



# QUIMICA DA ATMOSFERA

SBPC

2010

UFRN

NEUSA PAES LEME

Instituto nacional de Pesquisas Espaciais  
Centro Regional do Nordeste (CRN / INPE)

[www.crn.inpe.br](http://www.crn.inpe.br)

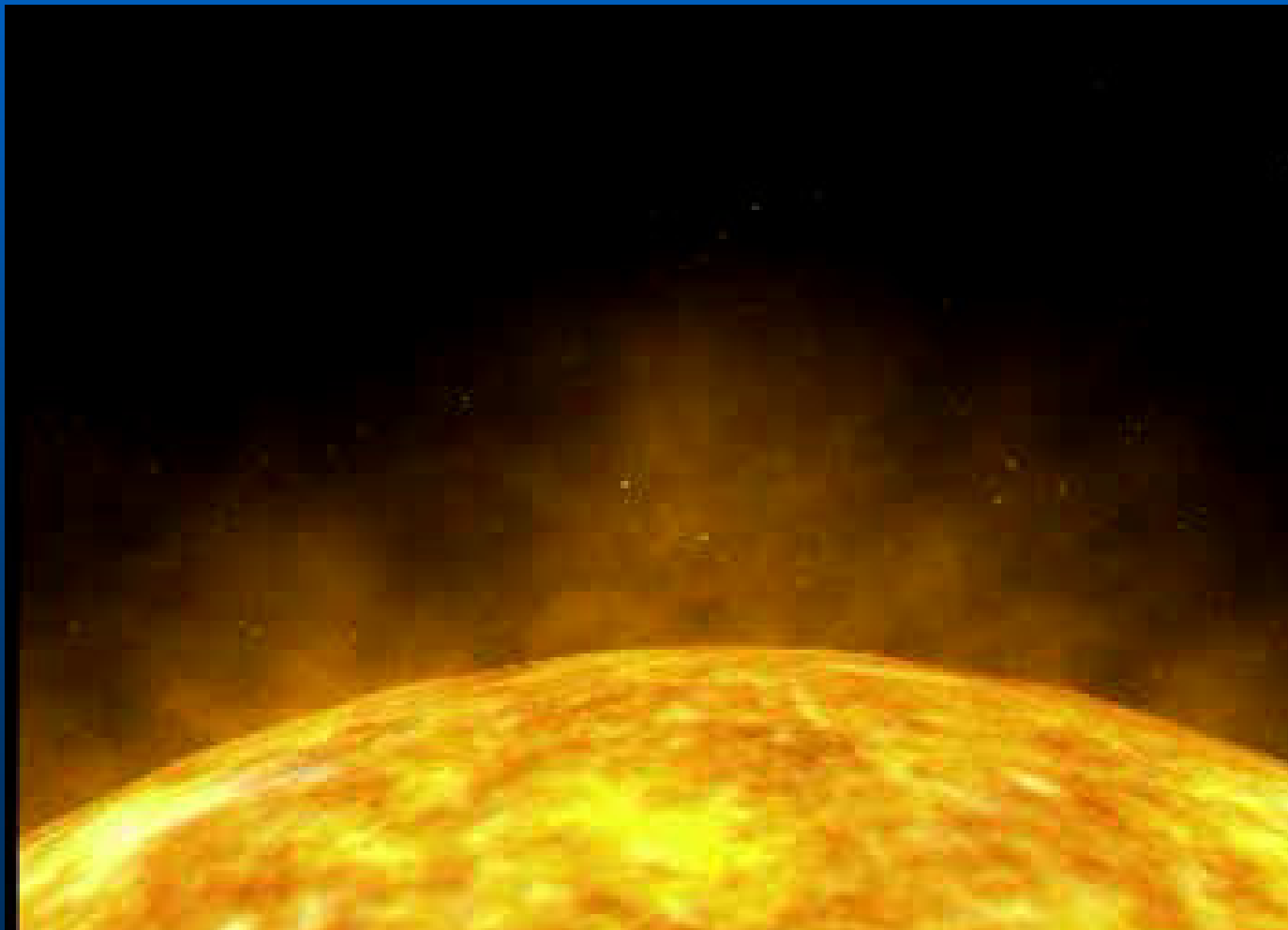
[nleme@crn.inpe.br](mailto:nleme@crn.inpe.br)

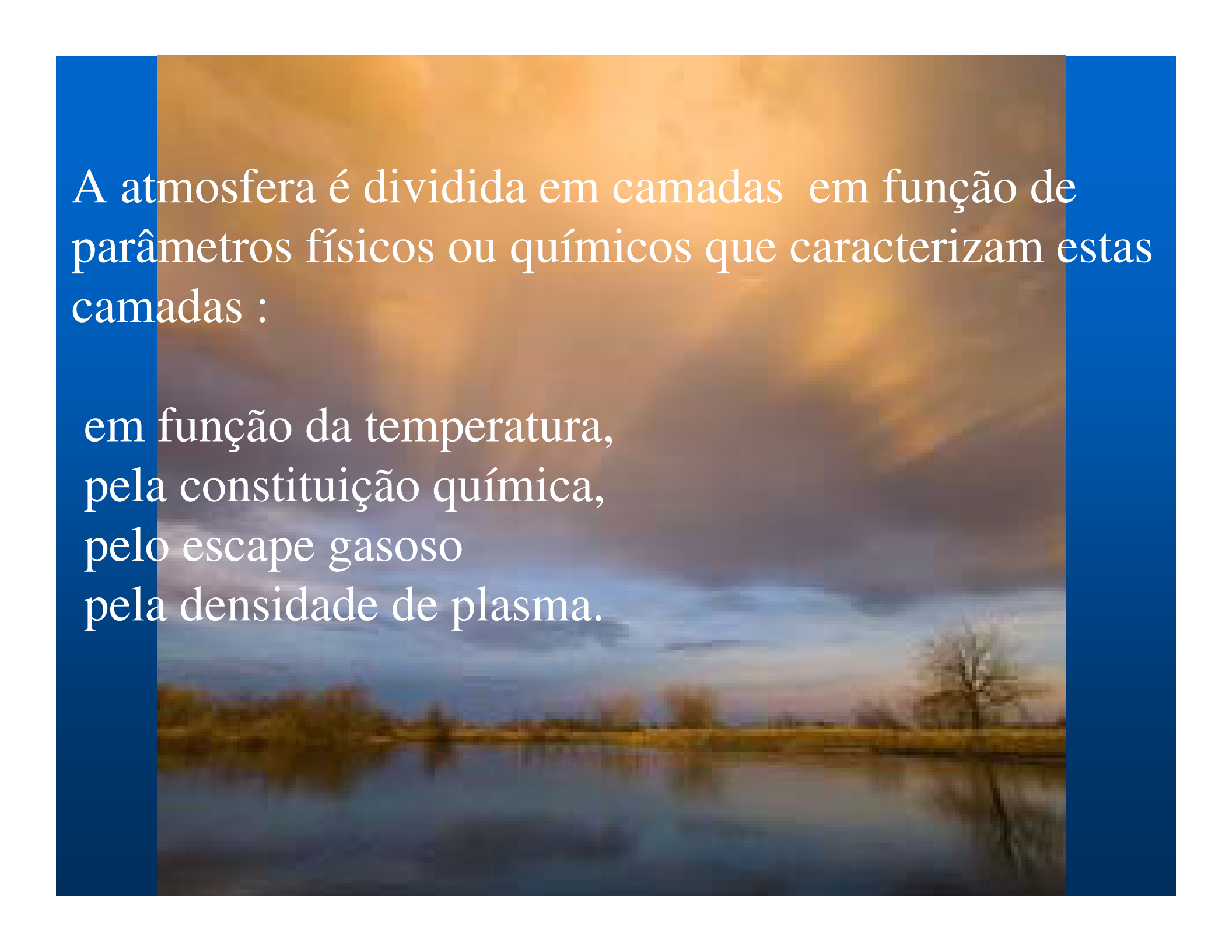
# TEMAS ABORDADOS

- **A radiação solar na Atmosfera.**
- **Introdução à Química da Atmosfera.**
- **Processos Químicos e Fotoquímicos.**
- **Ozônio.**
- **O Papel e a Presença de Ozônio na Atmosfera.**
- **Ciclo da Água.**
- **Ciclo do Carbono.**
- **Ciclo do Nitrogênio.**
- **Ciclo do Enxofre.**
- **Medições de CO<sub>2</sub>.**
- **Avaliação de Impactos Ambientais.**
- **Aerossóis. Poluentes Atmosféricos.**
- **Processos de Remoção de Poluentes da Atmosfera.**

O SOL É A NOSSA PRINCIPAL FONTE DE  
ENERGIA.

É O RESPONSÁVEL PELOS PROCESSOS FÍSICOS  
E QUÍMICOS DA ATMOSFERA

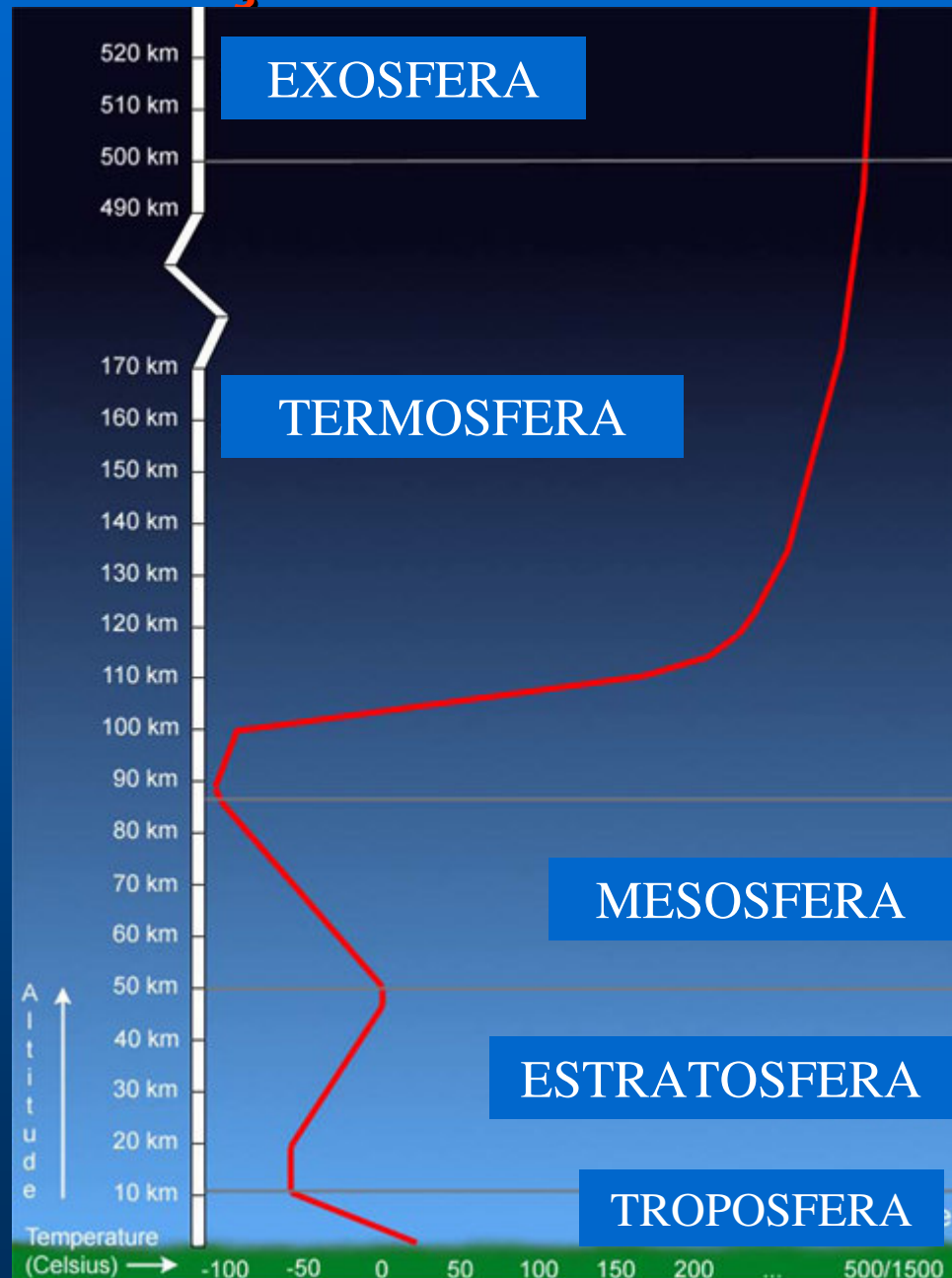




A atmosfera é dividida em camadas em função de parâmetros físicos ou químicos que caracterizam estas camadas :

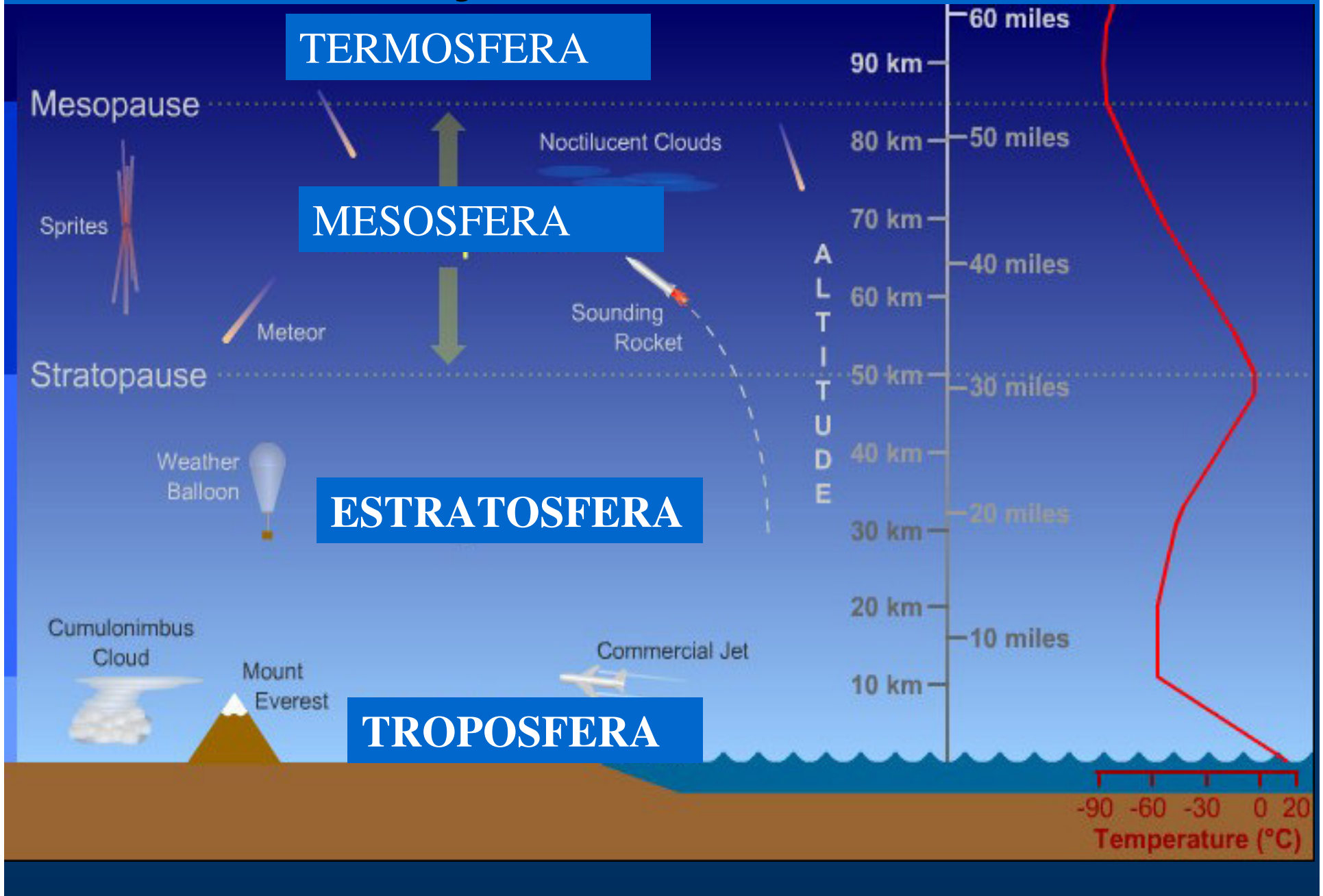
em função da temperatura,  
pela constituição química,  
pelo escape gasoso  
pela densidade de plasma.

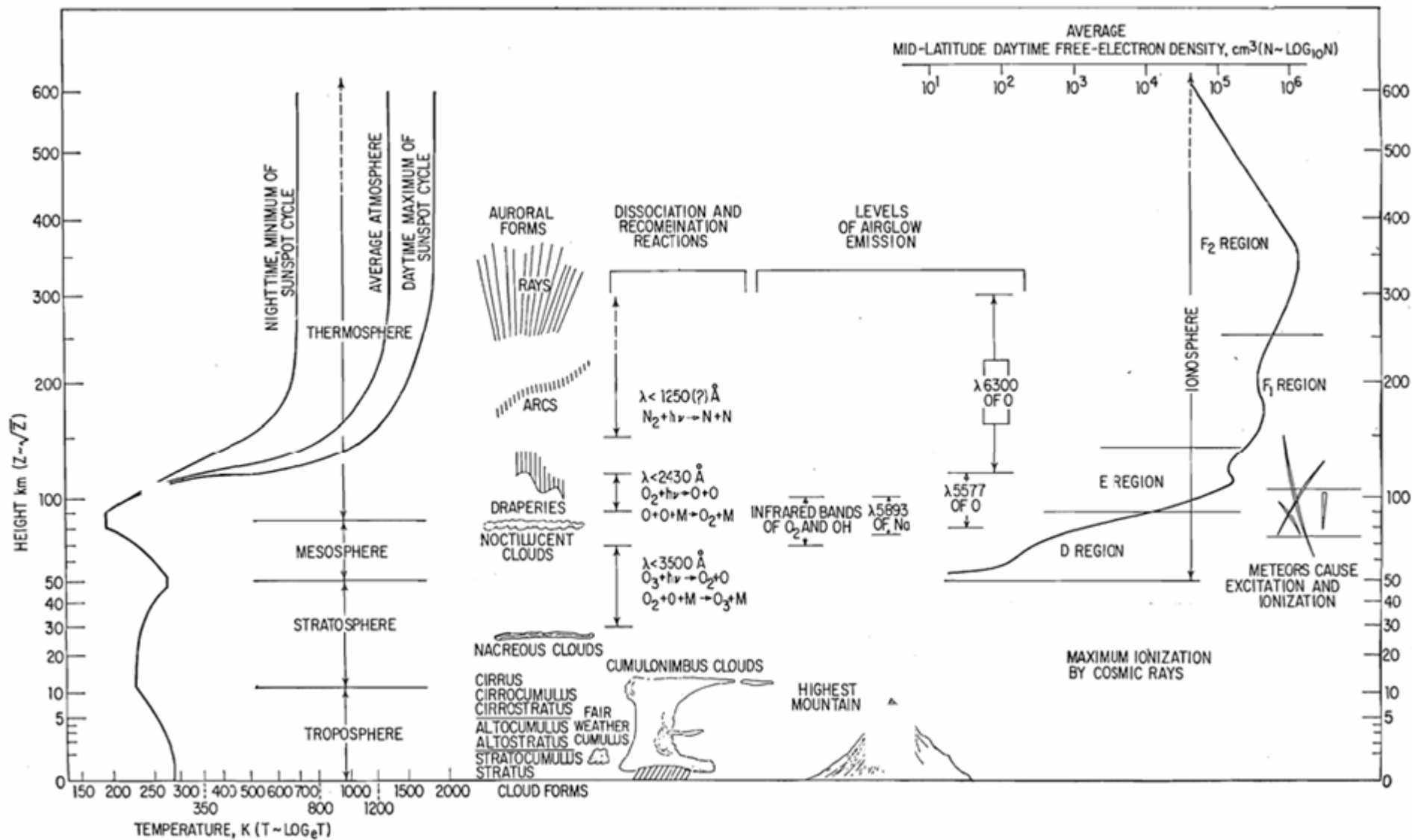
# CLASSIFICAÇÃO PELA TEMPERATURA



Fonte: <http://burro.astr.cwru.edu/...>  
Atmosphere1

# CLASSIFICAÇÃO PELA TEMPERATURA





# AS AURORAS





# Composição da Atmosfera Terrestre

## • Majoritários

- Nitrogênio 78%
- Oxigênio 20,9%
- Argônio 0,9%

## • Minoritários

- Gás carbônico ~ 0,034 %
- Metano ~  $1,7 \cdot 10^{-4}$  %
- **Óxido nítrico** ~  $3 \cdot 10^{-5}$  %
- CFC-11 ~  $0,2 \cdot 10^{-7}$  %
- CFC-12 ~  $0,3 \cdot 10^{-7}$  %
- Ozônio trop ~  $2 \cdot 10^{-6}$  %
- estr ~  $5 \cdot 10^{-4}$  %
- Vapor de água ~ 0,25 %

