



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE**

# Poluição do Ar

**DISCIPLINA:  
ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

PRIMEIRO SEMESTRE 2002

---

## ÍNDICE

Página:

1. Introdução	3
2. Classificação dos Poluentes do Ar	4
3. Fontes de Poluição do Ar	5
4. Transporte e Difusão dos Poluentes do Ar	6
5. Efeitos da Poluição do Ar	7
6. Efeitos da Poluição do Ar em Escala Global.	12
7. Controle da Poluição do Ar	23
8. Bibliografia	29

## POLUIÇÃO DO AR

### 1. Introdução

Poluição do ar pode ser definida como a presença na atmosfera de um ou mais contaminantes, ou qualquer combinação destes, cujas concentrações atinjam valores prejudiciais à saúde, segurança e bem estar da vida na biosfera (inclui flora e fauna), ou que provoquem danos materiais.

1.1 - O ciclo da poluição do ar consiste em 3 fases:

- a. emissão dos poluentes pelas fontes;
- b. transporte e difusão dos poluentes na atmosfera;
- c. efeitos causados nos seres vivos e nos materiais.

1.2 - Composição da atmosfera terrestre: o componente mais variável do ar é o vapor d'água, cuja concentração pode variar de cerca de 5% numa floresta tropical úmida (5 litros de vapor d'água em cada 100 litros de ar), até um valor muito pequeno (desprezível) em um deserto. Considerando apenas o ar seco, sua composição por volume é de aproximadamente 78% de nitrogênio ( $N_2$ ), 21% de oxigênio ( $O_2$ ) e 1% de outros gases. A tabela 1 a seguir mostra a composição mais detalhada do ar seco natural, sem incluir os componentes não gasosos, as partículas. Isto porque a concentração natural de material particulado no ar varia muito mais que a dos gases nos diferentes pontos da Terra.

Tabela 1 – Composição gasosa do ar natural seco

Gás		Concentração (p/ volume)	
		ppm	%
Ar "Puro"	Nitrogênio, $N_2$	780.900	78,09
	Oxigênio, $O_2$	209.400	20,94
	Gases inertes	Argônio	9.300
		Neônio	18,0
		Hélio	5,0
		Criptônio	1,0
		Xenônio	1,0
		<b>Total:</b>	<b>9.325</b>
			<b>0,93</b>
	Dióxido de Carbono, $CO_2$	344	0,03
Poluentes Naturais	Metano, $CH_4$ (parte natural do ciclo do C)	1,6	
	Hidrogênio, $H_2$	0,5	
	Óxidos de Nitrogênio	$N_2O$	0,30
		$NO_2$	0,02
	Ozônio, $O_3$		0,02

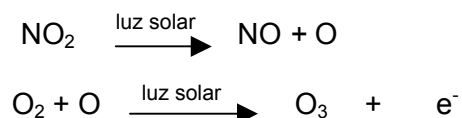
Os poluentes naturais,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  são produzidos por radiações solares e por relâmpagos. Quando adicionamos 1 litro de dióxido de enxofre,  $\text{SO}_2$ , a 999.999 litros de ar puro, obtemos 1 milhão de litros de ar poluído com 1 ppm de  $\text{SO}_2$ . Como para gases à pressão e temperatura constantes, os volumes ocupados são diretamente proporcionais ao número de moléculas contidas, 1 ppm de  $\text{SO}_2$  no ar significa que uma molécula em um milhão é uma molécula de  $\text{SO}_2$ . Ora,  $1 \text{ cm}^3$  de ar contém cerca de  $27 \times 10^{18}$  moléculas. Assim, se o ar está contaminado com 1 ppm de  $\text{SO}_2$ , teremos  $27 \times 10^{12}$  (27 trilhões) de moléculas de  $\text{SO}_2$  por  $\text{cm}^3$ . Embora o  $\text{CO}_2$  seja um dos componentes do ar "puro", um ar com 10% de  $\text{CO}_2$  seria venenoso. Logo,  $\text{CO}_2$  em altas concentrações é um poluente. Também, um ar contendo 10% de  $\text{H}_2$  ou 10% de  $\text{CH}_4$  seria explosivo.

## 2. Classificação dos Poluentes do Ar

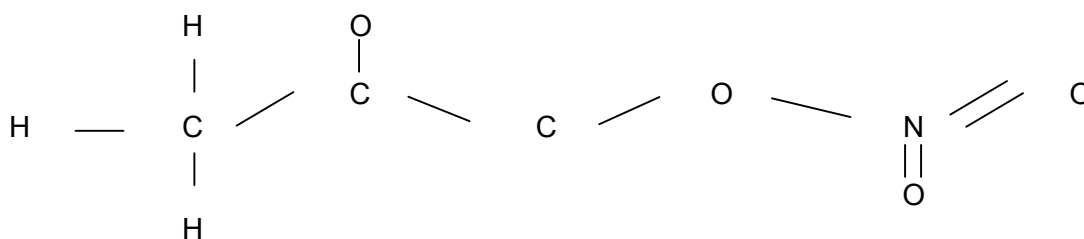
Os poluentes do ar podem ser classificados quanto à sua origem, quanto ao estado físico e quanto à composição química.

### 2.1 Quanto à origem: primários e secundários

- primários: são aqueles emitidos diretamente pelas fontes:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ , material particulado, hidrocarbonetos, clorofluorcarbonos etc.
- secundários: são formados na atmosfera como resultado de alguma reação entre os poluentes primários ou entre os poluentes primários e os constituintes normais do ar. Exemplos: ozônio ( $\text{O}_3$ ), formado na baixa atmosfera pela reação fotoquímica de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, emitidos por automóveis e pelas indústrias:



Peroxi-Acetil-Nitrato (PAN), que é um membro de uma série de compostos que são originados a partir de reações de hidrocarbonetos não saturados e óxidos de nitrogênio, na presença da luz solar:



### 2.2 Quanto ao estado físico: gases e partículas

- gases: depois de lançados, tendem a se comportar como o próprio ar, não se depositando:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  etc.
- partículas: são quaisquer substâncias finalmente divididas, no estado sólido ou líquido (diâmetro maior que  $0,0002 \mu\text{m}$  [ $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ]).

As partículas de dimensões maiores sedimentam rapidamente produzindo seus efeitos perto da fonte de emissão. As menores têm um comportamento semelhante aos gases, podendo permanecer em suspensão e serem transportadas pelo vento a grandes distâncias: poeira de carvão com 10 micra ( $10 \times 10^{-6}$ ) sedimenta a cerca de 1 cm/seg, enquanto uma partícula de fumaça com 0,1 micra sedimenta a uma velocidade milhares de vezes menor.

Há uma grande variedade de tipos de partículas no ar. As de origem natural são: areia, partículas de solo, gotículas de sais perto da praia, poeiras vulcânicas, poeiras cósmicas (inorgânicas) e grãos de pólen, micro-organismos (bactérias, fungos, esporos, insetos ou partes de insetos). As originadas pela ação do homem são: - partículas orgânicas provenientes da combustão de carvão, óleo, madeira e lixo e partículas de inseticidas, partículas liberadas por indústrias alimentícias e de processos químicos; - partículas inorgânicas provenientes de operações metalúrgicas, processos químicos inorgânicos e chumbo usado na gasolina.

As partículas na atmosfera interferem com a transmissão de calor do sol para a Terra, refletindo uma parte dos raios solares para o exterior.

Tabela 2 - Classificação simplificada das partículas

Tamanho	Partícula	Característica
$\varnothing < 1 \text{ micra } (10^{-6}\text{m})$	Aerossóis <sup>1</sup>	Podem ser sólidos ou líquidos, dependendo da origem
	Fumaças <sup>2</sup>	
	Cinzas	
$\varnothing > 1 \text{ micra } (10^{-6}\text{m})$	Poeiras	(partículas sólidas)
	Névoas	(partículas líquidas)

Os aerossóis são gotículas líquidas dispersas ou grupos de partículas sólidas e ou líquidas em suspensão no ar. Têm diâmetros de até 100  $\mu\text{m}$  e a razão entre a área superficial e o volume é grande, o que permite que fiquem facilmente em suspensão no ar e tenham ampla dispersão. As fumaças são finas partículas carbonáceas resultantes da queima incompleta de combustíveis e outros materiais contendo carbono.

### 2.3 Quanto à composição química: orgânicos e inorgânicos.

- a. orgânicos: contêm obrigatoriamente C e H. Incluem os hidrocarbonetos e seus derivados (metano, etano, butano, benzeno, aldeído fórmico, acetona, derivados halogenados de hidrocarbonetos e álcoois).
- b. Inorgânicos: CO, CO<sub>2</sub> e compostos que não contêm C. Constituem a grande maioria dos poluentes encontrados na atmosfera: NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HF etc.

## 3. Fontes de Poluição do Ar

As grandes fontes de poluição do ar são:

- a. fontes móveis: veículos à combustão (automóveis, caminhões, aviões etc.);
- b. fontes fixas:
  - queima de óleo combustível, carvão ou madeira em indústrias ou termelétricas;
  - atividades industriais (petroquímicas, indústrias de cimento, etc.) e extrativas (pedreiras, mineração a céu aberto, etc.);
  - queima de lixo.

O monóxido de carbono (CO) é o mais abundante poluente do ar encontrado na baixa atmosfera. Os veículos automotores são a principal fonte de emissão de CO, existindo uma clara relação entre o volume de tráfego e a concentração de monóxido de carbono nas cidades. Um automóvel a gasolina fabricado em 1977, sem nenhum dispositivo antipoluição, produzia cerca de 350 kg de monóxido de carbono, 50 kg de hidrocarbonetos, 15 kg de óxidos de nitrogênio, 0,1 kg de chumbo, 1,5 kg de partículas e 0,6 kg de dióxido de enxofre, para cada 1000 litros de gasolina consumidos.

A legislação ambiental tornou obrigatória uma redução significativa nas emissões de poluentes, conseguida por modificações nas câmaras de combustão dos motores, pela melhoria da qualidade do combustível (retirada do enxofre e substituição do chumbo tetraetila como elemento antidetonante) e pelo uso de catalisadores instalados nos escapamentos dos veículos. Os motores a diesel, comparados com motores a gasolina, emitem menos CO, mais NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> e quase dez vezes mais material particulado.

Já os motores a álcool, comparados com motores a gasolina, emitem menos CO, mais aldeídos, menos NO<sub>x</sub>, praticamente nenhum SO<sub>2</sub>, e não precisam usar chumbo tetraetila como composto anti-detonante.

A adição de 20% de etanol à gasolina provoca substancial redução na emissão de hidrocarbonetos (HC) e de CO, acréscimo na concentração de aldeídos e variação levemente positiva no teor de NO<sub>x</sub>. (Fonte: GM do Brasil).

Na Cidade do Rio de Janeiro, a incineração domiciliar do lixo era responsável por 25% da poluição do ar. A desativação, em 1975, dos 9 mil incineradores prediais eliminou a emissão de 40.000 ton/ano de partículas, concentradas na Zona Sul da cidade.

#### **4. Transporte e Difusão dos Poluentes do Ar**

Os fenômenos meteorológicos têm grande influência sobre o transporte e difusão dos poluentes do ar:

- a. direção dos ventos: indica para onde os poluentes emitidos serão arrastados.
- b. velocidade dos ventos: permite calcular o tempo que um poluente emitido levará para atingir determinado local. A diluição de um poluente emitido é diretamente proporcional à velocidade dos ventos.
- c. inversão térmica: a dispersão vertical dos poluentes é possível porque a temperatura normalmente diminui com a altitude, fazendo com que a massa de ar quente (mais leve) que está junto à superfície da terra suba, levando os poluentes emitidos, e a massa de ar mais fria (mais pesada) que está imediatamente acima, desça. Quando ocorre a inversão térmica (principalmente após uma noite fria de inverno), a massa de ar que está junto à superfície da terra está mais fria que a massa que está imediatamente acima, ficando assim praticamente estagnada por várias horas (ou mesmo dias), acumulando os poluentes emitidos.
- d. precipitação pluviométrica: partículas, sólidas ou líquidas, são arrastadas pelas chuvas e os gases solúveis na água também podem ser removidos do ar.
- e. umidade: influi sobre reações químicas na atmosfera e sobre a visibilidade. Um excesso de umidade é capaz de provocar reações secundárias com poluentes ou entre eles.

