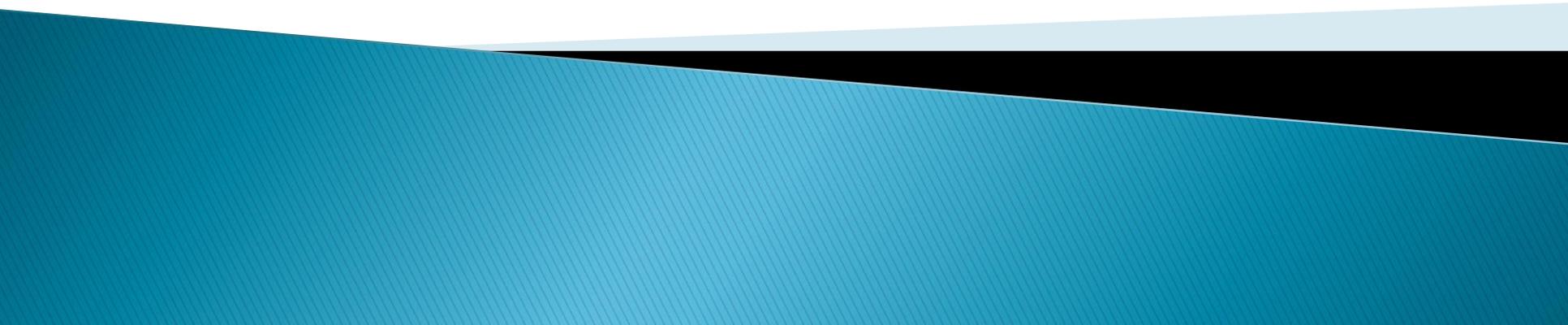


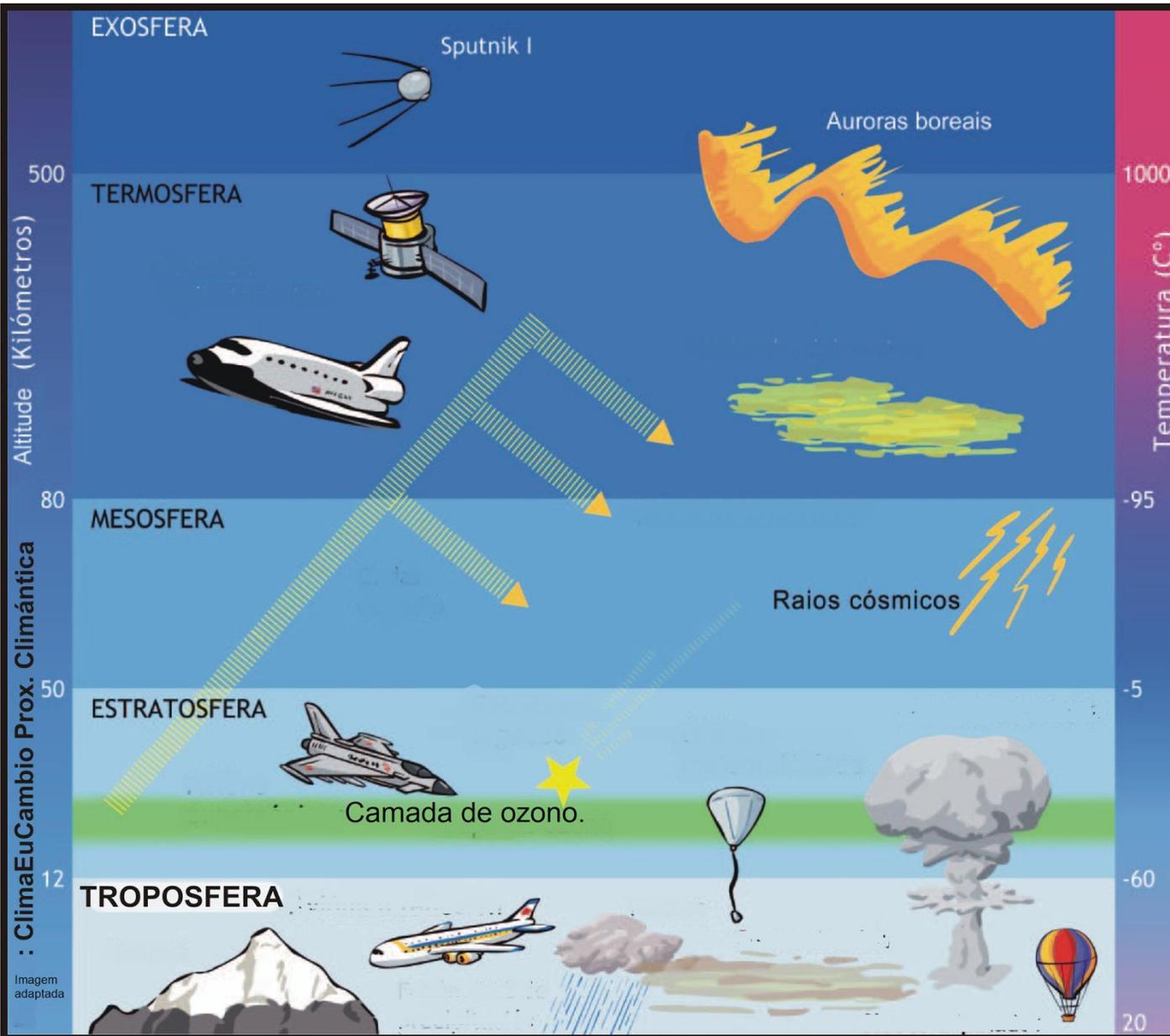
Toxicologia Ambiental

Poluentes da Atmosfera

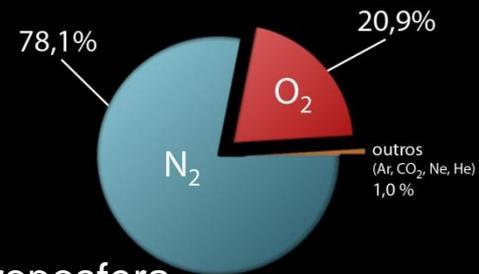
Ana Paula de Melo Loureiro
apmlou@usp.br



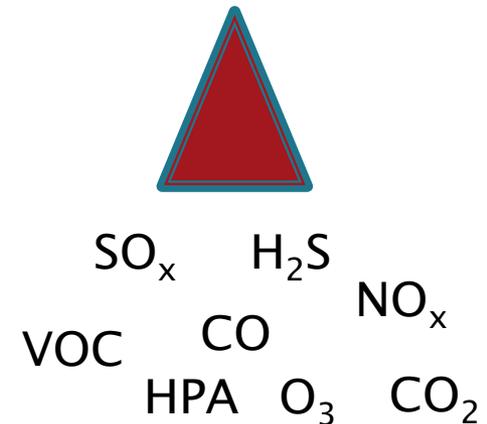
Atmosfera



composição da atmosfera terrestre



Troposfera



Poluição Atmosférica

- ▶ Alteração qualitativa ou quantitativa na composição dos gases da troposfera

- ▶ CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo):

- “Poluente atmosférico é toda forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características, **em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação**, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

Poluição Atmosférica

▶ Londres, 1952



WORSE THAN 1866 CHOLERA

Deaths After Fog

The rise in deaths in the week after London's great fog early in December was greater than that in the worst week of the cholera epidemic in 1866. This is disclosed in a report of the health committee of London County Council, which will be considered by the council on Tuesday.

The committee reports that the figures recorded by the council's observation station at the County Hall for smoke and sulphur dioxide pollution of the atmosphere on December 7-8 are the highest which can be traced in records, which date back to 1932. In addition, for the six-day period from December 5, when the atmospheric condition was particularly bad, the temperature remained considerably below normal.

Deaths registered in London rose from 945 for the week ended December 6, to 2,484 for the following week. The general death-rate in this latter week was slightly greater than that associated with the severe fog of 1873, and was comparable with rates experienced at the peak mortality of major epidemics.

The excess of deaths over normal per million inhabitants for the week ended December 20, 1873 (peak of fog) was 243; the excess for the week ended August 4, 1866 (peak of the last great cholera epidemic) was 426, and the excess for the week ended December 13, 1952, was 445. The corresponding figure for the worst week of the influenza pandemic of 1918 was 785.

No Particular Age

The sudden increase in deaths in the week ended December 13, 1952, although more pronounced among babies and the elderly, was not confined to persons of any particular age. The increase was associated almost entirely with disorders of the circulatory or respiratory systems.

Compared with the average of the previous three weeks, deaths from bronchitis increased ten times, from influenza seven times, from pneumonia nearly five times, from pulmonary tuberculosis four and a half times from other respiratory diseases six times, and from heart and circulatory disorders nearly three times.

The attention of the Minister of Health is being drawn to the statistics in connection with investigations which Government departments concerned may be making.

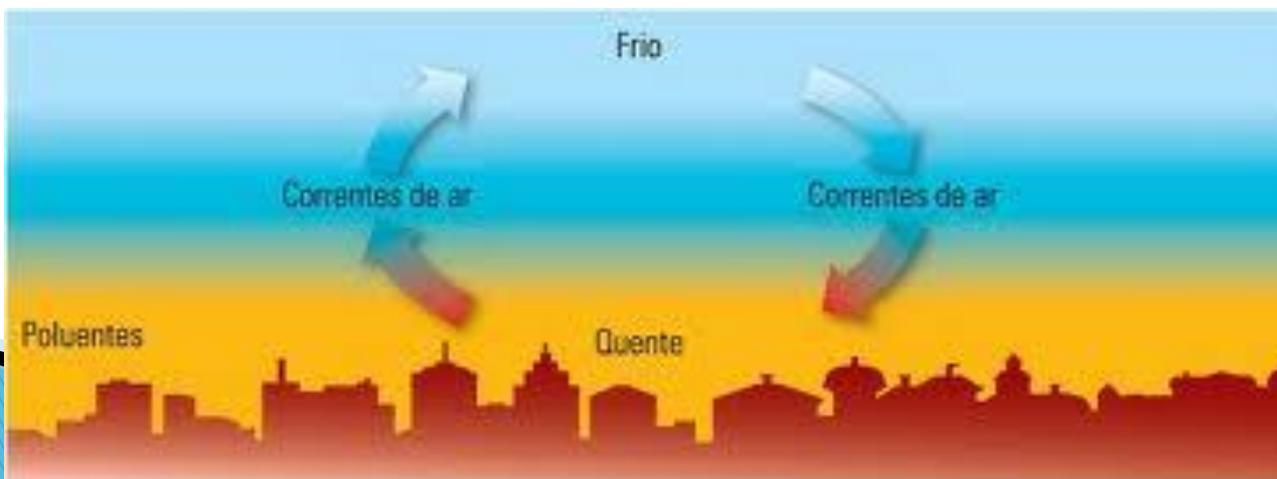
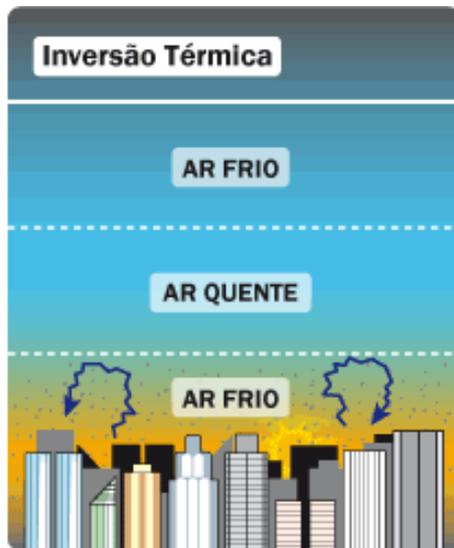
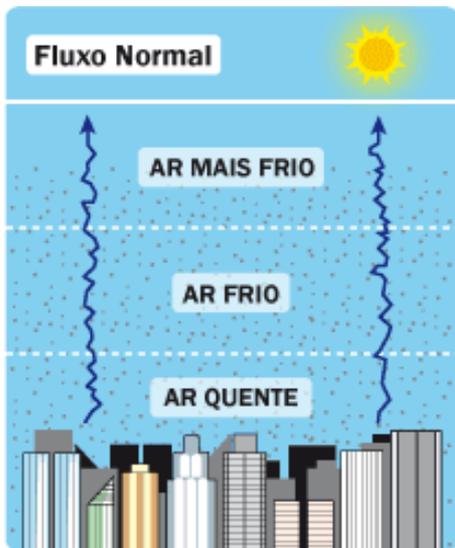
The report describes the cause of the fog as: "Almost complete absence of air movement and low surface temperature, which produced what is technically described as an 'inversion,' whereby the normal upward air circulation by convection currents was arrested, with the result that smoke, sulphur oxides and other air contaminants increased."

