

Poluição do Ar

Professor:
Neyval Costa Reis Jr.



Departamento de
Engenharia Ambiental
Centro Tecnológico
UFES

Bibliografia

- Stern, A.C., Boudel, R.W. Turner, D.B., Fox, D.L.,
“**Fundamentals of Air Pollution**”, Academic Press, 2a. Edição,
1984.
- SEINFELD, J. H. e PANDIS, S. N, **Atmospheric Chemistry and Physics**, New York, Wiley-Interscience. 1998.
- Schnelle Jr., K. B., Brown, C. A., **Air Pollution Control technology Handbook**, CRC Press; 1st edition, 2001.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., Eiger, S.,
Introdução à Engenharia Ambiental, Prentice Hall, São Paulo, 2002.

Bibliografia

- Tunner, D.B., “**Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates - An Introduction to Dispersion Modeling**”, Lewis Publishers, 2a. Edição, 1994.
- Hanna, S.R., Briggs, G.A., Hosker, R.P. Jr., “**Handbook on Atmospheric Diffusion**”, Technical Information Center U.S. Department of Energy, 1982.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. AP-42, volume I: Stationary Point and Area Sources, 5th ed. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina. 1995. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>>.

Programa do Curso

- Módulo I - Introdução e Fundamentos Principais de Controle da Poluição do Ar
- Módulo II - Transporte de Poluentes na Atmosfera
- Módulo III - Modelagem Matemática da Dispersão Atmosférica de Contaminantes
- Módulo IV – Monitoramento da Qualidade do Ar
- Módulo V – Modelagem e Monitoramento das Emissões Atmosféricas
- Módulo VI – Equipamentos de Controle da Poluição do Ar

Introdução e Fundamentos Principais de Controle da Poluição do Ar

Introdução e Fundamentos Principais

- Aspectos históricos dos problemas ambientais relacionados à poluição do ar
- Fontes de poluição
- Descrição e classificação dos poluentes, suas fontes e seus efeitos à saúde
- Padrões de qualidade do ar e gestão da qualidade do ar de uma região

Histórico

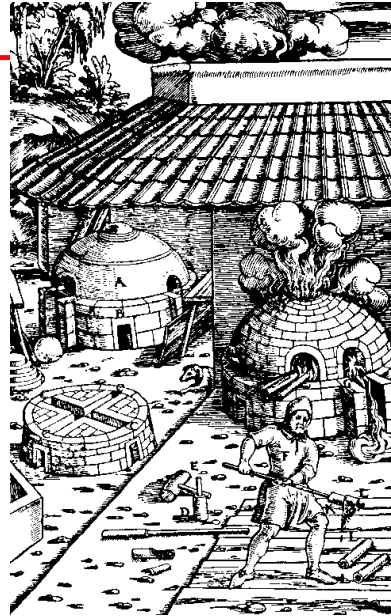
Pré revolução industrial

Tribos nômades

- Uso do fogo
 - queima de madeira
 - queima de carvão vegetal
 - queima de coke

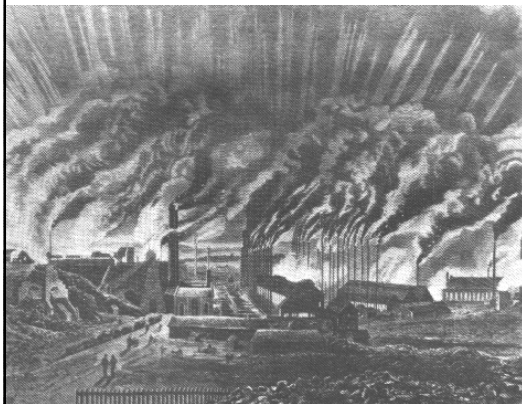
Principais indústrias

- metalurgia
- cerâmica
- preservação de produtos de origem animal



Histórico

Revolução Industrial



- Em 1784, Watt projetou a máquina à vapor movidas por combustíveis fósseis ou vegetais
- Em 1848, na Inglaterra, a agência de saúde tornam-se responsáveis pelos níveis de fumaça e cinzas.
- Em 1853, surgiram as primeiras leis destinadas ao controle da "fumaça".
- Os principais avanços tecnológicos para o controle da poluição ocorreram no século XIX com os lavadores de gases, ciclones e filtros de tecido.

Histórico

Século XX

1900-1925

- Considerável aumento da poluição do ar com o crescimento das cidades e indústrias, sem mudanças significativas na legislação ou atitudes públicas para controlar o problema.
- 1911 – Primeiro grande desastre de poluição atmosférica em Londres com 1150 mortes.

Histórico

Século XX

1925 1950

- Décadas marcadas por grandes episódios agudos de poluição do ar:
 - Vale de Meuse (Bélgica, 1938), Pensilvânia (EUA, 1948), Poza Rica (México, 1950)
- Primeiras conferências científicas na área de poluição do ar.
- Mudanças significativas na legislação em todo o mundo, no sentido de regulamentar e controlar a poluição do ar.
- Substituição da queima de carvão por gás em algumas cidades americanas.

Histórico

Melhoria da qualidade do ar em Pittsburg, nos EUA devido a utilização de gás natural em lugar de carvão mineral



Histórico

1950-1980

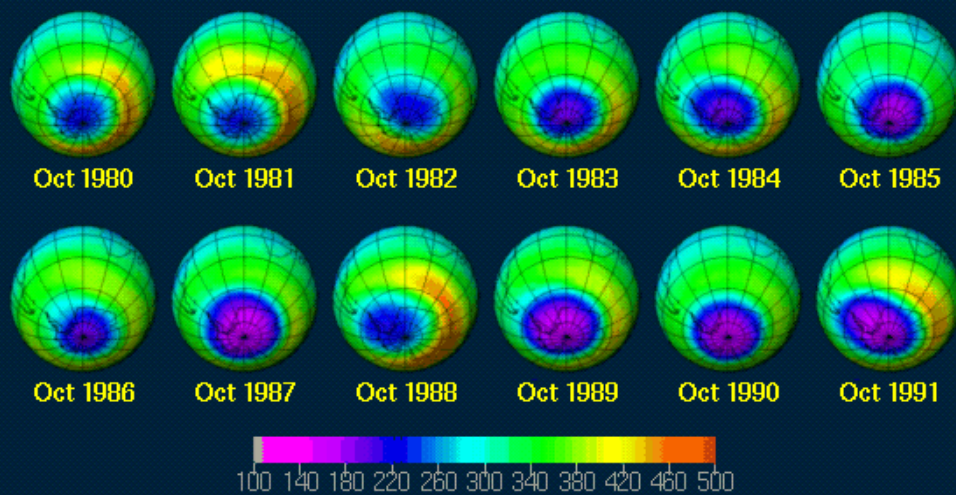
- Em 1952, ocorreu o maior incidente relacionado a poluição do ar em Londres com cerca de **4000** mortes.
- Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo em 1972.
- Principal atenção foi dada ao controle de emissão de poluentes por veículos automotores (remoção de SOx dos gases e dessulfurização dos combustíveis).
- Estudos sobre meteorologia aplicada à poluição atmosférica e à modelagem da dispersão de poluentes surgiram na década de 80.
- Sistemas de monitoramento do ar tornaram-se operacionais em várias partes do mundo.

Histórico

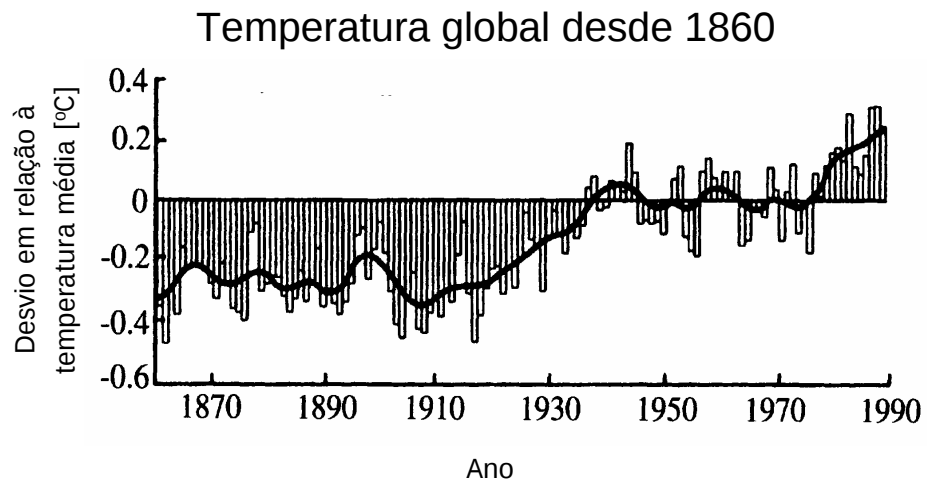
1980-1999

- Implantação de organizações governamentais e não-governamentais
- Aumento da responsabilidade da proteção ambiental por parte das indústrias.
- Novas indústrias, veículos e processos de geração de energia foram construídos incorporando equipamentos de controle de poluição.
- Desastre em Bopal na Índia, em 1984, com 16.000 mortos e cerca de 500.000 feridos.
- Atenção do público e da mídia para os problemas causados pelo efeito estufa, destruição da camada de ozônio (1985), chuva ácida, etc.

