

RADIAÇÃO

Tipos de Energia

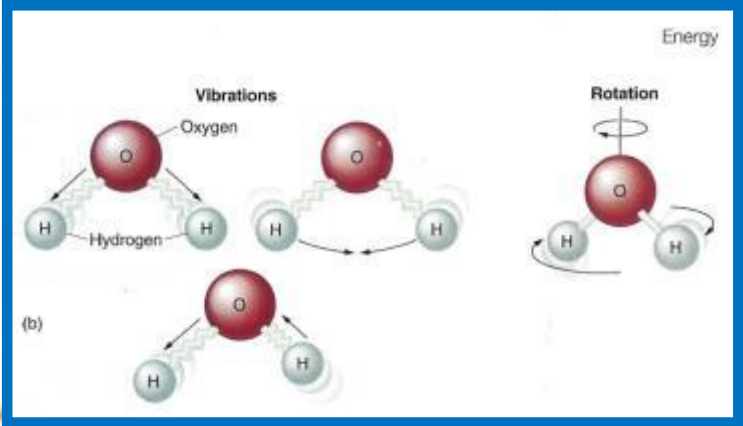
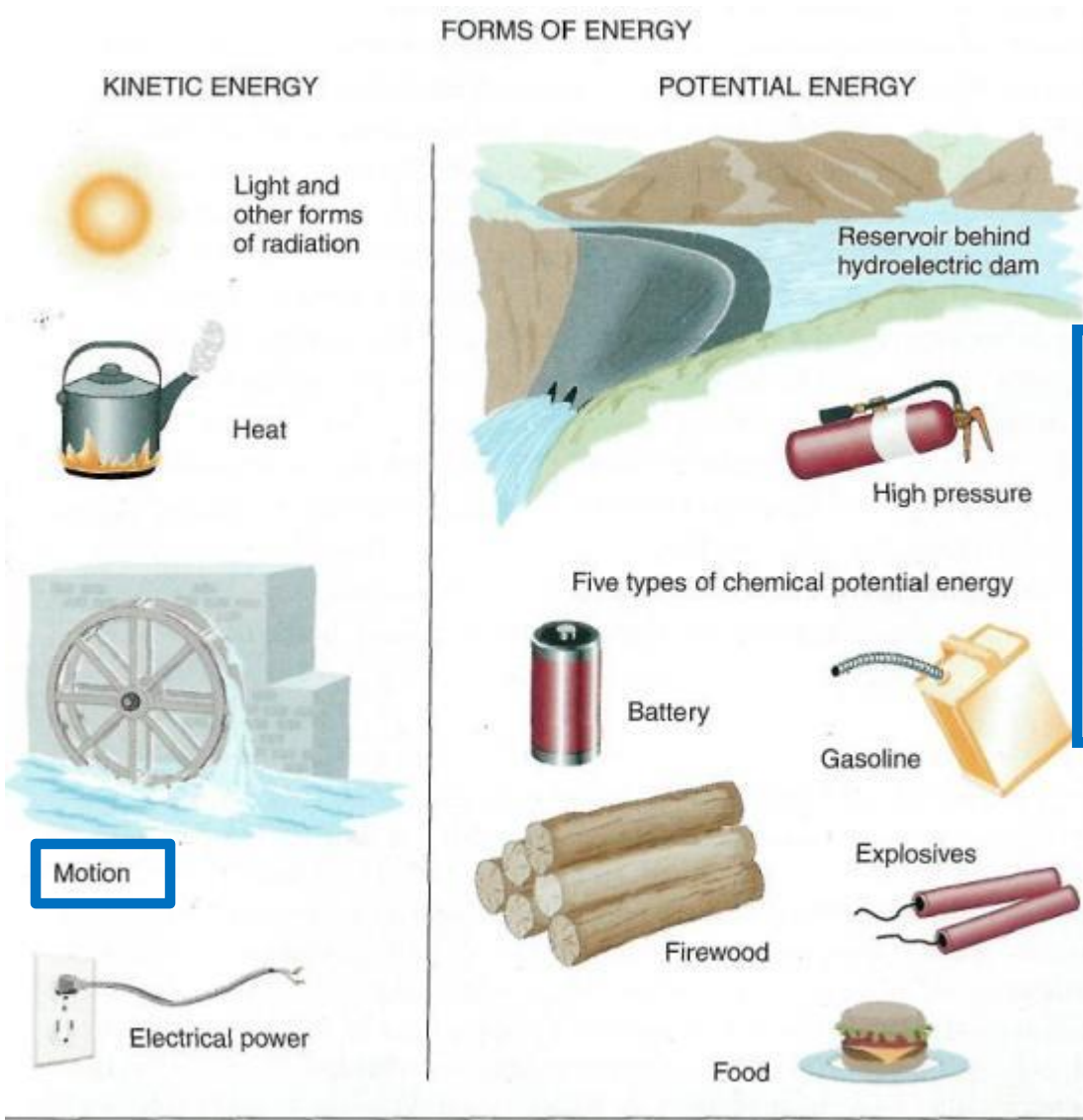


FIGURE 2-2 Kinetic energy can occur as the motion associated with moving objects, such as the falling raindrop in (a), or as molecular vibration or rotation, as depicted for water molecules in (b). The greater the rate of vibration or rotation, the higher the temperature of the substance.

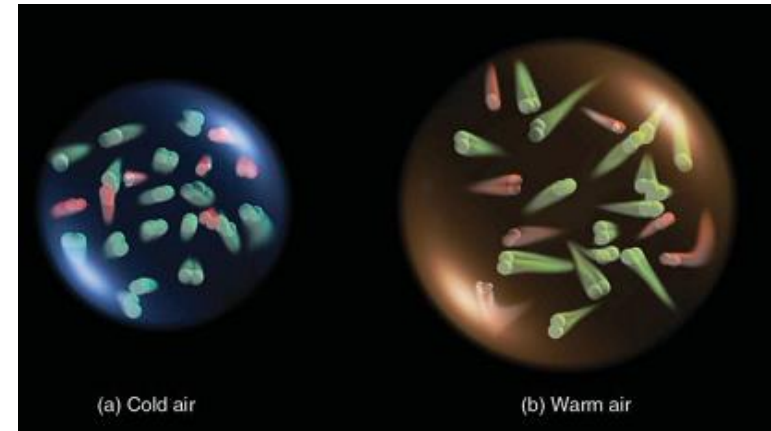
FIGURE 2-1 Energy assumes several different forms, but each of these is a form of either kinetic energy (the energy of motion) or potential energy.

→ Energy (capacity to do work) potential energy / kinetic energy

Probably the most important form of energy in terms of weather and climate is the energy we receive from the sun - radiant energy

→ Temperature

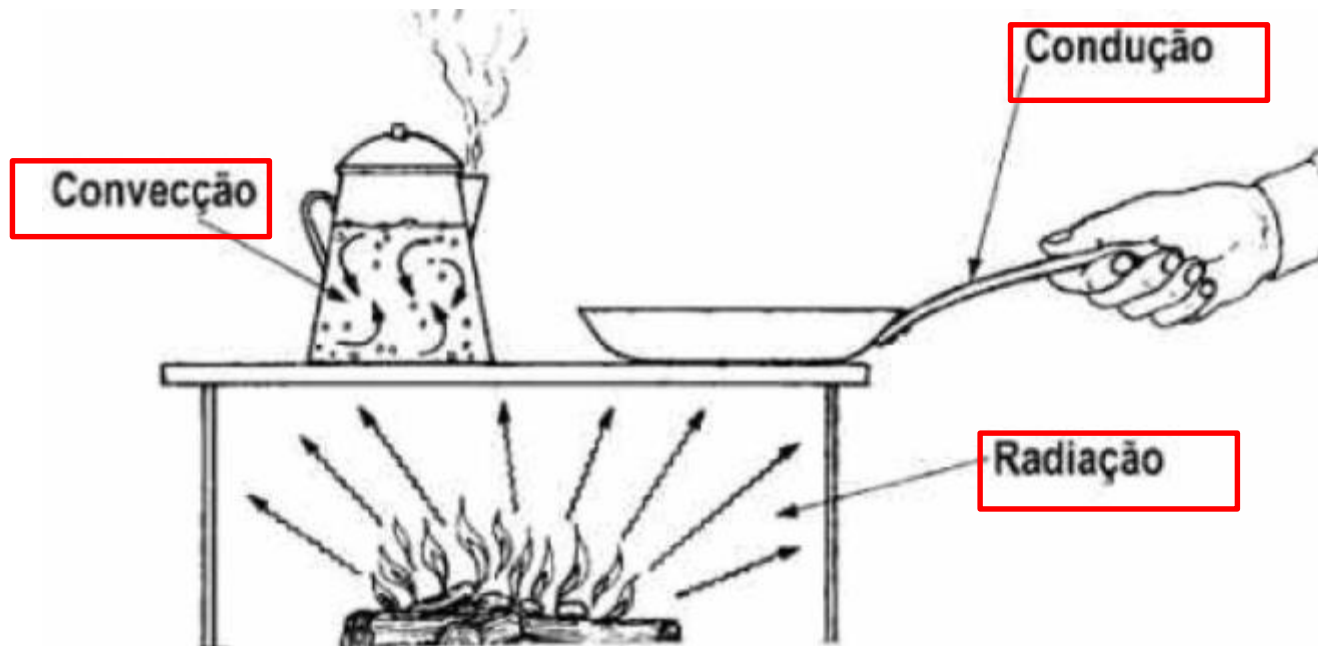
● **FIGURE 2.1** Air temperature is a measure of the average speed of the molecules. In the cold volume of air, the molecules move more slowly and crowd closer together. In the warm volume, they move faster and farther apart.



