

# Poluição Atmosférica

Professora Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo

PHA - EPUSP

# Tópicos dessa aula

1. Introdução

2. Poluentes Críticos

3. Fenômenos

4. Controle e  
Tratamento

# 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

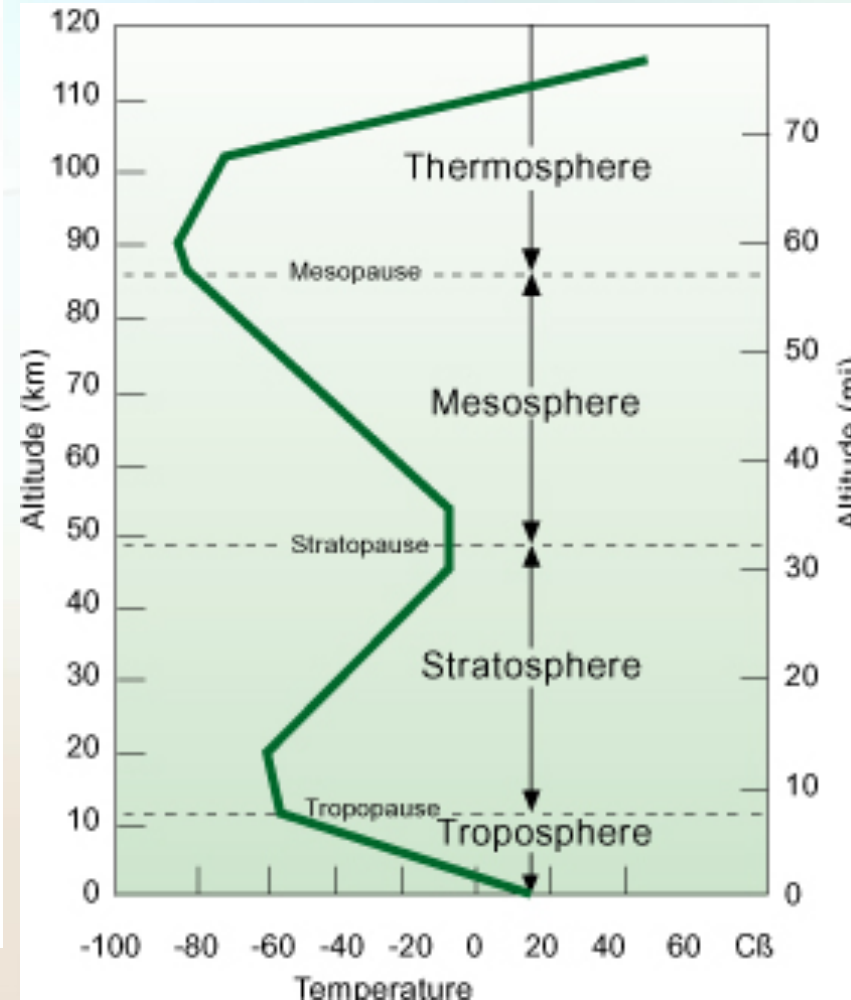
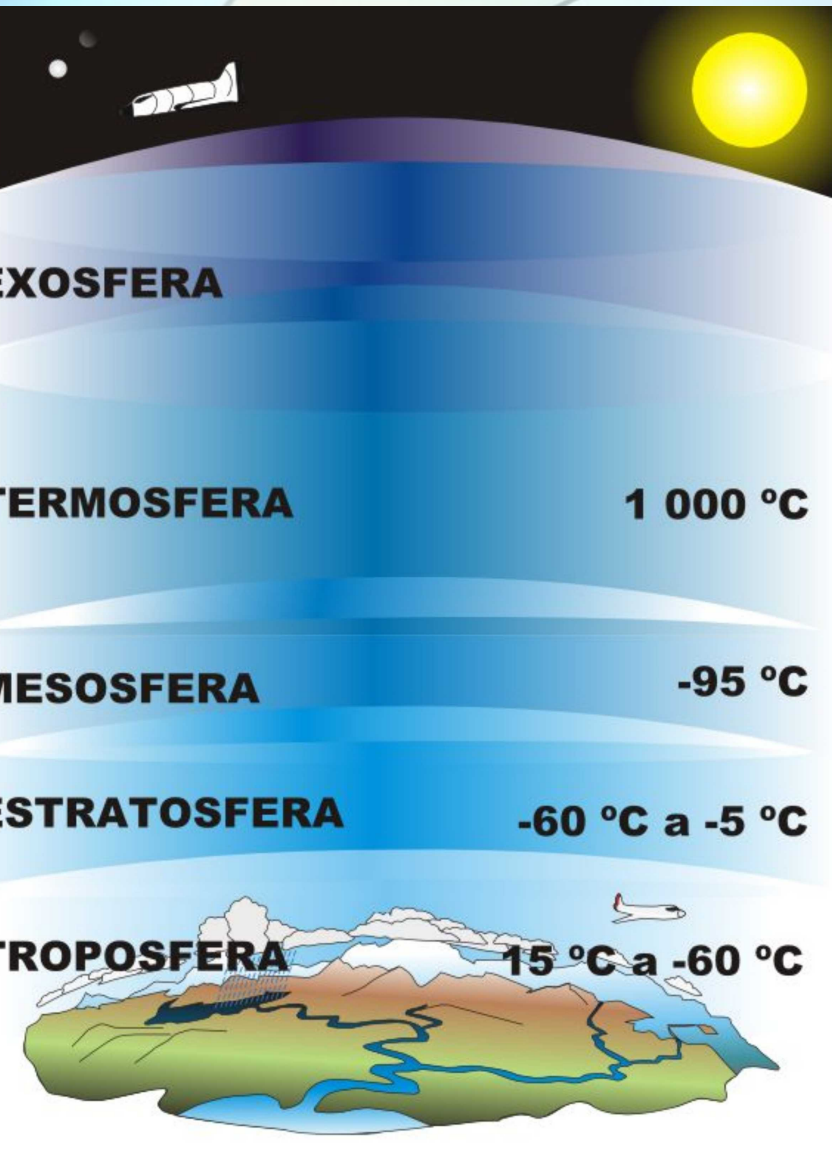


# A Atmosfera

## Composição Química da Atmosfera

Gás	Símbolo	Porcentagem 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



- **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.

# Tópicos dessa aula

1. Introdução

2. Poluentes Críticos

3. Fenômenos

4. Controle e  
Tratamento

# Poluição do Ar



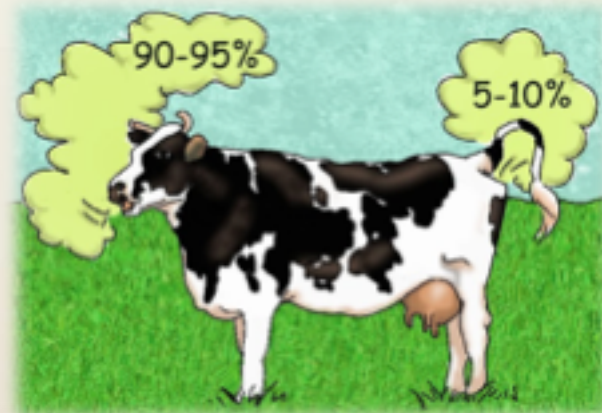
Fontes Fixas



Fontes Móveis



Fontes Naturais



# O que são poluentes atmosféricos?

- Poluentes atmosféricos são gases e partículas sólidas resultantes das **atividades humanas** que são 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 outras atividades humanas.
- Os gases e partículas oriundos de fenômenos naturais a degradação da matéria orgânica, vulcanismos e outros fenômenos naturais – muitas vezes são erroneamente classificados como poluentes, mas pertencem aos ciclos naturais do planeta e, portanto, não são considerados poluição, o que não significa que não possam afetar negativamente o homem e que não tenhamos que intervir nessas condições.



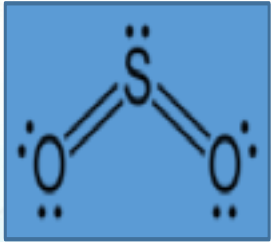
# O que são poluentes atmosféricos?

- 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.

