

Notas de aula
ASTRONOMIA DO SISTEMA SOLAR (AGA292)

Prof.: Enos Picazzio

ATMOSFERA
PLANETÁRIA

Parte 2

Atmosferas planetárias

PRÉ-REQUISITOS PARA EXISTÊNCIA

- * presença de gás (e sólidos?)

- * retenção

Atmosferas planetárias

Mercúrio

pequeno e quente \Rightarrow não retém

Vênus

grande e quente \Rightarrow atmosfera espessa

sem $\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2 + \text{O}$ que se combina com C, S, etc.

nuvens de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$

efeito estufa

Marte

pequeno e frio \Rightarrow atmosfera fina

evidência de oceanos e lagos antigos; hoje está congelada nas calotas e no subsolo; há (pouco) vapor d'água na atmosfera

nuvens de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Atmosferas planetárias

Nos planetas sólidos são originadas da liberação de gases por processos naturais como vulcanismo e impactos. No planetas gasosos elas são primitivas (formadas junto com os planetas).

Mercúrio – praticamente inexistente

rarefeita e composta de gases pesados, como Na, K, O;
 $T_{\text{sup}} = -140 \text{ a } 430 \text{ }^\circ\text{C}$

Venus - CO_2 com nuvens de H_2SO_4

Marte – CO_2 com nuvens de H_2O

Terra – N_2 com O_2

Júpiter e Saturno – H com nuvens de NH_3

Satélites galileanos: traços

Titan – N_2 com CH_4

Urano e Netuno – H com nuvens de CH_4

Atmosferas planetárias

Velocidade térmica do gás:

$$V_t \propto \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \begin{array}{l} \text{temperatura do meio} \\ \text{massa da espécie} \end{array}$$

Temperatura de equilíbrio radiativo:

$$4\pi r^2 L_o \cos\theta (1-A) = \sigma T^4 \Rightarrow T_{er} \propto \frac{\sqrt[4]{1-A}}{\sqrt{r}}$$

Velocidade de escape do planeta:

$$V_e \propto \sqrt{\frac{M}{R+h}} \quad \text{massa do planeta}$$

raio do planeta + altura acima da superfície

Condição para retenção:

$$V_t < V_e$$

Atmosferas planetárias

Velocidade Escape

massa do planeta

$$V_{\text{escape}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

dist. do centro

Velocidade molecular

e temperatura

temp. eq. radiativo

$$\frac{1}{2}mv_{\text{med}}^2 = \frac{3}{2}kT$$

ou

$$v_{\text{med}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} = \text{Cte de Boltzmann}$$

NOME	Massa	Raio	Peso de pesoa de 70 kg	Velocidade de escape
	(kg)	(km)	(kg)	km/s
SOL	2E+30	695990	1903	617,439
MERCÚRIO	3E+23	2440	26	4,248
VÊNUS	5E+24	6052	62	10,358
TERRA	6E+24	6378	68	11,174
Lua	7E+22	1737	11	2,376
MARTE	6E+23	3397	26	5,017
JÚPITER	2E+27	71492	172	59,524
Io	9E+22	1820	13	2,557
Europa	5E+22	1570	9	2,034
Ganimesdes	1E+23	2630	10	2,749
Callisto	1E+23	2400	8,6	2,450
SATURNO	6E+26	60268	72,5	35,473
Titan	1E+23	2670	8,6	2,597

Atmosferas planetárias

Presença e espessura dependem de:

- Temperatura local \Leftrightarrow distância do Sol
- Tamanho do objeto \Leftrightarrow velocidade de escape

Planetas gigantes mantêm atmosferas mesmo próximo ao Sol (há exoplanetas mais próximos de suas estrelas que Mercúrio do Sol)

Planetas pequenos só mantêm atmosferas longe do Sol

Quanto menor for o corpo, maior a dificuldade de retenção; quanto maior a distância heliocêntrica, mais fácil é manter atmosfera

Composição química depende do tamanho do objeto:

Os grandes mantêm gases leves (H)

Os pequenos retém gases mais densos (N_2 , O_2 , CO_2)

$$V_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad ; \quad V_{med} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$V_e = V_{med} \Rightarrow \frac{2GM}{R} = \frac{3kT}{m} \Rightarrow T = \frac{2}{3} \left(\frac{GM}{R} \right) \left(\frac{m}{k} \right)$$

Atmosferas planetárias

Presença e espessura dependem de:

- Temperatura local \Leftrightarrow distância do Sol
- Tamanho do objeto \Leftrightarrow velocidade de escape

Planetas gigantes mantêm atmosferas mesmo próximo ao Sol (há exoplanetas mais próximos de suas estrelas que Mercúrio do Sol)

Planetas pequenos só mantêm atmosferas longe do Sol

Quanto menor for o corpo, maior a dificuldade de retenção; quanto maior a distância heliocêntrica, mais fácil é manter atmosfera

Composição química depende do tamanho do objeto:

Os grandes mantêm gases leves (H)

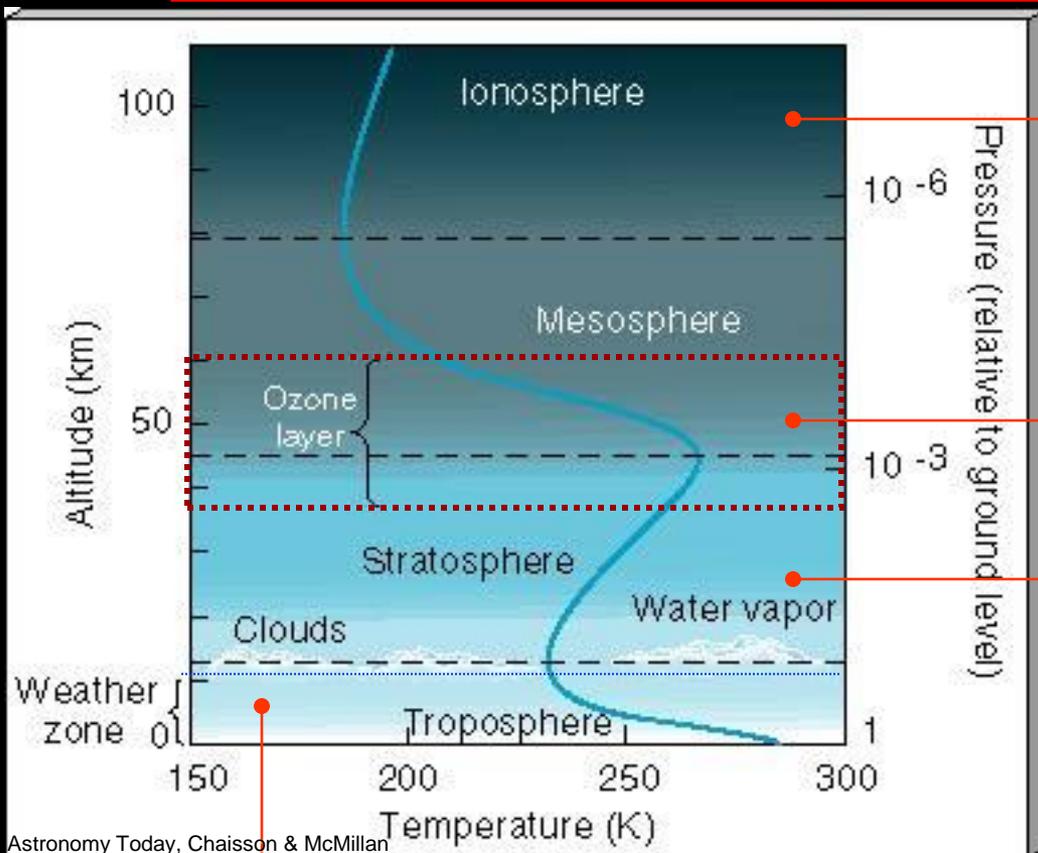
Os pequenos retém gases mais densos (N_2 , O_2 , CO_2)

$$T_{\text{escape}} = \frac{2}{3} \left(\frac{GM_{\text{objeto}}}{R_{\text{objeto}}} \right) \left(\frac{m_{\text{molécula}}}{k} \right)$$

Estrutura atmosférica

$V_{\text{escape}} = 11,2 \text{ km/s}$

Composição predominante (% em volume): N (78), O (21), Ar (0,9) CO₂ (0,03)



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Aqui a atmosfera é praticamente ionizada pela radiação solar mais energética, incluindo raios-X

Na camada de ozônio, a radiação ultravioleta é absorvida pelo oxigênio, ozônio (O₃) e nitrogênio. É uma camada protetora da vida.

A presença da radiação ultravioleta aumenta com a altitude.

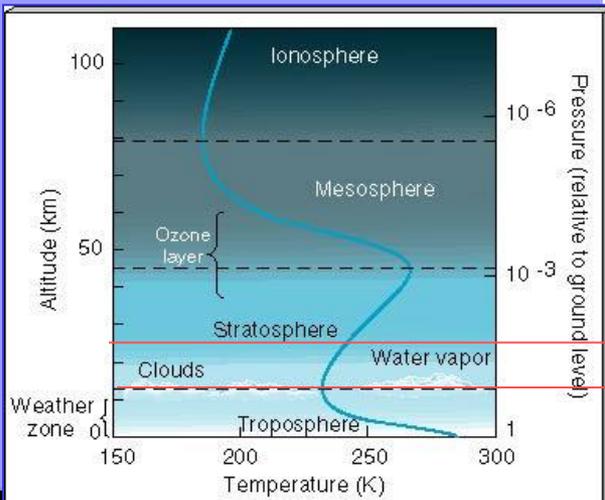
O aquecimento da Troposfera é causado pela absorção (convecção) do calor proveniente do solo, por isso a temperatura decai com a altitude. Aqui ocorrem os fenômenos atmosféricos. **90% da atmosfera está contida aqui.**



<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/Images/atmosmet.gif>

Earth Atmosphere Model Metric Units

Glenn
Research
Center



For $h > 25000$ (Upper Stratosphere)

$$T = -131.21 + .00299 h$$

$$p = 2.488 * \left[\frac{T + 273.1}{216.6} \right]^{-11.388}$$

For $11000 < h < 25000$ (Lower Stratosphere)

$$T = -56.46$$

$$p = 22.65 * e^{(1.73 - .000157 h)}$$



For $h < 11000$ (Troposphere)

$$T = 15.04 - .00649 h$$

$$p = 101.29 * \left[\frac{T + 273.1}{288.08} \right]^{5.256}$$

ρ = density (kg/cu m)

p = pressure (K-Pa)

$$\rho = p / (.2869 * (T + 273.1))$$

T = temperature ($^{\circ}$ C)

h = altitude (m)

Estrutura Atmosférica

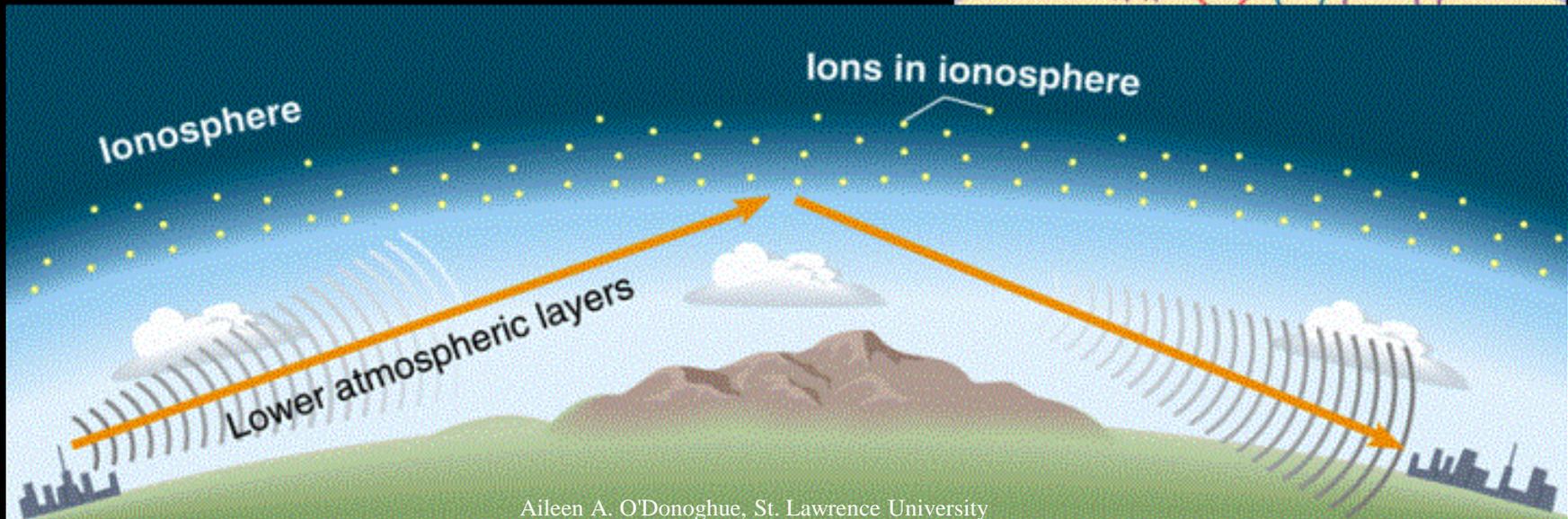
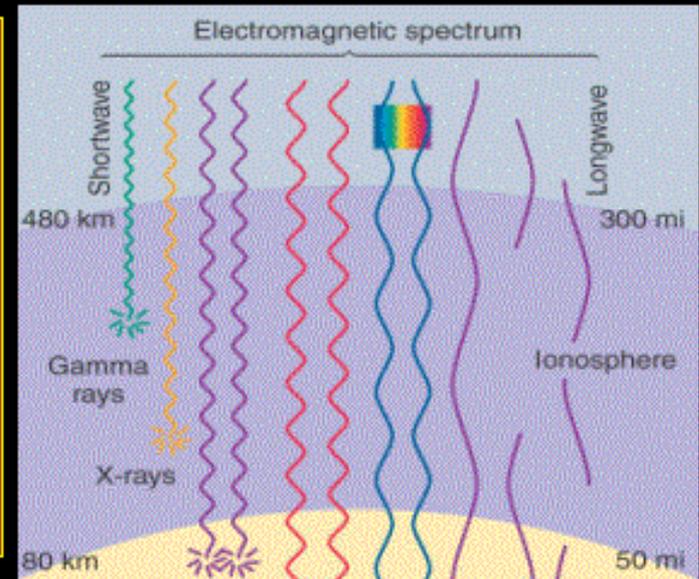
Ionosfera

Thermosfera e Mesosfera

Partículas ionizadas (UV + átomos e íons + e⁻ + energia)

Absorve raios cósmicos, gama, X, UV

Camada refletora de ondas de rádio

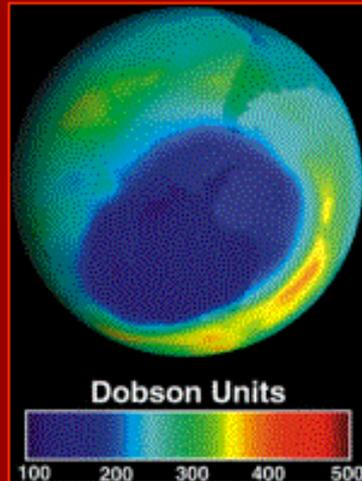
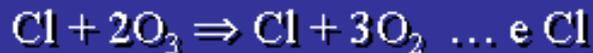


Estrutura Atmosférica

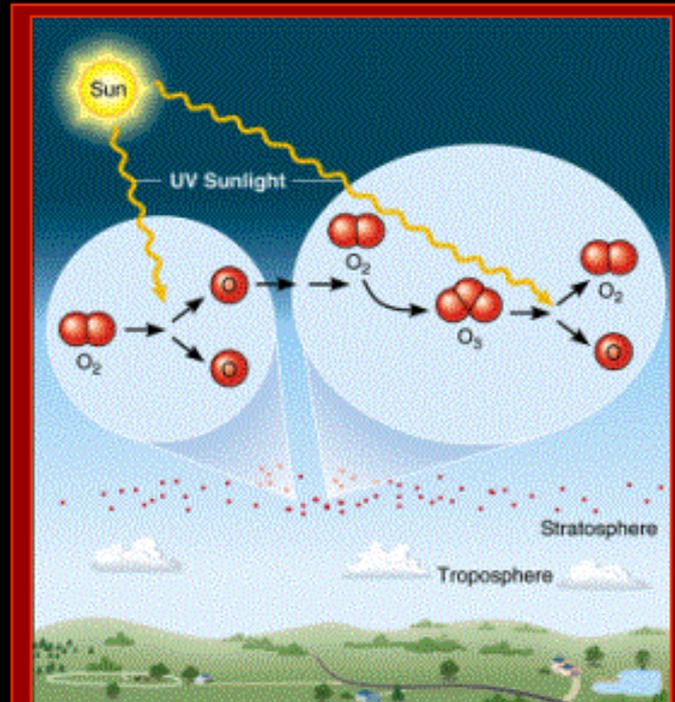
Ozonosfera:

camada da atmosfera que contém ozônio gasoso em abundância, responsável em parte pela absorção da radiação ultravioleta, cujo excesso é perigoso para os seres vivos;
camada de ozônio, capa de ozônio
Ozonosphere (O₃ layer)

Destruição por CFC:



Buraco na camada de ozônio, sobre a Antártica



O ciclo de destruição e criação da molécula de oxigênio (O₂) e ozônio (O₃) é o processo responsável pela filtragem de radiação UV (0.1-0.3 nm),.

Força de Coriolis

Ela atua somente em corpos em movimento. Sua intensidade é proporcional à velocidade, sua direção é perpendicular a do movimento e atua sobre grandes distâncias

Mito: ela é responsável pelo redemoinho da água escorrendo em um ralo! NÃO É.