# CLASSIFICAÇÃO PELA COMPOSIÇÃO

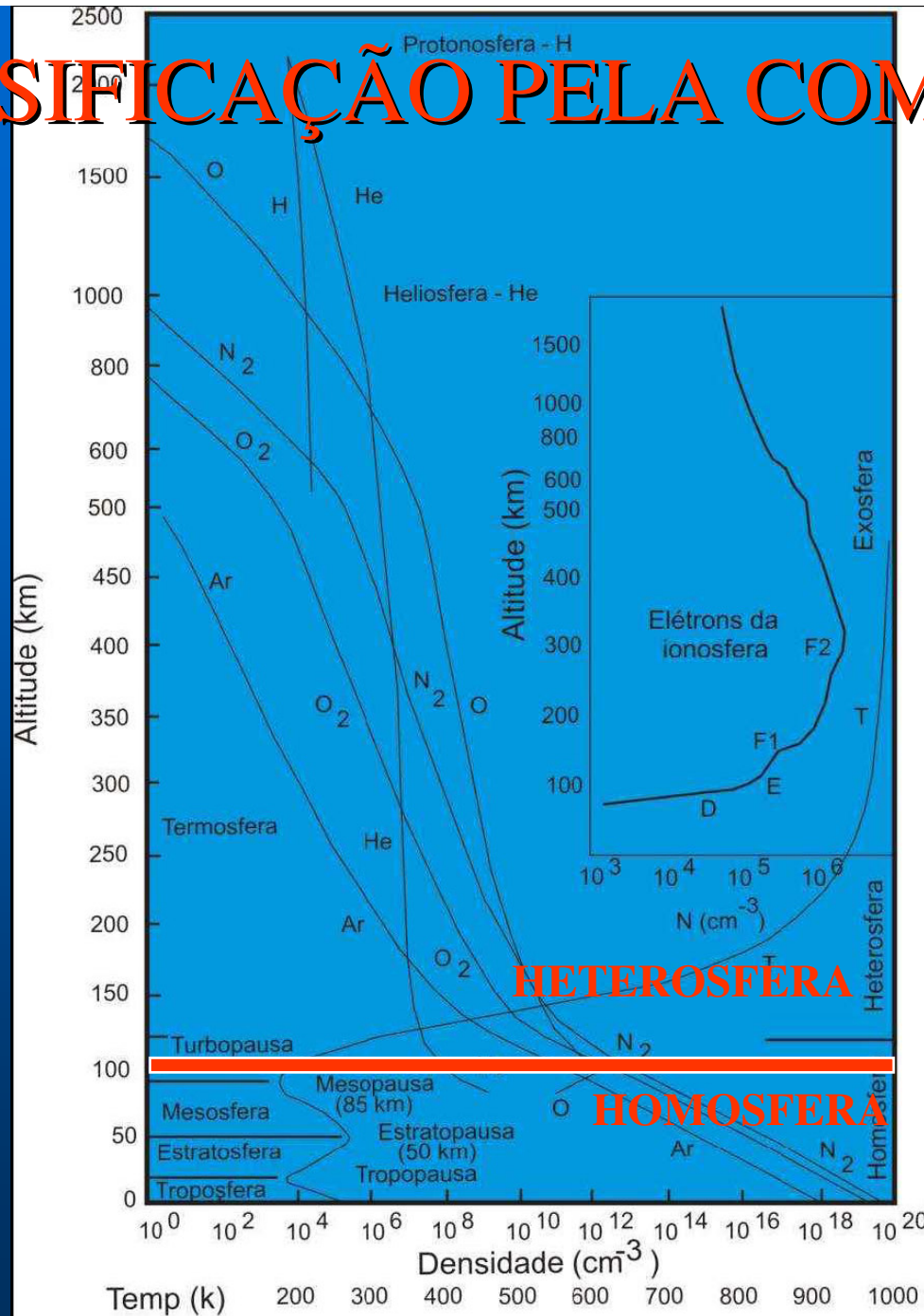


Figura 2

A Homosfera é a região até 100 km de altitude onde a atmosfera apresenta uma composição homogênea.

A Heterosfera região entre 10 e 10.000 km de altitude é estratificada, formando diversas camadas com composição diferente e os elementos se distribuem conforme o peso atômico: os mais pesados embaixo e os mais leves em cima:

- 100-400 km - camada de nitrogênio molecular;
- 400-1.100 km - camada de oxigênio (oxigênio atômico);
- 1.100-3.500 km - camada de hélio;
- 3.500-10.000 km - camada de hidrogênio.

## **Dinâmica da Estratosfera**

**Quando comparamos a troposfera com a estratosfera verifica-se que os processos na estratosfera ocorrem muito lentamente.**

**A estratosfera tem uma estrutura muito estável e existe pouca transferência de ar com a troposfera.**

**Contudo esta diminuta transferência é extremamente importante para o nosso clima...**

- **É amplamente aceito que a troposfera tem uma dinâmica Com forte efeito sobre a estratosfera, principalmente através da propagação de ondas para cima, tanto de baixa frequência em larga escala das ondas de Rossby ("ondas planetárias") e da inércia de frequência de ondas de gravidade.**
- **Estes estudos se baseiam em teorias de propagação de ondas . As ondas planetárias são movimentos da atmosfera em larga escala (6000 Km) com direção de leste para oeste, mas existem efeitos secundários e também propagação de ondas verticais .**
- **As experiências em diversos tipos de modelos numéricos, além de indicadores de observação, como as diferenças em circulação estratosférica entre verão e inverno, e entre os hemisférios.**
- **Considera-se uma interação de mão dupla.**  
**Não se sabe ainda QUANTIFICAR**

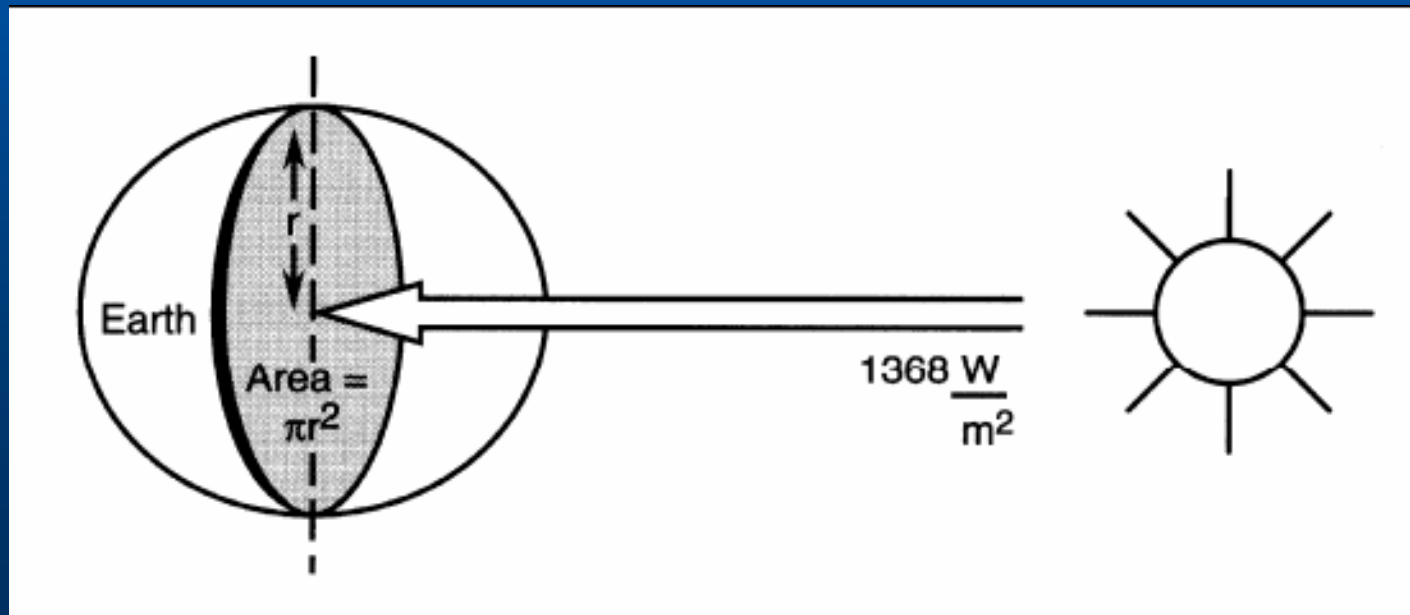
Equilíbrio

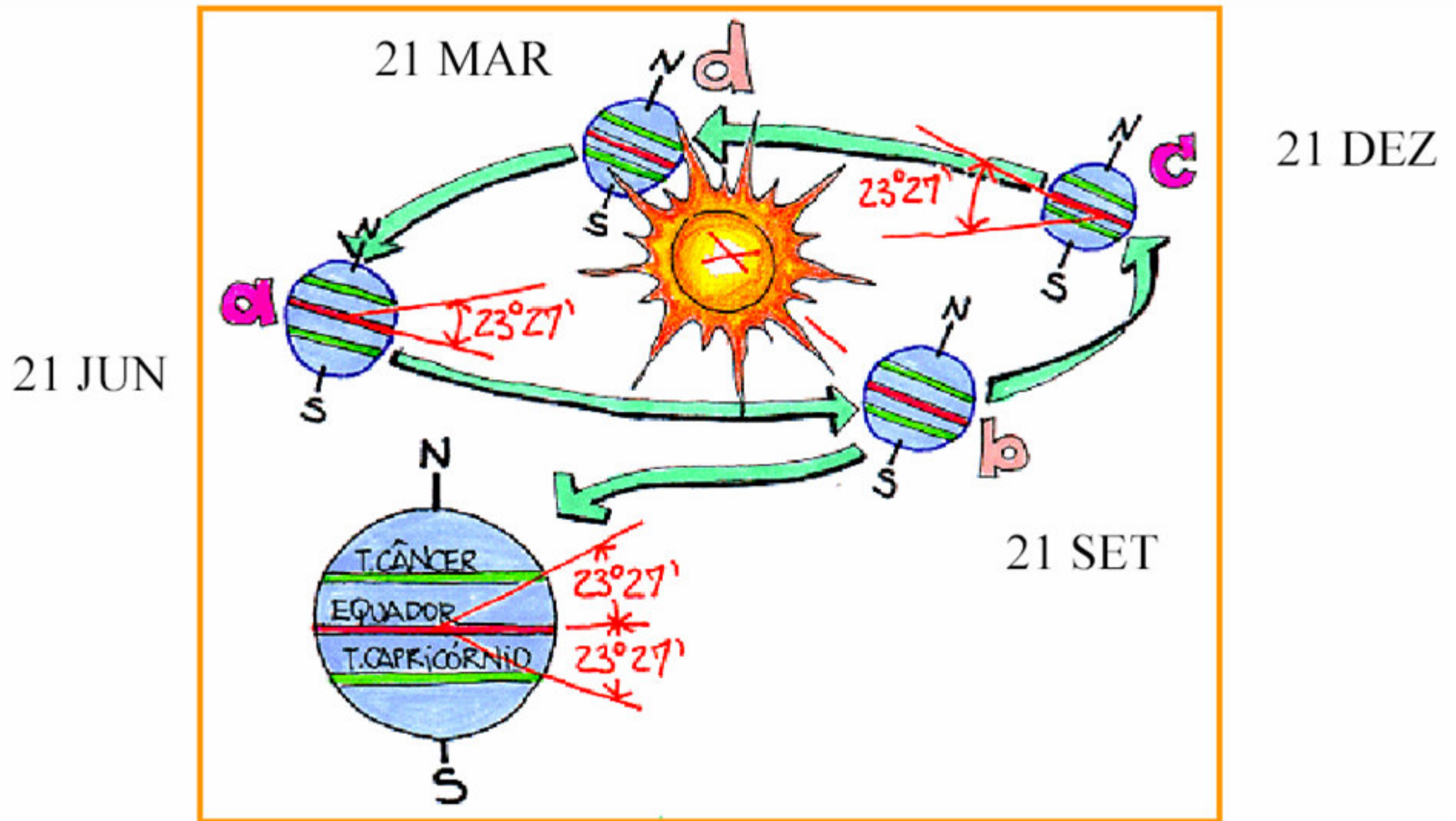


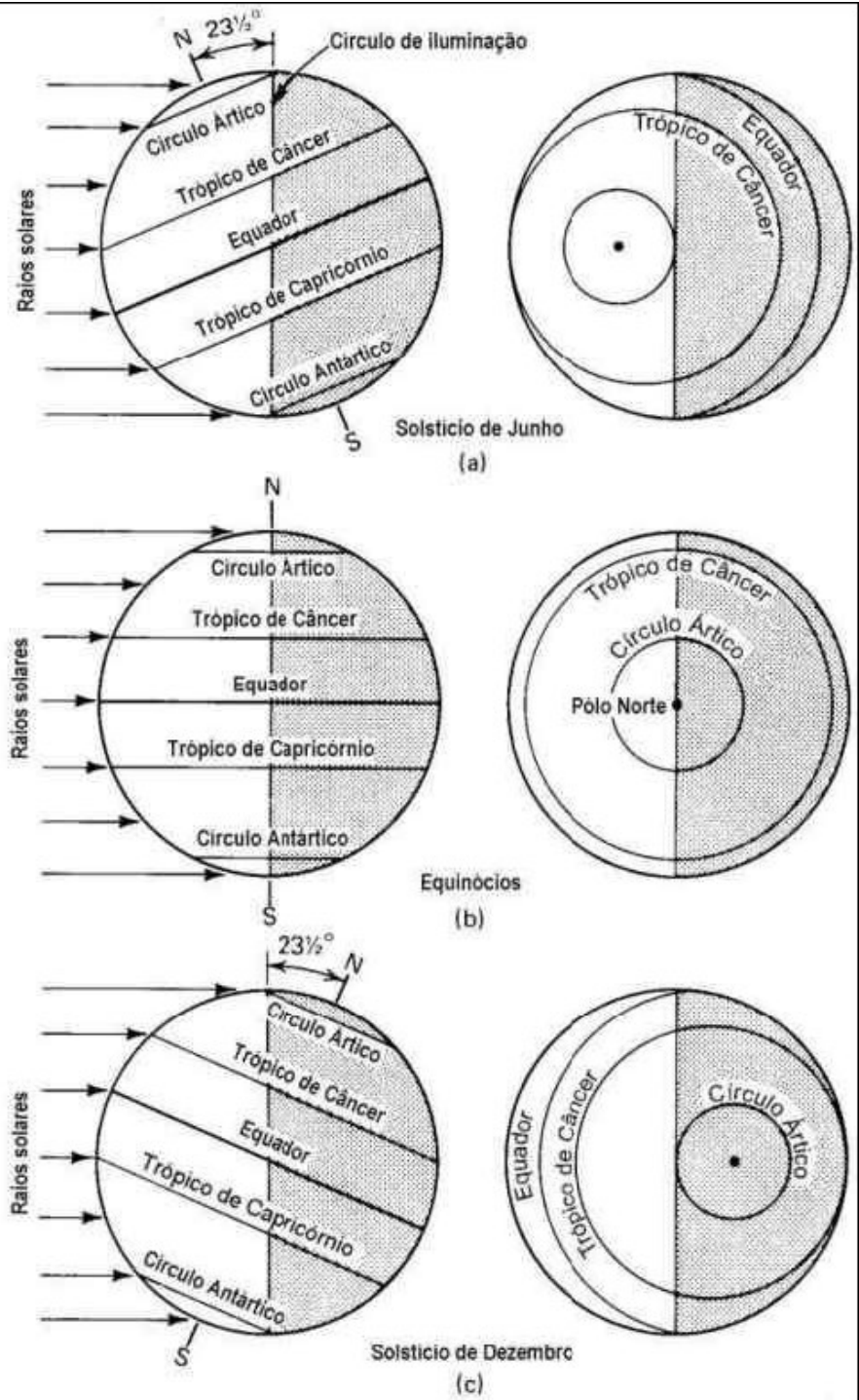
Balanzo de entre a radiação

incidente e a emitida

Energético









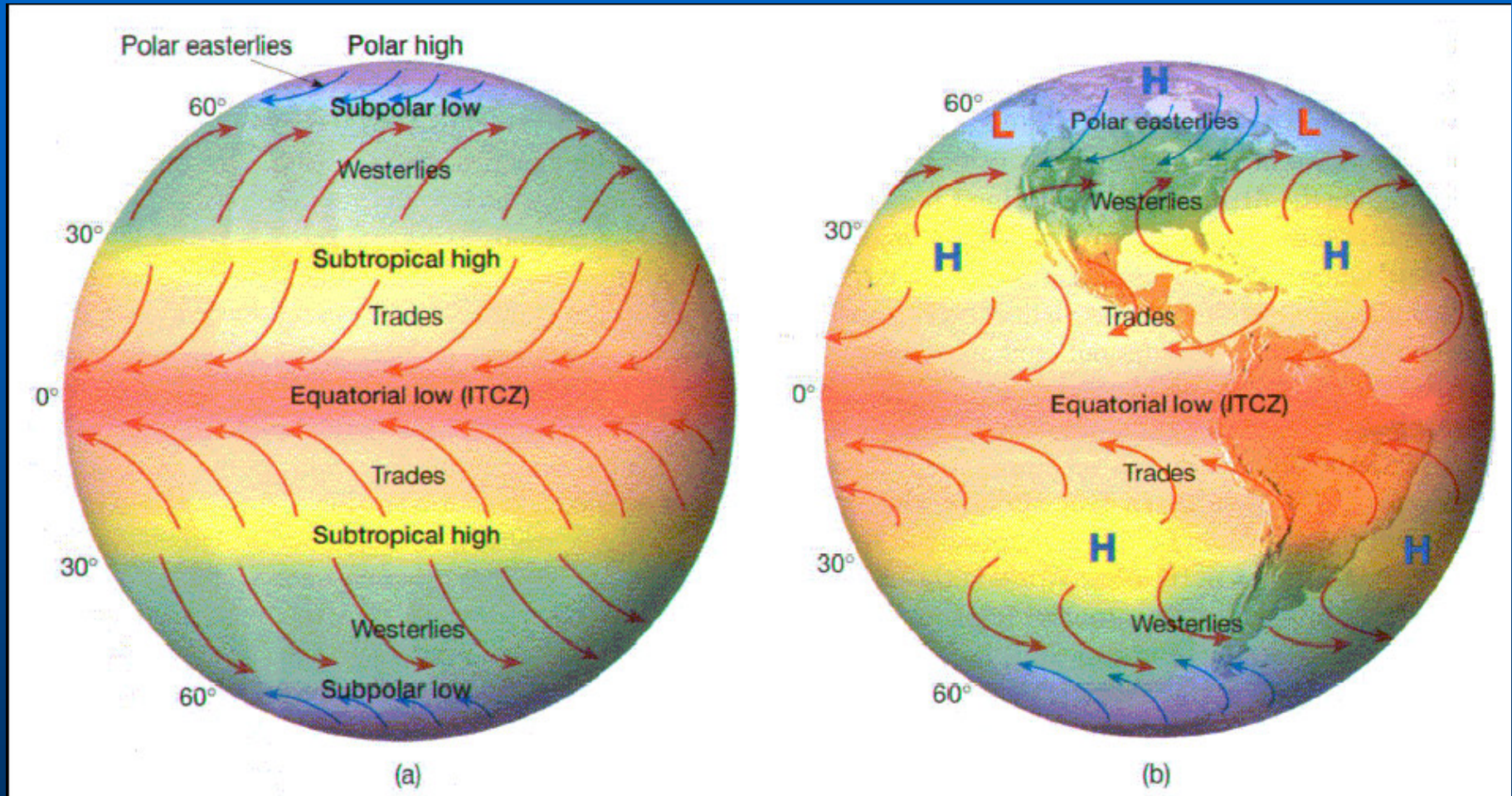
**O transporte do ar em torno da Terra é induzido pelo Sol.**