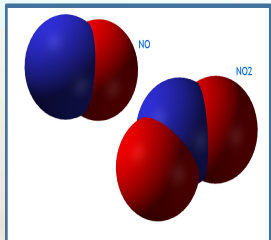
# Poluentes Atmosféricos

- Poluentes Primários:
  - Substâncias lançadas diretamente na atmosfera:
    - CO; NO<sub>x</sub>; SO<sub>2</sub>; Hidrocarbonetos e material particulado;
- Poluentes Secundários:
  - Formados em decorrência da reação entre as substâncias presentes na atmosfera em condições adequadas;
    - SO<sub>3</sub> (reação entre SO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>)
    - Ácido Sulfúrico (reação entre o SO<sub>3</sub> e vapor d'água);
    - Ozônio (reação entre óxidos de nitrogênio e oxigênio na presença de luz solar);
- Ruído e calor também são considerados poluentes.

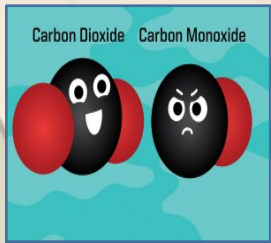
# Poluentes Críticos



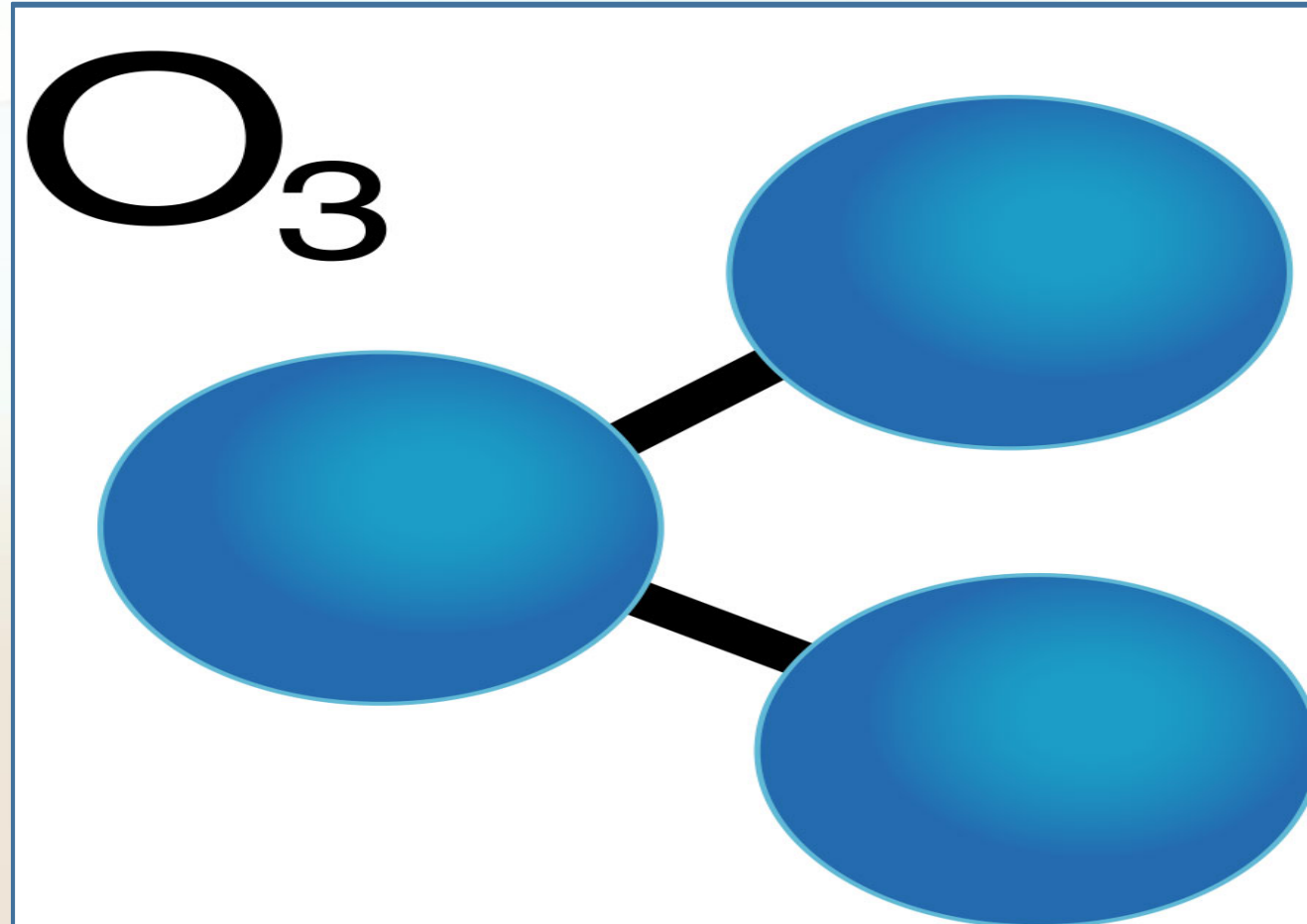
Gases de Enxofre



Gases de Nitrogênio



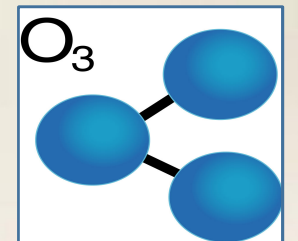
Óxidos de Carbono



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.

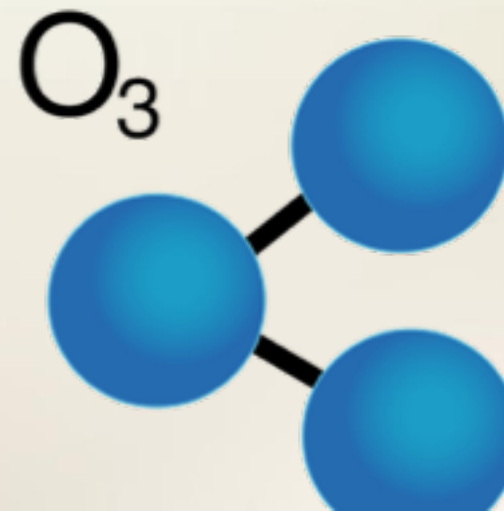
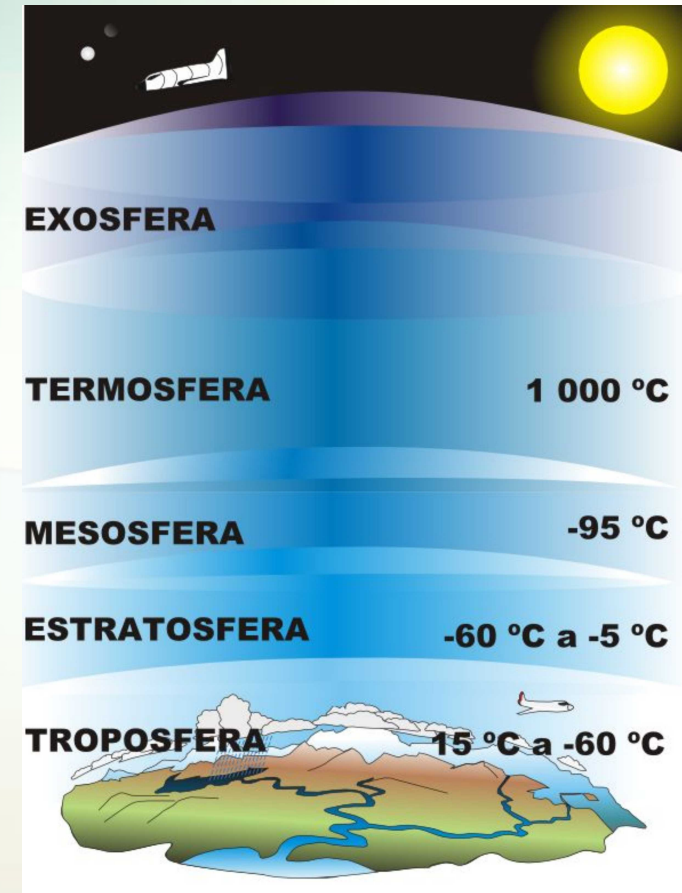


# Ozônio (O<sub>3</sub>)

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			
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.	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).
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.	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.

