Mini-Curso

A Ciência das Mudanças Climáticas Globais

Prof. Renato Ramos da Silva
Coordenador do curso de Graduação em Meteorologia da UFSC

14ª SEPEX - UFSC
22 de Outubro de 2015

Minicurso: A Ciência das Mudanças Climáticas Globais.

1. **Introdução**
   - **Sistema climático**
   - **Radiação, circulação, fenômenos meteorológicos, nuvens, chuva, ...**
2. **Mudanças Climáticas**
3. **Modelos Climáticos**
4. **Aplicações dos Modelos (previsões e cenários)**

Atmosfera e Ventos.
Dinâmica e Termodinâmica da Atmosfera.

Oque produz os ventos?

Velocidade = Deslocamento / Tempo

Massa * Aceleração = Força resultante

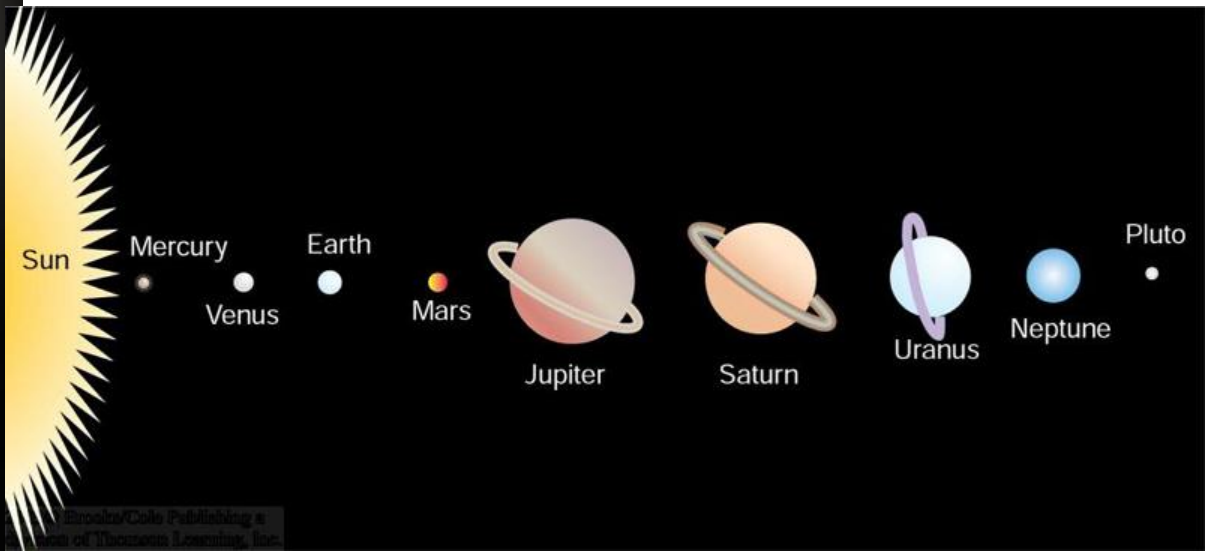
Força resultante = Pressão atmosférica, atrito dos ventos, rotação da Terra e Turbulência

Ventos em tempo real

http://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/850hPa/orthographic=311.45,-11.42,426

Planeta Terra.

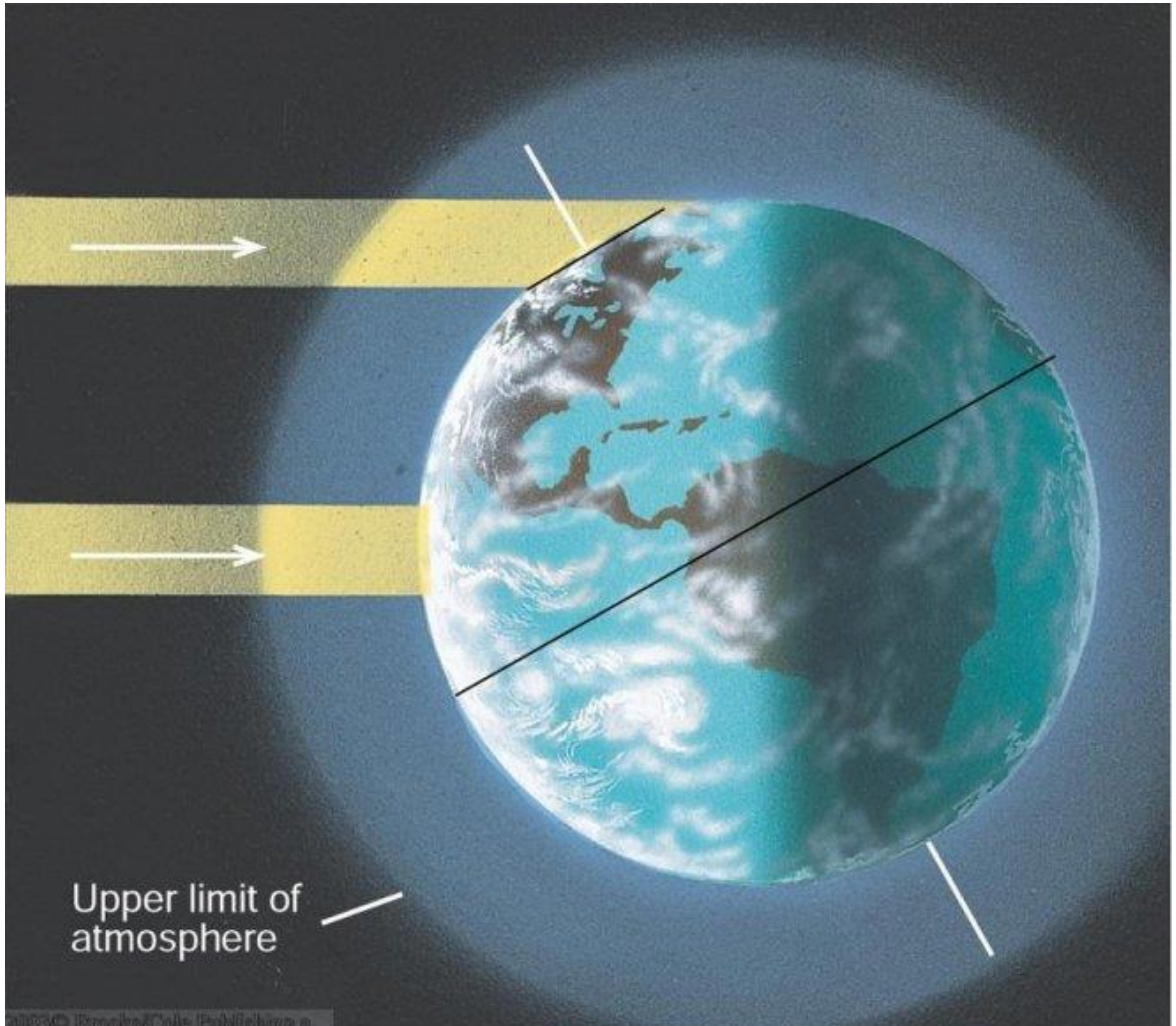
Nosso planeta possui uma atmosfera composta de vários gases que interagem com a radiação solar produzindo importantes processos que permitem a presença de seres vivos.



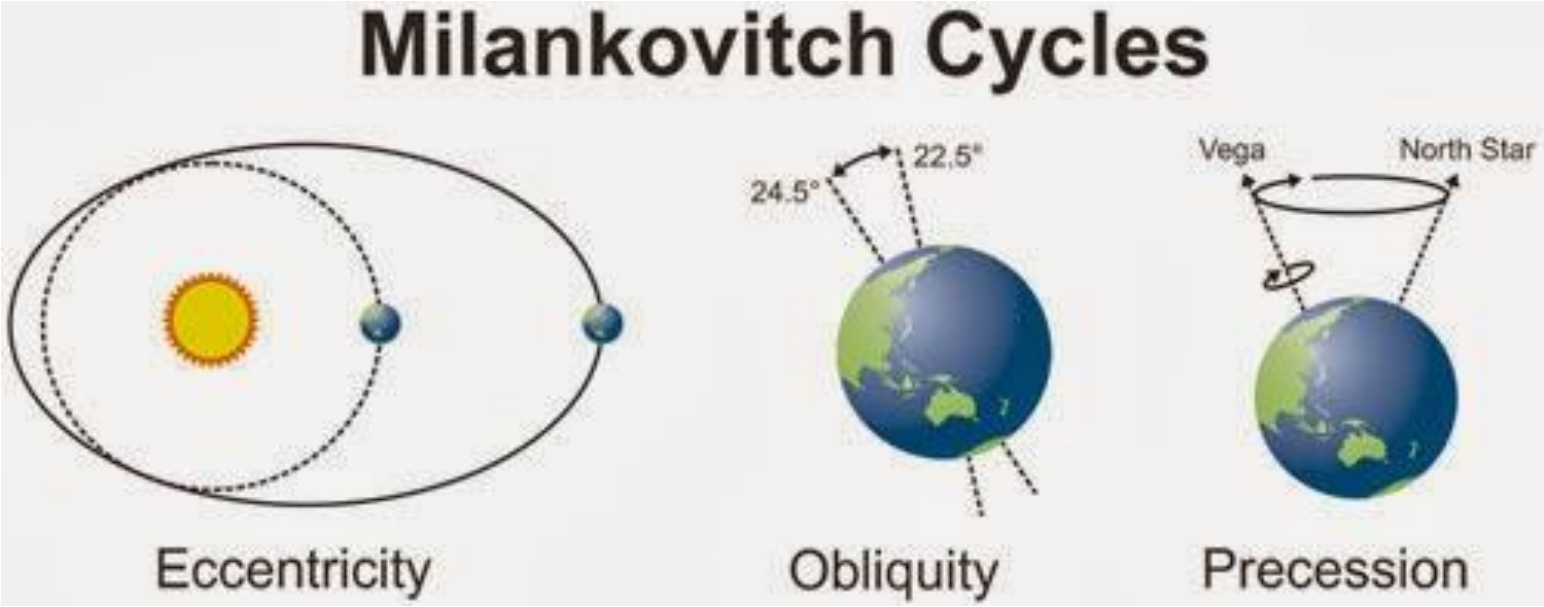
Temperatura

- A radiação que chega á superfície nas latitudes altas passa por uma atmosfera muito mais **espessa**, e portanto tem grande chance de ser espalhada, refletida ou absorvida por essa atmosfera.
- Durante o verão ocorre maior formação de **nuvens** que refletem parte da radiação.

Grande parte da radiação que chega á superfície é **refletida** por gelo e neve e também usada para **derreter** o solo congelado, portanto as regiões polares mantem temperaturas bem baixas.



Teoria de Milankovitch (Astrônomo e Matemático Sérvio), as eras glaciais e as mudanças nas estações das estações do ano.



Excentricidade da órbita elíptica: 100 mil anos

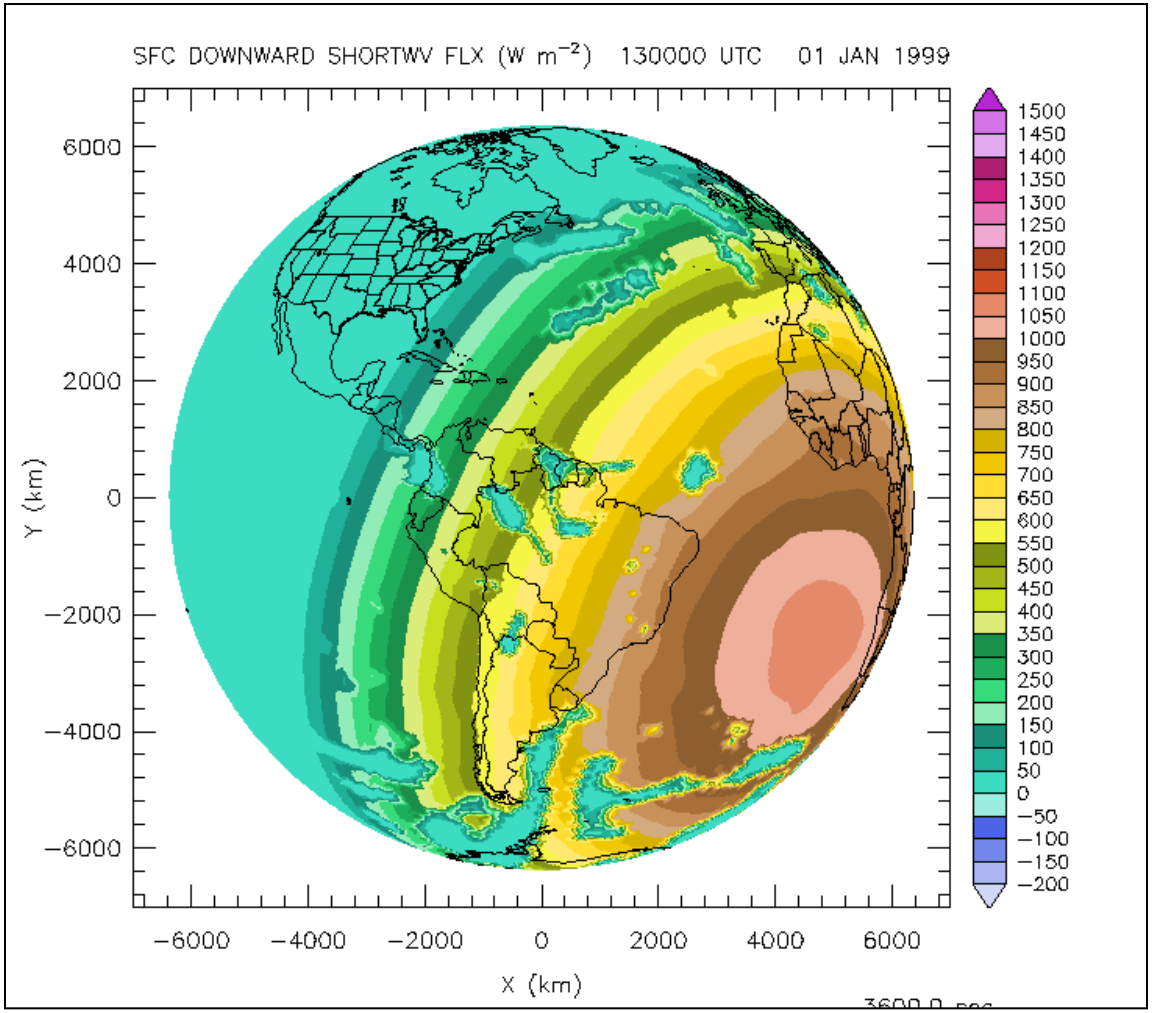
Variações periódicas da inclinação: 41 mil anos

Precessão do eixo de rotação: 23 mil anos

Modelo OLAM = Radiação Solar Incidente na superfície. Dia 01 de Janeiro de 1999.

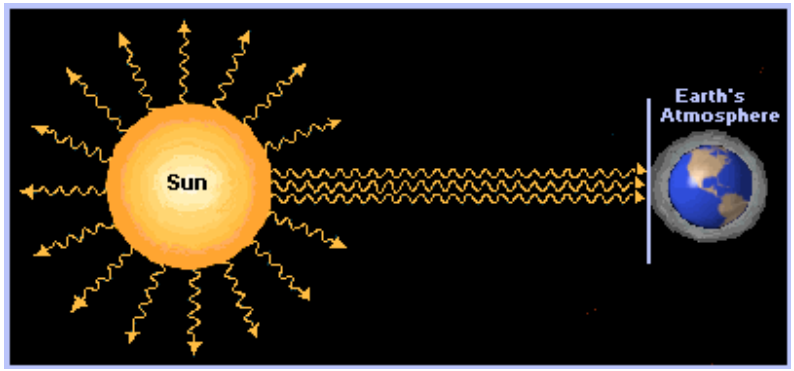
1.Revisão =
Radiação Solar: Variações diurnas, sazonais, variações milenares.

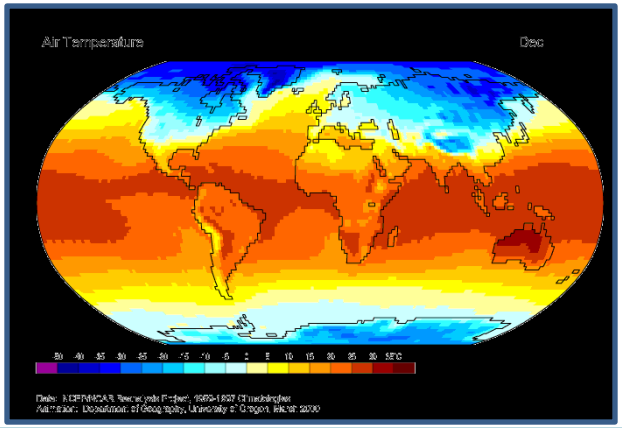
Nuvens, gases e aerossóis.

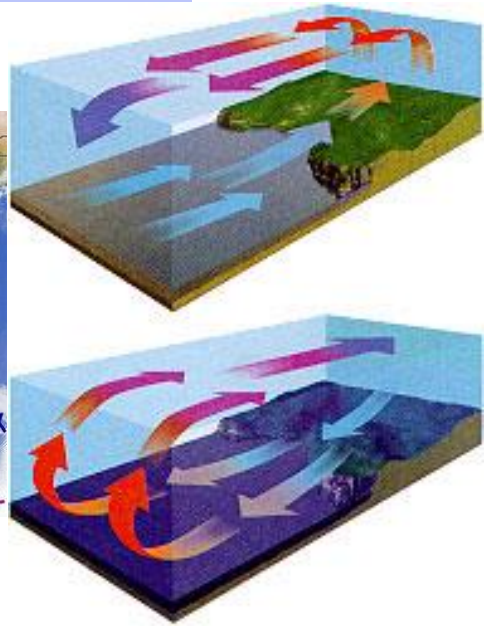


Ramos da Silva et al., RBMET, 2009.

Energia







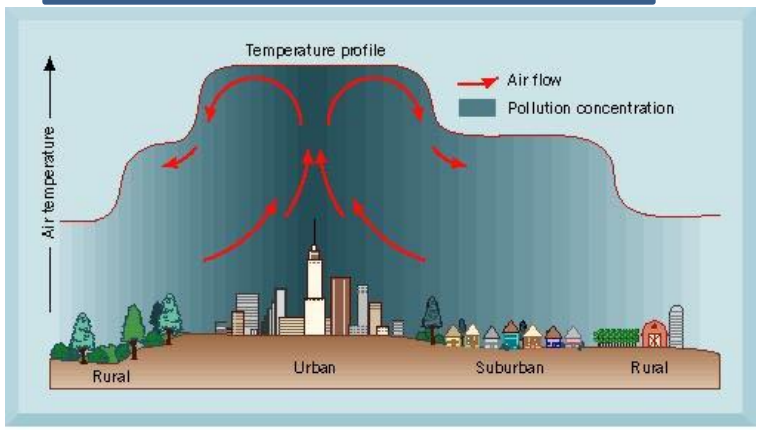


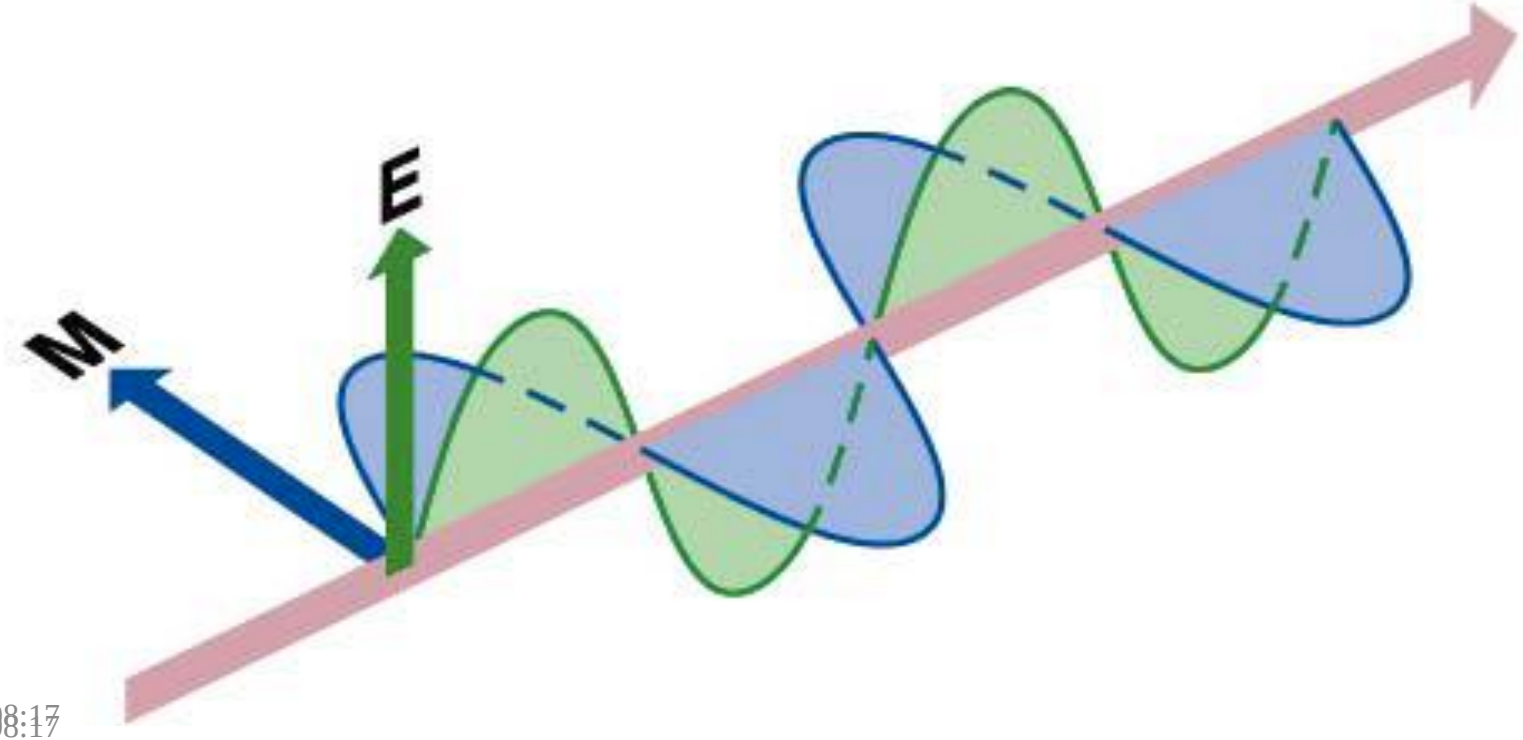
FIGURE 6.21
A cumulonimbus cloud. Strong upper-level winds blowing from right to left produce a well-defined anvil. Sunlight scattered by falling ice crystals produces the white (bright) area beneath

