



# **Microcredenciação**

**QUÍMICA VERDE E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

**Química na Atmosfera**

**Valentim M. B. Nunes**

**Unidade Departamental de Engenharias**

**Instituto Politécnico de Tomar, junho, 2024**

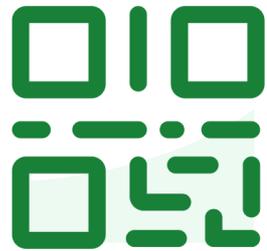
A composição da troposfera terrestre, os gases poluentes e suas fontes, designadamente os gases que provocam efeitos de estufa e alternativas para minorar as fontes de poluição.

O papel do ozono na troposfera e na estratosfera, e a formação e destruição do ozono estratosférico.

A reatividade dos radicais livres, espécies que possuem elétrons desemparelhados e alguns dos seus efeitos na atmosfera e sobre os seres vivos.

**slido**

Please download and  
install the Slido app on  
all computers you use



**Join at [slido.com](https://slido.com)  
#9161894**

① Start presenting to display the joining instructions on this slide.

slido

Please download and  
install the Slido app on  
all computers you use



## De onde vens? Distrito

① Start presenting to display the poll results on this slide.



## Introdução

A produção e consumo de praticamente todos os tipos de energia tem impactos ambientais. A utilização de combustíveis fósseis contribui para a acumulação de CO<sub>2</sub> o principal gás com efeito de estufa. A desflorestação contribui igualmente para este efeito pois a floresta é um sumidouro de Carbono.

A industrialização acelerada no Séc. XX (mais ainda que o crescimento populacional) vieram trazer à humanidade novos problemas e desafios: por um lado o crescente consumo de energia é uma realidade, por outro os impactos são importantes, tais como o aquecimento global, a rarefação da camada de ozono ou o problema das chuvas ácidas....



- Grande desafio do Séc. XXI
- Questão energética versus Ambiente.

# Aquecimento Global

**Aquecimento global** é o aumento da temperatura média dos oceanos e do ar perto da superfície da Terra que ocorre desde meados do século XX e que deverá continuar no século XXI. Segundo o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2007), a temperatura na superfície terrestre aumentou  $0,74 \pm 0,18$  °C durante o século XX. A maior parte do aumento de temperatura observado desde meados do século XX foi causada por concentrações crescentes de gases do efeito estufa, como resultado de atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis e a desflorestação.

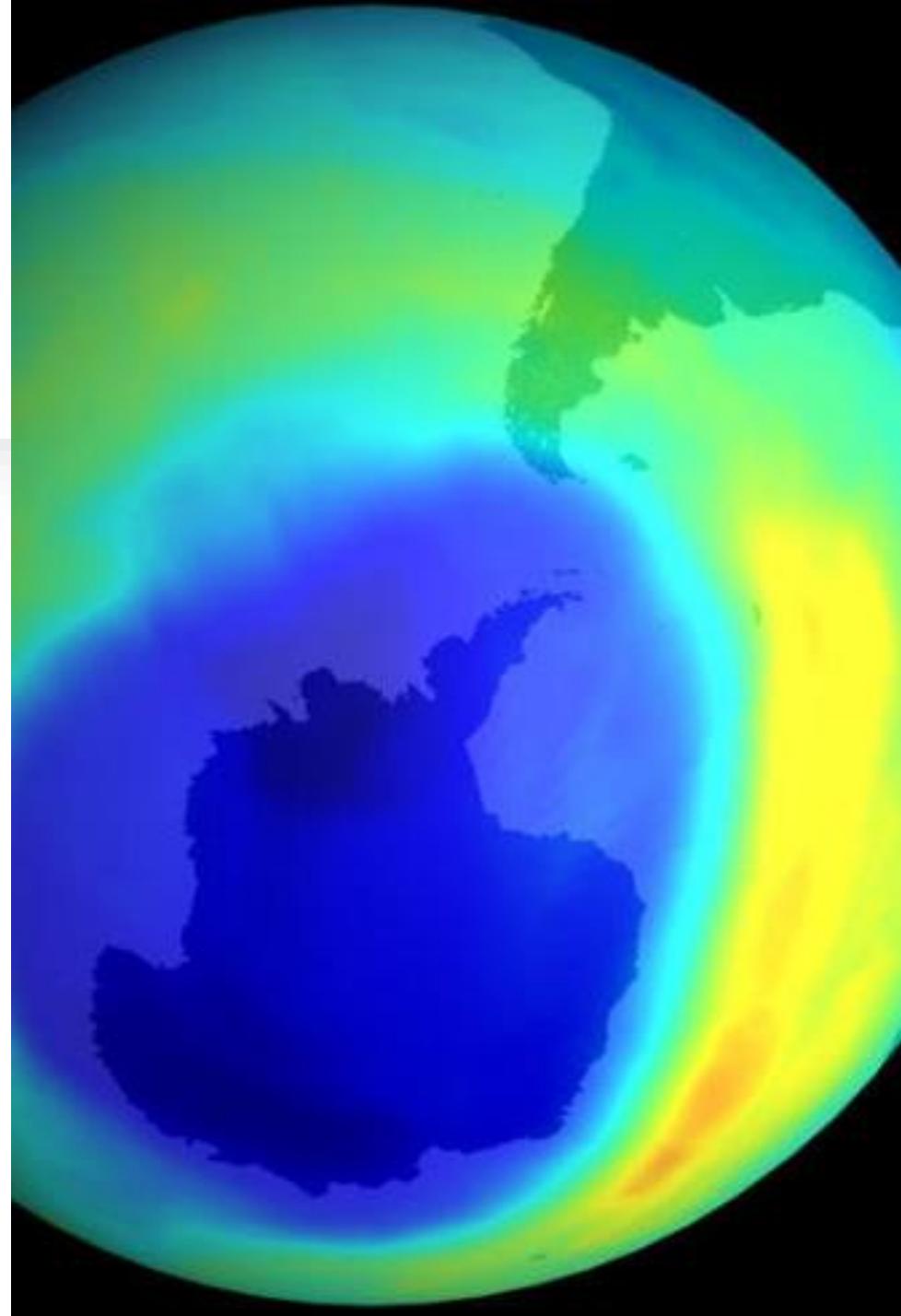
O dióxido de carbono e outros gases com efeito de estufa aquecem a atmosfera impedindo a transferência de calor por radiação a partir da Terra para o espaço exterior. Limitar o crescimento da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera da Terra requer: (a) a redução da quantidade de combustíveis fósseis queimados; (b) a sequestração do CO<sub>2</sub> abaixo da superfície da Terra ou dos oceanos.

## Camada de ozono

Os principais responsáveis pela redução da camada de ozono, são as unidades industriais e de produção de energia, como a geração de energia elétrica, e indústria química em geral. A utilização de combustíveis para a produção de energia é um dos factores principais.



- Esta camada é fundamental para assegurar a vida na Terra, uma vez que o ozono estratosférico tem a capacidade de absorver grande parte da radiação ultravioleta, que pode provocar efeitos nocivos (ou até mesmo letais) nos seres vivos.



## Chuvas ácidas

A queima de carvão e de combustíveis fósseis e os poluentes industriais lançam dióxido de enxofre e de nitrogénio na atmosfera. Esses gases combinam-se com o hidrogénio presente na atmosfera sob a forma de vapor de água. O resultado é a chuva ácida.

- 
- Assumem particular importância os óxidos de nitrogénio ( $\text{NO}_x$ ) gerados pelas altas temperaturas de queima dos combustíveis fósseis e os compostos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) produzidos pela oxidação das impurezas sulfurosas existentes na maior parte dos carvões e petróleos.



"Dad, what's acid rain?"

## O protocolo de Quioto

Este protocolo foi adotado em 1998 em Kyoto, Japan. Requeria aos países participantes a redução da emissão antropogénica de gases com efeito de estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFCs, PFCs, and  $\text{SF}_6$ ) para valores pelo menos 5% abaixo dos níveis de 1990, durante o período de 2008 to 2012.

- O protocolo estimulava os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas ações básicas:
- Reformar os sectores de energia e transportes;
  - Promover o uso de fontes energéticas renováveis;
  - Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;
  - Limitar as emissões de metano na gestão de resíduos e dos sistemas energéticos;
  - Proteger florestas e outros sumidouros de carbono