# Tópicos dessa aula



2. Poluentes Críticos



3. Fenômenos



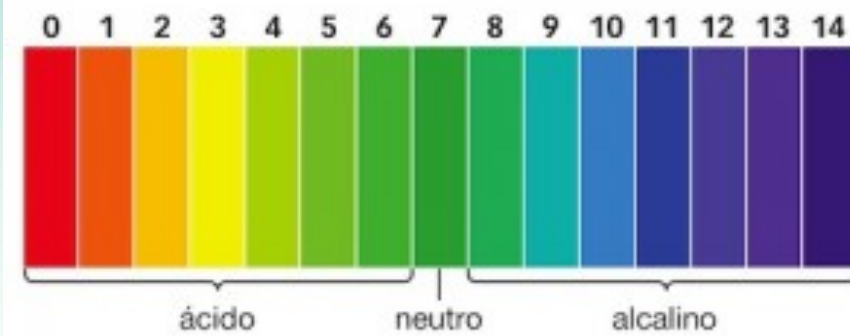
4. Controle e  
Tratamento

# Fenômenos

- Chuva Ácida
- Smog Industrial e Smog Fotoquímico
- Inversão Térmica
- Ilhas de Calor



# Chuva Ácida



- O pH da chuva comum é levemente ácido devido ao gás carbônico natural. No entanto, a presença de óxi-ácidos **como os gases de enxofre e de nitrogênio podem contribuir para aumento do pH da precipitação.**
- As consequências são: **morte de florestas** (infertilidade do solo e lixiviação de clorofila), **impactos na vida aquática** (solubilização de metais em água, morte de peixes) e **corrosão de pinturas de carros, estátuas e edifícios**
- O fenômeno também pode se apresentar na forma de neve ou névoa ácidas



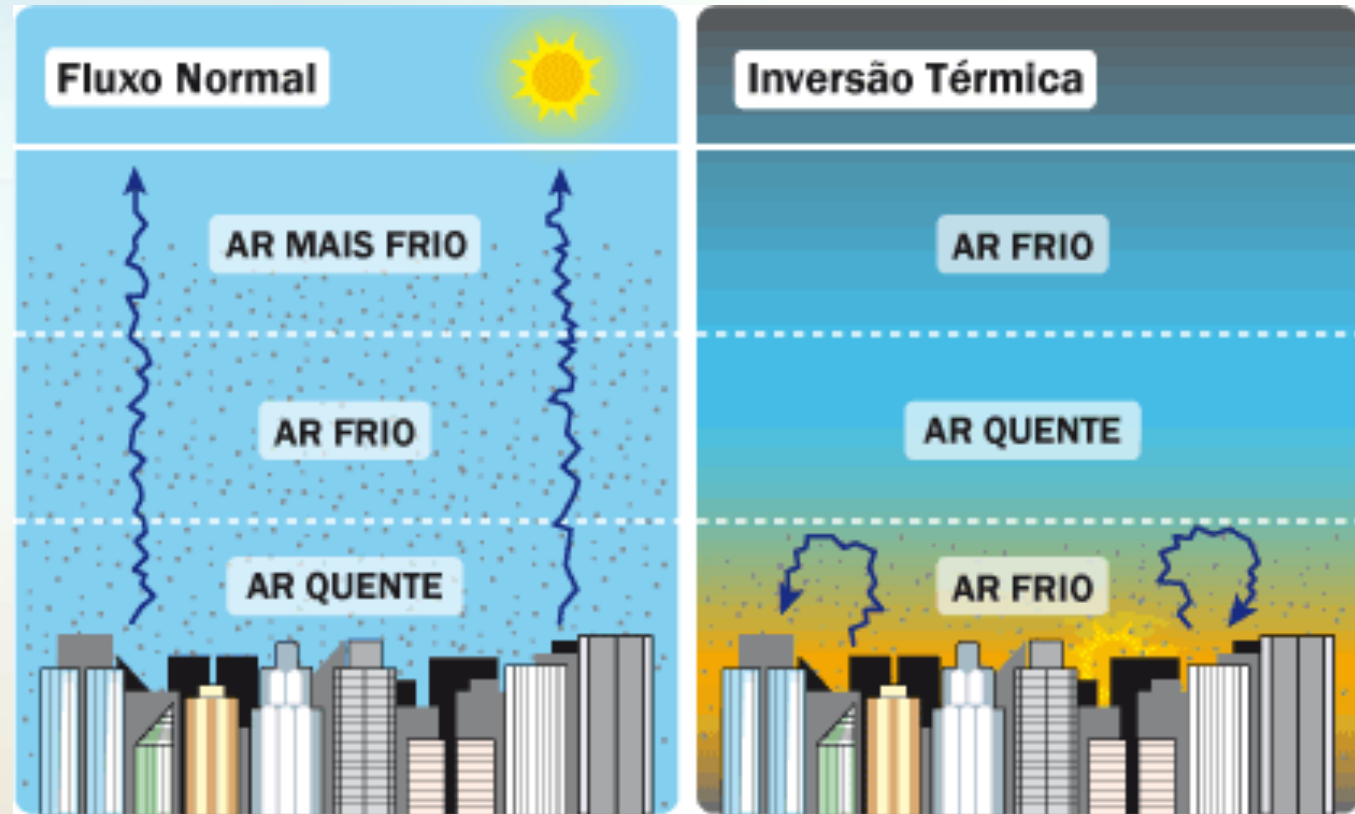
# SMOG

- 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<sub>3</sub>**



# Inversão Térmica

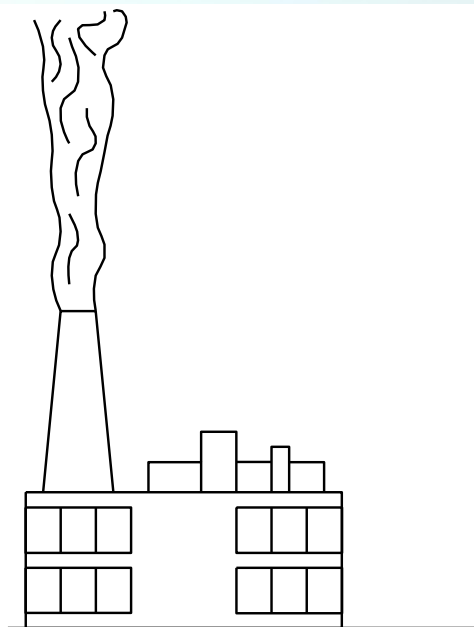
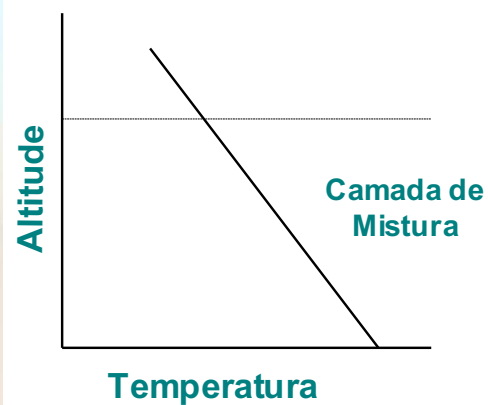
- Fenômeno NATURAL (aconteceria mesmo sem humanos)
- Em um dia normal: difusão - massa de ar quente próxima ao solo sobe, massa de ar fria desce. Se existem poluentes, estes são dispersos nas massas de ar.
- Em um dia de inversão: superfície esfria rápido, camada superior fica mais quente que a de baixo. 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.