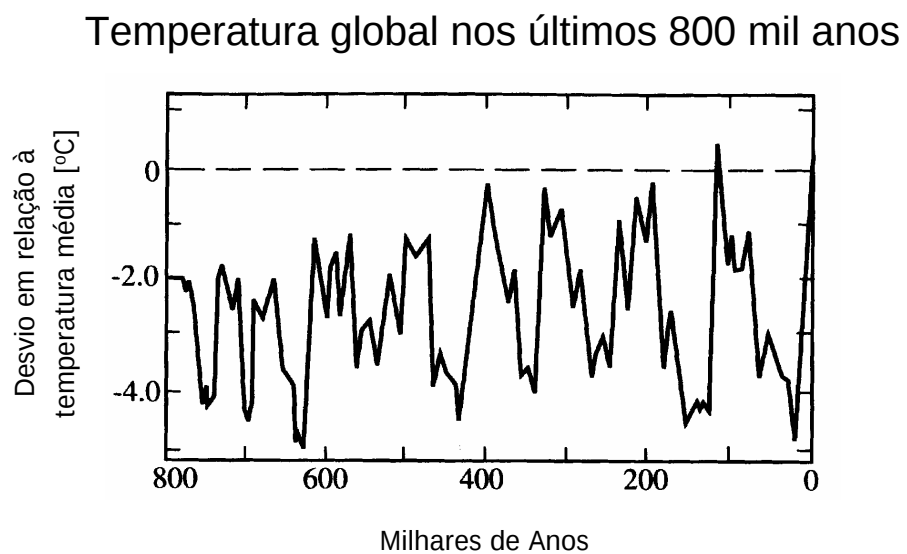
Destruição da camada de Ozônio

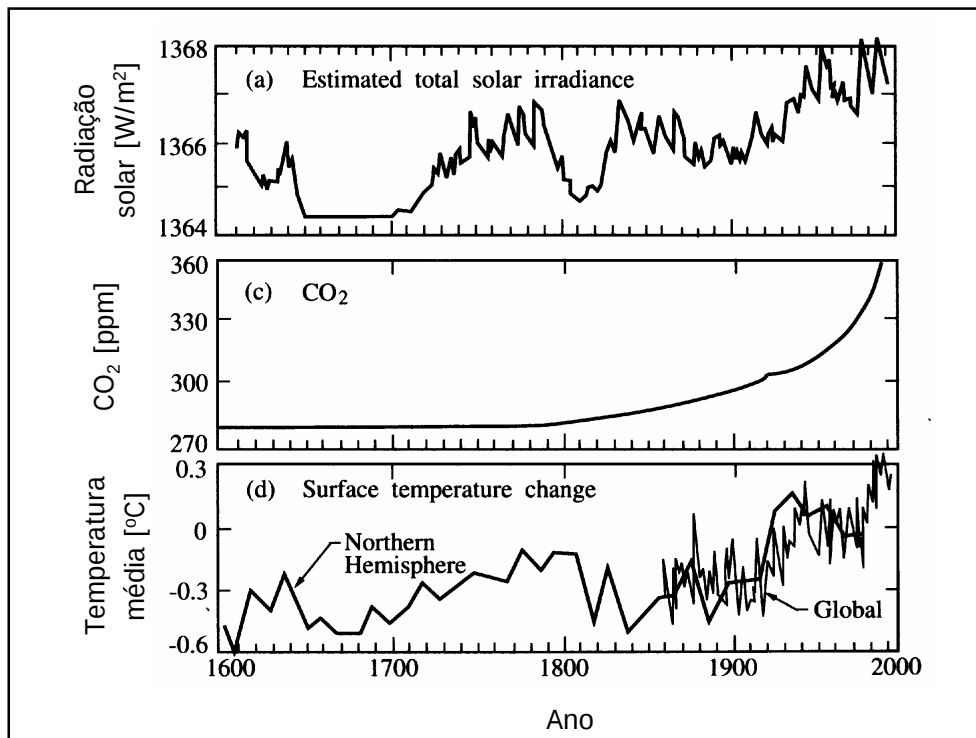


Efeito Estufa



Efeito Estufa

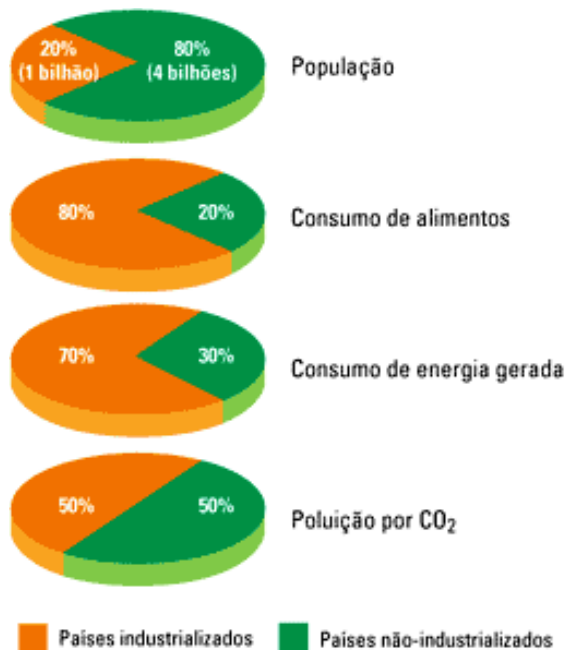




ECO 92

Pontos polêmicos:

- Emissão de CO₂
- Biodiversidade
- Conservação das florestas tropicais
- O dinheiro para proteger o ambiente

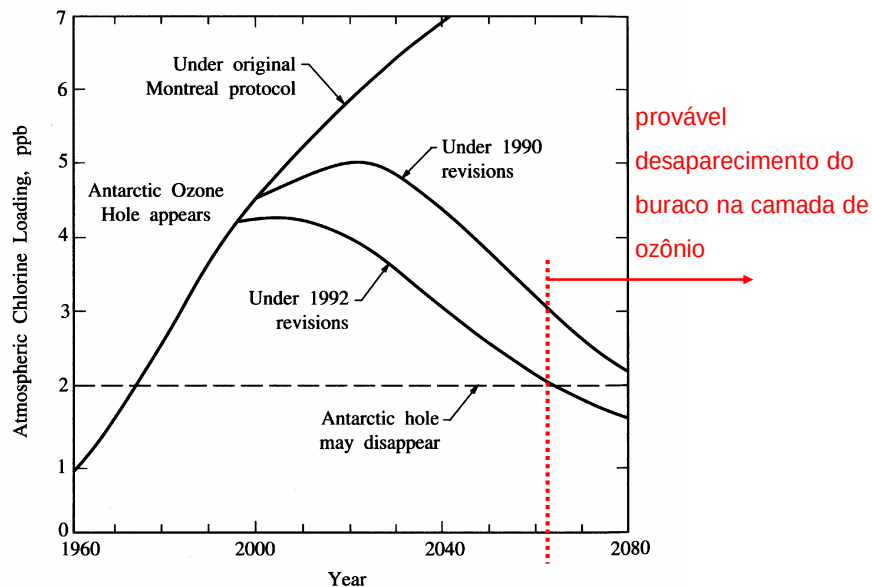


ECO 92

As resoluções da ECO-92:

- Carta da Terra: *“Há uma ligação íntima entre três fatores: a Política, a Economia e a Ecologia, que devem caminhar obrigatoriamente juntos”*.
- Planejando o Século XXI → AGENDA 21
- Convenção da biodiversidade
- Tratado sobre mudanças climáticas (CO₂ e CFC's)

Redução do Cloro na atmosfera após as medidas de limitação de emissão dos CFC's



Kyoto -1997

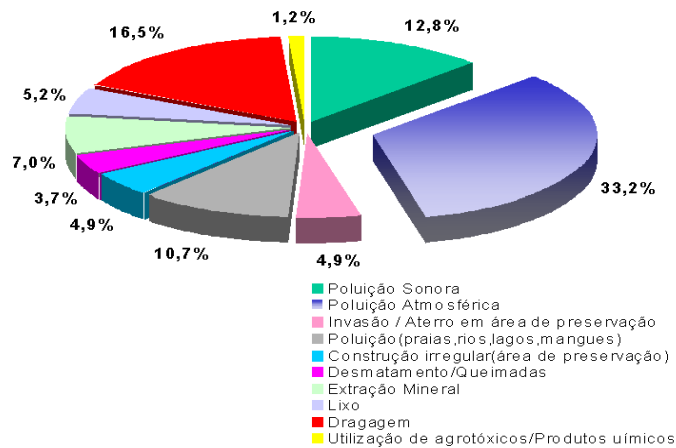
- O Protocolo de Quioto prevê como meta geral a redução da emissão de gases de efeito estufa em 5,2% entre 2008 e 2012, com base nos níveis de 1990. Esta redução deve ser feita pelos países industrializados que podem, como forma de compensação de metas, comprar créditos de carbono gerados por projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) realizados em países em desenvolvimento.

Kyoto -1997

- As discussões em torno do desenvolvimento de um mercado de Certificados de Emissões Reduzidas (CERs), ou créditos de carbono, ganharam corpo em meados de 2001.
- A principal base do comércio de emissões é a compra e a venda de certificados de dióxido de carbono (CO₂). As empresas que reduzirem as suas emissões de CO₂, através da implantação de tecnologias inócuas ao meio ambiente, poderão vender os certificados de dióxido de carbono, obtendo assim uma renda financeira direta. Por outro lado, as empresas que não puderem cumprir as suas cotas de redução de emissões adquirem um "direito à poluição", juntamente com os certificados comprados.

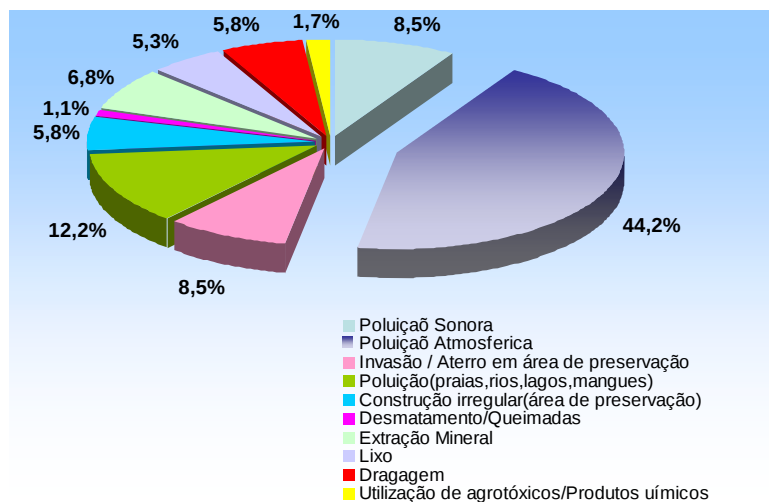
Panorama Local

Número de queixas à Secretaria de Meio-Ambiente em 1999



Panorama Local

Número de queixas à Secretaria de Meio Ambiente em 2000



Fontes de Poluição

- Naturais
 - vulcões, aerossóis marinhos, decomposição biológica marinha e outros.
- Antropogênicas
 - Motores de combustão interna, fornos industriais, refinarias de petróleo, caldeiras, meios de transporte, e outros.

Descrição e classificação de poluentes suas fontes e efeitos a saúde

- Para definirmos poluentes, é necessário primeiramente definir **ar limpo**. À rigor, poluentes ou contaminantes são elementos encontrados na atmosfera, que estão presentes em uma menor concentração (ou não estão presentes) no **ar limpo**.

A definição ar limpo é apenas um conceito, visto que ar limpo representa a composição da atmosfera se a humanidade e seus efeitos jamais tivessem existido.

Composição do Ar Limpo:

• N ₂	78,09%*	• CH ₄	0.00012%
• O ₂	20,94%	• Kr	0,00010%
• Ar	0,93%	• NO _x	0,00005%
• CO ₂	0,0315%	• H ₂	0.00005%
• Ne	0.0018%	• Xe	0.000008%
• He	0.00052%	• Vapores Orgânicos	0.000002%

* Em volume

Composição do Ar Limpo (ppm)*:

• N ₂	780.900	• CH ₄	1,2
• O ₂	209.400	• Kr	1,0
• Ar	9300	• NO _x	0,5
• CO ₂	315	• H ₂	0,5
• Ne	18	• Xe	0.08
• He	5,2	• Vapores Orgânicos	0.02

* Em volume

Composição do Ar Limpo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):

• N_2	8.95×10^8	• CH_4	7.87×10^2
• O_2	2.74×10^8	• Kr	3.43×10^3
• Ar	1.52×10^7	• NO_x	9.00×10^2
• CO_2	5.67×10^5	• H_2	4.13×10^1
• Ne	1.49×10^4	• Xe	4.29×10^2
• He	8.50×10^2	• Vapores Orgânicos	-

Unidades de concentração de contaminantes

- Concentração em ppm =
$$\frac{\text{Volume de contaminante}}{\text{Volume de ar}}$$
- Concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ =
$$\frac{\text{Massa de contaminante}}{\text{Volume de ar}}$$

Conversão de unidades de concentração de contaminantes

$$C_{\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]} = \frac{C_{[ppm]} \times p_{[Pa]} \times M_{[g/mol]}}{8.1314 \times T_{[K]}}$$

$C_{[\mu g/m^3]}$ concentração dada em $\mu g/m^3$

$C_{[ppm]}$ concentração dada em ppm

$M_{[g/mol]}$ valor da massa molecular da substância

$T_{[K]}$ Temperatura da amostra em Kelvin

$p_{[Pa]}$ Pressão dada em Pascal

Exemplo de conversão de unidades de concentração

Exemplo :

Determinar a concentração em $\mu g/m^3$ de O_3 em uma amostra de ar a 298 K e 1 atm, sabendo que a concentração de O_3 na amostra é de 120 ppb.

0.12ppm

1 atm = 1.0133x10⁵ Pa

48 gramas

$$C_{\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]} = \frac{C_{[ppm]} \times p_{[Pa]} \times M_{[g/mol]}}{8.1314 \times T_{[K]}} = 235,6 \mu g/m^3$$

298 K

Descrição e classificação de poluentes suas fontes e efeitos a saúde

Classificação de contaminantes

atmosféricos:

- Poluentes Primários
 - São contaminantes que são lançados diretamente na atmosfera
- Poluentes Secundários
 - São contaminantes que não são lançados diretamente para a atmosfera, porém surgem como fruto de reações químicas a partir de poluentes primários e a atmosfera.

Poluentes como o CO_2 , SO_2 e NO são exemplos de poluentes primários.

