



# 1º SIMPÓSIO INTEGRADO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

8 a 10 de Outubro de 2025

Local: Centro de Convenções da Unesp/FCAV

## Introdução às mudanças climáticas globais, impactos, adaptações e mitigação

Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso

Departamento de Ciências Exatas  
Unesp Câmpus de Jaboticabal



FCAV/UNESP  
08/10/2025





## 1970 – Fumar não está ligado ao câncer

A indústria do tabaco gastou enormes quantias em campanhas **de desinformação** e propaganda para negar e desviar a ciência ligando o tabagismo ao câncer.

- há evidências científicas inadequadas de que os componentes tóxicos no fumo são prejudiciais ao fumante;
- A publicidade não aumenta o tamanho da população fumante;
- O fumo passivo não é comprovado que causa doença.

[https://www.emro.who.int/stop\\_tobacco\\_industry/tobacco\\_industry.html](https://www.emro.who.int/stop_tobacco_industry/tobacco_industry.html)



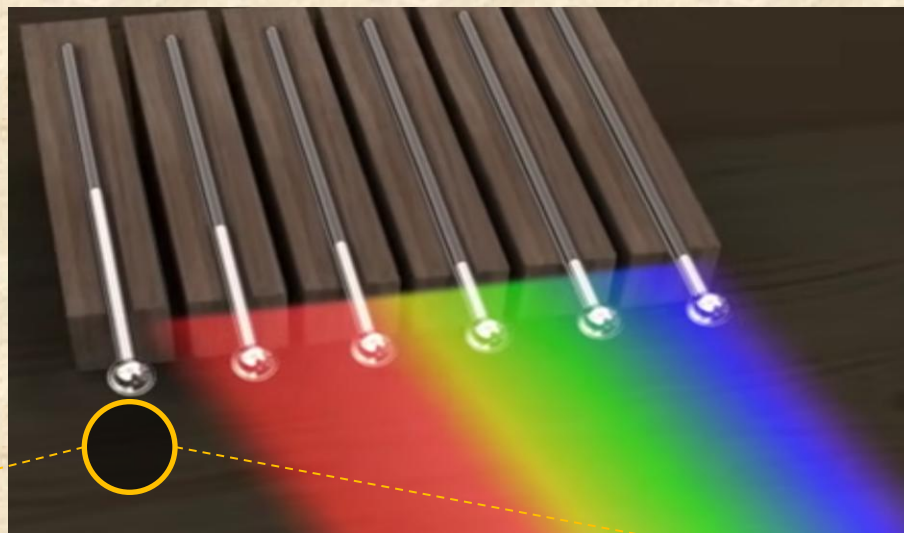
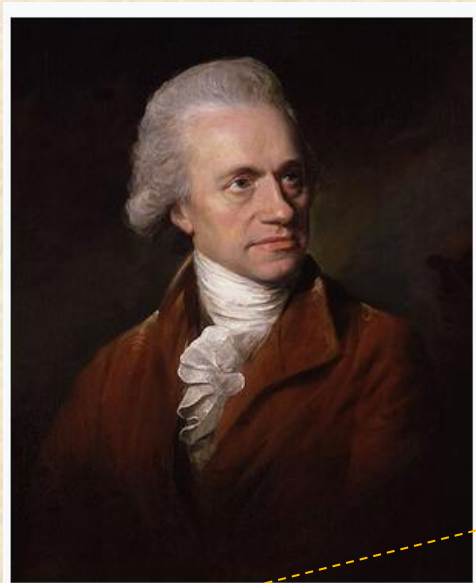
# AR6 - Climate change 2021: The Physical Science basis

A contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação aborda a compreensão física mais atualizada do sistema climático e das mudanças climáticas, reunindo os mais recentes avanços na ciência climática

<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>



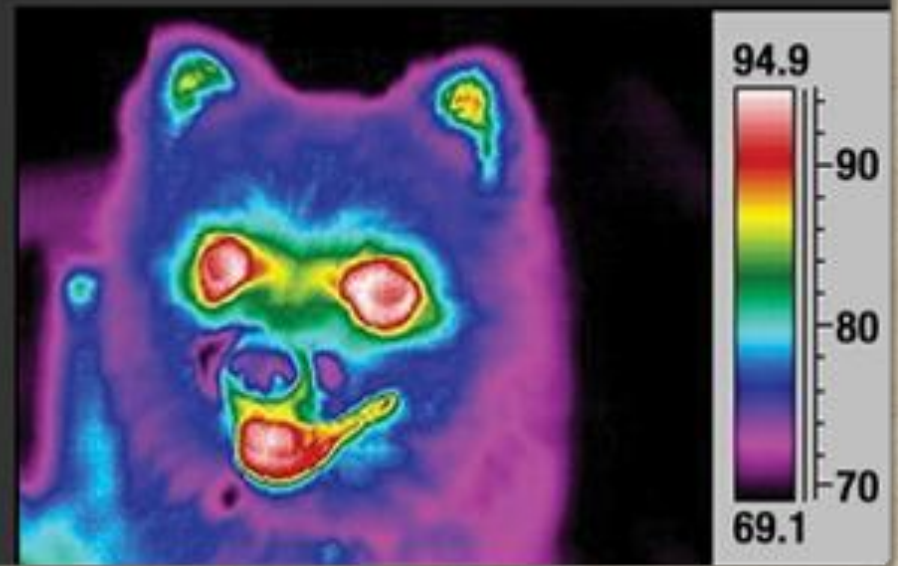
# Descoberta da Radiação Infravermelha – Herschel (1800)



Infrared Region of the Electromagnetic Spectrum



- Usou prisma de vidro e termômetros para medir a temperatura das cores do espectro
- Filtros de cores transmitiam diferentes quantidades de calor de forma que a temperatura aumentava do violeta para o vermelho.
- Ao medir após o vermelho (sem luz visível), detectou calor ainda maior.
- Concluiu a existência de radiação invisível, chamada de “raios caloríficos”, hoje conhecida como infravermelho.



Podemos perceber parte da energia infravermelha como calor. Alguns objetos estão tão quentes que também emitem luz visível (fogo). Outros objetos, não estão tão quentes e emitem apenas ondas infravermelhas. Nossos olhos não conseguem ver essas ondas, mas instrumentos que detectam energia infravermelha (como óculos de visão noturna ou câmeras infravermelhas).





This page contains archived content and is no longer being updated. At the time of publication, it represented the best available science. ✕

### SVANTE ARRHENIUS (1859-1927)

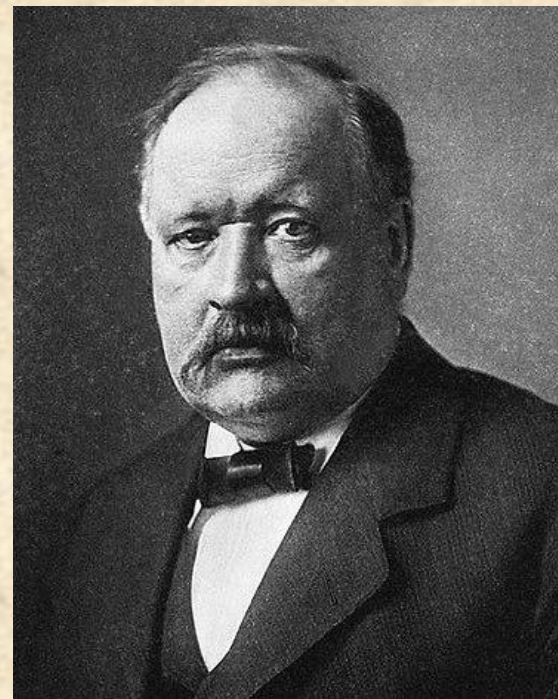
Arrhenius did very little research in the fields of climatology and geophysics, and considered any work in these fields a hobby. His basic approach was to apply knowledge of basic scientific principles to make sense of existing observations, while hypothesizing a theory on the cause of the "Ice Age." Later on, his geophysical work would serve as a catalyst for the work of others.

In 1895, Arrhenius presented a paper to the Stockholm Physical Society titled, "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground." This article described an energy budget model that considered the radiative effects of carbon dioxide (carbonic acid) and water vapor on the surface temperature of the Earth, and variations in atmospheric carbon dioxide concentrations. In order to proceed with his experiments, Arrhenius relied heavily on the experiments and observations of other scientists, including Josef Stefan, Arvid

"ARRHENIUS ARGUED THAT VARIATIONS IN TRACE ATMOSPHERIC CONSTITUENTS COULD INFLUENCE THE EARTH'S HEAT BUDGET."