Poluição Atmosférica

- ▶ Condições que favoreceram o episódio agudo de poluição em Londres em 1952:
 - Emissões de veículos movidos a diesel
 - Emissões industriais
 - Queima de carvão nas lareiras domésticas
 - Baixas temperaturas (inverno)
 - Condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão da poluição

Smog tipo Londres
Rico em SO_x e fuligem

Inversão Térmica



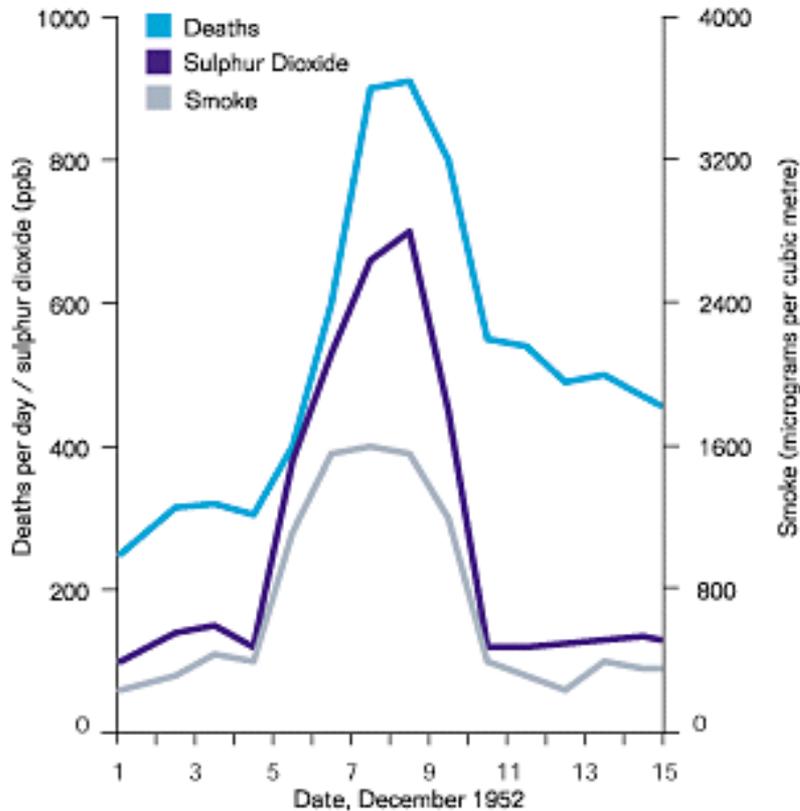
Grande Smog de 1952



- ▶ Maior tragédia ambiental da história da Inglaterra
- ▶ Número estimado de mortes de 4.000 pessoas: principalmente asfixia e infecção pulmonar aguda
- ▶ Nos anos seguintes ao evento: bronquiopneumonia, bronquite crônica se tornaram endêmicas
- ▶ Mais de 12.000 indivíduos teriam morrido nos cinco anos seguintes em função daqueles cinco dias nos quais Londres foi coberta pelo terrível nevoeiro

Poluição Atmosférica

▶ Londres, 1952



▶ Causas das mortes

- Bronquite, aumento de 10 x
- Influenza, aumento de 7 x
- Pneumonia, aumento de 5 x
- Tuberculose, aumento de 4,5 x
- Outras doenças respiratórias, aumento de 6 x
- Doenças cardiovasculares, aumento de 3 x

Poluição Atmosférica

São Paulo

- ▶ Década de 1960 – episódios agudos de poluição do ar no Estado de São Paulo



Pânico e efeitos agudos na população



Controle da emissão de poluentes

- ▶ Primeiras tentativas ocorreram nas décadas de 1950 – 1970, por meio do estabelecimento de padrões de qualidade do ar
 - EUA: criação da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) na década de 1960 – controle de partículas totais, SO_2 , CO, NO_2 , O_3 e Pb
 - Europa: *Clean Air Acts* de 1956 e 1968 – controle das emissões de SO_x e fumaça preta; *Comission of the European Communities* (CEC) de 1976 – controle de SO_2 , CO, NO_2 , material particulado e oxidantes fotoquímicos

Controle da emissão de poluentes

- ▶ **Brasil (Região Metropolitana de São Paulo)**
 - 16/08/1960: Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Mauá firmaram convênio para controle da poluição das águas e do ar da região (**Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar – CICPAA**)
 - 17/04/1970: Criação da **Superintendência de Sanemaento Ambiental (SUSAM, órgão Estadual)**, que incorporou as atividades da CICPAA
 - 1975: Atribuição do controle da poluição transferida à **CETESB**, fundada em 1968 como Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico. Hoje: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Controle da emissão de poluentes

- ▶ Padrões de qualidade do ar estaduais foram estabelecidos em 1976, pelo Decreto Estadual nº 8468/76 (Estado de São Paulo)

Controle da emissão de poluentes

- ▶ Brasil (Âmbito Nacional)

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

Órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA

INSTITUÍDO PELA LEI 6.938/81

Estabelecer normas e padrões nacionais de controle da poluição

CONAMA (Resolução Nº 003 de 28 de junho de 1990)

- ▶ Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar) e indica os métodos de análise

CONAMA (Resolução Nº 003 de 28 de junho de 1990)

- ▶ O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos Estados. Seus objetivos são:
 - ▶ Avaliar a qualidade do ar em relação aos limites legais
 - ▶ Fornecer subsídios para ações de controle quando os níveis de poluentes representarem riscos à saúde
 - ▶ Fornecer informações sobre impactos na fauna, flora e meio ambiente
 - ▶ Acompanhar as alterações e tendências da qualidade do ar ao longo do tempo
 - ▶ Auxiliar no planejamento de ações de controle da poluição
 - ▶ Manter a população e os órgãos públicos informados sobre os níveis de poluentes

Poluentes considerados prioritários

Padrões nacionais de qualidade do ar, segundo Resolução Conama nº 3 de 28/6/90

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas(1)	240	150
	MGA(2)	80	60
Dióxido de enxofre	24 horas	365	100
	MAA(3)	80	40
Monóxido de carbono	1 hora(1)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora(1)	160	160
Fumaça	24 horas(1)	150	100
	MAA(3)	60	40
Partículas inaláveis (PI)	24 horas(1)	150	150
	MAA(3)	50	50
Dióxido de nitrogênio	1 hora(1)	320	190
	MAA(3)	100	100

1 – Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano

2 – MGA – média geométrica anual

3 – MAA – média aritmética anual

Fonte: Cetesb (1994), "Relatório de Qualidade do Ar na Região Metropolitana de São Paulo e Cubatão – 1993".

Braga *et al.*, 2001. Poluição atmosférica e saúde humana. Revista USP 51, 58–71

Controle da emissão de poluentes

- ▶ **Padrões primários:** níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos. Metas de curto e médio prazo.
- ▶ **Padrões secundários:** níveis desejados de concentrações de poluentes. Metas de longo prazo. Base para políticas de prevenção da degradação da qualidade do ar. Aplicados, por exemplo, a áreas de preservação.

Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do ar

Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	375	625	875
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	65.000	261.000	393.000
Monóxido de carbono (ppm) – 8 h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 h	400	800	1.000
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	250	420	500
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	250	420	500
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 h	1.130	2.260	3.000

Fonte: Cetesb (1994), "Relatório de Qualidade do Ar na Região Metropolitana de São Paulo e Cubatão – 1993".

Braga *et al.*, 2001. Poluição atmosférica e saúde humana. Revista USP 51, 58–71

Controle da emissão de poluentes

- ▶ OMS 2005 – Atualização dos valores orientadores da qualidade do ar

Tabela 4. Valores orientadores para MP, O₃, NO₂ e SO₂ propostos pela OMS em 2005 (WHO, 2005).

Poluente	Média por período	Valores orientadores de qualidade do ar
MP ₁₀	1 ano	10 µg/m ³
	24 horas	25 µg/m ³
MP _{2,5}	1 ano	20 µg/m ³
	24 horas	50 µg/m ³
O ₃	8 horas	100 µg/m ³
NO ₂	1 ano	40 µg/m ³
	1 hora	200 µg/m ³
SO ₂	24 horas	20 µg/m ³
	10 minutos	500 µg/m ³

- ▶ Os padrões de qualidade do ar variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que, por sua vez, dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade do Estado de gerenciar a qualidade do ar. As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta esta heterogeneidade e, em particular, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais.

- ▶ **A OMS também preconiza que o processo de estabelecimento de padrões visa atingir as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública.**

Controle da emissão de poluentes

Decreto Estadual nº 59113/2013 (São Paulo)

Poluente	Tempo de Amostragem	MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
partículas inaláveis (MP_{10})	24 horas MAA ¹	120 40	100 35	75 30	50 20
partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$)	24 horas MAA ¹	60 20	50 17	37 15	25 10
dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas MAA ¹	60 40	40 30	30 20	20 -
dióxido de nitrogênio (NO_2)	1 hora MAA ¹	260 60	240 50	220 45	200 40
Ozônio (O_3)	8 horas	140	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9 ppm
fumaça* (FMC)	24 horas MAA ¹	120 40	100 35	75 30	50 20
partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas MGA ²	- -	- -	- -	240 80
Chumbo** (Pb)	MAA ¹	-	-	-	0,5

Controle da emissão de poluentes

▶ Metas Intermediárias

- **Meta Intermediária Etapa 1:** Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013. Vigentes até 31/12/2021.
- **Meta Intermediária Etapa 2:** Entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1. Entrou em vigor em 01/01/2022.
- **Meta Intermediária Etapa 3:** Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2
- **Padrões Finais:** Aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração da MI3

Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do ar

Critérios para episódios agudos de poluição do ar
(Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013)

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas inaláveis finas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	125	210	250
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 8h	200	400	600

Índice de Qualidade do Ar – CETESB

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 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

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>

Qualidade do ar e efeitos à saúde

Qualidade	Índice	Significado
N1 - Boa	0 - 40	
N2 - Moderada	41 - 80	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.
N3- Ruim	81 - 120	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.
N4 - Muito Ruim	121 - 200	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).
N5 - Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>

Mapa da Qualidade do Ar



Dados horários Resumo da última hora Boletim diário Boletim diário por poluente Configuração da Rede Automática Índice de Qualidade Tutorial

Região Metropolitana de São Paulo

A qualidade do ar refere-se a estação com o índice mais alto na RMSP, atualmente: Guarulhos-Paço Municipal (Poluente:MP2.5)

Índice

Qualidade do Ar

25

N1 - BOA

Poluente: MP2.5

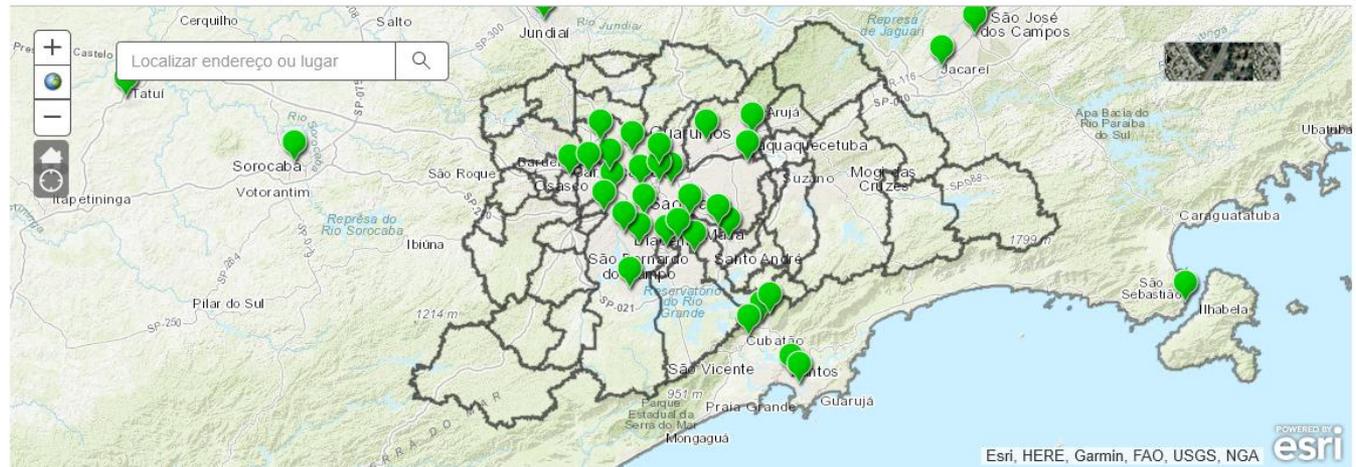
Segunda-Feira, 2 de Outubro de 2023 17h

Como proteger sua saúde

Efeitos a Saúde

Previsão meteorológica diária:

FAVORÁVEIS à dispersão dos poluentes: Dióxido de Enxofre, Partículas Inaláveis, Partículas Inaláveis Finas, Dióxido de Nitrogênio, Monóxido de Carbono e FAVORÁVEIS para Ozônio.