2. Radiação Eletromagnética - características

- **as ondas de radiação (<u>ondas eletromagnéticas</u>)**

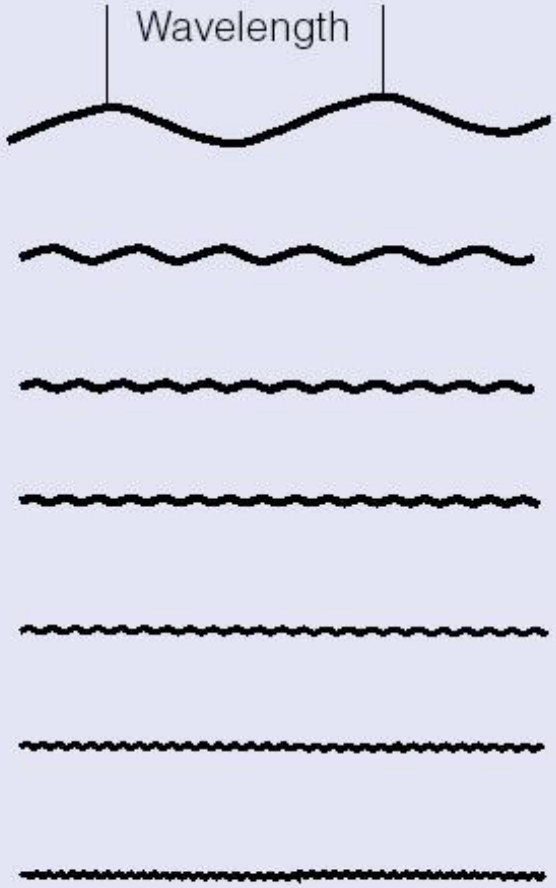
  são "campos" elétricos (E) e magnéticos (M)

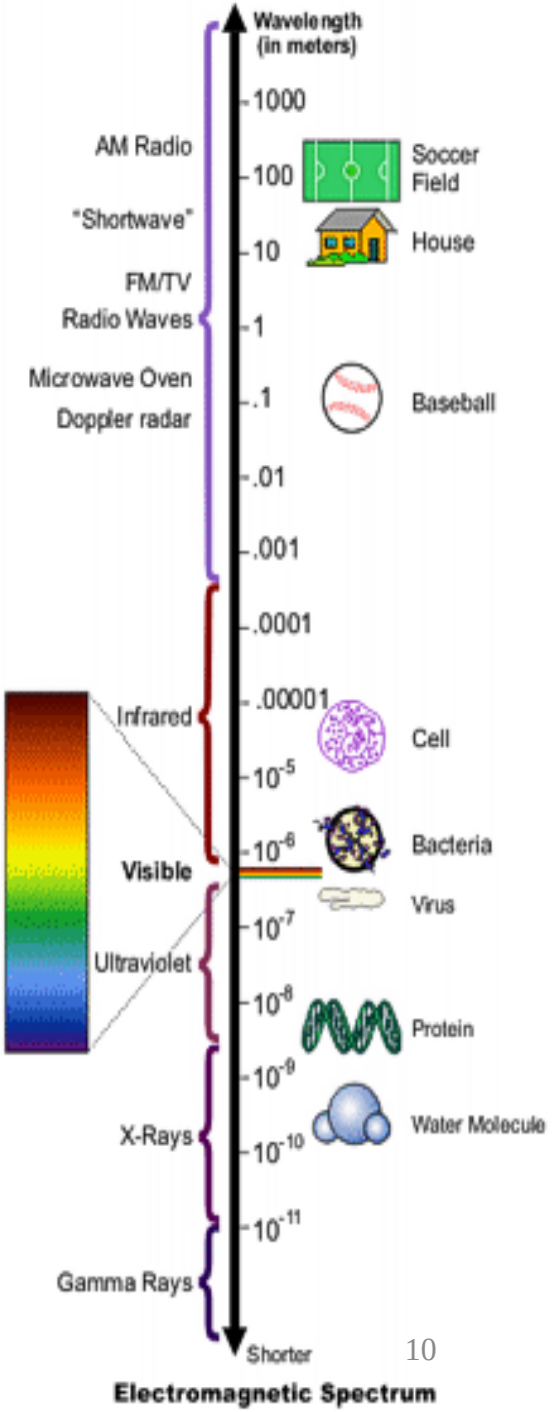
- se movendo na "velocidade da luz"
- se propagando em todas as direções em linha reta



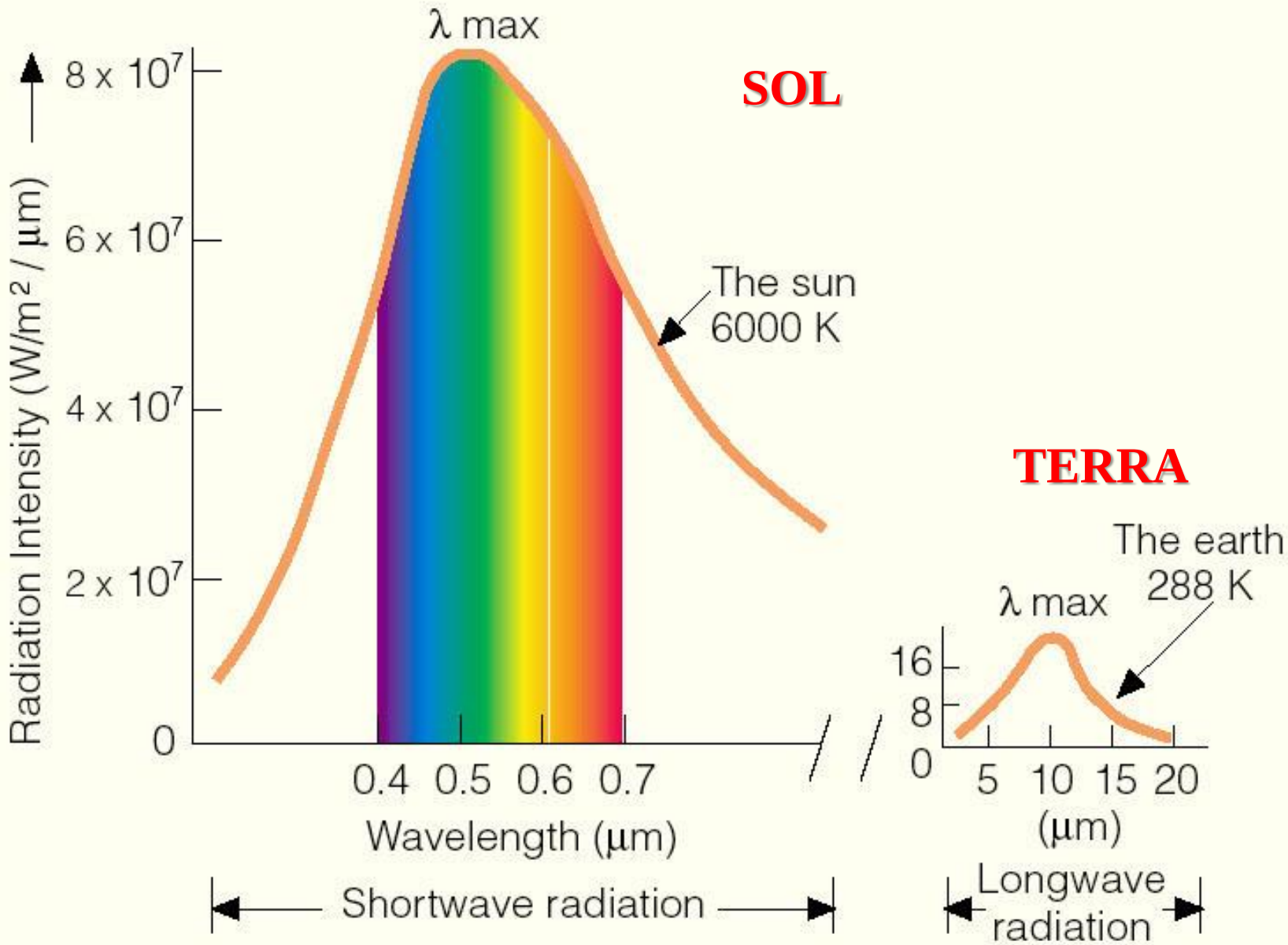
TIPOS DE Radiação Eletromagnética

Tipos de Radiação	RELATIVE WAVELENGTH	Comprimento de onda (λ) m
AM radio waves		100
Television waves		1
Microwaves		10^{-3}
Infrared waves		10^{-6}
Visible light		5×10^{-7}
Ultraviolet waves		10^{-7}
X rays		10^{-9}



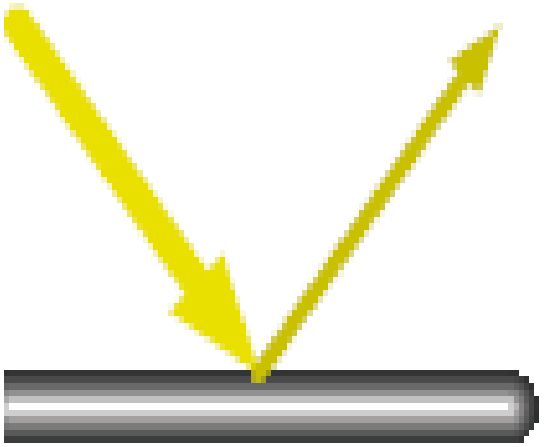


© 2005 Thomson - Brooks/Cole



© 2005 Thomson - Brooks/Cole

- **Reflexão**: redirecionamento da radiação pela



Reflexão

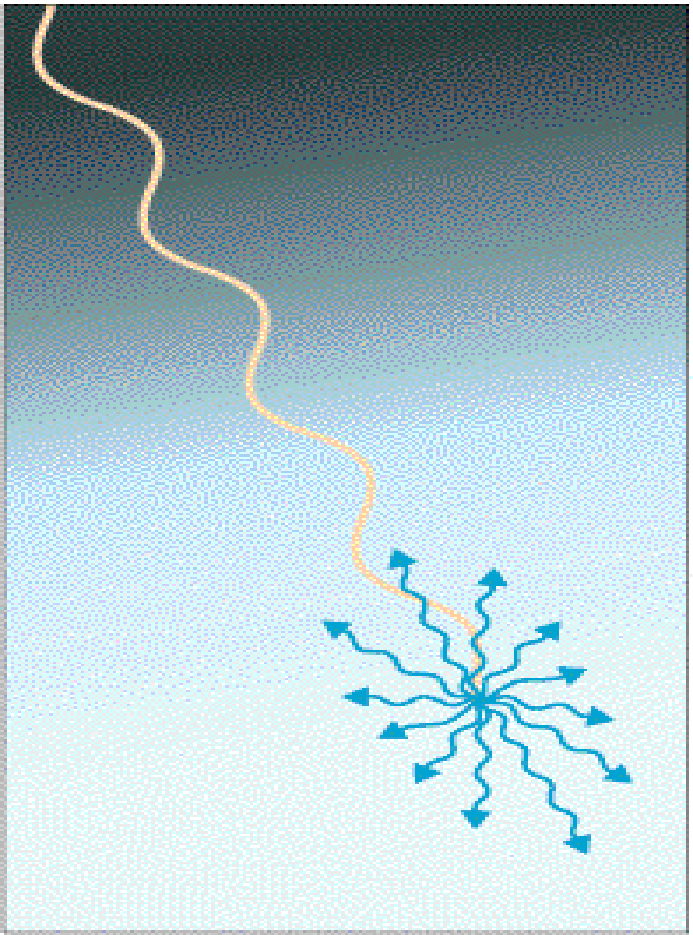
Albedo = Energia solar refletida/incidente.

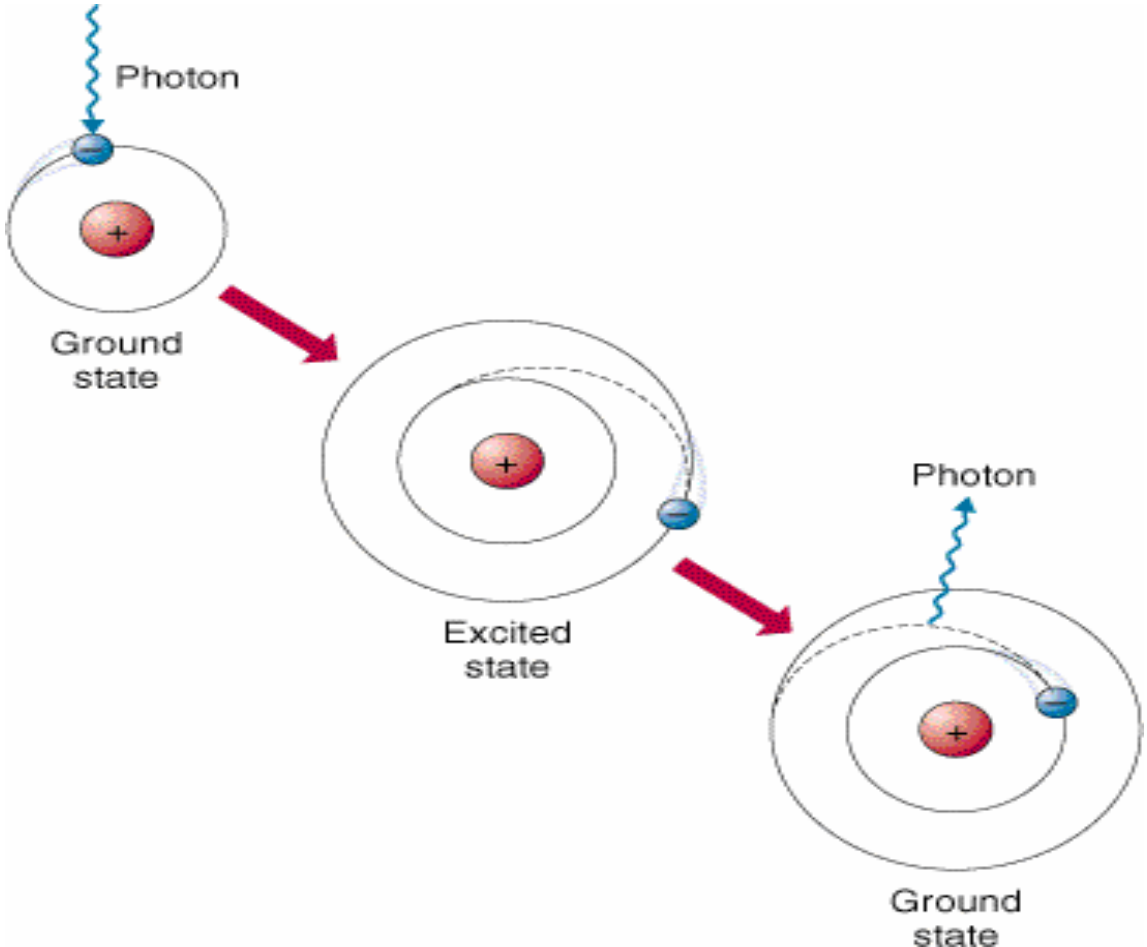
Albedos Típicos de várias superfícies

Superfície	%
Abacaxi	15
Algodão	21
Feijão	27
Neve nova	75 a 95
Nuvens (profundas)	60 a 90
Nuvens (finas)	30 a 50
Areia	15 a 45
Solo úmido	05 a 15
Campo de grama	10 a 30
Água profunda	04 a 08
Floresta Tropical	13
Pastagem Tropical	18

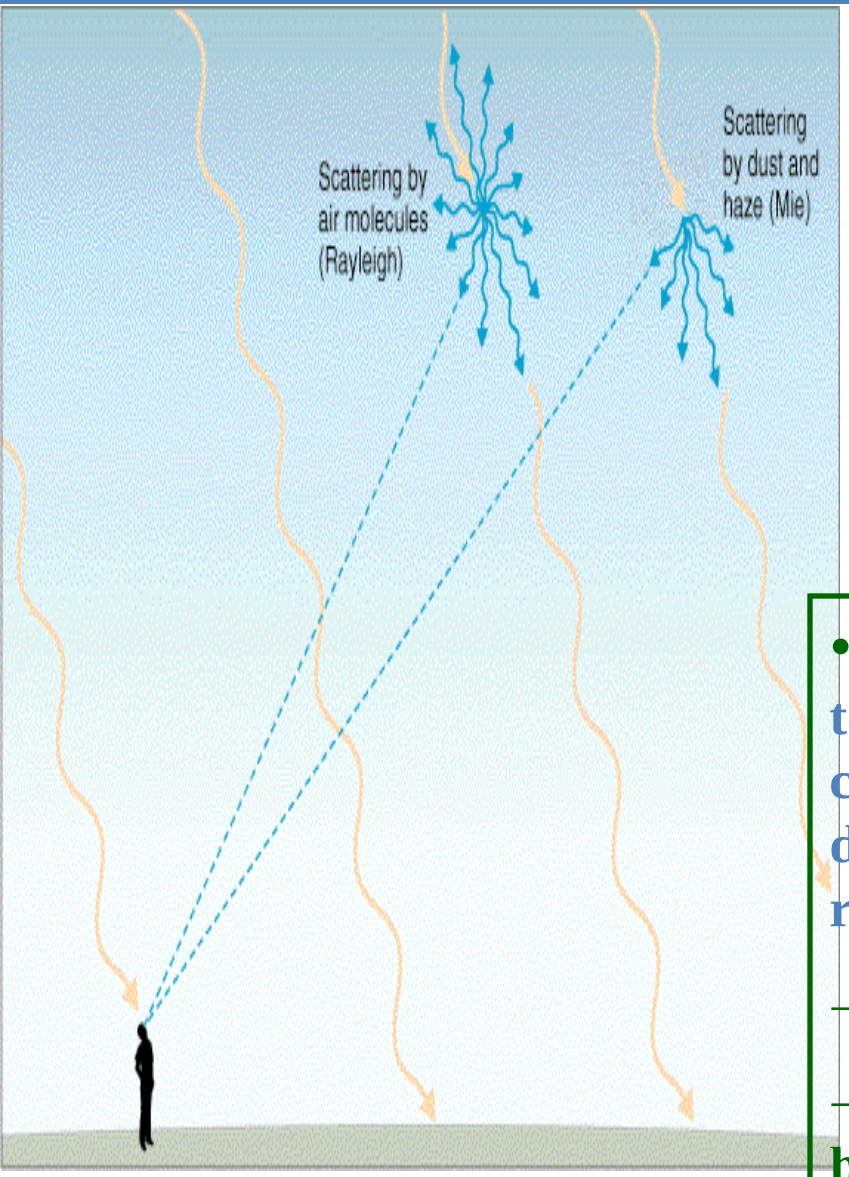
Espalhamento da Radiação

- **Espalhamento**: por moléculas de gás ou por pequenas partículas ou gotículas





CÉU azul e NUVENS brancas : Espalhamento Rayleigh e Espalhamento Mie



- **MOLÉCULAS DO AR tendem a espalhar mais o comprimentos de ondas mais curtos, e em todas as direções→ lado mais "azul" do espectro visível**

→ a radiação difusa (do céu) parece "azul"

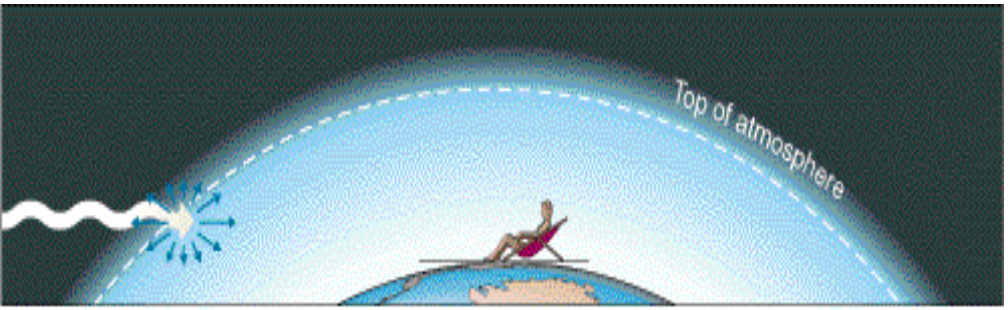
- **PARTÍCULAS (gotículas e aerossóis) tendem a espalhar igualmente todos os comprimentos de onda, e mais para a frente do que para trás (espalhamento para trás ~ reflexão)**