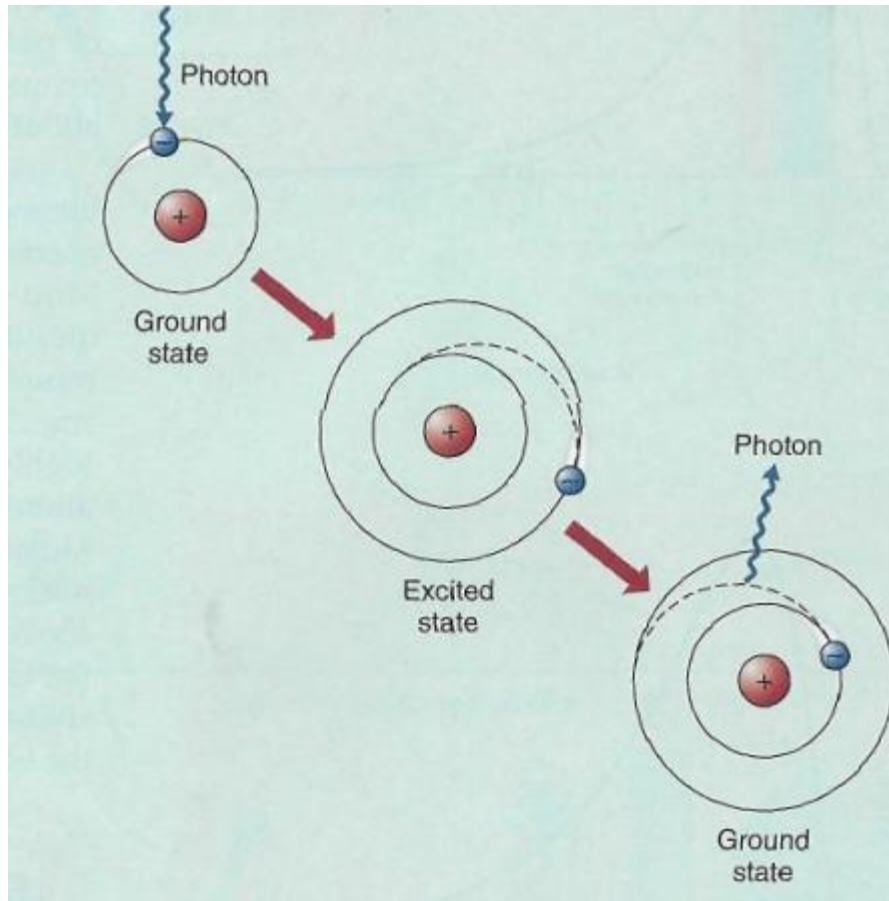
→ Heat

heat is energy in the process of being transferred from one object to another because of the temperature difference, In the atmosphere, heat is transferred by **conduction**, **convection**, and **radiation**

Mecanismos de Transferências de energia



Radiação



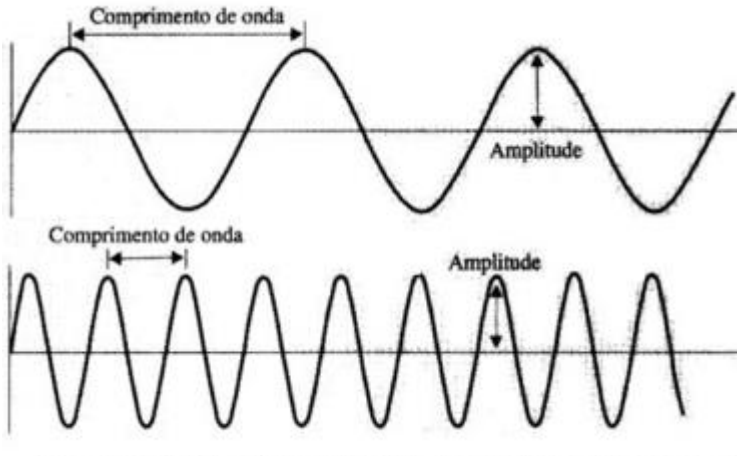
A radiação é uma forma de energia, sob a forma de ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz. Consiste num fluxo de fotões (Luz)

FIGURE 1 Electrons orbit the nucleus of atoms in prescribed zones called *shells*. This figure depicts a single electron orbiting the nucleus of a hydrogen atom. Upon receiving energy, the electron is in an excited state and jumps to its *next shell*. When the electron returns to its ground state, it releases energy in the form of a photon. Note that the energy emitted by such atoms must occur in discrete packets; at the atomic scale, units of energy are divided into individual parcels.

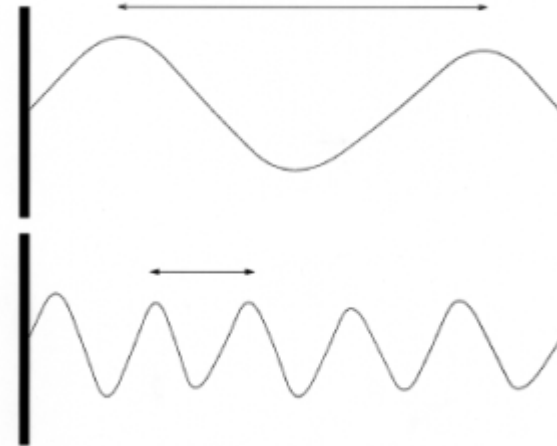
Radiação

Radiation is energy in the form of electromagnetic waves

(radiação é uma forma de energia, sob a forma de ondas eletromagnéticas)



Long-wave radiation (heat emitted by the Earth))



Short-wave radiation (Sunlight)

$$c/f = \lambda$$

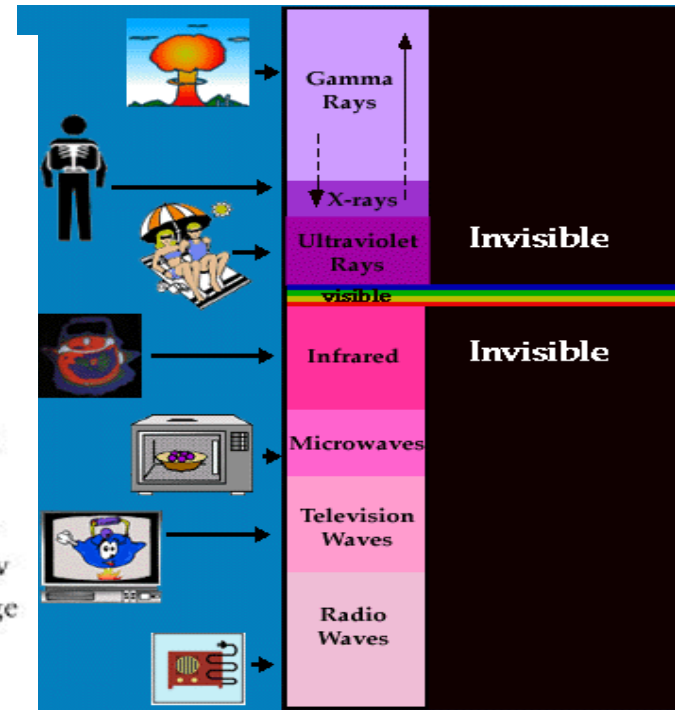
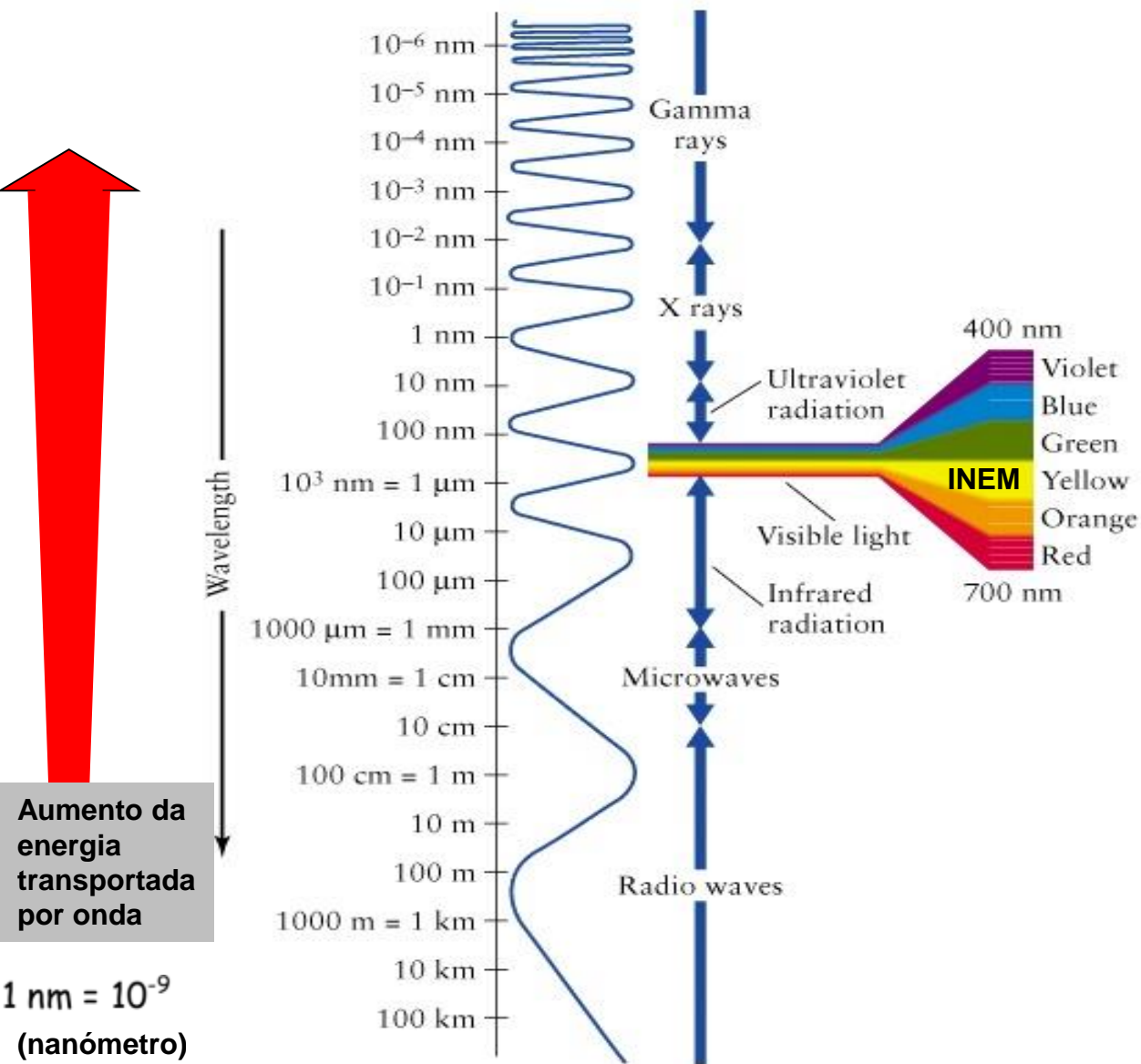
que:

λ = comprimento de onda de uma onda sonora
ou onda electromagnética;

c = velocidade da luz no vácuo = 299.792,458
km/s ~ 300.000 km/s = 300.000.000 m/s

f (ou ν) = frequência da onda 1/s = Hz.

