



Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas
DCA/IAG/USP

AGM5823 – Tópicos em química atmosférica

Poluição do ar parte 3: aspectos históricos

Adalgiza Fornaro
adalgiza.fornaro@iag.usp.br

São Paulo, novembro 2022

O ar limpo é considerado um requisito básico para o bem estar e saúde humana. Porém, a poluição atmosférica continua a ser uma ameaça significativa para a saúde mundial (WHO, 2005).

Poluição do ar → “quando gases ou partículas emitidos pela ação humana, atingem concentrações suficientemente altas que causam danos diretos ou indiretos para plantas, animais, outras formas de vida, ecossistemas, estruturas ou obras de arte (Jacobson, 2002).

Historicamente

A preocupação com o ar que respiramos é um fenômeno antigo:

*“Comparing the air of cities to the air of deserts and arid lands is like comparing waters that are befouled and turbid to waters that are fine and pure.... the **air becomes stagnant, turbid, thick, misty and foggy**”*

Moses Maimonides (1135-1204)

(Século 12-13)

“Comparando-se o ar das cidades com o ar de desertos e terras áridas é como comparar águas contaminadas e turvas com águas que são finas e puras **o ar torna-se estagnado, turvo, espesso, úmido e com nevoeiro.**”

Finlayson-Pitts e Pitts, 2000

- ❖ A Rainha Eleanor (esposa de Eduardo I) registrou a primeira queixa contra o ar sujo na Inglaterra quando visitou Nottingham em 1257 (séc. 13);
- ❖ Os londrinos falavam da poluição do ar no século XIV;
- ❖ as operações de mineração na Inglaterra medieval causaram tanta poluição que o rei Eduardo I, em **1307**, emitiu uma proclamação real fazendo da queima de carvão uma **ofensa capital** durante sessão do Parlamento;

energia

- aquecimento
- cozimento de alimentos
- industria

Londres, século 12 – madeira se torna escassa e muito cara

○ início consumo em grande escala de carvão

○ queima pouco eficiente, produzindo pouco calor e muita fumaça

Tentativas de controle de queima de carvão:

1272, Edward I

1377-1399, Richard III

1413-1422, Henry V

1661, John Evelyn (jornalista) escreveu o tratado anti-carvão:

FUMIFUNGIUM: or the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated



1661, John Evelyn (jornalista)

escreveu o tratado anti-carvão:

FUMIFUGIUM: or the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated

Edição comemorativa de 250 anos: Environmental Protection UK 2011



FUMIFUGIUM:

MMXI

A 21ST CENTURY TRANSLATION OF A 17TH CENTURY ESSAY ON
AIR POLLUTION IN LONDON

★ SENT TO KING CHARLES II BY THE WRITER JOHN EVELYN ★

PUBLISHED BY ENVIRONMENTAL PROTECTION UK



Environmental Protection UK is a national charity that provides expert policy analysis and advice on air quality, land quality, waste and noise and their effects on people and communities in terms of a wide range of issues including public health, planning, transport, energy and climate.
www.environmental-protection.org.uk

The Healthy Air Campaign seeks to increase public awareness and understanding of the health impacts of air pollution and help communities mitigate those impacts and adapt to reduce them. It is led by Environmental Protection UK and supported by a growing coalition of health, environment and transport NGOs.
Get involved at www.healthyaire.org.uk

- Século 17

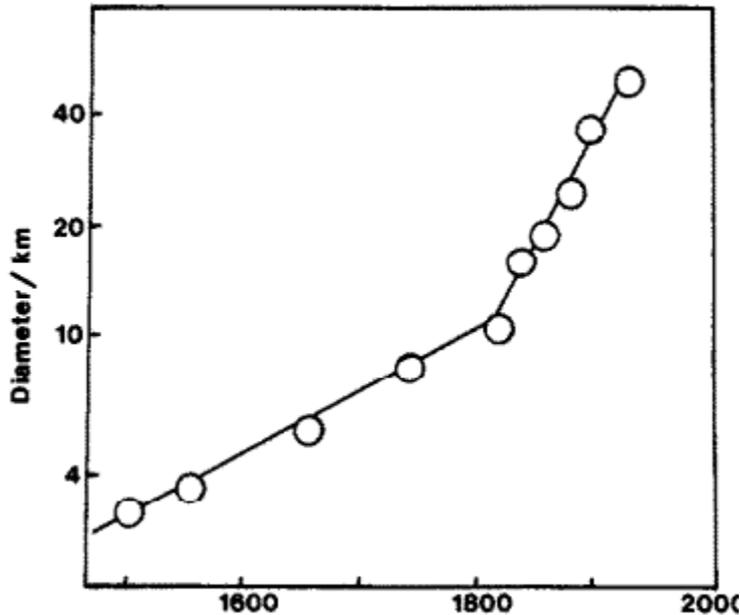
“It is horrid smoke which obscures our Church and makes our palaces look old, which fouls our cloth and corrupts the waters, so as the very rain, and refreshing dews which fall in the several seasons, precipitate to impure vapour, which, with its black and tenacious quality, spots, contaminates whatever is exposed to it.”

John Evelyn

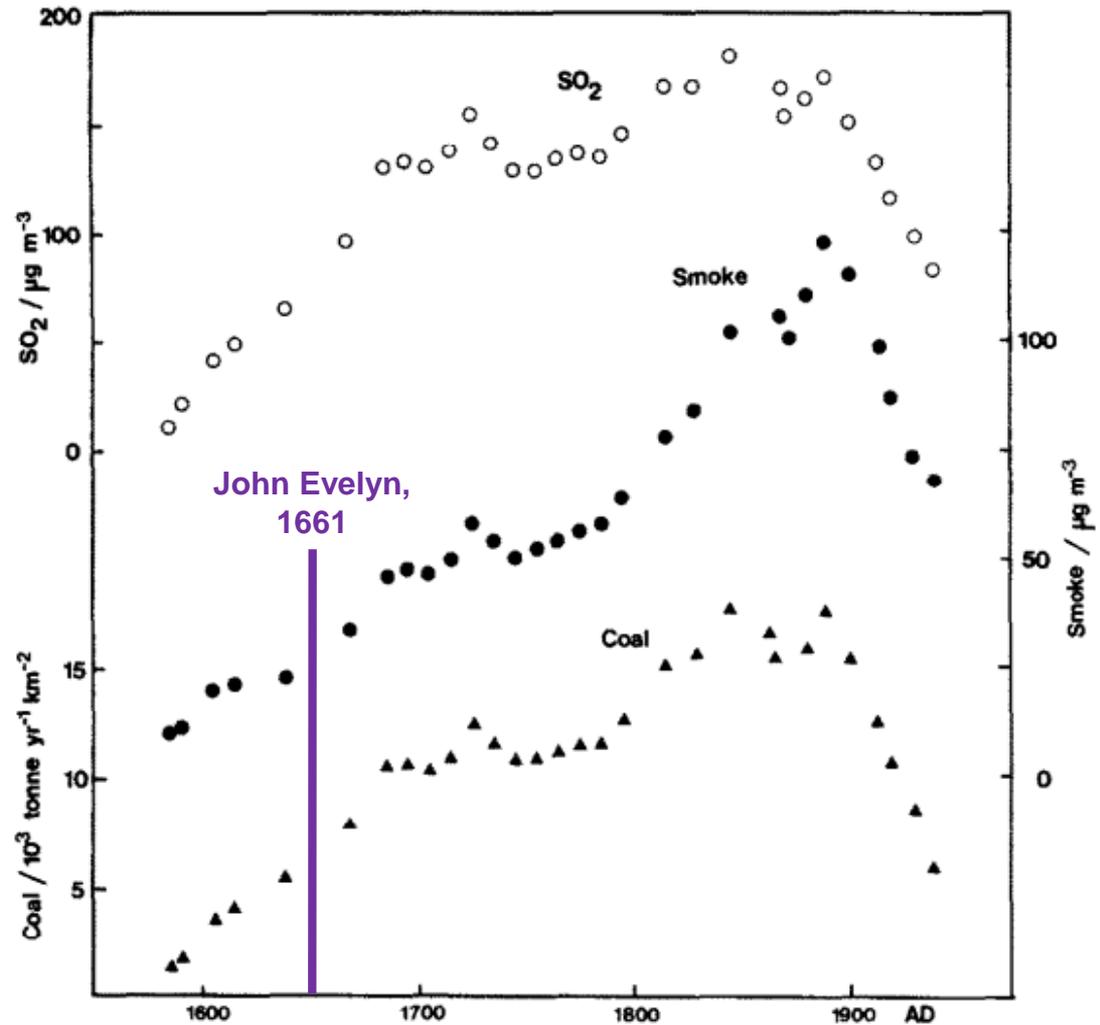
“A fumaça repugnante que obscurece nossa Igreja e faz nossos palácios parecerem velhos, que deteriora nossos tecidos e corrompe as águas, precipita como vapor impuro e preto em chuva e orvalhos refrescantes que caem nas várias estações e, assim contamina qualquer lugar que a isto é exposto.”