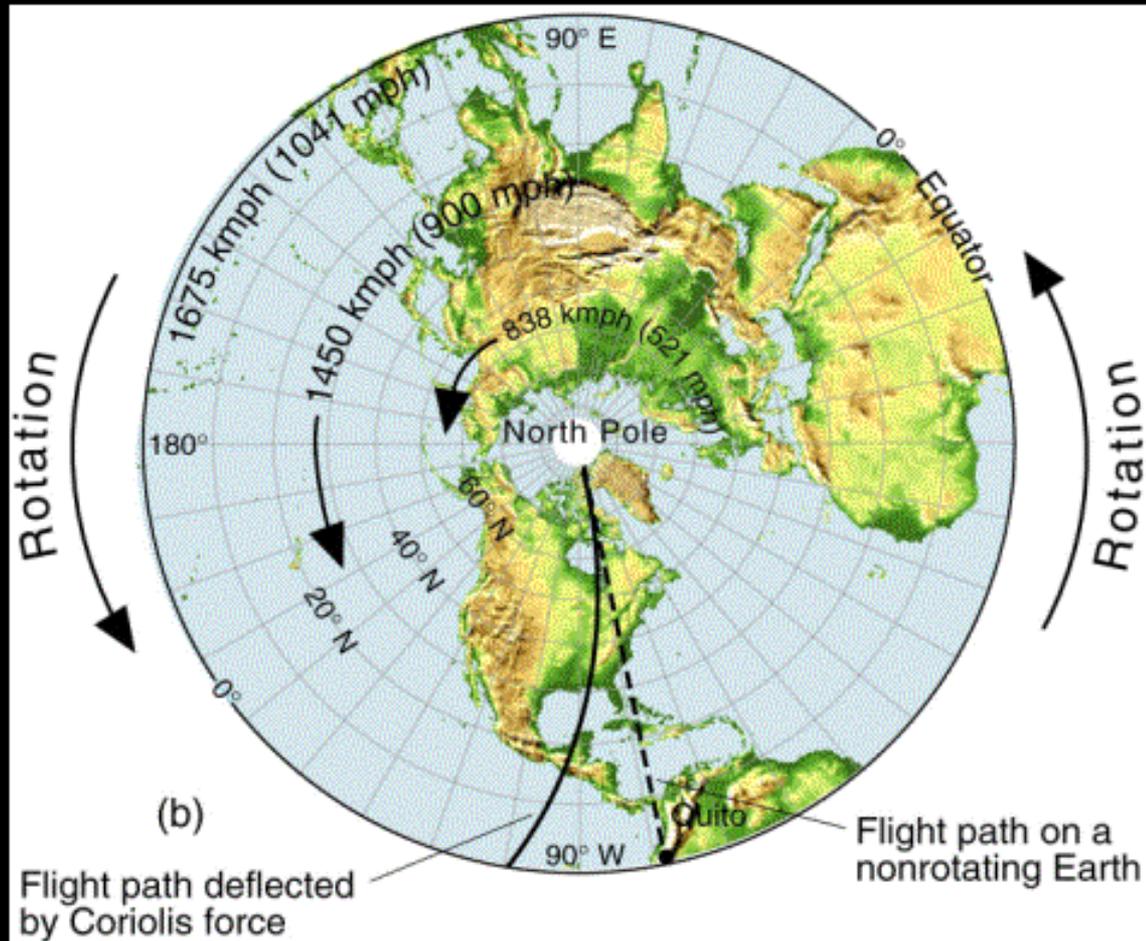
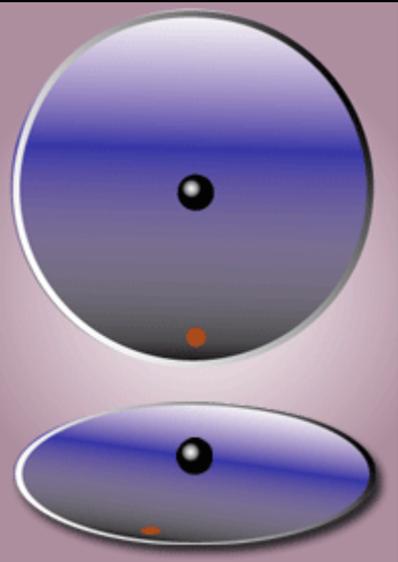
Objetos em movimento são desviados para:

- a) sua **direita** no hemisfério **norte**
- b) sua **esquerda** no hemisfério **sul**

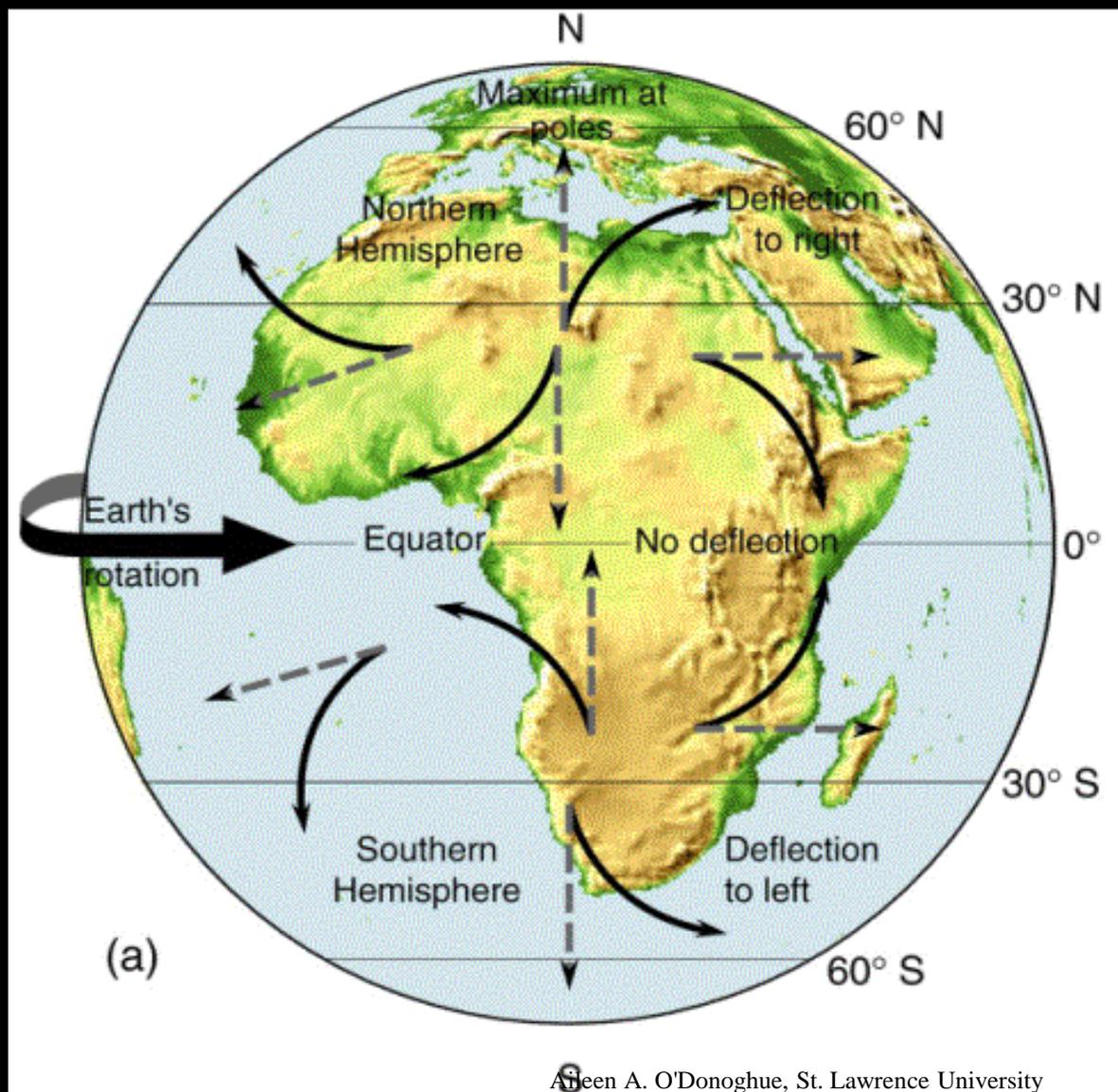


Força de Coriolis

As velocidades escalares de rotação dependem da latitude



Força de Coriolis

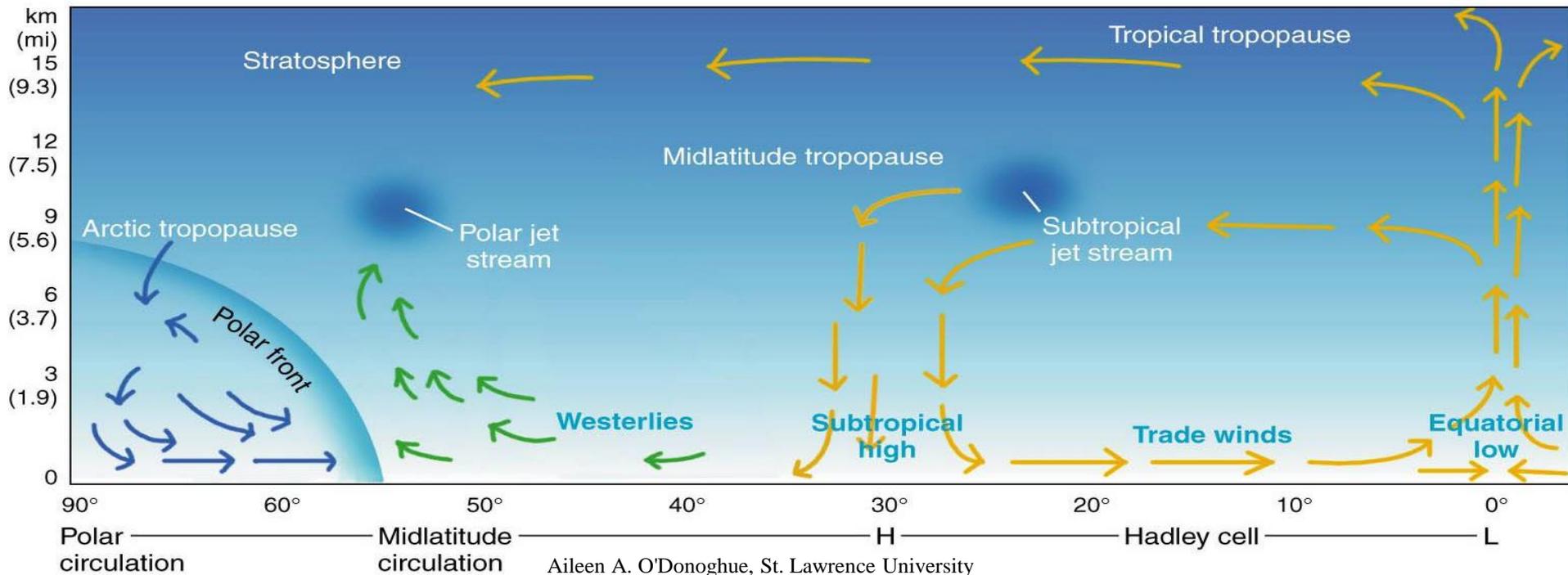
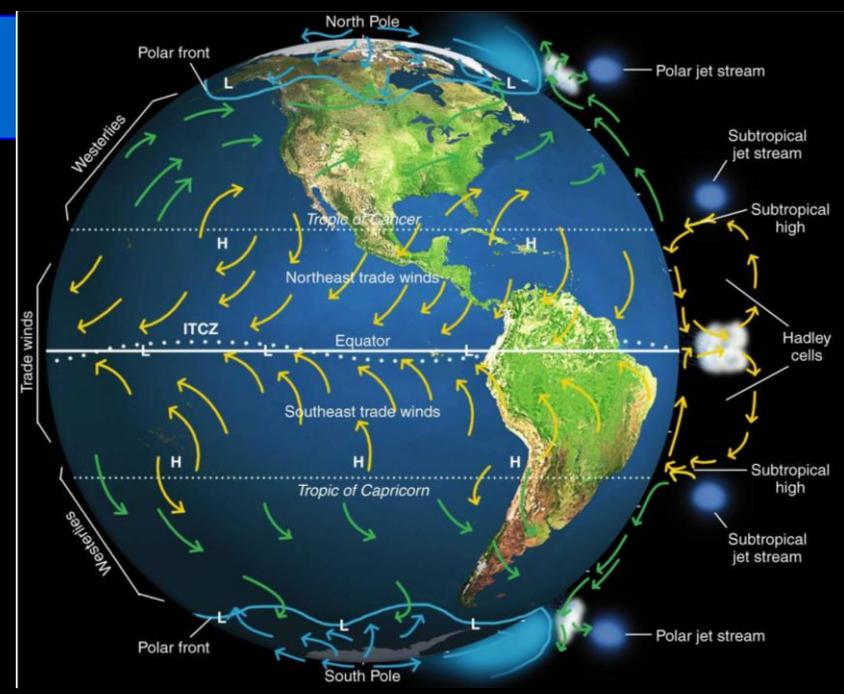


Para a direita
no hemisfério
norte

Para a
esquerda no
hemisfério sul

Atmosferas planetárias

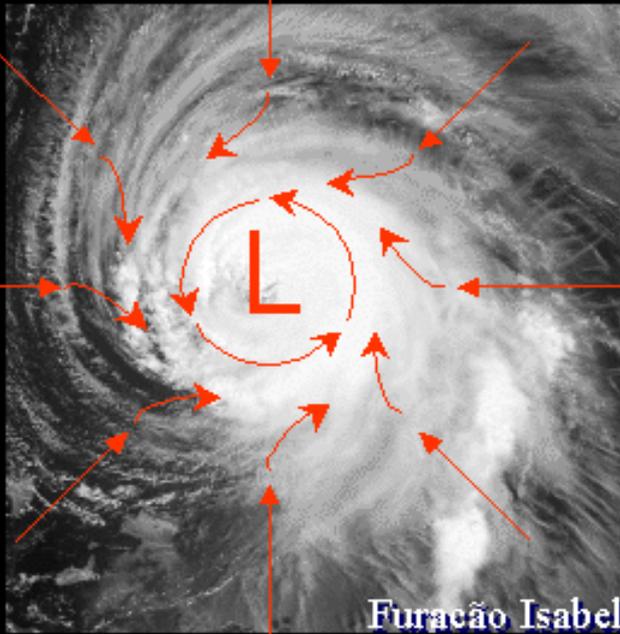
Padrão de circulação atmosférica



Força de Coriolis

Hemisfério Norte

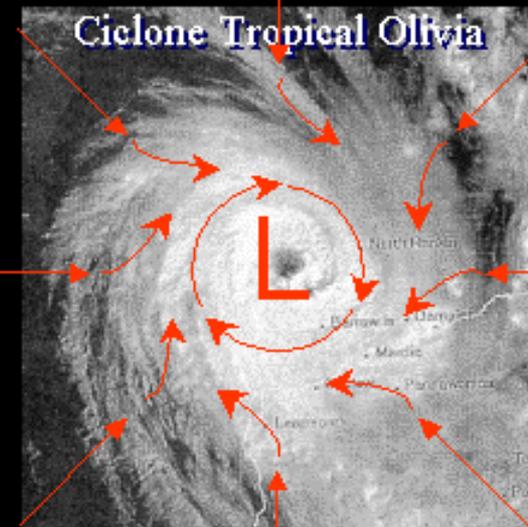
Objetos em movimento desviam para sua direita.



antihorário

Hemisfério Sul

Objetos em movimento desviam para sua esquerda



horário

A atmosfera terrestre primordial foi perdida na fase de alta temperatura ambiente. A evolução posterior foi complexa.

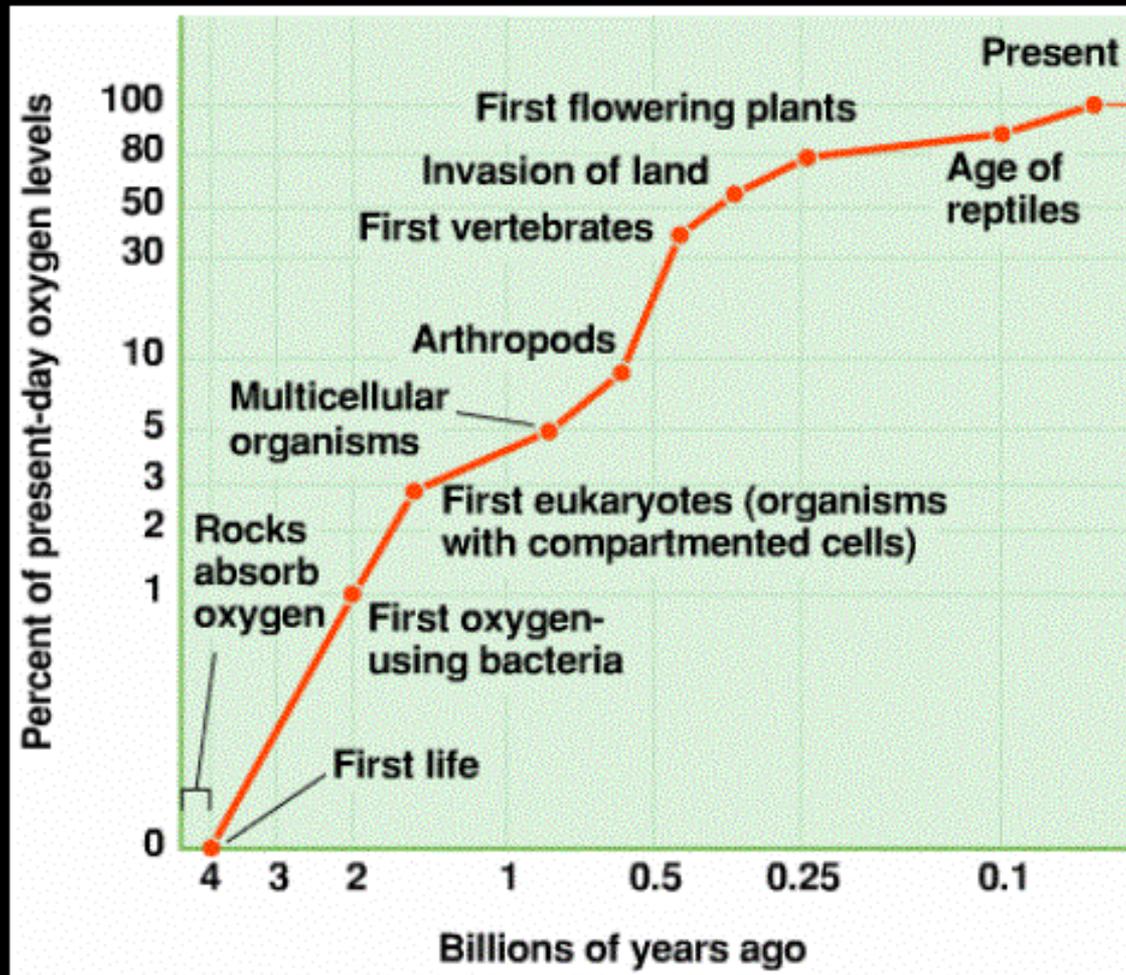
H e He são leves, portanto escaparam. Restou CO_2 . Era parecida com as de Vênus e Marte atuais.

Com o tempo a água se condensou nos oceanos. O CO_2 se dissolveu na água, fixou-se nas rochas originando o CaCO_3 (carbonato de cálcio). A vida desenvolveu-se no oceano, houve liberação de O e precipitação do carbono no fundo dos oceanos (processo sedimentar).

Com o movimento da litosfera, esse material foi reprocessado pelo vulcanismo, que enriqueceu a atmosfera com gases pesados.

Evolução da atmosfera terrestre

A biosfera se nutriu do oxigênio então liberado, e incrementou seu conteúdo.



