



Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE

Instituto de Energia e Ambiente - IEE

Universidade de São Paulo - USP

Prof. Célio Bermann

# **PEN 5733: Fundamentos Ambientais dos Processos Energéticos**

## **3ª aula - A POLUIÇÃO DA BIOSFERA**

- . natureza e modalidades de poluição no meio ambiente
- . poluição atmosférica, dos solos, das águas continentais e oceânicas
- . problemas ambientais: o "efeito estufa"; a destruição da camada de ozônio e o ozônio troposférico

## Energia: principais problemas ambientais:

### ▶ Mudanças climáticas – Aquecimento global – Efeito-Estufa

- Emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) dos combustíveis fósseis
  - Petróleo
  - Carvão mineral
  - Gás natural

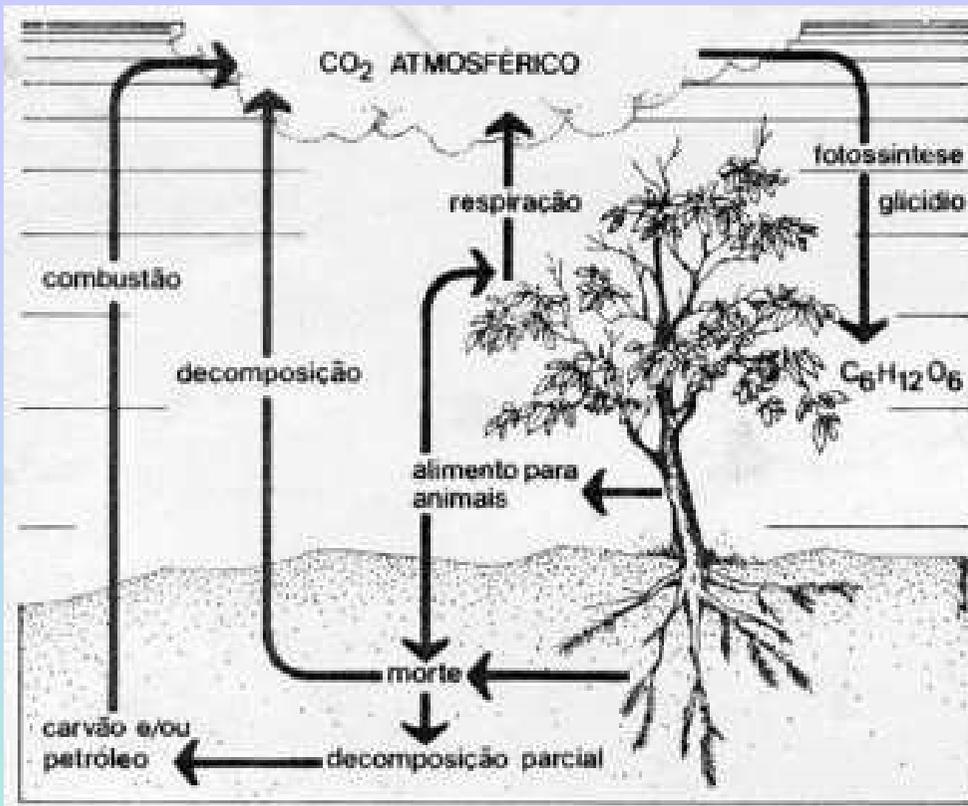
### ▶ Saúde pública – Ozônio troposférico

- Emissão de HC (hidrocarbonetos) e NO<sub>x</sub> (óxidos nitrosos) – formação do Ozônio troposférico (baixa altitude) – poluição atmosférica nas regiões metropolitanas (São Paulo; S.J.Campos; Campinas)

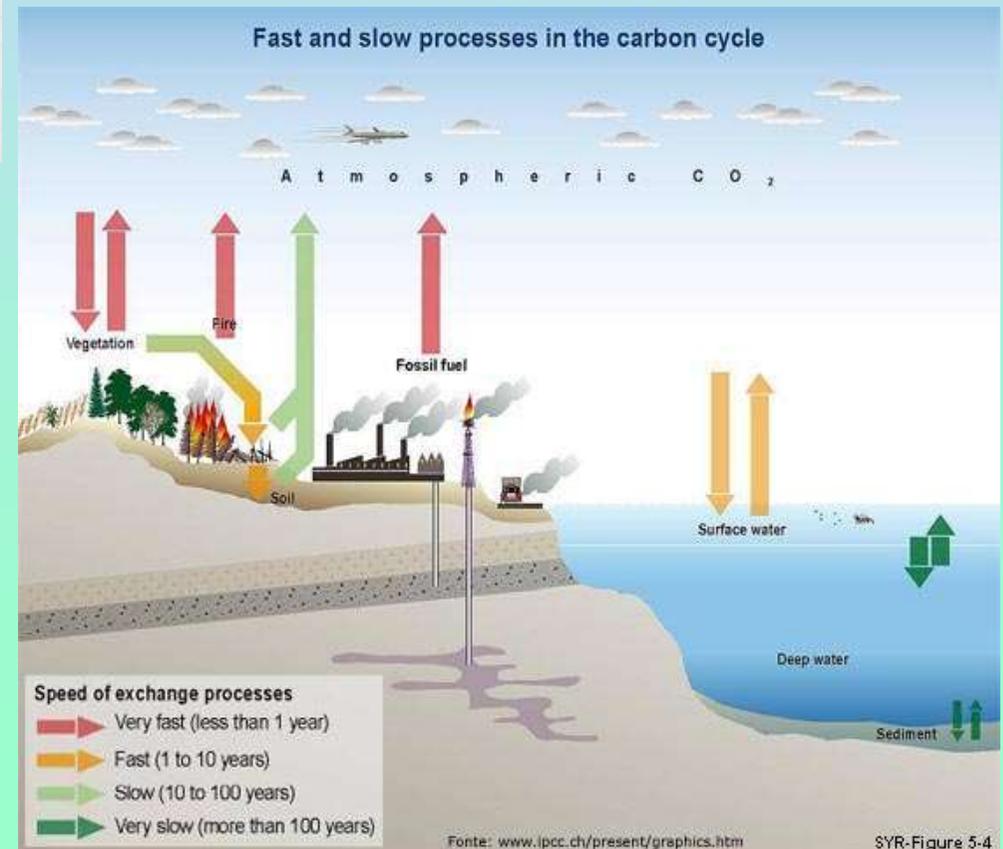
## ► **Mudanças climáticas – Aquecimento global – Efeito-Estufa**

- **Emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) dos combustíveis fósseis**

- **Petróleo**
- **Carvão mineral**
- **Gás natural**



## Ciclo do Carbono



## Fatores de conversão:

óleo diesel: 3,15 t CO<sub>2</sub>/tep

óleo combustível: 3,34 t CO<sub>2</sub>/tep

querosene: 3,04 t CO<sub>2</sub>/tep

gasolina: 2,93 t CO<sub>2</sub>/tep

GLP: 2,65 t CO<sub>2</sub>/tep

lenha e carvão vegetal: 4,27 t CO<sub>2</sub>/tep

outros de petróleo: 3,04 t CO<sub>2</sub>/tep

carvão mineral: 3,83 t CO<sub>2</sub>/tep

coque de carvão mineral: 3,83 t CO<sub>2</sub>/tep

gás de coqueria: 2,84 t CO<sub>2</sub>/tep

gás natural: 2,12 t CO<sub>2</sub>/tep

Fonte: IEA-International Energy Agency, 1994 (coeficientes expressos em t CO<sub>2</sub>/TJ-terajoules ou 10<sup>12</sup> joules convertidos para tep).

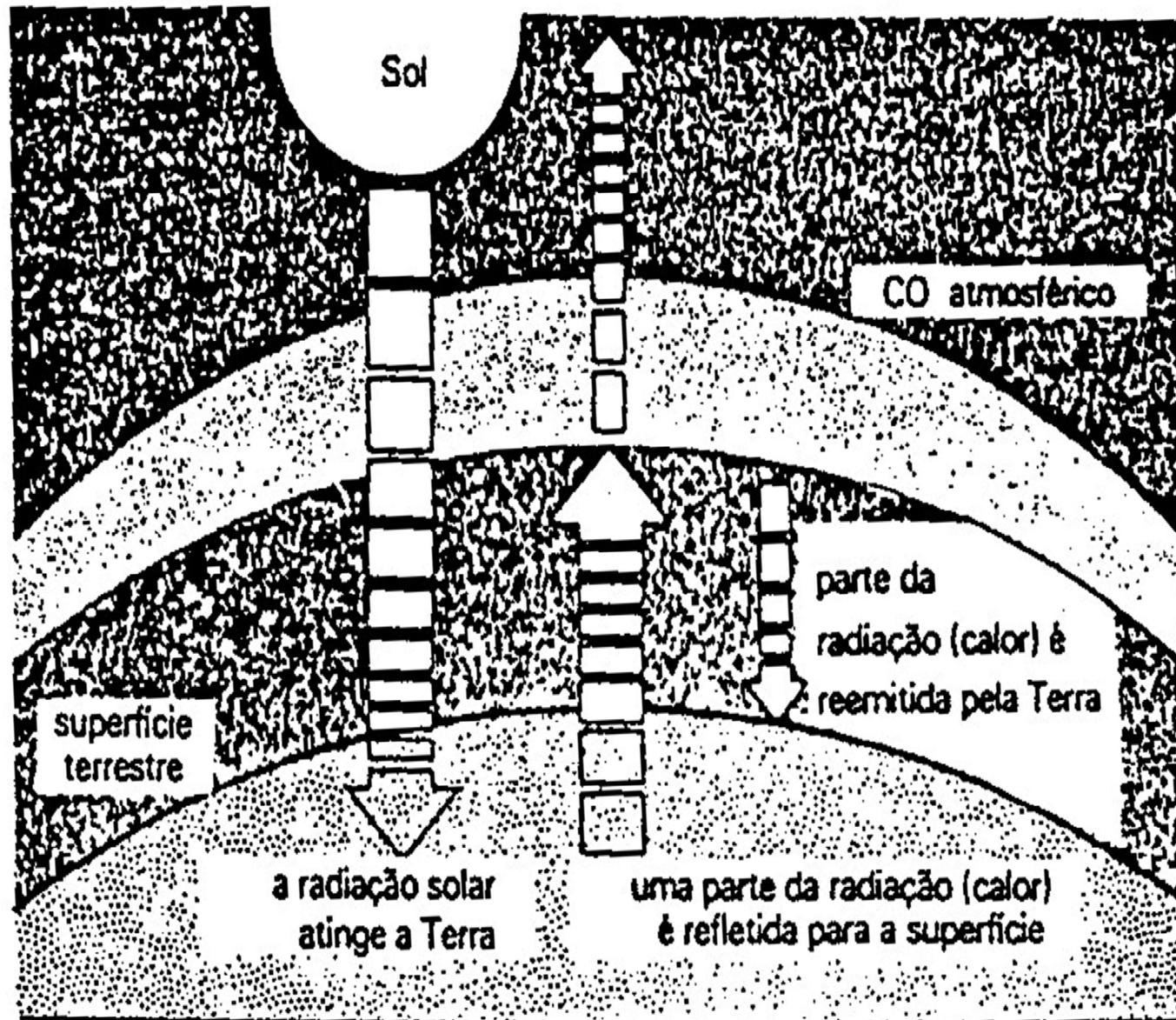


Figura 15 — Representação esquemática do mecanismo do efeito estufa (apud J. Norwine).

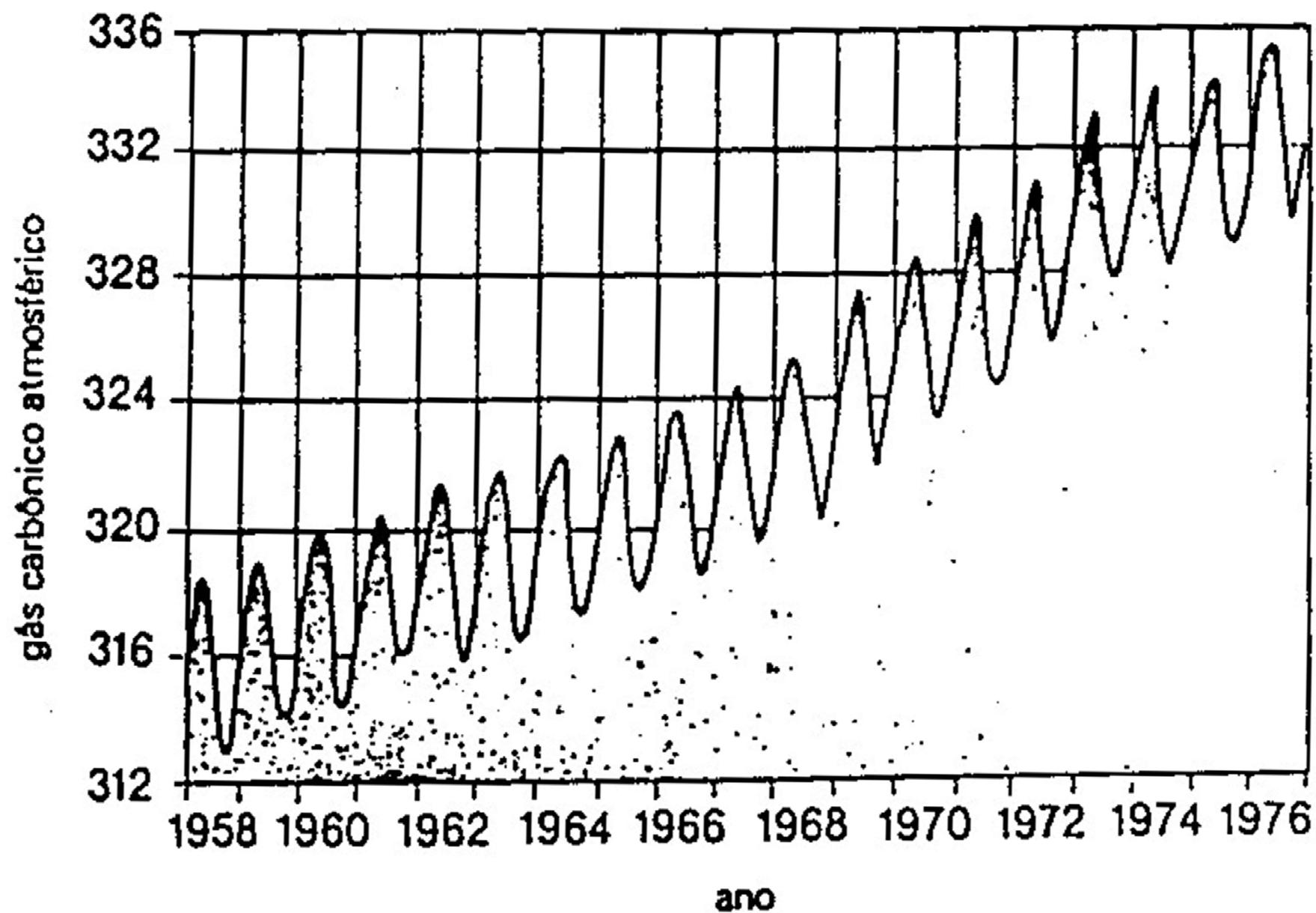


Figura 16 — Evolução da concentração de gás carbônico (em partes por milhão) na atmosfera (apud B. Bolin e R. Allen)

