

Recursos Atmosfericos

Professor:
Neyval Costa Reis Jr.



**Departamento de
Engenharia Ambiental
Centro Tecnológico
UFES**

Programa Detalhado

- Atmosfera 
 - Camadas
 - Constituintes
 - Balanço de energia
 - Ventos na atmosfera
- Poluentes Atmosféricos
 - Principais poluentes suas fontes e seus efeitos sobre as propriedades da atmosfera, a saúde humana e animal, os vegetais e os materiais.
 - Qualidade do ar
 - Gestão da qualidade do ar de uma região
 - Estimativa de emissão
 - Monitoramento da qualidade do ar
- Dispersão de poluentes na atmosfera
 - Meteorologia local e global da poluição do ar
 - Estabilidade atmosférica
 - Mecanismos de remoção
 - Elementos e fatores climáticos.
- Aproveitamento energético eólico.

Aula II

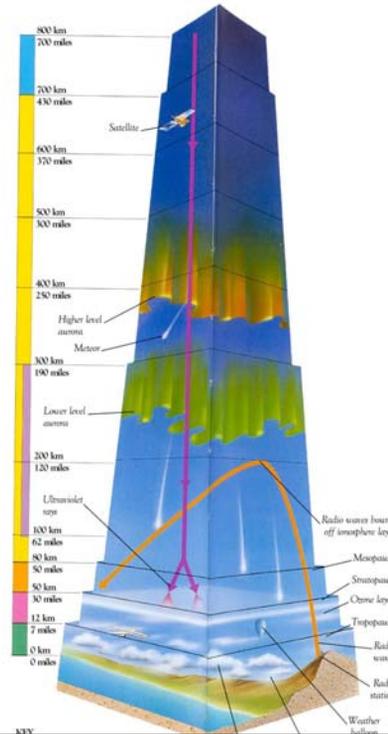
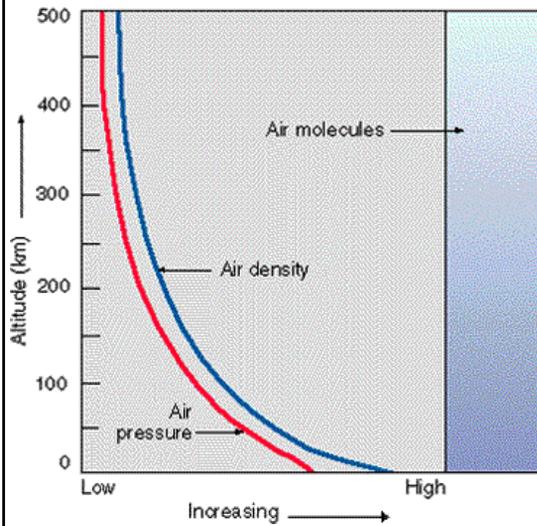


A Atmosfera

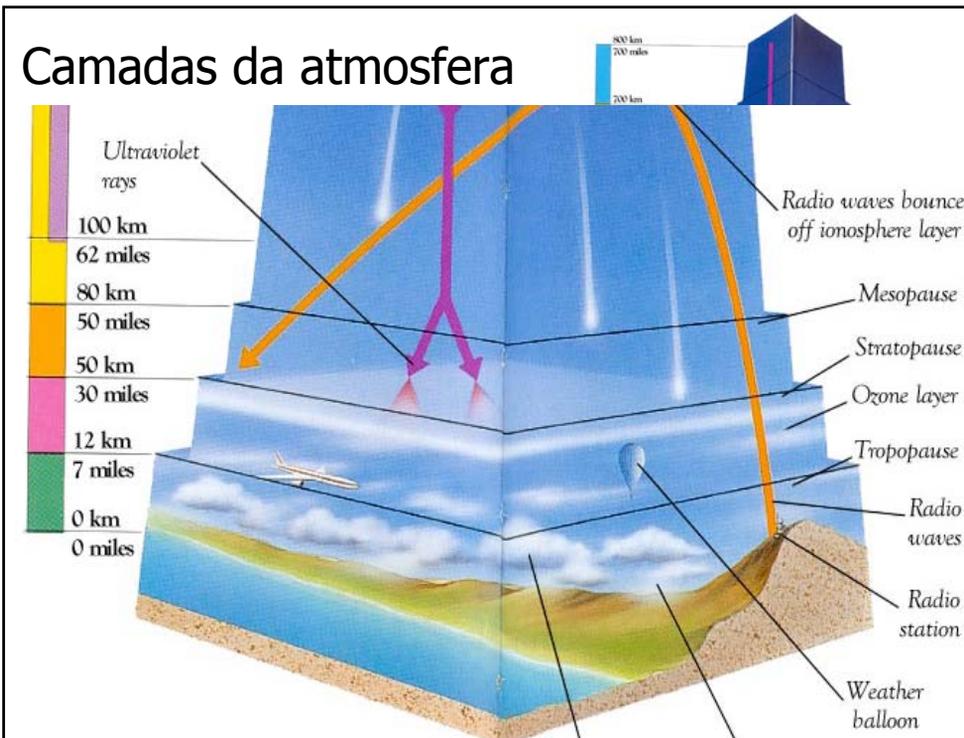
A Atmosfera

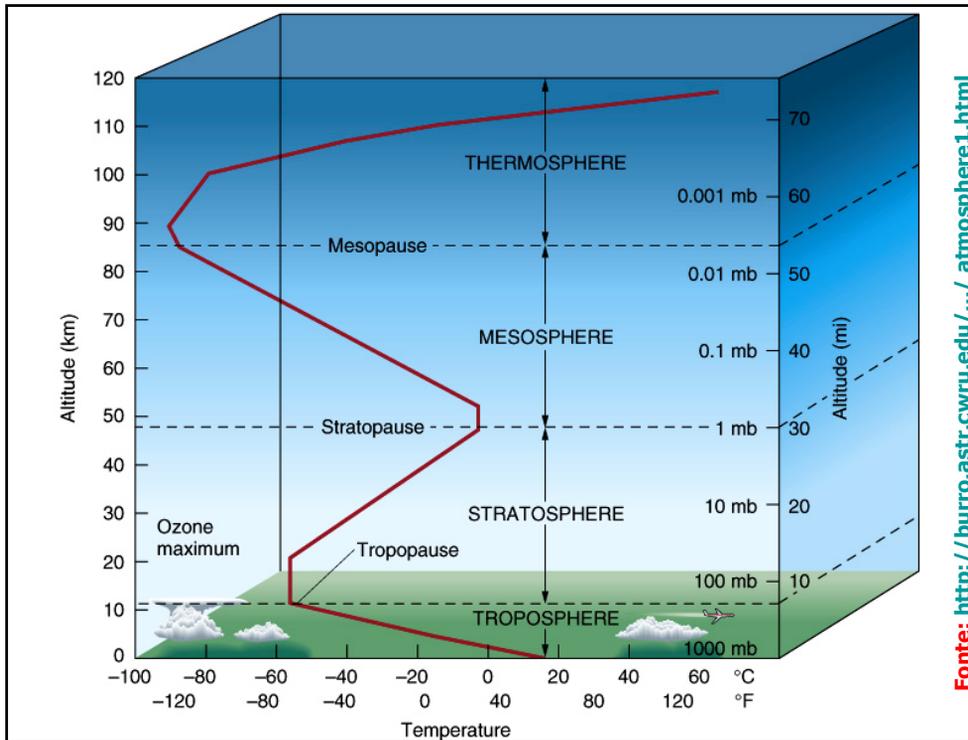
- Camadas 
- Constituintes
- Balanço de energia
- Ventos na atmosfera

Camadas da atmosfera



Camadas da atmosfera





Formação e Importância da Camada de O₃

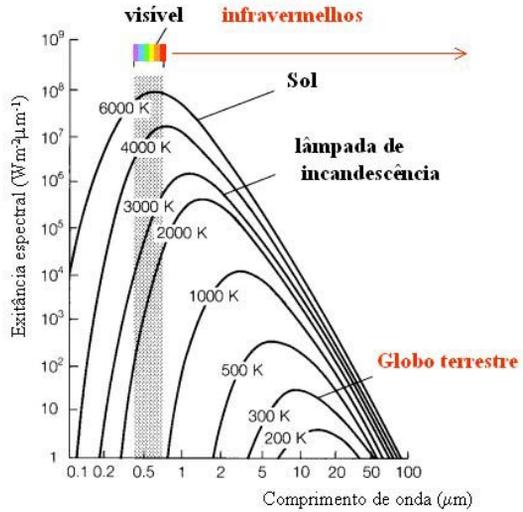
Comprimento de Onda da Radiação Solar Incidente

"Todo o corpo a uma temperatura diferente do zero absoluto emite radiação e o poder emissivo é proporcional à 4ª potência da sua temperatura absoluta" (Stefan-Boltzmann, 1879, 1894)

$$E = \sigma T^4$$

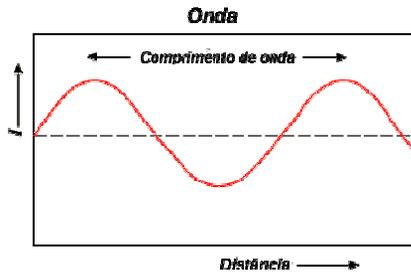
"O comprimento de onda correspondente ao máximo de emissão de um corpo negro (emissor perfeito) depende da sua temperatura absoluta" (Wien, 1893)

$$\lambda_{\text{máx.}} T = 0.2898 \times 10^{-2}$$



Fonte: <http://nonio.fc.ul.pt/oceano>

Comprimento de Onda



Espectro Eletromagnético

- energia mais baixa
- energia intermediária
- energia mais alta

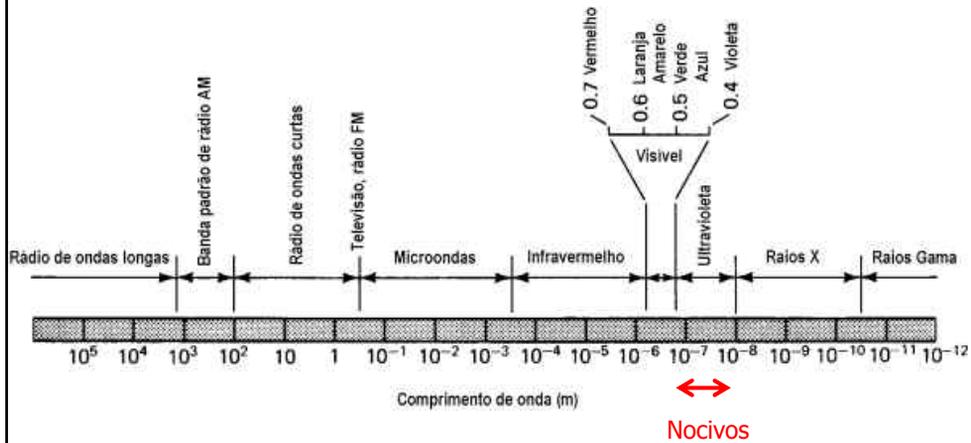
$$\text{Energia} \leftrightarrow \text{Frequência} \leftrightarrow \left[\text{Comprimento de onda} \right]^{-1}$$

