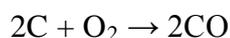
Quantidade de CO (ppm) necessária para desativar a hemoglobina. (tempo de exposição – 1h)	Porcentagem de Hemoglobina desativada	Efeito na Saúde
55 – 80	3	Diminuição da atividade cardíaca Alteração no fluxo sanguíneo
110 – 170	6	Problemas de visão Diminuição da capacidade de trabalho
280 – 275	10 – 20	Pequenas dores de cabeça Problemas psicomotores
575 – 860	20 – 30	Dores de cabeça intensa Náuseas
860 – 115	30 – 40	Náuseas Vômitos Diminuição da visão Dor de cabeça intensa
1430 – 1710	50 – 60	Convulsão Coma
1710 – 2000	60 – 70	Coma Diminuição da atividade cardíaca e respiratória, às vezes fatal
2000 – 2280	70 – 80	Morte

Nota: ppm – partes por milhão

Fonte: SILVA & SILVA, 1992, p. 51.

O monóxido de carbono é perigoso para as pessoas. Devido ao fato de ele ser incolor e inodoro, é impossível saber ao se repitar esse gás. Recomenda-se às pessoas desligarem os motores dos veículos quando estiverem em lugares fechados ou com pouca ventilação, como garagens e túneis. (SILVA & SILVA, 1992)

A reação de formação deste gás está descrita a seguir:



### 1.1.7 Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (mais comumente conhecido como gás carbônico –  $\text{CO}_2$ ) é, essencialmente, originado de calcinações (tais como as que se realizam durante a atividade vulcânica, a partir de carbonatos –  $\text{CO}_3^{2-}$ ) e combustões, merecendo especial destaque, neste caso, todo o processo de respiração. Por essa razão, nos locais de intensa atividade biológica como, por exemplo, junto aos solos cobertos por espessa vegetação ou sobre os terrenos pantanosos, ricos em matéria orgânica em decomposição, o ar apresenta maior concentração de  $\text{CO}_2$ . (BRANCO, 1984)

A queima de combustíveis fósseis também vem, por sua vez, aumentando progressivamente a concentração de  $\text{CO}_2$  não só nos locais em que ela se realiza em maior quantidade, como também, de maneira geral, em relação a toda a atmosfera terrestre. Foi observado um aumento geral de 12% em todo o globo terrestre durante a primeira metade deste século. Como a presença de  $\text{CO}_2$  atmosférico será de quatro a oito vezes a existente na era pré-industrial, provocando um aumento da temperatura média de mais de  $6^\circ\text{C}$ , o que originará condições climáticas semelhantes às existentes no período Cretáceo, há mais de 70 milhões de anos. (BRANCO, 1984)

O aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera pode prejudicar a qualidade nutricional de alguns vegetais cultivados para a alimentação. (REUTERS, 2014)

A conclusão saiu de uma tese que submeteu plantas a uma concentração de 550 ppm de  $\text{CO}_2$ . É o valor esperado para a atmosfera no meio desse século, em razão da queima de combustíveis fósseis. O valor atual é de 400 ppm. (REUTERS, 2014)

Quantidade de nutrientes importantes, como ferro e zinco, torna-se reduzida quando arroz, soja, trigo, ervilha crescem sob a quantidade elevada de  $\text{CO}_2$  no ar. (REUTERS, 2014)

Cientistas afirmam que os resultados dos testes confirmam a segurança alimentar como uma das maiores preocupações trazidas pelo agravamento do efeito estufa e do aquecimento global. (REUTERS, 2014)

A falta destes nutrientes no organismo pode afetar o sistema imune e pode tornar as pessoas mais vulneráveis a mortes prematuras por malária, pneumonia e diarreia. (ANTP, 2012)

Alimentos como o trigo tiveram uma perda de 9% de seu teor de zinco e 5% do teor de ferro. (REUTERS, 2014)

### 1.1.8 Ozônio

Este gás consiste numa das formas alotrópicas (mesmos elementos com formas físicas diferentes) do elemento oxigênio, que, como substância simples, ocorre na forma de moléculas de dois átomos ou na molécula de três átomos. (TOLENTINO; FILHO, & SILVA, 1995)

A união entre os átomos nas moléculas do gás oxigênio pode ser quebrada, levando, eventualmente, à formação de moléculas de ozônio. Neste processo envolve-se o consumo de energia, que pode ser fornecida por um tipo específico da radiação solar: a radiação ultravioleta. Os átomos isolados de oxigênio resultantes da absorção de radiação ultravioleta por moléculas de oxigênio podem independentemente, se ligar a outras moléculas de oxigênio, originando duas moléculas de ozônio. (TOLENTINO; FILHO, & SILVA, 1995)

A quantidade de ozônio na atmosfera terrestre é pequena, sendo que ele apresenta maiores teores na estratosfera, especialmente nas altitudes entre 20 e 50 quilômetros. Se todo o  $O_3$  existente na atmosfera fosse juntado, seria possível compor apenas uma camada de 3 milímetros de espessura em torno da Terra, a uma pressão de 1 mil hectopascals (pascal – unidade padrão de pressão) e temperatura de zero grau Celsius. Na estratosfera, este processo em que o  $O_3$  é formado a partir do  $O_2$  molecular através de radiação ultravioleta, ele também é destruído por essa mesma radiação, quando é decomposto em uma molécula do gás oxigênio e um átomo isolado de oxigênio.

O ciclo do  $O_3$  ocorrido na estratosfera tem um papel importante para a vida na Terra: a absorção da radiação ultravioleta, que é parte da radiação solar que chega ao planeta. Daí a importância de não se perturbar o ciclo. (TOLENTINO; FILHO, & SILVA, 1995)

O  $O_3$  possui um cheiro forte, acre e pungente, que, às vezes, pode ser notado após uma tempestade elétrica forte (para este caso, a presença de  $O_3$  resulta das altas temperaturas produzidas por raios); este cheiro também está presente junto aos geradores das usinas

hidroelétricas. O  $O_3$  apresenta ação tóxica quando inalado em certa quantidade; nos Estados Unidos, recomenda-se que o seu teor em ambientes industriais não ultrapasse 80 microlitros por litro de ar. (TOLENTINO; FILHO, & SILVA, 1995)

O  $O_3$  é um forte oxidante (substância que causa a oxidação de outras); só o gás flúor ( $F_2$ ) tem poder oxidante maior que o do ozônio. Trata-se de uma propriedade útil, por exemplo, na purificação e na desodorificação de águas e do ar. Mas, por outro lado, essa mesma propriedade faz com que a presença do  $O_3$  na troposfera, em contato com seres vivos e materiais diversos, seja danosa.

O  $O_3$  troposférico forma-se, principalmente, por reação fotoquímica envolvendo o gás  $NO_2$  proveniente do  $NO$  contido nos gases de escapamento de motores a combustão. Em grandes centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro, o  $O_3$  pode aparecer entre os poluentes atmosféricos, destacando-se como um dos principais componentes da fumaça-névoa. No homem e em muitos animais, a presença do  $O_3$  no ar causa irritação nas mucosas, sendo responsável pelo aumento da incidência de catarata em habitantes de grandes centros urbanos. Nas folhas de plantas, os danos decorrem da oxidação dos aminoácidos dos seus tecidos vivos, impedindo a fotossíntese. No homem, provoca irritação e secamento das mucosas do aparelho respiratório, além de envelhecimento precoce. Testes realizados com animais revelam que, em maiores concentrações, o  $O_3$  pode provocar desnaturação (perda da estrutura) das proteínas e enzimas. Traços de  $O_3$  também aceleram a degradação da borracha, o que constitui uma ameaça à durabilidade de pneus automotivos. É provável que, no passado, uma fração dos acidentes automobilísticos que envolveram explosões de pneus tenha decorrido da ação do  $O_3$ ; atualmente os fabricantes de pneus adicionam à borracha substâncias que reagem com o  $O_3$ , impedindo-o de deteriorá-la. (TOLENTINO; FILHO, & SILVA, 1995)

O  $O_3$  é um gás instável que se encontra distribuído principalmente na estratosfera e impede a penetração dos raios ultravioleta nocivos à vida e seu desaparecimento ou diminuição podem vir a provocar o câncer de pele. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Enquanto na atmosfera o  $O_3$  protege a Terra dos raios ultravioleta do sol, na superfície é um poluente prejudicial para as plantas. O ozônio “mau” nasce de uma reação da luz solar com o  $NO_2$  das descargas dos automóveis.

Nesse jogo entram também os hidrocarbonetos não destruídos no processo de queima do óleo combustível pelas indústrias. O O<sub>3</sub> é levado pelos ventos a centenas de milhares de quilômetros de distância. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

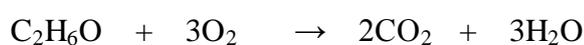
Medições realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em Natal/RN, revelam que, em certos meses do ano, a concentração do O<sub>3</sub> sobre o Nordeste chega a dobrar. Provavelmente, especula o engenheiro Volker Kirshhoff, o fenômeno resulta das queimadas durante a estação seca no Brasil Central. (TOLENTINO; FILHO, & SILVA, 1995)

Quanto maior a quantidade de O<sub>3</sub> na baixa atmosfera, maior também a perda agrícola. Pesquisas realizadas nos Estados Unidos apontam prejuízos enormes dos plantadores de soja, trigo, algodão e amendoim. É que o ozônio inibe a fotossíntese, produzindo lesões nas folhas.