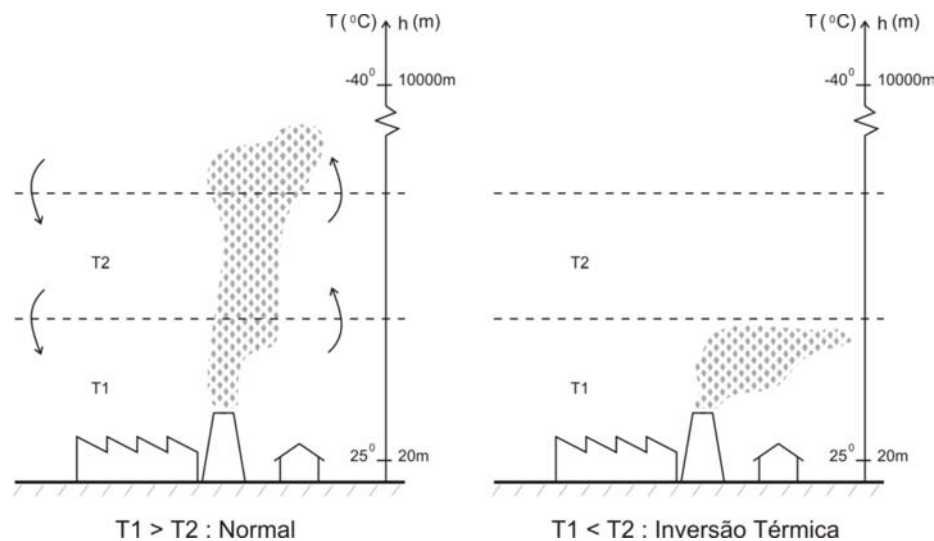


Figura 1 – Inversão Térmica.

## 5. Efeitos da Poluição do Ar

Podem ser divididos em efeitos sobre a atmosfera, sobre a saúde de homens e animais, danos à vegetação e aos materiais.

### 5.1 Efeitos sobre a atmosfera.

- a. redução de visibilidade, causando problemas ao tráfego de veículos, aviões e embarcações.
- b. formação de "smog" e redução da quantidade de luz solar que atinge a Terra.

Algumas das mudanças típicas em uma cidade poluída, comparada com as áreas rurais adjacentes são: temperatura mais elevada (até cerca de  $2^{\circ}\text{C}$ ); umidade do ar mais baixa (cerca de 6%); 10 vezes mais partículas na atmosfera; menor visibilidade; 10 a 20% menos radiações solares.

### 5.2 Efeitos sobre a saúde dos homens e animais.

A poluição do ar atua com maior intensidade sobre as vias respiratórias, mas não se pode afirmar que ela seja a única responsável pelo aparecimento de doenças pulmonares, como a bronquite crônica, a asma e o enfisema pulmonar. Está provado, entretanto, em virtude dos grandes desastres de poluição do ar já ocorridos, como o do Vale do Meuse, na Bélgica, em 1930, o de Donora, Pensilvânia, em 1948, e os de Londres, 1952 e 1956, que a poluição do ar pode agravar doenças pulmonares já existentes até etapas mortais. Geralmente, é muito difícil estabelecer uma relação precisa entre estas doenças e a poluição do ar, pois na maioria dos casos pode haver mais de uma causa, como, por exemplo, a combinação de poluição do ar e o fumo de cigarros. A sensibilidade humana em relação à poluição do ar é muito variável. Concentrações de poluentes ao nível do solo que podem ser apenas desconfortáveis para um jovem saudável de 20 anos, podem causar a morte de uma pessoa idosa com bronquite crônica e problemas cardíacos. A duração da exposição ao poluente é nestes casos muito importante: o que pode causar mal estar quando se respira alguns minutos apenas, pode ser muito perigoso para exposições de mais de 24 horas.

A poluição do ar pode causar também manifestações alérgicas, irritações e sintomas externos gerais, incluindo desconforto generalizado, irritações na pele e nos olhos, náuseas etc.

Em Londres, entre os dias 5 e 8 de dezembro de 1952, uma forte inversão térmica impediu a dissipação normal da imensa quantidade de poluentes lançados diariamente na atmosfera, principalmente pelos sistemas de aquecimento domiciliares com queima de carvão. O número de mortes, devido ao agravamento das condições de poluição do ar, foi avaliado em 4.000 (o índice de mortalidade subiu 70%), sendo os bronquíticos crônicos, os asmáticos, os enfisematosos e os cardiopulmonares as maiores vítimas, na grande maioria pessoas idosas. Os jovens e os indivíduos sadios sofreram apenas de coriza e sintomas respiratórios ligeiros. Em 1956, houve uma nova inversão térmica forte, com cerca de 1000 mortes. Logo em seguida, as medidas adotadas na Inglaterra, como o "Clean Air Act" de 1956, produziram excelentes resultados: em Londres, foram eliminadas 80% das 156 mil toneladas de poeira injetadas anualmente na atmosfera, e durante o inverno, com a redução do "fog", a cidade recebe 50% mais de raios solares.

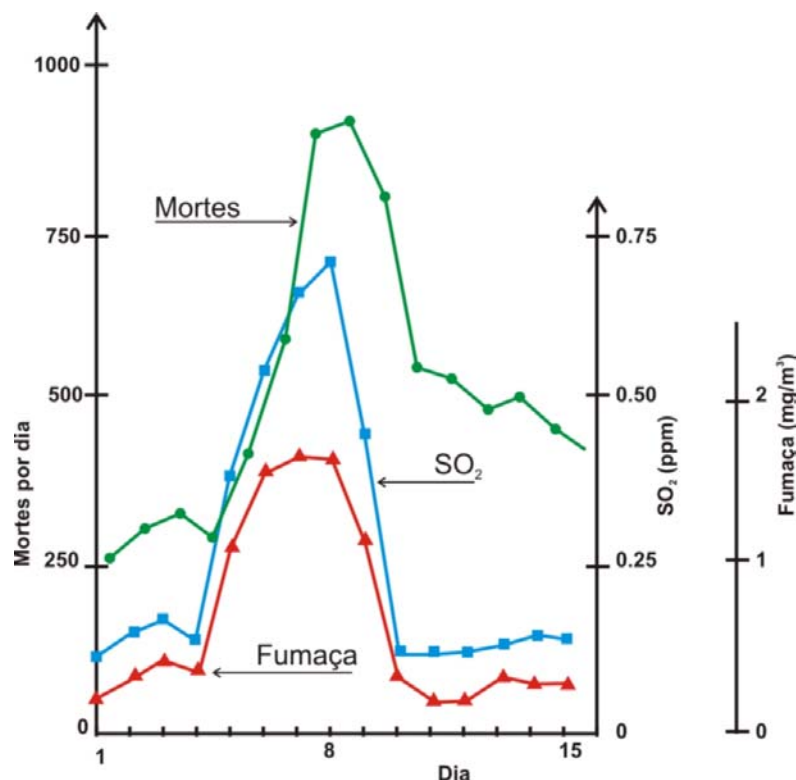
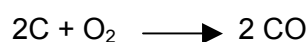


Figura 2 - Mortes por dia e níveis de poluição durante a inversão térmica em Londres, em dezembro de 1952.

#### 5.2.1 - Efeitos dos principais poluentes do ar sobre a saúde.

**a. Monóxido de carbono (CO):** é o produto da combustão incompleta do carbono ou dos compostos que contêm carbono.



O CO apresenta-se como um gás incolor, não irritante, insípido, inodoro, mas extremamente tóxico. Ao ser inalado, é absorvido nos alvéolos pulmonares, difundindo-se para o sangue, onde reage principalmente com as hemoproteínas, notadamente com a hemoglobina, formando a carboxi-hemoglobina (COH<sub>b</sub>). Ocorre, portanto, uma diminuição da capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue, provocando alterações no sistema nervoso central e sobrecarregando o

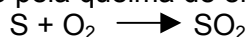


coração e o aparelho respiratório. Os efeitos iniciais são a redução do tempo de reação a estímulos visuais, perda de atenção, leve dor de cabeça, fadiga, confusão mental, inconsciência, parada da respiração, convulsão e morte. Os efeitos são totalmente reversíveis algumas horas após cessada a exposição. Uma das principais fontes de monóxido de carbono que o homem inala é o fumo de cigarros. A concentração máxima de CO permitida em indústrias, para um período de 8 horas de exposição, é de 50 ppm. Dentro de um automóvel movendo-se em um fluxo de tráfego pesado, a concentração de CO provavelmente estará entre 25 e 50 ppm. Uma concentração de 1 000 ppm produz perda da consciência em 1 hora e leva à morte em 4 horas.

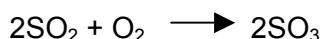
**b.** Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ): provém basicamente da queima de combustíveis fósseis (carvão e derivados do petróleo) em fontes fixas ou móveis.

Sob o ponto de vista de seu efeito prejudicial aos seres vivos e aos materiais e das dificuldades envolvidas na prevenção de sua emissão para a atmosfera, o  $\text{SO}_2$  é um dos mais importantes poluentes do ar.

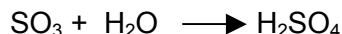
Altas concentrações de  $\text{SO}_2$  e de partículas estavam presentes nos maiores desastres de poluição do ar, como os de Londres em 1952 e 1956, e foram responsáveis por inúmeras mortes. O  $\text{SO}_2$  é produzido pela queima de enxofre ou de combustíveis que contêm enxofre:



Na atmosfera, pela oxidação do  $\text{SO}_2$  sob a influência da luz solar:



Pequenas quantidades de  $\text{SO}_3$  são também produzidas diretamente pela queima de combustíveis, junto com o  $\text{SO}_2$ . O vapor d'água no ar reage com o  $\text{SO}_3$  formando ácido sulfúrico:



A névoa de ácido sulfúrico assim formada consiste em gotículas que têm geralmente de 1 a 4 x 10 m de diâmetro, o que favorece a profunda penetração do ácido nos pulmões, provocando efeitos danosos. O  $\text{H}_2\text{SO}_4$  é um ácido extremamente forte, que afeta os tecidos vivos e provoca a corrosão de monumentos e equipamentos urbanos. A concentração máxima de  $\text{SO}_2$  permitida para uma exposição de 8 horas é de 5 ppm.

**c.** Gás Sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ): é mais tóxico que o CO, mas como tem cheiro forte, não é tão perigoso. Sua presença na atmosfera está geralmente associada com alguma fonte específica, como matéria orgânica em decomposição, vulcões, esgoto ou alguma operação industrial. O  $\text{H}_2\text{S}$  na atmosfera é rapidamente oxidado para  $\text{SO}_2$ .

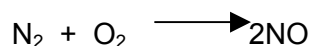
As fontes naturais, como vulcões e matéria orgânica em decomposição, contribuem anualmente com cerca de duas vezes mais enxofre para a atmosfera do que as emissões de responsabilidade do homem.

**d.** Óxidos de Nitrogênio: pela dificuldade de medir a concentração relativa dos vários óxidos de nitrogênio (existem 6 tipos diferentes de óxidos de nitrogênio que coexistem na atmosfera), eles são mencionados coletivamente como  $\text{NO}_x$ .

i. óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ): gás incolor que está presente na atmosfera com uma concentração média aproximada de 0,25 ppm. É formado principalmente por decomposição bacteriana de compostos nitrogenados no solo, mas uma pequena percentagem é formada por reações químicas na alta atmosfera.