# THE INTENSIVE "WHO CARES?" UNIT

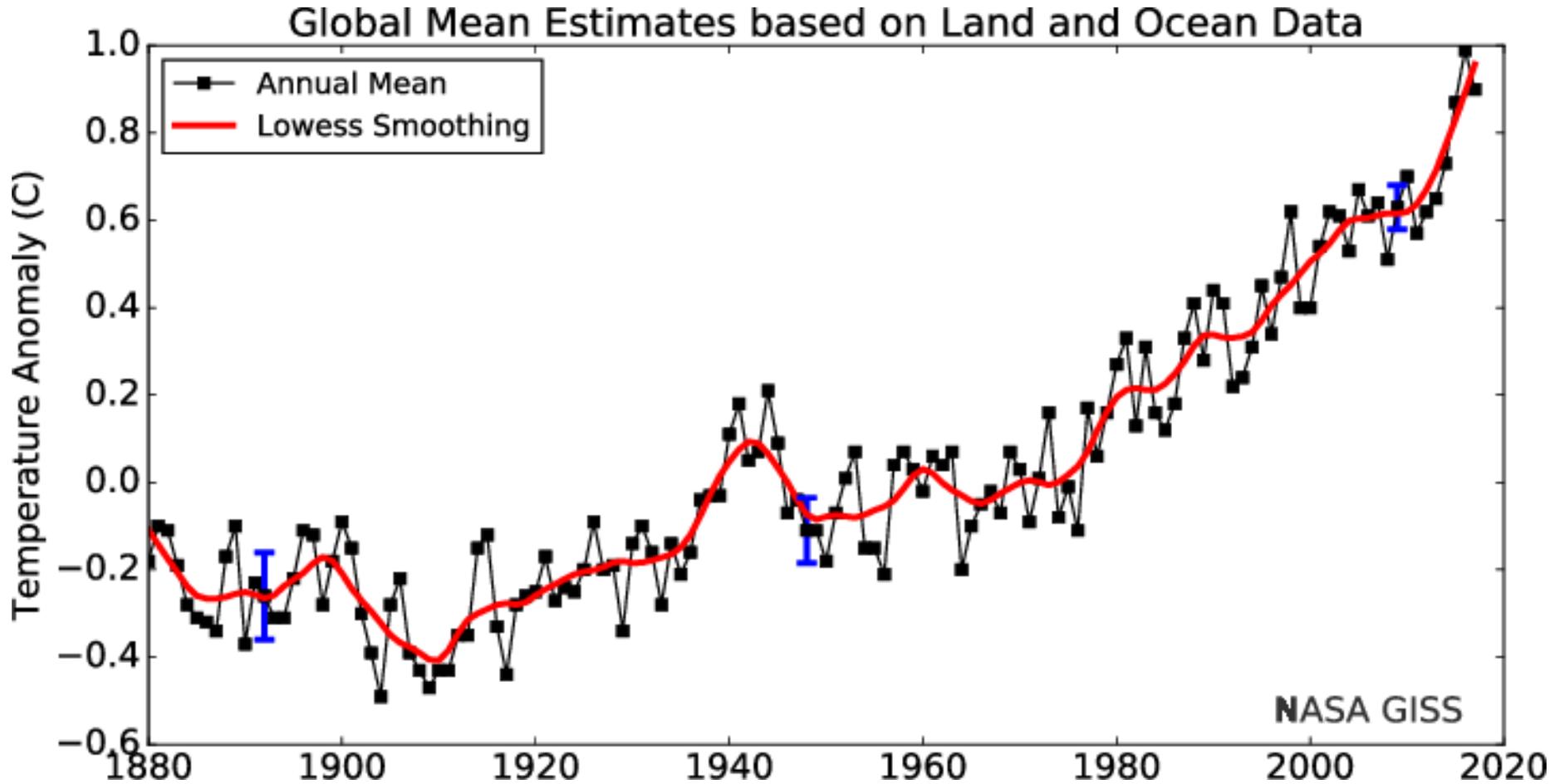
PROUDLY PRESENTS:

Save the Kyoto Protocol!



© Jipko Keimura 2001

O aquecimento global é um aumento do efeito estufa da atmosfera terrestre, resultando num aumento da temperatura média anual da superfície da Terra na ordem de 0,5–1 °C. Embora ainda pequeno, este aumento de temperatura poderá atingir 2–3 °C até ao final do século XXI, um valor que se acredita ser quase certo que causará alterações climáticas globais que afetarão toda a vida biológica no planeta com consequências incertas.



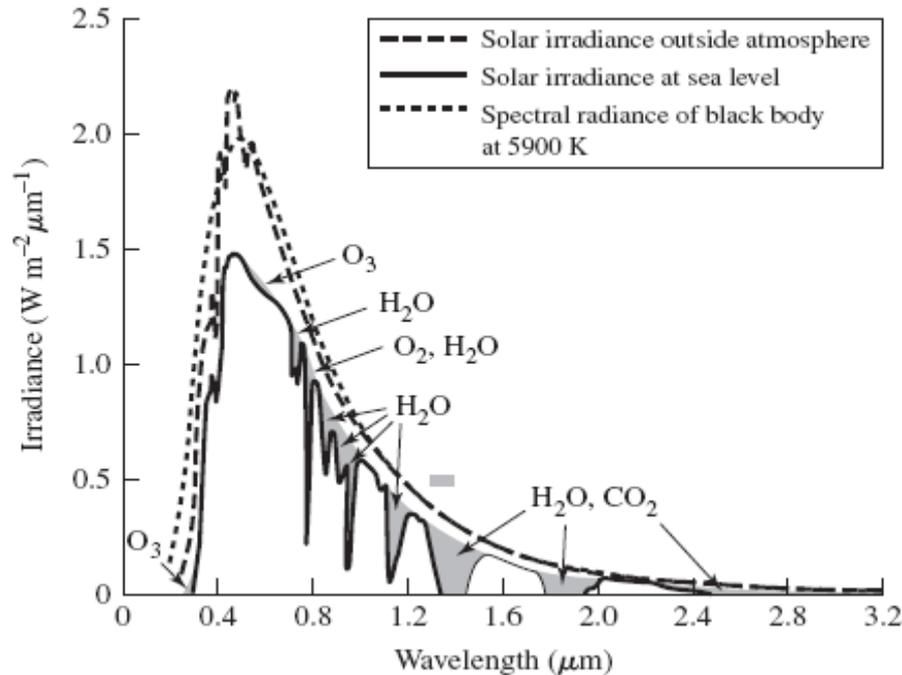
[Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis \(GISTEMP v4\) \(nasa.gov\)](https://data.giss.nasa.gov/gistemp/)

O termo efeito de estufa resulta da analogia com uma estufa de jardim. Aí, uma estrutura coberta de vidro permite a entrada da radiação solar, aquecendo o solo e as plantas que nele crescem, enquanto a cobertura de vidro restringe a fuga de calor para o ambiente por convecção e radiação.

Da mesma forma, a atmosfera terrestre deixa passar a maior parte da radiação solar, que aquece a superfície terrestre, mas certos gases, chamados gases com efeito de estufa (GEE), retêm o calor radiativo que sai perto da superfície, causando temperaturas superficiais elevadas.

O efeito de aquecimento da superfície terrestre por certos gases na atmosfera foi reconhecido pela primeira vez em 1827 por Jean-Baptiste Fourier, o famoso matemático francês. Por volta de 1860, o cientista britânico John Tyndall mediu a absorção da radiação infravermelha pelo  $\text{CO}_2$  e pelo vapor de água e sugeriu que a causa das eras glaciais pode ser devida a uma diminuição das concentrações atmosféricas de  $\text{CO}_2$ .

Em 1896, o cientista sueco Svante Arrhenius estimou que duplicar a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera poderia levar a um aumento da temperatura da superfície terrestre entre 5–6 °C.



Na zona do UV, o oxigénio e o ozono na estratosfera são a maioria dos gases absorventes. Na parte do visível, flutuações na densidade de moléculas na atmosfera refletem a luz solar. No infravermelho as moléculas poliatómicas presentes nas partes mais baixas da atmosfera (troposfera) como o  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , e outras, absorvem a radiação solar.

$$I_S = S_0 \pi R_E^2 (1 - \alpha)$$

$S_0$  = média anual de energia solar que atinge o topo da atmosfera, designada por constante solar,  $1367 \text{ W m}^{-2}$

$R_E$  = raio da Terra, 6371 km

$\alpha$  = valor médio atual do albedo terrestre,  $0.3 \pm 0.03$

$$I_E = 4\pi R_E^2 \sigma T_E^4$$

$\sigma$  = constante de Stefan–Boltzmann  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$T_E$  = temperatura radiativa equivalente de corpo negro da Terra, K

$$T_E = \left[ \frac{S_0(1 - \alpha)}{4\sigma} \right]^{1/4} = 255 \text{ K } (-18^\circ\text{C})$$

Adicionalmente ao efeito radiativo devido ao aumento da concentração de GHG, um aumento da temperatura da superfície inevitavelmente vai causar efeitos secundários, designados por efeitos de *feedback*

$$\Delta T_s \propto \Delta Q / \beta$$

onde  $\Delta T_s$  é o incremento na temperatura da superfície,  $\Delta Q$  é o efeito radiativo devido simplesmente aos GHG, e  $\beta$  é um factor dando conta do efeito de feedback. Se  $\beta < 1$ , o feedback é positivo, o que faz com que o aumento da temperatura de superfície seja ainda maior que o devido apenas ao aumento da concentração dos gases com efeito de estufa. Se  $\beta > 1$ , o feedback é negativo, o que atenua a subida da temperatura da superfície.

