

Monitoramento da Qualidade 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/>>.

Módulo I



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

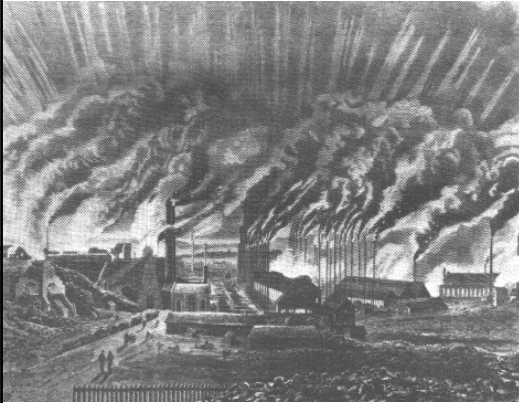
Principais indústrias

- 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

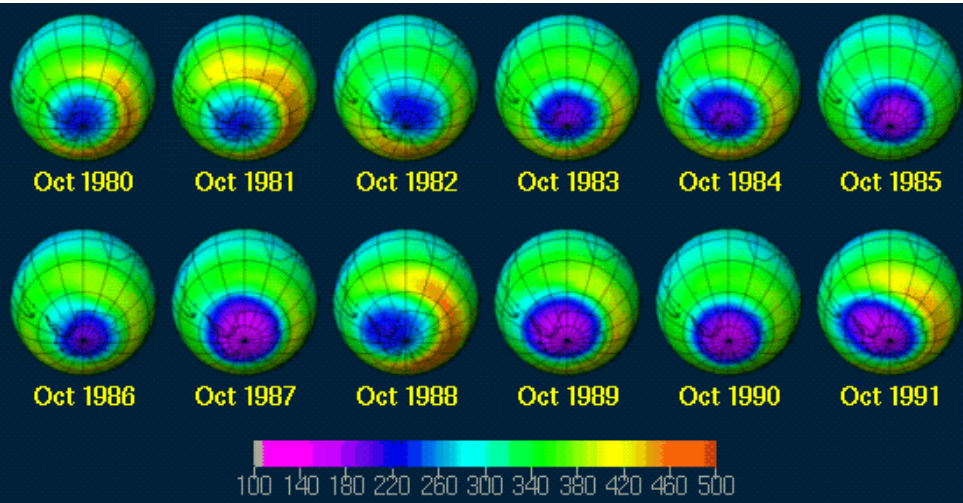
- Em 1952, ocorreu o maior incidente relacionado a poluição do ar em Londres com cerca de 4000 mortes.
- Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo em 1972.
- Principal atenção foi dada ao controle de emissão de poluentes por veículos automotores (remoção de SOx dos 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

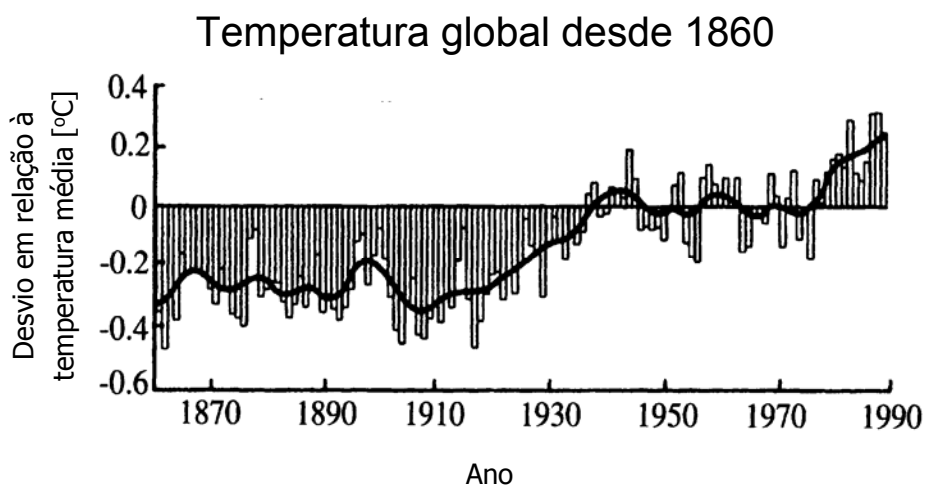
1980-1999

- 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

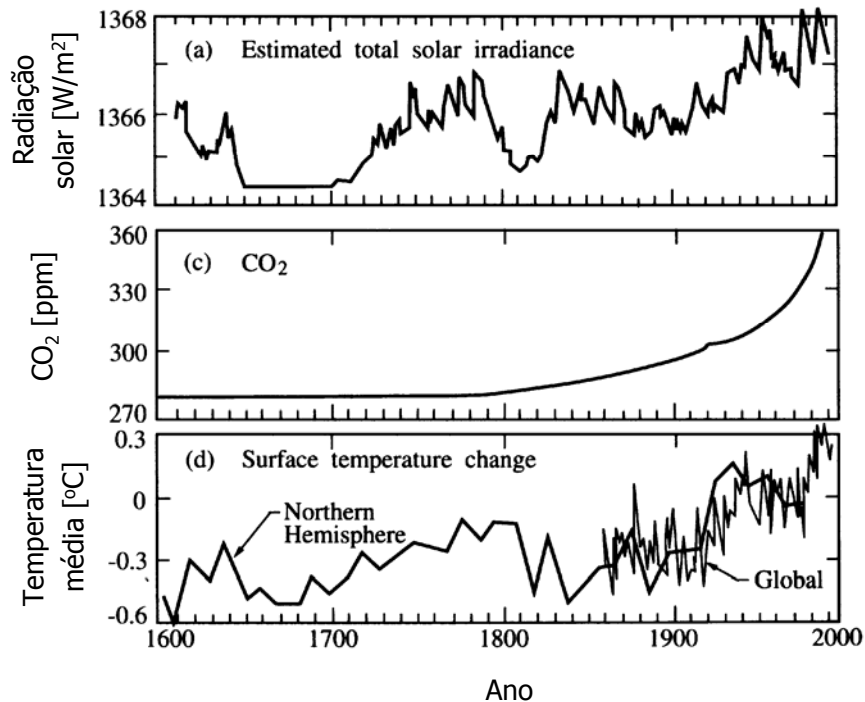
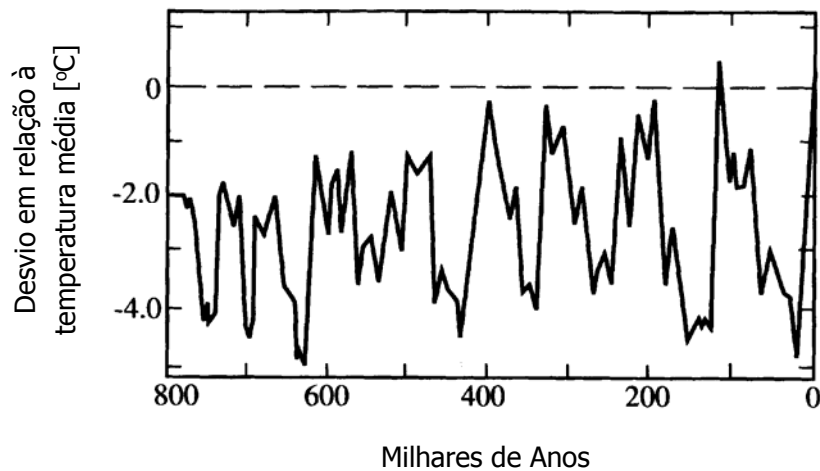


