



Meteorologia Básica I

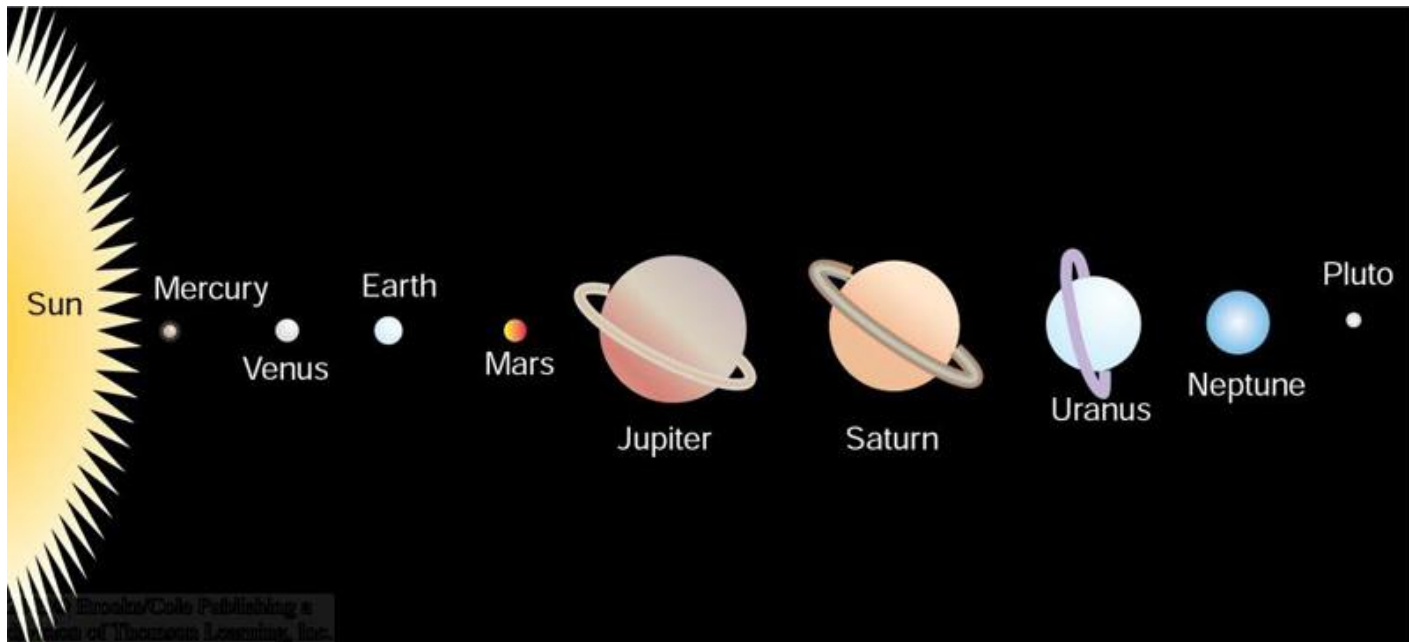
Composição da atmosfera

Prof. Renato Ramos da Silva
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC

<https://svs.gsfc.nasa.gov/30017>

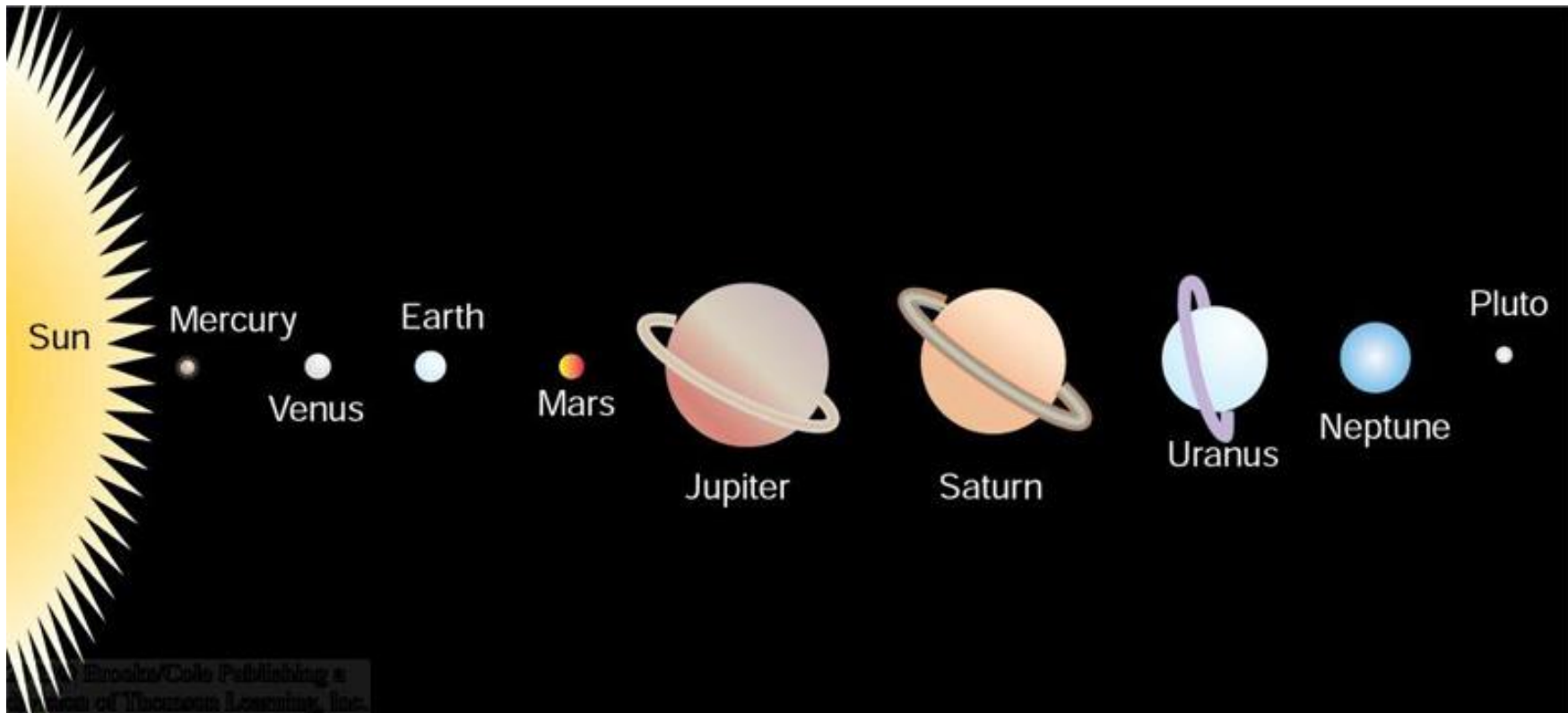
A Atmosfera Terrestre

- O universo contém bilhões de galáxias e cada galáxia é feita de bilhões de estrelas. **Estrelas** são bolas de gás quente que geram energia convertendo **hidrogênio** em **hélio** próximo de seu centro. Nosso **sol** é uma estrela de tamanho médio situado próximo da borda da Via Láctea.
- O sol e os planetas, juntamente com outros corpos (como cometas, asteroides, meteoros) compõe o nosso **sistema solar**.
- O aquecimento dos planetas ocorre através da interceptação da energia solar. A **Terra** está localizada a uma distância aproximada de **150 milhões de km** e intercepta apenas uma parcela da energia solar.