Estrutura do índice de qualidade do ar

Qualidade	N1 – Boa	N2 – Moderada	N3 – Ruim	N4 – Muito Ruim	N5 – Péssima
Índice	0 – 40	41 – 80	81 – 120	121 – 200	>200

Guarulhos-Paço Municipal



<https://cetesb.sp.gov.br/ar/#>

CONAMA (Resolução Nº 491 de 19 de novembro de 2018)

PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	ppm
		µg/m ³	µ/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP2,5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ₅	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
1 - média aritmética anual						
2 - média horária						
3 - máxima média móvel obtida no dia						
4 - média geométrica anual						
5 - medido nas partículas totais em suspensão						

Table 3.26. Recommended 2021 AQG levels and 2005 air quality guidelines

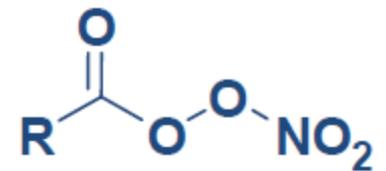
Pollutant	Averaging time	2005 air quality guideline	2021 AQG level
PM _{2.5} , µg/m ³	Annual	10	5
	24-hour ^a	25	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Annual	20	15
	24-hour ^a	50	45
O ₃ , µg/m ³	Peak season ^b	–	60
	8-hour ^a	100	100
NO ₂ , µg/m ³	Annual	40	10
	24-hour ^a	–	25
SO ₂ , µg/m ³	24-hour ^a	20	40
CO, mg/m ³	24-hour ^a	–	4

^a 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).

^b Average of daily maximum 8-hour mean O₃ concentration in the six consecutive months with the highest six-month running-average O₃ concentration.

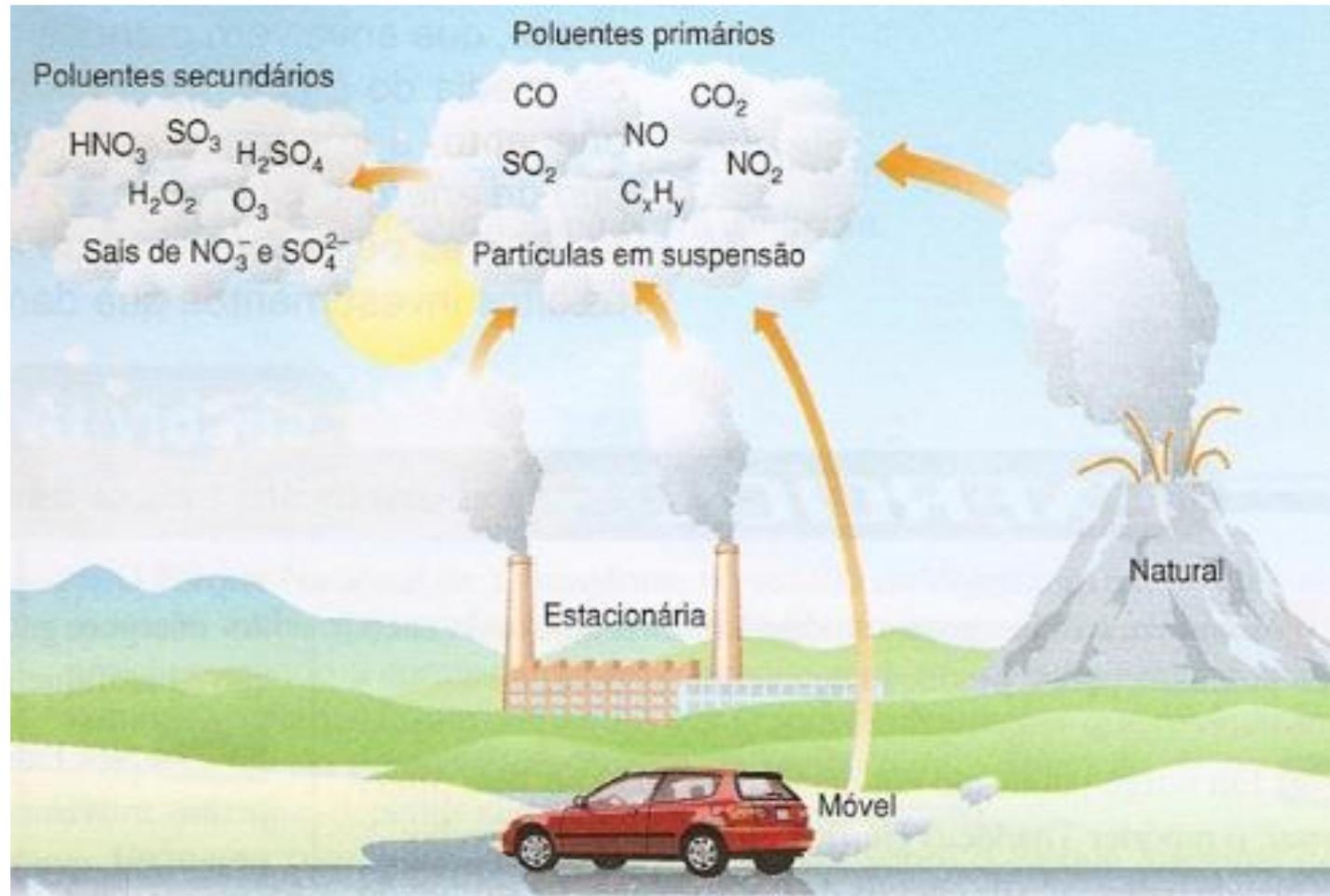
Classificação dos poluentes do ar

Compostos de enxofre	Compostos de nitrogênio	Compostos orgânicos	Monóxido de carbono	Compostos halogenados	Material particulado	Ozônio
SO ₂	NO	HC	CO	HCl	Mistura de compostos	O ₃
SO ₃	NO ₂	Álcoois		HF		Formaldeído
H ₂ S	NH ₃	Aldeídos		Cloretos		Acroleína
Mercaptanas	HNO ₃	Cetonas		fluoretos		PAN
sulfatos	nitratos	Ác. orgânicos				



Nitratos de peroxiacila (PAN)

Classificação dos poluentes do ar



Fontes Emissoras

- ▶ Estacionárias – maior % de SO_x e MP



- ▶ Móveis – maior % de CO, hidrocarbonetos, NO_x



Região Metropolitana de São Paulo

- ▶ Cerca de 2.000 indústrias com alto potencial poluidor
- ▶ Cerca de 7 milhões de veículos (1 / 5 do total nacional)

- 138 mil toneladas/ano de CO (97% proveniente dos veículos)
- 35 mil toneladas/ano de HC (77% proveniente dos veículos)
- 77 mil toneladas/ano de NO_x (80% proveniente dos veículos)
- 5 mil toneladas/ano de MP₁₀ (40% proveniente dos veículos)
- 9 mil toneladas/ano de SO_x (37% proveniente dos veículos)

Potencial poluidor dos combustíveis

- ▶ Diesel > Gasolina > Etanol
- ▶ Etanol – veículos emitem 3 a 4 x menos CO, hidrocarbonetos e NO_x; não emitem SO_x e MP



**CO, CO₂, aldeídos,
HC, HPAs,
MP (10- 2,5 μm)**

- ❖ Prática frequente no interior do Brasil
- ❖ Realizada antes da colheita
- ❖ Objetivo de aumentar a produtividade e segurança na colheita
- ❖ É gerada uma grande quantidade de poluentes



Regulamentação da colheita da cana-de-açúcar

- Lei da Queima da Cana (Lei n. 11.241 /2002) – queima controlada e eliminação gradual até 2021 em áreas mecanizadas e 2031 em áreas não mecanizadas
 - Protocolo Agroambiental do setor Canavieiro Paulista – eliminação da queima até 2014 (mecanizadas) e 2017 (não mecanizadas)
- 

Efeitos Tóxicos

Agudos – lacrimejamento, dificuldade respiratória, diminuição da capacidade física

Crônicos – alteração da acuidade visual, alteração da ventilação pulmonar, asma, bronquite, doenças cardiovasculares, enfisema pulmonar, câncer



Grupos de maior risco



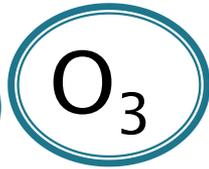
Review

CellPress

Epidemiology of air pollution and diabetes

Elisabeth Thiering^{1,2} and Joachim Heinrich^{1,3}

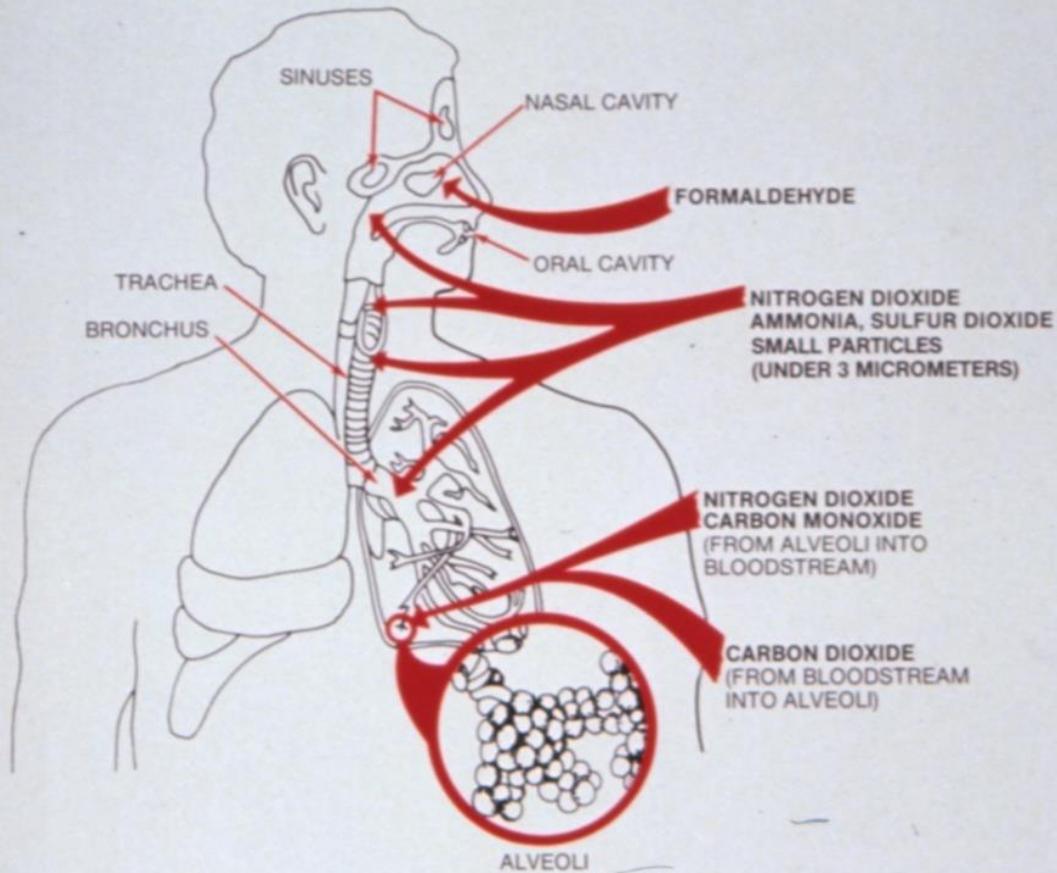
Gases e vapores irritantes



- rinite
- câncer nasal (formaldeído)
- bronquioconstrição
- bronquite
- câncer pulmonar
- alveolite
- bronquiolite
- dano alveolar difuso (NH_3 , NO_2)

- edema pulmonar
- enfisema
- aumento da susceptibilidade a infecções respiratórias e alergias
- asma

HOW INDOOR AIR POLLUTANTS AFFECT THE BODY



Sulfur dioxide, ammonia, acrolein (in tobacco smoke), formaldehyde	Sensory irritants
Sulfur dioxide, ammonia and allergens	Bronchial constrictors
Nitrogen dioxide and small particles	Pulmonary irritants
Carbon monoxide	Asphyxiant
Carbon dioxide	Discomfort indicator