#### On the Shoulders of Giants

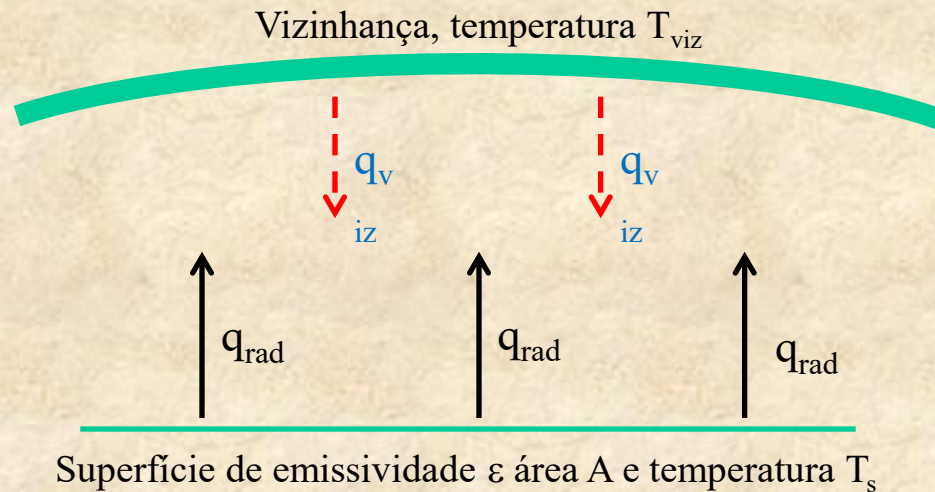
[Svante Arrhenius](#)  
[Arrhenius' Carbon Dioxide Research](#)  
[Hot House Theory](#)  
[Links and References](#)



**Svante August Arrhenius**

Seus cálculos mostraram que a 'temperatura das regiões árticas subiria cerca de 8 ou 9 graus Celsius, se o ácido carbônico (CO<sub>2</sub>) aumentasse de 2,5 a 3 vezes o seu valor atual. Para se alcançar a temperatura da era do gelo entre os paralelos 40 e 50, o carbônico ácido no ar deveria cair para 0,62 a 0,55 do valor atual (reduzindo a temperatura em 4 a 5 graus Celsius).'

# Radiação de Calor: Troca de radiação entre duas superfícies



A radiação é a energia emitida pela matéria que quando numa temperatura  $T > 0 \text{ K}$ .

A energia é transportada na forma de ondas eletromagnéticas, e não exige a presença de um meio material, a radiação se propaga no vácuo.



# Termodinâmica (radiação)



A potência emitida pelo corpo é dado pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A (T_s)^4$$

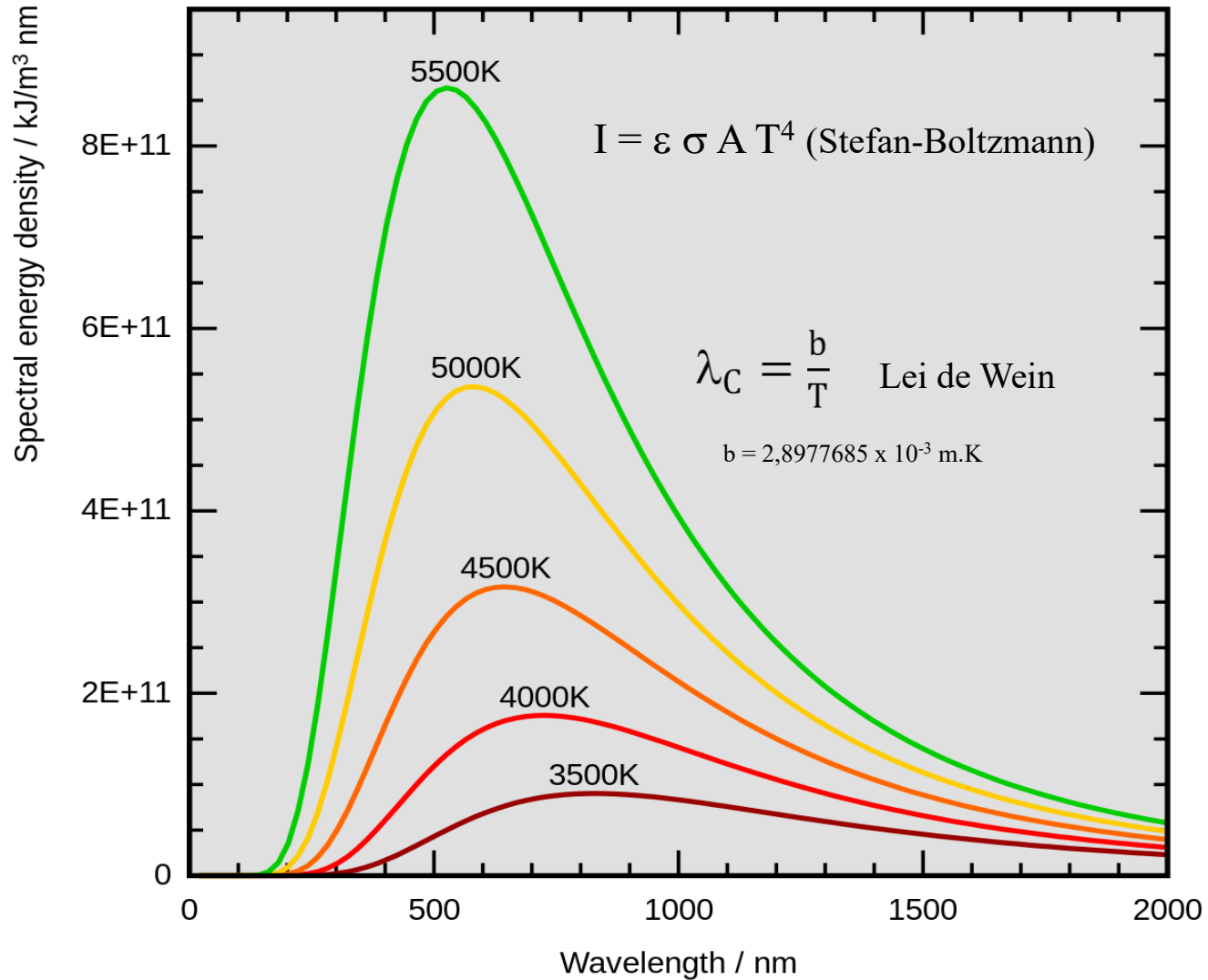
Onde  $T_s$  é a temperatura (K) da superfície,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $\varepsilon$  a emissividade da superfície (entre 0 e 1, adimensional).

Assim, a taxa líquida de troca de radiação térmica entre a superfície e sua vizinhança é dada por:

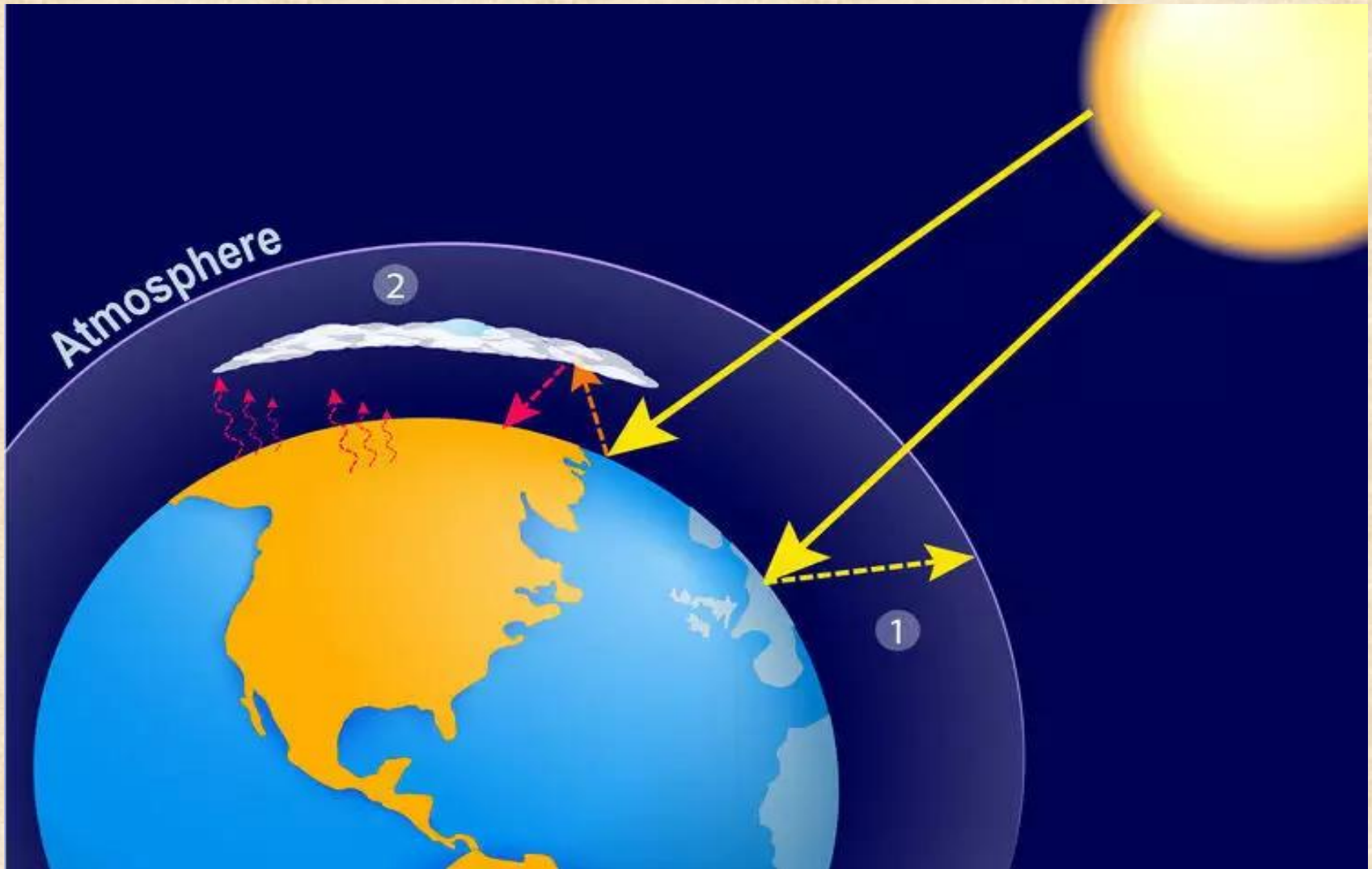
$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{\text{viz}}^4)$$