O_3 é um bom exemplo de poluente secundário, pois não é emitido e surge na atmosfera devido a reações químicas de outros poluentes.

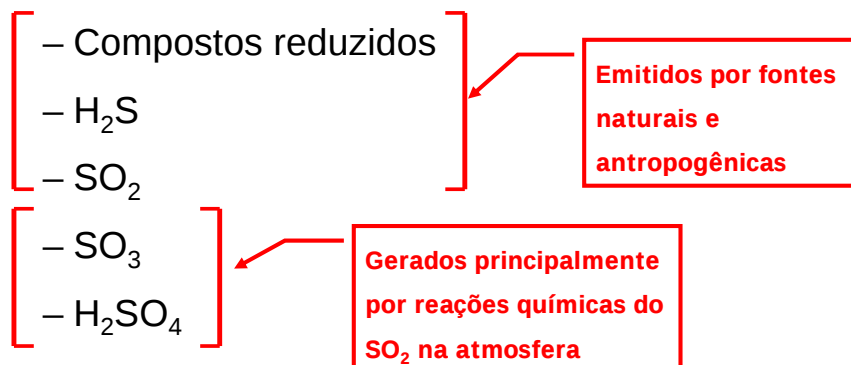
Descrição e classificação de poluentes suas fontes e efeitos a saúde

Classificação de acordo com o grupo físico-químico:

- Compostos de Enxofre
- Compostos de Nitrogênio
- Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Carbono
- CFC's
- Material Particulado

Compostos de Enxofre

Os principais compostos de Enxofre são:



Compostos Reduzidos de Enxofre

- Methil-mercaptana (CH_3SH), Dimetil-sulfeto (CH_3SCH_3) e Dimetil-disulfeto ($\text{CH}_3\text{S}_2\text{CH}_3$)
- Emitidos na atmosfera por processos naturais (principalmente degradação biológica marinha e terrestre), estações de tratamento de esgoto, indústria de celulose e outros.
- Em conjunto com o H_2S são os dos principais responsáveis pela sensação de odor.

H₂S (Ácido Sulfídrico)

- Emitido na atmosfera por processos naturais (principalmente degradação biológica marinha e terrestre), estações de tratamento de esgoto, indústria de celulose e outros.
- É um dos principais responsáveis pela sensação de odor.
- Depois de lançado na atmosfera, em algumas horas o H₂S se oxida formando SO₂.

Exemplos de Compostos Odorantes				
Nome do composto	Fórmula	Limite de detecção ppm (v/v)	Limite de reconhecimento ppm (v/v)	Qualidade do odor
Acetaldeído	CH ₃ CHO	0,067	0,21	penetrante, causticante, fruta
Amônia	NH ₃	17	37	penetrante, causticante, irritante
Dimetil sulfeto	(CH ₃) ₂ S	0,001	0,001	repolho deteriorado, alho
Etil amina	C ₂ H ₅ NH ₂	0,27	1,7	amoniacal
Metil mercaptana	CH ₃ SH	0,0005	0,0010	repolho podre, alho
Metil amina	CH ₃ NH ₂	4,7	-	pútrido, peixe
Ozônio	O ₃	0,5	-	penetrante, irritante
Sulfeto de hidrogênio	H ₂ S	0,0005	0,0047	ovo podre
Tiocresol	CH ₃ C ₆ H ₄ SH	0,0001	-	ranço, irritante

Fonte: Adaptado de WEF e ASCE (1995); Gostelow, Parsons e Stuetz (2001).

Efeito dos compostos odorantes

- Em geral estes compostos estão presentes em concentração muito baixas, insuficientes para causar dano direto à saúde.
- Estudos recentes comprovam que a sensação de odor leva a perda de apetite, insônia, irritabilidade e aumento do nível de stress. Afetando de maneira geral a qualidade de vida da população afetada.

Exemplo: H_2S gera sensação de odor a partir de 0.5 ppb, mas seu limite de toxicidade (WHO) é de 10 ppm.

SO_2 e SO_3 (Óxidos de Enxofre) - SO_x

- As principais fontes emissoras são os processos de combustão a carvão e outros combustíveis fósseis contendo enxofre, além de vulcões (fonte natural).
- Em menor escala, o SO_2 também é produzido a partir da oxidação do H_2S .
- A maior parte das emissões de compostos de enxofre é SO_2 , que posteriormente reage na atmosfera produzindo SO_3 e H_2SO_4 .

Efeitos dos Óxidos de Enxofre

- Aumenta a ocorrência de doenças respiratórias crônicas, e aumenta o risco de crises agudas de doenças respiratórias
- Provoca danos nas folhas dos vegetais
- Acelera a corrosão de materiais.
- As emissões de SO_2 e suas reações químicas formadoras de H_2SO_4 são os principais responsáveis pelo fenômeno da chuva ácida.

H_2SO_4 (Ácido Sulfúrico)

- Formado a partir dos óxidos SO_2 e SO_3 quando estes são dissolvidos em água.
- O H_2SO_4 é extremamente danoso a saúde e ao meio ambiente devido ao seu grande poder corrosivo.

Concentração de SO_2 no ar (ppm)*	Tempo de exposição	Efeitos sobre a saúde humana, vegetação, materiais e visibilidade.
400	—	Edema pulmonar inflamação nos brônquios
20	—	Irritação nos olhos, tosse em indivíduos adultos saudáveis.
10	10 min.	Espasmos bronquiais
8	—	Irritação na garganta em indivíduos adultos saudáveis
5	10 min.	Aumento da dificuldade respiratória em indivíduos adultos saudáveis em repouso
1	10 min.	Aumento da dificuldade respiratória em asmáticos em repouso e indivíduos adultos saudáveis fazendo exercícios físicos
0.5	10 min.	Aumento da dificuldade respiratória em asmáticos fazendo exercícios físicos
0.5	—	Limiar de percepção de odor do SO_2
0.2	3 horas	Injúria foliar na vegetação
0.19	24 horas	Agravamento de doenças crônicas respiratórias em adultos
0.07	1 ano	Agravamento de doenças crônicas respiratórias em crianças

* 1 ppm de dióxido de enxofre equivale a aprox. 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (298 K, 101,325 kPa)

Compostos de Nitrogênio

Os compostos de Nitrogênio de maior importância ambiental são:

– NH_3

– NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$)

Compostos de Nitrogênio

Os compostos de Nitrogênio têm importância ambiental

- NH_3
- NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$)
- NO_y ←

Usualmente são menos considerados em aplicações de poluição. Porém alguns compostos deste grupo, como o PAN e o HNO_3 , são importantes para o estudo das reações químicas da atmosfera

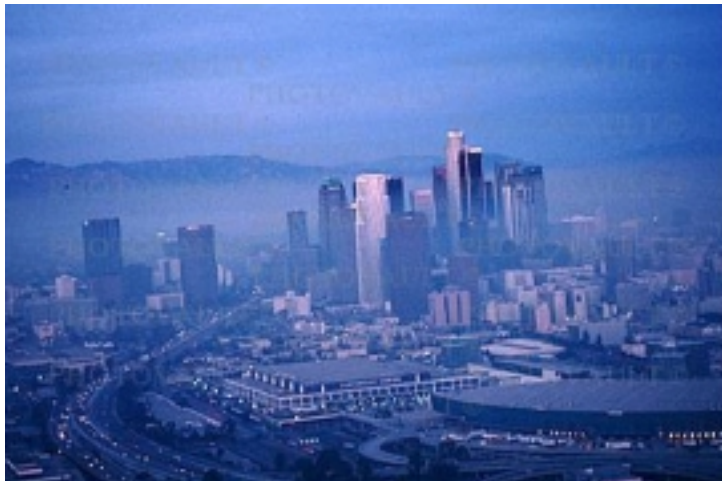
NH_3 (Amônia)

- Formado principalmente da decomposição biológica terrestre, tratamento de efluentes líquidos (esgotos) e processos químicos industriais.
- Além de seu poder corrosivo, o NH_3 é extremamente importante devido a percepção de odor.

NO e NO₂ (Óxidos de Nitrogênio ou NO_x)

- Formado em processos envolvendo altas temperaturas (combustão, por exemplo), devido a reação de oxidação do nitrogênio do ar (principalmente).
- A absorção de NO_x pelo organismo humano esta associada com a formação de ácidos (**reação NO_x + H₂O**), causando irritação nos olhos e mucosas das vias respiratórias, bem como danos nos tecidos pulmonares.
- Além dos danos à saúde o NO_x é ainda responsável pela chuva ácida e “[smog fotoquímico](#)”.

Smog Fotoquímico



Efeito dos óxidos de nitrogênio

- São os precursores dos oxidantes fotoquímicos, como ozônio e PAN's (Peroxi-acetilnitratos).
- Causam decremento da capacidade pulmonar, tosse, desconforto no peito, aumento do número e ataques de asma, dores de cabeça e irritação nos olhos.
- Causa injúrias crônicas nos vegetais.
- Como todo oxidante causa aceleração na deterioração de materiais, principalmente borracha, têxteis e corantes.

Concentração de NO_2 no ar (ppm)*	Tempo de exposição	Efeitos sobre a saúde humana, vegetação, materiais e visibilidade.
300	—	Morte rápida
150	—	Morte após 2 ou 3 semanas por bronquite fibrosa
50	—	Bronquite não fatal reversível
5	15 min.	Redução do transporte normal de gases entre o sangue e os pulmões em adultos saudáveis
2.5	2 horas	Aumento da dificuldade respiratória em adultos saudáveis
2	4 horas	Injúria foliar na vegetação
1.0	15 min.	Aumento da dificuldade respiratória em pessoas com bronquite
0.3	—	Cor castanha no horizonte a 1 km
0.25	Período de crescimento	Redução no crescimento e produtividade de tomateiros e laranjeiras
0.2	8 horas	Tecidos brancos se tornam amarelados
0.1	12 semanas	Desbotamento de cores no nylon
0.05	12 semanas	Desbotamento de cores no algodão e rayon
0.03	—	Cor castanha no horizonte a 10 km
* 1 ppm de dióxido de nitrogênio equivale a 1882 $\mu g/m^3$ (298 K, 101,325 kPa)		

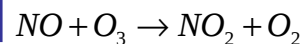
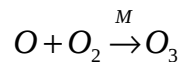
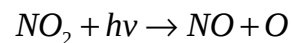
NO e NO₂ (Óxidos de Nitrogênio ou NO_x)

- O **NO** e o **NO₂** participam, juntamente com o ozônio troposférico, do ciclo fotoquímico básico dos óxidos de nitrogênio e ozônio. Este ciclo fotoquímico causa o aumento da concentração de ozônio (**O₃**) troposférico em cerca de 100 a 200 vezes em relação ao ar não poluído. O **O₃** troposférico causa graves problemas respiratórios, destrói a flora e materiais duráveis.

