

Project EDDIE: Climate Change

O'Reilly, C.M., D.C. Richardson, and R.D. Gougis. 15 March 2017.
Project EDDIE: Climate Change. Project EDDIE Module 8,
Version 1.

Module development was supported by NSF DEB 1245707.



Projeto EDDIE: Mudança Climática

O'Reilly, C.M., D.C. Richardson, e R.D. Gougis. 15 de março de 2017. Projeto EDDIE: Mudança Climática. Projeto EDDIE Módulo 8, Versão 1.

Desenvolvimento do módulo foi financiado por NSF DEB 1245707.

Tradução e atualização por N. Krusche, em novembro de 2021.

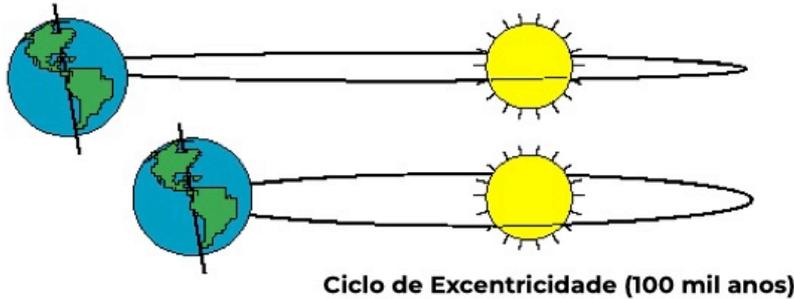


O que controla a temperatura da Terra?

- Quantidade de energia recebida do Sol,
- Reflexão e absorção da energia do Sol (albedo),
- Quantidade de energia retida na atmosfera da Terra.



Irradiância Solar: Posição relativa ao Sol (Ciclos de Milankovitch)



©Scott Rutherford (1997)



Precessão dos Equinócios (19 e 23 mil anos)



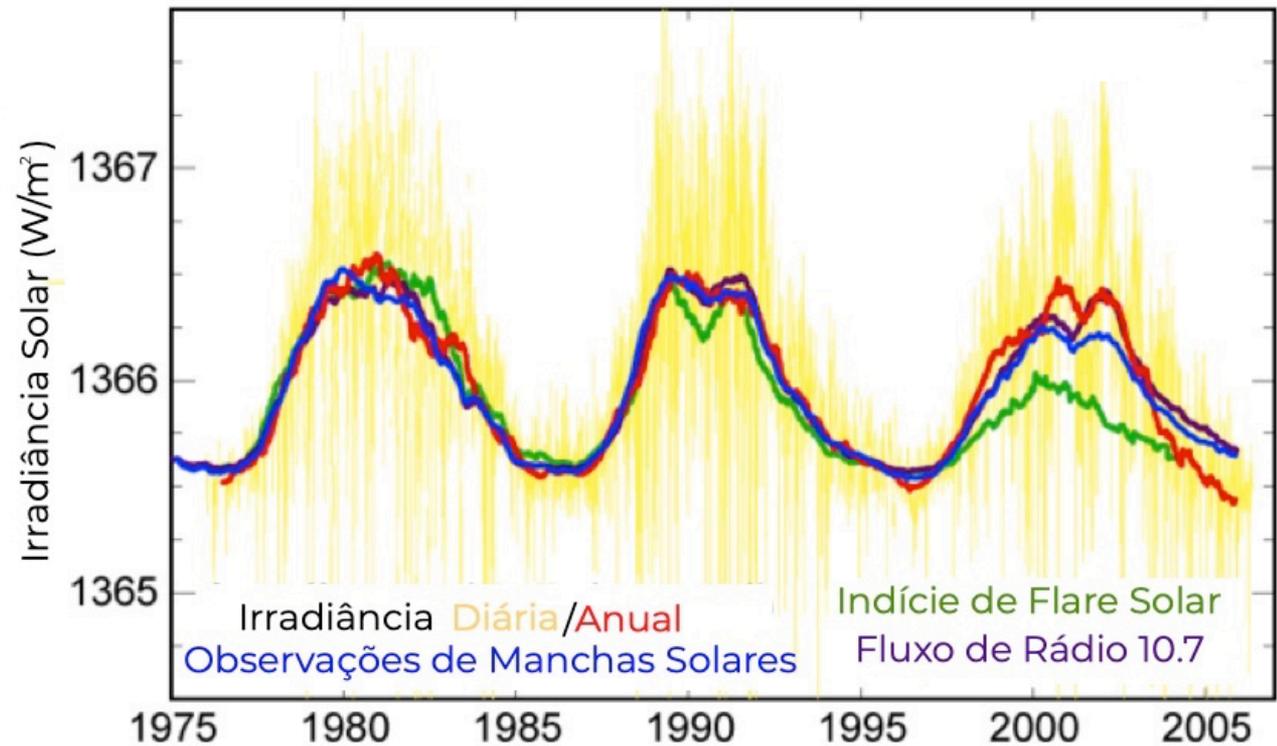
- Trajetória da Terra ao redor do Sol e o ângulo do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de translação variam em escalas temporais diferentes.
- Estas foram influências importantes para os períodos glaciais (a cada 100 mil anos) nos últimos 500 mil anos.

Irradiância Solar: Ciclos de Manchas Solares



- Manchas solares indicam atividade magnética do Sol e afetam o brilho do Sol.
- Ciclo de 11 anos (9-13) aproximadamente.
- Mínimo de Maunder coincide com a Pequena Idade do Gelo.

Variações do Ciclo Solar



Reflexão de Energia

Albedo (reflexibilidade)

- Superfícies mais claras refletem mais a luz
- Superfícies escuras absorvem mais energia da luz (calor)
(feedback positivo)