# Física da radiação térmica



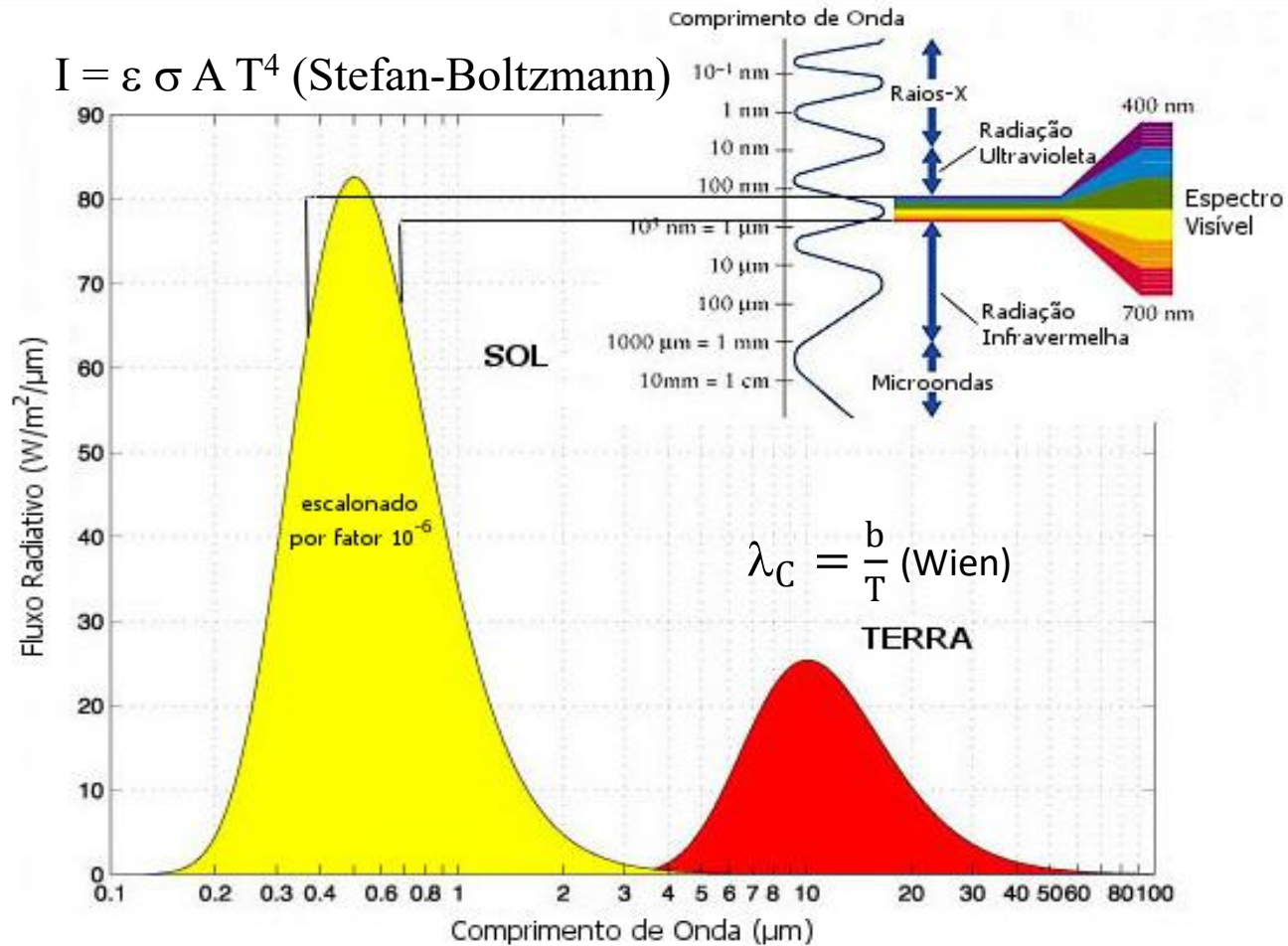
# Efeito Estufa



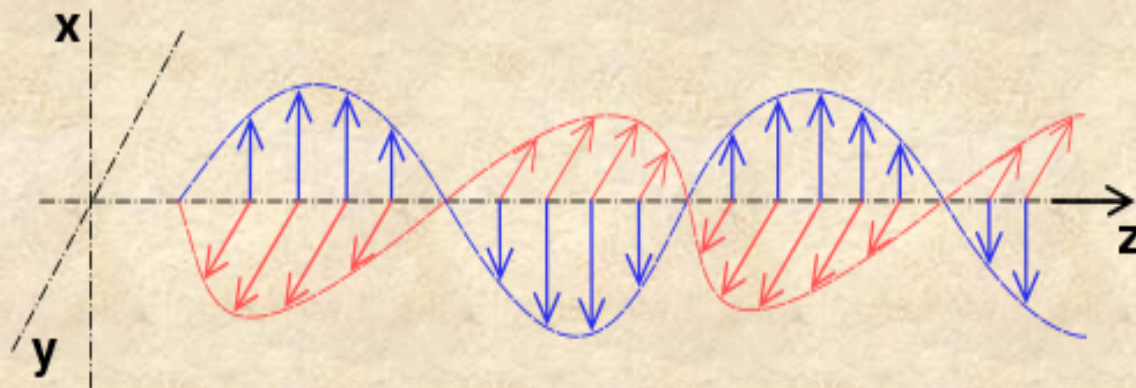
Não houvesse efeito de estufa a temperatura da superfície terrestre seria, em média, cerca de 33 °C mais fria do que é, +15 °C para –18 °C



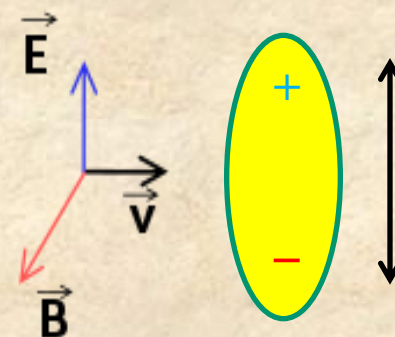
$$I = \varepsilon \sigma A T^4 \text{ (Stefan-Boltzmann)}$$



## Onda eletromagnética



**Molécula**  
(CO<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub>O)



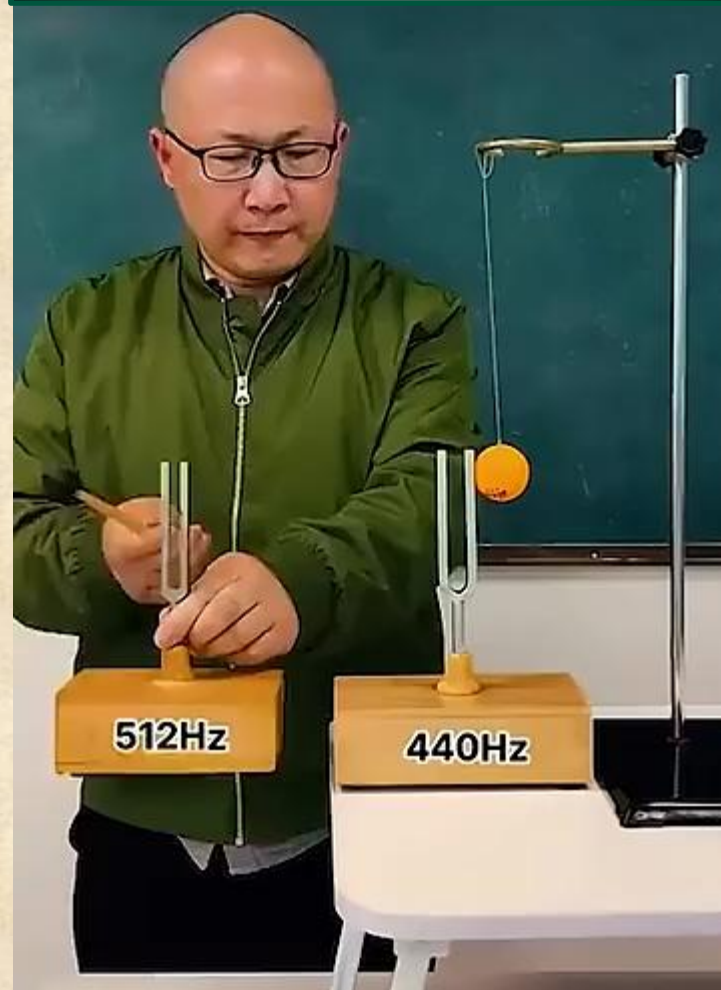
1. A onda se propaga na direção **z**.
2. O campo **elétrico (E, azul)** oscila em uma direção (eixo x).
3. O campo **magnético (B, vermelho)** oscila em direção perpendicular (eixo y).
4. Ambos são perpendiculares entre si e à direção de propagação → **onda transversal**.
5. O campo elétrico da onda faz os elétrons e núcleos da molécula **vibrarem** (polarização).
6. O sinal “+” e “-” mostra como a molécula sofre **oscilações de dipolo elétrico**.