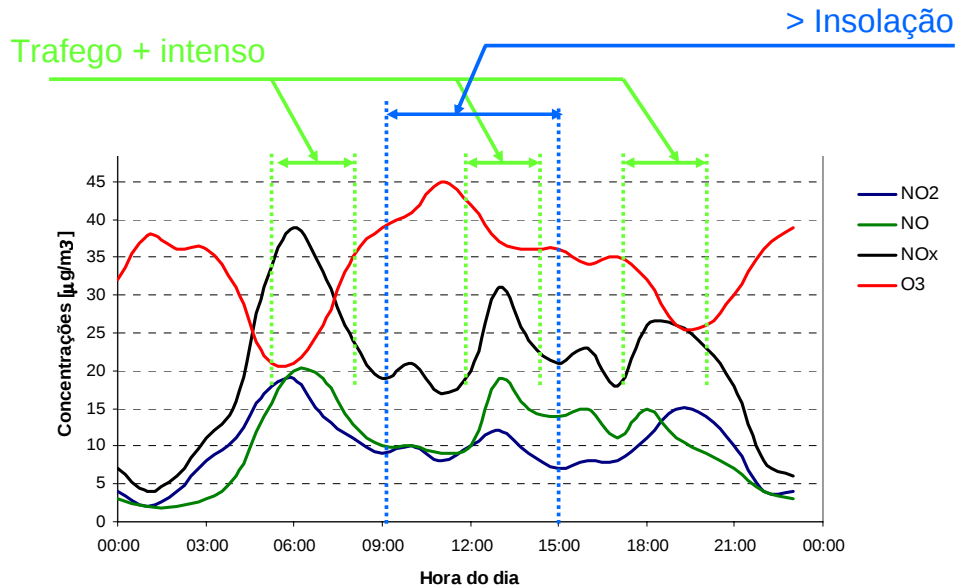
Formação do Ozônio

Quando todas as reações fotoquímicas possíveis são consideradas participam deste ciclo:

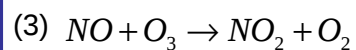
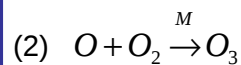
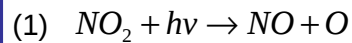
1. Monóxido de nitrogênio (NO)
2. Dióxido de nitrogênio (NO₂)
3. Ozônio (O₃)
4. Monóxido de carbono (CO)
5. Água (H₂O)
6. Radical hidroxil (OH)
7. Metanol (HCHO)
8. Metano (CH₄)



Relação entre as concentrações horárias de NO, NOx , NO₂ e O₃ observadas



Formação do Ozônio



- Apesar de ilustrativas, é importante notar que somente as reações entre NO_x e O₃ não explicam totalmente os altos níveis de ozônio formados na baixa atmosfera, pois não há produção líquida de O₃.
- Reações adicionais envolvendo hidrocarbonetos na atmosfera, são uma fonte adicional de NO₂, gerando mais O₃.

Efeitos do Ozônio

- Decremento da capacidade pulmonar, tosse, desconforto no peito, aumento do número de ataques de asma, dores de cabeça e irritação nos olhos.
- Causa injúrias crônicas nos vegetais.
- Como todo oxidante causa aceleração na deterioração de materiais, principalmente borracha, têxteis e corantes.

Concentração de O_3 no ar (ppm)*	Efeitos sobre a saúde humana e vegetação
10.0	Edema pulmonar grave; possível bronquite aguda; decréscimo na pressão sanguínea; rápida perda de <u>pulso</u>
1.0	Tosse; fadiga extrema; perda de coordenação; aumento da dificuldade respiratória; diminuição do volume de ar <u>expirado</u>
0.5	Constricção no peito; diminuição da capacidade de difusão de CO ; decréscimo da função pulmonar em <u>repouso</u>
0.3	Dor de cabeça; desconforto no peito suficiente para impedir complemento de exercícios físicos; decréscimo da função pulmonar em <u>exercícios físicos</u>
0.25	Aumento na incidência e gravidade de ataques de asma; irritação moderada dos <u>olhos</u>
0.15	Para indivíduos sensíveis, redução na capacidade pulmonar; desconforto no peito; irritação do trato respiratório; tosse e chiado.
0.03	Limiar de injúria na vegetação
* 1 ppm de ozônio equivale a $1960 \mu g/m^3$ (298 K, 101,325 kPa)	

Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

- O termo COV é usado para designar todos os compostos de orgânicos gasosos na atmosfera. Neste grupo podemos destacar:
 - [Dioxinas](#)
 - [Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos \(PAHs\)](#)
 - [Benzeno](#)
 - Aldeídos
 - Metano

Dioxinas

- Nome genérico de compostos de hidrocarbono e cloro, liberados na atmosfera quando da produção de algumas substâncias conservantes de madeira e pesticidas e quando da incineração de alguns tipos de plástico (PVC'S) e pneus.
- **Riscos à Saúde:** Comprovadamente carcinogênico (causa câncer) e teratogênico (causa malformações estruturais no feto, baixo peso e/ou disfunções metabólicas e biológicas). Pode afetar o sistema imunológico, cardiovascular, endócrino, gastrointestinal, respiratório e reprodutivo.



Benzeno

- Usado em lubrificantes, peças automotivas, tintas seladoras e preparados de lavanderias.
- É emitido para a atmosfera principalmente por evaporação.
- **Riscos à Saúde:** Comprovadamente carcinogênico (causa câncer), teratogênico (causa malformações estruturais no feto, baixo peso e/ou disfunções metabólicas e biológicas) e tóxico para o sistema reprodutivo (causa disfunções sexuais, abortos e infertilidade). Também pode provocar deficiências imunológicas e disfunções neurológicas.



Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)

- Em virtude do seu potencial carcinogênico, os compostos policíclicos aromáticos são de grande interesse.
- Os PAHs se formam a partir da queima incompleta de substâncias orgânicas.
- Na fumaça do cigarro foram encontrados 280 diferentes tipos de PHAs e no escapamento de veículos 146.
- Os PAHs formados nos processos de combustão são adsorvidos principalmente em partículas de poeira e de fuligem. Dependendo da temperatura e da pressão do vapor, eles permanecem na atmosfera, em parte na forma gasosa.



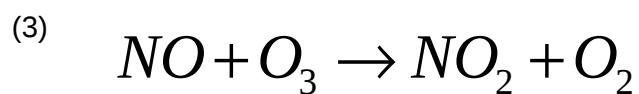
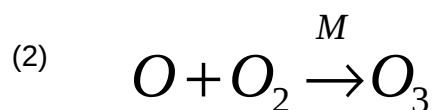
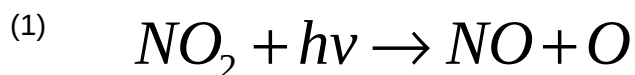
Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

- Muitos dos COV's emitidos para a atmosfera são **carcinogênicos** (como as dioxinas e PAHs).
- A maioria dos COV's causa irritação nos olhos e são grandes responsáveis pela percepção do odores (em conjunto com os compostos de enxofre).
- Participam de maneira importante nas reações que levam a formação de O_3 na baixa atmosfera.

Formação do Ozônio

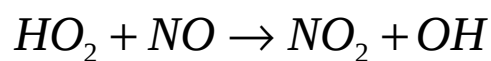
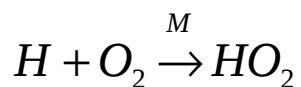
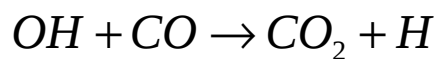
- As reações entre NO_x e O_3 não geram níveis elevados de O_3 , pois a maior parte do NO_x emitido é NO e não NO_2 . Com base apenas nas reações entre NO_x e O_3 , o NO_2 (que produz O_3) só é gerado através da destruição do O_3 , não havendo produção líquida de O_3 .
- Reações adicionais envolvendo hidrocarbonetos e o CO na atmosfera, são uma fonte adicional de NO_2 , gerando mais O_3 .

Reações entre NOx e O₃



Formação do Ozônio (papel dos COV's e CO)

- A oxidação do NO para NO₂ na atmosfera está bastante ligada a presença dos radicais OH e HO₂ na atmosfera (que são gerados por reações iniciadas pela radiação solar). Um exemplo simplificado destas reações pode ser dado pelo CO:

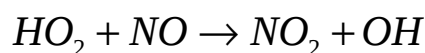
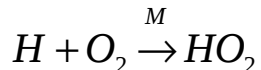
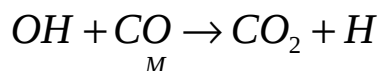


Formação do Ozônio (papel dos COV's e CO)

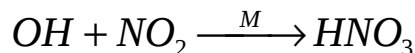
- O radical OH é a chave para o processos de criação do O₃. A reacção (CO + OH) ou (COV + OH) inicia a sequência que leva ao O₃. Para COV's mais complexos várias reacções intermediárias estão envolvidas, passando pela formação de radicais alquil, alquil peroxil, aldeídos e H₂O.



- É importante notar que este ciclo tem o potencial de elevar consideravelmente os níveis de O₃ na atmosfera, pois o radical OH inicia a cadeia de reacções e depois se regenera para iniciar um novo ciclo.



- Entretanto reacções concorrentes removem o radical OH e o NO₂ do ciclo limitando a formação do O₃



Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

- São emitidos principalmente de 2 formas:
 - Como resíduos de combustão incompleta de combustíveis fósseis, plásticos e outros compostos de carbono.
 - Evaporação de reservatórios ou em processos de fabricação, pois são bastante voláteis de maneira geral.
- Quando formados em processos de combustão podem ser adsorvidos principalmente em partículas de poeira e de fuligem. Dependendo da temperatura e da pressão do vapor, eles permanecem na atmosfera, em parte na forma gasosa.

CO (Monóxido de Carbono)

- Emitido principalmente em processos de combustão e em menor escala por processos de siderúrgicos.
- Interfere no transporte de oxigênio pelo sangue, combinando-se com a moléculas de hemoglobina. A longo prazo reduz a capacidade aeróbia do organismo e agrava doenças cardiovasculares.
- A exposição a concentrações elevadas é letal.

CO₂ (Dióxido de Carbono)

- Emitido principalmente em processos de combustão em geral e em menor escala por processos de siderúrgicos.
- É apontado como um dos principais causadores do “**Efeito Estufa**”, pois o aumento de sua concentração na atmosfera possibilita uma maior absorção da radiação solar causando um aumento global de temperatura.

CFC's (Cloro Fluor Carbonos)

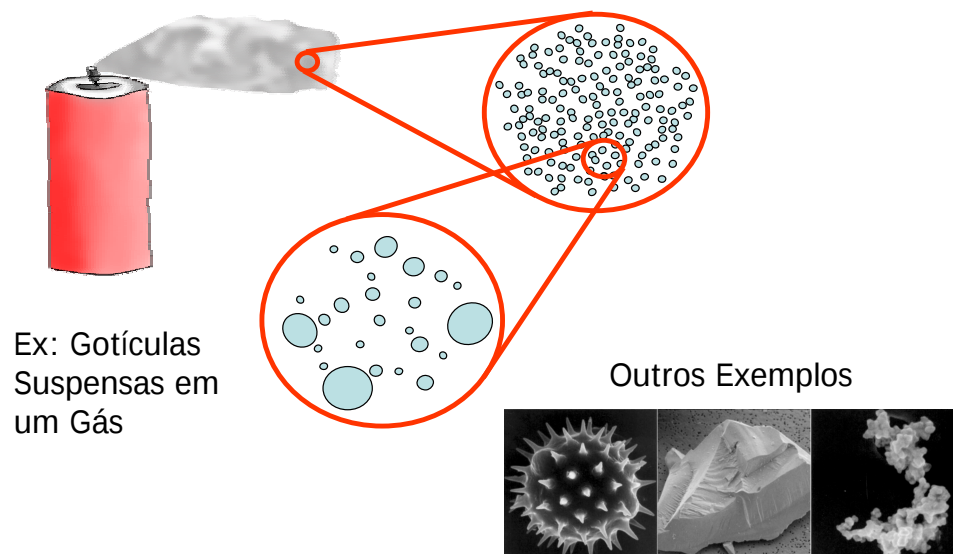
- Conhecidos como os destruidores da camada de ozônio.
- Os CFC eram bastante utilizados como propelente para aerossóis, líquidos refrigerantes e na fabricação de alguns plásticos.
- Os CFC são compostos altamente estáveis (dai sua grande aplicação industrial), que permanecem inertes na atmosfera por um longo período de tempo até que os movimentos de circulação da atmosfera os levem para altitudes mais elevadas. Em grandes altitudes (na estratosféra), onde a radiação solar é mais intensa, os CFC's se decompõem liberando átomos de Cl que são grandes destruidores de O₃.

Material Particulado

- Também chamado de partículas em suspensão ou aerossóis.
- Grupo de substâncias ou materiais no estado sólido ou líquido, cujas dimensões são suficientemente pequenas para se manter em suspensão na atmosfera durante algum tempo.
- O tempo de permanência destas partículas na atmosfera esta relacionado com o seu tamanho e densidade.