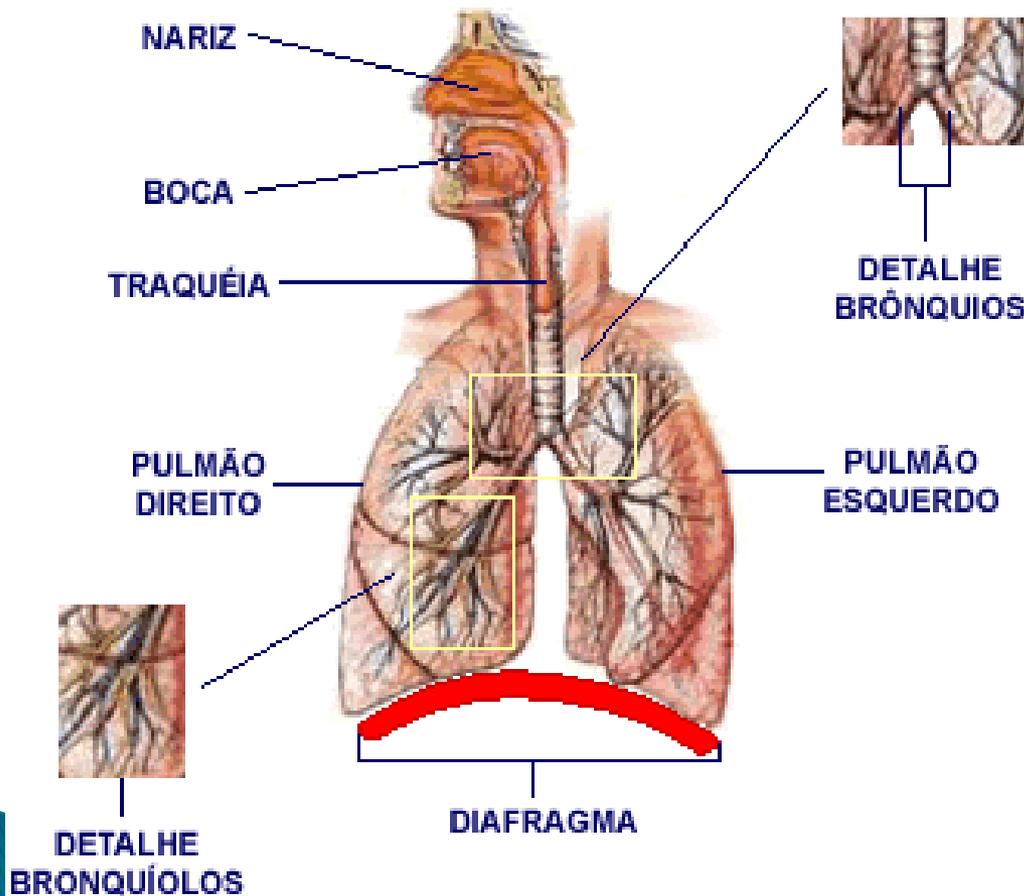
- Solubilidade em água é um fator determinante da profundidade de penetração de um dado gás



Quanto maior a solubilidade, menor a penetração

Efeito depende da concentração, propriedades químicas, ventilação pulmonar

Sistema respiratório



- Passagens nasais (compartimento nasofaríngeo)
 - filtro para partículas
 - absorção de gases altamente hidrossolúveis
 - metabolismo de xenobióticos (CYP450)
- Vias condutoras (compartimento traqueobronquial)
 - filtro para poluentes (gases e partículas) – camada mucociliar (células ciliadas e secretoras de muco)
- Região de troca gasosa (compartimento pulmonar)
 - metabolismo de xenobióticos (células Clara)
 - fagocitose por macrófagos alveolares

Poluentes legislados pela Resolução CONAMA 003/90

- ▶ SO₂ e outros compostos de enxofre
- ▶ hidrossolúvel, retido nas vias aéreas superiores



Refinarias de petróleo
Fábricas de ácido sulfúrico
Fundições
Fábricas de inseticidas
Queima de combustíveis fósseis
Usinas termoelétricas

Ponto de ebulição: -10°C
Gás incolor com odor sufocante

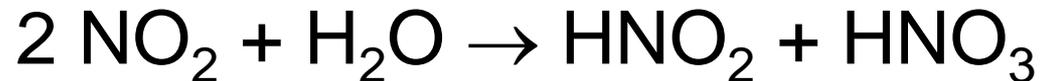
Efeitos da exposição a óxidos de enxofre

- ▶ Bronquioconstrição, bronquiospasma
- ▶ Irritação dos olhos, nariz, boca e vias aéreas superiores
- ▶ Tosse
- ▶ Vasoconstrição
- ▶ Doença pulmonar obstrutiva crônica (exposição crônica)

Poluentes legislados pela Resolução CONAMA 003/90

- ▶ NO_2 → solubilidade moderada em água, exerce seus efeitos nas vias aéreas superiores e inferiores, inodoro, provoca edema agudo do pulmão

Gás marrom



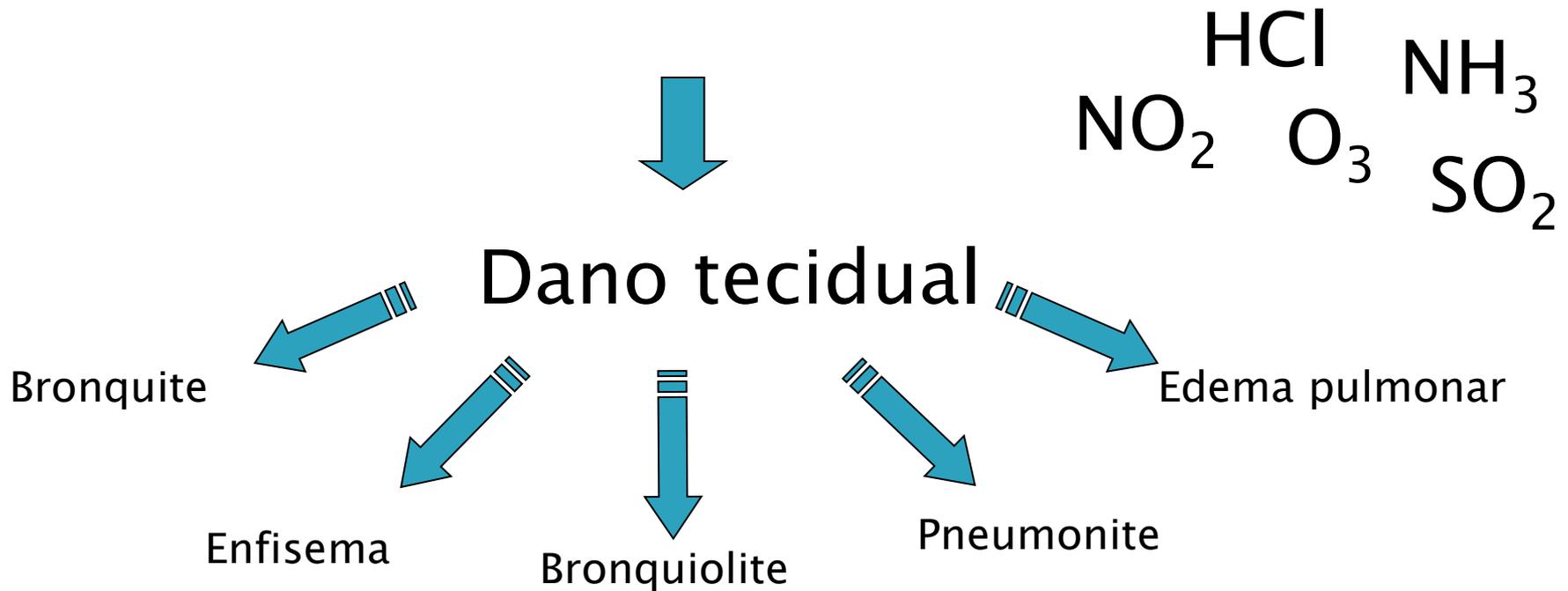
Indústria química (reações envolvendo ácido nítrico ou nitratos)
Manufatura de explosivos
Operações de solda elétrica
Produção de nitrocelulose
Máquinas movidas a diesel em locais confinados
Matéria orgânica em decomposição
Emissões veiculares

Efeitos da exposição ao dióxido de nitrogênio

- ▶ Irritação leve do trato respiratório superior a baixas concentrações, progredindo para tosse intensa e sufocação a concentrações moderadas
- ▶ Respiração irregular
- ▶ Redução da função pulmonar
- ▶ Chiado ao respirar
- ▶ Edema pulmonar
- ▶ Dano às células, inflamação, dilatação dos capilares alveolares, enfisema

Modo de ação

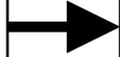
- ▶ Dano direto e/ou mediado por reação inflamatória



Dano tecidual

Agentes tóxicos

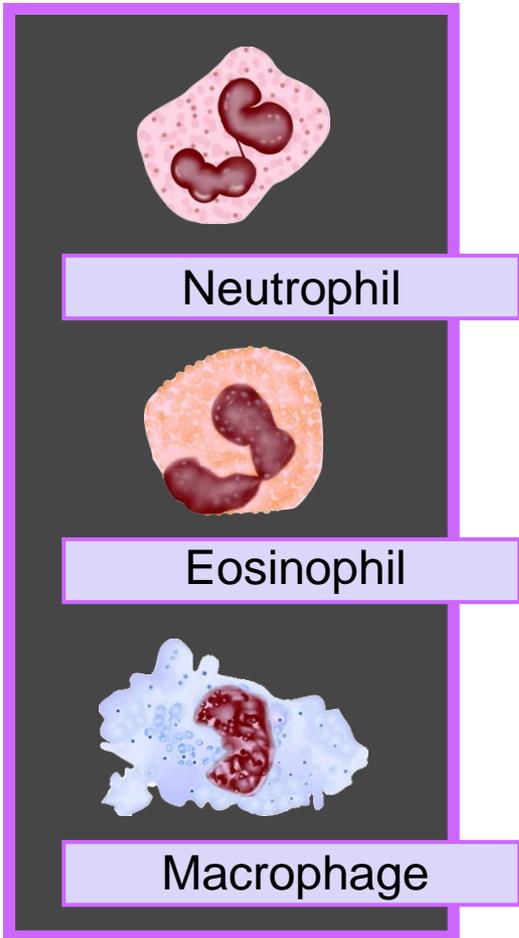
Infecção



- Recrutamento de fagócitos e ativação ($O_2^{\bullet-}$, H_2O_2 , $\bullet NO$, HOCl)



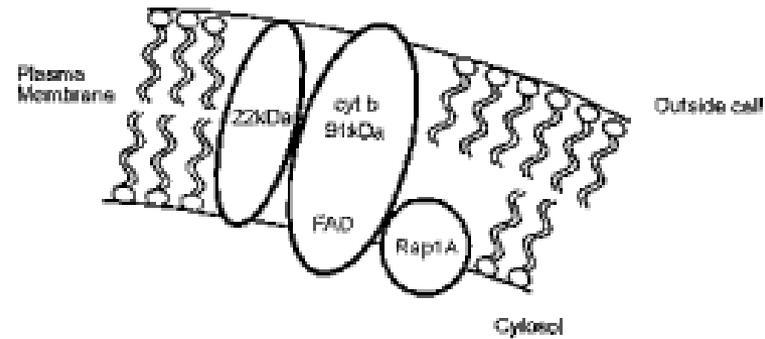
Estresse oxidativo



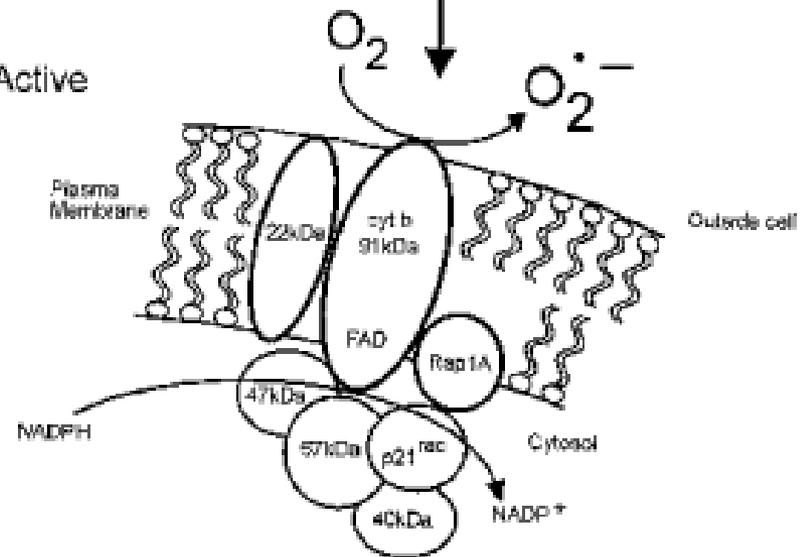
Oxidantes liberados

$O_2^{\bullet-}$
 H_2O_2
 $HOCl$
 $\bullet NO$
 $ONOO^-$
 $\bullet NO_2$
 $HO\bullet$
 1O_2

Resting



Active



Fitzpatrick, F.A., 2001. *Int. Immunopharmacol.* 1:1651.