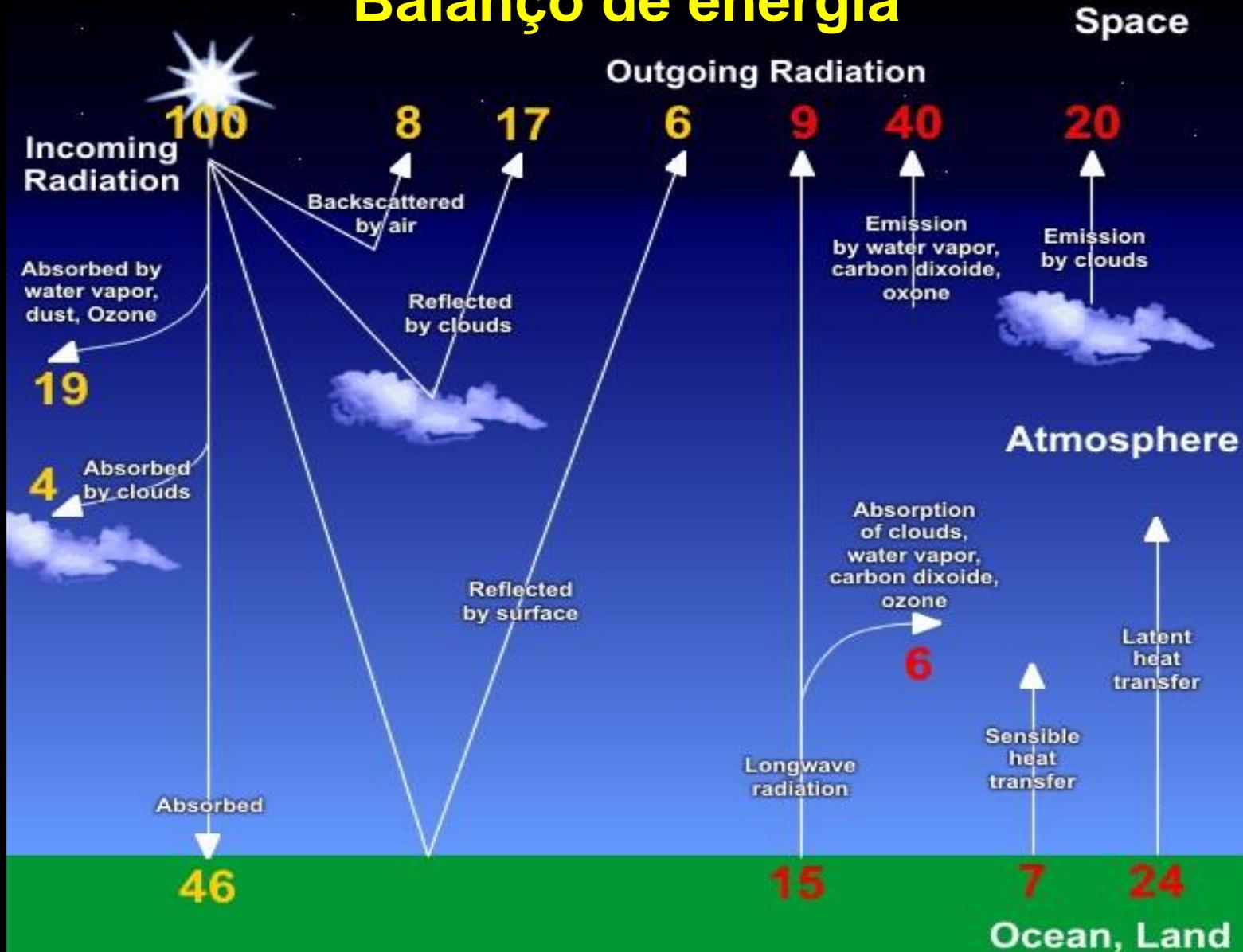
Complemento

O CLIMA DA TERRA: Processos, Mudanças e Impactos

<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/omassamb/CHO-Poli/Aula%2003.pdf>

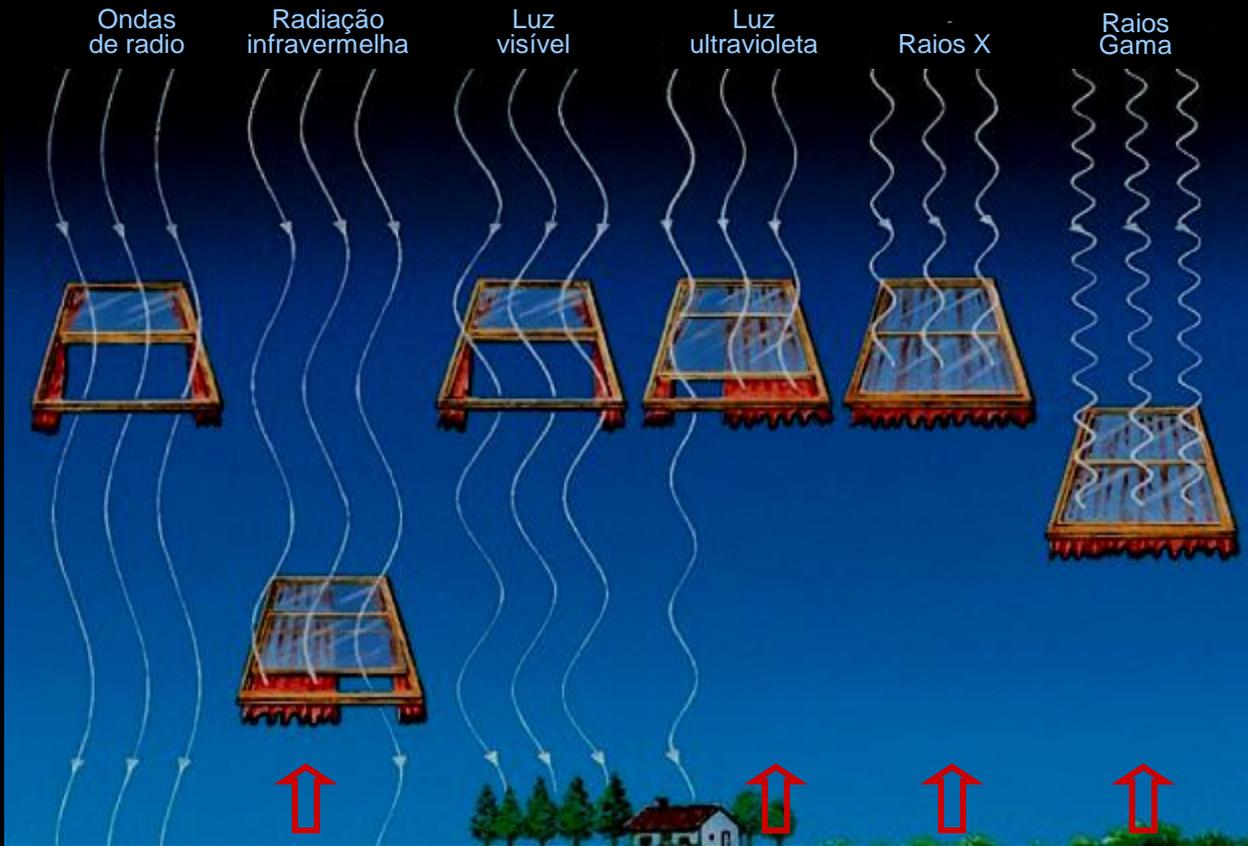
<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/omassamb/CHO-Poli/Aula%2004.pdf>

Balanço de energia



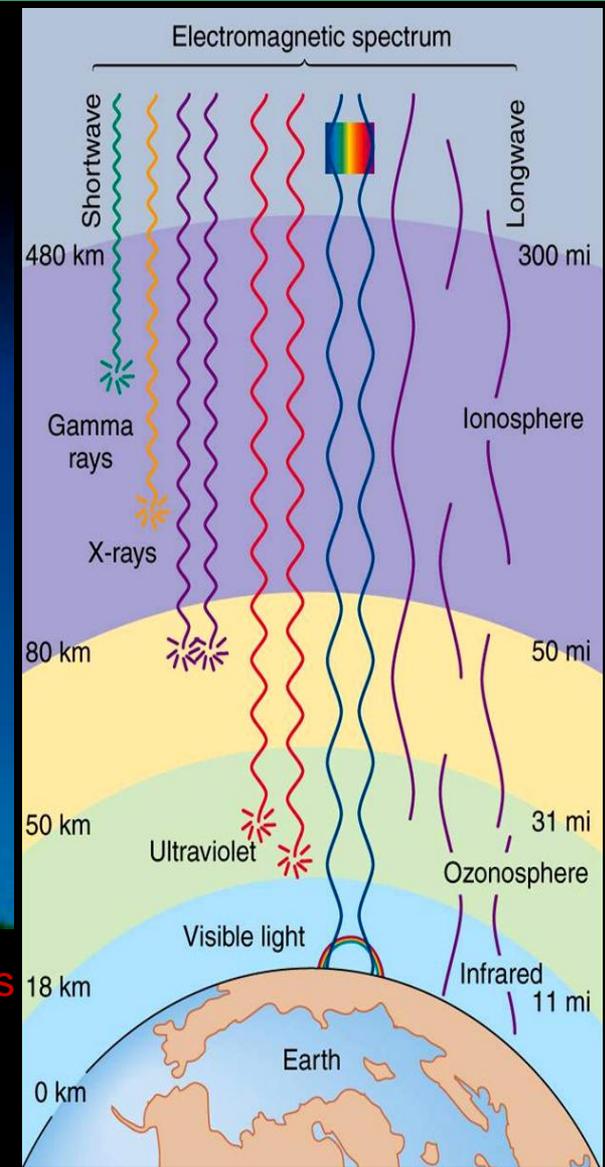
Transparência

Efeitos mais importantes



Radiação captada apenas pelos instrumentos espaciais

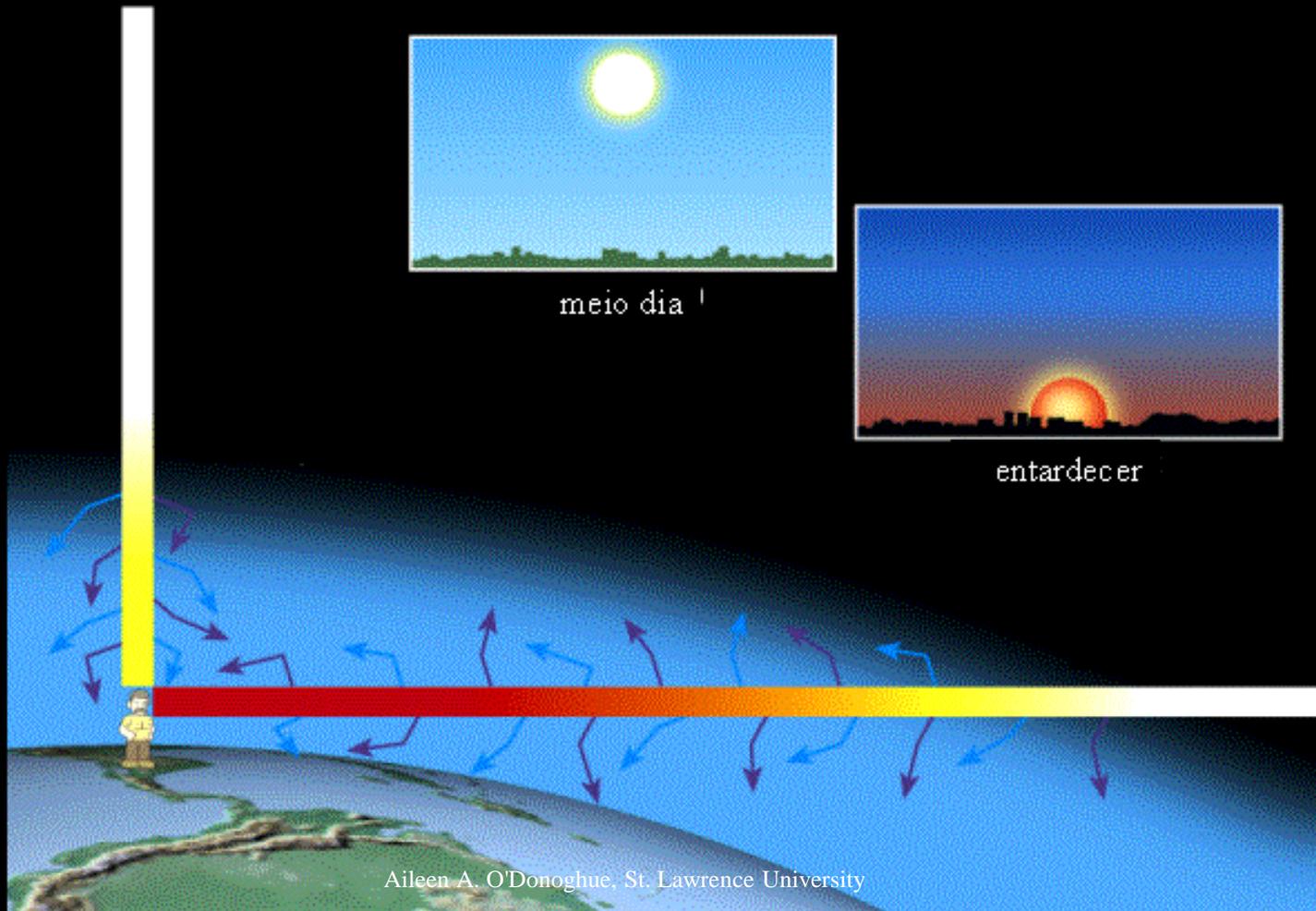
A maior parte da energia eletromagnética é absorvida pela atmosfera, mas ondas de radio e visível atravessam livremente.



Interação da luz com a atmosfera

Efeitos mais importantes: espalhamento

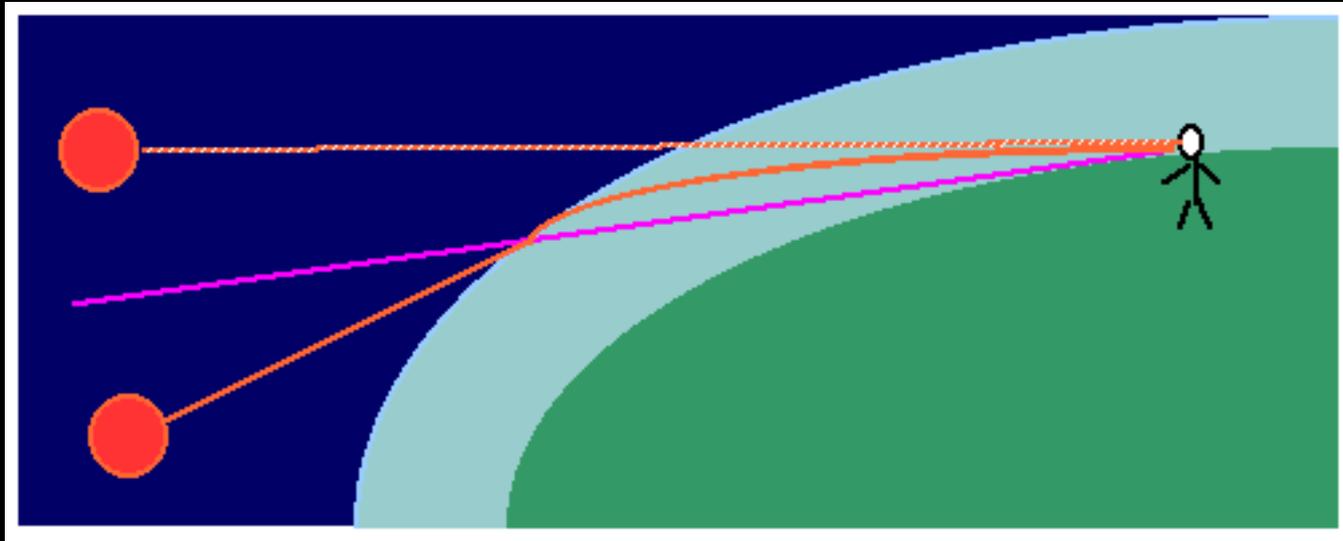
O céu é azul porque esta é a cor do espectro que sofre maior espalhamento



Interação da luz com a atmosfera

Efeitos mais importantes: refração

A luz muda de direção durante seu trajeto na atmosfera. Este efeito é devido à variação do índice de refração, que muda de acordo com as condições físicas do meio.



Interação da luz com a atmosfera

Efeitos mais importantes: dispersão

Decomposição da luz nas suas várias componentes (cores), na forma de um espectro.

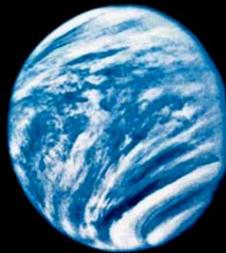


vermelho e **laranja** são absorvidos pelo vapor d'água
azul e **violeta** são difundidos pelas moléculas de ar

$$V_{\text{escape}} = 10,4 \text{ km/s}$$

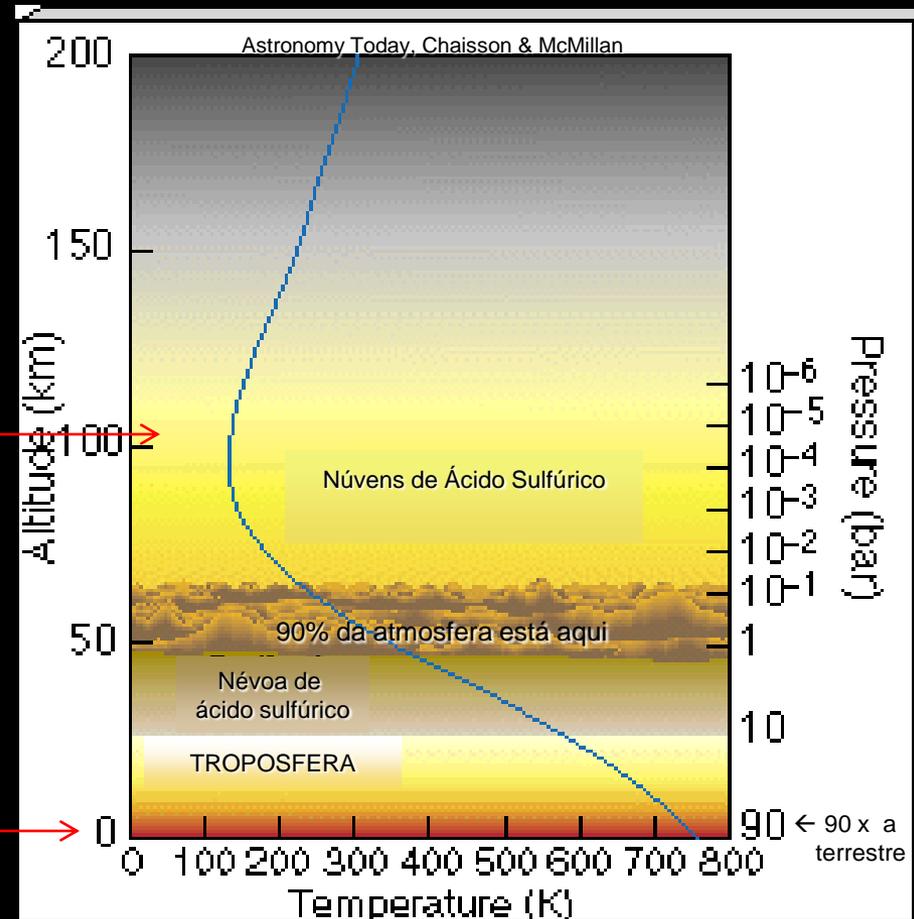
*Composição química predominante (% em volume):
CO₂ (~96,5), N (~3,5), traços de H₂O (vapor), CO, SO₂, Ar.*

Ventos circulando a 300-400 km/h, mais rápidos no equador que nos pólos. São os responsáveis pelo padrão de nuvens visto no ultravioleta.



ultravioleta

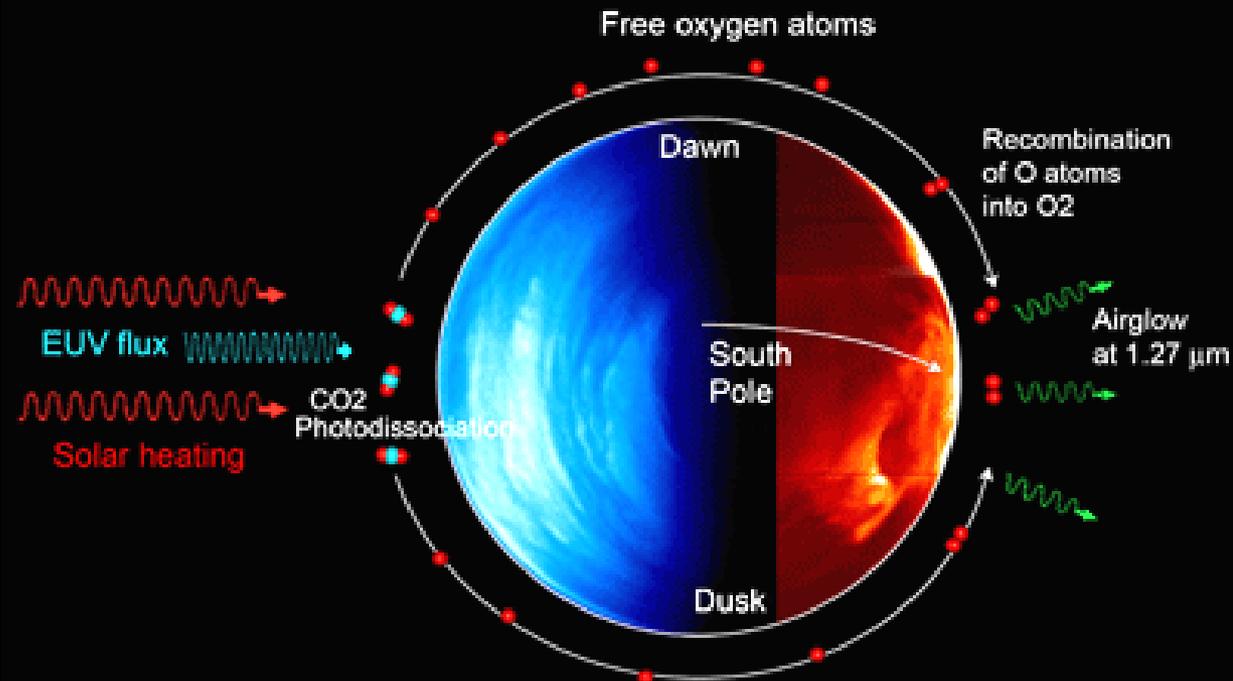
Da superfície nada se vê além das nuvens, nem o Sol. Tipicamente, os ventos movem-se a 6 km/h. Devido à estufa, a temperatura é elevada e praticamente homogêna, mesmo no hemisfério não iluminado (“noturno”).