## Feedback do vapor de água

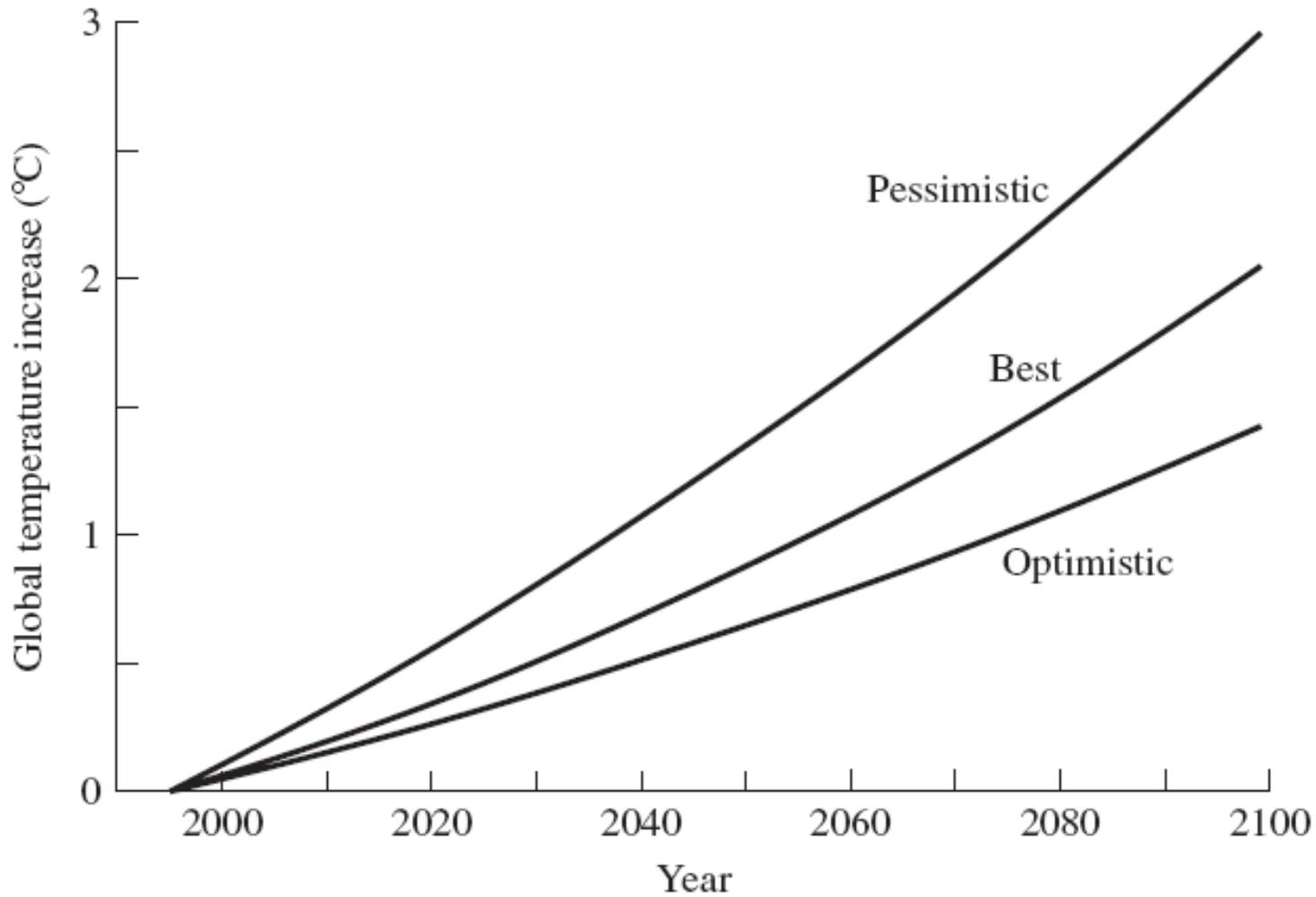
Este mecanismo é talvez o mais importante em termos de efeitos de feedback. O vapor de água é um gás que absorve fortemente radiação no infravermelho a comprimentos de onda entre 5 e 7  $\mu\text{m}$  e acima de 10  $\mu\text{m}$ . Uma vez que a temperatura média da superfície da Terra aumenta, mais evaporação vai ocorrer a partir das vastas superfícies dos oceanos, logo a atmosfera vai ficar mais saturada em vapor de água ou seja a humidade vai aumentar. Isto vai causar num aumento da absorção da radiação Infravermelha que deixa a Terra, e logo causar um efeito de feedback positivo.

## Feedback do albedo do gelo

À medida que a superfície da Terra se eleva devido ao aumento da concentração dos GHG, as camadas de gelo do Ártico e do Antártico podem fundir. Também os glaciares, que estão em recessão durante este período interglaciar, podem recuar ainda mais rapidamente. Uma vez que o gelo tem um albedo muito elevado (reflete mais a luz solar) do que a água e a terra, o desaparecimento do gelo vai ocasionar uma diminuição do albedo total da Terra,  $\alpha$ , o que vai causar uma temperatura radiativa da Terra,  $T_E$ , e também da superfície,  $T_S$ , ligeiramente superior.

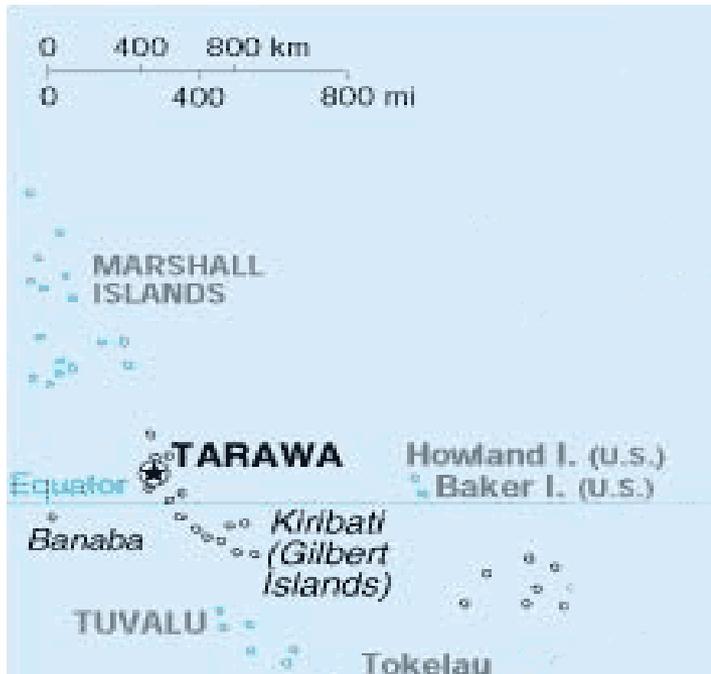
## Feedback de circulação dos oceanos

Outro mecanismo possível de feedback é a alteração da circulação dos oceanos e das correntes oceânicas. Genericamente, as água mais frias e mais salinas afundam para grandes profundidades, e águas mais quentes e menos salinas sobem para a superfície. As águas mais frias e mais salinas que a média, são geradas nos polos árticos, uma vez que o gelo forma-se à superfície. Estas águas afundam no oceano e movem-se em direção ao equador. Aí, águas mais quentes e menos salinas sobem à superfície e movem-se em direção aos polos. Com o degelo das calotes polares, o padrão normal de circulação dos oceanos pode ser alterado, com possíveis consequências na temperatura média global da superfície da Terra.



## Efeitos do aquecimento global

Com o aumento da temperatura da superfície o nível médio das águas do mar vai subir devido a três factores: degelo das calotes polares, redução dos glaciares, e expansão térmica das águas dos oceanos.



Kiribati, um pequeno país formado por 32 atóis e uma ilha - vulcão no Oceano Pacífico, quer mudar-se para as Fiji. O Beretitenti (Presidente) está a negociar a compra de 20km<sup>2</sup> nas Fiji para mudar para lá toda a população. in *Público*, 10 de Março de 2012

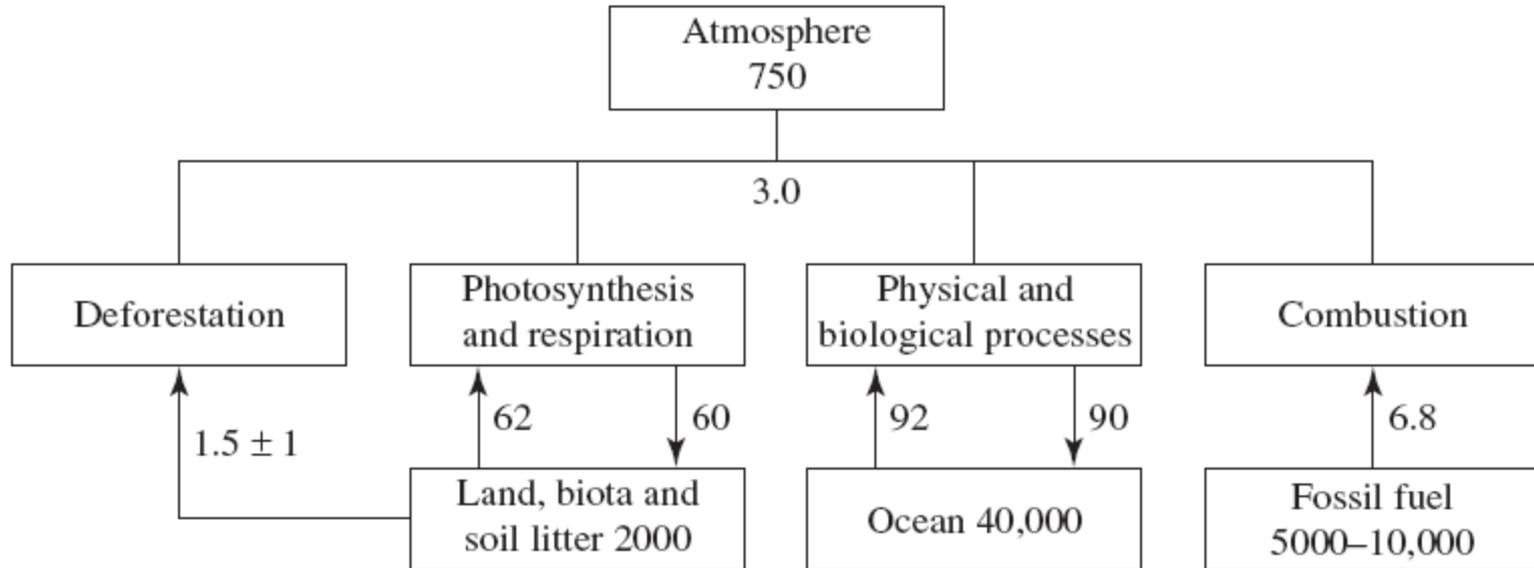
## Emissão de gases com efeito de estufa

Para além do CO<sub>2</sub> contribuem para o aquecimento global o metano, óxido nitroso, Clorofluorocarbonetos (CFC)\*, que são produtos inteiramente produzidos pelo Homem, em unidades industriais para usos como refrigerantes, propelentes, agentes espumantes, solventes, etc.