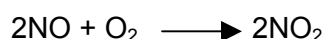
ii. óxido nítrico (NO): gás incolor, formado quase que exclusivamente durante a queima de combustíveis, quando as altas temperaturas permitem que parte do nitrogênio no ar combine diretamente com o oxigênio. A temperatura mínima para a reação se dar é de 1.600 °C, e a maior velocidade desta reação acontece para temperaturas próximas de 3.000 °C. Quando o combustível já contém

nitrogênio a reação com oxigênio se processa muito mais facilmente, com temperaturas mais baixas:



O NO pode ser formado por ação bacteriana, na decomposição de matéria orgânica sob condições anaeróbicas. Depois que o NO é diluído na atmosfera, a oxidação para NO<sub>2</sub> a temperaturas normais procede de forma lenta, sendo acelerada pela presença de luz solar intensa.

iii. dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>): ao deixar a região de alta temperatura da combustão, o NO pode se combinar com oxigênio para formar o NO<sub>2</sub>, um gás marrom avermelhado:



Os efeitos do NO<sub>2</sub> no homem variam de um odor desagradável e uma moderada irritação nos olhos e sistema respiratório, até sérias congestões pulmonares e morte, dependendo da concentração do NO<sub>2</sub> e do tempo de exposição.

O escapamento dos veículos automotores é uma fonte significativa de óxidos de nitrogênio, cujas concentrações são geralmente muito mais baixas que CO e SO<sub>2</sub>. Os óxidos de nitrogênio são grandes contribuintes para a formação do "smog", devido a reações fotoquímicas na atmosfera.

e. Hidrocarbonetos (contêm C e H ou C, H e O): são introduzidos na atmosfera pela queima incompleta de combustíveis que contêm carbono. Evaporação de líquidos, como no manuseio da gasolina, e aplicação de tintas por pistolas a ar, também contribuem para a emissão de hidrocarbonetos. Alguns hidrocarbonetos são cancerígenos (benzeno), outros são irritantes (aldeído fórmico) ou produzem maus odores, e alguns sofrem mudanças químicas na atmosfera para produzir poluentes secundários.

f. Ozônio (O<sub>3</sub>) e Oxidantes: o ozônio está presente no ar "natural" (0,02 ppm), mas em concentrações mais altas é uma substância tóxica, com alto poder oxidante. A concentração máxima permitida de O<sub>3</sub> num ambiente de trabalho, para uma exposição de 8 horas por dia, é de 0,1 ppm. O ozônio é produzido naturalmente pelo efeito das radiações solares e relâmpagos. É produzido também artificialmente (através de descargas elétricas com alta voltagem) em algumas estações de tratamento, para a desinfecção da água.

Oxidantes são vários outros poluentes gasosos, quimicamente relacionados com o ozônio, e que têm propriedades comuns, como efeitos tóxicos e irritantes sobre o homem, danos à vegetação e degradação da borracha natural. Os oxidantes são geralmente produzidos pelas reações de hidrocarbonetos e outros vapores orgânicos com os óxidos de nitrogênio sob a luz solar. O NO<sub>2</sub> (gás amarronzado) absorve a luz solar e se transforma em NO, liberando átomos de oxigênio, que podem combinar com moléculas de O<sub>2</sub> para formar o O<sub>3</sub>. Na presença de certos hidrocarbonetos e outros compostos orgânicos, a concentração de O<sub>3</sub> aumenta até atingir o máximo, logo após o meio dia. Complexas reações químicas formam várias outras substâncias, algumas das quais causam intensa irritação nos olhos e danos à vegetação e aos materiais. Entre elas o formaldeído, a acroleína e o peroxi-acetil nitrato (PAN). São, portanto, poluentes típicos de áreas urbanas ensolaradas com grande tráfego de veículos, como São Paulo, Los Angeles, e Cidade do México. A parte visível deste tipo de poluição é chamada "smog".

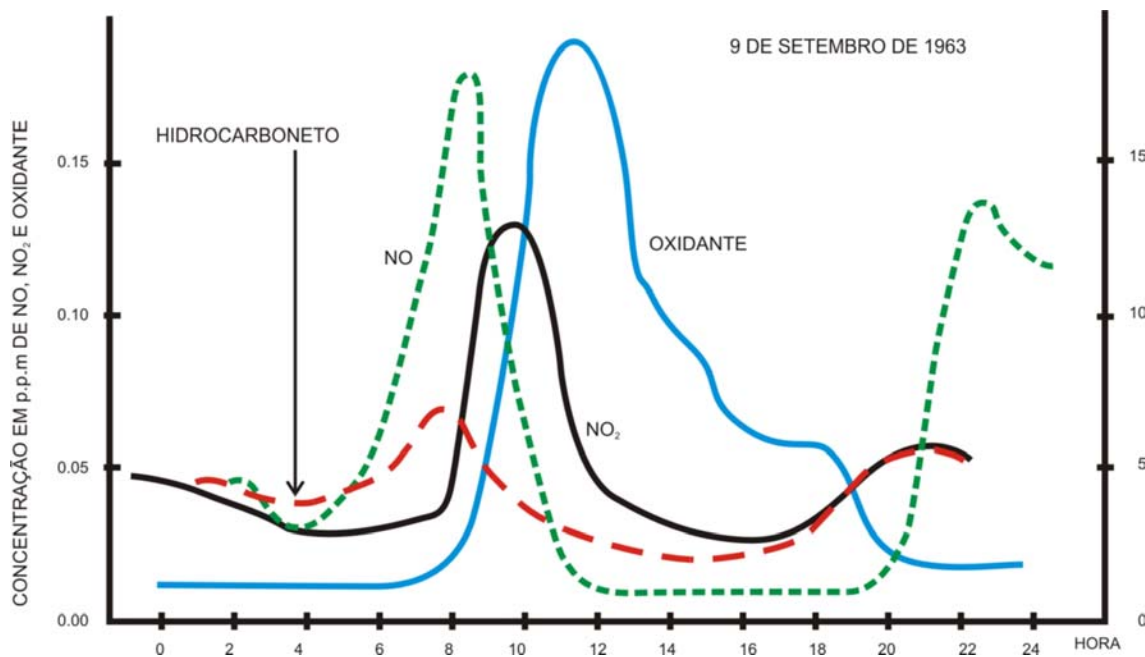


Figura 3 - Concentração de NO, NO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos e oxidantes durante um dia com “smog” em cidade com alto volume de tráfego.

**g.** Composto de Flúor: são lançados na atmosfera quando se processa minérios, rochas, areias, argilas a altas temperaturas (ex.: alumínio, fabricação de ladrilhos e produção de fertilizantes a partir de rochas fosfatadas). Os clorofluorcarbonos (CFCs), substâncias artificiais produzidos após 1929 para substituir a amônia nos equipamentos de refrigeração, são os grandes responsáveis pela destruição da camada de ozônio, como veremos adiante.

**h.** Partículas: para efeito de controle da qualidade do ar são classificadas em partículas sedimentáveis e partículas que permanecem em suspensão na atmosfera.

As partículas são prejudiciais ao sistema respiratório do homem e animais. Cerca de 70 a 80% do chumbo usado até alguns anos atrás na gasolina como elemento anti-detonante (chumbo tetraetila) era emitido para a atmosfera sob a forma de pequenas partículas de compostos de chumbo. Quando inaladas, provocam doenças no sistema nervoso e problemas no sistema gastro-intestinal.

Os tipos mais comuns de partículas em suspensão são as inorgânicas naturais e não tóxicas (poeira de ruas não calçadas). Silicose é uma doença comum em certos tipos de operações extrativas (pedreiras) e em fábricas de cimento. A poeira de pedra ou de cimento penetra nos alvéolos pulmonares, reduzindo gradativamente a capacidade de respiração do pulmão.

### 5.2.2 - Danos à Vegetação.

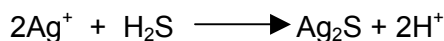
A poluição do ar causa danos generalizados a árvores, frutas, legumes e flores. Fluoretos (como HF gasoso e vários fluoretos em partículas), emitidos na fabricação de alumínio, parecem atuar como venenos cumulativos para as plantas, causando colapso do tecido foliar. Outros poluentes que produzem grandes danos à vegetação são o ozônio e os oxidantes (como o PAN) presentes no “smog”.

Mais adiante, trataremos dos danos causados pela chuva ácida (provocada pela emissão de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> para a atmosfera).

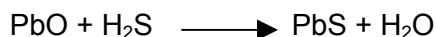
### 5.2.3 - Efeitos sobre Materiais.

A chuva ácida é responsável por vários danos aos materiais, como a corrosão de metais e o enfraquecimento ou desintegração de têxteis, papéis e mármore, como veremos adiante.

O gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) atua sobre metais, como a prata, provocando o aparecimento de manchas e retirando seu brilho:



e mesmo em concentrações da ordem de 50 a 100 ppb (parte por bilhão), provoca o escurecimento de superfícies pintadas com tintas à base de chumbo:



O ozônio e os oxidantes presentes na baixa atmosfera provocam a degradação de borrachas e outros materiais.

## 6. Efeitos da Poluição do Ar em Escala Global.

Alguns tipos de poluição do ar produzem conseqüências em escala global, ou em regiões bem afastadas de onde foram emitidos os poluentes.

### 6.1 Chuva Ácida:

A medida da acidez ou da alcalinidade da água é feita pela escala do pH, que varia de 1,0 (extremamente ácida) a 14,0 (extremamente alcalina). A água destilada é neutra, com pH igual a 7,0. O pH da água da chuva, em locais não poluídos, é de aproximadamente 5,6, porque ela contém substâncias dissolvidas que estão naturalmente presentes na atmosfera. A água da chuva está saturada com  $\text{CO}_2$  da atmosfera, o que resulta na formação de ácido carbônico:



No início do século, a morte de salmões em lagoas da Noruega foi associada com o aumento da acidez das suas águas, mas sua correlação com a chuva ácida, que já caía na região há muitos anos, não foi descoberta. Somente nos anos 60, quando a acidificação das lagoas da Suécia ficou evidente, o cientista sueco Svente Oden iniciou uma campanha para alertar a comunidade científica sobre a chuva ácida trazida principalmente da Inglaterra e da Alemanha, e suas conseqüências.

Durante a Conferência de Estocolmo, em 1972, a Suécia levantou a questão da chuva ácida como um problema internacional. Em seguida, o Canadá começou a reclamar que a maior parte da chuva ácida que caía sobre seu território era provocada por atividades desenvolvidas nos Estados Unidos.

Chuva ácida é o nome genérico dado ao processo de “precipitação ácida”, que além da chuva, acontece também como neve ácida, nevoeiro ácido, geada ácida, granizo ácido e poeira ácida. A chuva ácida é provocada pelas transformações químicas de gases que foram emitidos para a atmosfera por processos naturais (como erupções vulcânicas) ou antropogênicas (queima de combustíveis fósseis). Os maiores responsáveis pelo processo de precipitação ácida são o dióxido de enxofre -  $\text{SO}_2$ , cerca de 70%, e óxidos de nitrogênio -  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ), cerca de 30%, que reagem com o vapor d'água na atmosfera para formar pequenas quantidades de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), respectivamente. O ácido carbônico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , é bem mais fraco que os dois anteriores.

O dióxido de enxofre quando reage diretamente com o vapor d'água forma o ácido sulfuroso ( $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3$ ), que é um ácido fraco. Mas o  $\text{SO}_2$  é também oxidado na atmosfera a  $\text{SO}_3$  ( $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ ) que reage com o vapor d'água ( $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ ) para formar ácido sulfúrico, que é um ácido forte.