POLUIÇÃO DO AR

LONDRES, 1500-1900



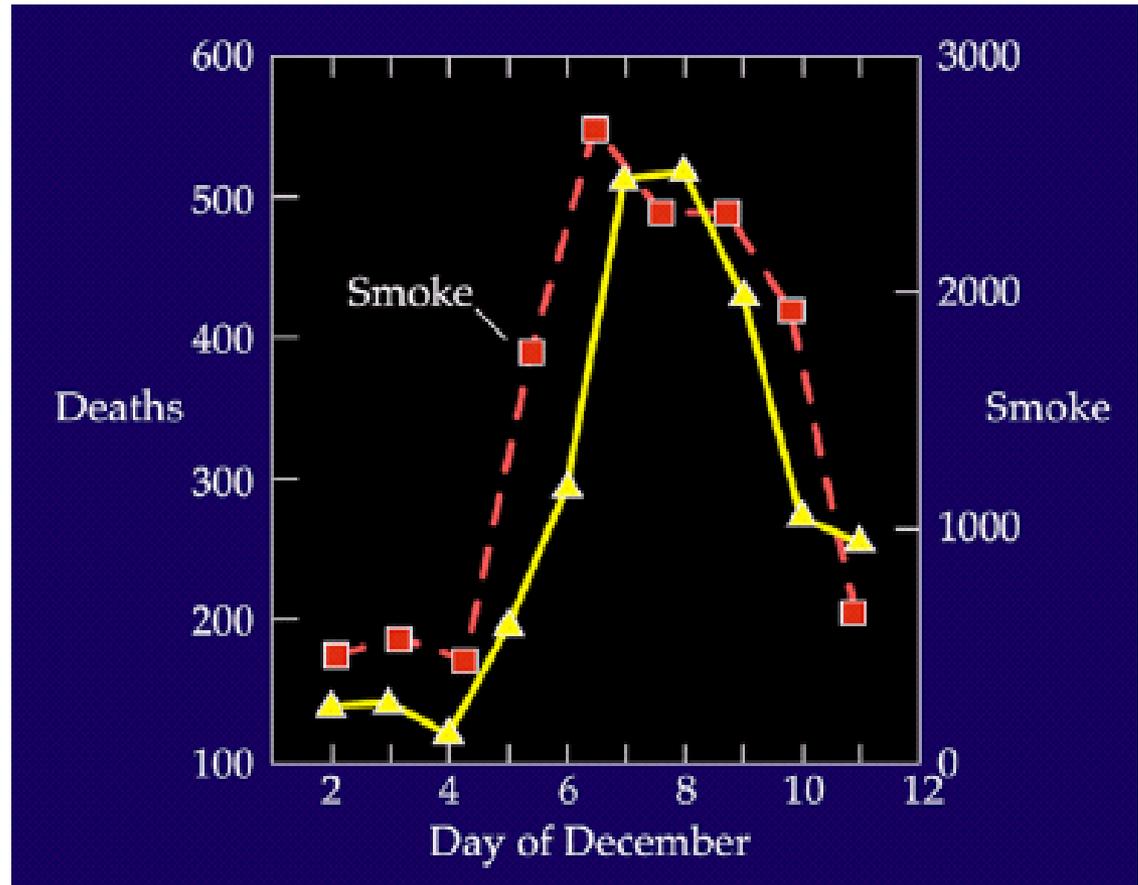
Diâmetro da área construída de Londres (escala semi logarítmica)



Concentrações **médias decadais** de dióxido de enxofre e fumaça no ar de Londres, conforme determinado a partir das importações de carvão.

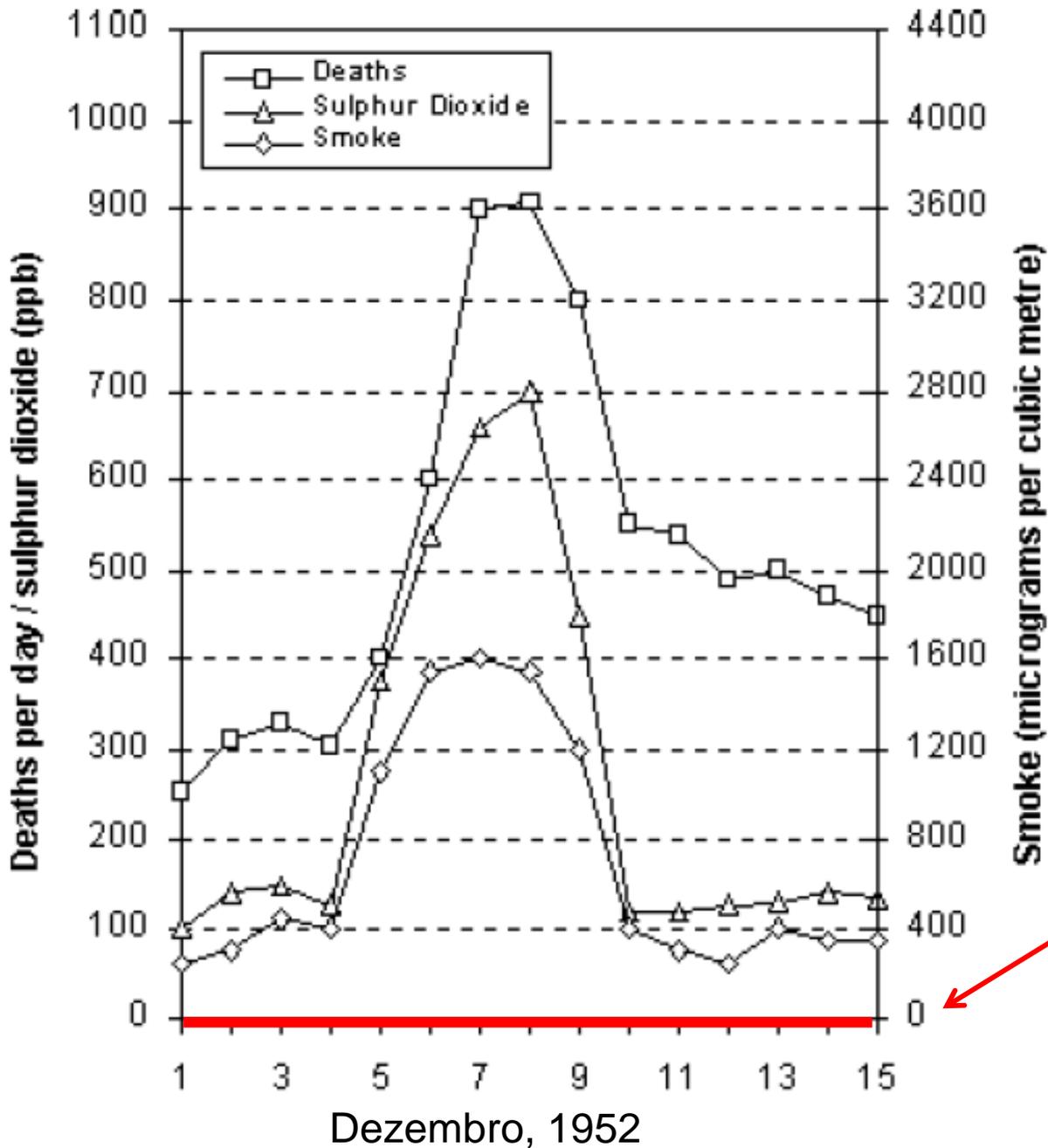


O episódio de poluição atmosférica em Londres, 1952: relação entre concentração de fumaça, SO₂ e óbitos



Vejam mais fotos:

<https://www.theguardian.com/environment/gallery/2012/dec/05/60-years-great-smog-london-in-pictures>



Wilkins, E. T. (1954). *Air pollution aspects of the London fog of December 1952*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 80(344), 267–271.