Radiação



1 nm = 10^{-9}
(nanómetro)

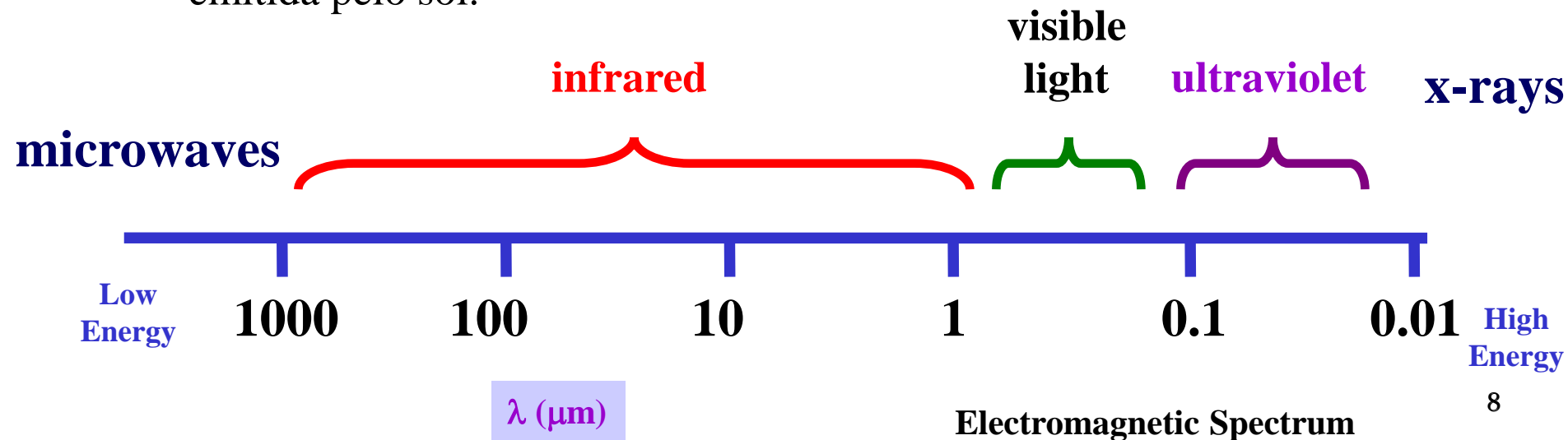
1 μ m = 10^{-6}
(microómetro)

Radiação

Caracterização da energia solar:

No espectro da radiação solar há 3 radiações fundamentais:

- **Ultra Violeta (UV)** – 0,1 a 0,4 μm e representa 9% da energia emitida pelo sol;
- **Visível** – 0,4 a 0,78 μm e representa 41 % da energia emitida pelo sol;
- **Infra - Vermelha (IV)** – 0,78 a 3 μm e representa 50% da energia emitida pelo sol.



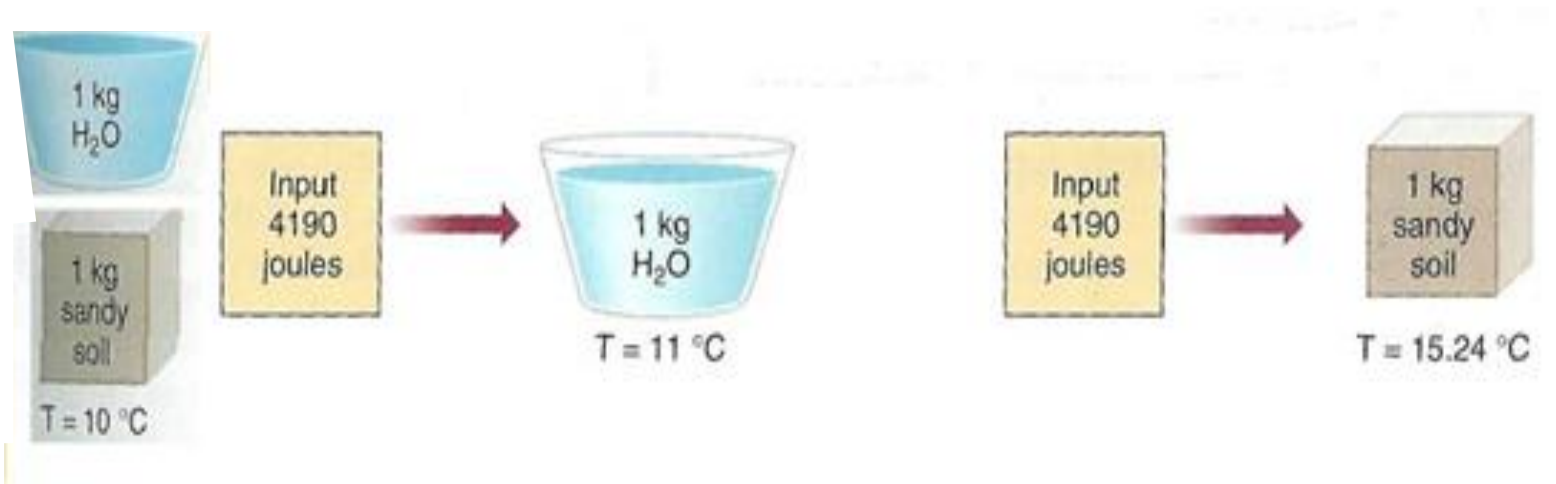
Calor Sensível

$$Q = c m \Delta T$$

Heat required
to increase
Temp depends
on amount of
material (m)
and type of
material (c)

▼ TABLE 2.1 Specific Heat of Various Substances

SUBSTANCE	SPECIFIC HEAT (Cal/g × °C)	J/(kg × °C)
Water (pure)	1.00	4186
Wet mud	0.60	2512
Ice (0°C)	0.50	2093
Sandy clay	0.33	1381
Dry air (sea level)	0.24	1005
Quartz sand	0.19	795
Granite	0.19	794



Calor Latente

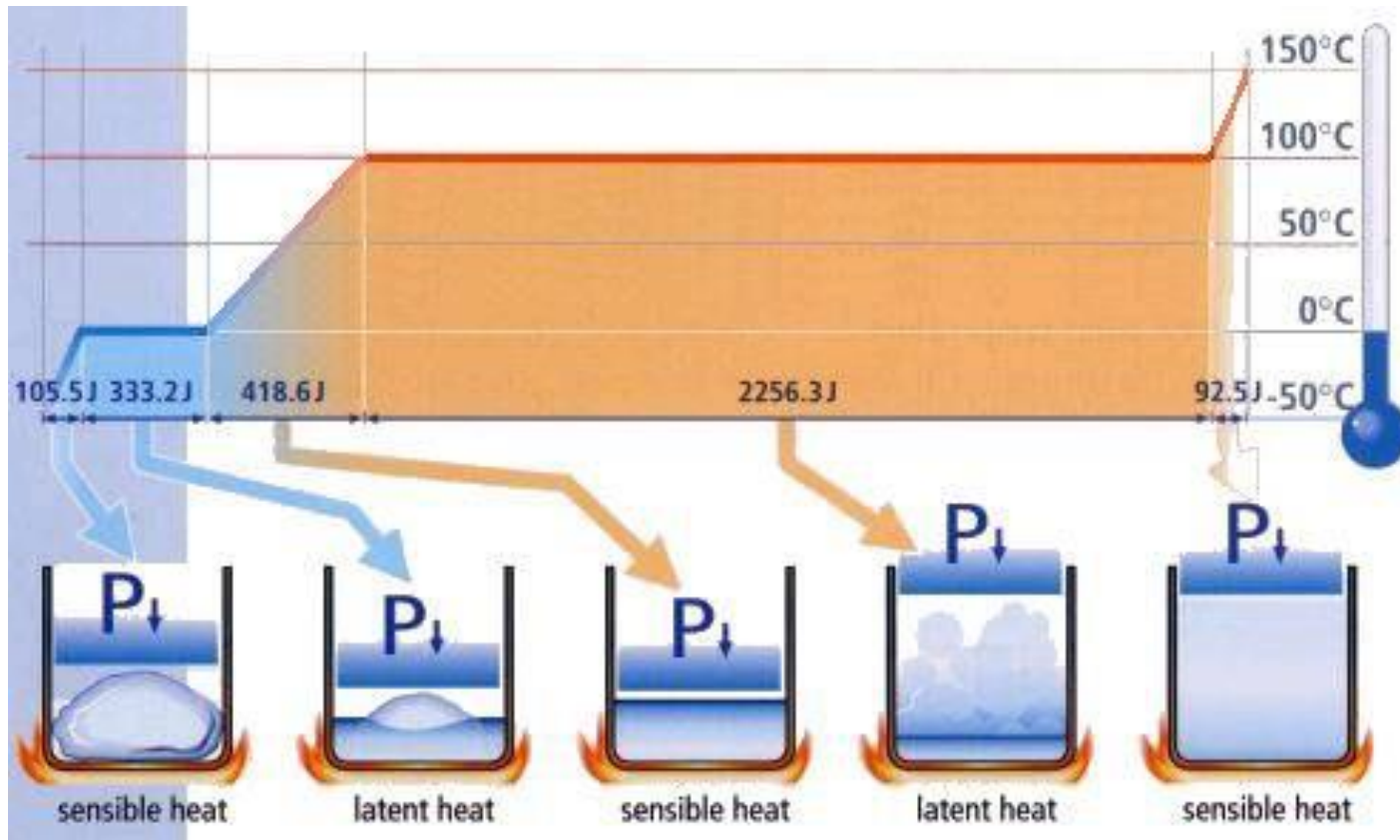
substâncias conseguem alterar o estado, requerem a adição ou perda de calor

- **calor latente** - não afecta a temperatura da substância ($Q = m.L$)