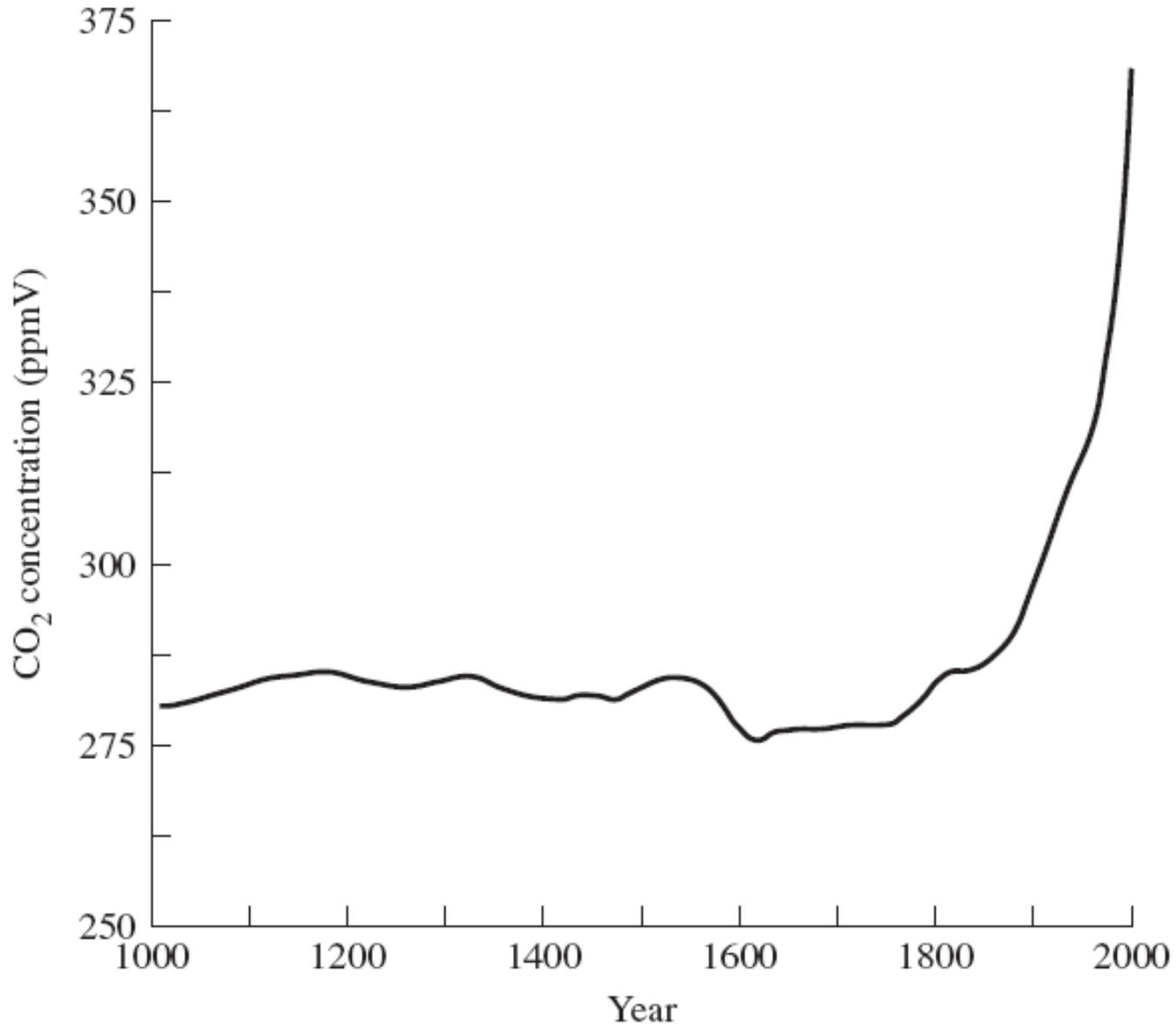
Concluindo, no ano de 2100, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, e CFC podem contribuir com cerca de 1/3 para o aquecimento global, com os restantes 2/3 a deverem-se ao CO<sub>2</sub>

\*As emissões de gases que destroem a camada de ozono, os CFC, dispararam entre 2010 e 2020., apesar da produção de CFC ter sido suprimida em 2010, ao abrigo do Protocolo de Montreal.

# Carbono

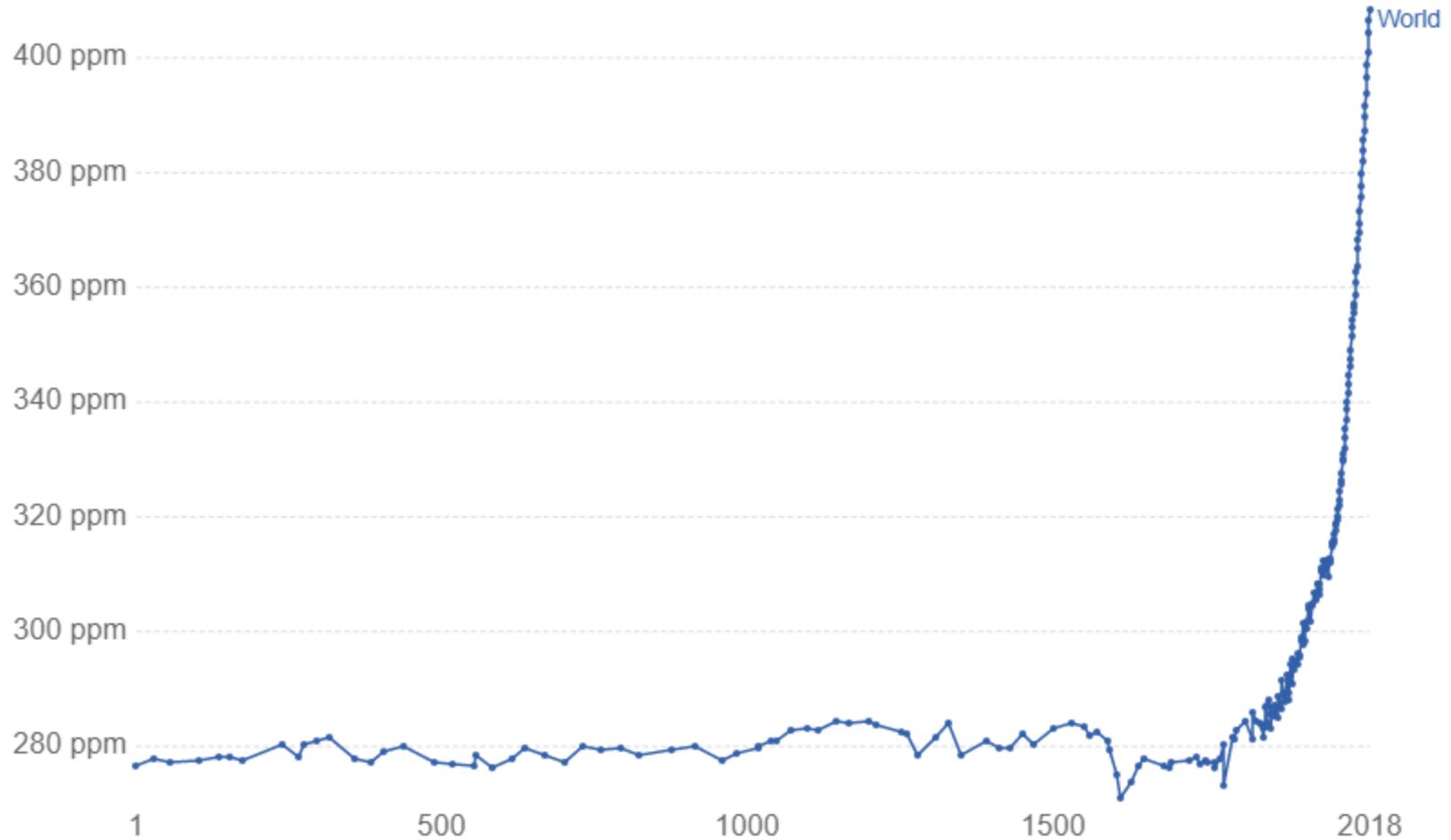


Presentemente, cerca de  $6.8 \text{ Gt } y^{-1}$  de carbono ( $25 \text{ Gt } y^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ) são emitidos para a atmosfera devido à combustão de combustíveis fósseis. Outros  $1.5 \pm 1 \text{ Gt } y^{-1}$  são emitidos devido à desflorestação e alteração do uso da terra.



# Global CO<sub>2</sub> atmospheric concentration

Global mean annual concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) measured in parts per million (ppm).