O que é um AEROSOL?

Sistema de Partículas Suspensas em um Gás

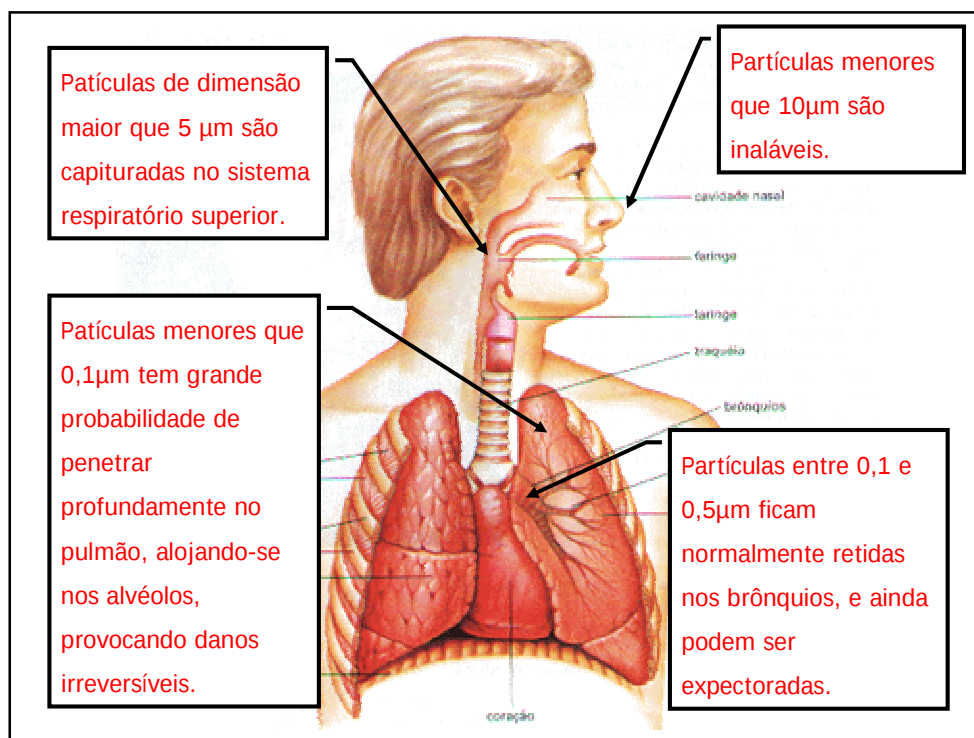


Tamanho das Partículas em Sistemas de Aerossóis

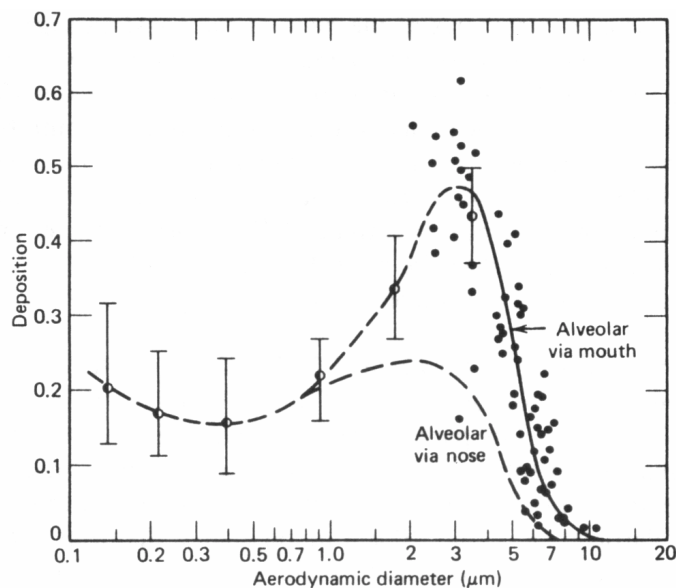
- TAMANHO TÍPICO DE AEROSSÓIS: aglomerados moleculares com alguns poucos nanômetros até décimos de mm.

0,001 – 100 microns onde $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

- O AEROSOL mais comum é o AR AMBIENTE.
- O TAMANHO DA PARTÍCULA DETERMINA, por exemplo:
 - Probabilidade de deposição no sistema respiratório.
 - Propriedades de transporte = Tempo de residência.
 - Espalhamento de luz (Aquecimento Global, Visibilidade).
 - O método de tratamento necessário, etc...



Deposição de Partículas na Região dos Alvéolos Respiração Bucal vs. Nasal

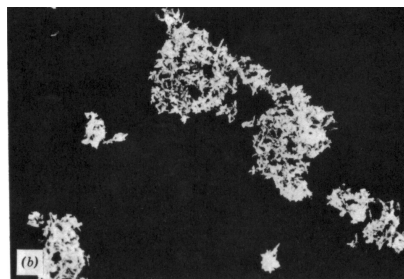
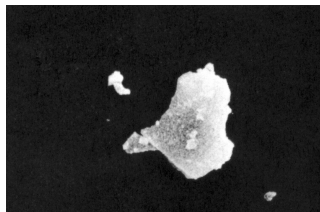


Material Particulado

A legislação ambiental prevê 3 parâmetros para caracterizar a presença de particulados na atmosfera :

- PTS (partículas totais em suspensão)
- PM₁₀ (partículas inaláveis)
- Fumaça

Geração de Partículas



Principais Fontes de Material Particulado

- Fontes naturais
 - finos e poeiras provenientes do solo
 - sal marinho
 - cinzas vulcânicas
- Fontes antropogênicas
 - cinzas dos processos de combustão
 - finos e poeiras gerados em processos industriais
 - hidrocarbonetos não queimados (fuligem)
 - Formação de sulfatos, nitratos e ácidos a partir da emissão de NO_x e SO_x .
 - Aglomeração de moléculas e condensação de gases na atmosfera

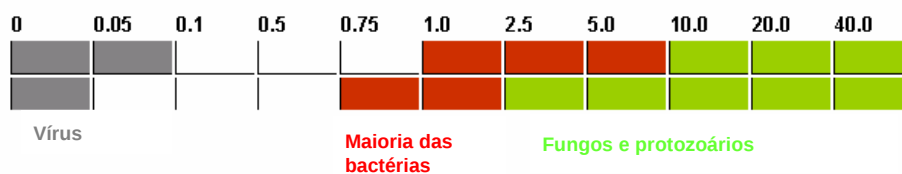
Bio aerosóis

Bioaerosóis:

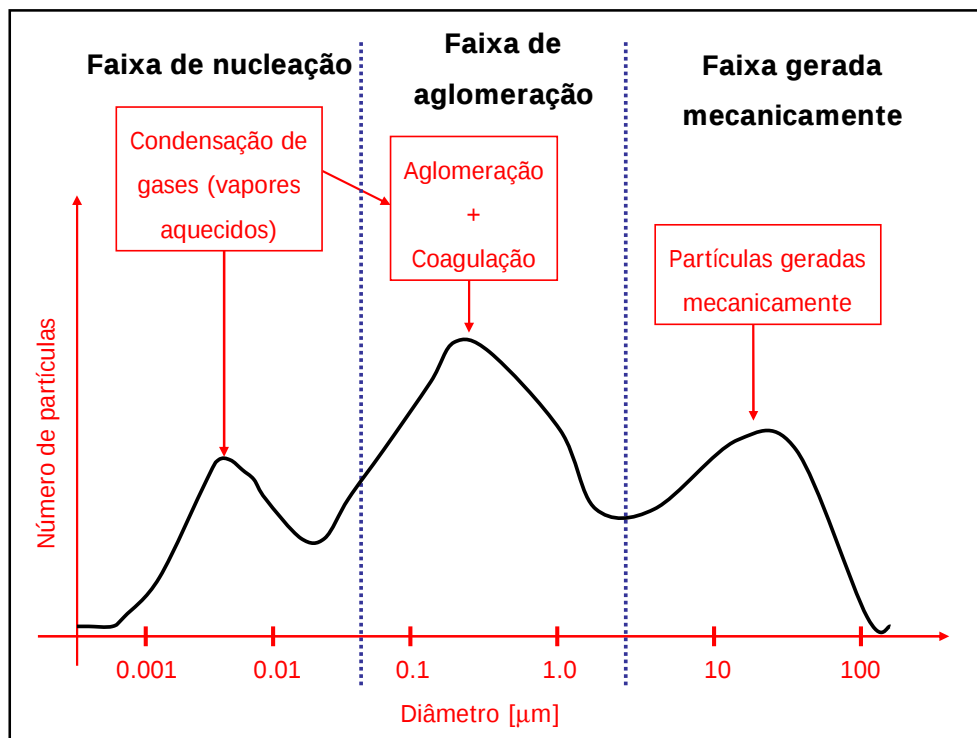
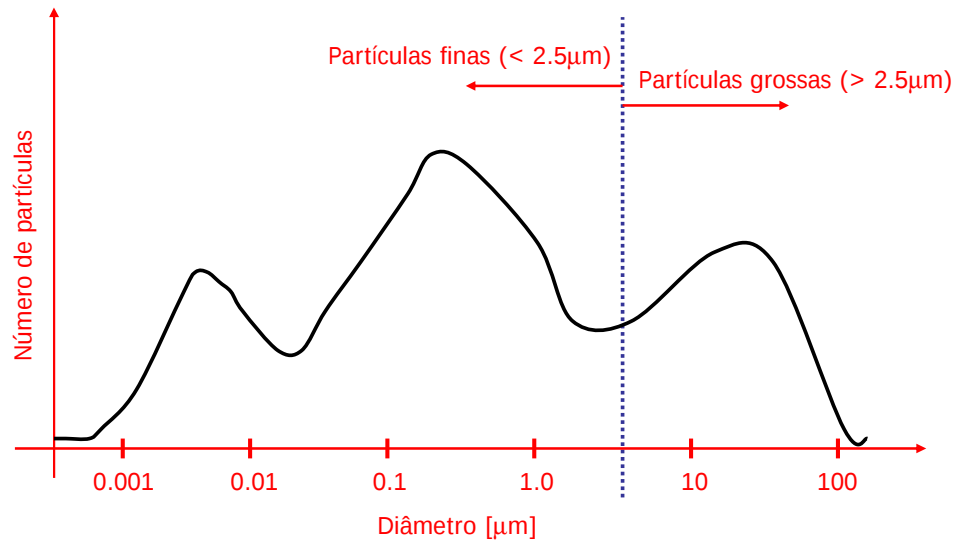
- Microorganismos
 - Bactérias
 - Vírus
 - Fungos
- Biotoxinas (toxinas produzidas por microbios)