### 1.1.9 Aldeídos

Com o advento dos motores de explosão a álcool hidratado comum – conhecido quimicamente como “etanol” (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) – e com a prática de se adicionar álcool anidro à gasolina para melhorar seu desempenho, alguns compostos da classe dos aldeídos passaram a ser introduzidos no ar atmosférico. O aldeído mais comum nos gases de escapamento de motores a álcool é o metanal ou formaldeído (CH<sub>2</sub>O); pode-se detectar o seu odor característico junto aos carros com motores a álcool, principalmente no momento da partida. Os aldeídos são responsáveis por irritações de mucosas principalmente dos olhos. (SILVA & SILVA, 1992)

A reação de combustão do álcool é a seguinte:



Álcool                      gás                      gás                      água

Étilico                      oxigênio                      carbônico

A obtenção do álcool etílico ocorre pela destilação fracionada do mosto (mistura açucarada) fermentado, uma operação realizada nas destilarias. (SILVA & SILVA, 1992)

Na destilação do mosto fermentado, obtêm-se frações de composições diferentes, sendo uma delas constituída de uma mistura de 96% de álcool e 4% de água. Essa mistura é conhecida como álcool 96°GL (96 graus Gay-Lussac). A quantidade de álcool presente numa mistura água-álcool é indicada pela escala Gay-Lussac (GL); nessa escala, a água pura corresponde a 0°GL, e o álcool puro a 100°GL. Um álcool 80°GL contém 80% de álcool etílico e 20% de água, respectivamente. (SILVA & SILVA, 1992)

O álcool obtido na destilação contém 4% de água. Para obter álcool puro ou anidro, deve-se retirar essa quantidade excedente de água; um dos processos utilizados consiste em adicionar cal viva à mistura. A cal viva, ou cal virgem (óxido de cálcio - CaO), tem a propriedade de reagir com a água, formando hidróxido de cálcio (CaOH<sub>2</sub>). (SILVA & SILVA, 1992)

Cada litro de álcool obtido na destilação produz cerca de doze litros de resíduos do mosto fermentado, os quais recebem o nome de vinhoto. (ANTP, 2012)

O lançamento de vinhoto nos rios e lagos pode provocar graves problemas ecológicos, pois tal produto serve de alimento para bactérias. Essas bactérias, ao encontrarem alimento em grande quantidade, desenvolvem-se e multiplicam-se rapidamente. Como são organismos aeróbios (utilizam oxigênio para seu processo de respiração), o consumo de oxigênio passa a ser maior que o fornecimento, já que sua produção, através da fotossíntese dos vegetais, permanece a mesma. A redução drástica na quantidade de oxigênio dissolvido na água causa a destruição de peixes e pequenos animais aquáticos que morrem asfixiados. (SILVA & SILVA, 1992)

Porém, em seu lugar, surgem outros organismos microscópicos, capazes de viver sem a presença do oxigênio (chamados de anaeróbios), e que em sua atividade produzem substâncias de cheiro desagradável. Por este motivo, são impostas restrições ao lançamento indiscriminado de vinhoto nos rios e lagos, e órgãos de proteção ambiental impõem durante a aprovação dos projetos de instalação de cada destilaria um processo adequado de tratamento do vinhoto. (SILVA & SILVA, 1992)

O aproveitamento do vinhoto como fertilizante tem sido a alternativa mais empregada no Brasil. Com o seu uso, ocorre um aumento da produtividade e no tempo de vida dos canaviais. No entanto, tem-se questionado a possibilidade da contaminação dos lençóis de água subterrâneos, principalmente nas regiões de solos muito permeáveis. Outras formas de utilização do vinhoto são pesquisadas e aplicadas em países que os mecanismos de controle ambiental são efetivos e extremamente severos. Todos os processos, contudo, apresentam grandes restrições operacionais e econômicas. (SILVA & SILVA, 1992)

### **1.1.10 Materiais Particulados**

Chama-se material particulado ao conjunto de partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera. O lançamento de material particulado na atmosfera deve-se principalmente a processos naturais, como erupções vulcânicas e tempestades de área e sal proveniente da evaporação de gotas de água dos oceanos. Mas também concorrem neste processo a transformação de materiais nas indústrias, o desgaste de pneus e lonas de freios e a utilização de combustíveis. (SILVA & SILVA, 1992)

Uma vez na atmosfera, as partículas são removidas naturalmente: a ação da gravidade provoca sua queda no solo, as chuvas podem carregá-las, ou, ainda, são transportadas de um lugar para outro pelos ventos. (SILVA & SILVA, 1992)

Os centros urbanos são as regiões em que a quantidade de material particulado em suspensão é sentida mais intensamente. A poluição do ar é logo percebida, pois a queda das partículas suja edifícios, ruas e roupas. Conseqüentemente as pessoas tornam-se mais sensíveis a problemas respiratórios. (SILVA & SILVA, 1992)

O CO<sub>2</sub> e o vapor de água são partículas em suspensão que interferem no clima do planeta, mais precisamente, na quantidade de radiação solar. Elas refletem parte da radiação emitida pelo sol, reduzindo a porção de energia solar que chega à superfície terrestre, o que leva a um resfriamento do planeta. Estudos realizados mostram que, como a atividade humana tende a aumentar, e com ela a emissão de material particulado, há a possibilidade de uma

diminuição da temperatura média da Terra. Tal fato poderia acarretar o surgimento de outra era glacial no planeta. (SILVA & SILVA, 1992)

### 1.1.11 Hidrocarbonetos

A atmosfera terrestre pode conter como componente extraordinário alguns tipos de hidrocarbonetos e derivados. Convém lembrar que os hidrocarbonetos são compostos orgânicos constituídos apenas de átomos de carbono e hidrogênio, com estruturas que variam desde as muito simples até as mais complexas. Entre os hidrocarbonetos há compostos de extrema importância para a vida e a tecnologia.

O mais simples hidrocarboneto contém em sua molécula um átomo de carbono ligado a quatro átomos de hidrogênio ( $\text{CH}_4$ ), trata-se do metano. Sabe-se há muito tempo que tal gás é produzido naturalmente nos pântanos, por fermentação da matéria orgânica dos sedimentos. Daí derivou seu antigo e popular nome de “gás dos pântanos”.

Constatou-se que o metano é o segundo componente atmosférico em contribuição para o chamado “efeito estufa”. Segundo as previsões, nos próximos anos haverá um aumento sensível nos teores do  $\text{CH}_4$  atmosférico, como consequência do incremento das atividades agrícolas, pastoris e industriais que acompanham o crescimento da população humana. Atualmente calcula-se que 70% do metano introduzido na atmosfera provêm de fontes ligadas a atividades humanas.

Este gás resulta principalmente da decomposição microbiana da matéria orgânica, sob condições anaeróbias. Entre as fontes decorrentes da ação de bactérias metanogênicas estão os pântanos e brejos, os lagos pouco profundos, os aterros sanitários, certos tipos de solos saturados com água e áreas irrigadas por inundação, usadas para o plantio de arroz. Supõe-se ainda que as áreas alagadiças da região amazônica, conhecidas como “várzeas”, também sejam grandes produtoras de metano.

No caso dos aterros sanitários, a produção de  $\text{CH}_4$  pode constituir um sério problema. Com o crescimento urbano, as áreas desses aterros passam, eventualmente, a ser utilizadas para a construção de conjuntos habitacionais. Há necessidade de se providenciar drenos adequados para eliminar o  $\text{CH}_4$  produzido no subsolo pela decomposição da parte orgânica do

lixo. Evita-se, desta maneira, que o gás penetre nos encanamentos de águas pluviais ou servidas da rede de água, e dê origem à produção de chamas e mesmo a incêndios, que têm seu ponto de partida nas extremidades dos sistemas de serviços.

Outra fonte de metano, mais restrita, resulta da exploração de minas de carvão de pedra (hulha), nas quais é comum ocorrerem bolsões de gás; durante o processo de mineração, o metano escapa para o interior das galerias e acaba arrastado para atmosfera pelo sistema de ventilação. Quando a quantidade de metano nas galerias atinge teores elevados, ele pode formar com o ar uma mistura explosiva, cuja detonação tem causado muitas mortes e enormes prejuízos.

Os gases naturais que coexistem com o petróleo em suas jazidas também são responsáveis pela presença de  $\text{CH}_4$  na atmosfera; eles podem escapar para o ar por vazamentos de poços petrolíferos, de tubulações para o transporte de gases etc.

Interessantes fontes deste hidrocarboneto são aquelas associadas ao metabolismo de certos animais. É o caso dos mamíferos ruminantes (gado bovino, carneiros etc.), em cujos gases do aparelho digestivo há uma alta proporção de  $\text{CH}_4$ . Também os cupins (insetos devoradores de celulose) produzem metano, à medida que a celulose por eles devorada é metabolizada por microrganismos anaeróbios que vivem no seu trato digestivo. Em bem menor proporção aparecem os oceanos, outra fonte deste hidrocarboneto.

Com tantas fontes a fornecerem metano à atmosfera, o seu teor deveria crescer atingindo valores muito altos. Porém, sob a ação da radiação solar, o gás reage com radicais químicos (pedaços de moléculas) existentes no ar, originando outros compostos químicos. Por exemplo, ele reage com radicais hidroxila ( $\text{OH}$ ) e transforma-se em  $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$ .

Hidrocarbonetos com moléculas maiores e estruturas mais complexas podem ser encontrados na atmosfera. Sua presença está ligada a várias fontes:

- evaporação de lençóis petrolíferos localizados a pouca profundidade;

- evaporação de frações mais voláteis do petróleo em operações de perfuração de poços petrolíferos, no transporte de material e mesmo devido ao derramamento de grandes volumes de petróleo, principalmente sobre as águas oceânicas em acidentes com navios petroleiros;

- escapamento de gases em motores de explosão mal regulados, nos quais a combustão da gasolina ou do óleo diesel não é completa. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Esta última fonte está entre os maiores poluidores da atmosfera nas áreas urbanas. As altas temperaturas reinantes no interior dos cilindros dos motores de explosão provocam não só a formação de  $\text{NO}_x$ , como também o rompimento e recombinação das moléculas dos combustíveis derivados do petróleo. Levando à atmosfera compostos dos mais variados tipos, pertencentes tanto à classe dos hidrocarbonetos, quanto a outras classes de compostos orgânicos. Não raro estes verdadeiros derivados de hidrocarbonetos encontrados na gasolina e no óleo diesel tornam-se responsáveis por ações prejudiciais ao ambiente e à vida. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Um deles pertence à classe do benzo-a-pireno (agente mutagênico e altamente cancerígeno), de reconhecida ação cancerígena. Uma vez na atmosfera e sob a ação fotoquímica da luz do sol, alguns derivados de hidrocarbonetos podem reagir com  $\text{NO}_x$ , resultando compostos do tipo “nitratos de peracilo”, que são compostos orgânicos tóxicos. Tais compostos foram observados, pela primeira vez, na atmosfera de Los Angeles, nos Estados Unidos, em ocasiões de grande poluição atmosférica, sendo identificados como responsáveis por irritação das mucosas dos animais e destruição da vegetação. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984; TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

À medida que os motores de explosão queimam hidrocarbonetos com maior número de átomos de carbono (caso dos motores a óleo diesel), os produtos de escapamento de gases podem se apresentar muito ricos em carbono não-queimado; ocasionando o aparecimento de fumaças negras, que são particuladas e se depositam como fuligem. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

O gás liquefeito, gasolinas, naftas, óleo diesel, querosene, óleos combustíveis, asfaltos, lubrificantes, solventes, parafinas são todos produtos obtidos do petróleo. No entanto, o petróleo extraído dos poços é um líquido escuro, viscoso e mal cheiroso e, nessa forma, praticamente não tem aplicação. (SILVA & SILVA, 1992)

O petróleo é uma mistura de milhares de hidrocarbonetos. Cada hidrocarboneto apresenta moléculas de um determinado tamanho, o qual está diretamente relacionado à sua temperatura de ebulição. Os hidrocarbonetos formados por moléculas pequenas possuem

temperaturas de ebulição baixas, e os formados por moléculas grandes, temperaturas de ebulição elevadas. (SILVA & SILVA, 1992), conforme a tabela abaixo.

