

# Poluição Atmosférica

# Introdução

- Ar não é visto como um recurso natural da mesma forma que a água ou o solo
- Não obedece barreiras geopolíticas
- Os métodos de tratamento da poluição nem sempre eliminam os poluentes

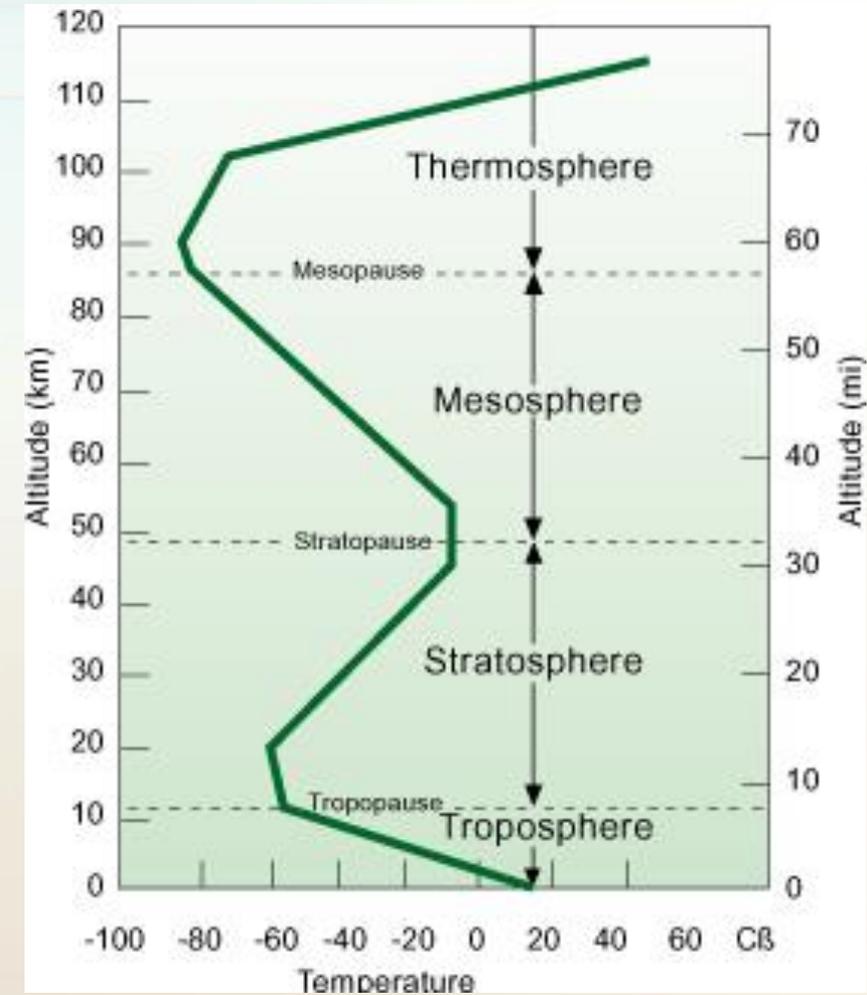
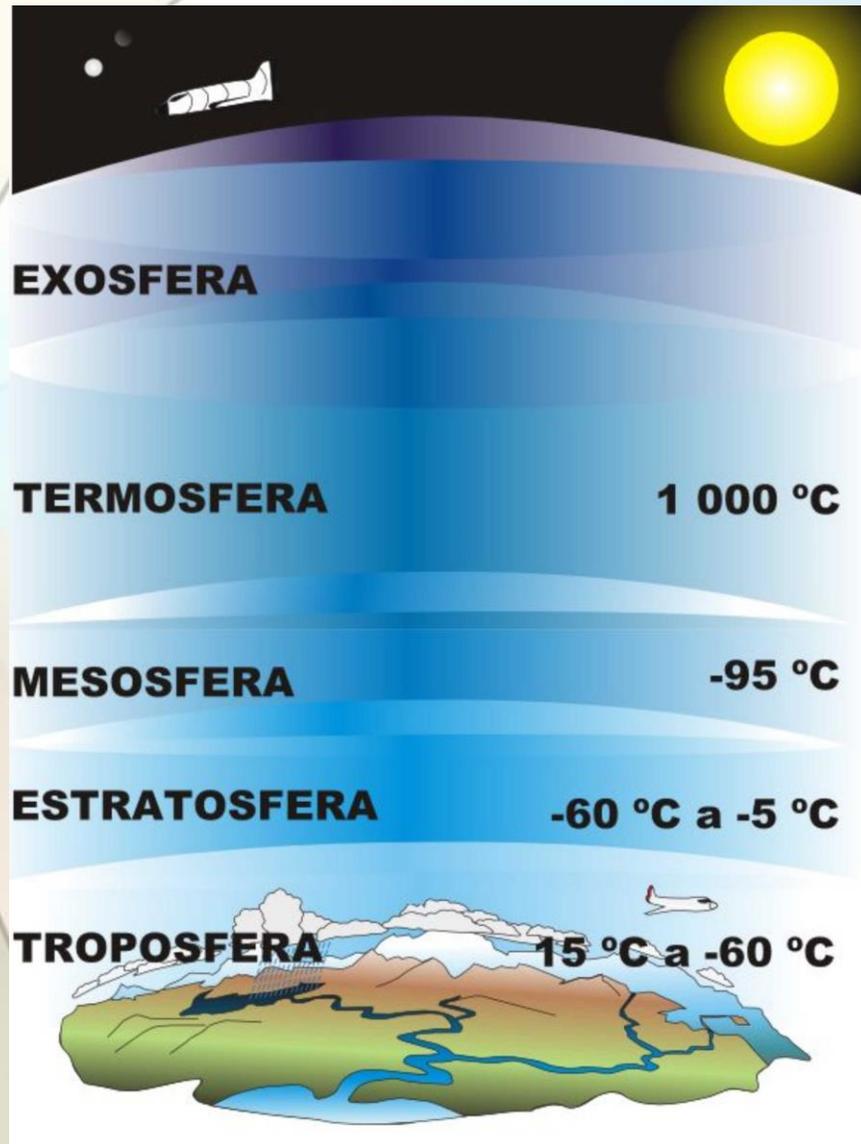


# A Atmosfera

## Composição Química da Atmosfera

Gás	Símbolo	Percentagem por Volume (%)
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	78.08
Oxigênio	O <sub>2</sub>	20.95
Argônio	Ar	0.93
Vapor d'água	H <sub>2</sub> O	0 a 4
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0.039
Metano	CH <sub>4</sub>	0.00018
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	0.00003
Ozônio	O <sub>3</sub>	0 a 7 x 10 <sup>-6</sup>
Clorofluorcarbonos	CFCs	2 x 10 <sup>-9</sup> a 5 x 10 <sup>-8</sup>

# Perfis das Camadas



# Camadas da Atmosfera

- **Troposfera:** Começa na superfície da Terra e se estende de 8 a 14,5 quilômetros de altura. Esta parte da atmosfera é a mais densa e é onde ocorrem fenômenos climáticos
- **Estratosfera:** Se estende até 50 quilômetros de altura. A camada de ozônio, que absorve e dispersa a radiação ultravioleta solar, está nesta camada.
- **Mesosfera:** Se estende até 85 quilômetros de altura. Meteoros queimam nesta camada
- **Termosfera:** A termosfera se estende até 600 quilômetros de altura. A Aurora Boreal e a órbita de satélites ocorrem nesta camada.
- **Ionosfera:** Camada de elétrons e átomos ionizados e moléculas que se estendem de cerca de 48 quilômetros acima da superfície até a borda do espaço em cerca de 965 km (600 mi), sobrepondo-se à mesosfera e à termosfera. Esta região dinâmica cresce e diminui com base em condições solares e se divide mais nas sub-regiões: D, E e F; com base no comprimento de onda da radiação solar absorvida. Esta região é o que possibilita a comunicação de rádio.

# Poluição do Ar



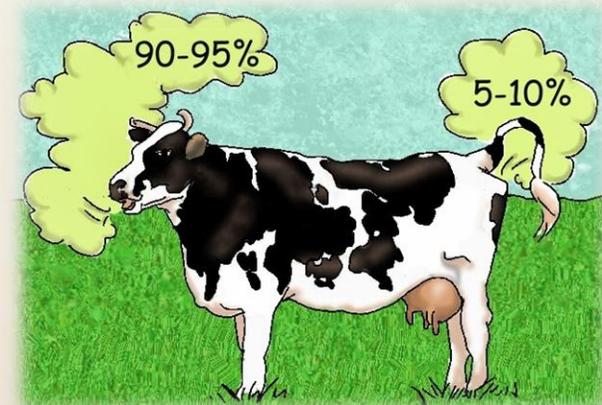
Fontes Fixas



Fontes Móveis



Fontes Naturais



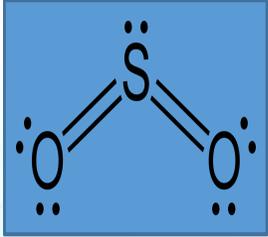
# O que são poluentes atmosféricos?

- Poluentes atmosféricos são gases e partículas sólidas resultantes das atividades humanas e de fenômenos naturais dispersos no ar atmosférico com potencial de causar alteração na saúde e bem estar de seres vivos.
- Desta forma, classificam-se nessa categoria, os gases e partículas expelidos por veículos e indústrias e também aqueles oriundos da degradação da matéria orgânica, vulcanismos e outros fenômenos naturais.

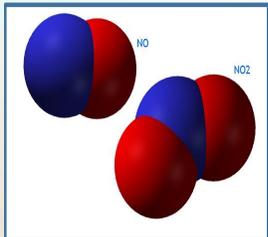
# O que são poluentes atmosféricos?

- Os poluentes atmosféricos são geralmente classificados como **primários ou secundários**.
- Poluentes primários são os contaminantes diretamente emitidos pelas fontes para o ambiente, como no caso dos gases dos automóveis (monóxido de carbono, fuligem, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, hidrocarbonetos, aldeídos e outros).
- Poluentes secundários resultam de reações dos poluentes primários com substâncias presentes na camada baixa da atmosfera e frações da radiação solar, como, por exemplo, a decomposição de óxidos de nitrogênio pela radiação ultravioleta oriunda do sol na formação de ozônio e nitratos de peroxiacetila.