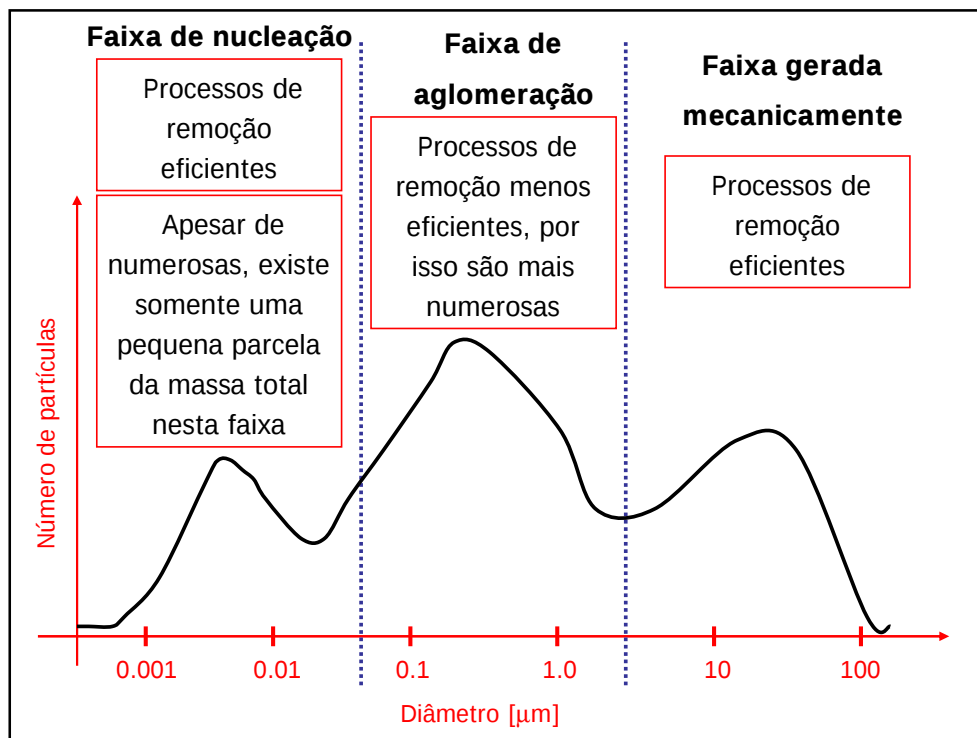
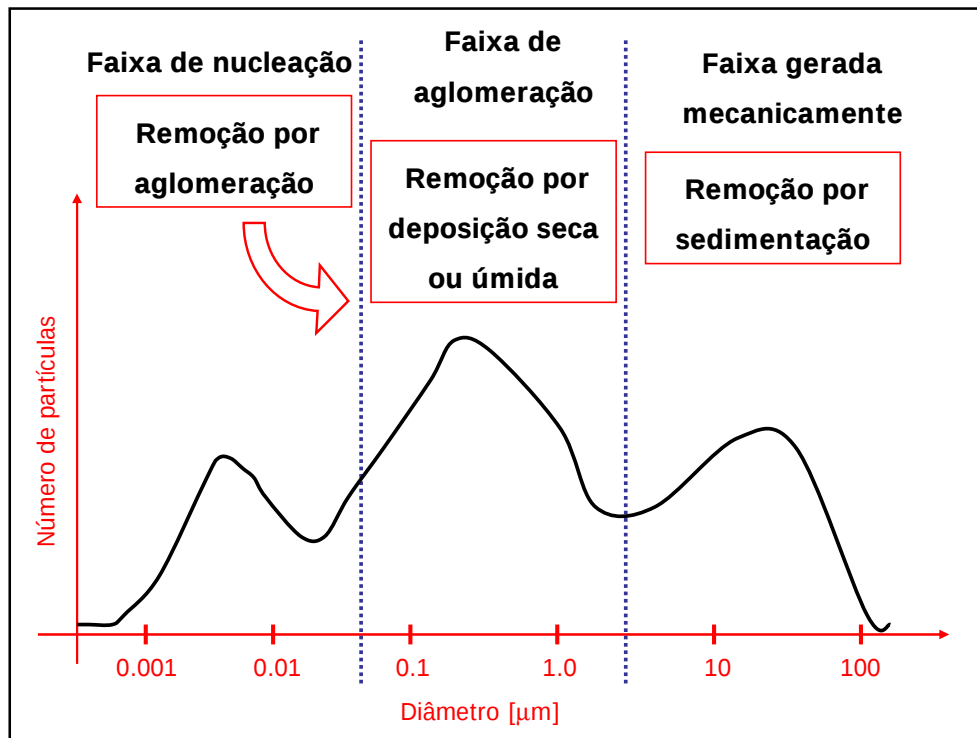
Bio aerosóis

Tamanho da célula (μm)

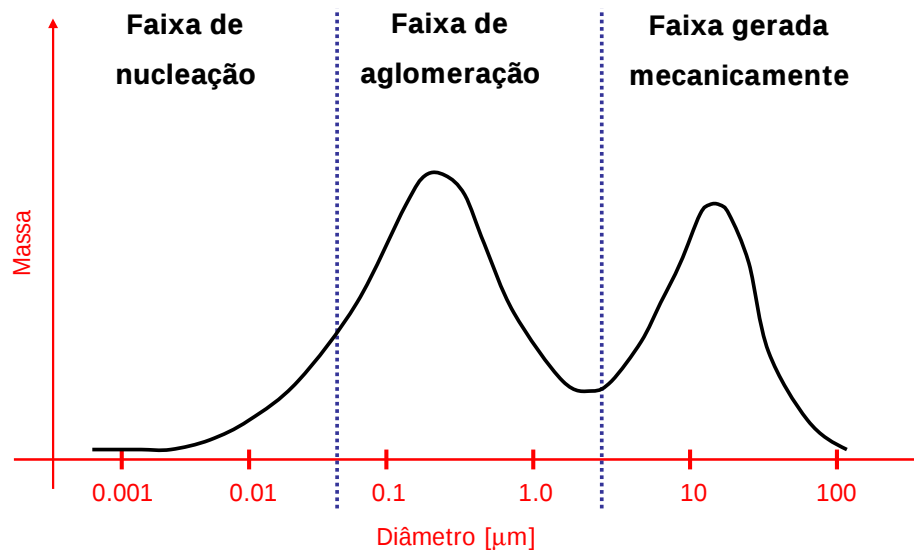


Caracterização do tamanho das partículas na atmosfera



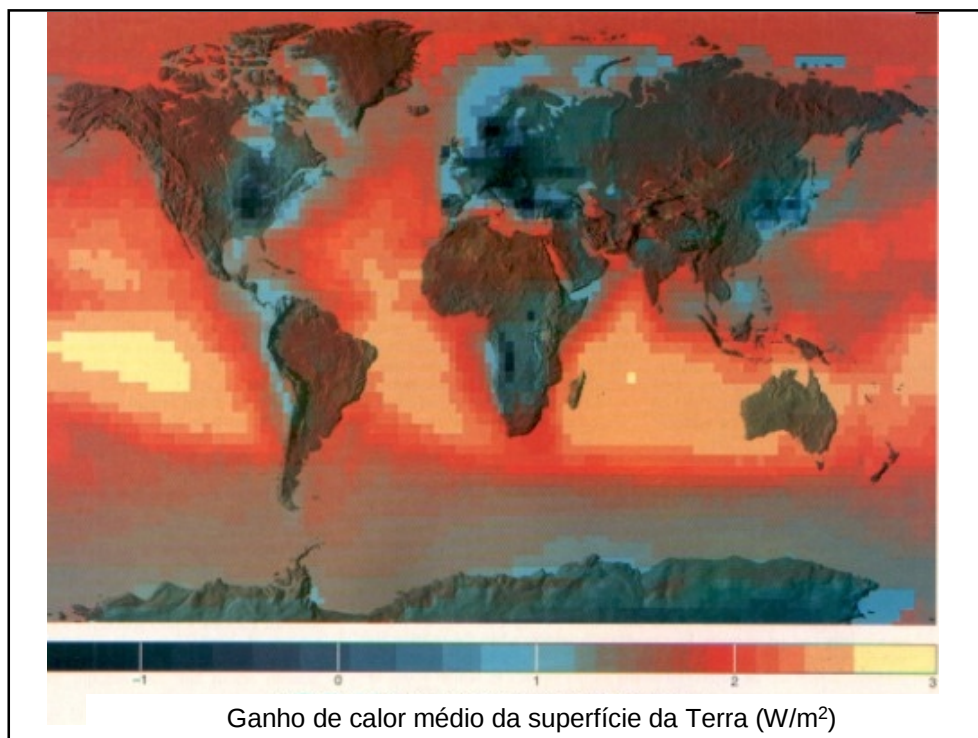
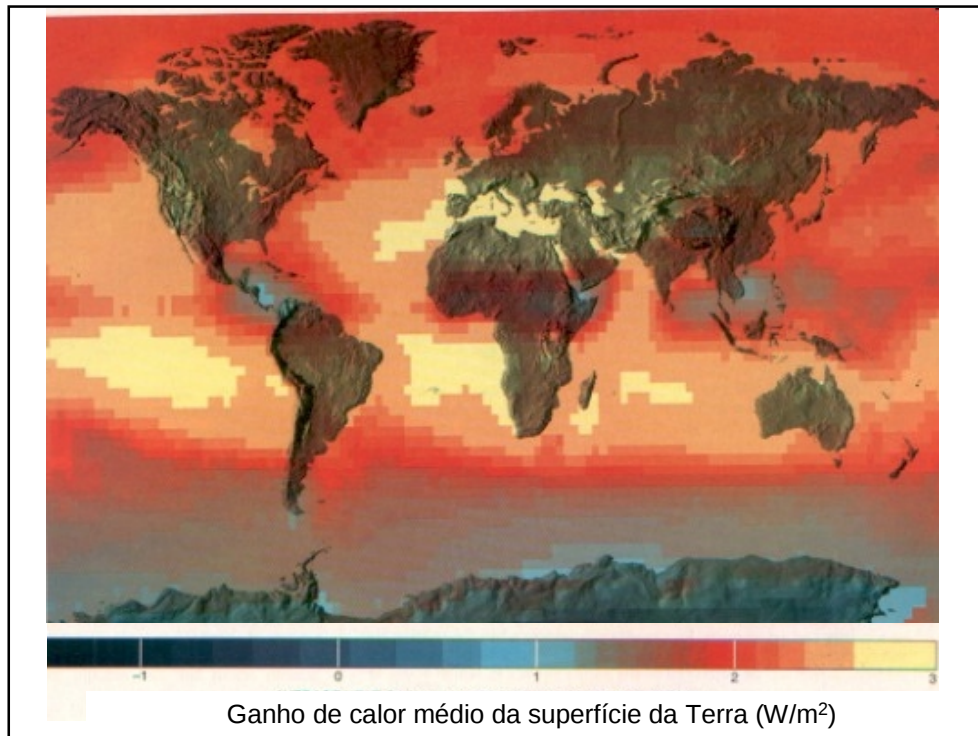


Distribuição de massa das partículas na atmosfera (aerosol típico urbano)



Efeito dos Materiais Particulados

- Aumentam o risco de ocorrência de doenças respiratórias crônicas e crises agudas respiratórias.
- Reduz a capacidade de absorção de radiação solar da terra (efeito contrário ao efeito estufa).



Sumário dos principais poluentes do ar e suas fontes				
Modalidades de Fontes		Tipos de Fontes		Poluentes
Antropogênicas	FIXAS	Processos Industriais		MP, SOx, NOx, CO, HC
		Caldeiras, Fornos e Aquecedores		MP, SOx, NOx, CO, HC
		Construção Civil		MP
		Queima ao Ar Livre e Queimadas		MP, SOx, NOx, CO, HC, Fumaça
		Exploração, Beneficiamento, Movimentação e Estocagem de Materiais Fragmentados		MP
	MÓVEIS	Tipo de Veículo/Fonte	Tipo de Combustível	
		Avião	Gasolina de aviação e/ou querosene	NOx, HC, MP
		Navios e Barcos	Diesel / Óleo Combustível	MP, SOx, NOx, CO, HC
		Caminhão e Ônibus	Diesel	MP, SOx, NOx, CO, HC
		Automóveis e Motocicletas	Gasolina / Álcool	MP, NOx, CO, HC, Aldeídos
Naturais	Tipos de Fontes			
	Oceânica			MP
	Decomposição Biológica			SOx, H ₂ S, HC, Compostos de Enxofre
	Praias e Dunas			MP
	Queimadas			MP, SOx, NOx, CO, HC
	Erosão Eólica do Solo e Superfícies			MP
SOx - Óxidos de Enxofre; NOx - Óxidos de Nitrogênio; CO - Monóxido de Carbono; HC - Hidrocarbonetos; MP - Material Particulado e H ₂ S - Ácido Sulfídrico				

Padrões de Qualidade do Ar

Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

Fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública.

Avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas.