Tabela 5 - Relação entre tamanho de molécula e comportamento físico

Substância	Fórmula	Número de átomos por molécula	Temperatura de Ebulição (°C)	Estado Físico (condição ambiente)
Metano	CH <sub>4</sub>	5	-161	Gás
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	14	-1	Gás
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	20	69	Líquido
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	26	126	Líquido
Pentadecano	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	47	271	Líquido
Hexacontano	C <sub>60</sub> H <sub>122</sub>	182	Maior que 300	Sólido

Fonte: SILVA (1992, p. 27)

Por meio da destilação fracionada, os componentes do petróleo são separados em frações. Cada fração ainda é uma mistura, porém menos complexa. Os hidrocarbonetos que constituem cada fração possuem moléculas de tamanhos semelhantes. Para destilar o petróleo, é necessário conduzi-lo dos tranques de armazenamento para uma fornalha, em que é aquecido, vaporizando-se. Transformam-se numa mistura líquido-vapor. Essa mistura é introduzida na torre de fracionamento em que ocorre a destilação. (SILVA & SILVA, 1992)

A torre de destilação é uma grande coluna cilíndrica vertical, que possui vários pratos horizontais, os quais se intercomunicam. Cada prato possui uma temperatura diferente – quanto mais alta sua localização na torre, menor é a sua temperatura. (SILVA & SILVA, 1992)

Os vapores dos hidrocarbonetos sobem pela torre; ao encontrarem regiões com temperaturas iguais ou menores que as suas temperaturas de ebulição, condensam-se e são recolhidos. Em cada prato, condensa-se uma fração do petróleo, cada fração com uma composição diferente (veja tabela 6). Nos pratos inferiores, as temperaturas são altas, obtendo-se frações constituídas por hidrocarbonetos de moléculas grandes, enquanto nos pratos superiores as temperaturas são mais baixas, recolhem-se frações constituídas por hidrocarbonetos de moléculas pequenas. A fração que corresponde à gasolina apresenta faixa

de ebulição entre 40 e 200° C. É formada por hidrocarbonetos que possuem de 17 a 38 átomos por molécula, sendo o seu principal componente o octano (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>). (SILVA & SILVA, 1992)

Tabela 6 - Frações do Petróleo

Fração do Petróleo	Fórmulas dos hidrocarbonetos presentes	Faixa de Ebulição (°C)	Usos
Gás de Petróleo	CH <sub>4</sub> a C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	até 20	Combustível doméstico e industrial
Gasolina	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> a C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	40 a 200	Combustível solvente
Querosene	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> a C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	175 a 320	Iluminação Combustível para jatos Óleo diesel
Óleo Combustível	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> a C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	230 a 350	Aquecimento industrial Fabricação de fungicida
Óleo Lubrificante	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> a C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>	acima de 350	Lubrificação
Resíduo	a partir de C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>		Asfalto para pavimentação ou Parafina

Fonte: SILVA & SILVA, (1992, p. 28)

No século passado, os métodos de separação utilizados eram bem mais simples, pois eram produzidos apenas querosene usado na iluminação, e óleo combustível, para as máquinas a vapor. (SILVA & SILVA, 1992)

O consumo crescente dos derivados do petróleo, no entanto, provocou o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas que possibilitaram o melhor aproveitamento do petróleo bruto. Hoje, existem mais de dois mil produtos derivados do petróleo. (SILVA & SILVA, 1992)

A maior ou menor produção de cada derivado é determinada pelas exigências do consumo interno. Desta maneira, a produção em massa de veículos automotivos demandou um aumento da produção de gasolina; aperfeiçoaram-se técnicas de refino, e foi desenvolvido um novo método de obtenção da gasolina: o craqueamento (do inglês *to crack*, “quebrar”). (SILVA & SILVA, 1992)

O craqueamento consiste em promover a quebra das moléculas maiores de hidrocarbonetos, transformando-as em moléculas mais simples, como abaixo:

Moléculas de C<sub>17</sub>H<sub>36</sub> (constituente do óleo combustível), por aquecimento geram C<sub>8</sub>H<sub>16</sub> + C<sub>9</sub>H<sub>20</sub> (constituintes da gasolina); ou Moléculas de C<sub>15</sub>H<sub>32</sub> (constituente do

querosene), por aquecimento geram  $C_8H_{16} + C_7H_{16}$  (constituintes da gasolina). (SILVA & SILVA, 1992)

Por fim, outro método desenvolvido para a obtenção da gasolina é a alquilação. Este processo é o inverso do craqueamento. Combinam-se as moléculas menores dos produtos gasosos, levando à formação de moléculas maiores dos combustíveis, como na representação abaixo: (SILVA & SILVA, 1992)

$C_4H_8 + C_4H_{10}$  (constituintes dos gases do petróleo), por ação de um catalisador e alta temperatura geram  $C_8H_{18}$  (constituente da gasolina).

Em geral, a reação de combustão da gasolina é a seguinte:  $2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O$  (SILVA & SILVA, 1992).

### 1.1.12 Outros Poluentes do Ar

As indústrias de fertilizantes fosfatados contribuem com quantidades significativas de  $F_2$  para a atmosfera, a partir de fluoreto ( $F^-$ ) que se encontram nas rochas de fosfato ( $PO_4^{2-}$ ). Também a indústria de alumínio emprega a criolita ( $Na_3AlF_6$ ) liberando  $F_2$  no ambiente, em forma de gás ou de partículas. O  $F_2$  é altamente tóxico às plantas que o absorvem através dos estômatos (parte em suas folhas que realizam as trocas gasosas). Por meio do ar o  $F_2$  não exerce efeito nocivo direto sobre animais, mas os herbívoros podem ser intoxicados alimentando-se de plantas com teor elevado do tóxico, passando a apresentar fluorose (excesso de ingestão de flúor), que se caracteriza por alterações patológicas nos ossos. (BRANCO & ROCHA, 1984)

Concentrações prejudiciais de cloro ( $Cl_2$ ) na atmosfera podem ser originadas, também, de certas atividades humanas. A decomposição fotoquímica de aerossóis formados a partir dos antidetonantes empregados nos veículos a gasolina, produz átomos de  $Cl_2$ . Outra importante fonte deste halógeno (família química a qual pertence) é constituída pela queima de polímeros orgânicos clorados, como os plásticos de cloreto de polivinil. A incineração de lixo, como medida de saneamento das cidades, pode introduzir tal grave inconveniente.

Embora o homem somente seja afetado por concentrações relativamente altas e não usuais de  $\text{Cl}_2$  no ar, as plantas, entretanto, são extremamente sensíveis a essa ação tóxica. (BRANCO & ROCHA, 1984)

O bromo ( $\text{Br}_2$ ) pode ser originado da combustão da gasolina contendo produtos antidetonantes, subsequente ação fotoquímica dos gases de exaustão. O iodo ( $\text{I}_2$ ), pode ser também originado da combustão do petróleo. O composto  $\text{I}_2$  radioativo pode resultar da fissão nuclear e como a tireoide tende a acumulá-lo em altas concentrações, vários estudos têm evidenciado a este sentido. A vegetação parece constituir importante controlador, absorvendo quantidades apreciáveis de  $\text{I}_2$  radioativo. (BRANCO & ROCHA, 1984)

## 1.2 Efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural. Sem ele, a superfície terrestre seria, em média,  $33^\circ\text{C}$  mais fria. Graças ao efeito-estufa, a vida pôde surgir no planeta. Podendo imaginar que uma estufa para o cultivo de plantas, em que o telhado é de vidro, a energia proveniente do sol, com seus raios infravermelhos, atravessa a estrutura transparente vitrificada. Como o vidro é pouco transparente, entra maior quantidade de energia do que sai do seu interior, aquecendo-o. (ANTP, 2012)

Na atmosfera terrestre, o  $\text{CO}_2$  e o vapor de água funcionam como o vidro do telhado da estufa: são pouco transparentes à radiação infravermelha, retendo o calor. A isto chama-se efeito estufa. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A queima de combustíveis fósseis (carvão e derivados de petróleo) e a destruição de florestas pelo fogo aumentam a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. O aumento intensifica a retenção de calor pelo efeito estufa, elevando a temperatura global. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Sabe-se atualmente que os maiores responsáveis por este efeito são o  $\text{CO}_2$ , o  $\text{CH}_4$ , os  $\text{NO}_x$  e os derivados clorofluorados de hidrocarbonetos, conhecidos como “CFC’s”. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Na tabela abaixo estão os principais causadores do efeito estufa.