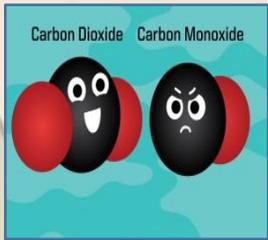
# Poluentes Críticos



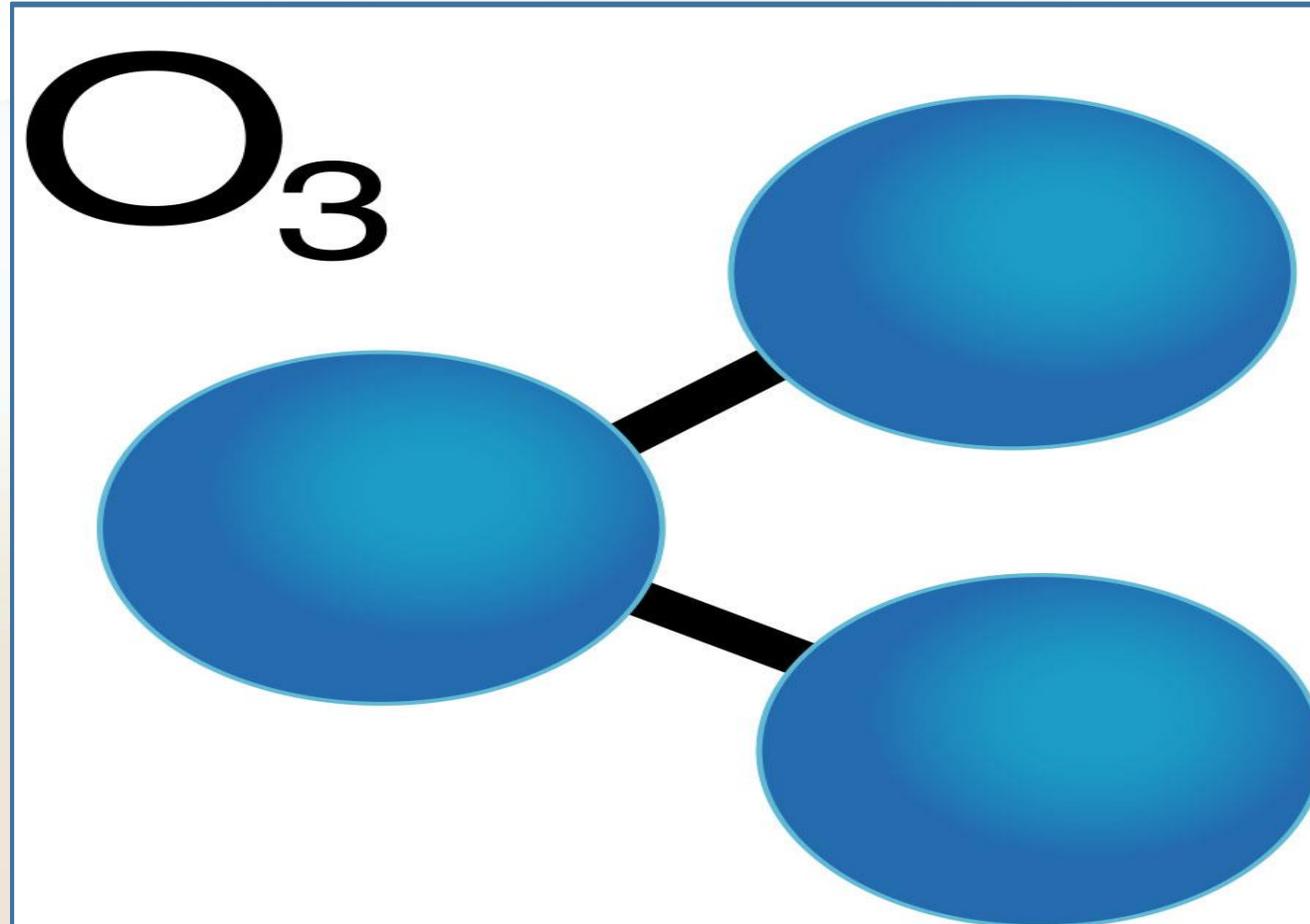
Gases de Enxofre



Gases de Nitrogênio



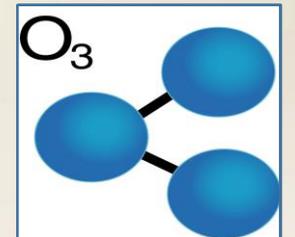
Óxidos de Carbono



Material Particulado 10



Material Particulado 2,5



Ozônio

# Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>)

X = 0, 2 ou 3

- O Enxofre está presente como impureza de combustíveis fósseis, principalmente diesel e carvão. Na natureza, o enxofre pode ser liberado para o ar a partir de erupções vulcânicas.
- Ao entrar em contato com o oxigênio, o enxofre se transforma em dióxido (SO<sub>2</sub>) e este em trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>) - que reage com a umidade do ar formando o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o qual ainda pode reagir com a amônia do ar e formar sulfato de amônia.
- Exposições de curto prazo ao SO<sub>2</sub> podem prejudicar o sistema respiratório humano e dificultar a respiração. Crianças, idosos e aqueles que sofrem de asma são particularmente sensíveis aos efeitos do SO<sub>2</sub>.



# Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

X = 1 ou 2

Os óxidos de nitrogênio são um grupo de gases reativos.

O NO<sub>2</sub> é usado como o indicador para o grupo maior de óxidos de nitrogênio e tem origem em emissões veiculares e usinas termoelétricas.

Respirar ar com alta concentração de NO<sub>2</sub> pode irritar as vias aéreas no sistema respiratório humano. Tais exposições em períodos curtos podem agravar doenças respiratórias, particularmente asma, levando a sintomas respiratórios. Exposições mais longas a concentrações elevadas de NO<sub>2</sub> podem contribuir para o desenvolvimento de asma e aumentar a susceptibilidade às infecções respiratórias.

No meio ambiente, também pode causar chuva ácida



# Óxidos de Carbono (CO<sub>x</sub>)

X = 1 ou 2

O CO é um gás incolor e inodoro que pode ser letal quando inalado em grandes quantidades. O CO é liberado em processos de combustão incompleta de materiais contendo carbono.

As maiores fontes de CO são veículos. Itens domésticos, como aquecedores a gás, chaminés, fogões a gás e churrasqueiras também liberam CO e podem afetar a qualidade do ar dentro de casa.

Respirar ar com uma alta concentração de CO reduz a quantidade de oxigênio que pode ser transportado na corrente sanguínea para órgãos críticos como o coração e o cérebro. Em níveis muito altos (em ambientes fechados), o CO pode causar tonturas, confusão, inconsciência e morte.



# Material Particulado(MP)

MP define partículas, como poeira, sujeira, fuligem ou fumaça, que são grandes ou escuras o suficiente para serem vistas a olho nu.

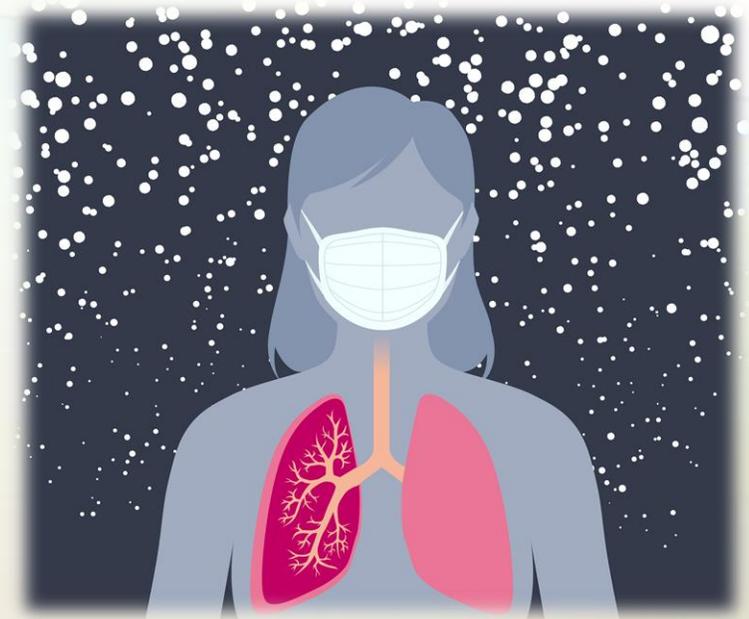
Outros são tão pequenos que só podem ser detectados usando um microscópio eletrônico. São classificados em 2 tamanhos

**MP 10:** partículas inaláveis, com diâmetros de até 10 micrômetros ( $\mu\text{m}$ )

**MP 2,5:** partículas inaláveis finas, com diâmetros menores que 2,5  $\mu\text{m}$ .

(O cabelo humano tem cerca de 70  $\mu\text{m}$  de diâmetro)

As partículas vêm em vários tamanhos e formas e podem ser constituídas por centenas de produtos químicos diferentes. Alguns são emitidos diretamente de uma fonte, como obras de construção, estradas não pavimentadas, campos, chaminés ou incêndios.

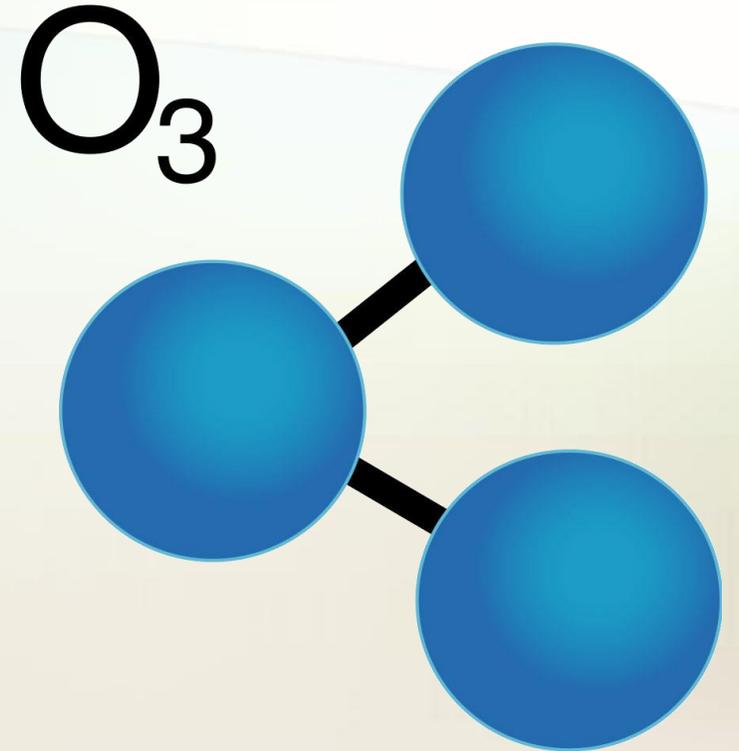


# Ozônio (O<sub>3</sub>)

O ozônio é um gás composto por três átomos de oxigênio (O<sub>3</sub>). Ocorre tanto na estratosfera (bom) como na troposfera (ruim).