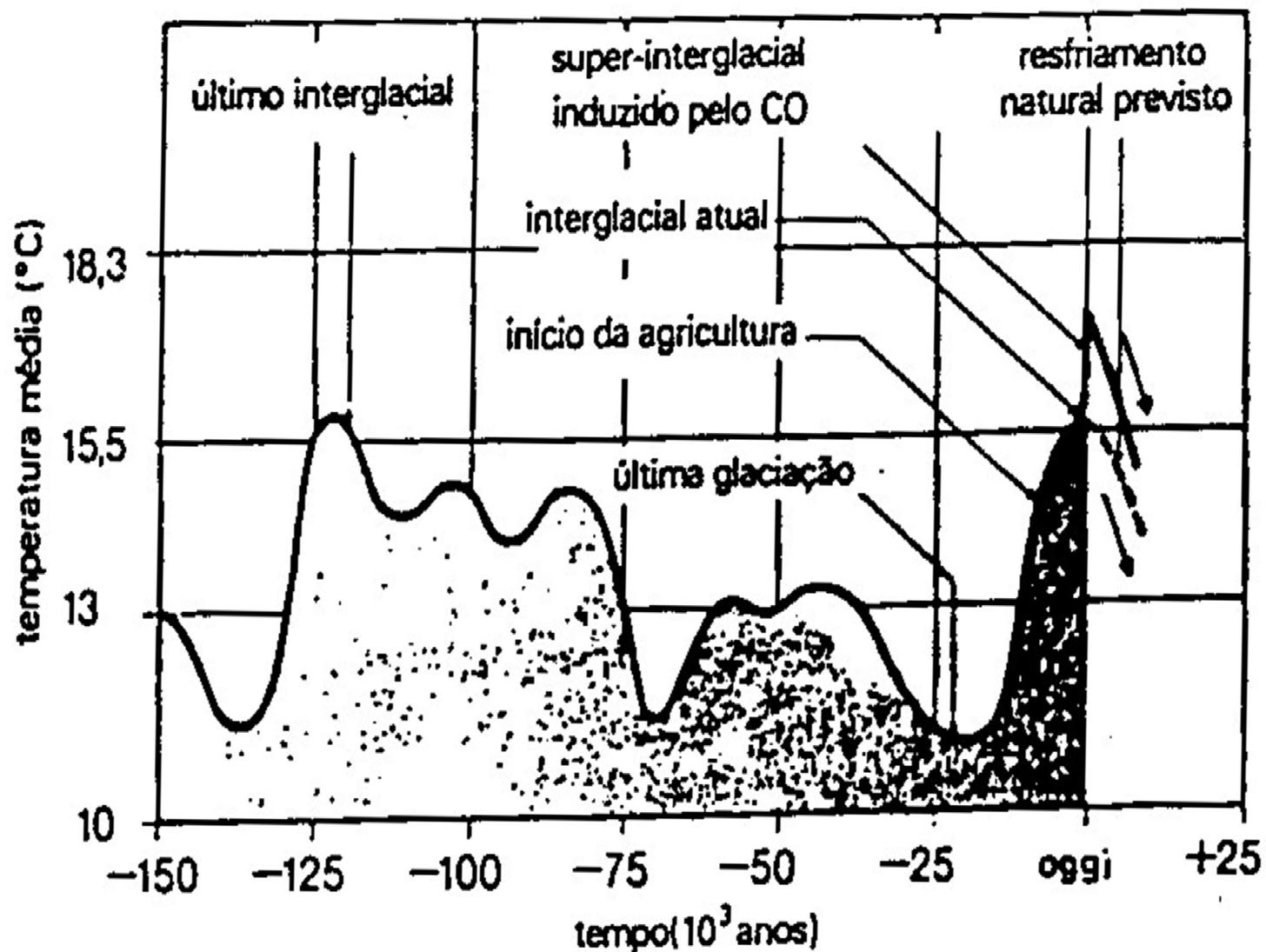
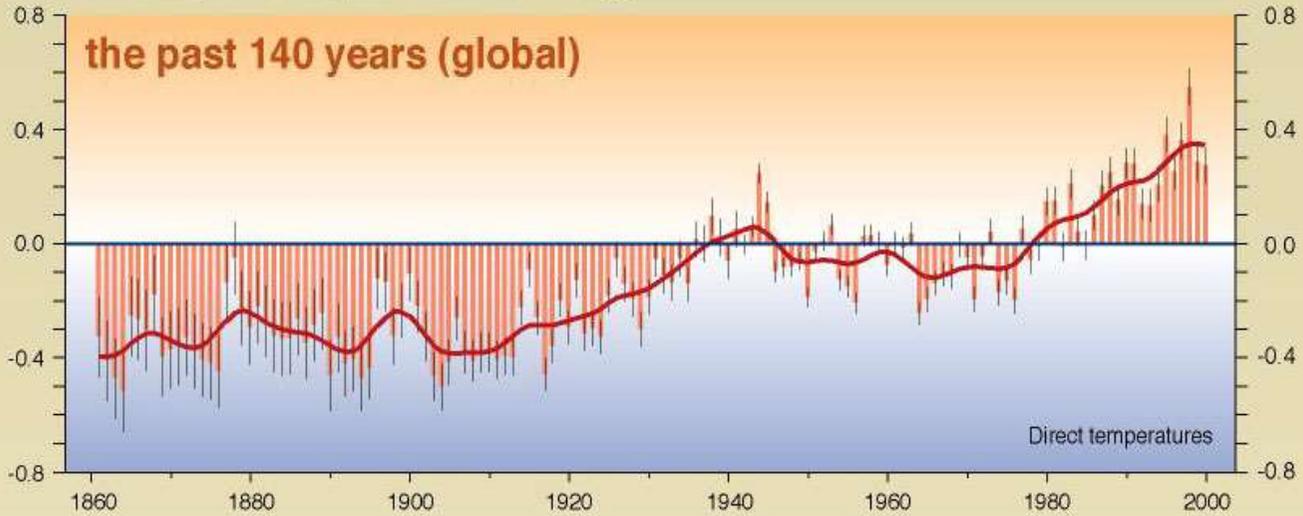


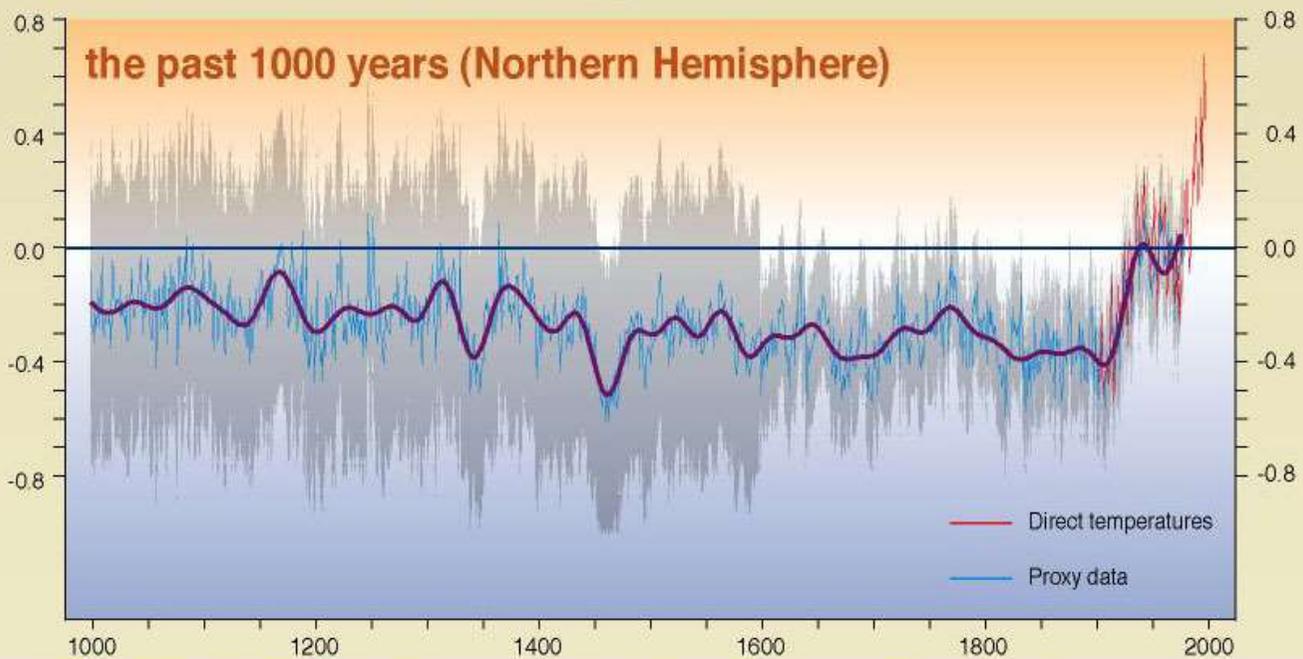
Figura 20 — Evolução da temperatura média da Terra em função do tempo (apud J. Mitchell e J. Norwine).

## Variations of the Earth's surface temperature for...

Departures in temperature in °C (from the 1961-1990 average)



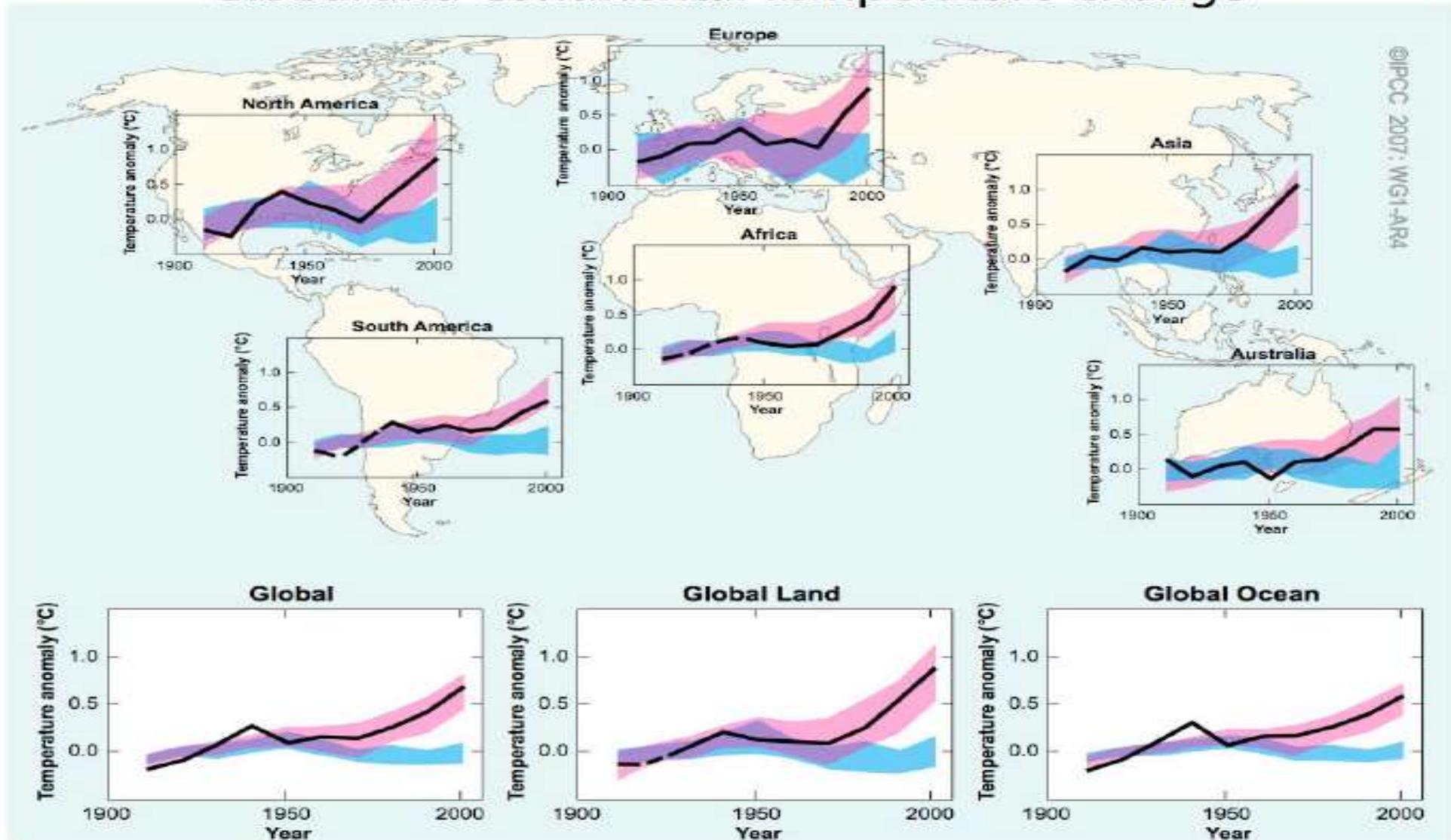
Departures in temperature in °C (from the 1961-1990 average)



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

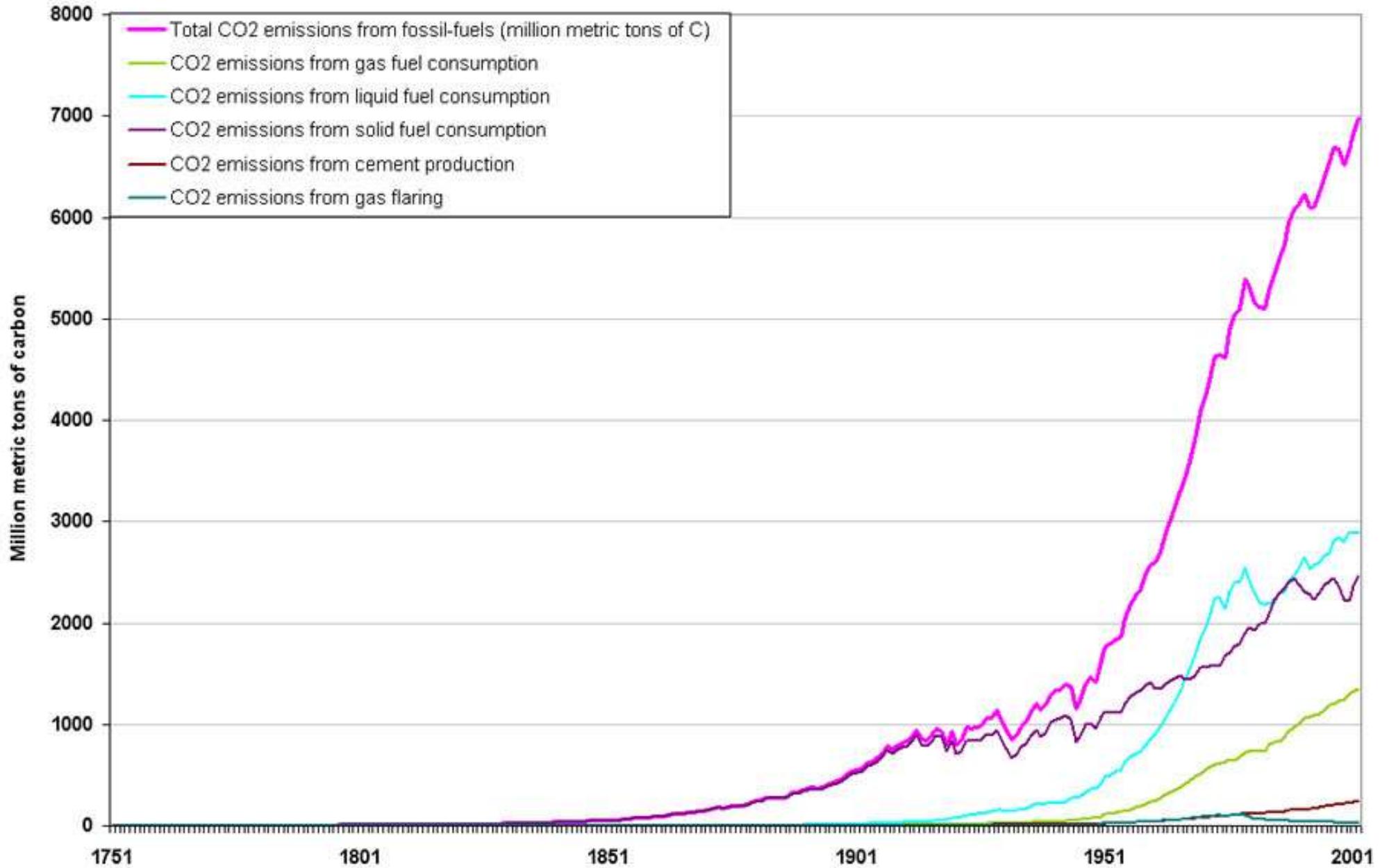
Source: IPCC, 2007

# Global and Continental Temperature Change



**FIGURE SPM-4.** Comparison of observed continental- and global-scale changes in surface temperature with results simulated by climate models using natural and anthropogenic forcings. Decadal averages of observations are shown for the period 1906–2005 (black line) plotted against the centre of the decade and relative to the corresponding average for 1901–1950. Lines are dashed where spatial coverage is less than 50%. Blue shaded bands show the 5–95% range for 19 simulations from 5 climate models using only the natural forcings due to solar activity and volcanoes. Red shaded bands show the 5–95% range for 58 simulations from 14 climate models using both natural and anthropogenic forcings. {FAQ 9.2, Figure 1} 9

**Global carbon dioxide emissions from human activities, 1750-2004**



Source: IPCC, 2007

**EFEITO ESTUFA**  
**GREENHOUSE EFFECT**  
**EFEECTO INVERNADERO**

<b>Gás</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>Halocarbonos</b> (CFs, HFCs, CFCs, HCFCs, CCl <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )
<b>Concentração atmosférica ant. Rev. Industrial (1750-1800)I</b>	<b>280 ppm</b>	<b>715 ppb</b>	<b>288 ppb</b>	<b>0</b>
<b>Concentração atmosférica atual (1990)</b>	<b>355 ppm</b>	<b>1.732 ppb</b>	<b>310 ppb</b>	<b>280-480 pp10b</b>
<b>Taxa atual de acumulação atmosférica anual (% aumento)</b>	<b>1,8 ppm (0,5% a.a.)</b>	<b>15 ppb (0,9% a.a.)</b>	<b>0,8 ppb (0,25% a.a.)</b>	<b>9,5-17 pp10b (4% a.a.)</b>
<b>Vida atmosférica (anos)</b>	<b>50-200</b>	<b>10</b>	<b>150</b>	<b>65-130</b>
<b>Contribuição (%)</b>	<b>55%</b>	<b>15%</b>	<b>6%</b>	<b>24%</b>

Fonte: IPCC-Intergovernmental Pannel of Climate Change, 1990.