**OMS, 2005 –
recomendação
média 24-horas**

SO₂

8 ppb

MP₁₀

50 µg/m³

Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution

Michelle L. Bell¹ and Devra Lee Davis²

Environmental Health Perspectives • VOLUME 109 | SUPPLEMENT 3 | June 2001

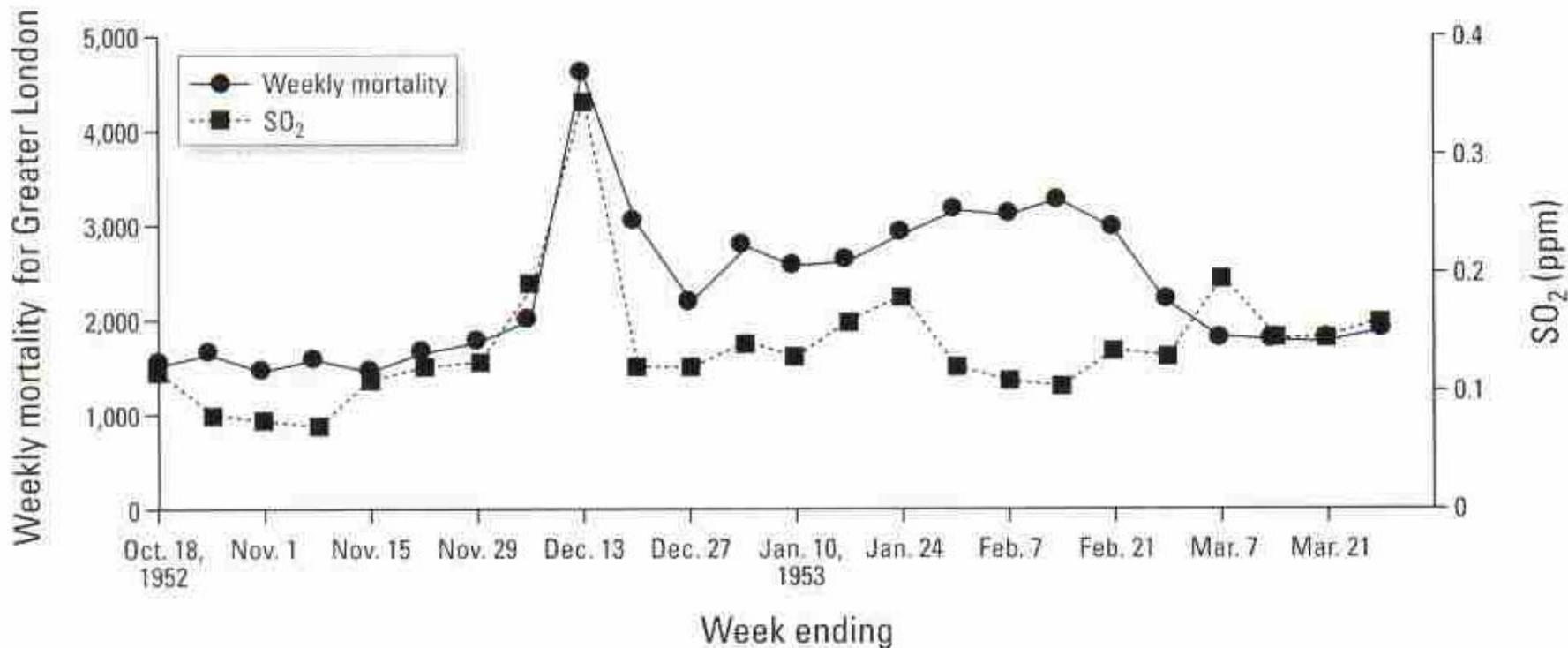
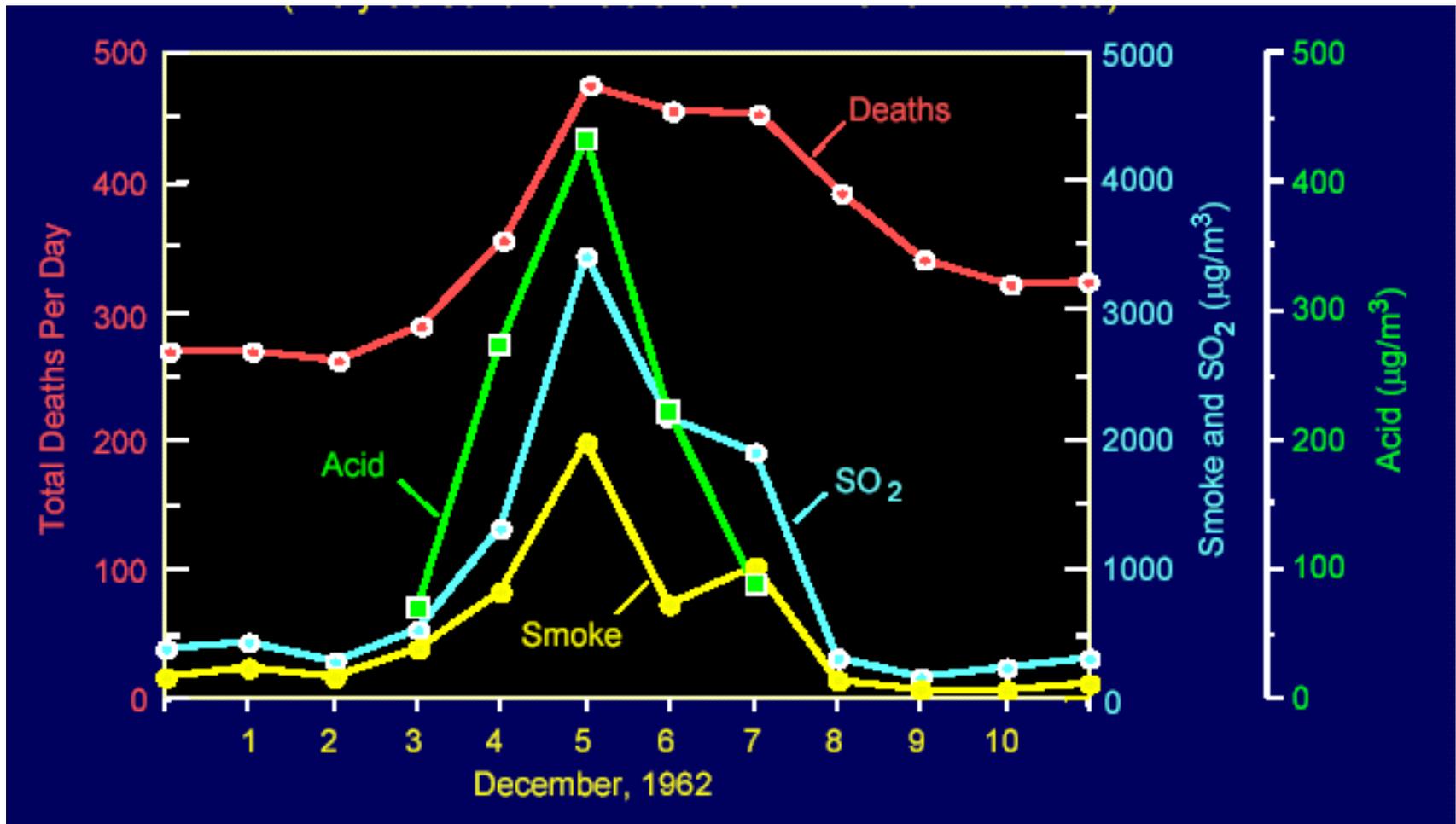


Figure 1. Approximate weekly mortality and SO₂ concentrations for Greater London, 1952–1953.

12 mil mortes associadas ao evento de smog em Londres, 30/11/1952 – 28/02/1953

If the official estimates of influenza deaths are inflated, as evidenced by our analyses, the number of unexplained excess deaths from 30 November 1952 to 28 February 1953 is about 12,000 (13,375 excess deaths minus 1,328 influenza deaths). This figure is based

Episódio de poluição atmosférica em Londres, 1962: confirmado a presença de aerossóis contendo sais de sulfato e ácido sulfúrico



Claude Monet: London Smog (anos 1890 e 1900)



século 19: mais de 1 milhão de londrinos queimando carvão

+

Condições meteorológicas desfavoráveis para dispersão

- 1873: estudos epidemiológicos indicaram 268 mortes por bronquite,
- virada do século 19 para 20: pouca visibilidade a partir das catedrais
(pontos altos da cidade),
- invernos cada vez mais escuros.