**A radiação solar aquece o solo, a superfície do oceano e o ar.**

**O aquecimento é superior nos trópicos e menor nas médias e altas latitudes. Isto significa que a convecção é mais intensa nos trópicos e que é nesta região que o ar sobe para altitudes mais elevadas do que em qualquer outra região da Terra.**

**Acima da tropopausa a absorção de radiação solar pelo ozônio conduz a um aquecimento da estratosfera, que é menor nas regiões polares e é mesmo nulo durante o Inverno polar.**

# Circulação global considerando a rotação da Terra e um aquecimento não uniforme



## **“Horse latitude”:**

**Região formando uma faixa subtropical de alta pressão atmosférica ao redor da Terra e em torno de latitudes  $30^\circ$  -  $35^\circ$  N e  $30^\circ$  -  $35^\circ$  S.**

**Geram ventos fracos e céu claro. Porque contêm ar seco, eles produzem climas áridos nas áreas abaixo desta faixa. O Saara, por exemplo, está situado em uma “horse latitude”.**

**O Hemisfério Sul, que tem área com mais água do que o H. Norte, tem esta faixa mais contínua de “subsiding ar”. Estas regiões podem conter vários centros separados de alta pressão e mudança de alguns graus de distância do equador, no verão.**

# Dinâmica Troposfera - Estratosfera

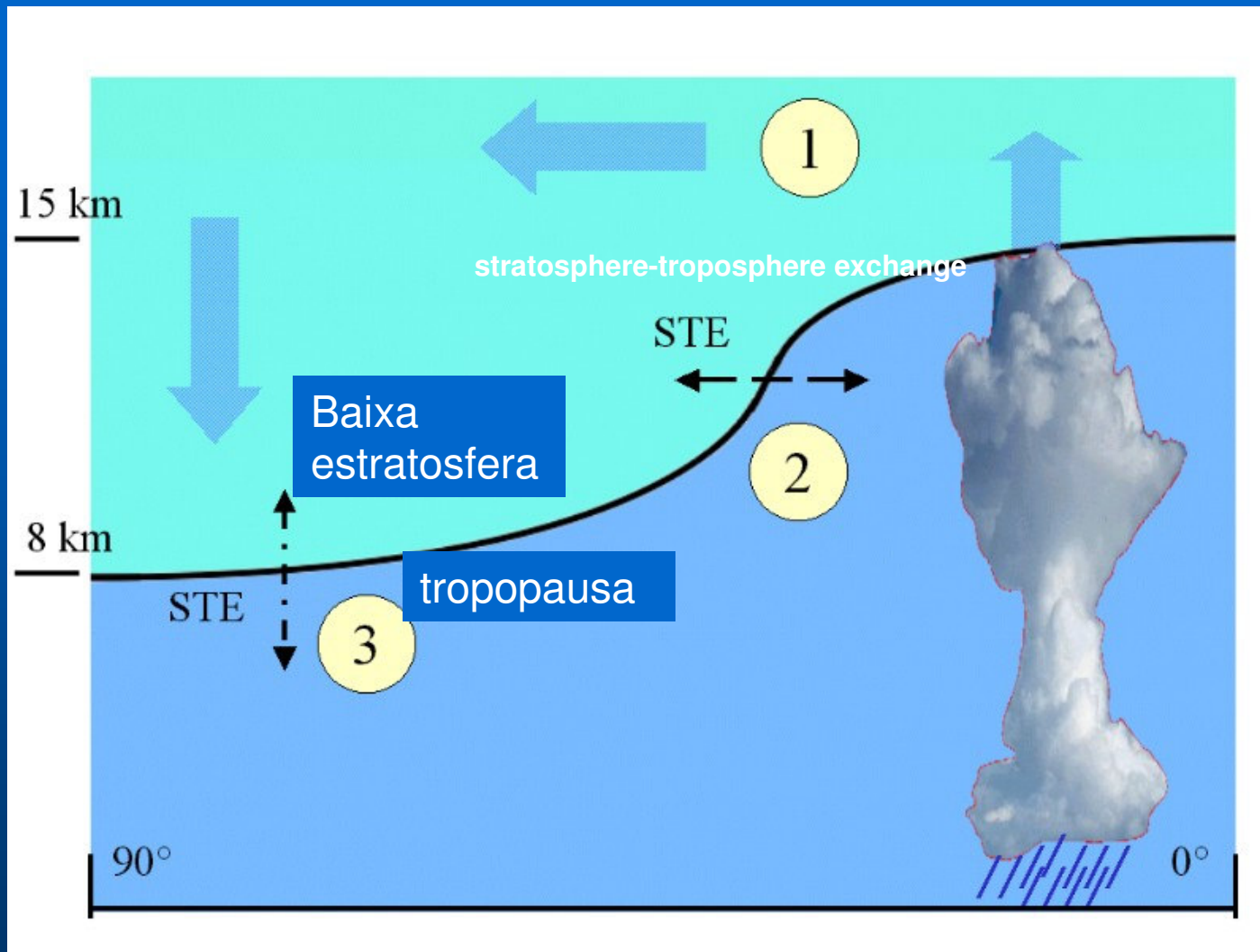


Fig 1. A circulação global e as transferências estratosfera- troposfera.

por: Elmar Uherek

# Dinâmica Troposfera - Estratosfera

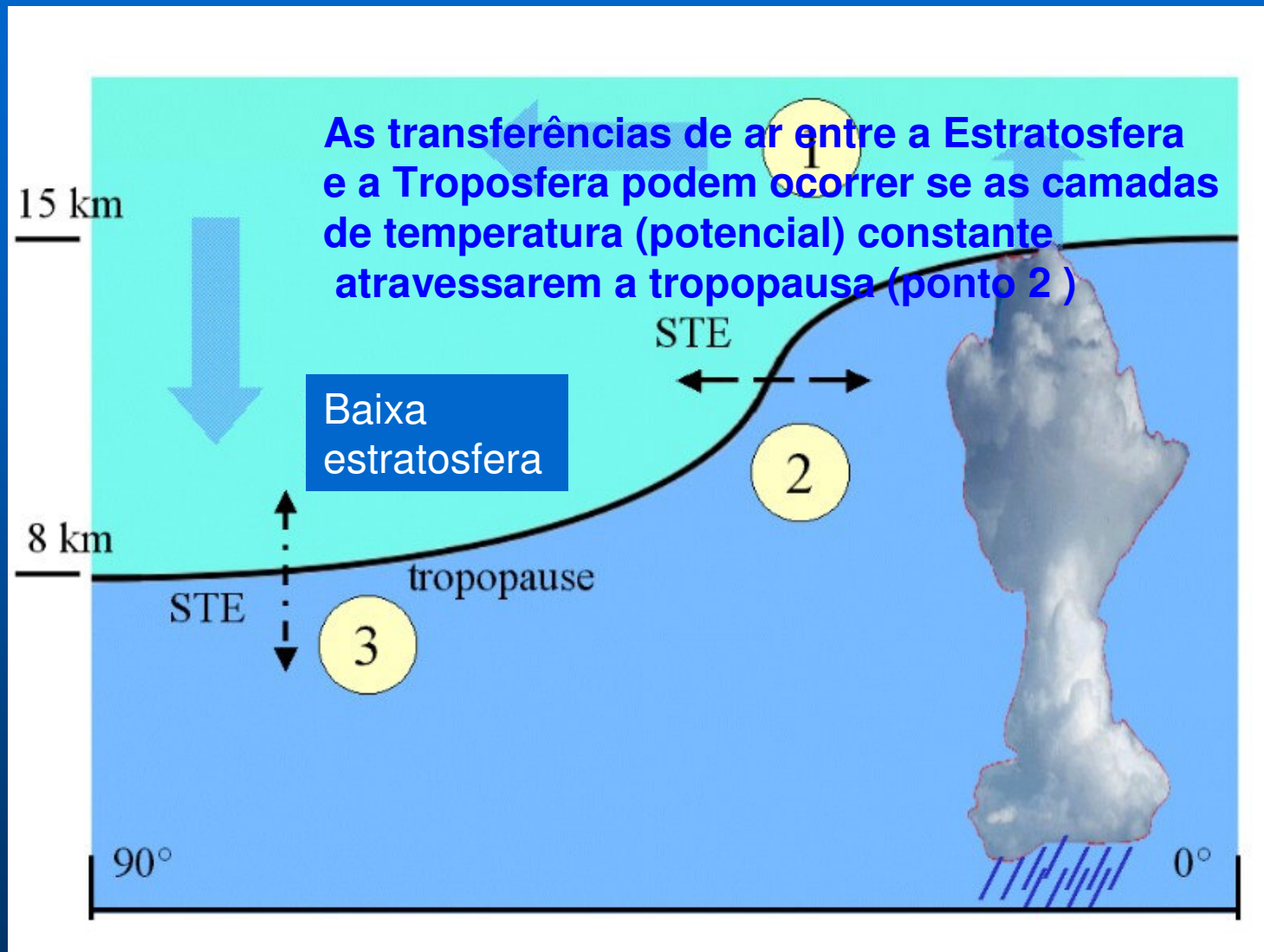
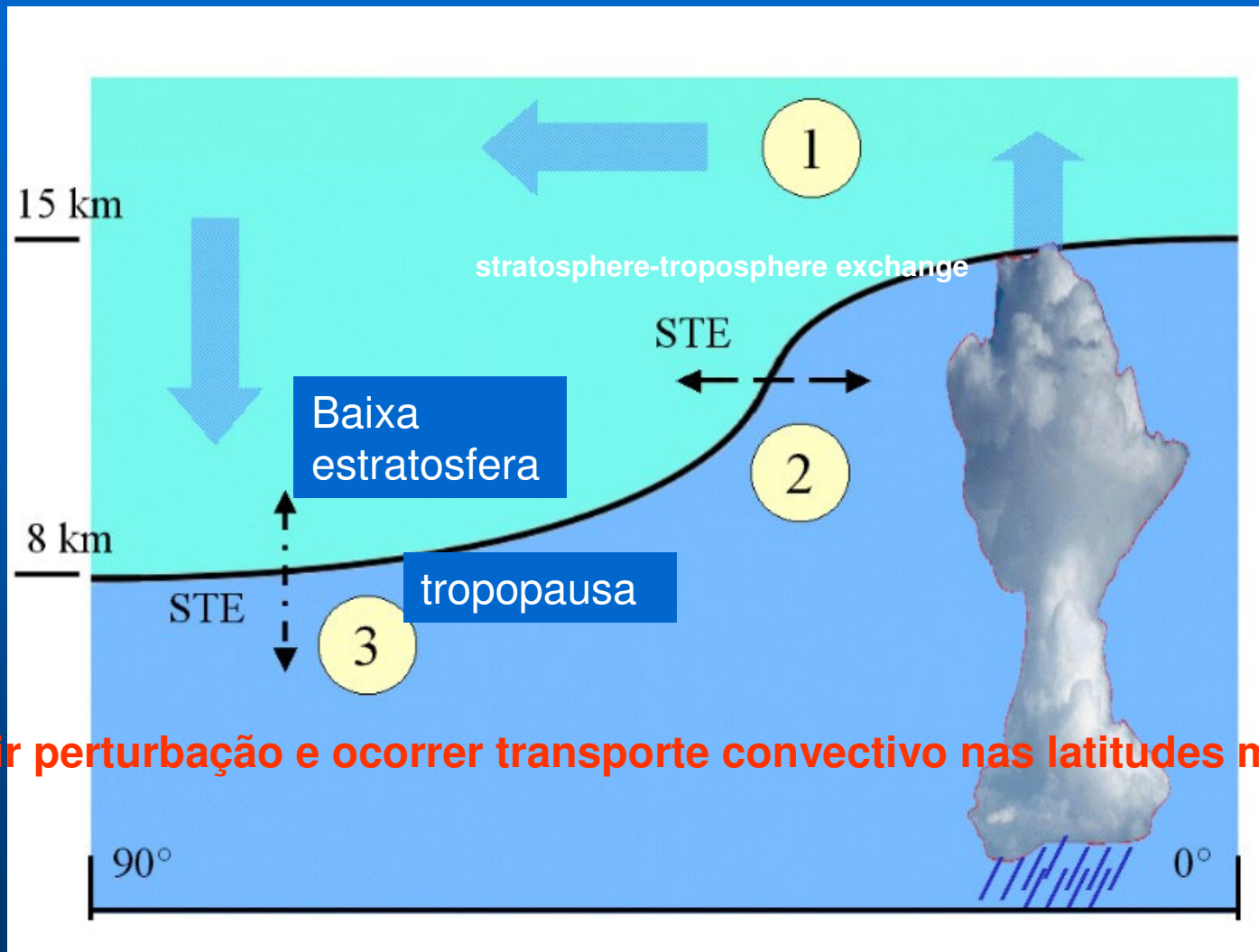


Fig 1. A circulação global e as transferências estratosfera - troposfera. por: Elmar Uherek

# Dinâmica Troposfera - Estratosfera



se existir perturbação e ocorrer transporte convectivo nas latitudes médias (3).

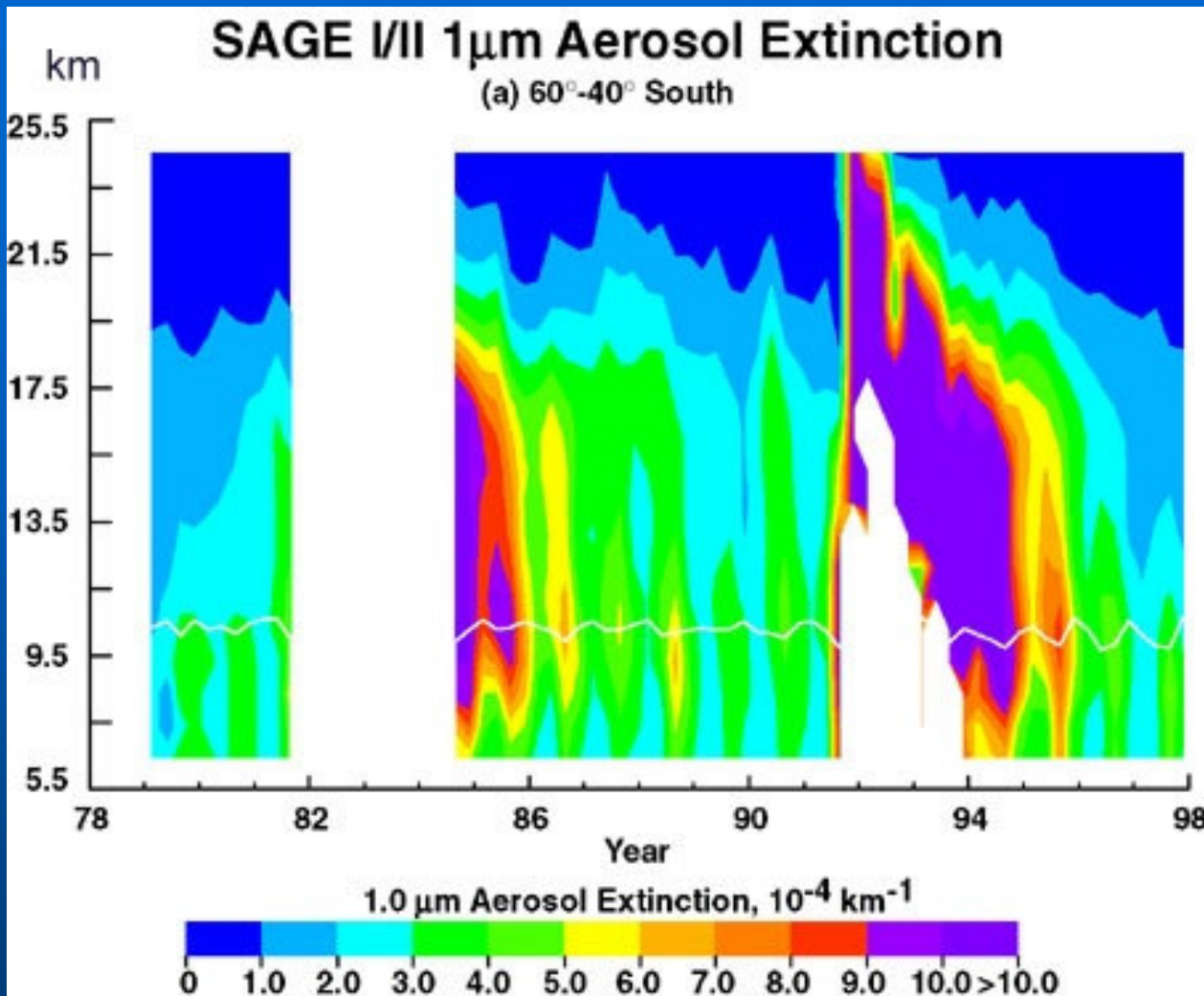
Fig 1. A circulação global e as transferências estratosfera- troposfera.

por: Elmar Uherek

**Enquanto que as transferências verticais de ar na troposfera ocorrem em períodos de horas a dias, são necessários meses ou mesmo anos para que haja mistura na estratosfera.**

**Este é o motivo pelo qual a estratosfera demora entre um a dois anos para retomar o seu estado estável após uma grande erupção vulcânica (como a do Monte Pinatubo, em 1991).**

**A química da atmosfera está envolvida em muitos parâmetros o que torna é muito complexo o seu estudo.**



Absorção por aerossóis: ( 4 canais 1000, 600, 450 e 385 nm)

A absorção por partículas na atmosfera aumentou imediatamente após a erupção no Monte Pinatubo, em Junho de 1991.

A absorção diminuiu, lentamente, ao longo dos 2 a 3 anos seguintes.

A figura mostra que as partículas atingiram a estratosfera.

Fonte: [www.nasa.gov/centers/langley/news/.../SAGE.html](http://www.nasa.gov/centers/langley/news/.../SAGE.html)



**A pequena transferência estratosfera-troposfera é uma importante fonte de ozônio da estratosfera para a troposfera.**

**O ozônio estratosférico inicia a formação do radical hidroxila (OH) e os ciclos de formação fotoquímica e de destruição do ozônio na troposfera.**

Tabela:

O balanço do ozônio troposférico:

O ciclo da formação e da destruição do ozônio troposférico.

As entradas de ozônio estratosférico são a sua principal fonte forçante.