**EFEITO ESTUFA**  
**GREENHOUSE EFFECT**  
**EFECTO INVERNADERO**

<b>Gás</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>Halocarbonos</b>
<b>Concentração atmosférica ant. Rev. Industrial (1750-1800)</b>	<b>280 ppm</b>	<b>715 ppb</b>	<b>288 ppb</b>	<b>0</b>
<b>Concentração atmosférica (1990)</b>	<b>355 ppm</b>	<b>1.732 ppb</b>	<b>310 ppb</b>	<b>280-480 pp10b</b>
<b>Concentração atmosférica atual (2005)</b>	<b>379 ppm</b>	<b>1.774 ppb</b>	<b>319 ppb</b>	<b>280-480 pp10b</b>
<b>Taxa atual de acumulação atmosférica anual (% aumento)</b>	<b>1,9 ppm (0,5% a.a.)</b>	<b>0,5 ppb (0,9% a.a.)</b>	<b>0,8 ppb (0,25% a.a.)</b>	<b>9,5-17 pp10b (4% a.a.)</b>
<b>Contribuição (%)</b>	<b>55%</b>	<b>15%</b>	<b>6%</b>	<b>24%</b>

**EFEITO ESTUFA**  
**GREENHOUSE EFFECT**  
**EFEECTO INVERNADERO**

<b>Gás</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>Halocarbonos</b>
<b>Concentração atmosférica ant. Rev. Industrial (1750-1800)</b>	<b>280 ppm</b>	<b>715 ppb</b>	<b>288 ppb</b>	<b>0</b>
<b>Concentração atmosférica (1990)</b>	<b>355 ppm</b>	<b>1.732 ppb</b>	<b>310 ppb</b>	<b>280-480 pp10b</b>
<b>Concentração atmosférica atual (2011)</b>	<b>390,5 ppm</b>	<b>1.803,2 ppb</b>	<b>324,2 ppb</b>	<b>1.441 pp10b</b>
<b>Taxa atual de acumulação atmosférica anual (% aumento)</b>	<b>2,0 ppm (0,5% a.a.)</b>	<b>6 ppb (0,9% a.a.)</b>	<b>0,75 ppb (0,25% a.a.)</b>	<b>9,5-17 pp10b (4% a.a.)</b>
<b>Contribuição (%)</b>	<b>55%</b>	<b>15%</b>	<b>6%</b>	<b>24%</b>

**EFEITO ESTUFA**  
**GREENHOUSE EFFECT**  
**EFEECTO INVERNADERO**

<b>Gás</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>Halocarbonos</b>
<b>Concentração atmosférica ant. Rev. Industrial (1750-1800)</b>	<b>280 ppm</b>	<b>715 ppb</b>	<b>288 ppb</b>	<b>0</b>
<b>Concentração atmosférica (1990)</b>	<b>355 ppm</b>	<b>1.732 ppb</b>	<b>310 ppb</b>	<b>280-480 pp10b</b>
<b>Concentração atmosférica atual (2019)</b>	<b>409.9 ppm</b>	<b>1866.3 ppb</b>	<b>332.1 ppb</b>	<b>1.441 pp10b</b>
<b>Taxa atual de acumulação atmosférica anual (% aumento)</b>	<b>19,0 ppm (0,5% a.a.)</b>	<b>63 ppb (0,9% a.a.)</b>	<b>8 ppb (0,25% a.a.)</b>	<b>9,5-17 pp10b (4% a.a.)</b>
<b>Contribuição (%)</b>	<b>55%</b>	<b>15%</b>	<b>6%</b>	<b>24%</b>

Conforme IPCC, 1990 :

**CO<sub>2</sub>: 5,7 GtC/ano (1987) – combustíveis fósseis**

**0,6-2,5 GtC/ano (1980) - deflorestação**

1860 – 1990: **250 bilhões de ton. de CO<sub>2</sub>**

2/3: queima de combustíveis fósseis

1/3: queima cobertura vegetal

**Previsões de concentração: 415 - 480 ppm (2050)**

**460 - 560 ppm (2100)**

**Temperatura: + 0,3 – 0,6 °C (últimos 100 anos)**

**Nível do mar: + 1,0 – 2,0 mm/ano**

**Previsões: 8 – 29 cm (2030) – 18 cm (valor mais provável)**

**21 – 71 cm (2070) – 44 cm**

**31 – 110 cm (2100) – 66 cm**

Conforme IPCC, 2007 (4th AR):

**CO<sub>2</sub>: 6,4 GtC/ano** (década de 1990) – combustíveis fósseis

**1,6 GtC/ano** - deflorestação

**CO<sub>2</sub>: 7,2 GtC/ano** (2000-2005)– combustíveis fósseis

(incerteza) GtC/ano - deflorestação

► Onze dos últimos doze anos (1995 a 2006) estão entre os 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura da superfície global (A média da temperatura do ar próximo à superfície sobre a terra e a temperatura da superfície do mar)

► A média global do nível do mar subiu a uma taxa média de 1,8 [1,3 a 2,3] mm por ano, no período de 1961 a 2003. A taxa foi mais acelerada ao longo do período de 1993 a 2003, cerca de 3,1 [2,4 a 3,8] mm por ano.

Conforme IPCC, 2013 (5th AR):

**CO<sub>2</sub>: 545 [460-630] GtC (1750-2011) – emissões cumulativas**  
- 365 [335-395] GtC: combustíveis fósseis  
- 180 [100-260] GtC : deflorestação

**CO<sub>2</sub>: 9,5 [8,7-10,3] GtC/ano (2011) - combustíveis fósseis**  
**0,9 [0,1-1,7] GtC (2002-2011) - deflorestação**

► As três últimas décadas foram as mais quentes desde 1850. O aumento da temperatura entre a média do período 1850-1900 e a média do período 2003–2012 foi em média 0,78°C.

► A média global de temperatura da terra e do oceano linear mostra aumento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C no período 1880-2012. O aumento total entre a média do período 1850-1900 e do período 2003-2012 é 0,78 [0,72 a 0,85] °C. Mudanças em muitos eventos extremos de tempo e clima têm sido observadas desde 1950. É muito provável (90-100% de certeza) que o número de dias e noites frios tenha diminuído e o número de dias e noites quentes tenha aumentado em escala global.

## Conforme IPCC, 2013 (5th AR):

- ▶ Os oceanos têm acumulado a maior parte do aquecimento, servindo como um amortecedor para o aquecimento da atmosfera, estocando mais de 90% da energia do sistema do clima e muito gás carbônico. É virtualmente certo que os 700 metros superiores do oceano aqueceram entre 1971 e 2010, e provavelmente também tenha sido afetado até o seu fundo. No entanto, à medida que o oceano aquece, ele perde capacidade de absorver gás carbônico, o que pode acelerar os efeitos atmosféricos quando ele atingir a saturação.
- ▶ O mar está se tornando mais ácido pela continuada absorção de gás carbônico.
- ▶ O nível do mar aumentou em cerca de 19 cm entre 1901 e 2010 devido à expansão térmica das águas. No cenário mais pessimista, a elevação pode chegar a mais de 80cm até 2100.
- ▶ Para limitar o aquecimento causado apenas pelas emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> em menos que 2°C desde o período 1861-1880, com probabilidade >33%, >50% e >66%, é necessário que as emissões cumulativas de CO<sub>2</sub> de todas as fontes antropogênicas fiquem entre 0 e cerca de 1.560 GtC, 0 e cerca de 1.210 GtC e 0 e cerca de 1.000 GtC, respectivamente, desde aquele período. Até 2011, já foram emitidas 531 [446 a 616] GtC (*metade do valor máximo*).

Conforme IPCC, 2022 (6th AR):

**CO<sub>2</sub>: 750 [625-775] GtC (1750-2019) – emissões cumulativas**

(41% ± 11%: permanece atualmente na atmosfera)

- 480 [367-592] GtC: combustíveis fósseis

- 270 [258-282] GtC : deflorestação

**CO<sub>2</sub>: 10.9 [10.0-11,8] GtC/ano (2010-2019)**

> 46% (5.1 ± 0.02 GtC/a) acumulado na atmosfera

> 23% (2.5 ± 0.6 GtC/a) absorvido pelos oceanos

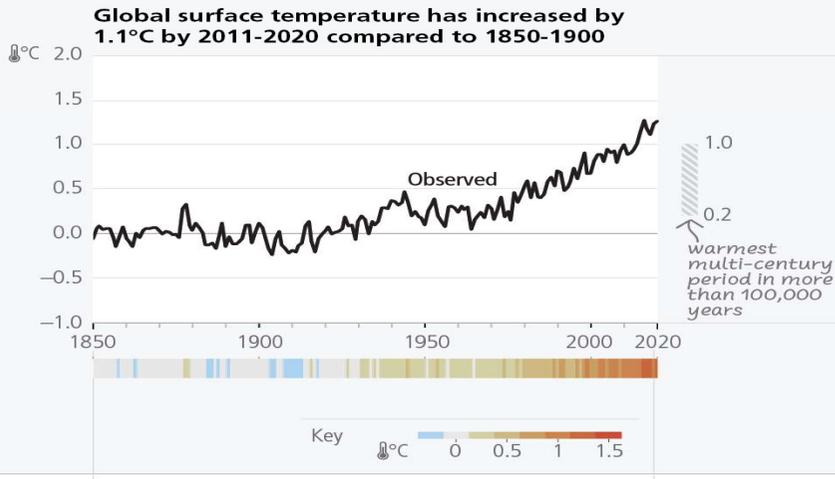
> 31% (3.4 ± 0.9 GtC/a) absorvido pelos ecossistemas terrestres

► As quatro últimas décadas foram as mais quentes desde 1850. O aumento da temperatura entre a média do período 1850-1900 e a média do período 2001–2020 foi de 0,99 [0.84 a 1.10] °C.

► A média global de temperatura da terra e do oceano linear mostra aumento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C no período 1880-2012. O aumento total entre a média do período 1850-1900 e do período 2003-2012 é 0,78 [0,72 a 0,85] °C. Mudanças em muitos eventos extremos de tempo e clima têm sido observadas desde 1950. É muito provável (90-100% de certeza) que o número de dias e noites frios tenha diminuído e o número de dias e noites quentes tenha aumentado em escala global.

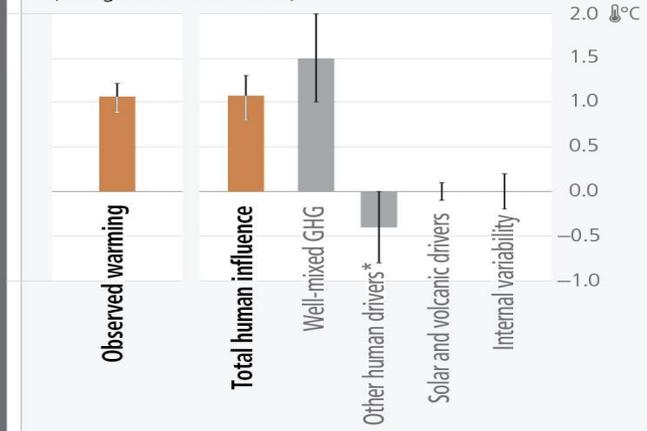
# Human activities are responsible for global warming

c) Changes in global surface temperature



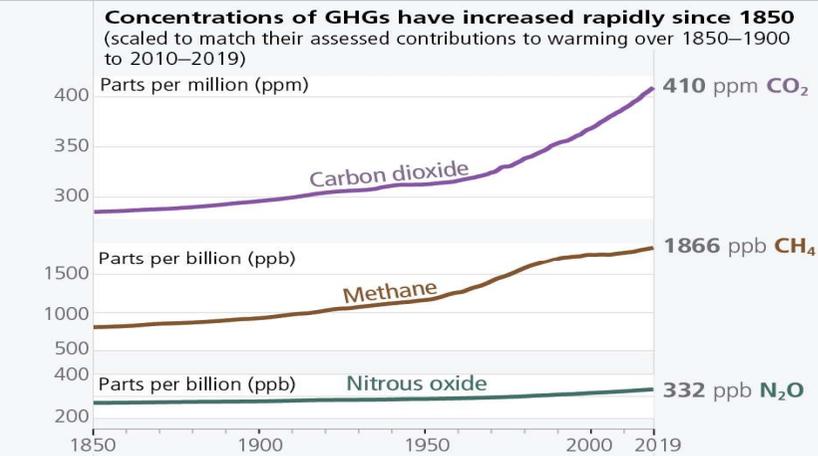
d) Humans are responsible

**Observed warming is driven by emissions from human activities with GHG warming partly masked by aerosol cooling 2010–2019 (change from 1850–1900)**

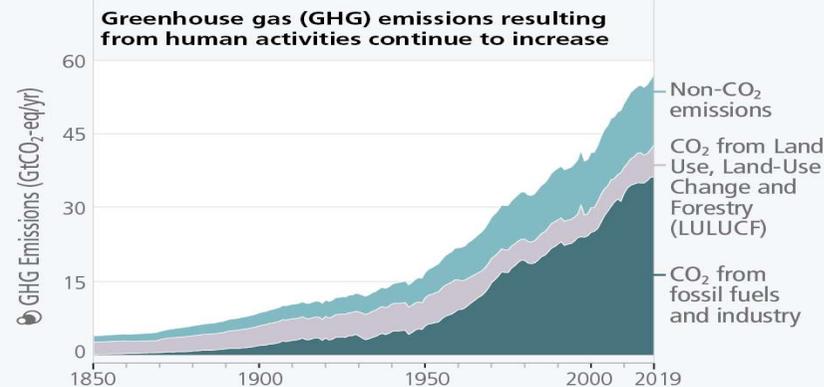


\*Other human drivers are predominantly cooling aerosols, but also warming aerosols, land-use change (land-use reflectance) and ozone.

b) Increased concentrations of GHGs in the atmosphere

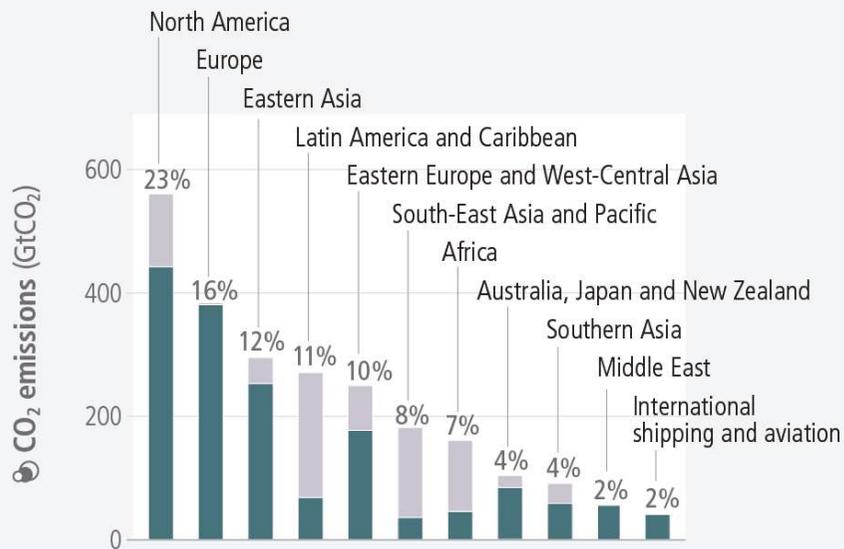


a) Increased emissions of greenhouse gases (GHGs)



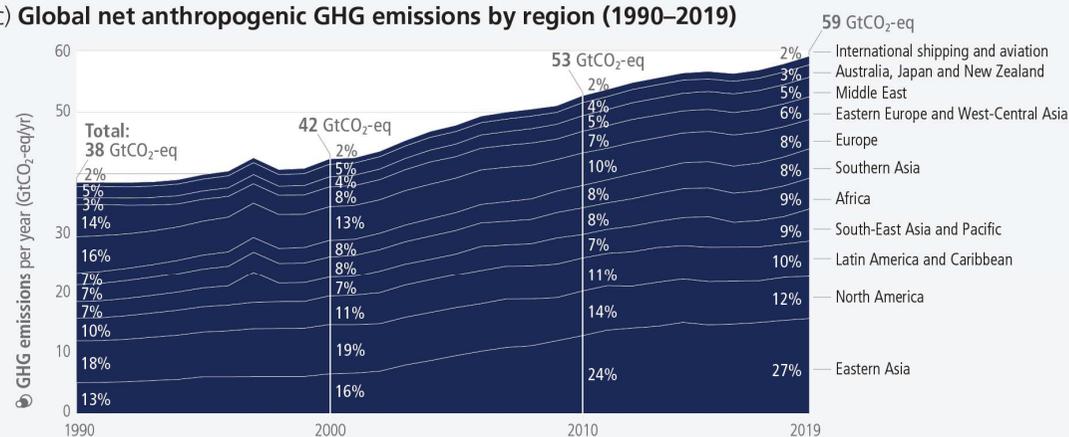
### a) Historical cumulative net anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions per region (1850–2019)

CO<sub>2</sub>



### c) Global net anthropogenic GHG emissions by region (1990–2019)

GHG



### d) Regional indicators (2019) and regional production vs consumption accounting (2018)

	Africa	Australia, Japan, New Zealand	Eastern Asia	Eastern Europe, West-Central Asia	Europe	Latin America and Caribbean	Middle East	North America	South-East Asia and Pacific	Southern Asia
Population (million persons, 2019)	1292	157	1471	291	620	646	252	366	674	1836
GDP per capita (USD1000 <sub>ppp</sub> 2017 per person) <sup>1</sup>	5.0	43	17	20	43	15	20	61	12	6.2
<b>Net GHG 2019 <sup>2</sup> (production basis)</b>										
GHG emissions intensity (tCO <sub>2</sub> -eq / USD1000 <sub>ppp</sub> 2017)	0.78	0.30	0.62	0.64	0.18	0.61	0.64	0.31	0.65	0.42
GHG per capita (tCO <sub>2</sub> -eq per person)	3.9	13	11	13	7.8	9.2	13	19	7.9	2.6
<b>CO<sub>2</sub>FFI, 2018, per person</b>										
Production-based emissions (tCO <sub>2</sub> FFI per person, based on 2018 data)	1.2	10	8.4	9.2	6.5	2.8	8.7	16	2.6	1.6
Consumption-based emissions (tCO <sub>2</sub> FFI per person, based on 2018 data)	0.84	11	6.7	6.2	7.8	2.8	7.6	17	2.5	1.5

<sup>1</sup> GDP per capita in 2019 in USD2017 currency purchasing power basis.