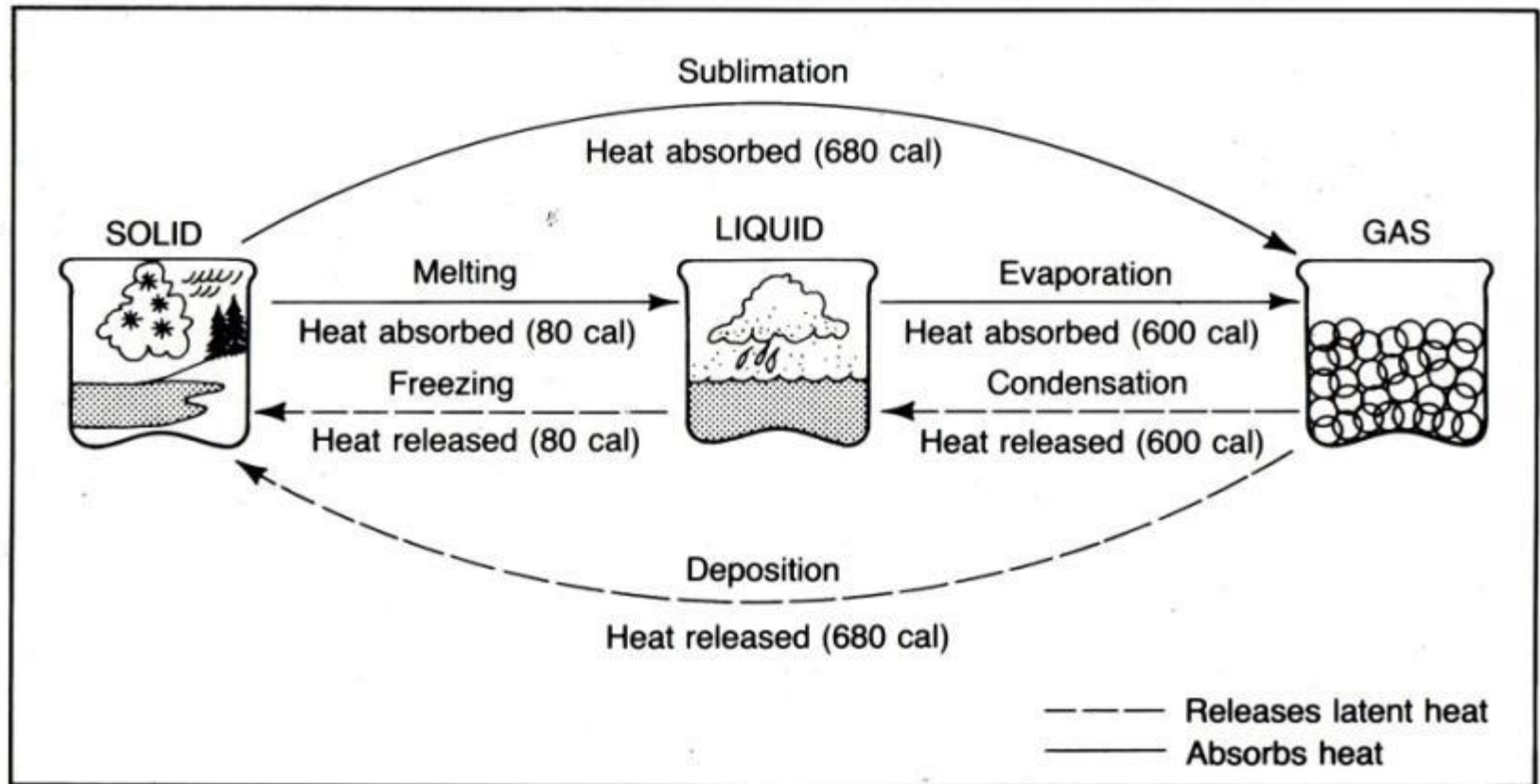
Calor Sensível

Quando um objecto é aquecido/arrefecido, a sua temperatura aumenta/baixa

- **calor sensível** - provoca uma mudança de temperatura



Latent heat is heat that is tied up in the phase changes of water and is unavailable



Radiação

Na Climatologia há três tipos de radiação que importam estudar:

Radiação Solar;

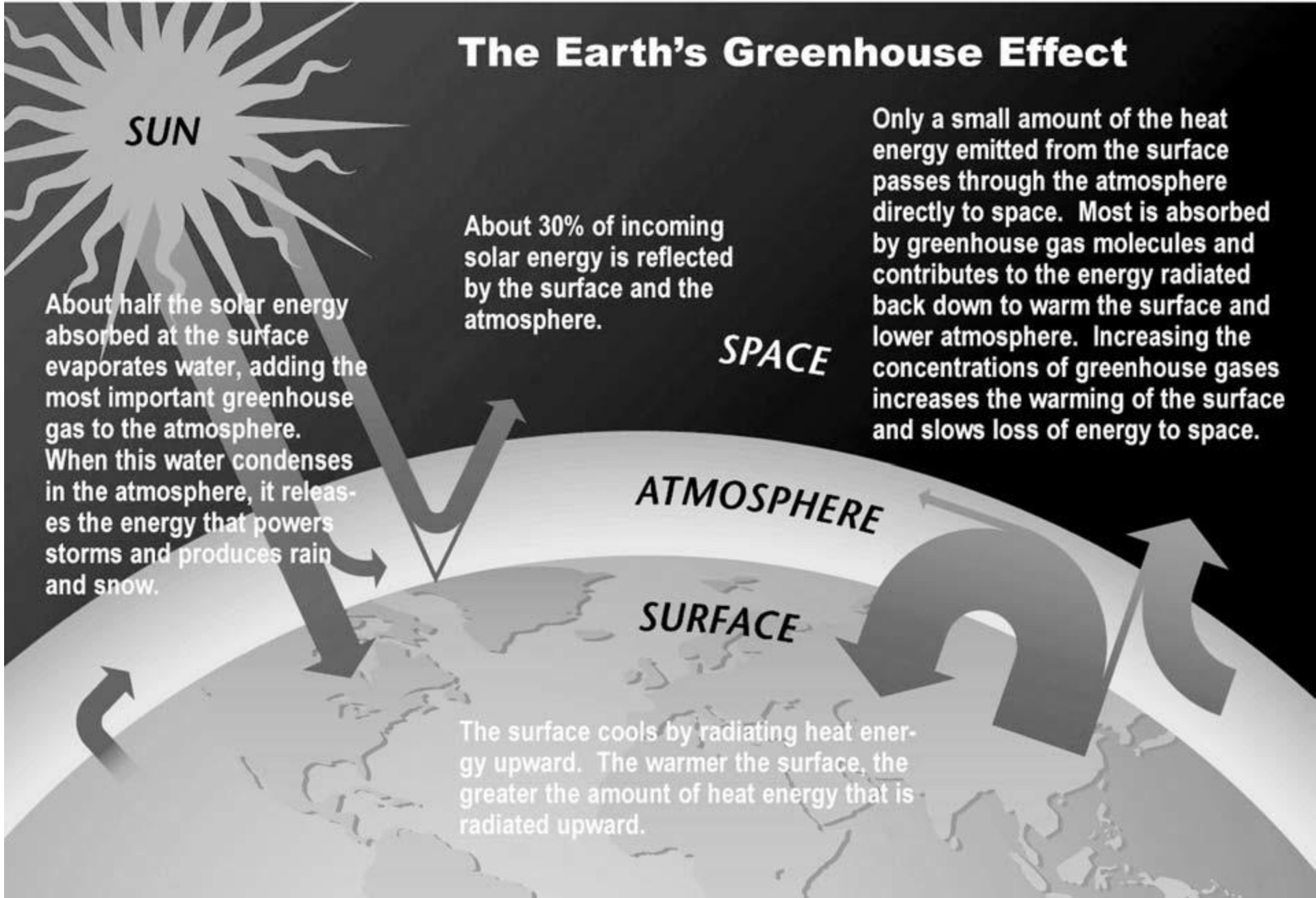
Radiação Terrestre;

Radiação Atmosférica.

Radiação Solar

- Radiação emitida pelo Sol;
- O Sol ocupa o centro do sistema solar ;
- O seu tamanho é 330 mil vezes superior ao da terra;
- O sol dista da terra $\approx 150.000.000$ km;
- Dentro do sol ocorrem uma série de reacções que libertam uma grande quantidade de calor;
- A energia do sol é irradiada em todas as direcções;
- Devido à grande distância que separa a terra do sol, só uma pequena parte é interceptada pela terra;
- Mas, esta pequena quantidade é a responsável por todos os processos atmosféricos (nuvens, chuva, granizo, ...).

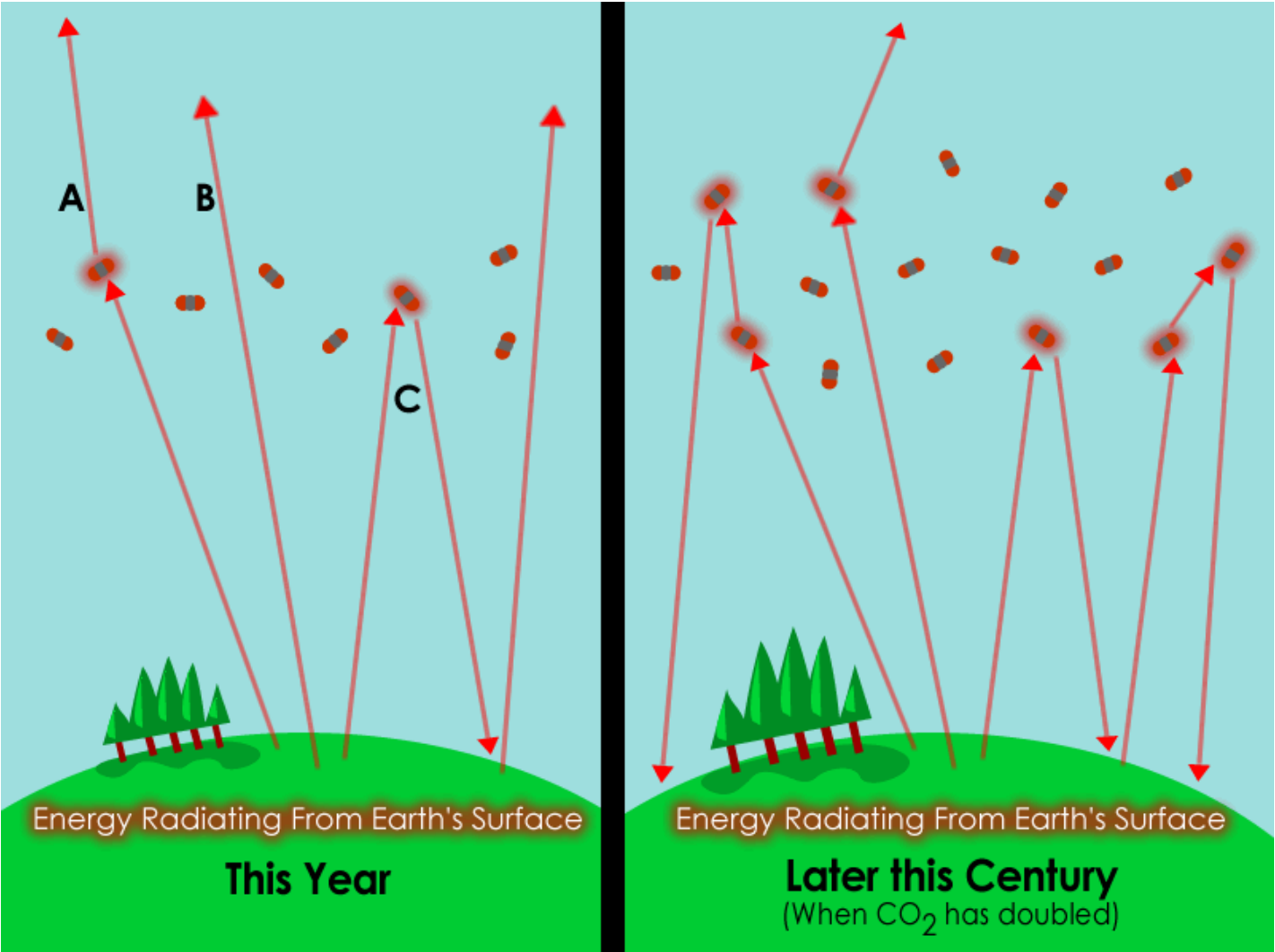
The Earth's Greenhouse Effect



C11.Schematic diagram of the energy fluxes that create the Earth's greenhouse effect. The width of the arrows is proportional to the amount of energy. Total incoming energy from the Sun averages 342Wm^{-2}

(NAST, 2000).