O ozônio troposférico não é emitido diretamente, mas é criado por reações químicas entre óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis (COV). Isso acontece quando os poluentes emitidos por carros, usinas termelétricas, caldeiras industriais, refinarias ou indústrias químicas reagem quimicamente na presença da luz solar.

O ozônio pode desencadear uma variedade de problemas de saúde, incluindo dor torácica, tosse, irritação da garganta e inflamação das vias aéreas. Também pode reduzir a função pulmonar e prejudicar o tecido pulmonar. O ozônio pode piorar a bronquite, enfisema e asma.



# Índice de Qualidade do Ar

- Utilizado para relacionar as condições de qualidade do ar com os possíveis efeitos sobre a saúde humana e medidas de controle;
- Baseado no indicador americano (Pollutant Standard Index – PSI);
- Relaciona a concentração do poluente na atmosfera e o seu padrão primário de qualidade.



# Índice de Qualidade do Ar



# Tabela do Índice de Qualidade do Ar da CETESB

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 8h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1h	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5- Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Qualidade	Significado	Qualidade	Significado
N1 - Boa		N4 - Muito Ruim	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N2 - Moderada	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.	N5 - Péssima	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.
N3- Ruim	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.		

# Fenômenos

- Chuva Ácida
- Smog Industrial e Smog Fotoquímico
- Inversão Térmica





# SMOG

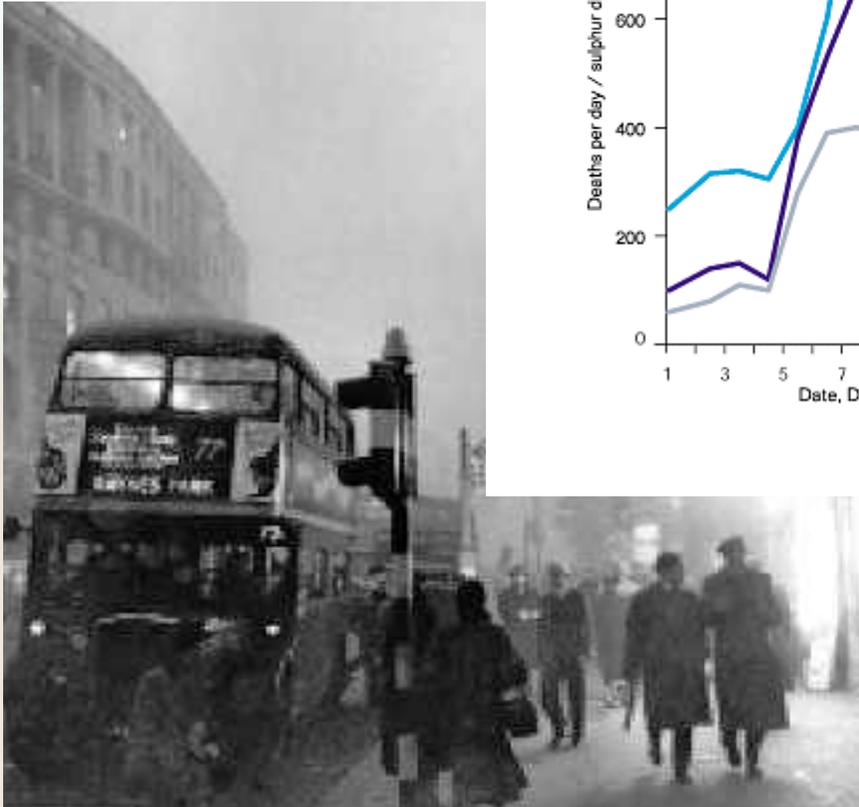
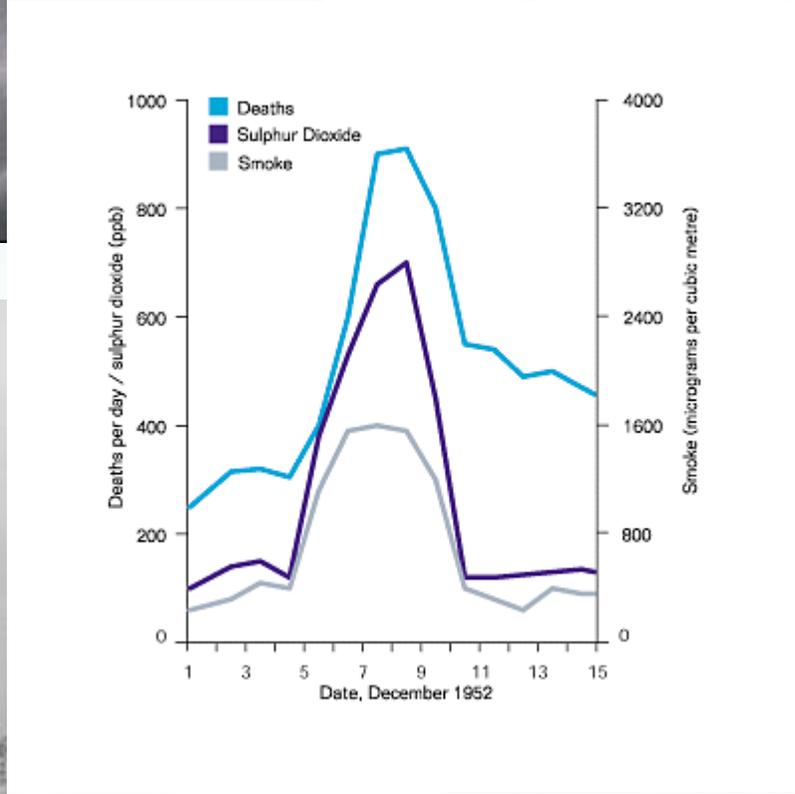
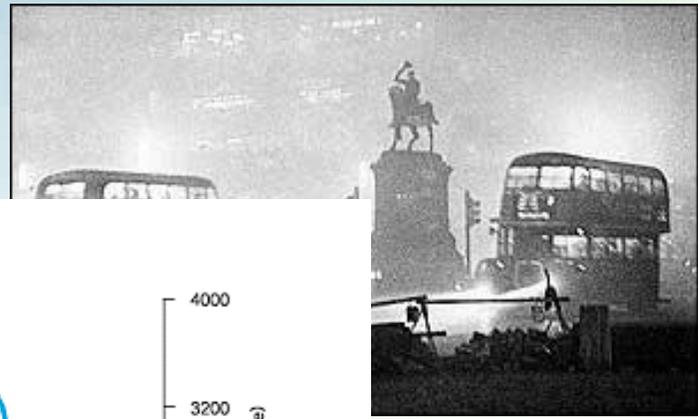
- SMOke + fOG = fumaça mais névoa
- 2 tipos: SMOG Industrial e SMOG Fotoquímico
- O Industrial é de zonas frias e com poluição por MP
- O Fotoquímico é de zonas quentes, por poluição de gases de nitrogênio e liberação de  $O_3$