→ mistura de todas as cores: luz branca

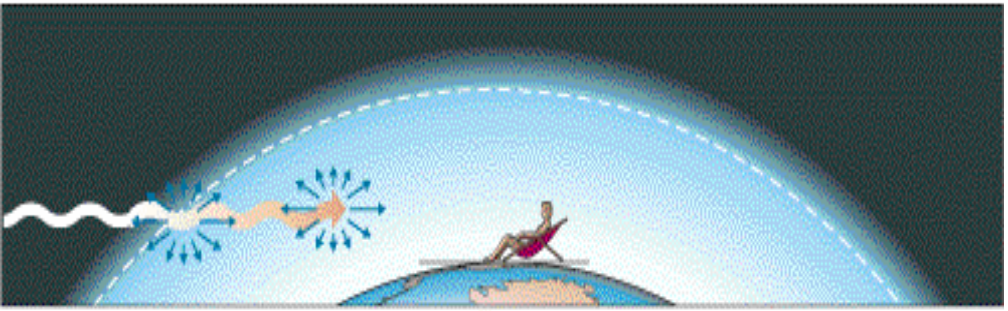
→ nuvens, neblina, nevoeiro parecem brancos, cinza ou "leitoso"

TRANSMISSÃO da Radiação através da Atmosfera

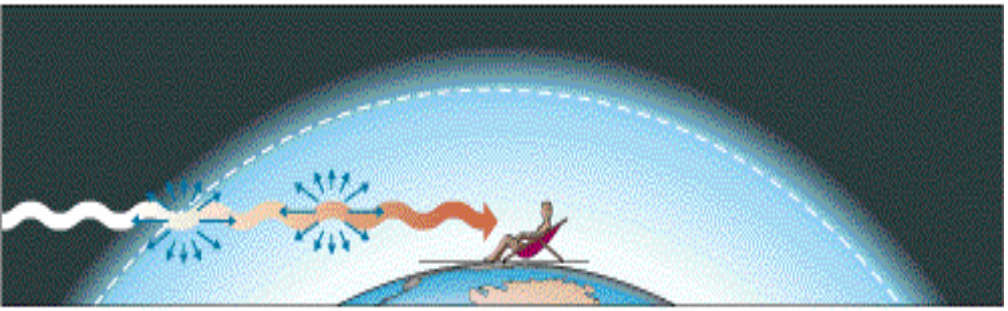
"quantidade de radiação que resta após atravessar toda a atmosfera"



(a)



(b)



(c)

a) **No topo da atm.: a luz (branca) solar começa a ser espalhada, principalmente sua parte "azul"**

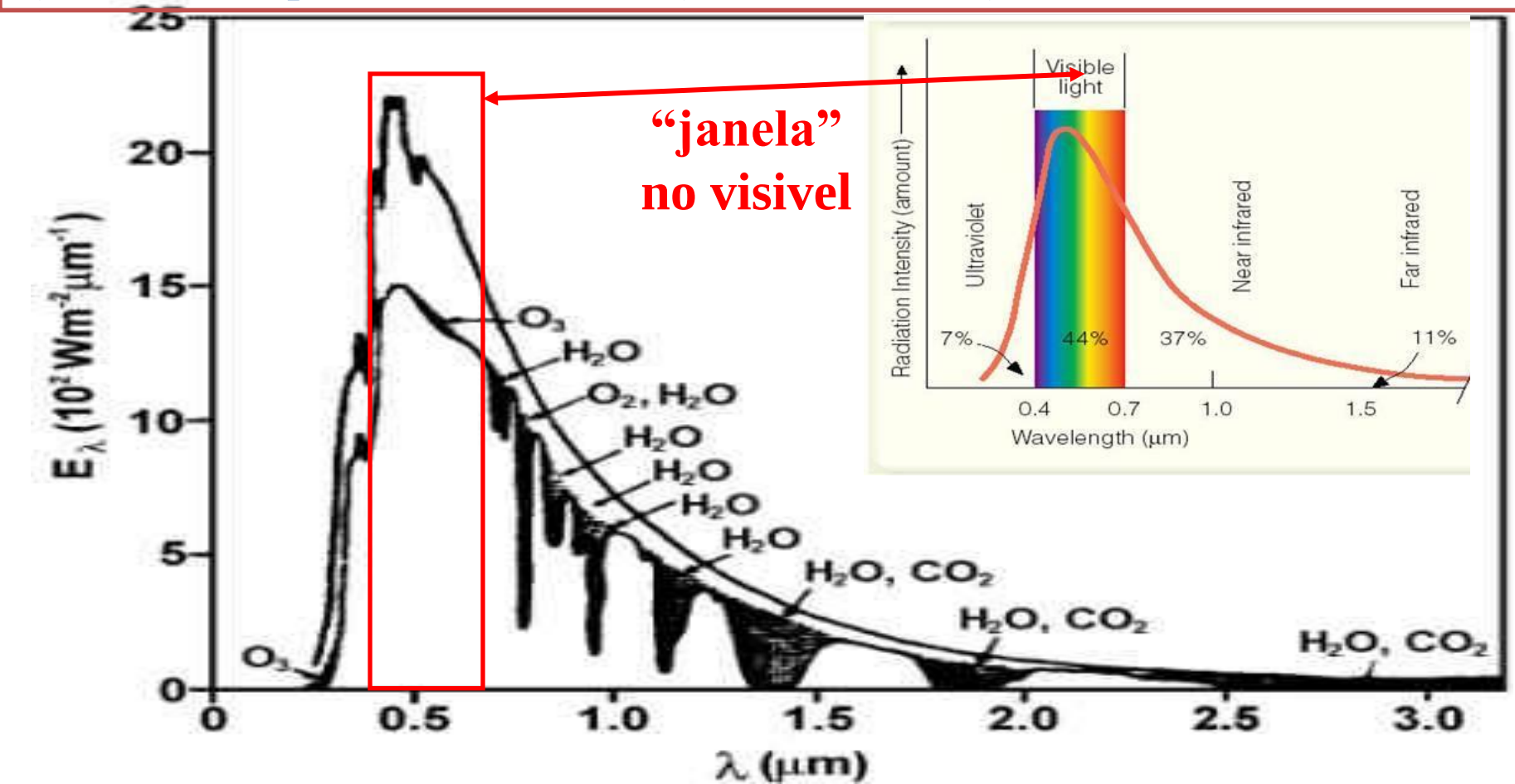
b) **Quando a rad. avança pela atm., mais rad. azul é espalhada para fora do feixe direto (e transmitida como rad. difusa) → múltiplos espalhamentos**

c) **Na superfície a maior parte da luz transmitida no feixe direto é a luz amarela e vermelha → por do sol ou nascer do sol vermelho**

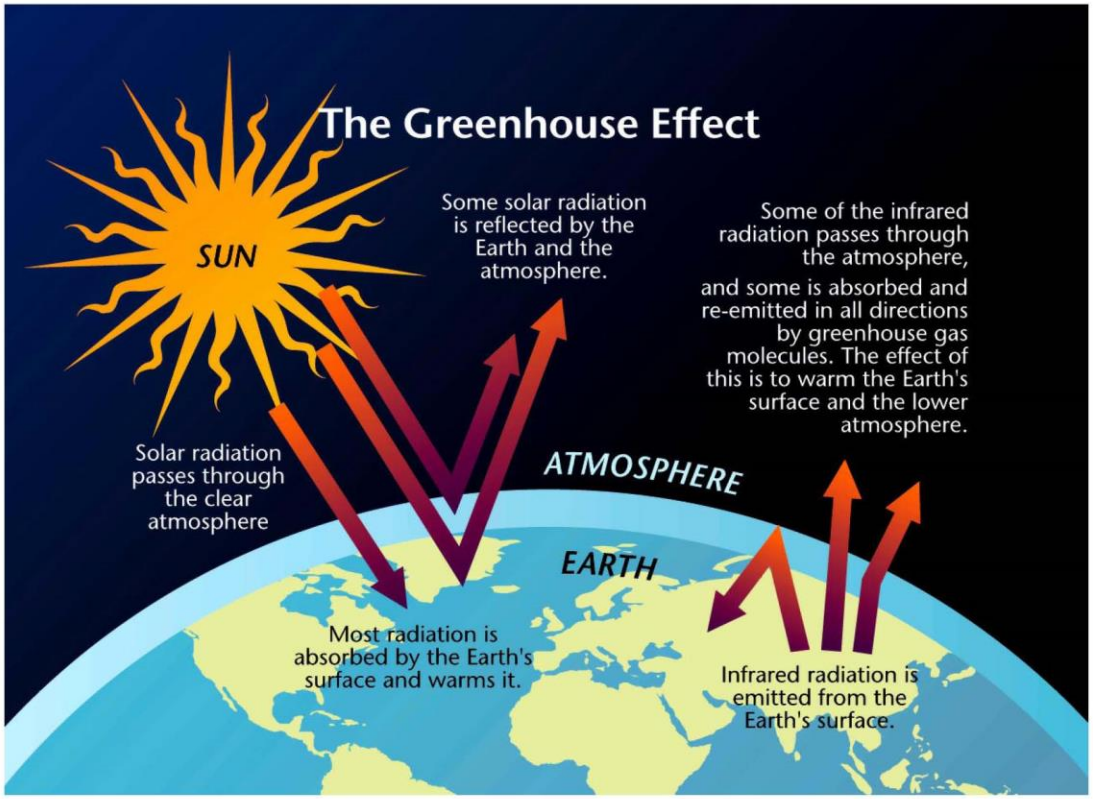
Espectro da radiação solar no topo da atmosfera (curva superior) e no nível do mar (curva inferior), para atmosfera.

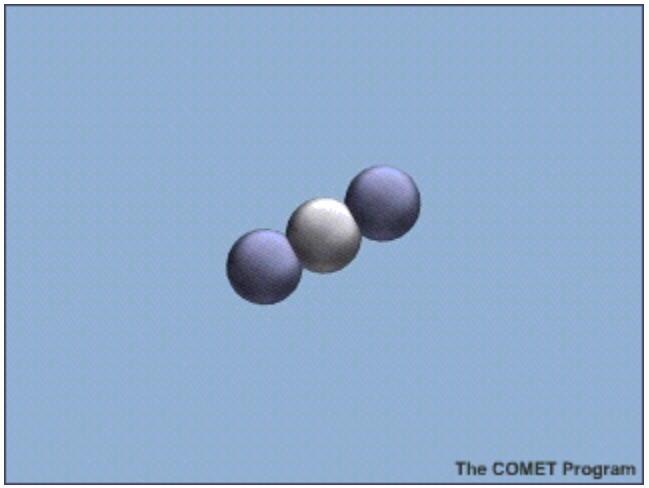
A área entre as duas curvas representa a diminuição da radiação devido a:

1) Retro-espalhamento e absorção por nuvens e aerossóis e retro-espalhamento por moléculas do ar (área não sombreada) e
2) absorção por moléculas do ar (área sombreada)



Efeito estufa

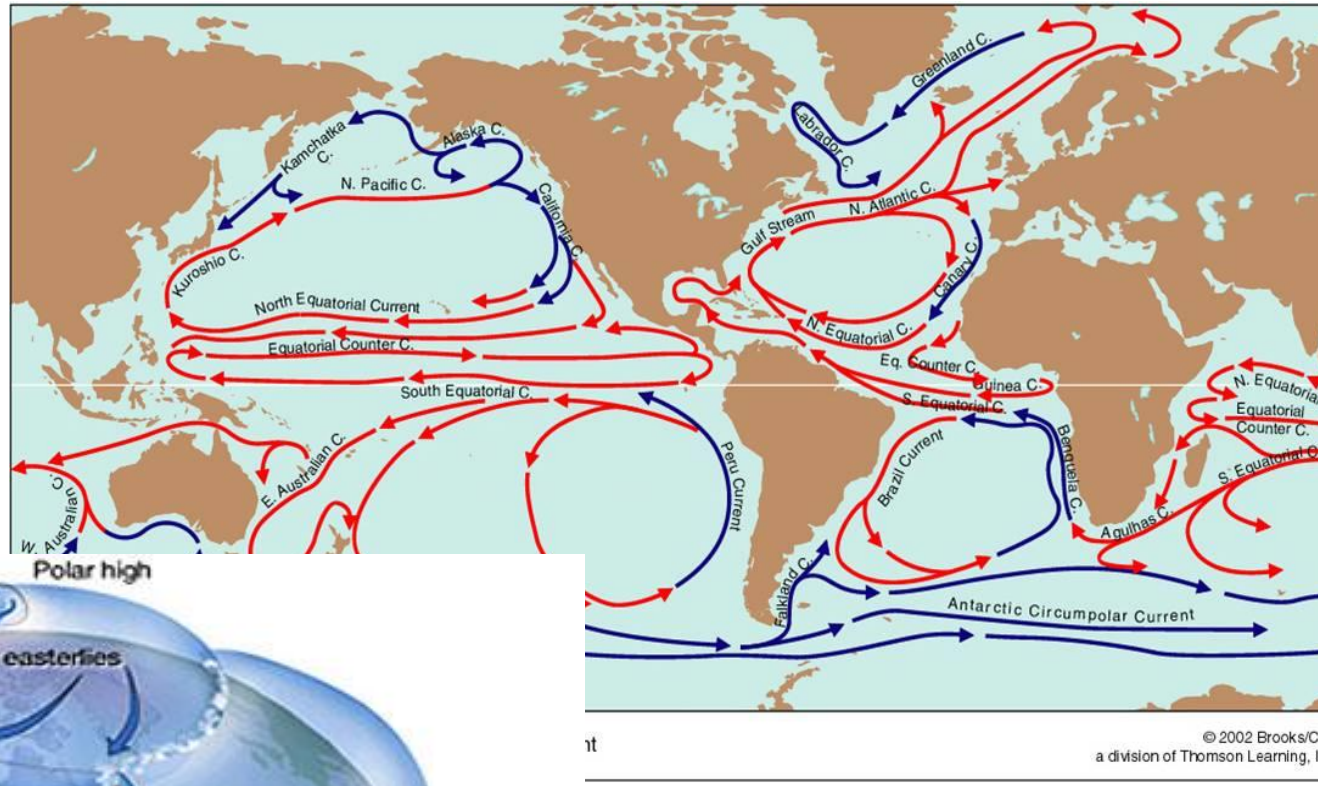


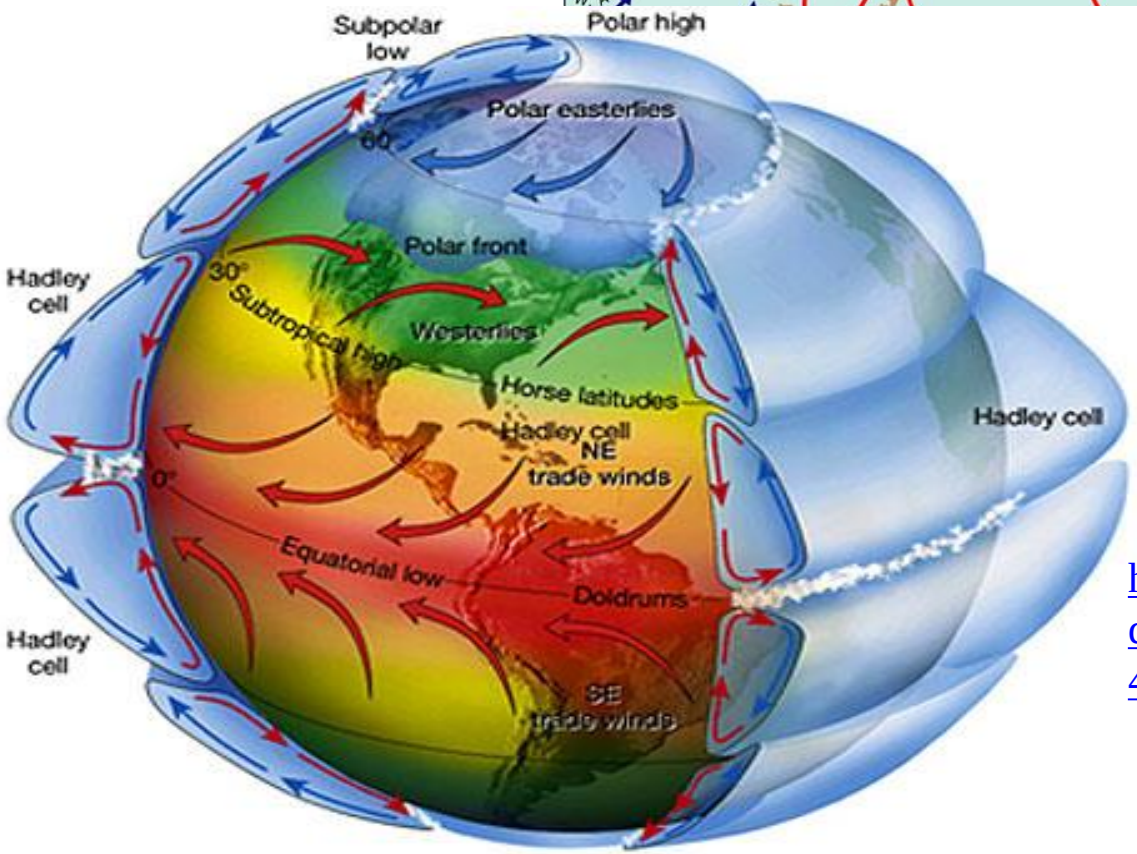


Gases estufa como H_2O, CO_2, N_2O e CH_4 possuem moléculas que podem vibrar ao receber energia de radiação de ondas longas e re-emití-las em outra direção.

http://eobglossary.gsfc.nasa.gov/Laboratory/PlanetEarthScience/GlobalWarming/GW.html

O Clima do Planeta: Ventos e Correntes Oceânicas

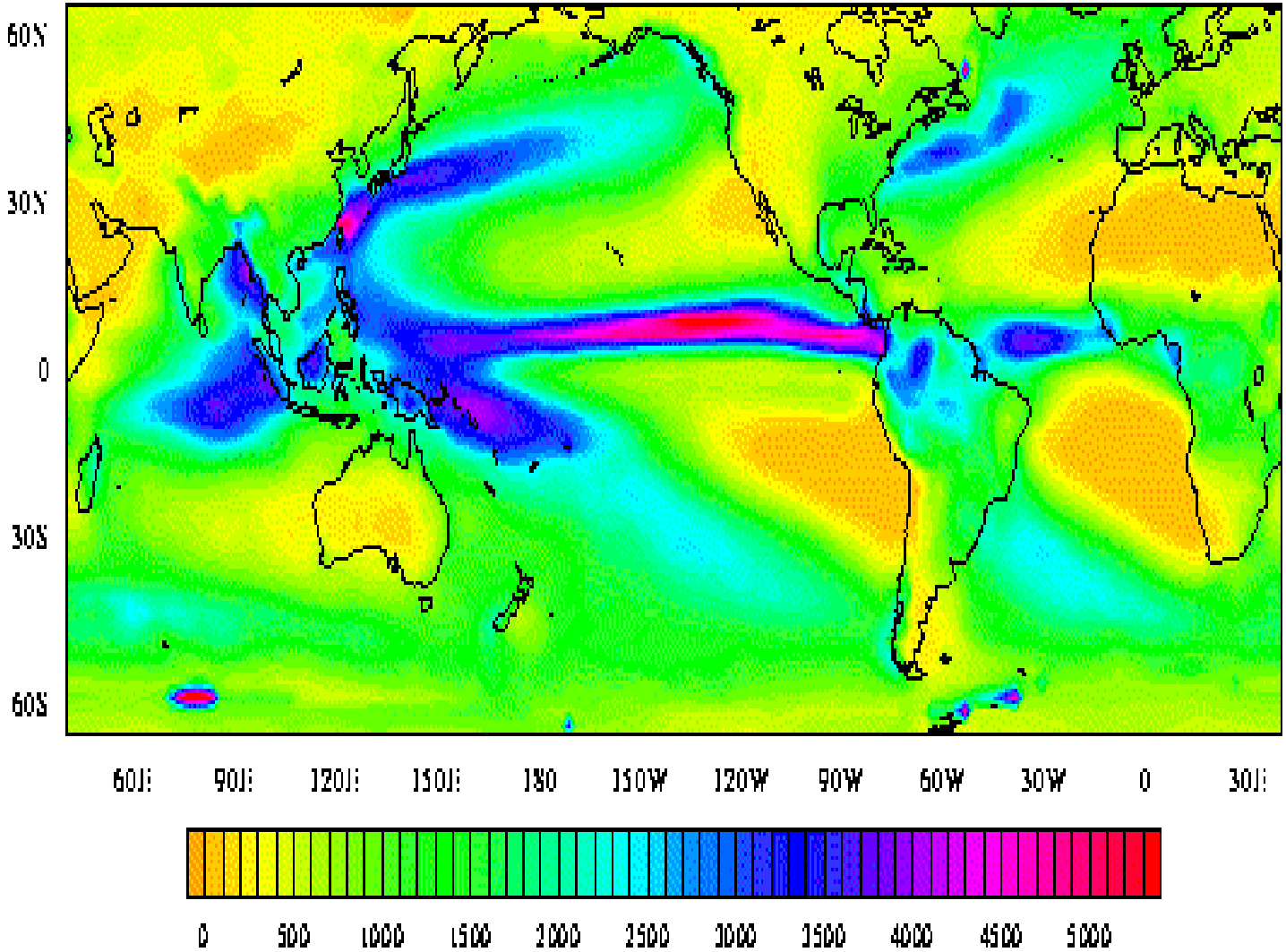




Ventos em tempo real

http://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/850hPa/orthographic=-40.69,-16.32,812