Efeito Estufa



Efeito Estufa

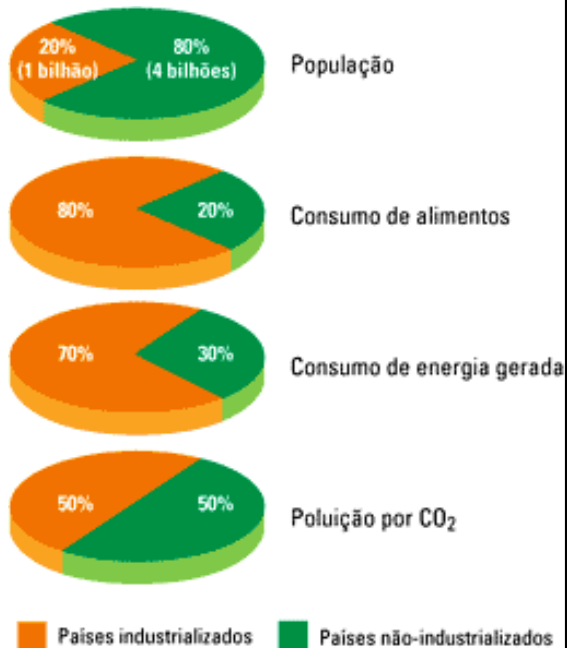
Temperatura global nos últimos 800 mil anos



ECO 92

Pontos polêmicos:

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

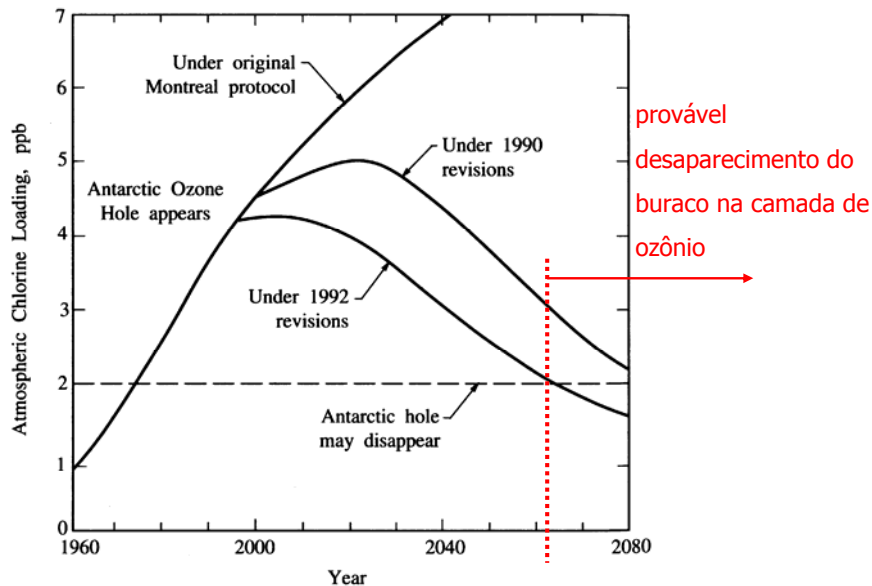


ECO 92

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

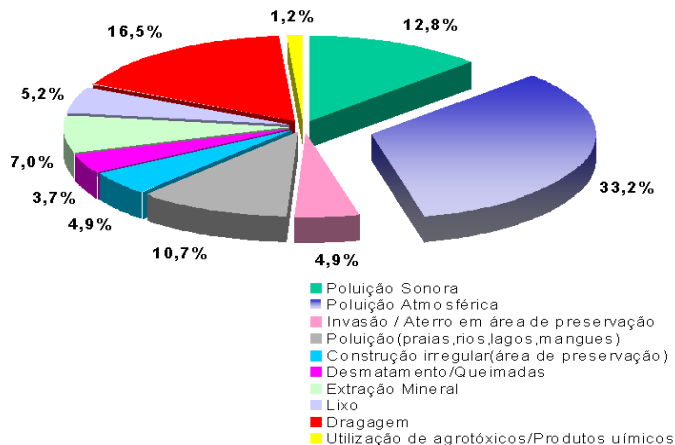
- O Protocolo de Quioto prevê como meta geral a redução da emissão de gases de efeito estufa em 5,2% entre 2008 e 2012, com base nos níveis de 1990. Esta redução deve ser feita pelos países industrializados que podem, como forma de compensação de metas, comprar créditos de carbono gerados por projetos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

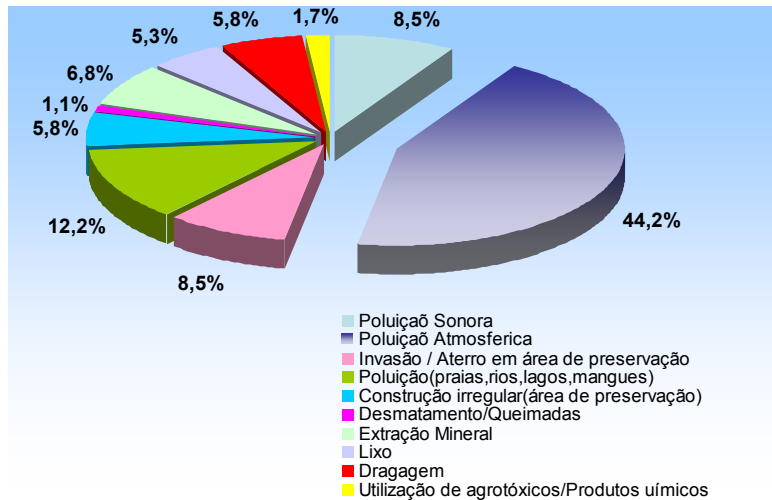
Panorama Local

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 (µg/m³):

• N ₂	8.95x10 ⁸	• CH ₄	7.87x10 ²
• O ₂	2.74x10 ⁸	• Kr	3.43x10 ³
• Ar	1.52x10 ⁷	• NO _x	9.00x10 ²
• CO ₂	5.67x10 ⁵	• H ₂	4.13x10 ¹
• Ne	1.49x10 ⁴	• Xe	4.29x10 ²
• He	8.50x10 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

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

$c_{[\mu\text{g}/\text{m}^3]}$	concentração dada em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$c_{[ppm]}$	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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 = 1.0133×10^5 Pa

48 gramas

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

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.

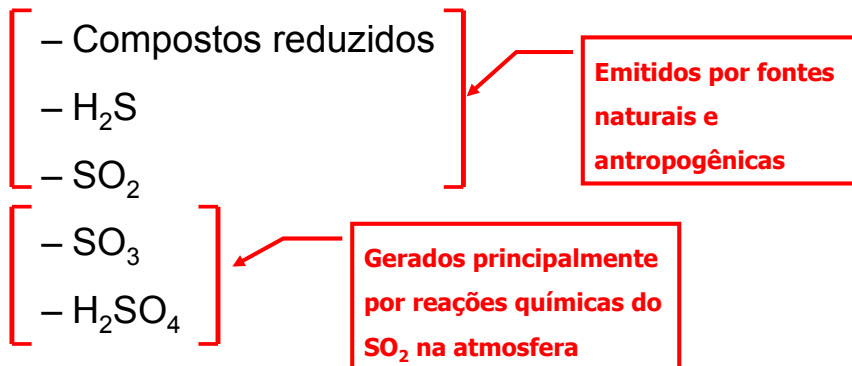
Descrição e classificação de poluentes suas fontes e efeitos a saúde

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

TSR – Total Sulphur Reduced Compounds

- Metil-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.