Luminescência noturna ('lanterna') de Vênus

Em elevadas altitudes o CO_2 é fotodissociado pela radiação solar, libera O, que circula na direção do lado noturno, desce para camadas mais baixas, recombina com O formando O_2 , e produz luminescência.

1. Circulação das nuvens de O revela detalhes da dinâmica atmosférica;
2. Análise desse fenômeno revelará detalhes da química atmosférica global
3. Luminescência envolve troca de energia entre a mesosfera e termosfera (mais elevada), que é sofre maior influência da luz solar.

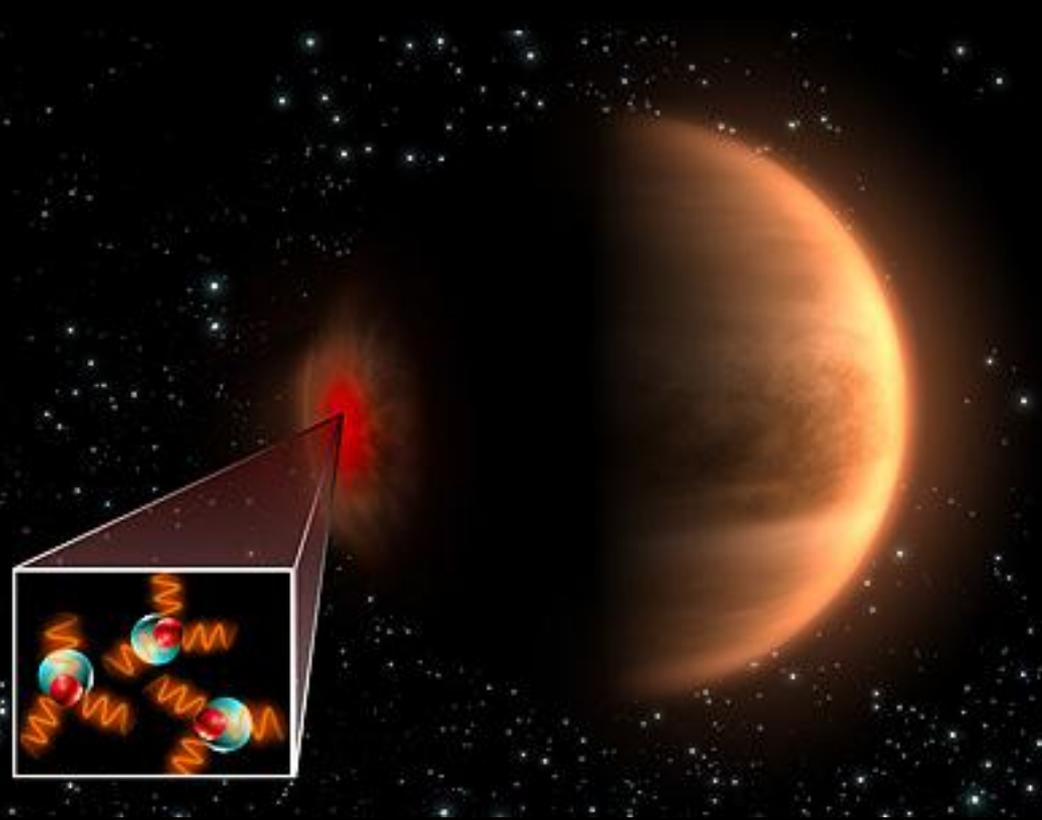


Hidroxila (OH), molécula importante mas de difícil detecção, foi descoberta numa estreita faixa (10 km) da alta atmosfera venusiana, cerca de 100 km acima da superfície. A quantidade pode variar em até 50% de um encontro (orbital) para outro.

Acredita-se que ela é importante devido a sua elevada reatividade.

Em Marte ela estabiliza o CO_2 , prevenindo sua conversão em CO, mas também esteriliza o solo e cria um ambiente hostil à vida.

Na Terra ela atua sobre os poluentes. O brilho do OH atmosférico parece estar associado à abundância do O_3 . **Será que o mesmo ocorre em Vênus?**



Créditos: Venus Express, ESA (Image by C. Carreau)

Arrastamento atmosférico

Vênus, Terra e Marte estão imersos em um fluxo de plasma proveniente do Sol, conhecido como **vento solar**.

A magnetosfera terrestre é intensa o suficiente para desviar o vento solar e, com isso, protege sua atmosfera de ação destruidora.

Vênus e Marte, ao contrário, sofrem arrastamento atmosférico dos gases atmosféricos presentes na alta atmosfera.

O vento solar interage com as espécies ionizadas da alta atmosfera e induz acelerações suficientes para superar a aceleração gravitacional local, e arrastar essas partículas.

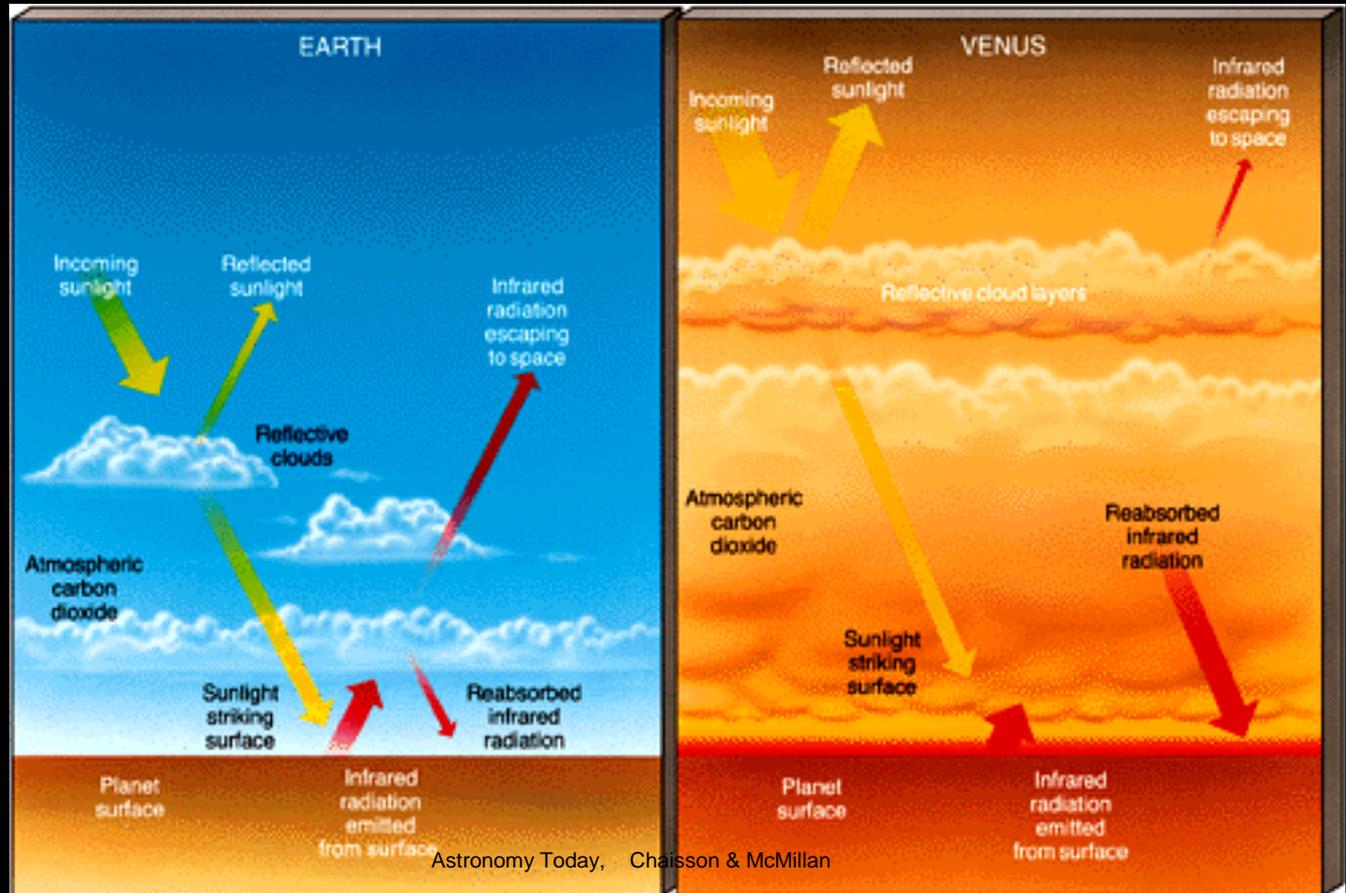
Assim, Vênus perde atmosfera. No momento estuda-se quanto é perdido e onde ocorre perda.

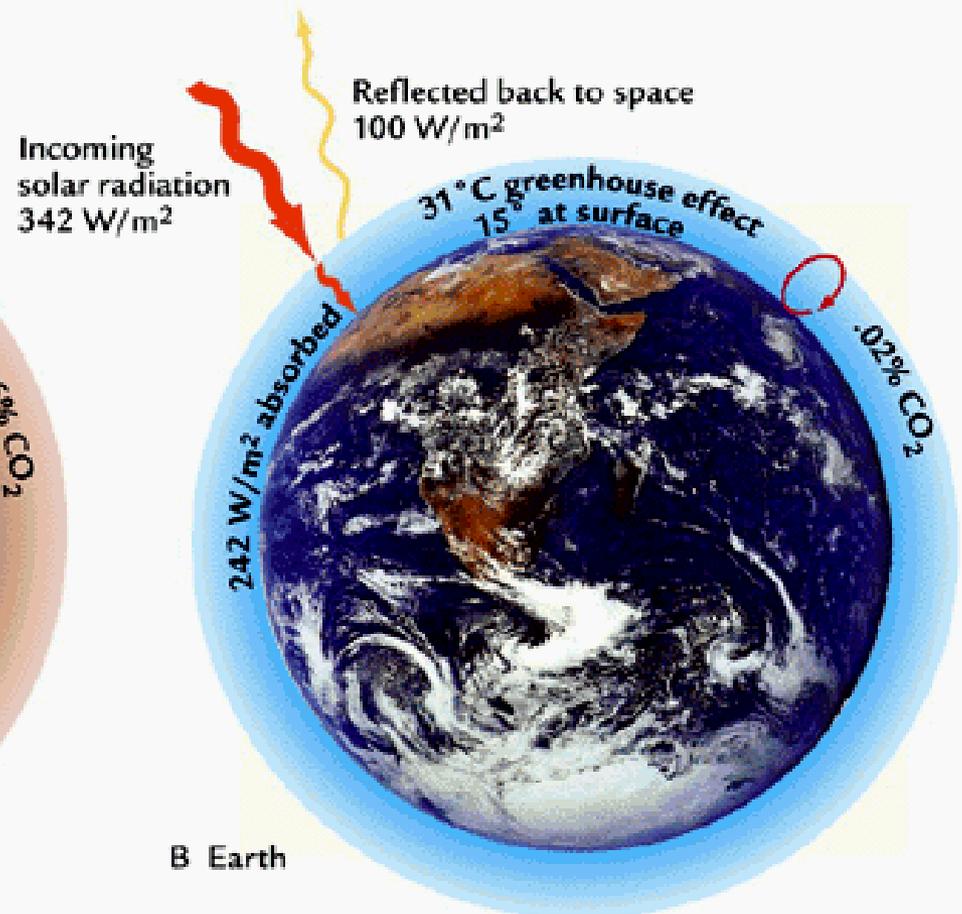
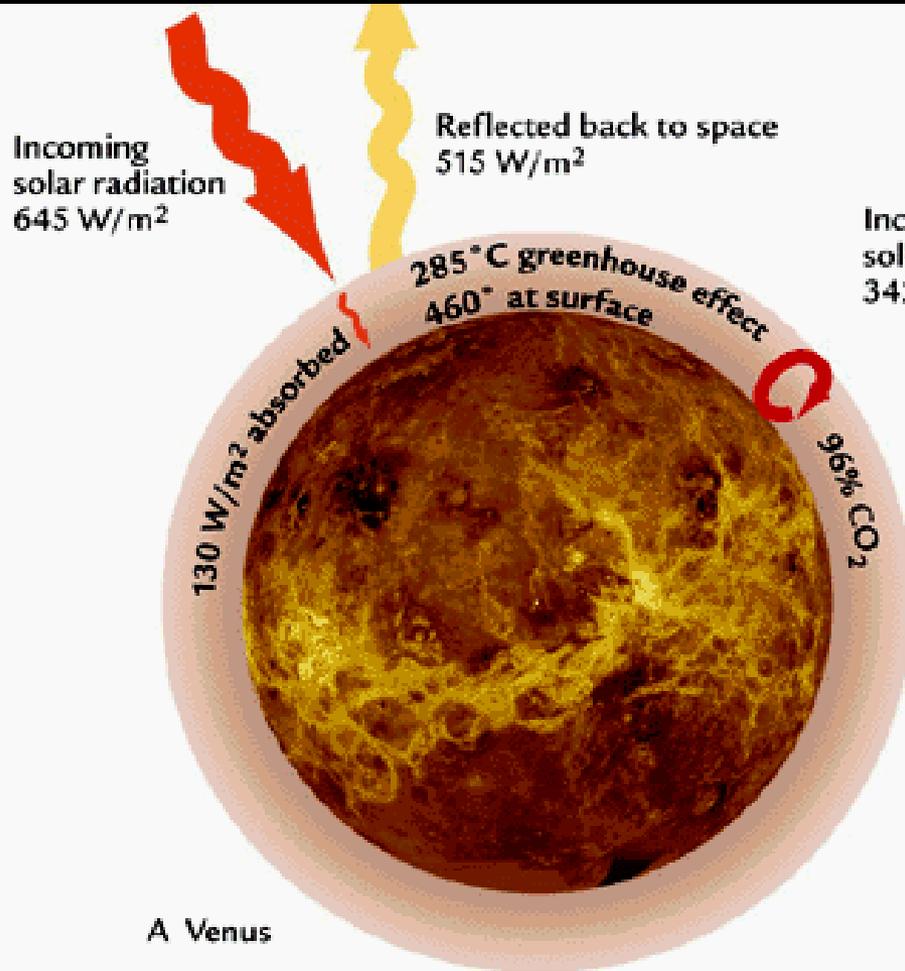
(Credits: ESA; Animação: C. Carreau)

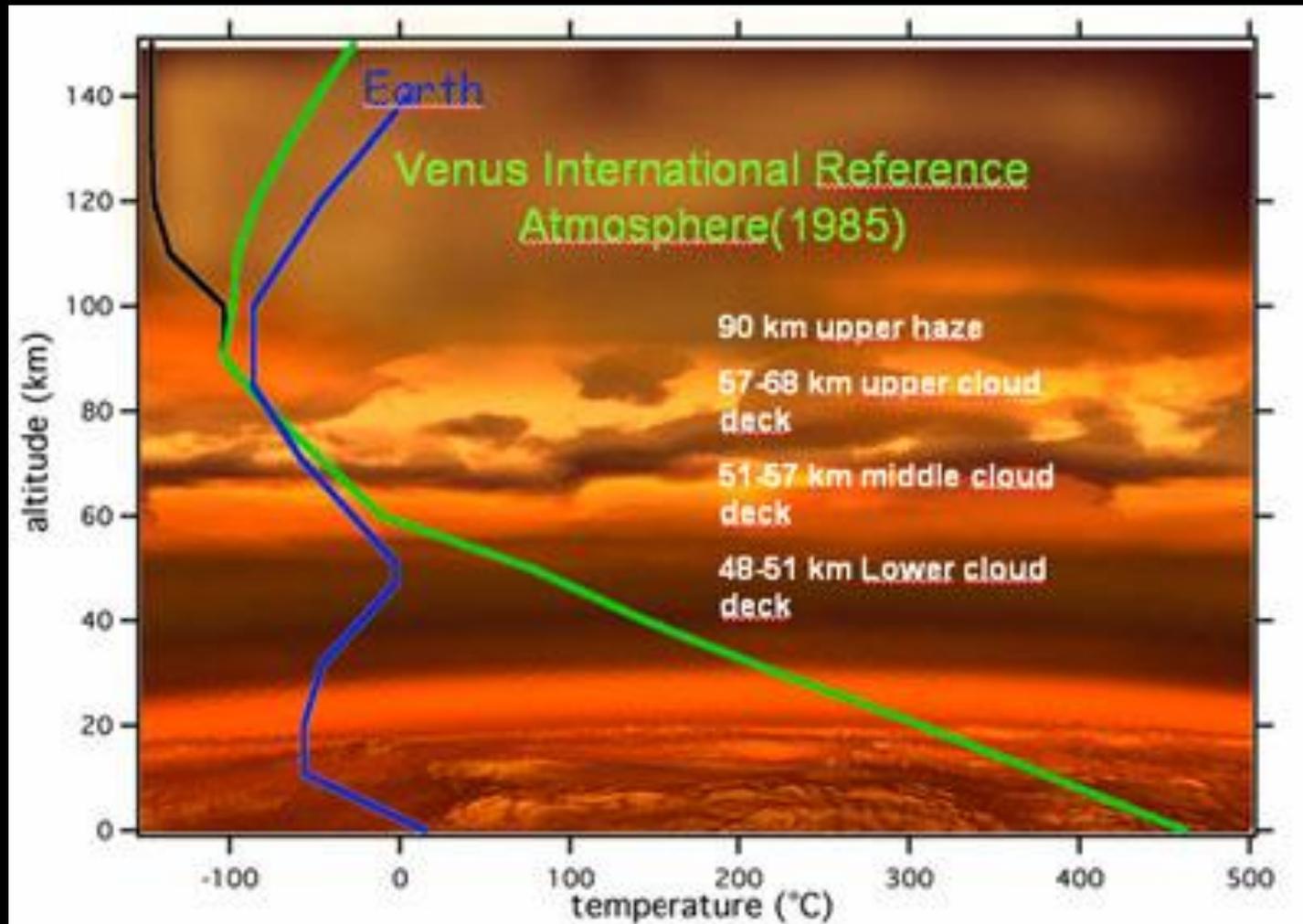


O Efeito Estufa é necessário para a própria existência da atmosfera. Em Vênus ele é causado pelo **CO₂**. A radiação infravermelha (calor) fica retida em sua atmosfera. Na Terra, o CO₂ inicial foi incorporado às rochas, posteriormente consumido pela fotossíntese.