## Relação com gases de efeito estufa (GEE)

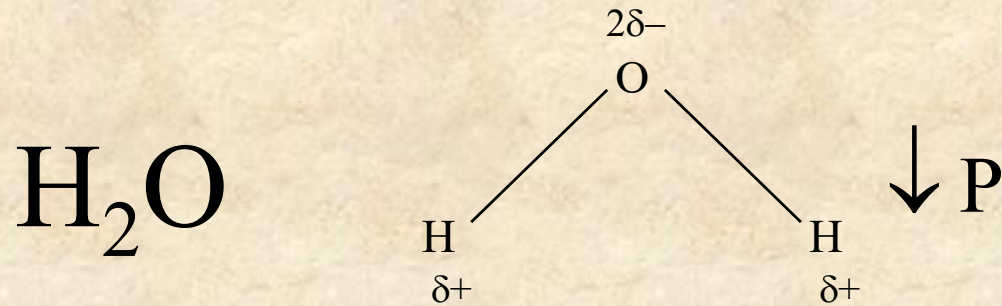
- Quando a radiação infravermelha (calor emitido pela Terra) interage com uma molécula de gás de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O...), **o campo elétrico da onda faz a molécula vibrar**.
- Se essa vibração altera o **momento de dipolo elétrico** da molécula, ela **absorve energia** da radiação.
- Essa energia pode depois ser **reemitida em outras direções**, prendendo parte do calor na atmosfera.



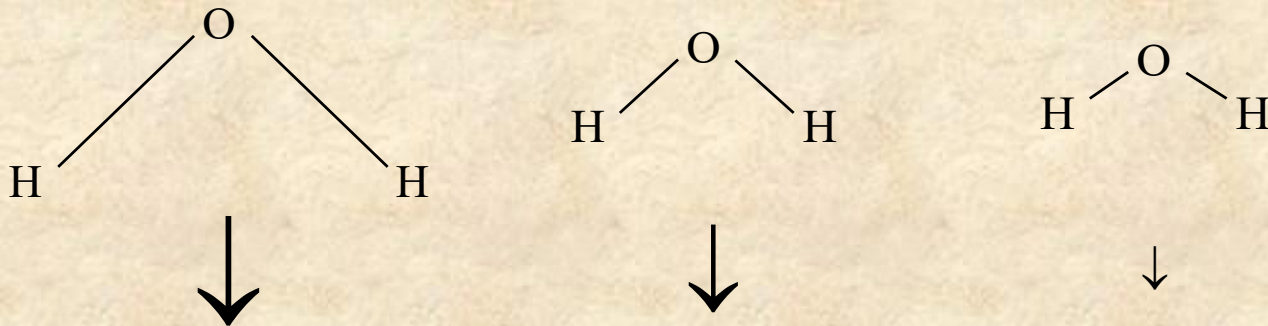
## Experimento de Ressonância



<https://www.youtube.com/shorts/coDTlinuF2k>

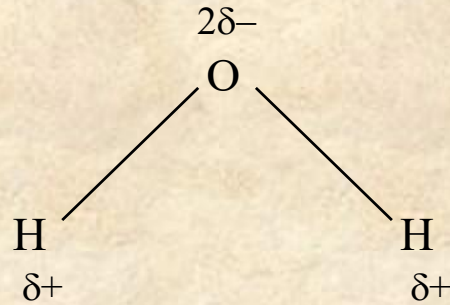
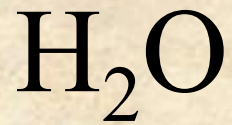


## Deformações Axiais Simétricas e Assimétricas

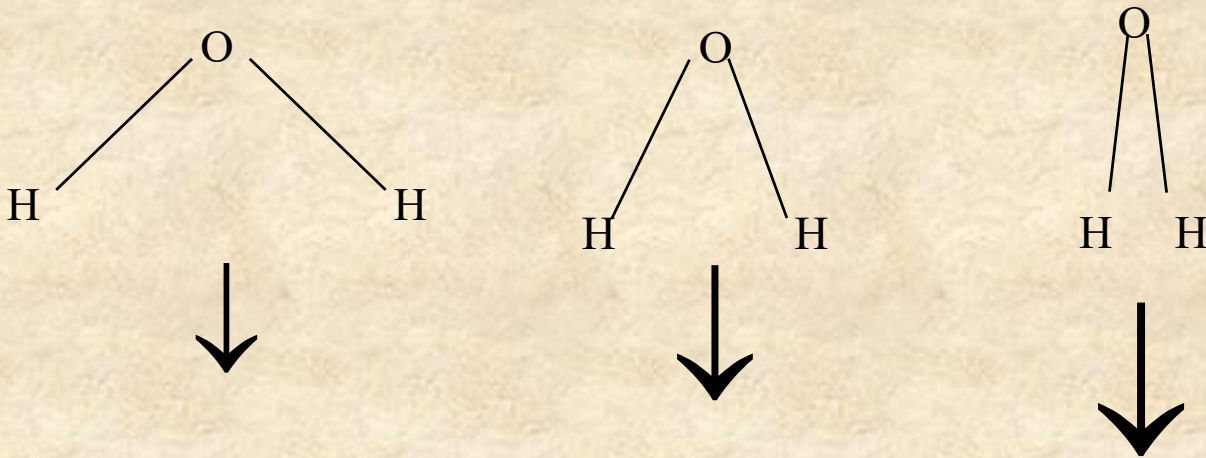


Absorção / emissão na faixa espectral próxima a  $2,7 \mu\text{m}$

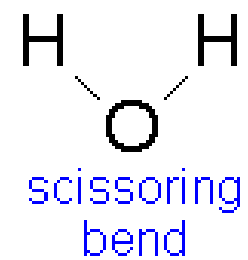
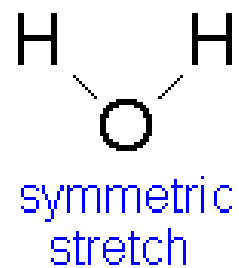
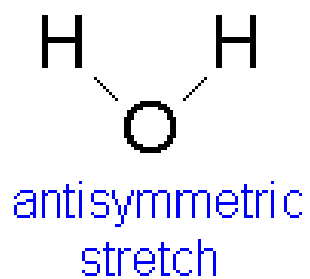
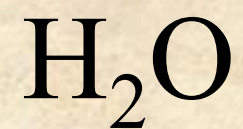




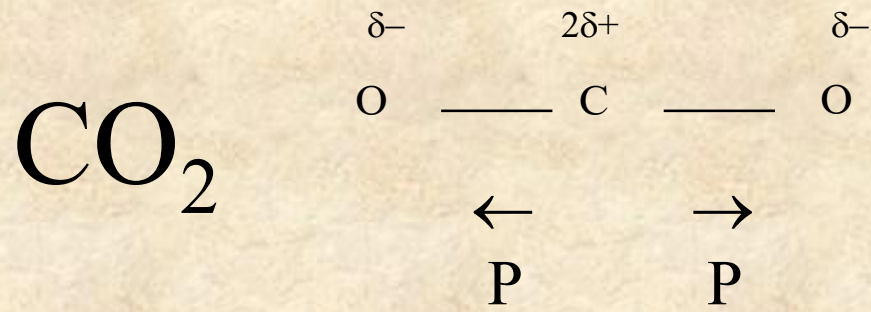
Deformação Angular



Absorção / emissão na faixa espectral próxima a  $6,0 \mu\text{m}$



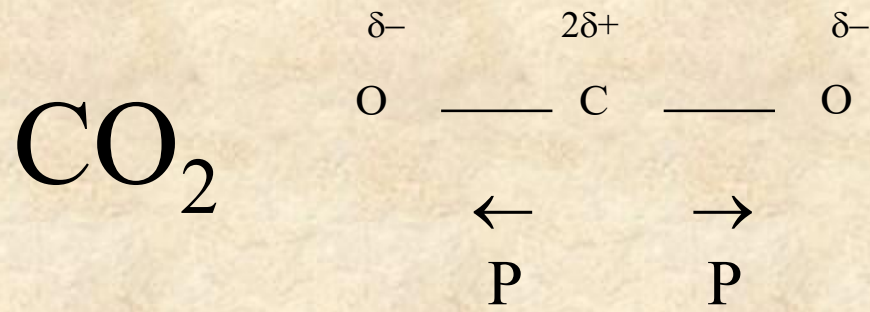




## Deformações Axial Assimétrica



Absorção / emissão na faixa espectral próxima a 4,25  $\mu\text{m}$



## Deformações Angulares Simétricas

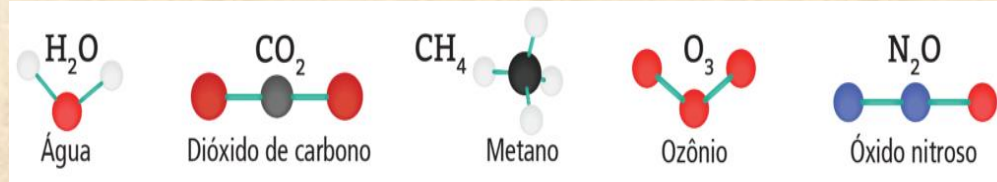


Absorção / emissão na faixa espectral próxima a 15  $\mu\text{m}$



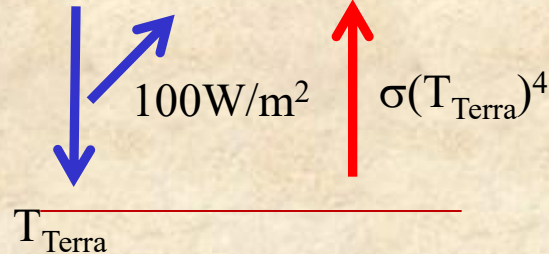


# Efeito Estufa



## Ausência de gases traço

$$I_{\text{Sol}} = 340 \text{ W/m}^2 \quad I_{\text{Terra}} = 340 \text{ W/m}^2$$



