

Efeito Estufa

Tópicos

- O que é o Efeito Estufa?
 - # balanço radioativo terra-sol
 - # o papel da atmosfera terrestre e os gases estufa
- O Efeito Estufa e as Mudanças Climáticas Globais
 - # clima, paleoclima, temperatura da superfície terrestre
- Tendências climáticas e efeitos de realimentação
 - # nível dos oceanos, derretimento de geleiras, nuvens, aerossóis etc
- Tendências futuras
 - Vai ou não vai aquecer?
- O controle do Efeito Estufa e a inter-relação com outros benefícios sociais.
- Complementos

O que é o efeito estufa?

Resumidamente:

a atmosfera terrestre é relativamente transparente à radiação solar direta, mas absorve bastante a radiação emitida pela superfície da terra. A atmosfera aquecida também emite radiação, para o espaço e de volta para a terra, que fica mais quente do que seria se não houvesse a atmosfera em torno dela.

RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

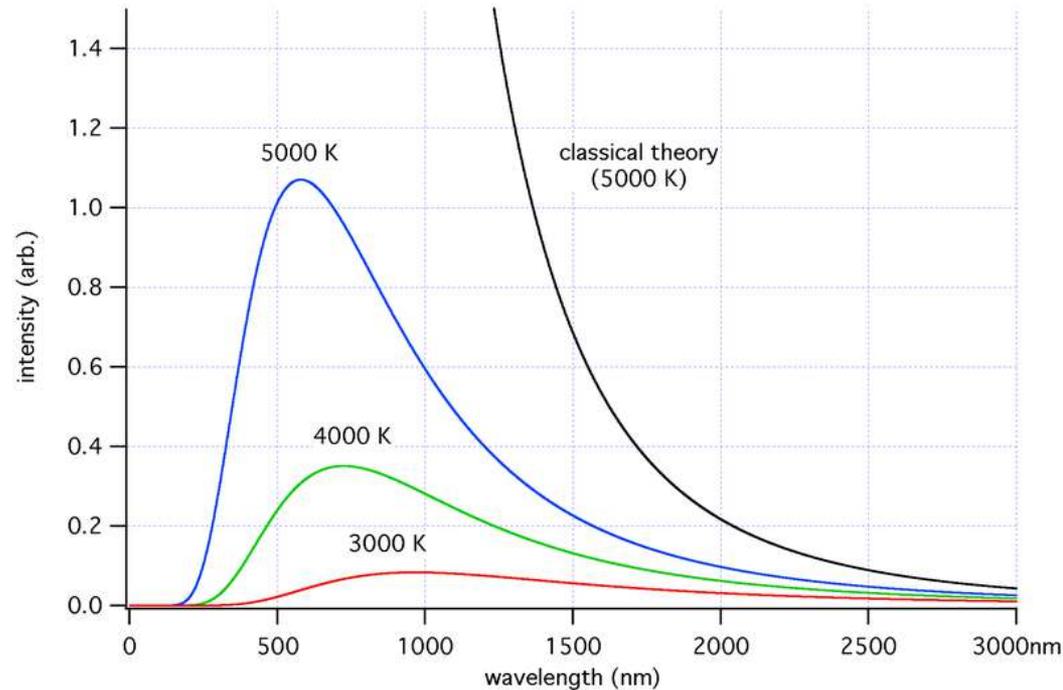
A **Lei de Planck** dá a potência por unidade de área, irradiada por um corpo negro, por comprimento de onda λ :

$$I_{\lambda} = 2hc^2\lambda^{-5} \left(e^{hc/k\lambda T} - 1 \right)^{-1}$$

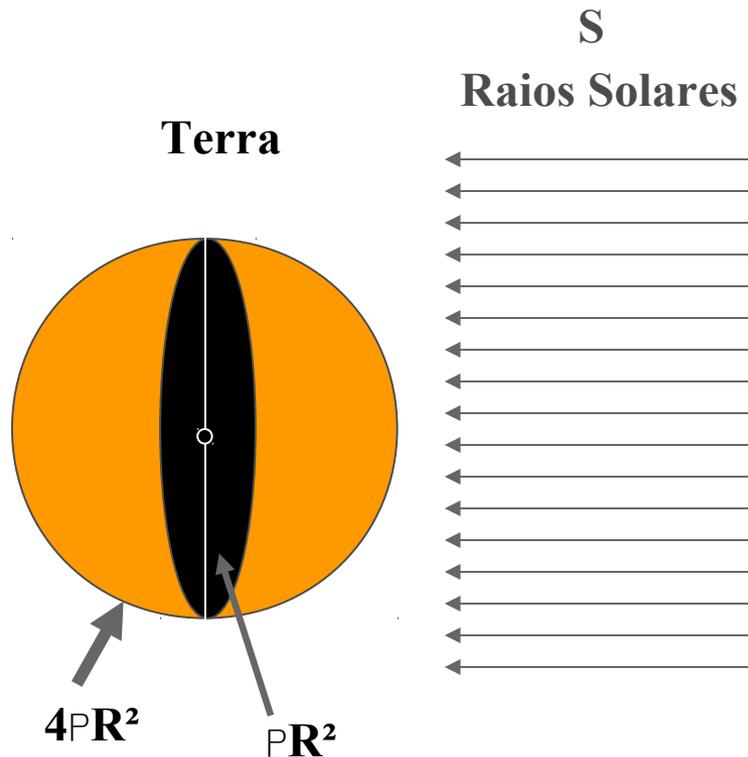
Integrando sobre todos os comprimentos de onda, obtém-se a **Lei de Stefan-Boltzmann**:

$$E_B = \sigma T^4$$

- σ = constante de Stefan-Boltzmann = $5,6703 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
- T = temperatura absoluta do corpo
- k = constante de Boltzmann $\sim 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- h = constante de Planck $\sim 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- c = velocidade da luz ($300 \times 10^6 \text{ m/s}$)



Balanco radioativo terra-sol



A potência irradiada por um corpo negro, por unidade de área:

$$E_B = \sigma T^4$$

- σ é a constante de Stefan-Boltzmann
- T a temperatura absoluta do corpo

A Terra absorve a radiação solar a uma taxa de:

$$E_A = (1/4 S) \cdot (1 - \alpha)$$

- S é a taxa de radiação solar, chamada constante solar ~entre 1365 a 1372 Wm^{-2}
- $\alpha \approx 0,3$ fração de radiação refletida (albedo)
- fator 1/4 é a distribuição da energia solar sobre a superfície terrestre:

$S \cdot \pi R^2$ = energia solar que a terra intercepta.

Esta energia é distribuída pela superfície ($4\pi R^2$)

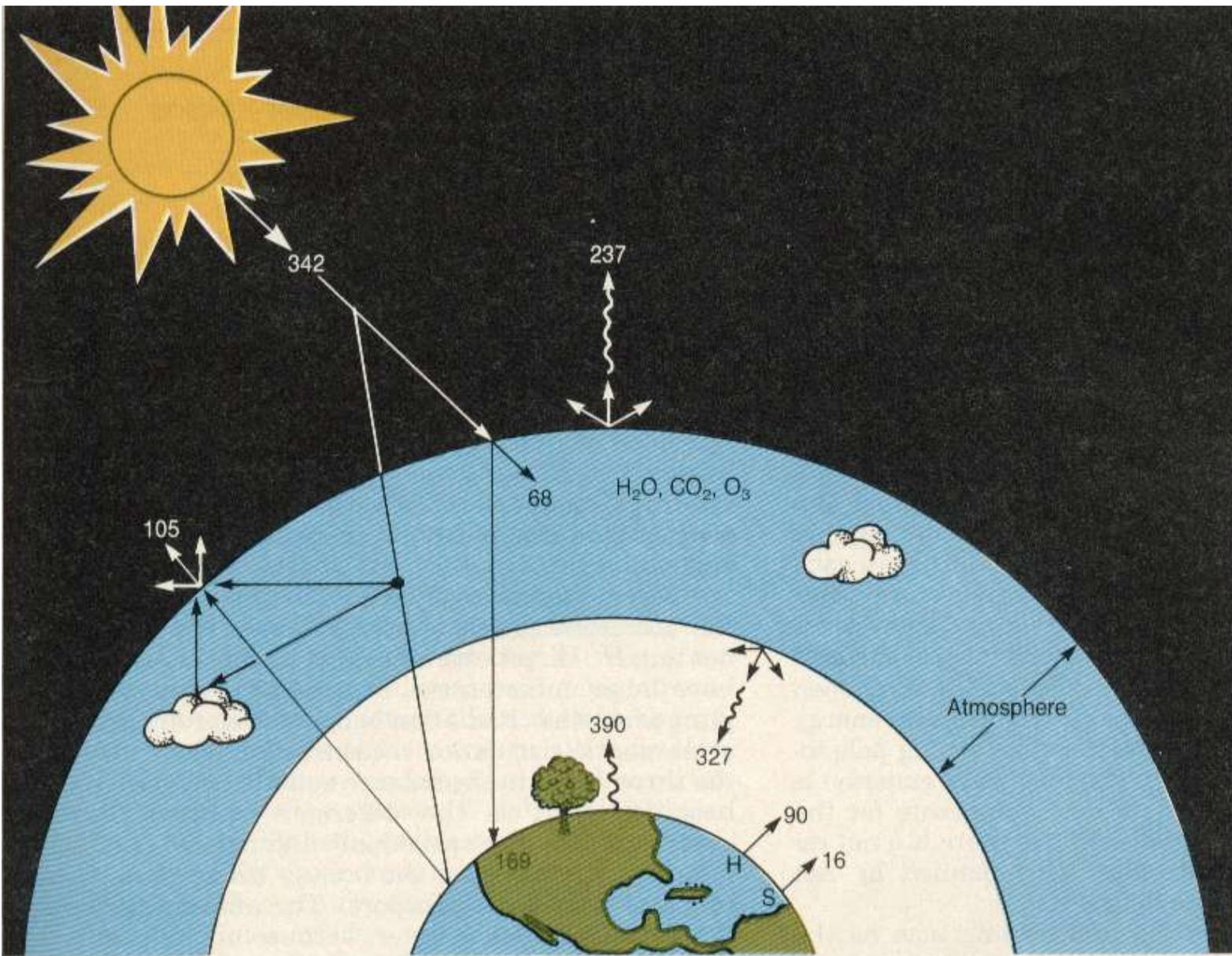
$$\Rightarrow (S \cdot \pi R^2) / (4\pi R^2) = 1/4 S.$$

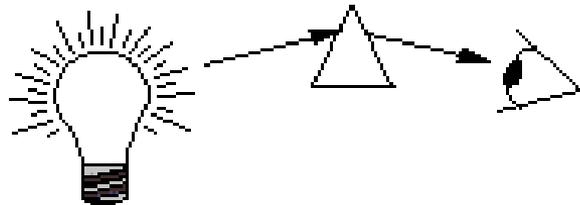
No equilíbrio, $E_B = E_A$ ou,

$$\sigma T^4 = (1/4 S) \cdot (1 - \alpha)$$

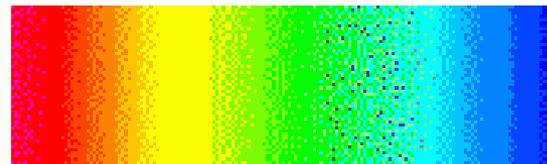
O que dá um T de equilíbrio de 255 K, ou -18°C!