Zona de Convergência Inter-tropical (ZCIT)
MACROCLIMA

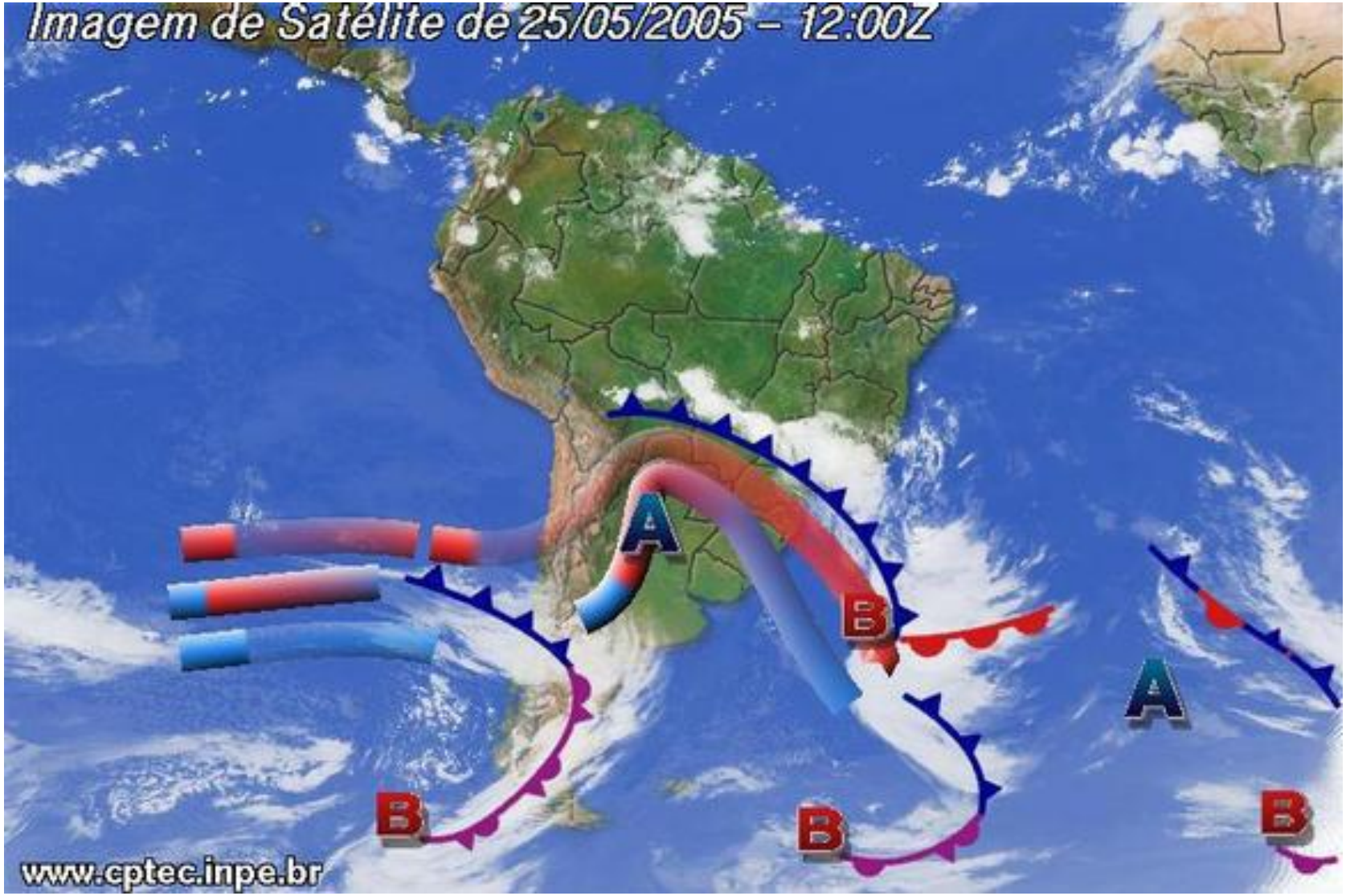


Precipitação média anual

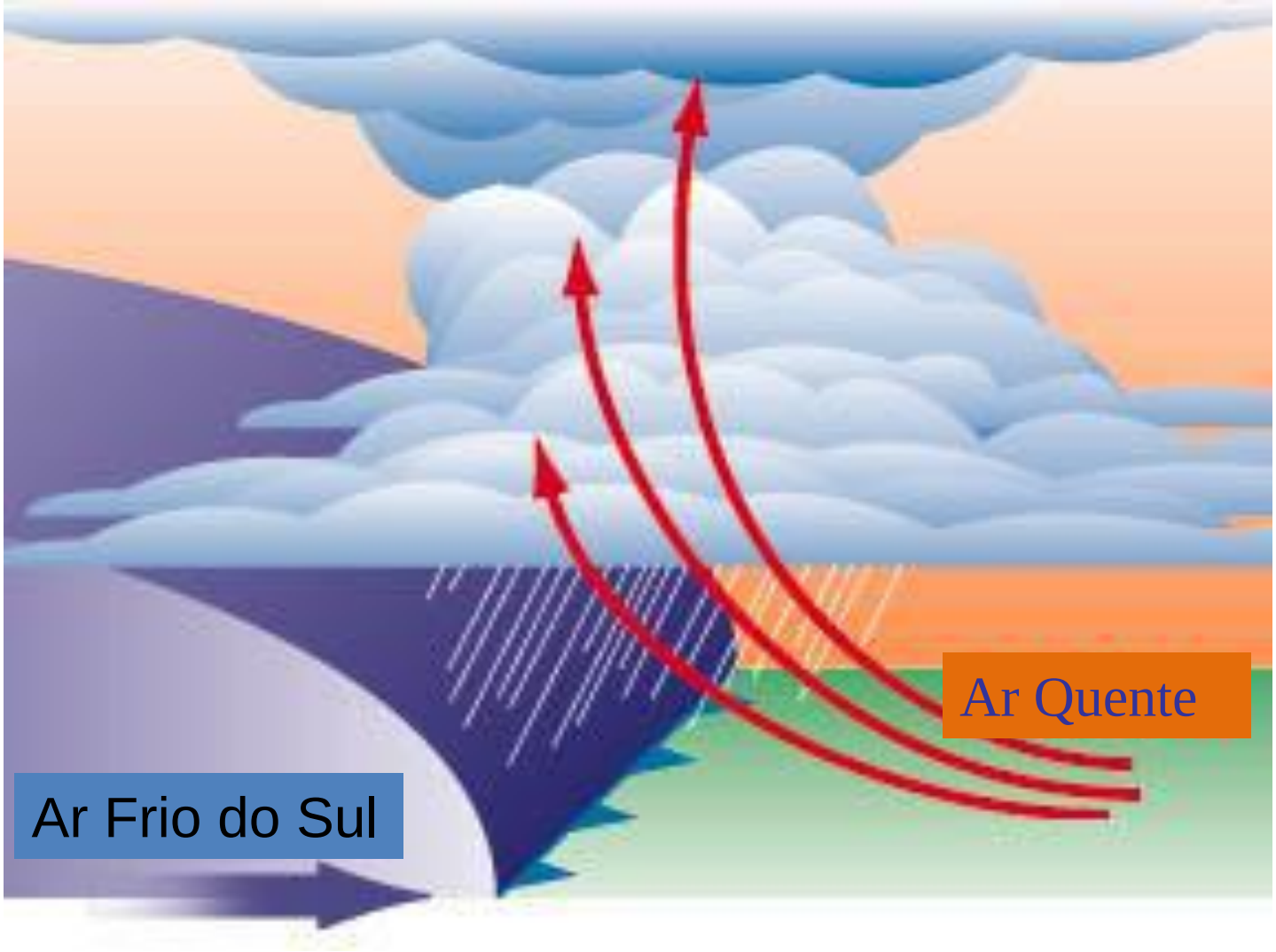
Note uma zona de muitas chuvas na região equatorial

Frente Fria

Tamanho = 2000-3000 km Frequencia aproximada de 5-10 dias



A aproximação de uma Frente fria vinda do sul, causa chuvas e temperatura mais baixas!



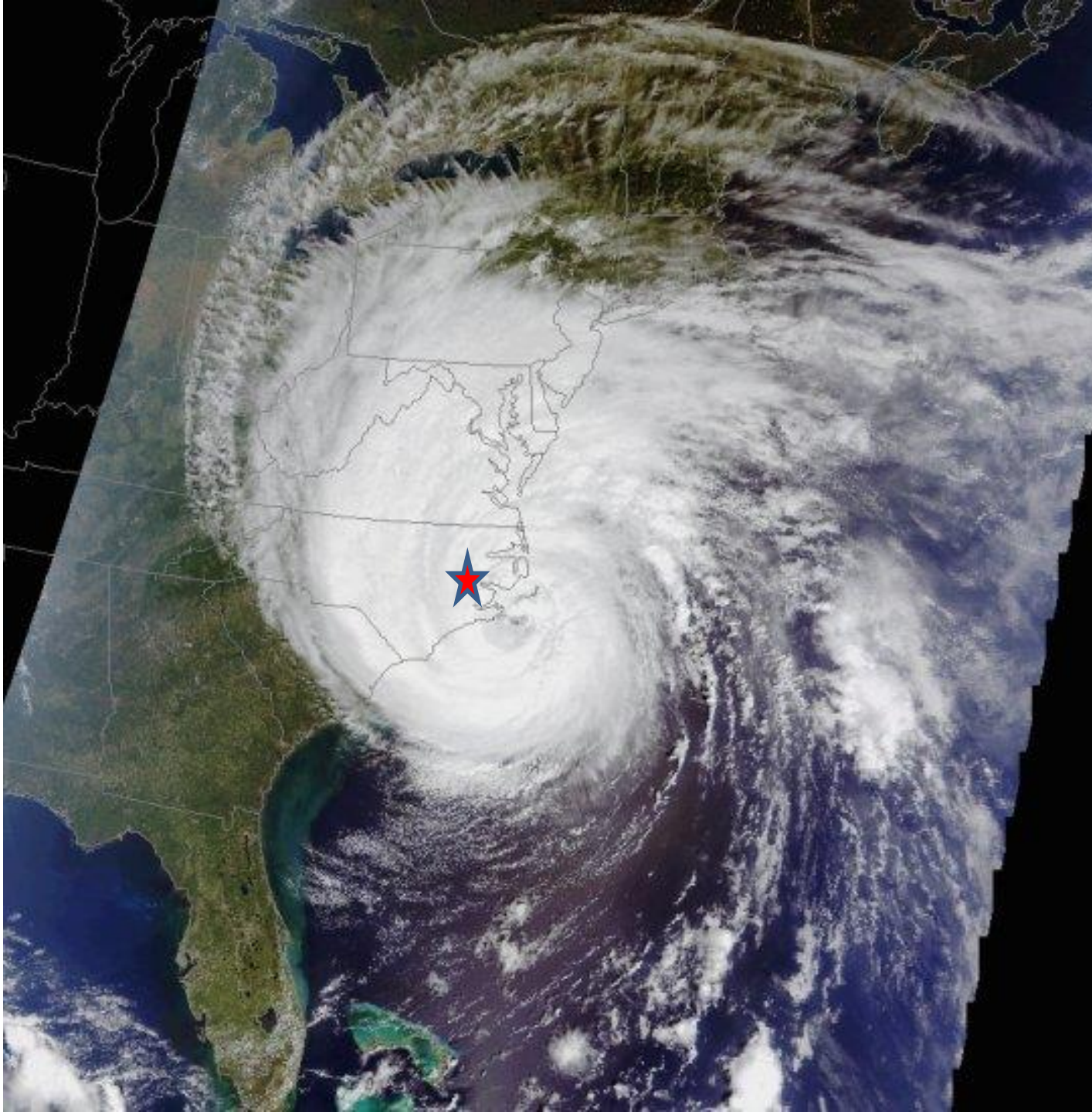
Porto Alegre-RS **Florianópolis-SC**

- Tamanho =
- 300-600 km
- Tempo de vida =
- 5-10 dias

Furacão Isabel

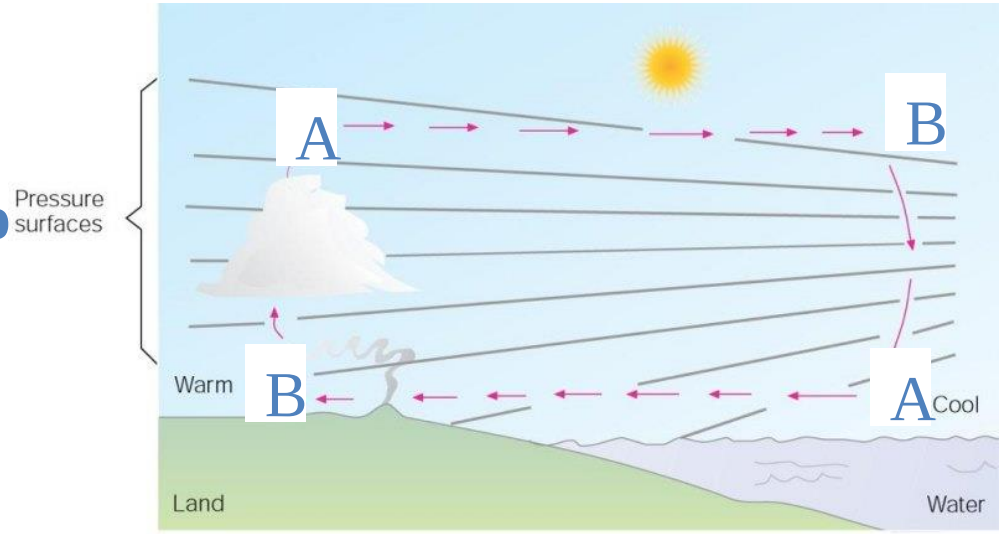
(Atlântico)

Ano 2005



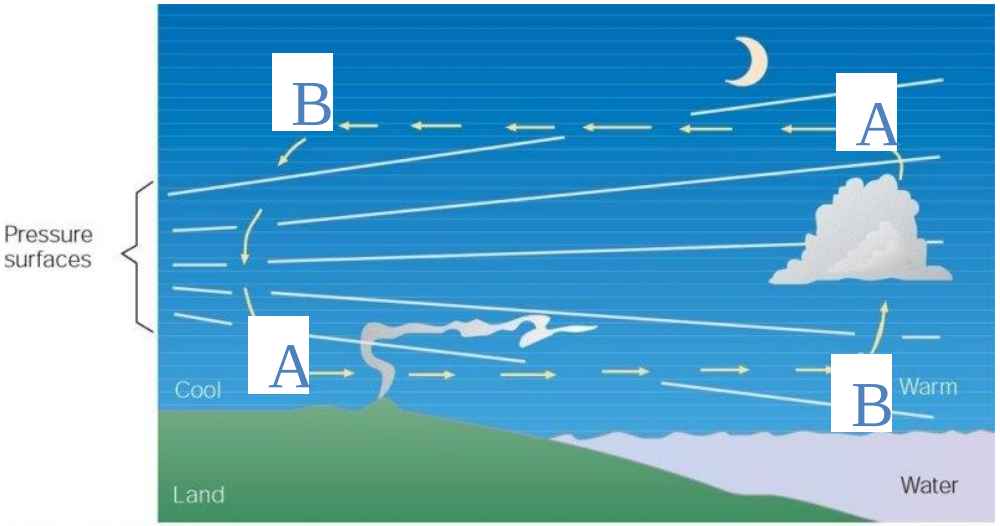
Furacão Catarina – 24 de Março de 2004

Brisa marítima surge durante o dia quando o continente está mais aquecido do que a água do mar adjacente.
As isolinhas de pressão mostram a região de alta pressão na superfície na regiãos mais fria.



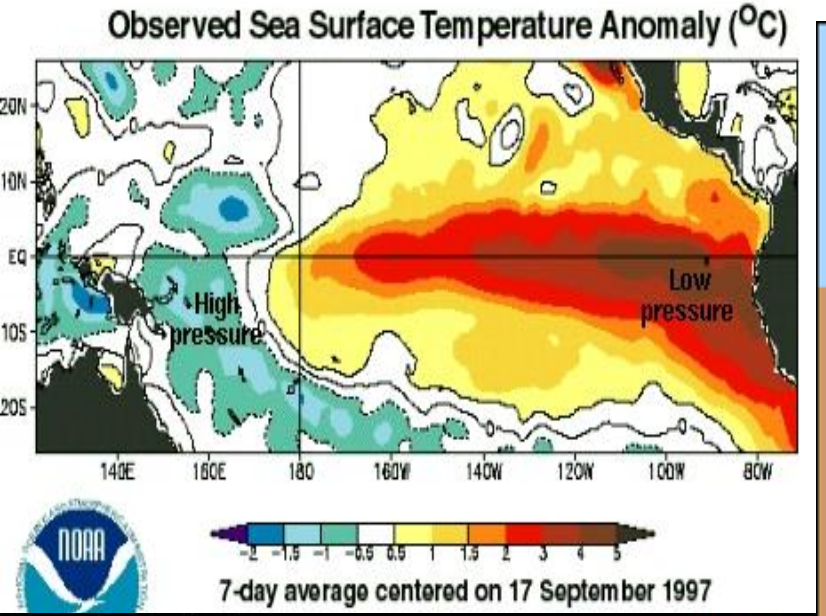
Sea breeze

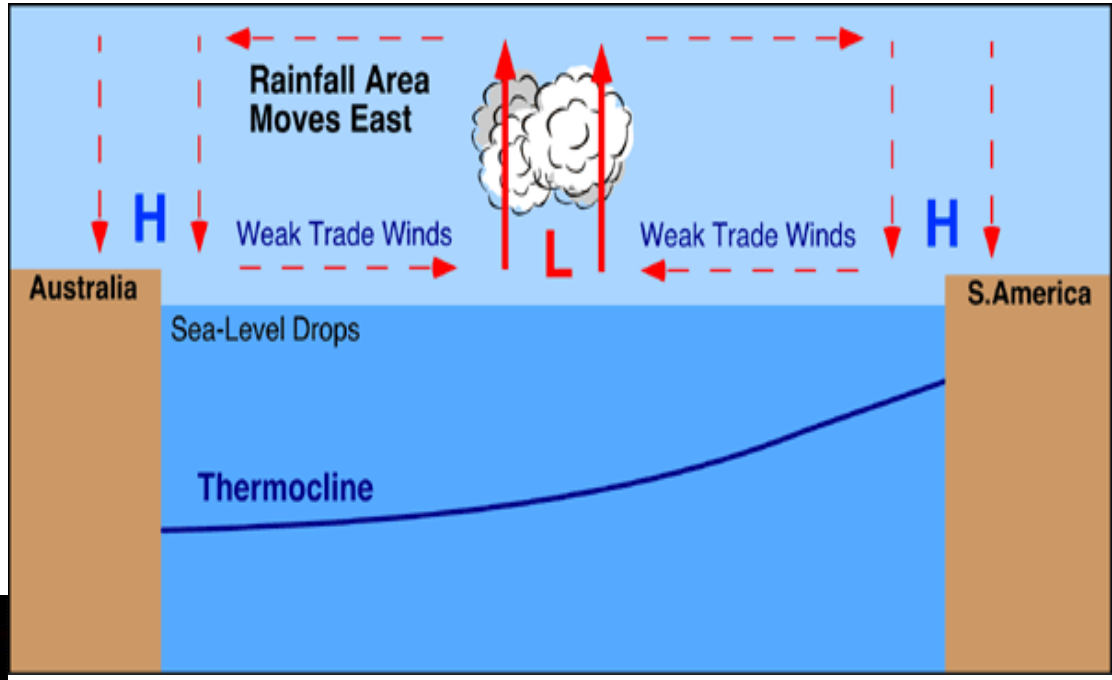
A **brisa terrestre** surge á noite quanto o continente está mais frio do que a água do mar adjacente.