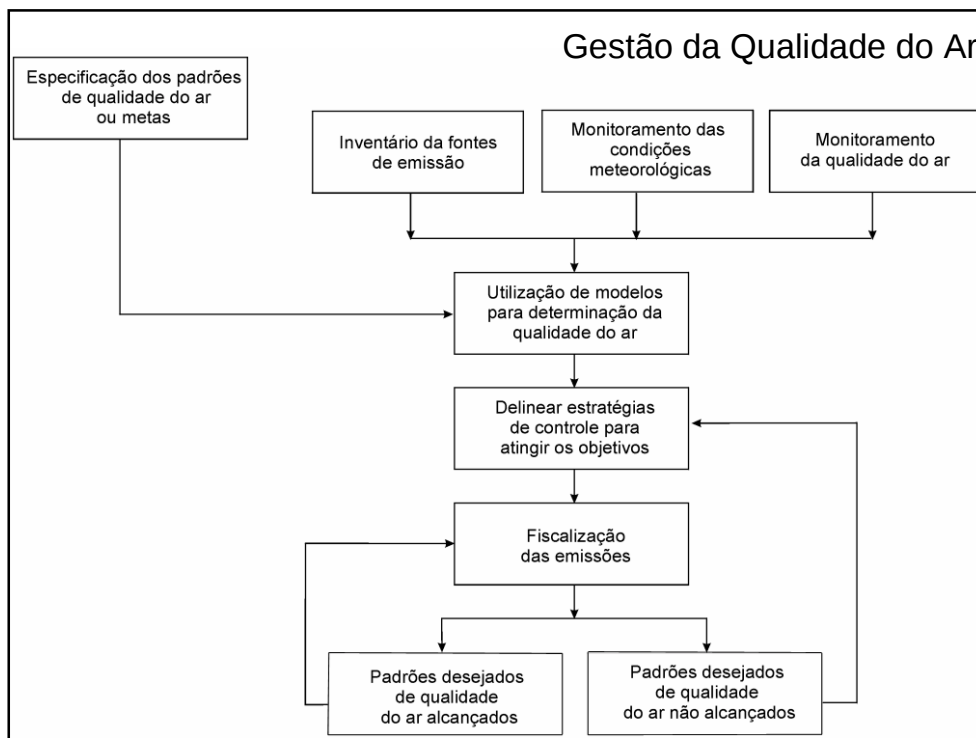
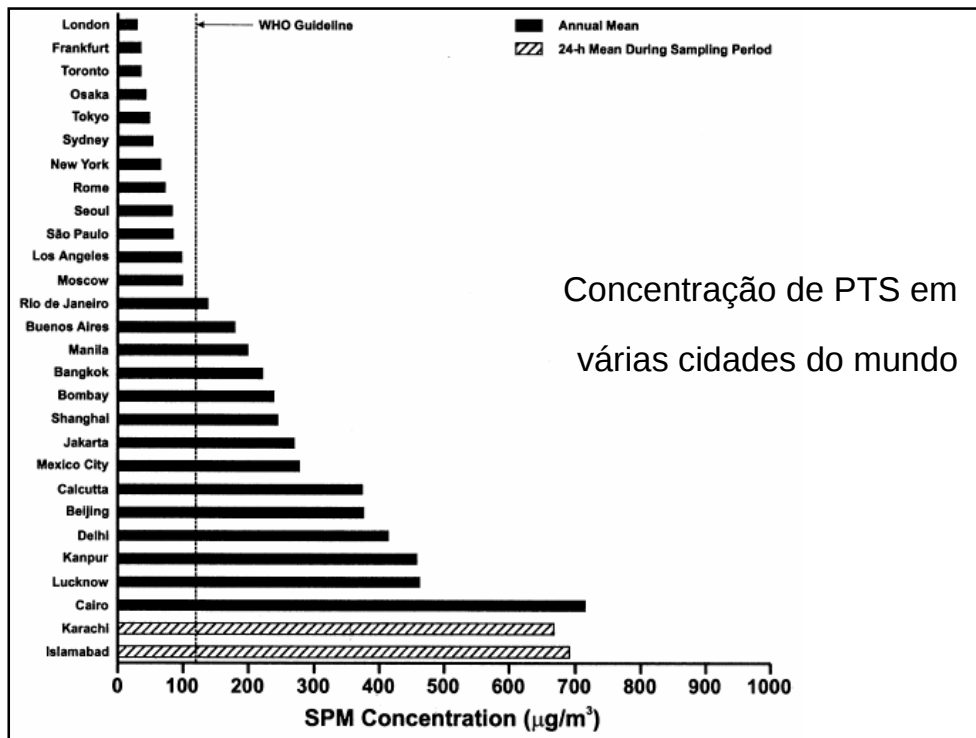
Acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões dos poluentes.

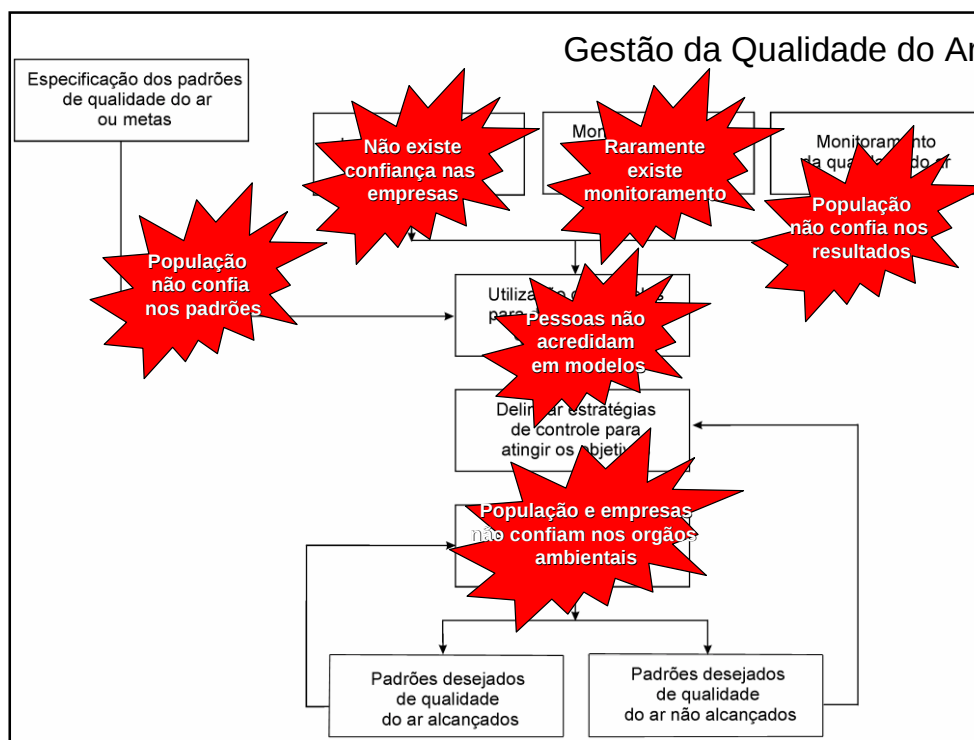
Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário µg/m ³	Padrão secundário µg/m ³	Método de medição
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1) MGA (2)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Dióxido de Enxofre	24 horas MAA (3)	365 80	100 40	Pararosanilina
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas	40.000 35 ppm 10.000 (9 ppm)	40.000 35 ppm 10.000 (9 ppm)	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas (1) MAA (3)	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas (1) MAA (3)	150 50	150 50	Separação Inercial / Filtração
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1) MAA (3)	320 100	190 100	Quimiluminescência

Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Res. CONAMA nº 3 de 28/06/90)

PARÂMETROS	NÍVEIS		
	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Dióxido de Enxofre (µg/m ³) - 24 h	800	1.600	2.100
Partículas Totais em Suspensão (PTS) (µg/m ³) - 24 h	375	625	875
SO ₂ X PTS (µg/m ³)(µg/m ³) - 24 h	65.0000	261.00	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio (µg/m ³) - 1 h	400*	800	1.000
Partículas Inaláveis (µg/m ³) - 24 h	250	420	500
Fumaça (µg/m ³) - 24 h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio (µg/m ³) - 1 h	1.130	2.260	3.000





Efeitos da qualidade do ar na saúde humana
(Estudo efetuado na cidade de São Paulo – SO₂)

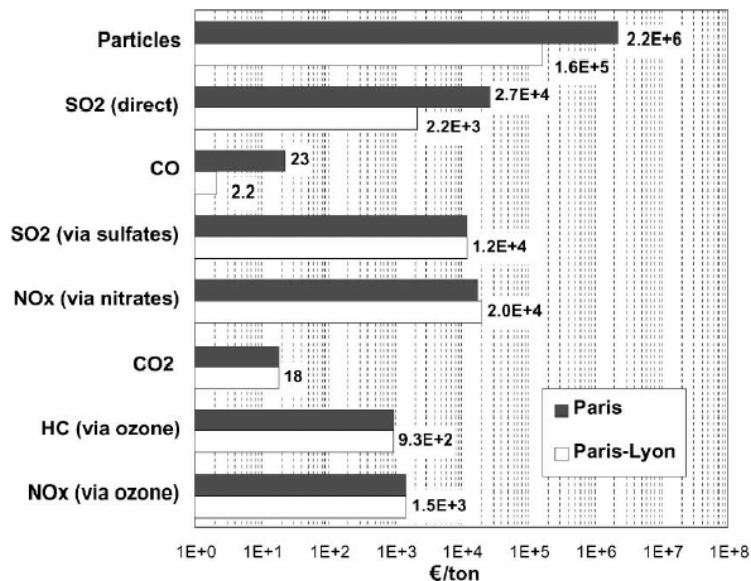
	Juquitiba 1986, 140 children		Osasco 1986, 108 children		Tatuapé 1986, 145 children	
	N	%	N	%	N	%
<i>Symptom/disease</i>						
Cough (tosse)						
Apart from colds	16	11.4	33	30.6	30	26.2
Most days	7	5.0	9	10.2	14	9.7
Phlegm (catarro)						
Apart from colds	12	8.6	16	14.8	31	21.4
Most days	11	7.9	11	10.2	23	15.9
Congested Chest + 1 week/year	15	10.7	17	15.7	35	24.1
Wheezing (chiado na respiração)						
Apart from colds	16	11.4	19	17.6	25	17.2
Most days	10	7.1	6	5.6	14	9.7
With shortness of breath	13	9.3	19	17.6	30	20.7
Two or more episodes	8	5.7	12	11.1	14	9.7
Required medicine	5	3.6	13	12.0	17	11.7
Breathing abnormal interval	5	3.6	10	9.3	15	10.3
After exercising	18	12.9	15	13.9	26	17.9
Chest illness						
Out of activity 3 days	5	3.6	10	11.4	22	15.2
With more phlegm	5	3.6	3	2.8	17	11.7
Hospital before 2 years old	17	12.1	10	9.2	16	11.1