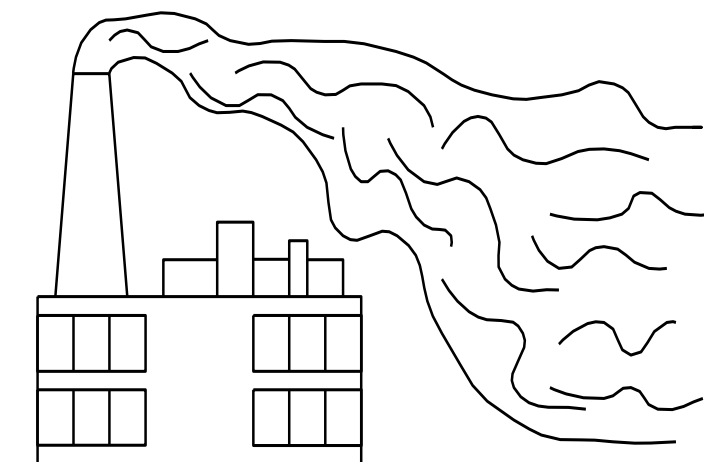
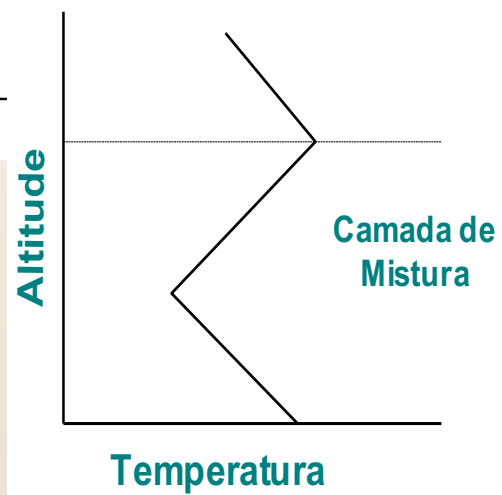


# Inversão Térmica

Sem Inversão



Com Inversão



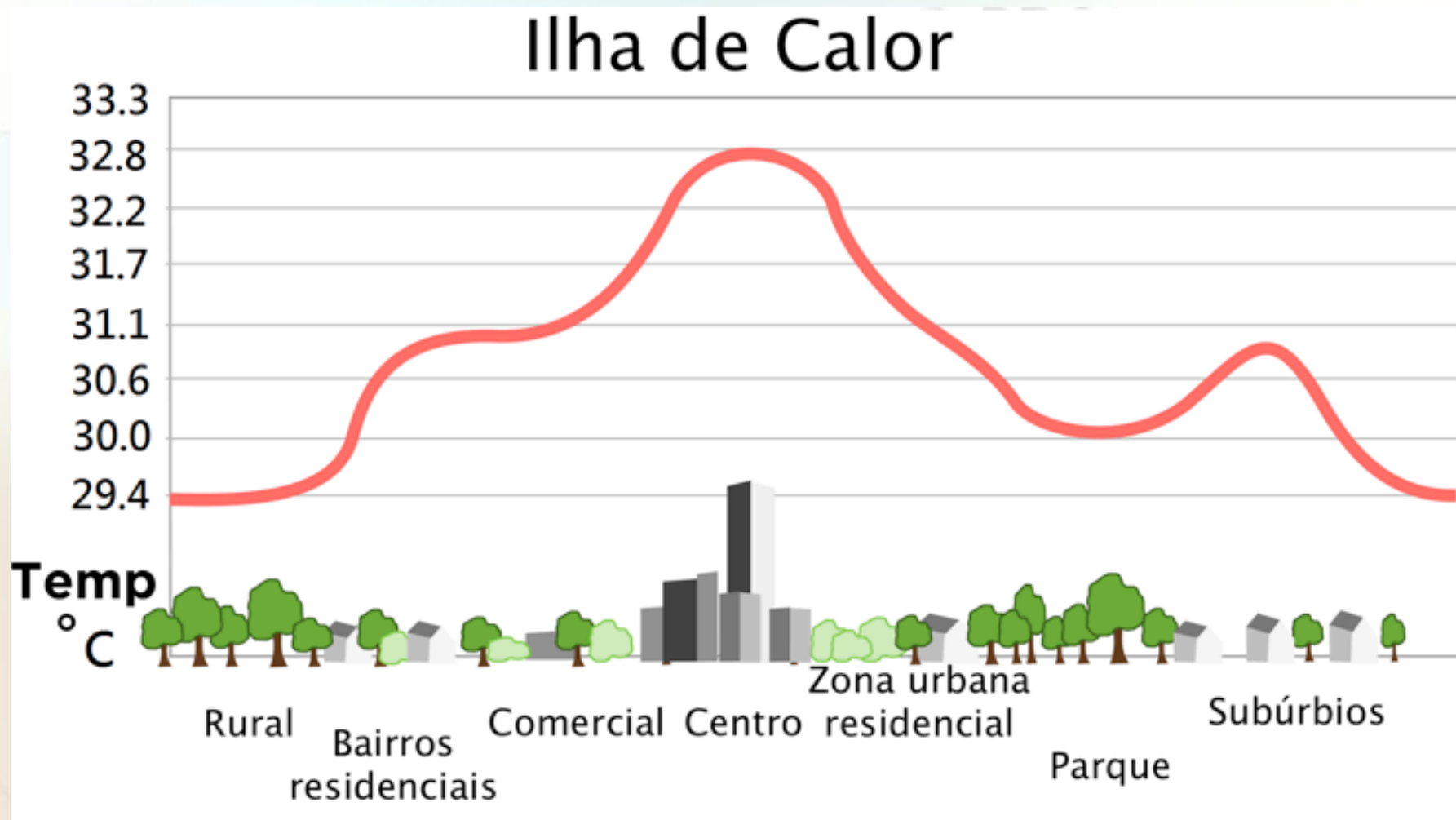
# Ilha de Calor

- Ilha de Calor é diferente de Inversão Térmica
- Causada por ação humana
- Em centros urbanos, materiais de construção (concreto, asfalto e vidros) interferem na irradiação de calor das superfícies, causando aumento de temperaturas localizados
- Comprovadamente, o uso de superfícies verdes (telhados verdes, parques) auxilia na manutenção das temperaturas em ambientes urbanos.



“Isso não é uma Ilha de Calor”