A Atmosfera Terrestre

- A energia radiante do **sol** (ou radiação) é quem produz os movimentos atmosféricos e as condições de tempo e mantém a temperatura média da **Terra** em aproximadamente **15 °C**.
- Embora esta seja uma temperatura média, temperaturas da ordem de **-85 °C**, já foram registradas na Antártida e de **50 °C** nos desertos sub-tropicais.



A Atmosfera Terrestre

A atmosfera terrestre é composta de uma fina camada gasosa que encobre a superfície sendo composta principalmente de **nitrogênio e oxigênio**.

A espessura da atmosfera é apenas 2% da espessura do planeta (Raio da Terra ~ 6400 km).

A maior parte da atmosfera está confinada em **100km** de altitude.

Aproximadamente **99 %** da atmosfera está localizada nos próximos **30 km** da superfície.



Composição da Atmosfera

- A Tabela abaixo mostra os vários gases presentes em um volume de ar próximos da superfície Terrestre. Juntos **Nitrogênio e Oxigênio** compõem ~ **99 %** da atmosfera seca.
- Na superfície existe um balanço entre destruição e produção destes gases. Por exemplo, **nitrogênio** é removido da atmosfera principalmente por processos biológicos que envolvem bactérias do solo. Por outro lado, nitrogênio é removido também da atmosfera por plâncton no oceano convertendo-o em nutrientes. Ele retorna para a atmosfera principalmente através do **decaimento** de matéria orgânica (plantas e animais).

Gases Composição (% por volume)

- N₂ (78,08) Vapor d'água (0-4)
- O₂ (20,95) CO₂ (0,037) Dióxido de Carbono
- Ar (0,93) CH₄ (0,00017) Metano
- Ne (0,018) N₂O (0,00003) Dióxido Nitroso
- He (0,0005) O₃ (0,000004) Ozônio

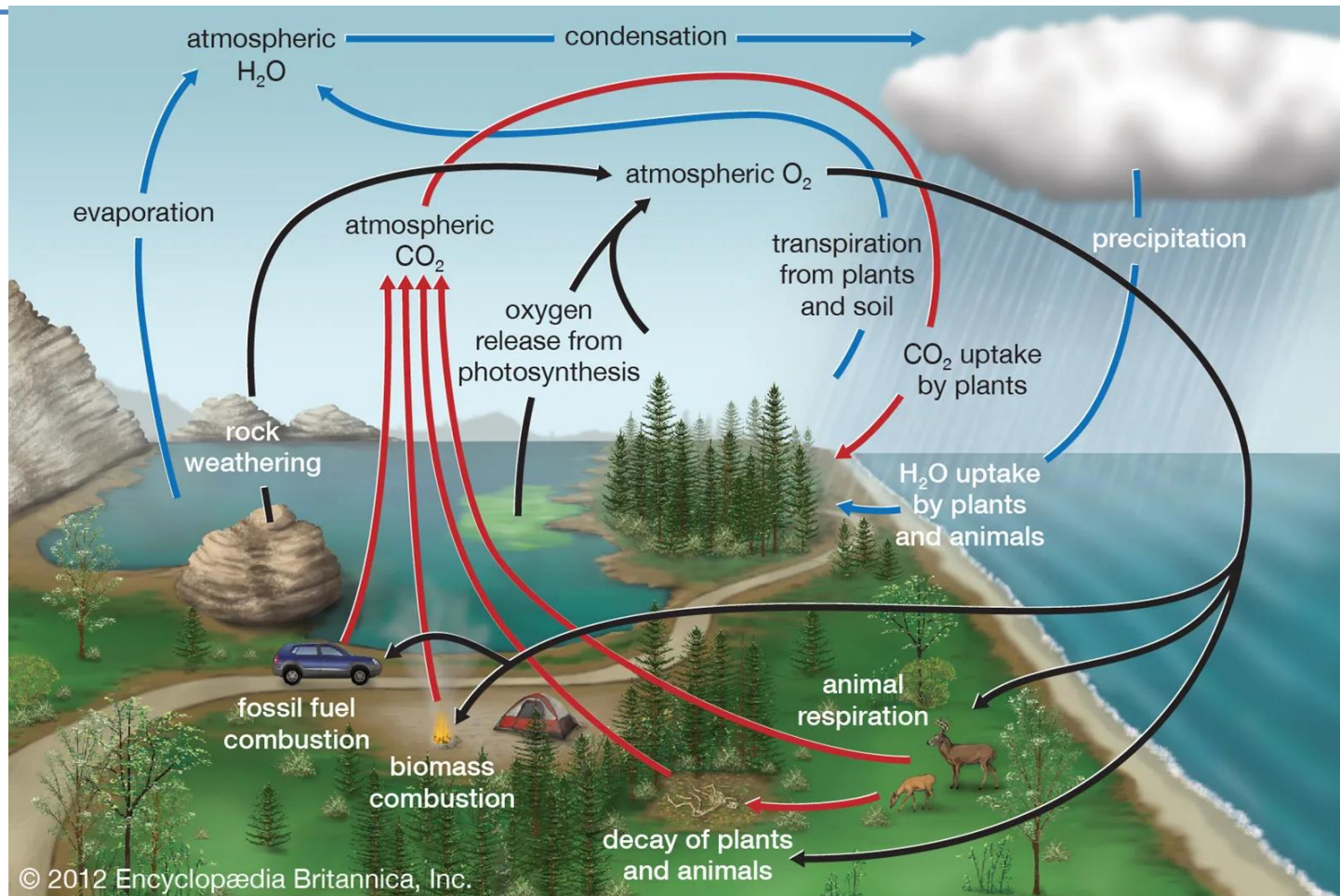
- **Nuvens**

- **Partículas**

Composição da Atmosfera - Oxigênio

O **oxigênio** pode ser removido da atmosfera através do decaimento de matéria e quando combina com outra substância produzindo oxidação; e através da respiração dos **animais** que absorvem oxigênio e emitem gás carbônico (**CO₂**).

Durante o processo de **fotossíntese** as plantas combinam radiação solar com gás carbônico e água para produzir açúcares e oxigênio.



Composição da Atmosfera – Vapor d'água

A concentração de **vapor d'água** varia bastante com a localidade e condições. Em regiões tropicais úmidas sua concentração pode chegar a **4 %**, enquanto em regiões muito frias dos polos pode ser de aproximadamente **1 %**.