Aerossóis aumentam a reflexão da radiação solar

- Atividade vulcânica
→ esfriamento



Composição Atmosférica

- Gases na atmosfera influenciam a temperatura
- Diagrama do efeito estufa

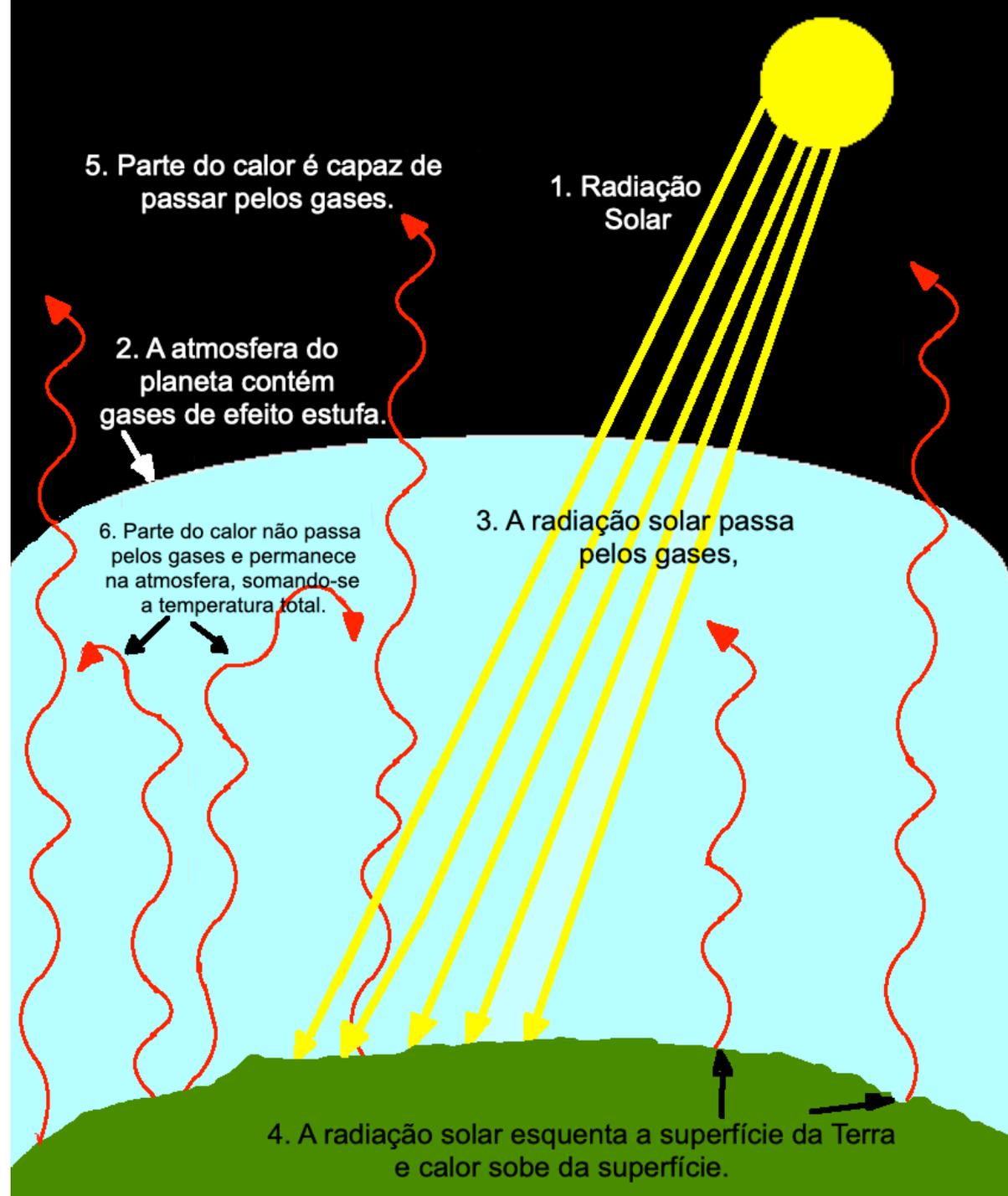
Como o aquecimento global acontece

O **efeito estufa**: energia é retida.

Gases* na atmosfera que armazenam o calor

- CO₂
- CH₄
- NO_xs
- CFCs

*de longa permanência, bem misturados.



Como conhecemos esta temperatura global?

- Hansen et al. 2010 do Goddard Institute for Space Studies, NASA

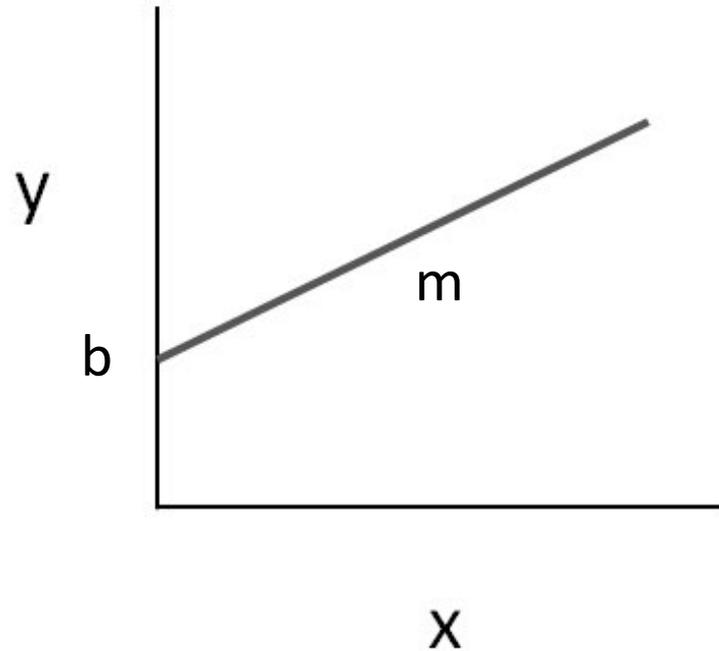
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2010RG000345>

- Compilada de diferentes conjuntos de dados de estações meteorológicas em todo o mundo.
- Foi usado um modelo para interpolar os dados para a superfície terrestre (suavizar).
- Foram usadas medidas de balde por navio e de satélite para a superfície marítima.

Questão 1: Essa temperatura global está mudando ao longo do tempo? A Terra está se aquecendo”? Se sim, a que ritmo?

- Como determinamos se algo está mudando? A maneira mais fácil é olhar a tendência da média ao longo do tempo. Aplicamos uma relação matemática para olhar tendências ao longo do tempo.