Processos de produção/perda	Tg / ano
Transporte da estratosfera	+ 600
<b>a) Formação fotoquímica</b>	<b>+ 3500</b>
<b>b) Destruição fotoquímica</b>	<b>- 3400</b>
Soma a+b: formação líquida <i>in situ</i>	+ 100
Deposição à superfície	- 700

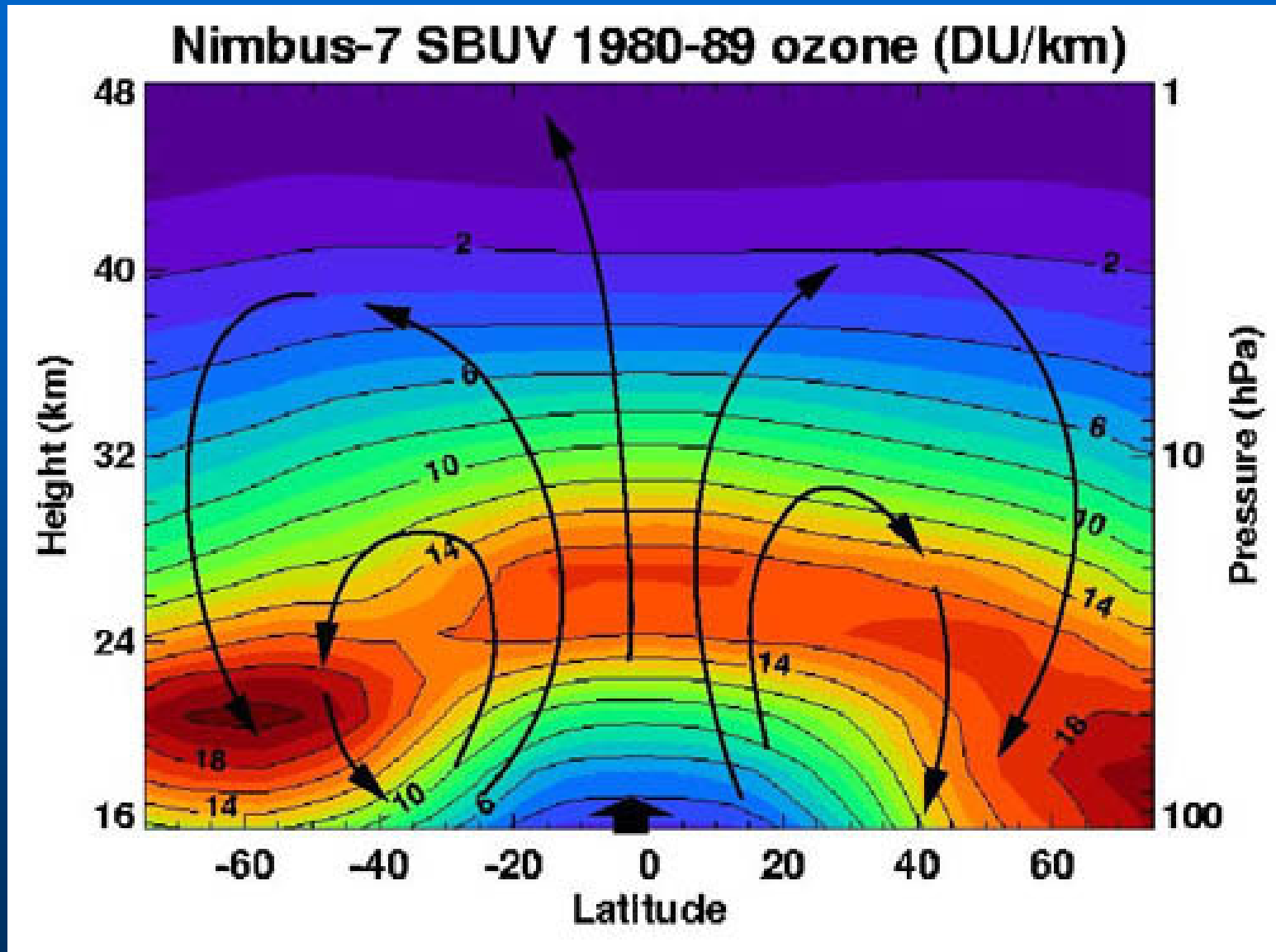
# Circulação de Brewer - Dobson

**Este transporte das massas de ar dos trópicos para os polos é conhecido como circulação de Brewer-Dobson.**

**Uma vez que os processos que controlam este padrão de circulação são muito complexos (balanço de radiação na Terra, ondas planetárias, processos de subsidência no vórtice polar).**

**Resumidamente, diremos que o ar sobe nos trópicos e desce nos pólos; cada hemisfério tem a sua própria circulação e as transferências de ar entre os dois hemisférios são mínimas.**

# Circulação de Brewer - Dobson



Fonte dos dados: Nimbus 7 website

# Vorticidade Polar

**O vórtice polar é um vento circumpolar que se forma sobre ambos os pólos.**

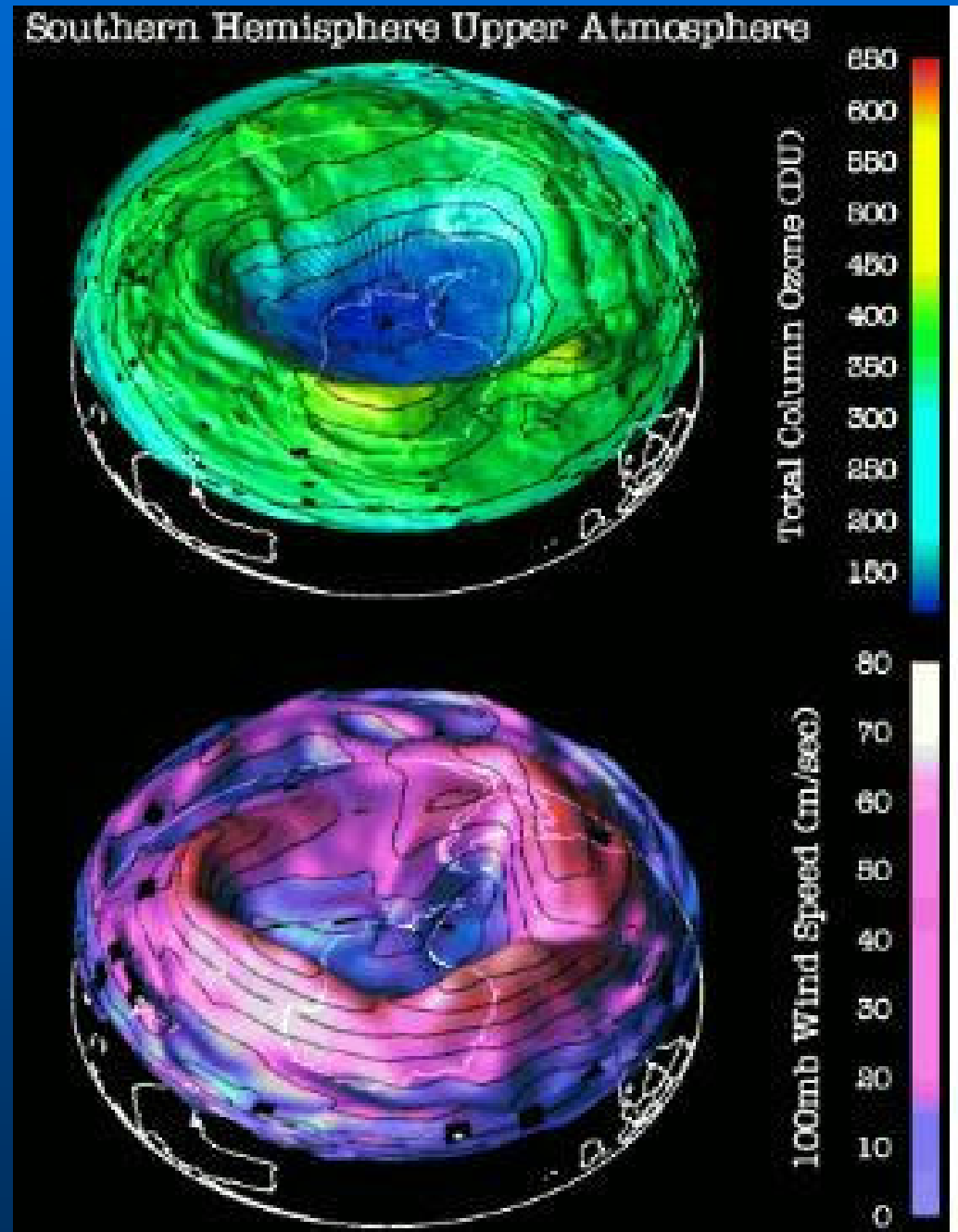
**O vórtice sobre o Ártico é menos estável, uma vez que a superfície alternada de oceanos e continentes no Hemisfério Norte perturba a formação do vórtice.**


**No vórtice antártico podem atingir-se temperaturas muito baixas, favorecendo que o ar de altitudes muito elevadas (contendo compostos responsáveis pela destruição do ozônio) desça até altitudes mais baixas.**

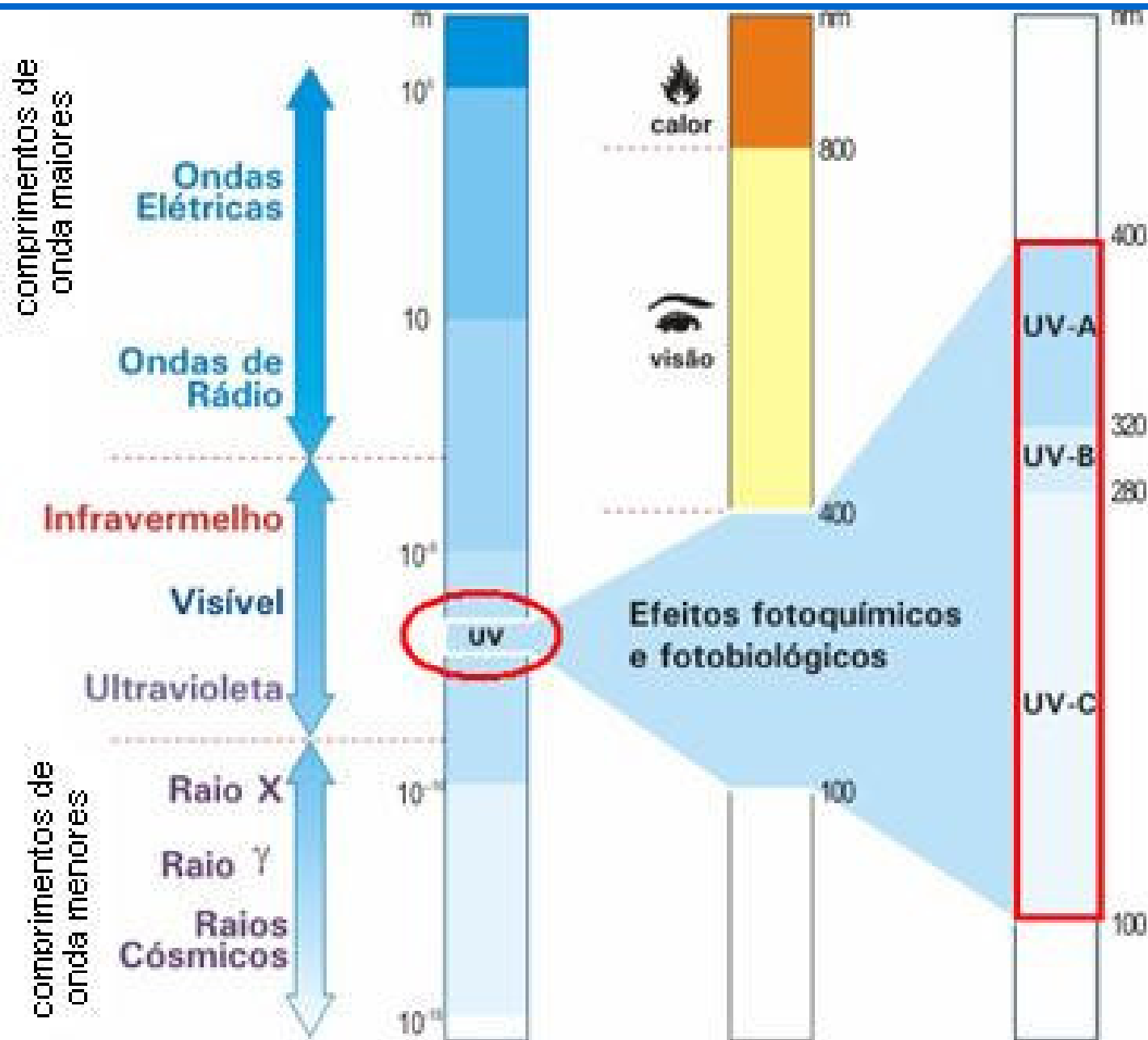
# VÓRTICE POLAR

Ilustração  
tridimensional da  
intensidade do vento  
no vórtice polar e da  
destruição do ozônio,  
em Outubro de 1987.

Dados de: NASA / Goddard  
Space Flight Centre –



- 
- **RADIAÇÃO NA ATMOSFERA**
  - **QUÍMICA DOS GASES DO EFEITO ESTUFA**
  - **FORÇANTE RADIATIVA**



Fonte: INPE - Marcelo de Paula Correa

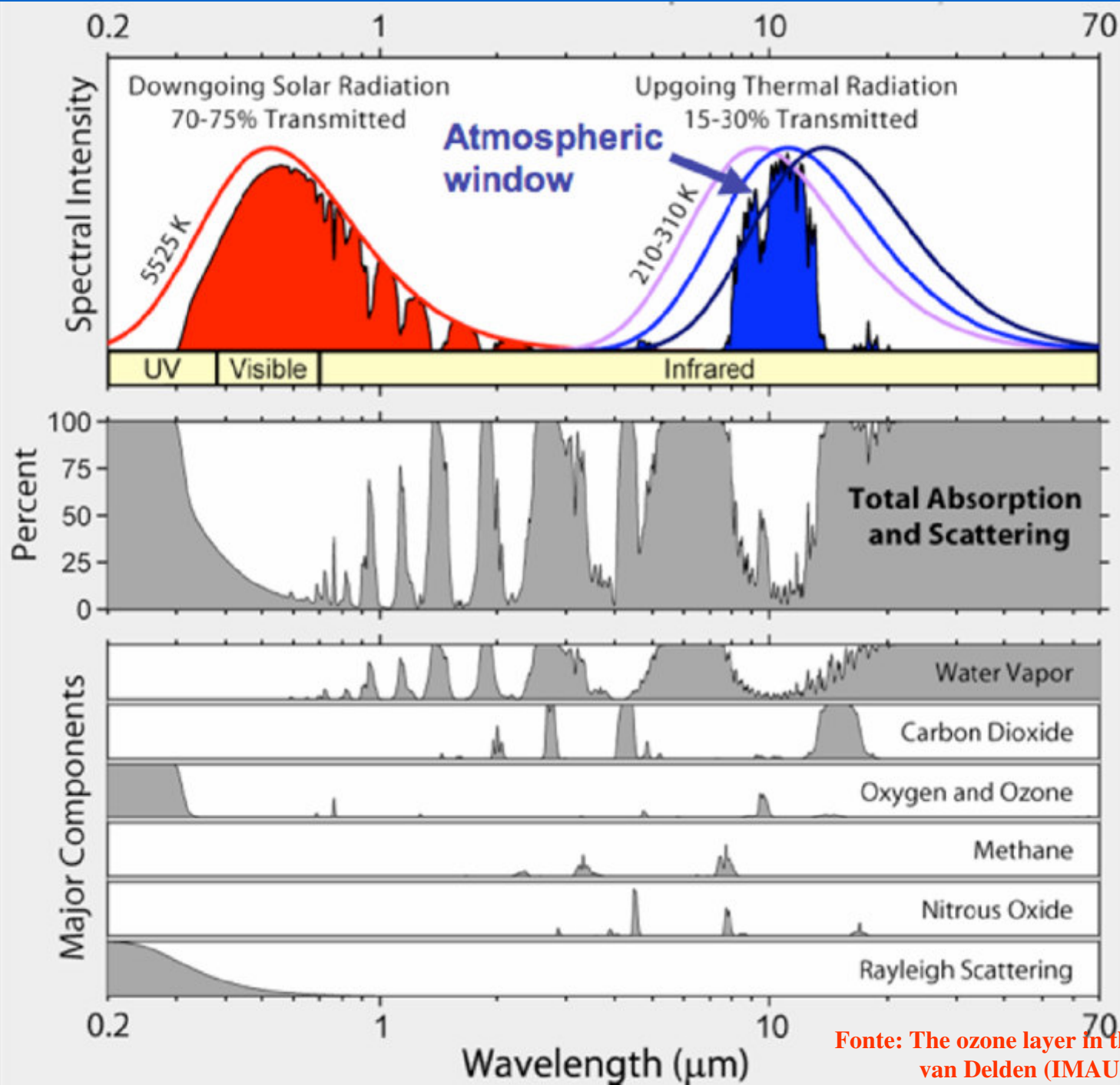
Espectro eletromagn3tico

## ESPECTRO DA RADIAÇÃO: ISO 21348

<b>Nome / Abreviação</b>	<b>Faixa de <u>comprimento de onda</u> (nm)</b>
<b>Ultravioleta</b>	<b>UV</b> 100 nm – 400 nm
<b>Ultravioleta de vácuo</b>	<b>VUV</b> 10 nm – 200 nm
<b>Ultravioleta extremo</b>	<b>EUV</b> 10 nm – 121 nm
<b>Ultravioleta longínquo</b>	<b>FUV</b> 122 nm – 200 nm
<i>Ultravioleta C</i>	<b>UVC</b> 100 nm – 280 nm
<b>Ultravioleta médio</b>	<b>MUV</b> 200 nm – 300 nm
<i>Ultravioleta B</i>	<b>UVB</b> 280 nm – 315 nm
<b>Ultravioleta próximo</b>	<b>NUV</b> 300 nm – 400 nm
<i>Ultravioleta A</i>	<b>UVA</b> 315 nm – 400 nm

[www.spacewx.com](http://www.spacewx.com) (Francis Rouessac and Annick Rouessac; Chemical Analysis, Modern Instrumentation Methods and Techniques; John Wiley & Sons, 2000, p189. )





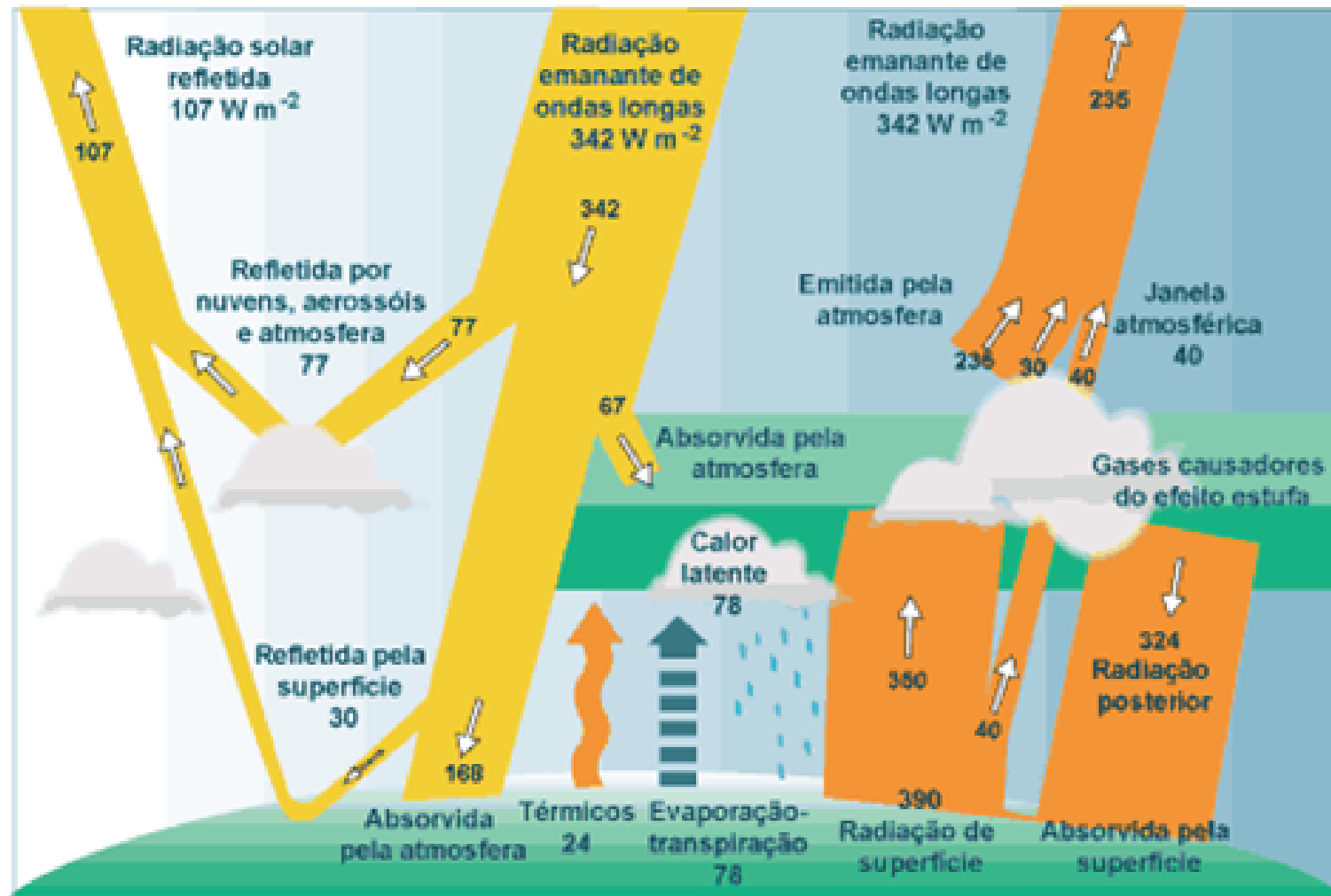
Fonte: The ozone layer in the stratosphere - by Aarnout van Delden (IMAU, Utrecht University)