Os óxidos de nitrogênio presentes na atmosfera são produzidos: a) naturalmente, pela decomposição de matéria orgânica vegetal e animal, por bactérias do solo e por raios durante tempestades ( $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$ ); b) pelas queimadas (incluindo o lixo), e pela queima de carvão vegetal, madeira e combustíveis fósseis. O monóxido de nitrogênio é rapidamente oxidado para dióxido de nitrogênio, que reage com o vapor d'água para produzir os ácidos nitroso (fraco) e nítrico, mais forte ( $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$ ). O ácido nitroso também se oxida para ácido nítrico ( $2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{HNO}_3$ ).

O processo de precipitação ácida se divide em:

- a. deposição seca, quando os óxidos de enxofre e nitrogênio retornam à superfície da Terra poucas horas depois de lançados na atmosfera, geralmente próximos do ponto de emissão (cerca de 300 km). Se essas partículas caem numa superfície seca (plantas, solos ou edifícios), em pouco tempo a chuva ou o orvalho as transforma em gotículas ácidas. As partículas podem também se depositar durante vários meses na neve em áreas sujeitas a invernos rigorosos;
- b. deposição úmida, quando os óxidos de enxofre e nitrogênio permanecem mais tempo no ar e reagem com oxigênio e vapor d'água, criando uma "nuvem" diluída de ácidos sulfúrico e nítrico. Estes poluentes ácidos podem permanecer na atmosfera por vários dias, e podem ser carregados pelos ventos por centenas de quilômetros (como entre a Inglaterra e a Suécia) antes de voltar à terra com a chuva, neve ou granizo.

A chuva mais ácida já registrada na Europa ocorreu em Pitlochry, Escócia, no dia 20 de abril de 1974: pH igual a 2,4. Como a escala de pH é logarítmica, uma água com pH igual a 3,0 é dez vezes mais ácida que uma com pH igual a 4,0, e uma água igual a 4,7 tem o dobro de íons  $\text{H}^+$  do que uma água com pH igual a 5,0.

A precipitação ácida afeta a saúde dos homens e animais, a agricultura (acidifica os solos), o crescimento das florestas, os recursos hídricos e seus ecossistemas, as edificações, as estruturas metálicas, as obras de arte etc. Os prejuízos causados pela poluição do ar na França e na Holanda foram estimados em 1985 pela OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) em 1 e 2% dos seus respectivos Produtos Nacionais Brutos.

A chuva ácida é um problema sério porque ela é invisível, e pode afetar uma região durante muitos anos sem que seus efeitos sejam percebidos. Quando estes efeitos se tornam visíveis, os danos provocados são grandes e alguns, possivelmente, irreversíveis.

A acidificação de solos, rios e lagos está diretamente relacionada com a acidez da água das chuvas. Solos altamente alcalinos (calcários), entretanto, podem neutralizar a acidez da água antes dela atingir o rio ou lago (buffer capacity). A existência de bosques ou florestas também reduz o impacto da acidificação das águas, assim como chuvas fortes (pela diluição). Durante o período de derretimento da neve, uma grande quantidade de água ácida entra nos rios e lagos, provocando um aumento significativo da acidez, pois, nos países de inverno mais longo, até 60% da deposição ácida anual pode ficar retida na neve. Este "pico" de acidez pode ser muito mais danoso para os organismos vivos presentes na água do que um nível constante de acidez mais baixo.

A acidificação dos solos provoca a solubilização de metais, como alumínio, zinco, chumbo, que são carregados para rios e lagos. Uma das causas mais importantes da mortandade de peixes em lagos da Suécia e Noruega é a alta concentração de alumínio logo após o início da primavera. A procriação de sapos e outros anfíbios é muito afetada pela acidificação das águas, pois durante os primeiros estágios de desenvolvimento dos ovos, a divisão das células deixa de ocorrer.

As árvores são muito vulneráveis aos efeitos de longo prazo da chuva ácida, porque possuem crescimento lento e têm vida longa. Além de atacar suas folhas, a acidez afeta as árvores

através da retirada de nutrientes pelas raízes (a partir de determinado pH, a solubilização de metais altera a relação entre nutrientes e metais pesados disponíveis para a planta). Na então Alemanha Ocidental, os primeiros sintomas de efeitos sobre florestas foram descobertos durante os anos 60 na Floresta Negra. Em 1984, metade das florestas da Alemanha Ocidental estavam danificadas, e os prejuízos anuais estimados eram de 7 a 10 bilhões de marcos. Embora alguns cientistas defendam que a chuva ácida não é, em alguns casos, o fator mais importante no declínio das florestas, não há dúvida que ela age em combinação com outros fatores, como outros poluentes (particularmente o ozônio), condições climáticas extremas, parasitas e doenças vegetais, tipo de solo e secas periódicas. O último levantamento das condições das florestas na Europa revela que 25% das árvores analisadas em mais de trinta países estavam danificadas: perderam mais de 25% de suas folhas (World Resources 1998-99, do World Resources Institute).

Pesquisas recentes realizadas em vários países que sofrem os efeitos da chuva ácida, particularmente na Suécia e Reino Unido, indicam que a população de várias espécies de plantas, pássaros e insetos, além de peixes e anfíbios, estão declinando, e em alguns casos, desaparecendo em áreas acidificadas.

Os danos causados à agricultura pela chuva ácida podem ser significativos. Estima-se que no Reino Unido as colheitas já foram reduzidas em cerca de 10%, resultando numa perda anual de 25 milhões de libras esterlinas. Pesquisadores verificaram na Índia que a colheita do trigo plantado próximo a uma usina termoeletrica, onde a deposição de  $\text{SO}_2$  era quase cinco vezes maior que a carga crítica (que é a deposição máxima que o solo pode receber sem ser danificado), era 49% menor que a colheita do mesmo tipo de trigo plantado 22 quilômetros mais adiante.

Edifícios, pontes metálicas, monumentos e outras estruturas urbanas, também são atacados pela chuva ácida, em sinergia com outros poluentes, especialmente o ozônio. Estima-se que algumas construções sofreram mais danos nos últimos 30 anos do que nos 600 anos anteriores, como é o caso da Acrópole em Atenas, do Taj Mahal na Índia, dos palácios de Veneza e das catedrais da Alemanha. As pedras calcárias e o mármore são especialmente vulneráveis à chuva ácida porque, na presença de umidade, as partículas de dióxido de enxofre reagem com o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e se transforma em gesso ( $\text{CaSO}_4$ ), que é solúvel e acaba sendo lavado da superfície pela chuva ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ). O mesmo processo acontece em estruturas e monumentos protegidos da chuva, pois com a simples umidade do ar, a reação se processa e a camada de gesso que se forma acaba “descascando”. A OCDE estima que o prejuízo causado pela poluição do ar nos edifícios dos países industrializados é de aproximadamente US\$3,5 bilhões por ano.

Níveis altos de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$ , além de CO e ozônio, podem causar sérios danos à saúde humana. O desastre de Londres em 1952 é um exemplo, onde os elevados níveis de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$  causaram cerca de 4.000 mortes. Crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias preexistentes, como asma e bronquite crônica foram as maiores vítimas.

As regiões mais afetadas pela chuva ácida são aquelas que apresentam maior grau de industrialização e de tráfego de veículos. A Europa Ocidental e a Central (com exceção de Portugal e Espanha), o leste dos Estados Unidos e o Canadá (incluindo a região dos Grandes Lagos) e o sudeste da China (sua região mais industrializada) apresentam sérios problemas de chuvas ácidas. Aqui no Brasil, na região de Cubatão, a Mata Atlântica da Serra do Mar foi tão afetada, que começaram ocorrer grandes deslizamentos de terra nas encostas. O nível de poluição em Cubatão já foi reduzido, e realizou-se um esforço de replantio de espécies nativas. A região, que inclui o triângulo São Paulo - Rio de Janeiro - Belo Horizonte, sofre efeitos de chuva ácida, embora poucos dados estejam disponíveis sobre sua intensidade e seus efeitos.

Os problemas causados pela chuva ácida estão crescendo rapidamente na Ásia, onde as emissões de  $\text{SO}_2$  em 2010 deverão triplicar em relação à 1990 (que foram de 34 milhões de toneladas, 40% a mais do que as emissões da América do Norte).

Em 1977, a Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa - CEE, iniciou as negociações para resolver o problema da poluição trans-fronteiriça de poluentes do ar, com ênfase nas emissões de  $\text{SO}_2$ , após ficar provado que alguns países “exportavam” muito mais poluentes do que recebiam dos países vizinhos. Por exemplo, sob determinadas condições meteorológicas, o Reino Unido exportava cerca de 50% das 3.700 toneladas de emissões de enxofre que produzia, e recebia dos países vizinhos apenas 12% da deposição de enxofre que ocorria em seu território, e a Suécia e a Noruega recebiam de seus vizinhos, respectivamente, 58% e 63% das suas deposições de enxofre.

Em 1979, sob a chancela da CEE, 35 países europeus e mais Canadá e Estados Unidos assinaram, em Genebra, a Convenção sobre a Poluição do Ar Trans-fronteiriça de Longo Alcance. Esta Convenção pioneira, embora reconhecesse a chuva ácida como um problema internacional, não determinou nenhuma providência concreta para reduzir emissões dos países signatários, que representavam 80% de todas as emissões mundiais de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ . Os países signatários reuniram-se em Helsinque, Finlândia, em 1985, e assinaram o primeiro protocolo para reduzir 30% das emissões de enxofre até 1993, com base nas emissões de 1980. A Noruega já tinha decidido cortar suas emissões em 50%, dentro do mesmo horizonte de tempo, mas dois grandes poluidores, o Reino Unido e a Polônia não assinaram.

Em 1988, reunidos em Sofia, Bulgária, os países signatários assinaram o Protocolo dos  $\text{NO}_x$ , comprometendo-se a manter, em 1994, o mesmo nível de emissão de 1987. Doze países, entretanto, decidiram reduzir as emissões de  $\text{NO}_x$  em 30% até 1998, tomando como base as emissões de 1986.

O acordo mais recente foi o novo Protocolo para o  $\text{SO}_2$ , assinado em Oslo em junho de 1994. Diferentemente dos anteriores, este acordo está baseado no método da carga crítica, projetado para conseguir melhorias ambientais com o menor custo possível. Pelo método, a redução das emissões varia de um país para outro dependendo da extensão dos danos que as emissões de cada país causa em áreas da Europa, que são sensíveis à acidificação, e de quanto custaria para o país reduzir suas emissões. Este Protocolo foi assinado por 28 países, inclusive o Reino Unido e a Polônia.

Entre as formas de reduzir as emissões de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  estão:

- melhorar a eficiência energética da queima de combustíveis fósseis, reduzindo, desta forma, a quantidade de combustível utilizada para produzir a energia e o calor necessários.
- usar combustíveis com menor teor de enxofre (dessulfuração), usar gás natural e fontes renováveis de energia, como energia hidroelétrica, solar, dos ventos, geotérmica, das marés etc.
- reduzir as emissões dos motores de combustão interna, produzindo motores com câmaras de combustão mais eficientes e instalando conversores catalíticos de 3 vias (os conversores de 2 vias transformam hidrocarbonetos e monóxido de carbono em vapor d'água e  $\text{CO}_2$ ), que também transformam 80% dos  $\text{NO}_x$  em  $\text{N}_2$ .
- melhorar a qualidade e a eficiência dos transportes públicos, reduzindo a velocidade máxima em rodovias e reduzindo a quantidade de carga transportada por rodovias, em favor das ferrovias e hidrovias.