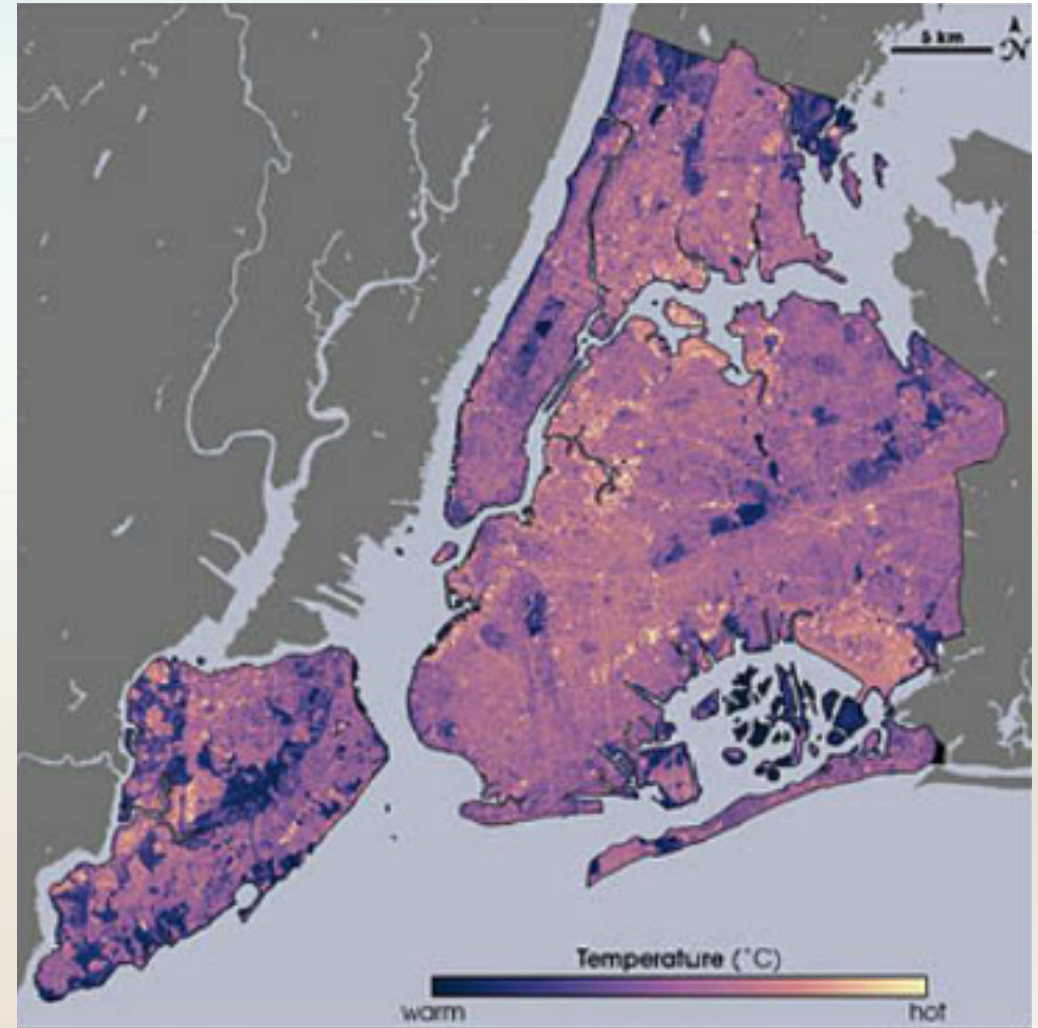
# Ilha de Calor



# Ilha de Calor



Vegetação



Temperatura

# Tópicos dessa aula



3. Fenômenos



4. Controle e  
Tratamento

# 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

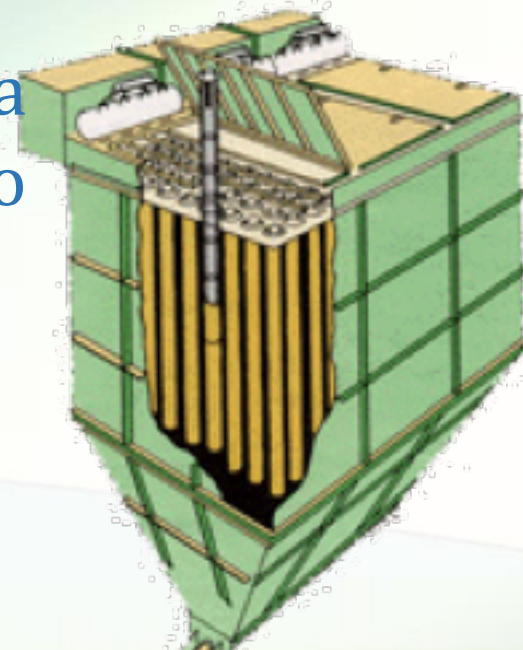
- Como principais alternativas para tratamento de resíduos gasosos destacam-se:
  - Filtração;
  - Separação;
  - Remoção de gases ácidos;
  - Controle de  $\text{NO}_x$ ;
  - Adsorção em carvão ativado ou incineração.
- A descrição desses métodos e sua aplicação encontra-se no livro da disciplina
- Cada método está direcionado para remover certas partículas a certas condições.



# A - Filtração

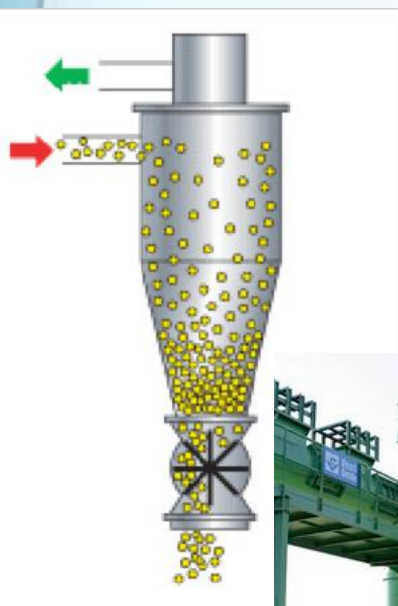
- Indicada para a remoção de **partículas em suspensão** presentes nas correntes gasosas secas;
- O processo está baseado na interceptação das partículas presentes na corrente gasosa, quando esta atravessa um meio poroso;
- Devem ser selecionadas em **função do diâmetro da partícula** que se deseja remover.

## Filtro de Manga Pulsado



# 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;



[https://youtu.be/oZoweO\\_UX6s](https://youtu.be/oZoweO_UX6s) <https://youtu.be/1jEOIVQeilE>

# C – Remoção de Gases Ácidos

- em lavadores de gases: (remoção de **material particulado, SO<sub>2</sub> e HCl**) - gases e material particulado são absorvidos em uma solução adequada, geralmente alcalina
- pelo processo a seco: a remoção é feita pela adição de um material absorvedor que irá reagir com o gás, dentro do próprio dispositivo de combustão e 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 uma série de processos, como por exemplo:
  - Controle da temperatura de combustão e relação ar/combustível;
  - Oxidação e lavagem (NO → NO<sub>2</sub>);
  - ....

## E – Adsorção em Carvão Ativado ou Incineração

- Efluentes com compostos voláteis, hidrocarbonetos e solventes orgânicos;
- 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.

## 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.

# **controle da poluição do ar**

# Modelo tradicional de controle da poluição

Padrões x emissões



Empresa A

Padrões x emissões



Empresa B

Padrões x emissões



Empresa C

# Modelo tradicional de controle da poluição

- Todas as empresas devem atender aos padrões estabelecidos;
- Controle individualizado pelos órgãos fiscalizadores;
- Maior dificuldade na obtenção de conformidade com padrões de qualidade ambientais;
- Custos associados ao controle da poluição e fiscalização dos empreendimentos.
  - Relação de dependência entre empresas e órgãos de controle ambiental;
  - Dentro de uma mesma instalação podem existir várias fontes de emissão;
  - Dificuldade da avaliação do efeito conjunto das emissões individuais.

# Solução alternativa

- Estados Unidos da América:
  - Clean Air Act 1990;
  - Title IV – Acid Deposition Control.
- Estabelece um novo conceito para o controle das emissões de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, responsáveis pela ocorrência da chuva ácida;
- Baseada em um estudo de 10 anos para a avaliação das causas e efeitos relacionados à chuva ácida.

## Prerrogativas

- Presença de compostos ácidos e precursores na atmosfera:
  - Ameaça aos recursos naturais, ecossistemas, materiais , visibilidade e saúde pública.
- Queima de combustíveis fósseis como principal fonte de compostos ácidos e disponibilidade de estratégias e tecnologias para controle da deposição ácida.

# Finalidade nos EUA

- Reduzir a emissão, em base anual, de SO<sub>2</sub> em 10 milhões de toneladas, a partir dos níveis de 1980;
- Reduzir a emissão, também em base anual, de NOx em 2 milhões de toneladas, a partir dos níveis de 1980.
  - 1973 → pico de 33 milhões de toneladas;
  - 1980 → 25,9 milhões de toneladas;
  - 1990 → Proposta para reduzir em 10 milhões de toneladas em relação a 1980;
  - 1995 → Estabelecido o teto de emissão de 8,7 milhões de toneladas para os maiores emissores.