**A FIGURA SUPERIOR MOSTRA A INTENSIDADE NORMALIZADA DA RADIAÇÃO SOLAR QUE CHEGA NA TERRA ( VERMELHO) E A INTENSIDADE NORMALIZADA DA RADIAÇÃO EMITIDA PARA O ESPAÇO PELO SISTEMA TERRA – ATMOSFERA ( AZUL).**

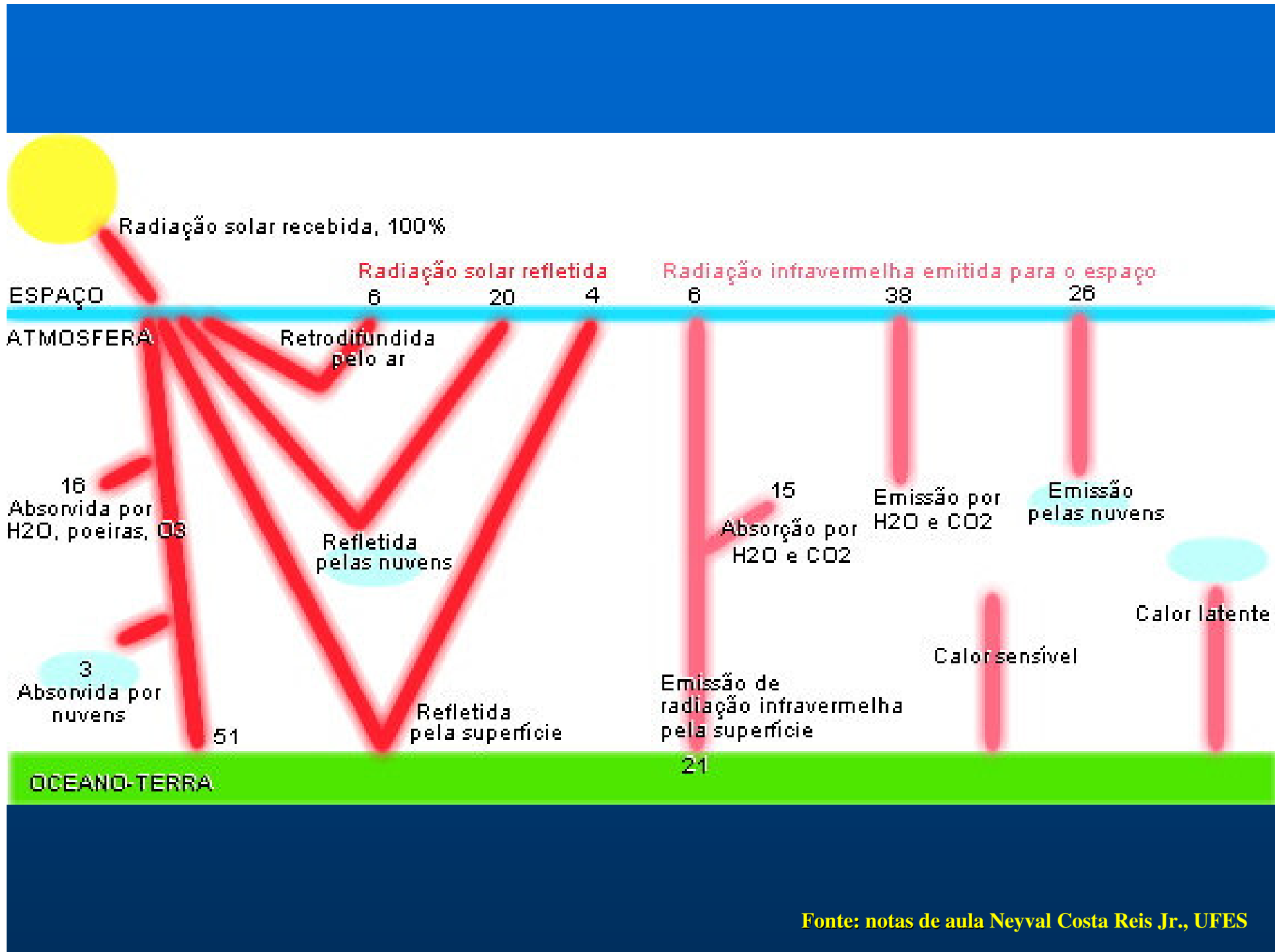
**O PAINEL INFERIOR MOSTRA A PERCENTAGEM DESTA RADIAÇÃO QUE É ABSORVIDA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA, COMO TAMBÉM A CONTRIBUIÇÃO EM PERCENTAGEM DOS DIFERENTES CONSTITUINTES ATMOSFÉRICOS.**

**Fonte: The ozone layer in the stratosphere - by Aarnout van Delden (IMAU, Utrecht University)**  
**<http://www.phys.uu.nl/~nvdelden/>**

## EQUILÍBRIO RADIATIVO TERRESTRE

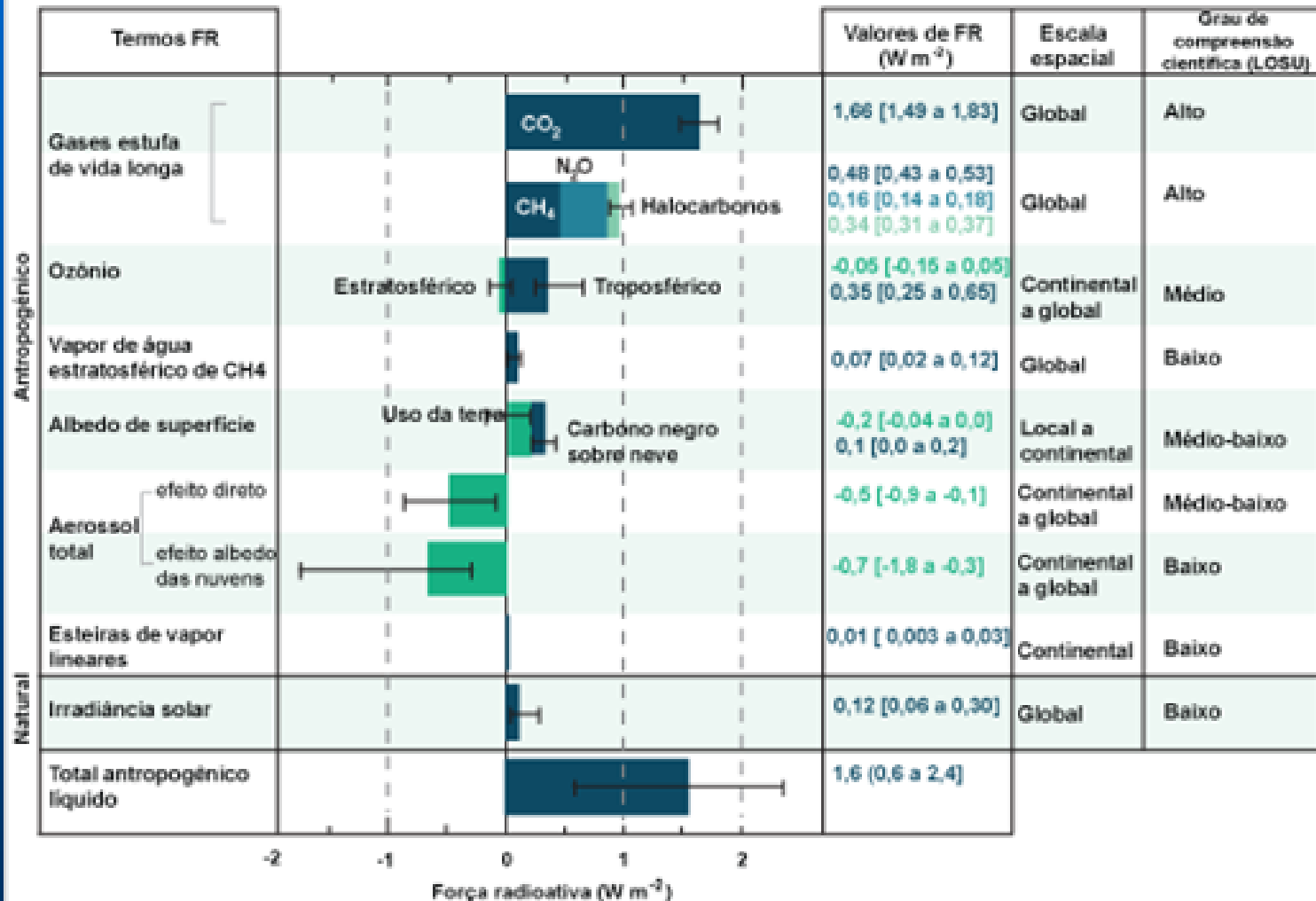


Fonte: Figura extraída do paper *Mudanças Climáticas Globais: Conceitos e Implicações*, produzido pelo físico Paulo Artaxo, da Universidade de São Paulo

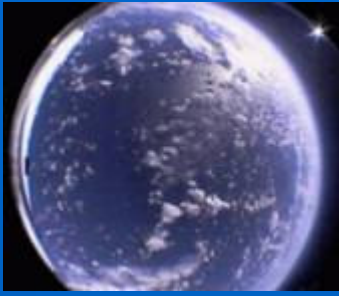


Fonte: notas de aula Neyval Costa Reis Jr., UFES

## MEDIDAS GLOBAIS DAS FORÇANTES RADIATIVAS DOS DIFERENTES COMPONENTES DO SISTEMA CLIMÁTICO – 1750-2005



Fonte: Figura extraída do paper Mudanças Climáticas Globais: Conceitos e Implicações, produzido pelo físico Paulo Artaxo, da Universidade de São Paulo



# TEMAS ABORDADOS

- Ozônio na - Estratosfera  
- Troposfera
- Dióxido de Enxofre na atmosfera  
SO<sub>2</sub>
- Dióxido de Nitrogênio na atmosfera  
NO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub> algumas informações

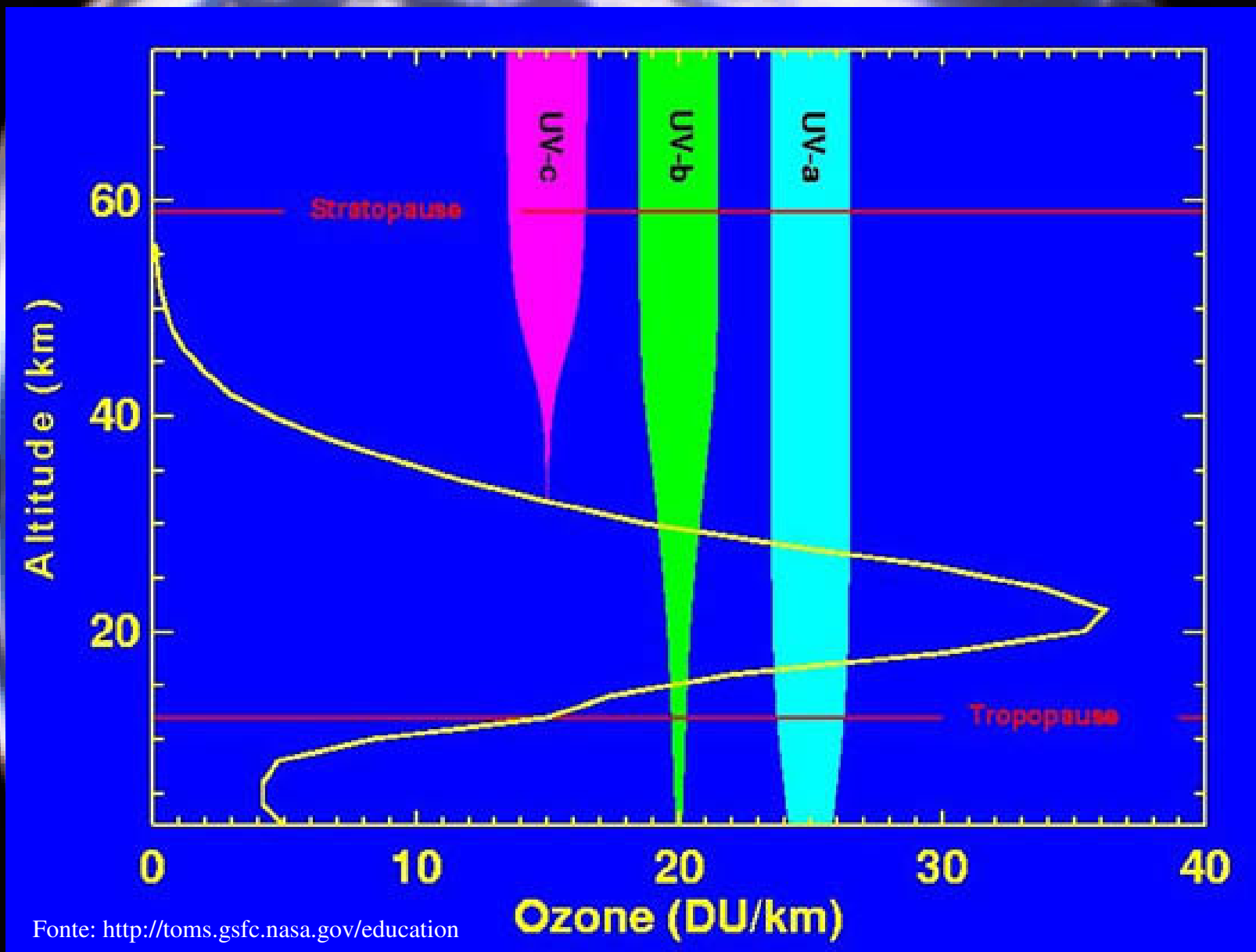


# Ozônio na Atmosfera

Estratosfera –  
filtra a radiação UV

Troposfera –  
atua como poluente

# A CAMADA DE OZÔNIO



Fonte: <http://toms.gsfc.nasa.gov/education>



## **ESPECTRO DA RADIAÇÃO:**

**A radiação Ultravioleta (UV) é definida como aquela porção do espectro eletromagnético entre os raios X e luz visível, ou seja, entre 100 e 400 nm ( 7% da luz solar )**



- A FAIXA DE UV QUE PRODUZ A FOTODISSOCIAÇÃO DO OXIGÊNIO É

$$190 \text{ nm} < \lambda < 240 \text{ nm}$$



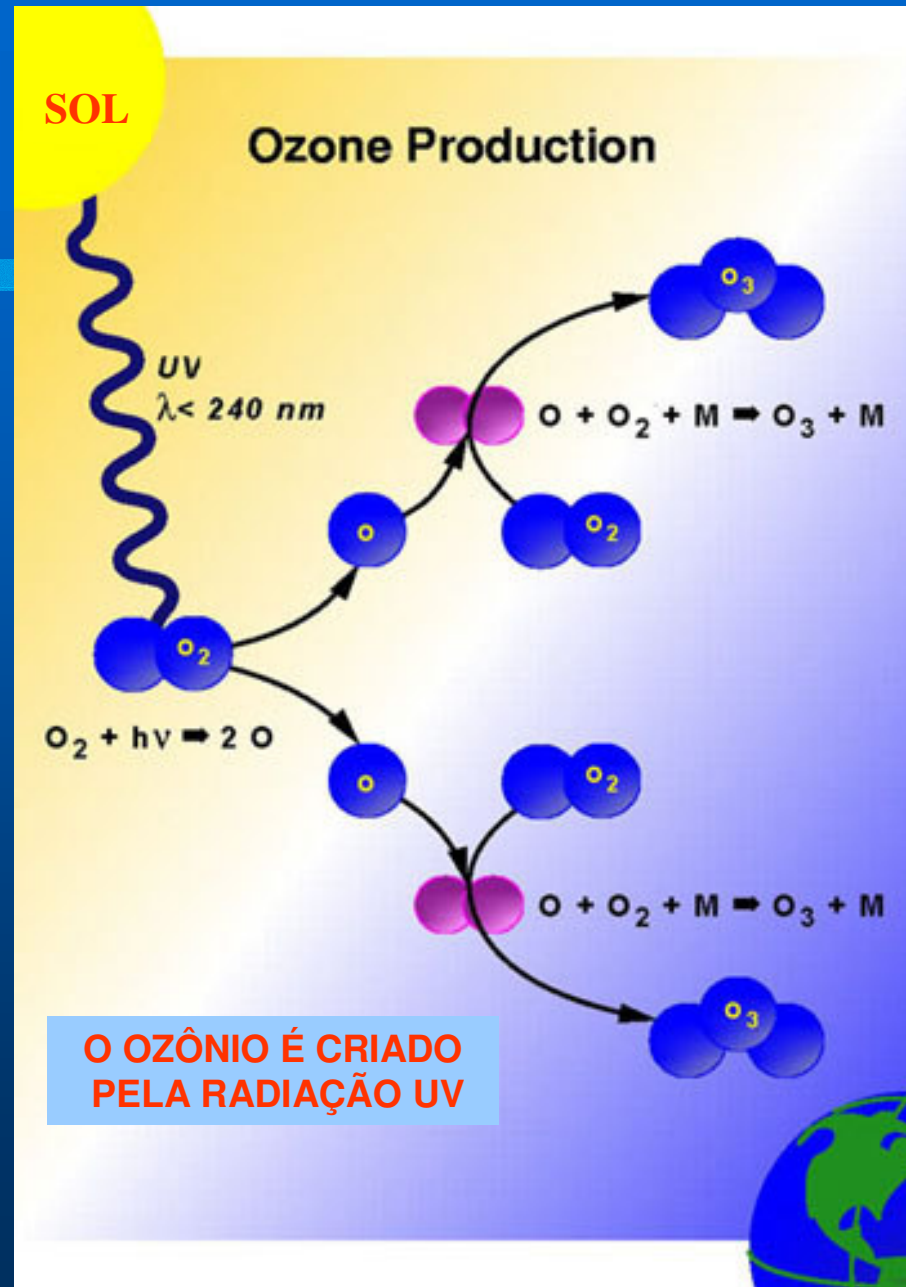
REAÇÃO LENTA      LEVA SEMANAS.

- O OXIGÊNIO ATÔMICO É PRODUZIDO PODE SE RECOMBINAR COM O OXIGÊNIO FORMANDO O OZÔNIO:





## PRODUÇÃO DE OZÔNIO





- O OZÔNIO CRIADO É FOTODISSOCIADO PELA RADIAÇÃO UV NA FAIXA

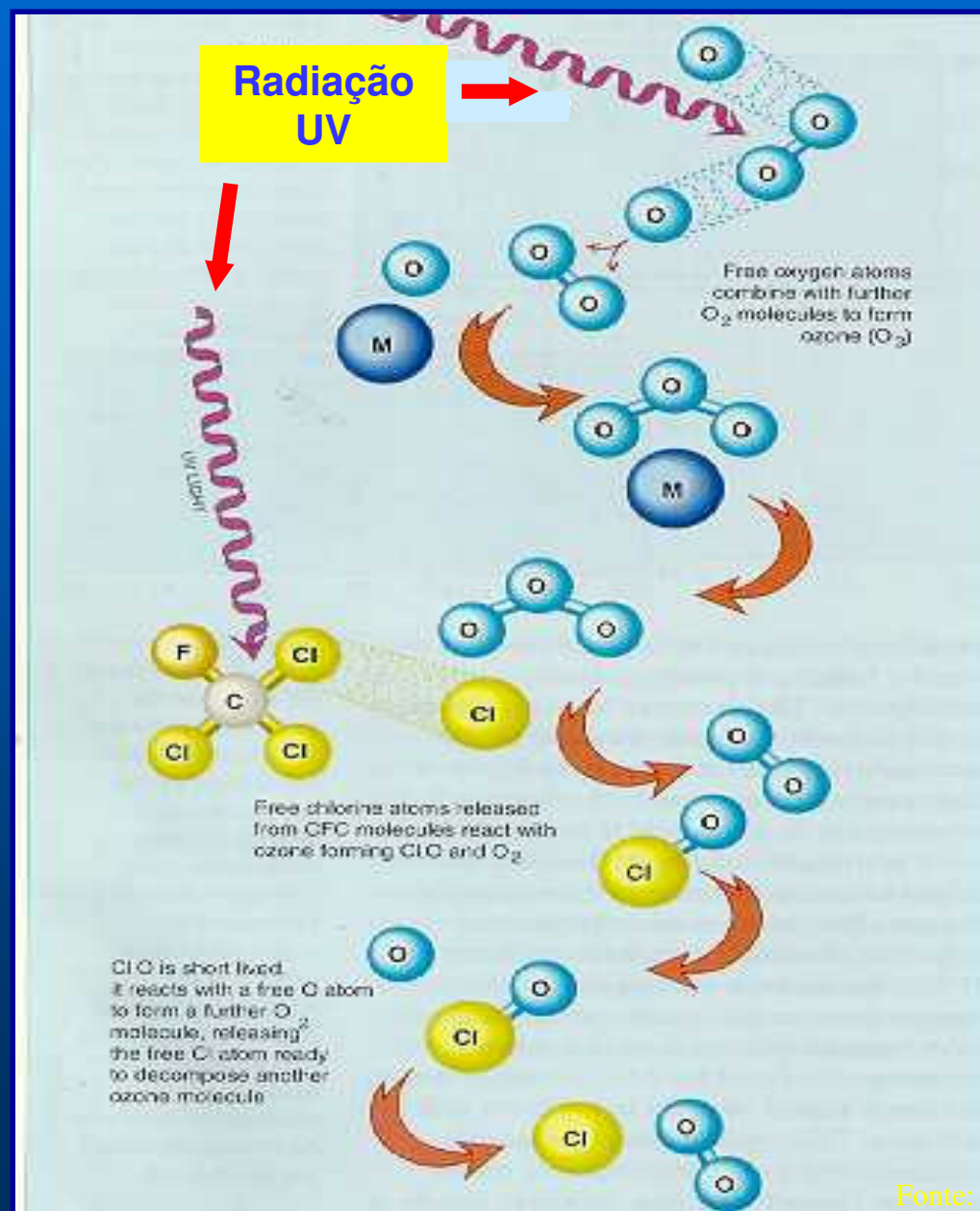
(200 nm <  $\lambda$  < 360 nm)

- $O_3 + h\nu$        $O_2 + O$   
REAÇÃO RÁPIDA      SEGUNDOS

A absorção mais importante é na faixa de 240 a 320 nm.....saúde.