O'Byrne, K.J., and Dalglish, A.G., 2001. *Br. J. Cancer*, 85:473.

Kuper, H., et al. 2000. *J. Int. Med.*, 248:171.

Shacter, E., and Weitzman, S.A., 2002. *Oncology* 16:217.

Gases irritantes, como SO_2 e NO_2 , induzem hipersecreção das glândulas mucosas bronquiais, causam hipertrofia das glândulas mucosas e levam ao aumento do número de células cálice secretoras de mucina na superfície epitelial dos brônquios. Além disso, causam inflamação.



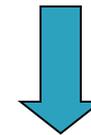
Modo de ação

- ▶ Bronquioconstrição reflexa
- ▶ Resposta alérgica
- ▶ Supressão ou aumento da resposta imune a outros materiais (SO_2 , O_3 , NO_2 provocam aumento da resposta imune a material estranho inalado)

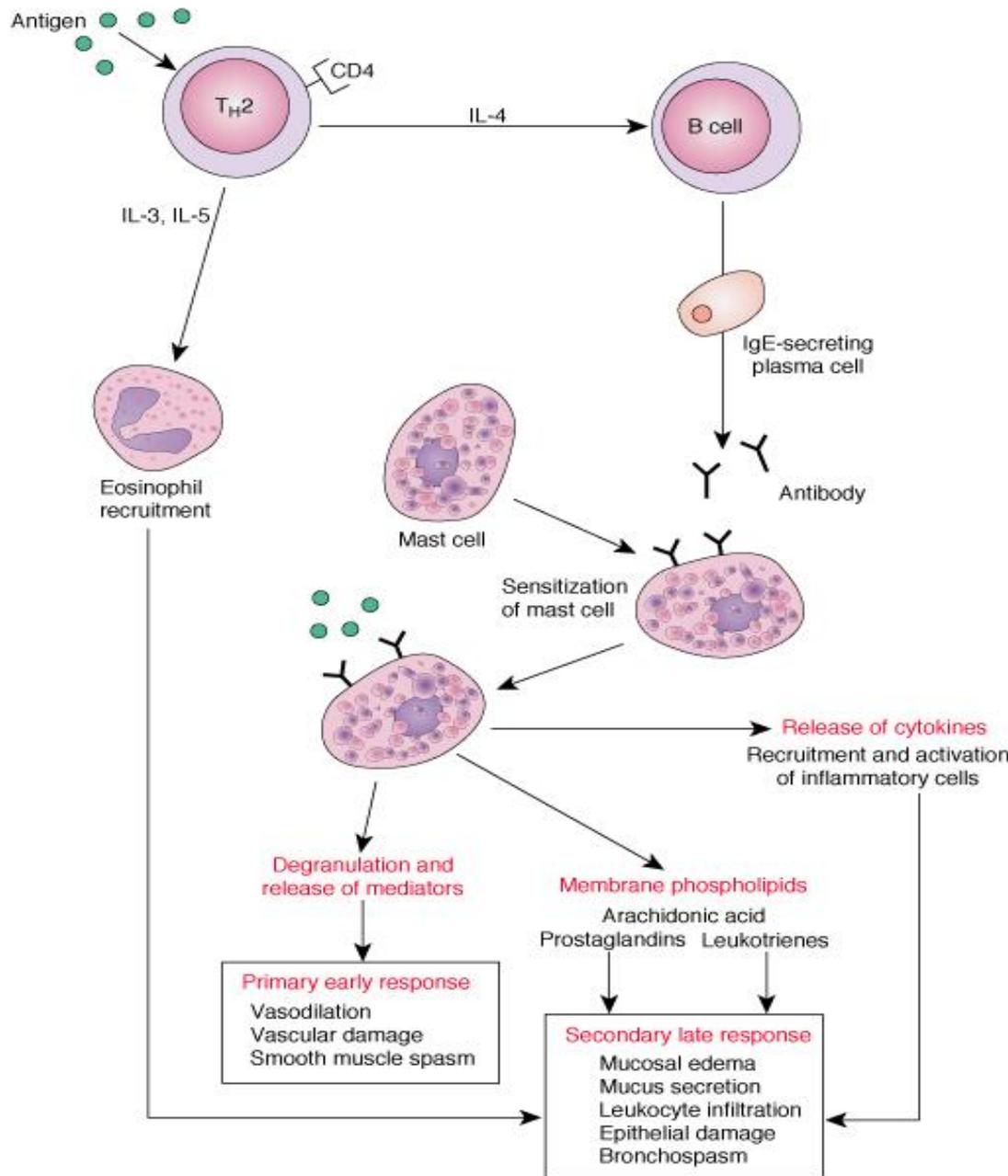
Hipersensibilidade do tipo 1

(Asma)

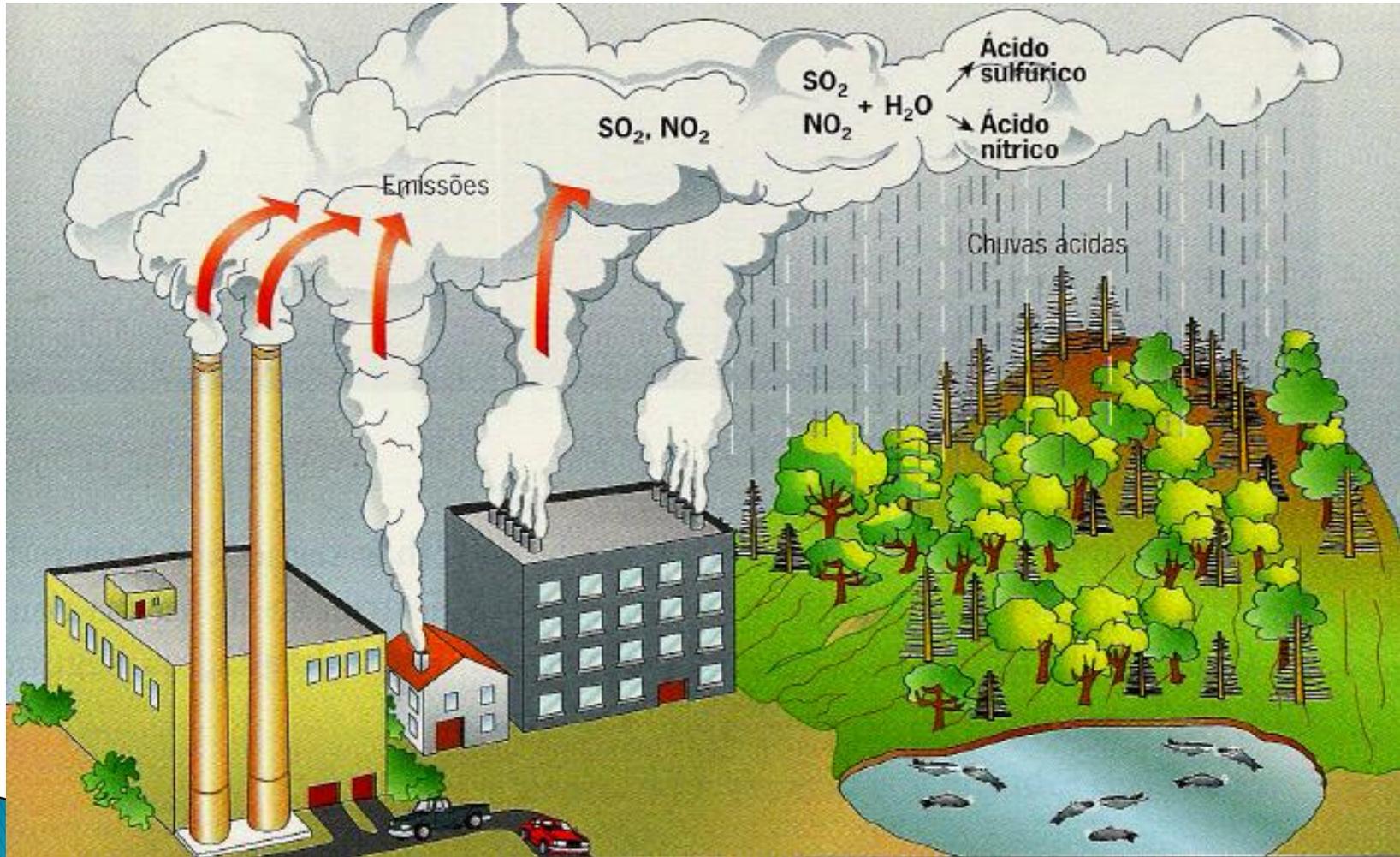
Resposta exagerada das vias aéreas a irritantes



Bronquiospasma, aumento da produção de muco, tosse



Chuva ácida

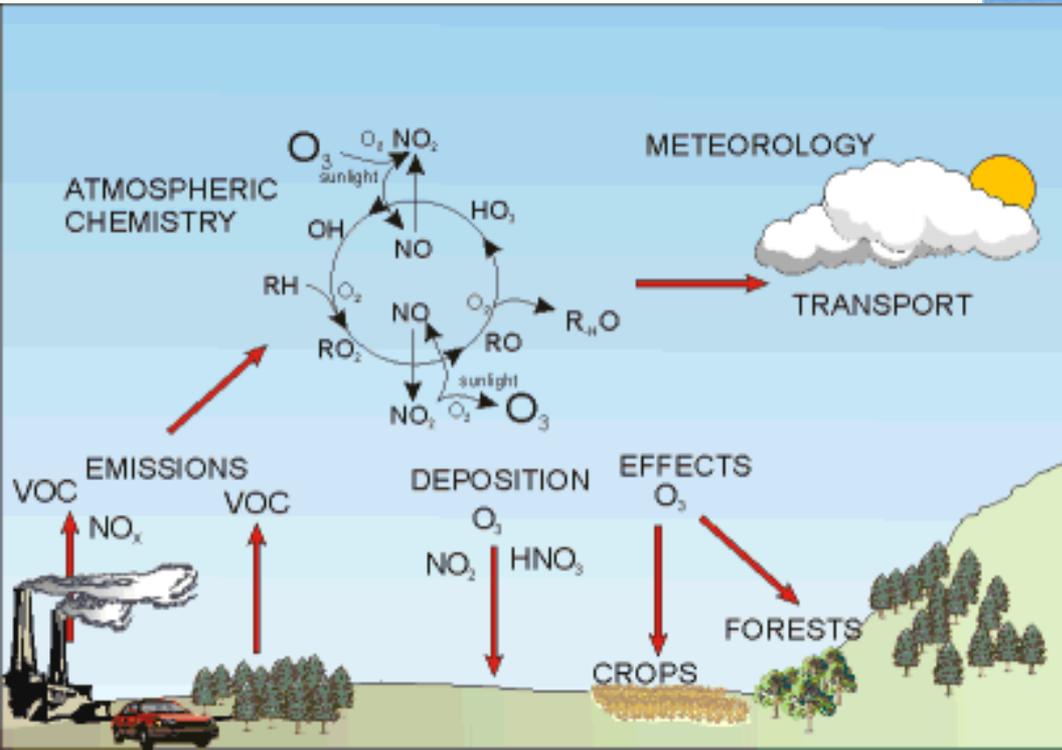
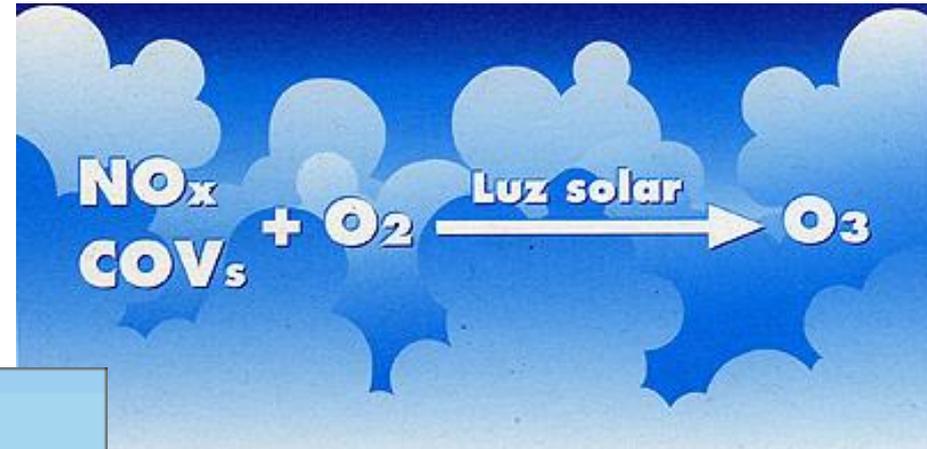