# Mecanismo para redução das emissões

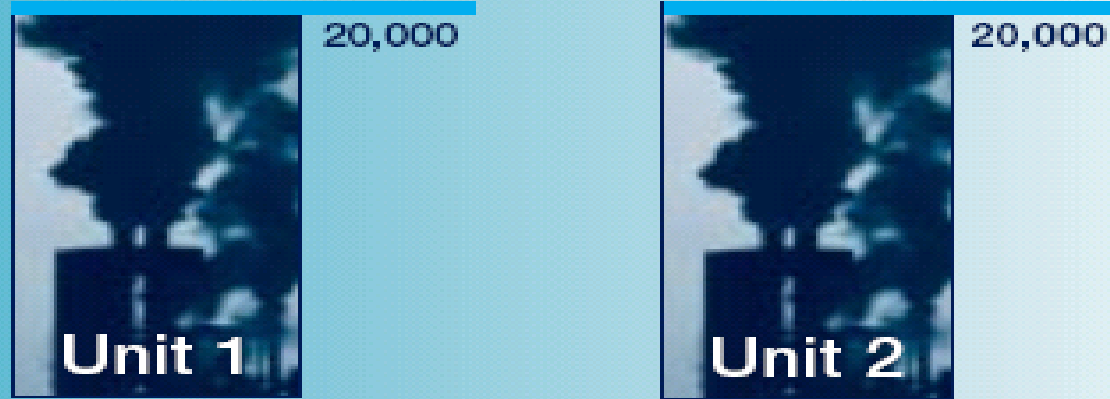
- Limitar a emissão por fontes afetadas, por meio de um programa específico;
- O atendimento às exigências definidas pode ser obtido:
  - Por métodos alternativos aos de controle da poluição;
  - Criação de um sistema de alocação e transferência de emissões.
- Estratégias de longo prazo:
  - **Encorajar métodos de conservação de energia**
  - **Adotar tecnologias alternativas**
  - **Implantar programas de prevenção da poluição**

# Permissões Negociáveis

- Trata-se de um conceito no qual as fontes de emissão são consideradas em conjunto;
- Estabelecimento **de um limite anual de emissão para poluentes específicos** (Teto):
  - Toneladas por ano;
- Emissão de permissões para as empresas envolvidas no programa;
- Uma permissão equivale à uma determinada quantidade de poluentes que pode ser emitida no ano;
- As permissões são distribuídas de acordo com a capacidade de produção de cada instalação;
- No final do período cada empresa apresenta ao órgão de controle, uma quantidade de permissões equivalentes a quantidade de poluentes emitidos.

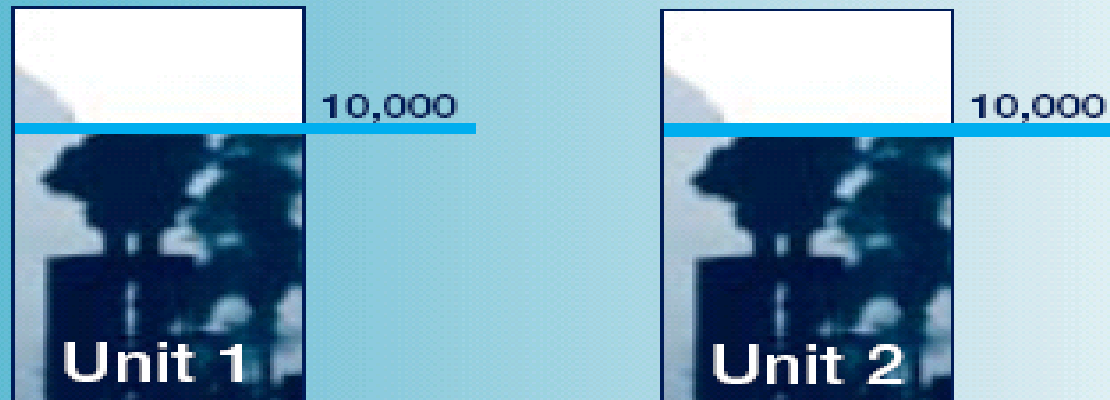
# Permissões Negociáveis

## BEFORE THE PROGRAM



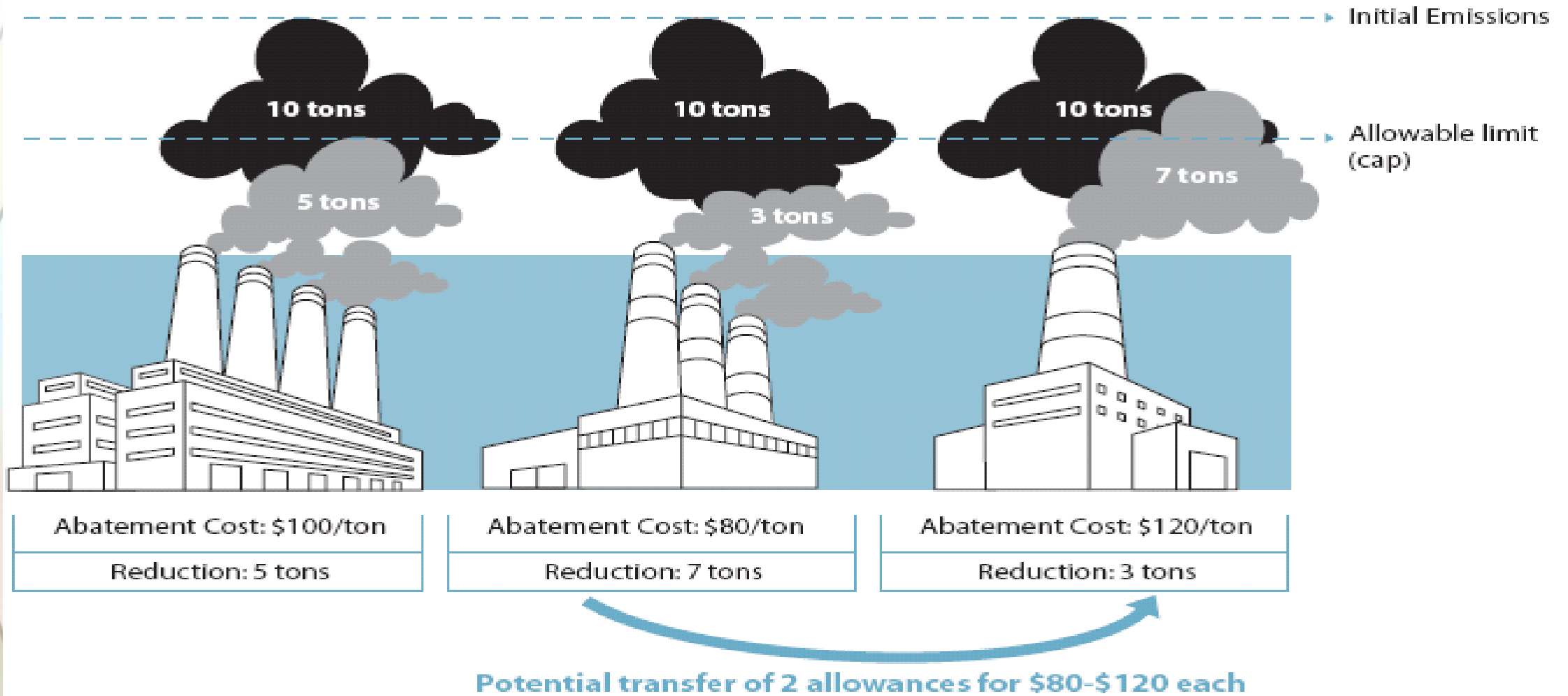
*With no reductions required, Unit 1 and Unit 2 each emits 20,000 tons a year.*

## THE “CAP”



*The cap requires a 50 percent cut in emissions—e.g., from 20,000 to 10,000 tons.*