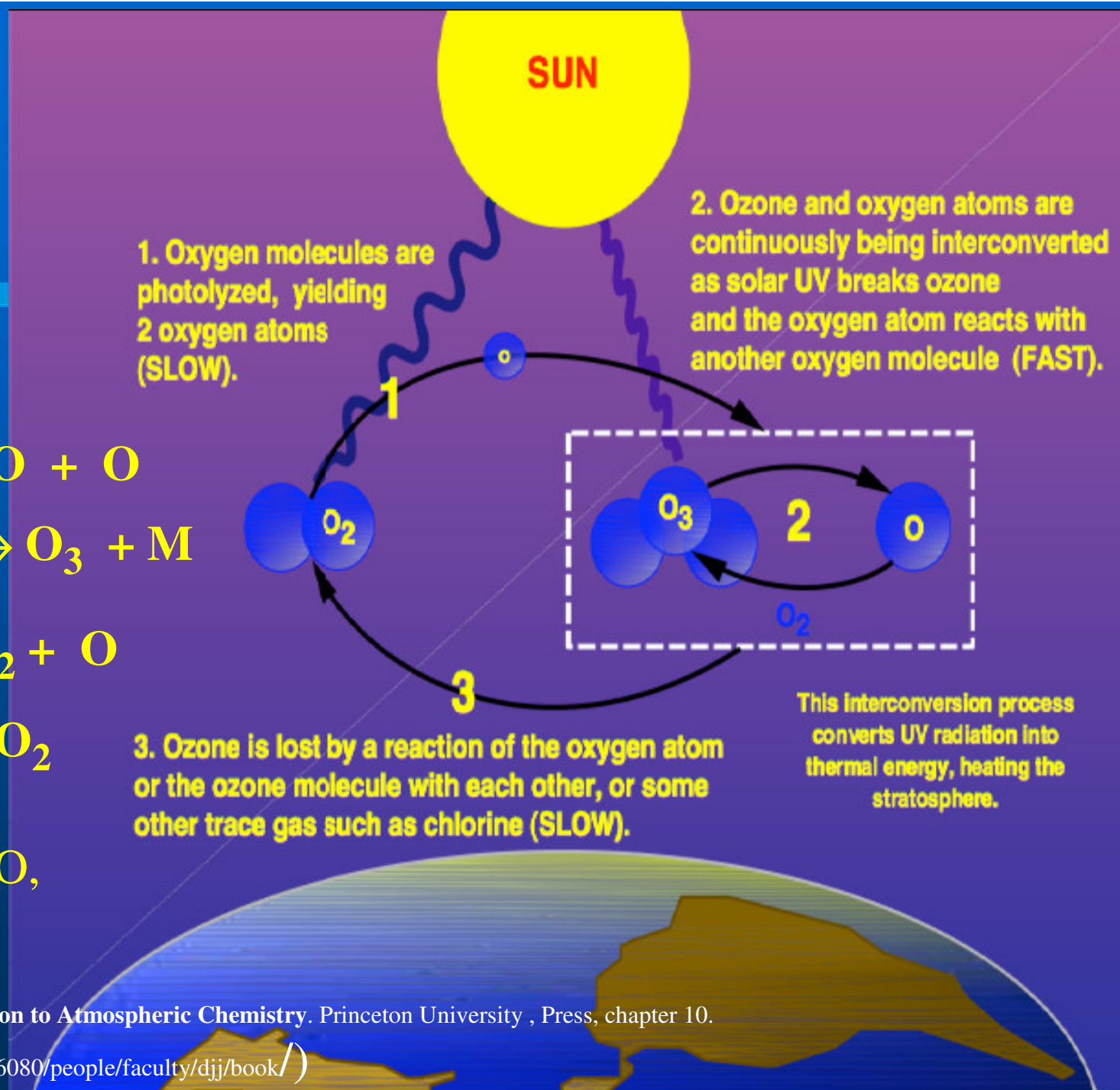
Ciclo de produção e perda é conhecido  
Como MECANISMO DE CHAPMAN (1930)

# DESTRUIÇÃO DO OZÔNIO





M = H, OH, NO,  
Cl, Br



D.J. Jacobs, 1999: **Introduction to Atmospheric Chemistry**. Princeton University, Press, chapter 10.

(<http://www.as.harvard.edu:16080/people/faculty/djj/book/>)



**O TEMPO DE VIDA FOTOQUÍMICO DO  
OZÔNIO VARIA MUITO COM A  
ALTURA.**

- **ESTRATOPAUSA : 1 HORA**
- **MÉDIA ESTRATOSFERA : 1 DIA**
- **BAIXA ESTRATOSFERA : ALGUMAS SEMANAS , DEVIDO AO POUCO ATOMO DE O**
- **TROPOSFERA: MUITO CURTO DEVIDO A PRESENÇA DA ÁGUA**



## **O OZÔNIO É DESTRUÍDO POR REAÇÃO CATALÍTICA.**

**( não faz parte do esquema de Chapman)**

**OH, NO e Cl são os mais importantes**

**OH – formado naturalmente pela fotodissociação do vapor de água.**

**NO – também tem fonte natural ( relâmpagos)**

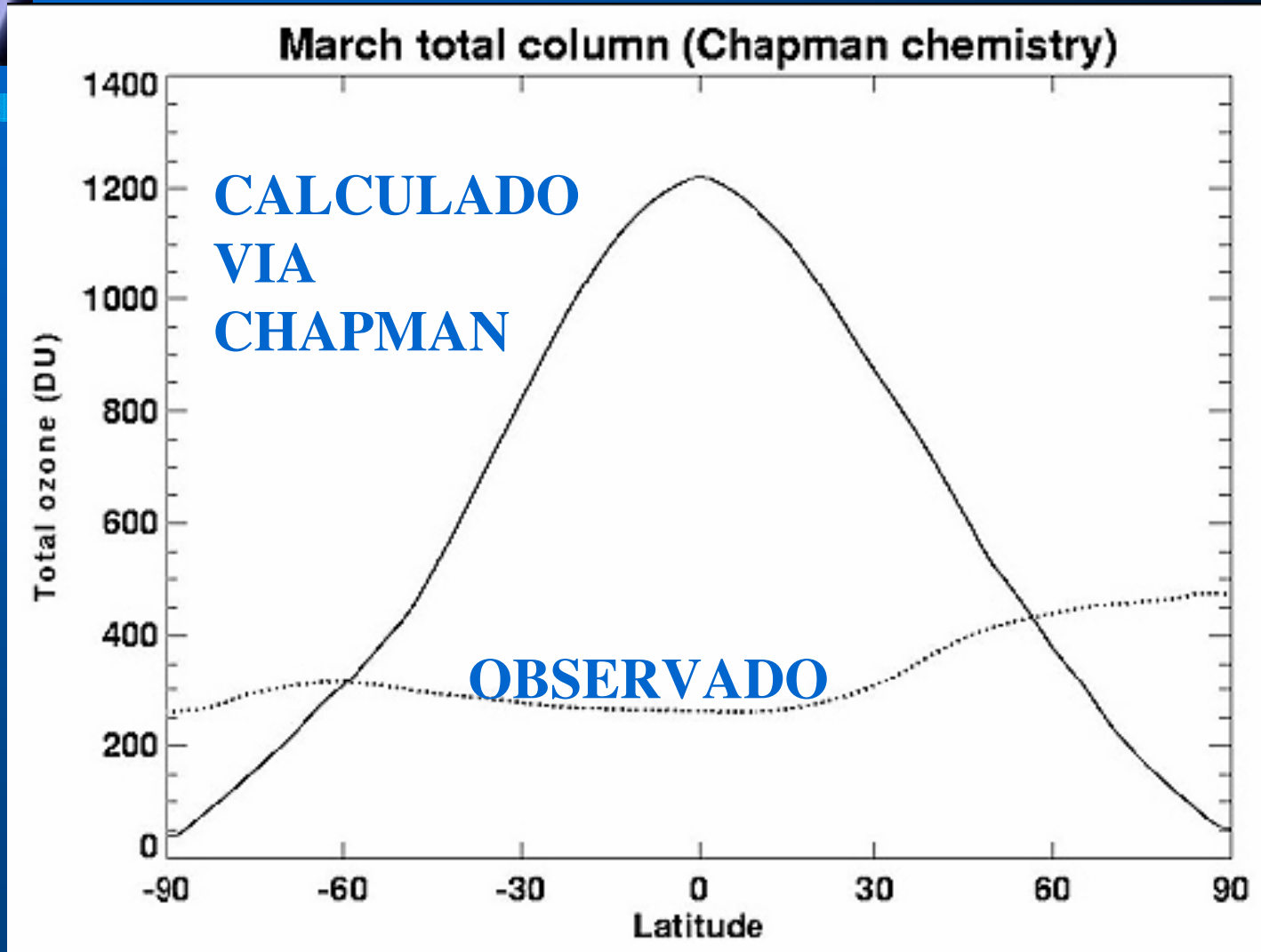
**Artificial – resíduos de avião**

**Cl – gás não natural. Produzido pelo homem.**





# CICLO DE CHAPMAN





# Exemplo das constantes e taxas de fotodissociação na atmosfera

Source: Kasting and Donahue, (1980). More up to date values can be found in <http://jpldataeval.jpl.nasa.gov/>

TABLE 2. Diurnally Averaged Photodissociation Rates at 180 km

Reaction Number	Reaction	Rate, s <sup>-1</sup>	References
(R 1)	O <sub>2</sub> + hν → O( <sup>3</sup> P)	3.5 × 10 <sup>-7</sup>	Hudson et al. [1969], Ditchburn and Young [1962], Metzger and Cook [1964]
(R 2)	O <sub>2</sub> + hν → O( <sup>3</sup> P) + O( <sup>1</sup> D)	6.5 × 10 <sup>-7</sup>	Hudson et al. [1969] Ditchburn and Young [1962], Metzger and Cook [1964]
(R 3)	H <sub>2</sub> O + hν → H + OH	4.3 × 10 <sup>-6</sup>	Thompson et al. [1963]
(R 4)	CO <sub>2</sub> + hν → CO + O( <sup>3</sup> P)	1.3 × 10 <sup>-9</sup>	Shemansky [1972]
(R 5)	CO <sub>2</sub> + hν → CO + O( <sup>1</sup> D)	3.7 × 10 <sup>-8</sup>	Shemansky [1972]
(R 6)	O <sub>3</sub> + hν → O <sub>2</sub> + O( <sup>3</sup> P)	3.0 × 10 <sup>-4</sup>	Ackerman [1970]
(R 7)	O <sub>3</sub> + hν → O <sub>2</sub> + O( <sup>1</sup> D)	5.3 × 10 <sup>-3</sup>	Ackerman [1970].
(R 8)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + hν → OH + OH	5.6 × 10 <sup>-5</sup>	DeMore and Raper [1966] Schumb et al. [1955]
(R 9)	NO + hν → N + O	4.6 × 10 <sup>-6</sup>	Cieslik and Nicolet [1973]
(R 10)	NO <sub>2</sub> + hν → NO + O	5 × 10 <sup>-3</sup>	Hampson [1973b]
(R 11)	HNO <sub>3</sub> + hν → NO <sub>2</sub> + OH	6.5 × 10 <sup>-5</sup>	Johnston and Graham [1973]
(R 12)	N <sub>2</sub> O + hν → N <sub>2</sub> + O	5.5 × 10 <sup>-7</sup>	Johnston and Selwyn [1975]
(R 13)	CH <sub>4</sub> + hν → <sup>1</sup> CH <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	Sun and Weissler [1955], Watanabe et al. [1953], Hudson [1971]
(R 14)	CH <sub>3</sub> OOH + hν → H <sub>2</sub> CO + OH	5.6 × 10 <sup>-5</sup>	assumed <sup>a</sup>
(R 15)	H <sub>2</sub> CO + hν → H <sub>2</sub> + CO	8.3 × 10 <sup>-5</sup>	Calvert et al. [1972]
(R 16)	H <sub>2</sub> CO + hν → HCO + H	5.7 × 10 <sup>-5</sup>	Calvert et al. [1972]
(R 17)	HCO + hν → CO + H	1.4 × 10 <sup>-4</sup>	assumed <sup>b</sup>

TABLE 1. Reactions and Rate Constants

Reaction Number	Reaction	Rate Constant, cm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> or cm <sup>6</sup> s <sup>-1</sup>
(R 1)	H <sub>2</sub> O + O( <sup>1</sup> D) → 2OH	2.1 × 10 <sup>-10</sup>
(R 2)	H <sub>2</sub> + O( <sup>1</sup> D) → OH + H	1.0 × 10 <sup>-10</sup>
(R 3)	H <sub>2</sub> + O → OH + H	3 × 10 <sup>-14</sup> T exp(-4480/T)
(R 4)	H <sub>2</sub> + OH → H <sub>2</sub> O + H	1.8 × 10 <sup>-11</sup> exp(-2330/T)
(R 5)	H + O <sub>3</sub> → OH + O <sub>2</sub>	2.6 × 10 <sup>-11</sup>
(R 6)	H + O <sub>2</sub> + M → HO <sub>2</sub> + M	2.1 × 10 <sup>-32</sup> exp(290/T)
(R 7)	H + HO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	4.2 × 10 <sup>-11</sup> exp(-350/T)
(R 8)	H + HO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O + O	8.3 × 10 <sup>-11</sup> exp(-500/T)
(R 9)	H + HO <sub>2</sub> → OH + OH	4.2 × 10 <sup>-10</sup> exp(-950/T)
(R 10)	OH + O → H + O <sub>2</sub>	4.2 × 10 <sup>-11</sup>
(R 11)	OH + HO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub>	3 × 10 <sup>-11</sup>
(R 12)	OH + O <sub>3</sub> → HO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	1.5 × 10 <sup>-12</sup> exp(-1000/T)
(R 13)	HO <sub>2</sub> + O → OH + O <sub>2</sub>	3.5 × 10 <sup>-11</sup>
(R 14)	HO <sub>2</sub> + O <sub>3</sub> → OH + 2O <sub>2</sub>	1.4 × 10 <sup>-14</sup> exp(-580/T)
(R 15)	HO <sub>2</sub> + HO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	3 × 10 <sup>-11</sup> exp(-500/T)
(R 16)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + OH → HO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	1.0 × 10 <sup>-11</sup> exp(-750/T)
(R 17)	O + O + M → O <sub>2</sub> + M	2.76 × 10 <sup>-34</sup> exp(710/T)
(R 18)	O + O <sub>2</sub> + M → O <sub>3</sub> + M	1.058 × 10 <sup>-34</sup> exp(510/T)
(R 19)	O + O <sub>3</sub> → 2O <sub>2</sub>	1.9 × 10 <sup>-11</sup> exp(-2300/T)
(R 20)	H + H + M → H <sub>2</sub> + M	8.3 × 10 <sup>-33</sup>
(R 21)	H + OH + M → H <sub>2</sub> O + M	6.1 × 10 <sup>-26</sup> /T <sup>2</sup>
(R 22)	OH + OH → H <sub>2</sub> O + O	1.4 × 10 <sup>-12</sup>
(R 23)	CO + O + M → CO <sub>2</sub> + M	2 × 10 <sup>-37</sup>
(R 24)	CO + OH → CO <sub>2</sub> + H	6 × 10 <sup>-13</sup> [(0.25 + A[M]) / (1 + A[M])] (A = 1.82 × 10 <sup>-30</sup> )
(R 25)	N + O <sub>2</sub> → NO + O	1.1 × 10 <sup>-14</sup> T exp(-3150/T)
(R 26)	N + O <sub>3</sub> → NO + O <sub>2</sub>	5.7 × 10 <sup>-13</sup>
(R 27)	N + OH → NO + H	5.3 × 10 <sup>-11</sup>
(R 28)	N + NO → N <sub>2</sub> + O	2.7 × 10 <sup>-11</sup>
(R 29)	NO + O <sub>3</sub> → NO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	9 × 10 <sup>-13</sup> exp(-1200/T)
(R 30)	NO + O + M → NO <sub>2</sub> + M	4 × 10 <sup>-33</sup> exp(940/T)
(R 31)	NO + HO <sub>2</sub> → NO <sub>2</sub> + OH	8 × 10 <sup>-12</sup>
(R 32)	NO <sub>2</sub> + O → NO + O <sub>2</sub>	9.1 × 10 <sup>-12</sup>
(R 33)	NO <sub>2</sub> + OH (+M) → HNO <sub>3</sub> (+M)	8 × 10 <sup>-12</sup>
(R 34)	HNO <sub>3</sub> + OH → H <sub>2</sub> O + NO <sub>2</sub> + O	1.3 × 10 <sup>-13</sup>
(R 35)	O( <sup>1</sup> D) + N <sub>2</sub> → O( <sup>3</sup> P) + N <sub>2</sub>	3 × 10 <sup>-11</sup>
(R 36)	O( <sup>1</sup> D) + O <sub>2</sub> → O( <sup>3</sup> P) + O <sub>2</sub>	4.1 × 10 <sup>-11</sup>
(R 37)	N <sub>2</sub> O + O( <sup>1</sup> D) → NO + NO	1.1 × 10 <sup>-10</sup>
(R 38)	N <sub>2</sub> O + O( <sup>1</sup> D) → N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	1.1 × 10 <sup>-10</sup>
(R 39)	CH <sub>4</sub> + OH → CH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	2.35 × 10 <sup>-12</sup> exp(-1710/T)
(R 40)	CH <sub>4</sub> + O( <sup>1</sup> D) → CH <sub>3</sub> + OH	1.3 × 10 <sup>-10</sup>
(R 41)	<sup>1</sup> CH <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> → CH <sub>3</sub> + H	7 × 10 <sup>-12</sup>
(R 42)	<sup>1</sup> CH <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> → CH <sub>3</sub> + CH <sub>3</sub>	1.9 × 10 <sup>-12</sup>
(R 43)	<sup>1</sup> CH <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> → CH <sub>2</sub> O + O	3 × 10 <sup>-11</sup>
(R 44)	<sup>1</sup> CH <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> → <sup>3</sup> CH <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	5 × 10 <sup>-13</sup>
(R 45)	<sup>3</sup> CH <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> → CH <sub>3</sub> + H	5 × 10 <sup>-14</sup>
(R 46)	<sup>3</sup> CH <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> → CH <sub>3</sub> + CH <sub>3</sub>	5 × 10 <sup>-14</sup>
(R 47)	<sup>3</sup> CH <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> CO + O	1.5 × 10 <sup>-12</sup>
(R 48)	CH <sub>3</sub> + H + M → CH <sub>4</sub> + M	(3.3 × 10 <sup>-10</sup> ) / (1 + 1/2.0 × 10 <sup>-10</sup> [M])
(R 49)	H <sub>2</sub> CO + O → H <sub>2</sub> CO + H	1.3 × 10 <sup>-10</sup>
(R 50)	CH <sub>3</sub> + OH → H <sub>2</sub> CO + H <sub>2</sub>	1 × 10 <sup>-11</sup>
(R 51)	CH <sub>3</sub> + O <sub>2</sub> + M → CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + M	3 × 10 <sup>-32</sup>
(R 52)	CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + H → H <sub>2</sub> CO + OH	3 × 10 <sup>-11</sup> exp(-500/T)
(R 53)	H <sub>2</sub> CO + OH → HCO + H <sub>2</sub> O	3 × 10 <sup>-11</sup> exp(-250/T)
(R 54)	HCO + O <sub>2</sub> → CO + HO <sub>2</sub>	5 × 10 <sup>-12</sup>
(R 55)	CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + HO <sub>2</sub> → CH <sub>3</sub> OOH + O <sub>2</sub>	3 × 10 <sup>-11</sup> exp(-500/T)
(R 56)	CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> → 2H <sub>2</sub> CO + O <sub>2</sub>	2.6 × 10 <sup>-13</sup>
(R 57)	CH <sub>3</sub> OOH + OH → CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	1.0 × 10 <sup>-11</sup> exp(-750/T)
(R 58)	CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + NO → H <sub>2</sub> CO + NO <sub>2</sub>	3 × 10 <sup>-12</sup> exp(-500/T)
(R 59)	H <sub>2</sub> CO + O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> CO + HO <sub>2</sub>	1.6 × 10 <sup>-12</sup> exp(-3300/T)
(R 60)	H <sub>2</sub> CO + O → H <sub>2</sub> CO + OH	1 × 10 <sup>-14</sup>
(R 61)	H <sub>2</sub> CO + OH → H <sub>2</sub> CO + H <sub>2</sub> O	1.5 × 10 <sup>-10</sup> exp(-250/T)
(R 62)	CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + OH → CO + 2H <sub>2</sub> O	1.5 × 10 <sup>-10</sup> exp(-500/T)