# SMOG INDUSTRIAL



**Smog Industrial**



LONDRES, 1952



PEQUIM

Prof. Mierzwa

# SMOG FOTOQUÍMICO



MEXICO CITY



## LOS ANGELES

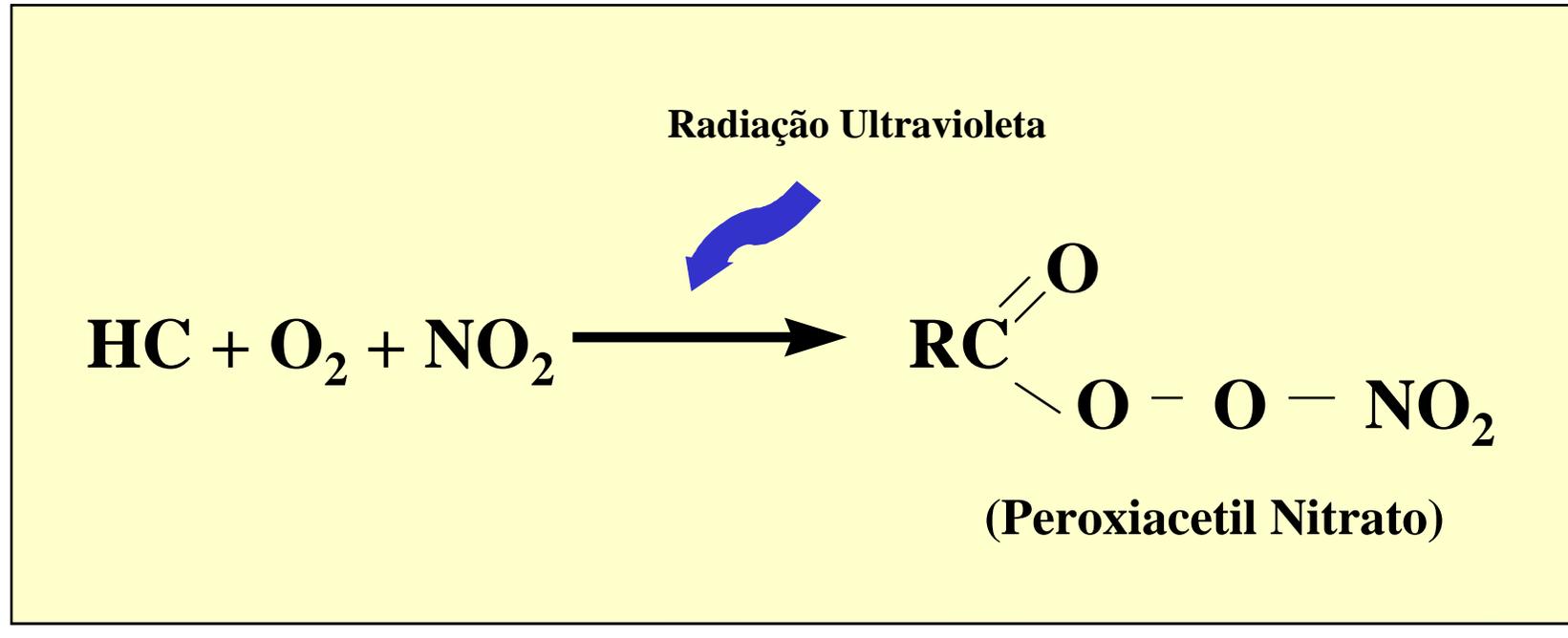




# SANTIAGO

Prof. Mierzwa

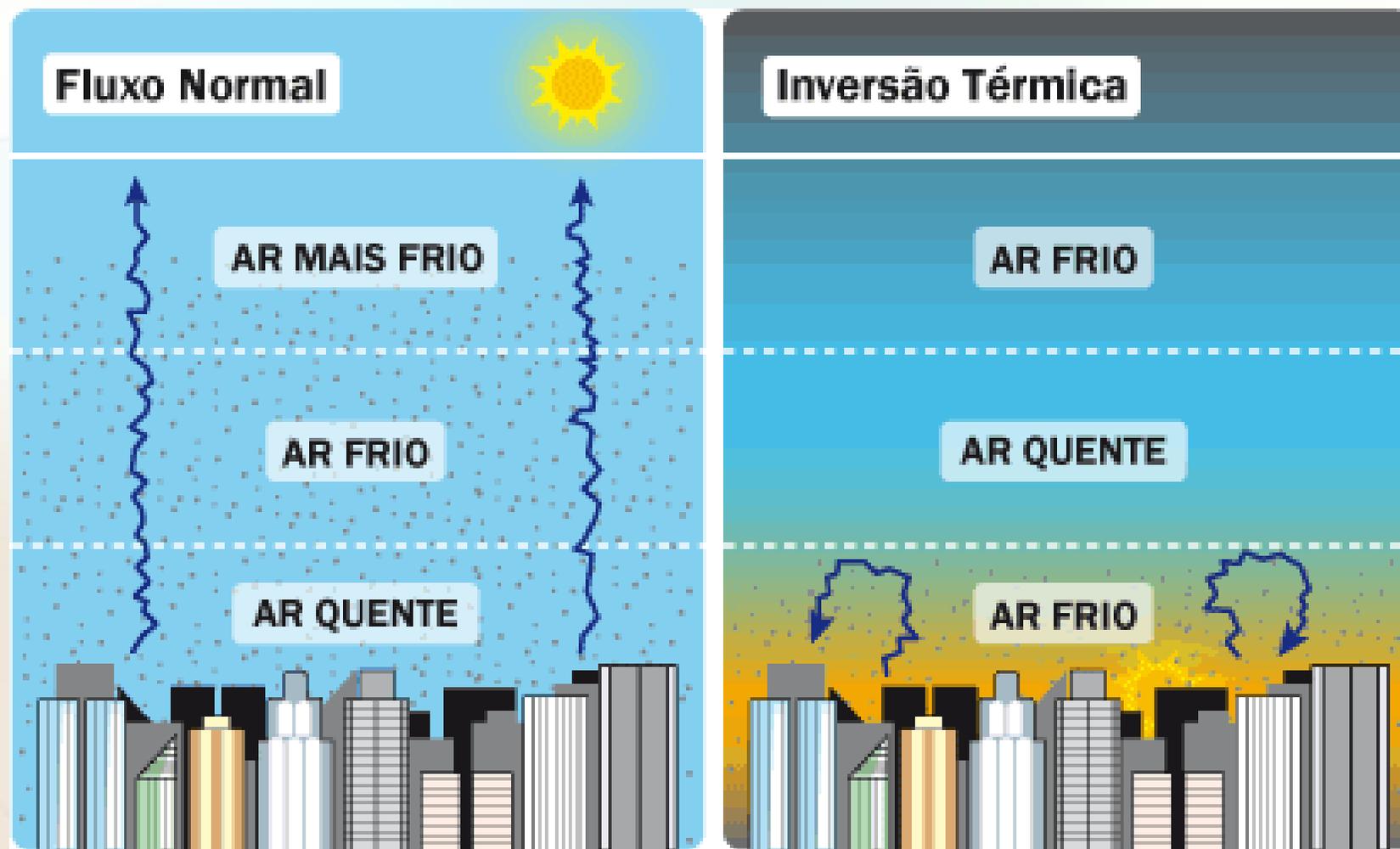
# Formação do Peroxiacetil Nitrato (Smog Fotoquímico)



# Inversão Térmica

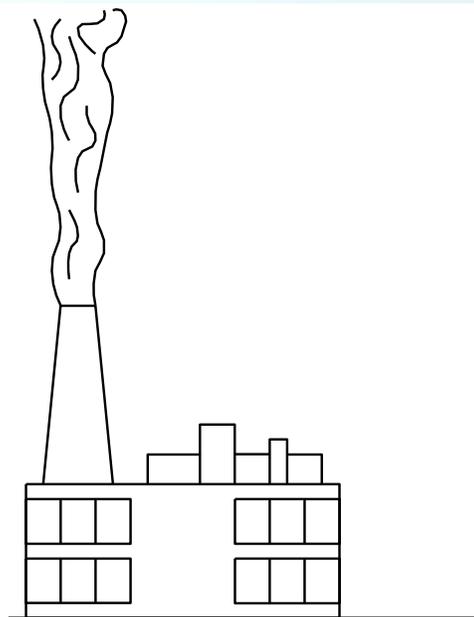
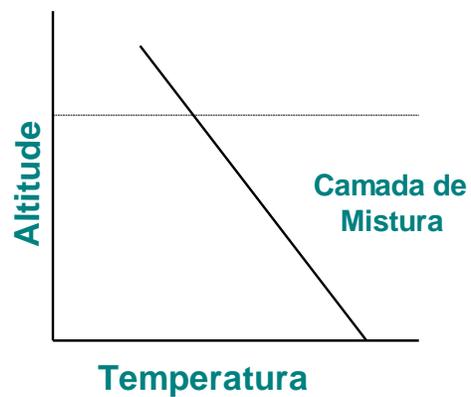
- Fenômeno NATURAL (aconteceria mesmo sem humanos)
- Em um dia normal: difusão - massa de ar quente próxima ao solo sobe, massa de ar fria desce. Se existem poluentes, estes são dispersos nas massas de ar.
- Em um dia de inversão: superfície esfria rápido, camada superior fica mais quente que a de baixo. Não há difusão. Se existem poluentes, os poluentes ficam retidos.
- Os poluentes retidos nas camadas da atmosfera próximas à superfície provocam doenças respiratórias e irritações nos olhos.
- O problema da Inversão térmica não é a Inversão em si, mas sim a consequência quando há a presença de poluentes.

# Inversão Térmica

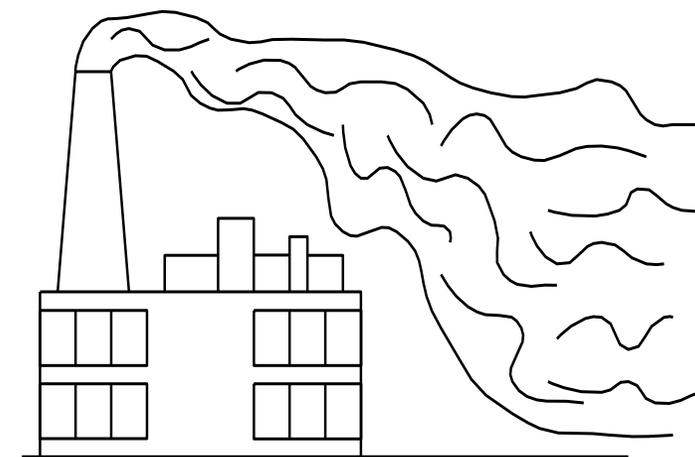
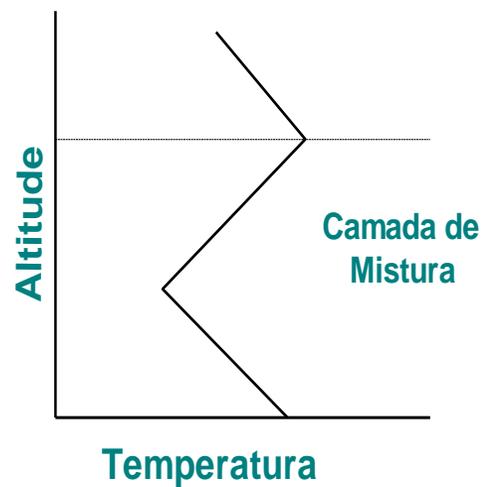