Efeito Estufa: Adicionando a Atmosfera





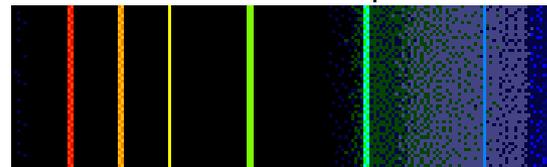
Continuum Spectrum



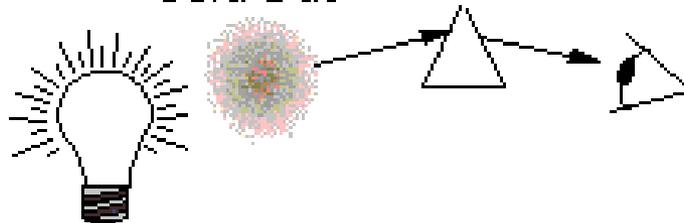
Hot Gas



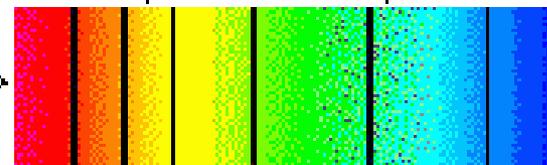
Emission Line Spectrum

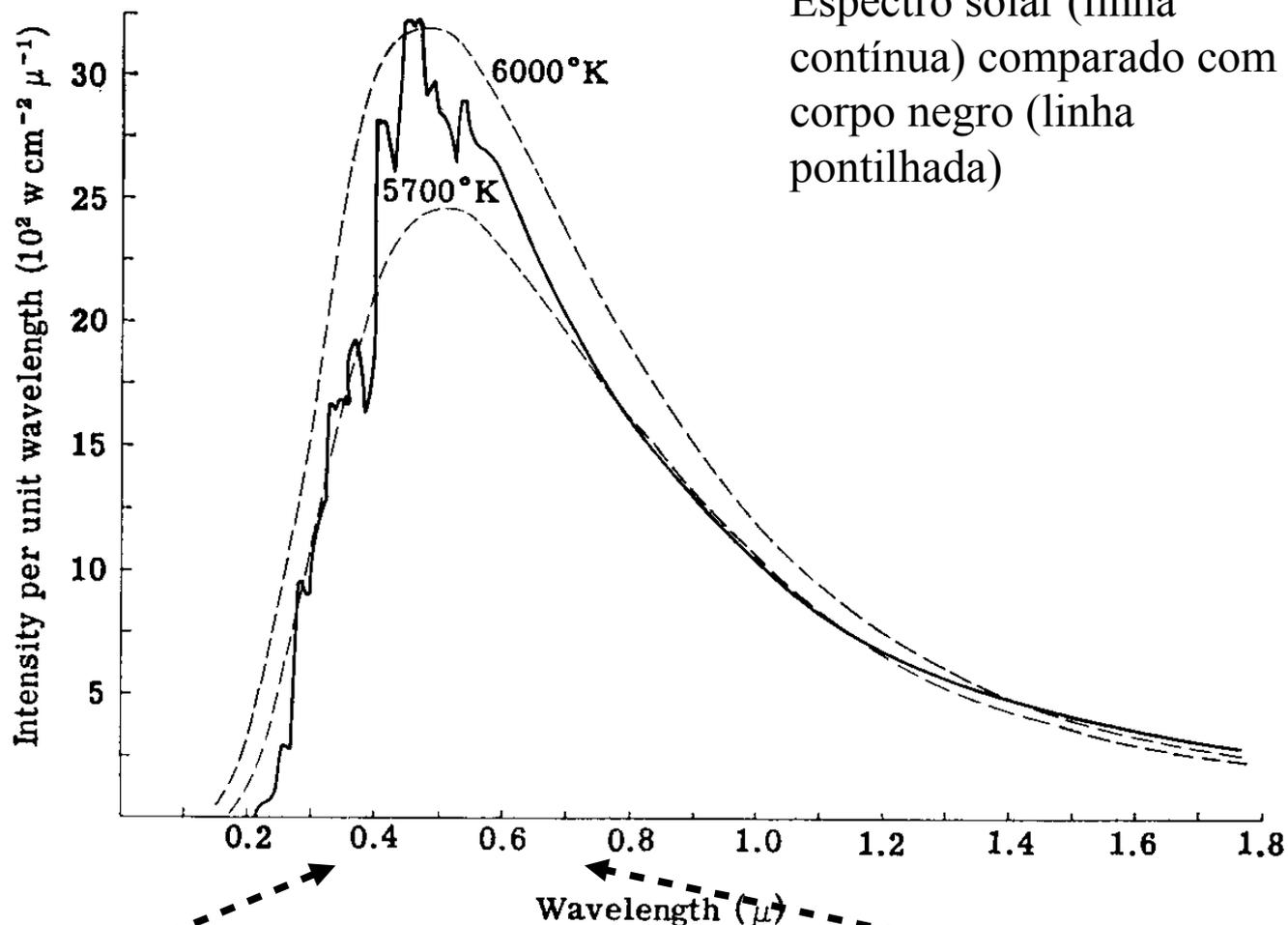


Cold Gas

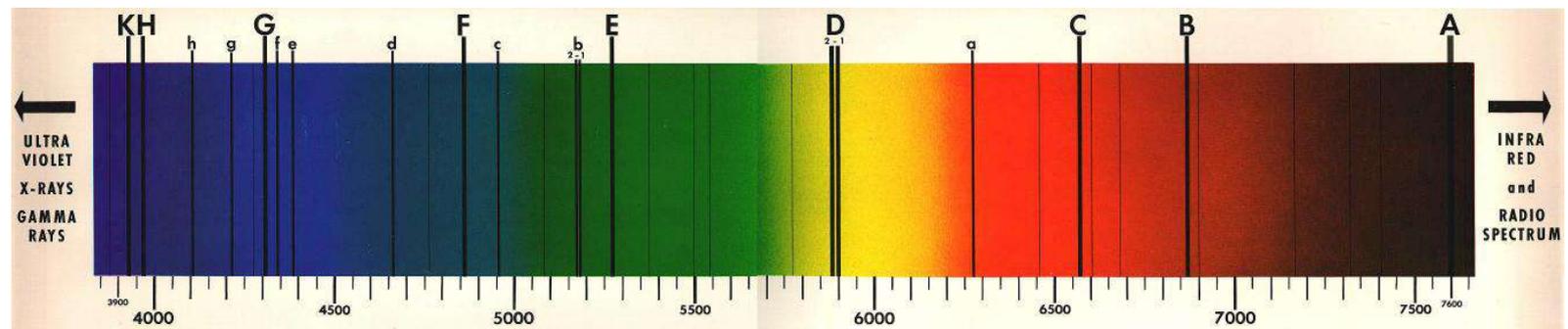


Absorption Line Spectrum

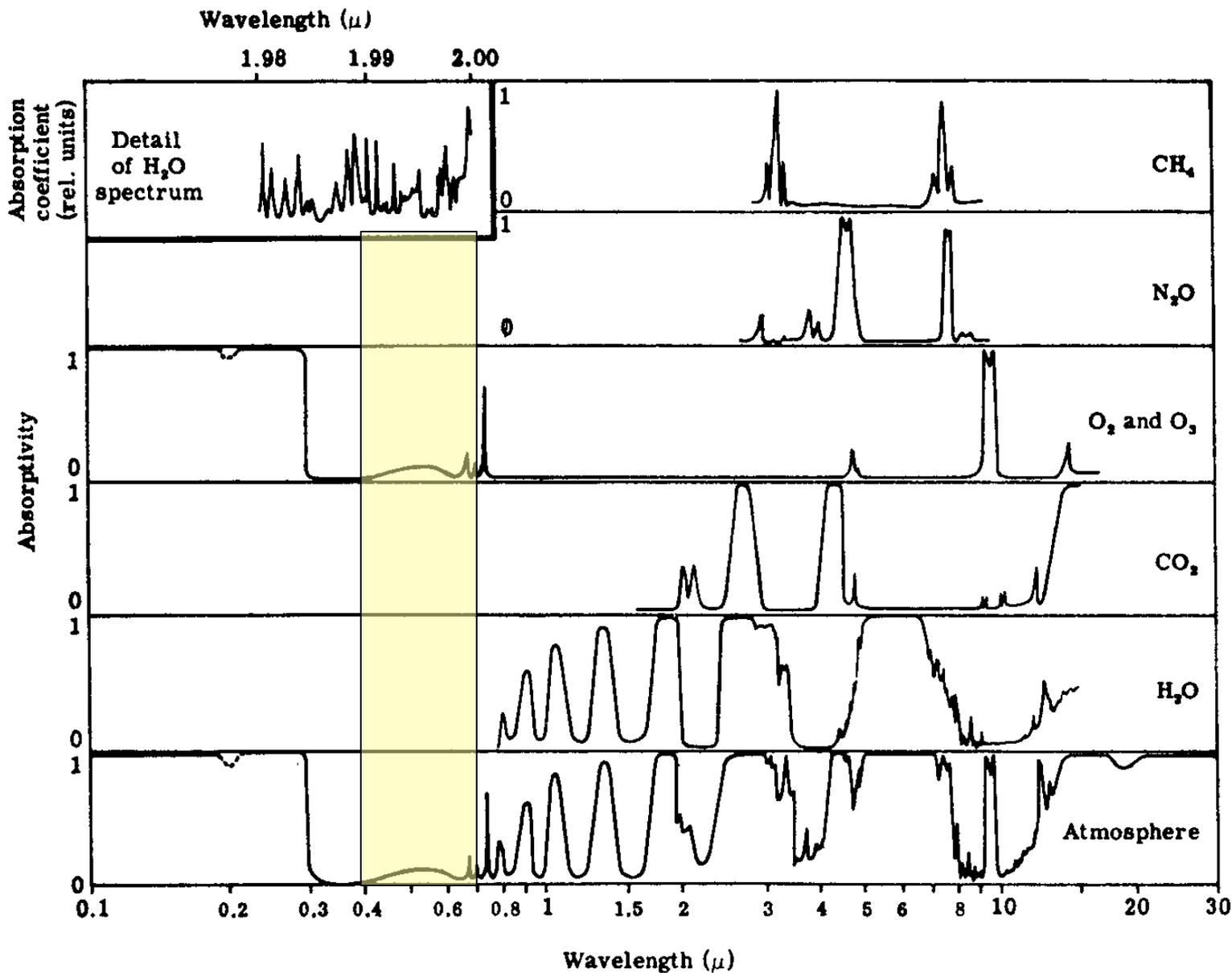




Espectro solar (linha contínua) comparado com corpo negro (linha pontilhada)



Espectros de absorção de radiação de alguns componentes do ar



Concentrações atuais e aquecimento estufa devido a gases traço.

Fontes: MITCHELL, 1989; IPCC, 2007

Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa ($W.m^{-2}$)	Variação desde o ano 1750 até ~2005 ($W.m^{-2}$)
vapor de água (H_2O)	~3000	~100	
dióxido de Carbono (CO_2)	345 (379)	~50	1.66
metano (CH_4)	1.7 (1.774)	1.7	0.48
óxido nitroso (N_2O)	0.30	1.3	0.16
ozônio (O_3) na Troposfera	$10-100 \times 10^{-3}$	1.3	0.35
CFC 11	0.22×10^{-3}	0.06	0.06
CFC 12	0.38×10^{-3}	0.12	0.12
Todos Halocarbonos		0.34	0.34

Absorção total: $\sim 155 W.m^{-2}$
Variação Total: $\sim 2.99 W.m^{-2}$
Variação Líquida: $\sim 1,6 W.m^{-2}$

Uma variação no Efeito Estufa pode provocar variações no clima.

Mas o que é clima?

O **clima** é um conceito abstrato e complexo que envolve dados de temperatura, umidade, tipos e quantidade de precipitação, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação solar, tipo de nuvens e a área que cobrem, bem como outros fenômenos do tempo como nevoeiro, tempestades, geadas e as relações entre eles (Britannica, 2001)

Algumas Variáveis do Clima

- Temperatura
- Umidade
- Pressão
- Velocidade do vento
- Radiação
- Precipitação
- % Nuvens
- Tipo de nuvens
- Tipo de solo
- Uso do solo
- % de superfície de água
- Vegetação
- Posição na terra

MEDINDO O CLIMA

(experiência)

- Métodos & incertezas com temperatura
- Umidade
- Micro-clima

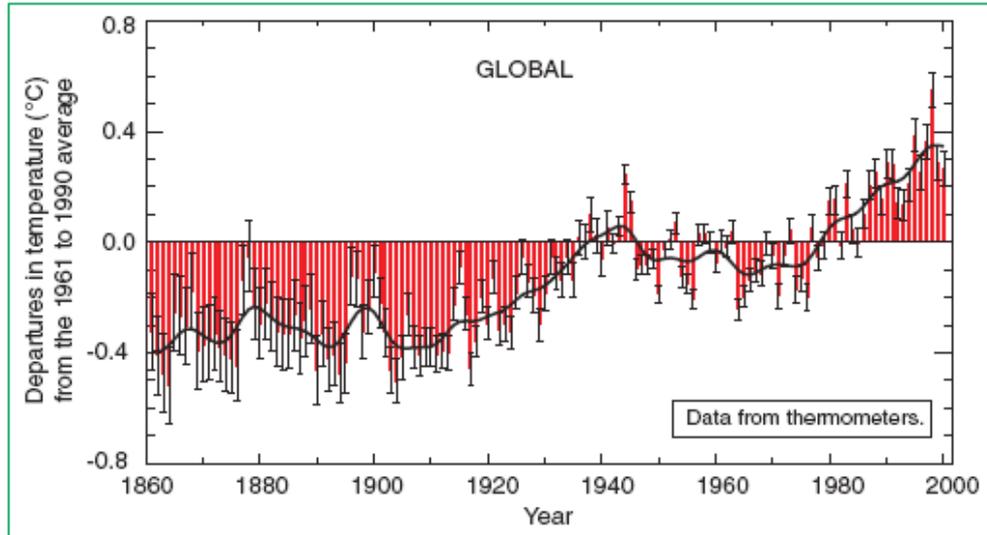


Figure 2: Combined annual land-surface air and sea surface temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$) 1861 to 2000, relative to 1961 to 1990. Two standard error uncertainties are shown as bars on the annual number.

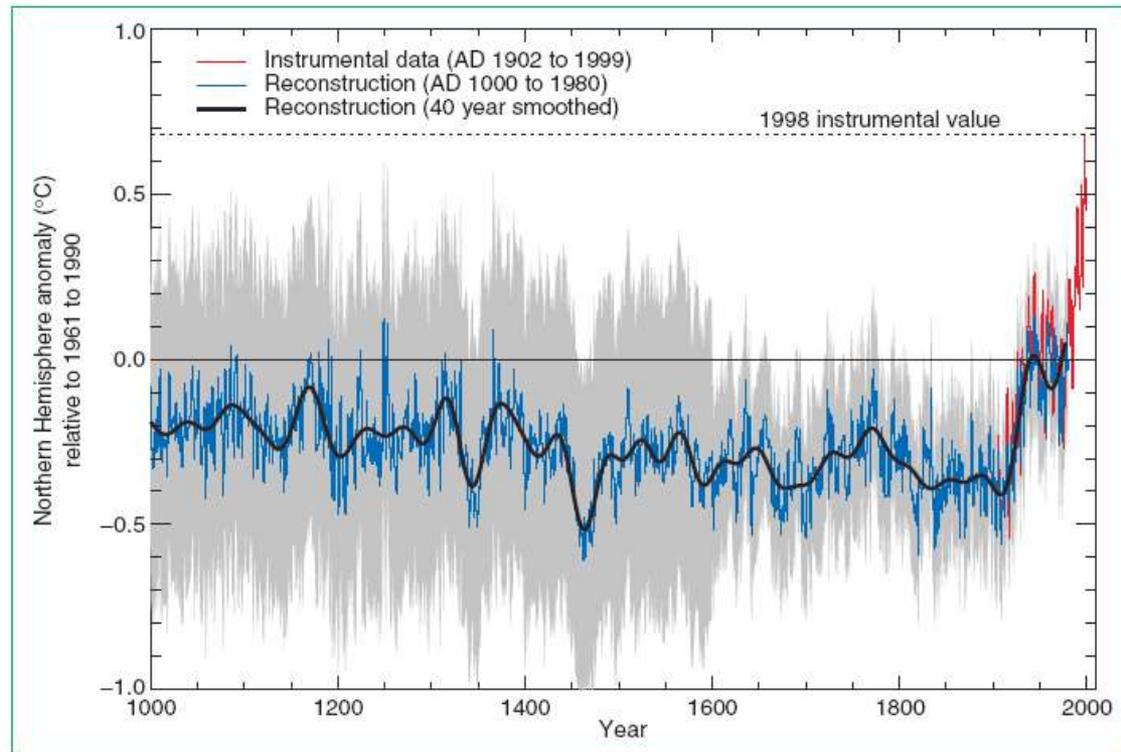
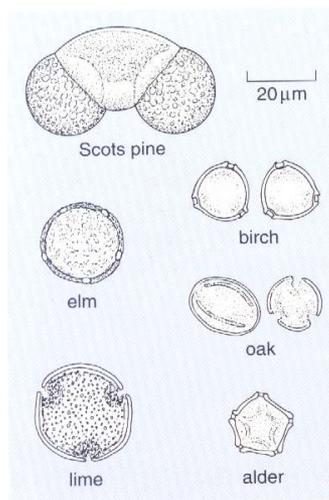
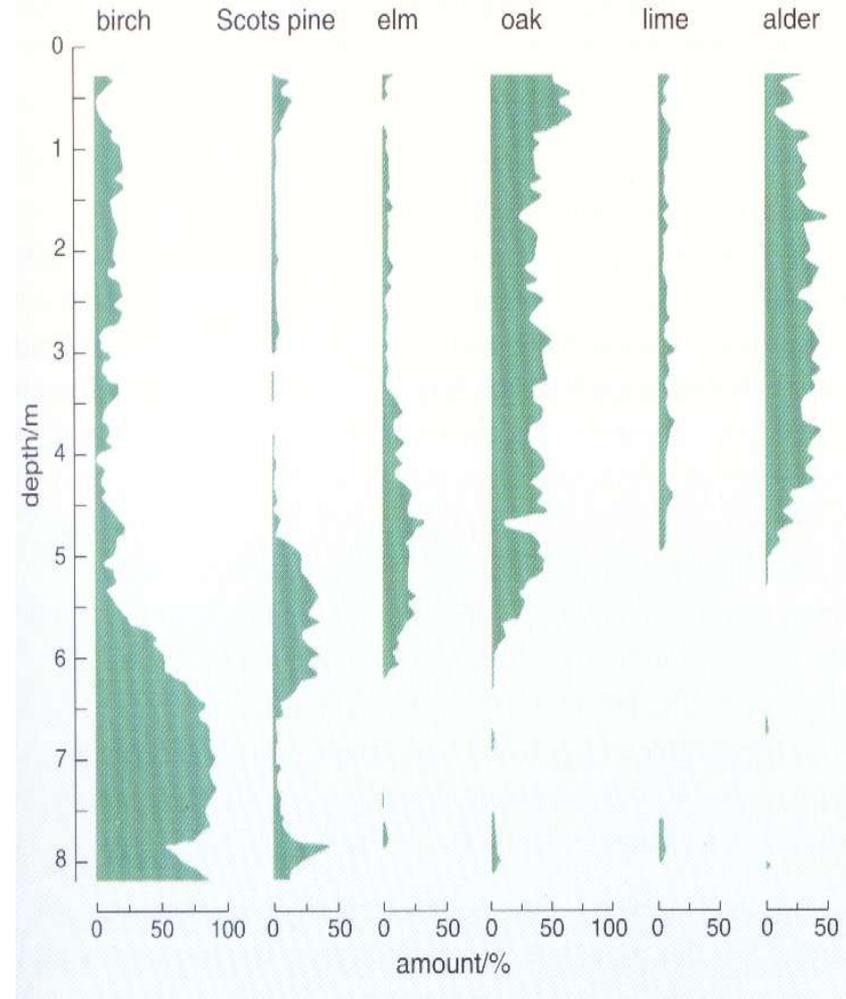
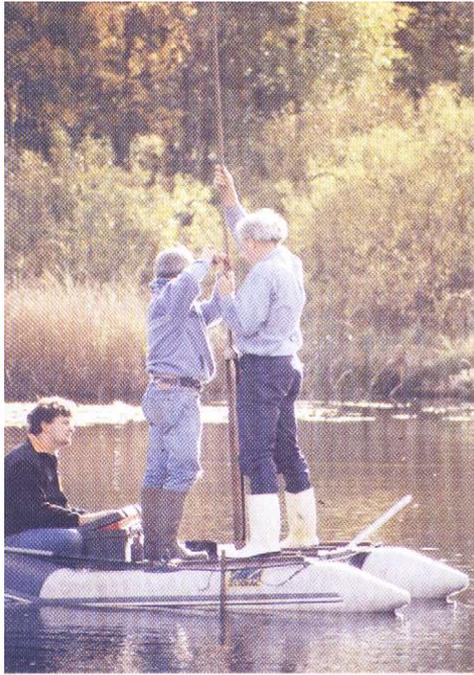


Figure 5: Millennial Northern Hemisphere (NH) temperature reconstruction (blue – tree rings, corals, ice cores, and historical records) and instrumental data (red) from AD 1000 to 1999. Smoother version of NH series (black), and two standard error limits (gray shaded) are shown. [Based on



Elm - olmo
 oak - carvalho
 lime - limão
 birch - betula
 pine - pinheiro

Paleoclima-sedimentos

Figure 3.9 Drawings of pollen grains from different types of tree. Note the scale bar indicating that these small grains are only 20 μm or so across.

Ice cores

Information: Volume of continental ice from oxygen isotopic composition of the oceans; levels of CO₂ and methane in the atmosphere from trapped gas bubbles; wind strength and source from dust, sea salt, pollen; surface temperature from isotopic ratios in ice, borehole temperatures, gas fractionation, melt layers; snow accumulation rates from thickness of annual layers; sunspot cycles from isotopes formed by solar cosmic rays.

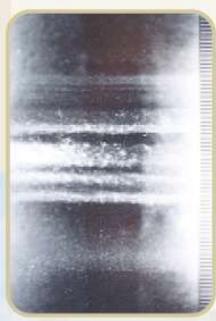
Resolution: Subseasonal to decadal; highly accurate to 40,000 years.

Dating: Counting of annual layers, such as these (left) from Greenland; correlation to other cores; ice-flow models.

Comments: These cores provide a direct sample of the atmosphere. Cores also contain information about places ranging from the local environment to distant deserts, which helps scientists figure out which aspects of climate change at the same time.

Time range: 440,000 years ago to present.

Areas studied:



Corals

Information: Sea surface temperature from oxygen isotopes and elemental ratios, also salinity. River discharge and precipitation cycles on land from isotopes. Records reveal El Niño frequency, impacts, and relation to background climate; sea level from dating of coral. Oxygen isotopes in coral from Kenya (right) show a connection to El Niño in the Pacific.

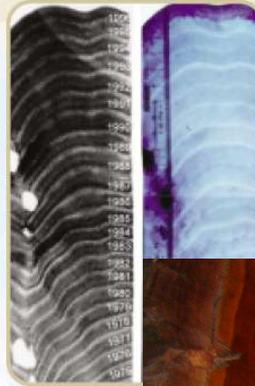
Resolution: Typically months; weekly in exceptional cases.

Dating: Annual banding from coral density, stable-isotope ratios, or elemental ratios.

Comments: One of the few tropical records that show seasonal changes in ocean systems. Accurate multivariate data sets. Disadvantage: hard to find records that are 400 or more years long.

Time range: Continuous records to about 400 years. Large fossil corals give short time intervals about 130,000 years ago.

Areas studied:



Each annual ring shows tree growth for a certain year.