## 6.2 - Mudanças Climáticas:

A luz solar aquece as superfícies do solo, do mar e a vegetação. A superfície da Terra, por sua vez, irradia calor de volta para o espaço (radiação infravermelha), com comprimentos de onda bem maiores do que o da luz solar. Nitrogênio e Oxigênio que são os gases mais abundantes na nossa atmosfera são “transparentes” a radiações infravermelhas, mas o vapor d'água e outros gases presentes em pequenas quantidades (como o  $\text{CO}_2$ ) absorvem uma parte dessa radiação. Justamente por isso, a atmosfera mantém a Terra aquecida, funcionando como o teto de vidro

de uma estufa de plantas. Se na nossa atmosfera não existissem gases como o vapor d'água e o  $\text{CO}_2$  (chamados de “gases estufa”, do inglês greenhouse gases), a temperatura média da superfície da Terra seria de aproximadamente  $-20^\circ\text{C}$ .

Entretanto, as atividades humanas estão aumentando artificialmente a quantidade de  $\text{CO}_2$  e outros gases estufa, o que poderá provocar um aquecimento do clima da Terra, com sérias repercussões ambientais, econômicas e sociais para as gerações presentes e futuras. Um dos maiores desafios da política do clima está em descobrir meios de reduzir e estabilizar a concentração de GHGs, em níveis que possam evitar ou minimizar o aquecimento global e suas consequências.

Os principais gases estufa são:

a) dióxido de carbono -  $\text{CO}_2$ : até recentemente, a natureza mantinha em equilíbrio dinâmico a quantidade de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, através do ciclo biogeoquímico do carbono. Hoje, entretanto, devido principalmente à queima de combustíveis fósseis, a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera é a maior dos últimos 160.000 anos, e está crescendo exponencialmente. Dados geológicos indicam que a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, durante a última idade do gelo (aproximadamente 18.000 anos atrás), era cerca de 200 partes por milhão em volume (cerca da metade da concentração atual).

Uma análise recente de ar aprisionado em geleiras glaciais revelou que a concentração de  $\text{CO}_2$  por volta do ano 1750 (pré revolução industrial) era de 280 ppmv. Somente dispomos de medições precisas e contínuas de  $\text{CO}_2$  na atmosfera a partir de 1958, realizadas no observatório de Mauna Loa, no Havaí. Dados mostram que a concentração de  $\text{CO}_2$  cresceu de 315 ppmv em 1958 para 345 ppmv em 1985. Medições mais recentes mostram um pequeno decréscimo (cerca de 335 ppmv, em 1994), mas as previsões apontam para o aumento de cerca de 0,5% ao ano, podendo variar entre 494 ppmv e 627 ppmv por volta do ano 2050.

A quantidade de carbono, em forma de  $\text{CO}_2$ , liberada por ano por atividades humanas é estimada em 6 bilhões de toneladas provenientes da queima de combustíveis fósseis e 1 a 2 bilhões de toneladas das alterações do uso da terra, incluindo desmatamento. Destes 7 a 8 bilhões, os oceanos absorvem cerca de 2 bilhões de toneladas por ano e o crescimento vegetal global absorve outros 1,5 a 2,5 bilhões de toneladas, resultando em uma adição líquida de cerca de 3,5 bilhões de toneladas de carbono para a atmosfera por ano. O tempo médio de permanência do  $\text{CO}_2$  na atmosfera é de 50 a 200 anos. Estudos anteriores indicavam que, quando a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera atingisse o dobro do nível pré-industrial de 270 ppmv, o aumento da temperatura média global seria de  $1,5^\circ\text{C}$  a  $4,5^\circ\text{C}$ , sendo o  $\text{CO}_2$  responsável por cerca de metade desse aumento.

Esta elevação de temperatura seria bastante significativa, porque nos últimos 10.000 anos a temperatura média da atmosfera terrestre não variou mais do que  $2^\circ\text{C}$  (para mais ou para menos), e a temperatura média durante a mais recente Idade do Gelo era apenas  $5^\circ\text{C}$  menor do que a que temos hoje. Nos últimos 100 anos, a temperatura média da superfície da Terra aumentou  $0,6^\circ\text{C}$ .

b) óxido nitroso –  $\text{N}_2\text{O}$ : é emitido para atmosfera em consequência de processos microbiológicos naturais nos solos e nas águas, da queima de biomassa ou combustíveis fósseis, e da aplicação de fertilizantes nitrogenados nos solos. Em 1987, a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera foi estimada em 30 milhões de toneladas anuais, das quais 25% eram devidas à ação do homem.

O tempo médio de permanência do  $\text{N}_2\text{O}$  na atmosfera é de 120 anos. Sua concentração na atmosfera passou de 289 parte por bilhão (ppbv) em 1970, para 304 ppbv em 1985 (crescimento de 0,2 a 0,3% ao ano<sup>1</sup>) e poderá atingir 375 ppbv em 2030.

Como alguns gases estufa são muito mais “fortes” do que outros, foi criado o conceito de Potencial de Aquecimento Global – PAG, tomando como referência o  $\text{CO}_2$  (=1). O cálculo correto do PAG dos gases estufa depende da quantificação correta dos seus efeitos diretos e



indiretos. O PAG Direto (PAG-D) de alguns gases foi recalculado recentemente, levando em consideração seus tempos médios de permanência revisados, mas os PAG Indiretos (PAG-I) que tinham sido calculados em 1990, provavelmente contêm erros substanciais, em virtude do nosso conhecimento incompleto dos processos químicos envolvidos. O PAG-D do  $N_2O$  é 270.

c) metano –  $CH_4$ : é produzido pela decomposição anaeróbia de matéria orgânica (pântanos, plantações de arroz, gado, cupins etc). A produção anual de metano está provavelmente entre 400 e 600 milhões de toneladas, sendo aproximadamente 25% do total gerado em ecossistemas pantanosos. O tempo de permanência do metano na atmosfera é de 12 a 17 anos. Estima-se que a concentração de  $CH_4$  na atmosfera era de cerca de 0,7 ppmv antes de 1850. Em 1977, sua concentração média foi de 1,52 ppmv, e em 1985, 1,7 ppmv. O aumento médio da concentração de metano tem sido de 1% ao ano desde 1965, e sua concentração poderia atingir 2,34 ppmv em 2030. Nos últimos anos, entretanto, verificou-se uma redução na sua taxa de crescimento anual (atualmente 0,8%), e alguns dados indicam que as emissões globais das plantações de arroz podem ser menores do que tinha sido estimado anteriormente. O PAG-D do  $CH_4$  é igual a 11.

d) clorofluorcarbonos – CFCs: foram desenvolvidos a partir de 1930 pela General Motors Frigidaire, para substituir a amônia como gás refrigerante. Por serem inodoros, não tóxicos, não inflamáveis, não explosivos e extremamente estáveis (na baixa atmosfera), passaram a ter uma larga utilização industrial nos últimos 50 anos, como gás refrigerante (geladeiras, condicionadores de ar), como propelentes para aerossóis (sprays), agentes para formar espumas plásticas e isopores e solventes para limpeza na indústria microeletrônica etc.

No final dos anos 80, a emissão de CFC-11 e de CFC-12 era de 0,4 toneladas por ano. Como eles sobem muito lentamente para estratosfera (onde sofrem destruição fotoquímica, provocada pelas radiações ultravioletas), suas concentrações na atmosfera estão aumentando rapidamente: em 1977 eram de 150 partes por trilhão em volume (pptv) de CFC-11 e 260 pptv de CFC-12, passando em 1986 para 226 pptv e 392 pptv, respectivamente. Isto significa um crescimento anual de 4% ao ano para o CFC-11 e 4,3% ao ano para o CFC-12 (bem maiores que o de  $CO_2$ ), e suas concentrações na atmosfera poderão atingir 1.100 pptv e 1.800 pptv respectivamente, por volta do ano 2030. O PAG-D do CFC-11 é de 3.400 e do CFC-12 é de 7.100 (o PAG-D dos hidroclorofluorcarbonos HCFC-22 e HCFC-134a, que estão sendo usados para substituir transitoriamente os CFCs é de respectivamente 1.600 e 1.200).

De 1986 a 1995, a produção de CFCs cresceu cerca de 2,5 vezes nos países desenvolvidos, enquanto o consumo cresceu perto de 40%. A maior parte do crescimento no consumo teve lugar em países de industrialização crescente: Brasil, Índia, México e, particularmente, a China. Esta, por exemplo, aumentou sua produção de halons – usados em extintores de incêndio – de 4.000 toneladas em 1991, para 10.000 toneladas em 1995. Este aumento é especialmente preocupante, porque os halons destroem 3 a 10 vezes mais ozônio que os CFCs.

e) ozônio –  $O_3$ : a análise da contribuição do ozônio para o efeito estufa é bastante complicada pelas suas relações com outros gases, incluindo alguns que não são gases estufa, mas influenciam indiretamente através de reações que produzem gases estufa. Entre estes gases estão o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos outros que não o metano (especialmente isoprenos e terpenos), óxidos de nitrogênio, amônia e compostos de enxofre ( $H_2S$ , dimetil sulfeto, metilmercaptan etc). O tempo médio de permanência do ozônio na atmosfera depende de sua localização: na estratosfera superior é de cerca de uma hora; na baixa estratosfera, alguns meses, e na troposfera, de algumas horas a poucos dias.

O aquecimento da Terra pode afetar a humanidade de várias maneiras, provocando impactos ambientais como a elevação dos níveis dos mares, mudanças climáticas regionais e efeitos sobre ecossistemas terrestres. Em virtude da gravidade deste problema, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA e a Organização Meteorológica Mundial - OMM criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - PICC, que produziu em agosto de 1990 o seu Primeiro Relatório de Avaliação, resultado de um extraordinário esforço

coordenado de centenas de especialistas do mundo inteiro. Para ser utilizado nas negociações da Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas e na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o PICC produziu em fevereiro de 1992, uma atualização da sua Avaliação Científica, reconhecendo que ainda existem muitas dúvidas nas previsões das mudanças climáticas, principalmente em relação às épocas, grandezas e padrões regionais das mudanças.

Para reduzir as incertezas, precisamos aprimorar o conhecimento sobre: 1) as fontes e absorvedores dos gases estufa, o que afeta a previsão das concentrações futuras; 2) as nuvens, que influenciam fortemente a grandeza das mudanças climáticas; 3) os oceanos, que influenciam os padrões e os tempos de ocorrência das mudanças climáticas; 4) as calotas de gelo polares, que afetam as previsões de aumento do nível dos mares.

Baseados no conhecimento atual, os cientistas confirmaram que as emissões resultantes das atividades humanas estão aumentando substancialmente a concentração dos gases estufa, provocando um aumento do efeito estufa, que resultará num aquecimento adicional da superfície da Terra. O principal gás estufa, o vapor d'água, vai aumentar em consequência do aquecimento global e contribuir para aumentá-lo ainda mais.