Características:

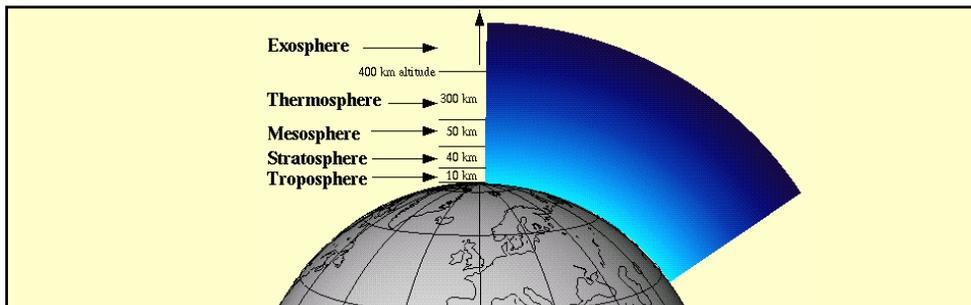
- o Amplitude: A
- o Frequência: ν
- o Comprimento de Onda: λ

$$\text{velocidade} = c = \lambda \cdot \nu$$

Comprimento de Onda da Radiação Solar Incidente



fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html

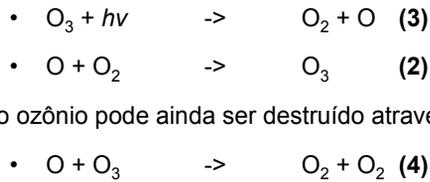


- O ozônio é formado na estratosfera, que é mais “espessa” nos pólos e mais “fina” nos trópicos (próximo ao equador).
- A quantidade de ozônio acima de um ponto na atmosfera é medido em **Unidades Dobson (DU)** - tipicamente ~260 DU próximo ao equador e acima disso em outras latitudes (mas grandes variações sazonais são encontradas nestes valores).
- O ozônio é criado quando a radiação ultra-violeta (UV) da luz solar chega à estratosfera, dissociando as moléculas de (O_2) em átomos de oxigênio (O). O oxigênio atômico rapidamente se combina com as moléculas de oxigênio formando o ozônio:

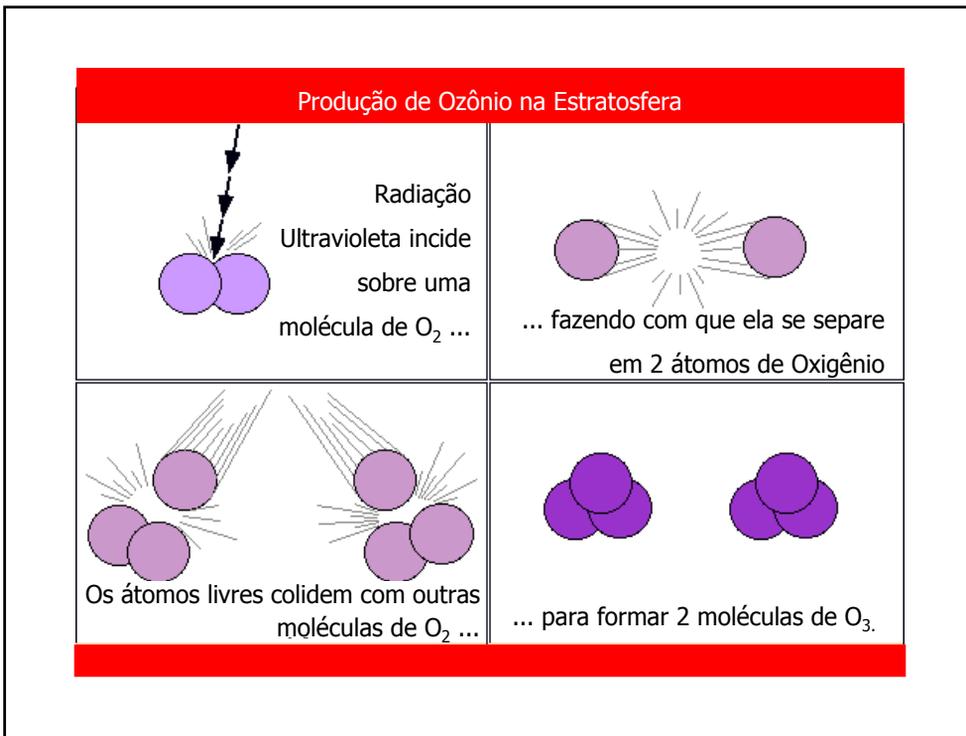


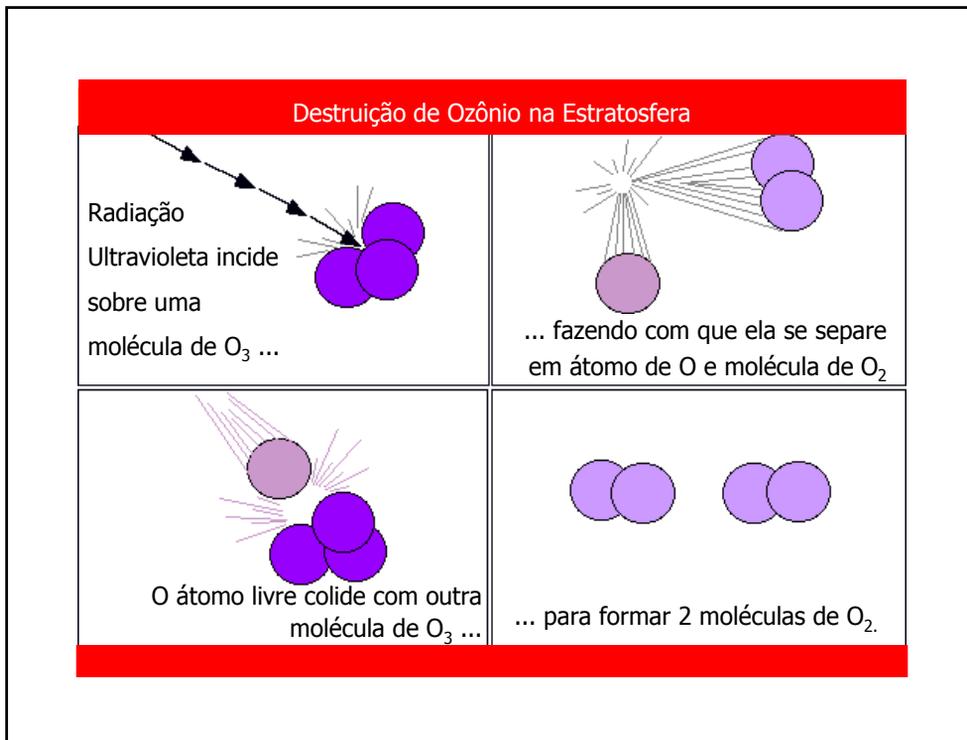
Formação e função do O₃

- É importante notar que na troposfera o ozônio é nocivo. Entretanto, na estratosfera ele é extremamente benéfico, pois as reações químicas associadas a seu ciclo **absorvem radiação UV**, reduzindo os níveis de radiação na troposfera.
- Além da formação de ozônio a partir da dissociação do oxigênio, a radiação UV também participa da reação de destruição do ozônio (reação 3). Entretanto, o ozônio é reconstituído através da reação 2, resultando em uma variação total nula na quantidade de ozônio :



Reações 1, 2, 3 e 4 são chamadas reações de Chapman





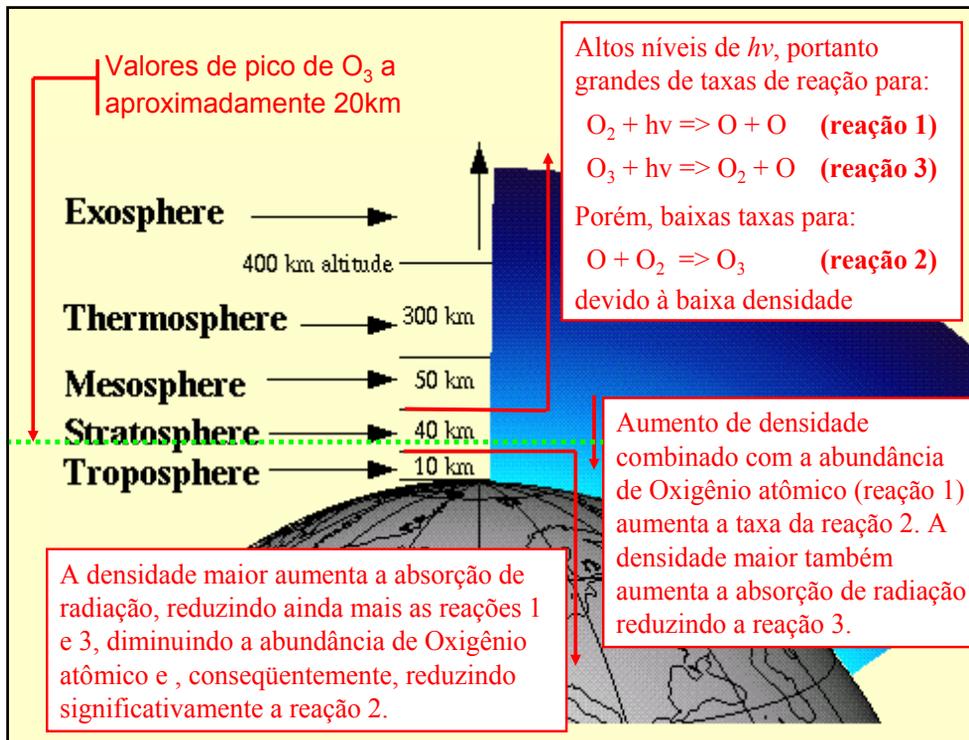
Formação do O₃

- Formação de ozônio a partir da dissociação do oxigênio pela radiação UV :

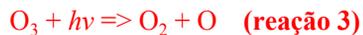


- Além da formação de ozônio a partir da dissociação do oxigênio, a radiação UV também participa da reação de destruição do ozônio (reação 3 e 4).