Earth's Greenhouse Effect



The Earth's surface, warmed by the Sun, radiates heat into the atmosphere. Some heat is absorbed by greenhouse gases like carbon dioxide and then radiated to space (A). Some heat makes its way to space directly (B). Some heat is absorbed by greenhouse gases and then radiated back towards the Earth's surface (C). With more carbon dioxide in the atmosphere later this Century, more heat will be stopped by greenhouse gases, warming the planet.

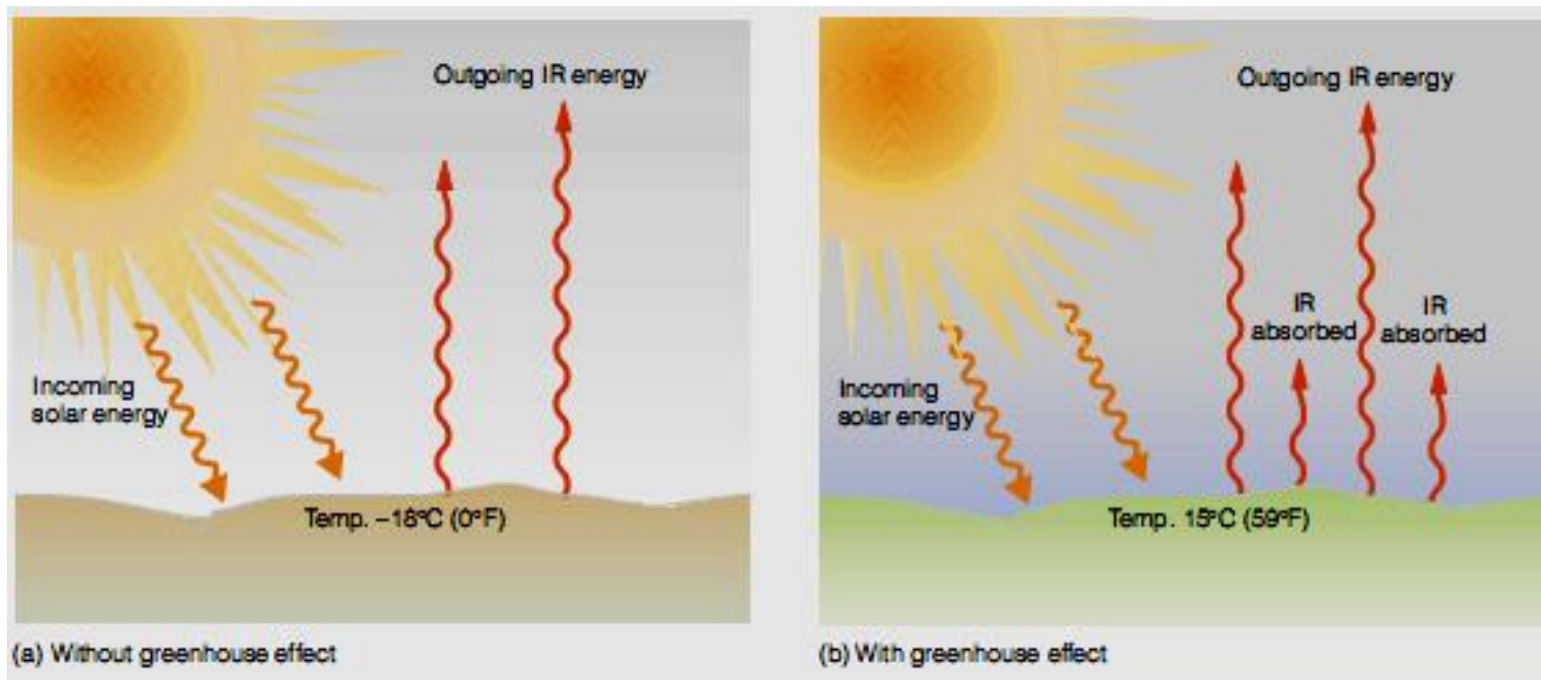


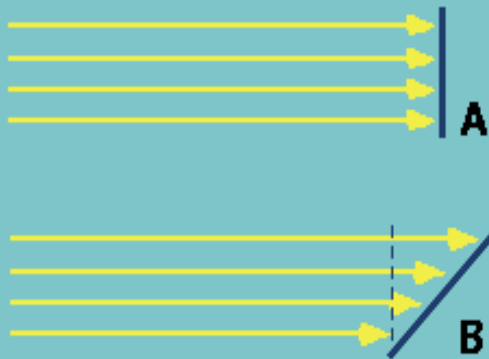
FIGURE 2.10 Sunlight warms the earth's surface only during the day, whereas the surface constantly emits infrared radiation upward during the day and at night.

a) Near the surface *without water vapor, CO₂, and other greenhouse gases*, the earth's surface would constantly emit infrared radiation (IR) energy; incoming energy from the sun would be equal to outgoing IR energy from the earth's surface. Since the earth would receive no IR energy from its lower atmosphere (no atmospheric greenhouse effect), the earth's average surface temperature would be a frigid -18°C (0°F).

(b) With greenhouse gases, the earth's surface receives energy from the sun and infrared energy from its atmosphere. Incoming energy still equals outgoing energy, but the added IR energy from the greenhouse gases raises the earth's average surface temperature about 33°C , to a comfortable 15°C (59°F).

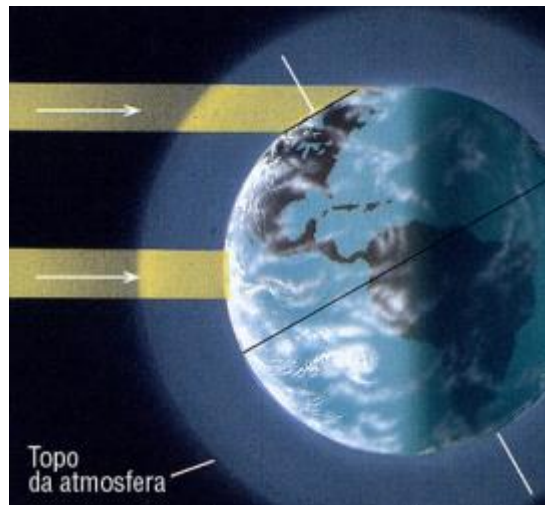
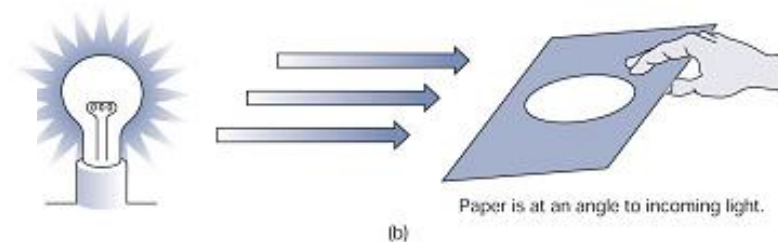
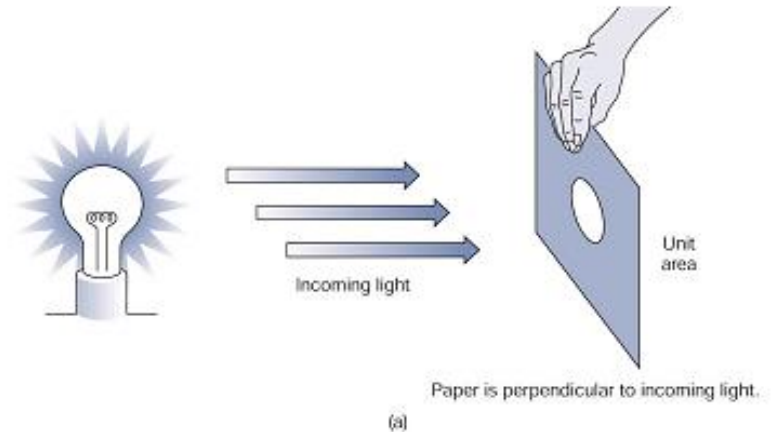
energy flux are W/m^2 (Watts per square meter - where $1 \text{ W} = 1 \text{ Joule/sec}$)