Alguns gases estufa são potencialmente mais efetivos que outros para provocar mudanças climáticas, e o CO<sub>2</sub> deverá continuar como responsável por metade do efeito estufa no futuro. Outras conclusões da Avaliação Científica de 1992 foram:

- a temperatura média global da atmosfera aumentou entre 0,3 e 0,6°C nos últimos 100 anos. No mesmo período, o nível global dos mares aumentou de 10 a 20 cm. No último verão norte americano, várias pessoas morreram em consequência da forte onda de calor que atingiu principalmente, grandes cidades. Estes aumentos não ocorreram gradualmente com o tempo, nem foram uniformes no planeta;
- a dimensão deste aquecimento é amplamente consistente com as previsões dos modelos climáticos, mas é também da mesma ordem de grandeza da variabilidade natural do clima. Assim, o aumento observado pode ser atribuído, em grande parte, a uma variação natural; outra hipótese é que essa variação natural e outros fatores humanos poderiam ter compensado um aumento ainda maior induzido pelas atividades humanas. A averiguação inequívoca deste efeito estufa ampliado não deverá acontecer sem, pelo menos, mais uma década de observações;
- não existem evidências seguras de que o clima tenha se tornado mais variável nas últimas décadas. Entretanto, com o aumento da temperatura média, episódios de altas temperaturas deverão se tornar mais freqüentes no futuro, e episódios de baixas temperaturas, menos freqüentes;
- os efeitos de esfriamento dos aerossóis (partículas em suspensão na atmosfera), que resultam das emissões de enxofre (queima de combustíveis fósseis) podem ter contrabalançado uma parte significativa do aquecimento no Hemisfério Norte durante as últimas décadas (os aerossóis podem absorver ou refletir a luz solar). Embora este fenômeno tenha sido reconhecido no relatório de 1990, seus efeitos foram confirmados em estudos sobre a erupção do vulcão Pinatubo nas Filipinas.
- espera-se ainda, uma redução adicional no ritmo do aquecimento global, para as próximas décadas, devida à redução da concentração de ozônio na estratosfera, parcialmente contrabalançada por aumentos da sua concentração na troposfera;
- os ecossistemas influenciam o clima (floresta amazônica, por exemplo), e serão afetados pelas mudanças climáticas e pelas concentrações mais altas de CO<sub>2</sub>. Mudanças climáticas rápidas vão alterar a composição dos ecossistemas; algumas espécies vão se beneficiar, enquanto outras serão incapazes de migrar ou de se adaptarem com a rapidez necessária e poderão se tornar extintas. Níveis mais altos de CO<sub>2</sub> poderão aumentar a produtividade e a eficiência de utilização da água pela vegetação. O efeito do aquecimento sobre os processos

biológicos, embora ainda pouco conhecido, pode aumentar a concentração de gases estufa na atmosfera.

Baseada em resultados de modelos, a Avaliação Científica do PICC (1992) previa que:

- sob o cenário A de emissões de gases estufa (nenhuma mudança política, ou “business-as-usual”), a temperatura média global aumentaria durante o próximo século, cerca de 0,3°C por década (com uma margem de incerteza de 0,2 a 0,5°C por década); este aumento é maior do que o que aconteceu nos últimos 10.000 anos. O resultado seria um provável aumento da temperatura média global de aproximadamente 1°C acima do valor atual, no ano 2025 e mais 1°C antes do fim do próximo século. Este aumento não seria constante por causa da influência de outros fatores;
- nos outros cenários de emissão, que adotam níveis de controle cada vez mais rigorosos, a temperatura média global aumentaria cerca de 0,2°C por década (cenário B), pouco acima de 0,1°C por década (cenário C) e cerca de 0,1°C por década (cenário D);
- os climas regionais sofreriam mudanças diferentes da média global, embora a confiabilidade da previsão dos detalhes das mudanças regionais ainda seja baixa. Por exemplo, está previsto que os aumentos de temperatura no sul da Europa e na região central da América do Norte serão maiores que a média global acompanhados, na média, por uma redução da precipitação pluviométrica no verão e da umidade do solo. As previsões para os trópicos e para o hemisfério sul são menos consistentes;
- O cenário A do PICC (business-as-usual) indica um aumento médio de cerca de 6 cm por década no nível médio global dos mares, durante o próximo século (com uma margem de incerteza de 3 a 10 cm por década) devido principalmente, à expansão térmica dos oceanos. A elevação prevista seria de cerca de 20 cm no nível médio global dos mares por volta de 2030, e de 65 cm no final do próximo século, com significativas mudanças regionais.

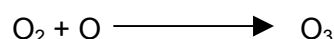
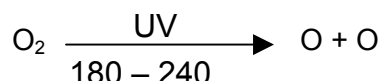
Previsões do PNUMA, em conjunto com a NASA e o Banco Mundial<sup>5</sup> publicadas em 1998, apontam como as principais conseqüências do aquecimento global:

- Aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (secas, tempestades, enchentes, tornados, furacões etc.);
- Aumento do nível dos oceanos entre 15 e 95 cm até 2100 (melhor estimativa = 50 cm). Motivo principal: dilatação volumétrica da água do mar;
- Duplicação do número de pessoas sujeitas a enchentes por ano (de 46 para 92 milhões), como conseqüência da elevação de apenas 5 cm no nível dos oceanos;
- Ecossistemas mais afetados com elevação do nível do mar: manguezais, recifes de corais e estuários de rios (alta biodiversidade);
- Desaparecimento de metade das geleiras e redução da capa de gelo no Ártico;
- Aumento na distribuição geográfica e na incidência de doenças transmissíveis por insetos (malária e dengue);
- Aumento na desertificação. Os desertos vão ficar ainda mais quentes;
- Mudanças nos padrões de distribuição das chuvas e na produtividade da agricultura. Menor produção nos trópicos e subtropicais. Risco maior de episódios de fome;
- Aumento na possibilidade de conflito sobre acesso aos recursos hídricos;
- Grandes mudanças nos limites entre florestas, cerrados e savanas, levando à perda de biodiversidade;
- Países em desenvolvimento e populações pobres serão os mais afetados pelo aquecimento global.

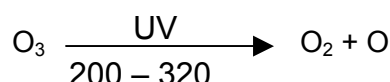
### 6.3 - Destruição da camada protetora de ozônio.

O ozônio está presente em quantidade relativamente pequena na atmosfera terrestre, e sua concentração varia com a altitude, desde o nível do mar até cerca de 50 km de altura. Na estratosfera (15 a 50 km) a concentração de ozônio atinge seu valor máximo (menor que 10ppmv) a cerca de 30 km. Por isso, dizemos que entre 25 e 35 km existe uma “camada de ozônio”. Ela atua como um filtro para a radiação ultravioleta tipo B (entre 280 e 320 nanômetros – nm) emitida pelo Sol, impedindo que a maior parte desta radiação nociva atinja a superfície da Terra. A radiação UV-B é responsável pelo aparecimento do câncer da pele, por danos à visão (catarata) e pelo envelhecimento e enrugamento precoce da pele, além dos danos à vegetação e aos materiais. O ozônio é também um “gás estufa”, e o aumento de sua concentração na baixa atmosfera resulta num maior aquecimento da Terra. O O<sub>3</sub> é produzido na baixa atmosfera pelas descargas elétricas (relâmpagos) e está sendo constantemente formado e destruído na estratosfera, conforme as reações:

#### a. formação

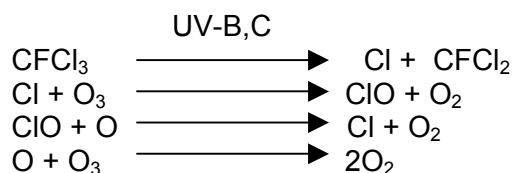


#### b. destruição

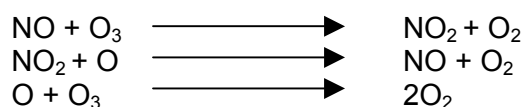


A partir dos anos 60 verificou-se uma diminuição na concentração de ozônio na alta atmosfera (cerca de 4% por década). Uma redução de 10% na concentração de ozônio na estratosfera deve provocar um aumento de 20% na radiação ultravioleta que atinge a superfície da Terra.

No início dos anos 70, pesquisas científicas revelaram o potencial dos clorofluorcarbonos –CFCs e halons para destruir a camada de ozônio. Os CFCs são gases artificiais, descobertos em 1929, que começaram a ser utilizados comercialmente em refrigeração e aerossóis pelas suas qualidades: inodoros, incolores, não inflamáveis, atóxicos e muito estáveis. Na alta atmosfera, entretanto, os clorofluorcarbonos são decompostos pela intensa radiação ultravioleta, liberando átomos de cloro, que vão catalisar a decomposição de milhares de moléculas de ozônio:



As moléculas de óxido nítrico -NO apresentam o mesmo efeito catalisador:



Os NO são liberados na pelos fertilizantes nitrogenados e pela queima de combustíveis fósseis, e apesar de terem uma vida relativamente longa na atmosfera, apenas uma pequena fração atinge a estratosfera. Aviões supersônicos e foguetes espaciais emitem NO<sub>x</sub> na estratosfera, mas a quantidade ainda é pequena.

Em 1978 os Estados Unidos proibiu a utilização de CFCs como propelentes em aerossóis. Em 1985, o PNUMA promoveu numa reunião em Viena, Áustria, a assinatura da Convenção Internacional para a Proteção da Camada de Ozônio, com 21 países e a Comunidade Econômica Européia. Dois anos mais tarde, mais seis países já tinham aderido à Convenção. Contribuiu para isto a descoberta, na primavera de 1985, de um “buraco” na camada de ozônio sobre a Baía de Halley, na Antártica, com redução de 40% na concentração de ozônio, e atingindo uma área de cerca de 20 milhões de km<sup>2</sup>. Este “buraco” continua a crescer, e atingiu em setembro de 2000, uma área de 28,3 milhões de km<sup>2</sup> (três vezes o território dos EUA).

Em 1987, foi assinado o Protocolo de Montreal, posteriormente ratificado por 166 países, que definia a redução de 50% no consumo de CFCs até o final de 1999. Em 1990, em virtude da consciência do agravamento do problema (crescimento do buraco sobre a Antártica), os países resolveram acelerar a eliminação dos CFCs e criaram um fundo para ajudar os países em desenvolvimento neste processo. Outras emendas ao Protocolo de Montreal, antecipando as metas de eliminação e incluindo outras substâncias (como tetracloreto de carbono e tricloroetano) foram acordadas em 1992 e 1995.

Tabela 3 – Substâncias que destroem a camada de ozônio (SDOs).

Substância:	Potencial de Destruição de O <sub>3</sub> :	Tempo de vida na atmosfera:	Usos:
CFC-11 (CFCl <sub>3</sub> )	1,0	75	Aparelhos de refrigeração, ar condicionado, espumas flexíveis e poliuretano rígido
CFC-12 (CF <sub>2</sub> Cl)	1,0	111	Espumas de poliuretano rígido, ar condicionado, refrigeração, aerossóis, esterilização
CFC-113 (C <sub>2</sub> F <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> )	0,8	90	Solvente
CFC-114 (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> )	1,0	185	Espumas rígidas, ar condicionado, refrigeração
CFC-115 (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> Cl)	0,6	380	Refrigeração, ar condicionado
Halon-1211 (CF <sub>2</sub> BrCl)	3,0	25	Extintores de Incêndio portáteis
Halon-1301 (CF <sub>3</sub> Br)	10,0	110	Sistemas de extinção de incêndio
Halon-1211 (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub> )	--	--	Extintores de Incêndio

O Plano de Eliminação das SDOs para os países desenvolvidos acordado em Copenhagem em 1992 previa que a produção de CFCs seria reduzida em 75% em 1994 (ano base 1986) e em 100% em 1996. Para os Halons, 100% em 1994 (ano base 1989); o Tricloroetano (metilclorofórmio), 50% em 1994 (ano base 1989) e 100% em 1996; o Tetracloreto de Carbono, 85% em 1995 (ano base 1989) e 100% em 1996; o Hidrobromofluorcarbono (HBFC), 100% em 1996 (ano base 1989). Já os HCFCs – Hidroclorofluorcarbonos, que inicialmente substituíram os CFCs, mas ainda tinham potencial de destruição da camada de ozônio e são “gases estufa” importantes, ficou acordado que sua produção e uso nos países desenvolvidos sofreria uma redução inicial de 35% (ano base 1989) em 2005, até atingir 100% em 2030. Para o Brometo de

Metila, usado em esterilização de solos e fumigação de grãos estocados, foi acertada uma estabilização da produção em 1996 (ano base 1991). Posteriormente, a VII Reunião das Partes, realizada em 1995, proibiu sua produção e uso nos países desenvolvidos.