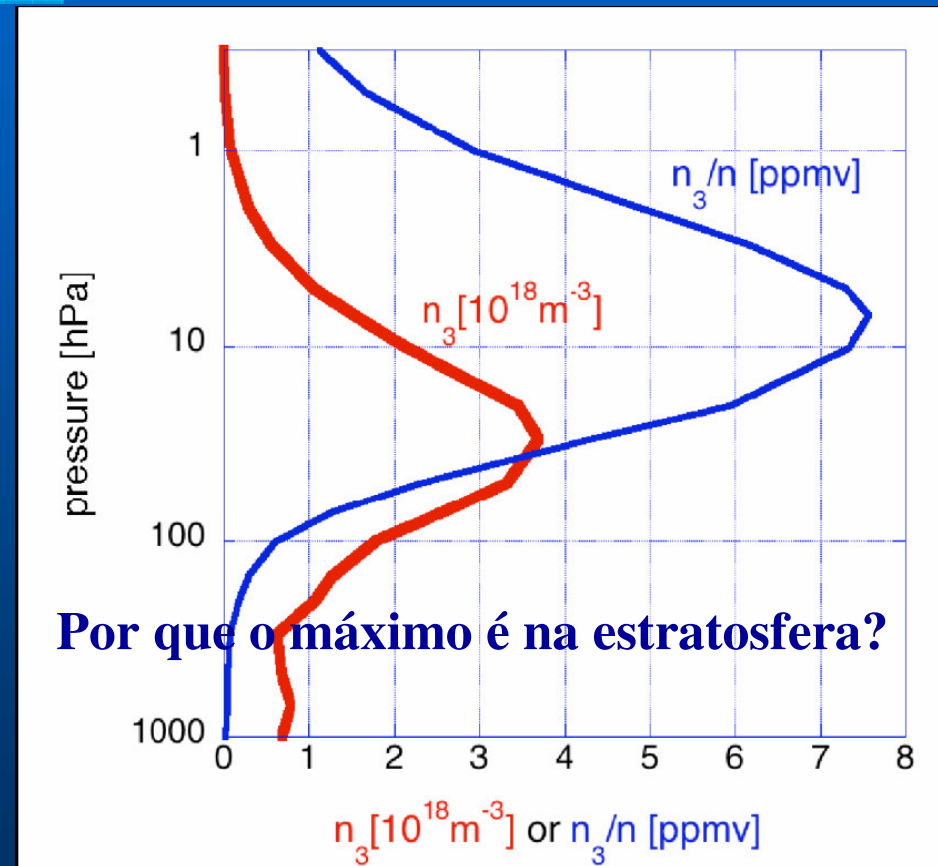


# Variação Latitudinal e Sazonal

## Variação Latitudinal e Sazonal

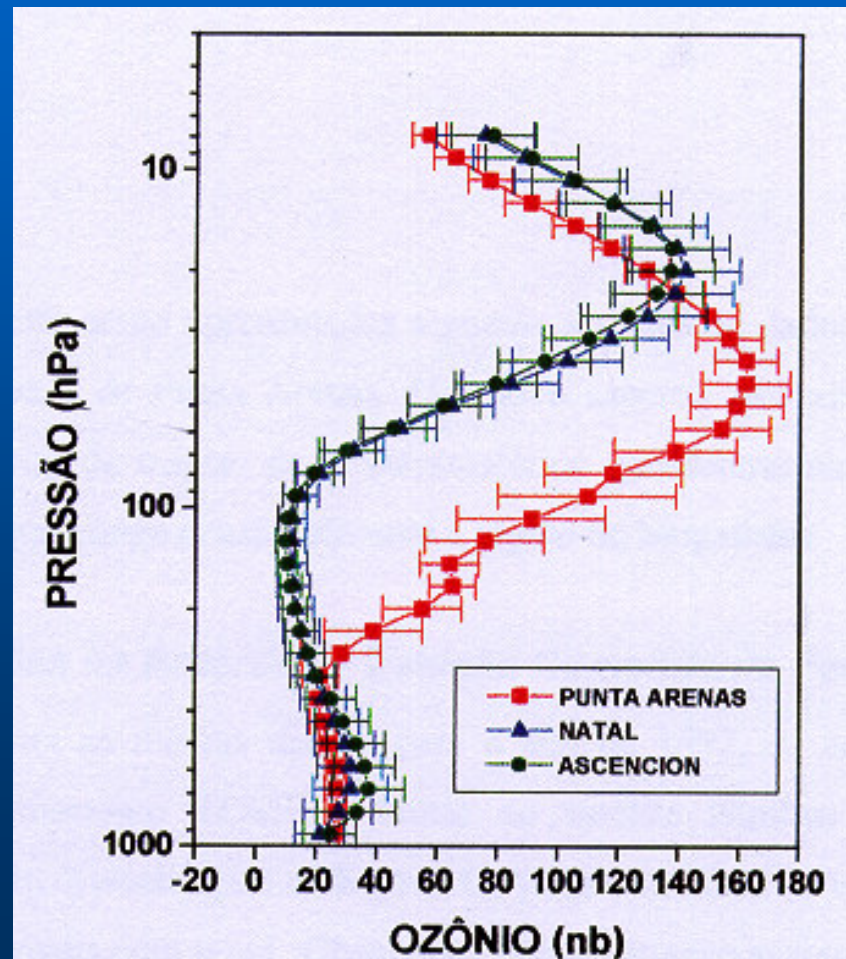
### Globally averaged ozone distribution

Time average (based on measurements made between 1980 and 1991), global average ozone molecule number concentration ( $n_3$ ) and ozone mixing ratio ( $n_3/n$ ) ( $n$  is the total molecule number concentration of air). Source: J.P.F Fortuin and H. Kelder, 1998: An ozone climatology based on ozonesonde and satellite measurements. *J. Geoph. Res.*, **103**, 31709-31734.





# Variação do ozônio com a altura



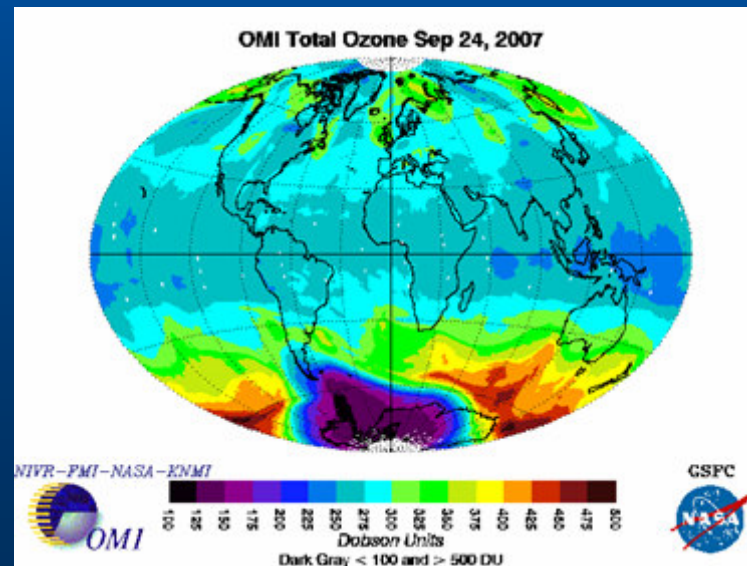
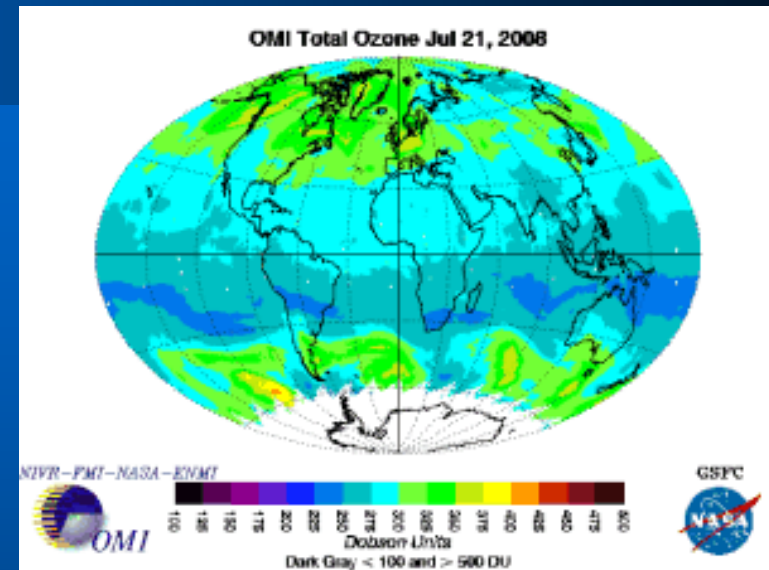
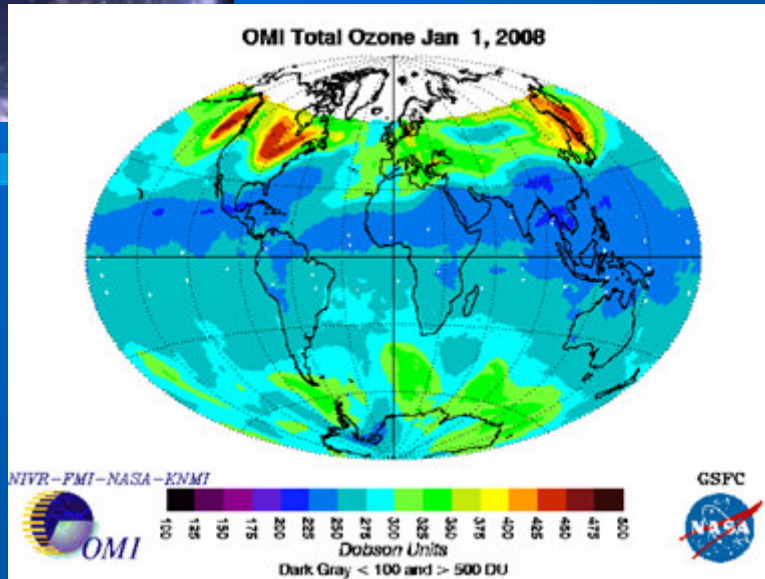
Natal – 5,8° S  
Ascension – 7,98° S  
Punta Arenas – 53° S