H_2S (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 H_2S se oxida formando SO_2 .

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: H₂S gera sensação de odor a partir de 0.5 ppb, mas seu limite de toxicidade (WHO) é de 10 ppm.

SO₂ e SO₃ (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 **SO₂** também é produzido a partir da oxidação do **H₂S**.
- A maior parte das emissões de compostos de enxofre é **SO₂**, que posteriormente reage na atmosfera produzindo **SO₃** e **H₂SO₄**.

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 **SO₂** e suas reações químicas formadoras de **H₂SO₄** são os principais responsáveis pelo fenômeno da chuva ácida.

H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico)

- Formado a partir dos óxidos SO₂ e SO₃ quando estes são dissolvidos em água.
- O H₂SO₄ 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 µg/m³ (298 K, 101,325 kPa)

Compostos de Nitrogênio

Os compostos de Nitrogênio de maior importância ambiental são:

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

Soma do NO_x com todos os outros produtos da oxidação do Nitrogênio na atmosfera (N_2O , N_2O_5 , NO_3 , HNO_3 , PAN, ...)

Compostos de Nitrogênio

Os compostos de Nitrogênio de menor importância ambiental são:

- 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

NH₃ (Amônia)

- Formado principalmente da decomposição biológica terrestre, tratamento de efluentes líquidos (esgotos) e processos químicos industriais.
- Além de seu poder corrosivo, o NH₃ 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 (Peroxí-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 $1882 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (298 K, 101,325 kPa)		

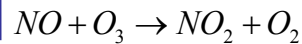
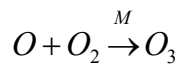
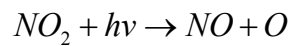
NO e NO_2 (Óxidos de Nitrogênio ou NO_x)

- O NO e o NO_2 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 (O_3) troposférico em cerca de 100 a 200 vezes em relação ao ar não poluído. O O_3 troposférico causa graves problemas respiratórios, destrói a flora e materiais duráveis.

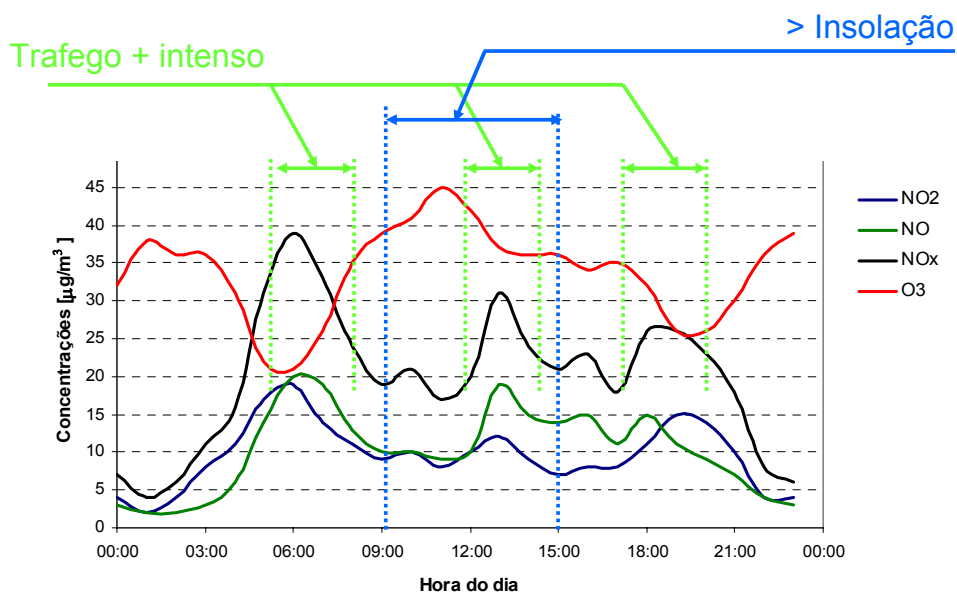
Formação do Ozônio

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

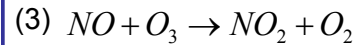
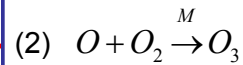
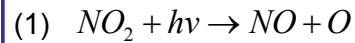
1. Monóxido de nitrogênio (NO)
2. Dióxido de nitrogênio (NO_2)
3. Ozônio (O_3)
4. Monóxido de carbono (CO)
5. Água (H_2O)
6. Radical hidroxil (OH)
7. Metanol ($HCHO$)
8. Metano (CH_4)



Relação entre as concentrações horárias de NO , NO_x , NO_2 e O_3 observadas



Formação do Ozônio



- Apesar de ilustrativas, é importante notar que somente as reações entre NOx 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.



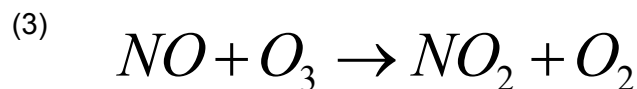
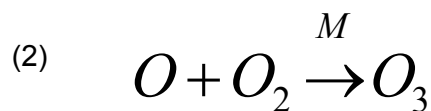
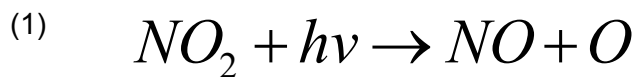
Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

- 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

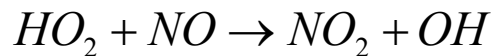
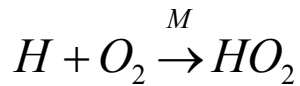
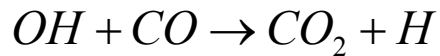
- As reações entre NO_x e O₃ não geram níveis elevados de O₃, pois a maior parte do NO_x emitido é NO e não NO₂. Com base apenas nas reações entre NO_x e O₃, o NO₂ (que produz O₃) só é gerado através da destruição do O₃, não havendo produção líquida de O₃.
- Reações adicionais envolvendo hidrocarbonetos e o CO na atmosfera, são uma fonte adicional de NO₂, gerando mais O₃.

Reações entre NO_x 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:

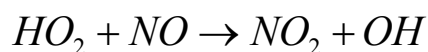
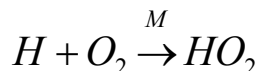
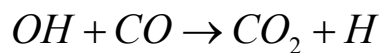


Formação do Ozônio (papel dos COV's e CO)

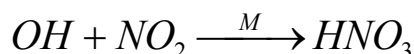
- O radical OH é a chave para o processo de criação do O₃. A reação (CO + OH) ou (COV + OH) inicia a sequência que leva ao O₃. Para COV's mais complexos várias reações intermediárias estão envolvidas, passando pela formação de radicais alquil, alquil peroxil, aldeídos e H₂O.



- É importante notar que este ciclo tem o potencial de elevar consideravelmente os níveis de O_3 na atmosfera, pois o radical OH inicia a cadeia de reações e depois se regenera para iniciar um novo ciclo.