# Inversão Térmica

Sem Inversão



Com Inversão





**Efeitos da Estabilidade do Ar na Dispersão de Poluentes**

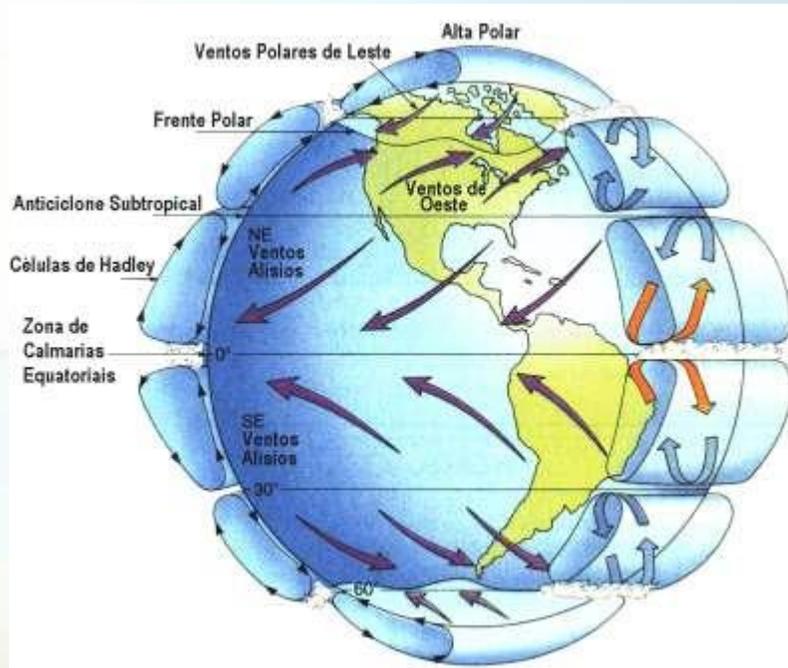


**Efeitos da Estabilidade do Ar na Dispersão de Poluentes**

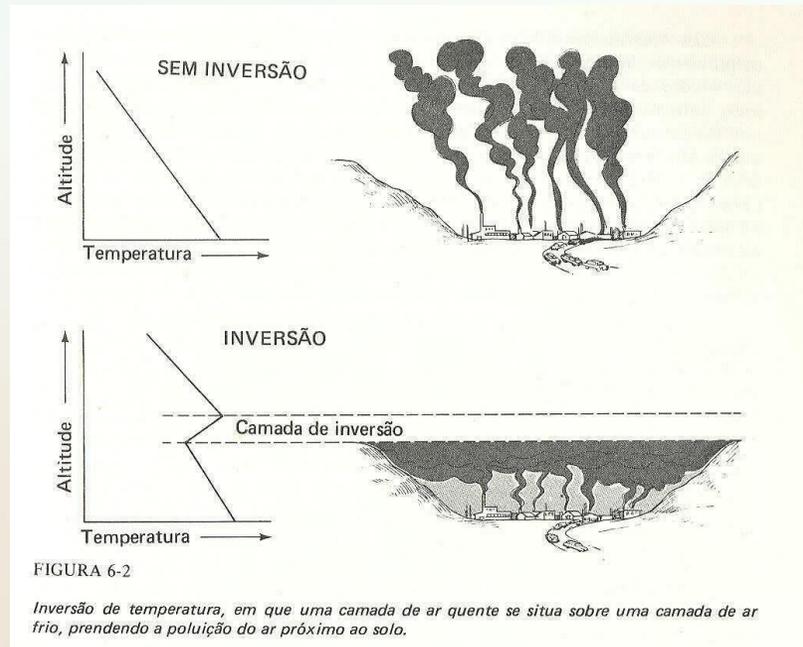
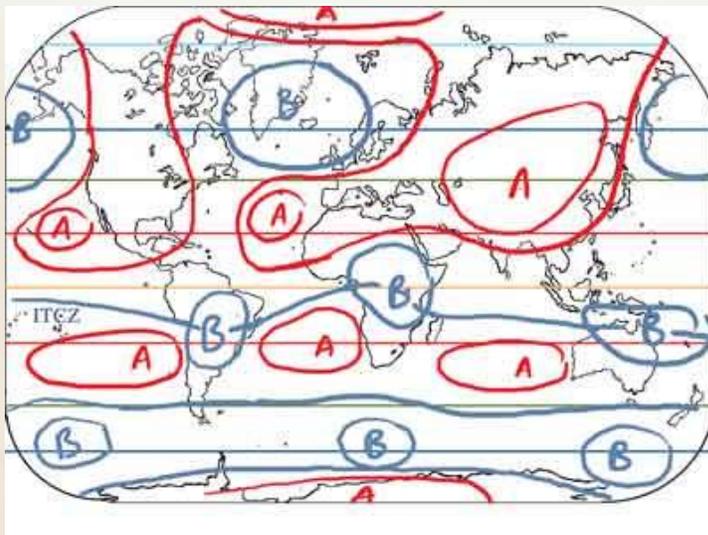
# Inversão Térmica

- É um fenômeno natural que pode afetar de forma negativa as condições de dispersão de poluentes;
- Implica na mudança da tendência de variação da temperatura da atmosfera com a altitude;
- Pode ser devida a três fatores distintos:
  - Subsistência de camadas de ar mais quente;
  - Resfriamento rápido da superfície do Planeta;
  - Fluxos de massa de ar próximos à encostas.

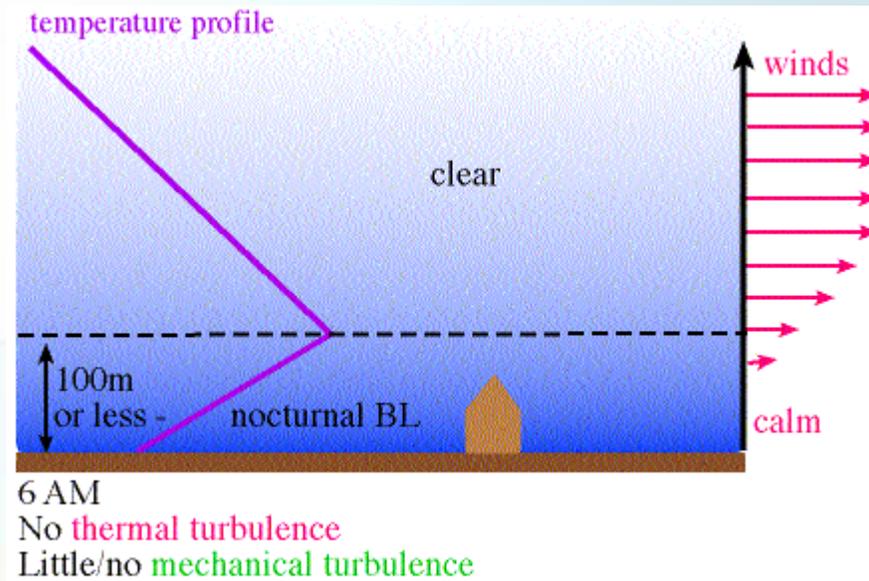
# INVERSÃO POR SUBSIDÊNCIA



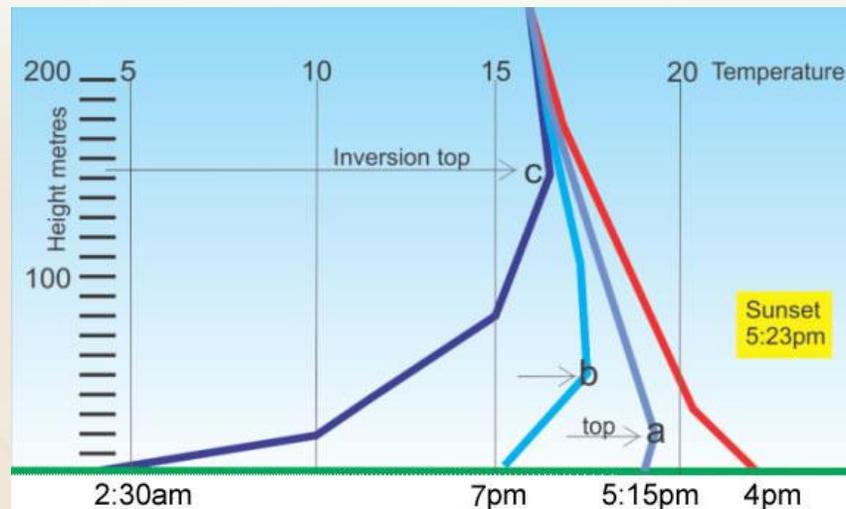
- forma centros de alta pressão
- ocorre a 1000m de altitude



# INVERSÃO POR RADIAÇÃO



- curta duração
- ocorre a 100m de altitude
- usada para definir alturas de chaminés

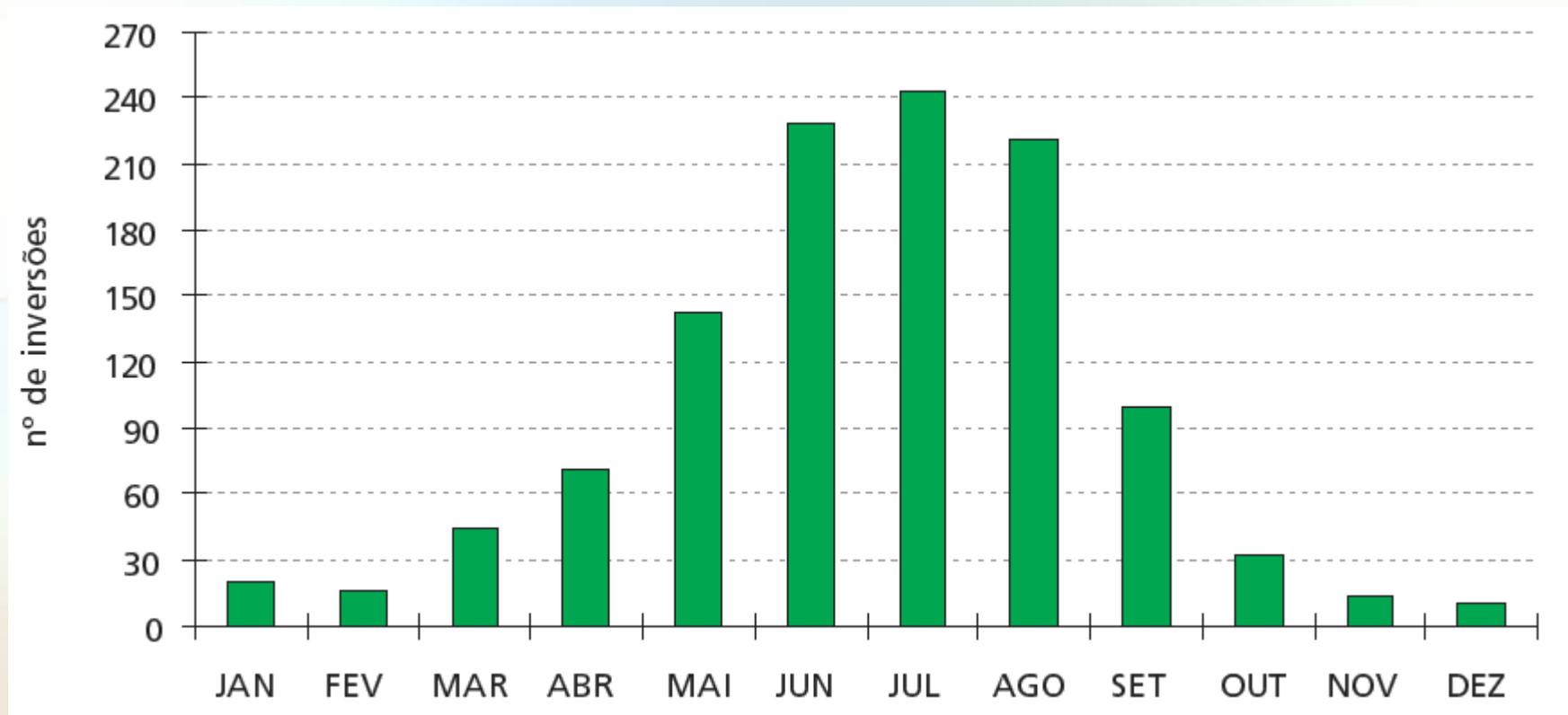




## Inversão Térmica no Rio de Janeiro



POLUIÇÃO DO AR EM SÃO PAULO



Número de inversões térmicas, abaixo de 200 m, na RMSP de 1985 a 2007)