Moléculas de vapor d'água são invisíveis. No entanto, tornam-se visíveis quando transformam-se em líquido ou sólido como em gotículas de nuvem ou cristais de gelo que podem crescer e precipitar na forma de chuva, neve ou granizo, por exemplo.

A transformação de vapor em líquido é conhecida como **condensação** enquanto que a transformação de líquido em vapor é conhecida como **evaporação**.



Na baixa atmosfera, **água** está em todo lugar. Ela é a única substância encontrada nos estados sólido, líquido e gás em condições normais de temperatura e pressão.

Composição da Atmosfera – Vapor d'água

O **vapor d'água** é um gás extremamente importante em nossa atmosfera.

- Não apenas ele transforma-se em nuvens que crescem e precipitam, mas também por ser responsável pela emissão de **calor latente** quando passa de vapor em líquido ou de vapor em gelo.

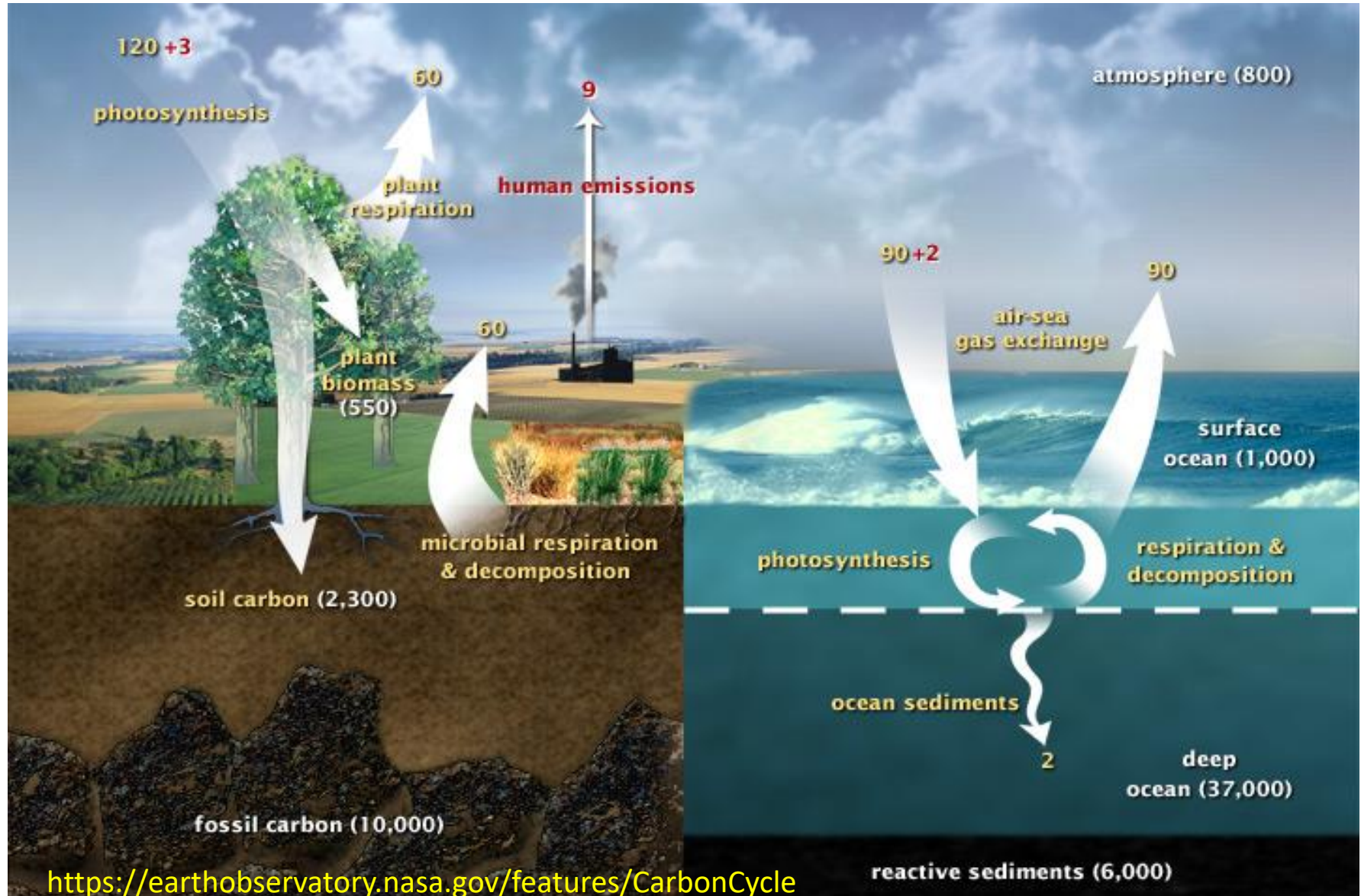
- O vapor d'água é também um potente gás do **efeito estufa** porque ele absorve parte da radiação térmica emitida pelo planeta (similar a uma estufa de vidro que evita a perda de calor).
- Portanto, o vapor d'água constitui um importante fator no balanço de energia do planeta.



Composição da Atmosfera – CO₂

- O dióxido de carbono (**CO₂**) é um componente natural da atmosfera e ocupa uma pequena (mas importante) fração do ar (**0,038 %**).
- Ele entra para a atmosfera principalmente a partir do decaimento da **vegetação**, mas também a partir de **erupções vulcânicas**, exalações dos **animais**, a partir de **combustão** de combustíveis fósseis (como carvão mineral, óleo, gás), e a partir de **queimadas** da floresta.
- A remoção de CO₂ da atmosfera ocorre durante a **fotossíntese**, conforme as plantas consomem CO₂ para produzir matéria. O CO₂ é portanto armazenado nas raízes, galhos e folhas das plantas.
- O **oceano** é um enorme armazenador de CO₂, conforme o **fitoplâncton** na superfície da água fixa CO₂ produzindo componentes orgânicos. CO₂ que é então dissolvido na superfície dos oceanos, são misturados e circulam para águas mais profundas. Estimativas, sugerem que os oceanos armazenam mais de 50 vezes a quantidade de CO₂ da atmosfera.