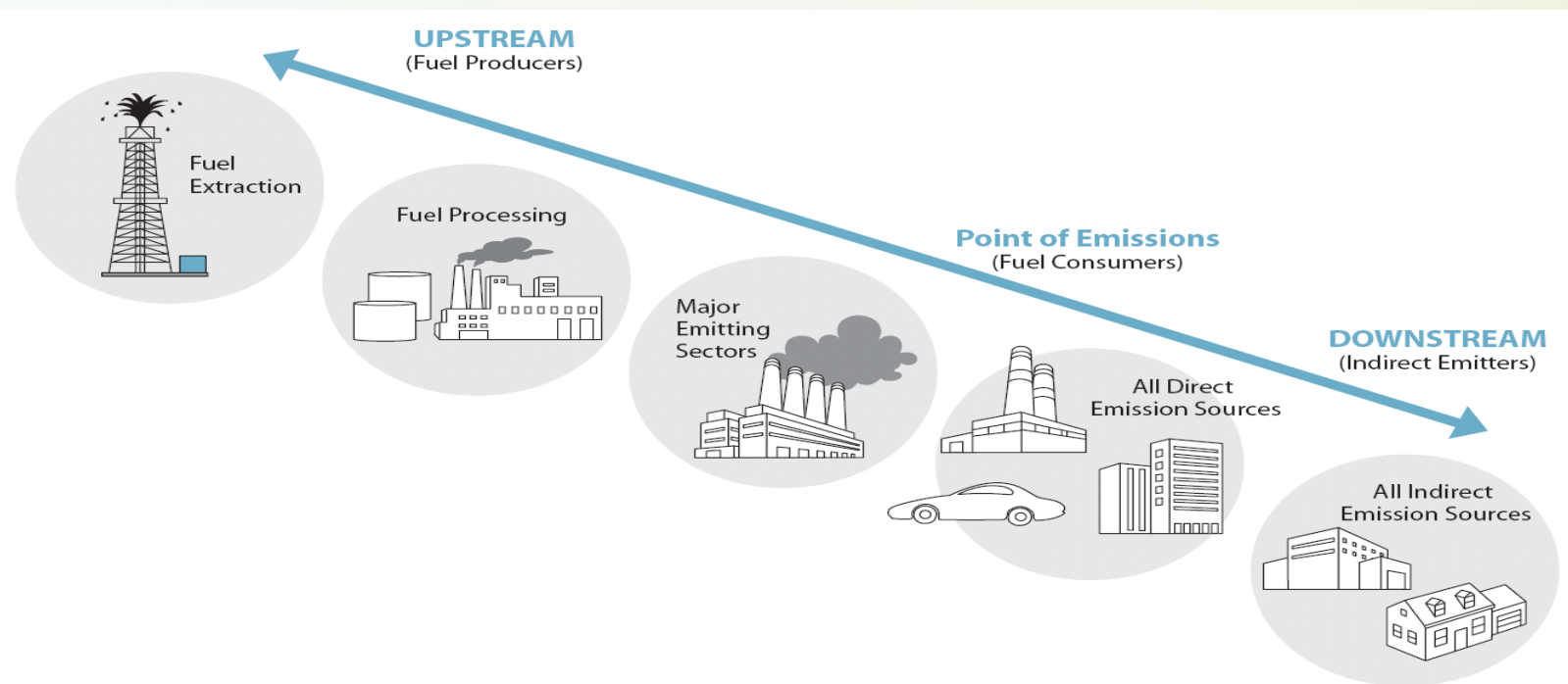
- Na prática, o que ocorre é o estabelecimento de um limite máximo de emissão para todas as empresas:
  - No exemplo da figura anterior, 20.000 toneladas;
- Cada empresa teve o limite de emissão de 10.000 toneladas, redução de 50% das emissões em relação à condição anterior.



**Minimização de custos com a comercialização das permissões**

# Medidas para controle da emissão

- O controle da emissão pode ser feito:
  - Diretamente no ponto de emissão;
  - Na cadeia produtiva de insumos utilizados (Controle Upstream);
  - Na cadeia dos usuários (Downstream).
- Caso as empresas ultrapassem os limites de emissão alocados, elas são penalizadas.