Londres, 1905

Harold Antoine des Voeux

smog = smoke + fog

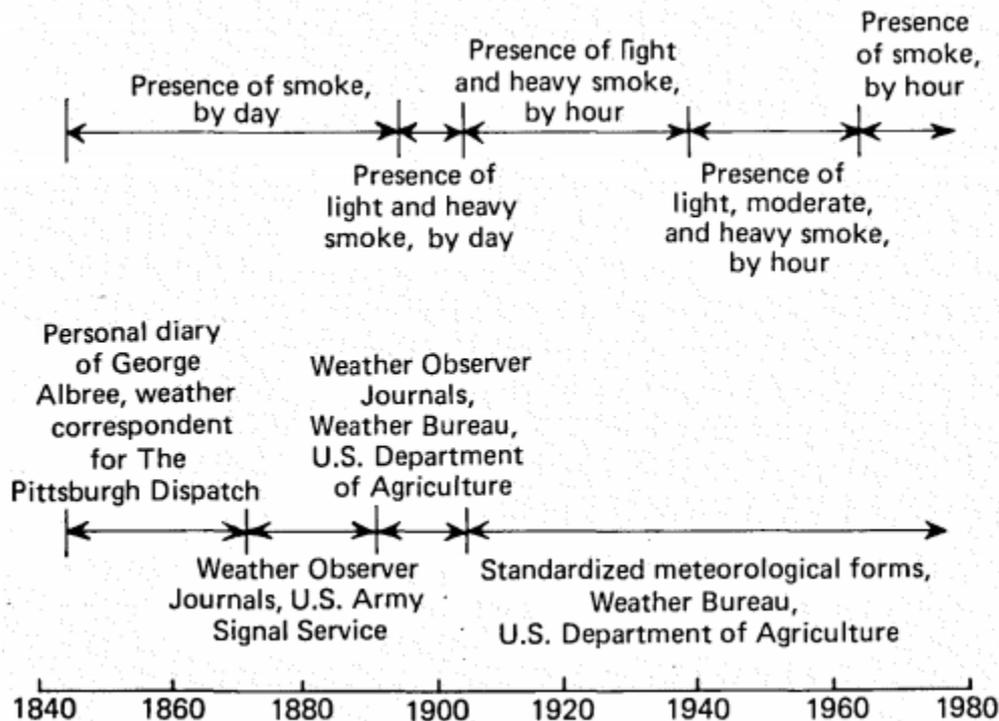
Cidade esfumaçada: Pittsburgh



1906-1910

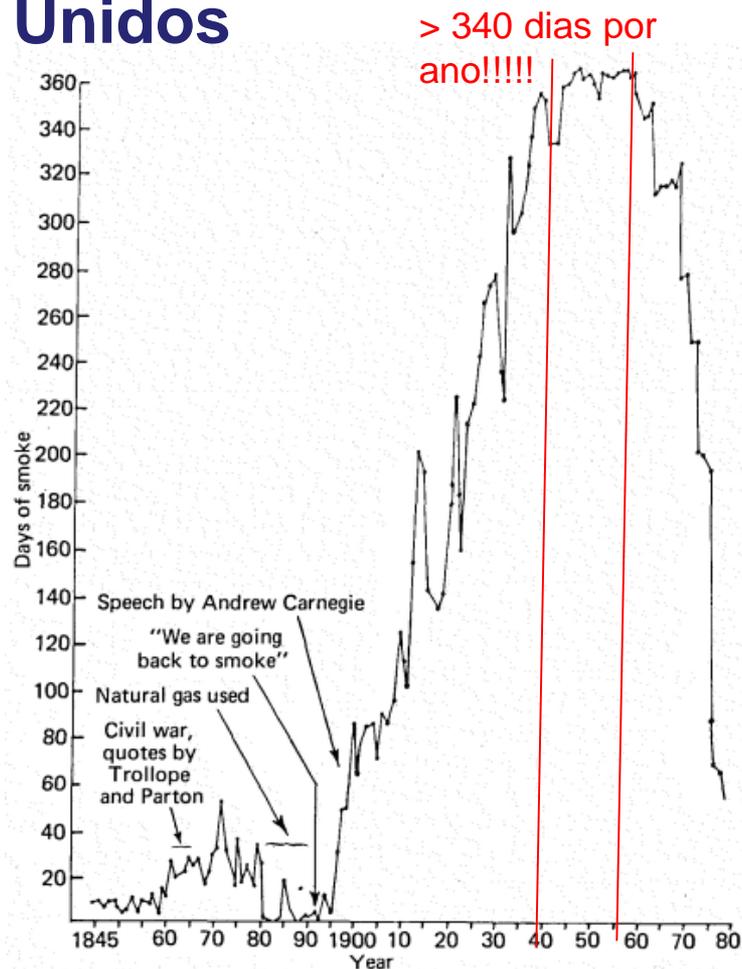
A indústria siderúrgica começou no final dos anos 1700 e, na década de 1820, tornou-se a principal indústria da cidade. Nos 150 anos seguintes foi o centro da indústria siderúrgica do país, fornecendo aço para pontes, ferrovias e arranha-céus.

Pittsburgh, Pensilvânia, Estados Unidos



Dados sobre fumaça disponíveis no centro de Pittsburgh Office do U.S. Weather Bureau. A fumaça era considerada “densa” quando a visibilidade era inferior a 3/8 milhas (603 m). A fumaça “moderada” implicava uma visibilidade de menos de 3/4 de milhas (1207 m).

(1 milha = 1609 m)



Número de dias a cada ano durante os quais a fumaça (leve, moderada e / ou densa) foi registrada qualitativamente, de 1845 até o 1979 (Figura 1).

Cliff I. Davidson , Air pollution in Pittsburgh: A Historical Perspective, Journal of the Air Pollution Control Association, 29(10), 1035-1041 , 1979.

Donora, PA 1948



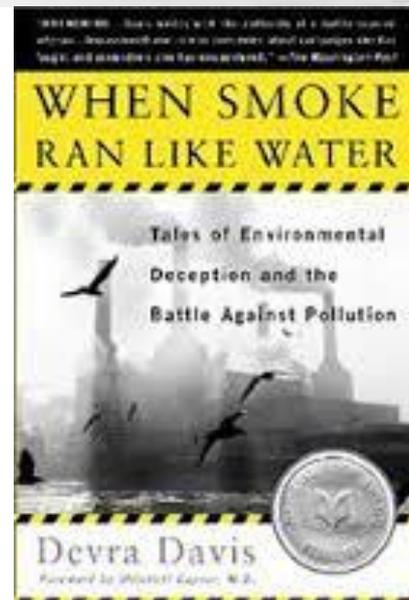
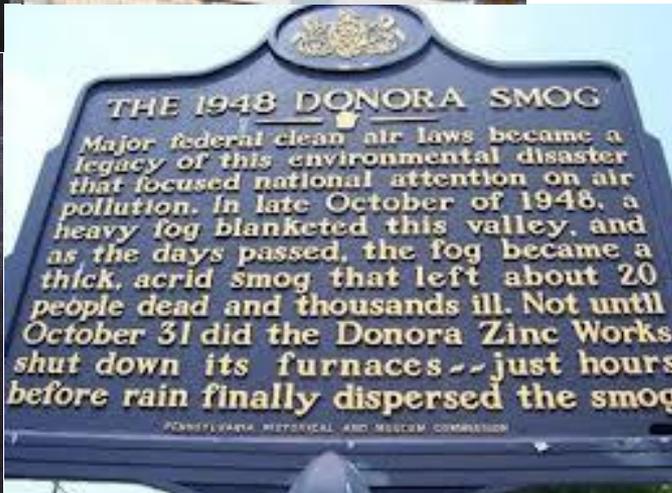
Em outubro de 1948, uma nuvem espessa de poluição se formou sobre a cidade industrial (fundição de zinco – poeira e SO_2) de Donora, na Pensilvânia. A nuvem que permaneceu por cinco dias matou 20 pessoas e causou doenças em seis mil das 14 mil pessoas da cidade.