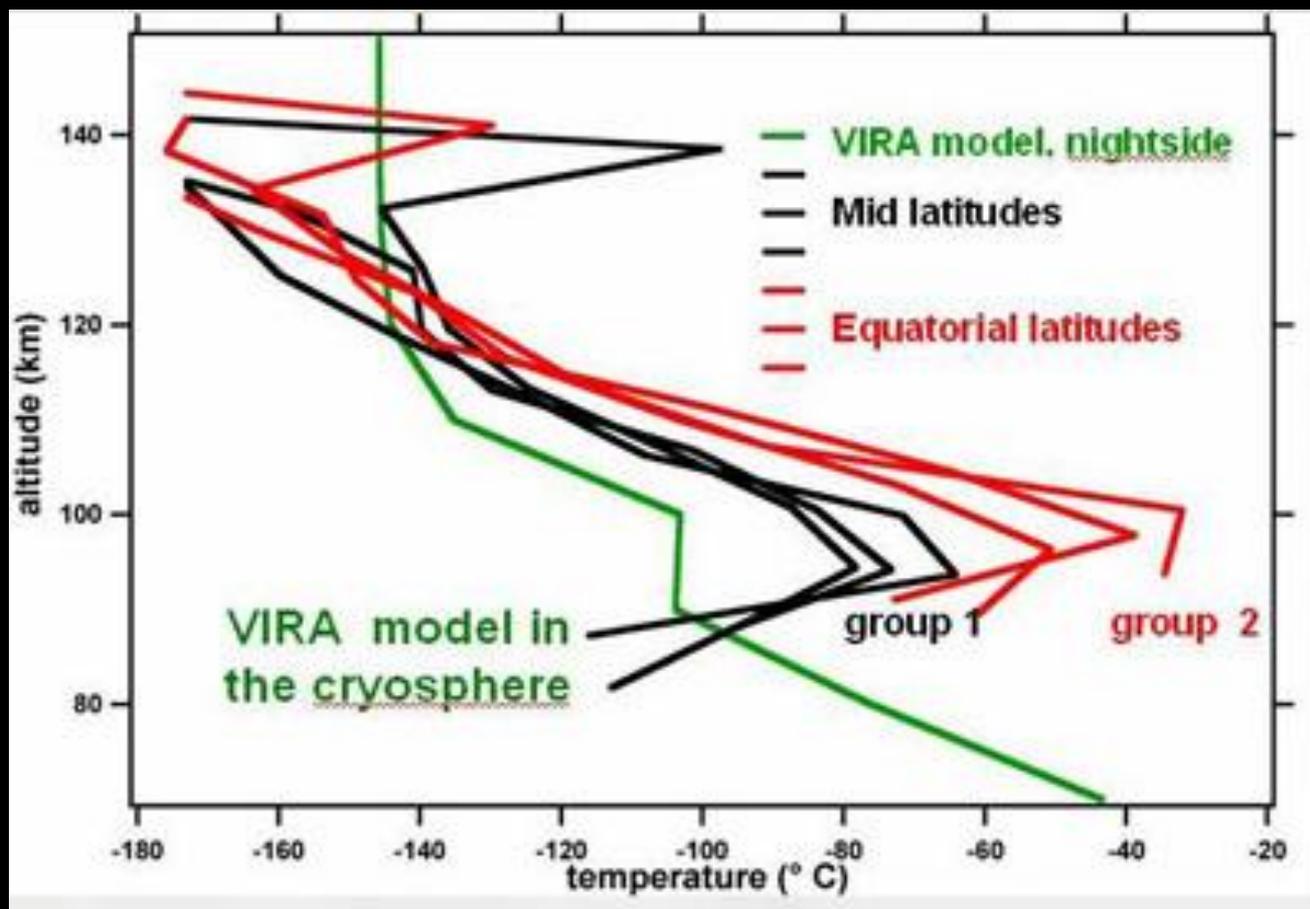
- **H₂O** também provoca aquecimento.
- Na Terra ela formou os oceanos.
- Em Vênus ela permaneceu como vapor na atmosfera, contribuindo para o aquecimento.
- Vênus está mais próximo do Sol.







Perfil de temperatura venusiana antes da missão
Expresso Vênus (ESA).



Perfil de temperatura noturna.

Curva verde representa resultados teóricos

Demais cores, variações observadas.

Ambas mostram camada aquecida entre 80-100 km de altitude.

Semelhanças com a Terra

- Massa, densidade, raio: parecidos
- Distância heliocêntrica pouco menor
- Rochas predominantemente basálticas (resultado de intenso vulcanismo e solidificação semelhante)

Diferenças

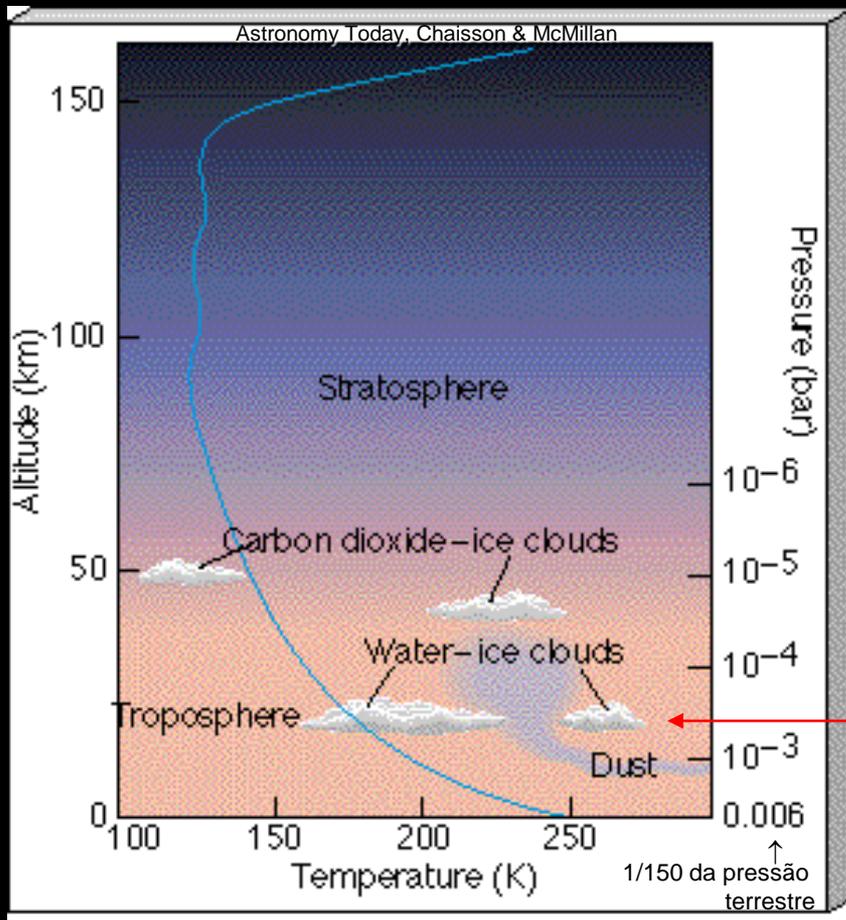
- Pressão atmosférica na superfície ~ 90 atm
- ~10% da luz solar atinge a superfície
- Temperatura ~ 465 °C

Superfície:

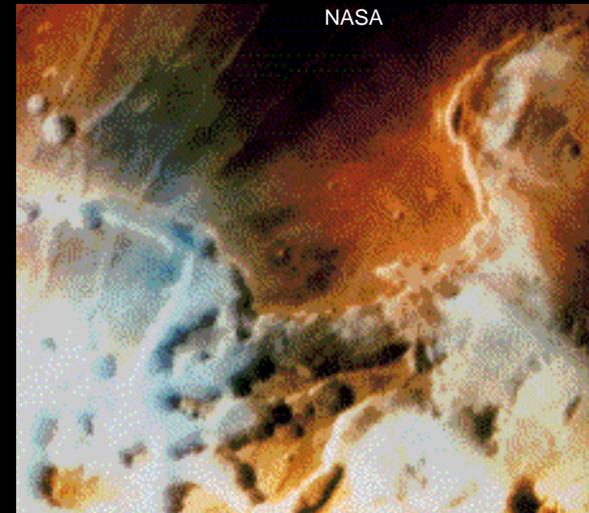
- 70% - elevações ligeiramente circulares
 - 20% - planícies
 - 10% - elevações continentais (tesserae)
 - Não apresenta atividade tectônica: superfície parece ser placa única
 - Crosta fina ou espessa?
 - Montanhas elevadas e crateras de impacto marcam a superfície.
 - Não se vê crateras com menos de 2 km: atmosfera destrói objetos pequenos
 - Rotação sideral: - 243 dias terrestres
 - Translação: 225 dias
 - Praticamente não tem campo magnético (núcleo sólido? rotação lenta?)
- } ventos circulam planeta em 4 dias

$$V_{\text{escape}} = 5 \text{ km/s}$$

Composição química predominante (% em volume):
 CO_2 (~95,3), N (~2,7), Ar (1,6), O (0,13), CO (0,07), H_2O (vapor, 0,03).



Pela manhã há uma névoa de gelo d'água nos *canyons*. As temperaturas da Estratosfera são baixas o suficiente para manter o CO_2 solidificado em névoas e nuvens.



Variação de temperatura no verão:
~300 K, às 12h; a convecção eficiente eleva a Troposfera até 30 km.
~100 K, às 24h; cessa a convecção e a Troposfera praticamente desaparece.
Na média a $T_{\text{superfície}}$ é 50K mais baixa que a terrestre.

Baixa

Até 45 km

Região aquecida pelo solo e poeira

Intermediária

De 45 a 110 km

Como na Terra, há jatos de gases.

Alta ou Termosfera

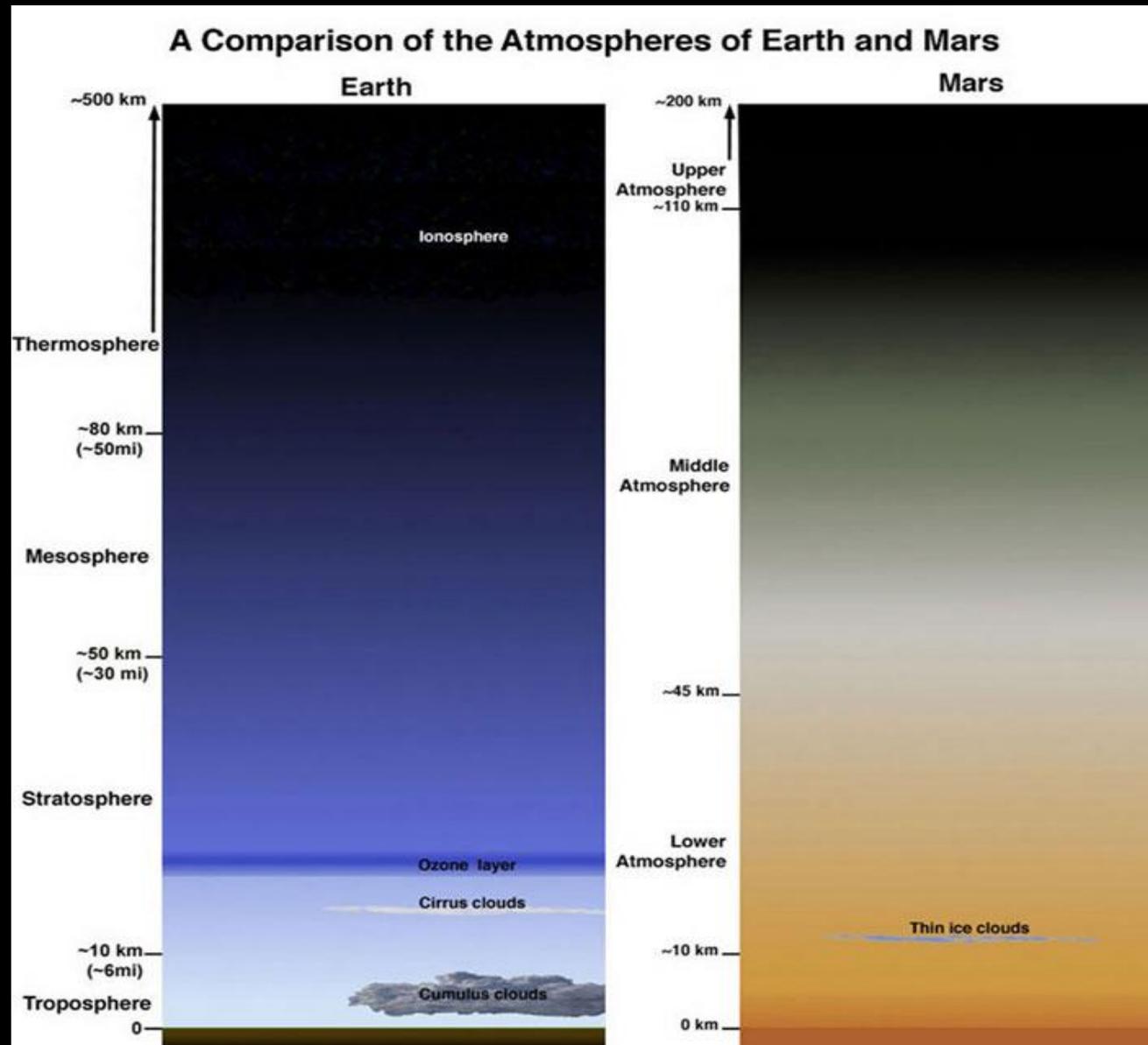
De 110 a 200 km

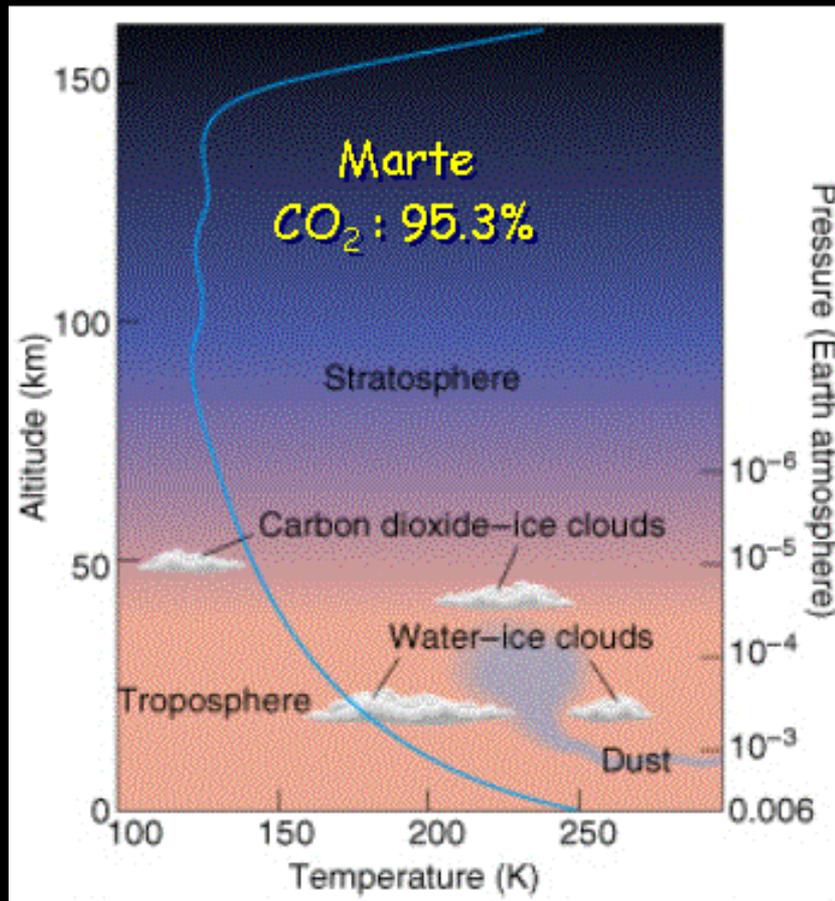
Temperatura elevada devido à insolação. Gases atmosféricos começam a separar-se.

Exosfera

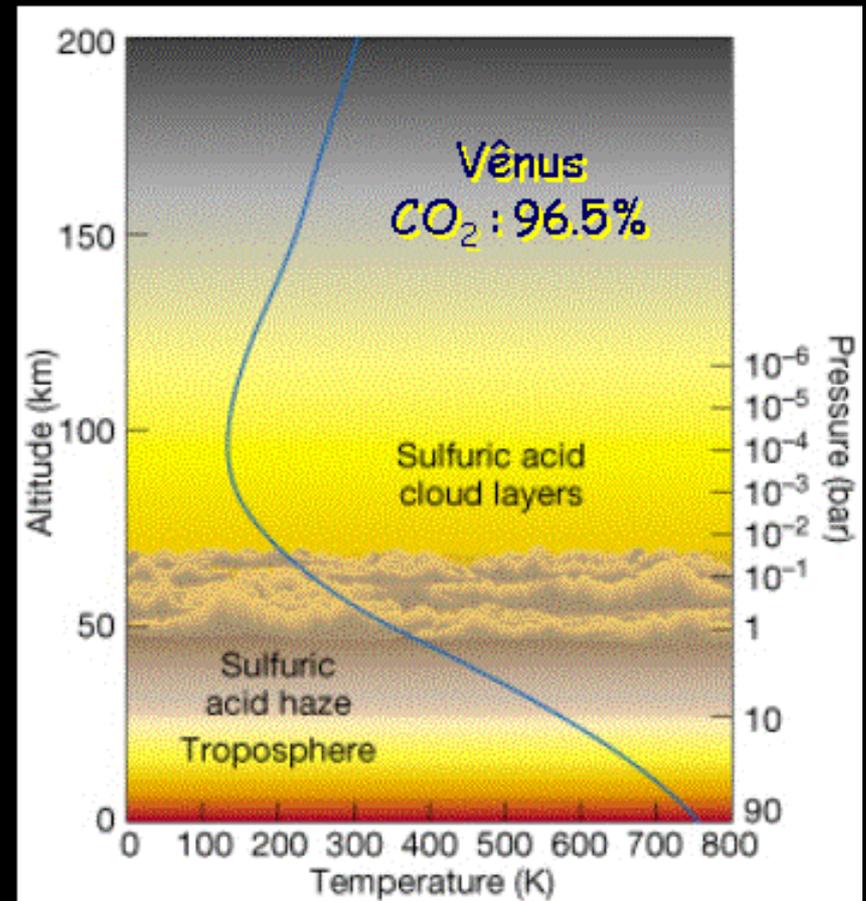
Acima de 200 km

Base de perda atmosférica





$250K - 273K = -23^{\circ}C$



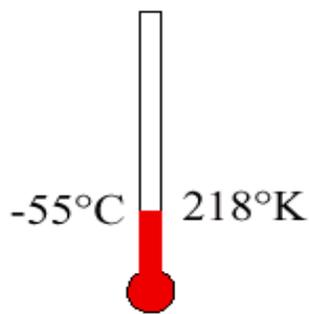
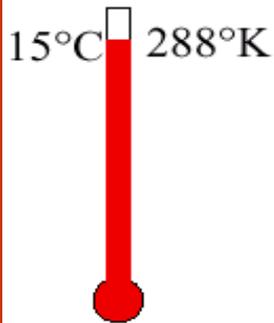
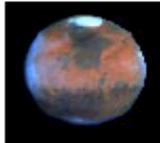
$750K - 273K = 477^{\circ}C$

Temperatura Média

Terra



Marte



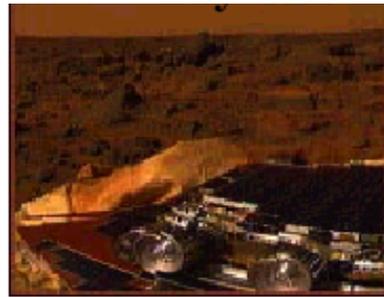
Variação de temperatura:
~ 10° C em 75 cm !