311 A.D.

362 A.D.

419 A.D.

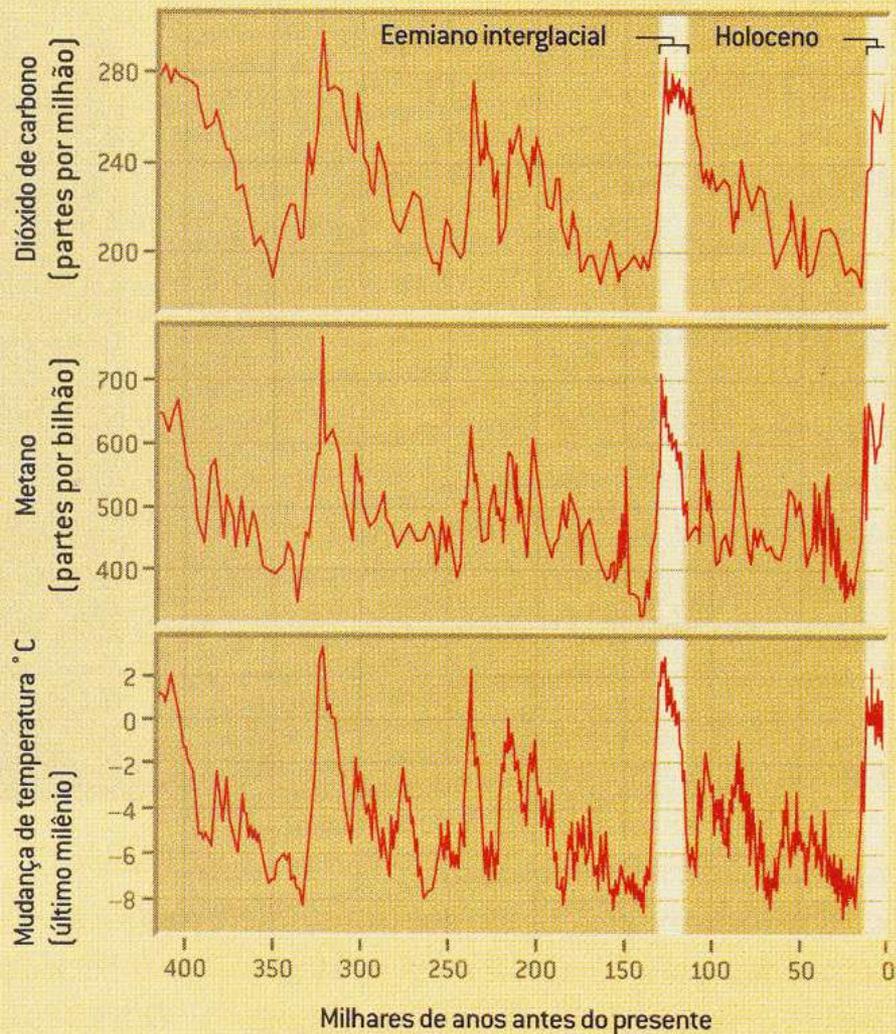
These wide rings show 20 favorable growth years.

These narrow rings show 20 poor growth years.

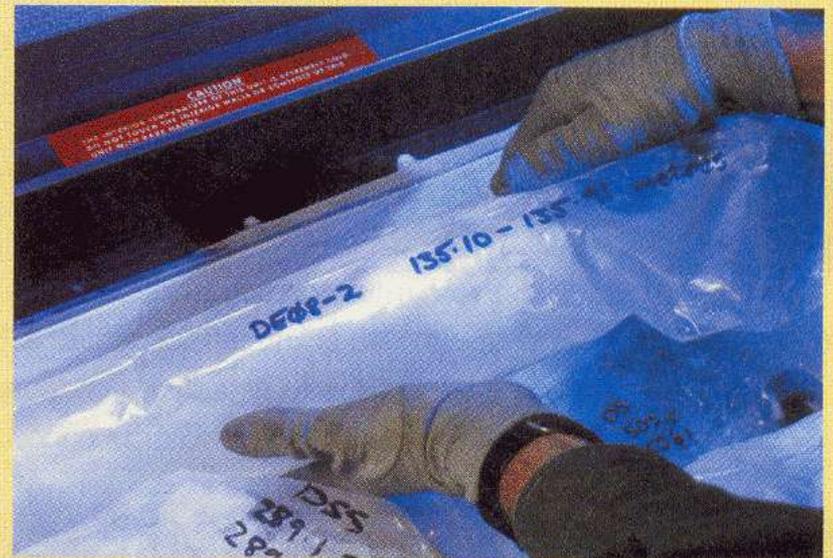
GIANT SEQUOIA TREE
2000 YEARS OLD

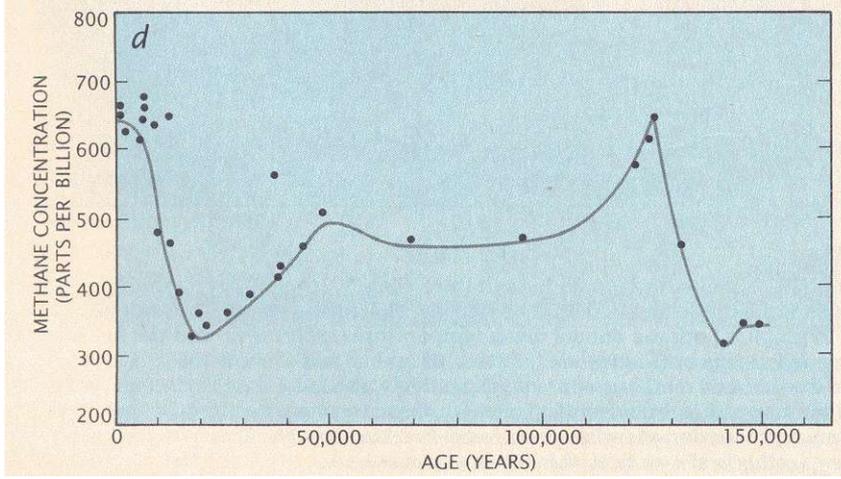
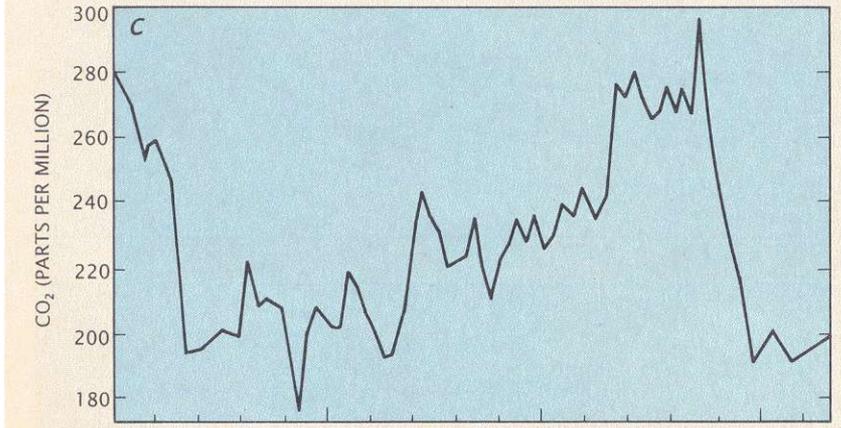
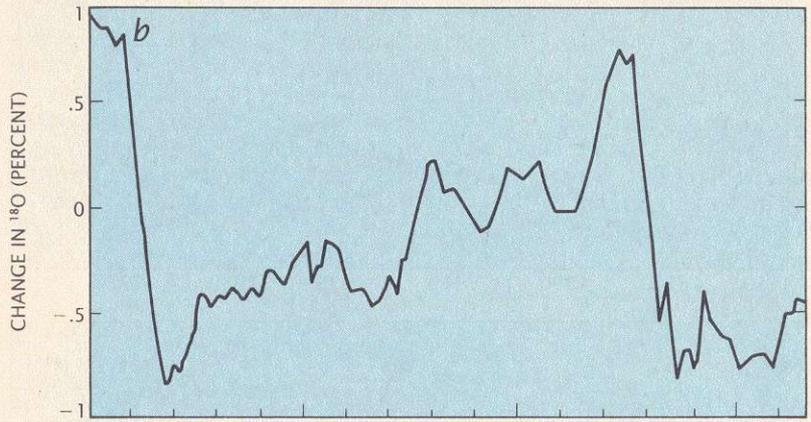
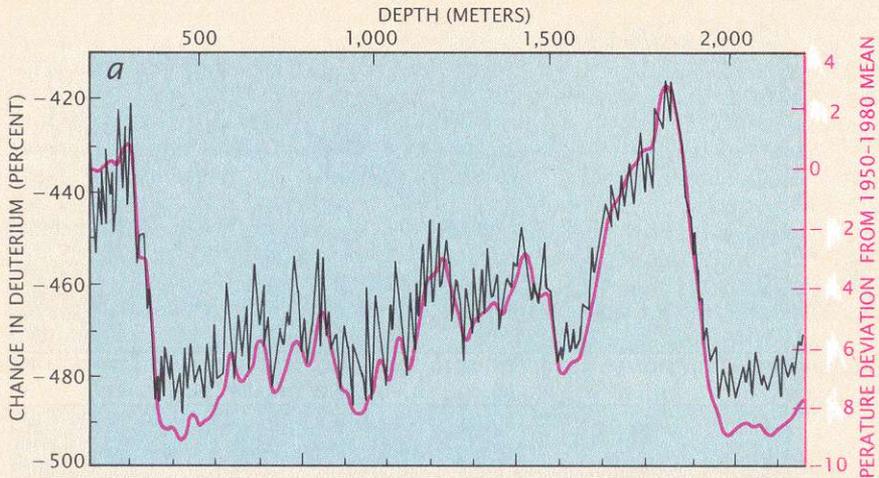


- Paleoclima:
- . Testemunhos de Gelo
 - . Corais
 - . Anéis de árvores



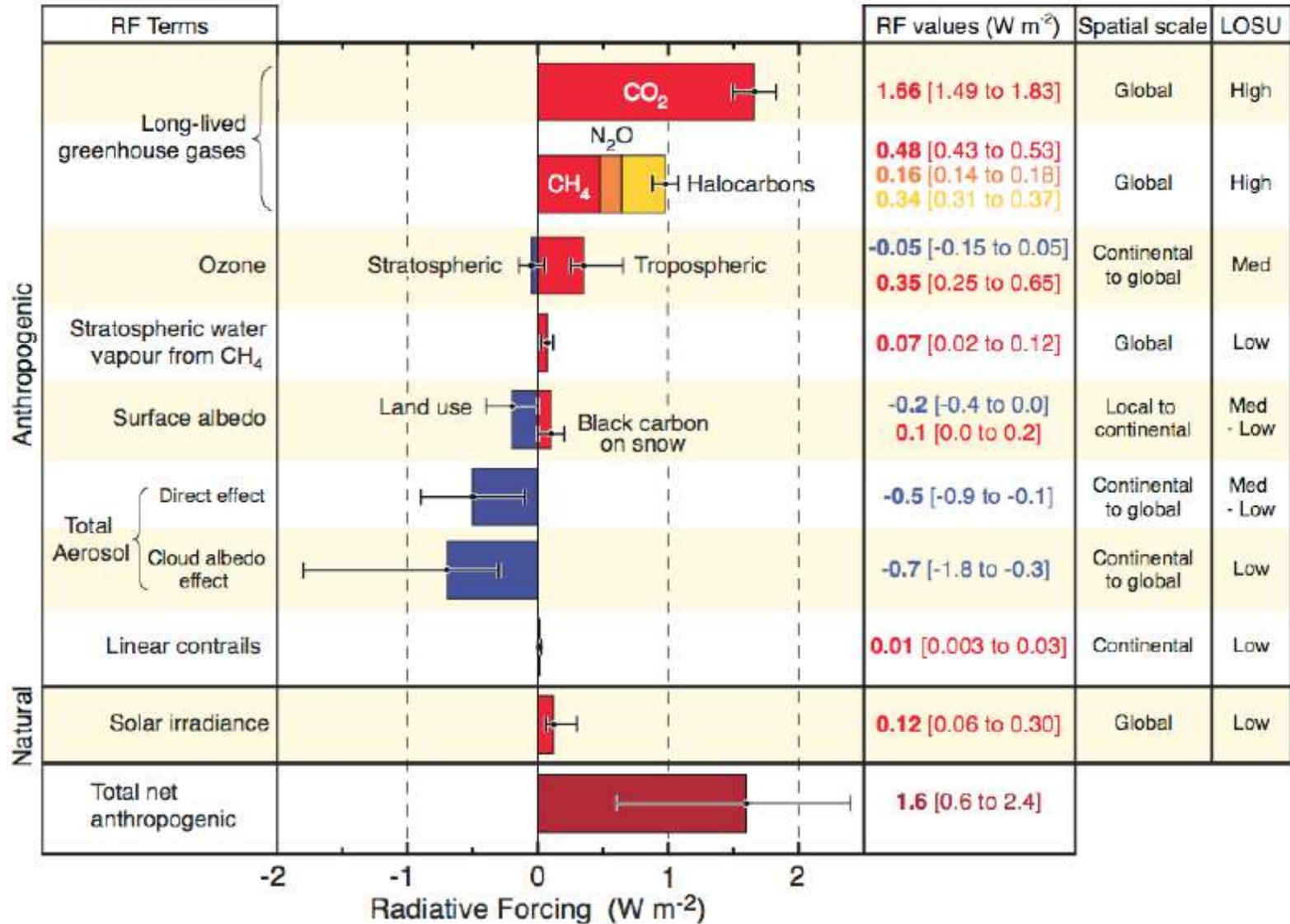
O GELO DA ANTÁRTIDA preservou um registro de 400 mil anos de temperatura e dos níveis de dióxido de carbono e metano na atmosfera. Os cientistas estudam os gases aprisionados em bolhas de ar no gelo – geralmente usando amostras (foto) de perfurações no manto de gelo e transportadas para um laboratório. O registro histórico nos fornece duas medidas críticas: comparação do presente período interglacial (o Holoceno) com a mais recente era glacial (20 mil anos atrás) oferece uma medida precisa da sensibilidade do clima a forçantes. A temperatura no período interglacial anterior (o Eemiano), quando o nível do mar estava vários metros mais alto que hoje, define uma estimativa do aquecimento que a civilização atual consideraria interferência antropogênica perigosa no clima.





Testemunho de gelo (Estação Vostok, Antártica)

Radiative Forcing Components

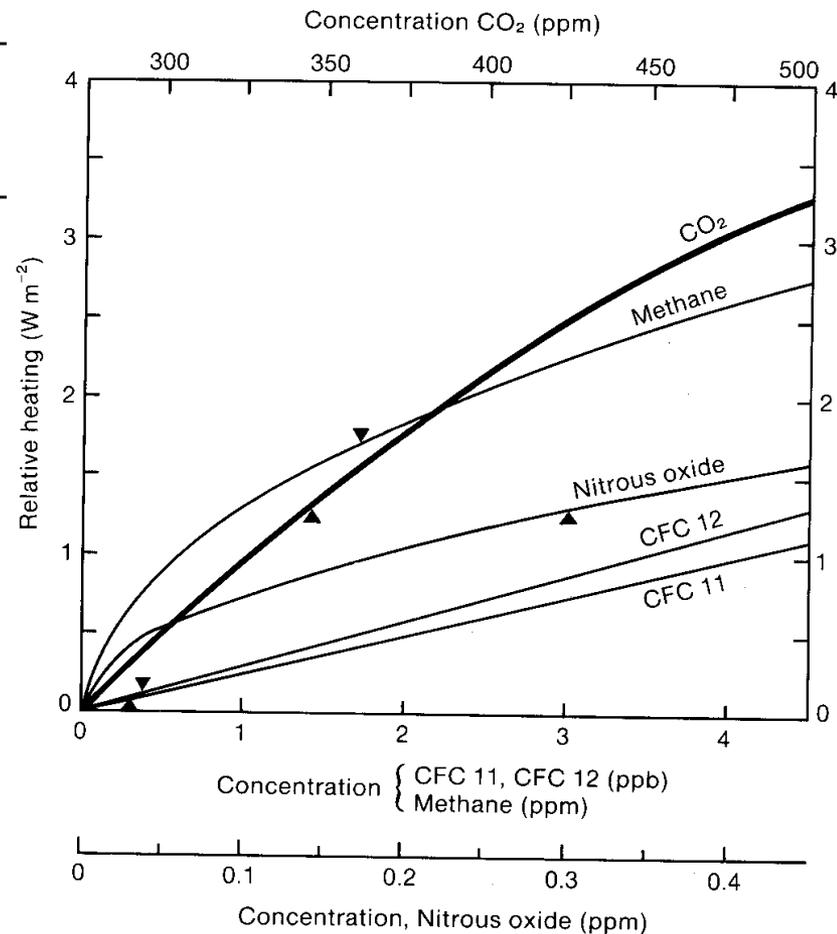
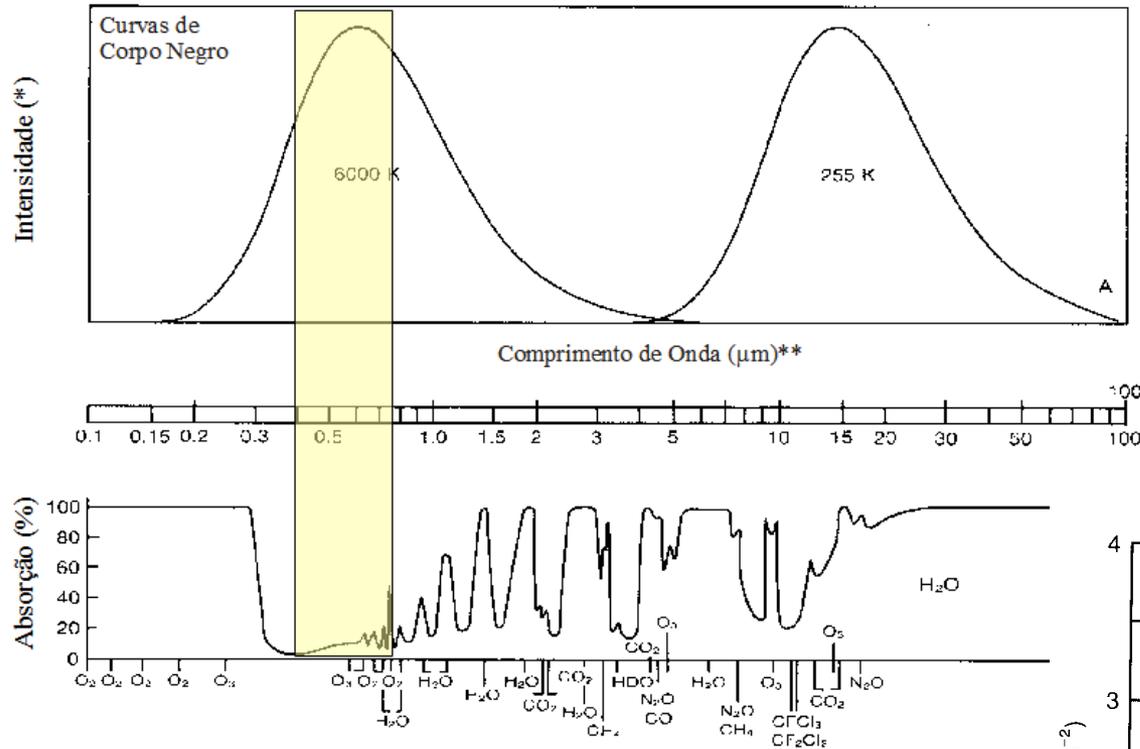