Source: NOAA/ESRL (2018)  
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

## Redução da Emissões

A redução das emissões de CO<sub>2</sub> podem ser alcançadas pela combinação de várias abordagens:

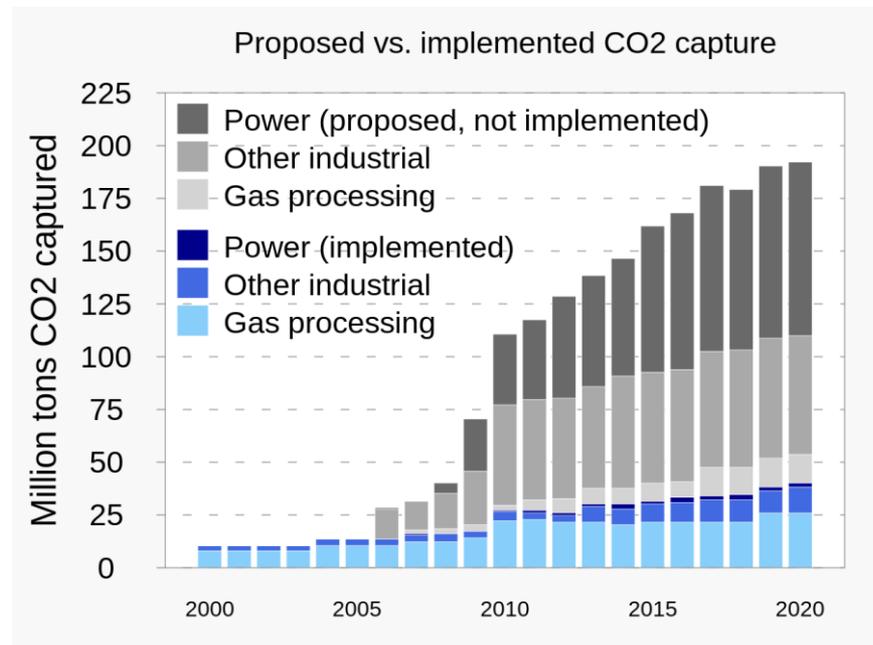
- Melhorias de eficiência no uso final da energia.
- Melhorias de eficiência do lado da produção de energia.
- Captura e sequestração do CO<sub>2</sub> em reservatórios subterrâneos ou no fundo dos oceanos.
- Utilização do CO<sub>2</sub> para aumentar a recolha de petróleo e gás natural e aumentar a produção (fotossíntese)
- Mudança para fontes de energia não fósseis (renováveis)

A captura de CO<sub>2</sub> é viável apenas em grandes instalações termoelétricas, especialmente as que queima carvão (porque o carvão emite mais CO<sub>2</sub> que o petróleo ou gás). Uma central de 1000-MW a carvão emite entre 6 a 8 Mt y<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. A captura do CO<sub>2</sub> a partir de todas as grande centrais a carvão do mundo inteiro representaria um redução significativa das emissões globais. As seguintes tecnologias para captura de CO<sub>2</sub> estão em desenvolvimento:

- Separação a partir do ar, e reciclagem do CO<sub>2</sub>
- Absorção por solventes
- Separação por membranas

Após a captura, o CO<sub>2</sub> tem de ser sequestrado em reservatórios por um período indefinido, de forma a não reemergir para a atmosfera. Os seguintes reservatórios estão a ser investigados, e nalguns casos já são utilizados para sequestrar CO<sub>2</sub>:

- Reservatórios de petróleo e gás esgotados.
- Fundos oceânicos.
- Fundos de aquíferos.



# A Química na Atmosfera

---

- A composição da atmosfera é relativamente simples, mas a química envolvida é bastante complexa, e não totalmente compreendida.



A Terra é o único planeta do Sistema Solar com uma atmosfera quimicamente ativa e rica em oxigénio.

# Composição da Atmosfera

A massa total da atmosfera é de cerca de  $5.3 \times 10^{18}$  kg.

## Composição do ar seco no nível do mar

Gás	Composição (% em volume)
N <sub>2</sub>	78,03
O <sub>2</sub>	20,99
Ar	0,94
CO <sub>2</sub>	0,033
Ne	0,0015
He	0,000524
Kr	0,00014
Xe	0,000006

Gases mais reativos, como o amoníaco ou o metano, existentes nos primórdios da Terra, praticamente desapareceram da atmosfera.

# Cleopatra's Last Breath...

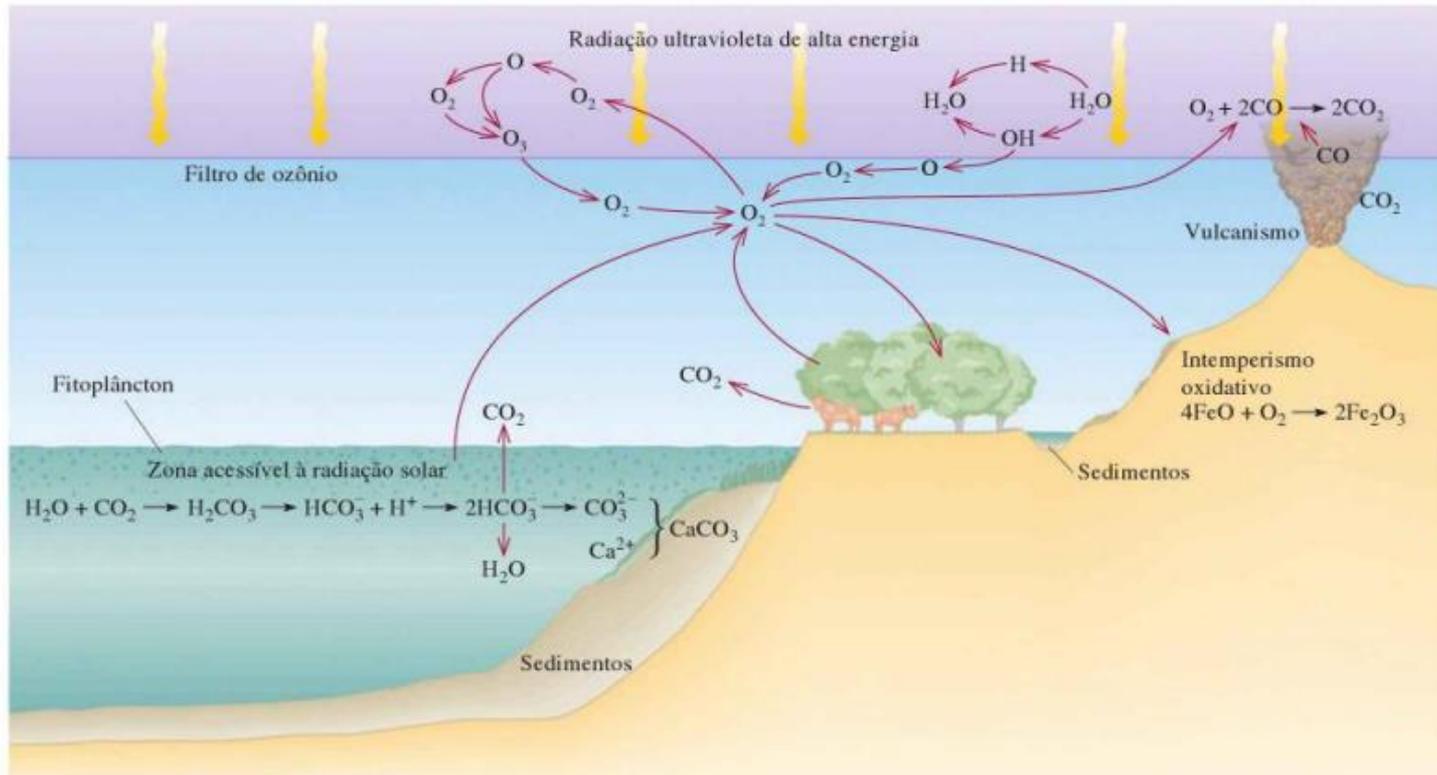
---

- Respire fundo. Notou algo especial? Sentiu um cheiro de Shakespeare, uma pitada de Sócrates, um traço de Cleópatra? Não? Não importa, estavam lá! Você acabou de inalar milhões de moléculas que cada um deles exalou alguma vez.



Vamos dar uma olhada num momento histórico: o último suspiro de Cleópatra. Você acabou de inalar cerca de 20 moléculas do seu último suspiro. Em números muito redondos, a atmosfera da Terra contém  $1,6 \times 10^{44}$  átomos, e cada respiração que fazemos consiste em  $8 \times 10^{22}$  átomos. Dividir o número de átomos em toda a atmosfera por aqueles em uma respiração mostra que cerca de 1 em cada  $2 \times 10^{21}$  átomos que respiramos no ar é proveniente da exalação moribunda de Cleópatra (assumindo, razoavelmente, que os ventos ao longo de dois mil anos tenham feito o trabalho de mistura). Isto, por sua vez, significa que cada um de nós inala cerca de 40 átomos – digamos 20 moléculas – do seu último suspiro cada vez que respiramos.