<sup>2</sup> Includes CO<sub>2</sub>FFI, CO<sub>2</sub>LULUCF and Other GHGs, excluding international aviation and shipping.

The regional groupings used in this figure are for statistical purposes only and are described in WGIII Annex II, Part I.

## **% das emissões totais de gases do efeito estufa**

<b>1. Estados Unidos</b>	<b>15,8%</b>
<b>2. China</b>	<b>11,9%</b>
<b>3. Indonésia</b>	<b>7,4%</b>
<b>4. Brasil</b>	<b>5,4%</b>
<b>5. Rússia</b>	<b>4,8%</b>
<b>6. Índia</b>	<b>4,5%</b>
<b>7. Japão</b>	<b>3,2%</b>
<b>8. Alemanha</b>	<b>2,5%</b>
<b>9. Malásia</b>	<b>2,1%</b>
<b>10. Canadá</b>	<b>1,8%</b>

Fonte: IPCC, 2007

**Estes 10 países são responsáveis por 59,4% do total das emissões.**

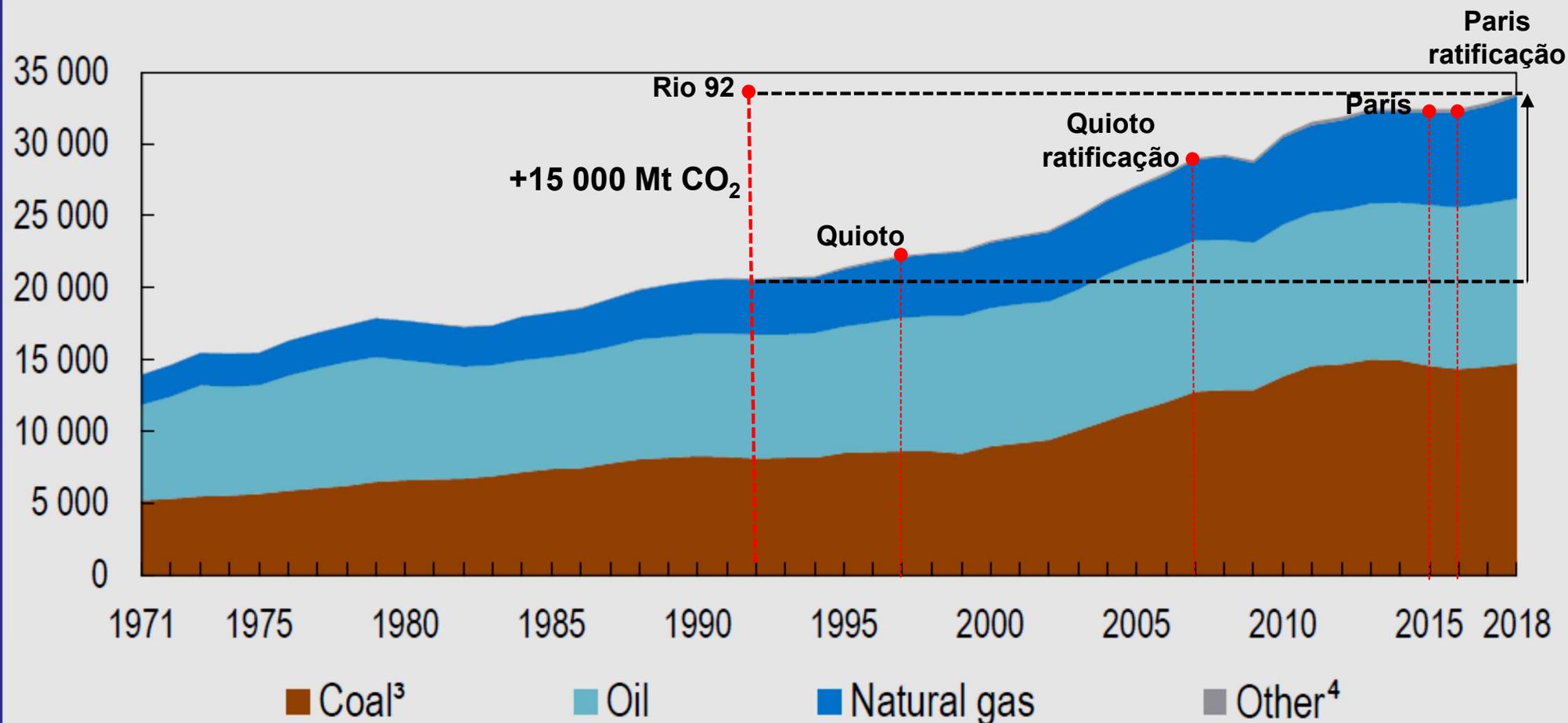
# % das emissões totais de gases do efeito estufa

País	Emissões (Mt CO <sub>2eq</sub> )	%
China	10,975.5	25.36%
EUA	6,235.1	14.40%
UE	4,399.1	10.16%
India	3,013.8	6.96%
Russia	2,322.2	5.36%
Japão	1,344.6	3.11%
Brasil	1,012.6	2.34%
Indonésia	760.8	1.76%
México	723.9	1.67%
Irã	715.0	1.65%
Top 10 emissores	31,502.6	72.78%
Resto do mundo	11,783.7	27.22%
Total	43,286.3	100%

Fonte: WRI, 2012.

**Estes 9 países e a EU são responsáveis por 72,8% do total das emissões.**

# World<sup>1</sup> CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion<sup>2</sup> from 1971 to 2018 by fuel (Mt of CO<sub>2</sub>)

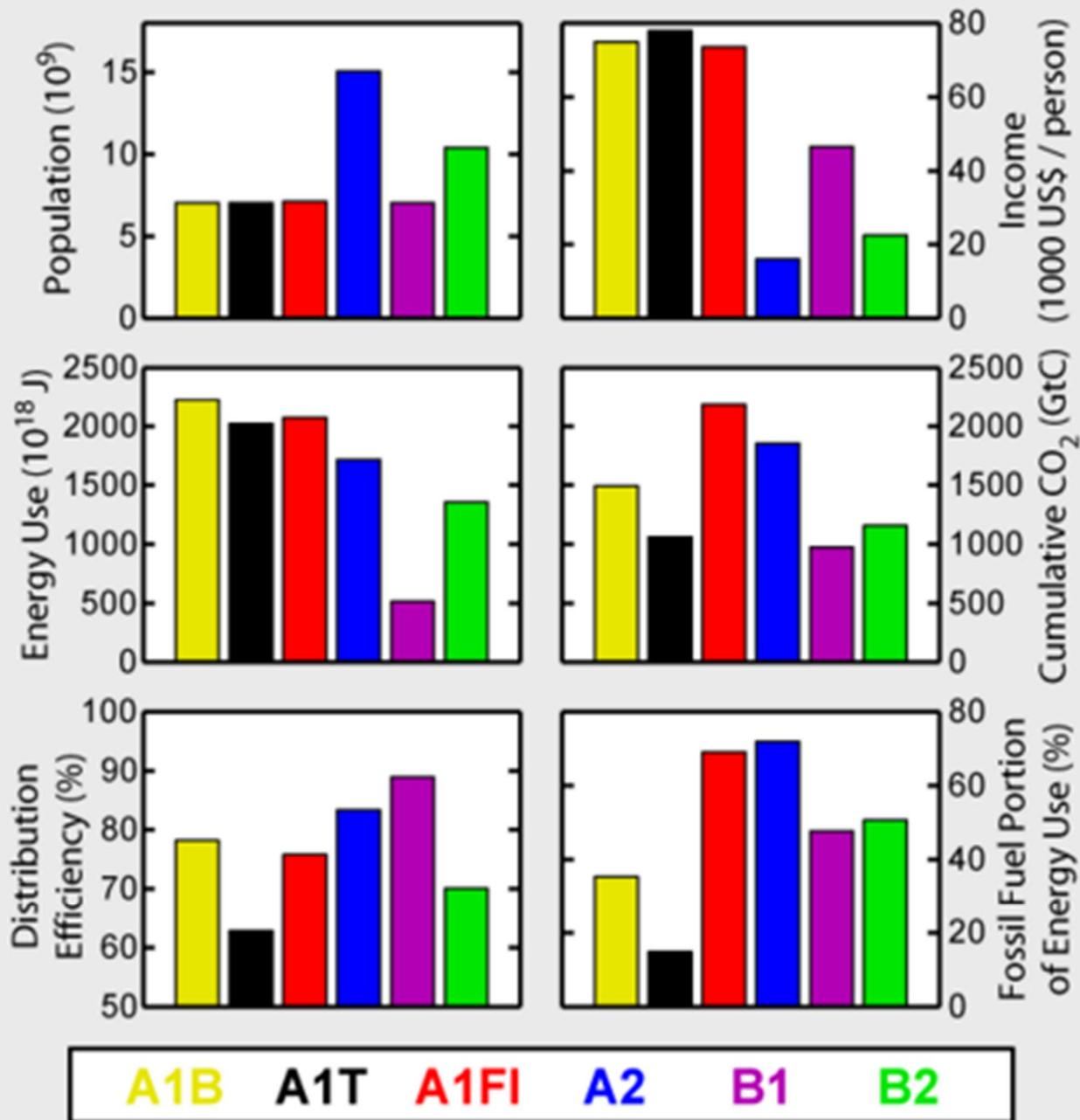


1. World includes international aviation and international marine bunkers.

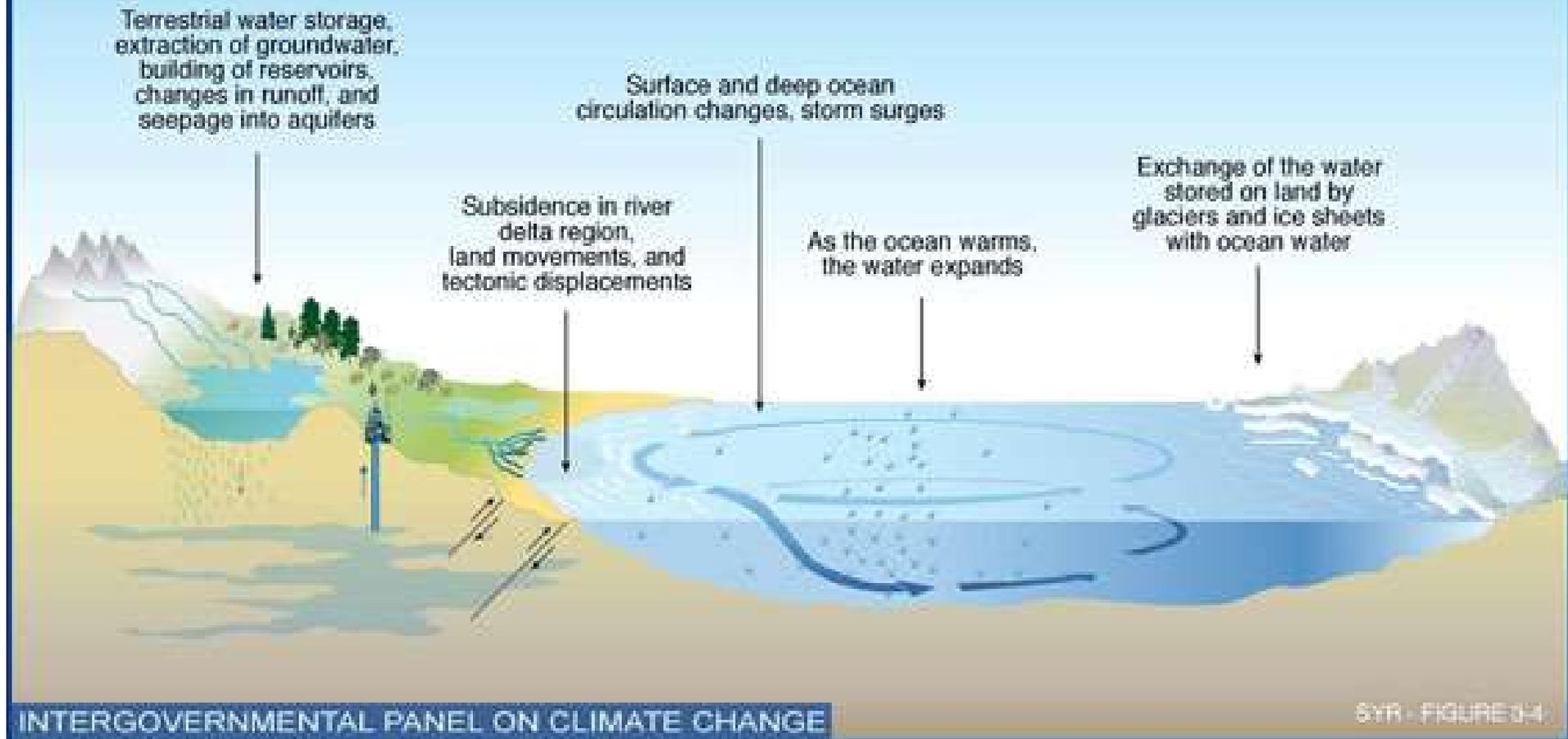
2. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion are based on the IEA World energy balances and the 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, and exclude emissions from non-energy use. 3. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal. 4. Includes industrial waste and non-renewable municipal waste.

Fonte: IEA - Key World Energy Statistics, 2020.

# IPCC Scenarios for the Year 2100



## What causes the sea level to change?



Source: IPCC, 2007

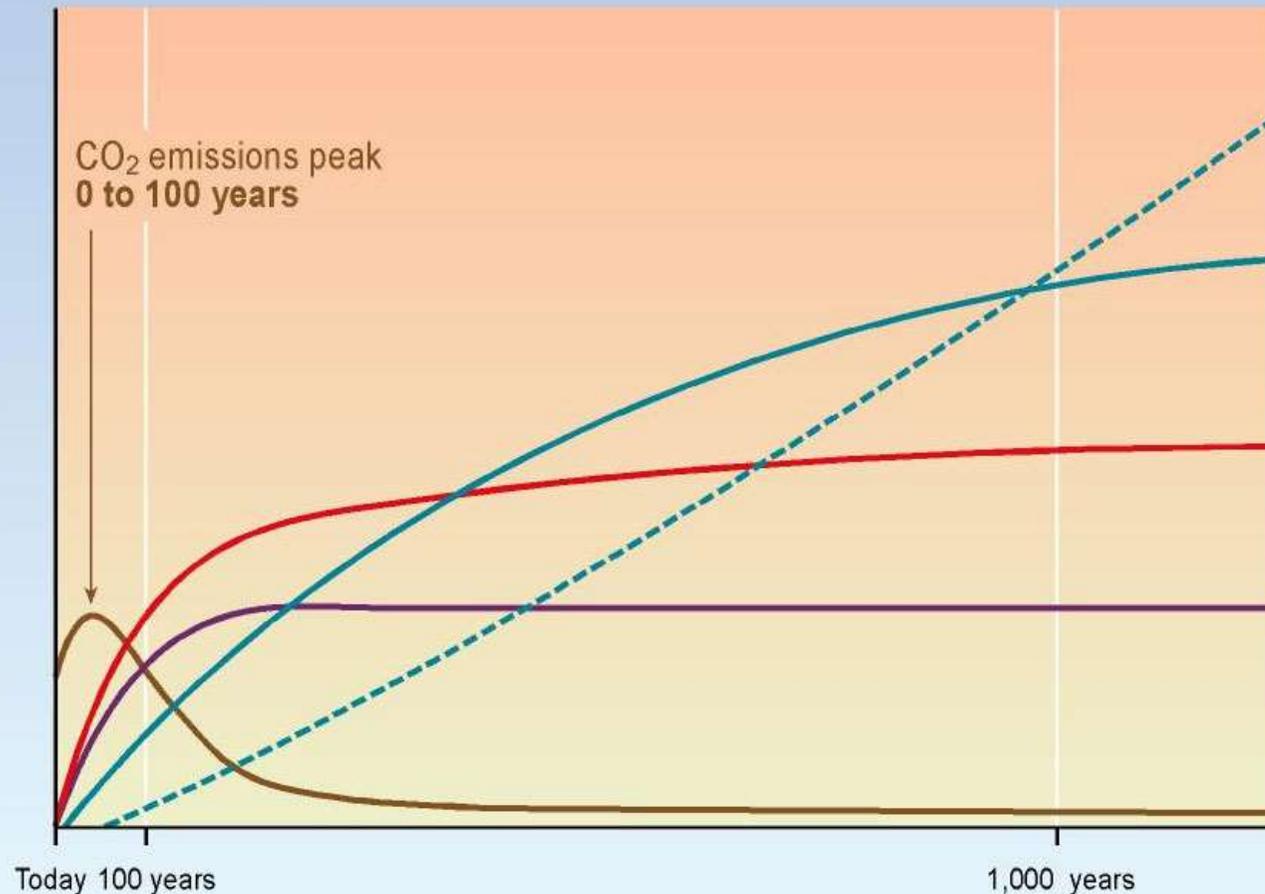
**Table 2.1 | Projected change in global mean surface temperature and global mean sea level rise for the mid- and late 21st century, relative to the 1986–2005 period.**

		2046–2065		2081–2100	
	Scenario	Mean	Likely range <sup>c</sup>	Mean	Likely range <sup>c</sup>
Global Mean Surface Temperature Change (°C) <sup>a</sup>	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
	Scenario	Mean	Likely range <sup>d</sup>	Mean	Likely range <sup>d</sup>
Global Mean Sea Level Rise (m) <sup>b</sup>	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82

Source: IPCC, 2013.

## CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and sea level continue to rise long after emissions are reduced

Magnitude of response



Time taken to reach equilibrium

Sea-level rise due to ice melting:  
**several millennia**

Sea-level rise due to thermal expansion:  
**centuries to millennia**

Temperature stabilization:  
**a few centuries**

CO<sub>2</sub> stabilization:  
**100 to 300 years**

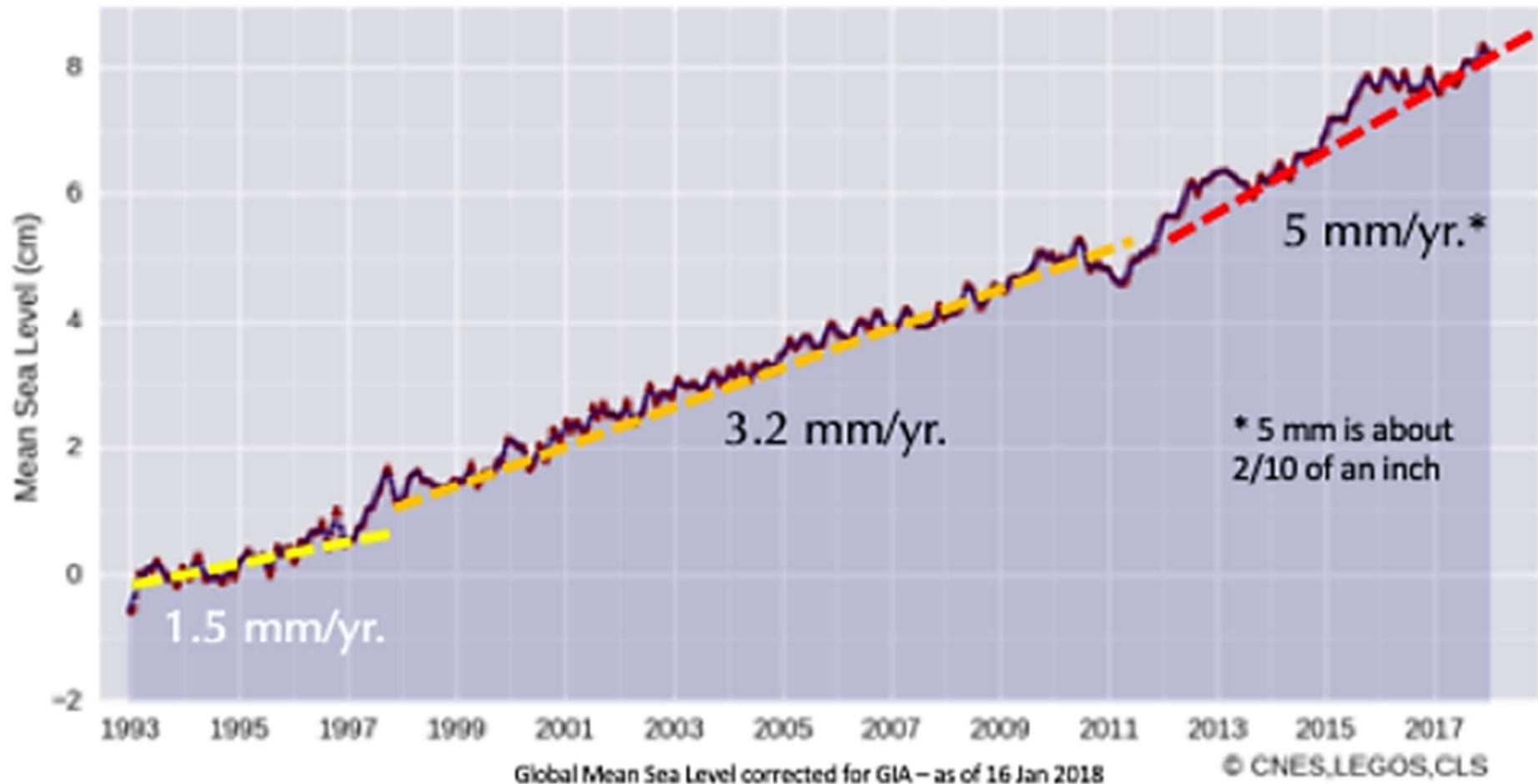
CO<sub>2</sub> emissions

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) graph showing that CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and sea level continue to rise long after emissions are reduced. (Source: IPCC, 2007).

A velocidade da elevação média global do nível do mar aumenta ainda mais no 2º decênio do século (5 mm/ano)

The Rate of Global Sea Level Rise is now accelerating exponentially.



A photograph showing a woman in a blue shirt carrying a young child through floodwaters. The water is murky brown and reaches up to the woman's chest. The background is slightly blurred, showing some greenery and a building.

# FLOODED FUTURE: Global vulnerability to sea level rise worse than previously understood

October 29, 2019

---

Report by  
Climate Central

Flooding in Jakarta, Indonesia, February 2017.  
Source: World Meteorological Organization / Flickr

# Some 300 million people are now living on land that will be below the high-tide line by midcentury

(under the RCP4.5 Climate scenario)

**Chart 1. Current population below the elevation of an average annual flood in 2050, top six countries**

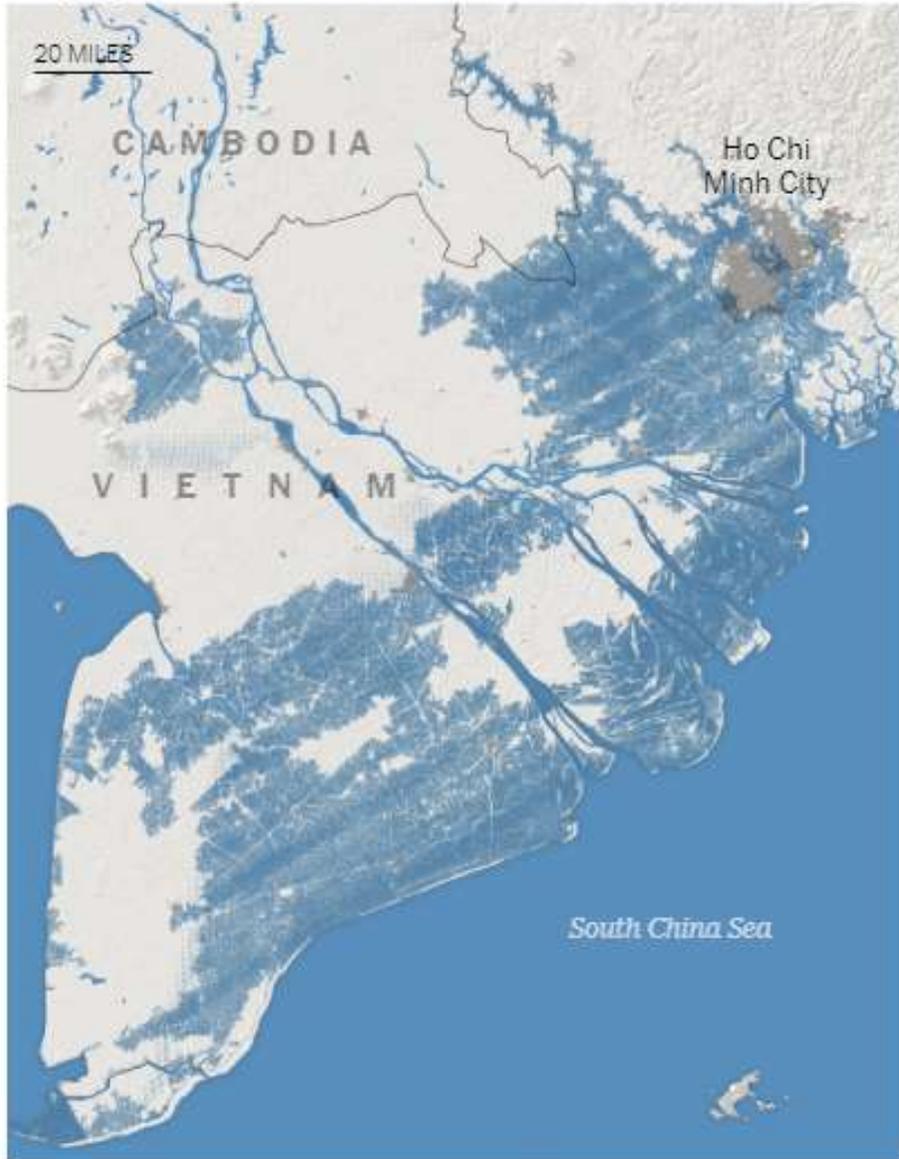
Country	SRTM	CoastalDEM	Change
1. China (mainland)	29 million people	93 million people	+67 million people
2. Bangladesh	5 million people	42 million people	+37 million people
3. India	5 million people	36 million people	+31 million people
4. Vietnam	9 million people	31 million people	+22 million people
5. Indonesia	5 million people	23 million people	+18 million people
6. Thailand	1 million people	12 million people	+11 million people
Total, global	79 million people	300 million people	+221 million people

SRTM = Shuttle  
Radar Topography  
Mission NASA

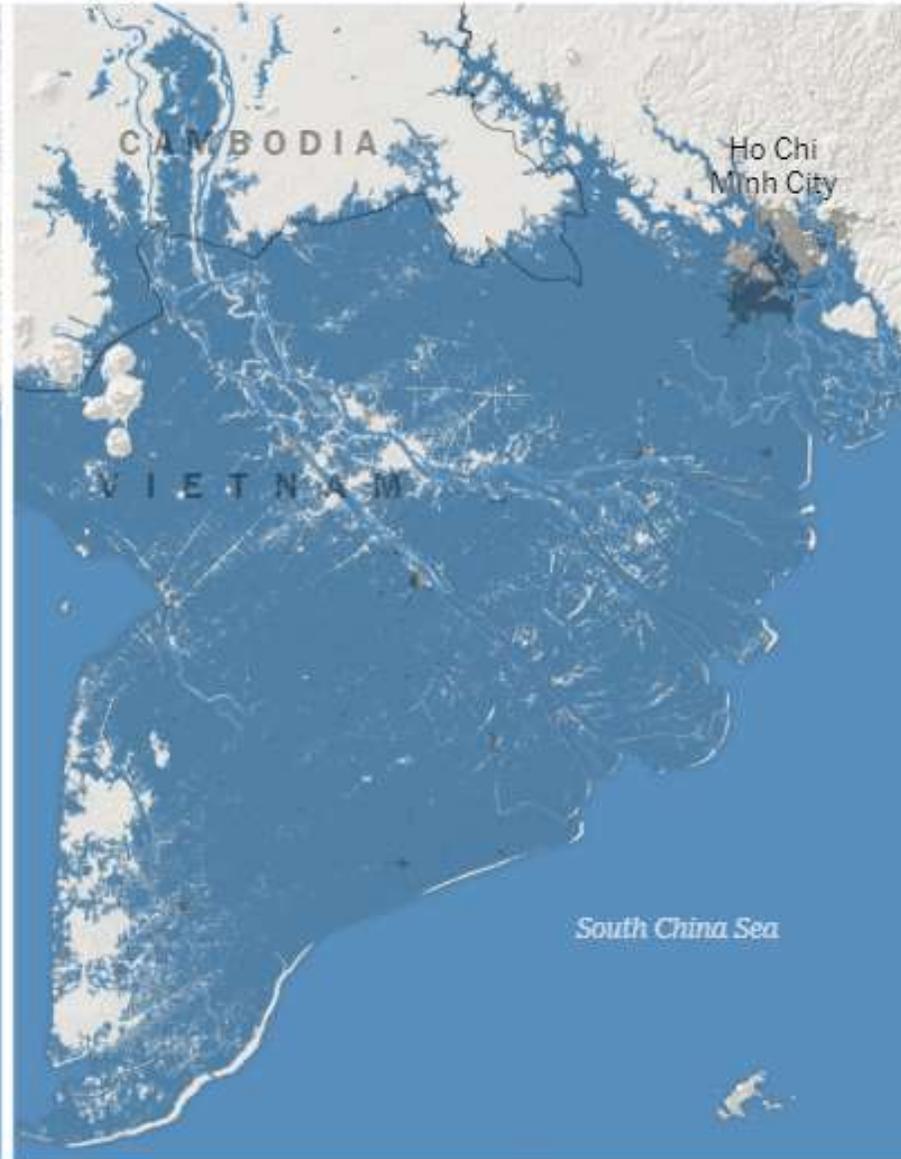
Climate Central's  
CoastalDEM = Digital  
Elevation Model