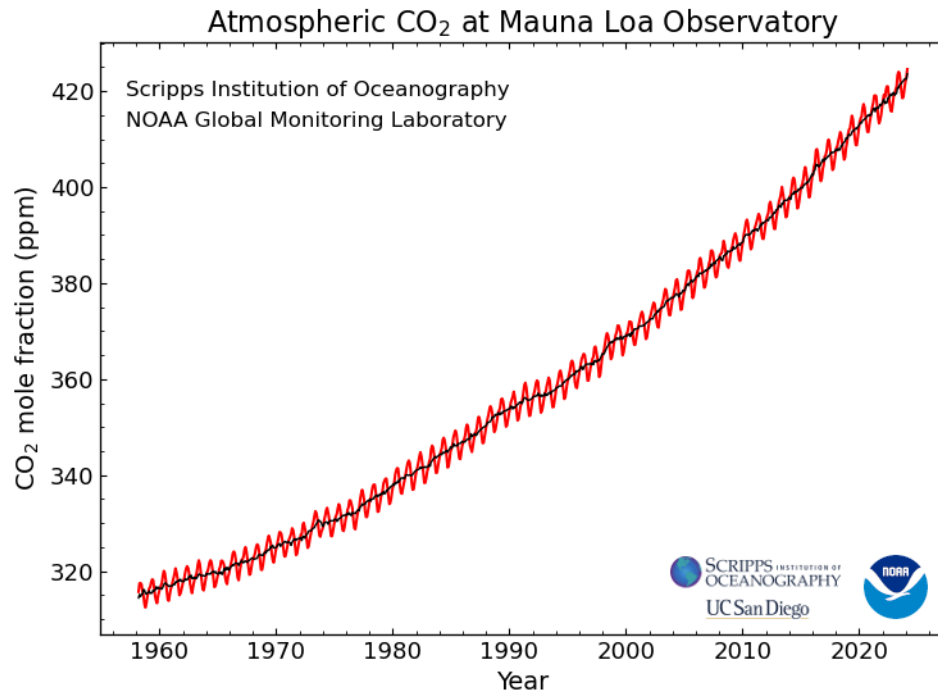
Diagrama do **Ciclo do Carbono** (continente, a atmosfera e os oceanos). Fluxos **naturais** e contribuições **antropogênicas**) [Unidades: **gigatons de carbono por ano**]. O carbono armazenado está mostrado em branco (U.S. DOE)



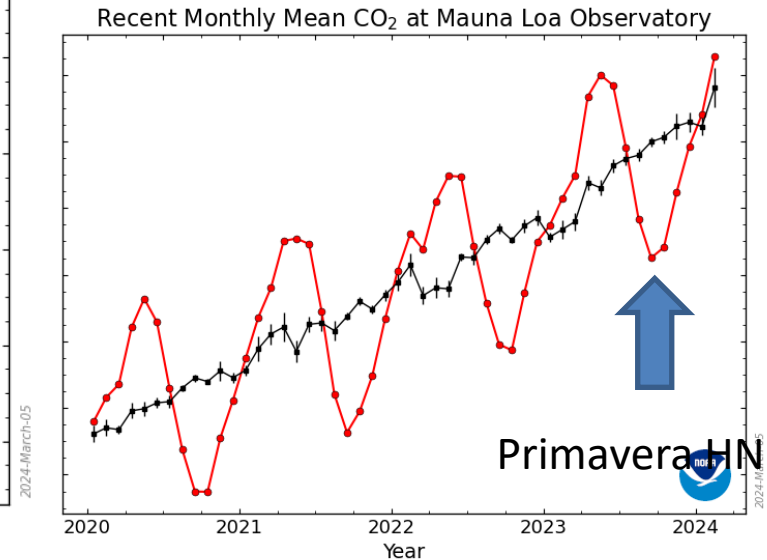
<https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

Composição da Atmosfera – CO₂

A concentração de dióxido de carbono (**CO₂**) tem aumentado rapidamente conforme mostram os dados coletados em **Mauna Loa**, no Havaí. Os resultados revelam que a taxa de emissão de CO₂ para a atmosfera é maior do que a taxa de sua remoção.



Fev 2024	424.55 ppm
Fev 2023:	420,41 ppm
Março 2022:	418.81 ppm
Março 2021:	417.64 ppm
Março 2020:	414.74 ppm

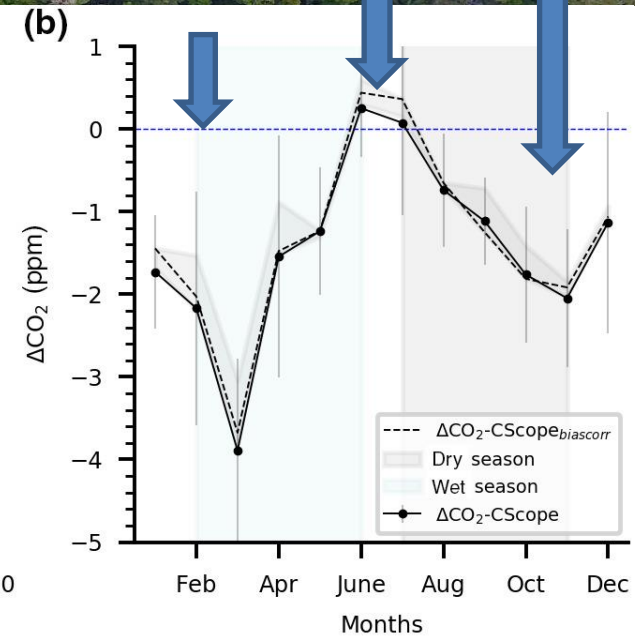
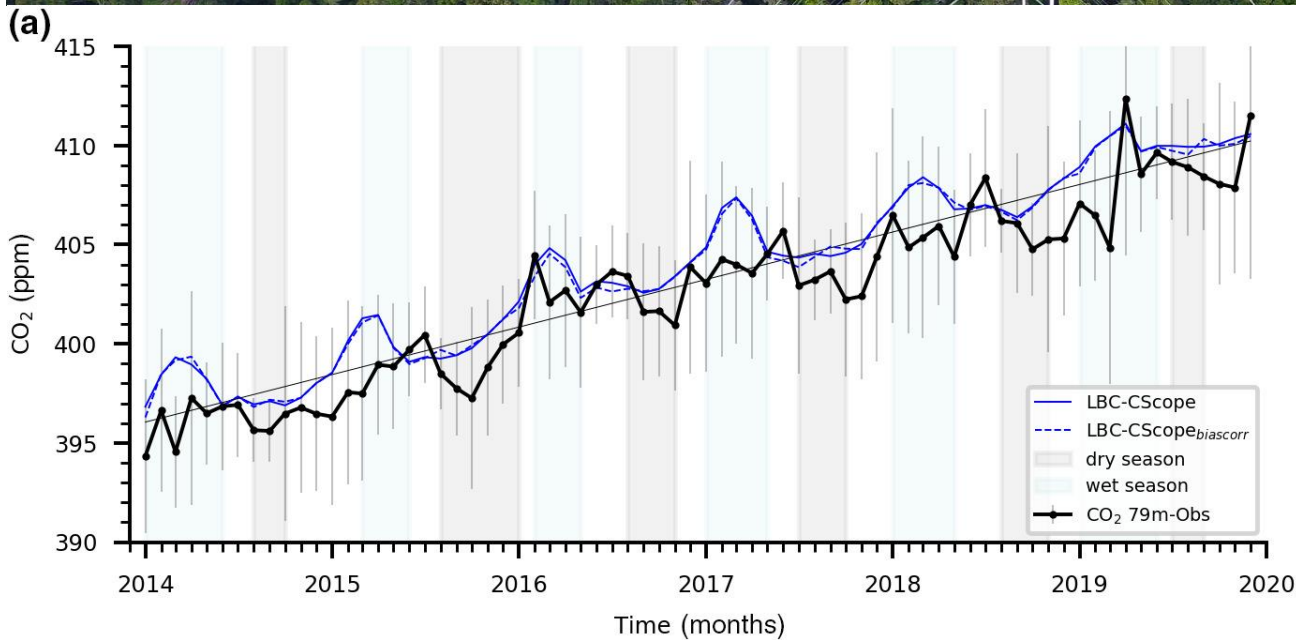