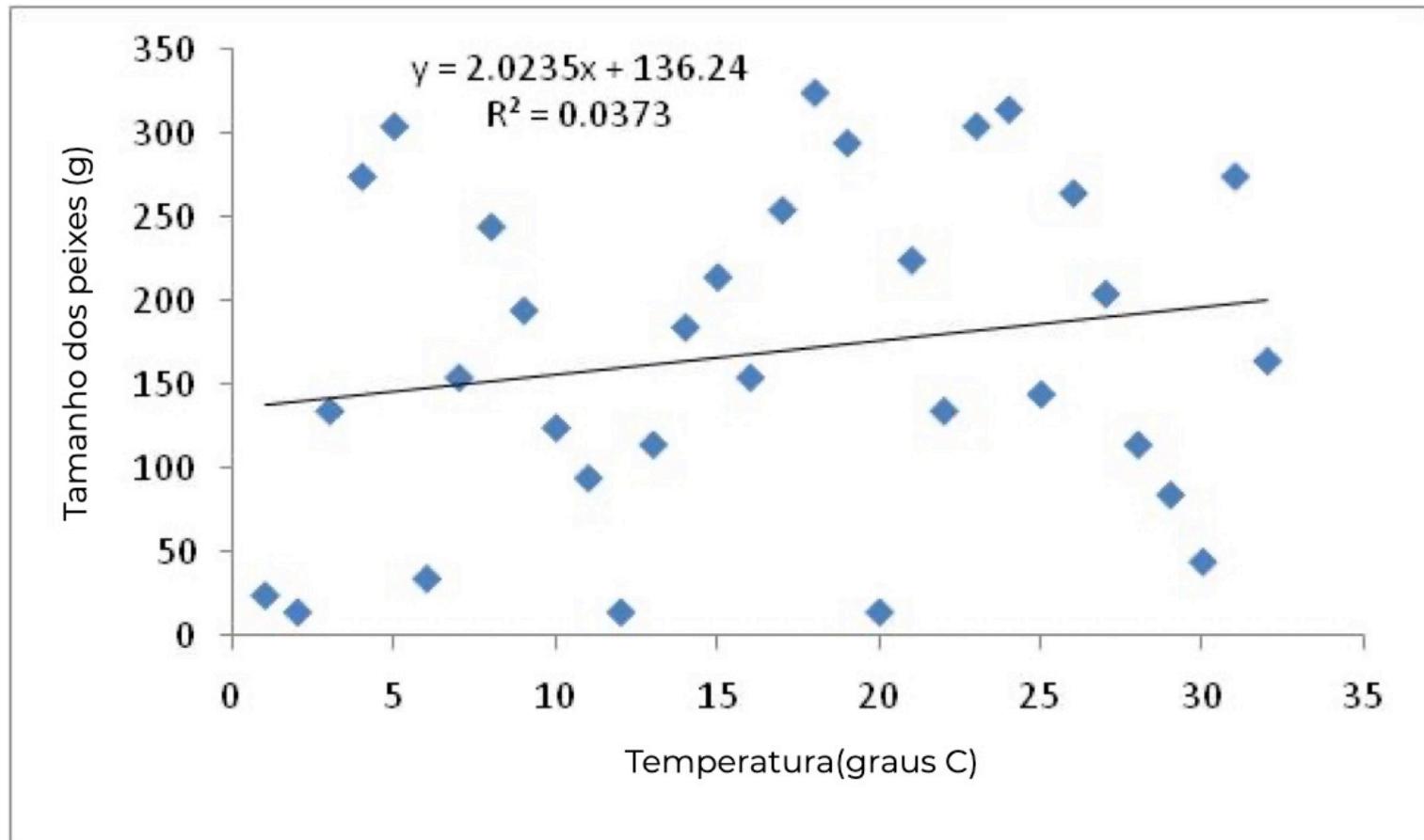
Revisão de Regressão Linear



$$y = m \cdot x + b$$

Revisão de Regressão Linear

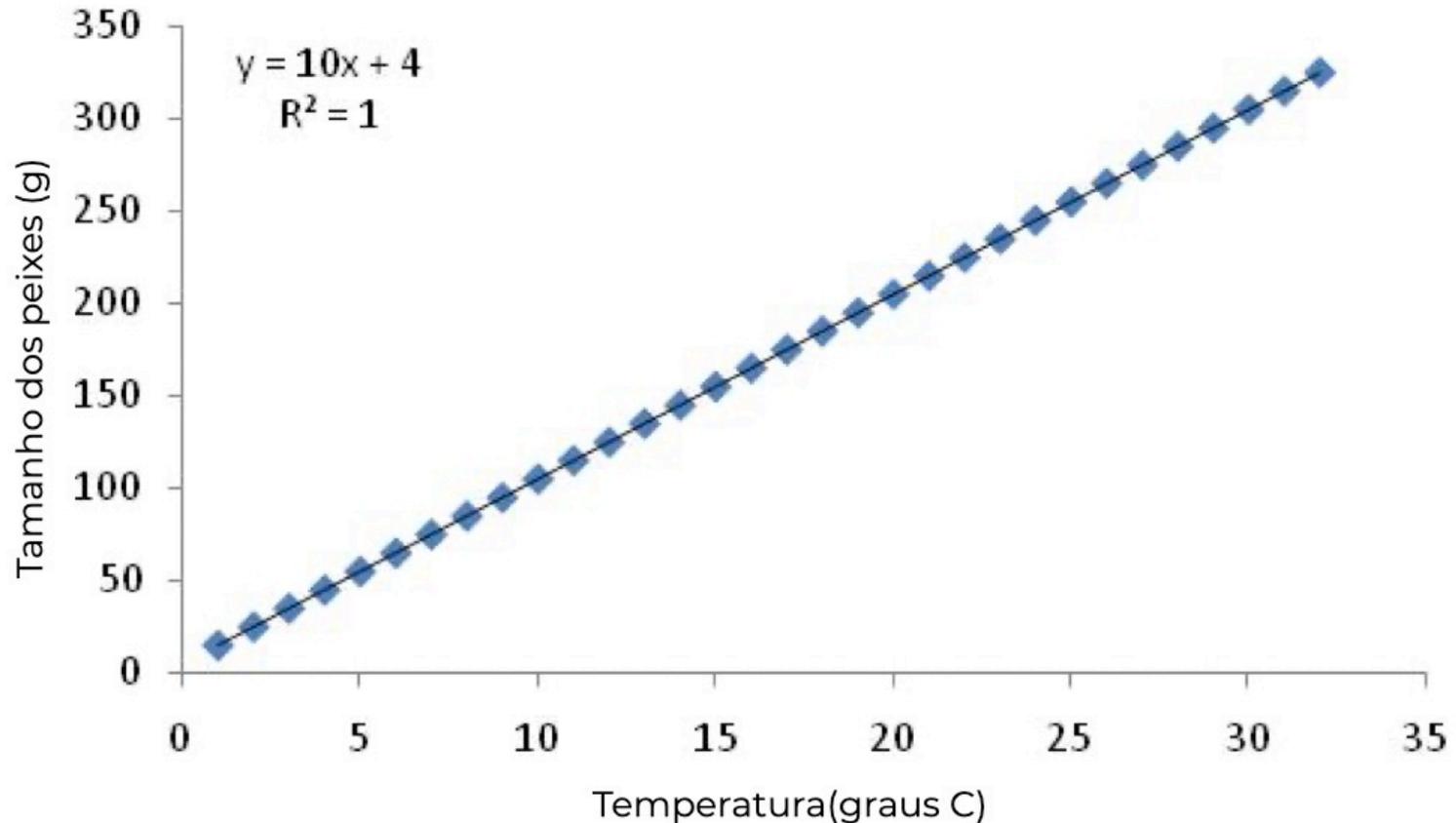
R^2 =proporção da variação explicada



$R^2 \sim 0$ 0% da variabilidade explicada

Revisão de Regressão Linear

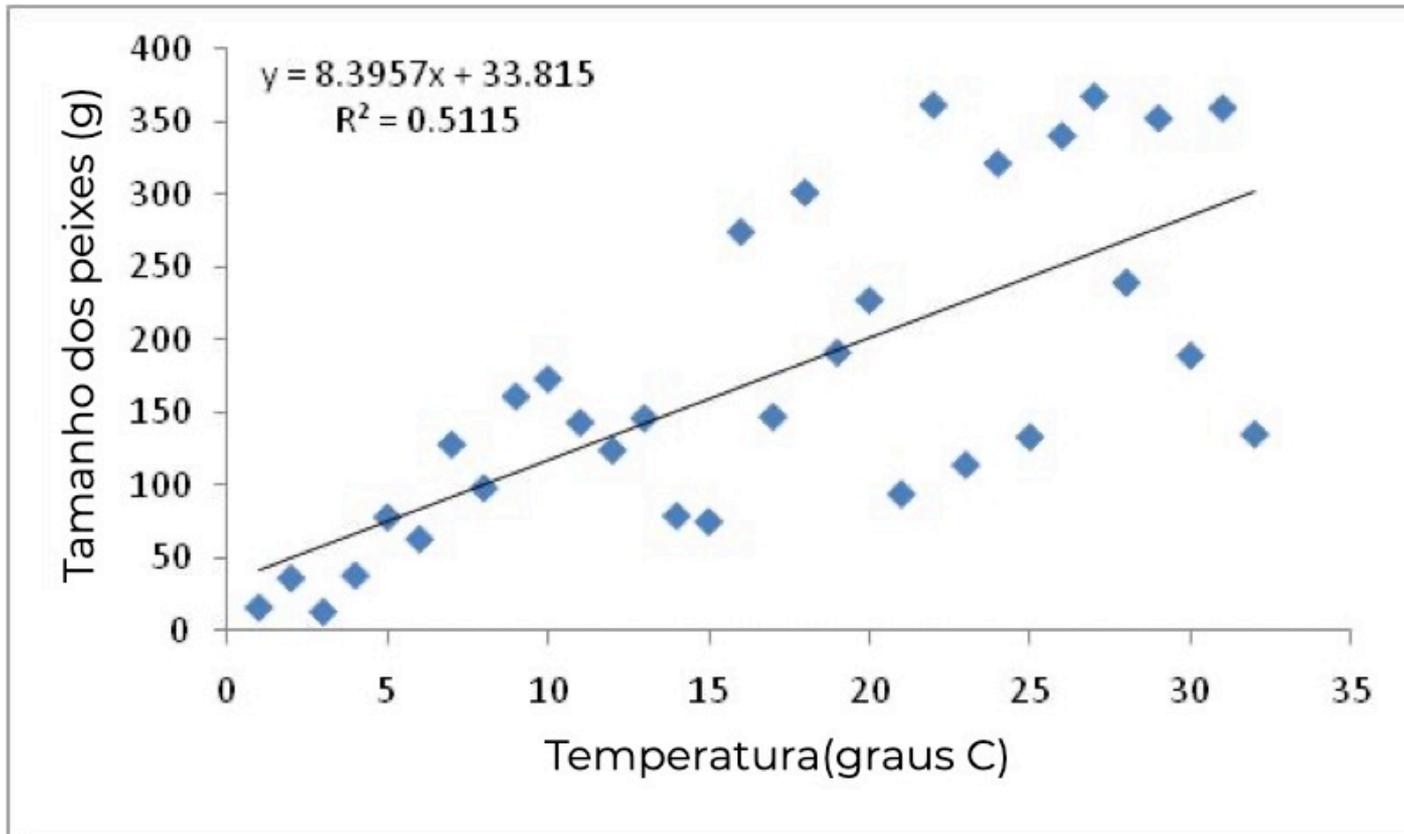
R^2 =proporção da variação explicada



$R^2 \sim 1$ 100% da variabilidade explicada, linha perfeita

Revisão de Regressão Linear

R^2 =proporção da variação explicada



$R^2 > 0,3$ 30% da variabilidade explicada,