- Entretanto reações concorrentes removem o radical OH e o NO_2 do ciclo limitando a formação do O_3



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)

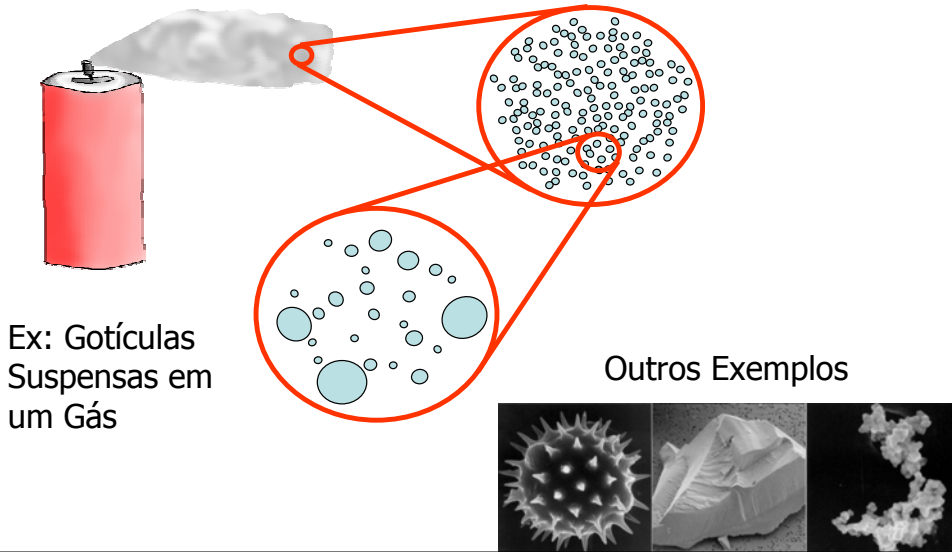
- Conhecidos como os destruidores da camada de ozônio.
- Os CFC eram bastante utilizados como propelente para aerossóis, líquidos refrigerantes e na fabricação de alguns plásticos.
- Os CFC são compostos altamente estáveis (dai sua grande aplicação industrial), que permanecem inertes na atmosfera por 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 O_3 .

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 está relacionado com o seu tamanho e densidade.

O que é um AEROSOL?

Sistema de Partículas Suspensas em um Gás

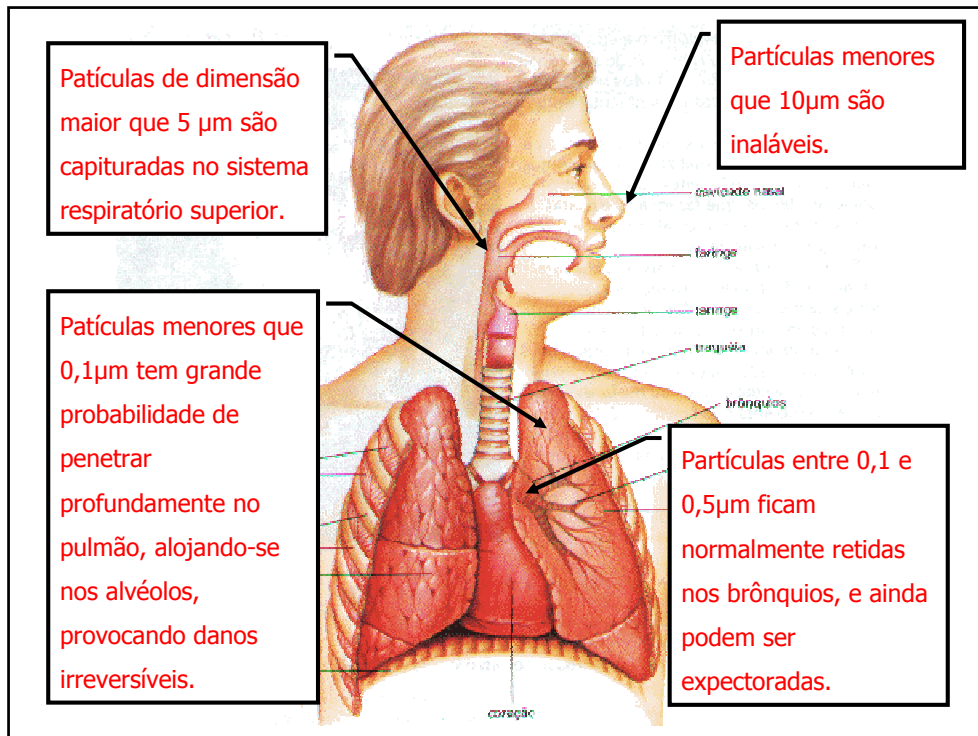


Tamanho das Partículas em Sistemas de Aerossóis

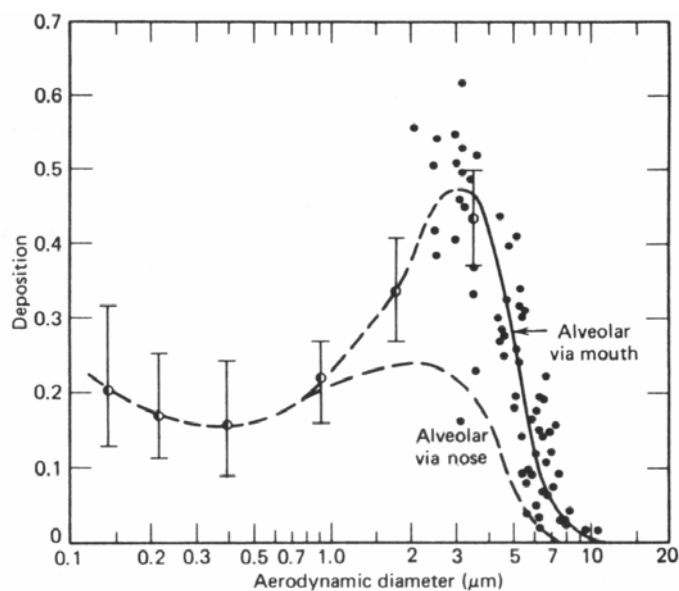
- TAMANHO TÍPICO DE AEROSSÓIS: aglomerados moleculares com alguns poucos nanômetros até décimos de mm.

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

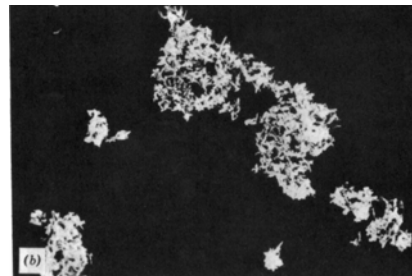
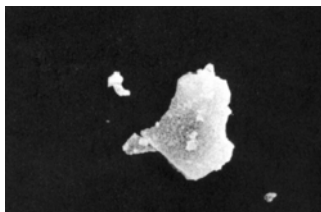


Material Particulado

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



Emissões Antropogênicas
(M ton/ano, US EPA - 1982)

Combustíveis e Proc. Ind.	10
Emissões Fugitivas Ind.	3,3
Emissões Fug. Não Ind. (*)	110-370
Transportes	1,3
TOTAL:	125-385

(*)Tráfego em estradas pavimentadas ou não,
agricultura, construções, queimadas, ... – partículas
grandes

Estimativa global de partículas menores que
20 microns emitidas ou formadas na atmosfera
(M ton/ano, ONU-1979)