<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/history.html>

Composição da Atmosfera – CO₂

ATTO – Amazon Tall Tower Observatory (325 metros)



<https://www.attoproject.org/long-term-record-of-co2/>

Botia et al., 2021

Atmosferas Planetárias – CO₂

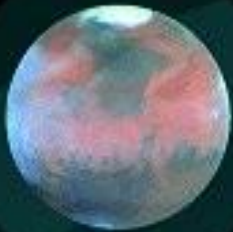
Planets and atmospheres

Mars

Thin atmosphere

(Almost all CO₂ in ground)

Average temperature : - 50°C



Earth

0,03% of CO₂ in the atmosphere

Average temperature : + 15°C



O planeta Venus possui grande quantidade de CO₂ em sua atmosfera e temperaturas elevadas.

Venus

Thick atmosphere

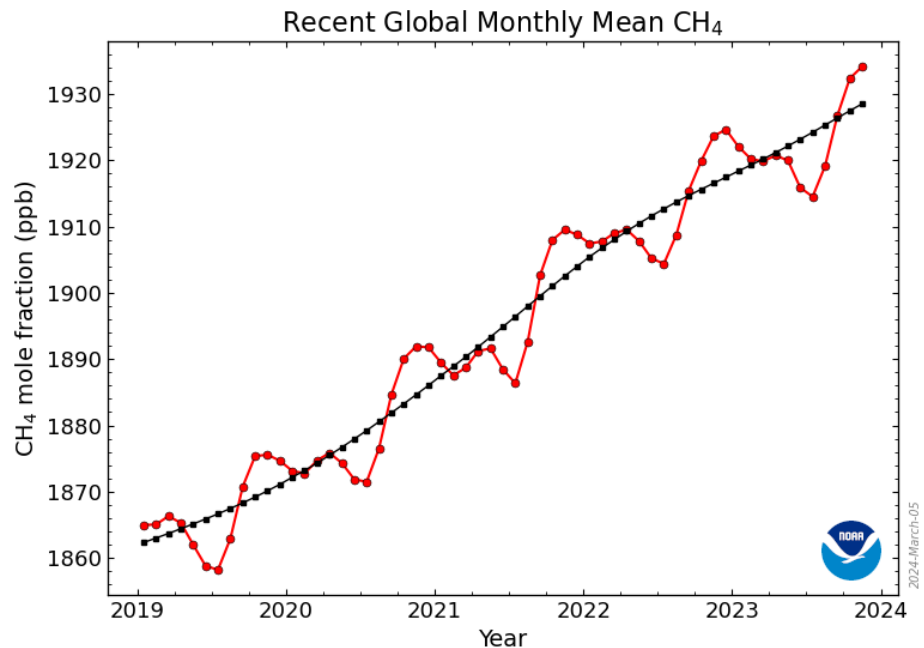
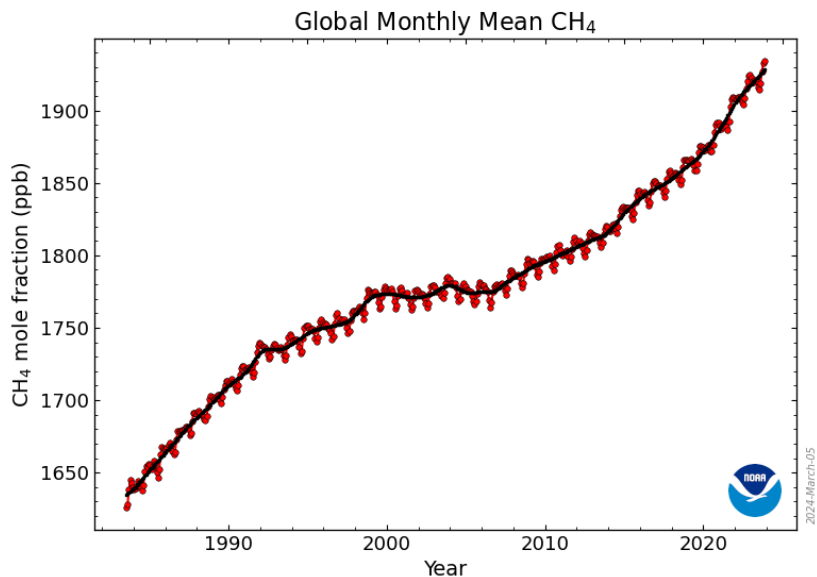
containing 96% of CO₂

Average temperature : + 420°C



Composição da Atmosfera - Metano

- Em adição ao vapor d'água e do CO₂, o gás **metano (CH₄)** também é um importante gás do efeito estufa. Sua concentração tem aumentado também rapidamente nos últimos anos.
- A maior parte do **metano** aparenta ser derivado a partir do **decaimento** de material orgânico, a partir de **emissão** de arrozais irrigados, dos solos pobres em oxigênio, da atividade biológica dos cupins, e dos animais ruminantes (como os bovinos).