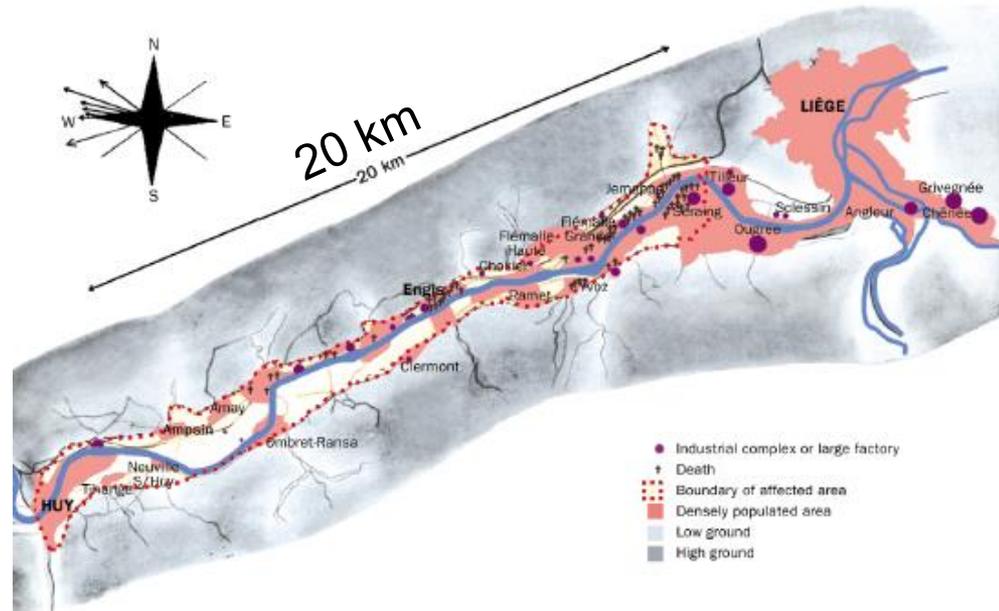
Donora se localiza 32 km ao sul de Pittsburg, ambas às margens do Rio Monongahela



**Donora, Pensilvânia –
Outubro de 1948
grande
desastre de poluição de ar**



Meuse Valley, Bélgica - 1930



Map of the Meuse Valley between Liège and Huy, indicating the fog-covered area and location of fatalities and factories

Um evento de inversão térmica ao longo de um trecho de 25 km do vale Meuse que continha muitas fazendas, aldeias, siderúrgicas e fábricas de produtos químicos. No final do primeiro dia, muitos moradores se queixaram de náuseas, respiração curta, ardor nos olhos e ardor na garganta. Em três dias, 60 pessoas morreram e outras milhares ficaram doentes com uma "doença" desconhecida.

Firket, Fog along the Meuse Valley, Trans. Faraday Soc., 32, 1192-1196, 1936.

Nemery, Hoet, Nemmar, The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster, The Lancet, 357, 704-708, 2001

smog = smoke + fog
(poeira + neblina)

Queima de carvão (Revolução industrial) –
smog sulfuroso ou londrino (London smog)

Eventos de excesso de óbitos associados ao “smog”

Ano	Lugar	Número de óbitos em excesso
1930	Vale do Meuse, Bélgica	63
1948	Donora, Pensilvânia	20
1952	Londres	4000
1962	Londres	700

1966 Nova York (24-30 novembro)

168

1984 Bhopal (India)

2000 (acidente químico)

1986 Chernobyl (URSS)

?? (acidente nuclear)

New York City



Foto da construção do prédio Empire State em evento de poluição de NY - 1930

Credit: Neal Boenzi/NYT Pictures



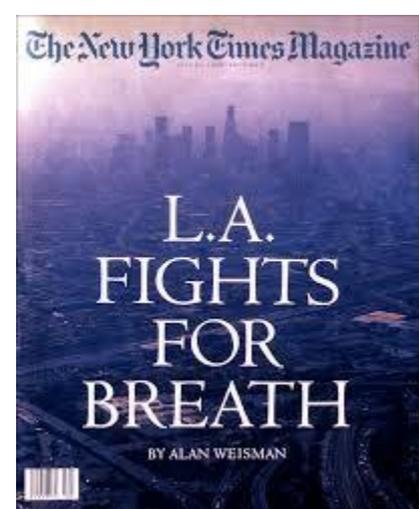
1966: New York City enterrada sob um mar de poluição!!

Los Angeles 1955



Dense fog over the Los Angeles Civic Center, 1955. Note that the buildings project above the base of the inversion layer, while the smog remains below.

Nevoeiro denso sobre Los Angeles em 1955. Observe o topo dos prédios acima da base da camada de inversão, enquanto a fumaça continua abaixo.



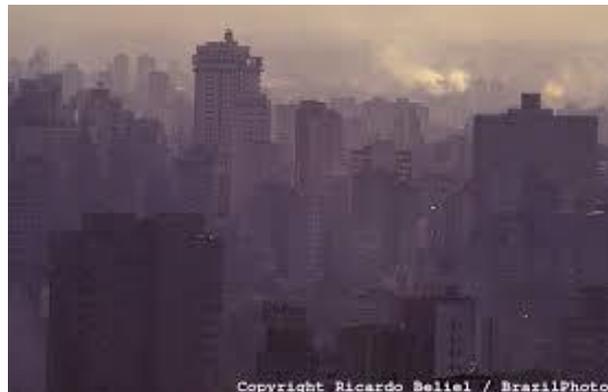
L.A. luta para respirar



Segunda metade do século 20:

Queima de combustíveis fósseis (veículos)

smog fotoquímico ou de Los-Angeles



Smog fotoquímico



Smog fotoquímico em São Paulo (~1990).

O gás de cor castanha, NO_2 , é formado quando o NO , que é um gás incolor, reage com o oxigênio do ar.

(P.W. Atkins, “*Atoms, Electrons, and Change*”, pg. 135, 1991)

smog = smoke + fog
(poeira + neblina)



Poluição urbana

Queima de combustíveis fósseis (veículos) –

smog fotoquímico ou

Smog de Los-Angeles

Comparação entre as características gerais da **POLUIÇÃO DO AR (SMOG)
Sulfurosa (Londres) e Fotoquímica (Los Angeles, São Paulo)
(Finlayson-Pitts & Pitts, 1986).**

Características	Sulfurosa (Londres)	Fotoquímica (Los Angeles, São Paulo)
reconhecimento	século 19	século 20 (década de 40)
Poluentes primários	SO₂, partículas de fuligem	NO_x (NO+NO₂), Compostos orgânicos
Poluentes secundários	H₂SO₄, aerossóis, sulfatos, ácidos sulfônicos, etc.	O₃, HNO₃, aldeídos, PAN (peroxiacetil nitrato), nitratos, sulfatos, etc.
Temperatura	Frio (~2° C)	Quente (> 23° C)
Umidade relativa	alta, com neblina	baixa, quente e seco
Tipo de inversão	radiação (terra)	subsistência
Picos de poluição	início da manhã	início da tarde

URBANIZAÇÃO e INDUSTRIALIZAÇÃO

Poluentes atmosféricos:

O₃ (ozônio)

SO₂ (dióxido de enxofre)

CO (monóxido de carbono)

MP (material particulado)

NO_x (NO + NO₂, óxidos de nitrogênio)