Solo e erosão de rochas	50-250
Incêndios de florestas	1-50
Sal marinho	300
Emissões vulcânicas	25-150
Partículas formadas por emissões gasosas	345-1100
TOTAL	721-1850

Concentrações típicas de material particulado na atmosfera

Ar Limpo	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 $\#/\text{cm}^3$)
Áreas Urbanas	60 a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Áreas Poluídas	2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10^5 $\#/\text{cm}^3$)
PQA	Limite 80-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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

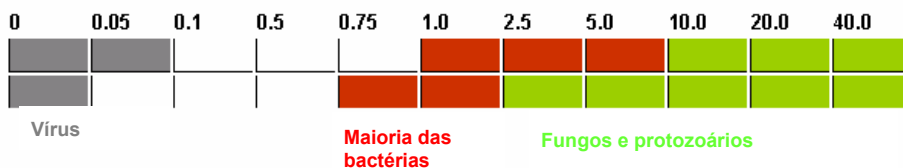
Bio-aerosóis

Bioaerosóis:

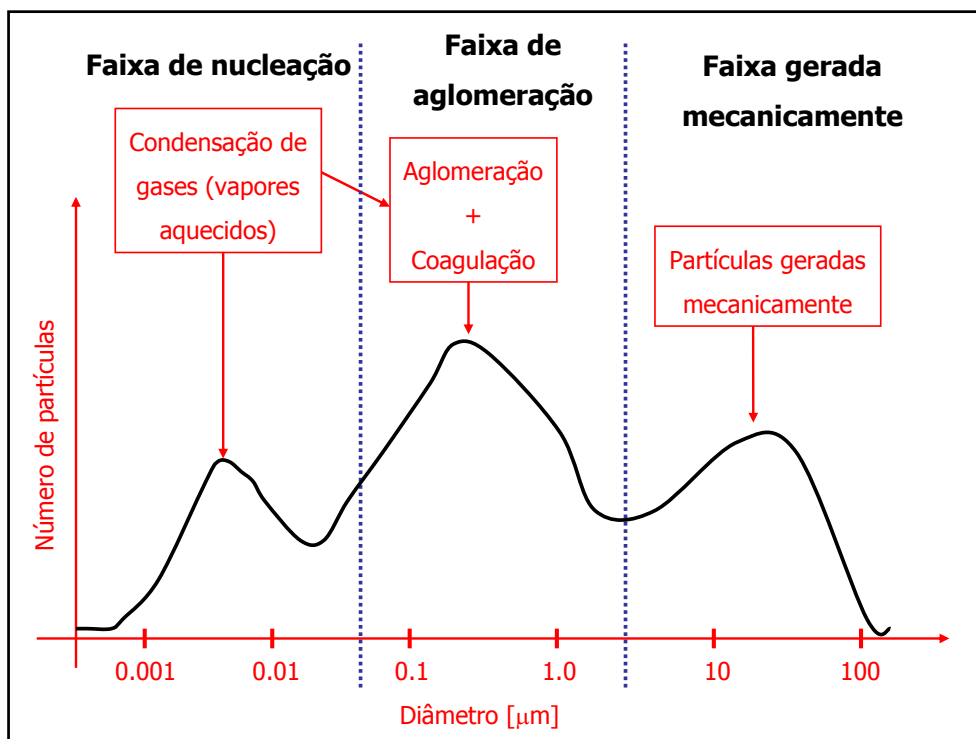
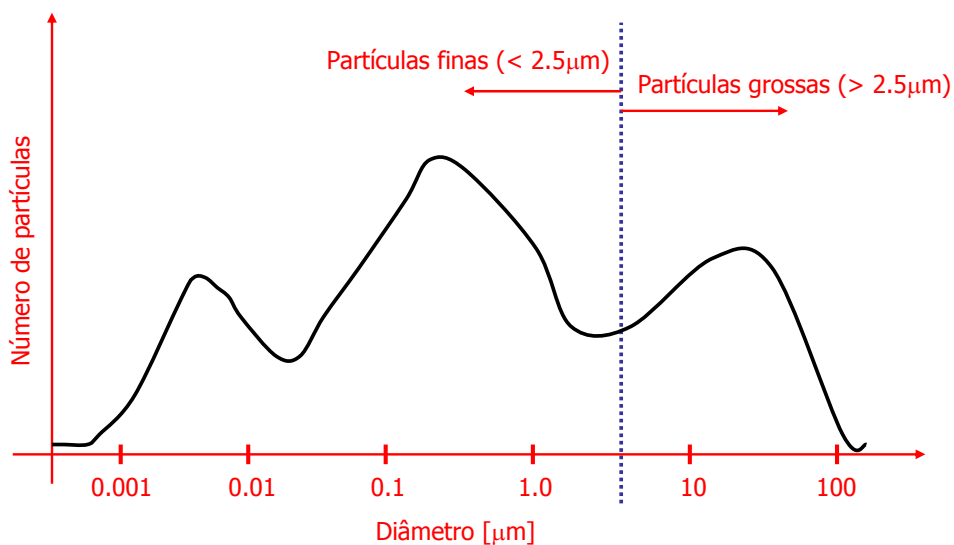
- Microorganismos
 - Bactérias
 - Vírus
 - Fungos
- Biotoxinas (toxinas produzidas por microbios)