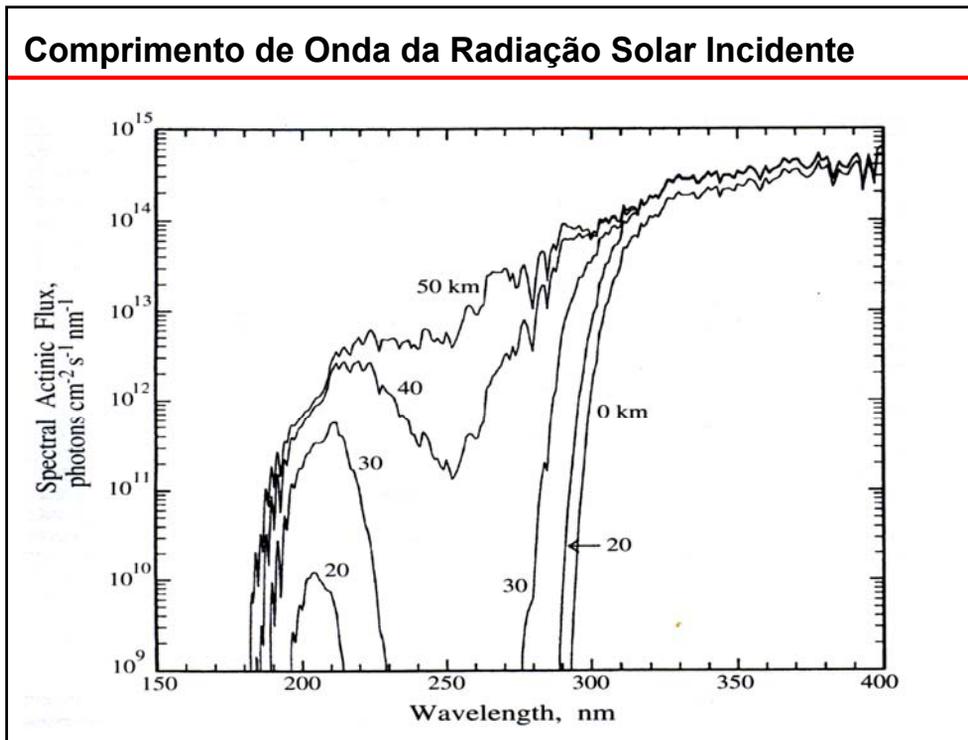
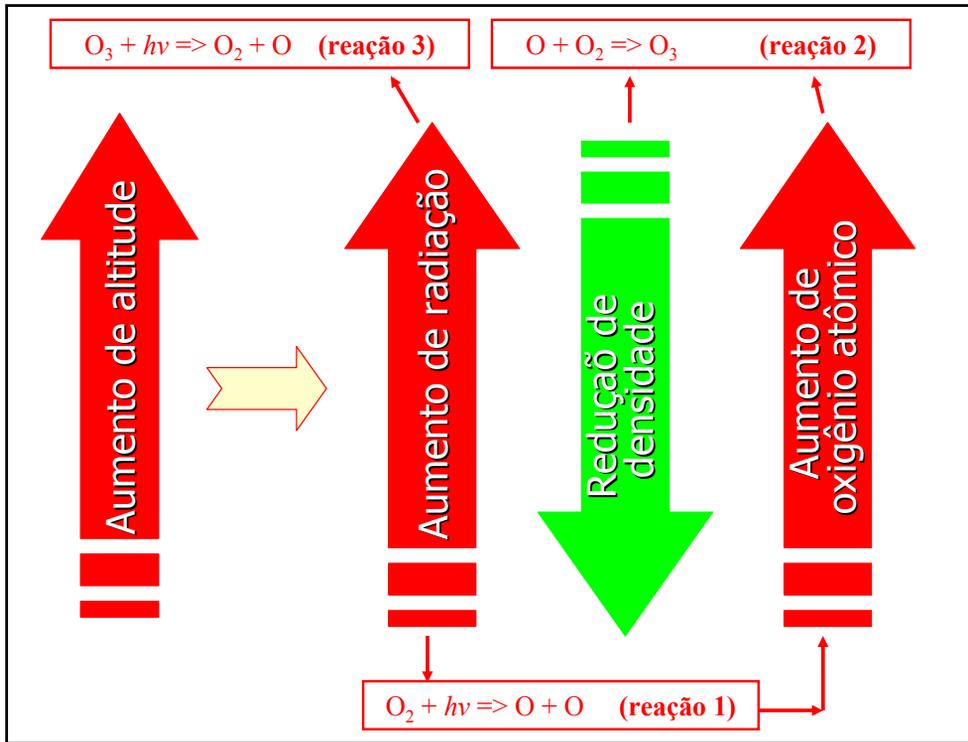




As reações de Chapman



- A reação 2 se torna mais lenta com o aumento da altitude, enquanto que a reação 3 se torna mais rápida, devido ao crescimento dos níveis de radiação ($h\nu$). A concentração de ozônio é um balanço entre estas duas reações.
- Nas regiões superiores da atmosfera, o oxigênio atômico prevalece e os níveis de radiação UV são elevados. Nas camadas mais baixas da estratosfera, o ar é mais denso, a absorção de UV é maior e os níveis de ozônio são mais elevados (valores de pico a aproximadamente 20km).
- Aproximando-se mais do nível do mar, os níveis de UV diminuem ainda mais e a concentração de ozônio decresce. Assim, uma camada rica em ozônio é formada na estratosfera, esta camada é muitas vezes chamada de “Camada de Chapman”.



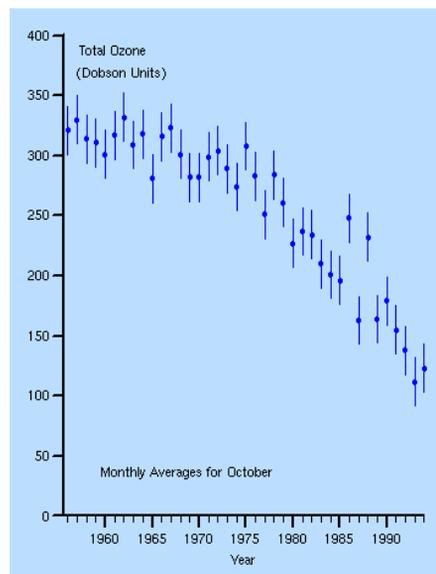
Quais os problemas causados pelos raios ultravioleta?

Apesar de a camada de ozônio absorver a maior parte da radiação ultravioleta, uma pequena porção atinge a superfície da Terra. É essa radiação que acaba provocando o câncer de pele, que mata milhares de pessoas por ano em todo o mundo. A radiação ultravioleta afeta também o sistema imunológico, minando a resistência humana a doenças como herpes.

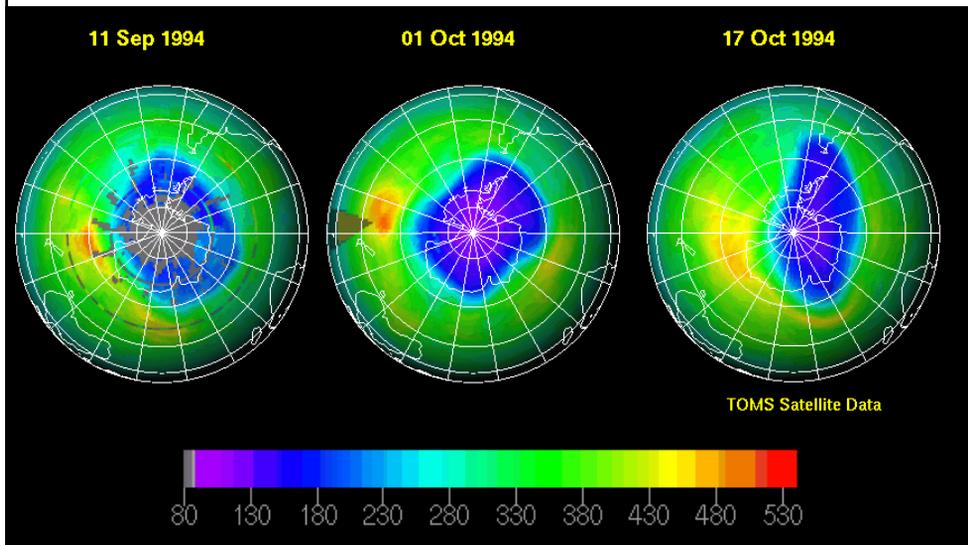
Os seres humanos não são os únicos atingidos pelos raios ultravioleta. Todos as formas de vida, inclusive plantas, podem ser debilitadas. Acredita-se que níveis mais altos da radiação podem diminuir a produção agrícola, o que reduziria a oferta de alimentos. A vida marinha também está seriamente ameaçada, especialmente o plâncton que vive na superfície do mar. Esses organismos minúsculos estão na base da cadeia alimentar marinha e absorvem mais da metade das emissões de dióxido de carbono (CO₂) do planeta.

Perda de Ozônio sobre a Antártica

- A perda de Ozônio foi detectada pela primeira vez na Antártica.
- Apesar de existir também uma redução nos níveis de ozônio em latitudes medianas e no Ártico, a **perda mais considerável ocorre na Antártica**, onde quase todo o ozônio nas camadas inferiores da estratosfera já foi destruído (camada com vários km de espessura).



Evolução sazonal da coluna de ozônio em DU



Porque na Antártida ?

- Em todo o mundo as massas de ar circulam, sendo que um poluente lançado no Brasil pode atingir a Europa devido a correntes de convecção. Na Antártica, por sua vez, devido ao rigoroso inverno de seis meses, essa circulação de ar não ocorre e, assim, formam-se círculos de convecção exclusivos daquela área. Os poluentes atraídos durante o verão permanecem na Antártida até a época de subirem para a estratosfera. Ao chegar novamente o verão, os primeiros raios de sol quebram as moléculas de CFC encontradas nessa área, iniciando a reação.

Perda de Ozônio

- A perda de ozônio não está apenas concentrada na Antártica. Há perda de ozônio em algumas áreas densamente habitadas no hemisfério norte (**latitudes de 30-40N**).
- Entretanto, diferentemente da rápida queda na região Antártica (onde o ozônio a certas altitudes já foi quase que totalmente perdido), a perda de ozônio em latitudes intermediárias é bem mais lenta - apenas poucos % ao ano. Todavia, esta tendência é preocupante e tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores.

Processos químicos ligados a perda de ozônio na estratosfera

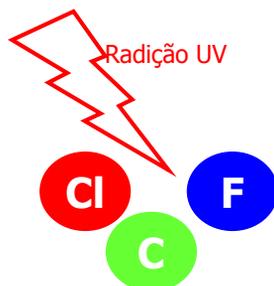
O Cloro (**Cl**) e o Bromo (**Br**) são os principais compostos causadores da destruição do ozônio na estratosfera. Quase que a **totalidade do cloro na estratosfera**, e aproximadamente **metade do Bromo**, estão relacionadas a atividades humanas (fontes antropogênicas).

CFC's (Cloro Fluor Carbonos)

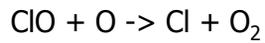
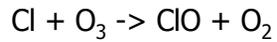
- Conhecidos como os destruidores da camada de ozônio.
- Os CFC eram bastante utilizados como propelente para aerosóis, líquidos refrigerantes e na fabricação de alguns plásticos.
- Os CFC são compostos altamente estáveis (dai sua grande aplicação industrial), que permanecem inertes na atmosfera por um longo período de tempo até que os movimentos de circulação da atmosfera os levem para altitudes mais elevadas. Em grandes altitudes (na estratosféra), onde a radiação solar é mais intensa, os CFC's se decompõem liberando átomos de Cl que são grandes destruidores de O_3 .