Energy Flux



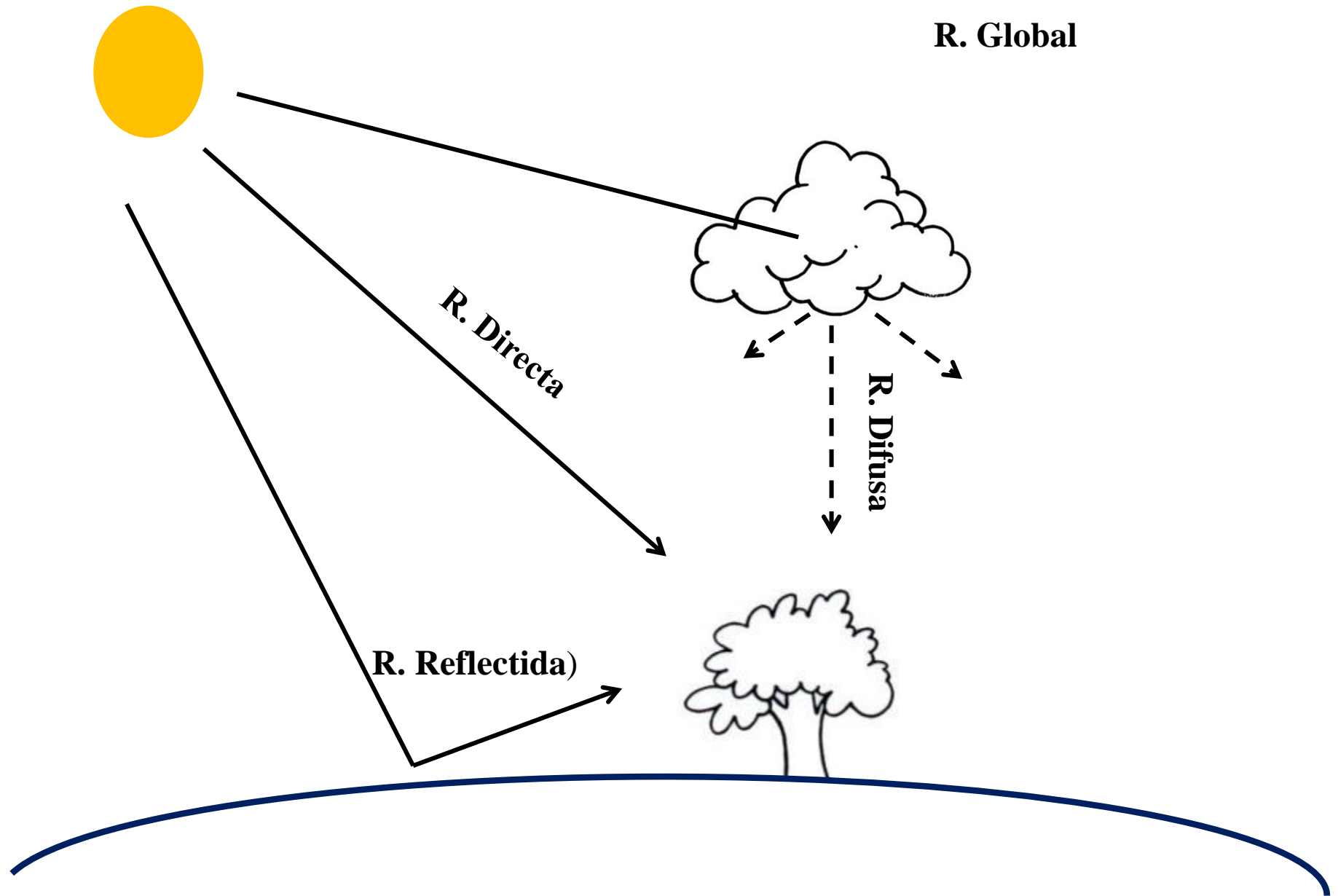
The energy (represented here by the number of yellow rays per unit length) hitting the wall A is the same as that hitting wall B. But wall B is slanted with respect to the rays, and the affected area is larger. The energy flux impinging on B is thus lower than on A.

Flux on an angled surface



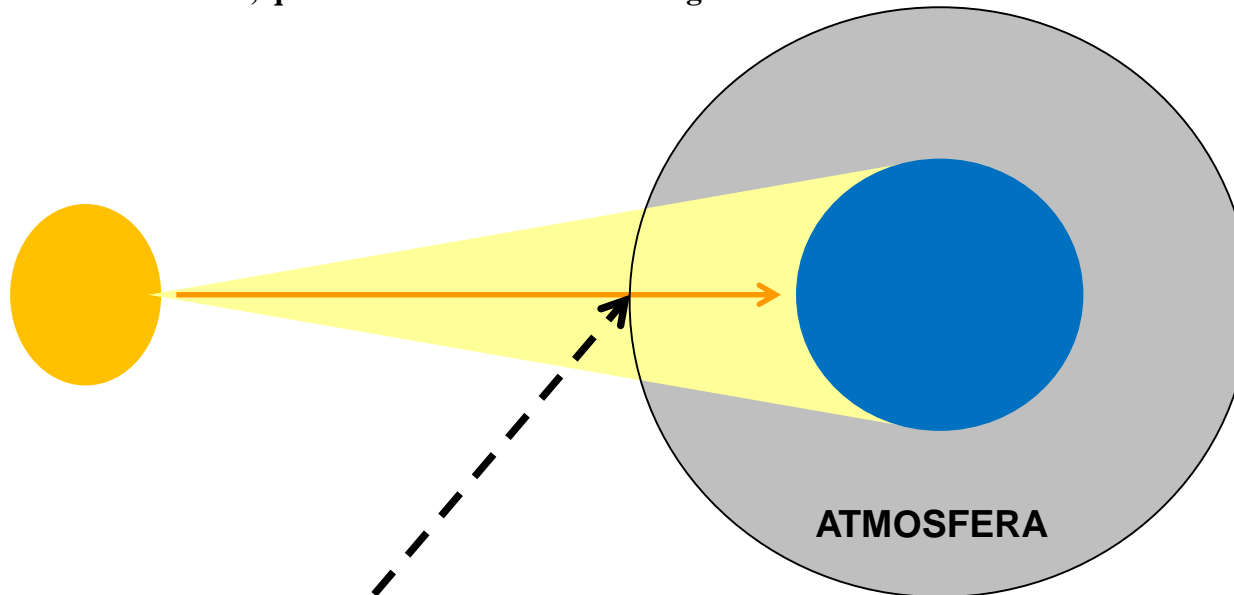
<http://www.atmos.washington.edu/2006Q1/211/index.html>

R. Global



Energia recebida no topo da atmosfera

- A energia disponível no topo da atmosfera foi estabelecida a partir de uma constante física – **Constante Solar (S_0)** e tem o valor médio de **1380W/m^2** .
- esta energia, no topo da atmosfera, e após ter percorrido o vazio, depende da distância média entre o globo terrestre e o Sol, que como é sabido varia ao longo do ano.



Constante Solar
 $S_0 = 1380\text{W/m}^2 (=I)$



A energia solar recebida no topo da atmosfera antes de percorrer a atmosfera terrestre até à superfície do globo pode ser expressa por:

$$E_{\text{ext}} = S_0 (R_m/R)^2 \cos Z$$

Onde:

S_0 = Constante solar (1380 Wm^{-2})

R_m = Distância média entre a terra e o sol ($1,5 \cdot 10^{11}\text{m}$)

R = Distância entre a terra e o sol num dado momento

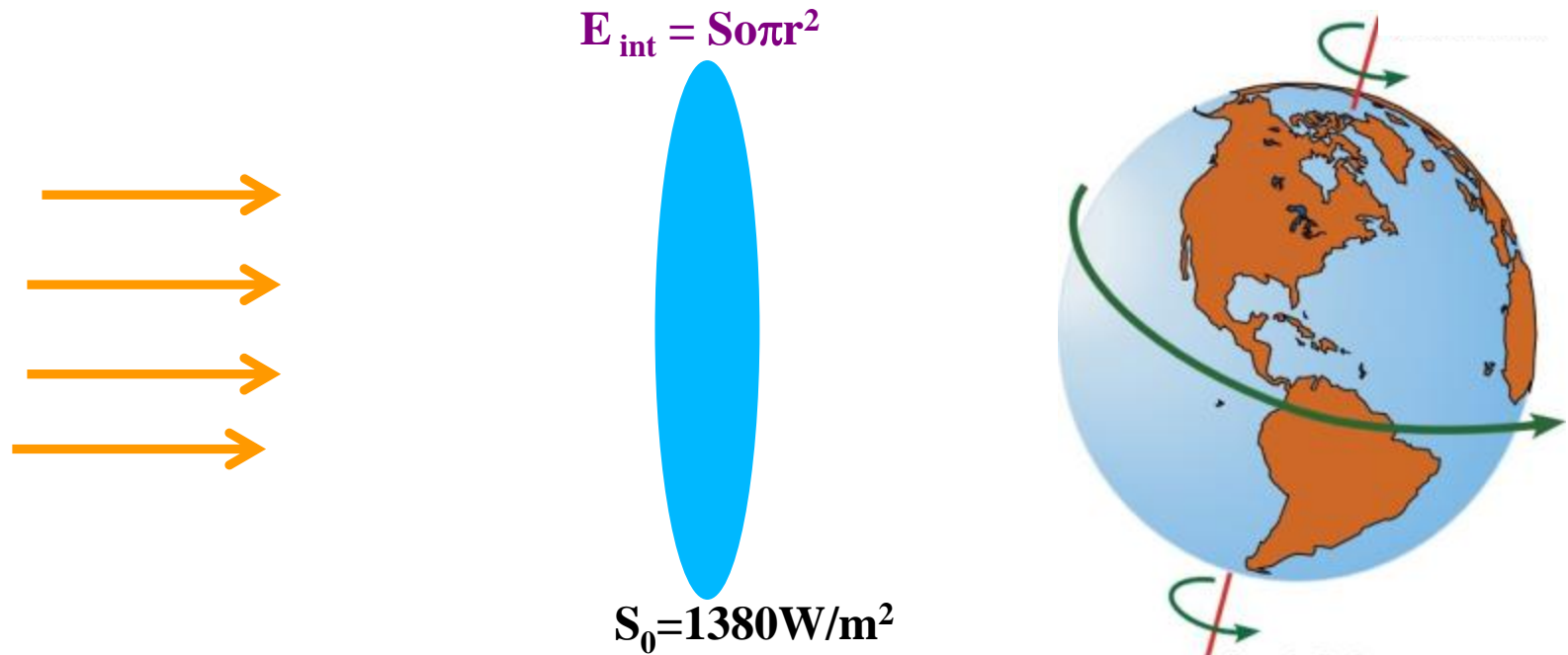
$$\cos Z = \cos \varphi \cos \delta \cosh + \sin \varphi \sin \delta$$