Poeira

- Dureza entre Al e Ni
- Abrasão danifica painéis solares
- Adere aos painéis (0,28%/sol)
- Magnetizada: adere a tudo, induz carga elétrica e produz descargas elétricas nos equipamentos.

Noite ← 60 °C → Dia



- Variação de temperatura com altura ocorre sempre, mas é mais intensa durante o dia
- Expansão e contração decorrente causa grande "stress"
- Circuitos eletrônicos dos robôs são aquecidos



www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/atmosmrm.html

Mars Atmosphere Model

Metric Units

Glenn
Research
Center

For $h > 7000$

$$T = -23.4 - .00222 h$$

$$p = .699 * e^{-.00009 h}$$



For $h < 7000$

$$T = -31 - .000998 h$$

$$p = .699 * e^{-.00009 h}$$

ρ = density (kg/cu m)

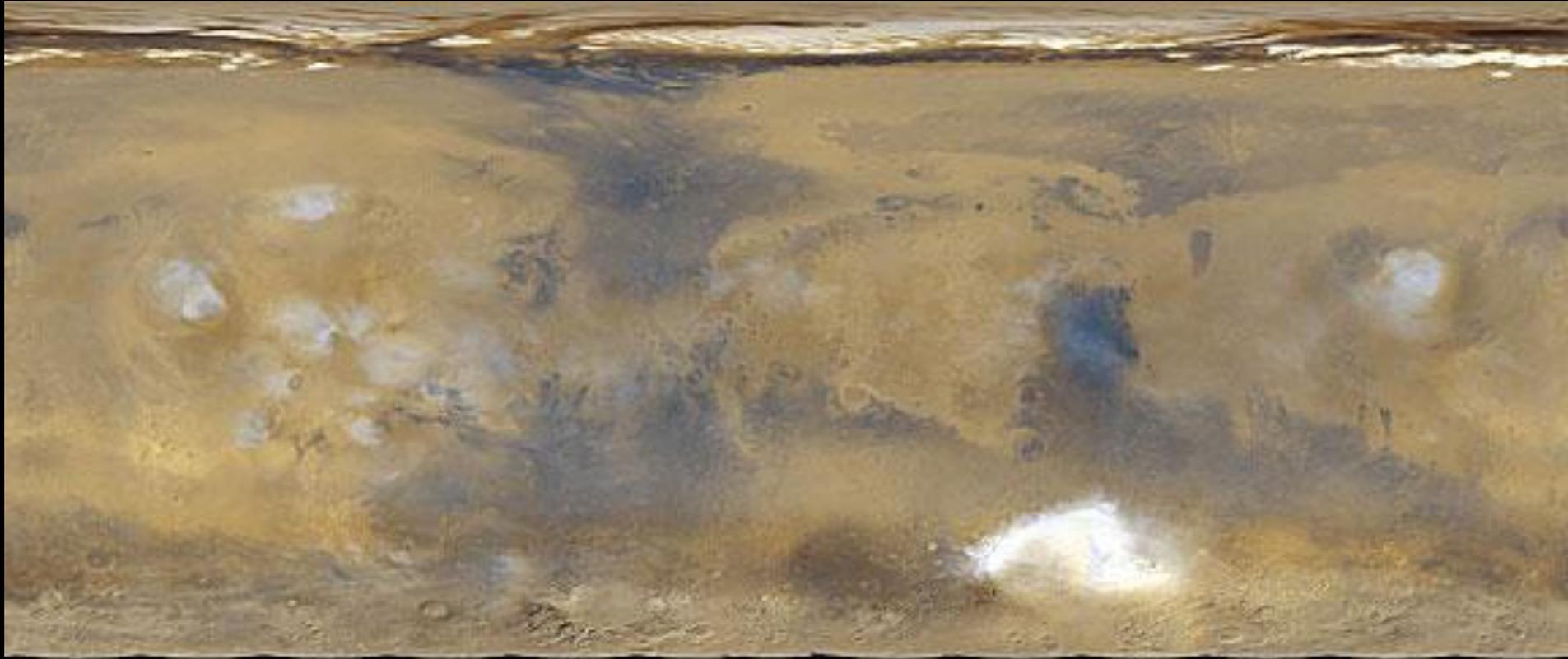
p = pressure (K-Pa)

$$\rho = p / (.1921 * (T + 273.1))$$

T = temperature ($^{\circ}\text{C}$)

h = altitude (m)

Vapor d'água (Nuvens brancas)



Planetas rochosos – quadro comparativo

Mercúrio

Surface pressure: $\sim 10^{-15}$ bar (0.001 picobar)

Average temperature: 440 K (167 C) (590-725 K, sunward side)

Total mass of atmosphere: $< \sim 1000$ kg

Atmospheric composition: 42% Oxygen (O₂), 29% Sodium (Na), 22% Hydrogen (H₂), 6% Helium (He), 0.5% Potassium (K), possible trace amounts of Argon (Ar), Carbon Dioxide (CO₂), Water (H₂O), Nitrogen (N₂), Xenon (Xe), Krypton (Kr), Neon (Ne) (The atmosphere of Mercury is essentially a vacuum.

Compositional values are not well constrained, values from "Mercury", Vilas, Chapman, and Matthews, eds., University of Arizona Press, 1988)

Vênus

Surface pressure: 92 bars

Surface density: ~ 65 kg/m³

Scale height: 15.9 km

Total mass of atmosphere: $\sim 4.8 \times 10^{20}$ kg

Average temperature: 737 K (464 C)

Diurnal temperature range: ~ 0

Wind speeds: 0.3 to 1.0 m/s (surface)

Mean molecular weight: 43.45 g/mole

Atmospheric composition (near surface, by volume):

Major: 96.5% Carbon Dioxide (CO₂), 3.5% Nitrogen (N₂)

Minor (ppm): Sulfur Dioxide (SO₂) - 150; Argon (Ar) - 70; Water (H₂O) - 20; Carbon Monoxide (CO) - 17; Helium (He) - 12; Neon (Ne) - 7

Surface Pressure: Atmospheric pressure at the surface, in bars, millibars (mb = 10^{-3} bar), or picobars (10^{-12} bar). **Surface Density:** Atmospheric density at the surface in kilograms/meters³. **Scale height:** The height interval in which the atmospheric pressure changes by a factor of $e = 2.7183$ **Average temperature:** Mean temperature of the body over the entire surface in Kelvin. **Diurnal temperature range:** Temperature range over an average day in Kelvin. **Wind speeds:** Near surface wind speeds in meters/second **Atmospheric composition:** Relative composition by volume of gasses in the atmosphere. **Mean molecular weight:** Average molecular weight of the atmospheric constituents in grams/mole **Atmospheric composition** (by volume): Relative volume of constituents in the atmosphere, by percentage or ppm (parts per million).

Planetas rochosos – quadro comparativo

Terra

Surface pressure: 1014 mb

Surface density: 1.217 kg/m³

Scale height: 8.5 km

Total mass of atmosphere: 5.1 x 10¹⁸ kg

Total mass of hydrosphere: 1.4 x 10²¹ kg

Average temperature: 288 K (15 C)

Diurnal temperature range: 283 K to 293 K (10 to 20 C)

Wind speeds: 0 to 100 m/s

Mean molecular weight: 28.97 g/mole

Atmospheric composition (by volume, dry air):

Major : 78.084% Nitrogen (N₂), 20.946% Oxygen (O₂),

Minor (ppm): Argon (Ar) - 9340; Carbon Dioxide (CO₂) - 380 Neon (Ne) - 18.18; Helium (He) – 5.24; CH₄ - 1.7 Krypton (Kr) - 1.14; Hydrogen (H₂) - 0.55 Water is highly variable, typically makes up about 1%

Marte

Surface pressure: 6.36 mb at mean radius (variable from 4.0 to 8.7 mb depending on season) [6.9 mb to 9 mb (Viking 1 Lander site)]

Surface density: ~0.020 kg/m³

Scale height: 11.1 km

Total mass of atmosphere: ~2.5 x 10¹⁶ kg

Average temperature: ~210 K (-63 C)

Diurnal temperature range: 184 K to 242 K (-89 to -31 C) (Viking 1 Lander site)

Wind speeds: 2-7 m/s (summer), 5-10 m/s (fall), 17-30 m/s (dust storm) (Viking Lander sites)

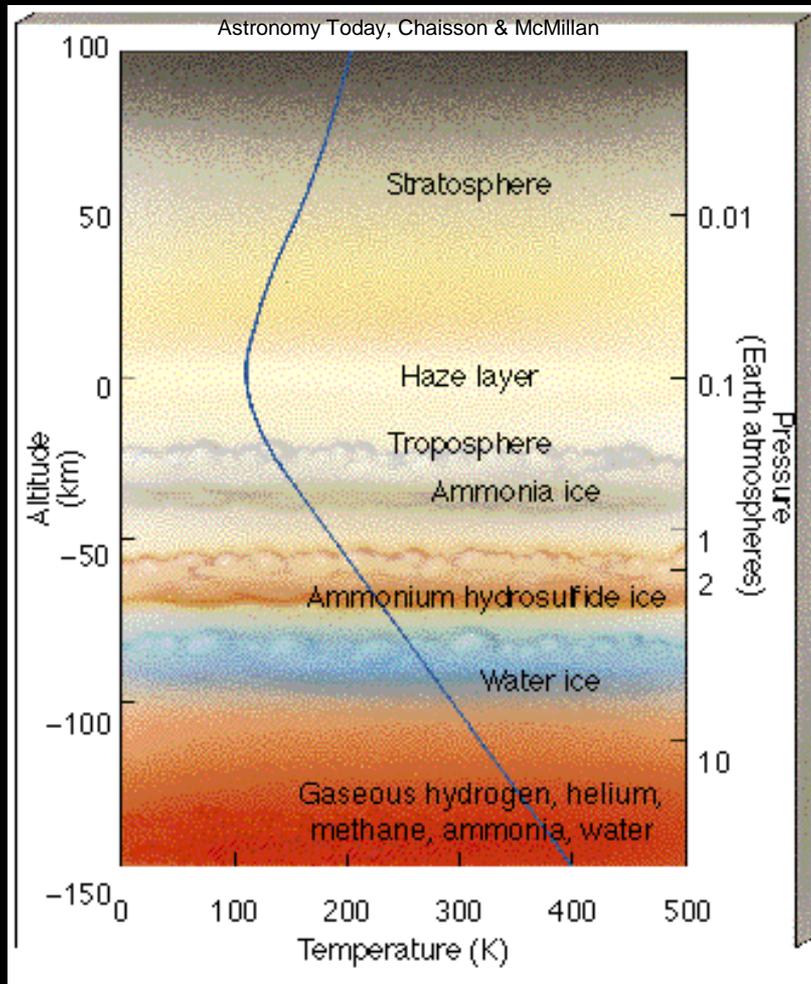
Mean molecular weight: 43.34 g/mole

Atmospheric composition (by volume):

Major : Carbon Dioxide (CO₂) - 95.32% ; Nitrogen (N₂) - 2.7% Argon (Ar) - 1.6%; Oxygen (O₂) - 0.13%; Carbon Monoxide (CO) - 0.08%

Minor (ppm): Water (H₂O) - 210; Nitrogen Oxide (NO) - 100; Neon (Ne) - 2.5; Hydrogen-Deuterium-Oxygen (HDO) - 0.85; Krypton (Kr) - 0.3; Xenon (Xe) - 0.08

$$V_{\text{escape}} = 59,5 \text{ km/s}$$



Composição química predominante (% em volume): H (~86,1), H_e (~13,8), traços de CH₄, NH₃ e vapor de H₂O

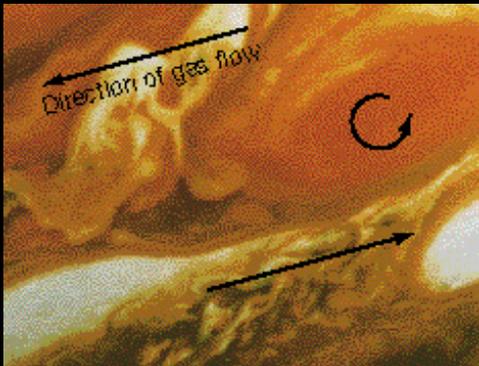
As diversas camadas da atmosfera estão relacionadas às cores e à composição química.

- brancas: topos das nuvens de amônia
- **amarelas**, **vermelhas** e **marrons**: nuvens de gelo de hidrosulfeto de amônia (NH₄HS)
- **azuis**: gelo de água (que não é vista devido à espessa camada atmosférica situada acima).
- As mudanças de cores podem estar associadas tbém às reações químicas
- Sonda Galileu detectou fosfina (PH₃)

Padrões atmosféricos



A **Grande Mancha Vermelha (GMV)** foi observada pioneiramente por Galileu. É uma zona ascendente de alta pressão, girando na direção anti-horária. Está numa região de grande turbulência. A Terra tem o tamanho da mancha branca abaixo dela. A estabilidade da mancha é devida à dinâmica da atmosfera.



A **GMV** está entre zonas de fluxos opostos, daí o sentido de rotação anti-horário.

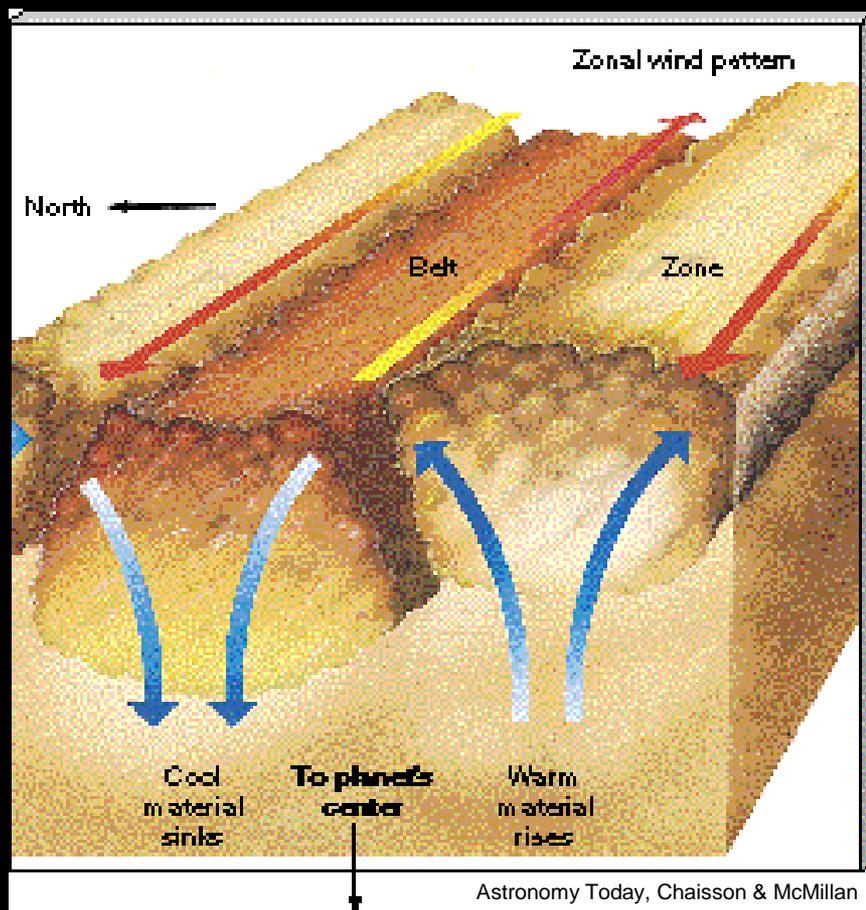


Visto em detalhes o padrão de turbulência é bastante complexo.



- Rotação: observada em 1655 por Jean-Dominique Cassini
- Furacão: área fria, alta pressão, 2-3 vezes maior que a Terra.
- Partes externas giram em sentido anti-horário, em ~6 dias

Padrões atmosféricos



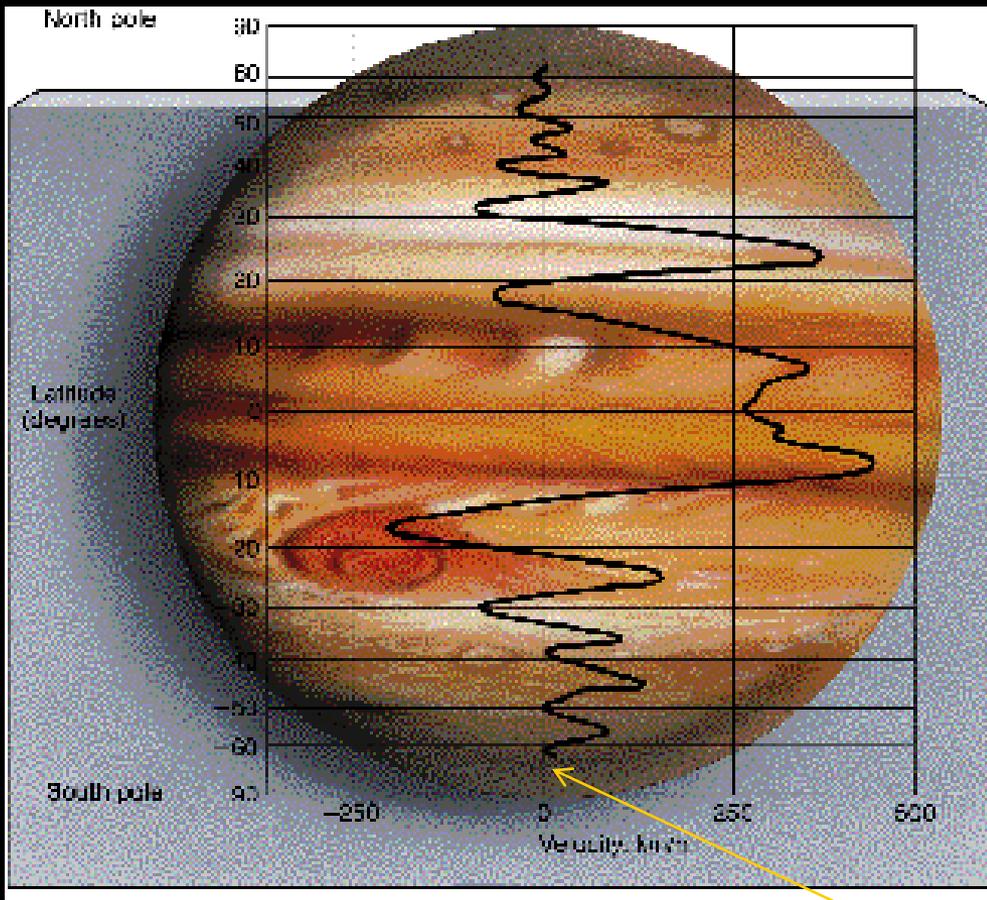
As cores das bandas estão associadas aos movimentos convectivos verticais. Os gases aquecidos ascendentes aparecem como zonas claras, enquanto os gases frios descendentes criam zonas escuras. Na Terra os ventos de superfície tendem a fluir das regiões de alta para baixa pressão.