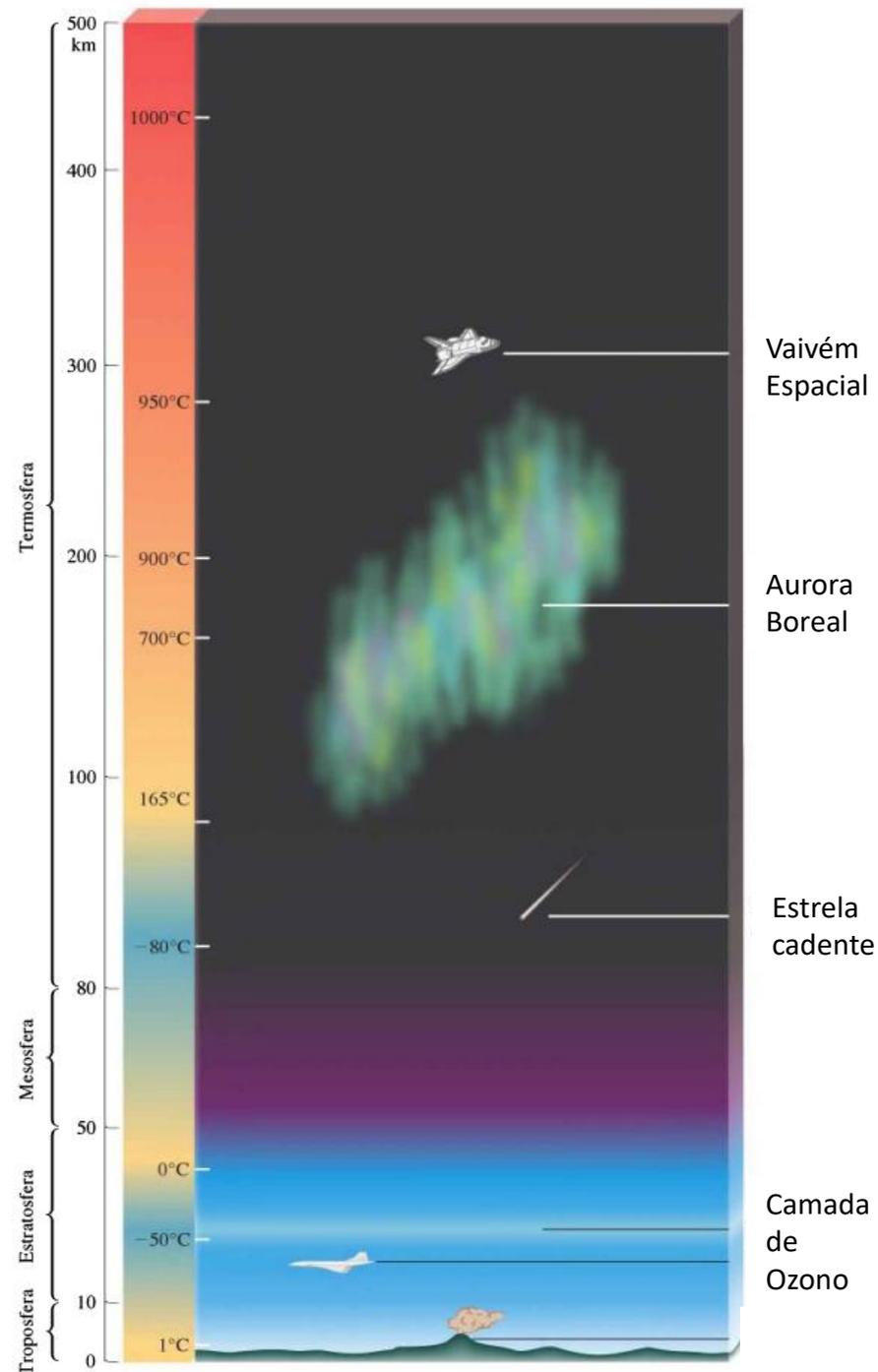
# Ciclo do oxigénio



O oxigénio surge em diferentes formas, principalmente como oxigénio molecular, na água em diferentes compostos orgânicos e inorgânicos.

# As camadas da Atmosfera

A Troposfera contem cerca de 80% da massa total, e praticamente todo o vapor de água da atmosfera. É aqui que ocorrem todos os eventos mais significativos do clima – chuva, relâmpagos etc. A temperatura diminui com a altitude.



A Estratosfera contem sobretudo azoto, oxigénio e ozono. Em resultado de reações exotérmicas iniciadas pela radiação UV proveniente do Sol, a temperatura aumenta. Um dos produtos destas reações (como veremos) é o ozono, que impede que os raios UV atinjam a superfície da Terra.

As camadas superiores são mais rarefeitas. O aquecimento deve-se ao bombardeamento de espécies moleculares por partículas altamente energéticas provenientes do Sol (protões e eletrões)

## A rarefação do Ozono na Estratosfera

A formação de ozono na estratosfera começa com a fotodissociação das moléculas de oxigénio pela radiação solar:



Os átomos de oxigénio, extremamente reativos, combinam-se com moléculas de oxigénio para formar ozono, na presença de uma espécie inerte, M, que absorve parte do calor libertado na reação exotérmica. O restante calor é libertado para a vizinhança (aumento de temperatura).



O próprio ozono absorve radiação na região do UV, entre 200 e 300 nm, sendo que as espécies se podem recombinar aquecendo mais a estratosfera.



A cinética de formação e destruição de ozono por processos naturais mantém uma concentração de ozono aproximadamente constante na estratosfera. Contudo a emissão de certas substâncias, como os CFC (clorofluorcarbonetos) provou ter impacto sobre este equilíbrio dinâmico.



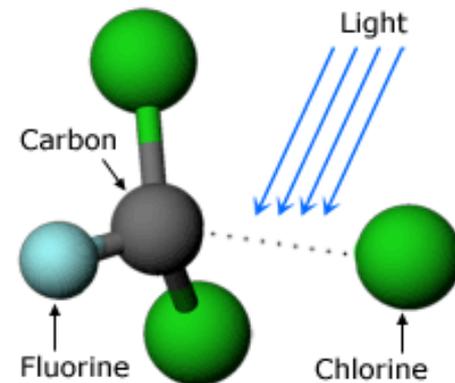
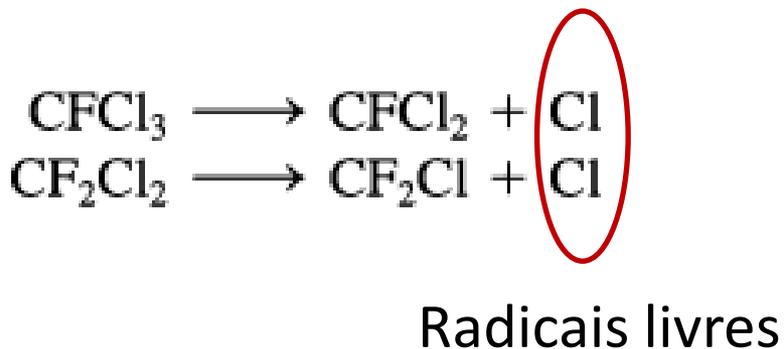
Na estratosfera o ozono atua como escudo protetor contra a radiação UV, que pode causar, entre outros, câncer da pele, mutações genéticas, destruição de colheitas e outras formas de vegetação, etc.



# Fréons

Os fréons, nome comercial dos CFC, foram sintetizados a partir dos anos 30, e utilizados durante décadas como propelentes, refrigerantes, etc., dado serem relativamente inertes, não tóxicos e voláteis.

Por serem inertes difundem-se para a estratosfera onde a radiação de comprimentos de onda entre 175 e 220 nm causa a sua decomposição:



Os átomos reativos de cloro sofrem sucessivas reações:



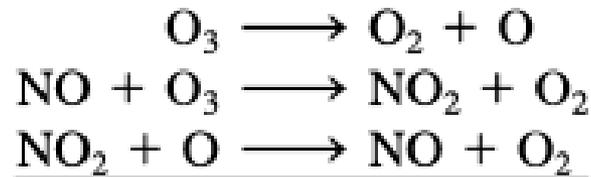
O resultado global é a remoção de uma molécula de ozono da estratosfera:



Os átomos de cloro funcionam como catalisadores, podendo participar na destruição de centenas de milhares de moléculas de ozono antes de serem consumidos por qualquer outra reação.

## Os $\text{NO}_x$

Outro grupo de compostos que podem destruir o ozono são os óxidos de nitrogénio, resultantes de atividades humanas:

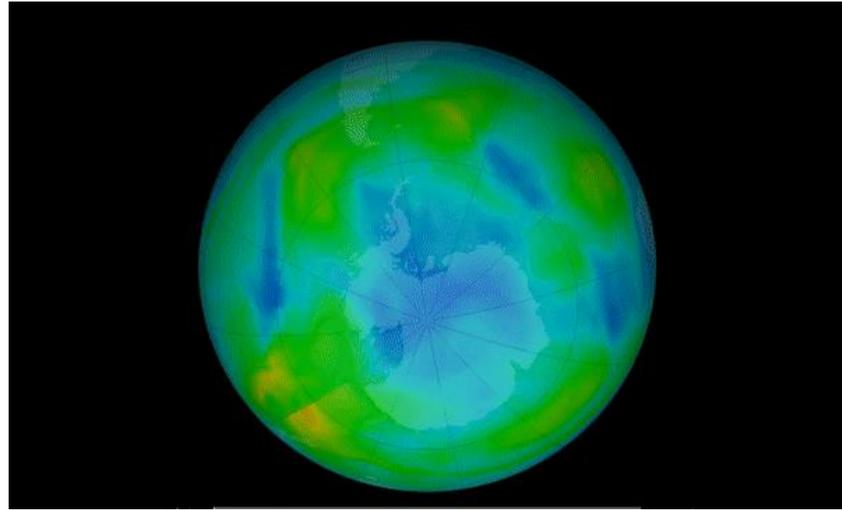


Neste caso o  $\text{NO}$  é o catalisador e o  $\text{NO}_2$  é o intermediário. O dióxido de nitrogénio também reage com o monóxido de cloro para formar nitrato de cloro, que é relativamente estável e funciona como “reservatório” de cloro, acumulando-se nos polos do planeta:



Na estratosfera, uma corrente conhecida como vórtice polar circula pela Antártida. Durante o inverno, extremamente frio, formam-se partículas de gelo, que atuam como catalisadores heterogéneos convertendo HCl (emitido em resultado de atividades humanas) em  $\text{Cl}_2$

No início da primavera a luz solar converte moléculas de cloro em átomos de cloro que, como vimos, atacam o ozono.