Chuva ácida

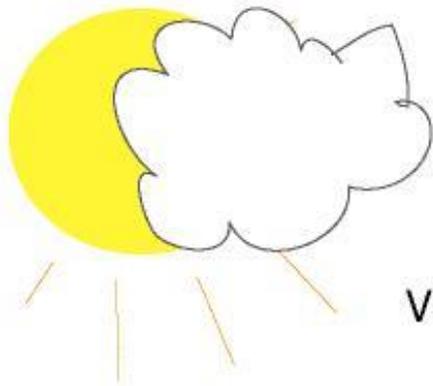
- ▶ pH 4 - 5, podendo chegar a pH 2
- ▶ Alteração da composição química do solo e águas
- ▶ Destruição de florestas e lavouras
- ▶ Deterioração de estruturas metálicas, monumentos, edificações
- ▶ Alteração de ecossistemas: prejuízo da reprodução de animais aquáticos, destruição de florestas

Poluentes legislados pela Resolução CONAMA 003/90

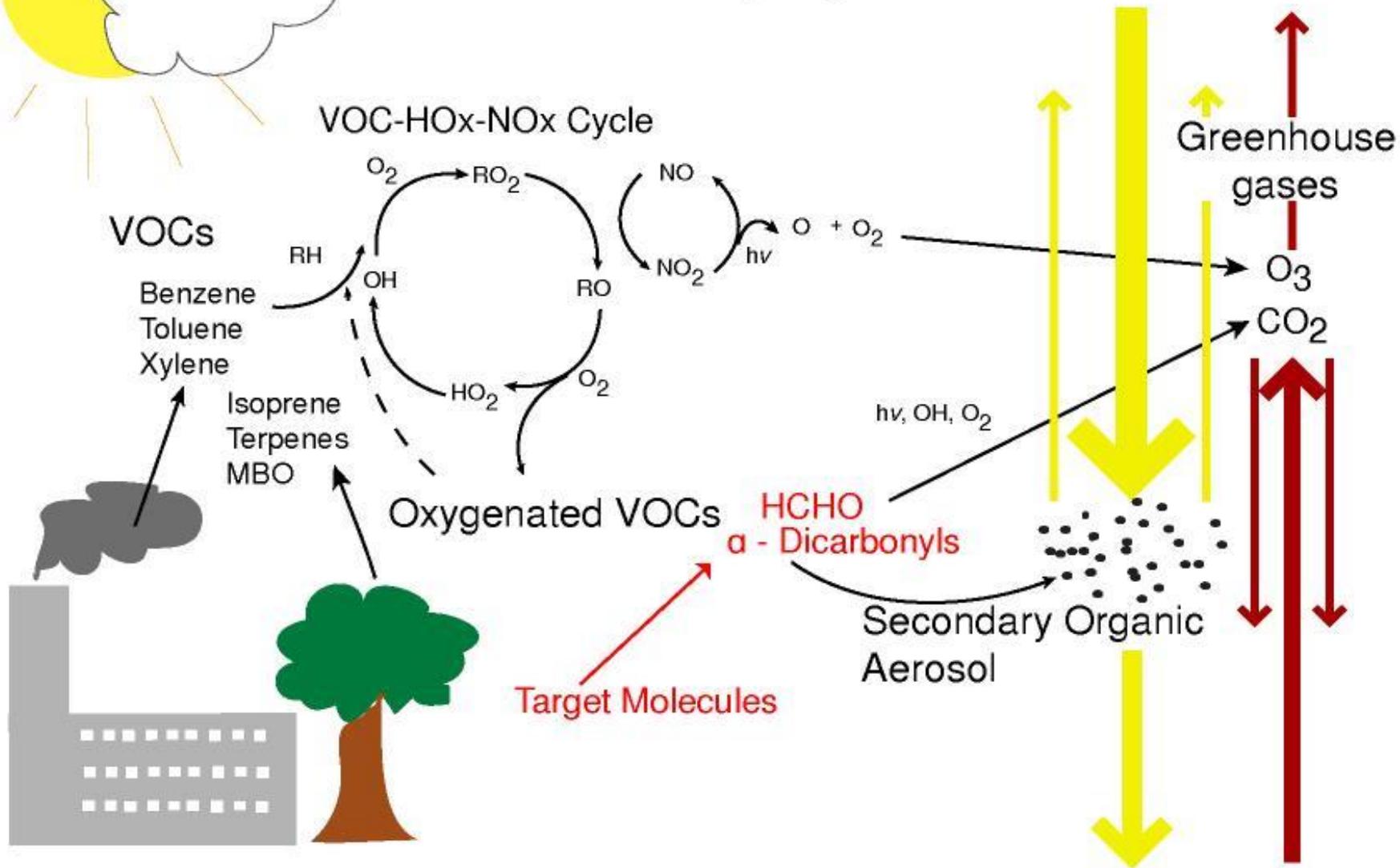
► Ozônio na troposfera



Aldeídos, PAN

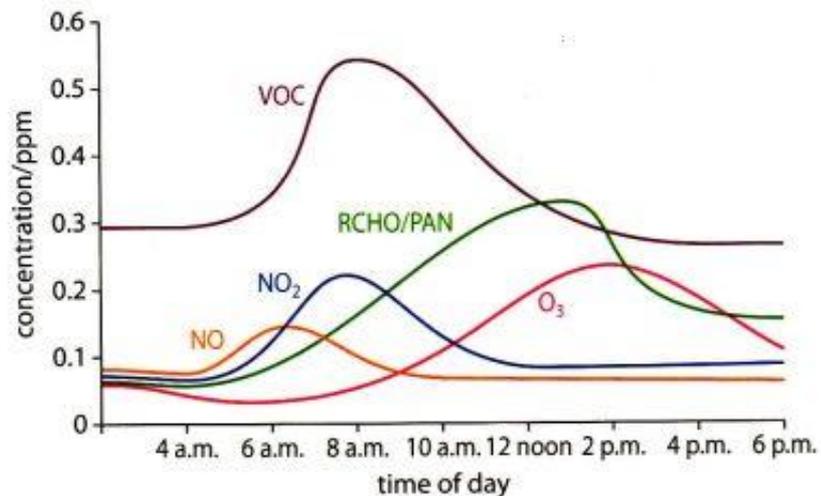
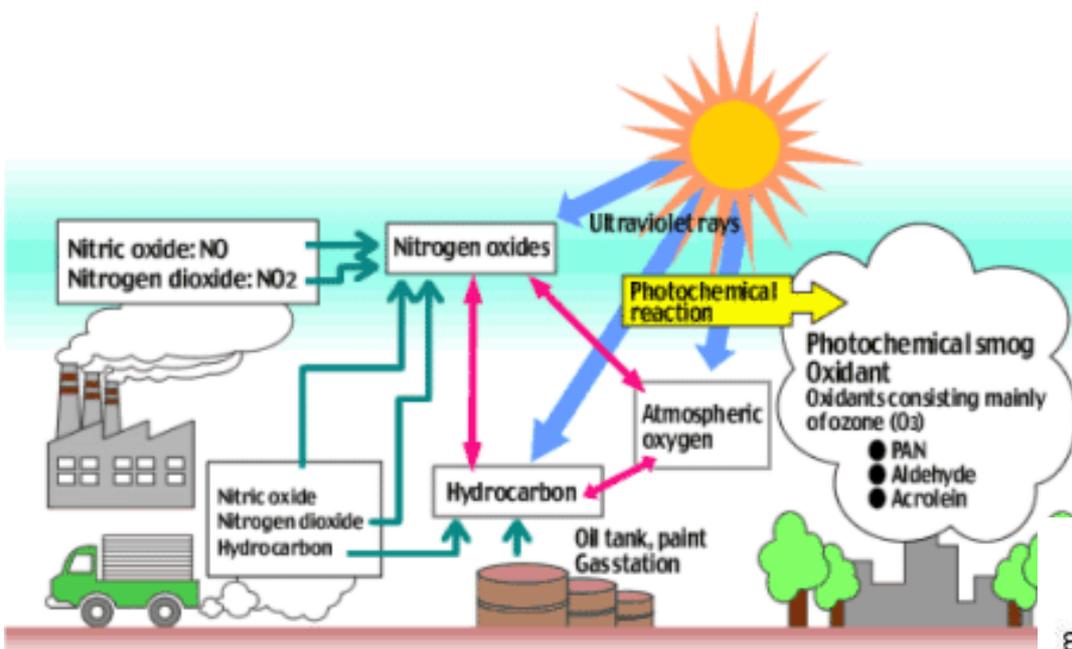


VOC Oxidation Chemistry: Ozone and Secondary Organic Aerosol Formation



Smog Fotoquímico (Los Angeles)

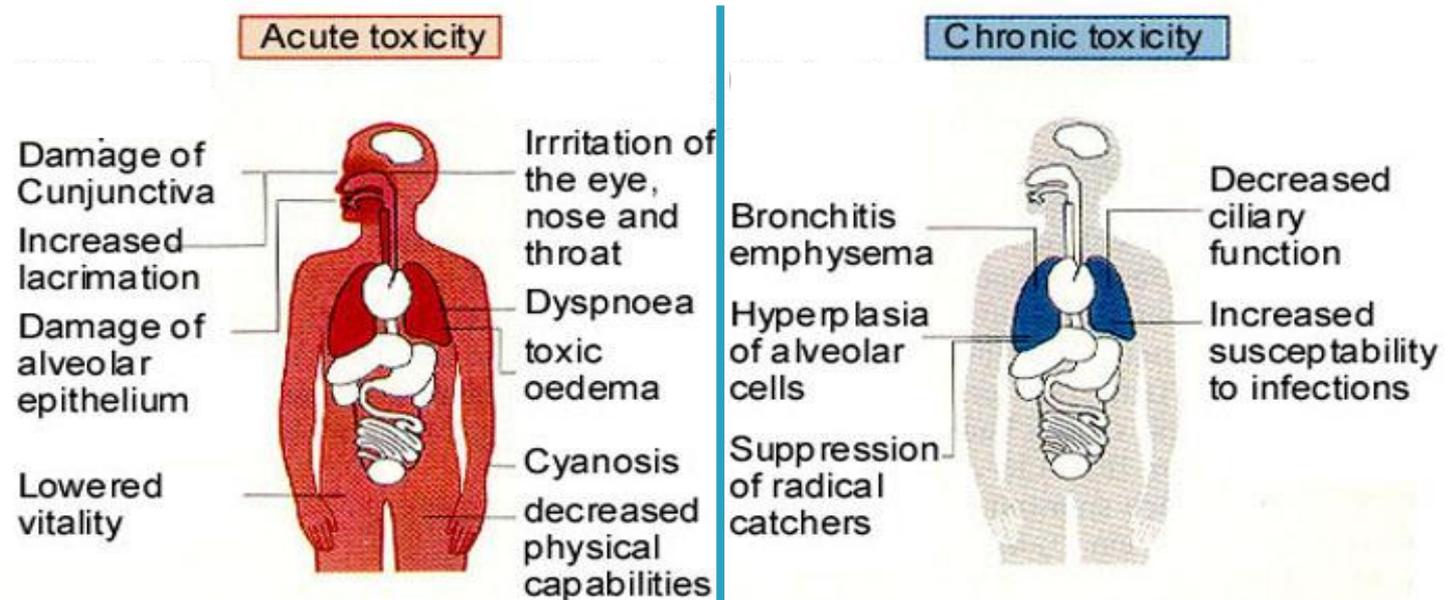
- ▶ Smog = smoke + fog (fumaça + neblina)