A rápida rotação de Júpiter induz a circulação de correntes atmosféricas em cinturões.

Como a rotação varia com a latitude (maior no equador e menor nos pólos) os pólos têm padrão atmosférico mais simples.

Circulação atmosférica

Período sideral de rotação: ~9h 50m



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

O gráfico mostra os cinturões de circulação. A rápida rotação de Júpiter provoca a circulação de correntes atmosféricas em cinturões.

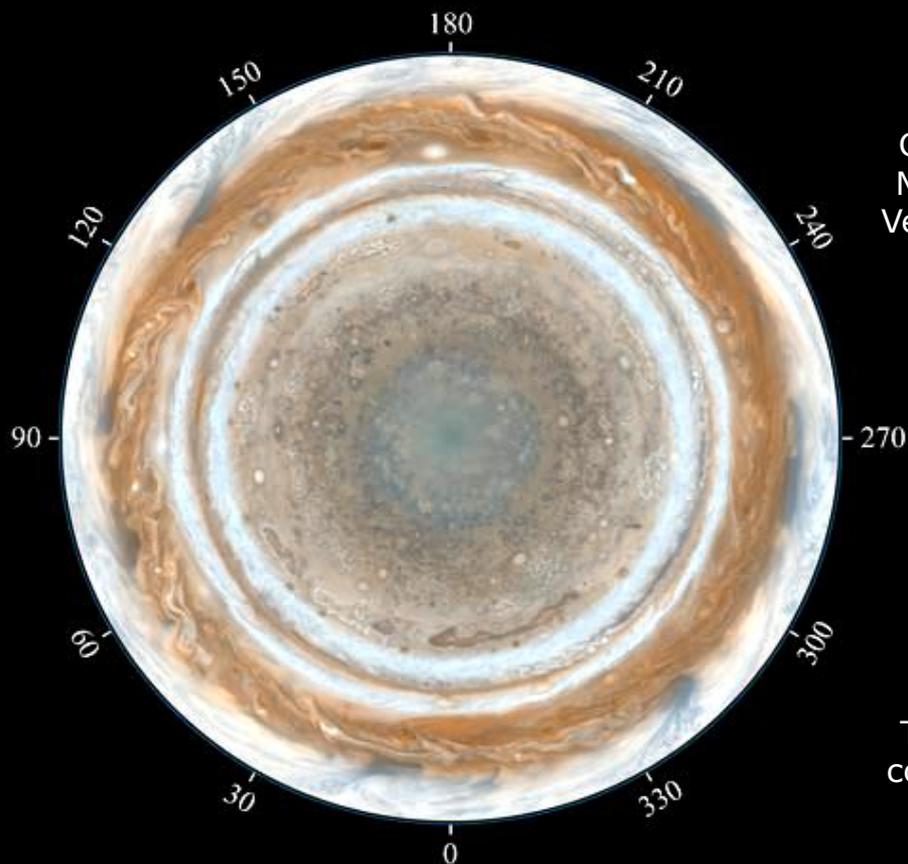
Relativo à velocidade de rotação interna, ~ polar

Planetas gasosos – regiões polares de Júpiter

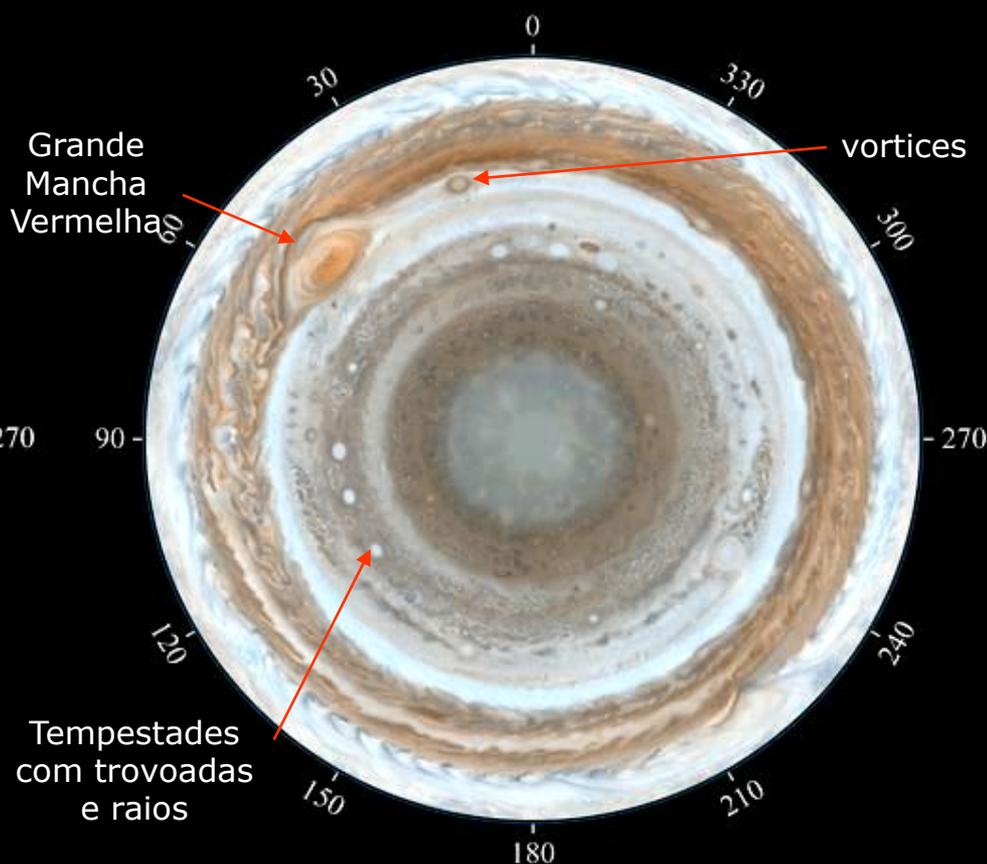
Bandas paralelas (marron-avermelhadas e esbranquiçadas) representam os cinturões de circulação distribuídos em latitudes. Nuvens com aparência ondulada resultam do sicalhamento provocado pelos ventos e turbulência.

Regiões polares aparecem com menos detalhes porque foram observadas lateralmente (maior ângulo) por isso cobrindo espessura maior da atmosfera.

Jupiter North Pole - Dec 2000



Jupiter South Pole - Dec 2000



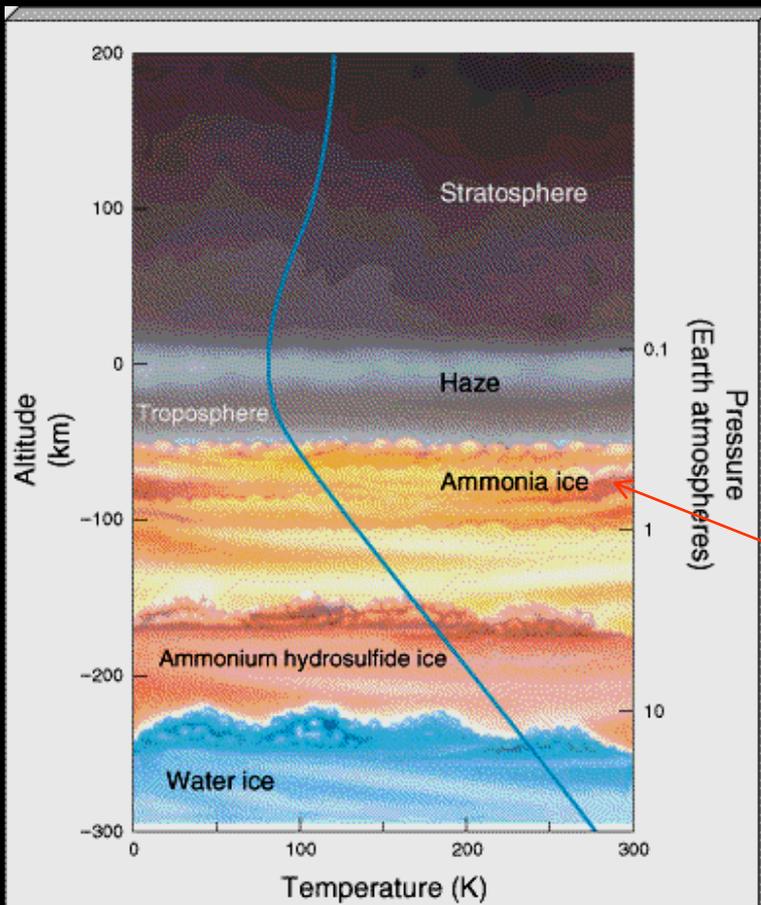
$$V_{\text{escape}} = 35,5 \text{ km/s}$$

Composição química predominante (% em volume): H (~92,4), H_e (~7,4), traços de CH_4 (~0,2), NH_3 (~0,02).

As temperaturas são menores que as de Júpiter; Saturno está mais longe do Sol e sua atmosfera é mais espessa.

Topo das nuvens visíveis. Acima delas há névoa produzida pelo aquecimento solar dos gases da Troposfera, responsável pela falta de nitidez da imagem do planeta.

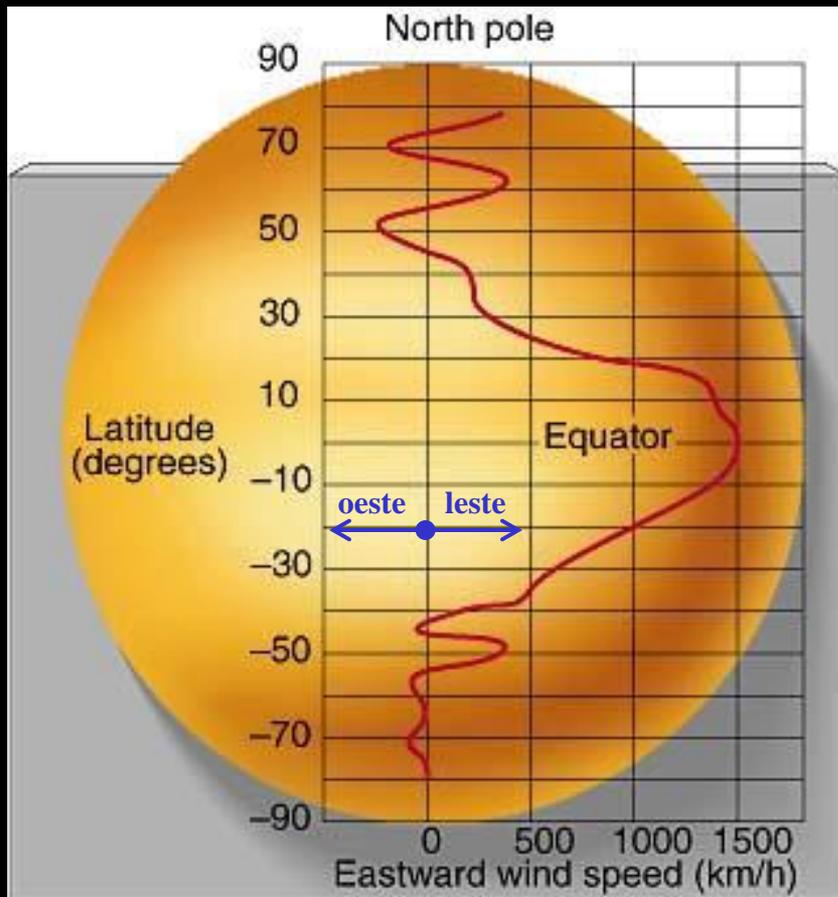
A espessura total das três camadas de nuvens é ~200km, contra os ~80km de Júpiter. A causa é a menor gravidade.



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Circulação atmosférica

Período sideral de rotação: ~10h 34m



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

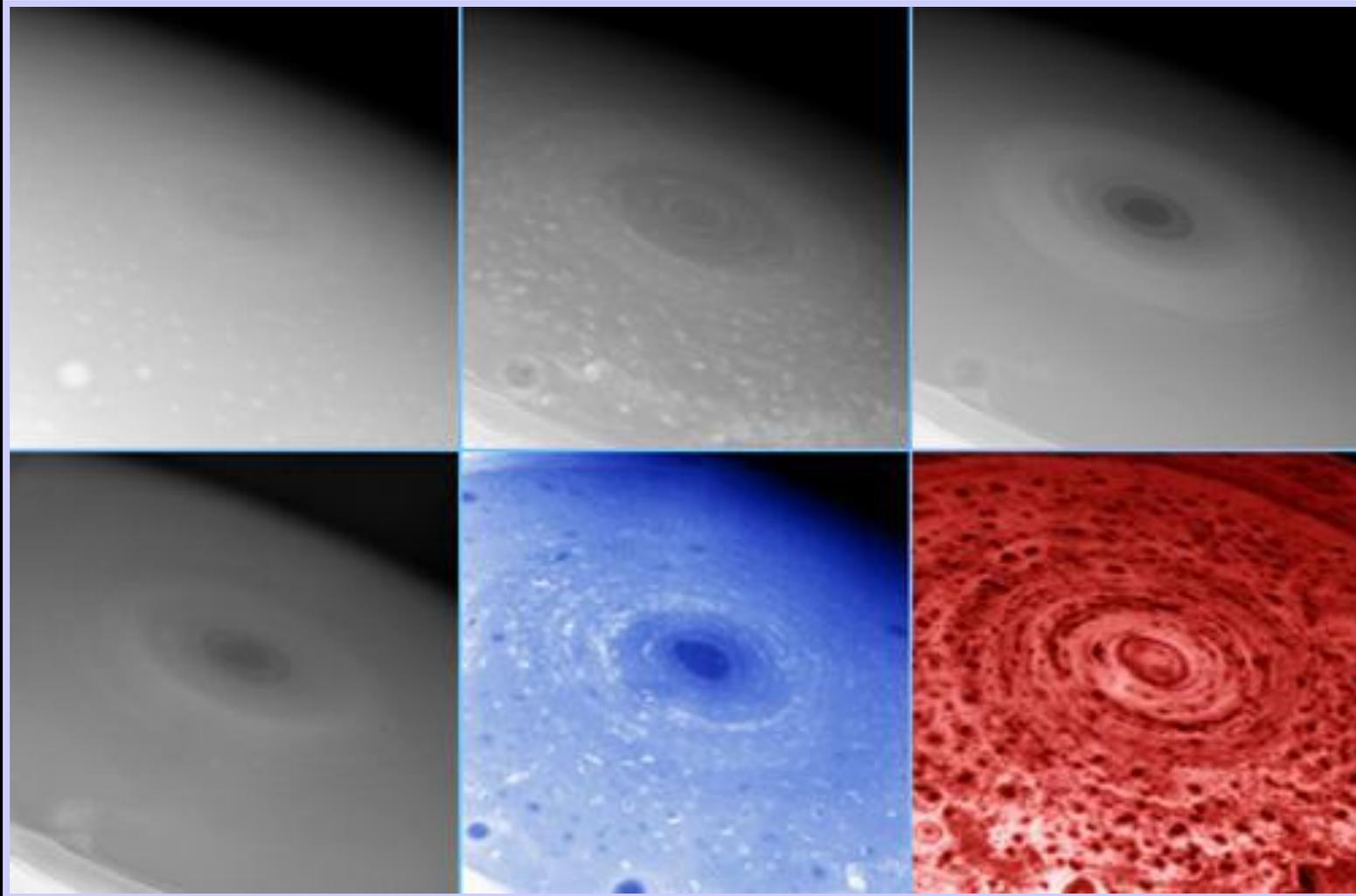
Em Saturno, os ventos alcançam velocidades ainda maiores do que em Júpiter.

Da mesma forma, as bandas parecem estar associadas às variações de velocidade dos ventos.

Ventos à oeste, somente para latitudes superiores a 40°.

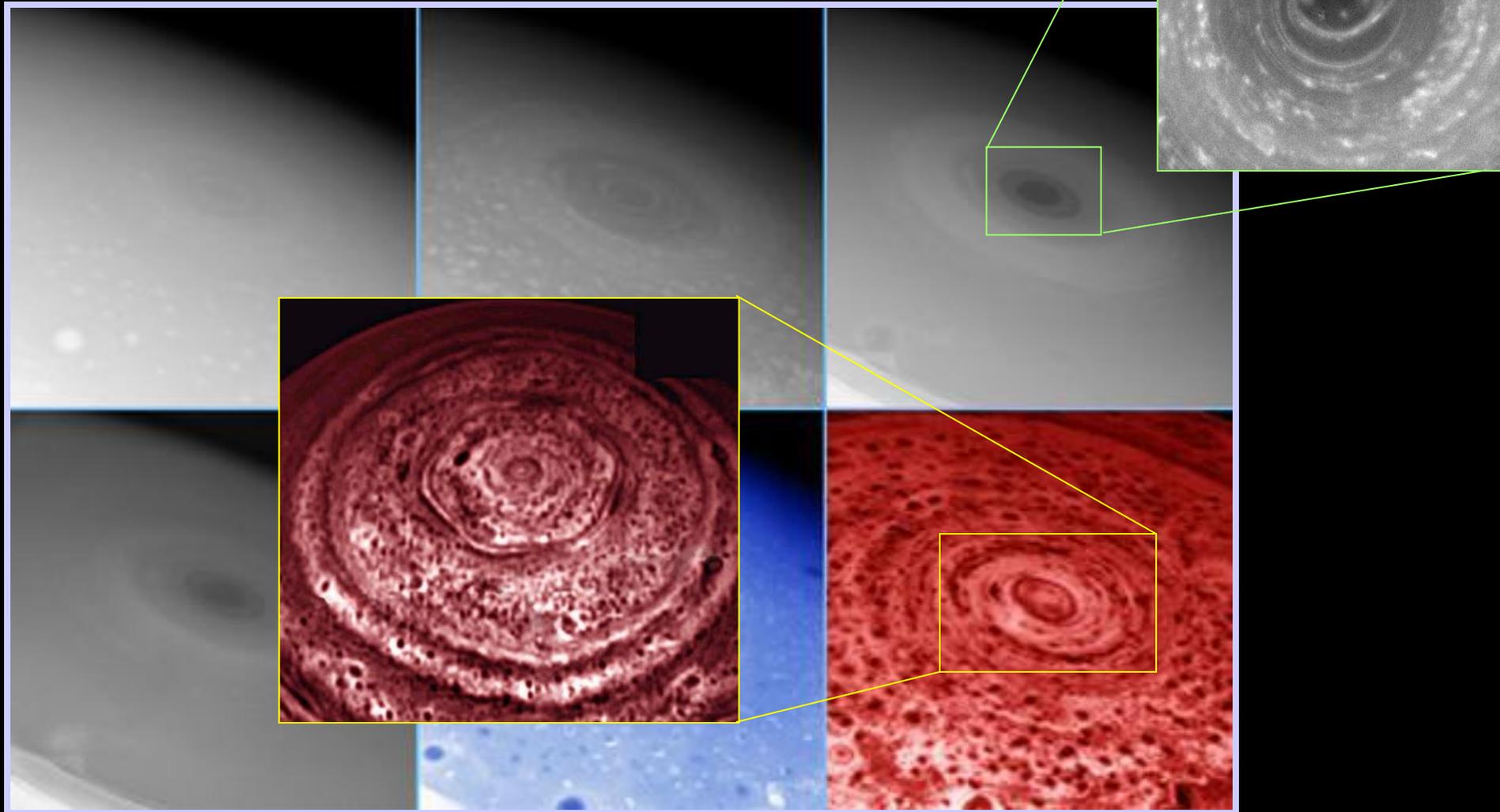
Ainda não se conhece as razões das diferenças de padrões observados em Júpiter e Saturno.