Radiação média incidente à superfície do globo terrestre

$$\text{Área círculo} = \pi r^2$$

$$\text{Área da esfera} = 4 \pi r^2$$

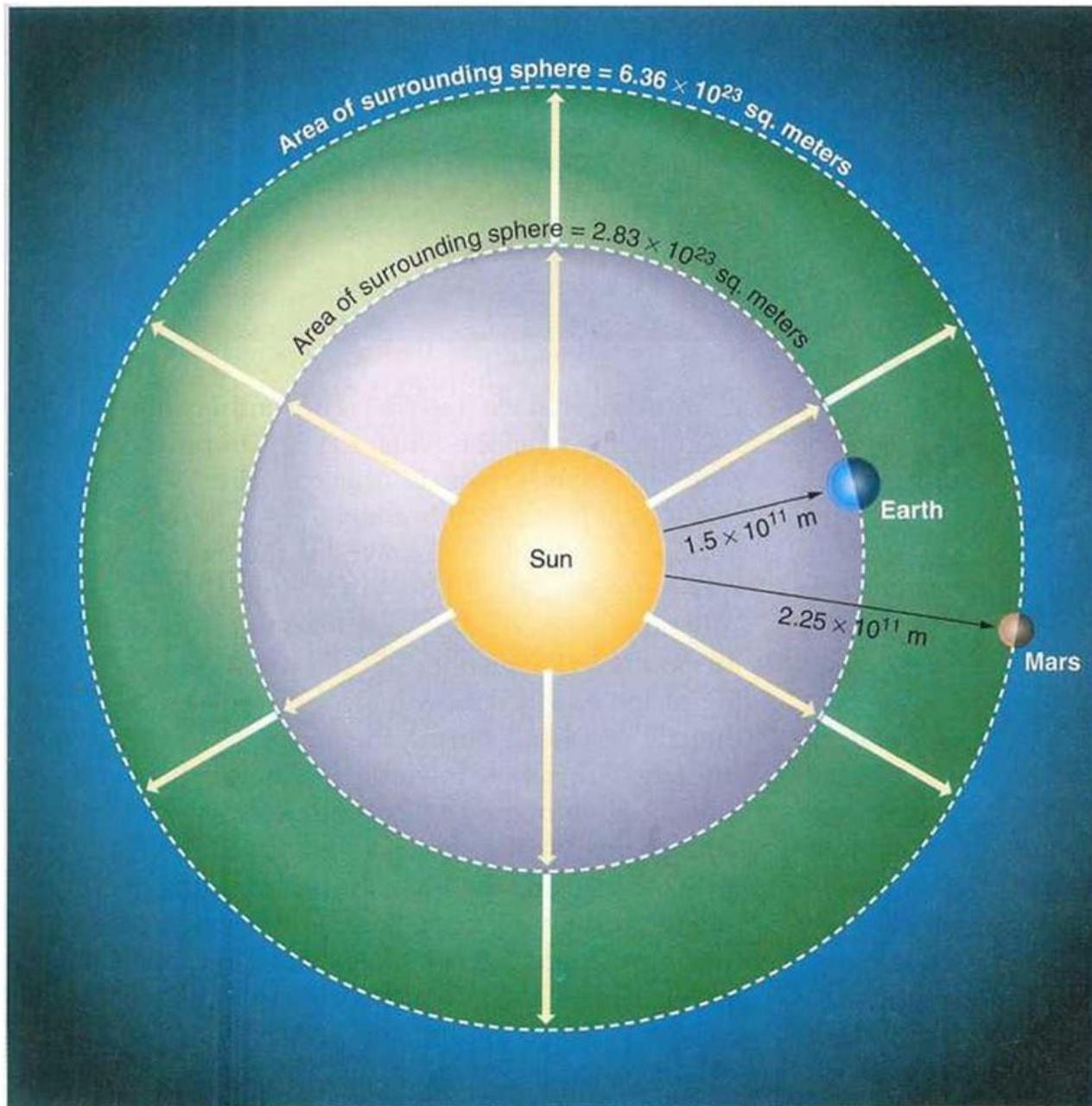
A radiação solar interceptada (E_{int}) pelo globo terrestre é função da área de superfície (**círculo com raio da terra**) de interceptação e da Constante Solar.



Devido \rightarrow rotação da terra a radiação interceptada é distribuída por toda a superfície da

terra Esfera com raio da terra $\rightarrow S_0 \pi r^2 / 4 \pi r^2 = S_0 / 4 = 1380 / 4 \text{ W m}^{-2} = 345 \text{ W m}^{-2}$

(=) Radiação média à superfície da terra



Emissão Solar Total



$$\frac{3,9 \times 10^{26} \text{ W}}{4 \pi (1,5 \times 10^{11} \text{ m}^2)} = 1\,379 \text{ W m}^{-2}$$

$$\frac{3,9 \times 10^{26} \text{ W}}{4 \pi (2,25 \times 10^{11} \text{ m}^2)} = 445 \text{ W m}^{-2}$$

Efeito da propagação da radiação solar na atmosfera:

A radiação solar que chega ao exterior da atmosfera tem de a atravessar para alcançar a superfície terrestre.

Nesta travessia está sujeita ao efeito atenuador dos gases contidos na atmosfera, gases esses, que provocam a diminuição da intensidade.

A radiação solar, nesta travessia, sofre filtrações e modificações importantes como consequência da absorção e da reflexão difusa que sobre ela exercem os componentes da atmosfera.

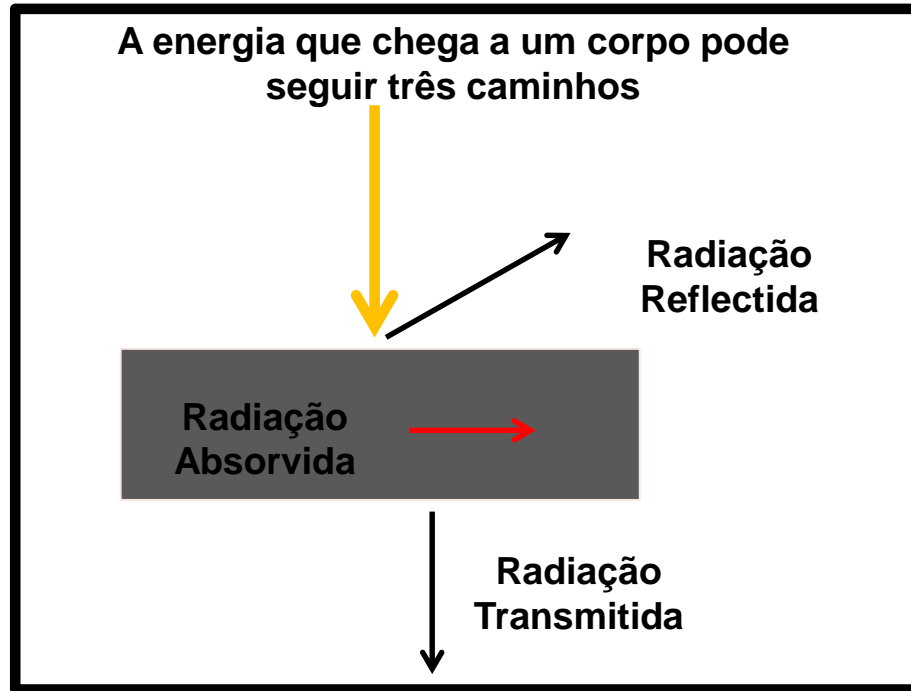
A acção dos constituintes atmosféricos sobre a radiação é exercida de um modo selectivo, já que se verifica para certos comprimentos de onda (λ) serem mais afectados que outros.

Do ponto de vista físico a atenuação da radiação é principalmente devida a **2** mecanismos:

➤ Absorção

➤ Reflexão

→ Transmissividade



→reflete a totalidade da radiação visível
→absorve IV



$$E_{\lambda \text{ incidente}} = E_{\lambda \text{ absorvida}} + E_{\lambda \text{ refletida}} + E_{\lambda \text{ transmitida}}$$

Se dividirmos a eq. anterior por $E_{\lambda \text{ inc.}}$, obtém-se a **coefi. Absorção**, **coefi. reflexão** e **coefi. transmissão** de um corpo, num determinado **comprimento de onda**:

$$1 = \frac{E_{\lambda \text{ absorvida}}}{E_{\lambda \text{ Incidente}}} + \frac{E_{\lambda \text{ refletida}}}{E_{\lambda \text{ Incidente}}} + \frac{E_{\lambda \text{ transmitida}}}{E_{\lambda \text{ Incidente}}}$$

Rad. monocromática → $E_{\lambda} \alpha + E_{\lambda} \rho + E_{\lambda} \tau = 1$
 $\alpha + \rho + \tau = 1$

Rad. visível → $a + r + t = 1$



O albedo tb é um coef. de reflexão mas utiliza-se para grandes áreas, nuvens florestas ...

Radiação Solar

Absorvidade ou absorção (α):

Processo pelo qual, grande parte da radiação solar (cerca de 23%), fica retida na atmosfera, não podendo alcançar a terra.

Os principais responsáveis por esta absorção são:

Ozono (CO_3) – absorve radiação UV

Vapor de água e CO_2 – absorve IV



Reflexão:

Processo através do qual um corpo devolve integralmente a radiação incidente sem a ter absorvido previamente.

Quando esta radiação se realiza em todas as direcções designa-se reflexão difusa ou dispersão.

Deste processo de reflexão, 25% da energia que chegou à atmosfera é reflectida em direcção ao espaço e nunca chegará à terra.

Pode ainda considerar-se outra grandeza – **Transmissividade** (τ) – que corresponde à fracção de energia incidente que não é absorvida, nem reflectida, mas sim transmitida.

Estas grandezas (Transmissividade e Absorvidade) são grandezas adimensionais e tomam valores que vão de 0 até 1.

Pode concluir-se que:

Chegam à terra dois tipos de radiação:

Radiação solar directa (Sd) – que vem directamente do sol sem sofrer reflexão;

Radiação solar difusa (Sb) – que chega à terra após ter sido reflectida pela atmosfera.

O conjunto das duas radiações que chegam à superfície terrestre designa-se de **Radiação Global (Rg).**

Em média a $R_g = 52\%$ da radiação que chegou ao topo da atmosfera, perdendo-se 48% (23% por absorção e 25% por reflexão).

Mais uma vez, fala-se em valores médios que não têm presente as grandes diferenças de latitudes, diferenças nas distintas condições atmosféricas que predominam em cada latitude.