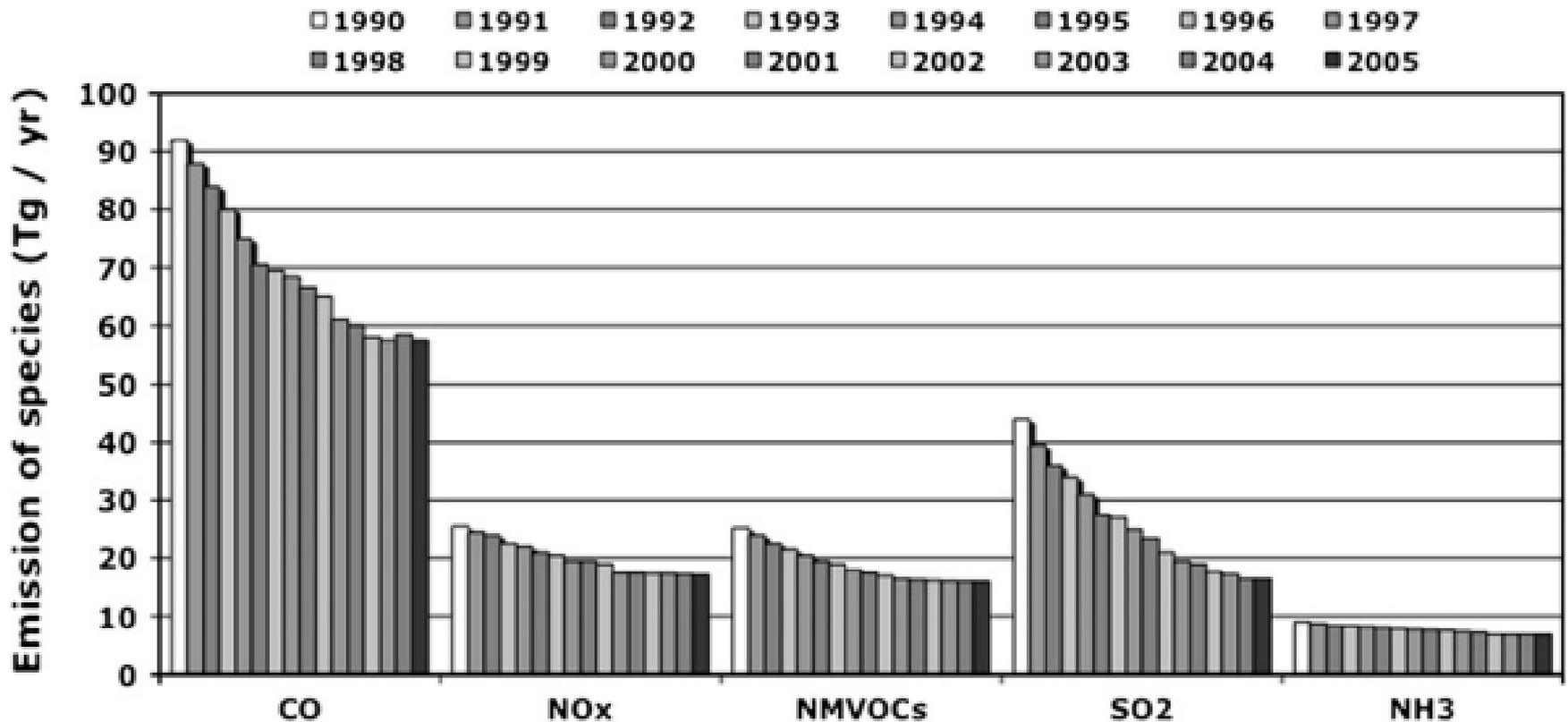
Alguns marcos na história da poluição do ar

- 1948 Air pollution episode in Donora, Pennsylvania kills 20 people and makes 40 percent of the town's 14,000 inhabitants ill.
- 1952 Sulfur and soot-laden smog covers London and is responsible for 4,000 deaths over a two-week period.
- 1955 Congress passes Air Pollution Control Act which identified air pollution as a national problem.
- 1963 Congress passes Clean Air Act of 1963 which set emissions standards for stationary sources such as power plants and steel mills. Amendments were passed in 1965, 1966, 1967, and 1969, authorizing the Secretary of Health, Education, and Welfare to set standards for motor vehicle emissions.
- 1970 Congress passes Clean Air Act of 1970, the first substantive environmental statute enacted by Congress. The law established National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and set new limits on emissions from stationary and mobile sources. Also allowed states to establish their own stricter standards, which California did.
- 1975 Catalytic converter introduced into vehicle fleet. Cuts hydrocarbon and carbon monoxide emissions by 96 percent and nitrogen oxides by 75 percent.
- 1977 Revised Clean Air Act Amendments passed by Congress, providing more time for areas with more serious air quality problems to comply with standards.
- 1988 EPA establishes Indoor Air Division of the Office of Air and Radiation to address indoor air quality issues.

Alguns marcos na história da poluição do ar

- 1990 Congress passes Clean Air Act of 1990, tightening automobile emissions standards, encouraging the use of low-sulfur fuels, and mandating installment of Best Available Control Technology.
 - 1997 EPA strengthens the standard for airborne particulate matter.
 - 2000 Tier 2 program, will be phased in starting in 2004, when refiners must produce low-sulfur fuel for passenger vehicles. Tier 2 also sets tailpipe emission standards for all classes of passenger vehicles, including sport utility vehicles and light-duty trucks.
 - 2001 Supreme Court supports health-based air pollution standards when it rejects challenges to the new standard for particulate matter.
 - 2001 The Heavy Duty Diesel Rule will require significant future reductions in highway diesel engine particulate matter emissions. It will also require diesel oil refiners to reduce most sulfur from diesel fuel by 2006 in preparation for new engines in 2007.
 - 2002 Legislation (AB 1493) passed in California that requires automakers to reduce greenhouse gases from motor vehicles.
 - 2002 California adopts more stringent particulate matter standards for PM_{10} and $PM_{2.5}$.
-

Seinfeld, J.H., Air Pollution: A Half Century of Progress, AIChE Journal, 50(6), 1096-1108, 2004.



Tendências das emissões (Tg ano⁻¹) de poluentes atmosféricos na área do EMEP para o período 1990–2005, excluindo o transporte marítimo internacional.

1 Tg = 10¹² g = 10⁹ kg.

European Monitoring and Evaluation Programme = EMEP

Monks et al., Atmospheric composition change – global and regional air quality, Atmospheric Environment, 43, 5268–5350, 2009.

Algumas conclusões:

- ❖ A atmosfera é indispensável a todos os seres vivos;
- ❖ Devem ser adotadas, urgentemente, medidas para minimizar a sua degradação;
- ❖ As normas de controle de emissão dos poluentes devem ser respeitadas;
- ❖ É importante agir hoje, para se obterem resultados amanhã!

AIR POLLUTION – THE SILENT KILLER

Every year, around **7 MILLION DEATHS** are due to exposure from both outdoor and household air pollution.

Air pollution is a major environmental risk to health.
By reducing air pollution levels, countries can reduce:

-  **Stroke**
-  **Heart disease**
-  **Lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease, pneumonia and asthma**

REGIONAL ESTIMATES ACCORDING TO WHO REGIONAL GROUPINGS:



- More than 2 million** in South-East Asia Region
- More than 2 million** in Western Pacific Region
- 1 million** in Africa Region
- 500 000** deaths in Eastern Mediterranean Region
- 500 000** deaths in European Region
- More than 300 000** in the Region of the Americas

WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution



Organização Mundial da Saúde OMS ou WHO)

Air quality guidelines - global update 2005



As Diretrizes se aplicam em todo o mundo e são baseadas na avaliação de especialistas de evidências científicas atuais para:

- particulate matter (PM)
- ozone (O₃)
- nitrogen dioxide (NO₂) and
- sulfur dioxide (SO₂),
- in all WHO regions.

http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/

Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS)

WHO Air quality guidelines - global update 2005

Valores recomendados

MP_{2.5}

10 µg/m³ média anual

25 µg/m³ média 24-horas

MP₁₀

20 µg/m³ média anual

50 µg/m³ média 24-horas

Dióxido de nitrogênio (NO₂)

40 µg/m³ média anual

200 µg/m³ média 1-hora

Dióxido de enxofre (SO₂)

20 µg/m³ média 24-horas

500 µg/m³ média 10-minutos

Ozônio (O₃)

100 µg/m³ média 8-horas

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS)

WHO Air quality guidelines - 2021

2021

WHO global air quality guidelines

Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀),
ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide
and carbon monoxide



MP_{2.5}

5 µg/m³ média anual

15 µg/m³ média 24-horas

MP₁₀

15 µg/m³ média anual

45 µg/m³ média 24-horas

Dióxido de nitrogênio (NO₂)