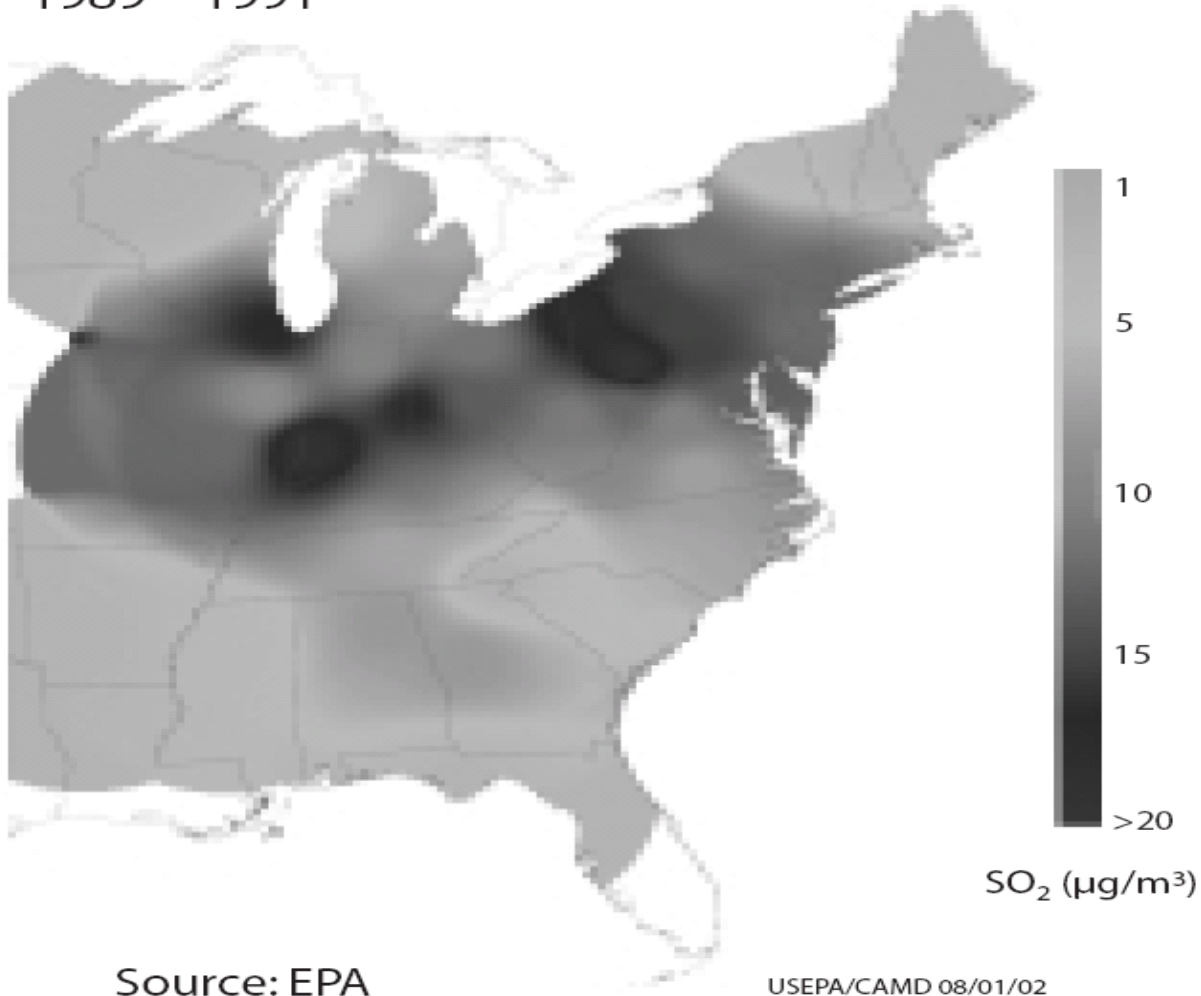


**Possibilidades de atuação  
para atender os limites de  
emissão**

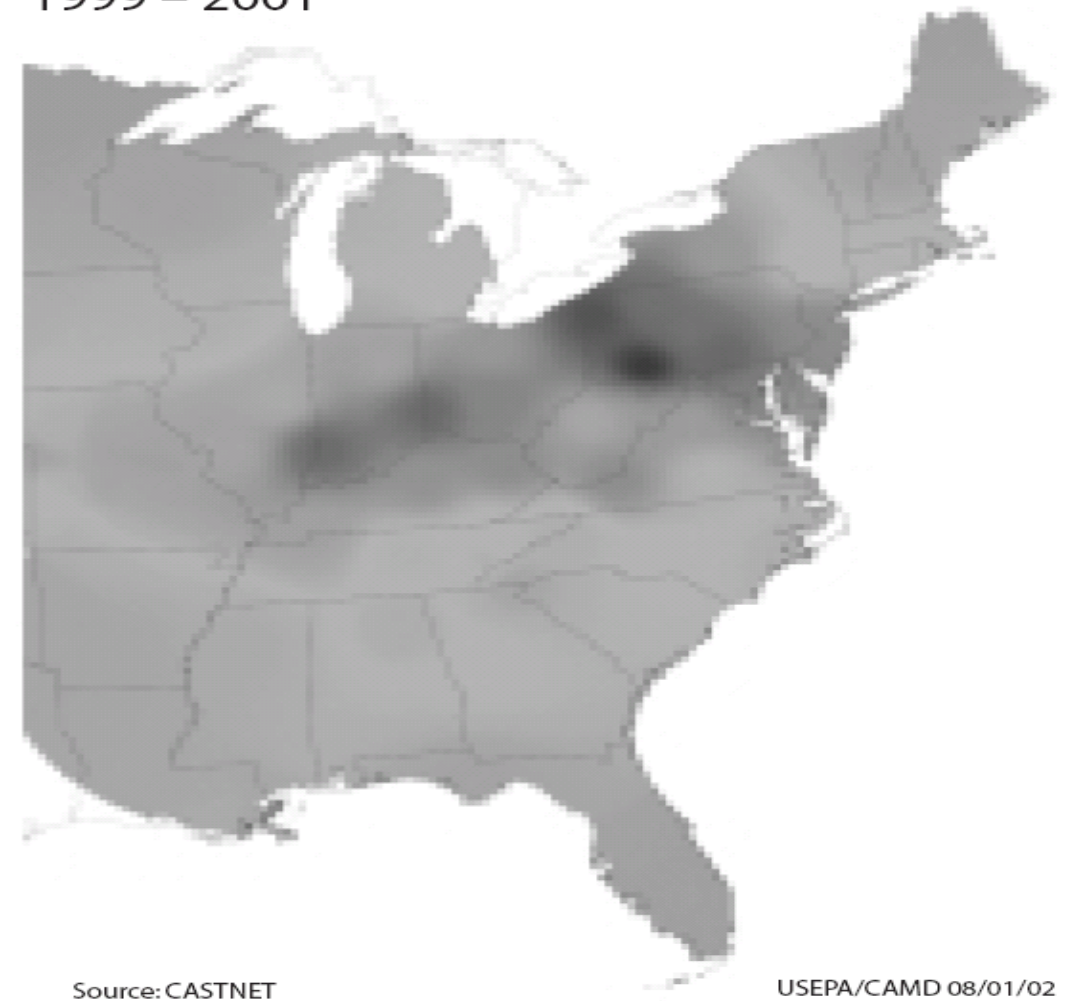
# Resultados nos EUA

- Com a implantação do programa de permissões negociáveis houve uma significativa redução das emissões;
- Dados relacionados à qualidade do ar têm mostrado um declínio na concentração de  $\text{SO}_2$ ;
- Somente os benefícios relacionados à saúde, **estimados para 2010 podem chegar a valores variando de 17 a 70 bilhões de dólares anuais.**

1989 – 1991

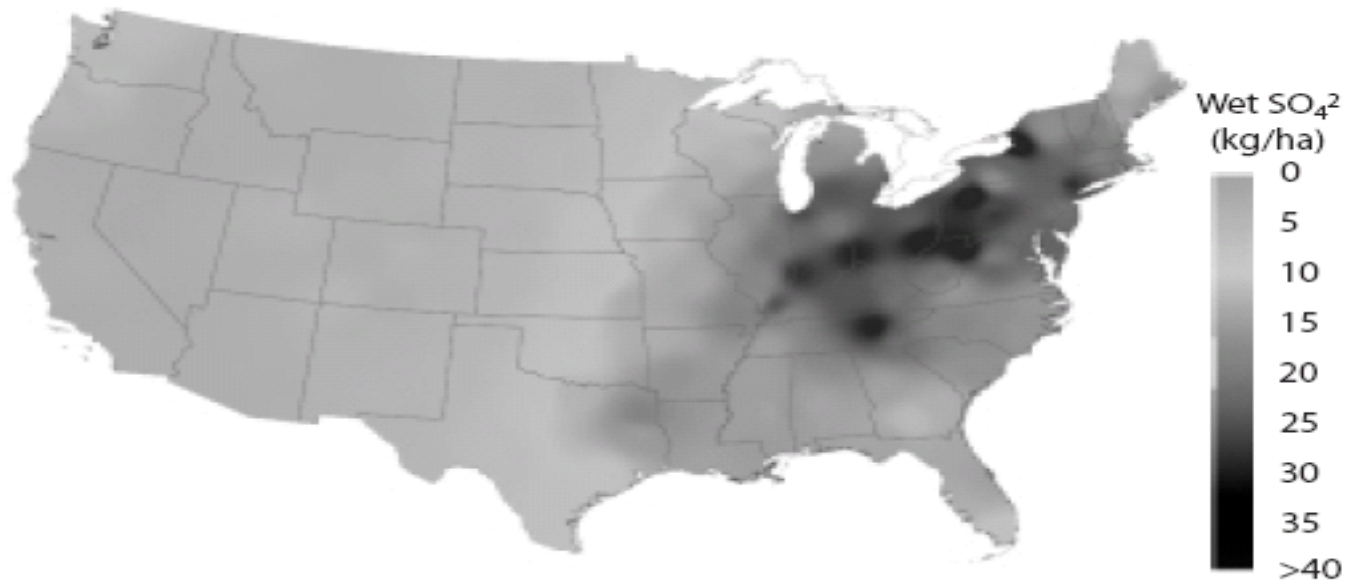


1999 – 2001



**Tendências regionais para a concentração de SO<sub>2</sub>**

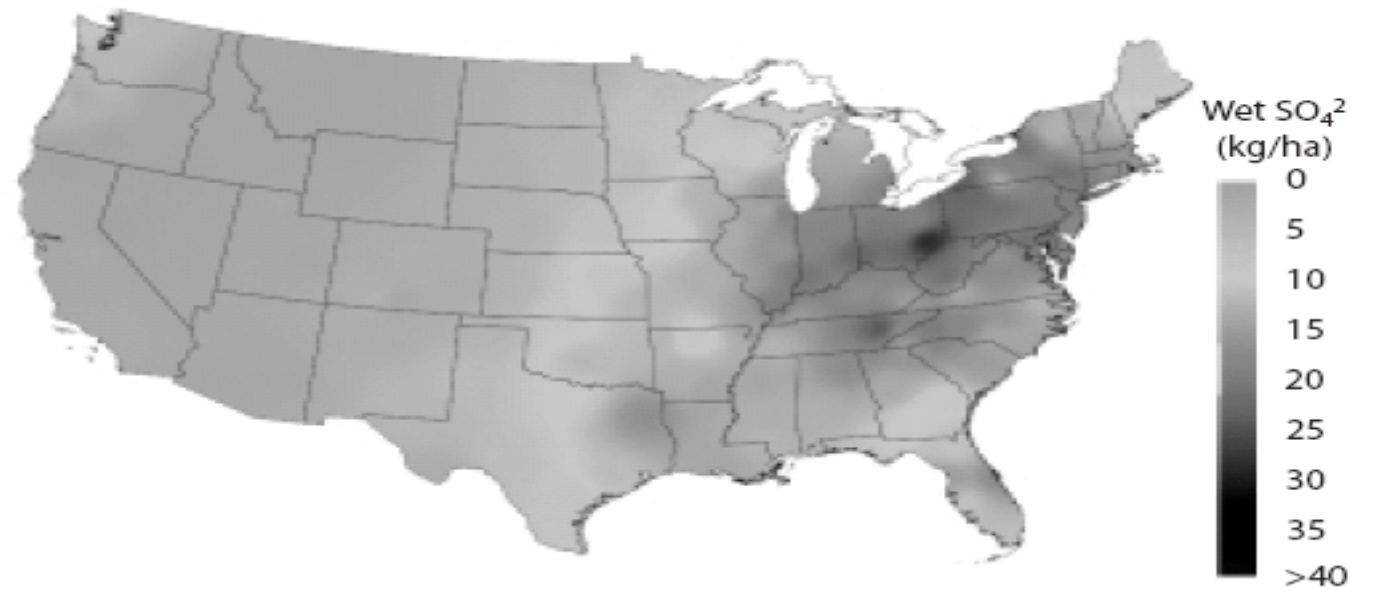
1989 – 1991



Source: National Atmospheric Deposition Program

USEPA/CAMD 07/31/02

1999 – 2001



Source: Lynch et al., 2000. (Units are in kilograms per hectare).

USEPA/CAMD 07/31/02

Tendência para a deposição úmida de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.