Em  $1 \text{ m}^2$

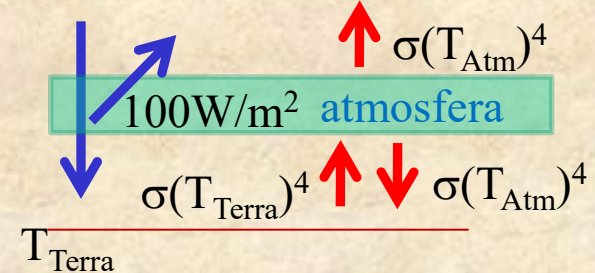
$$I_{\text{Terra}} = 240 \text{ W} = \sigma(T_{\text{Terra}})^4$$



$$T_s = 255 \text{ K } (-18 \text{ } ^\circ\text{C})$$

## Presença de gases traço

$$I_{\text{Sol}} = 340 \text{ W/m}^2 \quad I_{\text{Terra}} = 340 \text{ W/m}^2$$



Em  $1 \text{ m}^2$

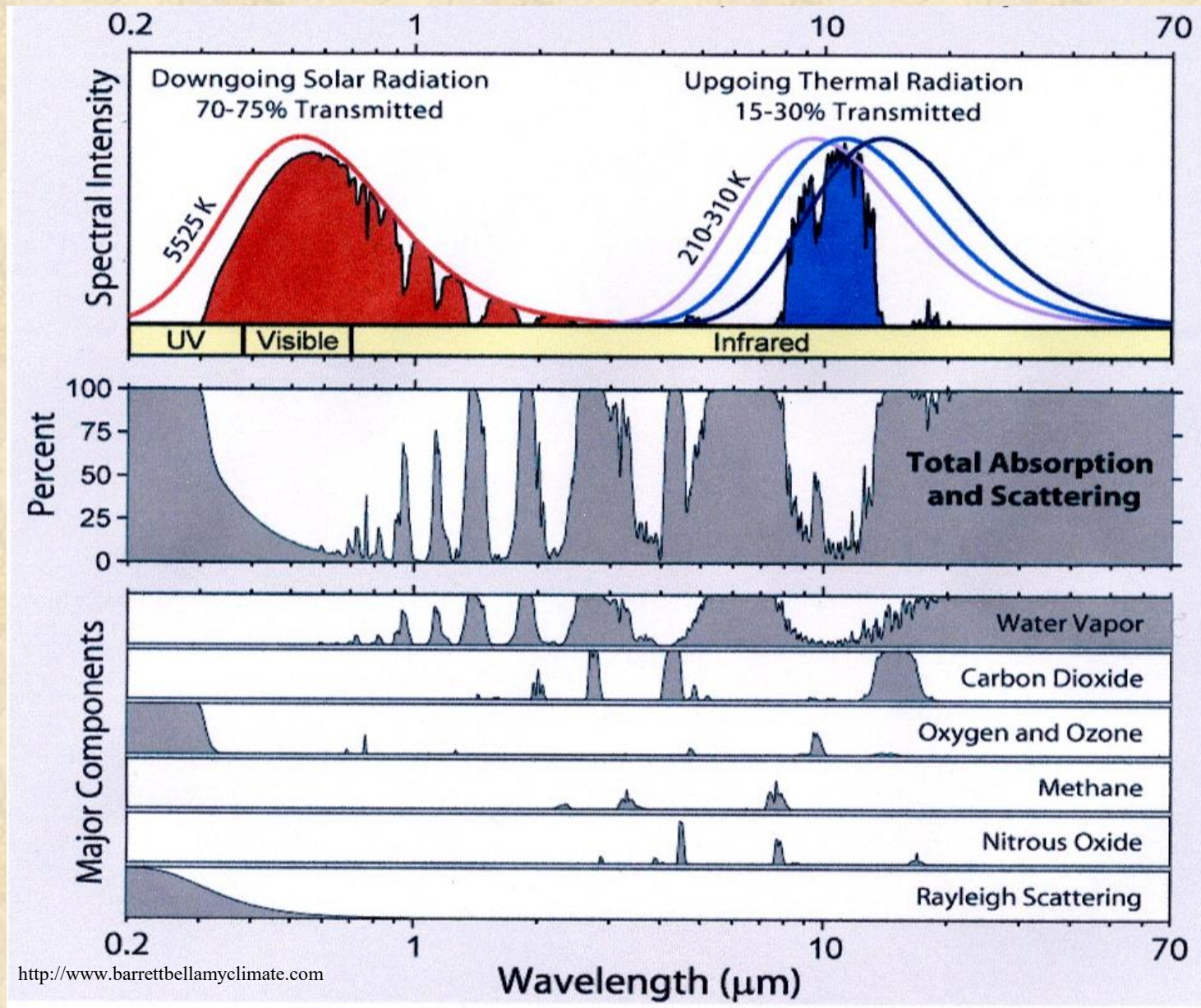
$$I_{\text{Terra}} = 395 \text{ W} = \sigma(T_{\text{Terra}})^4$$



$$T_s = 289 \text{ K } (+16 \text{ } ^\circ\text{C})$$

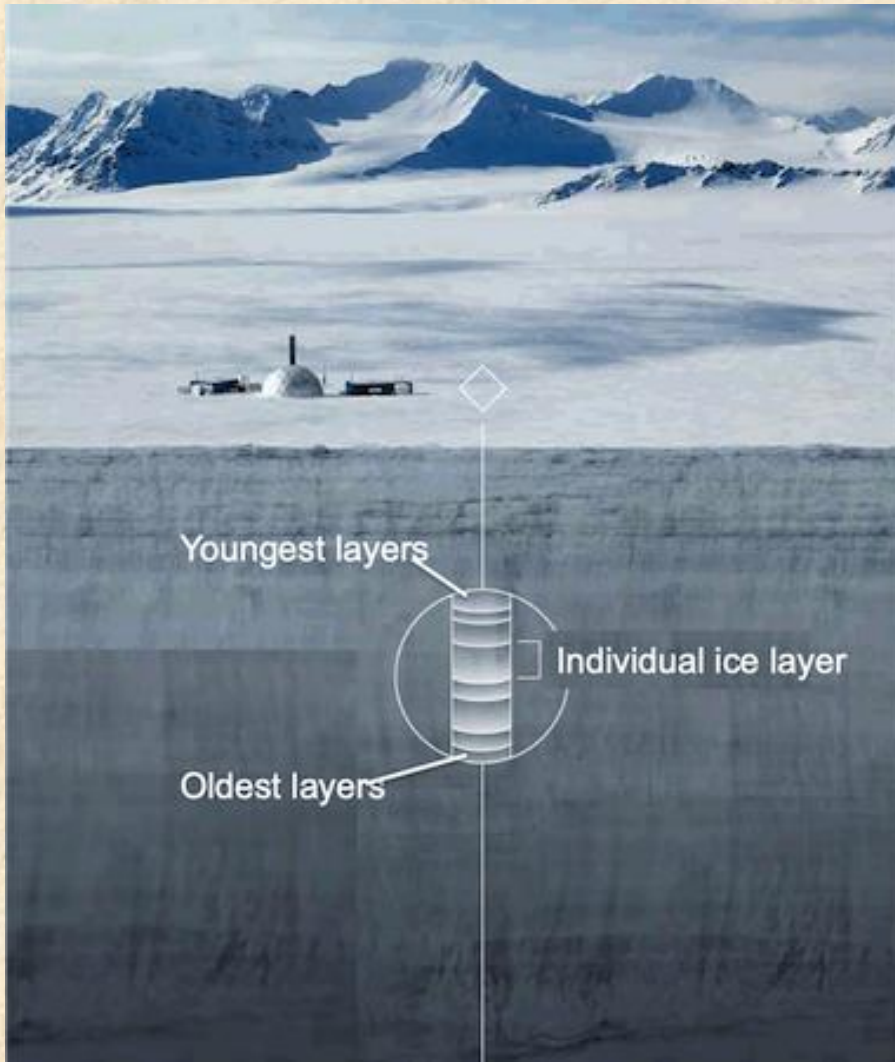


# Interação da atmosfera radiação solar e terrestre





# Testemunho de gelo: Dados paleoclimáticos







Alteração na superfície - Alan Rodrigo Panosso mede a respiração de solo com musgos; impacto é menor (Foto: arquivo pessoal, via 'Unesp Ciência')



Destaque na paisagem - Baldes pintados de cinza se distinguem quando o local volta a ter gelo; dentro deles há uma solução de NaOH, que absorve o CO<sub>2</sub> emitido a longo prazo (Foto: arquivo pessoal, via Unesp Ciência)

<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2010/09/antartida-e-desnudada-pelo-calor-e-porcoes-de-solo-agora-estao-expostas.html>



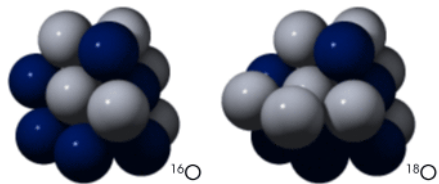
$$T = 16.5 - 4.3\delta + 0.14\delta^2$$

This page contains archived content and is no longer being updated. At the time of publication, it represented the best available science. [×](#)

## Paleoclimatology: the Oxygen Balance

by Holli Riebeek • May 6, 2005

Oxygen is one of the most significant keys to deciphering past climates. Oxygen comes in heavy and light varieties, or isotopes, which are useful for paleoclimate research. Like all elements, oxygen is made up of a nucleus of protons and neutrons, surrounded by a cloud of electrons. All oxygen atoms have 8 protons, but the nucleus might contain 8, 9, or 10 neutrons. "Light" oxygen-16, with 8 protons and 8 neutrons, is the most common isotope found in nature, followed by much lesser amounts of "heavy" oxygen-18, with 8 protons and 10 neutrons.