©IPCC 2007: WG1-AR4

Estimativas de forçantes radiativas antropogênicas desde 1750

Espécie	Fórmula Química	Tempo de residência (anos)	Potencial de Aquecimento Global (relativo ao CO ₂)		
			20 anos	100 anos	500 anos
CFC-11	CFCl ₃	50	5.000	4.000	1.400
CFC-12	CF ₂ Cl ₂	102	7.900	8.500	4.200
Metano	CH ₄	14,5	62	24,5	7,5
Óxido Nitroso	N ₂ O	120	290	320	180
Hexafluoreto de Enxofre	SF ₆	3.200	16.500	24.900	36.500

CO₂ : $\tau_1 = 172.9$ years, $\tau_2 = 18.51$ years, and $\tau_3 = 1.186$ years, for $t < 1,000$ years

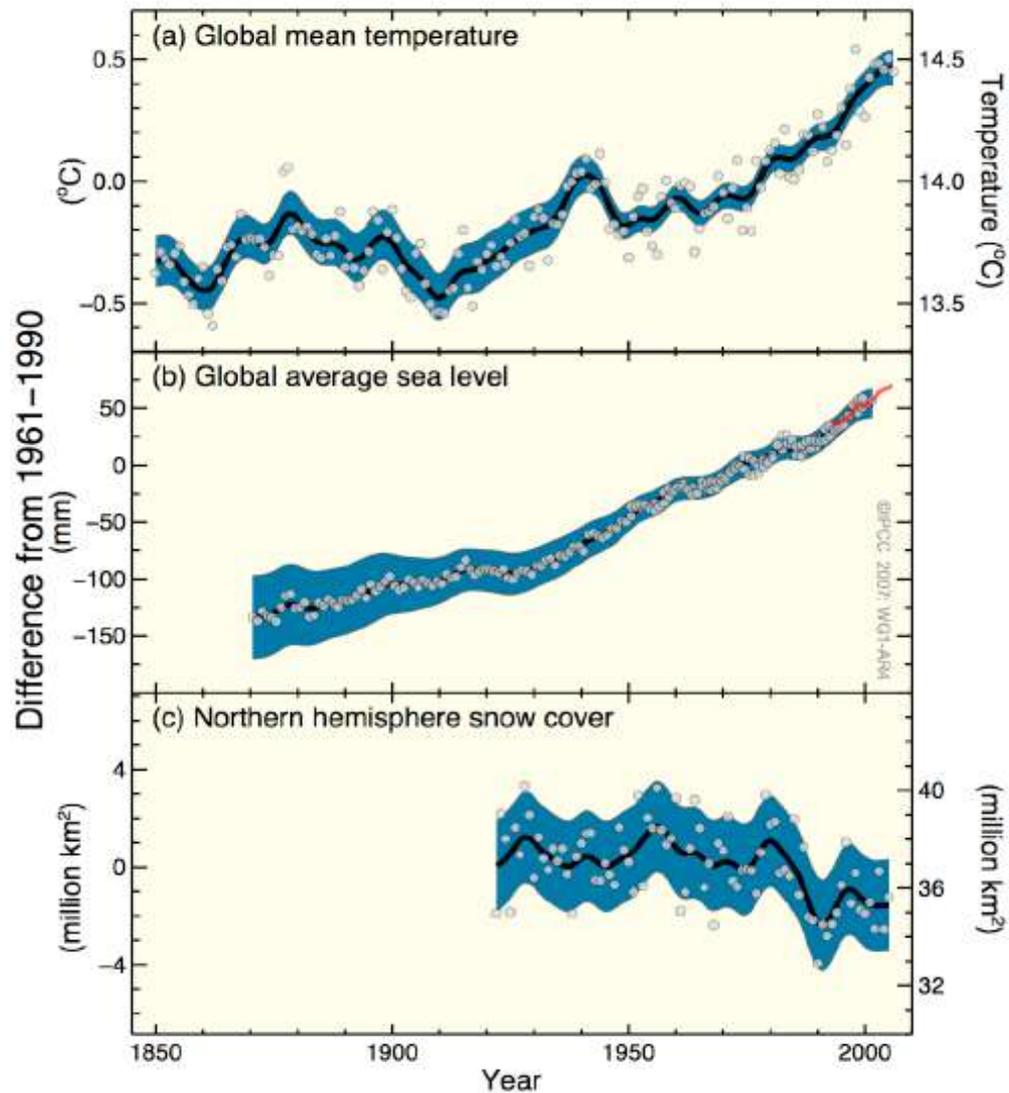


Potencial relativo de aquecimento para alguns gases

O sinal triangular marca o nível de concentração atual.

O potencial dependerá da eficiência de absorção da radiação pelo componente, da faixa de energia em que ele absorve e do tempo de residência do elemento na atmosfera.

Changes in Temperature, Sea Level and Northern Hemisphere Snow Cover



1979



2003



ENCOLHIMENTO DO GELO DO ÁRTICO

Kilimanjaro, Tanzânia

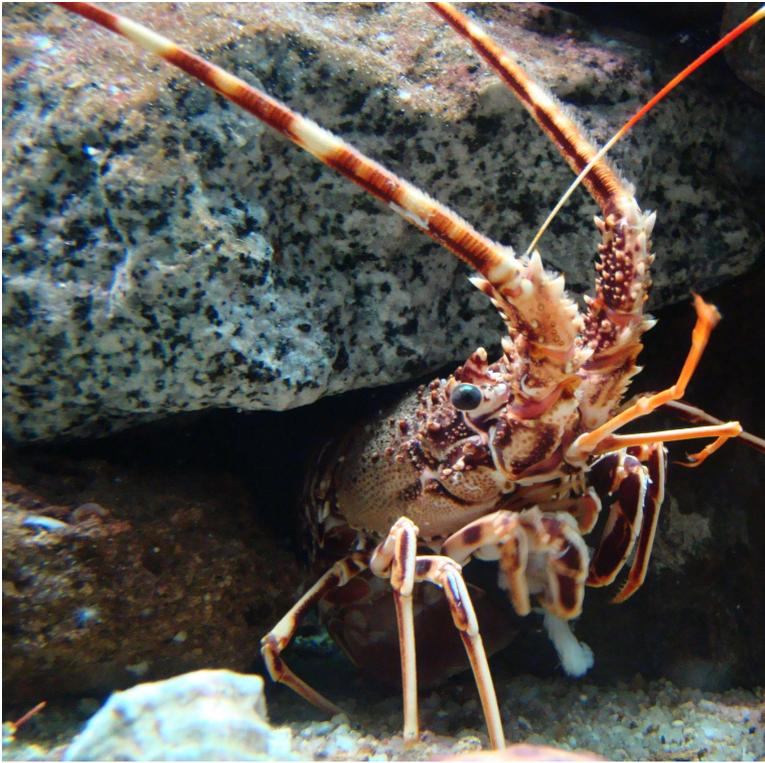


1974



2008

Aquário de
Barcelona,
Abril/2012



Aumento de absorção
de CO₂ pelos oceanos,
incrementa acidez das
águas e ataque às
carapaças carbonáceas
de seres e estruturas
marinhas.

Dificuldades para prever mudanças

- Clima envolve sistema complexo - variações em prazo longo (~30 anos).
- Variações próximas ao erro de medida
- (0,78° C de 1850/1900 a 2003/12).
- Efeitos de realimentação positiva ou negativa:
 - ♦ + temperatura: umidade → nuvens → temperatura (\pm)
 - ♦ tipo de nuvens: stratus(-)/cumulus(+)
 - ♦ vegetação: absorve CO₂ (-)
 - ♦ oceanos: absorção CO₂ e reservatório de gás e de temperatura
 - ♦ Albedo (-)

AVENIDA PAULISTA: 1900 e 2001.

**Que efeito esta transformação tem
sobre o clima regional?**

(créditos das fotos: desconhecidos)



Nível dos oceanos

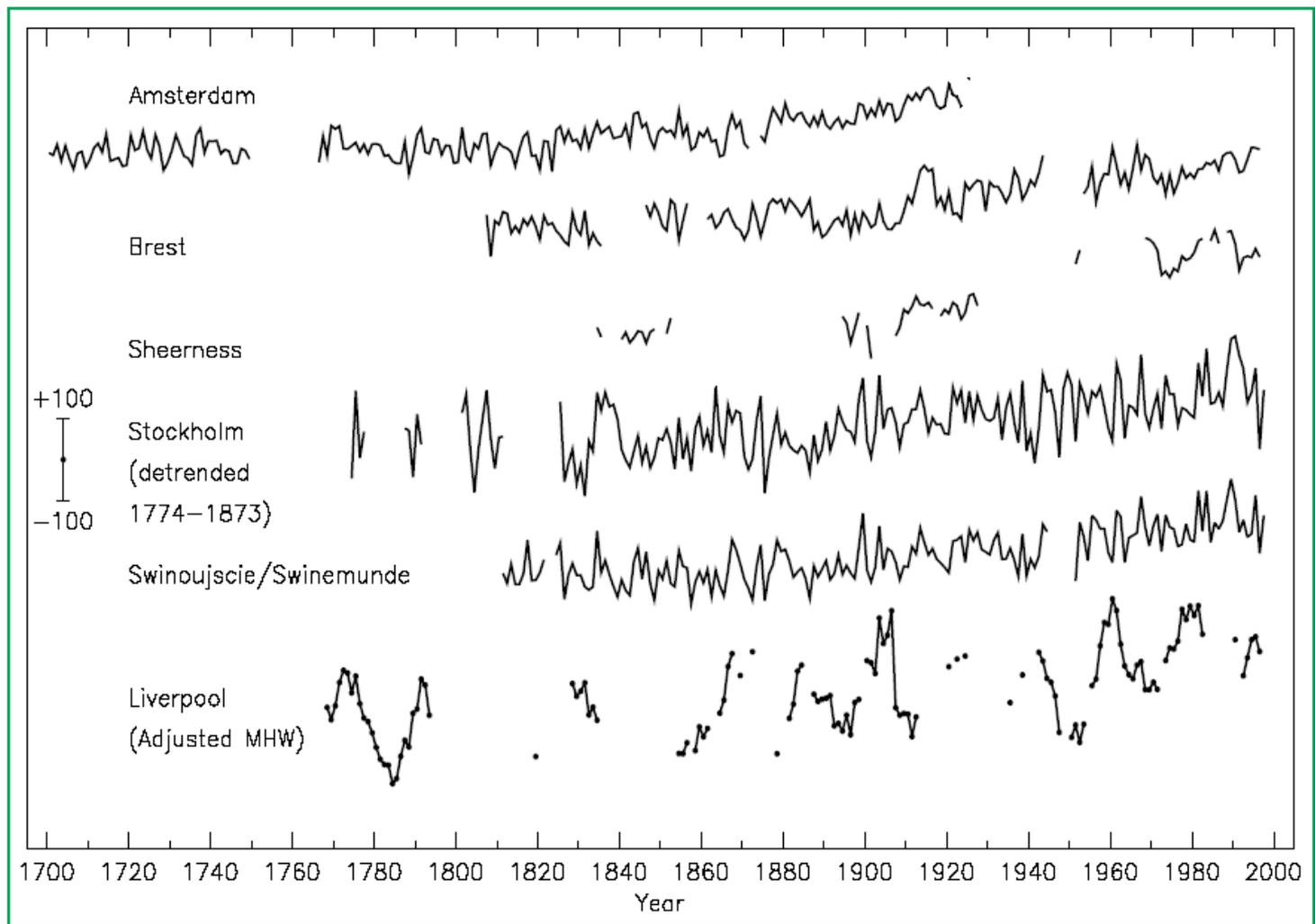
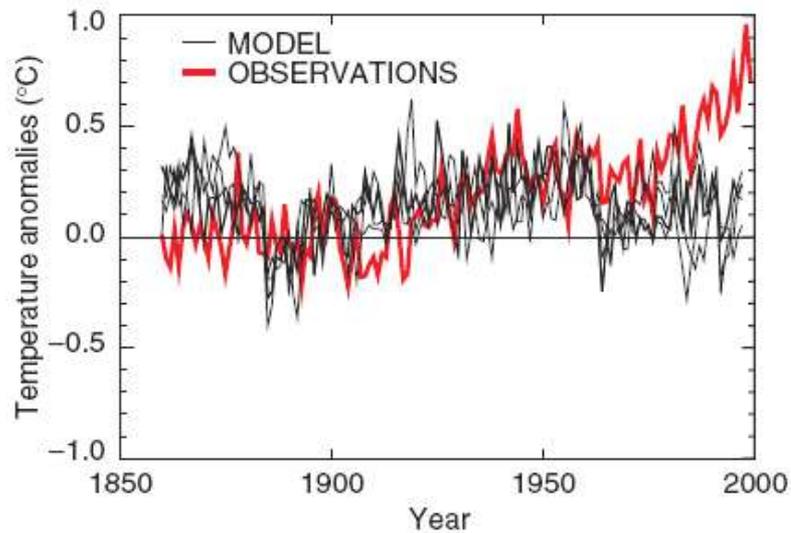


Figure 6: Time-series of relative sea level for the past 300 years from Northern Europe: Amsterdam, Netherlands; Brest, France; Sheerness, UK; Stockholm, Sweden (detrended over the period 1774 to 1873 to remove to first order the contribution of post-glacial rebound); Swinoujscie, Poland (formerly Swinemunde, Germany); and Liverpool, UK. Data for the latter are of “Adjusted Mean High Water” rather than Mean Sea Level and include a nodal (18.6 year) term. The scale bar indicates ± 100 mm. [Based on Figure 11.7]

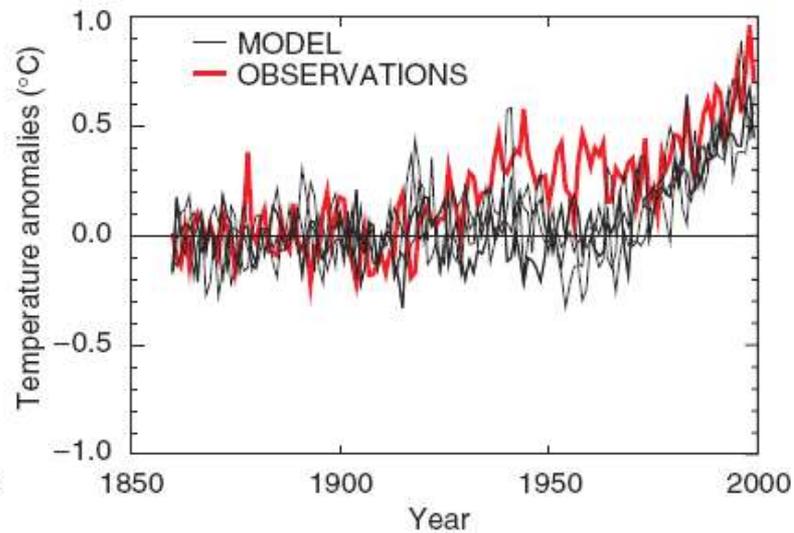
(a)

NATURAL : Annual global mean temperatures



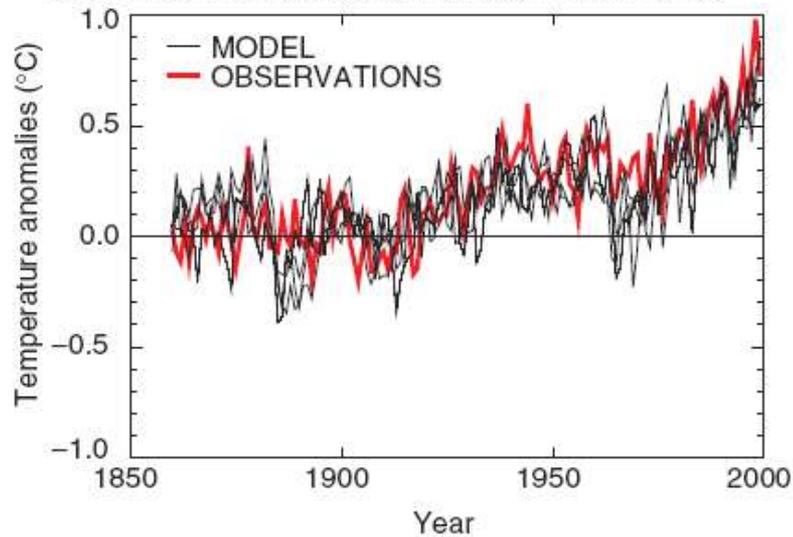
(b)