# Controle da Poluição Atmosférica

- A poluição atmosférica não é tratada como poluição da água ou do solo
- As formas de tratamento de poluição atmosférica consistem na transferência da poluição de um meio para outro (do ar para um filtro, do ar para água)
- Desta forma, a melhor alternativa para controle de poluição atmosférica são medidas de Prevenção à Poluição



# Controle da Poluição Atmosférica

- Medidas como alterações de processos produtivos e substituição de combustíveis por combustíveis com menor teor de enxofre são medidas de P2 que evitam a poluição atmosférica
- Outras medidas incluem monitoramento da qualidade do ar, restrição da circulação de veículos, programas de manutenção preventiva de veículos



# Tratamento de Resíduos Gasosos

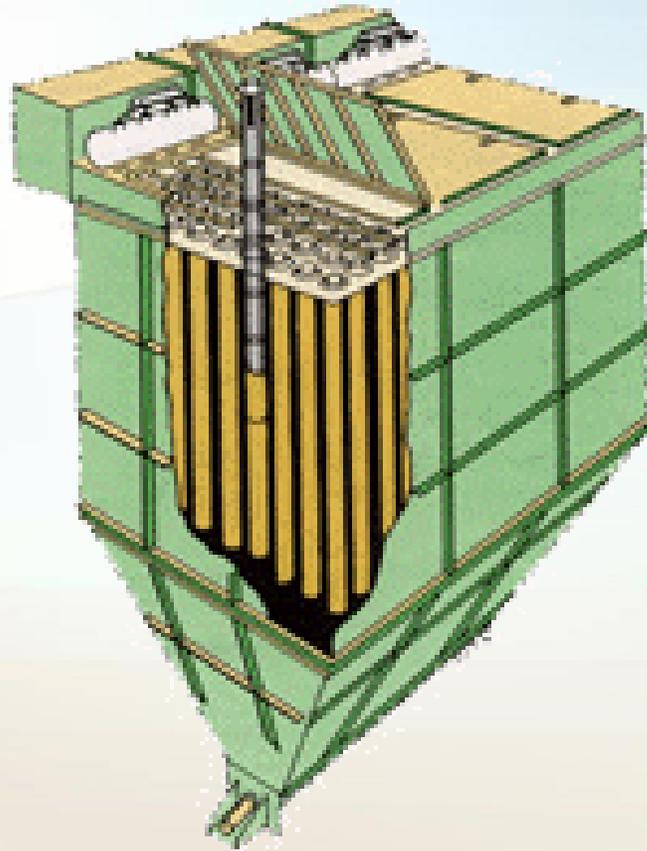
- Como principais alternativas para tratamento de resíduos gasosos destacam-se:
  - Filtração;
  - Separação;
  - Remoção de gases ácidos;
  - Controle de  $\text{NO}_x$ ;
  - Adsorção em carvão ativado ou incineração.

# A - Filtração

- Indicada para a remoção de partículas em suspensão presentes nas correntes gasosas;
- Os principais equipamentos de filtração incluem:
  - Filtros de manga;
  - Filtros cerâmicos;
  - Filtros metálicos;
  - Filtros absolutos (HEPA).

# A - Filtração

- O processo está baseado na interceptação das partículas presentes na corrente gasosa, quando esta atravessa um meio poroso;
- São aplicadas para correntes gasosas secas;
- Devem ser selecionadas em função do diâmetro da partícula que se deseja remover.



## Filtro de Manga Pulsado

<https://youtu.be/1jEOIVQeilE>

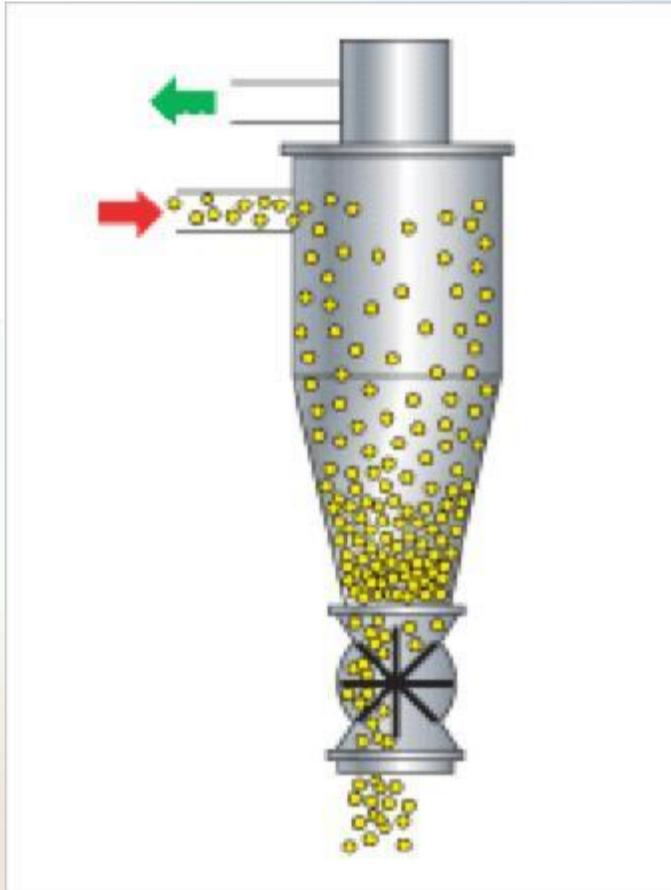




# B - Separação

- Aplica-se a remoção de materiais particulados de qualquer corrente gasosa (seca ou úmida);
- O tipo de processo de separação a ser utilizado depende do diâmetro das partículas presentes;
- Os dispositivos de separação podem ser ativos ou passivos;
- As principais técnicas de separação disponíveis incluem:
  - Separador gravitacional;
  - Separador tipo ciclone;
  - Precipitador eletrostático;
  - Eliminador de umidade.

## Separador tipo ciclone



[https://youtu.be/oZoweO\\_UX6s](https://youtu.be/oZoweO_UX6s)





Secondary  
Air/Gas Inlet



The result is a centrifugal effect that throws the dust particles toward the outside walls.

Primary Air/Gas  
Dust Inlet

The secondary gas intercepts the dust particles, forcing them downward to the hopper where they are collected for disposal or reuse.