Possível preditor, mas outros podem ter papel.

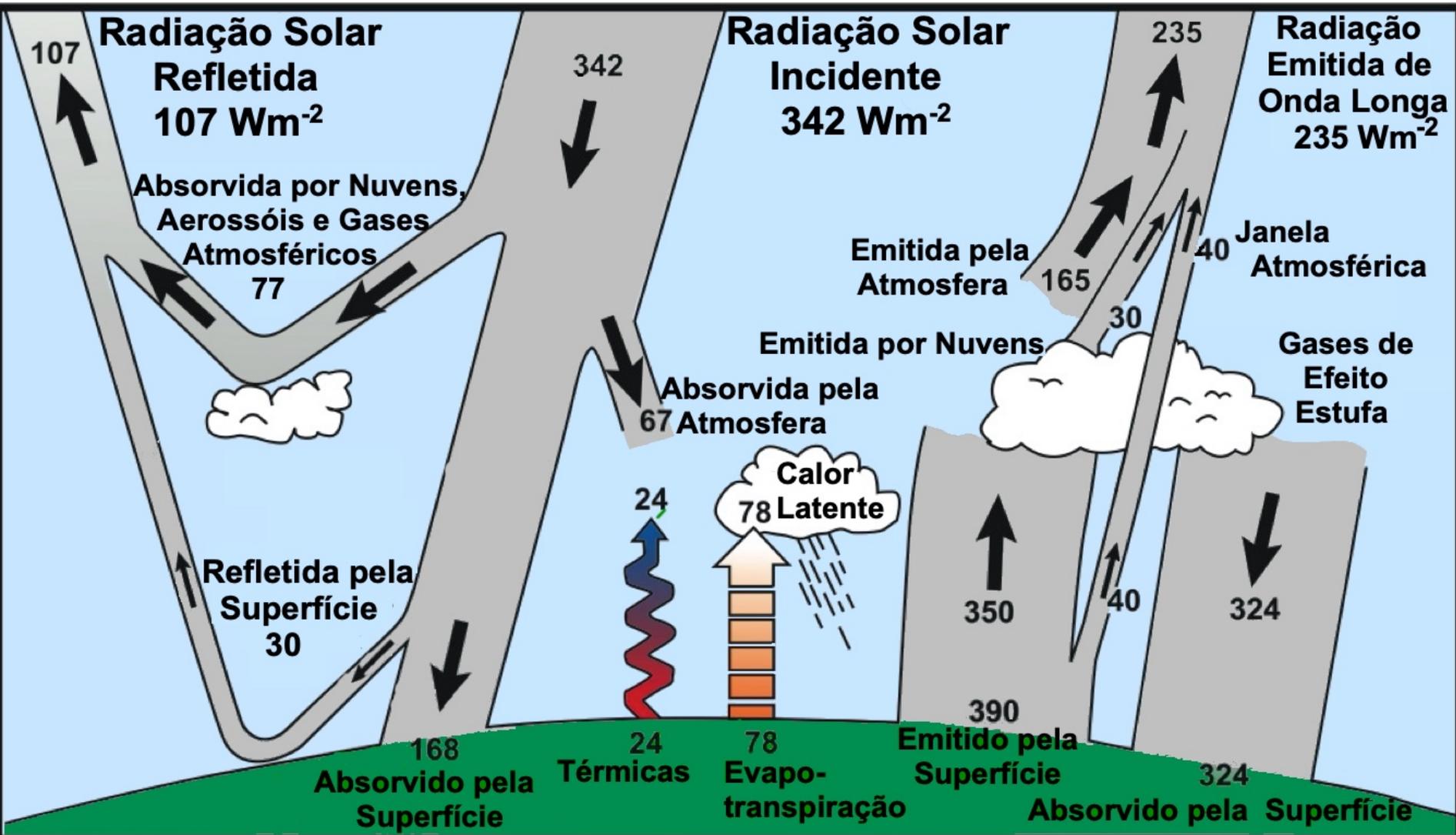
Questão 1: Essa temperatura global está mudando ao longo do tempo? A Terra está se aquecendo”? Se sim, a que ritmo?

Atividade A: faça um gráfico da temperatura média global usando seus dados e crie um modelo linear para determinar a taxa de variação.

- Preste atenção nas unidades da taxa!

Questão 2: O que pode estar causando essa variação na temperatura média global?

Quais são as opções?



Gases de efeito estufa tem um papel!