■ Land underwater at high tide ■ Populated area

Old projection for 2050



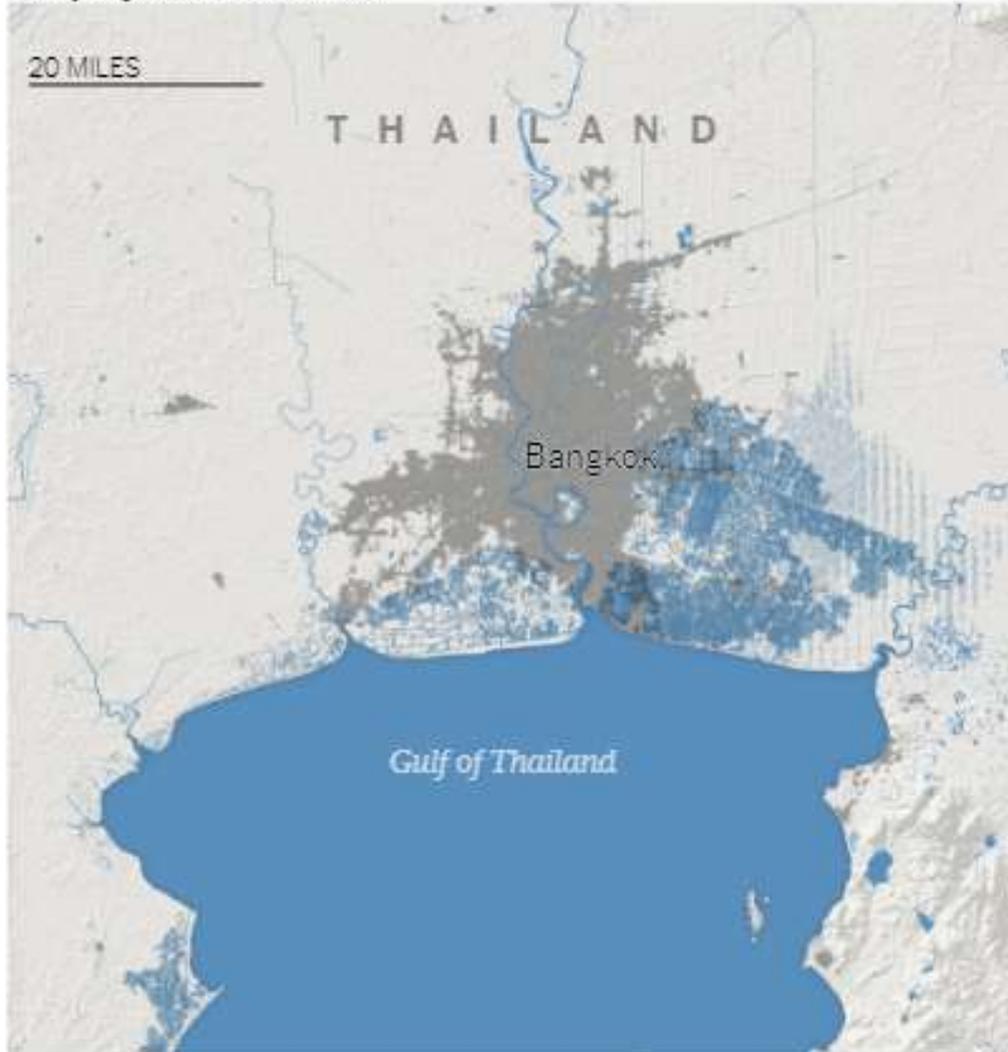
New projection for 2050



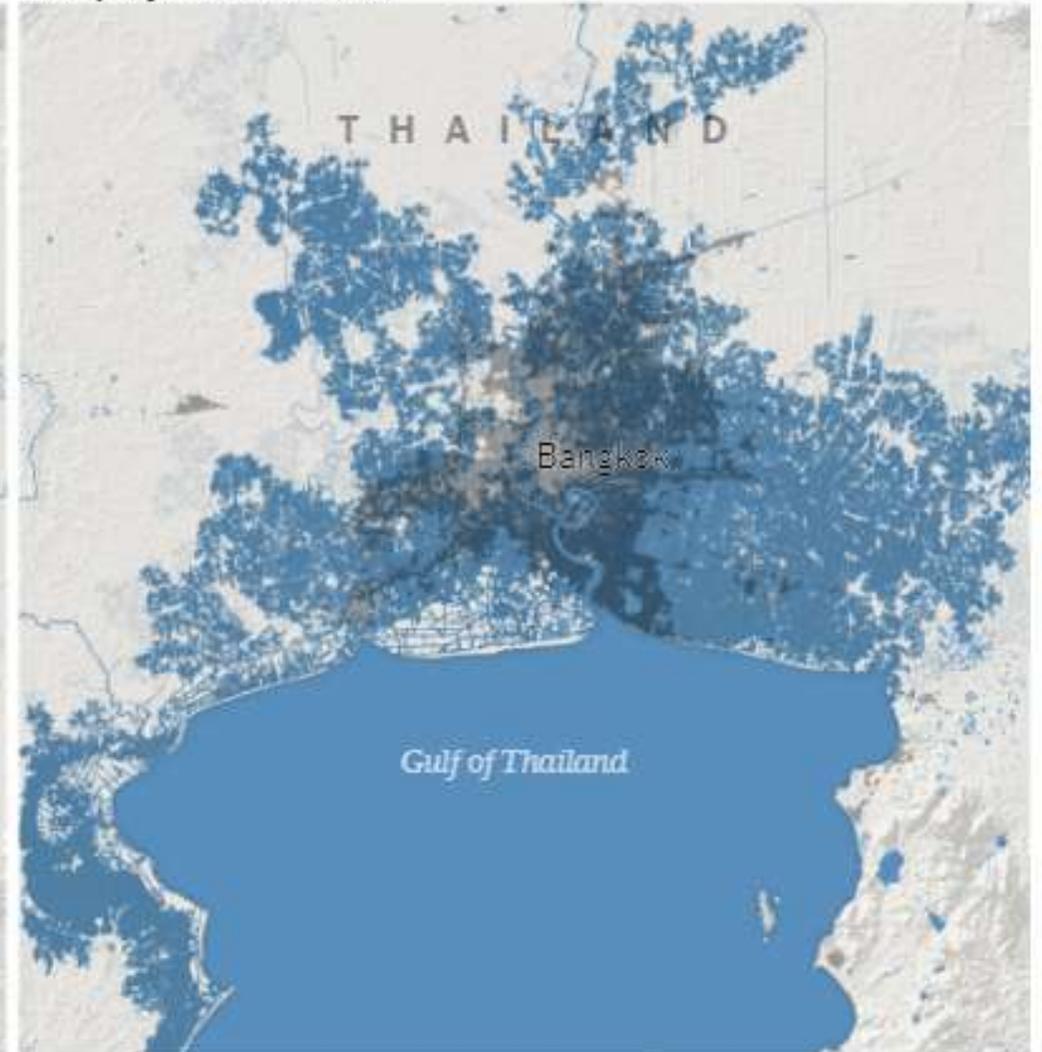
Some 300 million people are now living on land that will be below the high-tide line by midcentury.

■ Land underwater at high tide ■ Populated area

Old projection for 2050

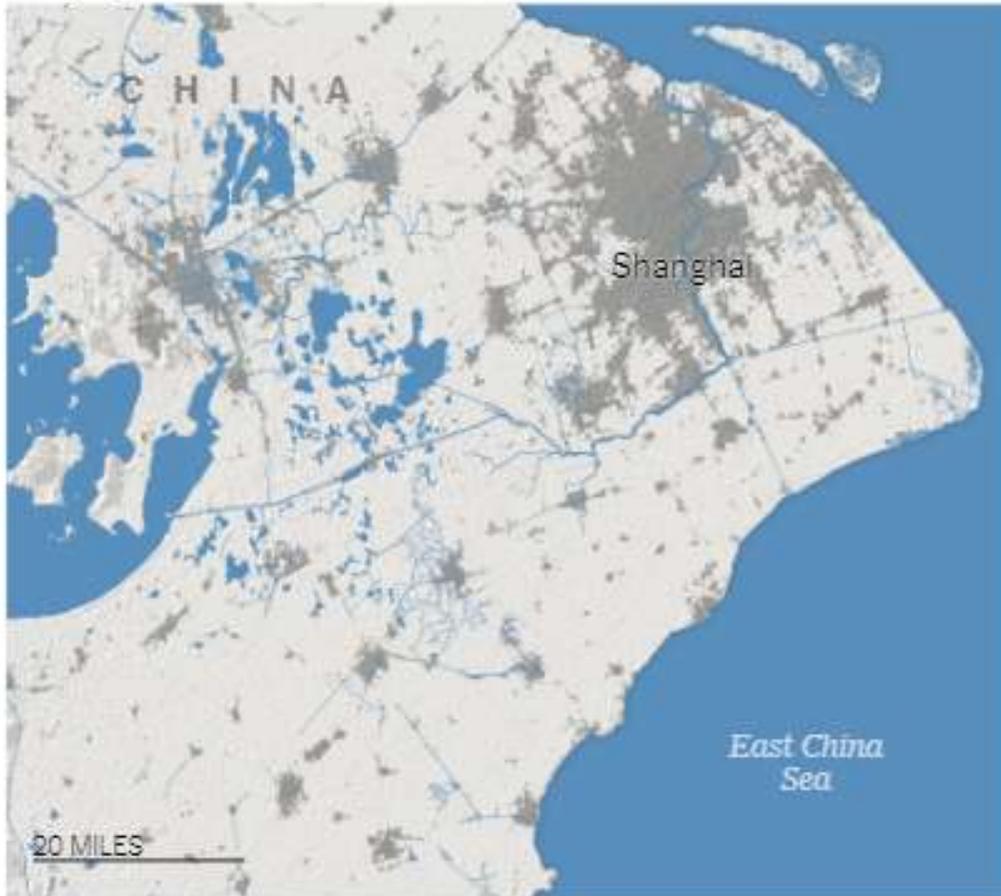


New projection for 2050

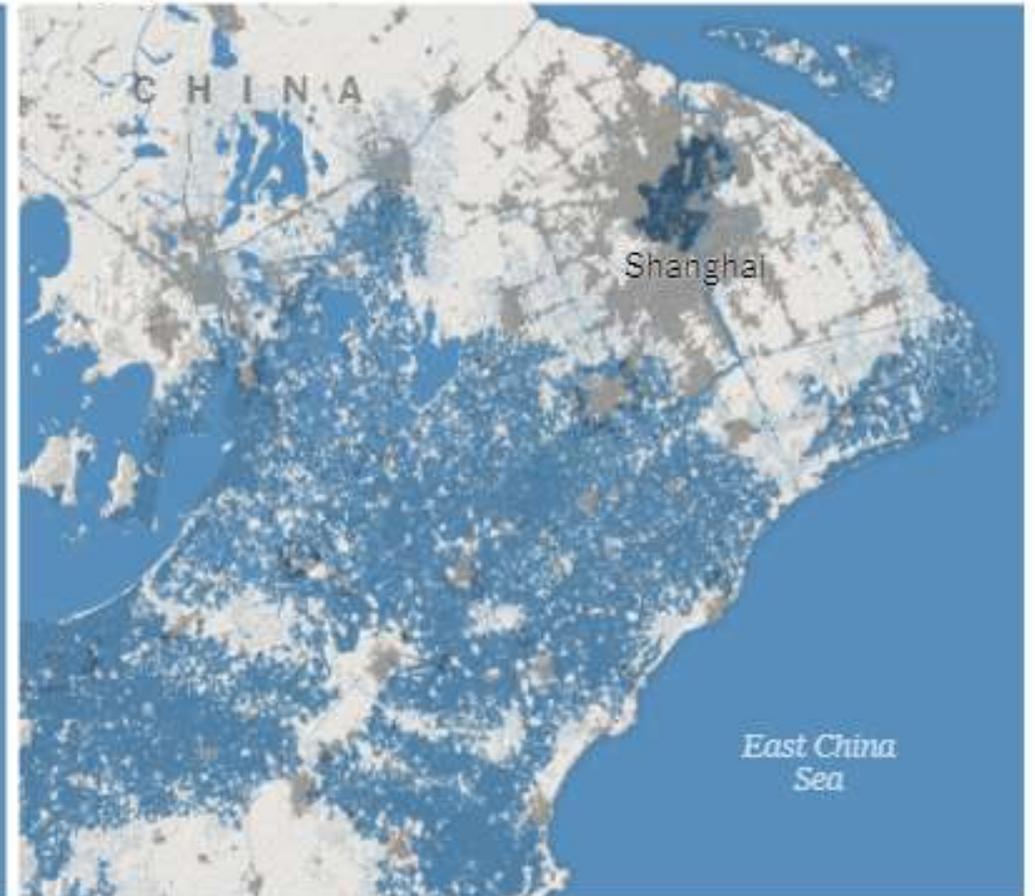


■ Land underwater at high tide ■ Populated area

Old projection for 2050



New projection for 2050



In Shanghai, one of Asia's most important economic engines, water threatens to consume the heart of the city and many other cities

<https://www.nytimes.com/interactive/2019/10/29/climate/coastal-cities-underwater.html>

■ Land underwater at high tide ■ Buildings

# Mumbai, India

Old projection for 2050



New projection for 2050



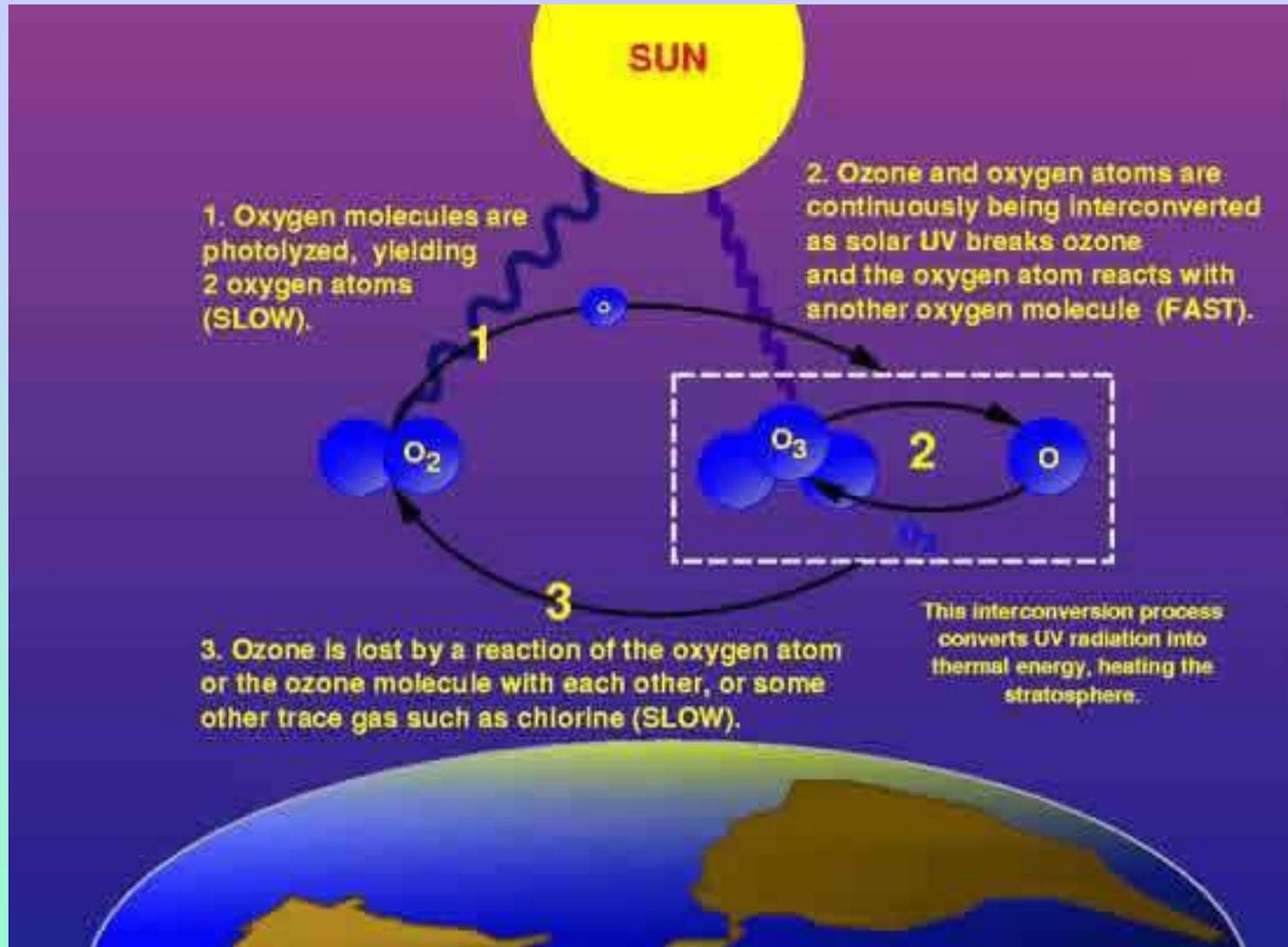
## ▶ **Buraco na Camada de Ozônio**

# Camada de Ozônio (O<sub>3</sub>)

☄☄☄  
Radiação  
UV's

10 a 48 km

30 km: Equador  
18 km: pólos



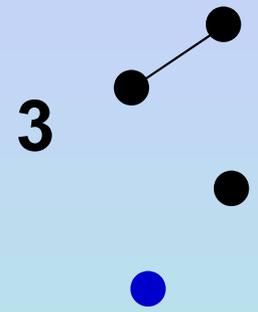
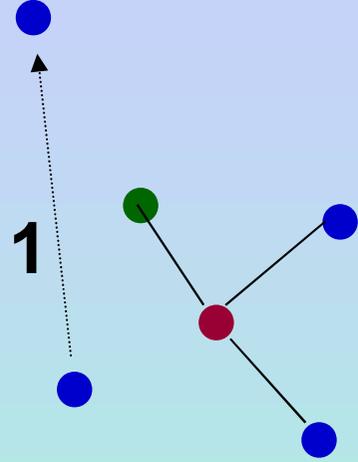
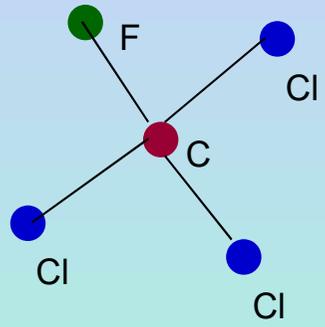
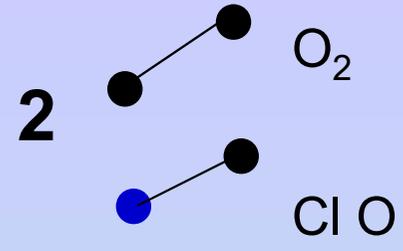
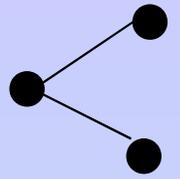
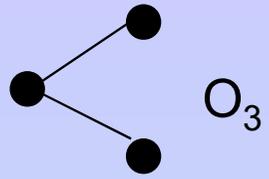
# CFC'S – Clorofluorcarbonos

Criado em 1931 para aplicações frigoríficas, industriais, sprays (gás freon).

Uso comercial: exemplo – AC veicular:  $\text{Cl}_2\text{F}_2\text{CH}_4$  (diclorodifluormetano), ou gás freon 12.

AC veicular “ecológico”: Tetrafluoretano (gás freon 134).

Os CFC's não interagem com os seres vivos, não se dissolvem nos oceanos, não são retirados do ar pela chuva, e seguindo o movimento de massas de ar, sobem gradualmente até alcançar a estratosfera. Lá, através da ação de cadeias catalíticas (séries de transformações químicas causadas pela interação de diversas substâncias), um só átomo de cloro pode atacar e destruir muitos milhares de moléculas de ozônio. Em 1970, estimando que os CFC continuariam a ser liberados à razão de 800.000 ton/ano, os cientistas concluíram, que em 30 anos (por volta do ano 2000) haveria meio milhão de toneladas de cloro na estratosfera, o que levaria à destruição de 20 a 40% da camada de ozônio.



CFC-11  
(C Cl<sub>3</sub> F)

Os principais instrumentos de direito internacional firmados para a preservação da camada de ozônio: a **Convenção de Viena**, de março de 1985, e o **Protocolo de Montreal**, de setembro de 1987. Posteriormente, os países signatários voltaram a reunir-se para ajustar as metas de redução e assinar novas emendas aos documentos originais, como a Emenda de Londres, de 1990, e a Emenda de Copenhagen. Nesta evolução o número de signatários aumentou até chegar, em 1999, a 169 países.