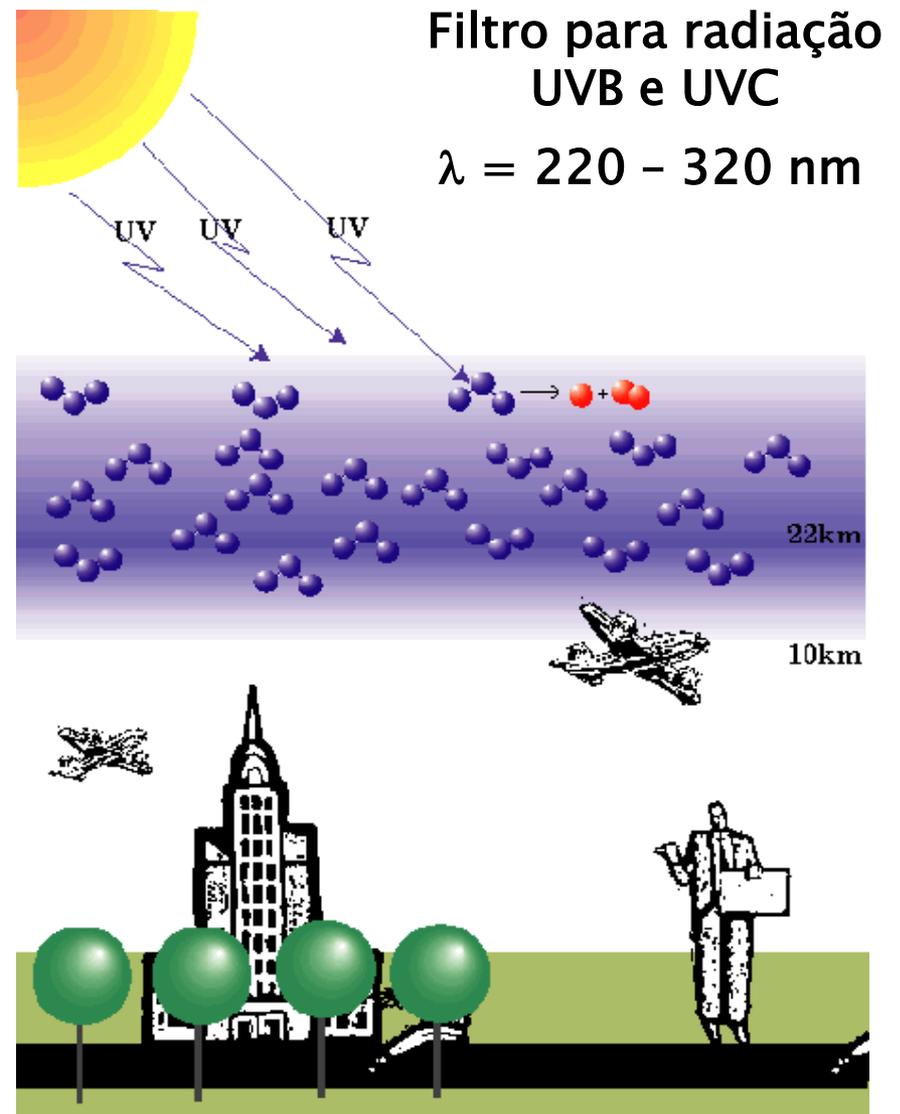
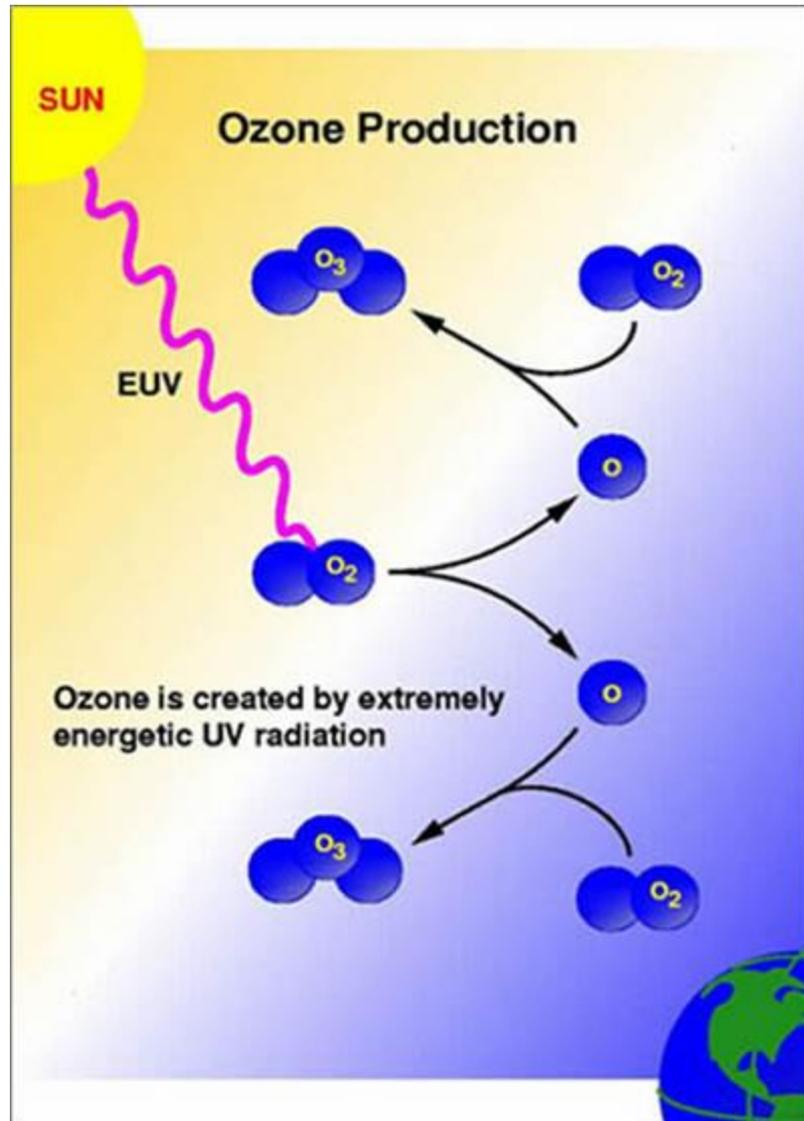
Efeitos da exposição ao ozônio

- O_3 é potente agente oxidante e citotóxico
- Provoca irritação ocular e respiratória levando a perda da função pulmonar (leva a doenças crônicas como enfisema e bronquite)
- Agrava doenças preexistentes como asma

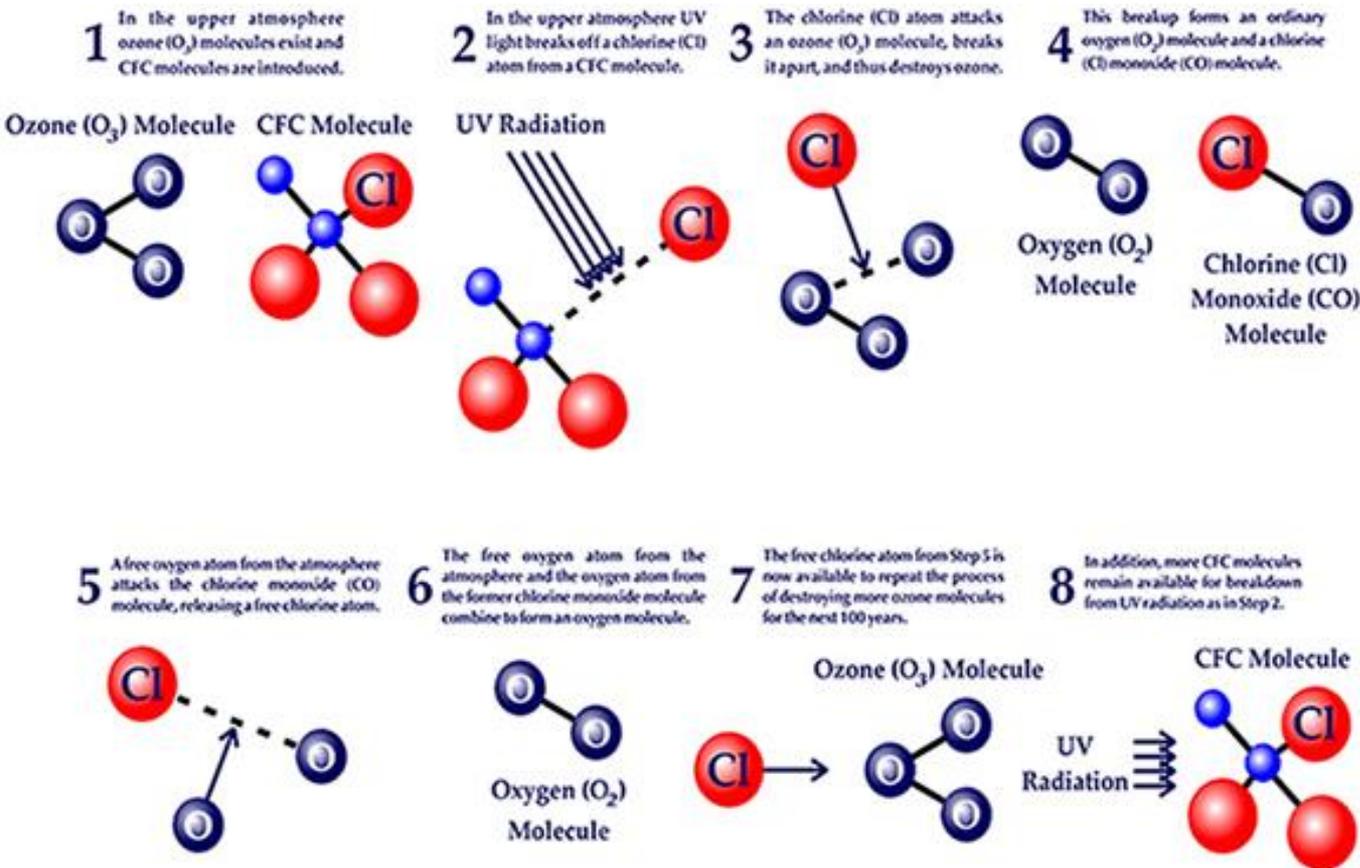
Symptoms upon O_3 - exposure



Camada de ozônio – estratosfera



Destruição da camada de ozônio



CFC – propelentes de aerossóis, gases de refrigeração, fluidos de ar-condicionado, fabricação de embalagens de isopor

Altamente estáveis, atingem a estratosfera

CFCl₃ – permanece na atmosfera por 75 anos
CF₂Cl₂ – permanece na atmosfera por 11 anos

Efeito estufa

O EFEITO ESTUFA

O fenômeno permite a existência de vida na Terra. Segundo alguns cientistas, as atividades humanas estariam afetando seu ciclo natural

1 O Sol emite sua energia pelo espaço na forma de luz visível, radiação ultravioleta e infravermelha

2 Quando os raios do Sol chegam à Terra, cerca de 30% da energia luminosa volta para o espaço, refletida por poeira e nuvens, na atmosfera, e por refletores naturais na superfície, como áreas cobertas por neve e gelo

3 O ar, terras e águas absorvem cerca de 70% da radiação solar

4 Aquecida, a superfície emite calor na forma de radiação infravermelha

5 Um pouco da radiação térmica da Terra vai para o espaço, mas a maior parte é **retida na atmosfera**, absorvida por vapor d'água, dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa

6 Se não fosse o calor retido pelo efeito estufa, o planeta congelaria a uma temperatura média de 17 °C negativos

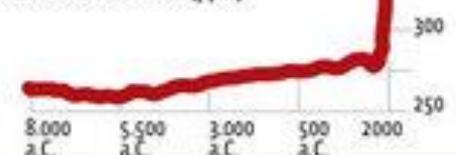
7 Segundo o IPCC, os milhões de toneladas de carbono jogados pela ação humana na atmosfera ampliam o efeito estufa, causando o aquecimento do planeta

Segundo os cientistas que defendem o aquecimento global:

☉ São jogados pela ação humana na atmosfera milhões de toneladas de carbono

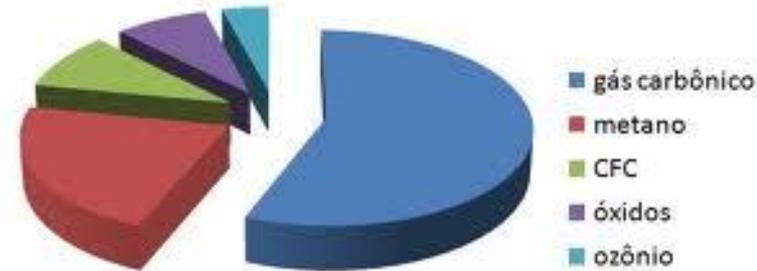
☉ Ao aumentar a concentração desse e de outros gases, o homem **amplia o efeito estufa**, provocando o aquecimento do planeta

Concentração de gases do efeito estufa nos últimos 10 mil anos
Dióxido de carbono (ppm)