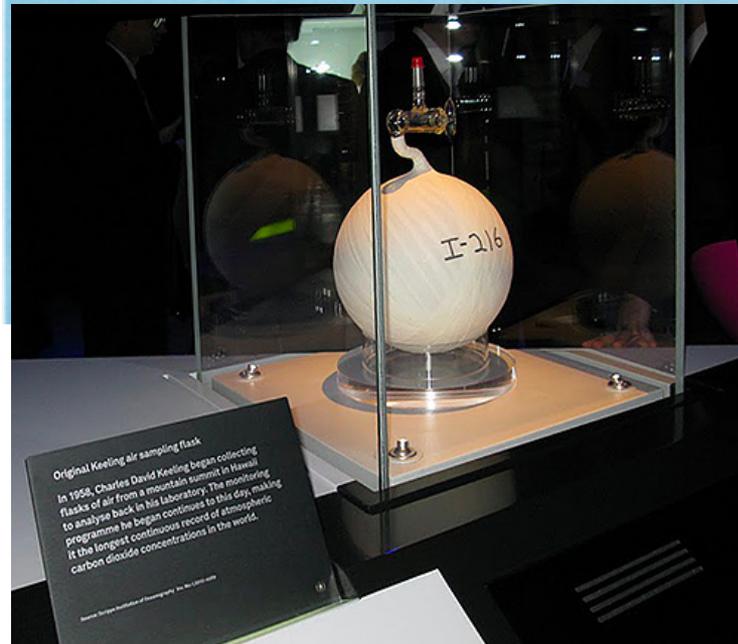
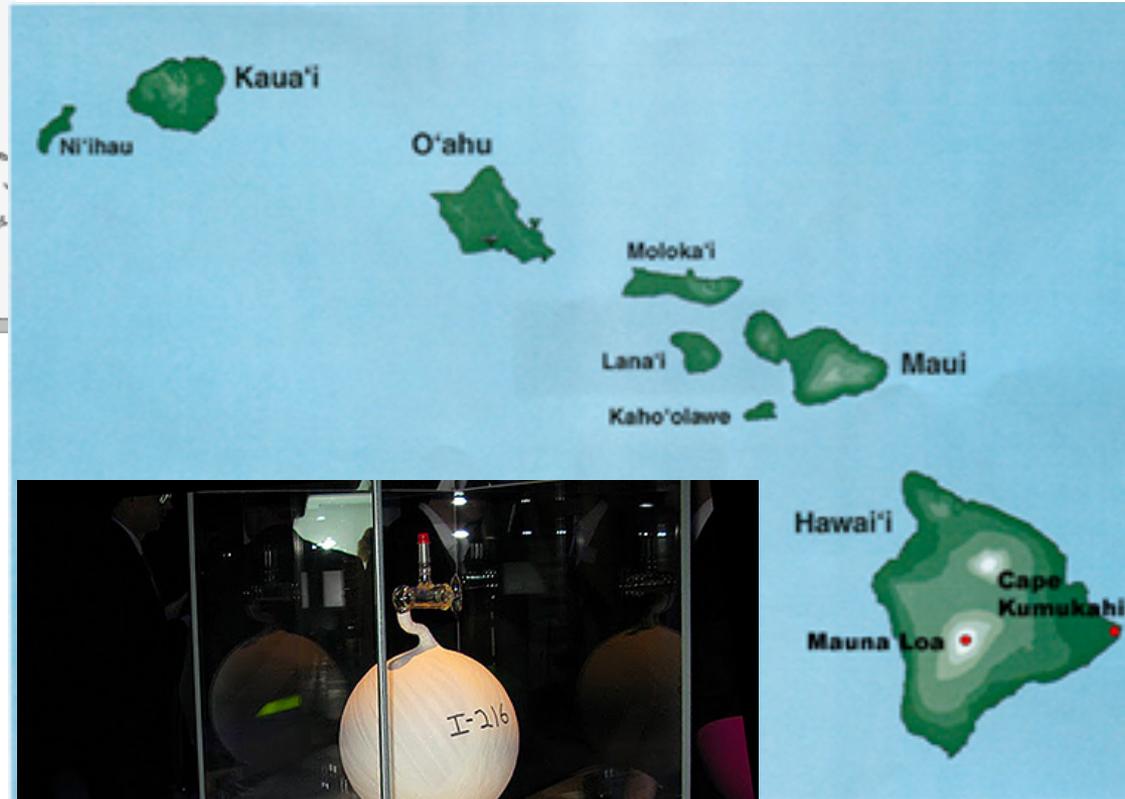
Dados de CO₂ de Mauna Loa



Dr. Dave Keeling começou a medir a concentração de dióxido de carbono (CO₂) no ar em 1958.

O ar é coletado em frascos de vidro limpos a vácuo e é medida a concentração de CO₂ (a fita adesiva segura o vidro em caso de implosão)

É medido com este método até hoje, além de outros sensores.



Frasco original no Museu de Ciências em Londres.

Questão 2: O que pode estar causando essa variação na temperatura média global?

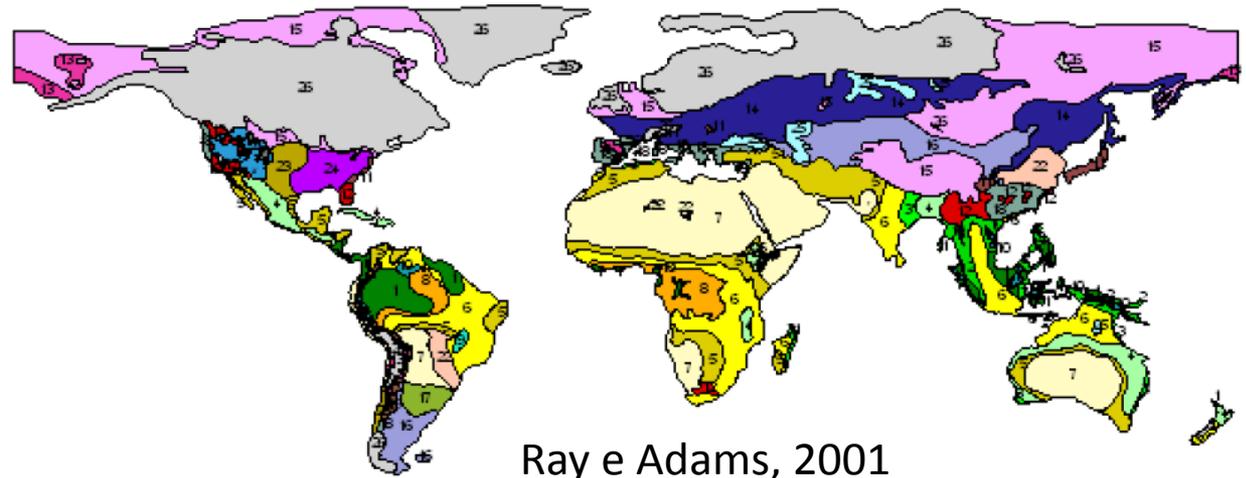
Atividade A: represente graficamente os dados de concentração de dióxido de carbono de Mauna Loa.

Questão 3: Como a temperatura e a concentração de dióxido de carbono estão relacionados?

Atividade B: representar graficamente a temperatura e a concentração de CO₂ no mesmo período de tempo.

Mas esta é apenas a história recente ...

- A Terra tem 4,54 bilhões de anos.
- A última era do gelo foi de 110 a 12 mil anos atrás, com pico de glaciação há 22 mil anos.
- O mundo parecia diferente!
 - Norte dos EUA e Canadá coberto por gelo (cinza).
 - Sul dos EUA coberto por taiga (coníferas) e pastagens
 - O sul da Europa era tundra