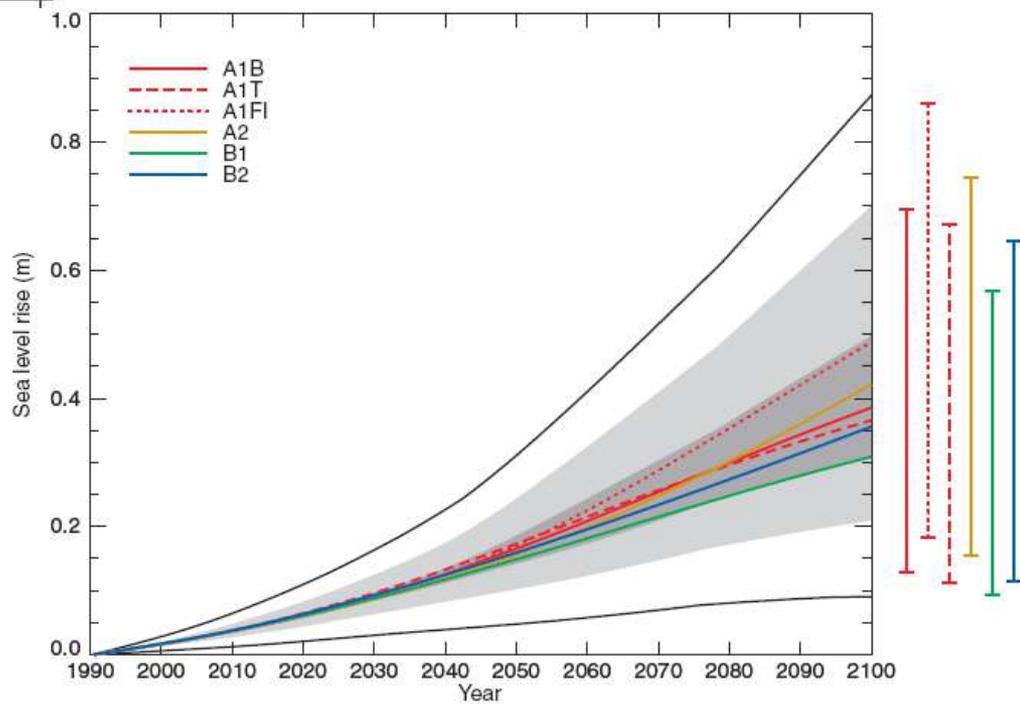
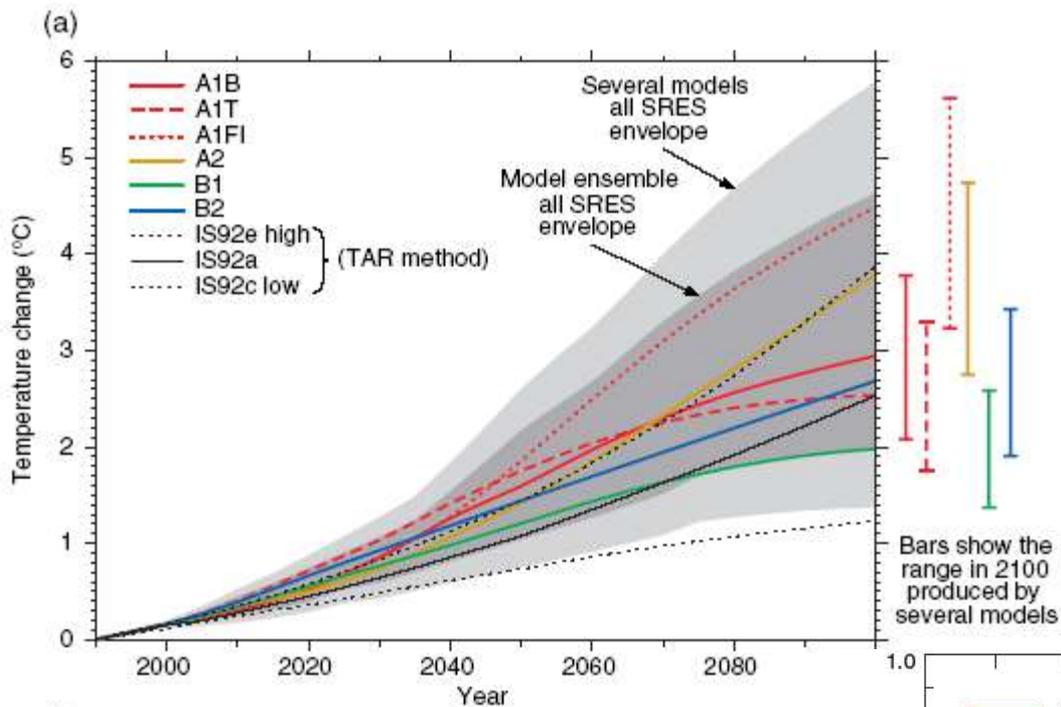
ANTHROPOGENIC : Annual global mean temperatures



(c)

ALL FORCINGS : Annual global mean temperatures





Concentrações atuais e aquecimento estufa devido a gases traço

Fontes: MITCHELL, 1989; IPCC, 2007

Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa ($W.m^{-2}$)	Variação desde o ano 1750 até ~2005 ($W.m^{-2}$)
vapor de água (H_2O)	~3000	~100	
dióxido de Carbono (CO_2)	345 (379)	~50	1.66
metano (CH_4)	1.7 (1.774)	1.7	0.48
óxido nitroso (N_2O)	0.30	1.3	0.16
ozônio (O_3) na Troposfera	$10-100 \times 10^{-3}$	1.3	0.35
CFC 11	0.22×10^{-3}	0.06	0.06
CFC 12	0.38×10^{-3}	0.12	0.12
Todos Halocarbonos		0.34	0.34

Absorção total: $\sim 155 W.m^{-2}$

Variação Total: $\sim 2.99 W.m^{-2}$

Variação Líquida: $\sim 1,6 W .m^{-2}$

Estimativa de fontes e sumidouros de Metano [Tg(CH₄) ano⁻¹]
(fonte: Seinfeld and Pandis, 1998)

Fontes identificadas	Estimativa Individual	Total
NATURAIS		
Terras alagadas	115 (55-150)	
Termitas	20 (10-50)	
Oceanos	10 (5-50)	
Outras	15 (10-40)	
Total de fontes naturais identificadas		160 (110-210)
ANTROPOGÊNICAS		
Fontes relacionadas a combustíveis fósseis		
Gás Natural	40 (25-50)	
Minas de Carvão	30 (15-45)	
Indústria do Petróleo	15 (5-30)	
Queima de Carvão	? (1-30)	
Total relacionado à combustíveis fósseis		100 (70-120)
Carbono Biosférico		
Fermentação entérica	85 (65-100)	
Arrozais alagados	60 (20-100)	
Queima de Biomassa	40 (20-80)	
Aterros sanitários	40 (20-70)	
Dejetos animais	25 (20-30)	
Esgoto doméstico	25 (15-80)	
Total da Biosfera		275 (20-350)
Total de fontes antropogênicas Identificadas		375 (300-450)
Total de fontes identificadas		535 (410-660)
SUMIDOUROS		
OH troposférico	445 (360-530)	
Estratosfera	40 (32-48)	
Solos	30 (15-45)	
Total de sumidouros		515 (430-600)
Carga total global: 4850 Tg(CH ₄)		



Termitas
Cupinzeiros no campo
“Cupim” do boi

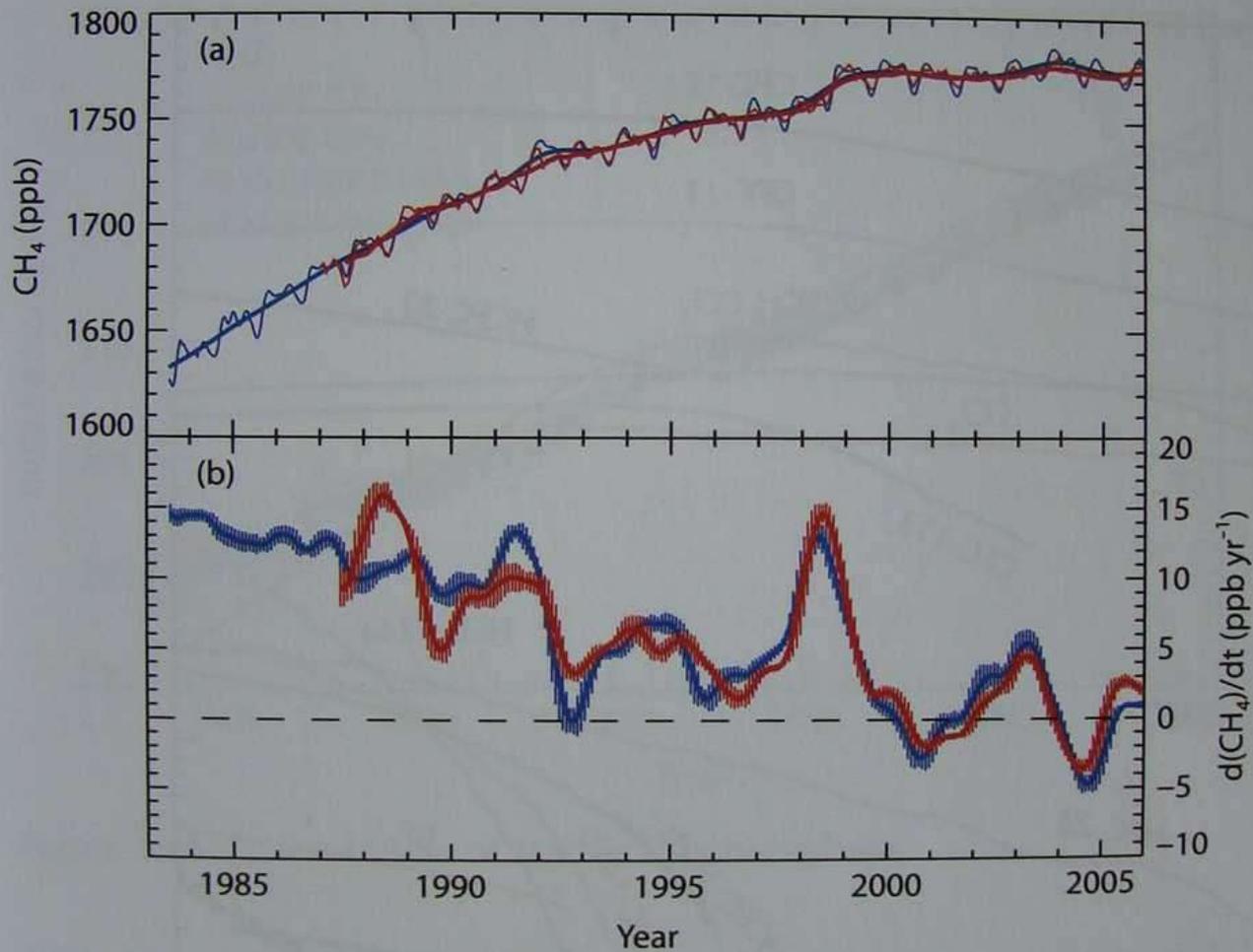
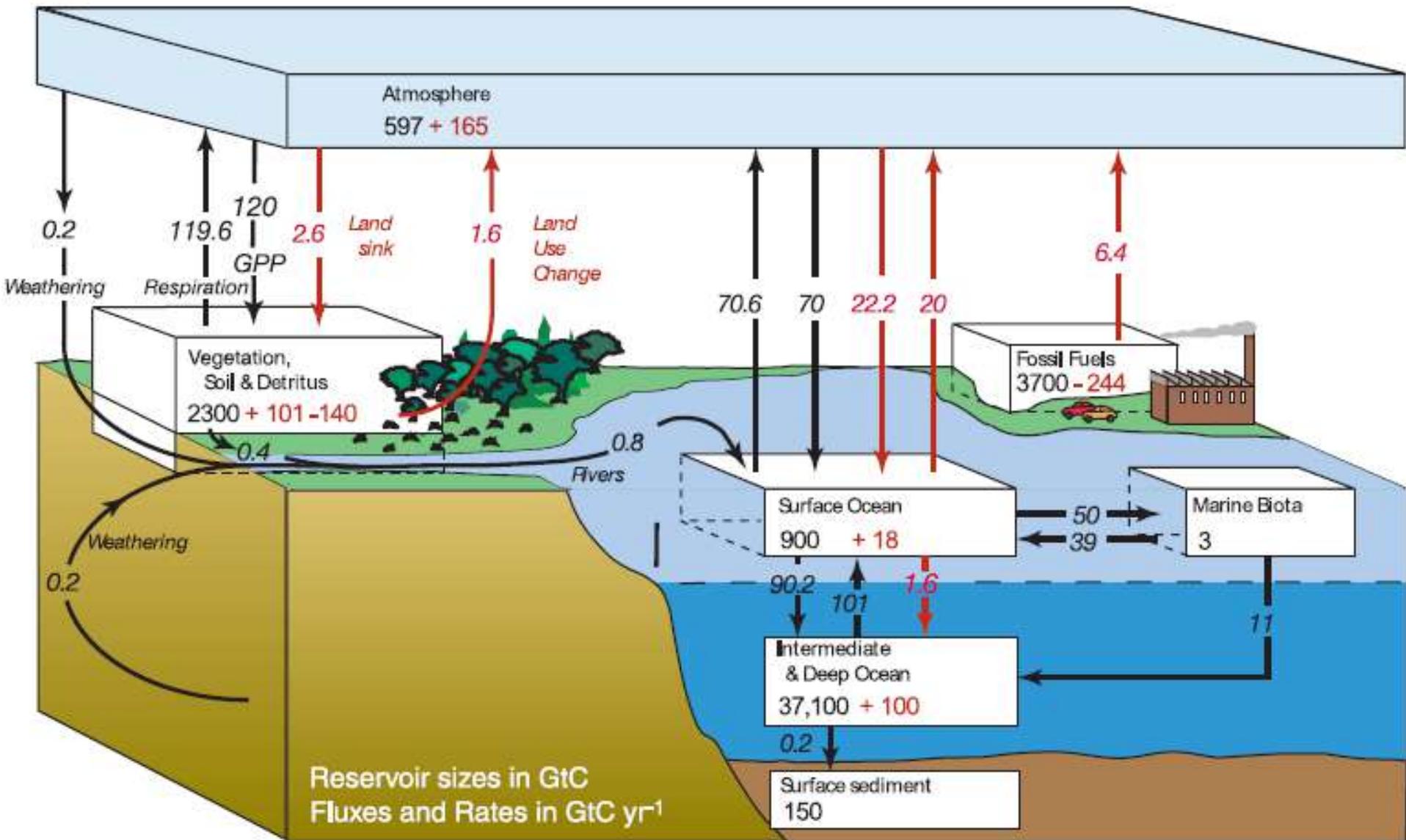


Figure 2.8 Recent changes in atmospheric methane concentration (top), and rate of change (bottom).

Source	NO _x		NH ₃		N ₂ O	
	TAR ^a	AR4 ^b	TAR ^a	AR4 ^a	TAR ^c	AR4
Anthropogenic sources						
Fossil fuel combustion & industrial processes	33 (20–24)	25.6 (21–28)	0.3 (0.1–0.5)	2.5 ^d	1.3/0.7 (0.2–1.8)	0.7 (0.2–1.8) ^d
Aircraft	0.7 (0.2–0.9)	– ^e (0.5–0.8)	–	–	–	–
Agriculture	2.3 ^f (0–4)	1.6 ^g	34.2 (16–48)	35 ^g (16–48)	6.3/2.9 (0.9–17.9)	2.8 (1.7–4.8) ^g
Biomass and biofuel burning	7.1 (2–12)	5.9 (6–12)	5.7 (3–8)	5.4 ^d (3–8)	0.5 (0.2–1.0)	0.7 (0.2–1.0) ^g
Human excreta	–	–	2.6 (1.3–3.9)	2.6 ^g (1.3–3.9)	–	0.2 ^g (0.1–0.3) ^h
Rivers, estuaries, coastal zones	–	–	–	–	–	1.7 (0.5–2.9) ⁱ
Atmospheric deposition	–	0.3 ^g	–	–	–	0.6 ⁱ (0.3–0.9) ^h
Anthropogenic total	43.1	33.4	42.8	45.5	8.1/4.1	6.7
Natural sources						
Soils under natural vegetation	3.3 ^f (3–8)	7.3 ⁱ (5–8)	2.4 (1–10)	2.4 ^g (1–10)	6.0/6.6 (3.3–9.9)	6.6 (3.3–9.0) ^g
Oceans	–	–	8.2 (3–16)	8.2 ^g (3–6)	3.0/3.6 (1.0–5.7)	3.8 (1.8–5.8) ^k
Lightning	5 (2–12)	1.1–6.4 (3–7)	–	–	–	–
Atmospheric chemistry	<0.5	–	–	–	0.6 (0.3–1.2)	0.6 (0.3–1.2) ^c
Natural total	8.8	8.4–13.7	10.6	10.6	9.6/10.8	11.0
Total sources	51.9 (27.2–60.9)	41.8–47.1 (37.4–57.7)	53.4 (40–70)	56.1 (26.8–78.4)	17.7/14.9 (5.9–37.5)	17.7 (8.5–27.7)

Global sources (TgN yr⁻¹) of NO_x, NH₃ and N₂O for the 1990s



Preto: pré industrial. Vermelho: antropogênico
 (as flechas indicam fluxos, caixas mostram estado dos reservatórios)
 GPP – Produção Primária Bruta - anual

Distribuição Percentual do Consumo Energético por tipo de fonte (ano de 2008) (Energy Information Administration, 2011)

Região ou País	Fonte Energética (Participação em %)					
	Petróleo	Gás Natural	Carvão	Hidro e Renováveis ^a	Nuclear	Outras
Mundo	36,1	21,9	27,5	10,2	1,76	2,53
Estados Unidos	42,3	23,2	22,4	6,99	2,75	0,48
América do Norte	41,3	23,4	19,8	9,60	2,51	0,82
Países desenvolvidos ^b	41,6	22,3	19,2	9,05	1,86	2,36
Europa Oriental e ex-União Soviética	21,0	49,5	17,6	5,94	1,86	0,41
Ásia em desenvolvimento ^c	26,1	8,19	56,2	9,14	0,29	3,13
Oriente Médio	57,9	45,7	1,56	0,39	0,00	5,07
África	33,8	19,1	24,5	19,7	0,20	0,83
América do Sul e Central	45,9	16,6	2,89	35,4	0,26	0,00
China	19,6	3,13	70,1	7,42	0,26	0,00
Brasil	33,3	6,30	3,94	47,2 ^d	0,38	0,22

Combustíveis Fósseis: 85,5%

Participação no consumo energético global (ano de 2008) (Energy Information Administration, 2011)

Região ou País	Percentual da população mundial (%)	Energia Total (10 ⁹ MWh)	Energia per capita (MWh/capita)	Participação Relativa	
				Energia total (mundo=100%)	Energia per capita (mundo=100%)
Mundo	100	148	22.0	100	100
Estados Unidos	4.5	29.0	95.1	19.6	432
América do Norte	6.9	36.0	77.6	24.3	353
Países desenvolvidos	18.0	71.6	59.2	48.4	269
Europa Oriental e ex-União Soviética	5.1	14.8	43.5	10.0	198
Ásia em desenvolvimento	53.0	40.4	11.3	27.3	51.5
Oriente Médio	3.0	7.5	36.6	5.1	166
África	14.3	5.5	5.7	3.7	26.0
América do Sul e Central	6.7	8.1	18.0	5.5	81.7
China	19.7	25.2	19.0	17.0	86.3
Brasil	2.9	3.7	19.3	2.5	87.6

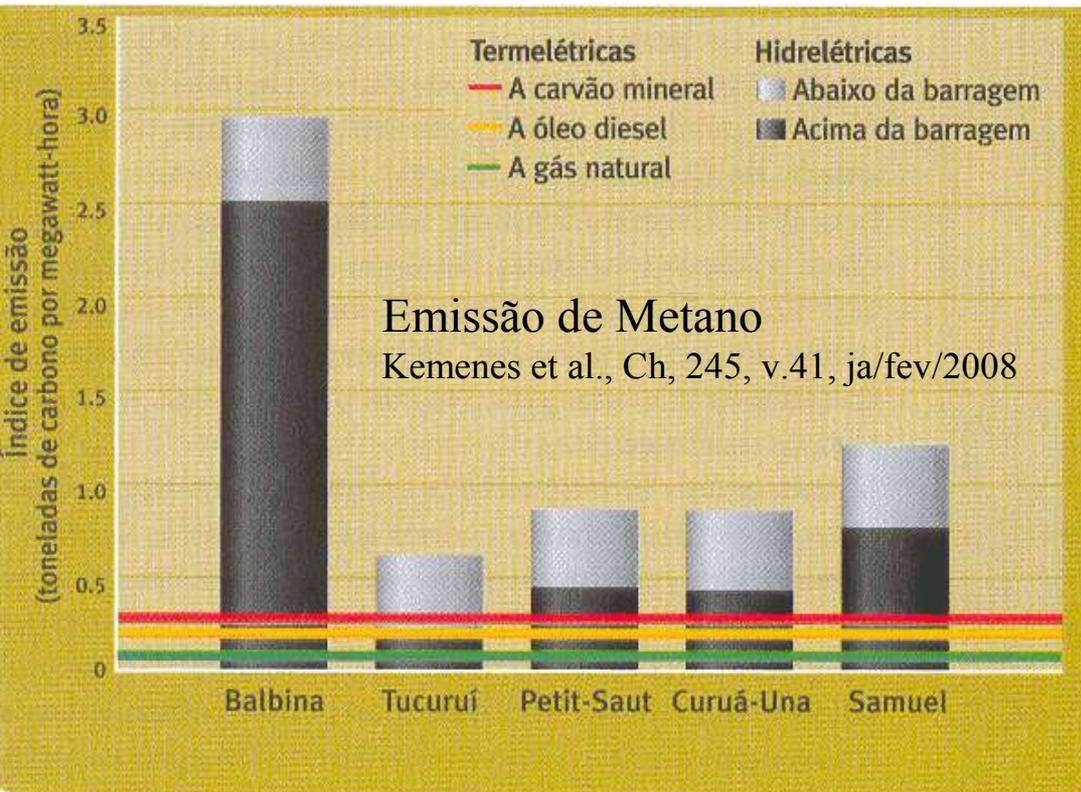
Energia total estimada disponível nos estoques mundiais de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão)

9 x 10¹² MWh

Energia total proveniente do Sol incidente sobre a superfície da Terra durante 1 ano^c

7 x 10¹⁴ MWh

Hidrelétricas são “sustentáveis”?