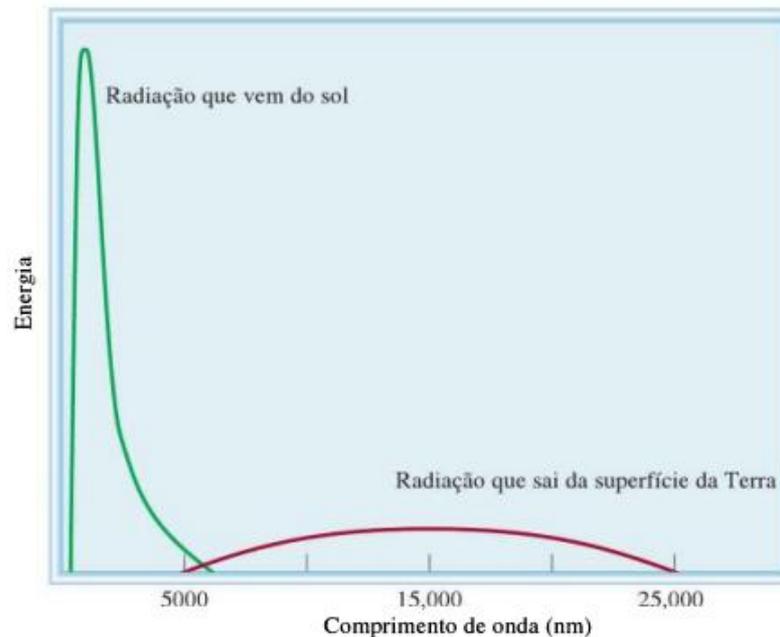


## Efeito estufa

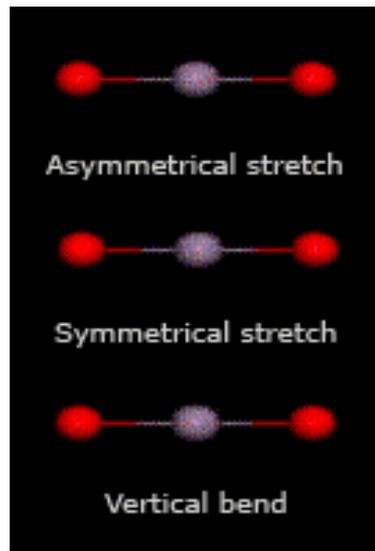
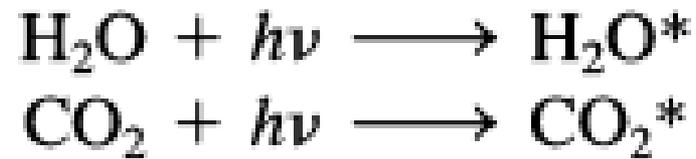
O efeito estufa descreve, como vimos, o aprisionamento do calor perto da superfície da Terra (troposfera) pelos gases na atmosfera, em particular o dióxido de carbono. Cálculos mostram que sem CO<sub>2</sub> na atmosfera, a temperatura da superfície da Terra seria 30 °C mais baixa!

O CO<sub>2</sub> atua como o telhado de vidro de uma estufa, deixando passar a luz visível e absorvendo parte da radiação IV que sai, aprisionando assim o calor.

A energia solar radiante recebida pela Terra está distribuída entre os 100 nm e os 5000 nm, mas grande parte concentrada entre os 400 e os 700 nm (região do visível). Ao contrário, a radiação emitida pela Terra tem comprimentos de onda superiores a 4000 nm (região IV), uma vez que a temperatura da Terra é muito inferior à da superfície do Sol.

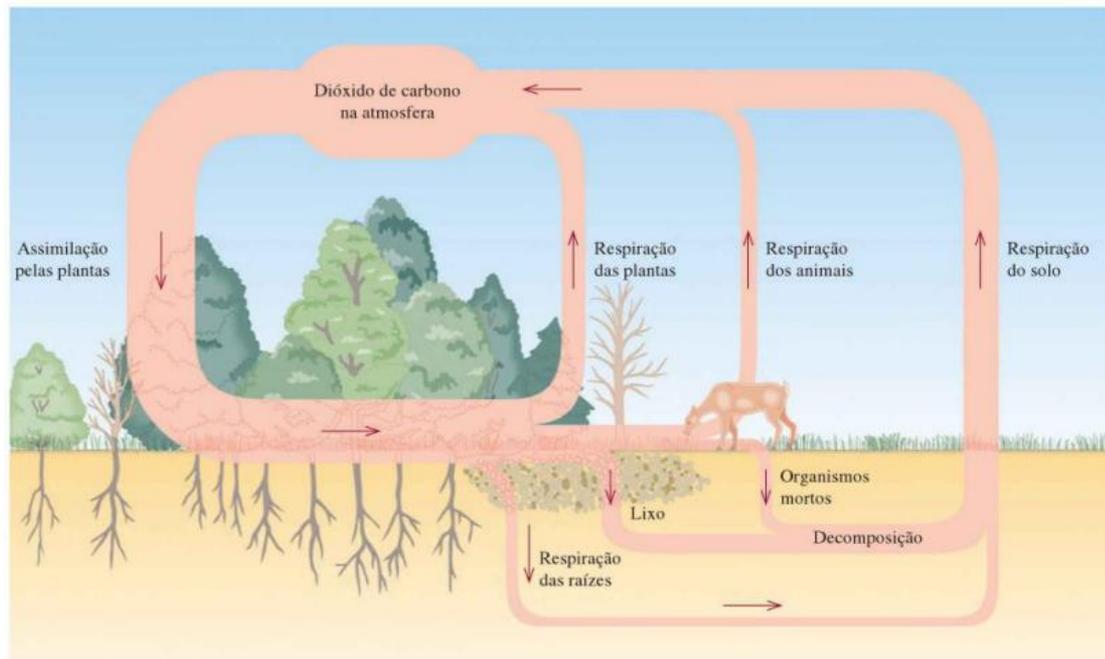


Esta radiação é absorvida pelo  $\text{CO}_2$  e vapor de água, uma vez que estas moléculas são poliatómicas e possuem movimentos vibracionais, mesmo a temperaturas muito baixas, e no decurso da vibração há variação do momento dipolar das moléculas (ao invés do  $\text{N}_2$  ou  $\text{O}_2$  que são moléculas diatómicas homonucleares)

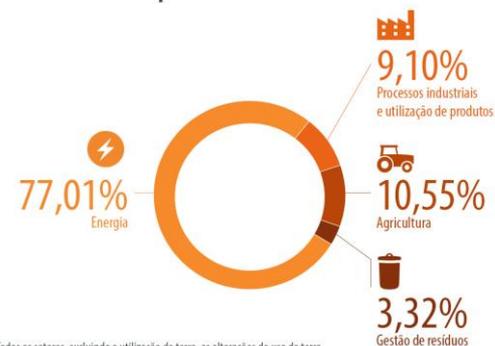


2 dos três modos de vibração ativos no IV

# Ciclo do carbono



Emissões de gases com efeito de estufa na UE por sector\* em 2019



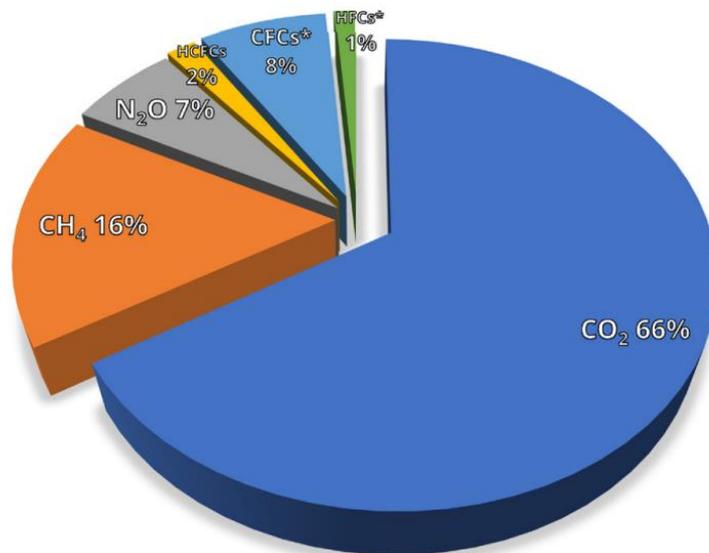
\* Todos os sectores, excluindo a utilização da terra, as alterações do uso da terra e a silvicultura (LULUCF)

A percentagem não atinge os 100% devido aos arredondamentos

Fonte: Agência Europeia do Ambiente (AEA)



Em resultado de atividades humanas, por exemplo a queima de combustíveis fósseis, mais CO<sub>2</sub> é emitido para a atmosfera, cuja concentração tem vindo a aumentar consideravelmente (como vimos atrás)



. Contribuições dos gases estufa mais importantes desde a era pré-industrial até 2020 (Fonte: WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 17)

Além do CO<sub>2</sub> e do vapor de água, outros gases como o CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC's e NO<sub>x</sub>, contribuem igualmente para o efeito de estufa.