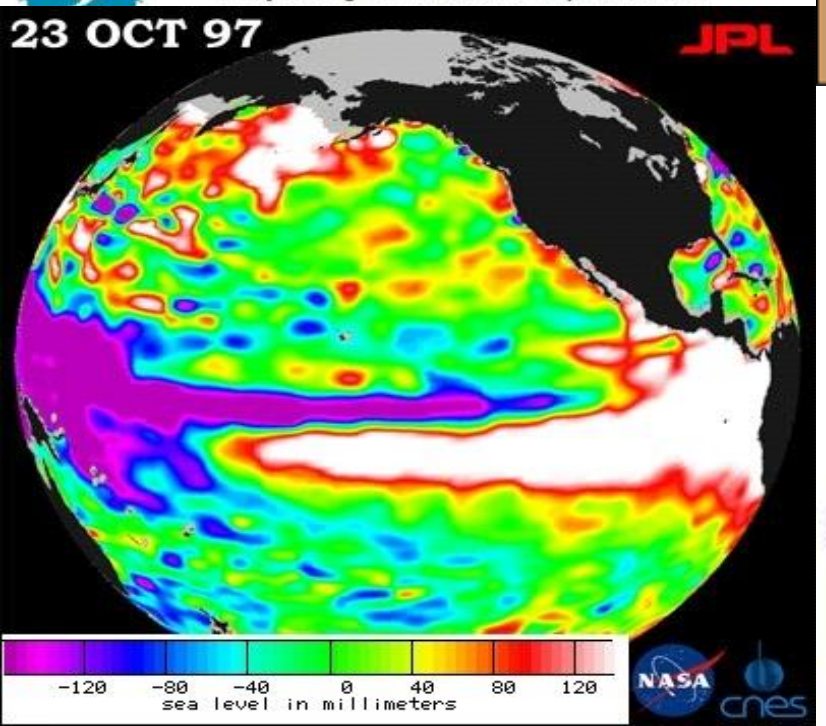


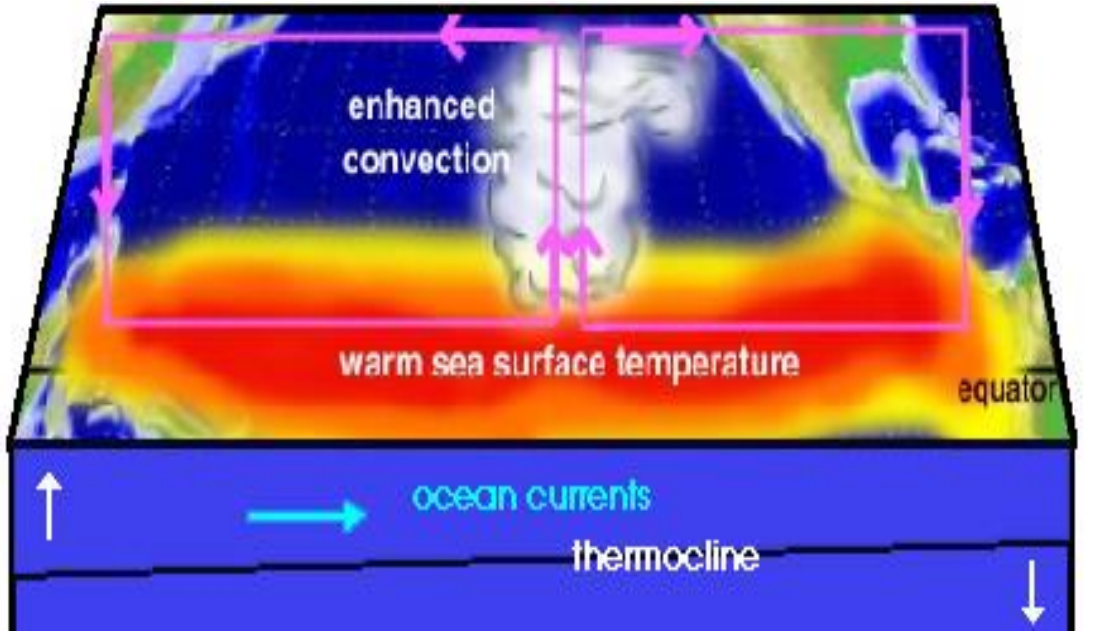
Land breeze

“El Niño”

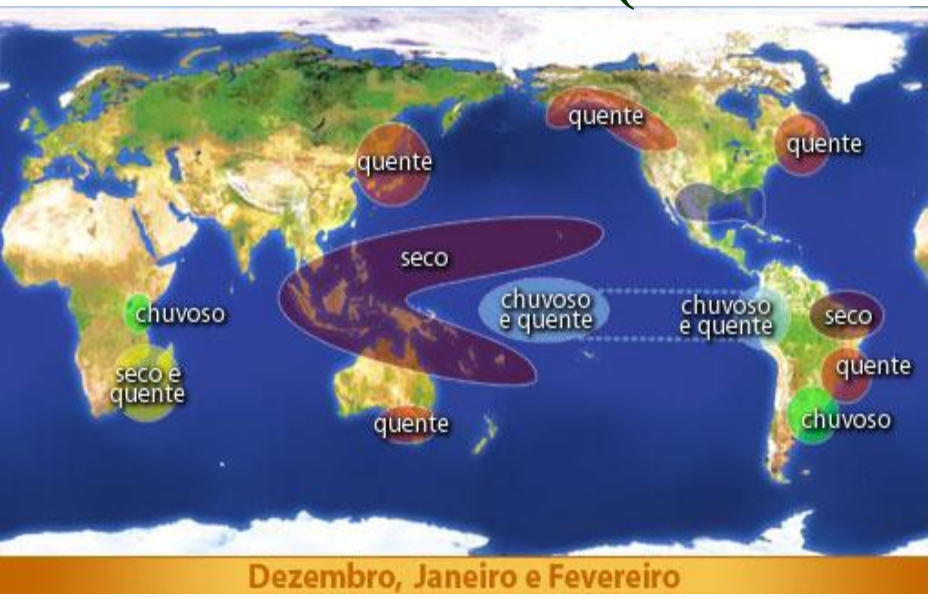

Observed Sea Surface Temperature Anomaly (°C)
20N
10N
EQ
10S
20S
140E
160E
180
160W
140W
120W
100W
80W
High pressure
Low pressure
NOAA
-2 -1.5 -1 -0.5 0.5 1 1.5 2 3 4 5
7-day average centered on 17 September 1997

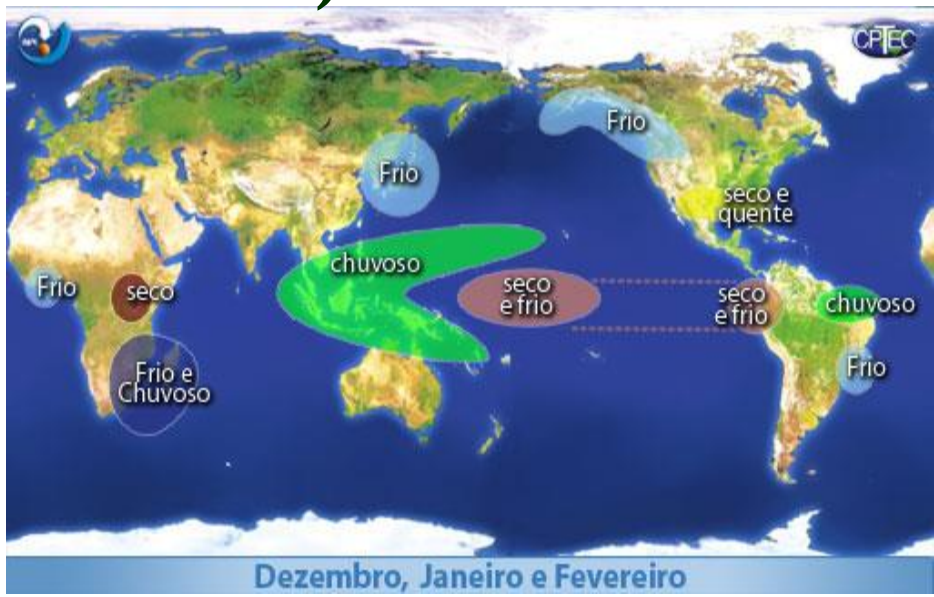

Rainfall Area Moves East
H
Weak Trade Winds
L
Weak Trade Winds
H
Australia
S.America
Sea-Level Drops
Thermocline


23 OCT 97
JPL
-120 -80 -40 0 40 80 120
sea level in millimeters
NASA
cnes


enhanced convection
warm sea surface temperature
equator
ocean currents
thermocline

EFEITOS GLOBAIS
(“*TELECONEXÕES*”)

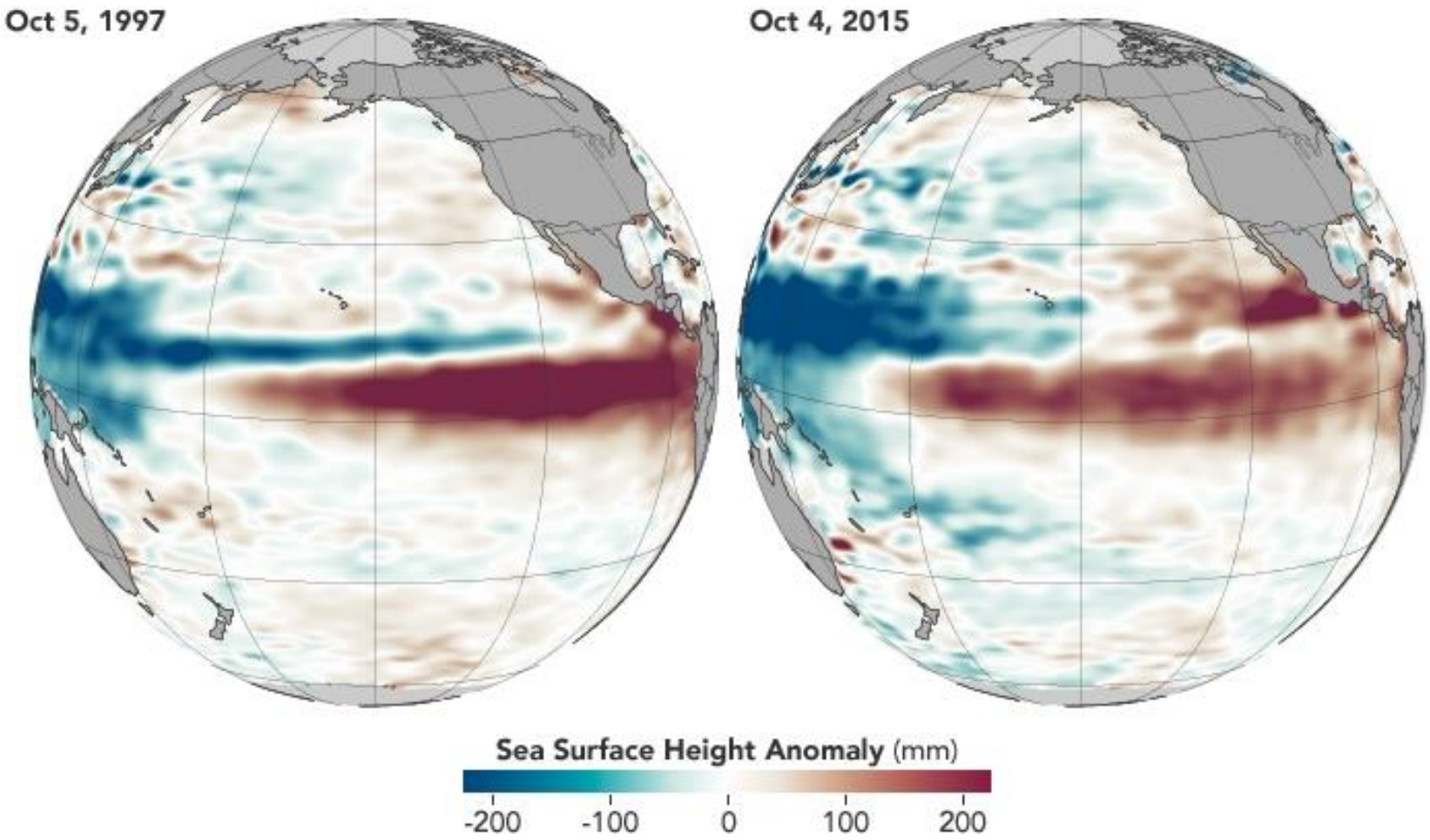




El Niño

La Niña

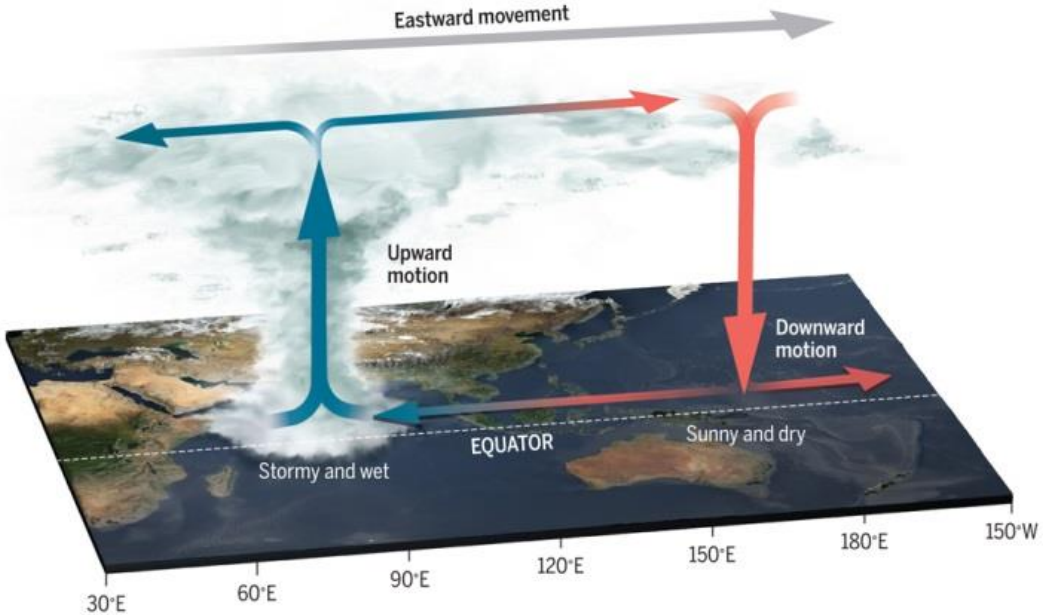
Comparações entre o El Niño de 1997 e de 2015



http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.html

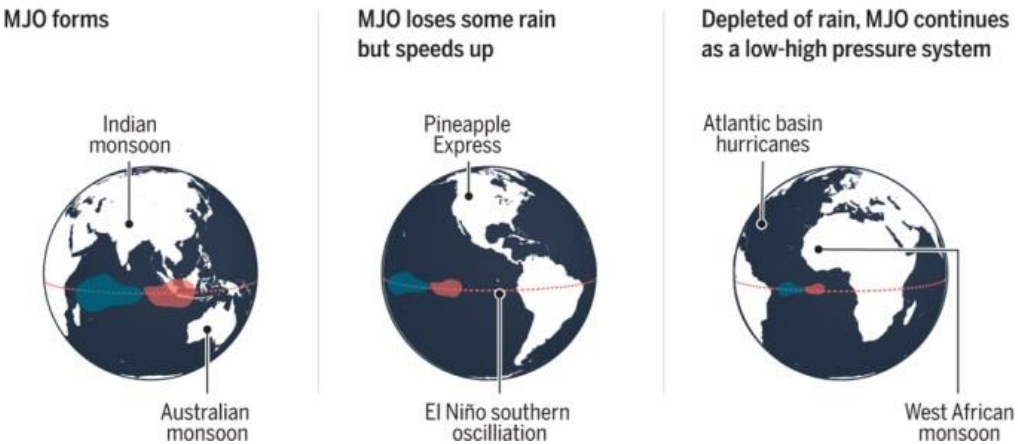
Around the world in 30-60 days

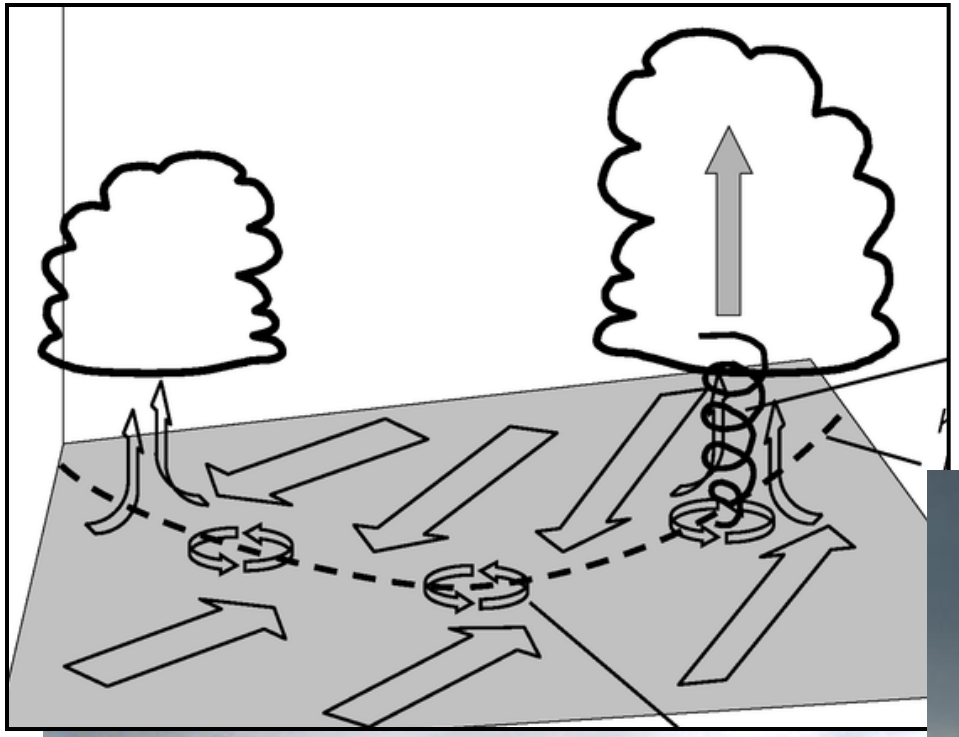
The Madden-Julian oscillation (MJO) forms in the Indian Ocean as a pair of related wet and dry phases. In tandem, the system moves eastward at about 5 meters per second, circling the globe in 1 or 2 months.



Regional effects

The MJO not only drives weather in the tropics but can also trigger and strengthen phenomena such as monsoons and hurricanes elsewhere in the world.





Tornados: redemoinho de baixa pressão, fortes ventos

Tromba D'água Santarém-PA
10Junho 2008 R.Silva

Nuvem funil Criciúma-SC
17 Novembro 2012 D.Casagrande

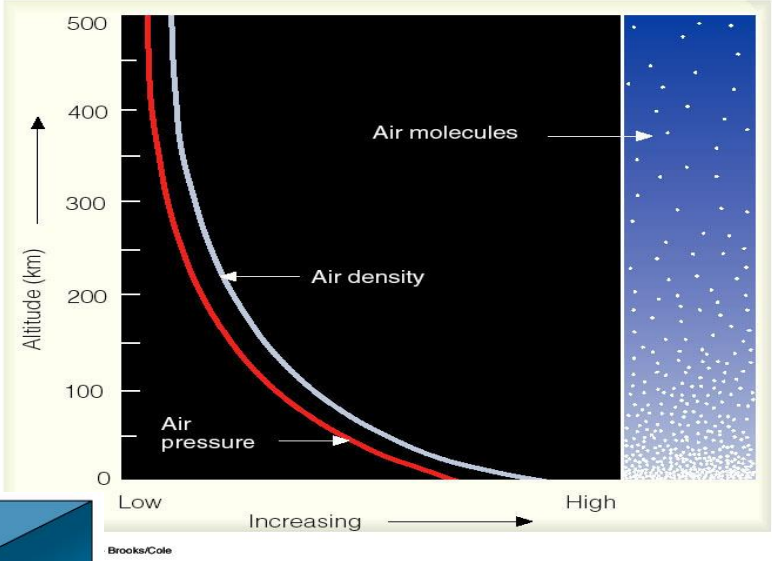
Composição e Estrutura da Atmosfera

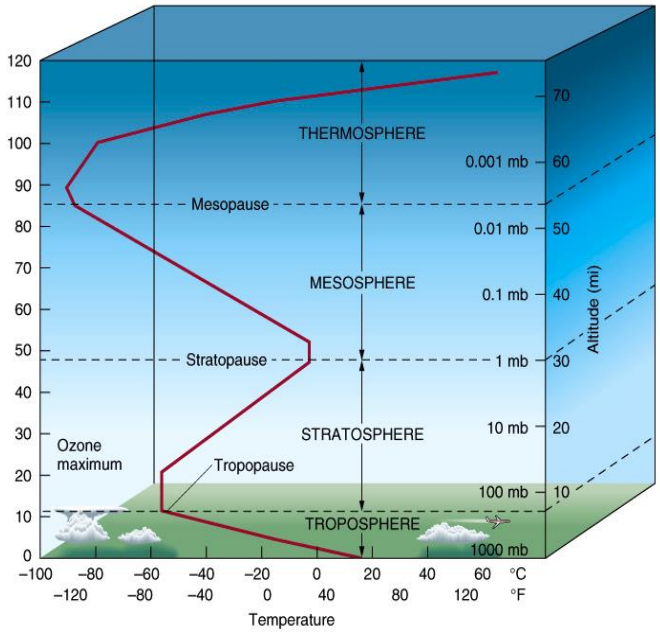
Gases Composição (% por volume)

- N_2 (78,08) Vapor d'água (0-4)
- O_2 (20,95) CO_2 (0,037)
- Ar (0,93) CH_4 (0,00017)
- Ne (0,018) N_2O (0,00003)
- He (0,0005) O_3 (0,000004)