Tabela 7 - Principais gases constituintes do Efeito Estufa

Gases	Participação (%)
Dióxido de Carbono	61
Metano	15
Óxidos de Nitrogênio	4
Clorofluorcarbonos	11
Outros (vapor d'água)	9

Fonte: TOLENTINO (1995, p. 64)

A ação de agentes naturais e o desenvolvimento industrial e tecnológico da humanidade têm provocado graves alterações na composição da atmosfera. O teor de CO<sub>2</sub> continua crescendo sistematicamente e muitos outros gases são introduzidos na nossa capa gasosa. Muitos destes gases, por sua natureza físico-química, funcionam como causadores do efeito estufa: mostram-se transparentes às radiações solares de ondas curtas (altas frequências), mas absorvem e emitem as de ondas longas (baixa frequência) que são emitidas pela superfície do planeta. Conseqüentemente essas radiações não escapam para o espaço e provocam o aquecimento da atmosfera. Isto é fisicamente o efeito estufa. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A primeira consequência será, naturalmente, a mudança da flora característica de várias regiões do globo. É notório que as plantas têm adaptabilidades climáticas, de tal sorte que muitas árvores do hemisfério norte, por exemplo, como os carvalhos europeus e muitos tipos de pinheiros, não se desenvolvem em regiões de clima quente. (BRANCO, 1990; TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

A segunda consequência, porém, de características catastróficas, poderá ser a elevação do nível do mar, devido ao derretimento de grandes áreas nas regiões mais próximas aos polos. Já ocorrendo no passado, fazendo com que o mar atingisse diferentes níveis ao longo da história da Terra (com variações de até 30 metros), acompanhando as maiores ou menores temperaturas que, por diversas razões, prevaleceram em diferentes épocas. Ora, levando-se em conta o fato de inúmeras grandes cidades do mundo se situarem praticamente ao nível do mar, é fácil concluir que elas desaparecerão, mesmo se as águas se elevarem apenas um ou dois metros. (BRANCO, 1990; TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

O efeito de estufa parece ser amenizado em certa medida – ao menos localmente – pela perda de transparência da atmosfera – que se deve à crescente presença de poeiras e fumaças – o que dificulta a passagem das radiações do sol. (BRANCO, 1990)

O assunto é extremamente complexo, mas é inegável que as alterações ambientais introduzidas pelas atividades humanas poderão causar danos dificilmente previsíveis e de proporções catastróficas, cabendo a nós a responsabilidade de tentar evitá-las. (BRANCO,1990; TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Na tabela abaixo estão os principais poluentes e a faixa da população.

Tabela 8 – Emissão de Poluentes por tipo e faixa de população (milhões ton./ano) – 2011

Faixa da População	Poluentes Locais	Poluente Estufa	Total
>1 milhão	0,3	18,7	19,0
500 – 1.000 mil	0,1	3,8	3,9
250 – 500 mil	0,1	3,0	3,0
100 – 250 mil	0,0	2,4	2,5
60 – 100 mil	0,0	0,7	0,7
Total	0,5	28,7	29,2

Notas:

Poluentes Locais: Monóxido de Carbono, Hidrocarbonetos, Óxidos de Nitrogênio, Óxidos de Enxofre e Material Particulado.

Poluente Estufa: Dióxido de Carbono.

Fonte: ANTP (2012, p. 68)

### 1.2.1 Estratégias para evitar o aquecimento global

Qualquer estratégia realista para evitar o aquecimento global deve partir do fato que ¼ da população do mundo contribui com cerca de 70% das emissões globais de carbono, produzidas pela queima de combustíveis fósseis. (HELENE, 1994)

A essa quarta parte da população, rica e grande consumidora de energia, cabe a responsabilidade óbvia de procurar soluções. Mas limitar as emissões de carbono no mundo é um grande problema, uma vez que são provenientes do consumo de energia, que está intimamente ligado com o modo de vida das pessoas. Diminuir a quantidade das emissões e

substituir as fontes mais emissoras significa mudar hábitos de consumo de bilhões de pessoas. Sem discutir-se da procura e escolha de caminhos energéticos alternativos, como hábitos para o desenvolvimento dos países pobres. Certamente, o planeta não será capaz de suportar uma população global de oito bilhões de pessoas (projeção da Organização das Nações Unidas - ONU para 2020) provocando emissões de carbono a uma velocidade igual à dos cidadãos que vivem na Europa Ocidental. Assim sendo, o crescimento da população mundial, associado à crescente necessidade de energia, de terras e outros recursos, também exercerá o seu impacto sobre as emissões de carbono. (HELENE, 1994)

As estratégias propostas para reduzir as emissões de carbono para a atmosfera e, dessa maneira, evitar um provável aquecimento do planeta devem ser adotadas todas ao mesmo tempo e serão apresentadas a seguir: (HELENE, 1994)

a) substituição dos combustíveis fósseis: Atualmente, os combustíveis fósseis fornecem 78% da energia global (o petróleo fornece 33%, o carvão, 27% e o gás natural, 18%). É evidente que a sociedade humana algum dia deverá interromper o seu uso, uma vez que os recursos não renováveis são, por definição, limitados e um dia poderão acabar. A possibilidade do aquecimento global solicita que haja a redução dos combustíveis fósseis logo no início deste século, muito antes do esgotamento das reservas, não somente por conterem carbono, mas também porque a extração e o uso dos combustíveis fósseis colaboram, com uma parcela significativa, para a emissão de dois outros gases que contribuem para o efeito estufa: o  $\text{CH}_4$  e o  $\text{NO}_2$ . (HELENE, 1994)

Embora seja importante que a transição rumo a outras formas de energia, que nos tornarão independentes em relação aos combustíveis fósseis, comece em futuro próximo, o processo estender-se-á por um período de várias décadas. Novas tecnologias terão ainda de ser desenvolvidas e, desta forma, a instalação de fontes substitutas levará tempo. (HELENE, 1994)

Nos últimos anos, tanto a energia nuclear como as fontes renováveis de energia têm sido utilizadas para substituir os combustíveis fósseis: o aumento do emprego da energia nuclear nos últimos quinze anos é hoje responsável pela não emissão anual de 298 milhões de toneladas de emissões de carbono – 5% do total anual, ao passo que a crescente utilização de fontes renováveis não emite 192 milhões de toneladas. (HELENE, 1994)

O aumento da aplicação de fontes renováveis pode substituir a energia nuclear na diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> para produção de energia, já que as usinas nucleares têm aceitação restrita dentro das comunidades que as utilizam. (HELENE, 1994)

Há hoje menos condições para o uso em grande escala da energia nuclear do que havia na década passada. Os últimos dez anos foram marcados por graves acidentes, em Three Mile Island (EUA) e em Chernobyl (ex-URSS), grandes aumentos dos custos, falta de locais adequados para abrigar o lixo atômico e em longo prazo e queda súbita de aceitação pública. A energia nuclear não é, por médio prazo, alternativa para desacelerar o aquecimento global, provocado pelo uso de outras fontes de energia já mencionadas. (HELENE, 1994)

b) fontes renováveis de energia que poderiam ser desenvolvidas em tempo relativamente rápido: O aproveitamento da energia produzida pelos ventos e pelo calor do interior da Terra, da energia térmica produzida pelo Sol e da energia obtida de tecnologias que servem da biomassa está entre os recursos energéticos com potencial para serem utilizados durante a década de 90. Em seu todo, as tecnologias de energia apresentam grande vantagem sobre a energia nuclear, como meio de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>: podem ser usadas não apenas para produzir eletricidade mas também para substituir muitas outras aplicações dos combustíveis fósseis, como por exemplo, acionar os automóveis. (HELENE, 1994)

Dentre os combustíveis utilizados para os transportes, aqueles que produzem emissões de carbono substancialmente mais baixas são os alcoóis obtidos com base na biomassa. O Brasil possui o maior programa de álcool combustível do mundo, derivado da cana-de-açúcar, com produção anual equivalente a cerca de 72 milhões de barris de petróleo. Em 1988, o programa forneceu 62% de todo o combustível automotivo do país. (HELENE, 1994)

Para transformar os combustíveis de biomassa numa alternativa de maior importância, o mundo deverá recorrer a culturas desenvolvidas em terras marginais, à conversão de materiais residuais e ao desenvolvimento de sistemas de cultura integrada, que permitam à mesma terra produzir a mesma quantidade de alimentos que atualmente e, ao mesmo tempo, produzir combustíveis. (HELENE, 1994)

Como é amplo o uso de combustíveis fósseis para o transporte em todo o mundo, a reordenação do transporte de carga e de passageiros, com a introdução de frotas de ônibus nas

grandes cidades e o uso de trens leves, o processo de reurbanização, é fundamental para diminuir o consumo de combustíveis fósseis; (HELENE, 1994)

c) uso mais eficiente da energia: O uso mais eficiente da energia significa desenvolver motores, eletrodomésticos, lâmpadas, entre outros sistemas, que utilizem menos energia e que, ao mesmo tempo, tenham desempenho melhor. Embora o aperfeiçoamento dessa eficiência não possa substituir totalmente os combustíveis fósseis, trata-se de importante alternativa para as próximas décadas. A eficiência energética tem o potencial imediato de cortar o uso de combustíveis fósseis em pelo menos 3% ao ano nos países ricos, reduzindo proporcionalmente as emissões de CO<sub>2</sub>. Nos países pobres, pode ser usada para manter constante a quantidade de combustíveis fósseis, enquanto prossegue o desenvolvimento. (HELENE, 1994)

O potencial de eficiência energética nos transportes, por exemplo, poderia ser mais bem explorado. A cada ano, os 420 milhões de automóveis do mundo despejam cerca de 600 milhões de toneladas de carbono na atmosfera, 11% do total emitido pela queima de combustíveis fósseis. Projeções indicam que essas emissões irão aumentar. Mas se os mesmos carros percorressem cerca de 20 km com um litro de gasolina em vez de o fazerem na média atual, de cerca de 7 km/l, as emissões cairiam para níveis inferiores aos de 1980. Se o transporte coletivo fosse aperfeiçoado e o uso de bicicletas para pequenas viagens fosse intensificado, as emissões de carbono pelos veículos automotivos poderiam cair até pela metade do nível em que se encontram hoje. (HELENE, 1994)

Outra importante medida seria criar um imposto sobre o consumo de combustíveis fósseis. Os países que mais queimam combustíveis fósseis pagariam maiores impostos, o que provavelmente iria incentivá-los a reduzir o consumo ou a procurar novas fontes energéticas. Como certa quantidade de energia obtida pela queima de carvão emite mais carbono que a mesma quantidade de energia obtida pela queima de petróleo ou gás natural, os maiores consumidores mundiais de carvão pagariam também maiores impostos, tendo o petróleo e o gás natural impostos menores; (HELENE, 1994)

d) redução ou eliminação definitiva da produção de CFC's: Como já foi observado estes compostos, além de destruírem a camada de ozônio por reagirem com o ozônio troposférico, constituem os mais poderosos gases com do efeito estufa. Reduzir ou mesmo eliminar por definitivo a produção destes compostos pela indústria química e desenvolver

mecanismos para recapturar aqueles hoje em uso são passos cruciais para diminuir o risco do aquecimento global; (HELENE, 1994)

e) reflorestamento: Junto com a interrupção total ou diminuição drástica do ritmo do desmatamento, o plantio de árvores pode significar importante contribuição no esforço de tirar da atmosfera o excesso de carbono. (HELENE, 1994)