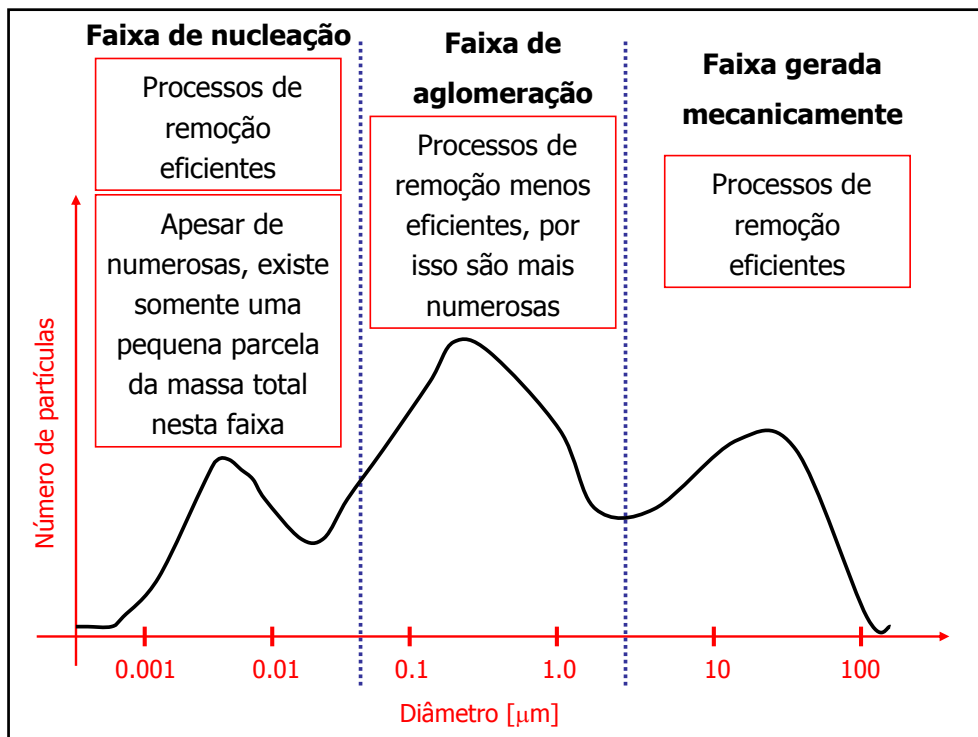
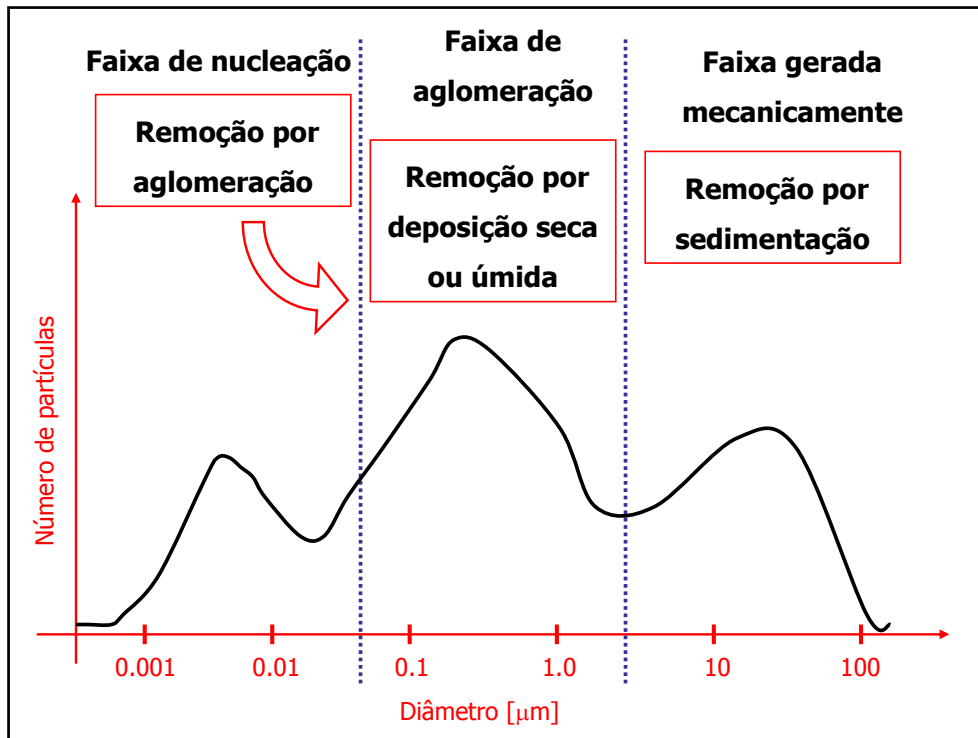
Bio-aerosóis

Tamanho da célula (μm)

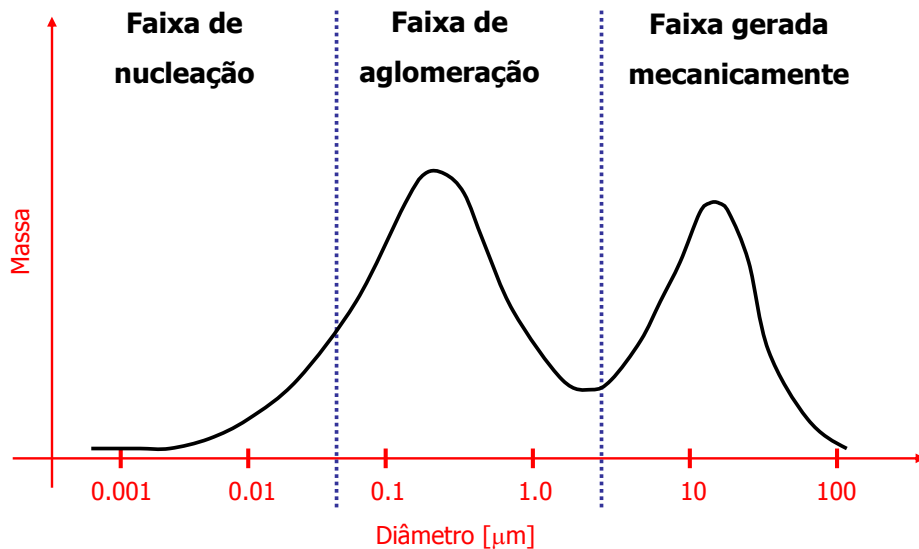


Caracterização do tamanho das partículas na atmosfera





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



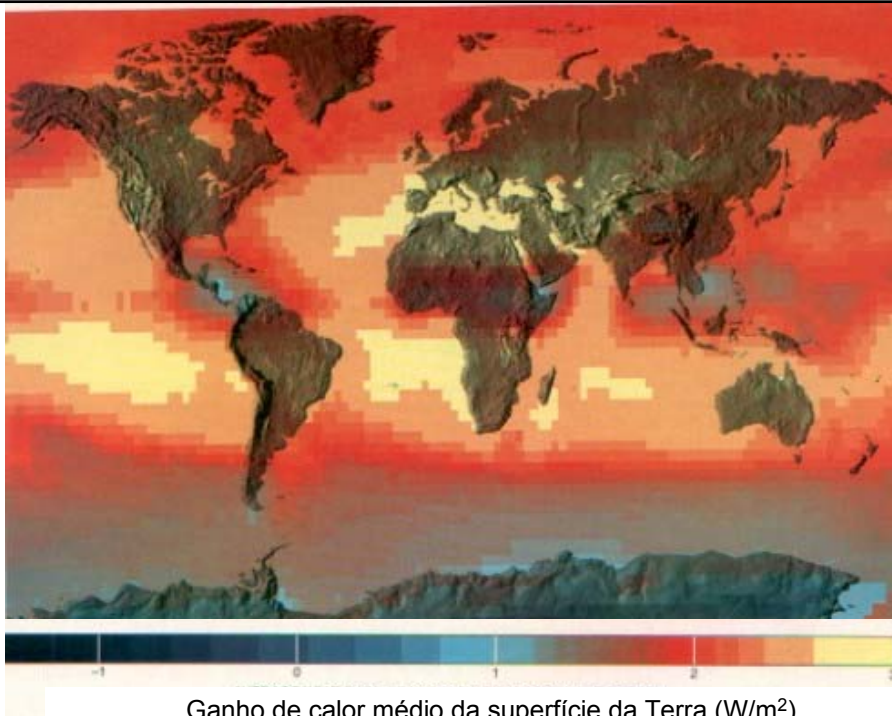
Poluentes Particulados e os Efeitos na Saúde