A reação

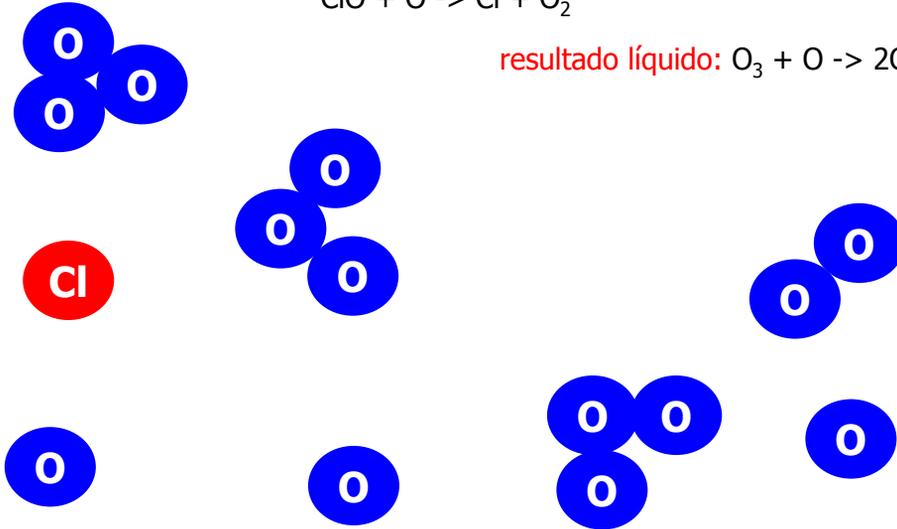
As moléculas de clorofluorcarbono, ou Freon, passam intactas pela troposfera, que é a parte da atmosfera que vai dos 0 aos 10000 metros de altitude. Quando passam por essa parte, desembocam na estratosfera, onde os raios ultravioletas do sol estão em maior quantidade. Esses raios quebram as partículas de CFC (CFC) liberando o átomo de cloro.



Os átomos de cloro liberados podem participar em ciclos de reações catalíticas que destroem ozônio, como, por exemplo:



resultado líquido: $\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow 2\text{O}_2$

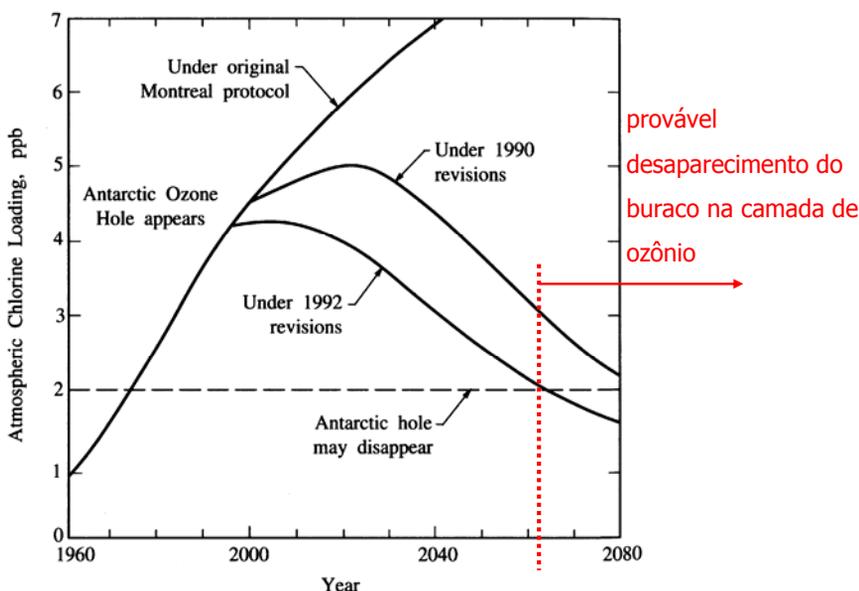


Em 1989, 180 países, inclusive o Brasil, assinaram o Protocolo de Montreal, que visa controlar essas substâncias e reduzir sua produção e consumo.

- O Brasil proibiu a fabricação de geladeiras e freezers com CFCs em 1999.
- Dois anos antes, em 1997, o país já havia deixado de fabricar veículos novos com condicionadores de ar que usavam os clorofluorcarbonetos.
- Em 2001, esse tipo de aparelho deixou de ser fabricado com CFCs.

Com a produção de novos aparelhos controlada, o governo passou a concentrar suas ações na redução do consumo de CFCs, controlando a manutenção dos equipamentos fabricados antes das proibições. Com isso, foi criado, em 2002, o Plano Nacional de Eliminação de CFC. A prática normal, antes do Plano, para a manutenção de aparelhos refrigeradores era a liberação do gás na atmosfera e a inserção de um CFC novo e limpo em seu lugar. Depois, o gás passou a ser reciclado e reutilizado sem perdas para o ar.

Redução do Cloro na atmosfera após as medidas de limitação de emissão dos CFC's



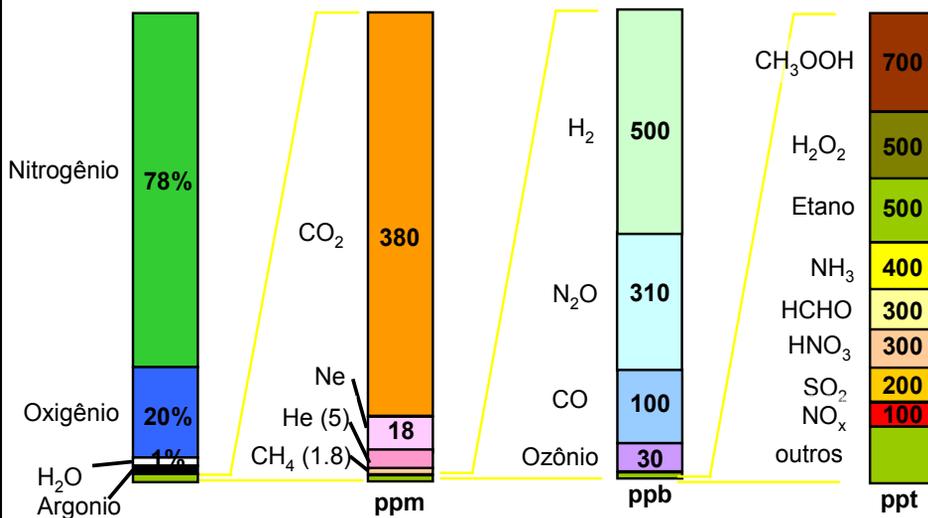
No Brasil ainda há pouco com que se preocupar

No Brasil, a camada de ozônio ainda não perdeu 5% do seu tamanho original. Isso é o que dizem os instrumentos medidores do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). O instituto acompanha a movimentação do gás na atmosfera desde 1978 e até hoje não detectou nenhuma variação significativa. Talvez isso se deva a pouca produção de CFC no Brasil em comparação com os países de primeiro mundo. Isso se deve a que no Brasil, apenas 5% dos aerossóis utilizam CFC, já que aqui uma mistura de butano e propano é significativamente mais barata, e funciona perfeitamente em substituição do clorofluorcarbono.

A Atmosfera

- Camadas
- Constituintes ←
- Balanço de energia
- Ventos na atmosfera

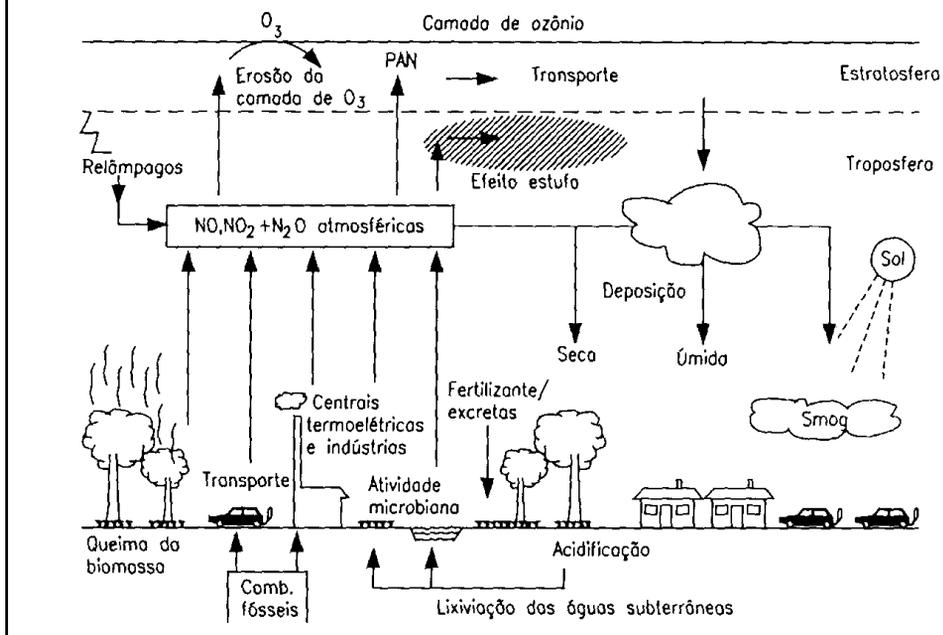
Composição da Atmosfera



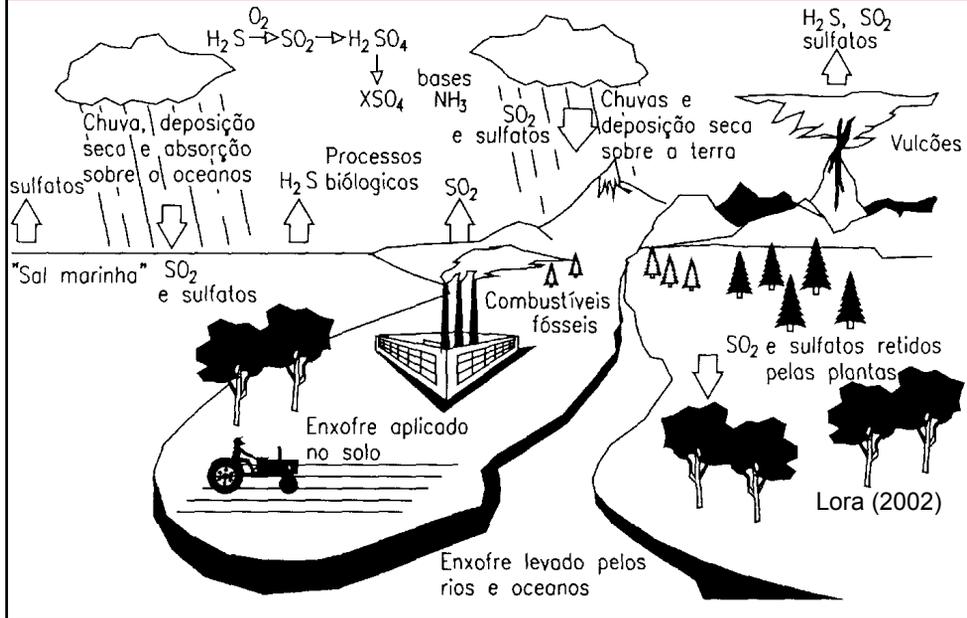
Ar limpo X Ar contaminado

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO (ppb)	
	AR LIMPO	AR CONTAMINADO
SO₂	1 – 10	20-200
CO	120	1000-10.000
NO	0,01 – 0,05	50-750
NO₂	0,1-0,5	50-250
O₃	20-80	100-500