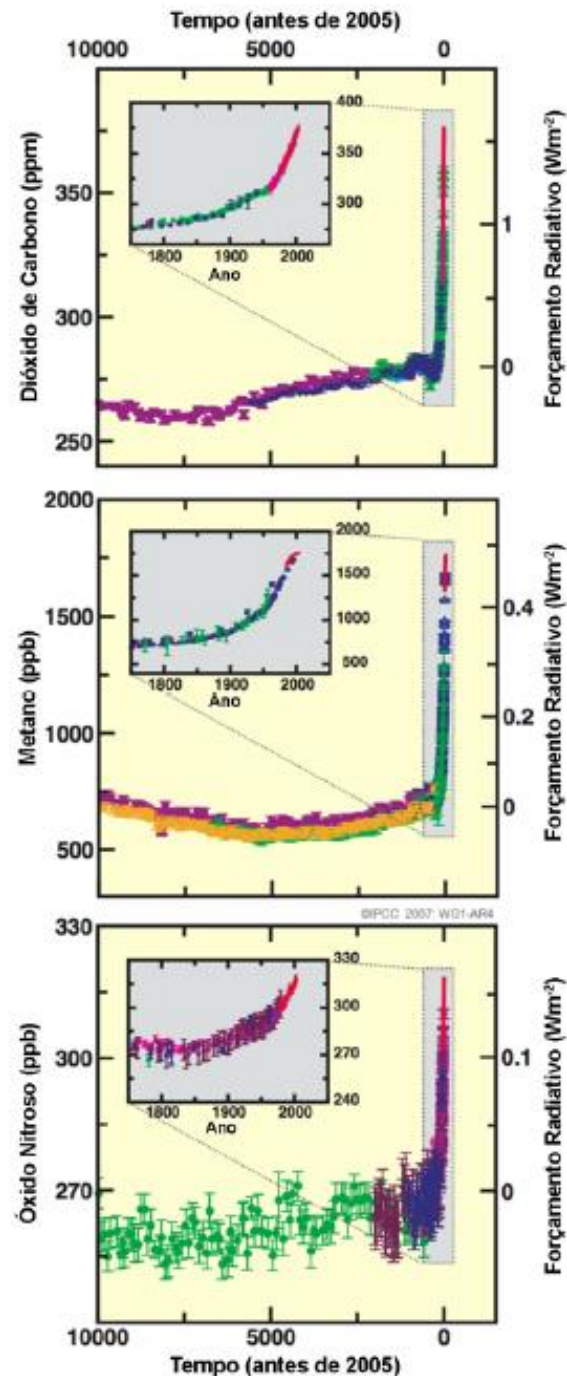


Composição da Atmosfera

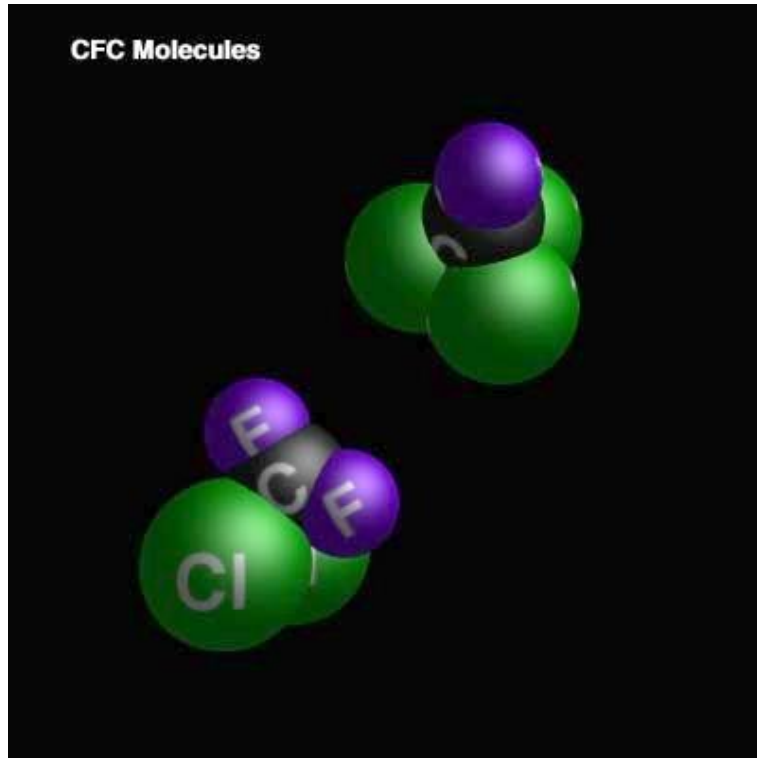
As concentrações atmosféricas globais de **dióxido de carbono**, **metano** e **óxido nitroso** aumentaram bastante em consequência das atividades humanas desde **1750** e agora ultrapassam em muito os valores pré-industriais determinados com base em **testemunhos de gelo** de milhares de anos.

Os aumentos globais da concentração de **CO₂** se devem principalmente ao uso de **combustíveis fósseis** e à **mudança no uso da terra**.

Já os aumentos da concentração de **metano** e **óxido nitroso** são devidos principalmente à **agricultura**.