As florestas e os solos desempenham papel chave no ciclo global do carbono, servindo como grandes reservatórios. Caso contrário, o carbono estaria distribuído em outros reservatórios, como os oceanos e a atmosfera. (HELENE, 1994)

Um importante fato a ser considerado é que uma árvore cresce na medida em que retira o carbono da atmosfera. Todo aquele carbono retirado da atmosfera durante o crescimento ficará armazenado na planta por toda a vida, a menos que ela seja cortada ou queimada. Uma vez cessado o seu crescimento, a planta continua a retirar CO<sub>2</sub> da atmosfera pela fotossíntese, mas passa a devolver a mesma quantidade de carbono durante a sua respiração. (HELENE, 1994)

Árvores plantadas em todo o mundo poderiam atender a várias necessidades básicas, bem como mais importante em restaurar terras degradadas. Possibilitariam também criar novas alternativas econômicas com a maior oferta de produtos florestais. Ao mesmo tempo, poderiam absorver, a cada ano, significativa parcela do carbono em excesso na atmosfera. Embora tal procedimento não possa contrabalançar todo o enorme volume de carbono despejado a cada ano na atmosfera, trata-se de um método comparativamente barato para reduzir as emissões e desacelerar o desmatamento. (HELENE, 1994)

### **1.3 Chuva ácida**

Especialistas da Universidade de Atenas têm observado que, nos últimos anos, as famosas obras-primas feitas em mármore pelos escultores e arquitetos gregos na Acrópole ateniense, há milhares de anos, vêm se deteriorando perigosamente. As belíssimas colunas do Parthenon estão sendo corroídas, nas últimas décadas, muito mais intensamente do que o

foram em dezenas de séculos, desde a sua construção. E a causa é a poluição atmosférica, que foi comprovada plenamente por pesquisadores atenienses. (BRANCO, 1990)

Observações idênticas têm sido feitas por especialistas de todo o mundo em milhares de monumentos e obras de arte, algumas das quais já definitivamente perdidas para a humanidade. Mais do que perda material, isto representa a aniquilação de testemunhos culturais cuja recuperação, proteção e interpretação já custou à humanidade enormes esforços, dedicação de vidas inteiras e aplicação de recursos incalculáveis. (BRANCO, 1990)

Essa ação corrosiva é exercida por intermédio de um fenômeno conhecido de longa data pela denominação de chuva ácida. Em 1872, um funcionário público britânico, Robert Angus Smith, impressionado pela rapidez com que as peças de metal expostas ao tempo se oxidavam na cidade de Londres, passou a investigar minuciosamente o fenômeno, chegando à correta e brilhante conclusão de que se devia à presença do  $H_2SO_4$  no ar, resultante de reações com os compostos de enxofre provenientes da queima de carvão mineral nas fornalhas industriais e sistemas de aquecimento doméstico. Concluiu-se ainda que também causasse a alteração de pinturas, desgaste das pedras dos edifícios e má qualidade das águas de consumo público. Publicou-se nesta época um livro com o título Ar e chuva: fundamentos de uma climatologia química, ao qual ninguém deu importância durante todo um século. (BRANCO, 1990)

Porque a corrosão de obras de arte também se dava em ambientes de atmosfera acentuadamente poluída por indústrias e veículos, como no caso de Atenas, não se relacionou imediatamente o fenômeno com as chuvas, porém, se tornou evidente a partir dos anos de 1979 e 1980, com a constatação de que inúmeros lagos, em diferentes regiões do mundo, vêm se tornando progressivamente ácidos, o que acarretou a destruição de toda a sua vida aquática. (BRANCO, 1990)

O que mais impressiona neste tipo de impacto ambiental é o fato de seus efeitos se fazerem sentir a extraordinária distância do local de origem, tratando-se de uma ação que não reconhece fronteiras políticas ou barreiras físicas. Represas da Noruega, por exemplo, estão sofrendo os efeitos de chuvas ácidas cuja origem está em indústrias da Alemanha, França e Grã-Bretanha. (BRANCO, 1990)

O caráter especial das chuvas ácidas deve-se não só a isto, mas também ao fato de não serem elas causadas exclusivamente por grandes indústrias. No caso dos monumentos de Atenas, o principal responsável é o tráfego de veículos na cidade; no caso de Londres de um século atrás, os grandes responsáveis poderiam ser as inúmeras chaminés de fogões e aquecedores a carvão das residências e estabelecimentos londrinos. (BRANCO, 1990)

Nas montanhas Adirondack, estado de New York, EUA, mais de duzentos lagos, e aproximadamente vinte mil outros situados na península escandinava, norte da Europa, já não possuem quaisquer forma de vida. Essa mudança em suas características ocorre quase bruscamente, após vários anos de presença das chuvas ácidas. (BRANCO, 1990)

A explicação deste fenômeno é bem simples: gotas de chuva ou de neblina, ao atravessarem o ar poluído carregado de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , formados pelas reações fotoquímicas já mencionadas, absorvem os ácidos, precipitando-se, em seguida, sobre solos, rios e lagos. Estes últimos, porém, têm uma capacidade natural de neutralizar cálcio que possuem. Os íons carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), reagindo com os ácidos, forma compostos neutros e reduzem a acidez – o chamado efeito tampão. Somente quando se esgotam as reservas de carbonato do lago, este se torna repentinamente ácido. (BRANCO, 1990)

A maior parte dos organismos aquáticos vive, de preferência, em águas neutras ou levemente ácidas, daí a importância do efeito tampão para a manutenção da vida aquática. Até as bactérias não suportam águas ácidas, também ocorrendo com os mais resistentes decompositores – os fungos, que embora acidófilos em relação aos demais microrganismos, também não podem mais formar suas conchas calcárias. Depois, provavelmente, os crustáceos, os peixes, os insetos aquáticos, as algas e, por último, as próprias bactérias e fungos. (BRANCO, 1990)

Não existindo decompositores, não há mais apodrecimento dentro do lago: qualquer pedaço de madeira ou papel mergulhado não sofre decomposição, e o leito torna-se um verdadeiro depósito de lixo. Curiosamente, entretanto, as águas se tornam muito transparentes, quer por ausência de micro-organismos em suspensão, quer por efeito da acidez sobre a cor amarelada dos pigmentos naturais da água. (BRANCO, 1990)

Efeito semelhante – ainda não bem conhecido – pode ocorrer nos solos. Estes também têm seus mecanismos naturais de tamponamento, que, entretanto, são limitados. Nos

locais em que os terrenos ácidos são pobres, não se prestando à agricultura, aplica-se calcários para sua produção. Mas é possível que, além do efeito sobre o solo, as chuvas ácidas – ou, principalmente, as neblinas ácidas – tenham ação nociva diretamente sobre as partes aéreas das plantas, diminuindo-lhes a resistência. (BRANCO, 1990)

As chuvas normais dissolvem o  $\text{CO}_2$  existente na atmosfera, estabelecendo um equilíbrio químico entre o  $\text{CO}_2$ , a água e o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Como o próprio nome indica, o último composto faz com que a água das chuvas seja normalmente ácida. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Entretanto, a presença de componentes estranhos na atmosfera (principalmente  $\text{NO}_x$  e de S) pode ocasionar a dissolução de compostos nas águas pluviais, que passarão a conter quantidades por vezes acentuadas de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Essa presença leva o pH das águas pluviais a valores muito baixos, caracterizando-se mais um aspecto nocivo da poluição atmosférica: as chuvas ácidas. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Para fins de comparação, o estudo da acidez das chuvas antes da era industrial baseia-se na análise de amostras de neve e gelo retiradas em perfurações controladas em geleiras e neves de regiões polares. Os valores de pH oscilavam entre 6,0 e 7,6, estando na faixa de neutralidade. Com o advento da era industrial e o crescimento dos meios de transporte baseados em veículos com motores de explosão, as mudanças nas condições da química atmosférica resultaram nas chuvas ácidas. Para que a chuva seja considerada ácida, o valor do seu pH deve ser inferior a 5,6 e as outras inúmeras consequências para o solo, animais e vegetais. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Às vezes a precipitação de chuvas ácidas ocorre em regiões muito distantes daquelas que deram origem aos compostos químicos que, expelidos para a atmosfera, geraram os ácidos responsáveis pelo fenômeno. Exemplos de chuvas ácidas sobre o sudoeste da Suécia e da Noruega devem-se a emissões de gases na Inglaterra e, até mesmo, no vale do Rio Reno, na Alemanha. A partir da década de 60, a acidez dos lagos e rios dos países escandinavos atingiram valores extremamente altos, que prejudicaram a procriação dos salmões e trutas. Segundo relatórios de pesquisadores, no período de 1966 a 1976 a acidez de sete rios do sul da Noruega aumentou por um fator de 28; já um levantamento de 5 mil lagos mostrou que a população de trutas sofreu uma diminuição de 22%, em lagos de baixas altitudes, e de 68% nos de maiores altitudes. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Os mesmos efeitos nocivos vêm ocorrendo em outros países, por exemplo, no Canadá, em decorrência das geradoras termoeletricas norte-americanas, principalmente as instaladas no nordeste e centro-oeste dos Estados Unidos. Também já há indícios de efeitos semelhantes no Brasil. No início da década de 90 os habitantes do município de Melo no Uruguai, apresentaram queixas ao governo brasileiro sobre a ocorrência de chuvas ácidas na região. A acidez foi atribuída aos gases emitidos pelas chaminés da Usina Termoeletrica de Candiota, localizada no município gaúcho de Bagé, a 60 quilômetros da cidade de Melo. As florestas e, em geral, a vegetação que cobre a superfície da Terra, os animais, em especial a população humana (principalmente as crianças e os idosos), todos sofrem os efeitos danosos dessas chuvas anormalmente ácidas. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