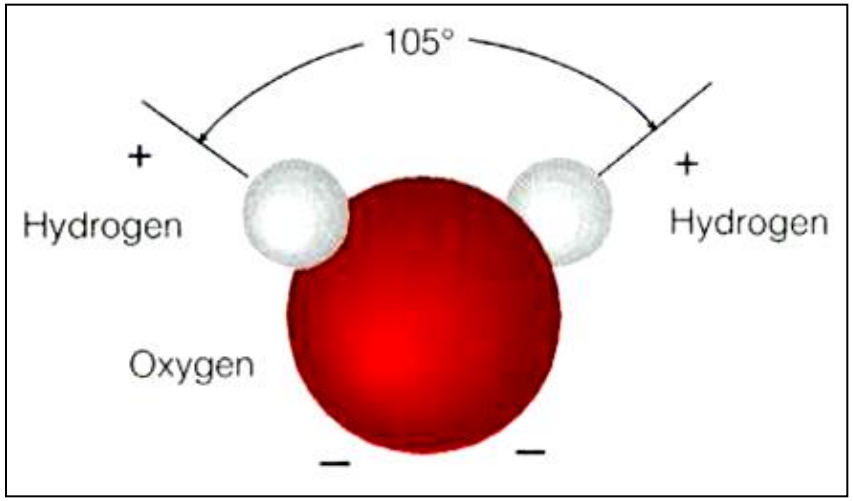
Nuvens

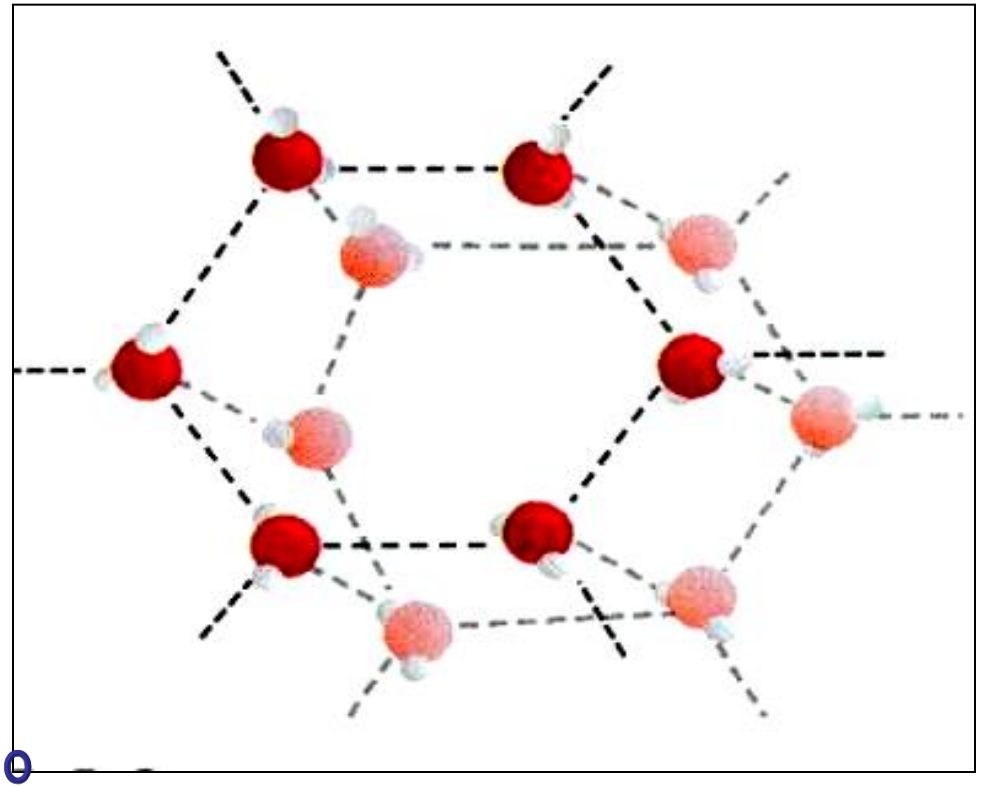
Partículas





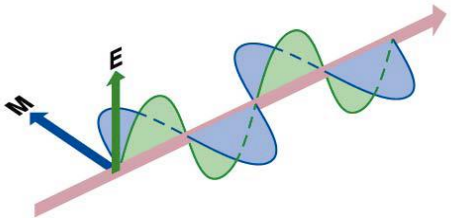
Água = H2O

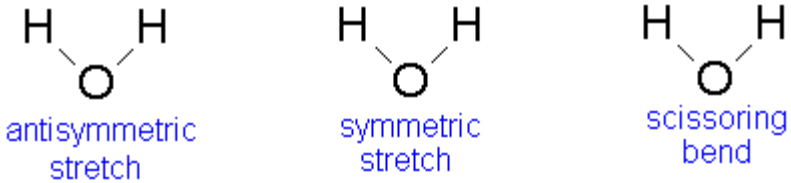




Água = dois átomos da hidrogênio e um átomo de oxigênio.
Na forma líquida ela possui grande mobilidade

Na forma sólida (gelo) as moléculas de H2O ficam muito presas umas ás outras.





O CICLO HIDROLÓGICO

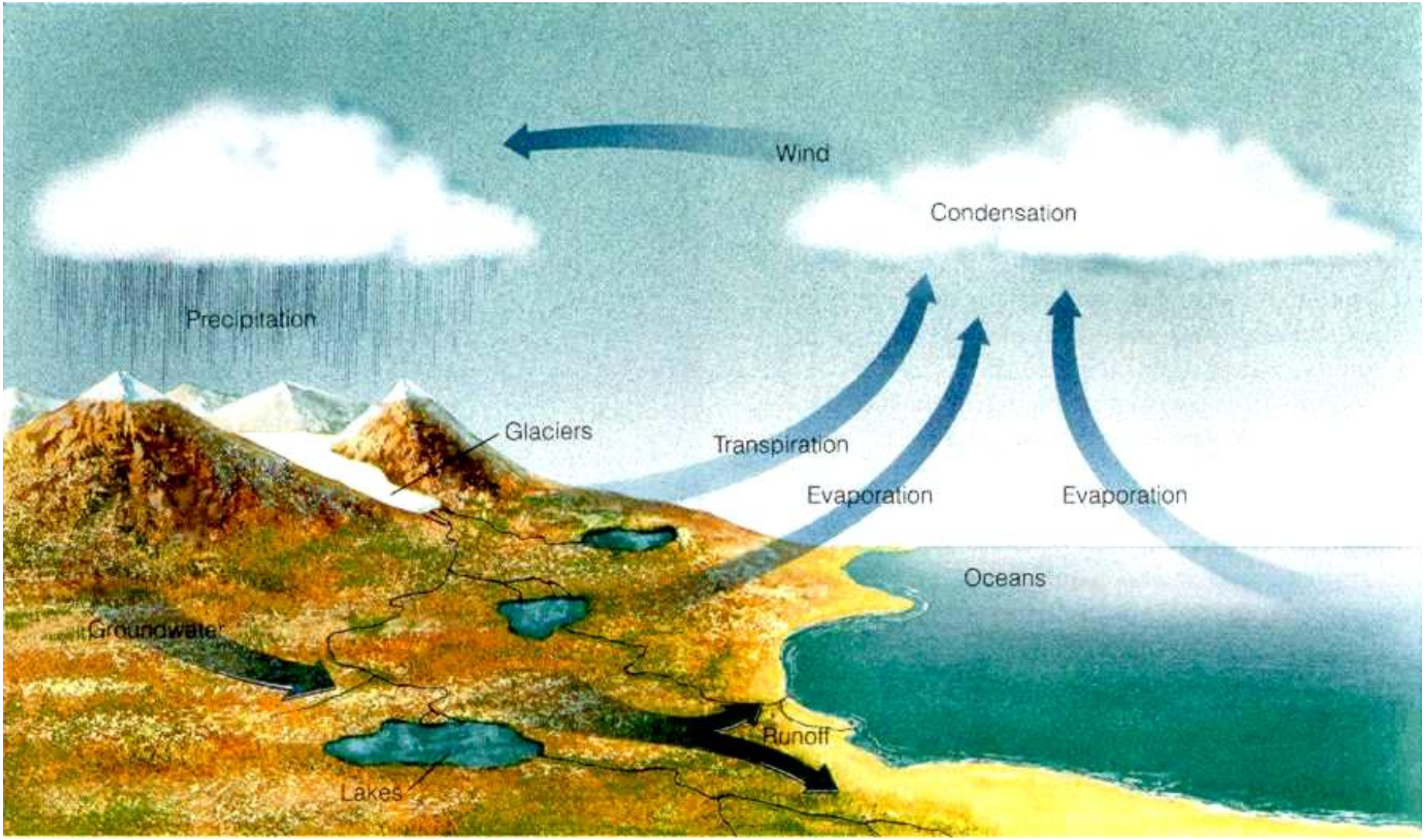
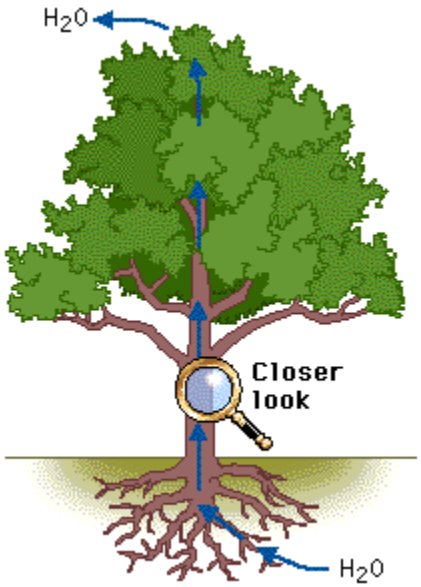
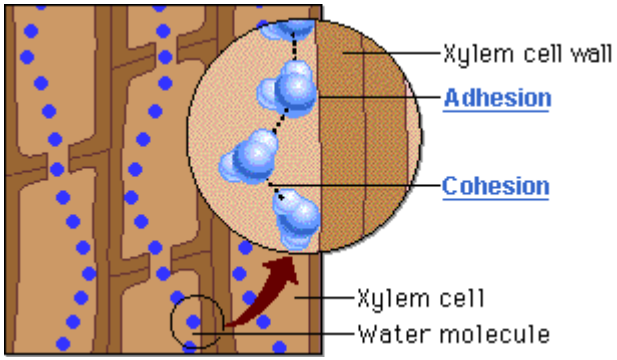


FIGURE 5.4
The hydrologic cycle.

As árvores e as nuvens

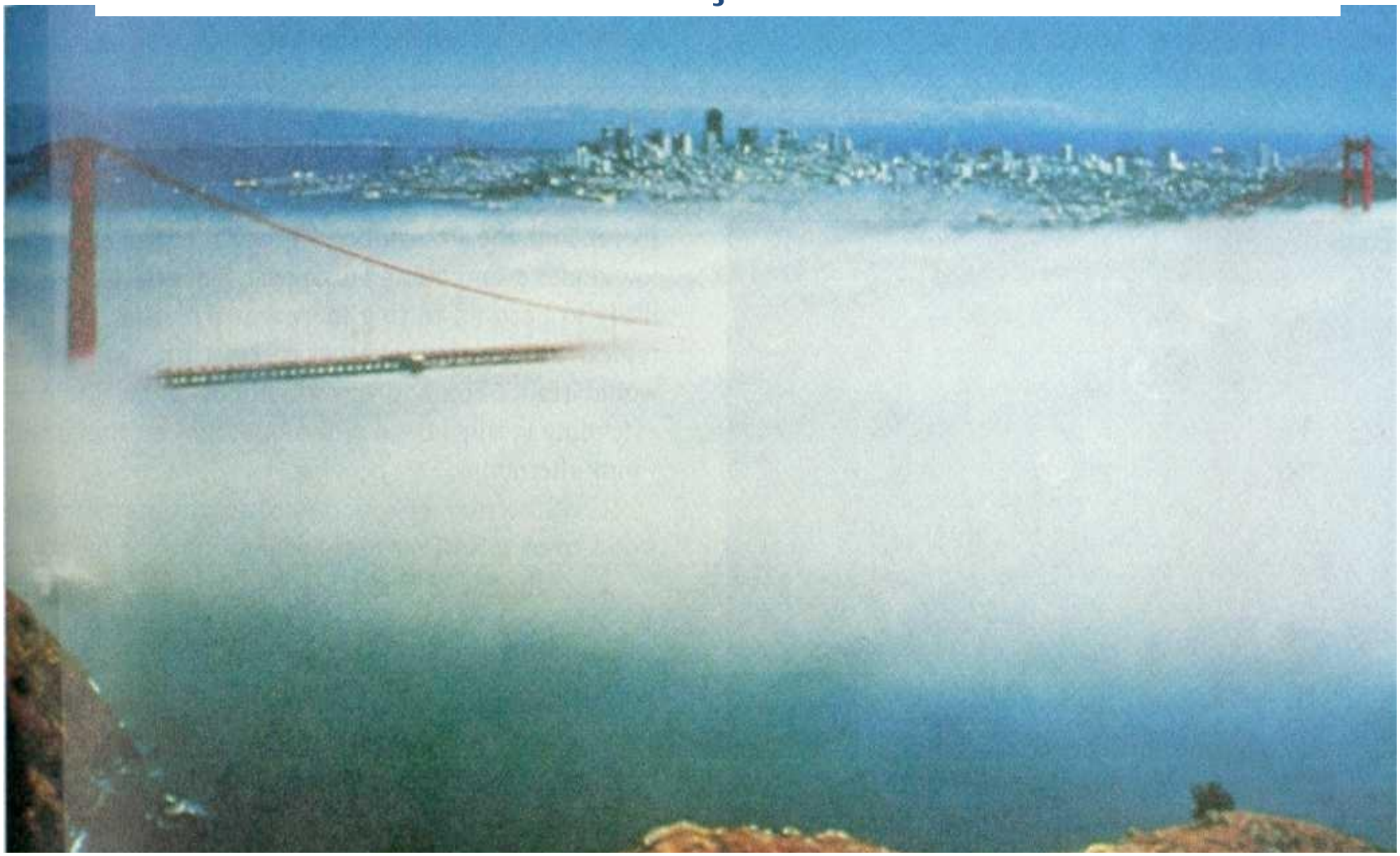




Quando a água (H2O) entra pelas raízes, ela move-se para cima dentro da planta, entra pelas folhas, move-se para o ar no espaço entre as folhas e então evapora (transpira) através dos pequenas aberturas chamadas de **estômatos** .

Cada estômato permite que o carbono (CO2) entre para fazer a fotossíntese, enquanto a água evapora através destes estômatos pela **transpiração**.

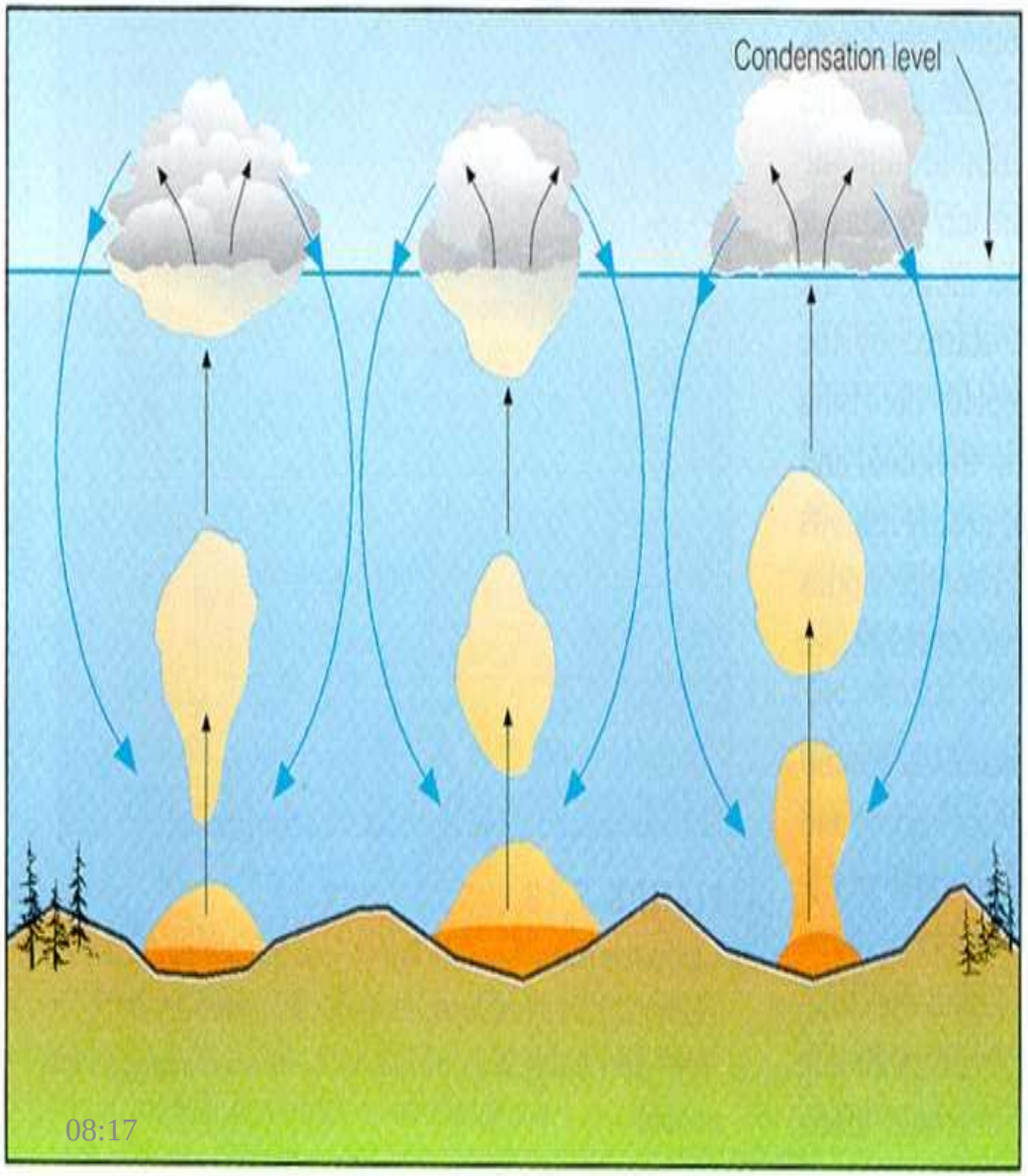
EXEMPLOS DE FORMAÇÃO DE NEVOEIROS



“NEVOEIRO de ADVECÇÃO”

Ocorre quando uma massa de ar quente e úmida se mistura com ar frio e seco

PRINCIPAL MECANISMO DE FORMAÇÃO DE NUVENS CONVECTIVAS (CUMULUS)



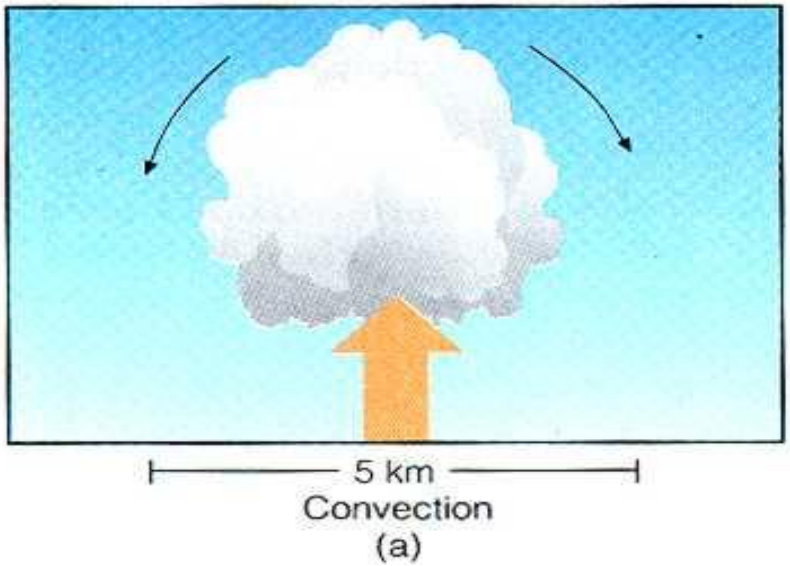
As nuvens convectivas (do tipo *cumulus*) se forma quando "bolhas" invisíveis (*térmicas*) de ar quente flutuam a partir da superfície, e sobem esfriando até atingir um "*nível de condensação*".

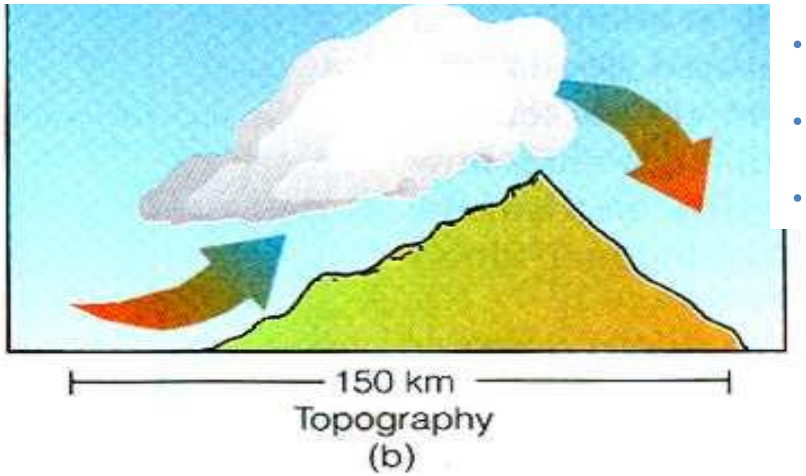
Abaixo e dentro nas nuvens o ar <u>sobe</u>.

Ao redor, o ar <u>desce</u>.