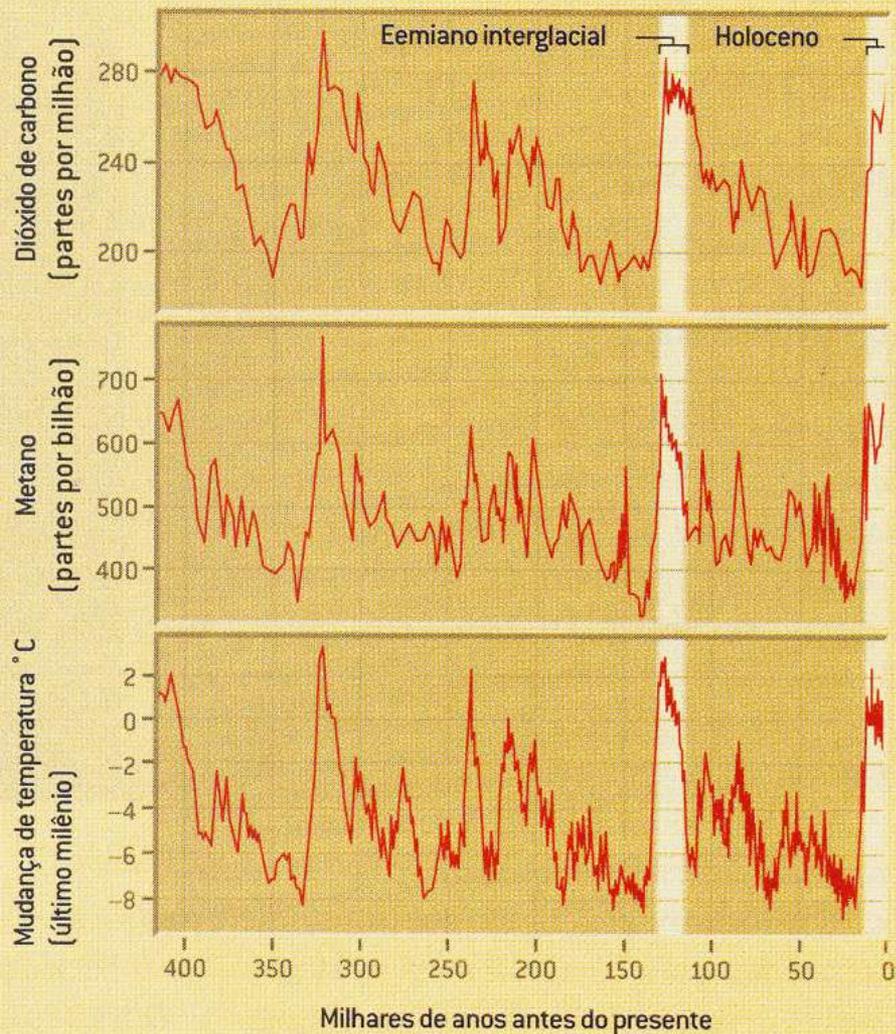
• Sobradinho, no São Francisco, instalada em clima semi-árido, tem lago de 4214 km², perde 400 m³/s por evaporação. Abaixar 2 m (em 393 m), reduziria a área do espelho de água em 18% e baixaria a evaporação para 320 m³/s.

• Balbina (170 km ao norte de Manaus). Tem reservatório com área de 2360 km² e potência nominal de 250 MW. Se a área fosse usada para produzir madeira com produtividade modesta e usina termelétrica com eficiência de 35%, geraria 700 MW de potência.

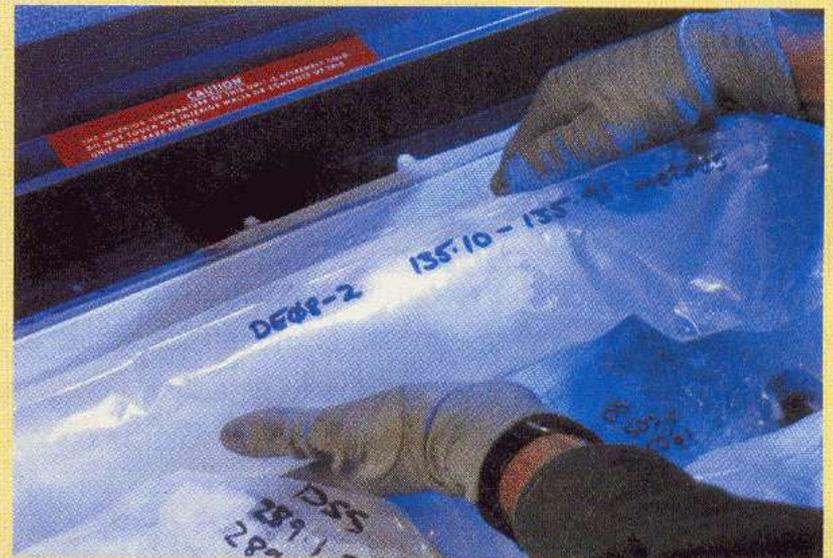
(Luiz C. B. Molion, *Especial Scientific American Terra* 3.0)

Mudanças Climáticas

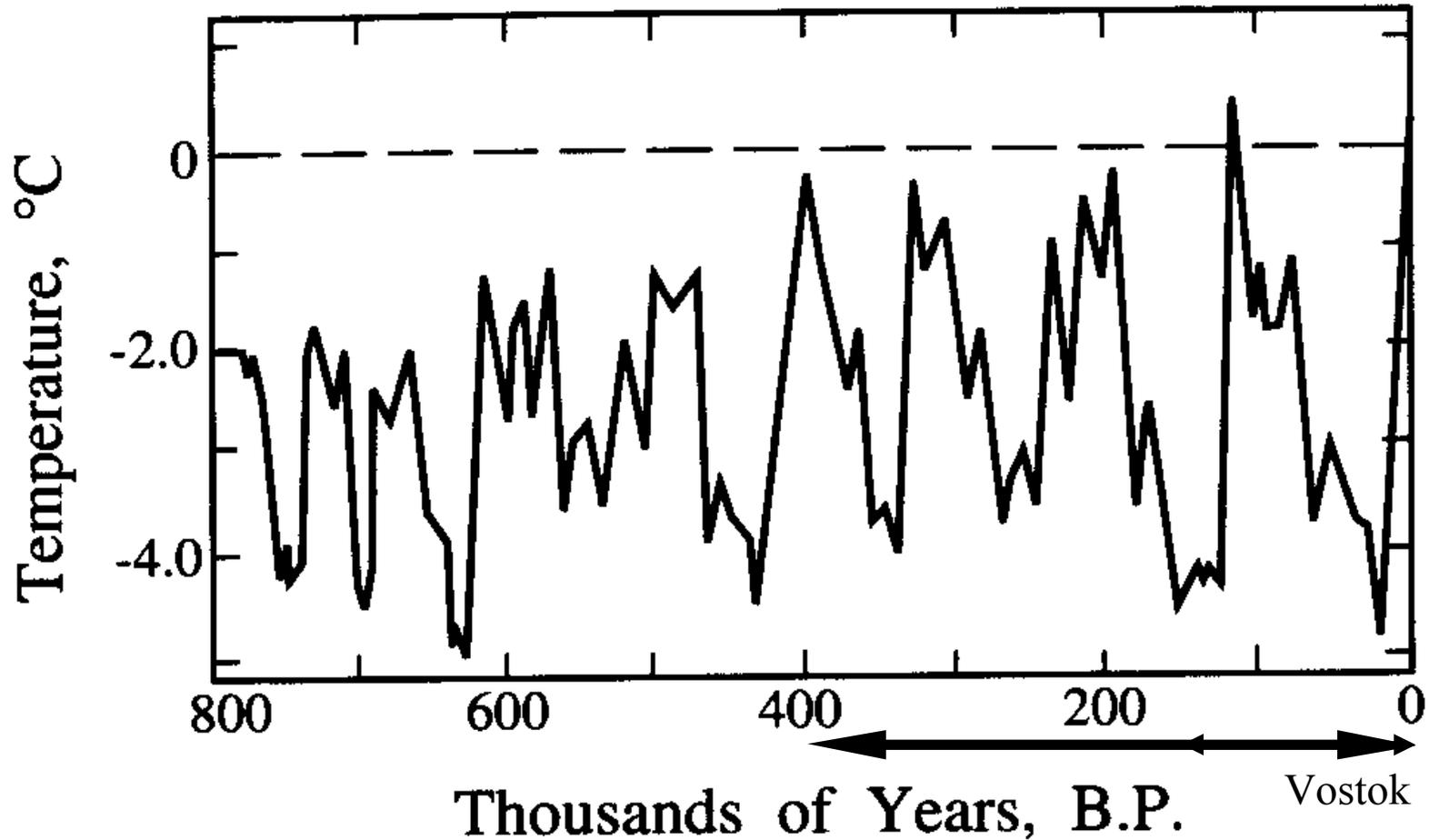
Parte-III

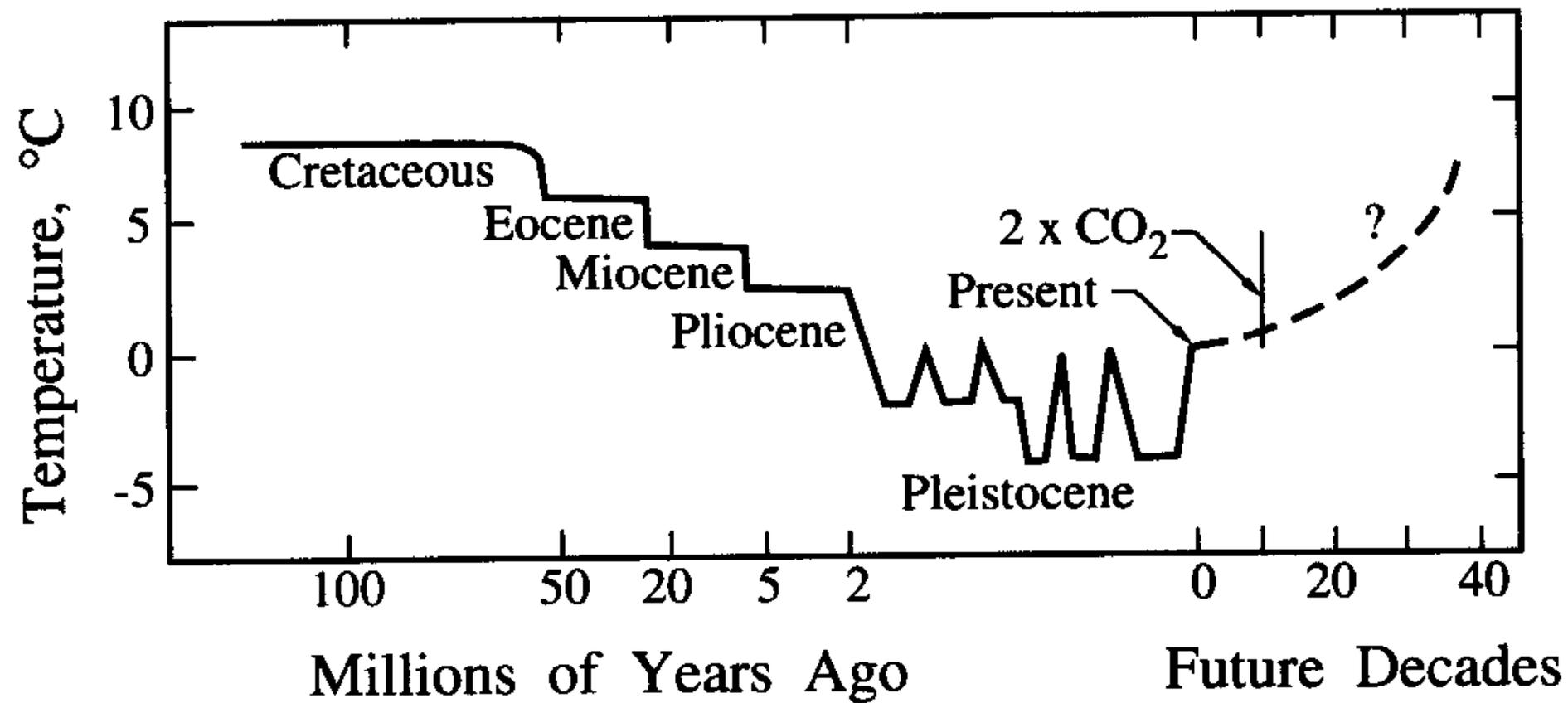


O GELO DA ANTÁRTIDA preservou um registro de 400 mil anos de temperatura e dos níveis de dióxido de carbono e metano na atmosfera. Os cientistas estudam os gases aprisionados em bolhas de ar no gelo – geralmente usando amostras (foto) de perfurações no manto de gelo e transportadas para um laboratório. O registro histórico nos fornece duas medidas críticas: comparação do presente período interglacial (o Holoceno) com a mais recente era glacial (20 mil anos atrás) oferece uma medida precisa da sensibilidade do clima a forçantes. A temperatura no período interglacial anterior (o Eemiano), quando o nível do mar estava vários metros mais alto que hoje, define uma estimativa do aquecimento que a civilização atual consideraria interferência antropogênica perigosa no clima.



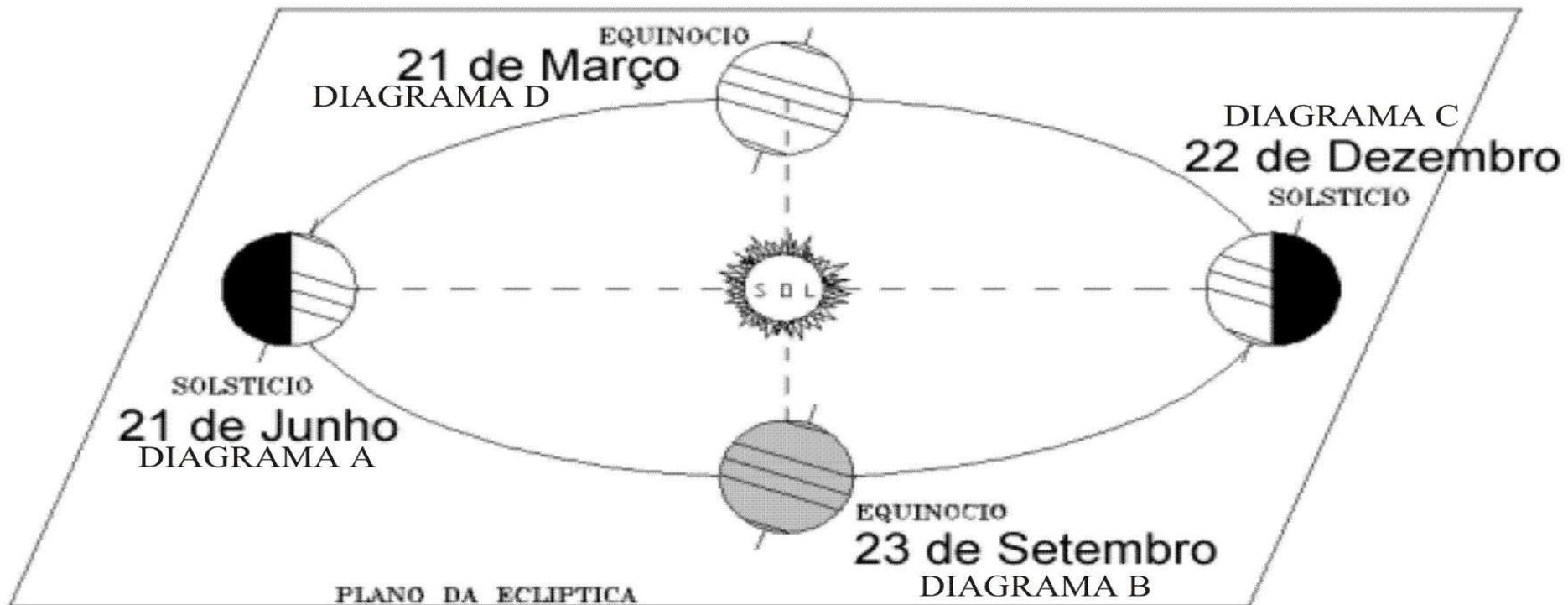
Temperatura avaliada por sedimentos marinhos - fósseis de planctons
Pela relação $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ (aumenta com temperatura do oceano)