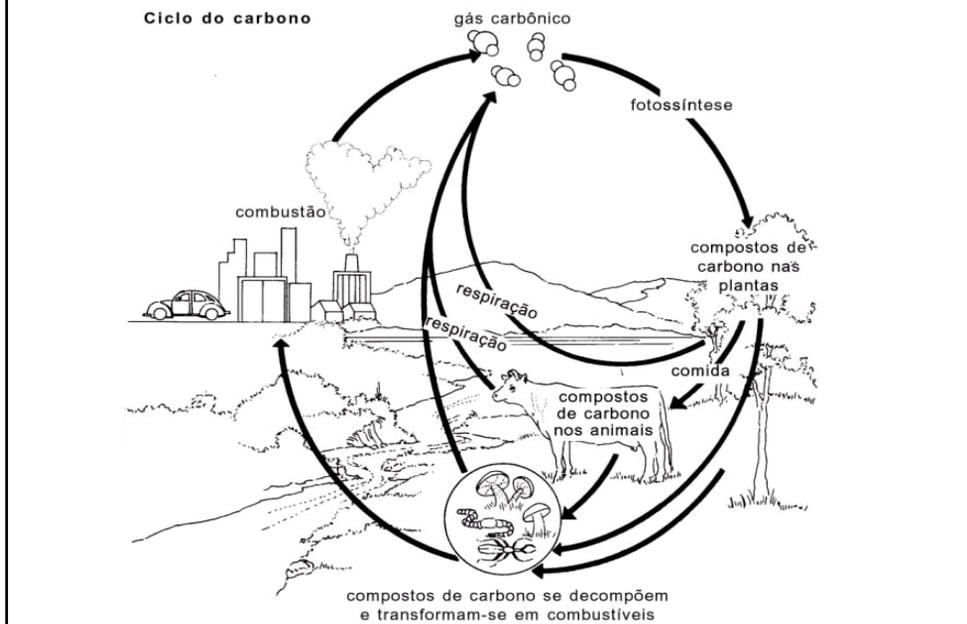
Ciclos Globais – Ciclo do Nitrogênio



Ciclos Globais – Ciclo do Enxofre



Ciclos Globais – Ciclo do Carbono



Composição do Ar Limpo:

• N ₂	78,09%*	• CH ₄	0.00012%
• O ₂	20,94%	• Kr	0,00010%
• Ar	0,93%	• NO _x	0,00005%
• CO ₂	0,0315%	• H ₂	0.00005%
• Ne	0.0018%	• Xe	0.000008%
• He	0.00052%	• Vapores Orgânicos	0.000002%

* Em volume

Composição do Ar Limpo (ppm)*:

• N ₂	780.900	• CH ₄	1,2
• O ₂	209.400	• Kr	1,0
• Ar	9300	• NO _x	0,5
• CO ₂	315	• H ₂	0,5
• Ne	18	• Xe	0.08
• He	5,2	• Vapores Orgânicos	0.02

* Em volume

Composição do Ar Limpo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):

• N ₂	8.95x10 ⁸	• CH ₄	7.87x10 ²
• O ₂	2.74x10 ⁸	• Kr	3.43x10 ³
• Ar	1.52x10 ⁷	• NO _x	9.00x10 ²
• CO ₂	5.67x10 ⁵	• H ₂	4.13x10 ¹
• Ne	1.49x10 ⁴	• Xe	4.29x10 ²
• He	8.50x10 ²	• Vapores Orgânicos	-

Unidades de concentração de contaminantes

• Concentração em ppm =
$$\frac{\text{Volume de contaminante}}{\text{Volume de ar}}$$

• Concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ =
$$\frac{\text{Massa de contaminante}}{\text{Volume de ar}}$$

Conversão de unidades de concentração de contaminantes

$$C_{[\mu\text{g}/\text{m}^3]} = \frac{C_{[\text{ppm}]} \times P_{[\text{Pa}]} \times M_{[\text{g}/\text{mol}]}}{8.1314 \times T_{[\text{K}]}}$$

$C_{[\mu\text{g}/\text{m}^3]}$	concentração dada em $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$C_{[\text{ppm}]}$	concentração dada em ppm
$M_{[\text{g}/\text{mol}]}$	valor da massa molecular da substância
$T_{[\text{K}]}$	Temperatura da amostra em Kelvin
$P_{[\text{Pa}]}$	Pressão dada em Pascal

Exemplo de conversão de unidades de concentração

Exemplo :

Determinar a concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 em uma amostra de ar a 298 K e 1 atm, sabendo que a concentração de O_3 na amostra é de 120 ppb.

0.12ppm

1 atm = 1.0133x10⁵ Pa

48 gramas

$$C_{[\mu\text{g}/\text{m}^3]} = \frac{C_{[\text{ppm}]} \times P_{[\text{Pa}]} \times M_{[\text{g}/\text{mol}]}}{8.1314 \times T_{[\text{K}]}} = 235,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

298 K

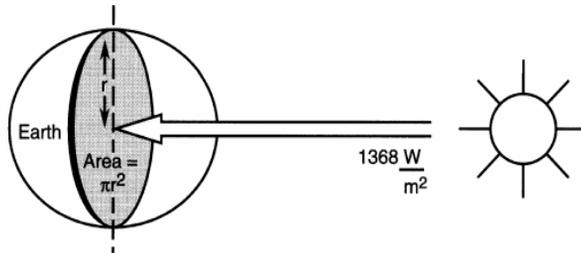
A Atmosfera

- Camadas
- Constituintes
- Balanço de energia ←
- Ventos na atmosfera

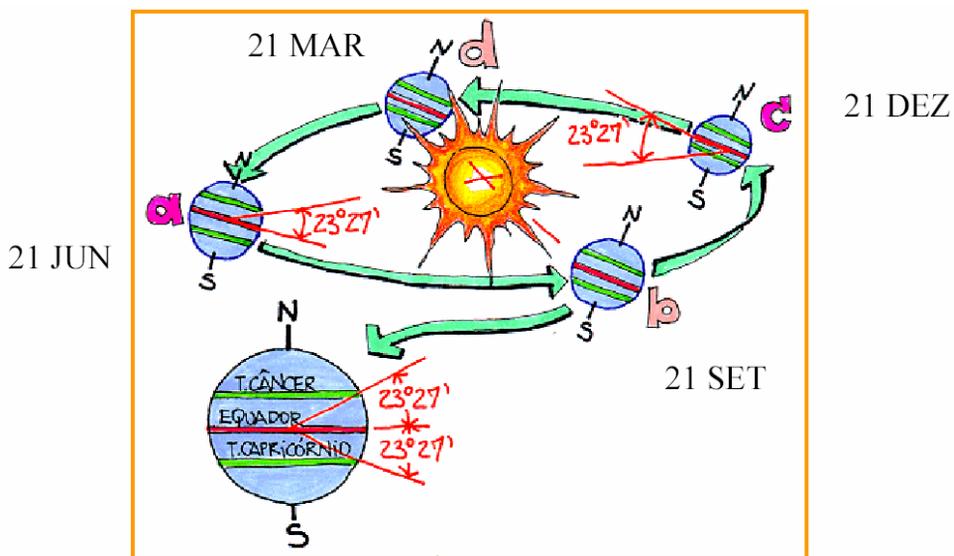
Equilíbrio
Energético



Balanço de
entre
radiação
incidente e
emitida

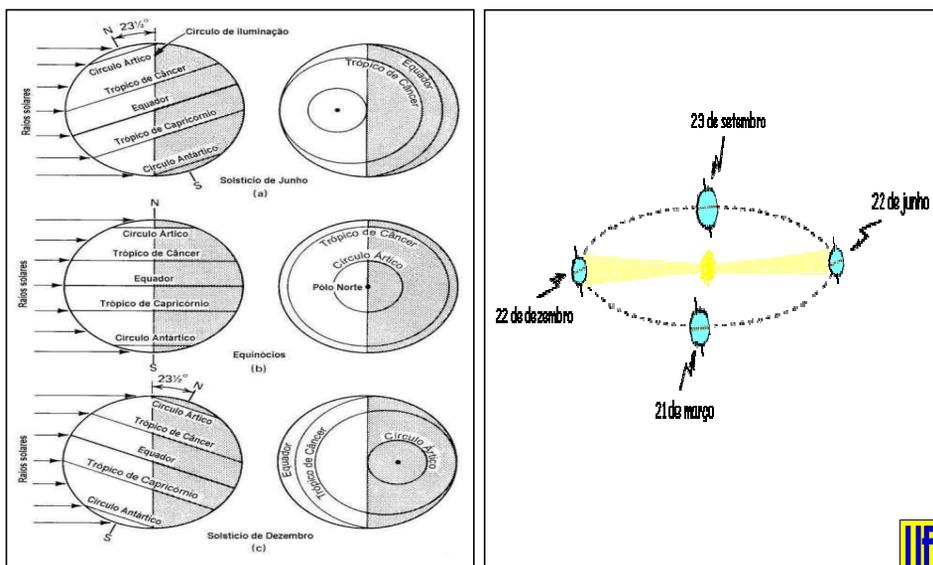


Orientação em relação ao sol

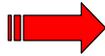


Fonte: <http://www.labeee.ufsc.br/>

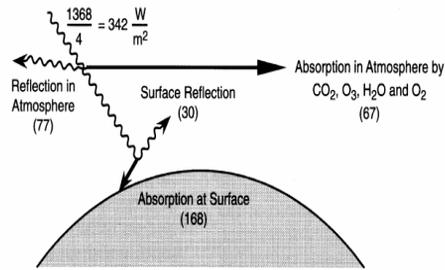
GEOMETRIA DA TERRA PARA RADIAÇÃO SOLAR



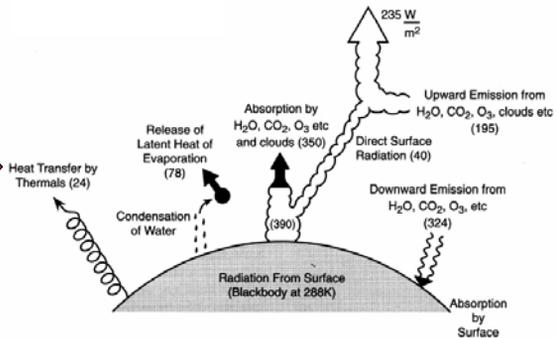
Radiação incidente



Incoming Solar Radiation



Radiação emitida



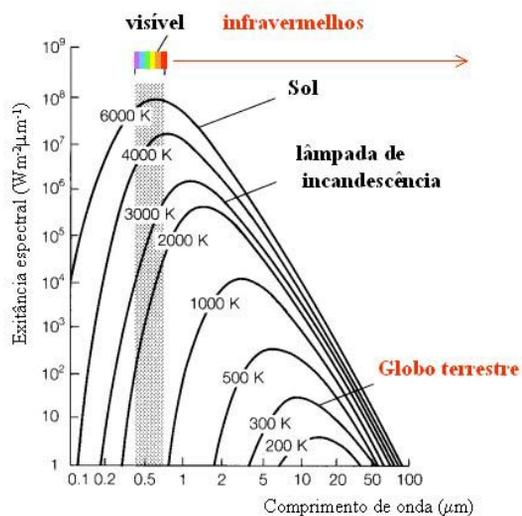
Comprimento de Onda da Radiação Solar Incidente

“Todo o corpo a uma temperatura diferente do zero absoluto emite radiação e o poder emissivo é proporcional à 4ª potência da sua temperatura absoluta” (Stefan-Boltzmann, 1879, 1894)