10 µg/m³ média anual

25 µg/m³ média 24-horas

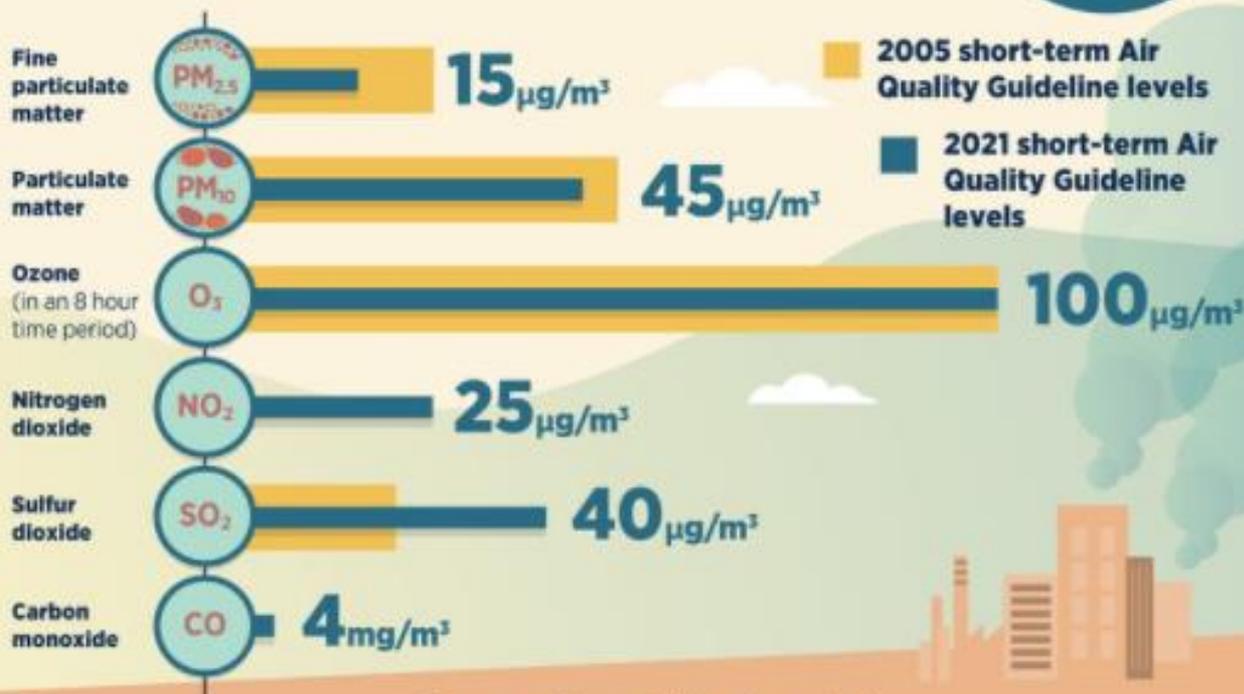
Ozônio (O₃)

100 µg/m³ média 8-horas

NEW WHO AIR QUALITY GUIDELINES SET CLEAR GOALS TO HELP IMPROVE AIR QUALITY FOR ALL



Valores recomendados (24 horas e 8 horas)



Recommended over a 24-hour time period

WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution



<https://who.canto.global/v/LOJV1PH4GO/album/LFSA6?display=fitView&viewIndex=0>

THE WHO AIR QUALITY GUIDELINES (AQGs) SET GOALS TO REDUCE AIR POLLUTION

They set out to achieve this by:

1

INTERIM TARGETS
HELP COUNTRIES TO
CONTINUOUSLY
IMPROVE AIR QUALITY

2

RECOMMENDING AQG
LEVELS TO PROTECT
PEOPLE FROM AIR
POLLUTION

CURRENT
LEVELS

INTERIM
TARGETS

RECOMMENDED
AQG LEVELS

CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution



RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>

PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

WHO 2021

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	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	-

45 µg m⁻³
15 µg m⁻³ MP₁₀

15 µg m⁻³
5 µg m⁻³ MP_{2,5}

10 µg m⁻³ NO₂

4 mg m⁻³ CO

¹ - média aritmética anual

² - média horária

³ - máxima média móvel obtida no dia

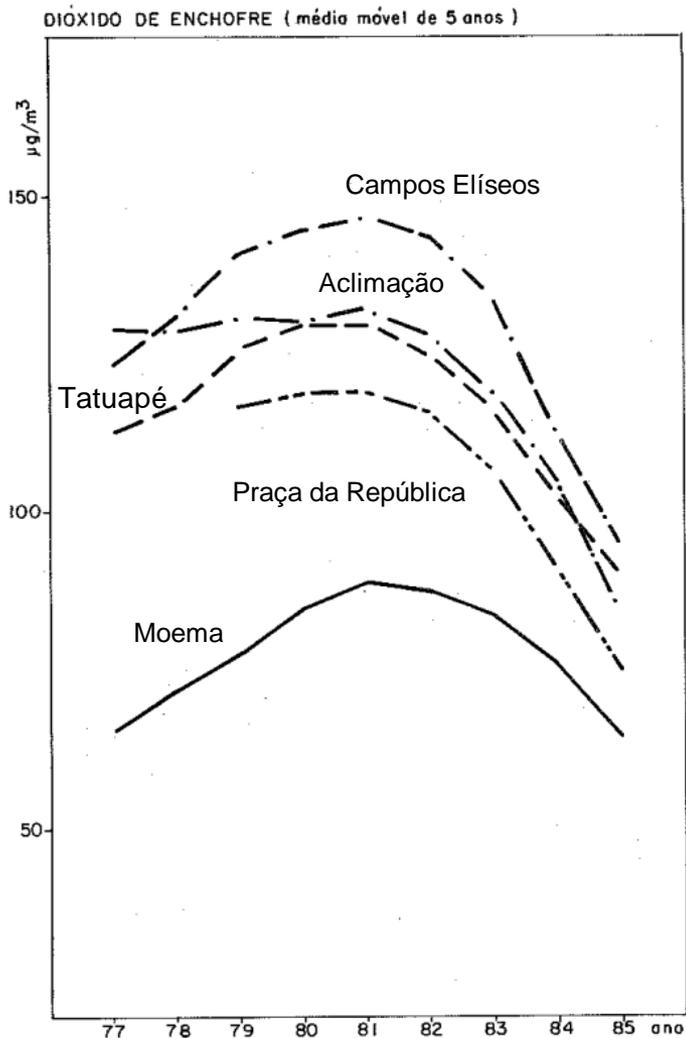
⁴ - média geométrica anual

⁵ - medido nas partículas totais em suspensão

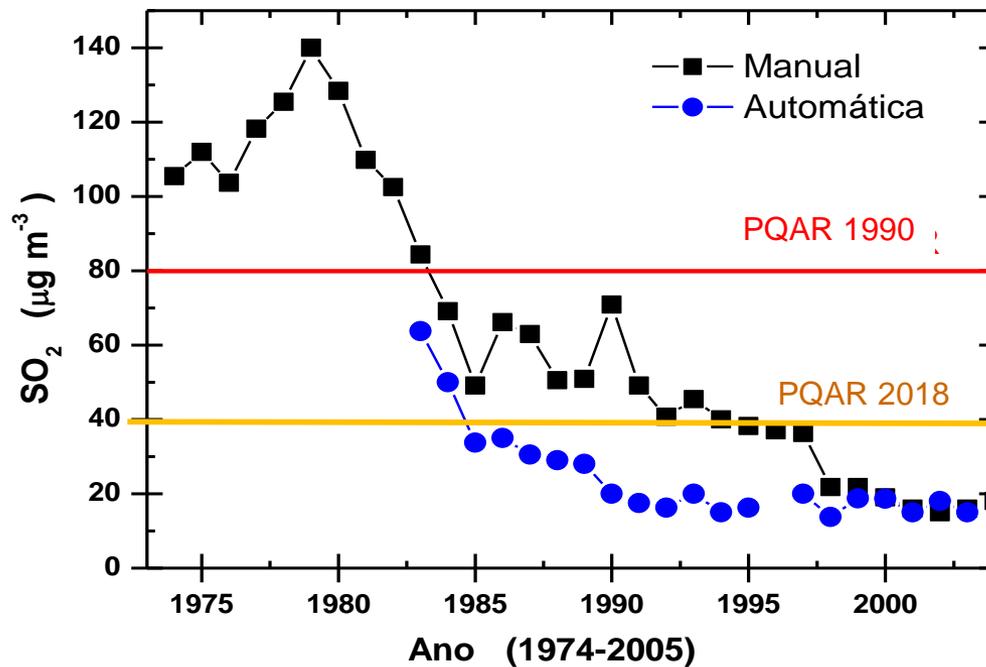
9 ppm de CO = ~10,3 µg m⁻³

Tendências SO₂ na região metropolitana de São Paulo – RMSP (1974-2021)