The ratio (relative amount) of these two types of oxygen in water changes with the

### Paleoclimatology

#### Introduction

#### Written in the Earth

#### A Record from the Deep

#### The Ice Core Record

#### Climate Close-up

#### Explaining the Evidence

#### Understanding the Past to Predict the Future

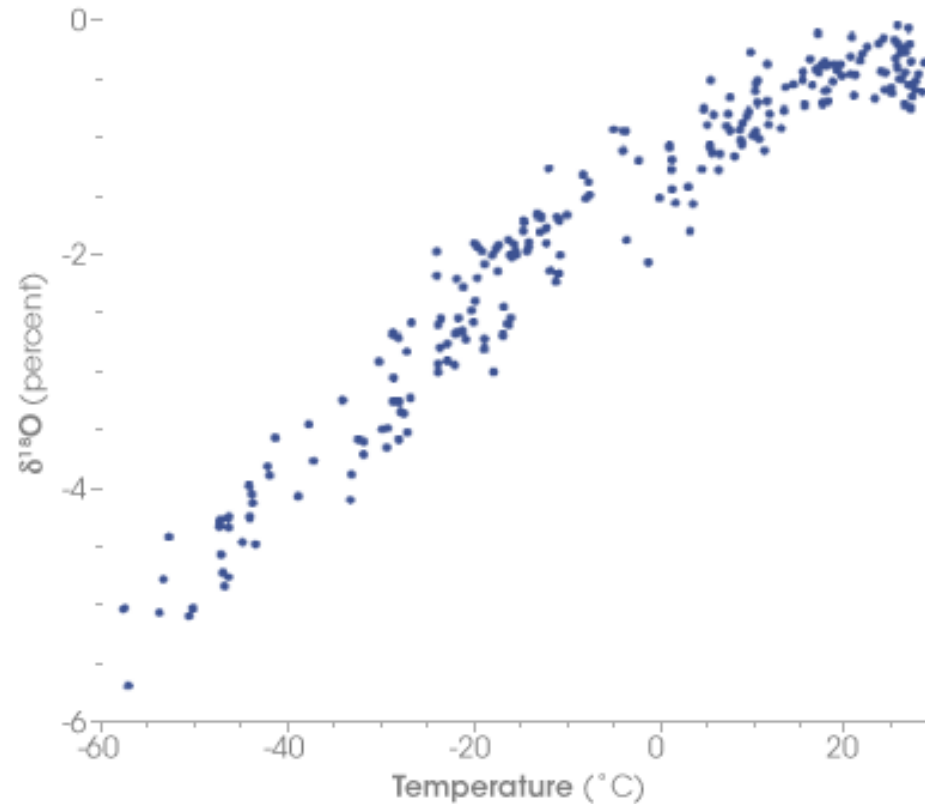
#### Evidence

#### Understanding the Past to Predict the Future

#### Past to Predict the Future

#### Future

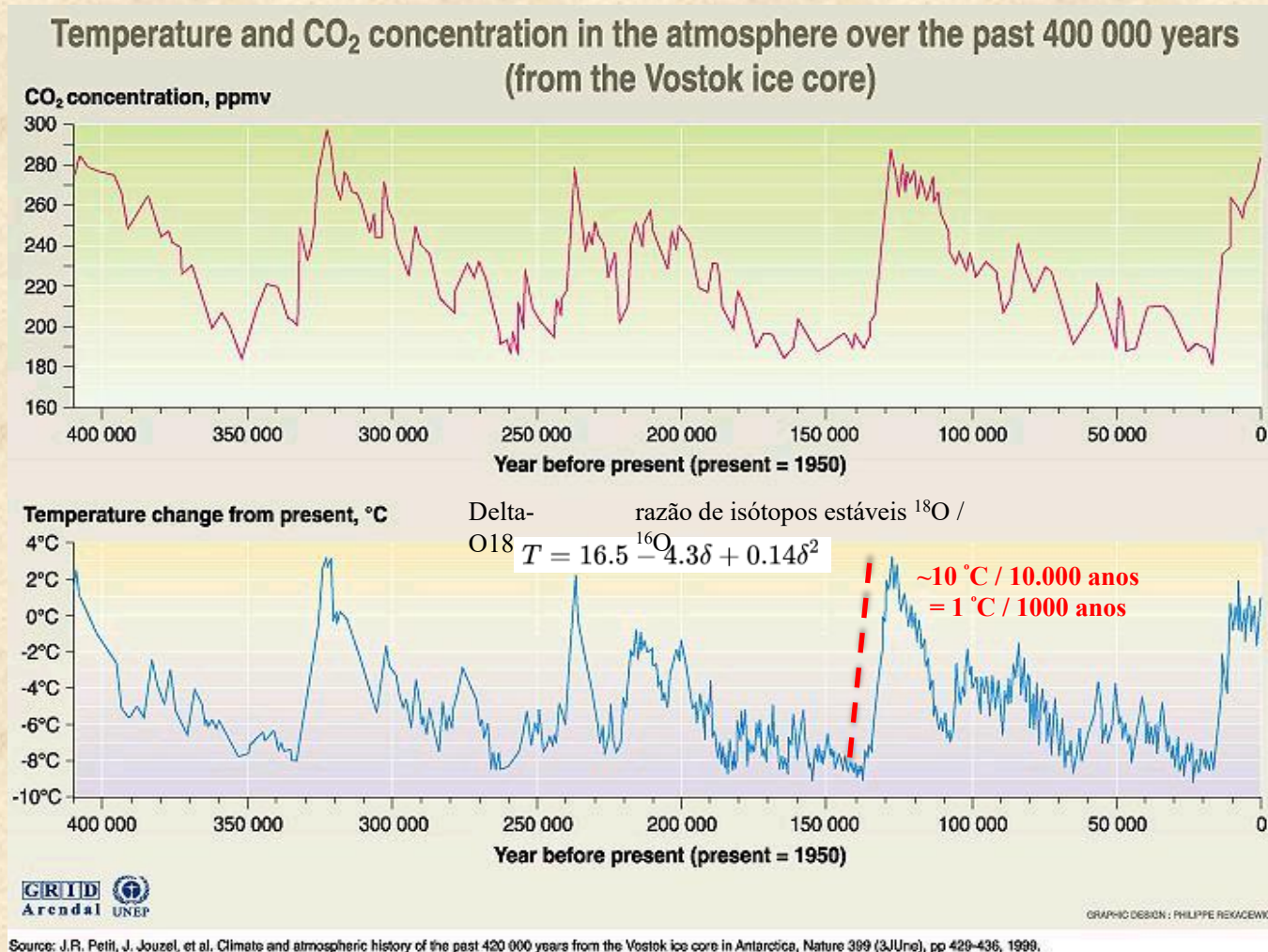
The Oxygen-18 isotope has an extra two neutrons, for a total of 10 neutrons and 8 protons, compared to the 8 neutrons and 8 protons in a normal oxygen atom. The slightly greater mass of



Como o isótopo  $^{16}\text{O}$  é mais leve, ele tende a ficar retido nas geleiras durante períodos de glaciação. Isso faz com que a água dos oceanos fique relativamente enriquecida em  $^{18}\text{O}$ , de modo que uma maior proporção de  $^{18}\text{O}$  nos sedimentos ou carbonatos marinhos indica épocas glaciais.