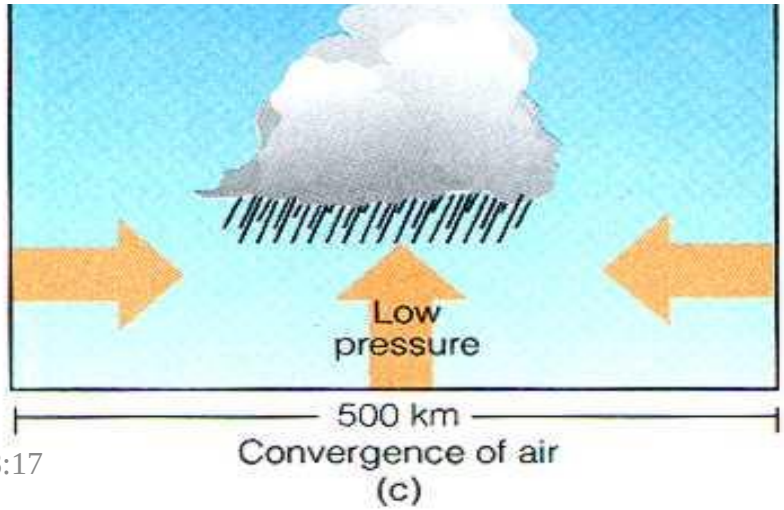
OUTROS FORMAS DE ASCENSÃO DO AR QUE PODEM PROVOCAR A FORMAÇÃO DE NUVENS

Ascensão forçada sobre barreiras topográficas

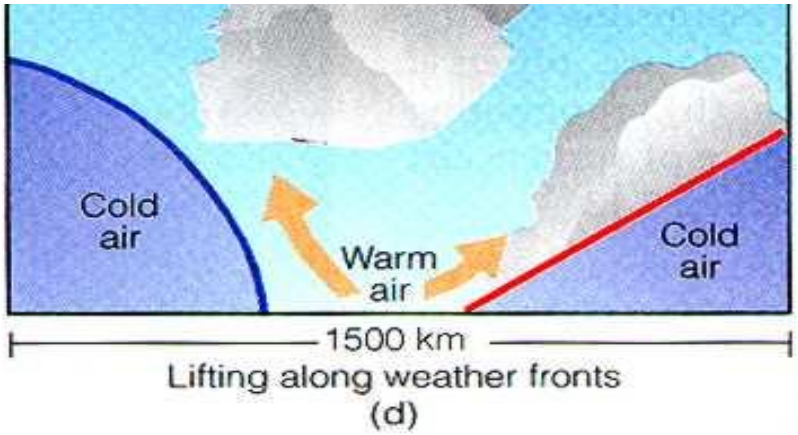




Convergência do ar em superfície



Ascensão forçada ao longo de *frentes*



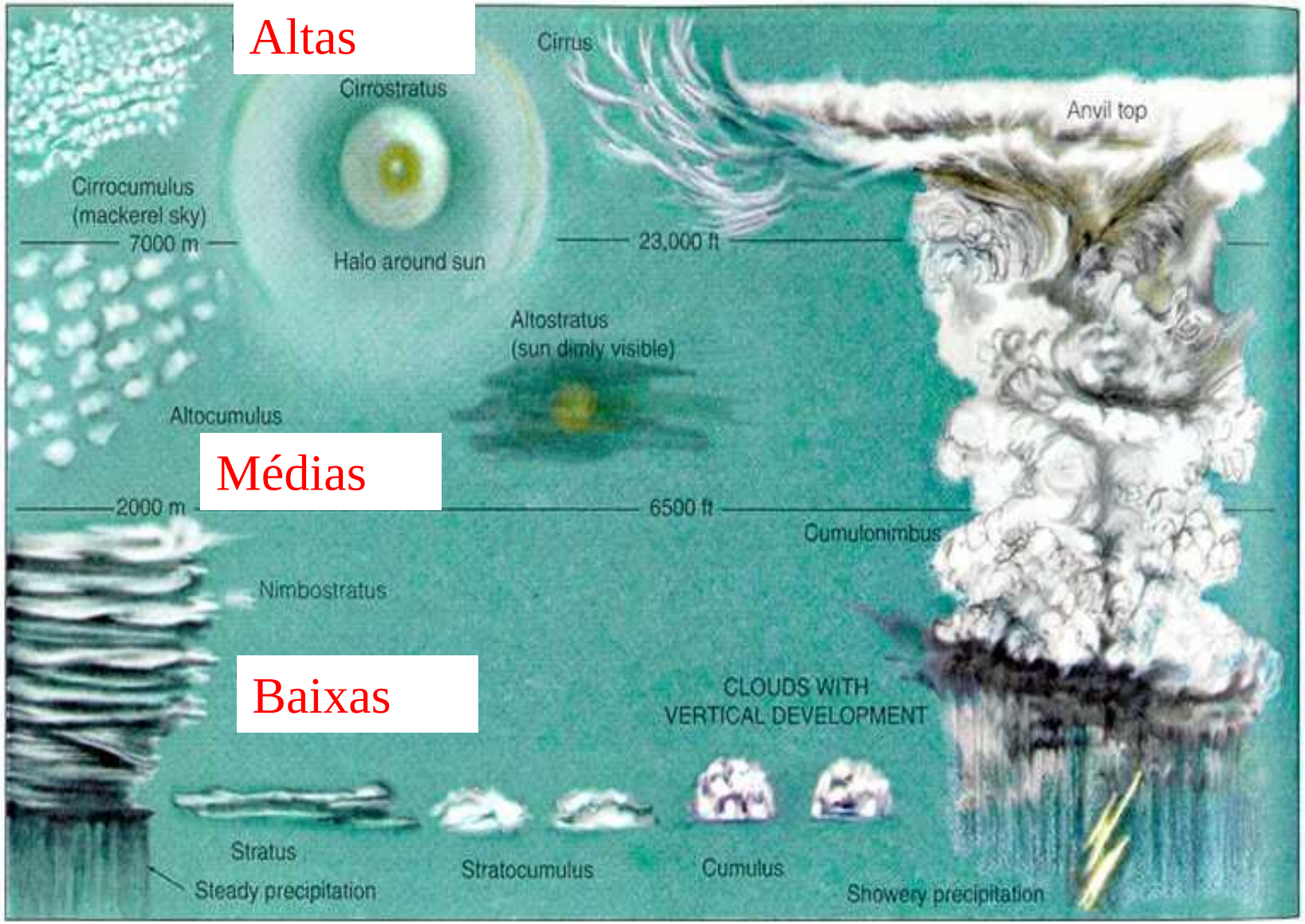


Ilustração dos tipos básicos de nuvens, baseado na altura acima da superfície e no desenvolvimento vertical

Microfísica de nuvens (eletrificação).

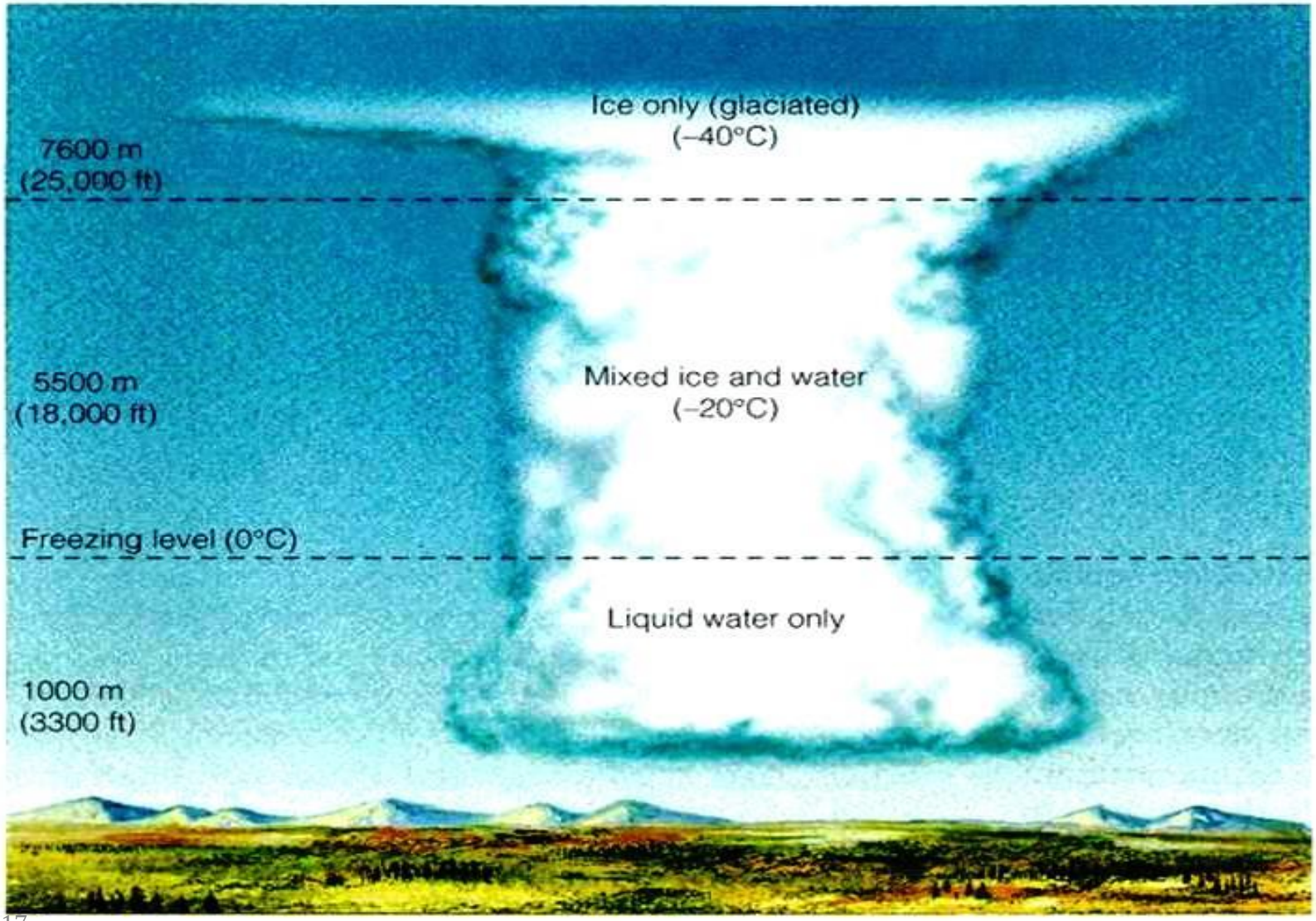
(a)

Descarga elétrica da nuvem para o solo.

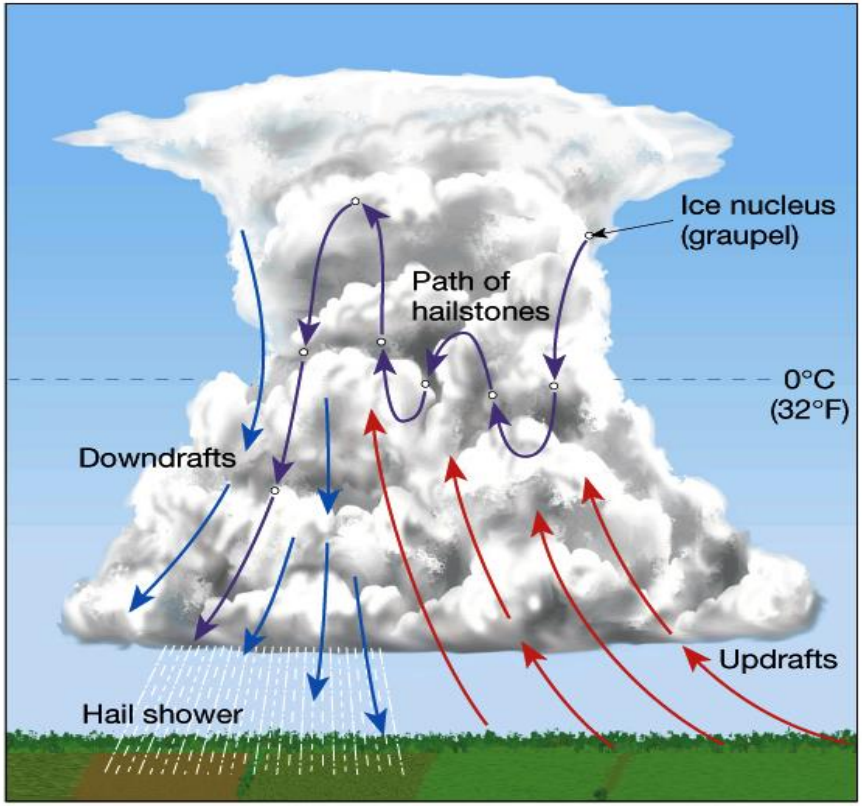
A maioria dos relâmpagos contém 3-4 descargas separados por aprox. 50 ms, que seguem o caminho principal.

Neste caminho a Temperatura aumenta para 30 $x10^3$ K, mas o ar não tem tempo para se expandir e a pressão aumenta para 10-100 atm, produzindo ondas sonoras (trovão).

Em nuvens cumulonimbus a chuva se forma pela interação entre as gotículas de água da nuvem e cristais de gelo



Granizo



Granizo – Partículas de gelo que passa por processo de colisão com gotículas várias vezes dentro de uma tempestade devido aos movimentos repetidos para cima e para baixo.

Movimentos ascendentes podem chegar a 180 km/h associados a granizo com raio da ordem de 8cm.

Lajes-SC

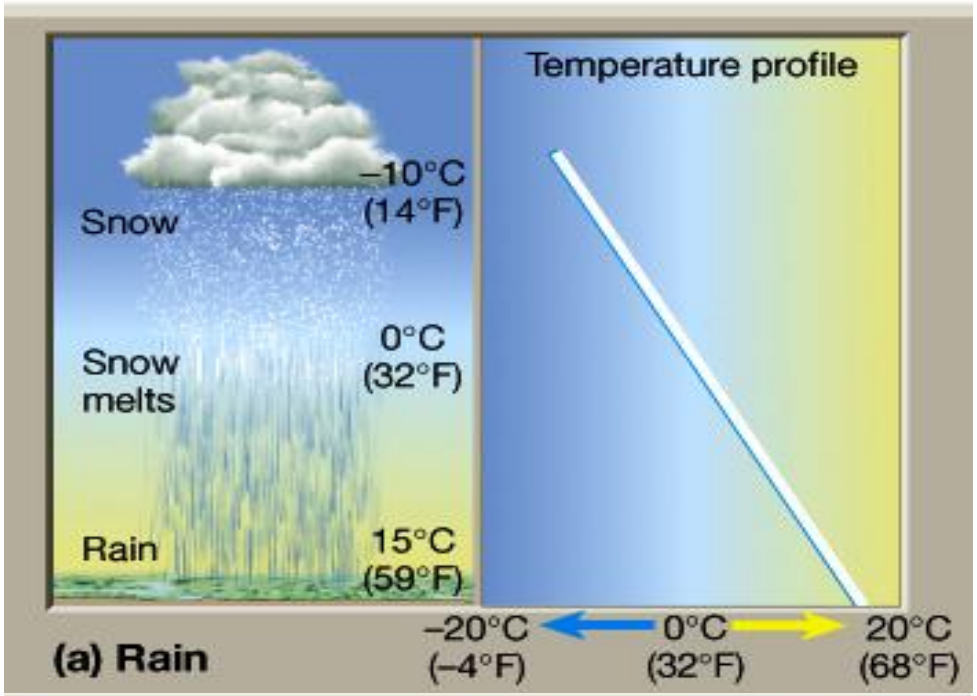
TABLE 7–1 Terminal Velocities of Hailstones

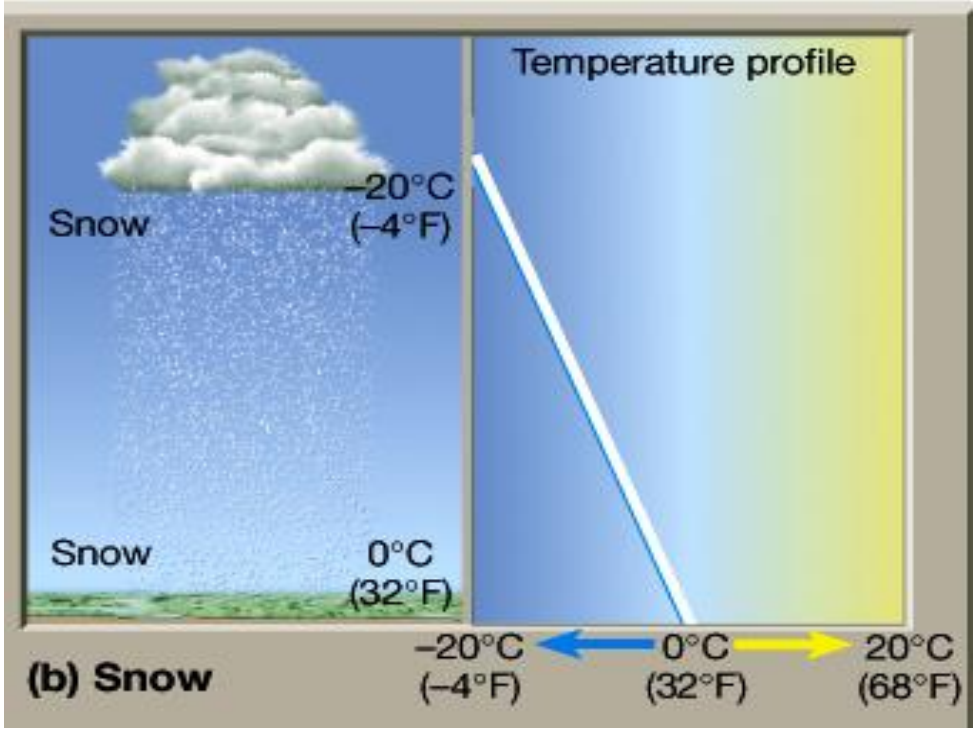
$$v_t = \sqrt{\frac{1}{3}\rho/k}\,\sqrt{r} = 20\sqrt{r} \quad (r \text{ in cm}, v_t \text{ in m/sec})$$

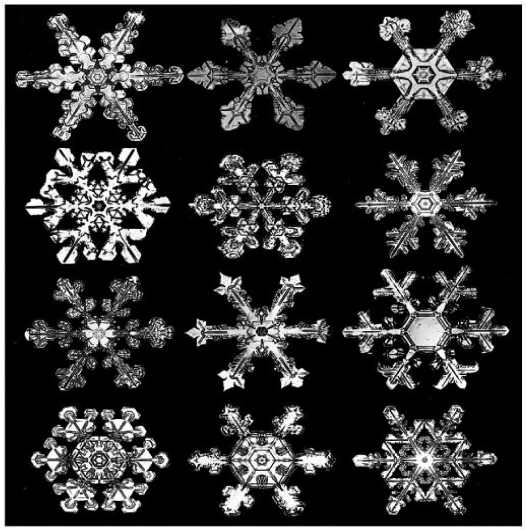
Radius (cm)	Terminal Velocity (Meters Per Second)
0.1	6 (13 mph)
1.0	20 (44 mph)
2.0	28 (62 mph)
3.0	35 (77 mph)

© 2010 Pearson Education, Inc.