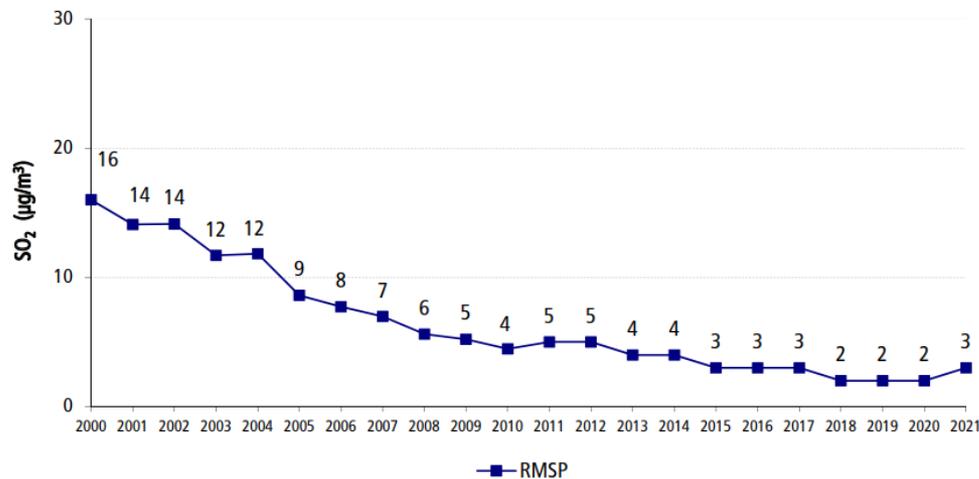
WHO - Dióxido de enxofre (SO₂)
 20 µg/m³ média 24-horas
 500 µg/m³ média 10-minutos



<https://cetesb.sp.gov.br/qualidade-ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/1985.pdf>



Fornaro and Gutz, Atmospheric Environment, 40, 5893–5901, 2006.



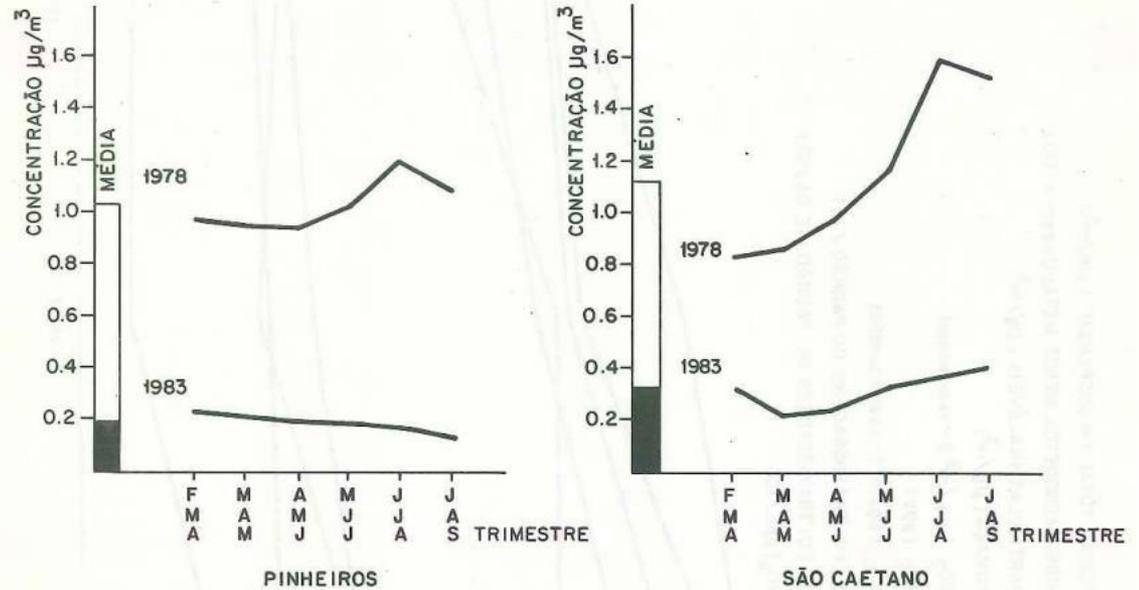
<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/10/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2021.pdf>

Tendência chumbo na RMSP

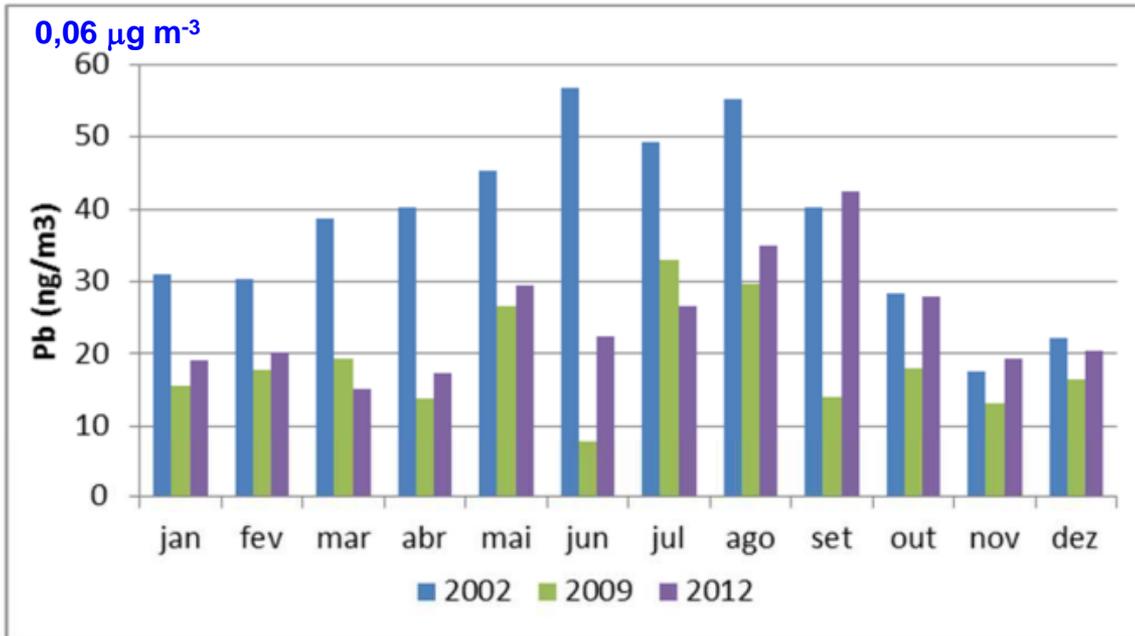
O Brasil foi, em 1989, um dos primeiros países a retirar o chumbo de sua gasolina automotiva, sendo este totalmente eliminado em 1992.

<https://cetesb.sp.gov.br/qualidade-ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/1985.pdf>

Concentrações médias trimestrais de **chumbo** na RMSP em 1978 e 1983.



Concentrações médias mensais de chumbo para a estação Cerqueira César



Em 1987 a CETESB realizou um estudo para determinar as concentrações de chumbo no MP10. As concentrações médias anuais obtidas na época foram de $187 \text{ ng}/\text{m}^3$ no Parque Dom Pedro, $128 \text{ ng}/\text{m}^3$ no Ibirapuera, $104 \text{ ng}/\text{m}^3$ em Osasco e $275 \text{ ng}/\text{m}^3$ em São Caetano, concentrações bem maiores que as observadas no atual estudo.

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/relatorio-evolucao-metais.pdf>

O Proálcool (Programa Nacional do Álcool) consistiu em uma iniciativa do governo brasileiro de intensificar a produção de álcool combustível (etanol) para substituir a gasolina. Essa atitude teve como fator determinante a crise mundial do petróleo, durante a década de 1970, pois o preço do produto estava muito elevado e passou a ter grande peso nas importações do país.

Nesse sentido, em 1975, foi criado o Proálcool, sendo oferecidos vários incentivos fiscais e empréstimos bancários com juros abaixo da taxa de mercado para os produtores de cana-de-açúcar e para as indústrias automobilísticas que desenvolvessem carros movidos a álcool.

Na primeira década do Proálcool, os resultados foram positivos, visto que os consumidores priorizavam os automóveis movidos a álcool e, em 1983, as vendas desses veículos dominaram o mercado brasileiro. Em 1991, aproximadamente 60% dos carros do país (cerca de 6 milhões) eram movidos por essa fonte energética.

Em 2003, uma nova crise do petróleo impulsionou a fabricação de novos carros a álcool. Dessa vez, entretanto, as indústrias automobilísticas inovaram e desenvolveram motores flex, que permitem aos consumidores a opção de uso tanto do álcool quanto da gasolina.