Área sem contaminação

Área atende os padrões de qualidade do ar

Área acima dos padrões de qualidade do ar

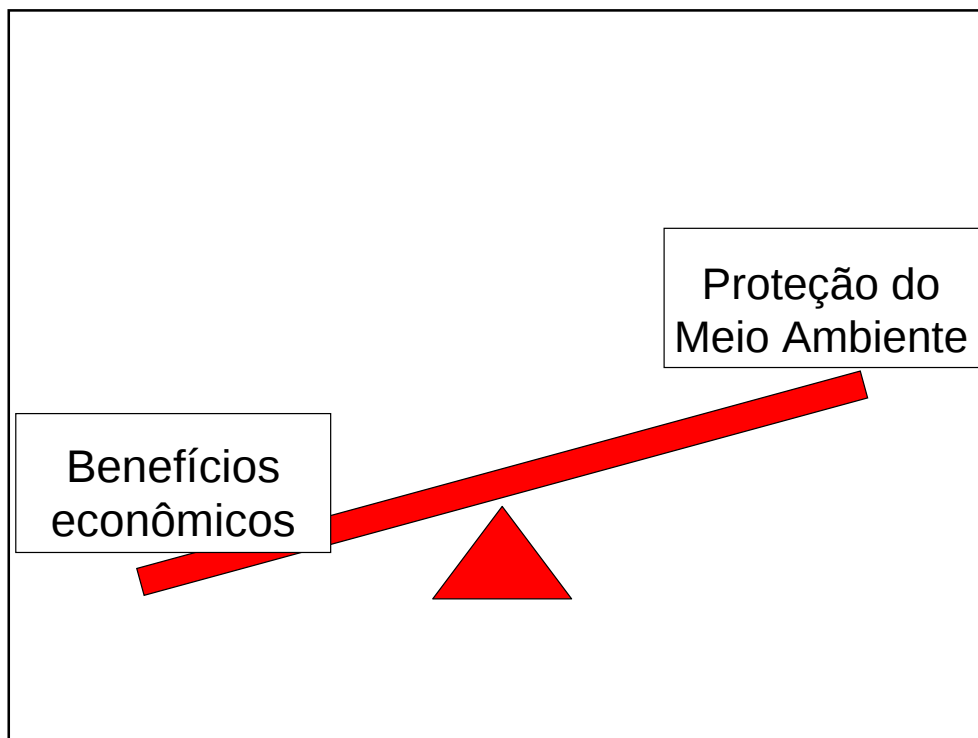
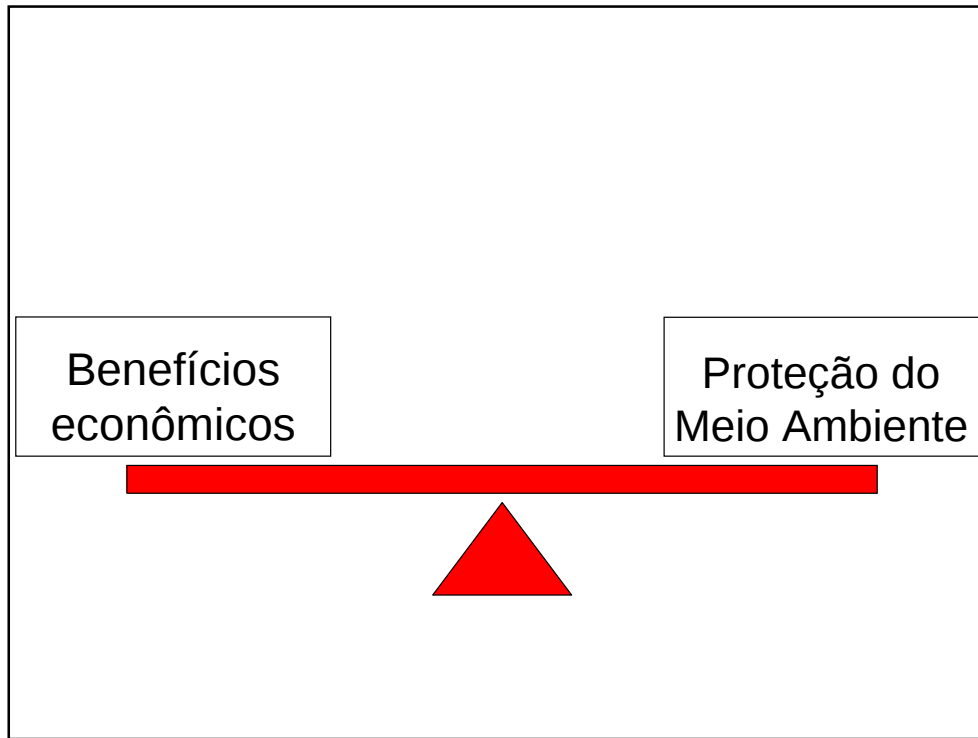
Custo dos danos causados pela emissão de poluentes na Comunidade Européia (Rabl & Eyre, 1998), incluindo efeitos a saúde humana, vegetação e edificações.

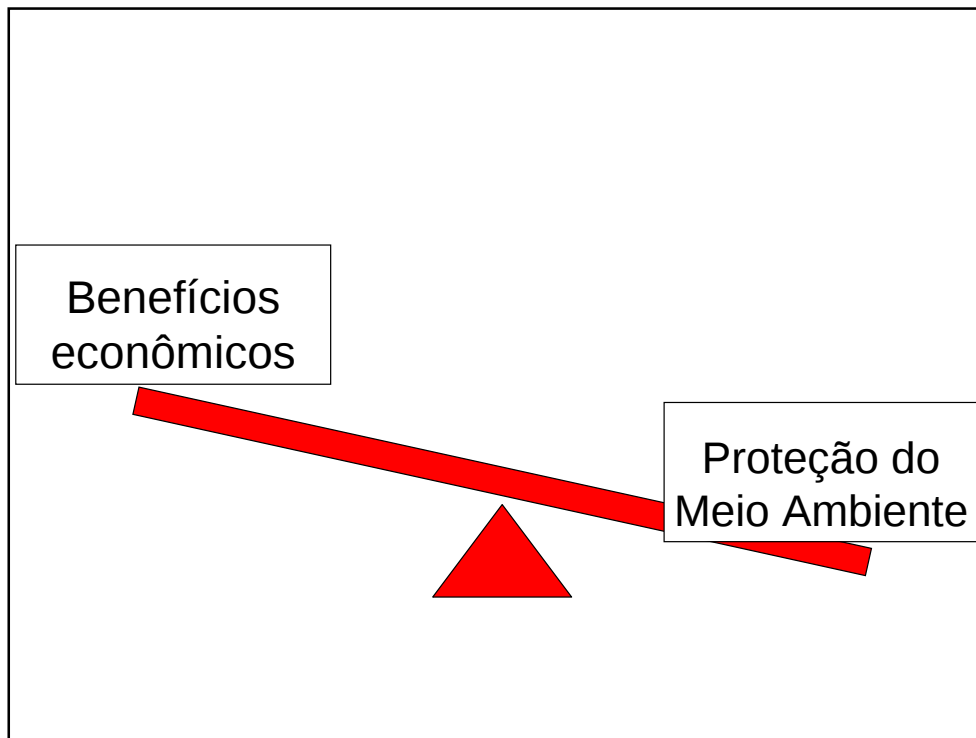


Custo dos danos causados pela emissão de poluentes (Spadaro & Rabl, 2001).

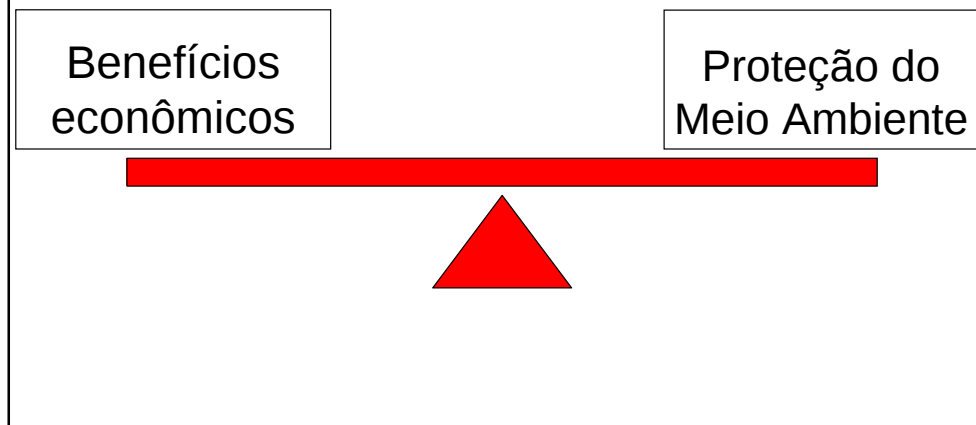
Efeito à saúde	ERF	Poluente	Custo unitário (€/caso)
Restricted activity days (adults)	1.9×10^{-2} 3.2×10^{-2}	(Nitrates) (PM, Sulfates)	75
Asthmatics (adults) ^d	1.0×10^{-1} 1.7×10^{-1}	(Nitrates) (PM, Sulfates)	7.5
Respiratory hospital admissions	2.1×10^{-6} 3.5×10^{-6} 2.0×10^{-6}	(Nitrates) (PM, Sulfates) (SO ₂)	7870
Cerebrovascular hospital admissions	5.0×10^{-6} 8.4×10^{-6}	(Nitrates) (PM, Sulfates)	7870
Congestive heart failure (elderly)	2.4×10^{-6} 4.0×10^{-6} 7.0×10^{-8}	(Nitrates) (PM, Sulfates) (CO)	7870
Bronchitis (children)	3.9×10^{-4} 6.5×10^{-4}	(Nitrates) (PM, Sulfates)	225
Chronic cough (children)	5.0×10^{-4} 8.3×10^{-4}	(Nitrates) (PM, Sulfates)	225
Asthmatics ^d (children)	1.9×10^{-1} 3.2×10^{-1}	(Nitrates) (PM, Sulfates)	7.5

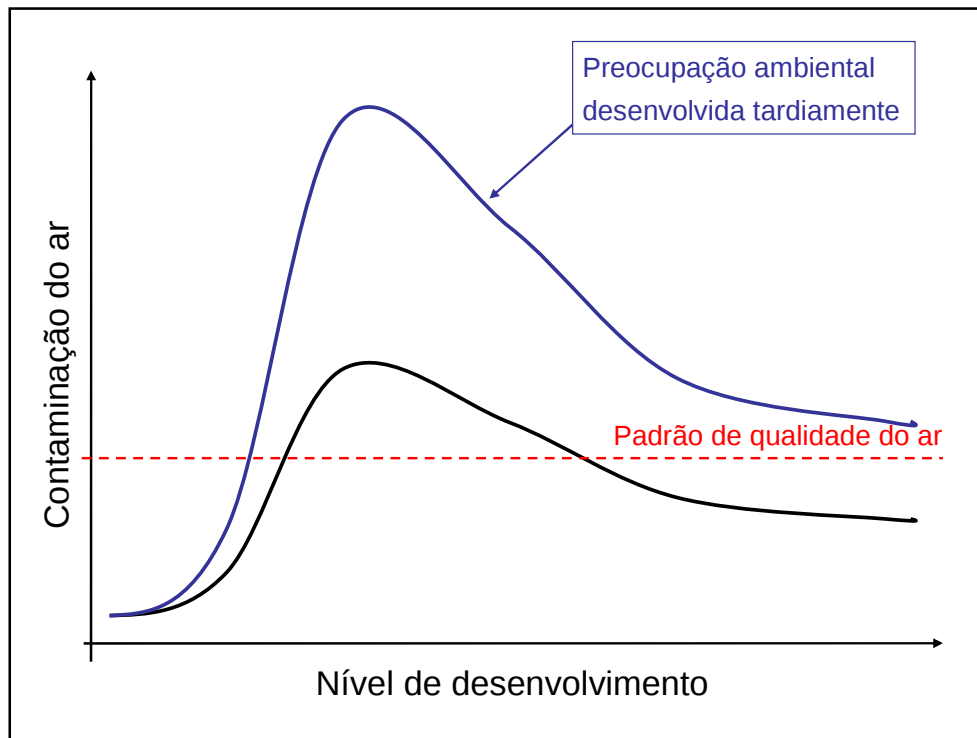
^a ERF has units of cases/yr per person per concentration (micrograms/m³).
^b In 1995, 1 € was equal to US \$1.25.
^c YOLL = Years Of Life Lost.





Desenvolvimento econômico e proteção ambiental não são duas forças antagônicas que devem ser balanceadas.





Principais fatores que induzem à preocupação ambiental

- Fatores sociais:
 - Qualidade de vida e saúde da população a curto, médio e longo prazo.
- Fatores econômicos:
 - Produção mais limpa = Produção mais eficiente
 - Exigência do mercado consumidor (Selos de Certificação Ambiental, ex.: ISO 14000)