Precipitação de Chuva e Neve dependem do perfil de temperatura



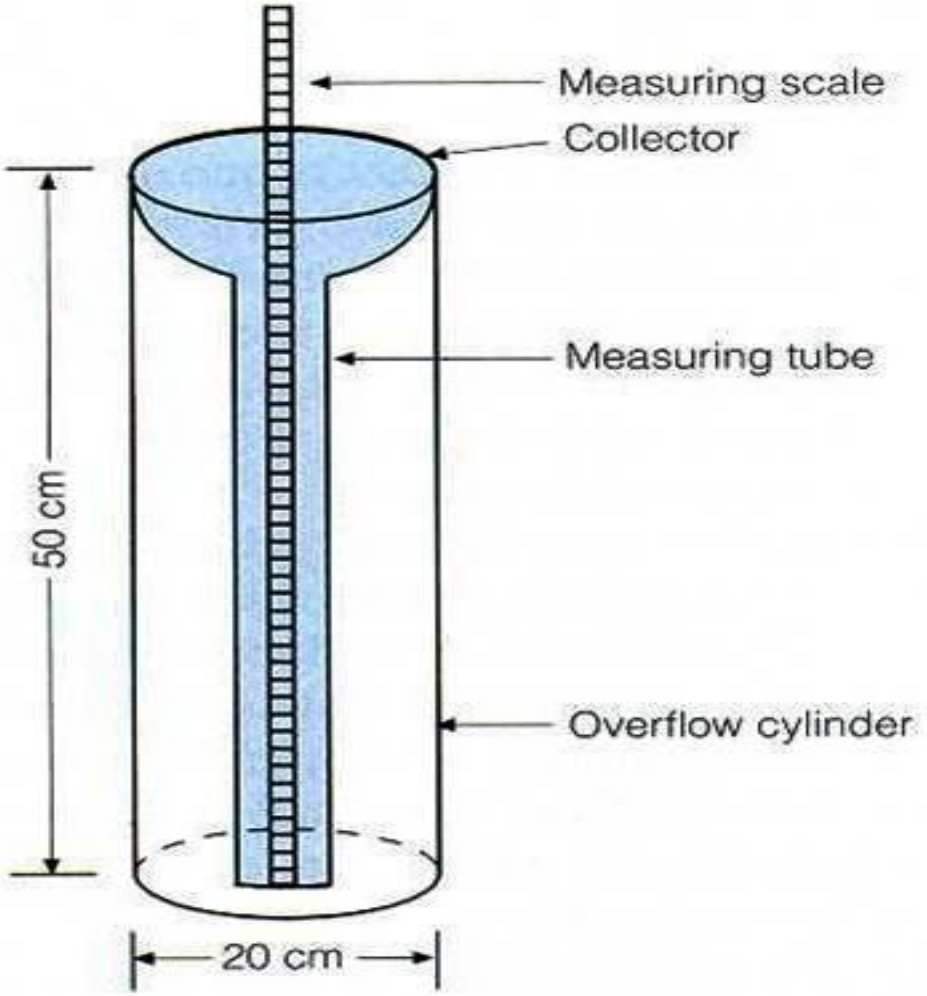




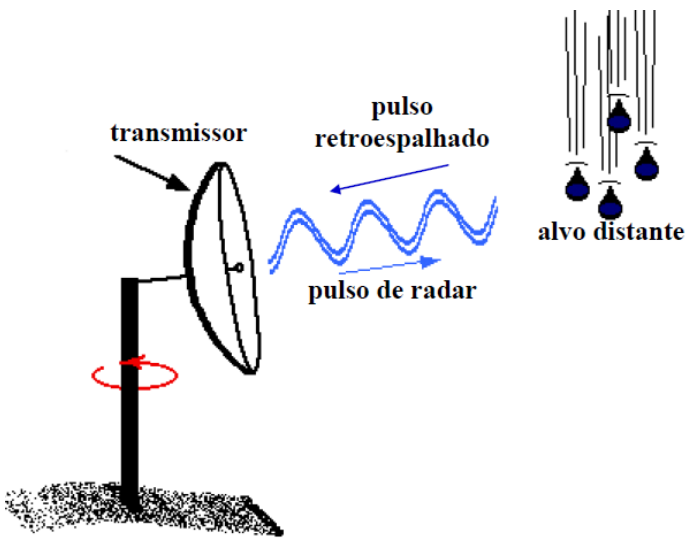
ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADA

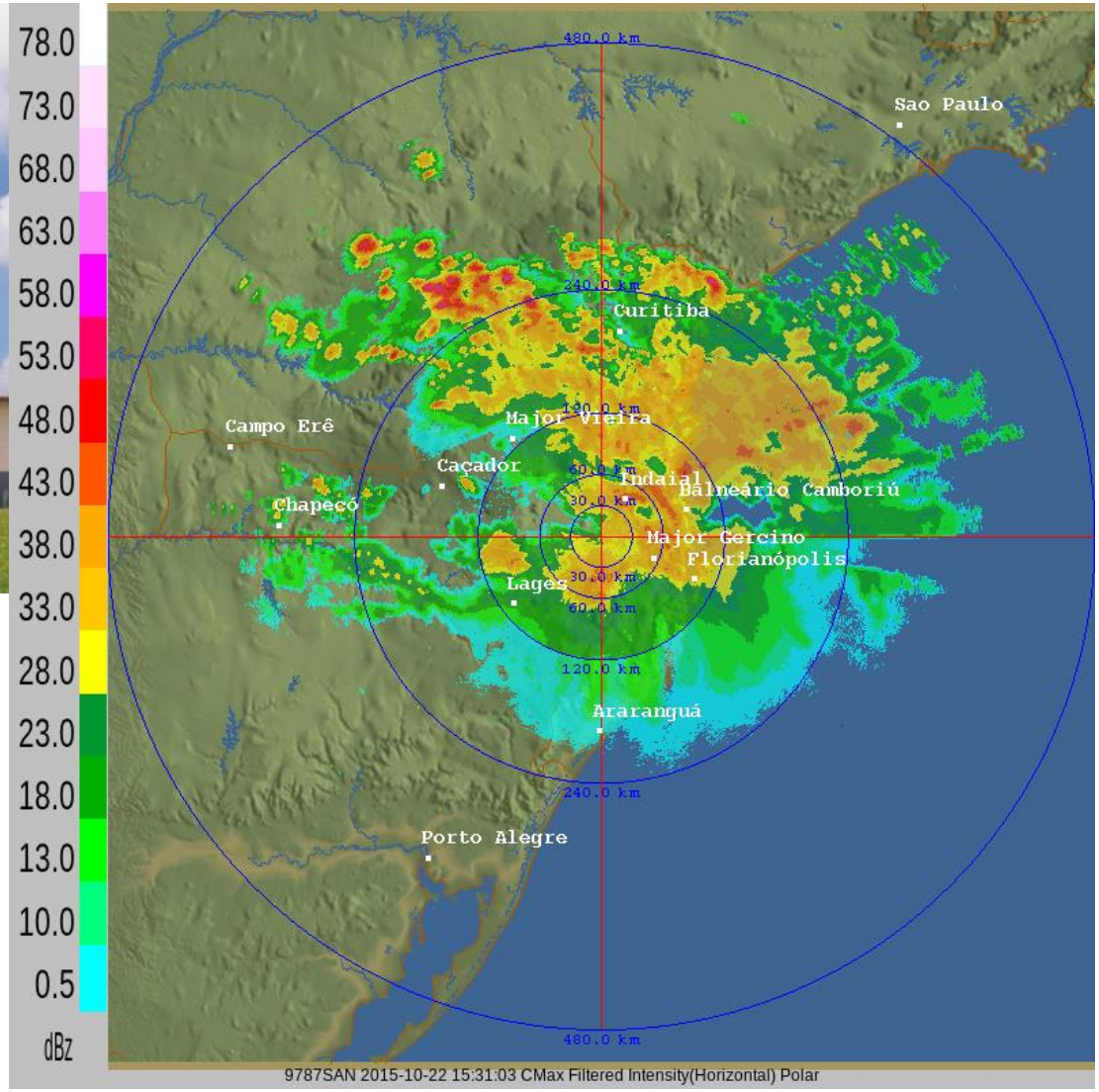
Pluviômetros

PLUVIÔMETRO



RADAR METEOROLÓGICO



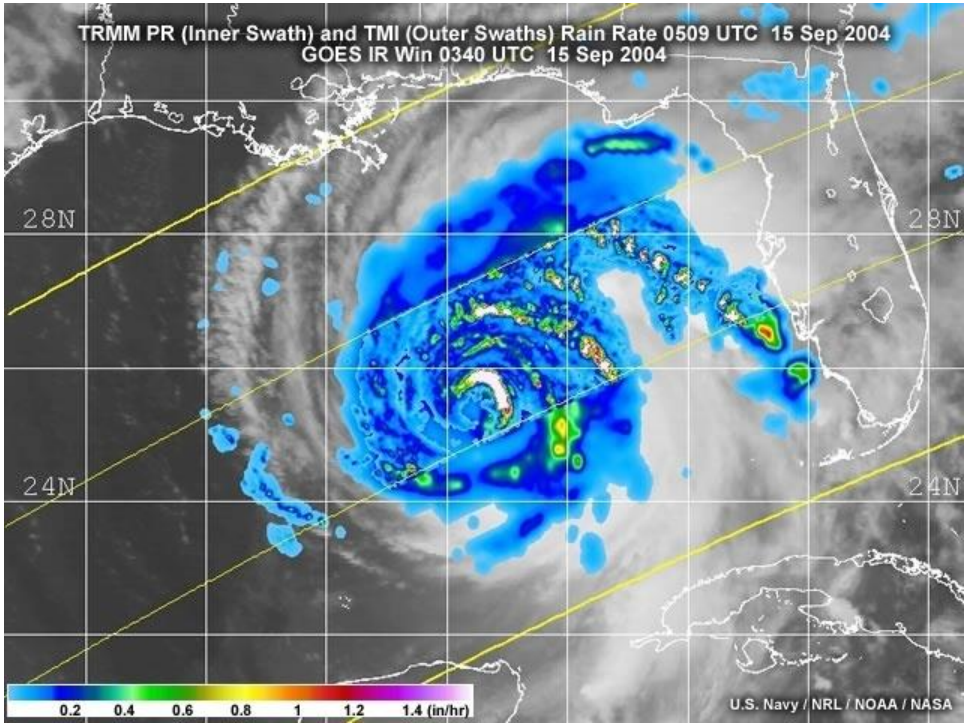


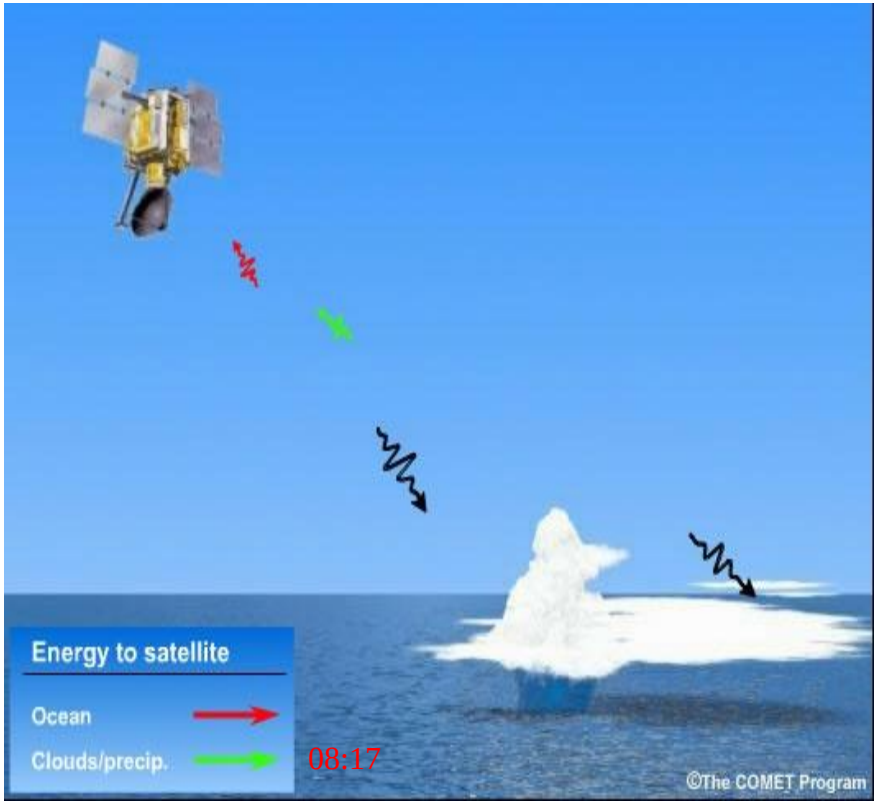
Imagens de Radar em Tempo Real

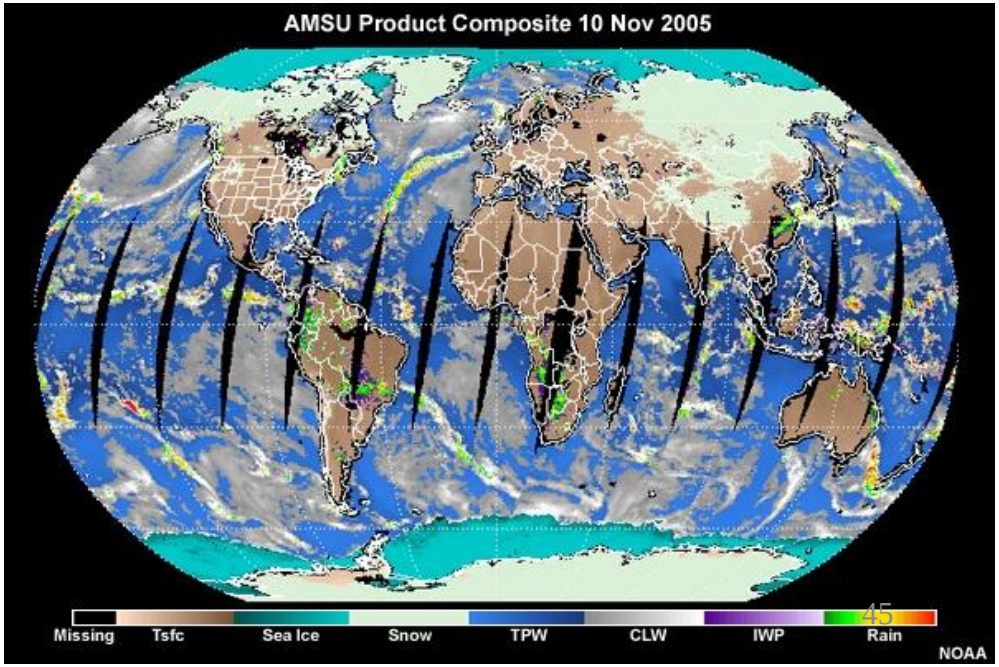
http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2058&Itemid=664

SATÉLITES

NOAA
NASA / JPL

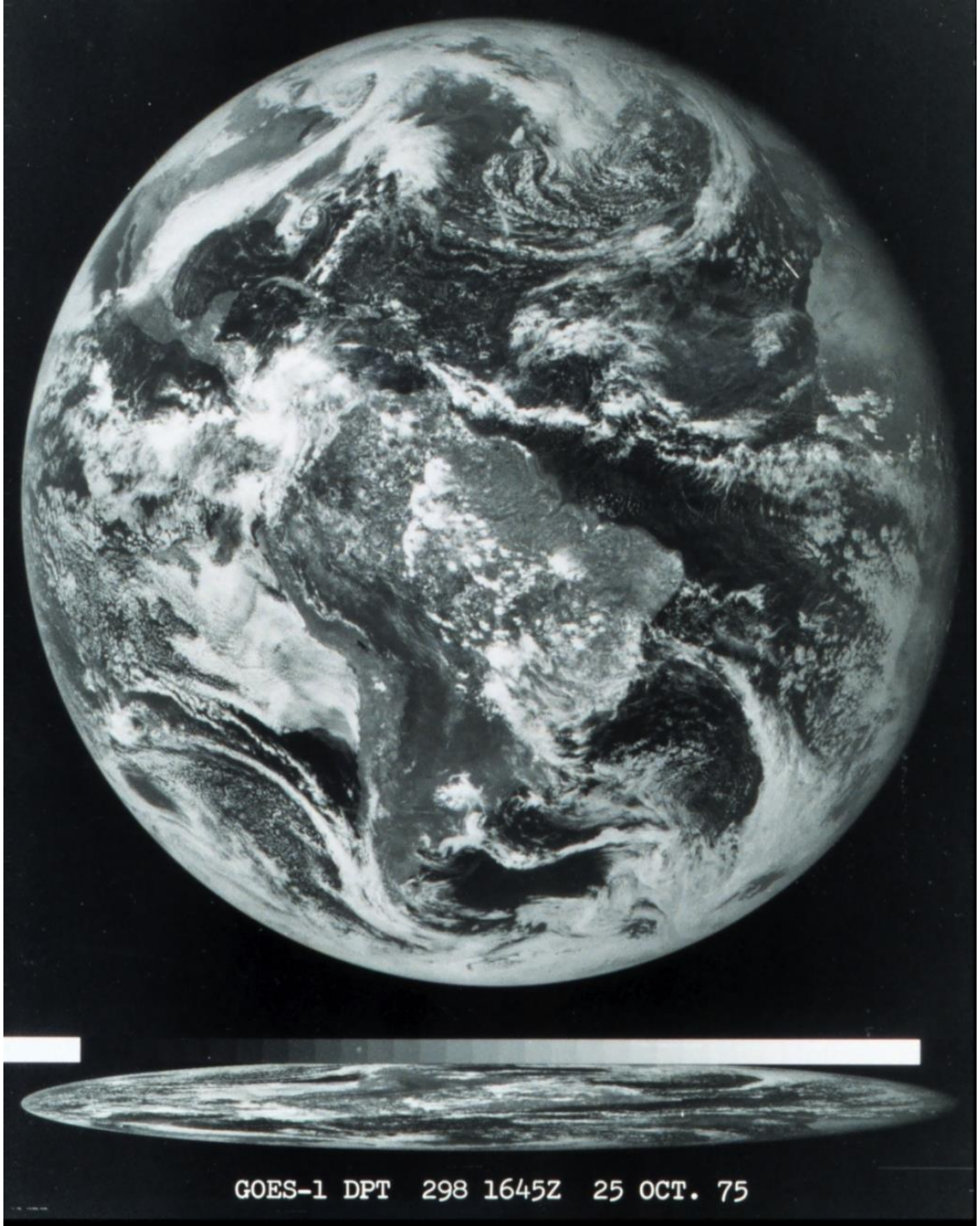

TRMM PR (Inner Swath) and TMI (Outer Swaths) Rain Rate 0509 UTC 15 Sep 2004
GOES IR Win 0340 UTC 15 Sep 2004
28N
28N
24N
24N
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4 (in/hr)
U.S. Navy / NRL / NOAA / NASA


Energy to satellite
Ocean
Clouds/precip.
08:17
©The COMET Program

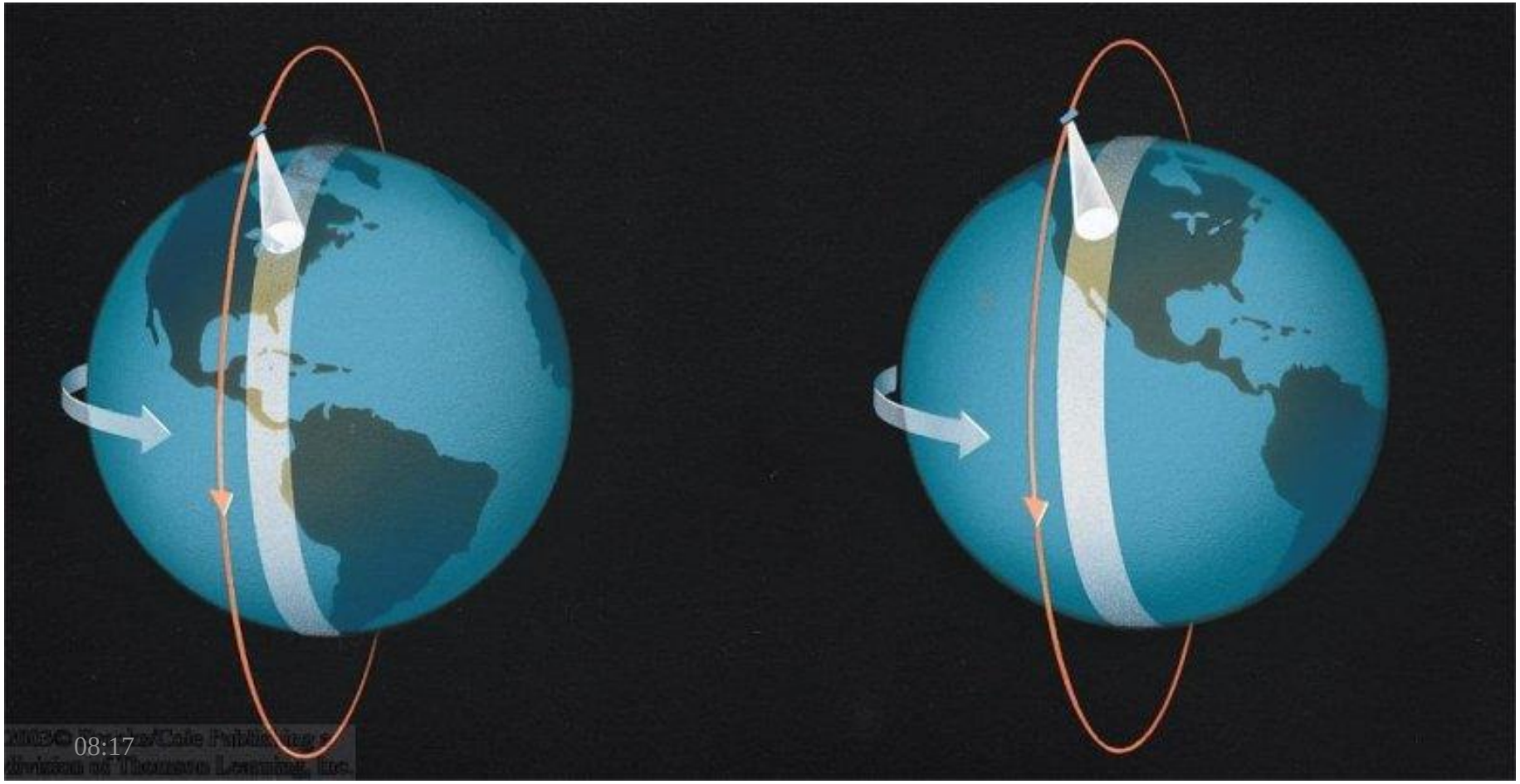

AMSU Product Composite 10 Nov 2005
Missing
Tsfc
Sea Ice
Snow
TPW
CLW
IWP
Rain
NOAA

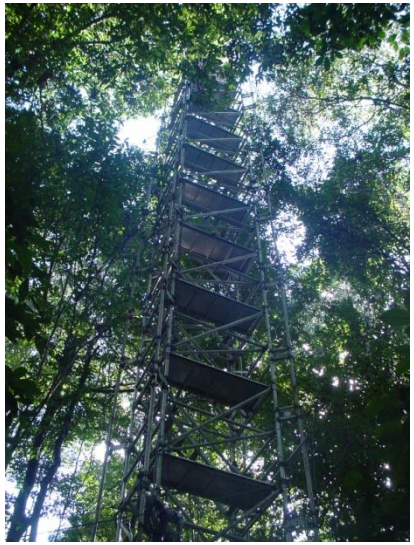
A primeira imagem de satélite que cobriu toda a Terra foi feita 40 anos atrás.

Note quem ficou bem na foto!!



Os satélites de **órbita polar** passam pelos pólos a cada revolução. Conforme a terra gira sobre o seu eixo, os satélites cobrem uma região diferente a cada passagem.
Estes satélites possuem órbitas mais baixas (aprox. 850 km) e permitem imagens mais detalhadas. (Exemplos: Aqua, Terra, TRMM, NOAA, etc).
http://satelite.cptec.inpe.br/home/#



Temperatura – Instrumentos de Medida

Estações de superfície, medidas aquáticas, navio instrumentado, torre meteorológica, radiosonda, balão cativo.