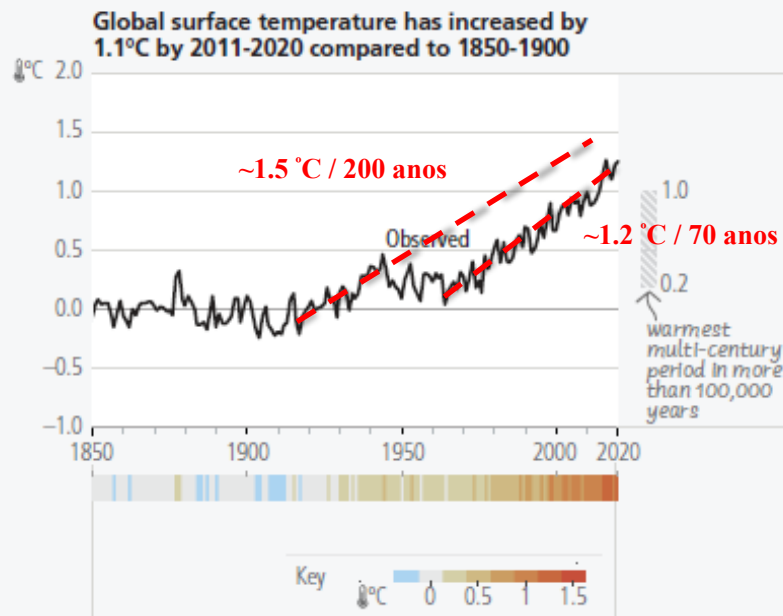


# Testemunho de gelo: Dados paleoclimáticos



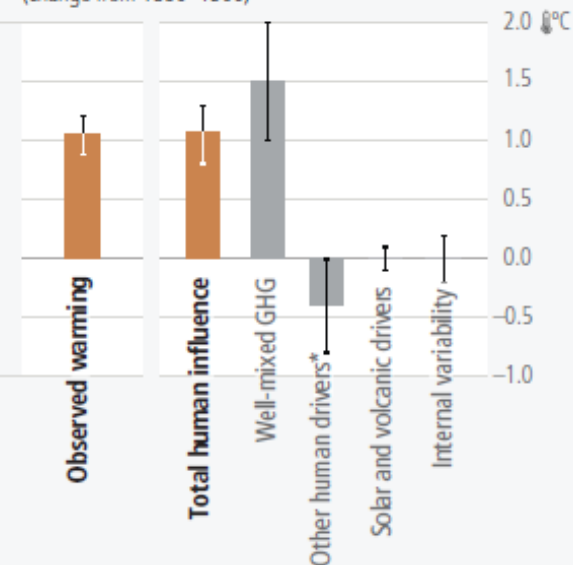
# Mudanças na temperatura global

## c) Changes in global surface temperature



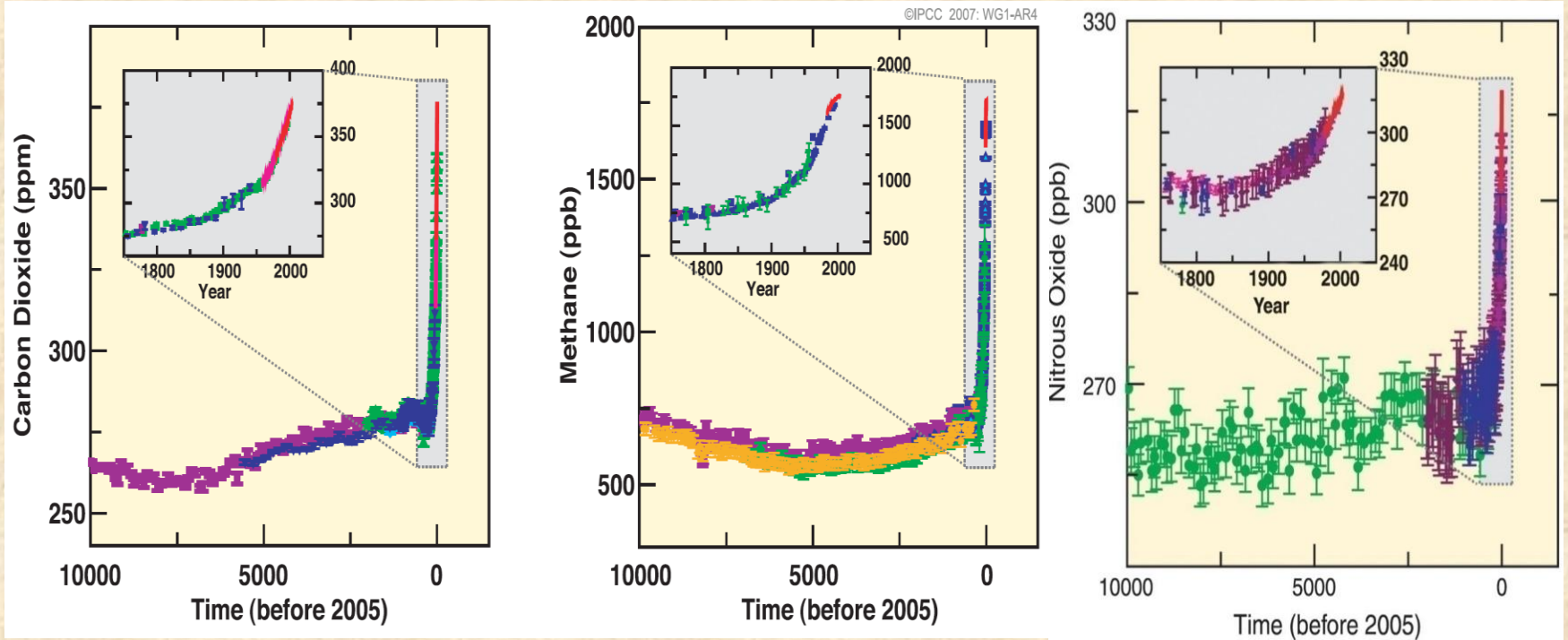
## d) Humans are responsible

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





# GASES DO EFEITO ESTUFA



Concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  nos últimos 10.000 anos (figuras maiores) e desde 1750 (figuras menores) .

Medições feitas em amostras de gelo (símbolos com diferentes cores nos diferentes estudos) e amostras atmosféricas (linhas vermelho).

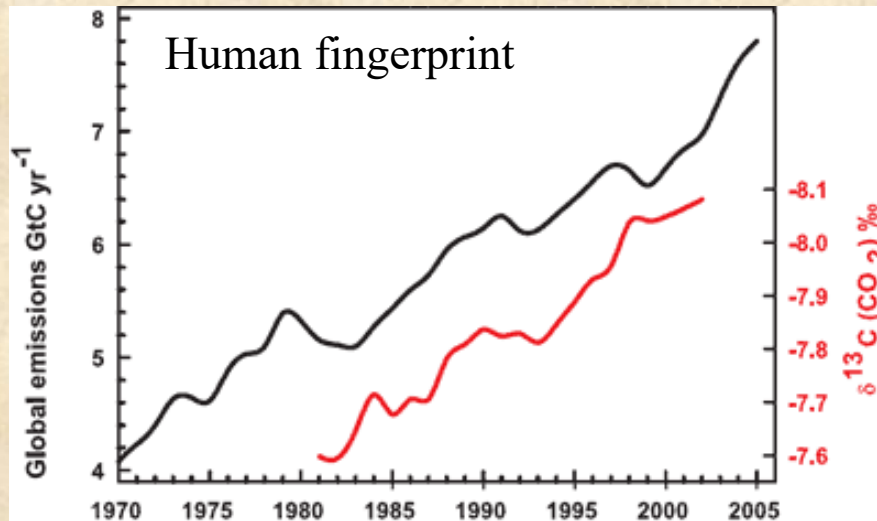


Figure 2: Annual global CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel burning and cement manufacture in GtC yr<sup>-1</sup> (black), annual averages of the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratio measured in atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa from 1981 to 2002 (red). The isotope data are expressed as  $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$  ‰ (per mil) deviation from a calibration standard. Note that this scale is inverted to improve clarity. (IPCC AR4)

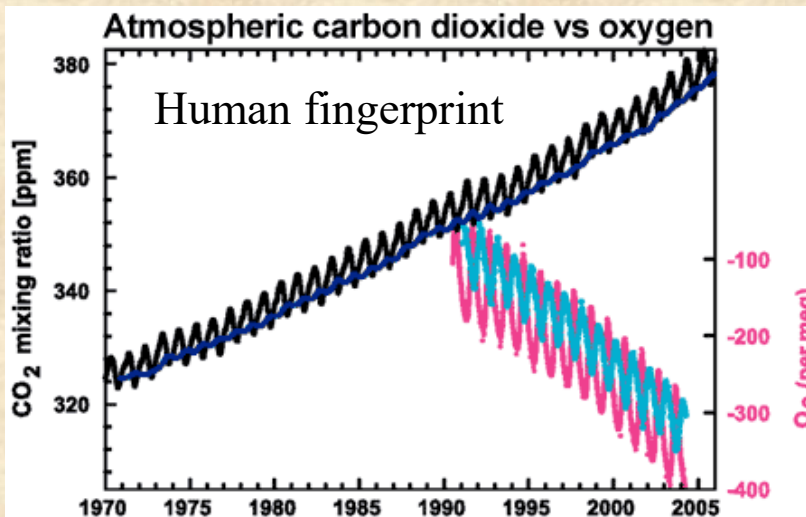


Figure 3: CO<sub>2</sub> concentrations from Mauna Loa, Hawaii (black) and Baring Head, New Zealand (blue). In bottom right corner is atmospheric oxygen (O<sub>2</sub>) measurements from Alert, Canada (pink) and Cape Grim, Australia (cyan) (IPCC AR4 2.3.1 adapted from Manning 2006).



## Mudanças Climáticas, evidências, impactos e mitigação: Algumas instituições que podem ser consultadas....

[IPCC Website](#)

[WMO Climate Pages](#)

[Global Framework  
For Climate Services  
\(GFCs\)](#)

[World Climate  
Programme \(WCP\)](#)

[World Bank Climate  
Change Knowledge  
Portal](#)

[NASA Global  
Climate Change](#)

[ESA Climate Change  
Initiative](#)

[NCAR Community  
Data Portal](#)

[Max Planck: The  
Atmosphere in the  
Earth System](#)

[The Guardian  
Climate Change  
Pages](#)

[The National  
Geographic - Global  
Warming](#)

[UN CC:Learn](#)

# Potencial de Aquecimento Global

Selected Greenhouse Gases				
Gas	Atmospheric Concentration		Atmo-spheric lifetime (Years)	100 Year Global Warming Potential (GWP)
	Pre-industrial (1000-1750)	Recent (1998)		
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	280 ppm	365 ppm	50-200	1
Methane (CH <sub>4</sub> )	0.7 ppm	1.745 ppm	12	23
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)	0.270 ppm	0.314 ppm	114	296
Perfluoro-methane (CF <sub>4</sub> )	40 ppt	80 ppt	>50,000	5700
Sulfur hexafluoride (SF <sub>6</sub> )	0	4.2 ppt	3200	22,200

ppm = parts per million  
ppt = parts per trillion

Source: U.S. Environmental Protection Agency website  
Energy Information Agency (DOE): Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2004, December 2005



Table. Global annual surface mean abundances (2023) and trends of key greenhouse gases from the GAW in situ observational network for GHG. Units are concentrations in dry-air, and uncertainties are 68% confidence limits. The averaging method is described in GAW Report No. 184 [2].

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2023 global mean abundance	420.0±0.1 ppm	1934±2 ppb	336.9±0.1 ppb
2023 abundance relative to 1750 <sup>a</sup>	151%	265%	125%
2022–2023 absolute increase	2.3 ppm	11 ppb	1.1 ppb
2022–2023 relative increase	0.55%	0.57%	0.33%
Mean annual absolute increase over the past 10 years	2.4 ppm yr <sup>-1</sup>	10.7 ppb yr <sup>-1</sup>	1.07 ppb yr <sup>-1</sup>

<sup>a</sup> Assuming a pre-industrial concentration of 278.3 ppm for CO<sub>2</sub>, 729.2 ppb for CH<sub>4</sub> and 270.1 ppb for N<sub>2</sub>O. The number of stations used for the analyses was 146 for CO<sub>2</sub>, 153 for CH<sub>4</sub> and 112 for N<sub>2</sub>O.