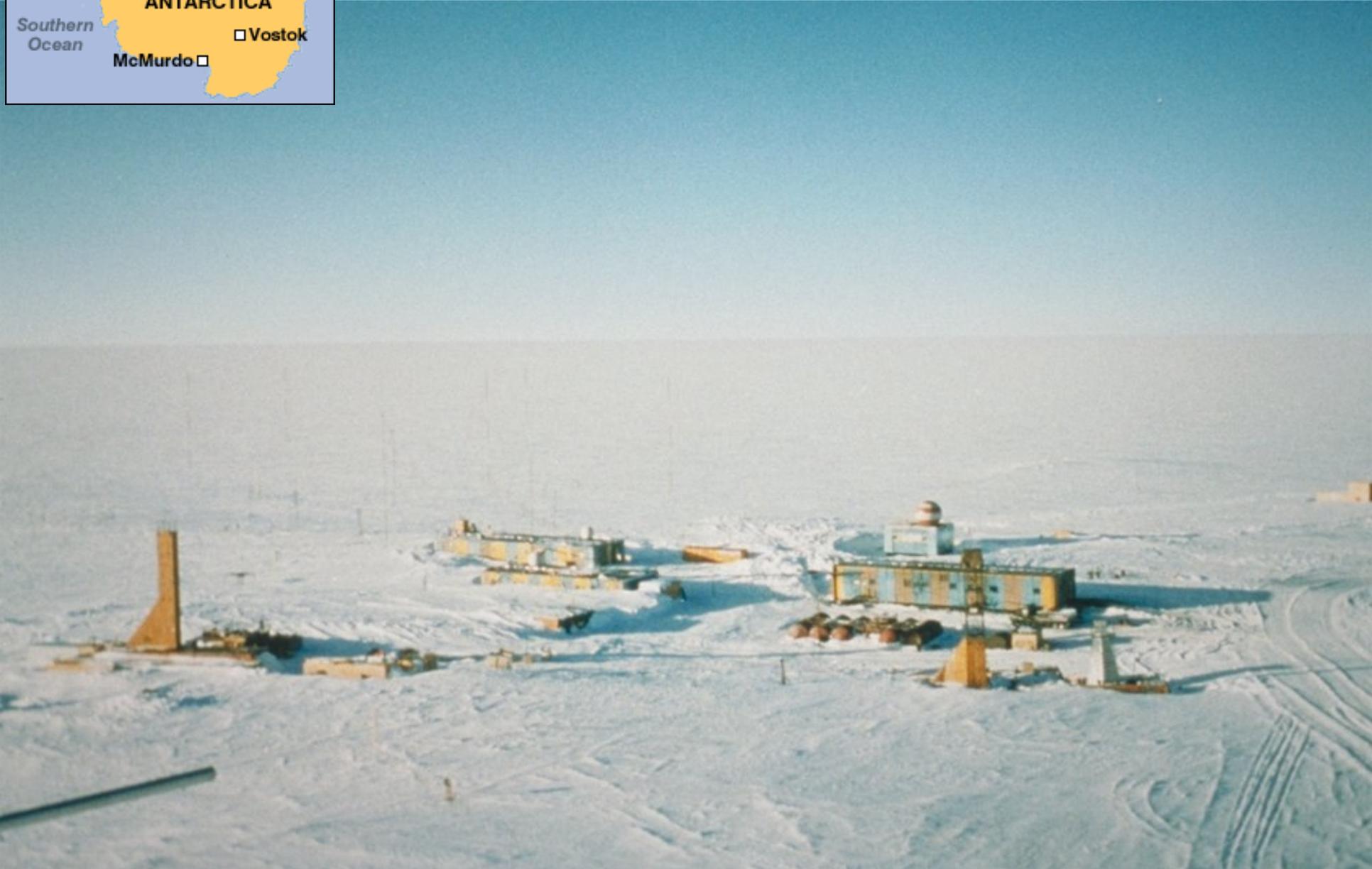


Questão 4: Como podemos comparar os dados recentes com a história geológica?

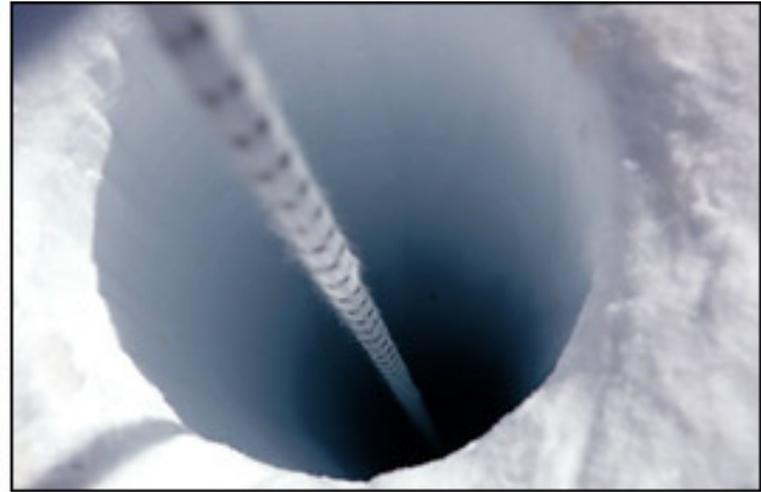
Você saindo para viajar...



Vostok, Antarctica



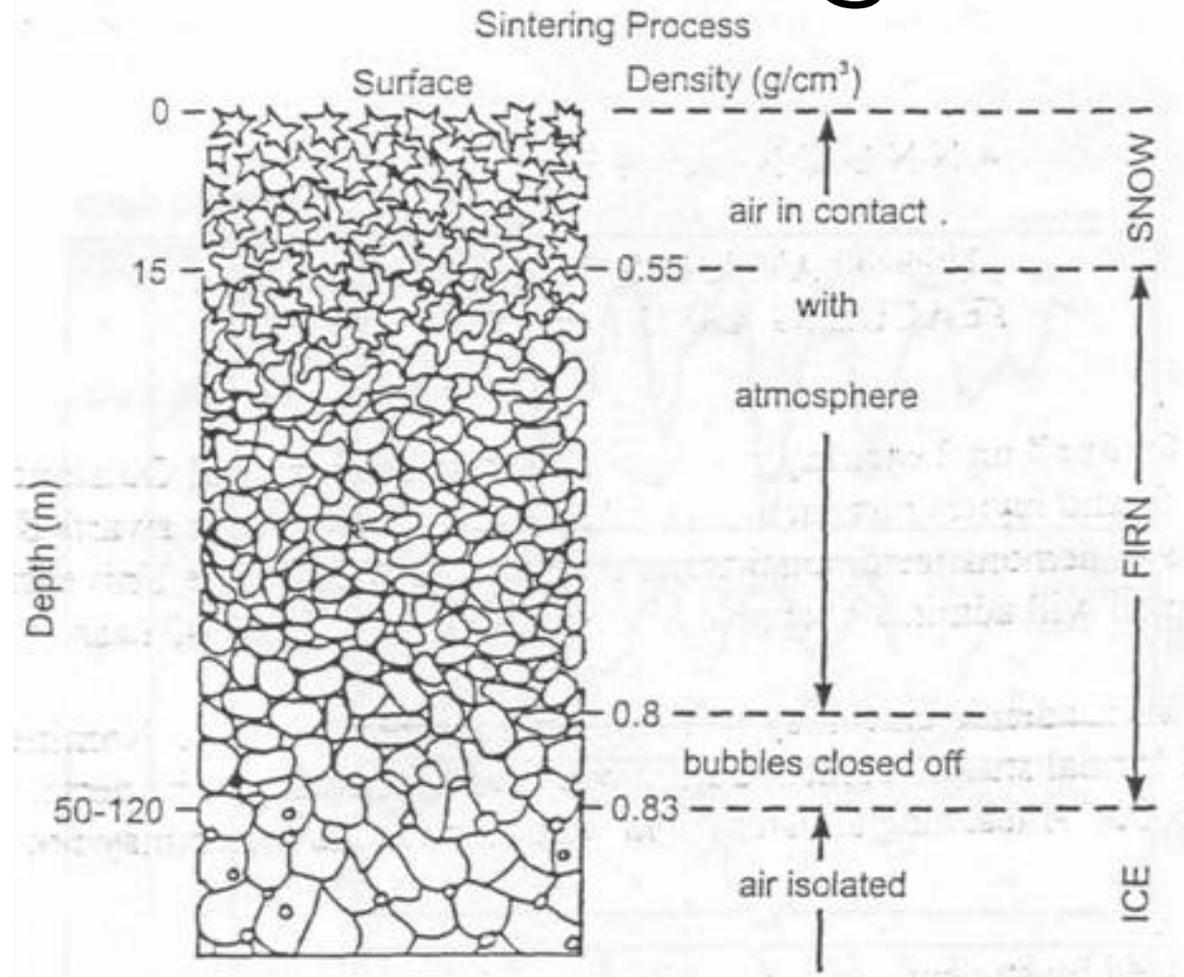
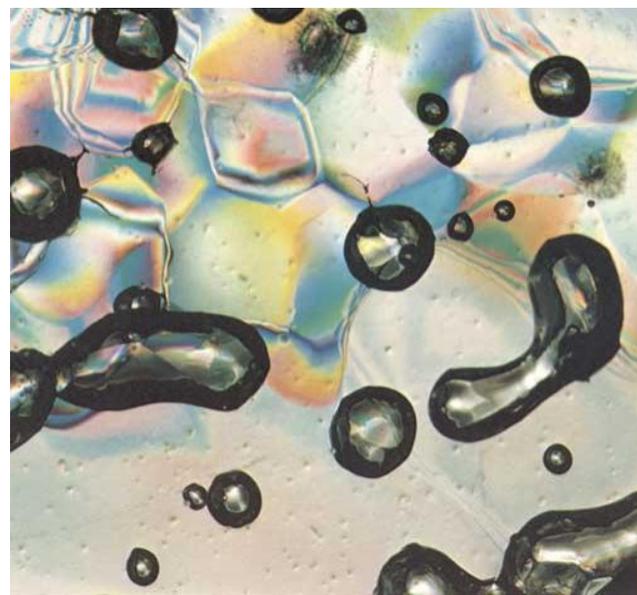
Passos para obter testemunho de gelo