← Camada de Ozônio  
15 a 35 km

Fonte: C.Casiccia, 2000



# Variação Latitudinal e Sazonal



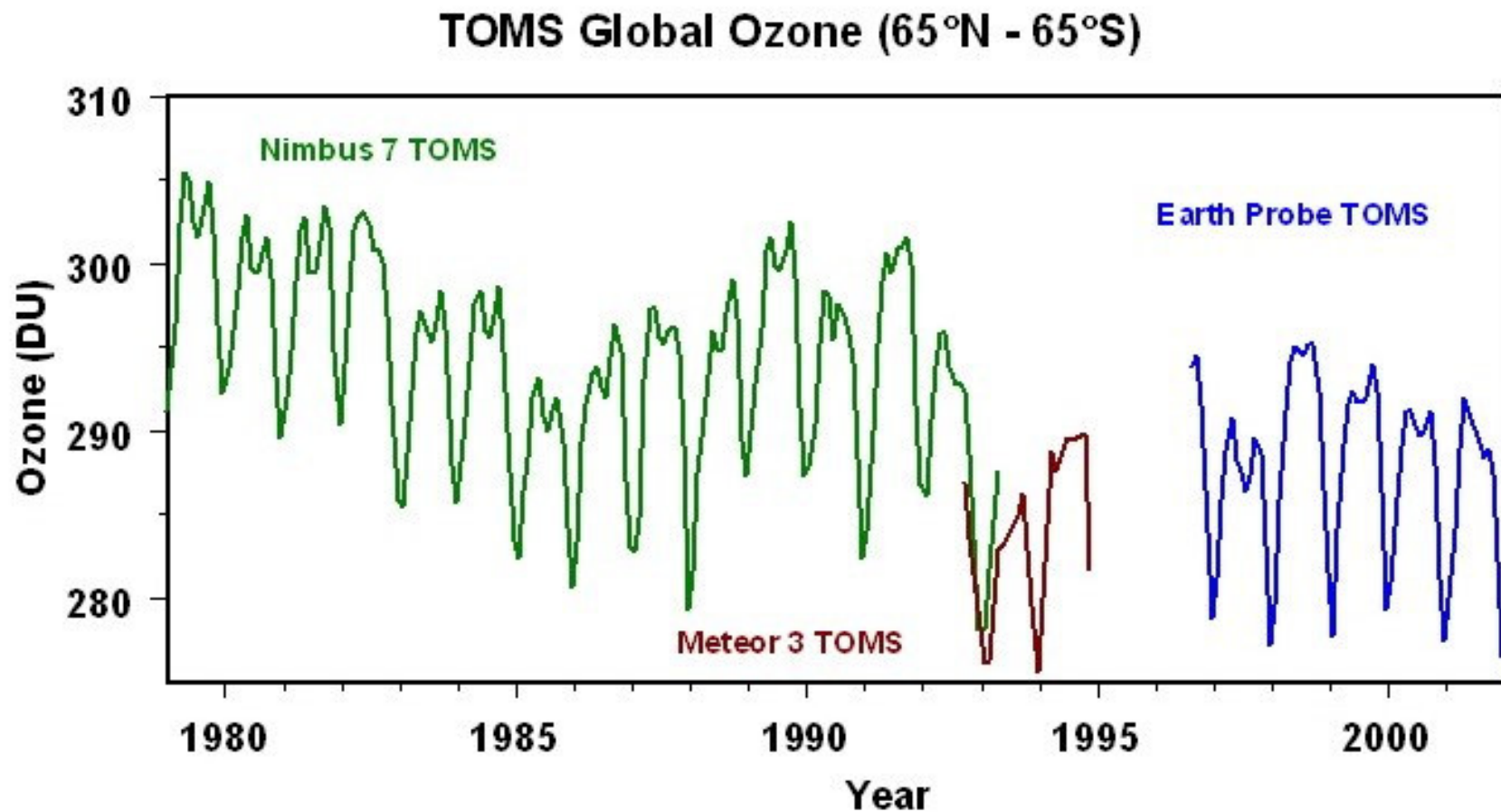


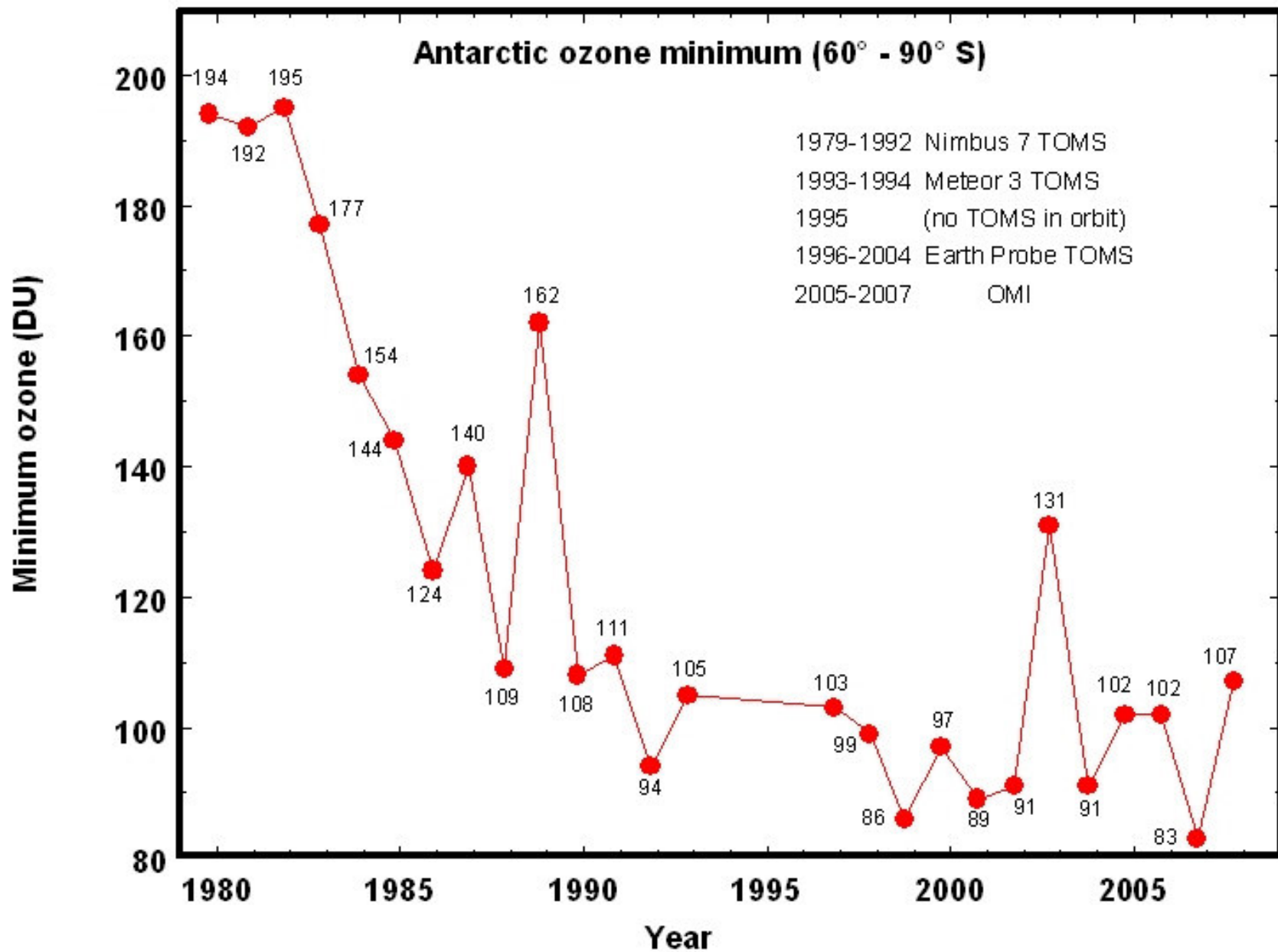
# Redução da Camada de Ozônio

**MÉDIAS ( 97-2001)**

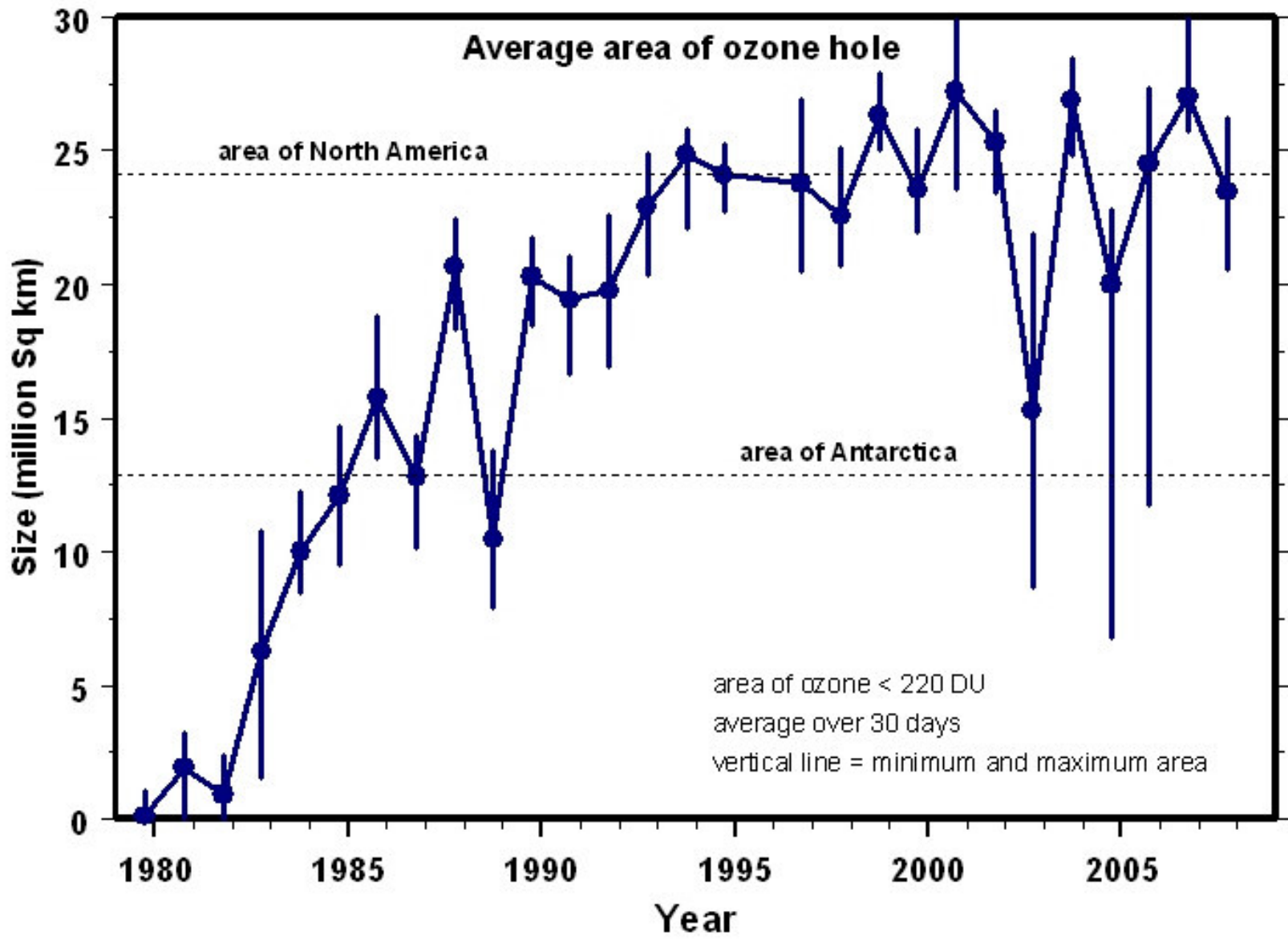
**HN= - 4%**

**HS= - 6%**



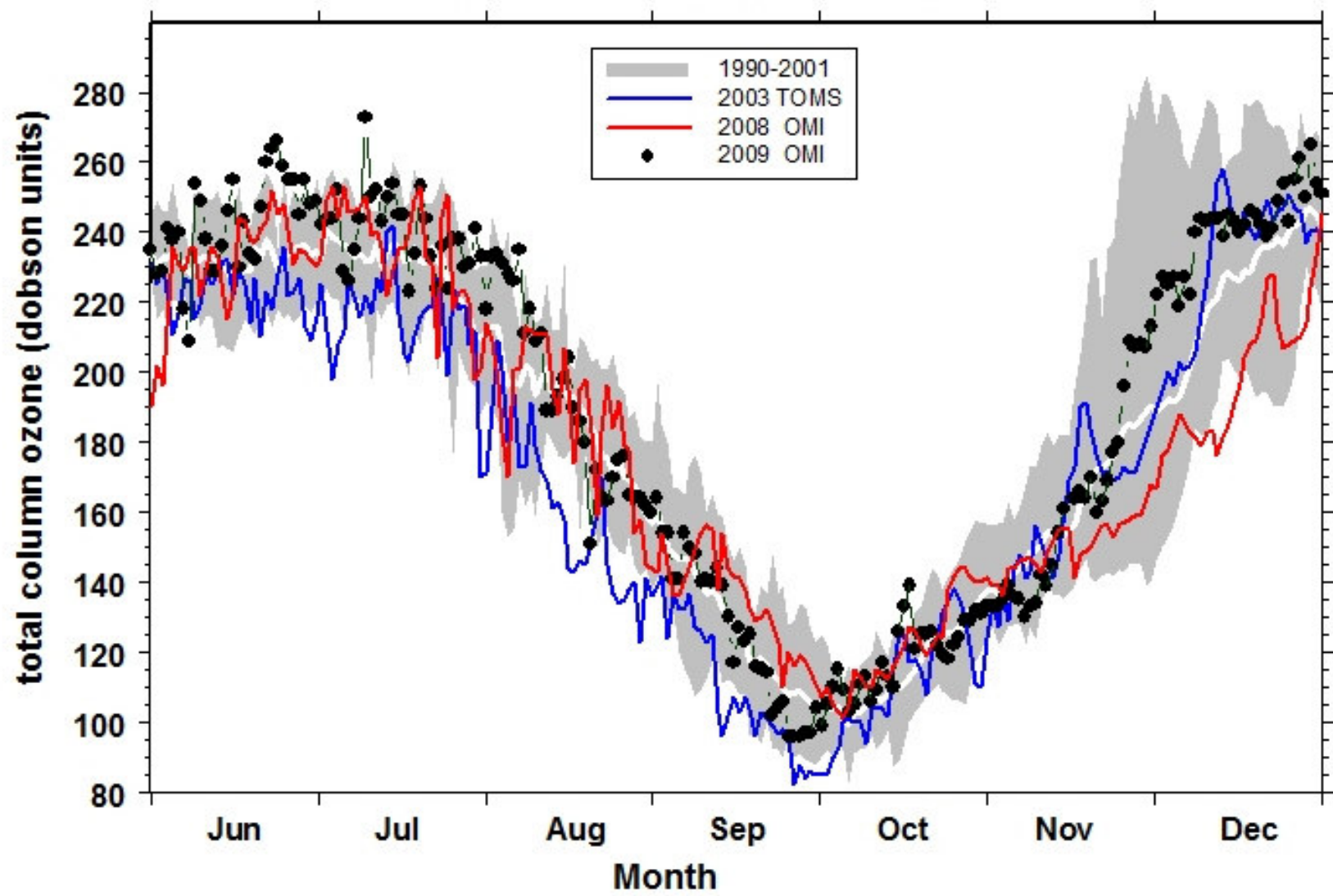


Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

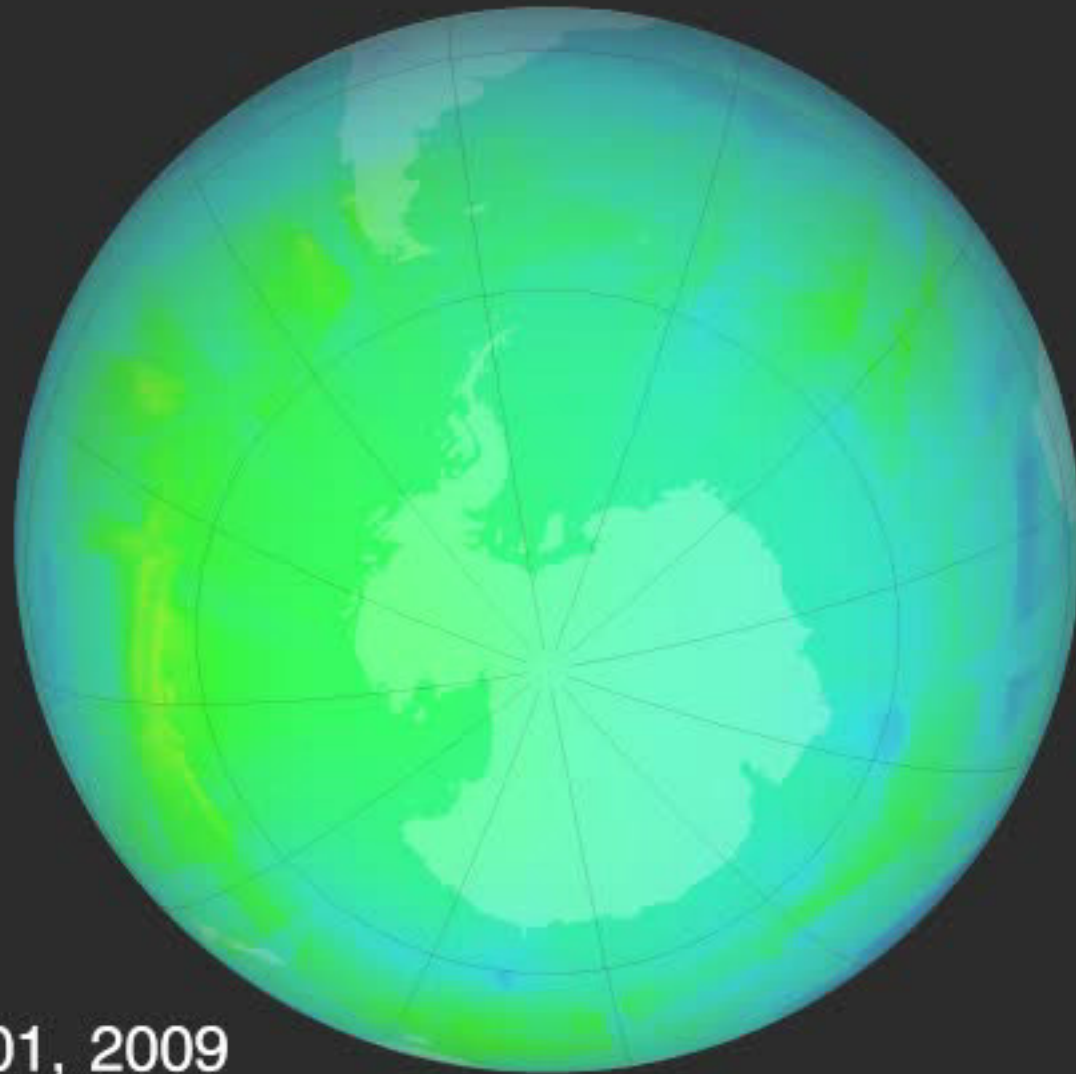




### Ozone Hole Minimum (40°S - 90°S)

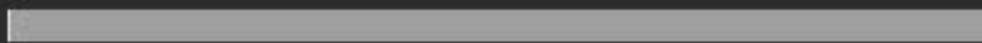


Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>



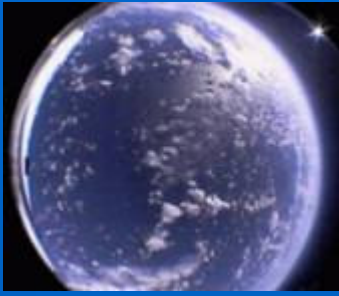
Jul 01, 2009

Jul 01

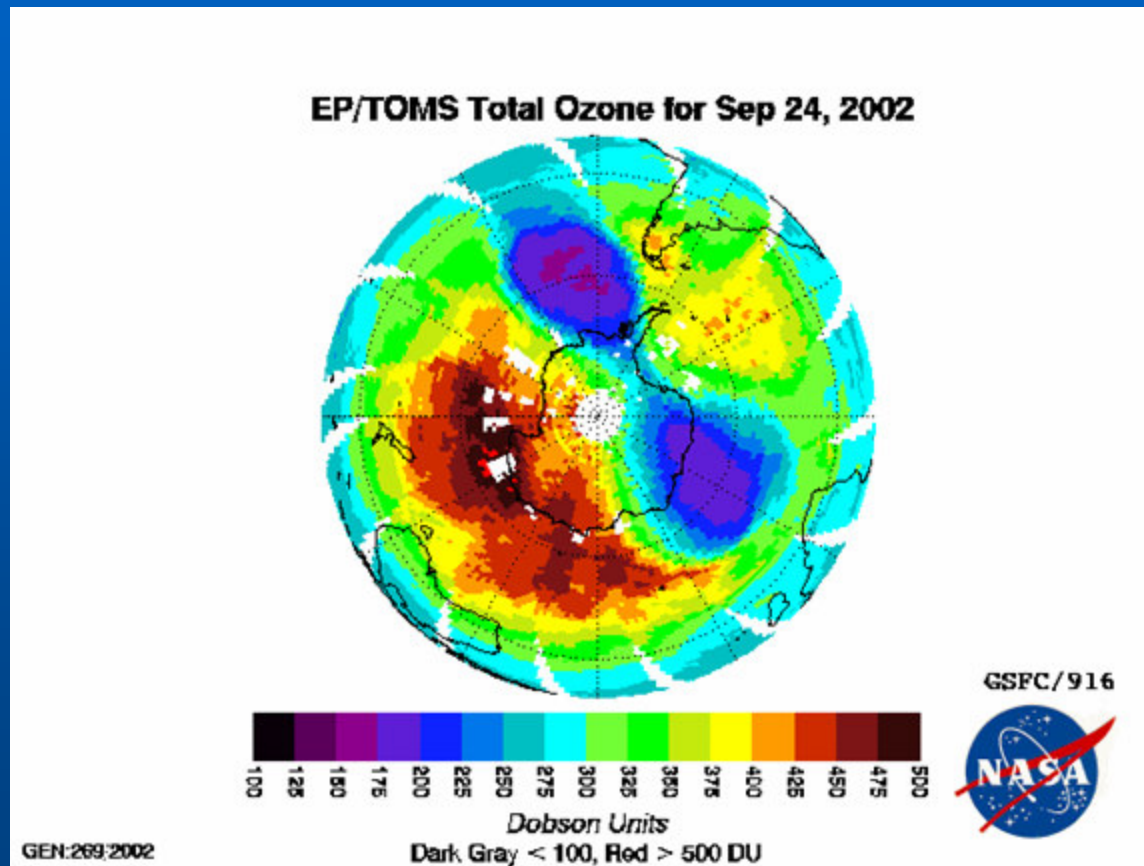


Dec 31

TOMS - Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>



# Redução em Altas Latitudes



Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

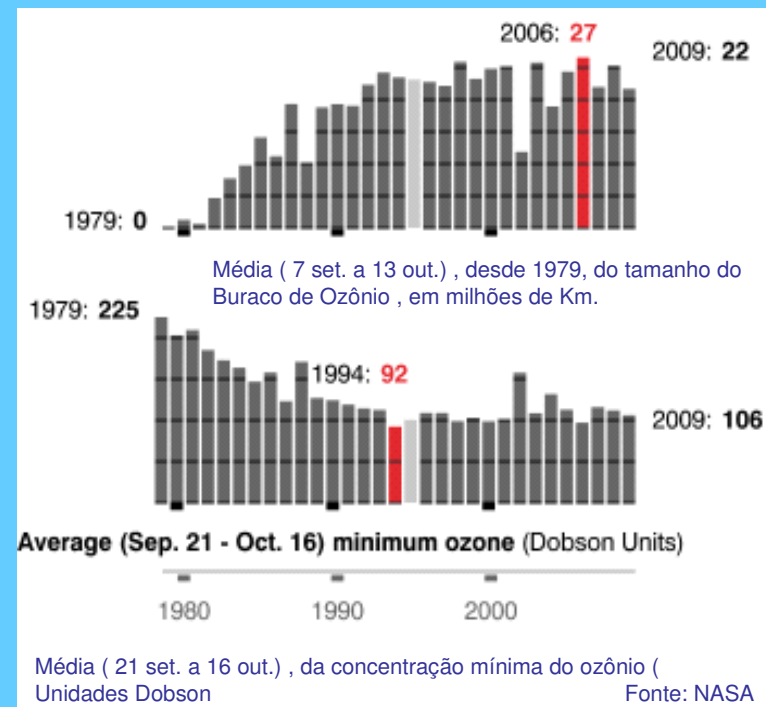
# O BURACO NA CAMADA DE OZÔNIO

A destruição do Ozônio ocorre na primavera ( setembro a dezembro).

O maior tamanho registrado foi em 2006 com 29 milhões de Km<sup>2</sup>.

Em 2009 a destruição foi 15% menor, mas ainda é muito intensa.

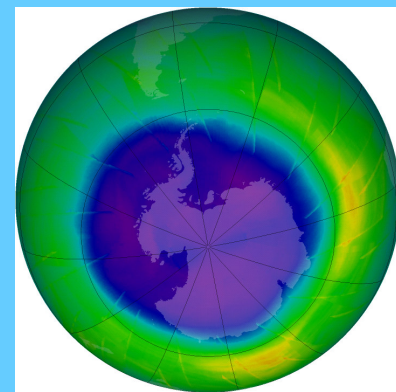
As medidas na região da Estação Antártica Brasileira, em 2009, mostram uma destruição de 50% na Camada de Ozônio.



Buraco de Ozônio ( cor azul e rosa) em 26/09/2009

O valor mínimo foi de 94 UD sobre o Polo Sul.

Na estação Antártica Brasileira foi de 128 UD



## Perguntas:

Por que o máximo da concentração de ozônio ocorre na estratosfera?

Por que o Buraco de Ozônio só ocorre na Antártica?

Por que o máximo da concentração de ozônio não está sobre o equador?

O que significam as unidades:

$n_3/n$  ( ppmv) e  $n_3(10^{18} \text{ m}^{-3})$

The ozone layer in the stratosphere - by Aarnout van Delden (IMAU, Utrecht University)

<http://www.phys.uu.nl/~nvdelden/>

# referências

- **D.J. Jacobs, 1999:** Introduction to Atmospheric Chemistry. **Princeton University, Press, chapter 10.**  
(<http://www.as.harvard.edu:16080/people/faculty/djj/book/>)
- **Ian James, 1994:** Introduction to Circulating Atmospheres. **Cambridge University, Press., chapter 9.**
- **J.F. Kasting and T.M. Donahue, 1980:** The evolution of atmospheric ozone. *J.Geophys.Res.*, **85**, no. C6, pages 3255-3263.
- **T.E. Graedel and P.J. Crutzen, 1995:** Atmosphere, Climate, and Change. **Scientific American Library. 196 pp.**  
*Internet:* [http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz\\_class.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm)
  - *The role of ozone in life:*
- **David Beerling, 2007:** The Emerald Planet. How plants changed Earth's history. **Oxford University Press.**
- **James Lovelock, 1988** □ The ages of Gaia. **Oxford University Press. 255 pp.**
  - TOMS - Fonte: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

A close-up photograph of a seal's face, showing its eyes, whiskers, and the texture of its fur. The fur on the top of its head is peeling, revealing a lighter, smoother layer underneath. The seal's eyes are dark and slightly closed. The background is a light, textured surface, possibly snow or ice.

**Obrigado pela atenção**

**Agradecimentos:**

**SBPC**

**SBMET**

**UFRN**

**MCT**

**INPE**

**PROANTAR/CNPq**

**SECIRM**