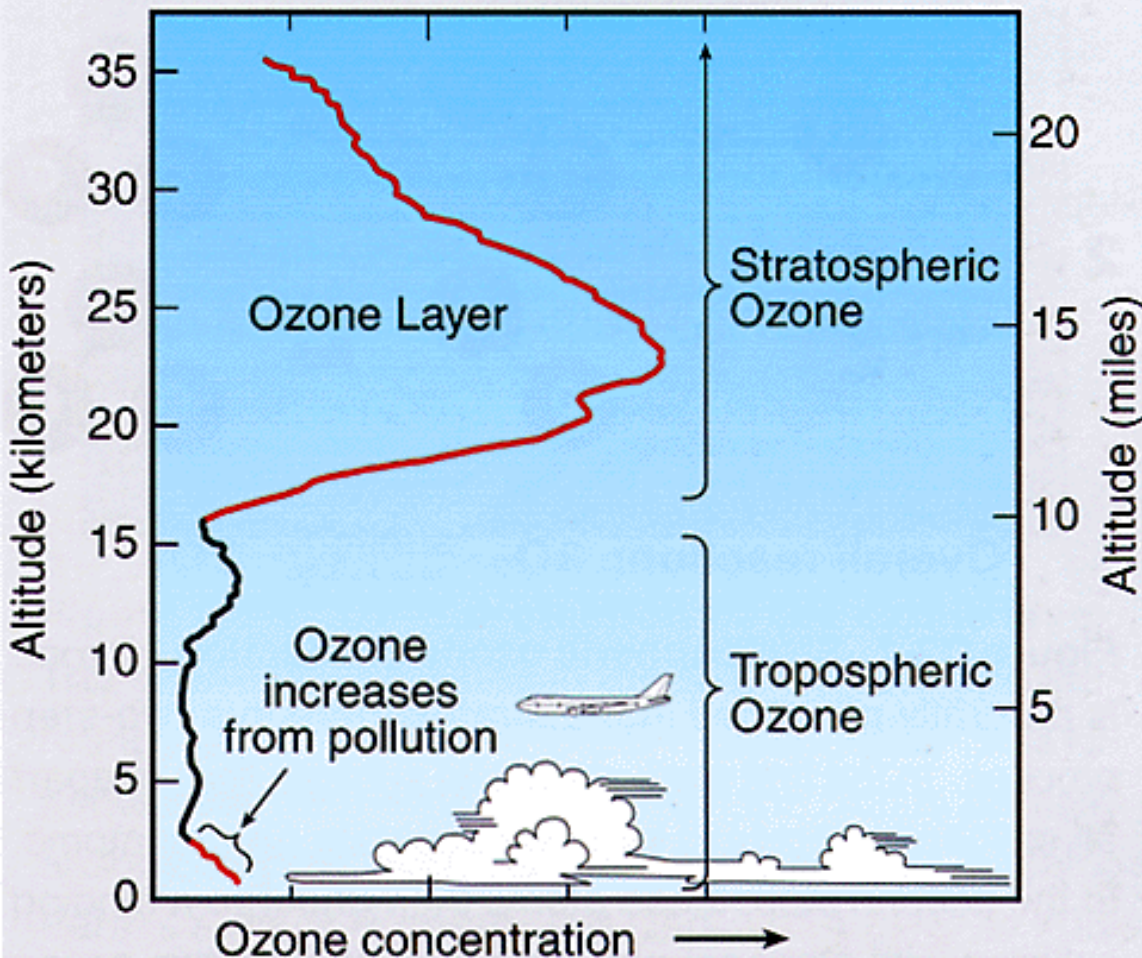
Composição da Atmosfera - CFCs



- Os clorofluorcarbonetos (**CFCs**) representam um grupo de gases que participam do **efeito estufa**.
- Estes gases são usados em sprays, sistemas refrigerantes, e solventes.
- Embora sua concentração em um volume de ar seja pequena, eles causam importantes efeitos na atmosfera pois não apenas aquecem o planeta devido ao efeito estufa, mas também participam da destruição do **ozônio** na estratosfera (que é a camada localizada entre aproximadamente 11 km e 50 km acima da superfície).

Composição da Atmosfera – Ozônio (O₃)

Ozone in the Atmosphere



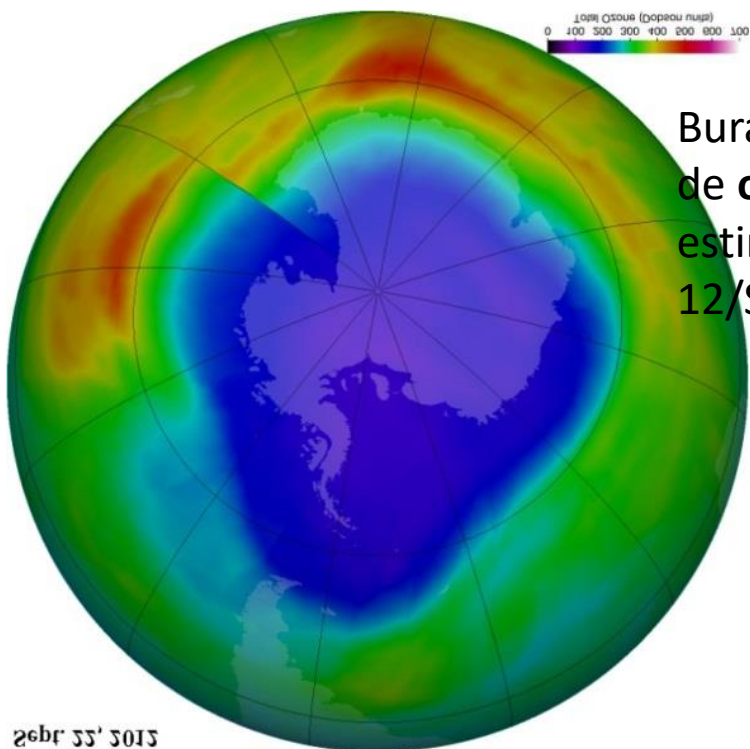
WMO Report 2003

Na **superfície** o ozônio (**O₃**) pode ser nocivo á saúde humana pois causa irritação nos olhos e garganta e danifica a vegetação.

No entanto, a maior parte do **O₃** é encontrada na **estratosfera**, onde é formado naturalmente quando átomos de oxigênio (**O**) é combinado com moléculas (**O₂**). Embora sua concentração seja pequena o **O₃** é de extrema importância pois bloqueia os raios ultra-violeta (**UV**) que são nocivos aos animais e plantas da terra.

Composição da Atmosfera – Ozônio (O3)

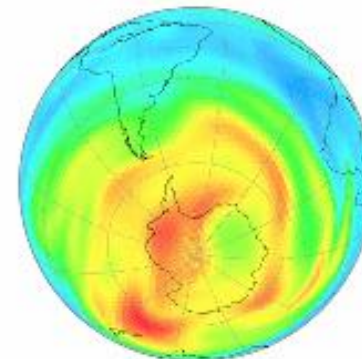
Quando **CFCs** entram a atmosfera, os raios **UV** quebram suas moléculas produzindo clorino que destroem a **camada de ozônio**. Por causa deste efeito a concentração de **O3** tem diminuído em partes dos hemisférios norte e sul. Nos meses de Setembro e Outubro (primavera no hemisfério sul) a concentração diminui tanto que tem aparecido um **buraco** na camada de **O3**.



Buraco na camada de ozônio estimado para o dia 12/Setembro/2011.