# Chuvas ácidas

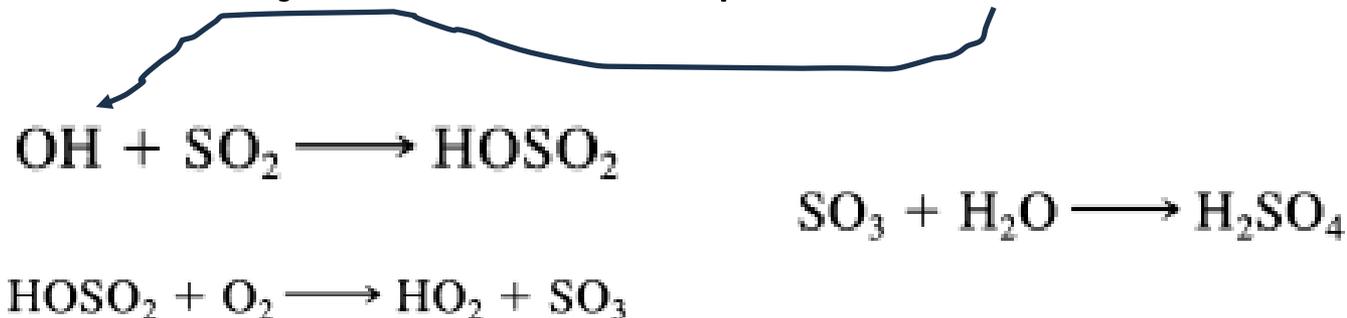
A chuva ácida é outra das consequências das emissões gasosas, e têm um enorme impacto sobre edifícios, obras de arte, vegetação, vida aquática, etc.



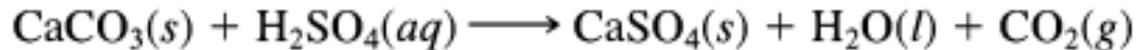
O  $\text{CO}_2$  em equilíbrio com a água provoca um  $\text{pH} \approx 5.5$ , pelo que valores inferiores só podem ser justificados pela reação de outros óxidos com a água.

O  $\text{SO}_2$ , e os óxidos de nitrogénio, em menor extensão, serão os responsáveis pela elevada acidez das águas da chuva, que se verifica mais acentuadamente em zonas muito industrializadas.

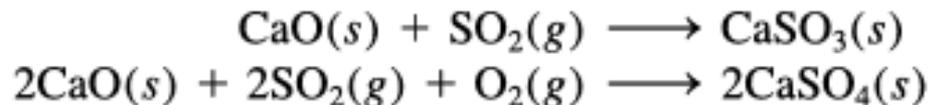
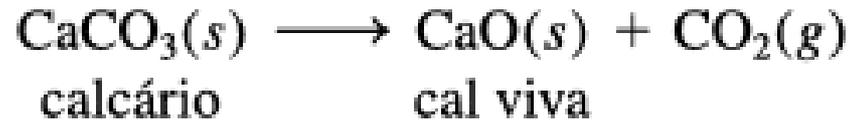
Na troposfera é praticamente todo o  $\text{SO}_2$  é oxidado a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , segundo um conjunto de reações cujo mecanismo é bastante complexo. A reação será iniciada por um radical:

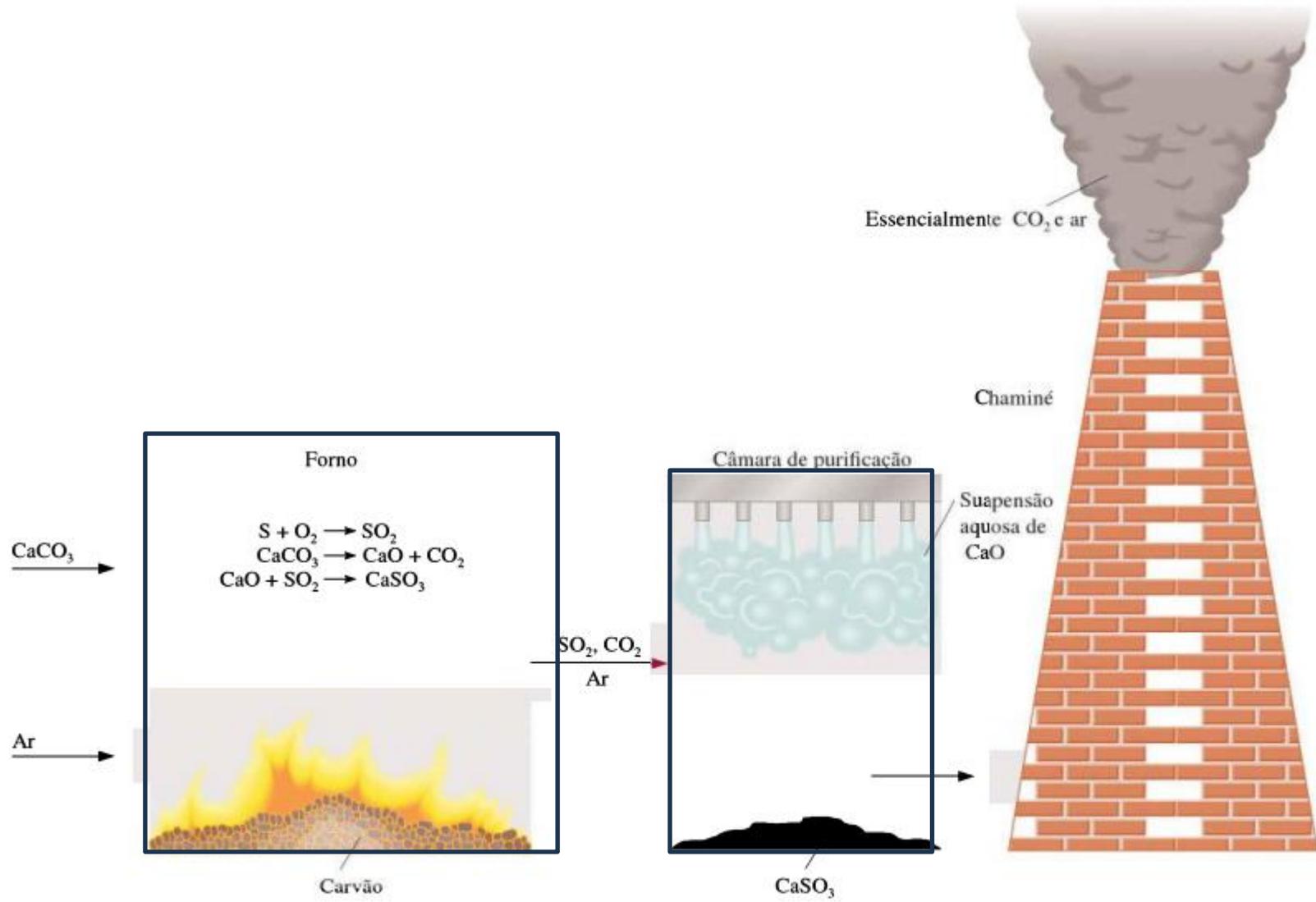


Finalmente o ácido sulfúrico, contido na chuva ácida, pode corroer o calcário e o mármore:



Uma forma de minimizar o problema consiste em remover o  $\text{SO}_2$  emitido na combustão de combustíveis fósseis, produzindo designadamente gesso. A temperaturas elevadas:





## Nevoeiro fotoquímico e ozono na troposfera

O nevoeiro fotoquímico, ou *Smog*, é formado devido a reações de gases provenientes dos escapes de automóveis. Por exemplo, a reação a altas temperaturas, dentro do motor, dá origem a óxido nítrico:



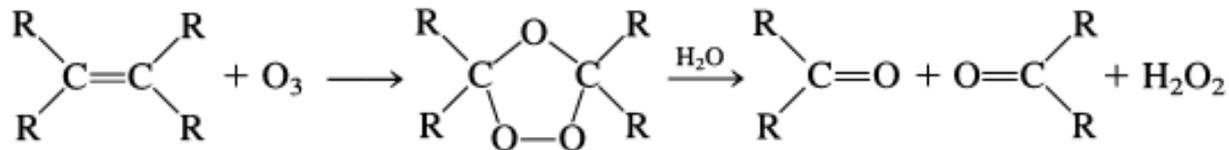
Uma vez libertado para a atmosfera é rapidamente oxidado a dióxido de nitrogénio:



A luz solar (com comprimento de onda menor que 400 nm) causa a decomposição fotoquímica do  $\text{NO}_2$ , e o radical formado causa várias reações uma das quais (como vimos) é a formação de ozono:



O ozono, por exemplo, ataca a ligação química  $\text{C}=\text{C}$



A condensação destas moléculas forma aerossóis que dispersam a luz do Sol, reduzindo a visibilidade, e fazendo com que ar pareça enevoado



Nas regiões onde o nevoeiro fotoquímico é frequente, as concentrações elevadas de ozono tem impacto sobre a saúde das populações, porque reações semelhantes são prejudiciais para os tecidos dos pulmões e têm efeito sobre outras moléculas biológicas.

## Bibliografia

Fay, J., Golomb, D.S., Energy and the Environment, Oxford University Press and Open University, Oxford, UK, 2004

G. Aubrecht, Energy, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 1994

Harold H, Schobert, Energy and Society, Taylor&Francis, New York, 2002

Chang, R., Goldsby, K., Química, 11<sup>a</sup> ed., McGraw-Hill, Lisboa, 2012

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



**Quais dos seguintes gases podem contribuir para o efeito de estufa?**

① Start presenting to display the poll results on this slide.

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



**Qual dos seguintes gases contribui mais para o efeito de estufa?**

① Start presenting to display the poll results on this slide.

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



**Em que camada da atmosfera o ozono é mais útil?**

① Start presenting to display the poll results on this slide.

slido

Please download and install the Slido app on all computers you use



Qual o pH da chuva ácida?

① Start presenting to display the poll results on this slide.