Processamento dos testemunhos



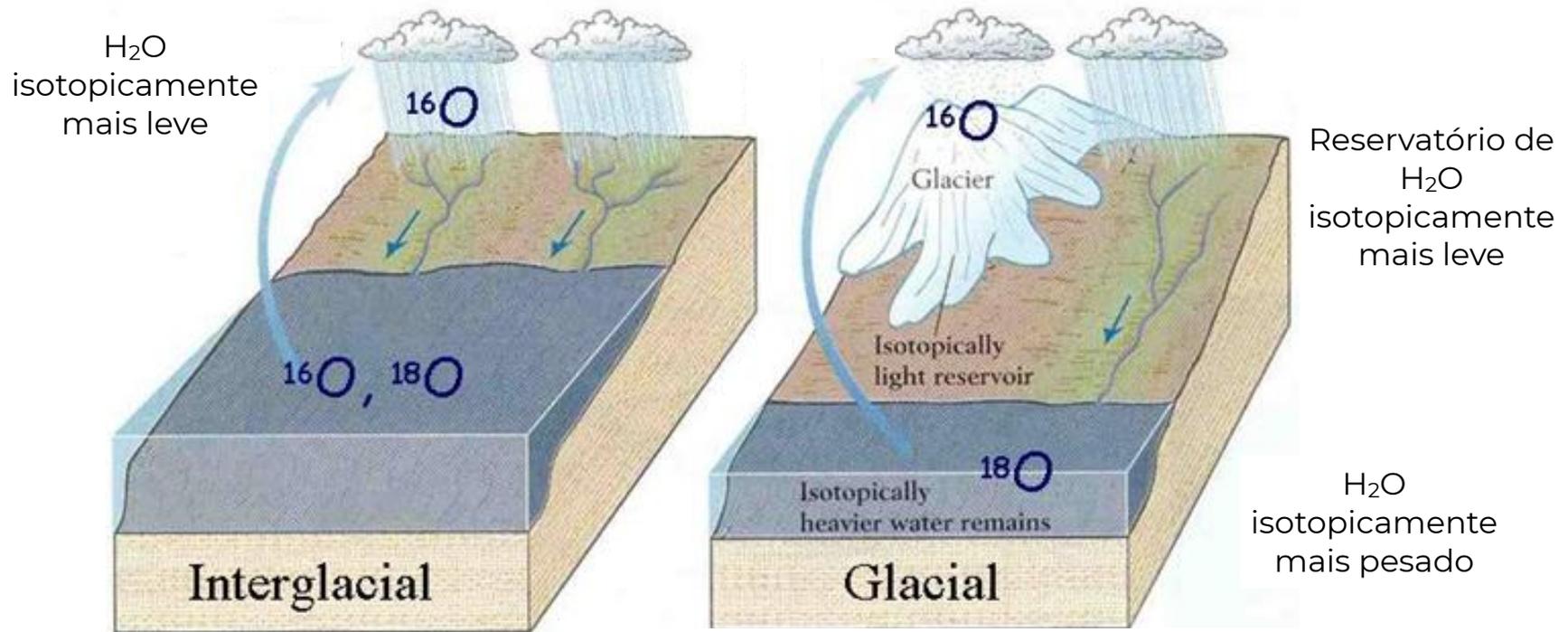
Bolhas de ar contêm gás



Bolhas de ar aprisionadas no gelo representam a química da atmosfera.

Temperatura do ar é determinada pela química da água (isótopo de oxigênio)

As razões entre isótopos na água gelada refletem a temperatura do clima.



Água isotopicamente mais leve evapora do oceano e retorna pelos rios: o sistema está em balanço.

Geleiras expandem-se, formando um novo reservatório de água isotopicamente mais leve na terra: o nível do mar cai e o oceano torna-se isotopicamente pesado.

Questão 4: Como podemos comparar os dados recentes com a história geológica?

Atividade C: Qual é a taxa de variação máxima no registro do testemunho de gelo?

Como os dados se comparam às condições atuais na Antártica?

Encontre a taxa de mudança mais rápida nos dados do testemunho de gelo:

Faça um gráfico dos dados primeiro e, em seguida, extraia um tempo com a variação mais rápida:

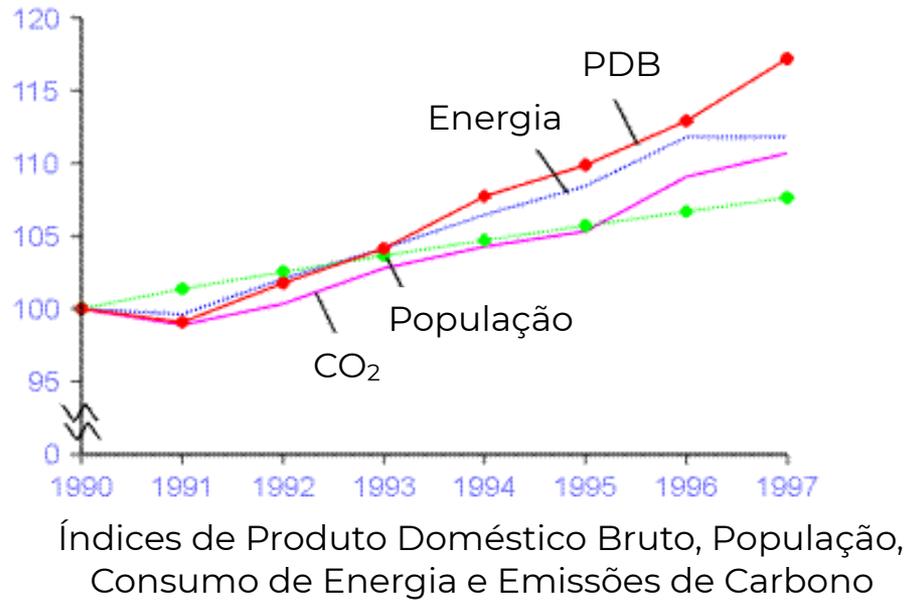
- Temperatura do ar em Vostok
- CO₂ atmosférico em Vostok

Como as taxas de variação pré-históricas se comparam às taxas de variação atuais?