Planetas gasosos – região poolar de Saturno

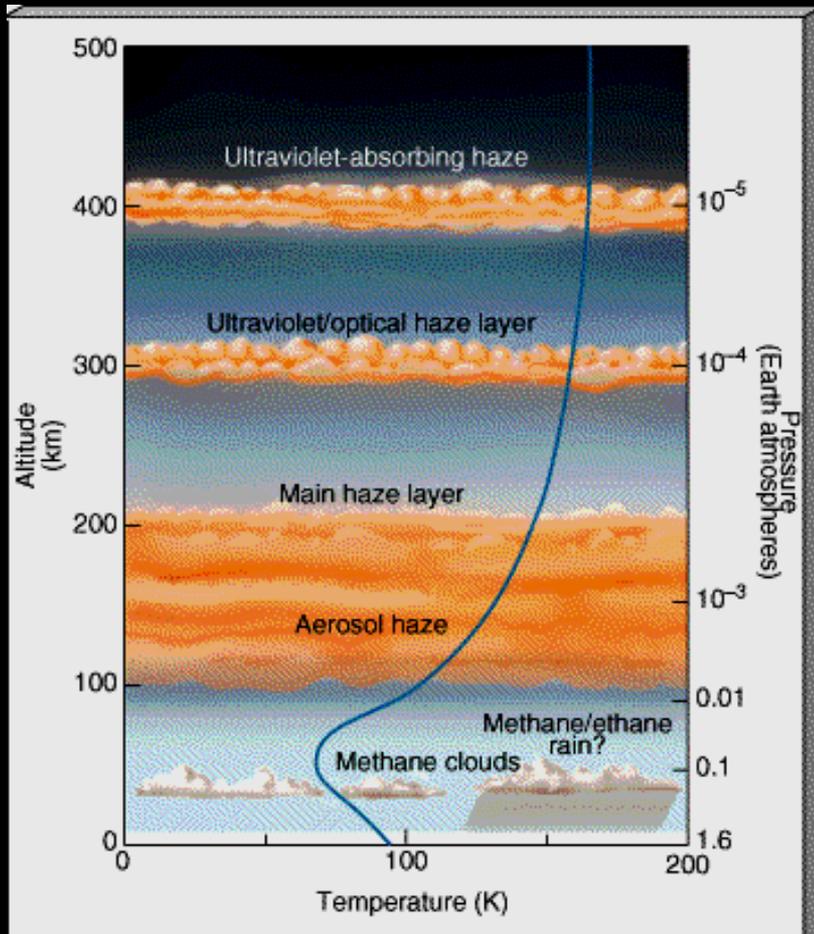


Planetas gasosos – região poolar de Saturno

Complexo hexagonal estende-se pela atmosfera abaixo, cerca de 75 km, com pressão mínima de 3 atm.



Composição química predominante, em percentual: N (~90), Ar (~10) e traços de CH_4 .



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Mais densa e espessa que a terrestre, a atmosfera deste satélite de Saturno é única entre os satélites.

Uma química complexa que mantém níveis constantes de hidrogênio, etano, propano e monóxido de carbono.

Sonda Cassini e Huygens mostram oceanos de hidrocarbonetos, especialmente etano, e vales congelados contendo vários tipos de hidrocarbonetos.

Composição química predominante, em percentual: H (~84), He (~14) e CH₄ (~2 p/ Urano, e ~3 p/ Netuno). Praticamente não há NH₃.

A amônia gasosa se solidifica a 70K (temperatura maior que as encontradas em Urano e Netuno) e as linhas espectrais desaparecem. Por isso a razão NH₃ / CH₄ observada nos planetas gasosos diminui quando a distância heliocêntrica aumenta.

O metano absorve a luz vermelha e reflete a azul, por isso estes planetas apresentam mais detalhes nas cores azul e verde. Mais metano implica em cor mais azulada.

Urano não apresenta fonte interna de energia, como Júpiter, Saturno e Netuno. As nuvens atmosféricas de Urano apresentam ventos de 200-500 km/h.

As névoas existentes nas Estratosferas de Netuno e Urano impedem a observação direta dos padrões atmosféricos que estão abaixo, por isso eles parecem menos estruturados que Júpiter e Saturno.

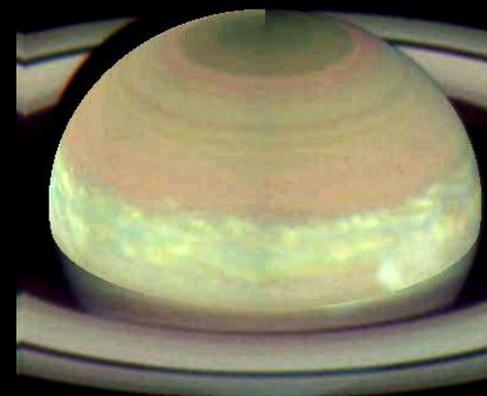
Atmosferas planetárias

Circulação e Manchas

Júpiter



Saturno



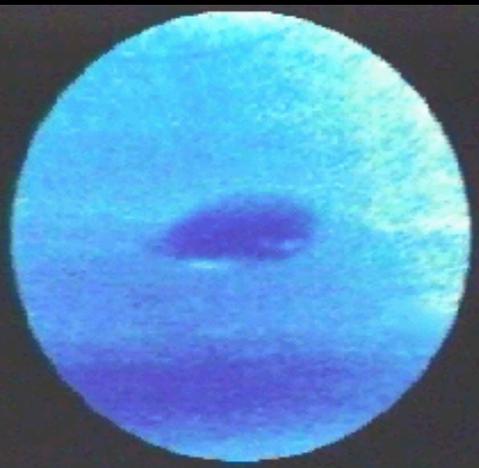
Aug 1
94

f

Urano



Netuno

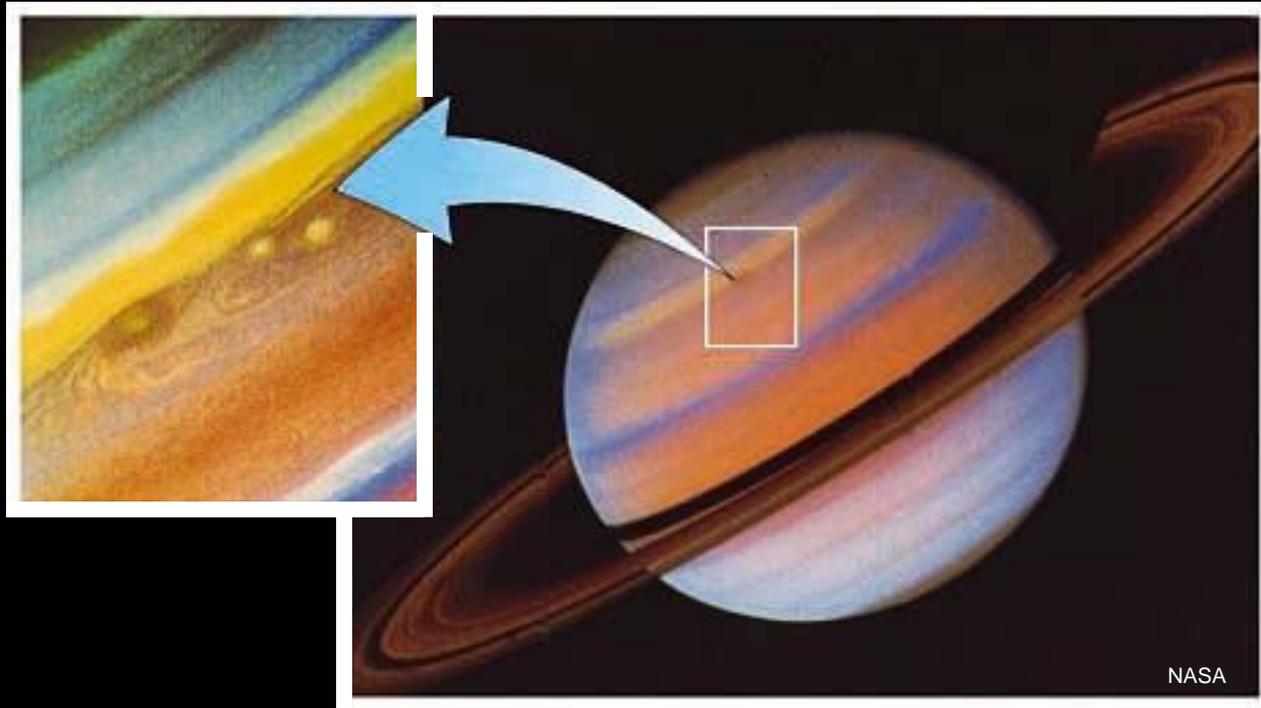


Anéis de Saturno



Atmosferas planetárias

Circulação e Manchas

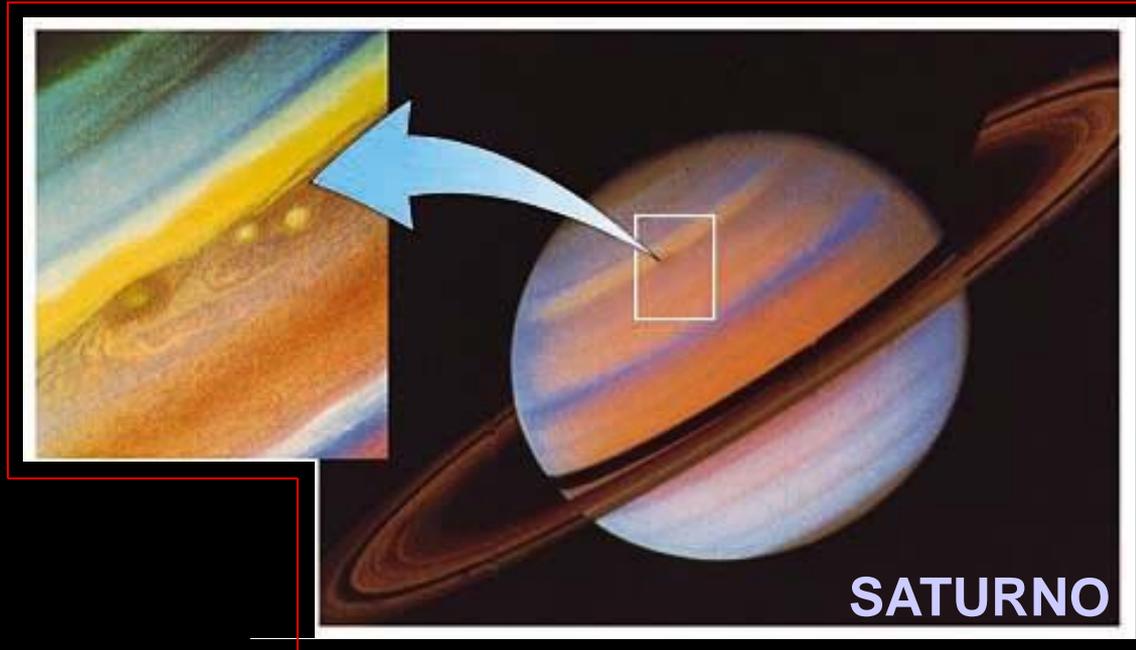
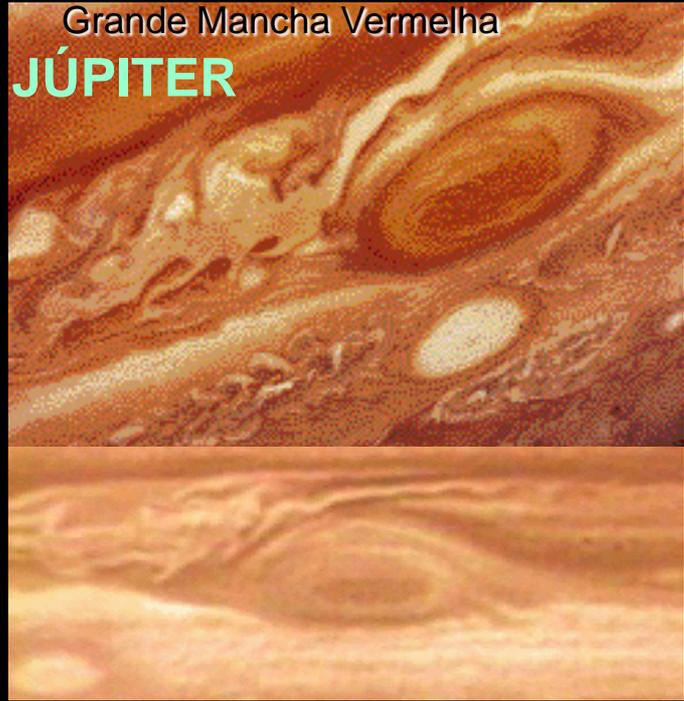


Em setembro de 1990 surgiu uma mancha branca no hemisfério sul que, aos poucos, se transformou numa banda de nuvens na altura do equador.

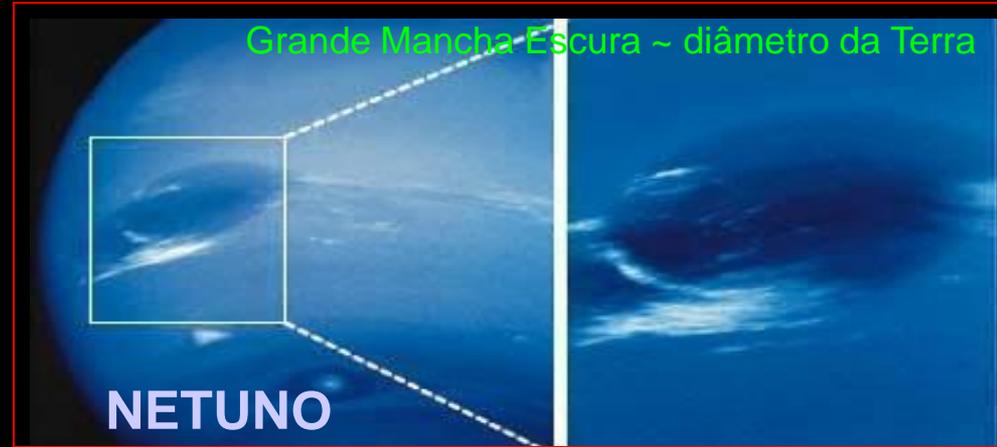
Atmosferas planetárias

Circulação e Manchas

Imagens da NASA



- Rotação: observada em 1655 por Jean-Dominique Cassini
- Furacão: área fria, alta pressão, 2-3 vezes maior que a Terra.
- Partes externas giram em sentido anti-horário, em ~6 dias



Planetas gasosos – quadro comparativo

Júpiter

Surface Pressure: >>1000 bars

Temperature at 1 bar: 165 K (-108 C)

Temperature at 0.1 bar: 112 K (-161 C)

Density at 1 bar: 0.16 kg/m³

Wind speeds Up to 150 m/s (<30 degrees latitude) Up to 40 m/s (>30 degrees latitude)

Scale height: 27 km

Mean molecular weight: 2.22 g/mole

Atmospheric composition (by volume, uncertainty in parentheses)

Major: Molecular hydrogen (H₂) - 89.8% (2.0%); Helium (He) - 10.2% (2.0%)

Minor (ppm): Methane (CH₄) - 3000 (1000); Ammonia (NH₃) - 260 (40); Hydrogen Deuteride (HD) - 28 (10); Ethane (C₂H₆) - 5.8 (1.5); Water (H₂O) - 4 (varies with pressure) Aerosols: Ammonia ice, water ice, ammonia hydrosulfide

Saturno

Surface Pressure: >>1000 bars

Temperature at 1 bar: 134 K (-139 C)

Temperature at 0.1 bar: 84 K (-189 C)

Density at 1 bar: 0.19 kg/m³

Wind speeds Up to 400 m/s (<30 degrees latitude) Up to 150 m/s (>30 degrees latitude)

Scale height: 59.5 km

Mean molecular weight: 2.07 g/mole

Atmospheric composition (by volume, uncertainty in parentheses)

Major: Molecular hydrogen (H₂) - 96.3% (2.4%); Helium (He) - 3.25% (2.4%)

Minor (ppm): Methane (CH₄) - 4500 (2000); Ammonia (NH₃) - 125 (75); Hydrogen Deuteride (HD) - 110 (58); Ethane (C₂H₆) - 7 (1.5) Aerosols: Ammonia ice, water ice, ammonia hydrosulfide

Planetas gasosos – quadro comparativo

Urano

Surface Pressure: >>1000 bars

Temperature at 1 bar: 76 K (-197 C)

Temperature at 0.1 bar: 53 K (-220 C)

Density at 1 bar: 0.42 kg/m³

Wind speeds: 0-200 m/s

Scale height: 27.7 km Mean molecular weight: 2.64 g/mole

Atmospheric composition (by volume, uncertainty in parentheses)

Major: Molecular hydrogen (H₂) - 82.5% (3.3%); Helium (He) - 15.2% (3.3%) Methane (CH₄) - 2.3%

Minor (ppm): Hydrogen Deuteride (HD) - 148 Aerosols: Ammonia ice, water ice, ammonia hydrosulfide, methane ice(?)

Netuno

Surface Pressure: >>1000 bars

Temperature at 1 bar: 72 K (-201 C)

Temperature at 0.1 bar: 55 K (-218 C)

Density at 1 bar: 0.45 kg/m³

Wind speeds: 0-200 m/s

Scale height: 19.1 - 20.3 km Mean molecular weight: 2.53 - 2.69 g/mole

Atmospheric composition (by volume, uncertainty in parentheses)

Major: Molecular hydrogen (H₂) - 80.0% (3.2%); Helium (He) - 19.0% (3.2%); Methane (CH₄) 1.5% (0.5%)

Minor (ppm): Hydrogen Deuteride (HD) - 192; Ethane (C₂H₆) - 1.5 Aerosols: Ammonia ice, water ice, ammonia hydrosulfide, methane ice(?)