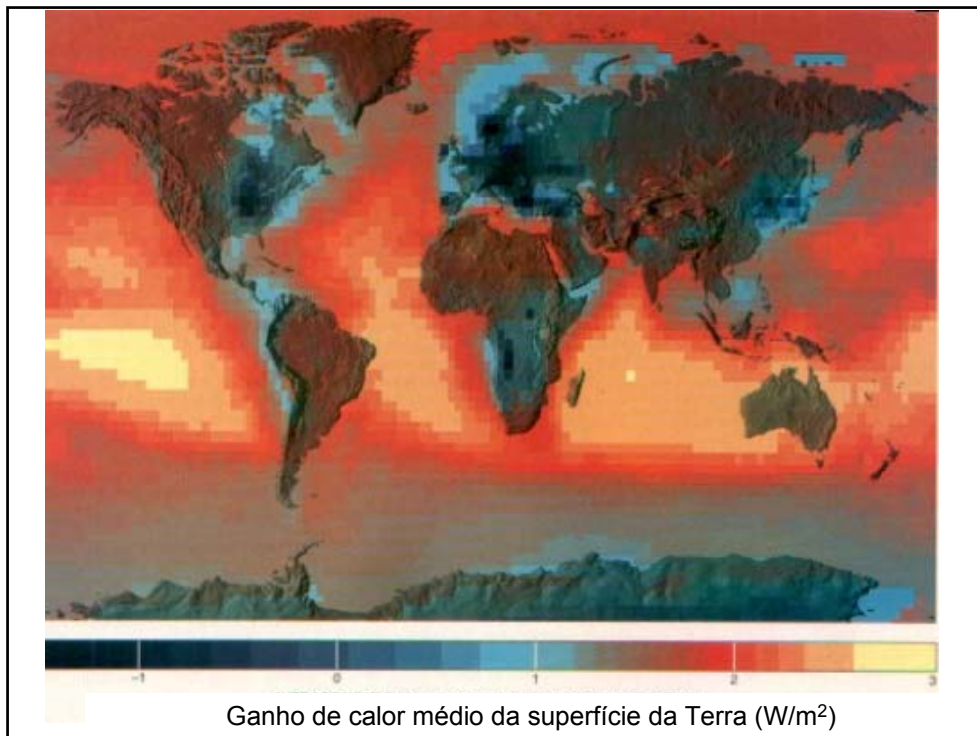
- Até a década de 70 : EFEITOS SIGNIFICATIVOS somente associados às ALTAS CONCENTRAÇÕES de Poluentes particulados Atmosféricos.
- ENTRE 1989-1992 : Vários estudos constataam efeitos mesmo em BAIXAS CONCENTRAÇÕES:

EXPOSIÇÃO PROLONGADA PODE SER PIOR !!!

Efeito dos Materiais Particulados

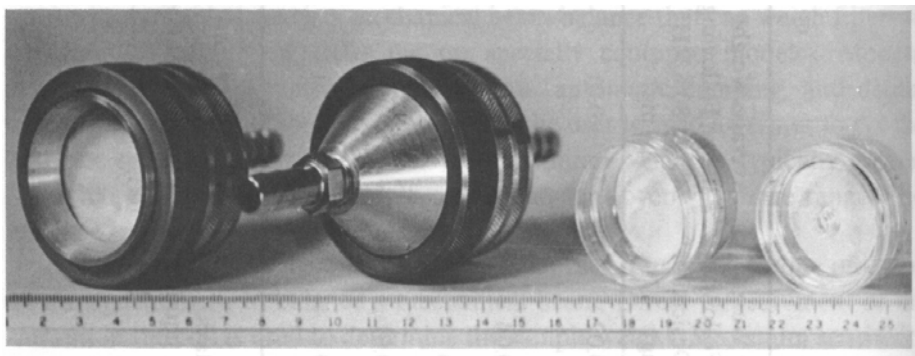
- Aumentam o risco de ocorrência de doenças respiratórias crônicas e crises agudas respiratórias.
- Reduz a capacidade de absorção de radiação solar da terra (efeito contrário ao efeito estufa).



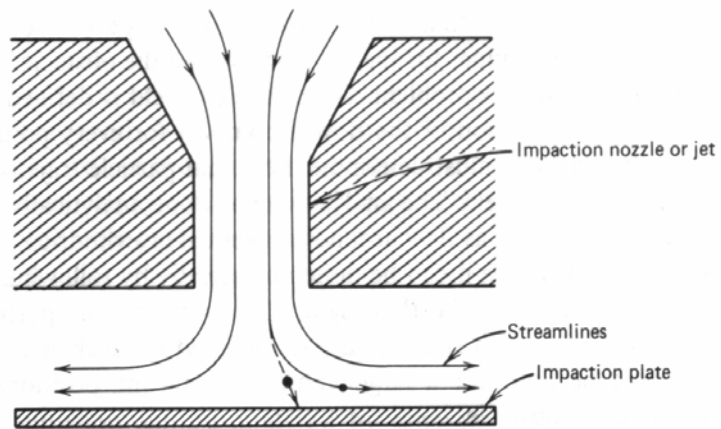


Amostragem de Particulados Atmosféricos

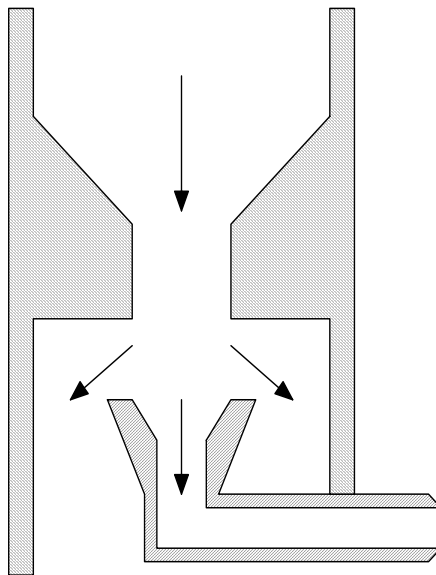
- Amostrador de Particulados Totais (TSP) – Amostragem com FILTRO