As chuvas ácidas lavam as folhas dos vegetais e promovem a dissolução de nutrientes, ocasionando o enfraquecimento do vegetal. Ao se precipitarem, essas chuvas depositam ácidos no solo; os ácidos acabam provocando a solubilização e a perda de nutrientes do solo, tornando-o mais pobre e improdutivo. Por isto, a Noruega prevê uma diminuição de 10 a 15% na sua produção madeireira, por volta do ano 2000. Outra característica prejudicial dos ácidos das águas pluviais refere-se à sua ação sobre minerais existentes no solo, que contêm em sua composição o alumínio, sob a forma de silicatos. Os ácidos liberam este metal, que passa para a forma iônica ( $Al^{3+}$ ) sendo incorporado ao solo arável, isto é, aquele explorado pelas raízes das plantas. O efeito tóxico deste cátion (íon positivo) para grande parte das plantas é bem conhecido dos agrônomos e dos cientistas do solo. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

Para se ter uma ideia da intensidade que a acidificação das águas da chuva pode atingir, basta citar que no ano de 1974 uma tempestade na Escócia apresentou chuvas com um pH da ordem de 2,4, ou seja, igual ao do vinagre. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

O combate às chuvas ácidas deve começar pela diminuição da emissão de  $NO_x$  e de S para a atmosfera. Já se sabe que isto pode ser conseguido com o uso de tecnologias mais avançadas nos motores de explosão dos veículos, a diminuição das queimadas de biomassa, o uso de combustíveis mais limpos (com menores teores de S) e a correção dos solos e das águas de lagos, por meio de substâncias que neutralizem os ácidos em excesso. (TOLENTINO; FILHO & SILVA, 1995)

#### 1.4 Poluição fotoquímica

A luz solar, encontrando na atmosfera os  $\text{NO}_x$  e hidrocarbonetos (provenientes da evaporação da gasolina e da queima incompleta dos combustíveis), provoca reações que formam compostos tóxicos e irritantes. Este tipo de poluição é chamada poluição fotoquímica. (SILVA & SILVA, 1992)

Os principais responsáveis pela fotoquímica são o  $\text{O}_3$  e o nitrato de peroxiacetila (PAN). Tais substâncias são denominadas poluentes secundários, pois não são lançadas diretamente no ambiente, e sim produzidas a partir de outras. (SILVA & SILVA, 1992)

Os efeitos da poluição fotoquímica são sentidos com mais intensidade durante o dia. Geralmente, nas grandes cidades, no princípio do dia, quantidades pequenas de  $\text{NO}_x$  estão presentes na atmosfera. Com o início da rotina de trabalho, e conseqüente aumento do tráfego de veículos, a quantidade de  $\text{NO}_x$  também começa a aumentar. Sob o efeito de a luz solar, o óxido de nitrogênio transforma-se em  $\text{NO}_2$  que reage com os hidrocarbonetos presentes na atmosfera, produzindo os poluentes fotoquímicos, -  $\text{O}_3$  e PAN. Somente no final da tarde, quando a intensidade da luz solar diminui, a quantidade dos poluentes fotoquímicos também diminui. (SILVA & SILVA, 1992)

#### 1.5 Poluição das águas

A água possui a propriedade de dissolver um número muito grande de substâncias, tanto naturais quanto sintéticas, nas formas sólidas, líquidas ou gasosas, facilitando sua absorção ou seu transporte. Possui grande estabilidade térmica, capacidade de acumular calor e resistência às variações bruscas de temperatura. Ela é tão importante, seja para os seres vivos, seja para as atividades econômicas empreendidas pela sociedade. (GIL, 2001)

No planeta terra tem muita água. Cerca de  $\frac{3}{4}$  de sua superfície são cobertos por ela, e constituem os mares e oceanos. Mas o que interessa é a chamada “água doce”, aquela dos rios, lagos, geleiras ou a que fica nos lençóis subterrâneos. Desta, menos de 1% encontra-se nos rios, lagos e distribuída uniformemente por todo o planeta. Uma parcela muito pequena

está na Austrália, na África e na Europa. A América do Norte apresenta o dobro do volume de água da África. As duas regiões mais favorecidas são a Ásia e a América do Sul. (GIL, 2001)

O consumo de água no mundo vem aumentando, principalmente o de água doce, que é um recurso natural escasso. Alguns estudos mostram que a média de consumo de água por habitante no mundo chega, hoje, a 700 litros por dia. Em alguns países da Europa, o consumo é de mil e setecentos litros por dia e nos Estados Unidos chega a oito mil litros diários por habitante. (GIL, 2001)

Estas diferenças estão ligadas a diversos fatores, tais como nível de industrialização do país (quanto mais industrializado maior é o consumo de água), nível de mecanização da agricultura, uso correto da água pela população, evitando desperdícios, que, num país populoso, são significativos. (GIL, 2001)

Uma plantação de trigo, por exemplo, com 10.000 m<sup>2</sup> de área, pode consumir, da sementeira à colheita, cerca de quatro milhões de litros de água. As indústrias de papel e celulose chegam a gastar quinhentos litros de água por quilo de produto fabricado. Nas indústrias siderúrgicas, o gasto é de seiscentos litros por quilo de aço produzido. (GIL, 2001)

A atividade humana polui a água tão útil e escassa e essa poluição pode aparecer de vários modos, incluindo a poluição térmica (descarga de efluentes a altas temperaturas), poluição química em todos os seus aspectos, poluição física (descarga de material em suspensão) e poluição biológica (descarga de bactérias patológicas, vírus e outros organismos). Desta maneira é necessário desenvolver uma política racional de utilização da água, visando a sua preservação e também um tratamento adequado para as chamadas águas servidas, que incluem os esgotos urbanos e efluentes industriais. (GIL, 2001)

A água é abundante em alguns continentes, como na América do Sul e Ásia. Existe em quantidade razoável na América do Norte e uma parcela pequena é encontrada na África, Europa e Austrália. O Brasil detém 12% de toda água doce do planeta, concentrada, sobretudo na Amazônia. (GIL, 2001)

A necessidade crescente de água para o abastecimento doméstico, na agricultura e na indústria, faz com que nas regiões em que ela não é abundante se constitua um grande problema político de gestão pública. (GIL, 2001)

Quanto mais desenvolvido for um país, maior será seu consumo. Além do aumento do consumo doméstico, algumas atividades industriais necessitam de grande quantidade de água, como, por exemplo, a produção do aço, na transformação da bauxita em alumínio em função da necessidade da energia elétrica, obtida muitas vezes através de hidroelétricas. (GIL, 2001)

Na agricultura o consumo é também expressivo, sobretudo para abastecer os sistemas de irrigação, que apesar de aumentarem a produtividade da lavoura em até três vezes, quando indevidamente utilizada, pode provocar a contaminação dos recursos hídricos em decorrência do transporte dos produtos agroquímicos que utiliza, além da salinização dos solos. No Brasil, a produção do álcool e o despejo do vinhoto nos rios têm provocado a poluição da rede hidrográfica, sobretudo na região Sudeste do país. Estudos demonstram que a aplicação controlada do vinhoto como fertilizante tem melhorado as condições de produtividade dos solos agrícolas. (GIL, 2001)

O impacto de uma crescente urbanização, originando novas necessidades de consumo, acarreta um uso enorme de água, a qual se torna invariavelmente poluída e imprópria para o uso, donde se criou o processo de depuração para o reaproveitamento das águas servidas. Atualmente é comum as grandes cidades reaproveitarem as suas águas, dentro de um ciclo em que a água, que hoje serve para evacuação de detritos humanos e venenos industriais, amanhã será água pura e vice-versa. A água, excelente meio de transporte e, paradoxalmente, elemento transmissor das mais graves doenças e epidemias, está presente em todas as partes do mundo, além de representar 70% do corpo humano. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

A depuração das águas, infelizmente, apresenta algumas desvantagens, que tiram o mérito dos grandes cientistas que encontraram neste processo a solução do abastecimento de água para consumo urbano. Segundo investigações recentes, a depuração provoca elevados teores e nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), que contribuem para a eutrofização (excesso de nutrientes) das águas continentais. Tal inconveniente pode acarretar ainda sérias consequências para a saúde pública. Mais uma vez são os recém-nascidos que sofrem pelo seu mal. Nas crianças de até seis meses de idade, o íon pode ser reduzido a nitrito por meio da flora intestinal. E o  $\text{NO}_3^-$ , penetrando no sangue, pode provocar a infecção comumente conhecida por “doença azul” (coloração da pele/mucosas de cor azulada). (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

A água tem sua própria capacidade de depuração, mas os dejetos são nela lançados em tal quantidade e velocidade que ela não consegue decompô-los. Quando a poluição é pequena, a purificação se faz na presença de  $O_2$  e ausência de gases, porém, quando a carga poluidora é excessiva, surgem os gases poluentes, como o  $H_2S$ , de forma inevitável. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

Em nenhuma época da história humana as águas foram tão imundas e nocivas como hoje, como também em nenhuma outra época tanto se falou em higiene, limpeza, prevenção contra epidemias e aumento da sobrevivência humana. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

O progresso faz brotar novas chaminés industriais todo dia. Em todos os setores o aumento de produção se faz a todo vapor. Porém, faz crescer vertiginosamente o acúmulo de resíduos nos despejos industriais. O consumo de água quintuplicou-se desde o começo do século. Uma fábrica de papelão de tamanho médio despeja, diariamente, a mesma quantidade de detritos de uma cidade de trinta mil habitantes. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

Desde que os químicos começaram a criar substâncias a natureza nunca inventou, desconhece e não aceita de bom grado, os problemas de tratamento da água complicaram-se alarmantemente, perigando a vida dos seus necessitados usuários. Diariamente, uma avalanche em proporções inimagináveis é lançada nos cursos d'água de todo o mundo. Muitas vezes, as substâncias são compostas de tão intrincados dejetos, que sua identificação torna-se um verdadeiro quebra-cabeças, complicando a já árdua ação purificadora, que além da citada dificuldade de descobrir a origem do veneno ainda luta contra uma excessiva descarga, que supera a capacidade depurativa natural das águas. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

Quanto aos lagos, estes sofrem de um mal maior que os rios e apresentam problemas que as correntes aquáticas desconhecem. Provenientes da adubação, dos efluentes das fossas sépticas e despejos de indústrias em geral, essas águas servidas carregam grande quantidade de nutrientes semelhantes aos que proporcionam o crescimento de plantas na terra e que também o fazem na água. Com o rápido enriquecimento dos lagos, os  $NO_3^-$  e  $PO_4^{2-}$  adubam as algas lacustres, que proliferam demasiadamente e consomem todo o oxigênio dissolvido na água,

consequentemente ocasionando a morte dos peixes e outros seres que têm no lago e seu habitat. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