## Emissões no País

# GEE BRASIL 2023

EMISSIONES BRUTAS

2.296 Mt CO<sub>2</sub>e

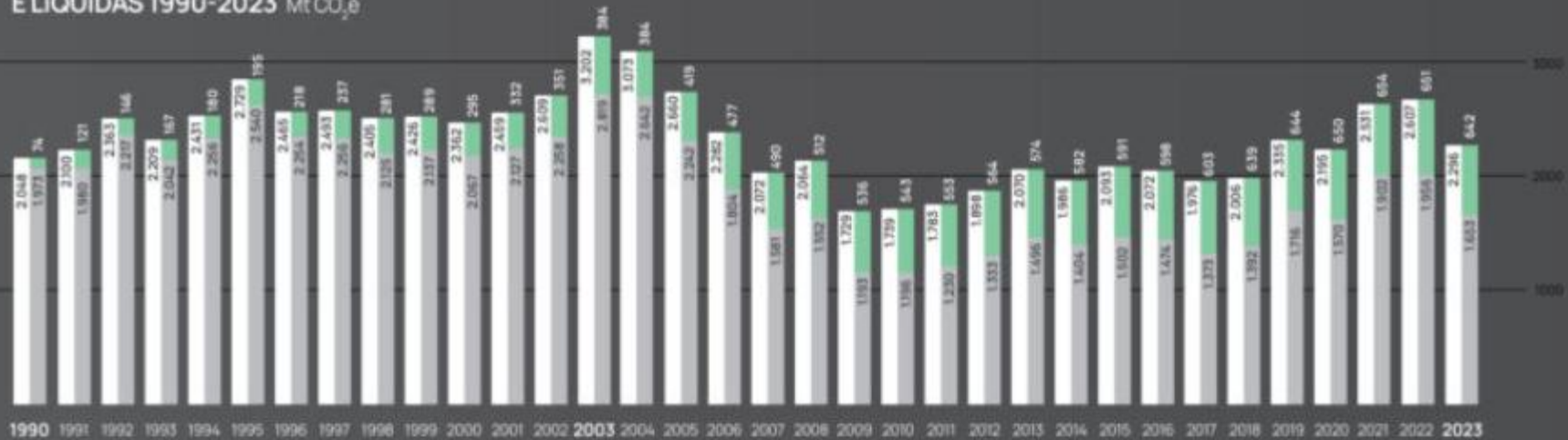
REMOÇÕES

642 Mt CO<sub>2</sub>e

EMISSIONES LÍQUIDAS

1.653 Mt CO<sub>2</sub>e

HISTÓRICO DE EMISSÕES BRUTAS  
E LÍQUIDAS 1990-2023 Mt CO<sub>2</sub>e





# EMISSIONS E REMOÇÕES TOTAIS POR ESTADO Mt CO<sub>2</sub>e



**BRASIL: O SÉTIMO MAIOR  
EMISSION DE GASES DE  
EFEITO ESTUFA** \*Climate Watch, 2021

- |          |           |
|----------|-----------|
| 1º China | 4º Rússia |
| 2º EUA   | 5º Brasil |
| 3º Índia |           |





## Uso da terra

1.062

988 Alterações de uso do solo  
51 Resíduos florestais  
25 Carbono orgânico no solo



## Agropecuária

631

405 Fermentação entérica  
188 Solos manejados  
29 Manejo dejetos animais  
9 Cultivo do arroz  
0,3 Queima de resíduos



## Energia

420

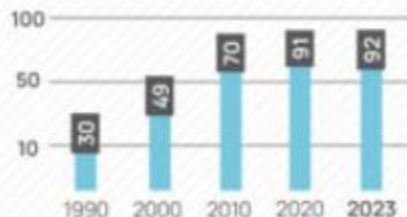
22 Emissões fugitivas  
398 Emissões pela queima de combustíveis



## Resíduos

92

60 Resíduos sólidos  
24 Efluentes domésticos  
6 Efluentes líquidos industriais  
2 Incineração/queima a céu aberto



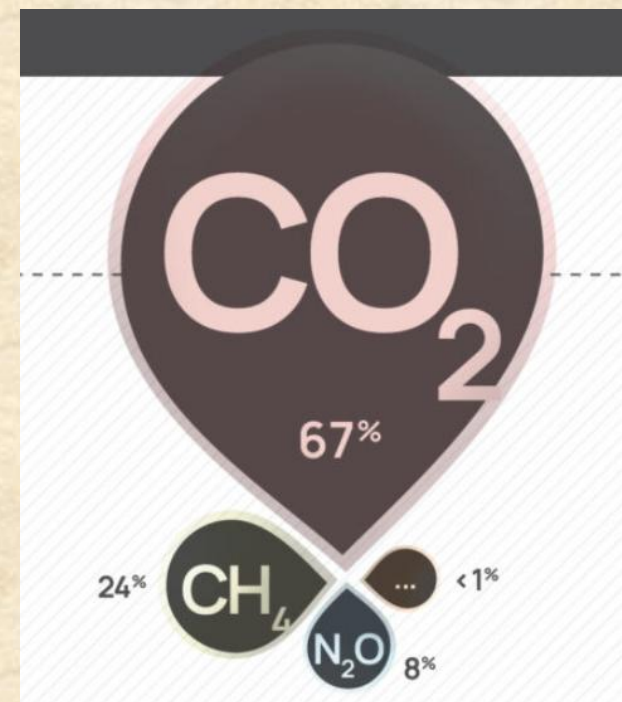
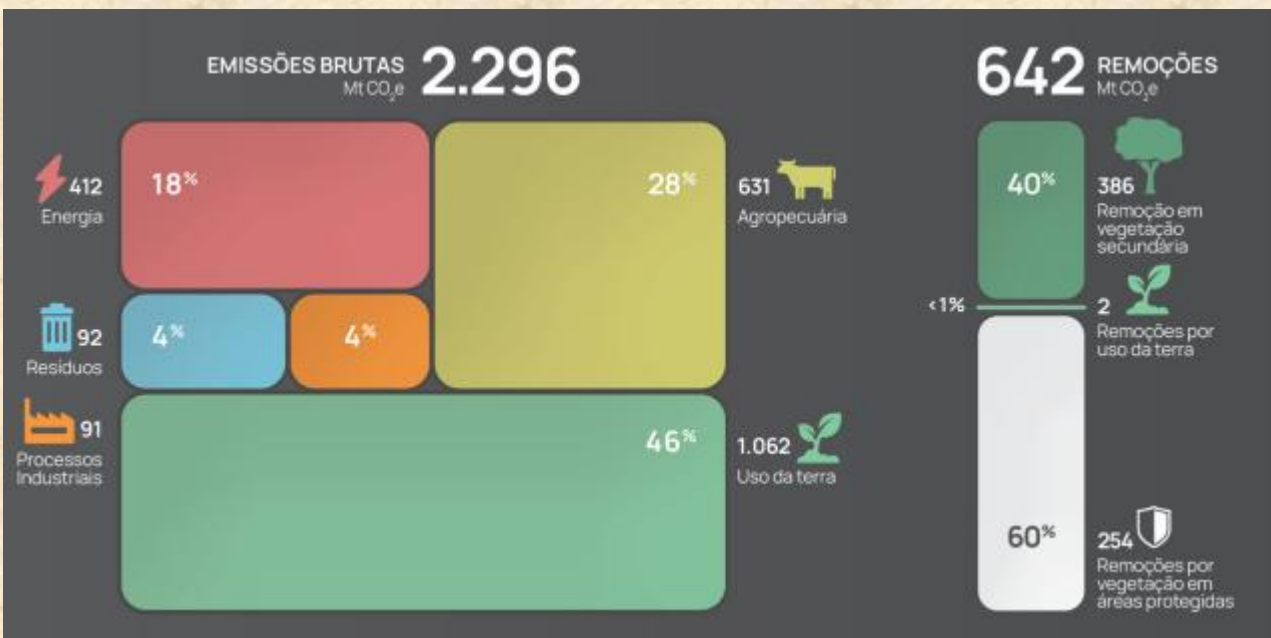
## Processos industriais

91

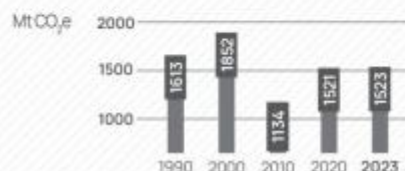
46 Produção de metais  
32 Produtos minerais  
9 Emissões de HFCs  
2 Indústria química  
1 Uso não energético



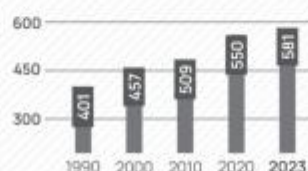




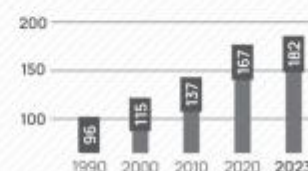
1.523



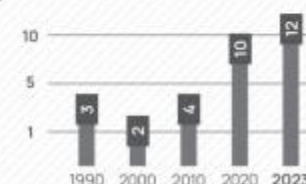
581



182



12



# Vamos à Prática



Our Approach

## How Climate TRACE Works

News & Insights



<https://climatetrace.org/>