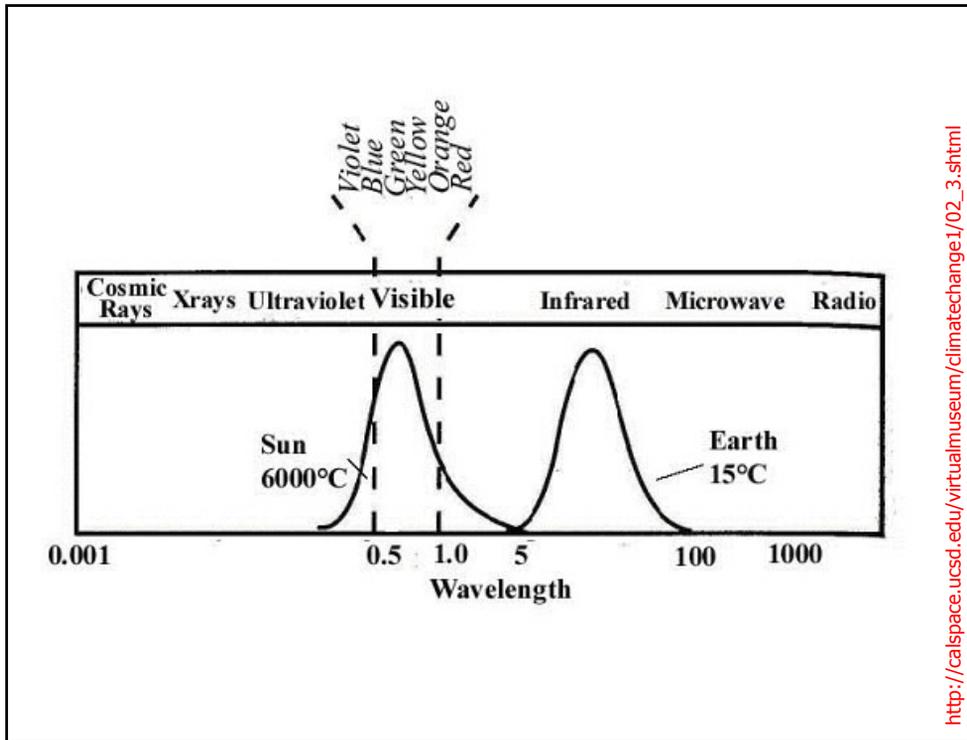
$$E = \sigma T^4$$

“O comprimento de onda correspondente ao máximo de emissão de um corpo negro (emissor perfeito) depende da sua temperatura absoluta” (Wien, 1893)

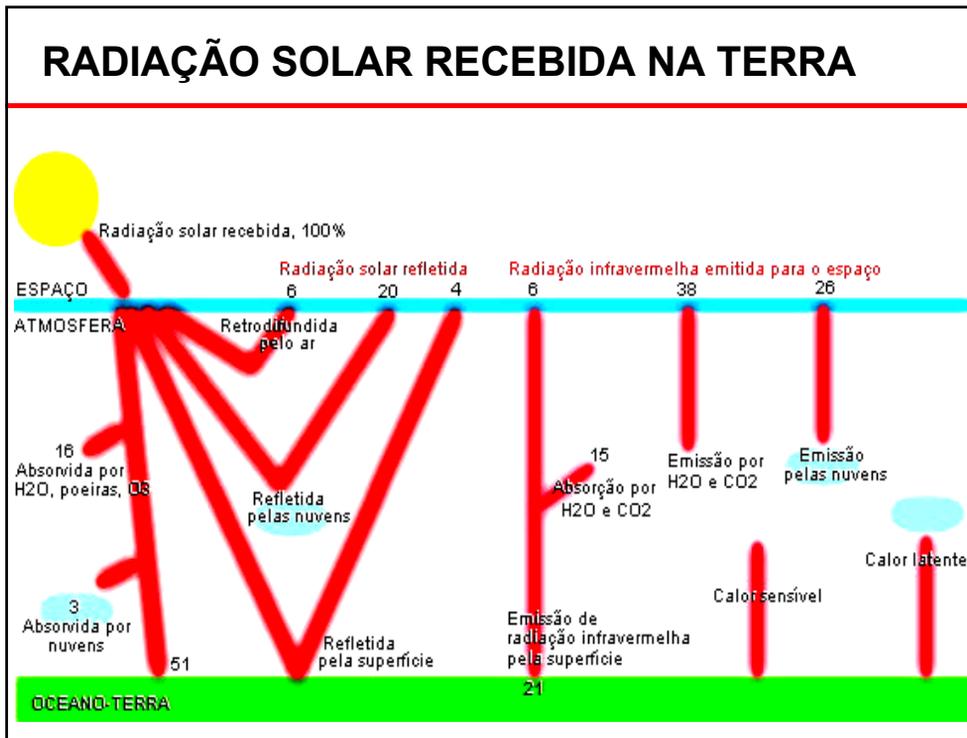
$$\lambda_{\text{máx.}} T = 0.2898 \times 10^{-2}$$



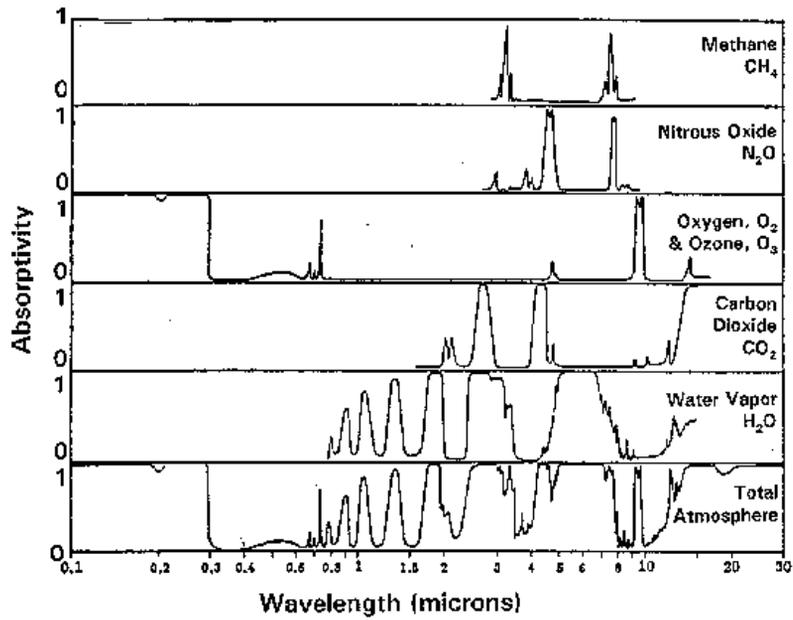
Fonte: <http://nonio.fc.ul.pt/oceano>



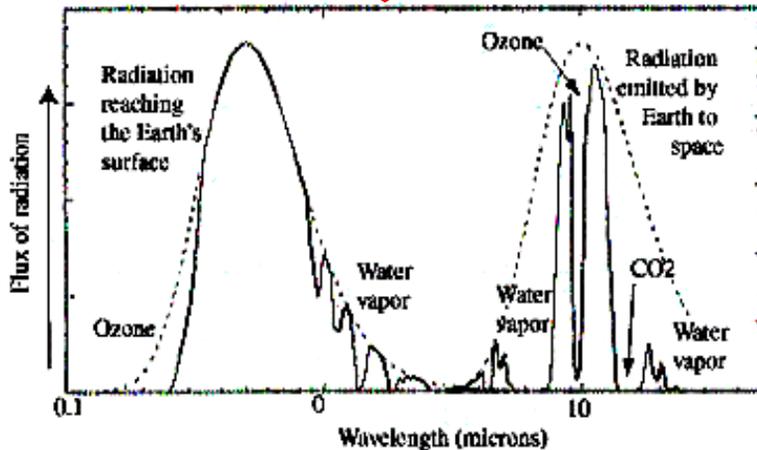
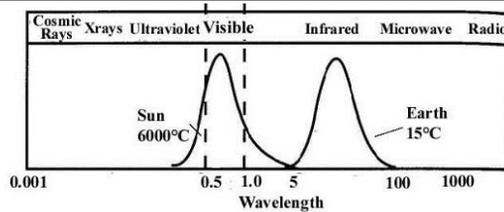
http://calspace.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/02_3.shtml



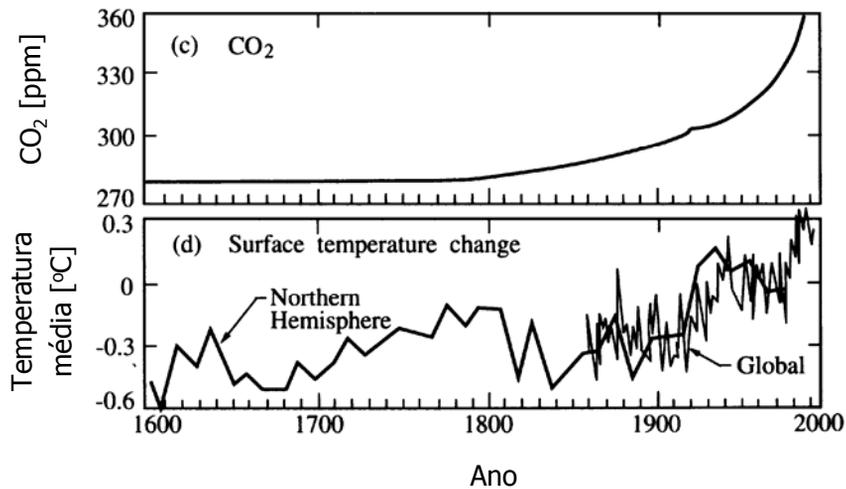
Espectro de absorção de radiação por alguns dos componentes da atmosfera



[After J. N. Howard, 1959: *Proc. I.R.E.* 47, 1459; and R. M. Goody and G. D. Robinson, 1951: *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 77, 153]



http://calspace.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange/102_3.shtml