Finalmente, a principal fonte poluidora são regiões de atividades industriais, nelas incluídas os despejos sem tratamento e os materiais não biodegradáveis; a água parece ser o mais eficaz meio de transporte da poluição. São os despejos de indústrias repletos de venenos tóxicos, as descargas de hospitais carregando todo o tipo de doenças (o bacilo da tuberculose, por exemplo, já foi encontrado nas águas que recebem matéria fecal de doentes), os resíduos radioativos são nela despejados, os restos de laboratórios químicos e a tudo se acrescentam os resíduos da aplicação indiscriminada de pesticidas nos campos de cultura e florestas. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, 2003)

Para conhecimento técnico pode-se citar:

1 litro de ácido é capaz de contaminar 10.000 litros de água;

1 litro de gasolina é capaz de contaminar 1.000.000 litros de água. (CETESB, 2003)

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), para cada 370.000 litros de água no planeta apenas um litro é de água doce. (CETESB, 2003)

São despejados por ano 3.000.000 de toneladas de defensivos agrícolas na água;

Atualmente 1/6 da população mundial não tem acesso à água;

Para cada \$ 1 aplicado em saneamento são economizados \$ 5 em saúde pública, pois 50% das mortes são decorrentes de doenças provenientes de contaminação da água;

De acordo com a ONU, no ano de 2050, cerca de 75% da população mundial será acometida pela falta de água potável. (CETESB, 2003)

## 2 ALGUMAS DOENÇAS QUE AFETAM A SAÚDE HUMANA

O ar que é expirado é mais limpo do que o ar que é inspirado. Os cinco mil litros de ar que é inalado por dia para satisfazer as necessidades metabólicas contêm um aerossol heterogêneo de poeiras, vapores e micro-organismos. O resultado final é que as pessoas que vivem em um ambiente urbano inalam cerca de 2mg de poeira por dia. Naturalmente, os fumantes e pessoas que trabalham em certos ambientes têm que “limpar” o ar inalado de quantidades maiores de partículas. Não é de surpreender que mecanismos de proteção bem elaborados para filtragem do ar e limpeza das partículas depositadas tenham sido desenvolvidos para proteger a delicada membrana alvéolo-capilar, nem é de surpreender que, em certos ambientes, as defesas sejam inadequadas e que a doença pulmonar ocupacional possa desenvolver-se. Os fatores mais importantes que determinam se a doença vai ocorrer são: as propriedades biológicas do material inalado (a concentração e a duração de exposição) e as defesas dos indivíduos (genética, física, imunológica, doenças decorrentes). (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Por causa da diversidade das poeiras e vapores industriais, pode haver uma grande variedade de apresentações clínicas das doenças pulmonares. A apresentação clínica de quase todas as doenças pulmonares não ocupacionais pode ser mimetizada por uma doença ocupacional. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

O sítio de deposição é a área mais provável para a lesão inicial e a produção dos sintomas, e pode ser estimado por meio das propriedades aerodinâmicas das partículas inaladas, especialmente o seu tamanho, formato e a densidade. Outros determinantes para o local de deposição são: a anatomia do sistema respiratório e os padrões de respiração do indivíduo. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

A primeira barreira para os materiais inalados e, conseqüentemente, o primeiro local em que as partículas são depositadas é o nariz. Essencialmente, todas as partículas maiores que 10 micrômetros (o que equivale a dez partes para um milhão de partes do milímetro) são removidas deste local durante a respiração comum. Durante os exercícios, por causa do aumento do volume ventilatório e a respiração através da boca, até 20% das partículas de 10 a 20 micrômetros de diâmetro passam pelo nariz, boca, faringe e são depositadas nas grandes vias aéreas. Esta é uma consideração muito importante, tanto para os trabalhadores de serviços pesados em ambientes empoeirados, como nas crianças que apresentam

manifestações atópicas (reação alérgica) aos exercícios durante a época do pólen. O segundo local de deposição é o epitélio ciliado (constituintes de uma camada de células) das pequenas e grandes vias aéreas. As partículas são depositadas nas grandes vias aéreas pelo impacto da inércia. O número de partículas depositadas aumenta durante a respiração rápida e superficial. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

À medida que o ar inalado passa para os bronquíolos (ramificações) menores, o fluxo decresce e as partículas são depositadas por sedimentação. Isto é essencialmente verdadeiro para as partículas hidrosscópicas, porque elas aumentam de tamanho no ar umidificado. O terceiro local de deposição é a superfície alveolar, e esta ocorre principalmente através da difusão. A deposição alveolar está em função do tempo de permanência, que é relativamente longo, e a pequena distância da parede alveolar. A depuração pulmonar depende dos locais em que as partículas são depositadas. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Um grande número de gases e produtos químicos, cuja exposição frequentemente ocorre no meio industrial, pode causar lesões agudas e vezes crônicas ao sistema respiratório. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Alguns agentes causam uma reação semelhante à asma com tosse, dor torácica e sibilância (ruídos). (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Alguns gases altamente irritantes causam pneumonia química aguda. Tais gases incluem o cloro (usado na indústria química e de plásticos, e para desinfetar a água), a amônia (usada na refrigeração),  $H_2S$  (usado na manufatura de papéis e fundição de minerais),  $O_3$  (gerado em soldagens e em mistura fotoquímica),  $NO_2$  (liberado por grãos em decomposição armazenados e foscênio usado na produção de tintas de anilina). (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Durante a exposição inicial pode não haver sintomas ou ocorrer uma traqueobronquite (inflamação dos brônquios) com tosse e dispneia. Sinais de irritação da mucosa ocular ou orofaríngea podem estar presentes. Os sintomas podem progredir rapidamente, mas, comumente, na fase inicial eles evoluem para a Resolução, seguindo-se de um período de sintomas discretos (tosse) que duram até 48 horas. Febre, mialgias (dores musculares), dispneia (falta de ar) e hipoxemia (baixa concentração de oxigênio no sangue) progressiva começam a ocorrer e a imagem radiológica é a de edema (acúmulo anormal de líquido) pulmonar. Graves sintomas podem melhorar para em duas a cinco semanas mais

tarde, podendo ainda conduzir a insuficiência pulmonar progressiva com um quadro de bronquiolite obliterativa (inflamação associada à obstrução dos brônquios). O tratamento com corticosteróides pode melhorar dramaticamente a doença aguda. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

A resposta causada por cada um dos gases irritantes varia, mas parece estar intimamente relacionada ao grau de irritação aguda que ele causa e a sua solubilidade na água. Os gases menos irritantes tais como o  $O_3$  e os  $NO_2$ , fosgênio, mercúrio e carbonil-níquel, podem ser inalados por períodos prolongados e causar lesões por todo o sistema respiratório. Os gases altamente irritantes, tais como a  $NH_3$  e o ácido clorídrico (HCl), são menos prováveis de serem inalados profundamente e tendem a resultar em lesões imediatamente das vias aéreas superiores, e têm uma capacidade de provocar obstrução secundária na mucosa. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Os gases menos solúveis tais como o  $Cl_2$ , cádmio (Cd), cloreto de zinco (ZnCl), por exemplo, podem causar lesão de toda a árvore traqueobrônquica e comumente não levam a obstrução das vias aéreas superiores. As consequências em longo prazo variam com o gás. O Cd, por exemplo, pode causar enfisema difuso e obstrução das vias aéreas de maneira severa, mas provoca somente uma fibrose mínima. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Diferentes mecanismos estão envolvidos na lesão causada por estes gases. A maioria deles causa lesão agindo como um ácido ou base forte, ou ainda como um oxidante. Os gases de produtos químicos que são ácidos ou bases fortes em solução aquosa, tais como HCl,  $H_2SO_4$ ,  $SO_2$  e  $NH_3$ , tendem a reagir mais nas vias aéreas superiores no qual eles podem modificar o pH do tecido e causar edema à célula. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Com respeito à contaminação química do ar, o desafio é o mesmo que com a água, isto é, quais são os perigos à saúde presentemente demonstráveis e quais são os estímulos atuais que concebivelmente poderiam gerar efeitos sobre a saúde, porém só serão reconhecidos várias décadas mais tarde. Em termos mais amplos, existem dois tipos distintos de contaminação química disseminada: um constituído principalmente de compostos sulfurados pela queima de carvão e certos tipos de óleo; e outro composto primordialmente de produtos do petróleo, introduzidos na atmosfera, principalmente a partir dos automóveis, e consistindo de  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ , chumbo (Pb) e hidrocarbonetos não inflamáveis ou parcialmente oxidados. Nenhum dos agentes químicos está presente em concentrações

suficientemente elevadas para produzir toxicidade ao homem. No primeiro tipo de contaminação, o “nevoeiro” visível e palpável é resultante da ação da luz do sol sobre alguns agentes químicos eliminados, produzindo substâncias químicas reativas, enquanto que no outro resulta do aprisionamento físico dos compostos sulfurados do carvão pela neblina. Os dois tipos existem em ambos os países, mas nos Estados Unidos o problema básico é o tipo por hidrocarbonetos. É altamente provável que com ambos, uma das importantes consequências, a irritação de certas células do organismo e de plantas, seja basicamente a mesma. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Há uma diferença entre os problemas com o ar e os relativos à água. Como anteriormente mencionado, atualmente não há nenhuma doença reconhecível, de patogênese (desenvolvimento e evolução de doenças) desconhecida, que pareça ter qualquer relação com a contaminação química disseminada da água. Ao contrário, no complexo patológico de bronquite e enfisema (doença pulmonar obstrutiva crônica), há um grupo de doenças que ocorre comumente, de patogênese desconhecida, que começa no início da meia-idade; elas parecem ser agravadas pelos agentes químicos encontrados no ar, e poderiam também ser iniciadas por eles. Entretanto, demonstrar convincentemente que existe tal relação causal é uma tarefa difícil, que ainda não foi alcançada, apesar dos cuidados e intensivos estudos em animais laboratoriais e no homem. Os problemas epidemiológicos envolvidos relacionam-se às grandes dificuldades de se separar, para análise, o grau de exposição a determinados agentes químicos pelo ar, e outros fatores de concebível relevância, como o fumo de cigarros. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Entretanto, com relação à poluição do ar em geral, após os primeiros cinco anos de estudos em longo prazo planejados nos Países Baixos não foi possível demonstrar que a residência em áreas de alta poluição do ar estivesse associada a anormalidades da função pulmonar. O fator idade parece produzir um decréscimo muito maior da função pulmonar do que o fumo ou a vida em áreas poluídas. Concebivelmente, o impacto dos agentes químicos, que em última análise levam à doença, deveria ser alguma coisa que ocorra relativamente cedo na vida. Os estudos de crianças jovens no Reino Unido sugerem que a exposição contínua a altos níveis de poluição aumenta o risco de doença respiratória grave infantil. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Os agentes químicos que atualmente contaminam o ar, isolados ou em conjunto, não estão presentes em quantidades produtoras de lesão broncopulmonar detectável em curto

prazo. Se os “estímulos atuais” representados por estes agentes químicos exercem um papel significativo na patogênese de um grupo de doenças tão importante quanto à doença pulmonar obstrutiva crônica, os efeitos presumivelmente tomam a forma de episódios lesivos constantes, mas individualmente mínimos que não cicatrizam completamente e só aparecem de forma detectável quando acumulados durante décadas. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