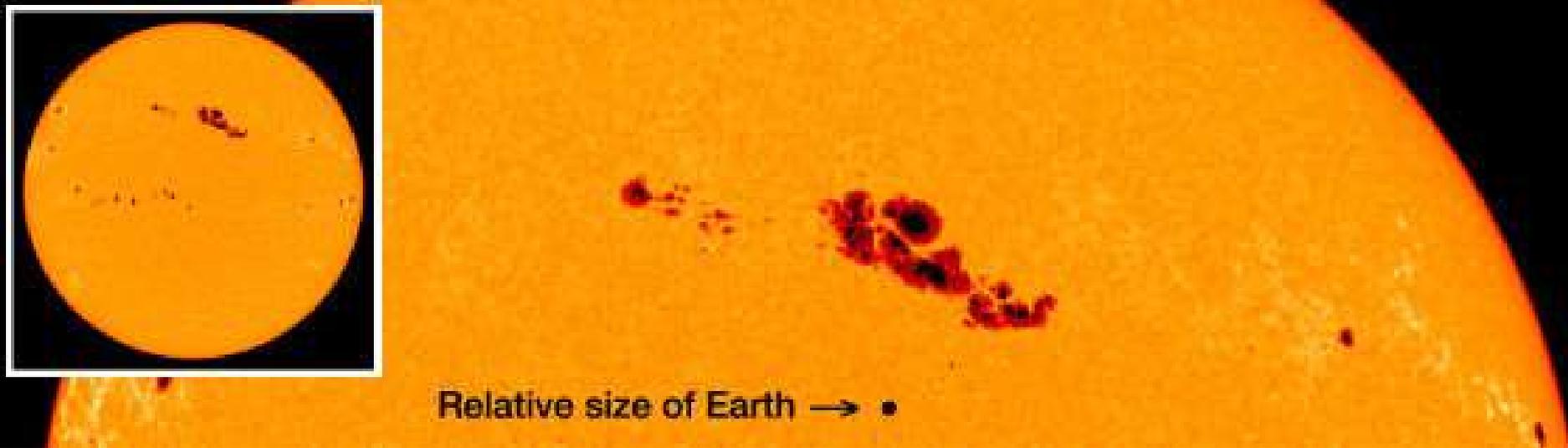


SOL

Motor do Clima



Estações do Ano



**Manchas solares
ciclo de 11 anos
(~1,3 W/m²)**

Quanto mais
manchas, mais
radiação solar

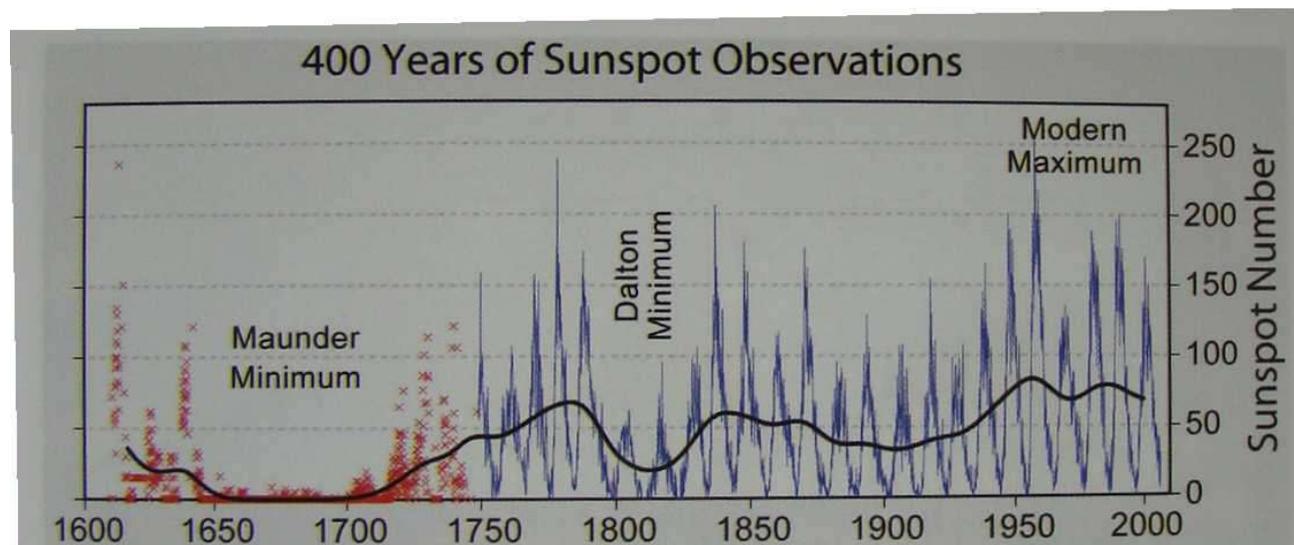
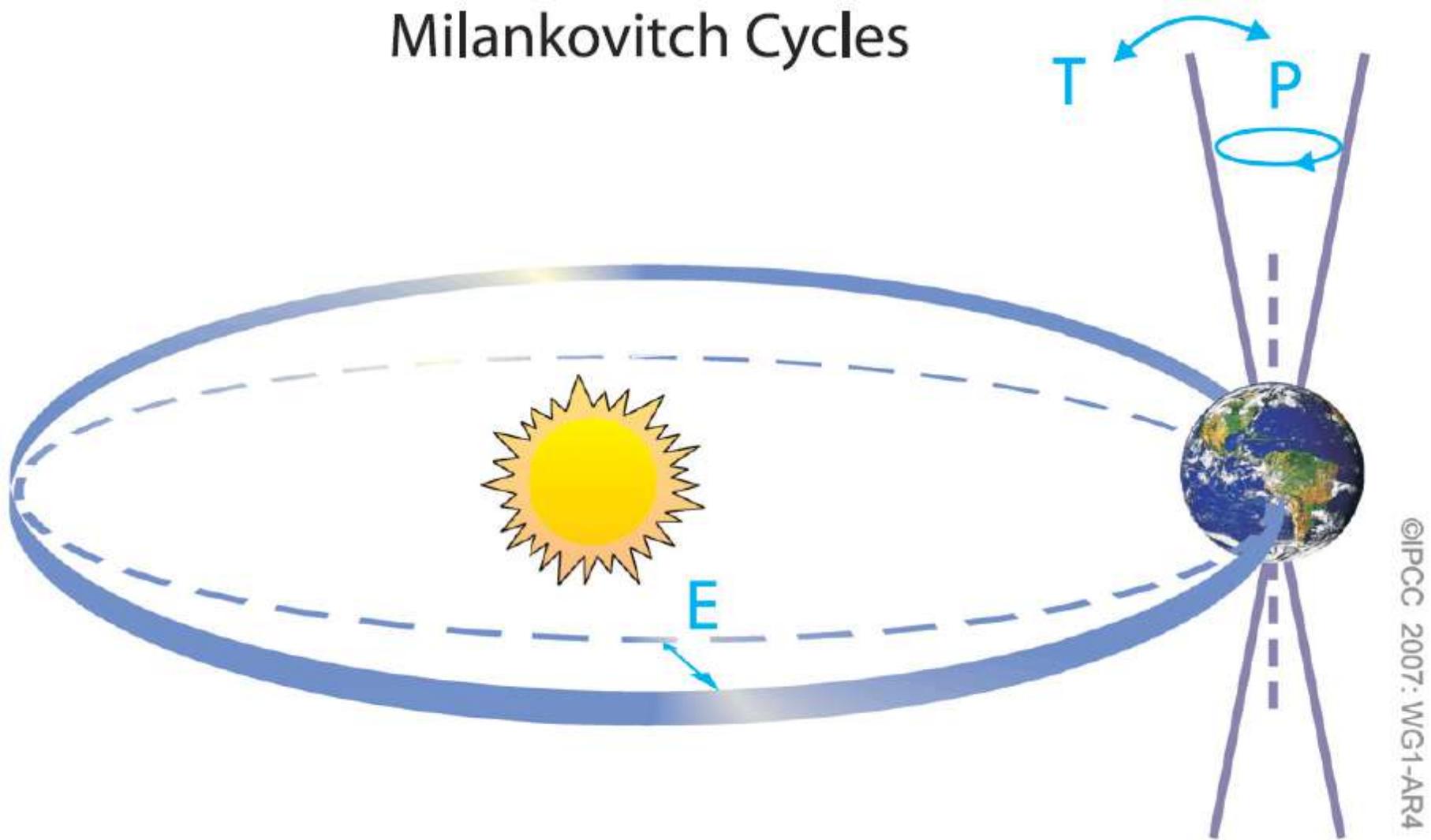


Figure 2.12 Sunspot observations for the past 400 years. Sunspot numbers follow an 11-year cycle, the Schwabe cycle (see blue curve). Beyond that they also show longer-term variations, see the smoothed black curve. Sunspot numbers correlate with the intensity of solar radiation: when there are lots of sunspots, radiative forcing is strong. Solar activity increased in the first half of the twentieth century, but it has been steady since, even showing some decline over the past 20 years.

Milankovitch Cycles



Excentricidade (E – 95, 125, 400 mil anos) - atualmente, + 6,9% no hemisfério sul

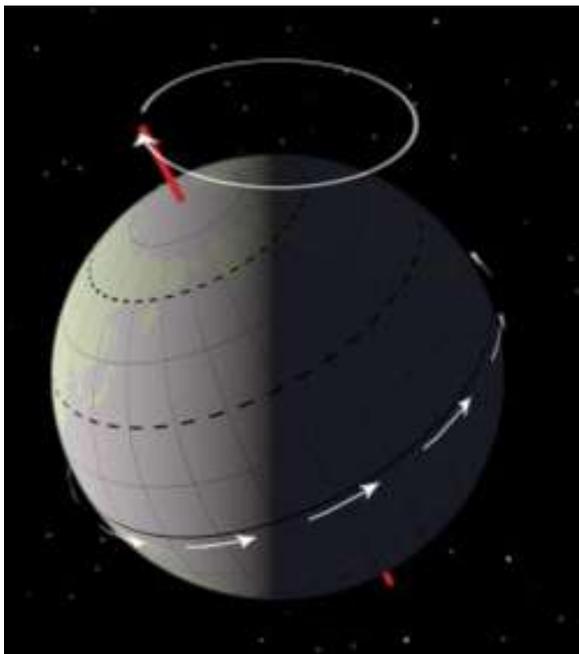
Precessão (P - 19 a 24 mil anos) - inverte estações do ano

Obliquidade (T 41 mil anos) - oscilação de período longo no ângulo da precessão

Nutação (18,6 anos) - oscilação de período curto na precessão.