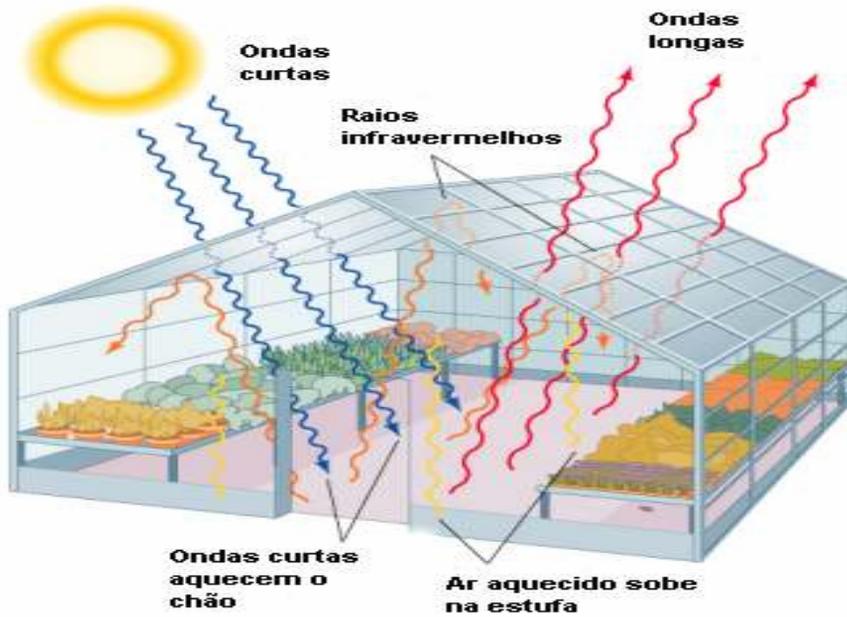


EFEITO ESTUFA

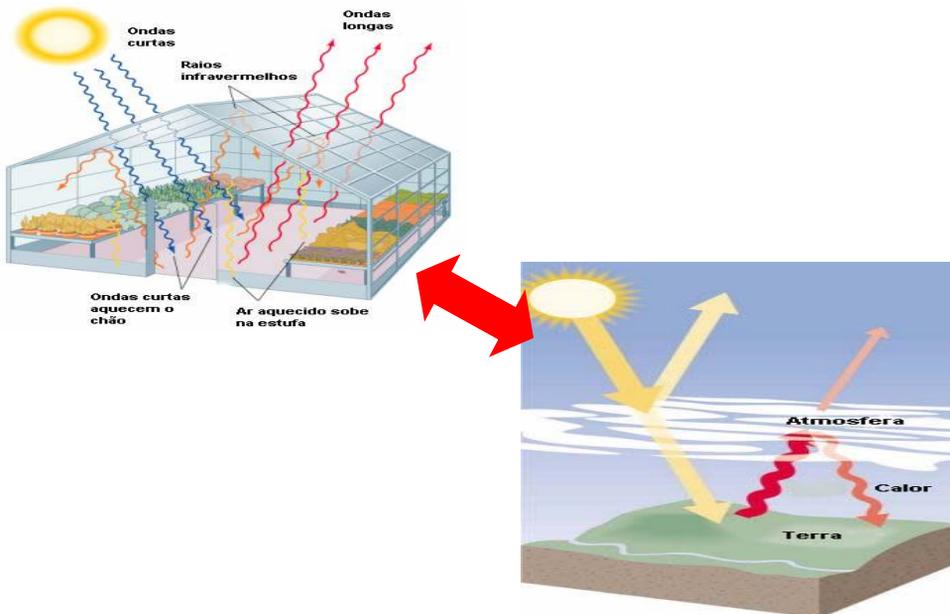
➤ Gases Estufa e o Comprimento de Onda

- ✘ Os raios Ultra-violeta emitidos pelo Sol passam pela Atmosfera
 - >> Os Gases Estufa não absorvem esses raios devido ao seu pequeno comprimento de onda >> Esses raios são absorvidos pela Terra;
- ✘ A Terra libera em forma de calor raios Infravermelho >> Esses raios de grande comprimento de onda são absorvidos pelos Gases Estufa e transmitidos de volta à Terra >> Aquecendo a Terra e aumentando o Efeito Estufa.

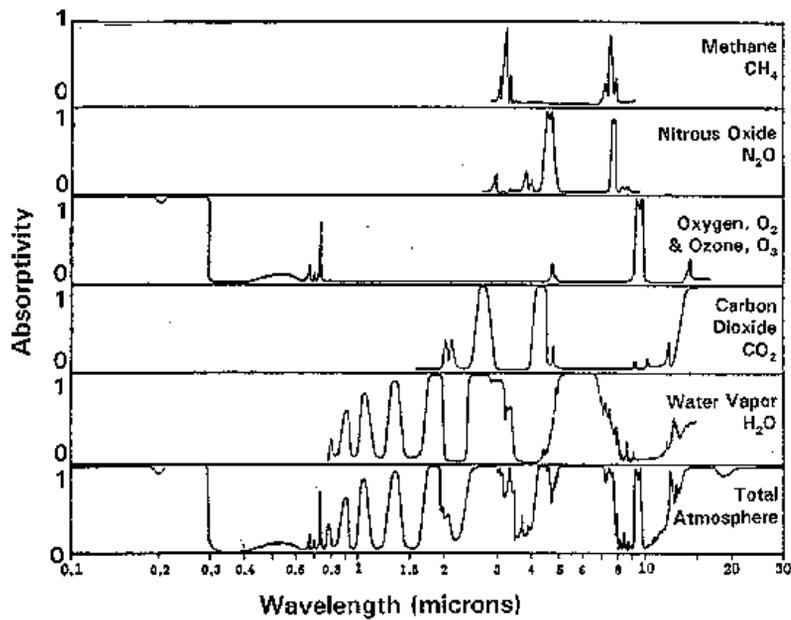
“EFEITO ESTUFA”



“EFEITO ESTUFA”



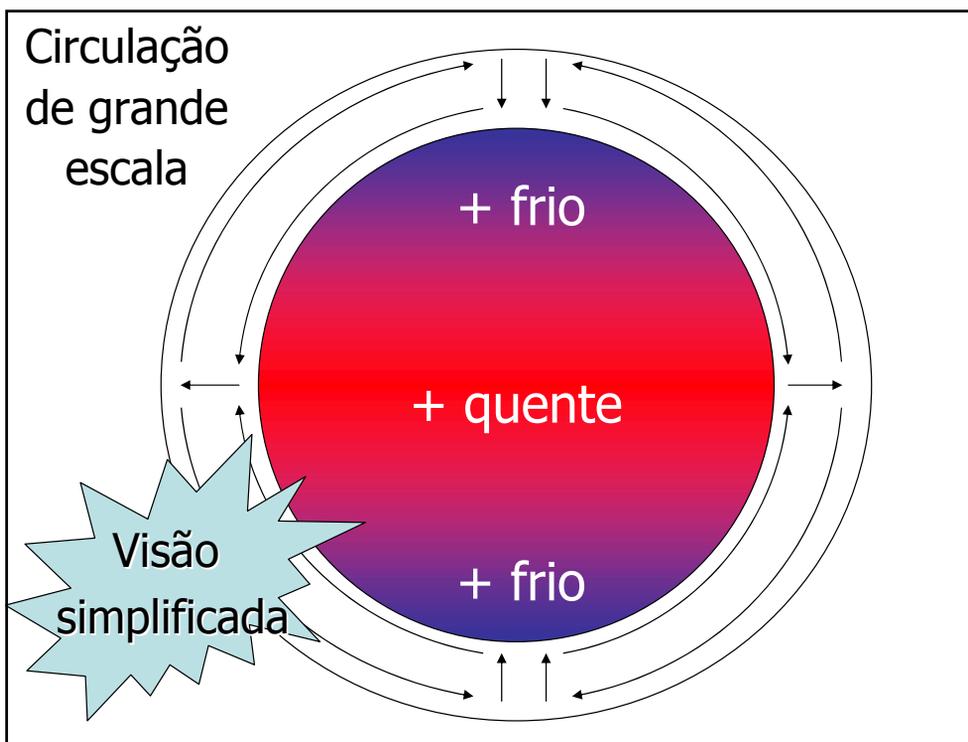
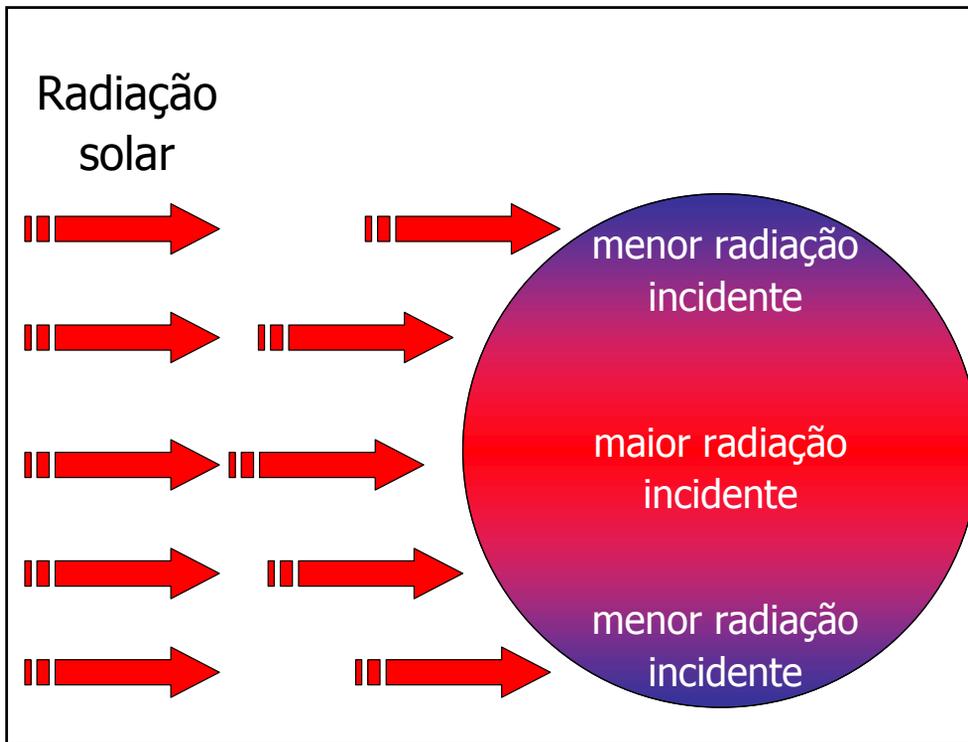
Espectro de absorção de radiação dos principais gases do "Efeito Estufa"

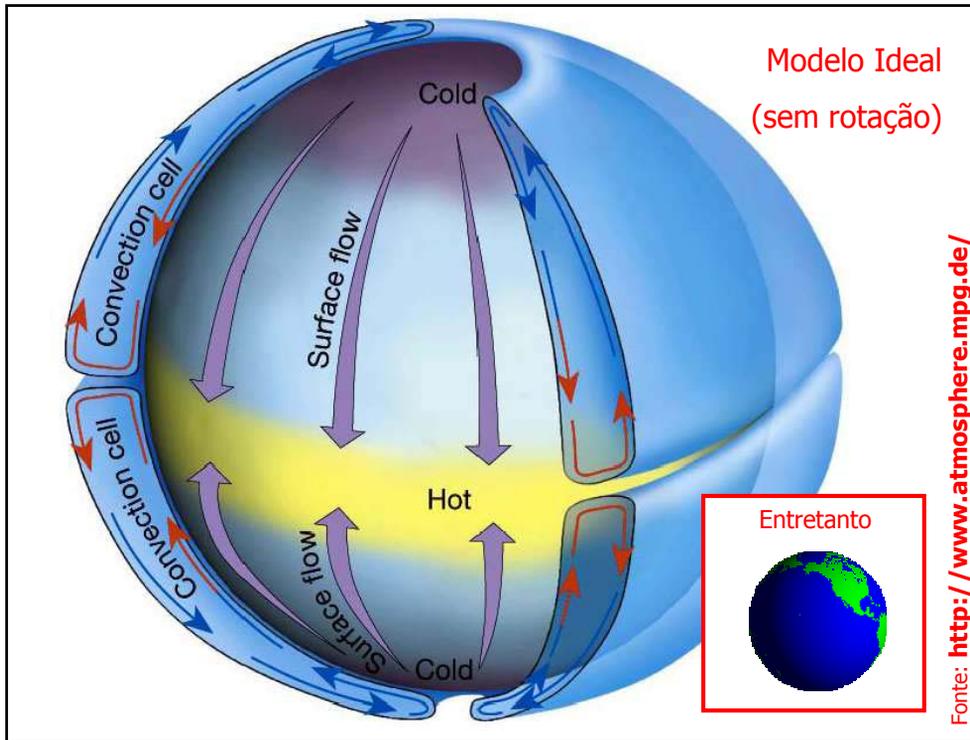


[After J. N. Howard, 1959: *Proc. I.R.E.* 47, 1459; and R. M. Goody and G. D. Robinson, 1951: *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 77, 153]