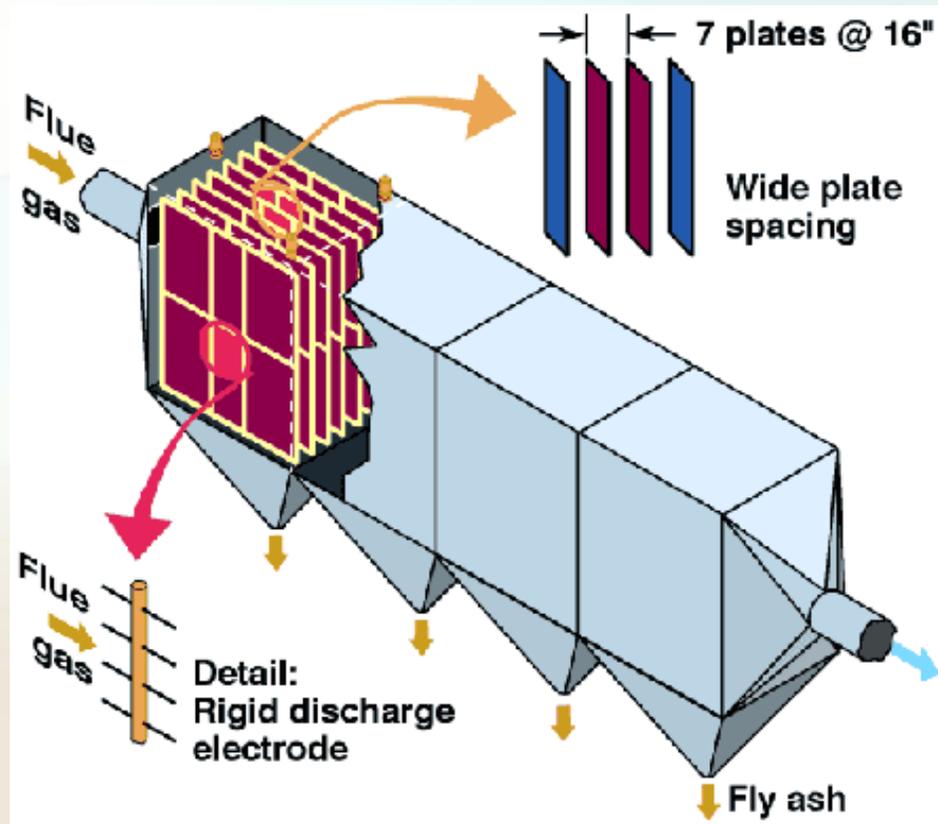
Dust



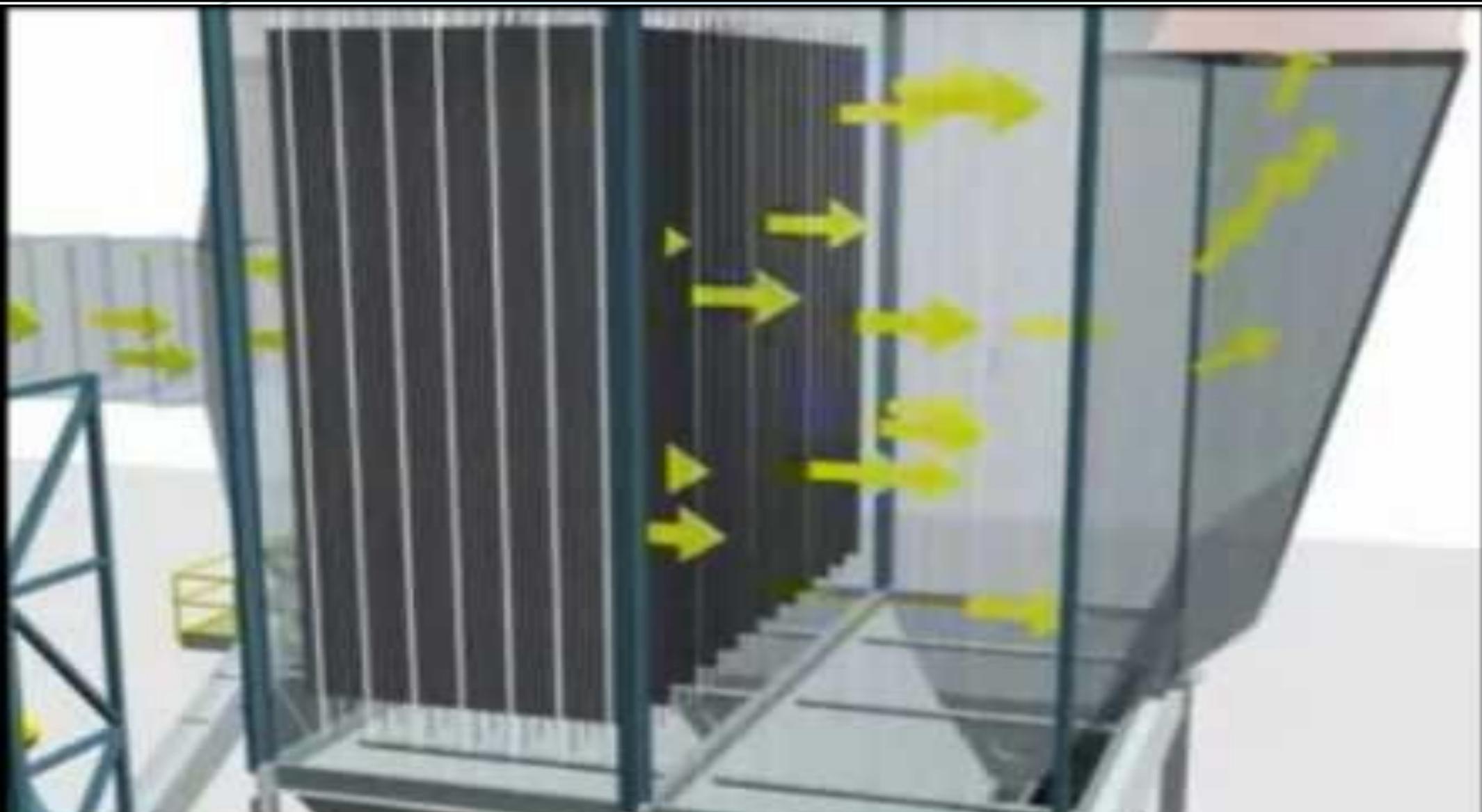
AERODYNE  
"S" SERIES DUST COLLECTOR

COPYRIGHT AERODYNE CORPORATION 2009

# Precipitador Eletrostático



<https://youtu.be/iUXHzYLgrB0>



**Fluxo do Gás Bruto**

# C – Remoção de Gases Ácidos

- Pode ser obtida em lavadores de gases ou pelo processo a seco;
- Os lavadores de gases aplicam-se a remoção de material particulado,  $\text{SO}_2$  e  $\text{HCl}$ ;
- Gases e material particulado são absorvidos em uma solução adequada, geralmente alcalina;
- A remoção dos gases ácidos a seco é feita pela adição de um material absorvedor que irá reagir com o gás, dentro do próprio dispositivo de combustão;
- O material gerado será coletado nos sistemas de separação existentes;

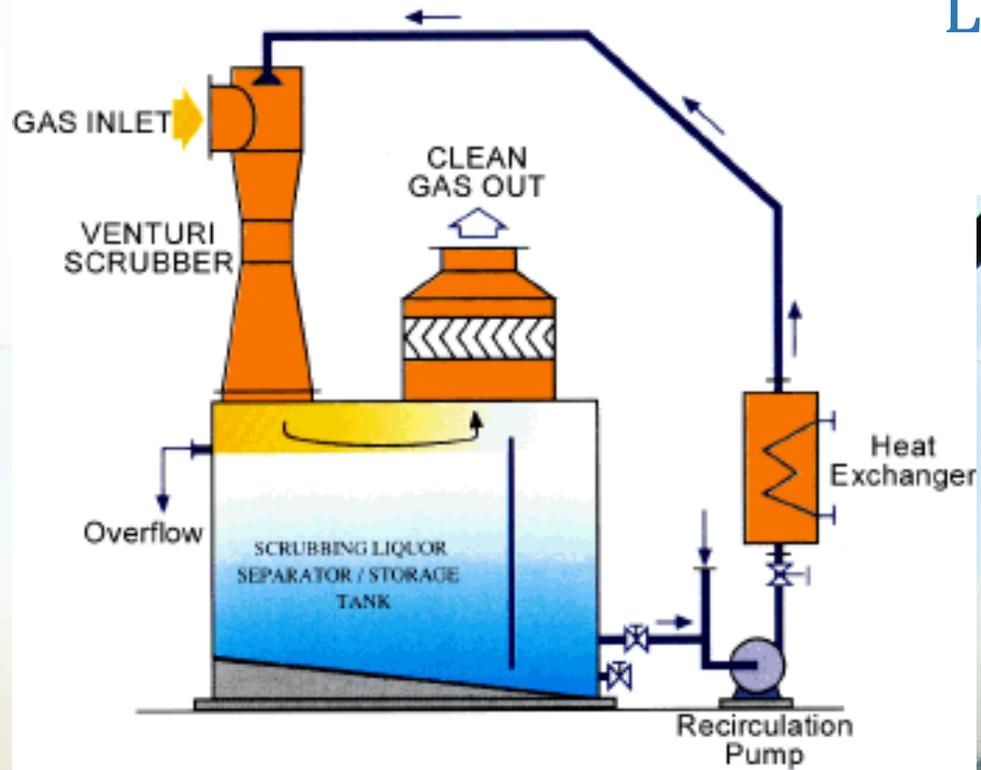
## D – Controle de NO<sub>x</sub>

- O controle de efluentes gasosos contendo NO<sub>x</sub> pode ser realizado por um dos seguintes processos:
  - Controle da temperatura de combustão e relação ar/combustível;
  - Redução catalítica seletiva;
  - Redução não catalítica (adição de NH<sub>3</sub> como agente redutor).
  - Redução catalítica não seletiva;
  - Decomposição direta com catalisador;
  - Oxidação e lavagem (NO → NO<sub>2</sub>);
  - Quelação e lavagem.

## D – Controle de $\text{NO}_x$

- Só os lavadores de gases não são capazes de promover a remoção dos vapores de  $\text{NO}_x$  presentes nos gases de combustão;
- Isto se justifica em razão da maior fração de  $\text{NO}_x$  (90 a 95 %), estar na forma de  $\text{NO}$ , o qual não é efetivamente capturado.

## Lavador de gases tipo Venturi



<https://youtu.be/BRNPgPBEzfM>



## E – Adsorção em Carvão Ativado ou Incineração

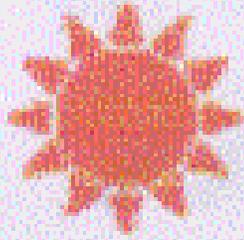
- Efluentes com compostos voláteis, hidrocarbonetos e solventes orgânicos, podem ser submetidos a este tipo de processo;
- Adsorção em carvão ativado:
  - Contaminantes são retidos no carvão por processos físicos e químicos;
  - Após a exaustão o carvão exaurido deverá ser gerenciado de forma adequada, podendo ser regenerado ou incinerado;
- Incineração os gases:
  - Contaminantes voláteis são convertidos em substâncias menos tóxicas;
  - Pode ser feita a recuperação de energia.

# Efeitos Globais da Poluição

## ■ Efeito Estufa (Mudança Climática)

- Processo pelo qual a temperatura do Planeta é mantida constante;
- Em decorrência de um desequilíbrio no balanço térmico, maior acúmulo de energia, existe uma tendência na elevação da temperatura;
- A causa deste desequilíbrio é atribuída a certos gases que são emitidos para a atmosfera:
  - $\text{CO}_2$ ;  $\text{CH}_4$  e Óxidos de nitrogênio, entre outros.