GOME-2 / MetOp Analysis
Ozone at 55.4 hPa

Jul 13, 2011, 12:00 GMT
Southern Hemisphere

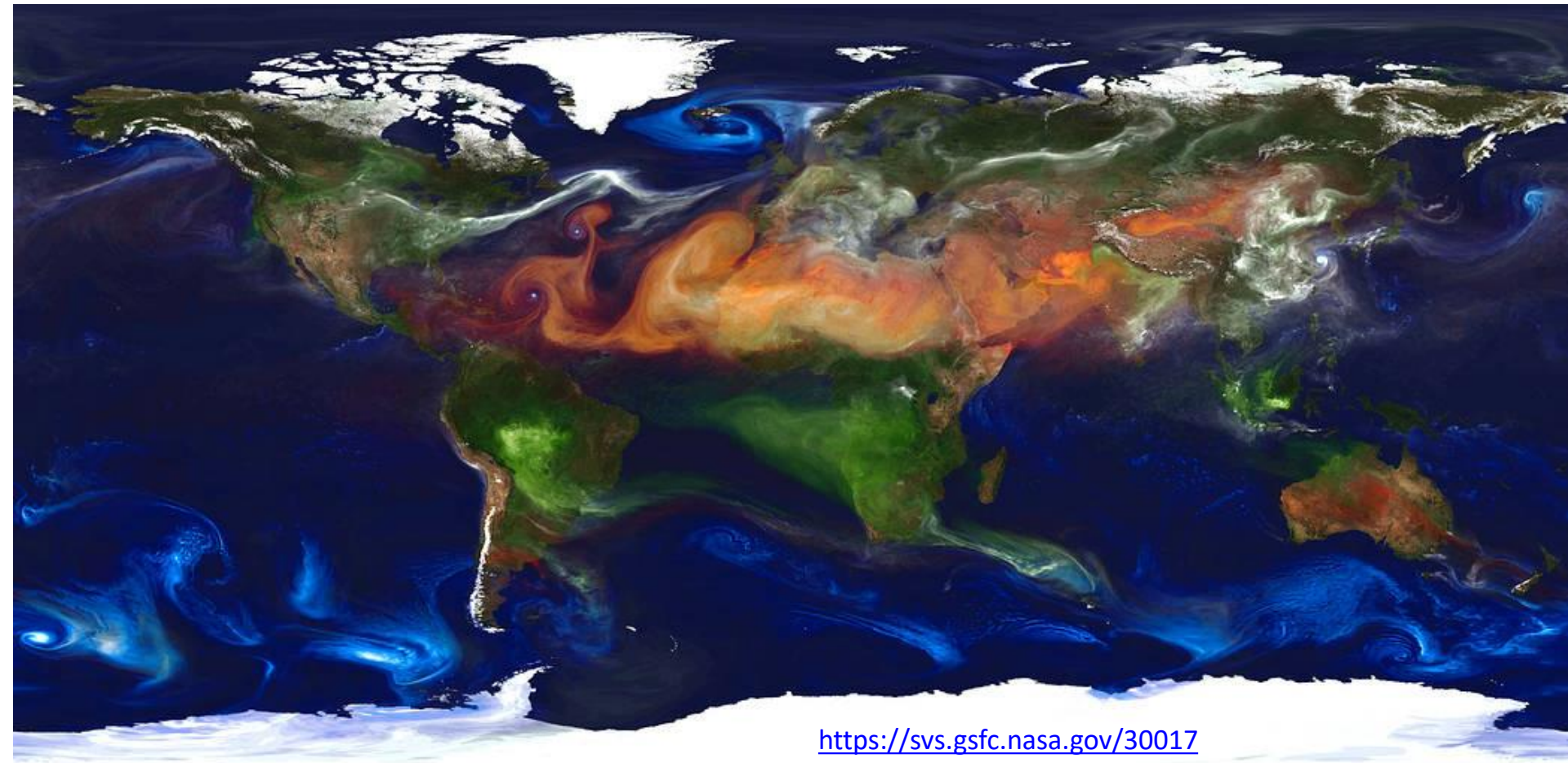


4DVar Chemical Data Assimilation
SACADA Version 2.4
<http://wdc.dlr.de>

Volume Mixing Ratio [ppmv]
0 1 2 3 4



Composição da Atmosfera - aerossóis



<https://svs.gsfc.nasa.gov/30017>

Poeira (vermelho), **sal marinho (azul)**, **carbono orgânico / preto (verde)** e sulfatos (branco) exibidos por sua espessura óptica de aerossol de extinção. Assimilação de dados nos modelos GEOS-5 e Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport (GOCART) .

Composição da Atmosfera - aerossóis

Outras **partículas** de fontes naturais e antropogênicas também são encontradas na atmosfera. Por exemplo: ventos podem levantar **poeira** da superfície transportando-a para regiões muito remotas; pequenas partículas de **sal** podem ser emitidas a partir da superfície dos oceanos; **fumaça** de queimadas de florestas; **vulcões** também podem espalhar grandes quantidades de partículas na atmosfera.

Algumas impurezas naturais encontradas na atmosfera são bastante benéficas. Pequenas partículas podem atuar como superfícies para condensação de vapor d'água e formação de **nuvens**. Outras partículas podem ser **poluentes**.

Automóveis emitem grandes quantidades de dióxido de nitrogênio (**NO₂**), monóxido de carbono (**CO**) e hidrocarbonetos.

Em contato com a luz solar, dióxido de nitrogênio reage com hidrocarbonetos e outros gases para produzir ozônio.

Monóxido de carbono (**CO**) é o principal poluente do ar das cidades.



A emissão de **SO₂** para a atmosfera (através de combustíveis fósseis) pode produzir pequenas gotas de ácido sulfúrico. Em caso de precipitação ocorre portanto a **chuva ácida**.

Estas partículas emitidas para a atmosfera são denominadas de **aerossóis**.

A atmosfera dos primórdios da Terra

- A atmosfera da terra no passado (á 4,6 bilhões de anos) era provavelmente formada de **hidrogênio** e **hélio** (os dois gases mais abundantes no universo) além de metano (CH₄) e amônia (NH₃).
- Muitos cientistas acreditam que parte desta atmosfera se perdeu-se para o espaço devido ás temperaturas muito quentes da superfície.
- Emissões **vulcânicas** provavelmente emitiram **CO₂** e **vapor d'água** que eram armazenados no interior do planeta.
- Conforme milhões de anos se passaram, grandes quantidades de **vapor d'água** e **CO₂** foram sendo transportados do interior da terra para a atmosfera. Houve então formação de nuvens e chuva.
- Aparentemente o **oxigênio** (o segundo gás mais abundante atualmente) aumentou gradualmente sua concentração devido á foto- dissociação do vapor d'água (H₂O) que produziu hidrogênio e oxigênio. O hidrogênio sendo mais leve escapou da atmosfera terrestre e o oxigênio permaneceu.
- Este aumento gradual do **oxigênio** (O₂) favoreceu o aparecimento e desenvolvimento de **plantas primitivas**. Com a aparecimento das plantas houve um aumento da concentração de **O₂** através do processo de **fotossíntese**.

O que aconteceu com o H₂O?

A atmosfera consegue manter apenas uma pequena fração de massa de **vapor d'água** que foi injetado durante as erupções vulcânicas.

A maior parte do vapor d'água condensou formando nuvens e chuva dando origem aos **rios, lagos e oceanos**.

A concentração de vapor d'água na atmosfera foi então bastante reduzida.

Componentes do Ciclo Hidrológico



Tabela – Inventário H₂O

Componente	% massa
Oceanos	97,0
Gelo	2,4
Água subterrânea	0,6
Água, lagos, rios,	0,02
Atmosfera	0,01

Total de massa = $1,36 \times 10^{21}$ kg = $2,66 \times 10^6$ kg m⁻² sobre a superfície da Terra. Fonte H.H. Lamb, 1972

O que aconteceu com o Nitrogênio (N₂)?

- O **nitrogênio** é um gás inerte quimicamente
- Possui velocidade molecular muito lenta para escapar para o espaço;
- Não é muito solúvel em água;
- A quantidade de **nitrogênio** removida da atmosfera era limitado.
- O vapor d'água se condensou, pois a atmosfera possui limites para sua concentração e o CO₂ foi parcialmente absorvido pelos oceanos
- O **nitrogênio** tornou-se o gás mais abundante da atmosfera terrestre.

Breve revisão dos conceitos sobre a composição da Atmosfera:

- A atmosfera da Terra é uma mistura de muitos gases. **Nitrogênio** ocupa aproximadamente **78 %** e **Oxigênio 21 %**.
- O **vapor d'água** que geralmente ocupa menos de **4%** pode condensar em gotículas líquidas ou de cristais de gelo formando as nuvens. Água é a única substância de nossa atmosfera que é encontrada naturalmente nas formas sólida, líquida e gasosa.
- Ambos, o vapor d'água e o CO₂ são importantes gases do efeito **estufa**.
- Ozônio (**O₃**) na estratosfera protege a vida na superfície dos raios ultra-violetas (**UV**). No entanto, na superfície o ozônio pode ser nocivo à saúde.
- A maior parte da **água** em nosso planeta aparentemente é originária do interior do planeta.