## ► **Saúde pública – Ozônio troposférico**

- **Emissão de HC (hidrocarbonetos) e NOx (óxidos nitrosos) – formação do Ozônio troposférico (baixa altitude) – poluição atmosférica nas regiões metropolitanas (São Paulo; S.J.Campos; Campinas)**

# Ozônio Troposférico

As usinas termelétricas que utilizam o gás natural como combustível também aumentam as emissões de **Hidrocarbonetos (HC)**. Estes gases e vapores são resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e outros produtos voláteis. Possuem odor característico e causam irritação dos olhos, nariz, pele e trato respiratório superior. Podem vir a causar dano celular, sendo que diversos hidrocarbonetos são considerados carcinogênicos e mutagênicos.

Os **hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio** reagem na atmosfera, principalmente sob ação da luz solar, formando um conjunto de gases agressivos denominados oxidantes fotoquímicos.

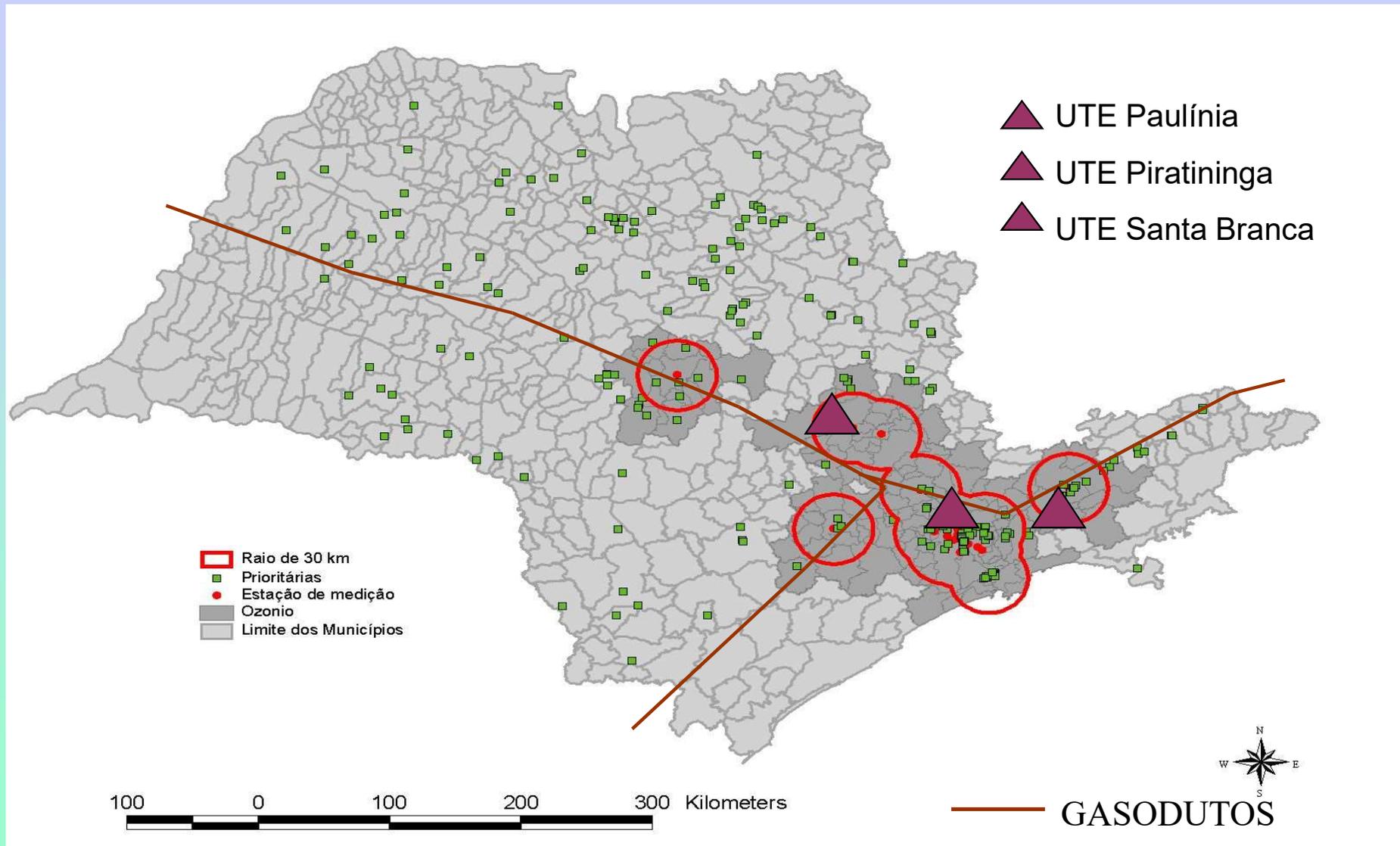
O mais importante dentre eles é o **Ozônio (O<sub>3</sub>)** que, nas camadas inferiores da atmosfera, exerce ação nociva sobre os vegetais, animais, materiais e o homem, mesmo em concentrações relativamente baixas.

Nas plantas, o ozônio age como inibidor da fotossíntese, produzindo lesões características nas folhas. No homem, o ozônio provoca danos na estrutura pulmonar, reduzindo sua capacidade e diminuindo a resistência às infecções deste órgão, causando ainda o agravamento das doenças respiratórias, aumentando a incidência de tosse, asma, irritações no trato respiratório superior e nos olhos.

Os **oxidantes fotoquímicos** formam o chamado “smog”, ou névoa fotoquímica, que possui este nome porque causa na atmosfera uma diminuição da visibilidade. Seus efeitos mais danosos parecem estar mais relacionados com a exposição cumulativa do que com picos diários.

O ozônio na baixa altitude é um poluente que apresenta índices de saturação nas principais áreas urbanas. O problema é que os projetos das termelétricas se localizam, justamente, nestas áreas já saturadas. Isso está acontecendo porque o princípio de localização que elas seguem é o da proximidade com os chamados centros de carga, isto é, as áreas de grande consumo de energia elétrica, que são precisamente as grandes cidades já saturadas por poluentes.

# Qualidade do ar no Estado de São Paulo: o Ozônio e as UTEs GN



Fonte: Relatório da Qualidade do Ar (CETESB, 2005).

O ozônio na baixa altitude é um poluente que apresenta índices de saturação nas principais áreas urbanas.

## Poluentes primários - Principais efeitos nocivos à saúde

### ► Monóxido de Carbono (CO)

Substância inodora, insípida e incolor - atua no sangue reduzindo sua oxigenação. Combina com a hemoglobina no sangue, diminuindo a capacidade de oxigenação do cérebro, coração e outros tecidos do organismo. Pode provocar tonturas, dores de cabeça, sono e redução dos reflexos, fazendo assim com que as pessoas percam a noção do tempo. É um dos principais responsáveis por acidentes de trânsito em áreas de grande concentração, aumentando também o estado de morbidez em pessoas idosas.

### ► Hidrocarbonetos (HC)

São irritantes nos olhos, nariz, parte superior do sistema respiratório, onde aumenta a presença de muco. Podem vir a causar danos celulares, sendo que diversos hidrocarbonetos são considerados carcinogênicos e mutagênicos com alteração do DNA. Reduz também a visibilidade ambiente, com consequente aumento de acidentes no sistema viário.

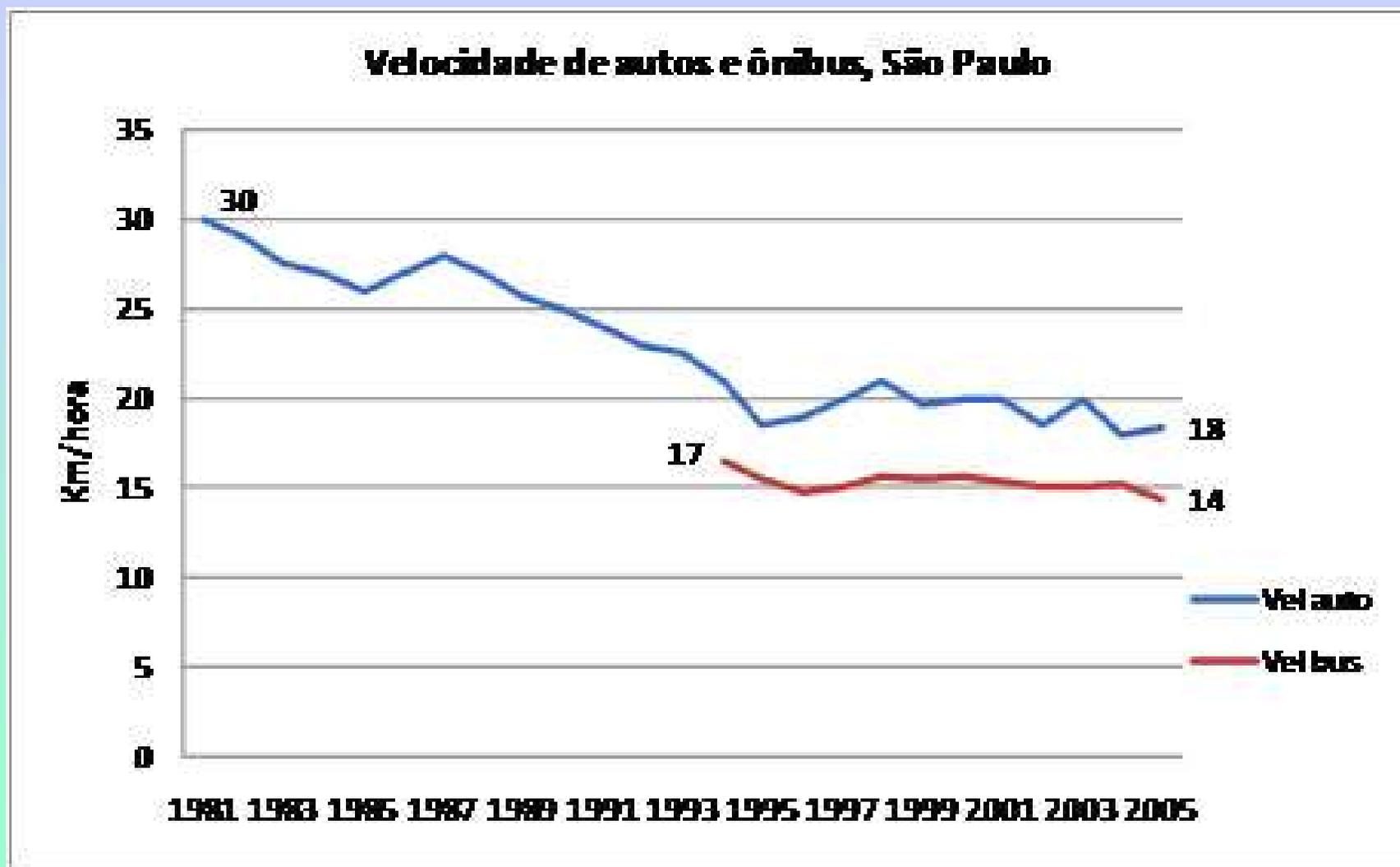
### ► Óxidos de Nitrogênio (NOx)

Combinação de nitrogênio e oxigênio que se formam em razão da alta temperatura na câmara de combustão. Provocam irritação e contração das vias respiratórias, diminuindo a resistência orgânica às infecções e participam do desenvolvimento de enfisema pulmonar.

### ► Material particulado (MP)

Mantém-se suspensos na atmosfera. Atingem alvéolos pulmonares, produzem alergias, bronquite, asma, e câncer de pulmão.

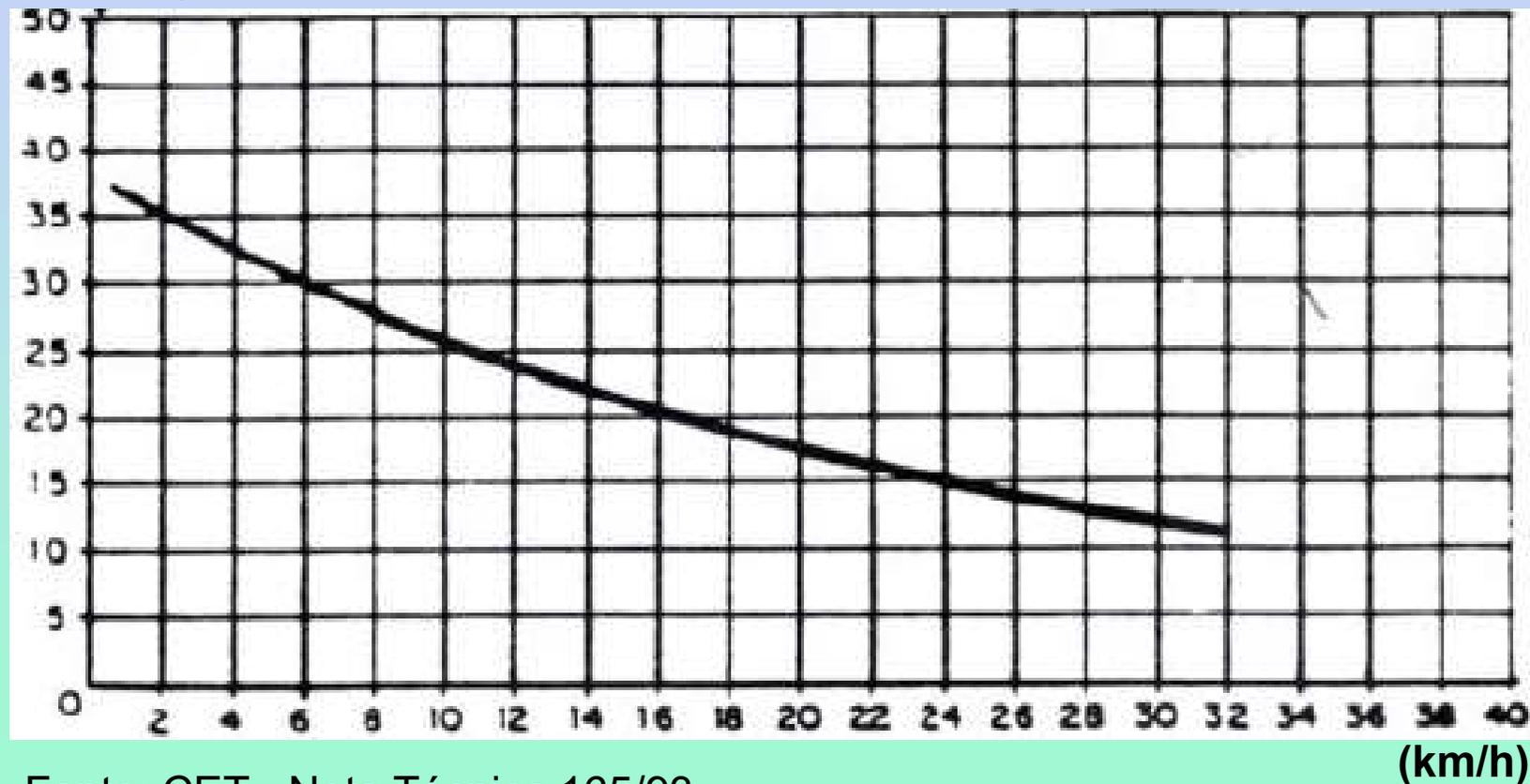
## Velocidade de trânsito na malha viária da cidade de São Paulo



Fonte: CET-Companhia de Engenharia de Tráfego/SP (2007).

## Curva CO para ônibus e caminhões a diesel

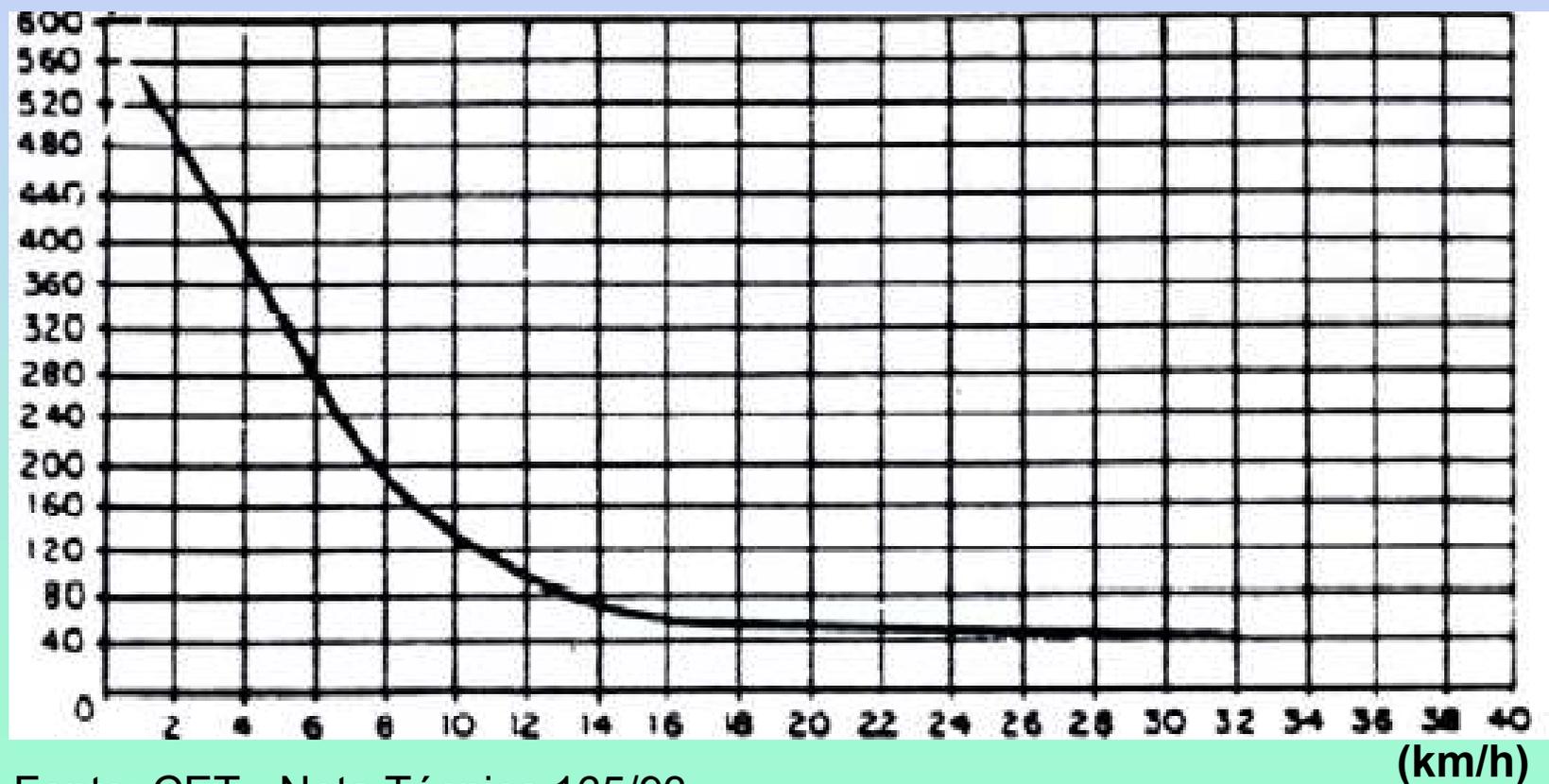
(gramas/km)



Fonte: CET - Nota Técnica 165/93.