A Atmosfera

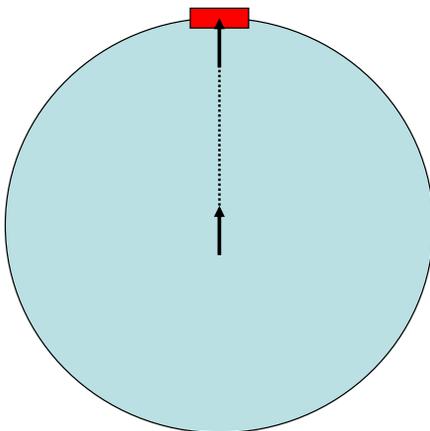
- Camadas
- Constituintes
- Balanço de energia
- Ventos na atmosfera ←



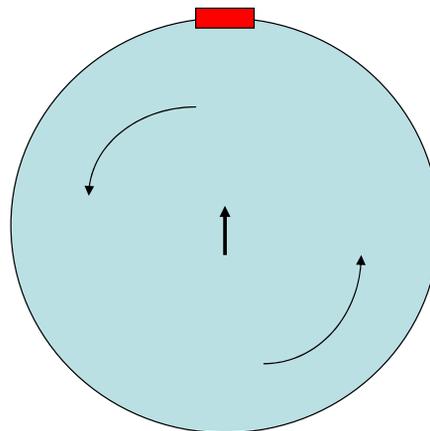


Força de Coriolis

Força devida a rotação da terra. Exemplo:



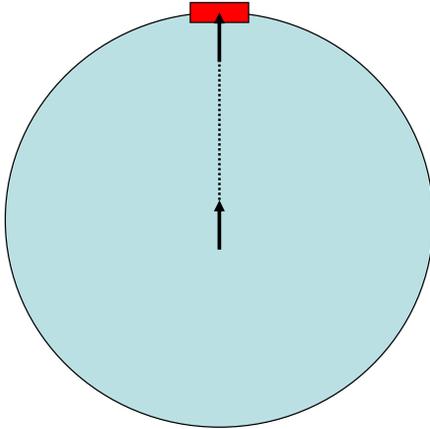
Tiro ao alvo sem rotação



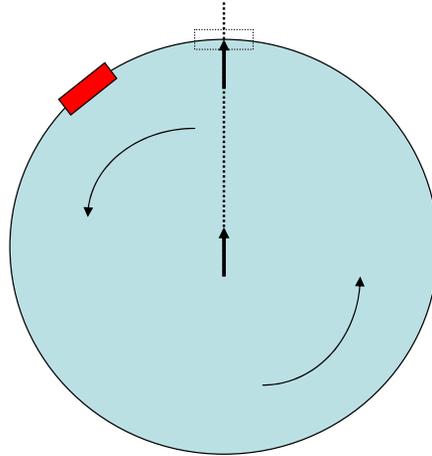
Tiro ao alvo com rotação

Força de Coriolis

Força devida a rotação da terra. Exemplo:



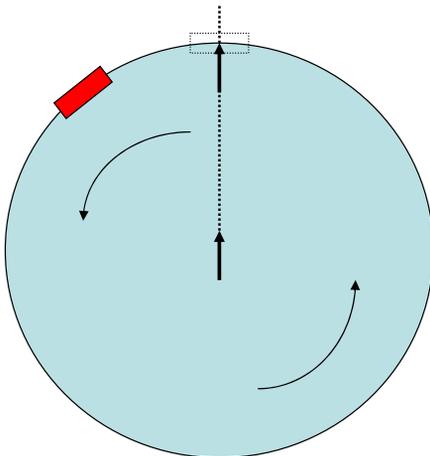
Tiro ao alvo sem rotação



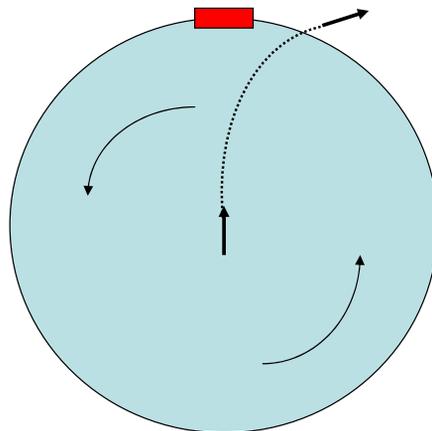
Tiro ao alvo com rotação

Força de Coriolis

Força devida a rotação da terra. Exemplo:



para um observador externo

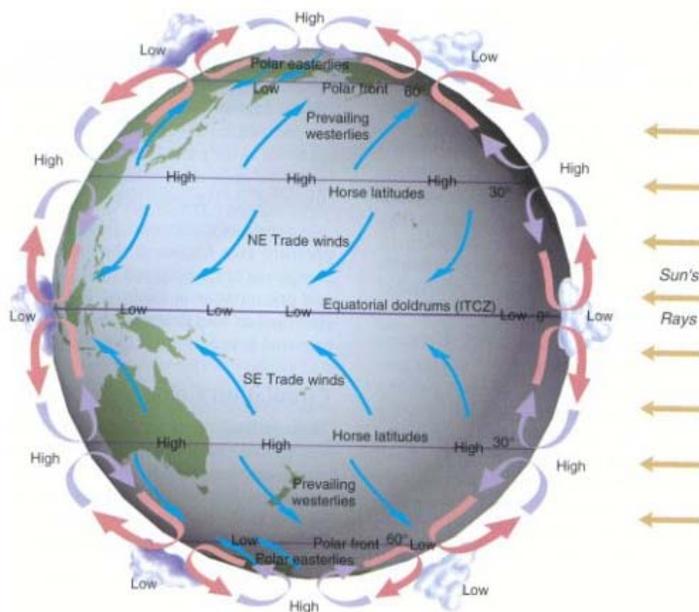


para um observador sobre o alvo

Força de Coriolis

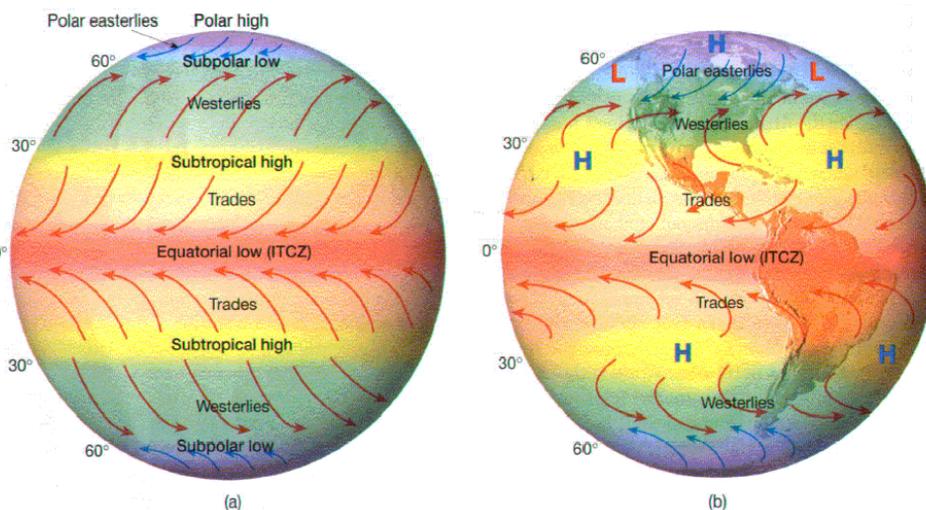


Circulação global considerando a rotação da terra e um campo de ventos permanente



Fonte: <http://monio.fc.ul.pt/oceano>

Circulação global considerando a rotação da terra e um aquecimento não uniforme



Fonte: <http://www.atmosphere.mpg.de/>

Baixa Pressão



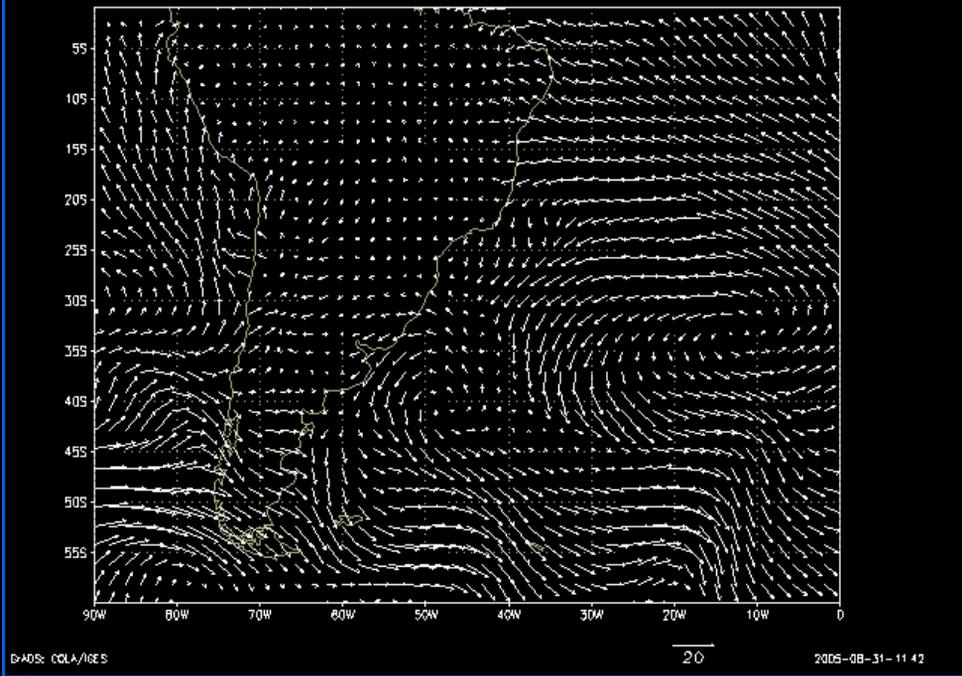
As baixas pressões são causadas pela elevação do ar quente. Este circula no sentido dos ponteiros do relógio no hemisfério Sul e na direcção contrária no hemisfério Norte. No topo, o ar desloca-se para fora e é arrastado para outro lado.

Fonte: www.eb23-gois.rcts.pt/_estmeteo/livpratm.htm



Estrutura
dos ventos
na
troposfera

Circulação de grande escala na América do Sul (dados NOAA)



On-line
(imagens de satélite)
CPTEC



http://satellite.cptec.inpe.br/htmldocs/setores/america_frame.htm