O sucesso das medidas adotadas pelo protocolo de Montreal pode ser comprovado pelo fato dos países industrializados terem reduzido a produção e consumo de SDOs de mais de 1 milhão de toneladas ODP em 1986 para cerca de 200 mil ton. ODP em 1995 (ODP é o ozônio depleting potential, calculado levando em conta o potencial de destruição de ozônio de cada uma das substâncias produzidas, como indicado na Tabela 3 anterior). Os países em desenvolvimento, entretanto, aumentaram sua produção no mesmo período, de cerca de 40 mil ton. ODP para 100 mil ton. ODP (Fonte: Oberthur, S., “Production and Consumption of Ozone-Depleting Substances 1986-1995”, Bonn, Alemanha, 1997).

O Plano de eliminação das SDOs para os países em desenvolvimento prevê, em resumo:

- CFCs 11, 12, 113, 114 e 115 (base: média de 1995-97): congelamento da produção e consumo em 01/07/99; reduções de 50% em 01/01/2005, 85% em 01/01/2007 e 100% em 01/01/2010 (com exceção dos usos essenciais);
- CFCs 13, 111, 112, 211, 212, 213, 214, 215, 216 e 217 (base: média de 1998-2000): reduções de 20% em 01/01/2003, 85% em 01/01/2007 e 100% em 01/01/2010 (com exceção dos usos essenciais);
- Halons 1211, 1301 e 2402 (base: média de 1995-97): congelamento em 01/01/2002; reduções de 50% em 01/01/2005 e 100% em 01/01/2010 (com exceção dos usos essenciais);
- Tetracloroeto de Carbono (base: média de 1998/2000): reduções de 85% em 01/01/2005 e 100% em 01/01/2010 (com exceção dos usos essenciais);
- Metilclorofórmio (base: média de 1998/2000): congelamento em 01/01/2003; reduções de 30% em 01/01/2005, 70% em 01/01/2010 e 100% em 01/01/2015 (com exceção dos usos essenciais);
- HCFC (base: 2005): congelamento em 01/01/2016 e redução de 100% em 01/01/2040;
- Brometo de Metila (base: média de 1995-98): congelamento em 01/01/2002 (com exceção dos usos essenciais – aplicações em quarentena e pré-embarque).

O Governo Brasileiro criou um grupo interministerial, o Prozon, do qual fazem parte, entre outros, os Ministérios: do Meio Ambiente; Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Ciência e Tecnologia e Relações Exteriores, para coordenar as ações internas para o atendimento do que foi estabelecido pelo Protocolo de Montreal. Em 1994, o Prozon encaminhou ao Fundo criado pelo Protocolo o Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio – PBCO. Este Programa, preparado com a participação do setor industrial e aprovado com elogios pelo Fundo de Montreal, previa a antecipação da eliminação da produção dos Halons 1211 e 1301 para 1994, dos CFCs 11, 12, 113, 114 e 115, e do Tetracloroeto de Carbono e Metil Clorofórmio para 2001. Entretanto, no final de 2000, por solicitação de alguns setores industriais, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, do Ministério do Meio Ambiente, aprovou uma deliberação prorrogando os prazos anteriormente acordados.

Um dos substitutos importantes para os CFCs e HCFCs são os HFCs (hidrofluorcarbonos), que não destroem a camada de ozônio, mas contribuem de forma significativa para o efeito estufa, pois o potencial de aquecimento global de vários HFCs é de 150 a 4.000 vezes maior do que o CO<sub>2</sub>. Por este motivo, o Protocolo de Quioto (Convenção de Mudanças Climáticas) incluiu os HFCs entre os seis gases que os países desenvolvidos devem reduzir a emissão em 5% até 2008-2012.

## 7. Controle da Poluição do Ar

Os danos provocados pela poluição do ar são proporcionais à concentração dos poluentes e à duração da exposição aos poluentes. Assim, podemos reduzir os efeitos da poluição do ar através das seguintes medidas:

- a. aplicando o conceito da Produção Mais Limpa (PNUMA, 1989), isto é, procurando reduzir a quantidade de poluentes gerados, cuidando melhor do processo de produção, ou, quando for o caso, mudando a tecnologia de produção para uma tecnologia mais limpa;
- b. instalando equipamentos de controle nos pontos de emissão que estão gerando poluentes com uma concentração superior à permitida pela legislação ambiental;
- c. pode-se reduzir a concentração dos poluentes ao nível do solo com a utilização de chaminés. Aliás, este método de diluição dos poluentes no ar era praticamente a única forma que as indústrias tinham, até os anos 60, para reduzir os incômodos provocados pelos poluentes do ar em seus próprios empregados e na população vizinha.

A dispersão dos poluentes no ar é conseguida através do uso de chaminés com altura suficiente para permitir a diluição dos poluentes, evitando assim que sejam ultrapassadas as concentrações máximas permissíveis ao nível do solo. A dispersão e a diluição dos poluentes através do uso de chaminés baseia-se em:

- a corrente ascendente do efluente (dentro da chaminé) é geralmente mais quente e mais leve que o ar naquele ponto. Portanto, ao sair da chaminé continua a subir, rapidamente no início, e mais vagarosamente a seguir;
- a partir deste momento, há um arrasto na direção dos ventos prevalentes, durante o qual o efluente é diluído ao se espalhar para os lados e para cima e para baixo. Esta difusão começa bem antes da subida da pluma se completar;
- as substâncias presentes no efluente passam por modificações físicas e químicas, em resposta às novas condições;
- os poluentes são finalmente removidos da atmosfera pelos processos naturais de deposição seca e úmida, que inclui a adsorção e absorção por superfícies e lavagem do ar pela chuva.

Os fatores que influenciam a dispersão são: a concentração dos poluentes emitidos ( $C_e$ ), a altura da chaminé ( $h$ ) e as velocidades dos gases expelidos ( $V_e$ ) e do vento ( $V_v$ ).

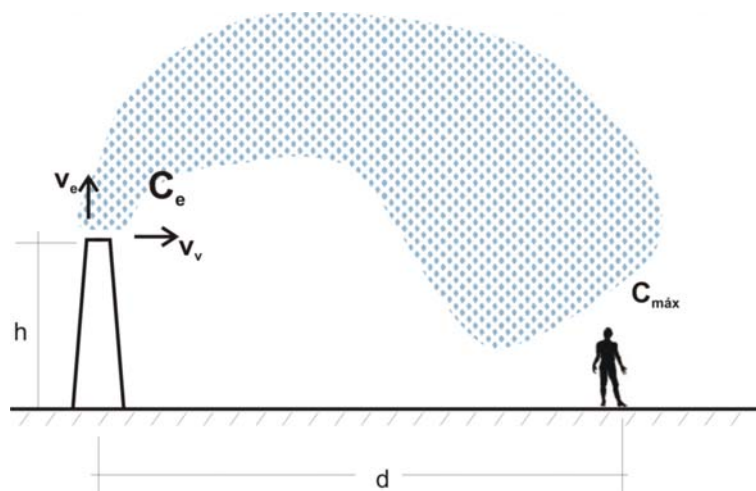


Figura 4 – Dispersão dos poluentes pelas chaminés.

### 7.1 - Controle da Qualidade do Ar

O controle da qualidade do ar numa determinada região é efetuado através da medição da concentração de alguns dos mais importantes poluentes do ar e pela sua comparação com os padrões de qualidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente. Os poluentes do ar mais medidos são o CO, hidrocarbonetos, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, óxidos de nitrogênio (NOx) e partículas.

Tabela 4 - Padrões de Qualidade do Ar: Portaria 0231 de 27.04.76 do Ministério do Interior

Poluente	Concentração Máxima	Método de Cálculo
Partículas em suspensão	80 µg/m <sup>3</sup>	Concentração geométrica anual
	240 µg/m <sup>3</sup>	Concentração máxima diária a não ser excedida mais de uma vez por ano
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	80 µg/m <sup>3</sup>	Concentração média aritmética anual
	365 µg/m <sup>3</sup>	Concentração máxima diária a não ser excedida mais de uma vez por ano
Monóxido de carbono (CO)	10.000 µg/m <sup>3</sup> (9 ppm)	Concentração máxima de 8 horas a não ser excedida mais de uma vez por ano
	40.000 µg/m <sup>3</sup> (34 ppm)	Concentração máxima de 8 horas a não ser excedida mais de uma vez por ano
Oxidantes fotoquímicos	160 µg/m <sup>3</sup>	Concentração máxima de 8 horas a não ser excedida mais de uma vez por ano

Tabela 5 – Exemplos de Poluição do Ar em Cidades (1995)

Cidade	SO <sub>2</sub>	Partículas em Suspensão	NO <sub>2</sub>
	(microgramas por metro cúbico)		
Frankfurt	11	36	45
Tóquio	18	49	68
Cidade do Cabo	21	-	72
Nova York	26	-	79
Mumbai (Índia)	33	240	39
São Paulo	43	86	83
Xangai (China)	53	246	73
Moscou	109	100	-
Jakarta (Indonésia)	-	271	-

Fonte: Banco Mundial, World Development Indicators 2000 (Washington, DC, 2000)

### 7.2 – Prevenção de Episódios de Poluição do Ar

A legislação federal requer o desenvolvimento de planos de emergência para a prevenção de episódios de poluição do ar. Estes planos são muito importantes para cidades com alto índice de poluição e sujeitas a episódios de inversão térmica, como São Paulo. As tabelas seguintes indicam os níveis de emergência em função das concentrações de quatro tipos de poluentes do ar e as ações previstas em cada um dos níveis.



Tabela 6 - Níveis de Emergência

<b>Poluentes</b>	<b>Atenção</b>	<b>Alerta</b>	<b>Advertência</b>	<b>Emergência</b>
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) média de 24 horas	365	800	1.600	2.100
Partículas em suspensão (µg/m <sup>3</sup> ) média de 24 horas	260	375	625	875
CO (ppm) média de 8 horas	9	625	30	40
Oxidantes (ppm) média de 1 hora	0,08	0,1	0,4	0,6

O Plano de Ação para Prevenção de Episódios prevê as seguintes atividades:

- Nível de Atenção: programas especiais de monitoramento implantados e estabelecido o estado de atenção da equipe de controle da poluição;
- Nível de Alerta: não será permitida qualquer queima ao ar livre; fontes estacionárias de combustão deverão fazer a limpeza de caldeiras e fornos entre 12:00 e 16:00 horas; os motoristas serão encorajados a não usarem seus veículos desnecessariamente.
- Nível de Advertência: além dos dois primeiros itens do nível anterior, o uso de veículos será limitado ao transporte público (trens, ônibus, táxis), veículos oficiais e viagens de emergência.
- Nível de Emergência: não será permitida qualquer queima ao ar livre; as principais atividades terão suas operações interrompidas; será proibido ao uso de veículos a motor, exceto em emergências, com aprovação da Polícia Militar.

### 7.3 Remoção dos Poluentes do Ar.

#### 7.3.1 - Remoção de gases

- i) Combustão dos gases expelidos, com temperatura e quantidade de oxigênio adequadas. Apresenta grande vantagem quando os gases ou vapores a serem removidos são orgânicos. A combustão pode ser por chama (como em refinarias de petróleo) ou catalítica (catalisadores usados nos sistemas de escapamento de automóveis). É um processo utilizado, por exemplo, para remoção de odores em torrefações de café.
- ii) Absorção, que utiliza um líquido capaz de dissolver ou reagir com o vapor ou gás que se deseja separar. Para remover SO<sub>2</sub>, por exemplo, podemos passar o efluente através de uma solução de cal hidratada, produzindo gesso (CaSO<sub>4</sub>).
- iii) Adsorção, fenômeno pelo qual um gás ou vapor posto em contato com uma substância sólida adere fisicamente à sua superfície. Entre as substâncias usadas para esse fim estão o carvão ativado, a sílica gel e a alumina ativada.