## Curva CO para autos a gasolina

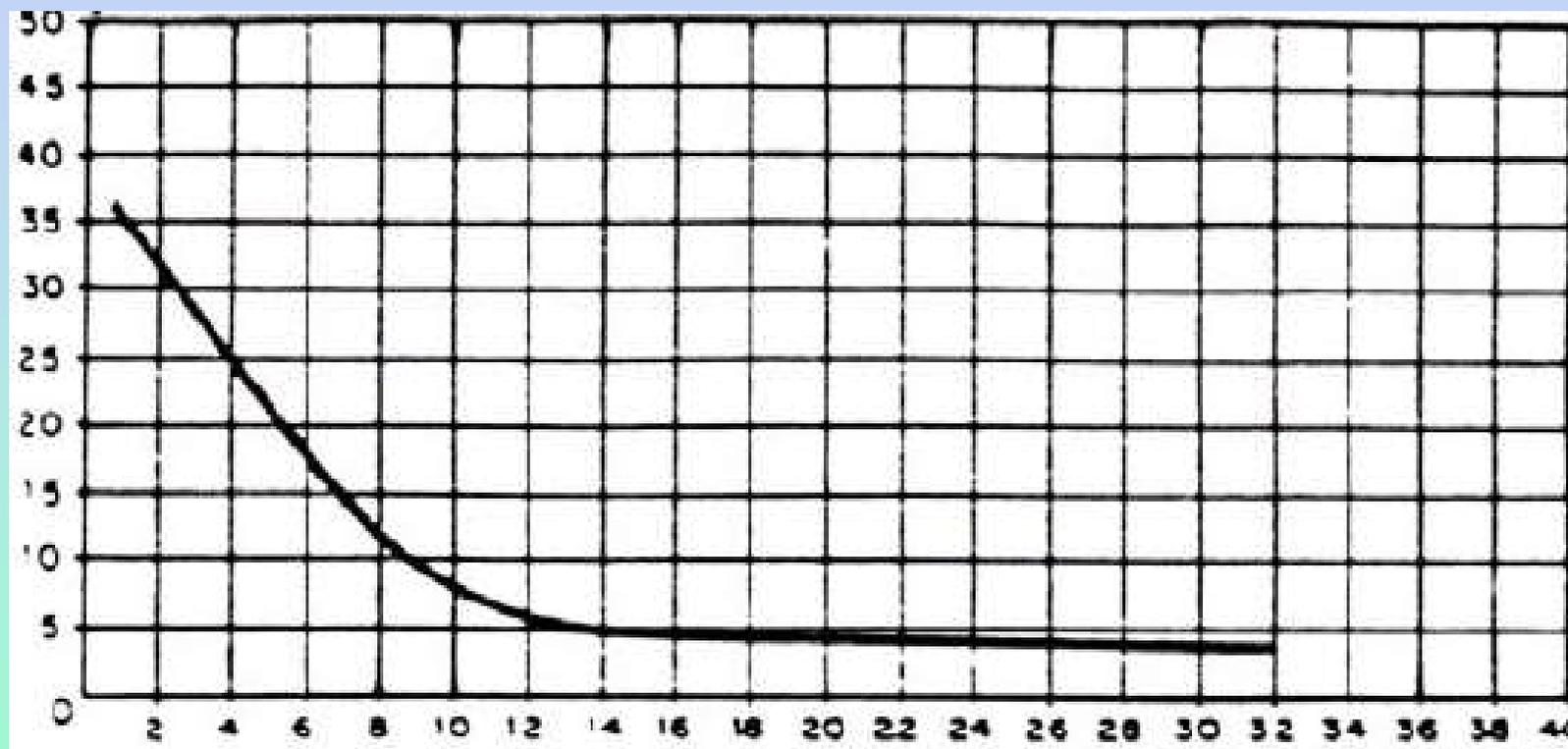
(gramas/km)



Fonte: CET - Nota Técnica 165/93.

## Curva HC para autos e caminhões a gasolina

(gramas/km)

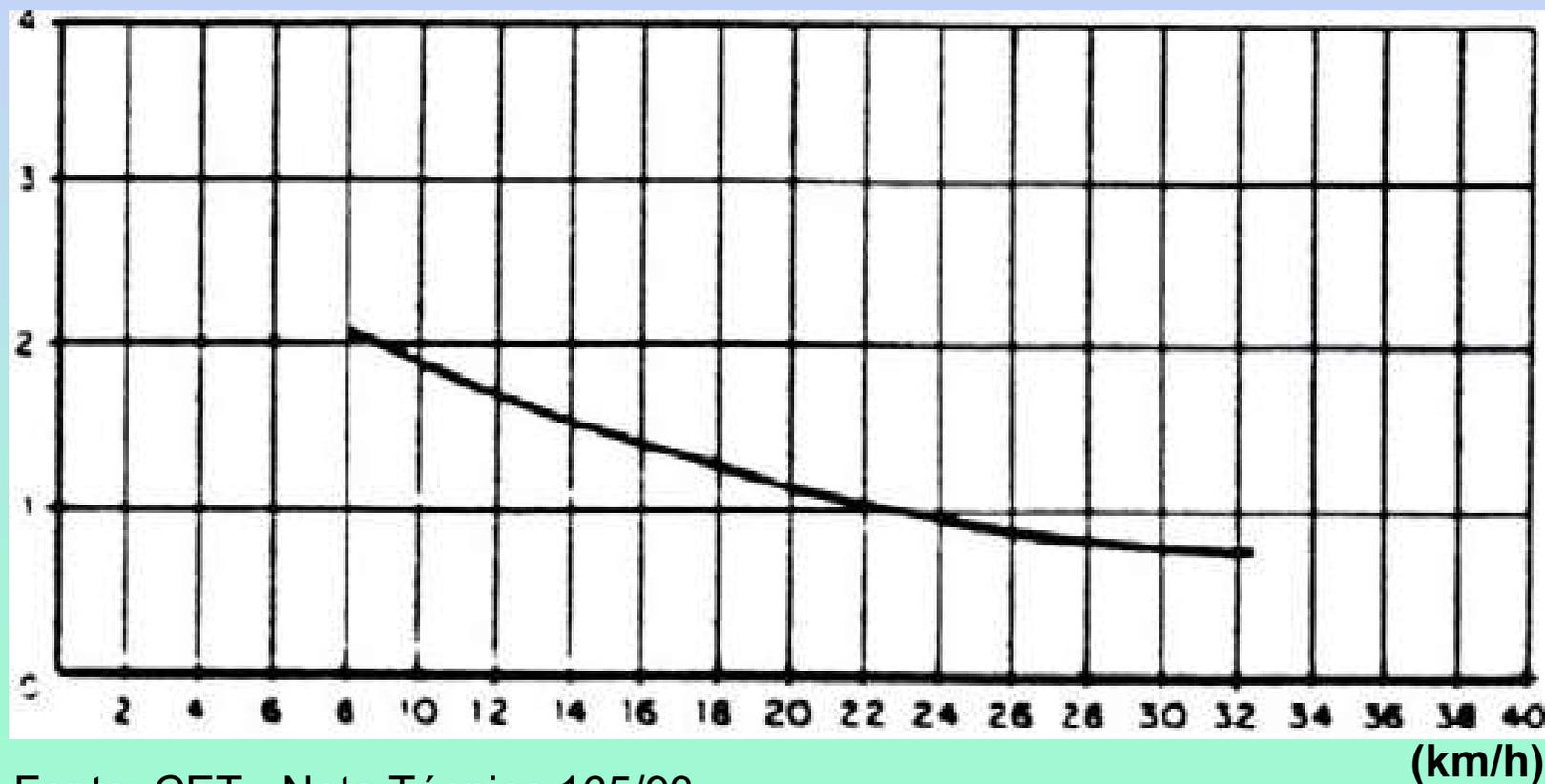


(km/h)

Fonte: CET - Nota Técnica 165/93.

## Curva MP para autos e caminhões a gasolina

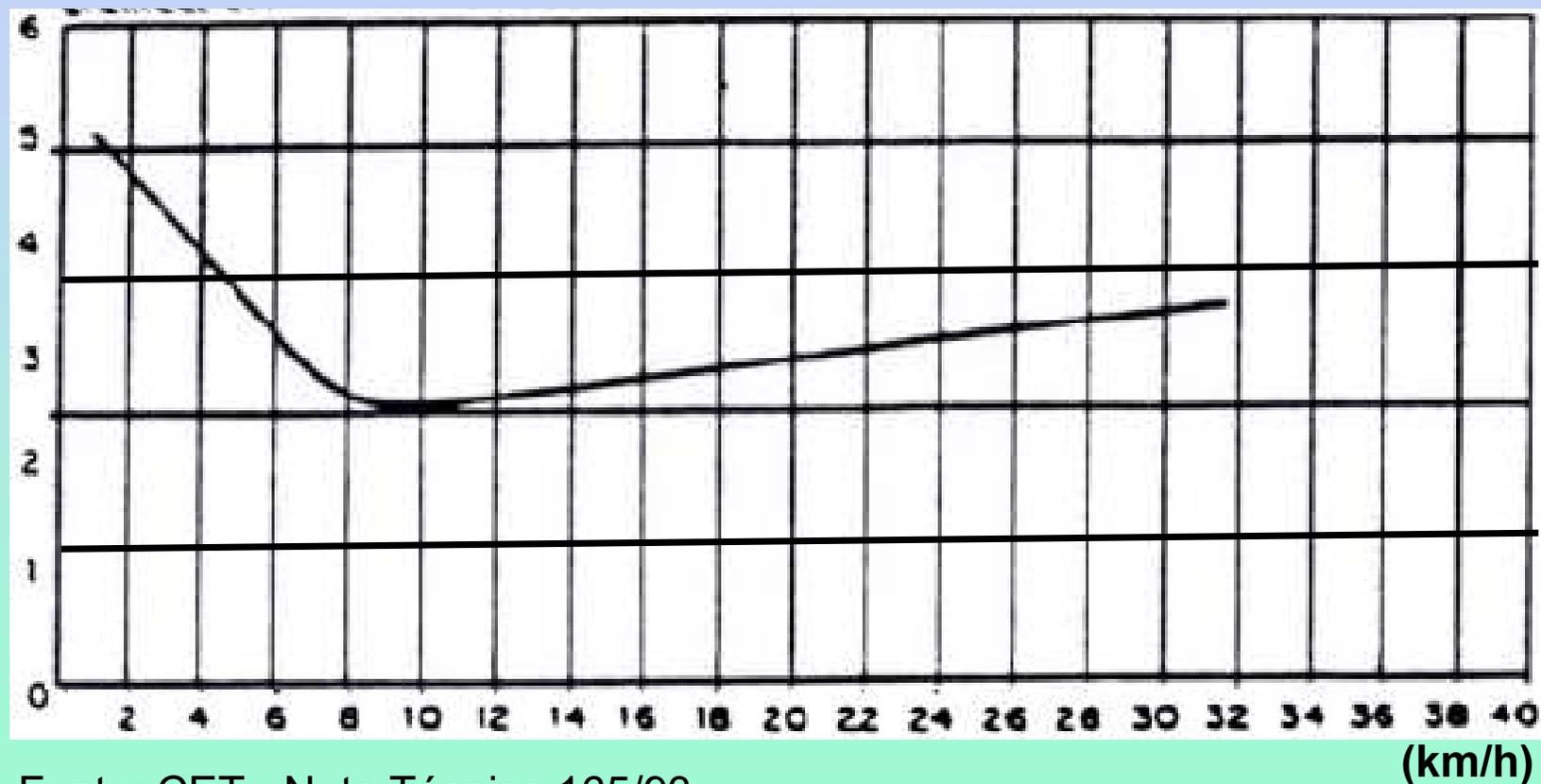
(gramas/km)



Fonte: CET - Nota Técnica 165/93.

## Curva NOx para autos e caminhões a gasolina

(gramas/km)



Fonte: CET - Nota Técnica 165/93.

**Tabela 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar e Critérios para Episódios Críticos de Poluição do Ar**

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário (µg/m <sup>3</sup> )	Padrão Secundário (µg/m <sup>3</sup> )	Atenção (µg/m <sup>3</sup> )	Alerta (µg/m <sup>3</sup> )	Emergência (µg/m <sup>3</sup> )
PTS	24h*	240 80 <sup>2</sup>	150 60 <sup>2</sup>	375	625	875
SO <sub>2</sub>	24h*	365 80 <sup>1</sup>	100 40 <sup>1</sup>	800	1.600	2.100
O <sub>3</sub>	1h*	160	160	400 200**	800	1.000
FMC	24h*	150 60 <sup>1</sup>	100 40 <sup>1</sup>	250	420	500
MP <sub>10</sub>	24h*	150 50 <sup>1</sup>	150 50 <sup>1</sup>	250	420	500
NO <sub>2</sub>	1h	320 100 <sup>1</sup>	190 100 <sup>1</sup>	1130	2260	3000
CO	1h*	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)			
	8h*	10.000 (9ppm)	10.000 (9ppm)	17.000 (15ppm)	34.000 (30ppm)	46.000 (40ppm)

1 - Média aritmética anual

2 - Média geométrica anual

\*O padrão não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

\*\*Limite para o Estado de São Paulo, que possui legislação mais restritiva.

**FMC - Fumaça**

**PTS - Partículas totais em suspensão**

**MP<sub>2,5</sub> - Partículas inaláveis finas (diâmetro < 2,5 µm)**

**SO<sub>2</sub> - Dióxido de enxofre**

**MP<sub>10</sub> - Partículas inaláveis (diâmetro < 10 µm)**

**O<sub>3</sub> - ozônio**

**NO<sub>2</sub> - dióxido de nitrogênio**

**CO - monóxido de carbono**

# Padrões de Qualidade do Ar adotados pela EPA-Agência de Proteção Ambiental dos EUA

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRAO (UG/M3)	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	260	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA (2)	75	
Dióxido de Enxofre	24 horas (1)	365	Pararosanilina
	MAA (3)	80	
Monóxido de Carbono	1 hora (1)	40.000 (35 ppm)	Infra-vermelho não Dispersivo
	8 horas (1)	10.000 (9 ppm)	
Ozona	1 hora (1)	235 (0,12 ppm)	Quimioluminescência
Hidrocarbonetos (menos metano)	3 horas (6h às 9h)	160 (0,24 ppmC)	Cromatografia Gasosa/ Ionização de Chama
Dióxido de Nitrogênio	MAA (3)	100	Quimioluminescência
Chumbo	90 dias	1.5	Absorção Atômica
Partículas Totais em Suspensão	1 hora	-	Amostrador de Grandes Volumes
	24 horas	150-230	
	MAA (3)	60-90	
Dióxido de Enxofre	1 hora	-	Pararosanilina
	24 horas	100-150	
	MAA (3)	40-60	
Fumaça	1 hora	-	Infra-vermelho não Dispersivo
	24 horas	100-150	
	MAA (3)	40-60	
Ozona	1 hora	100-200	Quimioluminescência
	24 horas	-	
	MAA (3)	-	
Dióxido de Nitrogênio	1 hora	190-320	Quimioluminescência
	24 horas	-	
	MAA (3)	-	

FONTE: Relatório sobre "Qualidade do ar da Região Metropolitana de São Paulo e em Cubatão - 1985", publicado pela CETESB em 1988.

OBSERVAÇÕES: (1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano  
 (2) Média Geométrica Anual  
 (3) Média Aritmética Anual