Exceto para os indivíduos já afetados por doença cardiopulmonar, a poluição urbana atual do ar não é realmente um problema de saúde no sentido ortodoxo: ela é um mal social disseminado, praticamente inaceitável em diversos aspectos, dos quais os possíveis efeitos sobre a saúde constituem apenas um. Deve estar incluído um encorajamento das tentativas de se desenvolver métodos mais sensíveis para o controle essencialmente permanente dos possíveis efeitos de estímulos químicos contínuos e em longo prazo. (SMITH & WYNGAARDEN, 1984)

### 3 FISCALIZAÇÃO VEICULAR DA EMISSÃO DE POLUENTES

Existem no Brasil em vigor duas leis federais que estabelecem os critérios técnicos e operacionais de fiscalização da emissão de poluentes veiculares em vias públicas que são: a Lei 9.503/97 e a Lei 9.605/98 e mais seus atos administrativos de autoria dos Conselhos normativos. (BRASIL 1997 & BRASIL 1998)

A fiscalização dos veículos no que rege a emissão de poluentes está descrita no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) – Lei 9.503/97 – Artigo 104 que estabelece:

Os veículos em circulação terão suas condições de segurança, de controle de emissão de gases poluentes e de ruído avaliadas mediante inspeção, que será obrigatória, na forma e periodicidade estabelecida pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) para os itens de segurança e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para emissão de gases poluentes e ruído.

Por força da Lei 9.605/98 (mais comumente conhecida como Lei de Crimes Ambientais - LCA), em sua Resolução 418 de 25 de novembro de 2009 que dispôs sobre os critérios para a elaboração dos Planos de Controle de Poluição Veicular e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de veículos em uso – pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determinando novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos; mais recentemente foi estabelecido por meio de sua Instrução Normativa de número 06 de 08 de junho de 2010 os requisitos técnicos e os procedimentos para avaliação do estado de manutenção dos veículos em uso. (BRASIL, 1998 & CONAMA, 2014))

Os agentes que realizam a fiscalização de emissão de poluentes por veículos aplicavam a regras impostas pela Resolução 510 de 15 de fevereiro de 1977 e em 05 de dezembro de 2012 o CONTRAN por meio da Resolução 427 estabeleceu as condições para fiscalização em vias públicas pelas emissões de gases de escapamentos de veículos automotores, revogando esta última do ano de 1977. (BRASIL 1997; FREIRE & ARAÚJO 2013)

Recentemente, a Resolução 440 de 28 de maio de 2013 prorrogou os efeitos para 1º de setembro de 2013 e em 26 de setembro de 2013 este mesmo Conselho expediu nova Resolução de número 452, dispondo sobre os procedimentos a serem adotados pelas autoridades de trânsito e seus agentes na fiscalização da emissão de gases de escapamento de veículos automotores. (BRASIL 1997; FREIRE & ARAÚJO 2013)

Esta última Resolução (452 de 26/09/2013 – em vigor a partir de sua publicação) é a adotada para estes fins e com referência a Portaria 38 de 01 de abril de 2014, da qual o diretor do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN – definiu os limites de emissão de gases dos veículos e os procedimentos para as atividades de fiscalização (exigido pela Resolução 452) produzindo seus efeitos legais a partir da data de sua publicação. (DENATRAN, 2014)

Sabendo que em seu artigo 231, inciso III do CTB, é de competência de execução dos órgãos ou entidades executivos de trânsito municipais e impõe a seguinte regra: Transitar com o veículo produzindo fumaça, gases ou partículas em níveis superiores, aos fixados pelo CONTRAN constitui-se de infração de trânsito de natureza grave, acarretando cinco pontos no documento de habilitação, multa financeira de R\$ 127, 69 e mais a aplicação de retenção do veículo para a sua regularização e quando não sendo possível solucionar esta irregularidade no local da constatação da infração o veículo poderá ser retirado por condutor legalmente habilitado, mediante o recolhimento do documento de porte obrigatório (CRLV – Certificado de Registro e Licenciamento do Veículo/CLA – Certificado de Licenciamento Anual), contra recibo assinalando desde já um prazo para a sua regularização. (BRASIL 1997; FREIRE & ARAÚJO 2013)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalmente ao término deste trabalho pode-se observar que a questão de poluição ambiental é de grande relevância se analisada sob qualquer aspecto, seja do ponto de vista das doenças provenientes dos gases, dos diversos problemas ambientais gerados como o aquecimento global, corrosão de materiais, desequilíbrio de flora e fauna de alguns locais, ou seja, sob a ótica da concepção tecnológica proporcionada aos proprietários dos veículos, dos quais usufruem de um conforto e luxo oriundo de seu poder financeiro de compra e consumo.

Os poluentes que estão presentes no ar são o resultado de um avanço tecnológico positivo sob certo aspecto e com características negativas por outra concepção de ciência, e é devido a esses poluentes que surgiram questões ambientais de grande proporção, como o Efeito Estufa, a Chuva Ácida, Poluição de águas e solos e, conseqüentemente, os custos operacionais, sociais, tecnológicos estão se tornando cada vez mais vultosos e envolvendo toda a sociedade civil do planeta.

O estudo chama a atenção para a necessidade de se discutir e de que seja repensada a concepção de políticas públicas de diversos campos envolvidos tanto ambiental, comercial e civil que regulem o assunto, pois o ar é algo coletivo e as conseqüências e adversidades permeiam todo o planeta sem distinção de classe econômica, etnia ou qualquer outra segregação de povo.

Dos diversos problemas apontados nesta Monografia, irão certamente surgir novas pesquisas de caráter biológico, de engenharia automotiva e de hábitos culturais para transformar e permitir que o planeta Terra permaneça com toda a riqueza natural existente por muitos séculos e por todas as espécies que nele habitam.

Percebeu-se, também, que a legislação ambiental, juntamente com o Código de Trânsito Brasileiro e suas regulamentações, são ferramentas importantes que possibilitam coibir os comportamentos e desmandos que poluem a atmosfera, mas é importante enfatizar que de nada adianta a severidade da Lei, o rigor na fiscalização se o homem não quebrar seus paradigmas e começar a preservar o planeta em que vive, pois o meio ambiente está a cada dia mais degradado e, com isso, o homem está adoecendo dia após dia por causa da poluição que ele mesmo produz.

Certamente este trabalho pode despertar um novo conceito em algumas pessoas acerca do o uso do automóvel, questões de ordem política, jurídica e diversos outros assuntos relacionados com o bem-estar de todos.

## REFERÊNCIAS

ANTP – **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana**: Relatório Geral de 2011. São Paulo, 2012.

BANDEIRA, Ronaldo. **Poluição**: a doença da terra. Rio de Janeiro: Vozes, 1977.

BRANCO, Samuel Murgel. **O Meio Ambiente em Debate**. 9. ed. São Paulo: Moderna, 1990. Coleção Polêmica.

BRANCO, Samuel Murgel; ROCHA, Aristides Almeida. **Ecologia**: educação ambiental. 1 Reimpressão, São Paulo: CETESB, 1984.

BRASIL – Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997.

\_\_\_\_\_ – Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

CETESB. **Atendimento a Acidentes Ambientais**, São Paulo, 2003.

\_\_\_\_\_. **Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos**, São Paulo, 2003.

CONAMA, Disponível em: <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>. Acesso em: 14 maio 2014.

DENATRAN – Disponível em: <[www.denatran.gov.br](http://www.denatran.gov.br)>. Acesso em: 11 jun. 2014.

FREIRE, Cláudio P; ARAUJO, Julyver Modesto de. **Código de Trânsito Brasileiro Anotado**. 3. ed. São Paulo: Letras Jurídicas, 2013.

GIL, Izabel Castanha; MORANDI, Sonia. **Tecnologia e Ambiente**. 2. ed. rev. São Paulo: Copidart, 2001.

HELENE, Maria Elisa Marcondes *et al.* **Poluentes Atmosféricos**. São Paulo: Scipione, 1994.

REUTERS, CO<sub>2</sub> elevado torna vegetais menos nutritivos. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 10 maio 2014. Caderno Saúde + ciência, p.5.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL, **Poluição das Águas**. Jundiaí, 2003.

SILVA, Eduardo Roberto da; SILVA, Ruth Rumiko Hashimoto da. **Álcool e Gasolina**: combustíveis do Brasil. 3. ed. São Paulo: Scipione, 1992. Coleção o Universo da Ciência.

SMITH, Lloyd H Jr; WYNGAARDEN, James B. **Cecil Tratado de Medicina Interna**. Tradução de Dra. Ana Maria de Andrade *et.al.* 16. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, v. 1, 1984.

\_\_\_\_\_. **Cecil Tratado de Medicina Interna**. Tradução de Dra. Ana Maria de Andrade *et.al.* 16. ed., Rio de Janeiro: Interamericana, v.2, 1984.

TOLENTINO, Mario; FILHO, Romeu C. Rocha; SILVA, Roberto Ribeiro. **O Azul do Planeta**: um retrato da atmosfera terrestre. São Paulo: Moderna, 1995. Coleção Polêmica.