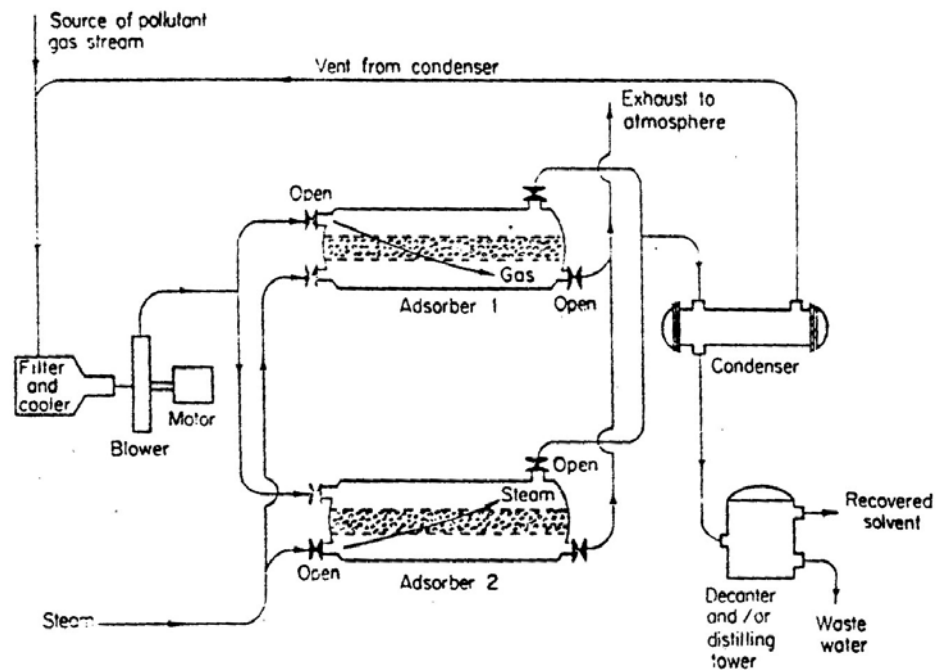


Figura 5 – Sistema de adsorção em dois estágios.

### 7.3.2 - Remoção de partículas

#### a) Coletores por via seca:

i) Câmaras de sedimentação: a velocidade do efluente é reduzida (ao atravessar uma seção maior) o suficiente para permitir a sedimentação das partículas por gravidade.

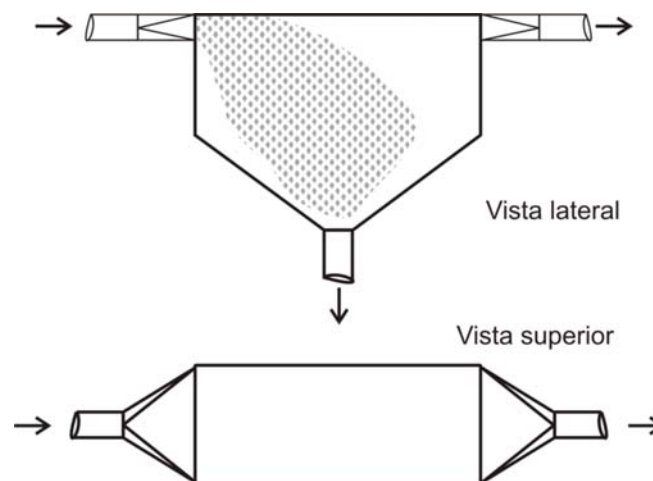


Figura 6 – Câmara de sedimentação.

- ii) Coletores centrífugos: ciclones. São utilizados, na maioria dos casos, como pré-coletores. O custo operacional é baixo, mas sua eficiência para a remoção de partículas pequenas é reduzida, exigindo um segundo equipamento para coletá-las. As partículas removidas pelos ciclones podem ser reaproveitadas diretamente no processo.

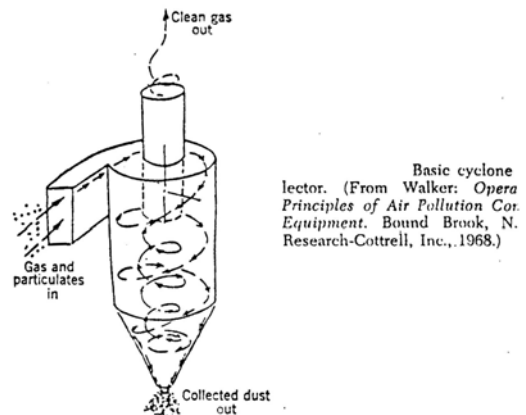
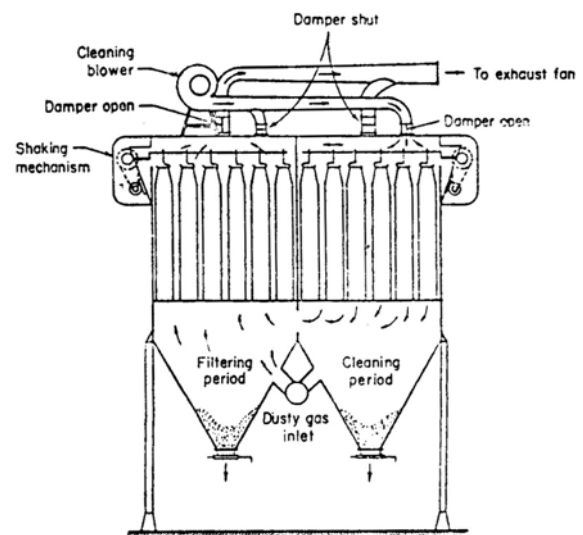


Figura 7 – Ciclone

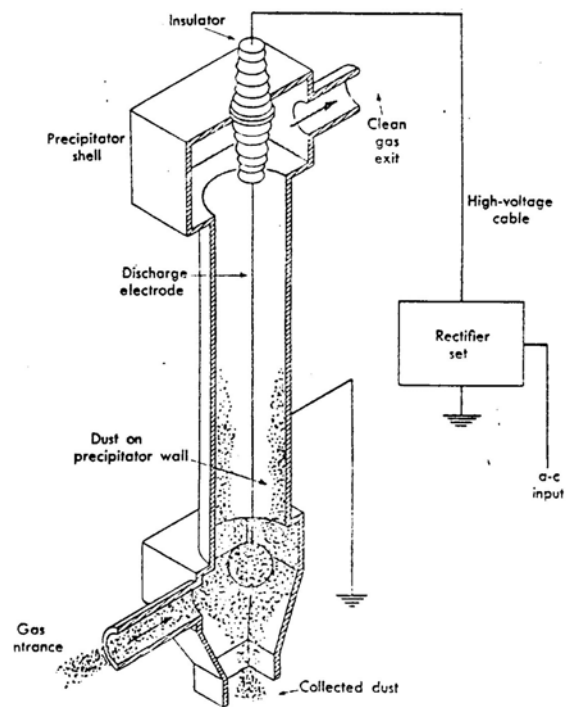
- iii) Filtros de tecidos. Possuem grande eficiência para a remoção de poeiras secas, possibilitando também o reaproveitamento direto do material coletado. Para a limpeza dos tecidos, usa-se fluxo de ar inverso e vibração mecânica. O custo do investimento, inicial é mais baixo, se comparado com os precipitadores eletrostáticos, mas não podem ser usados para efluentes com temperaturas altas, exigindo, neste caso, o resfriamento preliminar dos gases.



Typical bag filter employing reverse flow and mechanic shaking for cleaning. (From Stern: Air Pollution. New York; Academic Press, 1968.)

Figura 8 – Filtro de manga

iv) Precipitadores eletrostáticos. Apresentam alta eficiência de remoção para certos tipos de partículas, baixa resistência à passagem do efluente gasoso e baixo consumo de energia, resultando num custo operacional baixo. Entretanto, o investimento inicial é elevado. Não podem ser usadas misturas gasosas próximas ao limite de explosividade, além de exigirem, em alguns casos, o pré-condicionamento do efluente gasoso com vapor d'água, névoas de ácido sulfúrico, amônia, ou substâncias orgânicas, para reduzir a resistividade das partículas.



Basic elements of an electrostatic precipitator. (From White "Industrial Electrostatic Precipitation." Reading, Mass.: Addison-Wesley.)

Figura 9 – Precipitador Eletrostático

b) Coletores por via úmida.

Podem remover gases e partículas simultaneamente. Ocupam menos espaço, podendo ser instalados nas proximidades dos fornos. Gases e névoas corrosivas podem ser neutralizados. As desvantagens estão no consumo de água elevado e em alguns casos na obrigação do tratamento dos resíduos líquidos. Apresentam também maior possibilidade de corrosão do que os precipitadores eletrostáticos e os filtros de tecidos.

i) Torres com borrifadores

Schematic drawing of a spray collector, or scrubber. (From Stern: Air Pollution. 2nd ed. New York; Academic Press, 1968.)

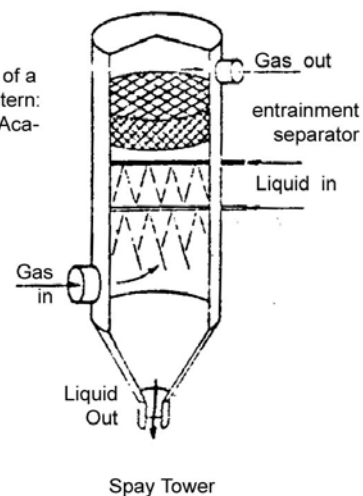


Figura 10 - Torres "spray" ("scrubber")

ii) Lavadores Venturi

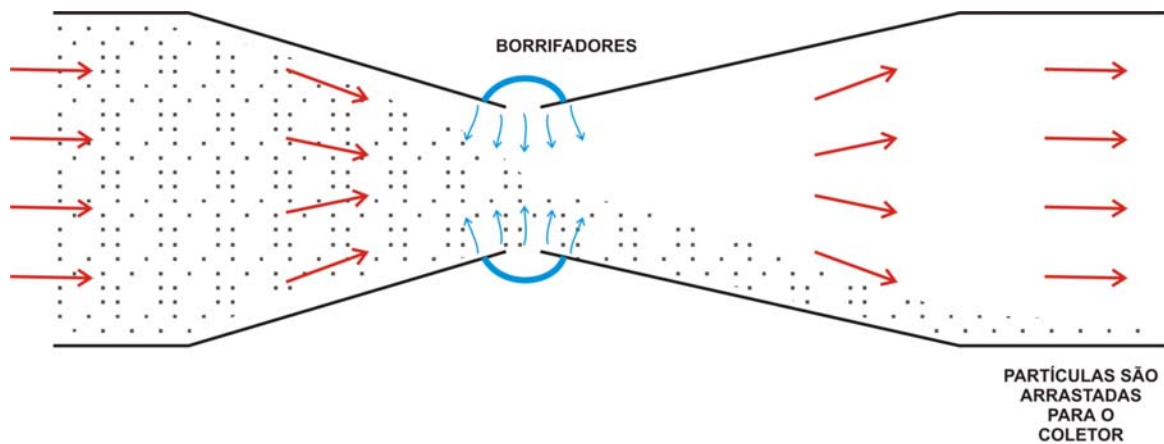


Figura 11 – Lavador Venturi

**8. Bibliografia:**

1. R.D Ross - "Air Pollution and Industry";
2. Clube de Engenharia - "Ecologia e Poluição - Problemas do Século XX", 1974;
3. Instituto de Engenharia Sanitária - "Noções Gerais de Poluição Atmosférica", 1974;
4. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – "RT 613 - Relatório sobre a Poluição do Ar no Estado do RJ", 1978;
5. A.Turk, J. Turk, J.T. Wittes - "Ecology, Pollution, Environment", 1975;
6. M.Eisenbud - "Environment, Technology and Health", 1978;
7. The Open University - "Air Pollution", Londres, 1981;
8. UNEP/GEMS Environment Library - "The Greenhouse Gases", Nairobi, 1987;
9. UNEP/GEMS Environment Library - "The Ozone Layer", Nairobi, 1987.