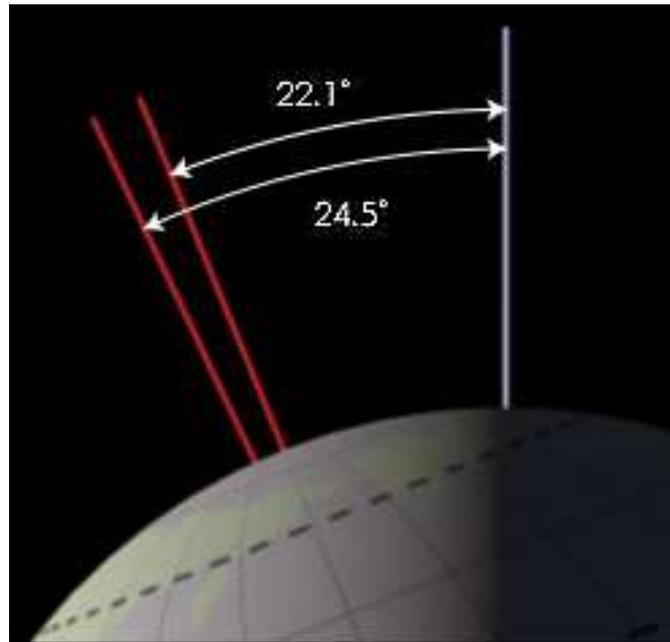
Precessão

ciclo de 19 a 24 mil anos



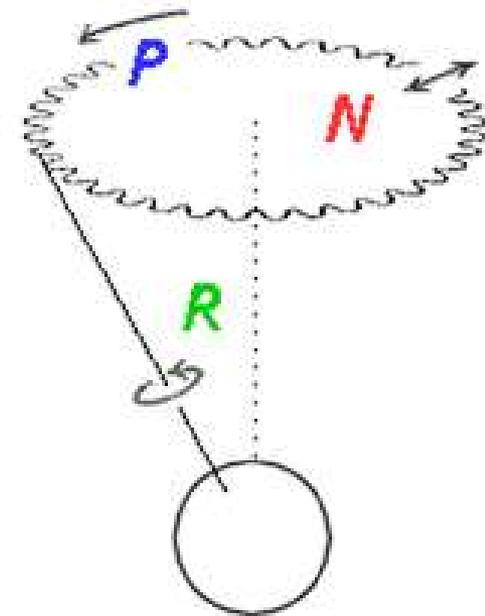
Obliquidade

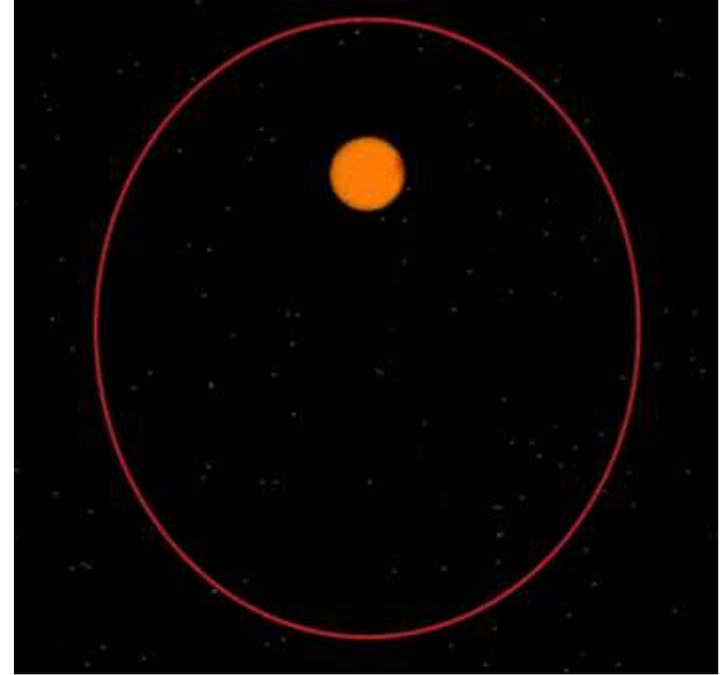
ciclo de 41 mil anos



Nutação

ciclo de 18,6 anos

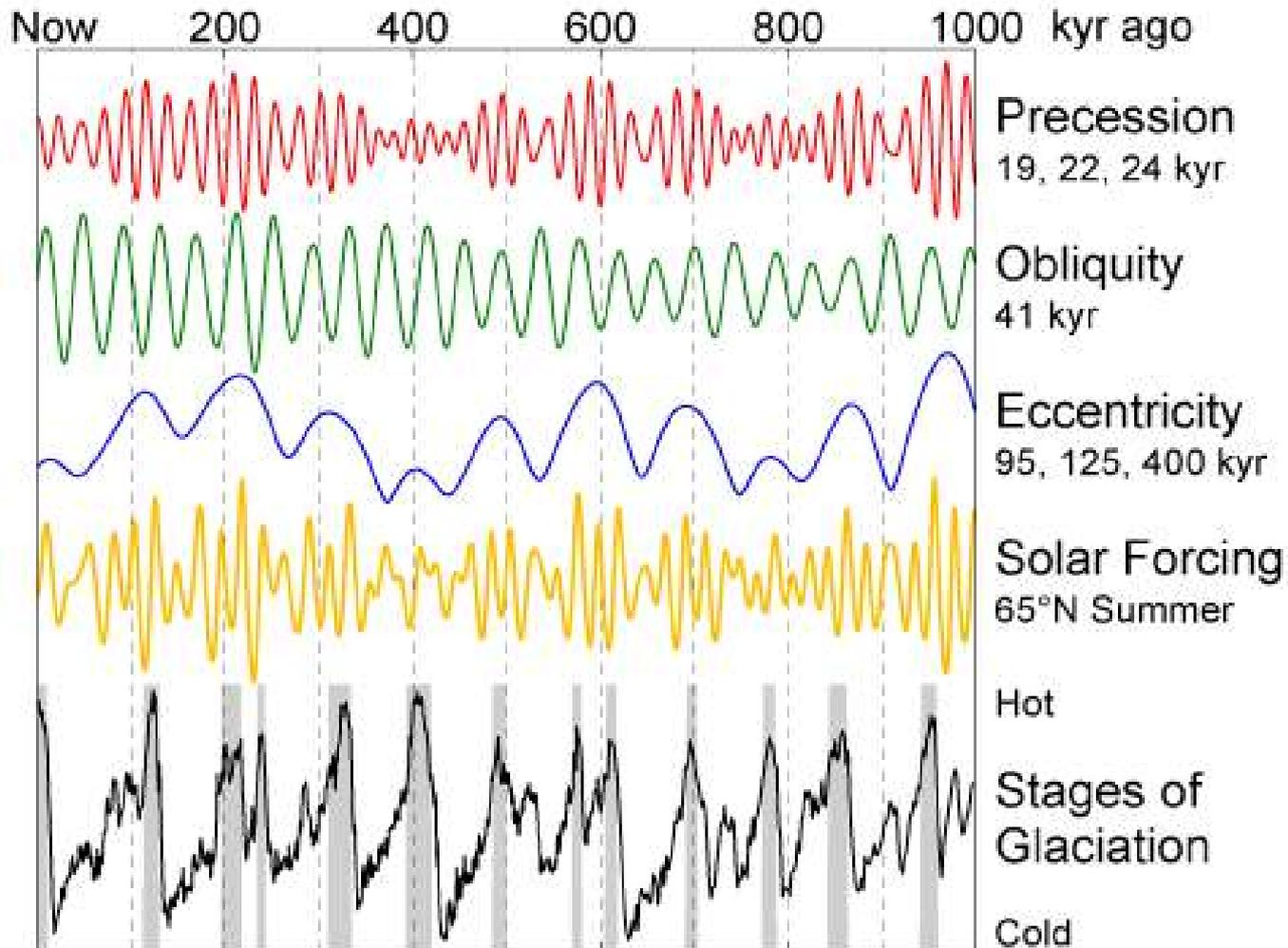




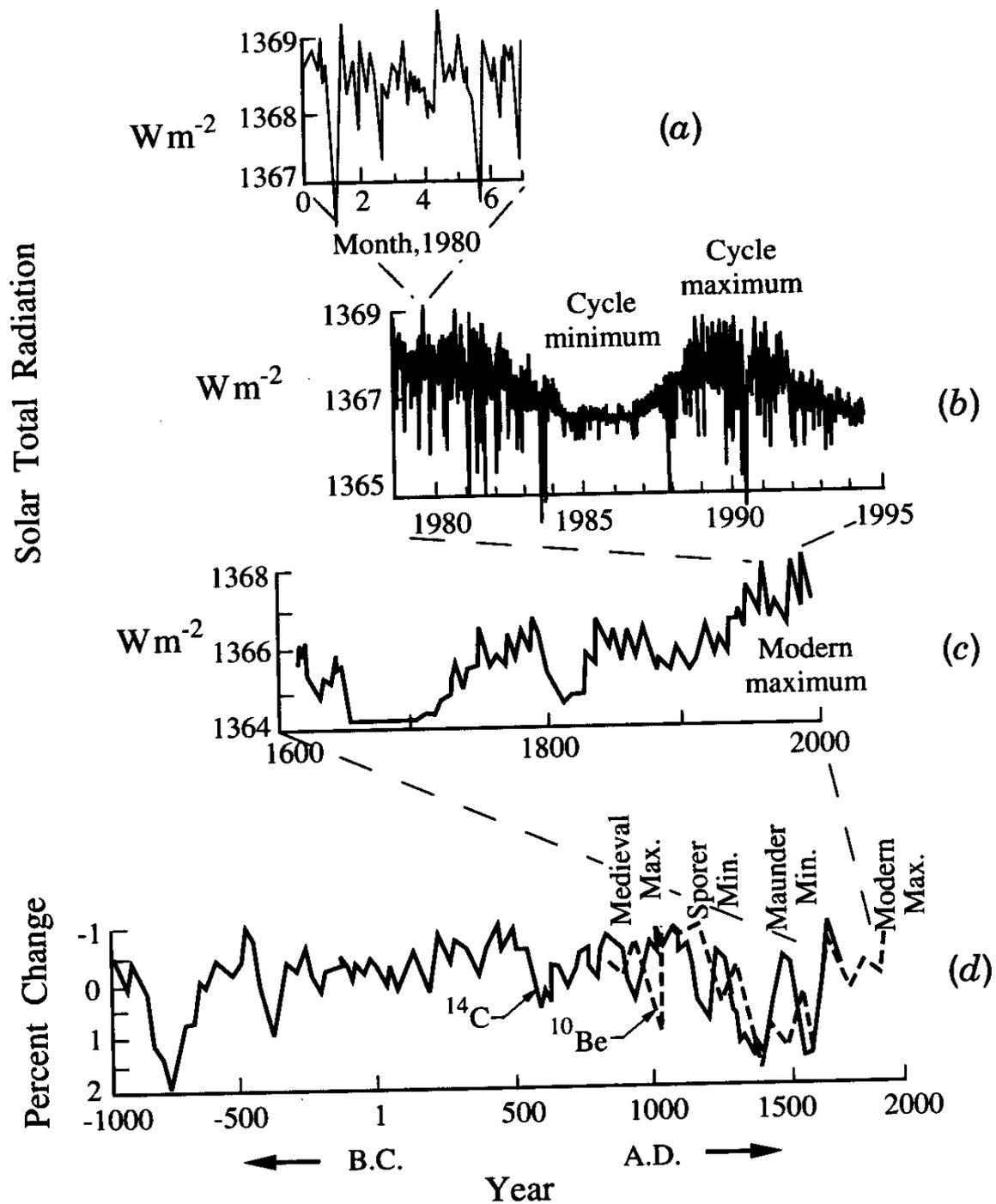
Excentricidade da órbita da terra
atualmente significa 6,9% a mais energia solar no hemisfério sul

Ciclo de Milankovitch

~100 mil anos

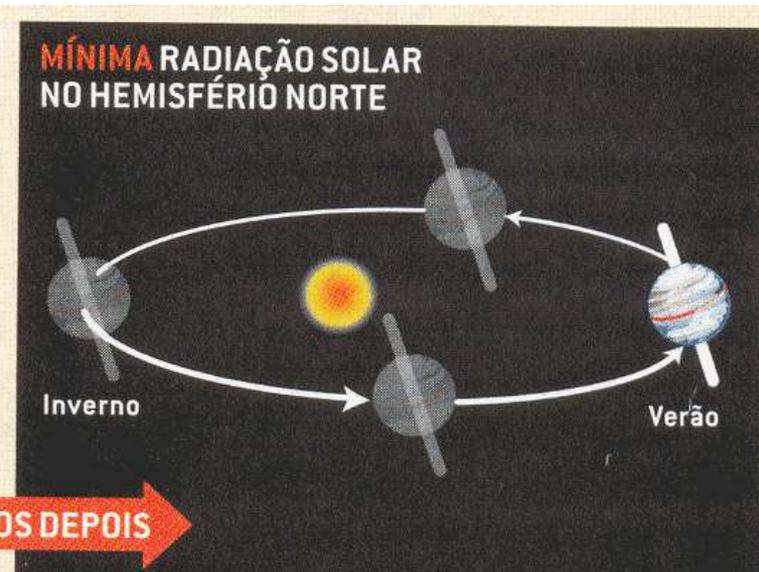
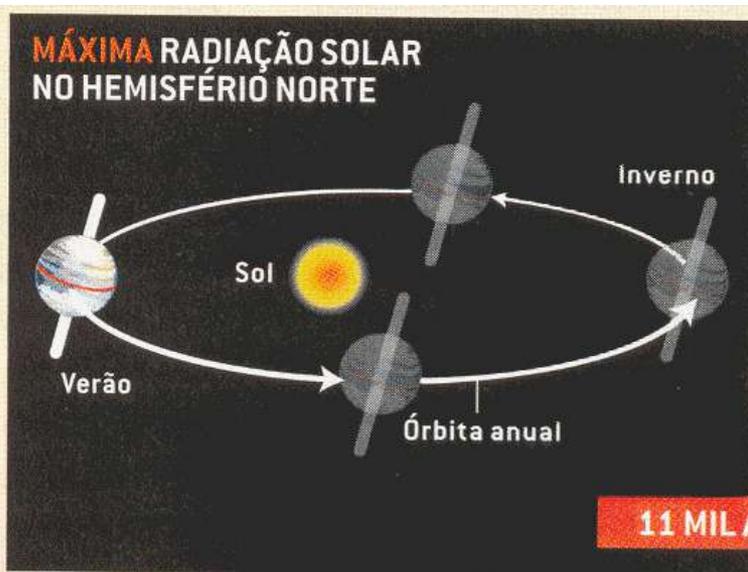


sol+ intenso, menos raios cósmicos. ^{14}C e ^{10}Be são sensíveis a isso.



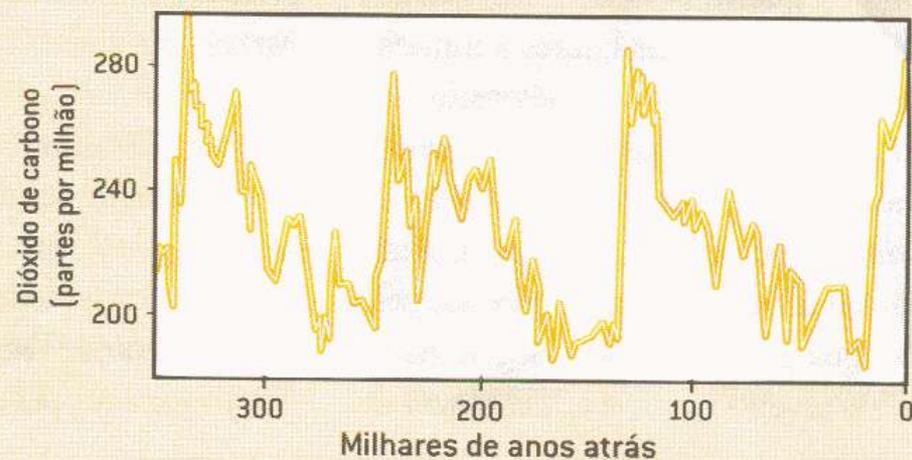
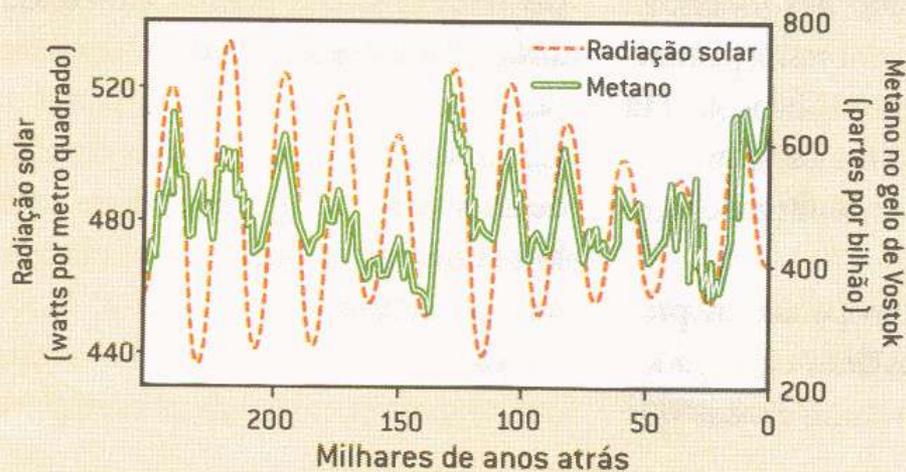


Um bamboleio no eixo de rotação da Terra, conhecido como precessão, é um dos três ciclos orbitais que respondem por variações na luz solar no Hemisfério Norte. Como um pião de brinquedo prestes a cair, os eixos



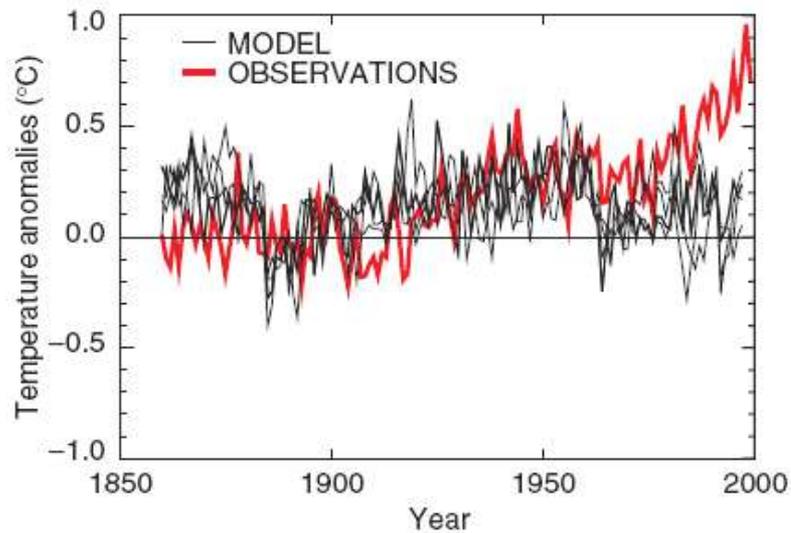
11 MIL ANOS DEPOIS

Willian Rudiman, Scientific American-BR, Especial Aquecimento, 2006



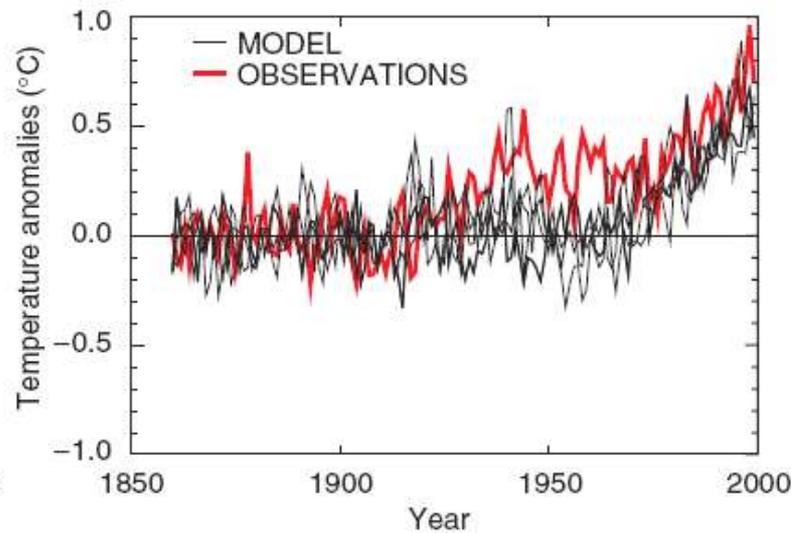
(a)

NATURAL : Annual global mean temperatures



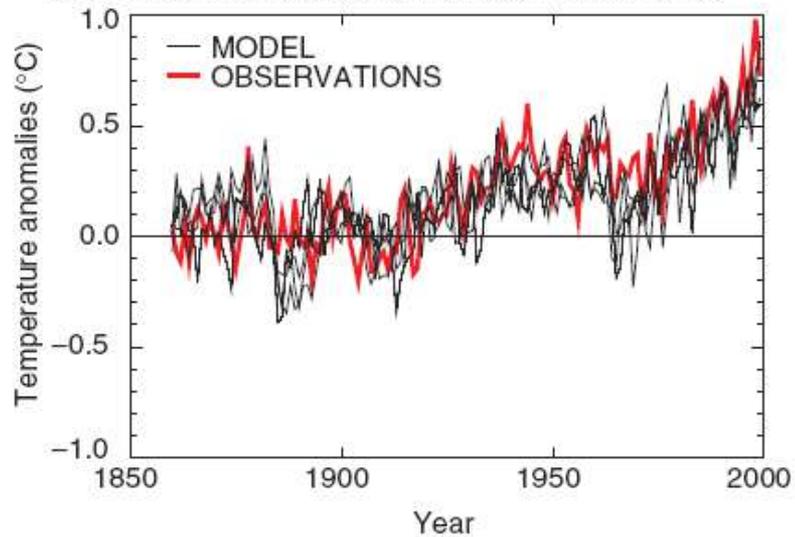
(b)

ANTHROPOGENIC : Annual global mean temperatures



(c)

ALL FORCINGS : Annual global mean temperatures



Que direção dar ao debate social?

A humanidade vai ou não vai mudar o clima?

Que direção dar ao debate social?

A humanidade vai ou não vai mudar o clima?

- Os modelos científicos indicam que isso é provável.
- Mas fazer ciência é questionar e duvidar constantemente daquilo que acreditamos saber.
 - Religiões baseia-se em certezas.
 - O método científico é uma ferramenta poderosa para adquirimos conhecimento. Mas errar é uma regra ao fazermos ciência: Galileu, Newton, Darwin, Einstein
- Discussão catastrofista é problemática – GEOENGENHARIAS – “colocar termostato na terra”

- Pintar telhados de branco
- Lançar espelhos no espaço para regular a rad. Solar
- Selecionar plantas claras, que reflitam mais a rad. Solar
- Lançar sulfatos na atmosfera para espalhar rad. Solar
- Lançar fertilizantes nos oceanos – reter mais CO2
- Estimular a formação de nuvens – refletir rad. solar

REFRIGERAÇÃO ARTIFICIAL

As propostas de geoengenharia para atenuar a crise do clima

Opções para bloquear radiação solar

1 Guarda-sol espacial
Lançar objetos ao espaço para barrar a luz solar ou construir barreiras de asteroides desviados poderia funcionar como uma obstáculo físico para parte da radiação solar



2 Fábricas de nuvens
Borrifar no céu partículas que favorecem a agregação de gotículas aumentaria a cobertura de nuvens refletoras



3 Capa estratosférica
Aumentar as partículas de aerossol na estratosfera faria parte da radiação solar ser barrada; é o que ocorre numa erupção vulcânica



4 Clareamento terrestre
Ao pintar casas e estradas de branco ou plantar vegetais mais claros, seria possível refletir parte da radiação solar que hoje aquece a terra



Outros benefícios associados ao controle equilibrado de possíveis mudança climáticas globais antropogênicas

Energia por queima de combustíveis fósseis - CO₂ e CH₄

- alta associação com outros poluentes. e.g. uso intensivo de veículos
- efeitos na saúde (e.g. 2500 mortes adicionais/ano em São Paulo, 1,3 milhões no mundo)
- 5000 mortes por acidentes na RMSP, 35.000 no Brasil e 1,3 milhões no mundo.
- consequências de sistema de transporte elitista, irracional e ineficiente.

Atual Modelo Agrícola é insustentável – N₂O e CH₄

- Monocultura & criação extensiva de gado
- Na última metade do século passado perdeu-se 1/5 da camada superficial do solo, 1/5 das terras cultiváveis e 1/3 das florestas.

Biodiversidade

Nos últimos 65 milhões de anos, estima-se que ocorria a extinção de 1 espécie/milhão de ano. Atualmente são 1000! Estima-se que 2/3 das espécies atuais terão desaparecido até o final do século.

Qualidade de Vida

~20% da população mundial não tem acesso a água potável

~25% da população mundial vive com menos de US\$1/dia.

- 50% a 1/8 da população mundial padece de desnutrição

- 10% detém 87% da riqueza, restando a 90% apenas 13%

- Seriam necessárias 3 terras para estender o padrão de vida dos países desenvolvidos para todo o planeta.

- Não há conflito entre preservação do meio ambiente e qualidade de vida.
- Soluções equilibradas e sustentáveis significam maior eficiência energética, uso de energias limpas e duráveis, menor consumo de recursos naturais, ambiente mais propício à vida saudável e agradável, compromisso com as gerações futuras.

A discussão sobre o clima não pode estar desvinculada da construção de uma sociedade justa igualitária e sustentável.

A discussão sobre o clima não pode estar desvinculada da construção de uma sociedade justa igualitária e sustentável.

Tema atual que permite integrar em sala de aula:

- tópicos de ciências
- discussão de uma importante questão ambiental, complexidade dos sistemas ambientais e a conexão entre suas diferentes áreas.
- cidadania, justiça e equidade social