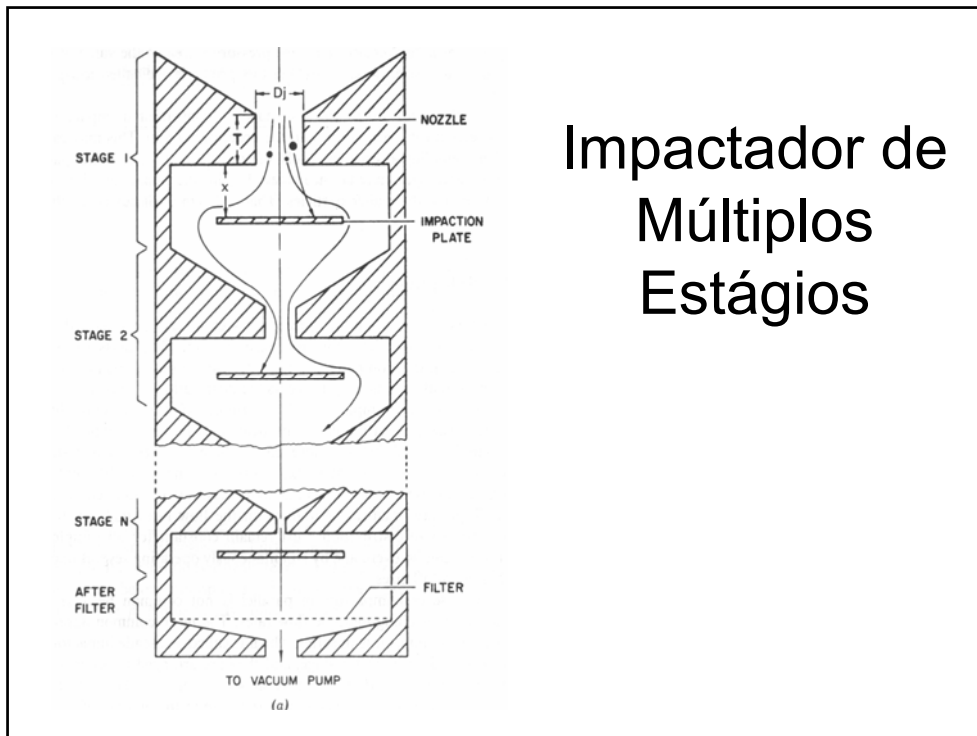


Coleta de Particulados por Impactação



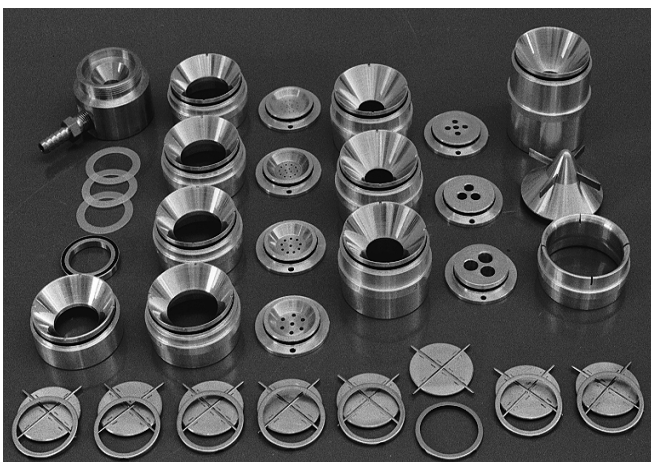
Impactador Virtual





DESIGN OF AN EIGHT-STAGES CASCADE IMPACTOR FOR THE CLASSIFICATION OF AIRBORNE PARTICLES

(Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM-97)



Amostrador Ambiente de Alta Capacidade (Hi-Vol)

CRONOLOGIA

- Antigamente media-se Particulados Totais (TSP).
- A partir de 1987 iniciou-se a medida de Particulados com tamanho < 10 microns (PM10).
- Método PM10:
 - Amostragem $1,13 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Separação da < 10 microns.
 - Deposição em filtro.
 - Determinação massa depositada.



Amostrador Dicotômico (PM10 e PM2,5)

- Opera a $16,7 \text{ lpm}$ ($1 \text{ m}^3/\text{hora}$).
- Entrada seleciona partículas com $da < 10$ microns.
- Impactador Virtual faz a separação da $> e < 2,5$ microns.
- Partículas grossas ($2,5 < da < 10$ microns) em 10% do fluxo ($0,1 \text{ m}^3/\text{hora}$).
- Partículas com $da < 2,5$ microns, em 90% do fluxo ($0,9 \text{ m}^3/\text{hora}$).
- Deposição em filtros de membrana de Teflon.

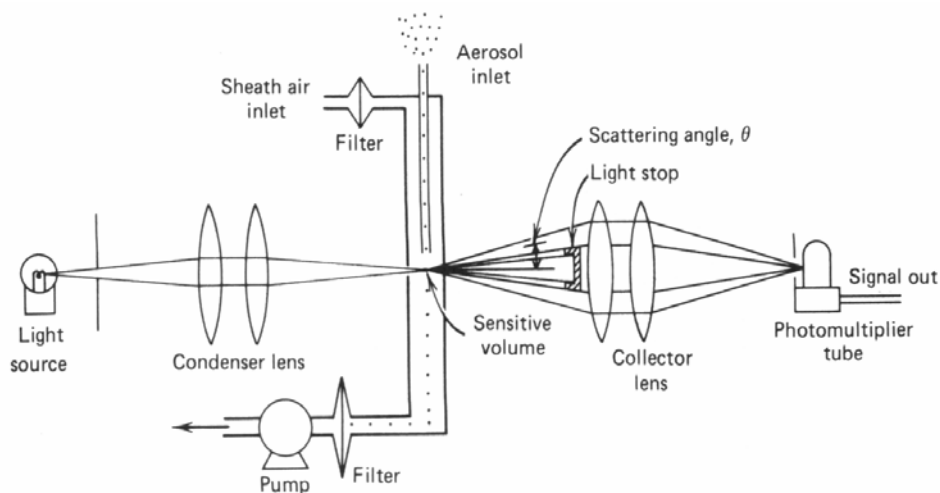


Amostrador Ambiente Contínuo (Tipo Beta)

- Entrada seleciona tamanho superior das partículas aspiradas (TSP, PM10, PM2,5 e PM1,0).
- Partículas são depositadas em uma tira de filtro, em movimento.
- Após a deposição mede-se a atenuação de radiação Beta através da tira de filtro.
- Atenuação associada à massa de particulados depositada.



Medidor Ótico Direto



Aerodynamic Particle Sizer - APS

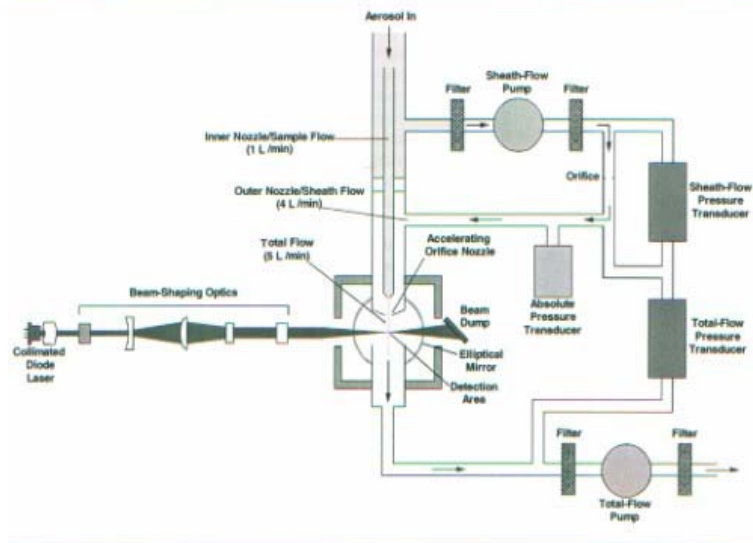


Figure 5-1
Aerosol Flow Through the APS Model 3320

Resultados APS – Distribuição de Tamanho

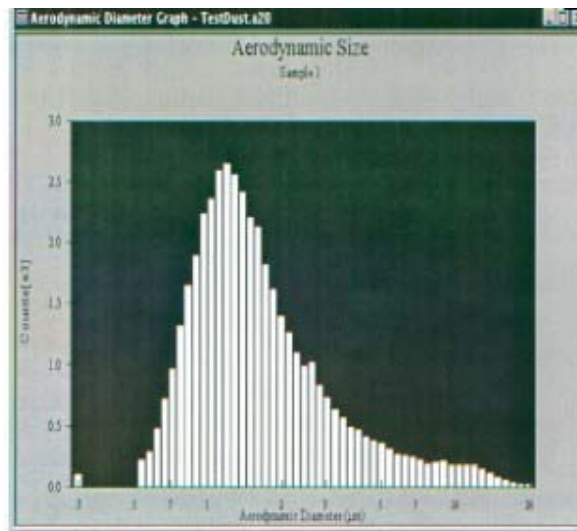


Figure 5-12
Aerodynamic Diameter Data Displayed in Counts

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 H₂S - Ácido Sulfídrico