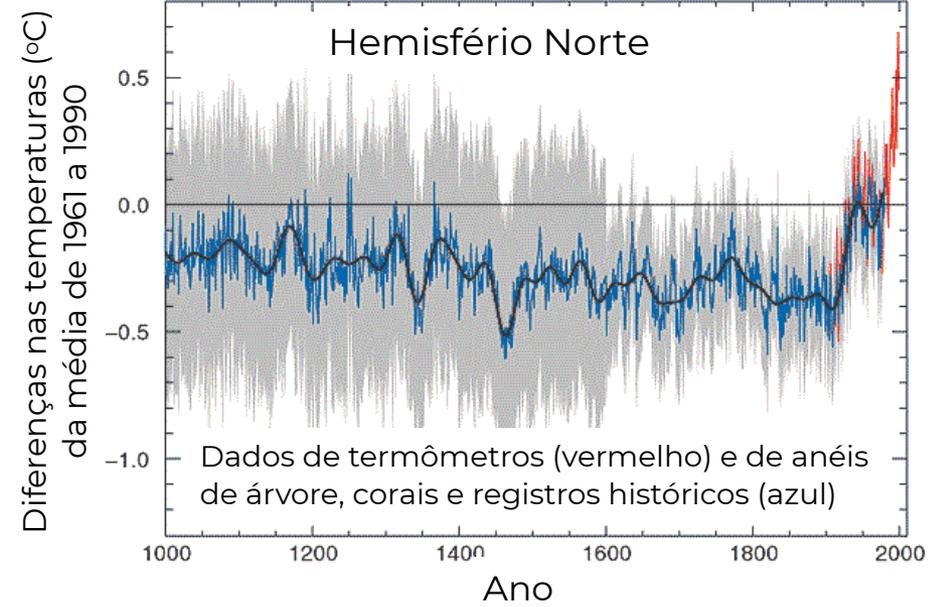
Como sabemos que as mudanças recentes são devidas à atividade humana?

- As temperaturas são as mais altas nos últimos 500.000 anos.
- As mudanças na composição atmosférica correspondem ao desenvolvimento industrial.
- A taxa atual de variação de temperatura é maior do que qualquer coisa que vimos no registro geológico.
- Os modelos sugerem que não poderíamos atingir as temperaturas atuais a menos que a atividade humana fosse considerada.

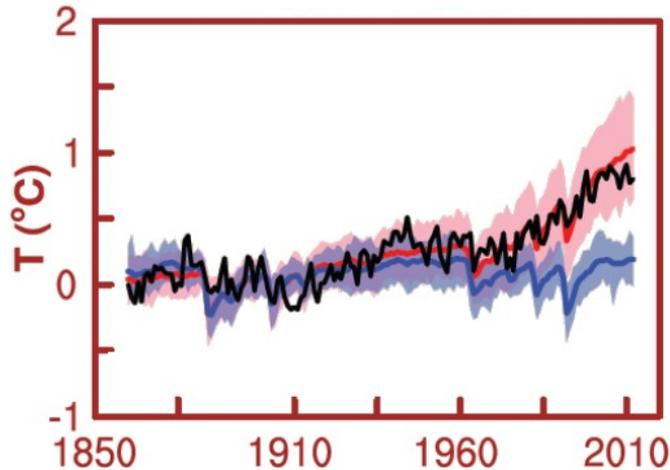
1. Correlações



2. Taxas de Variação



Oceano+Terra



3. Modelos

- Observações
- Modelos usando só forçantes naturais
- Modelos usando forçantes naturais e antropogênicas

- Aumento dos gases de efeito estufa.
- As mudanças são relativamente recentes (últimos 200 anos).
- As taxas de mudança são rápidas.
- As concentrações de CO₂ excedem essa faixa natural nos últimos 650.000 anos.
- Desde o início de 1800, as concentrações de CO₂ aumentaram de 280 para 414 partes por milhão ... (<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/monthly.html>)

Uma tempestade de neve realmente intensa indica que o clima está ficando mais frio?



Gary Warrington, of Atlantic City, digs out his car out on Arctic Ave in Atlantic City, N. J., Friday, Jan. 3, 2014. (AP / The Press of Atlantic City, Edward Lea)

Image 3 of 5

CLOSE X

"O clima extremo, com temperaturas atingindo -30°C de sensação térmica e 60 cm de neve, reforça as dúvidas de que o aquecimento global é causado pelo homem."

Você acredita nesta afirmação?

Por que ou por que não?

Temperatures Passadas na Terra

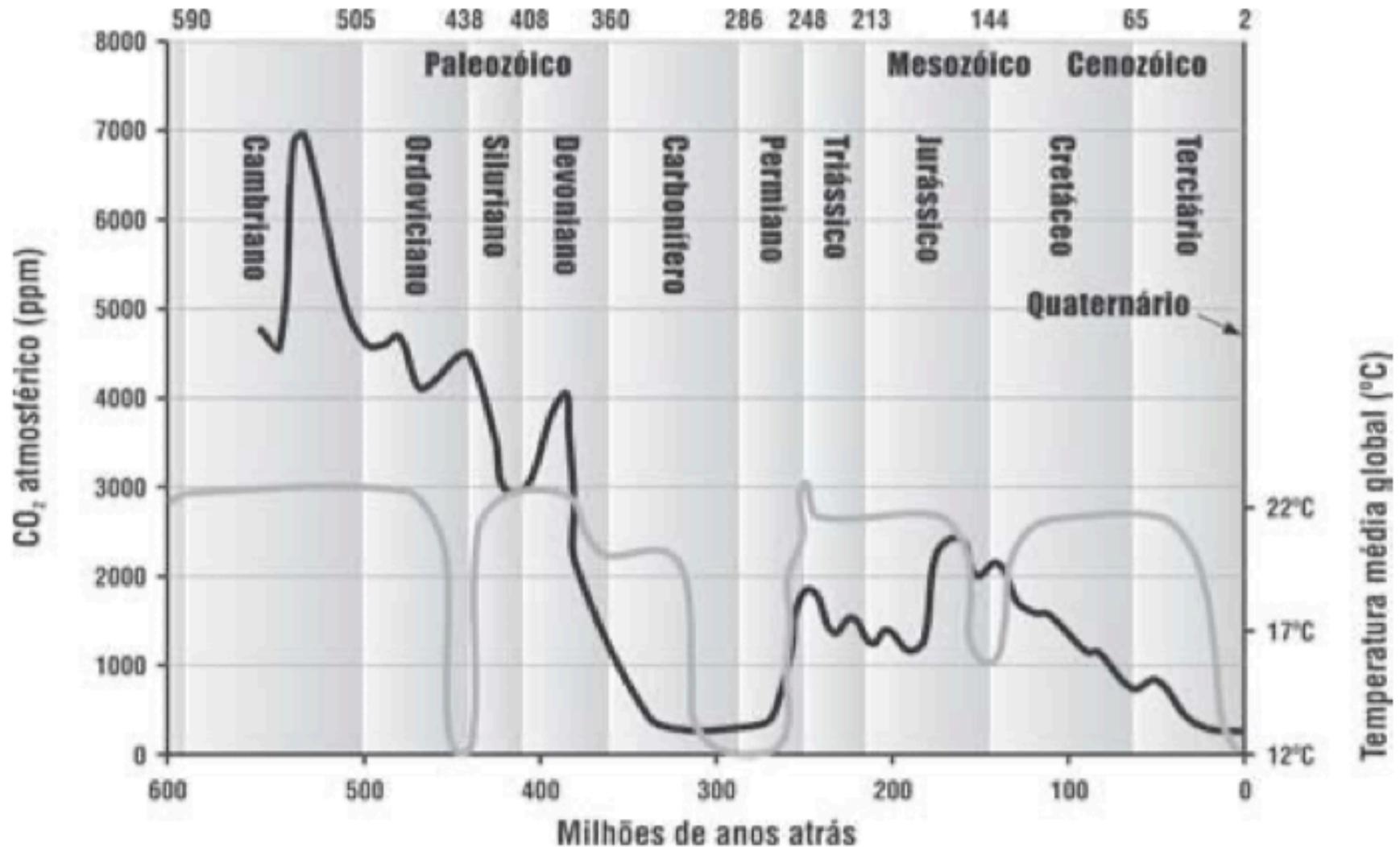


Figura 4: Variação da concentração de CO₂ atmosférico durante as eras geológicas

Fonte: Adaptado por Silva e Paula (2010).