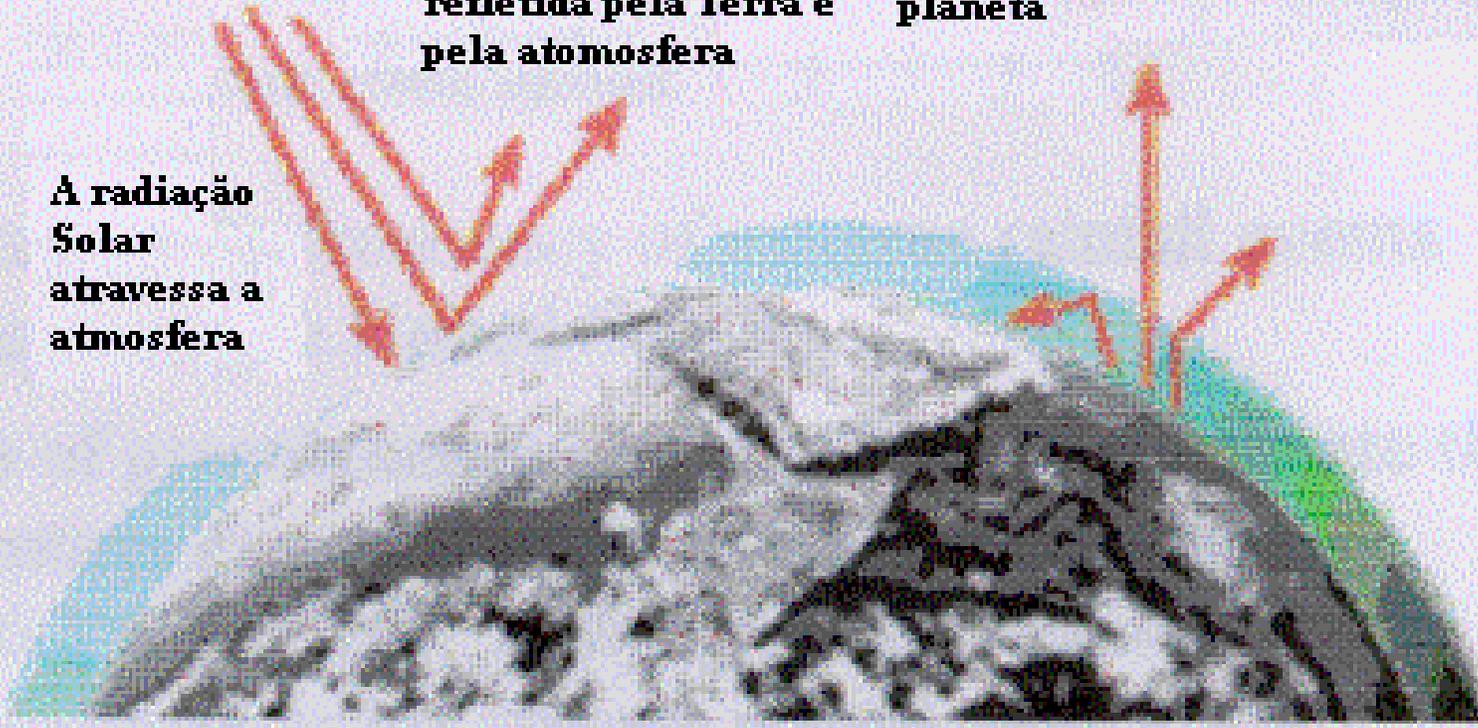
## O Efeito Estufa



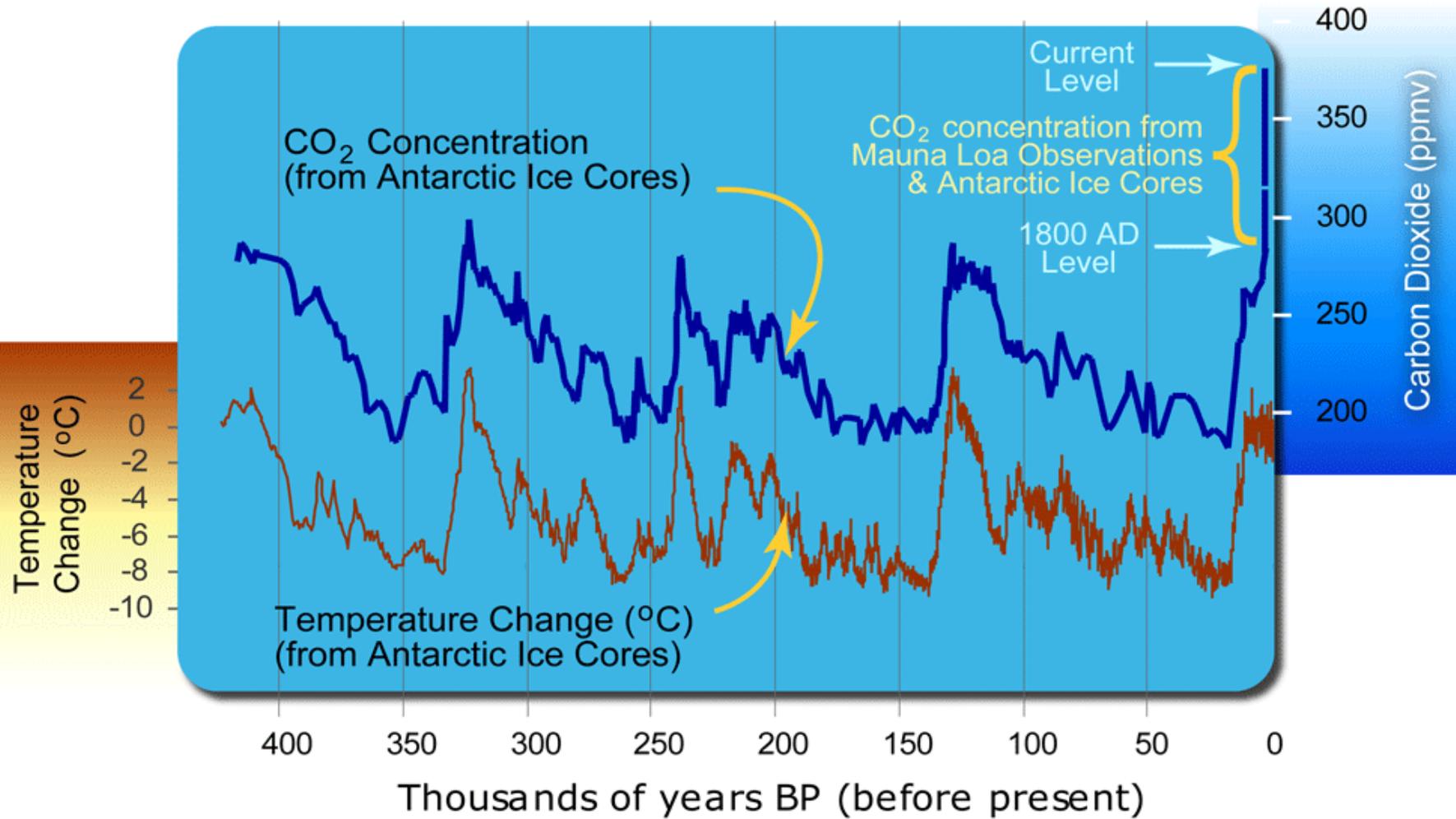
Parte da Radiação é refletida pela Terra e pela atmosfera

Parte da radiação infravermelha da Terra passa pela atmosfera e parte é absorvida e reemitida pelas moléculas dos gases estufa, provocando o aquecimento do planeta

A radiação Solar atravessa a atmosfera



# 400 Thousand Years of Atmospheric Carbon Dioxide Concentration and Temperature Change



Data Source CO<sub>2</sub>: <ftp://cdiac.ornl.gov/pub/trends/co2/vostok.icecore.co2>  
Data Source Temp: <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/trends/temp/vostok/vostok.1999.temp.dat>

Graphic: Michael Ernst, The Woods Hole Research Center



# Implicações das Mudanças Climáticas

- Aumento da temperatura média do Planeta;
- Aumento na taxa de evaporação de água e aumento da precipitação;
- Diminuição da umidade do solo em várias regiões e aumento em outras;
- Aumento do nível dos oceanos;
- Alterações no equilíbrio do ecossistema.

# Medidas de Controle

- **Protocolo de Quioto para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>;**
- **Reduzir as emissões aos níveis de 1990;**
- **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;**
  - **Cria-se o conceito de crédito de emissão;**
    - **Países industrializados por meio de compensações financeiras à países em desenvolvimento ganham créditos para ultrapassar a cota estabelecida;**
    - **Os investimentos podem ser feitos em projetos de reflorestamento.**

# Últimos Desenvolvimentos

- **Acordo de Paris** é um tratado no âmbito da [Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima](#) (UNFCCC - sigla em [inglês](#)), que rege medidas de redução de emissão [dióxido de carbono](#) a partir de 2020. O acordo foi negociado durante a [COP-21](#), em [Paris](#) e foi aprovado em 12 de dezembro de 2015.<sup>1</sup>

# Objetivos da Convenção

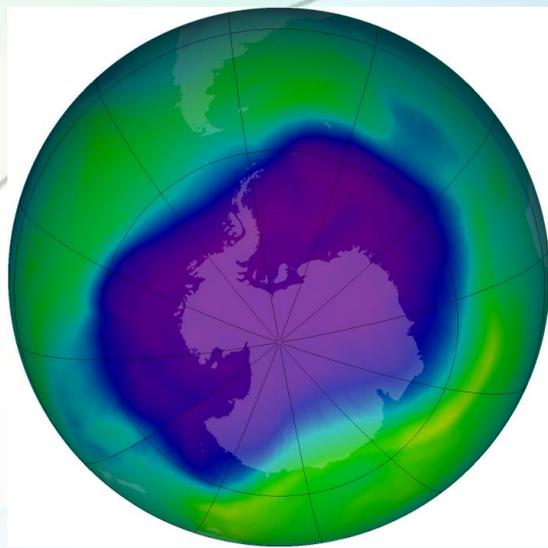
- ✓ Assegurar que o aumento da temperatura média global fique abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a até 1,5°C acima dos níveis pré industriais, reconhecendo que isto vai reduzir significativamente os riscos e impactos das alterações climáticas;
- ✓ Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas e promover a resiliência do clima e o baixo desenvolvimento de emissões de **gases do efeito estufa**, de maneira que não ameace a produção de alimentos;
- ✓ Criar fluxo financeiros consistentes na direção de promover baixas emissões de gases de efeito estufa e o desenvolvimento resistente ao clima.

# Depleção da Camada de Ozônio

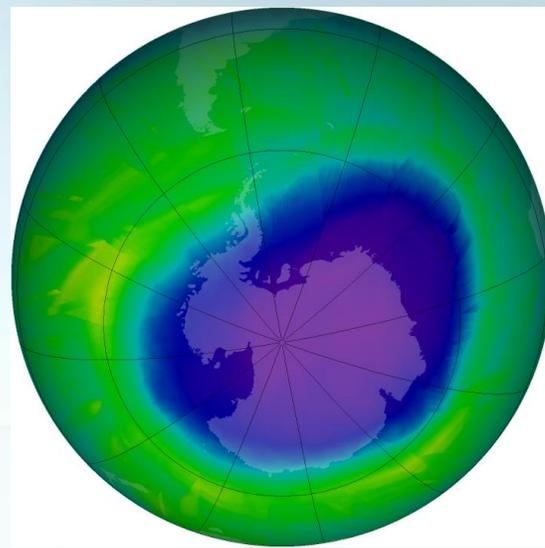
- Diminuição da concentração de ozônio encontrado na atmosfera (15 a 30 Km);
- Resultado da degradação catalítica pelos Clorofluorcarbonos (CFC's);
- Importância do Ozônio:
  - Reduz a intensidade de radiação ultravioleta que chega à superfície do Planeta, principalmente UVB e UVC.

# Implicações da Redução da Camada de Ozônio

- Aumento do índice de câncer de pele;
- Aumento do índice de catarata;
- Danos à materiais poliméricos, plantas e organismos matinhos.



24/09/2006



30/09/2010



**Varição da Concentração de Ozônio  
na Estratosfera Hemisfério Sul (acima)  
e Norte (ao lado)**

**Total Ozone (D.U.) for 05 October 2010**