Efeito estufa

Gases responsáveis pelo efeito estufa

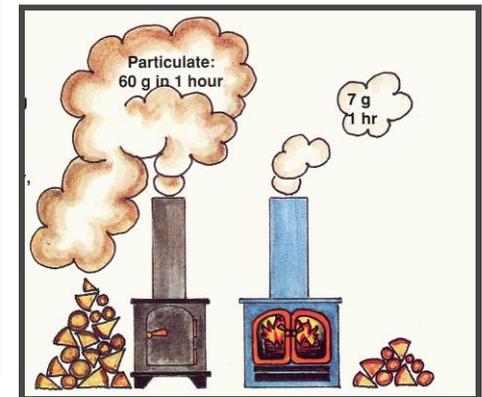
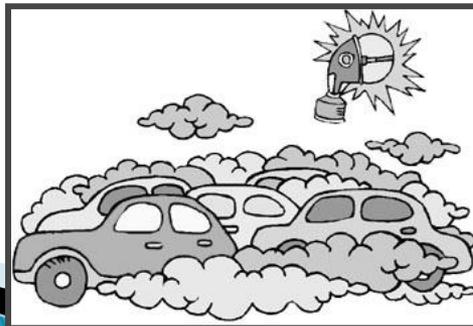
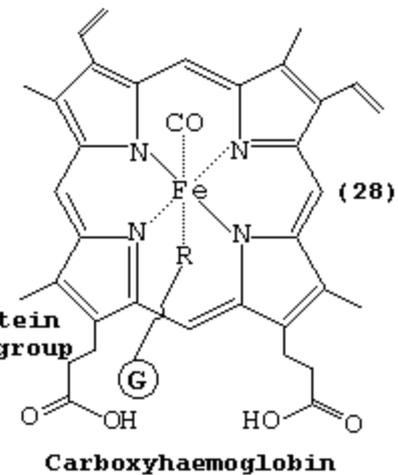
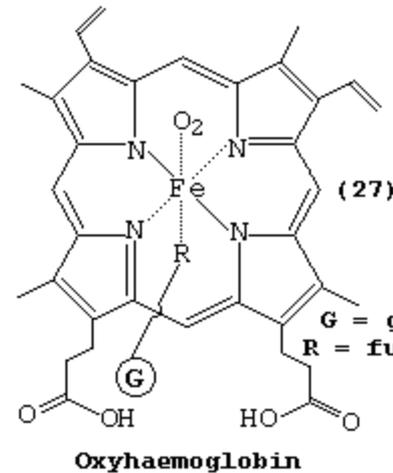


- ▶ Protocolo de Montreal - 1989 (eliminação de CFC)
- ▶ *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) - constituído em 1988, publica relatórios sobre mudanças climáticas
- ▶ Convenção-Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (ECO-92)
- ▶ Protocolo de Quioto - ratificado em 15/03/1999. Entrou em vigor em 16/02/2005 (redução da emissão de gases de efeito estufa)

Poluentes legislados pela Resolução CONAMA 003/90

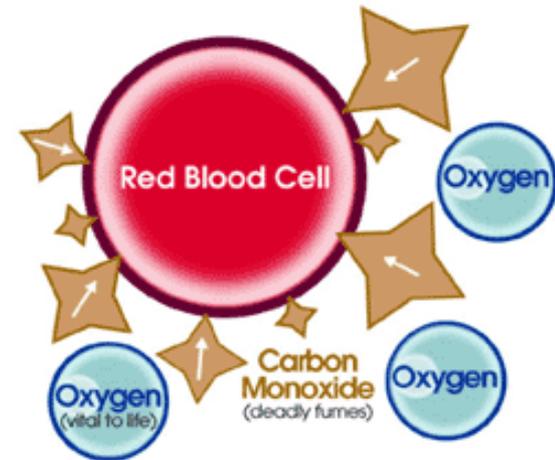
► Monóxido de Carbono (CO)

- Queima incompleta de matéria orgânica
- Asfixiante Químico



Efeitos tóxicos da exposição ao CO

- Depressão do Sistema Nervoso Central
- Hipóxia sistêmica aparece quando 20 a 30% da hemoglobina está saturada com CO
- Inconsciência e morte ocorrem com 60 a 70% de saturação
- Sequelas neurológicas
- Cardiotoxicidade, neurotoxicidade, hepatotoxicidade, nefrotoxicidade



Resposta humana a várias concentrações de COHb

SATURAÇÃO SANGÜÍNEA DE COHb(%)	RESPOSTA CLÍNICA
0.3-0.7.....	Produção endógena de CO: Sem aparentes efeitos maléficos.
1-5.....	Há aumento seletivo do fluxo sangüíneo (compensador). Portadores de doenças cardiovasculares podem descompensar.
5-9.....	Limiar de visão à luz é aumentado. Angina de esforço aparece com menor sobrecarga.
16-20.....	Cefaléia. Resposta visual evocativa alterada. Pode ser fatal para cardíacos.
20-30.....	Cefaléia intensa. Náuseas e alterações da motricidade das mãos.
30-40.....	Sintomas anteriores e síncope.
50-60.....	Coma e convulsões.
60-70.....	Letal se não for tratado.

Monitoramento biológico

Determinação de COHb no sangue

Limite biológico de exposição (LBE) 2% de COHb (EPA) e 2,5–3% de COHb (OMS).

Poluentes legislados pela Resolução CONAMA 003/90

Material particulado (MP), partículas inaláveis (MP_{10}), partículas finas ($MP_{2,5}$) e partículas ultra-finas ($MP_{0,1}$)

“Mistura de partículas líquidas e sólidas suspensas no ar compostas por material orgânico, inorgânico e biológico”

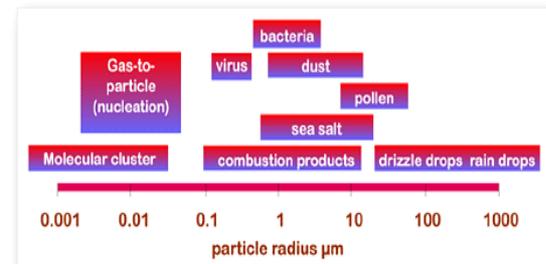
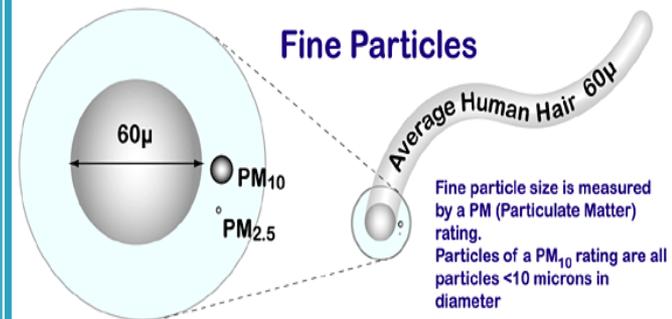
Poeiras: partícula sólida de diâmetro entre 0,01 a 100 μm . Gerado por desagregação mecânica. Ex. talco.

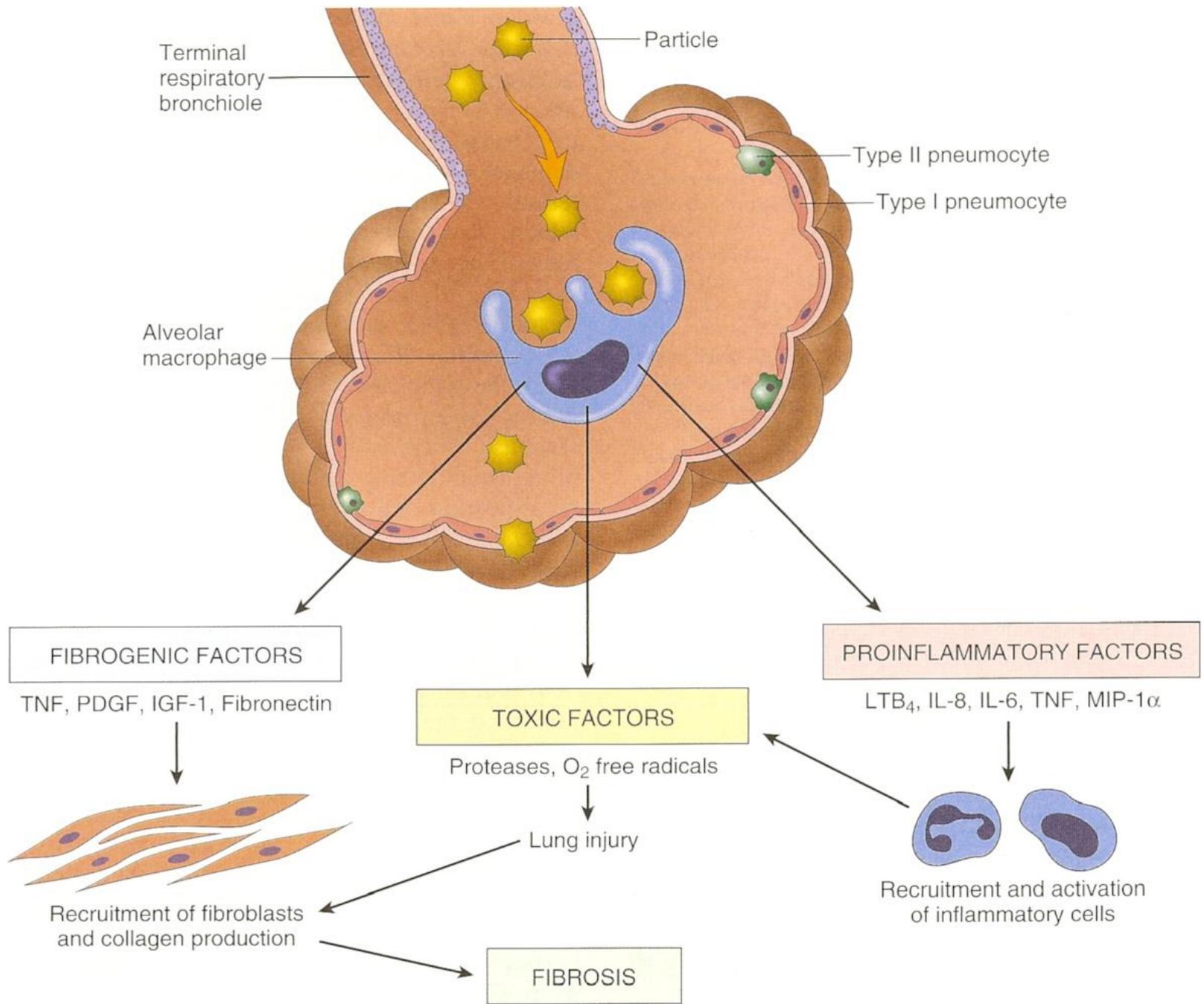
Fumos: aerodispersóides sólidos gerados por processos de combustão, fundição. Diâmetro < 0,1 μm . Ex. fumo de metais.

Fumaça: aerodispersóides formados pela combustão de matéria orgânica com diâmetro < 0,5 μm .

Neblina: partículas líquidas dispersas no ar obtidas por processos mecânicos. Ex. Spray

Névoa: partículas líquidas obtidas por condensação de vapores. Ex. névoa de H_2SO_4 .





Poluentes não legislados pela Resolução Conama 003/90

Chumbo (Pb): Lançado na forma de MP pelas siderúrgicas, queima de resíduos e erupções vulcânicas. Antigamente usado como aditivo na gasolina. Efeitos no sistema neurológico (encefalopatias, déficit de aprendizado), hematológico (decréscimo na síntese do heme), metabólico (infertilidade, aborto) e cardiovascular. Pb inorgânico é classificado como provável carcinógeno (IARC).

Compostos orgânicos voláteis (COV): Longa lista de compostos químicos de uso industrial e emitidos por carros (pressão de vapor a 20°C < $1,013 \times 10^5$ Pa e > 130 Pa). Fontes: refinarias de petróleo, petroquímicas, etc. Ex. benzeno, tolueno, formaldeído que são cancerígenos, clorofluorocarbonetos destroem camada de O₃, outros são associados a problemas reprodutivos, neurológicos e asma.

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA): Compostos com 2 ou mais anéis aromáticos condensados. Fontes: combustão incompleta da matéria orgânica, petroquímicas, veículos, produção de carvão. Podem provocar câncer.

Bibliografia

- ▶ Oga, S. *et al.* 2014. Fundamentos de Toxicologia, 4^a Edição. Capítulo 2.2
- ▶ Site CETESB – www.cetesb.sp.gov.br
- ▶ Artigos citados nos slides

Links úteis

- ▶ World Health Organization:
<https://www.who.int/airpollution/en/>
- ▶ National Institute of Environmental Health Sciences:
<https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution/index.cfm>
- ▶ United Nations Environment Programme:
<https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/five-reasons-you-should-care-about-air-pollution>
- ▶ Matéria de Capa – ENERGIAS RENOVÁVEIS – Desafios e oportunidades – TV Cultura:
<https://youtu.be/1KNXfX8VN2I?si=fRjBDzr-LOGsOGOI>