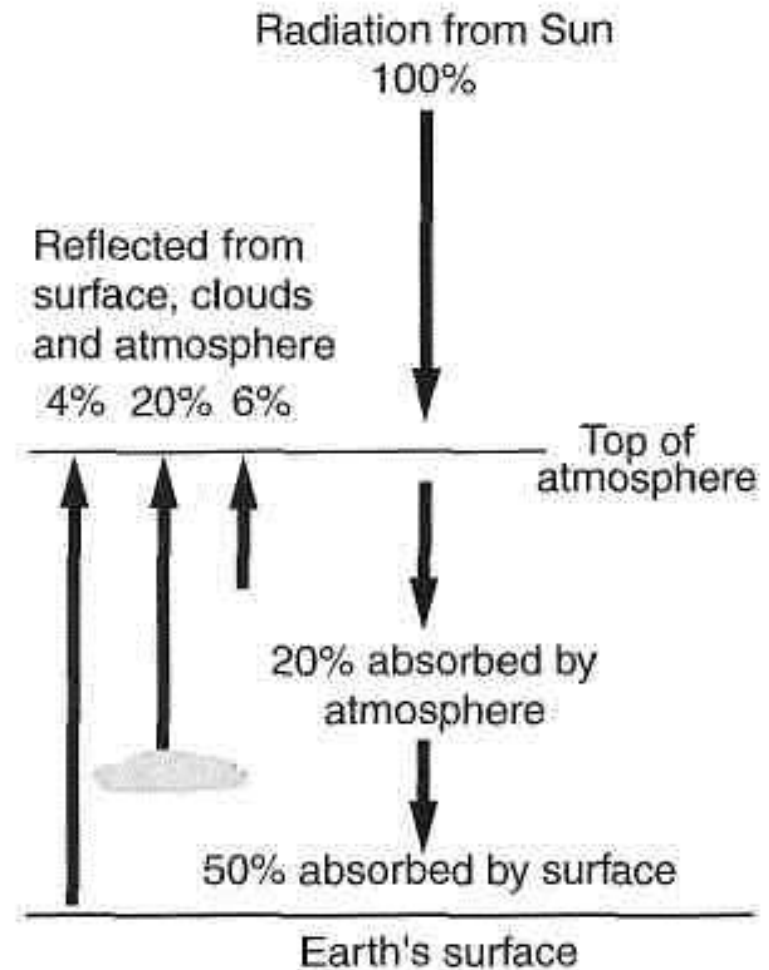


Fig. 2.6

This diagram summarizes what happens to solar radiation after it falls on the Earth. Roughly half reaches the surface; nearly a third is reflected back to space, mainly from clouds, and the rest is absorbed by atmospheric gases (see Fig. 2.5).

Há três componentes atmosféricos (muito variáveis com as latitudes) que são os grandes responsáveis por estas perdas:

Vapor de água – grande capacidade de absorção da radiação IV;

Nuvens – grande capacidade de absorção e de reflexão;

Cristais de gelo – que integram a parte superior das nuvens mais altas e têm grande capacidade de reflexão.

A capacidade de reflexão da radiação solar designa-se genericamente por

Albedo (α)

corresponde à percentagem de energia reflectida por um corpo em relação com o total de energia incidente sobre ele.

Exemplos de Albedos:

Neve – 95%

Nuvens – 90%

Areia – 30%

Floresta – 20%

Solo nu – 20%

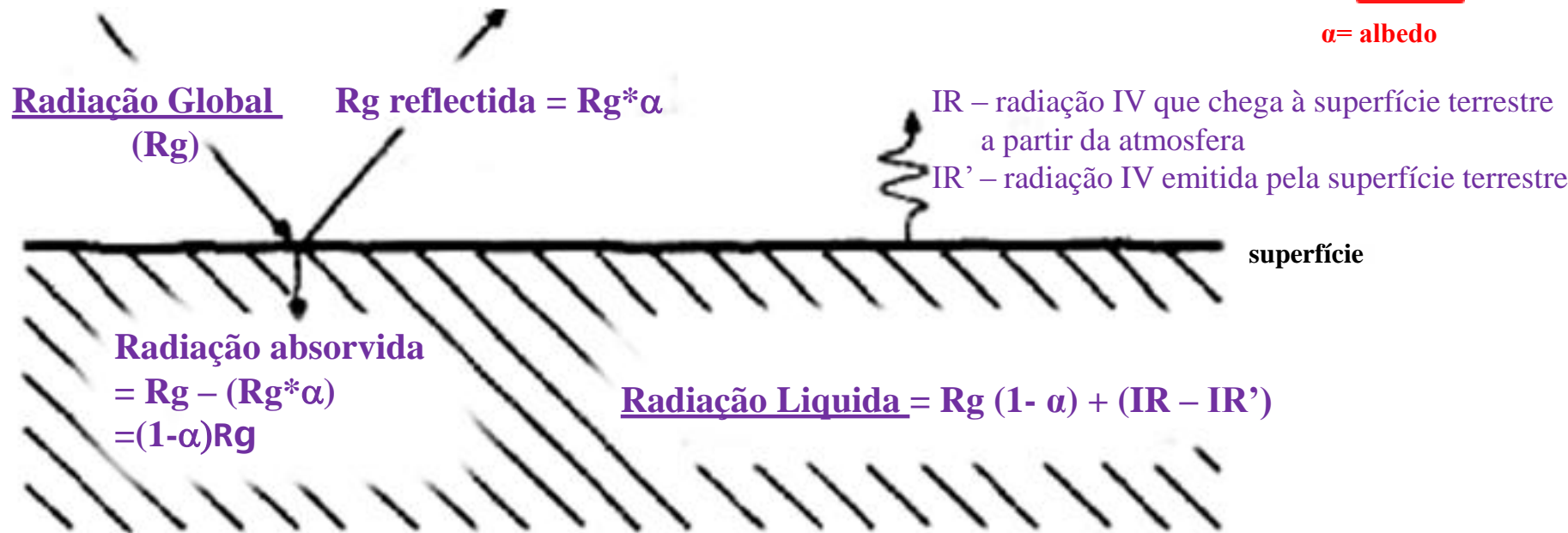
Mar – 5%

Radiação Terrestre e Atmosférica

Balço da radiação de uma superfície



α = albedo



À superfície terrestre chega a **Radiação Global** (R_g), mas nem toda vai ser absorvida por esta, pelo que vai de novo para a atmosfera através de reflexão. A radiação absorvida pela superfície terrestre vai ser igual a $R_g - R_g$ reflectida.

$$R_g \text{ reflectida} = R_g * \alpha$$

$$\text{Radiação absorvida} = R_g - (R_g * \alpha)$$

A terra absorve 47% da radiação que chegou ao topo da atmosfera e reflecte cerca de 5%.

Supondo que 100 é o valor da radiação que chegou ao topo da atmosfera, o sistema terra – atmosfera no seu conjunto retém 70 (47 pela terra e 23 pela atmosfera) e reflecte 30 (25% pela atmosfera e 5% pela terra).

Mas, esta radiação absorvida não constitui o stock final de calor que se acumula na terra, pois parte vai ser irradiada de novo para a atmosfera, porque todo o corpo que armazena calor começa de novo a emitir radiação sempre que a sua temperatura seja superior a 0K.

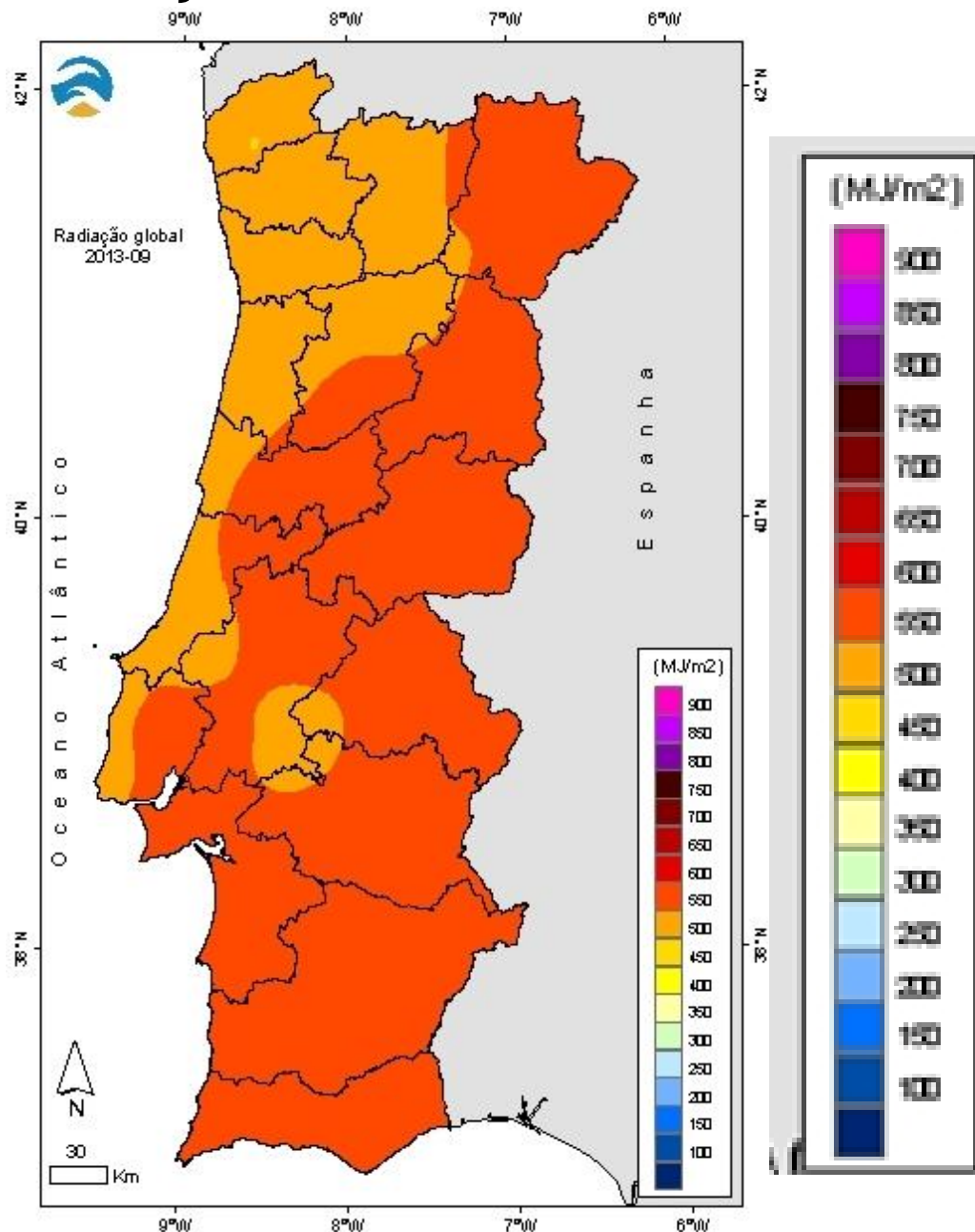
$$\text{Radiação Líquida} = R_g (1 - \alpha) + (IR - IR')$$

Onde:

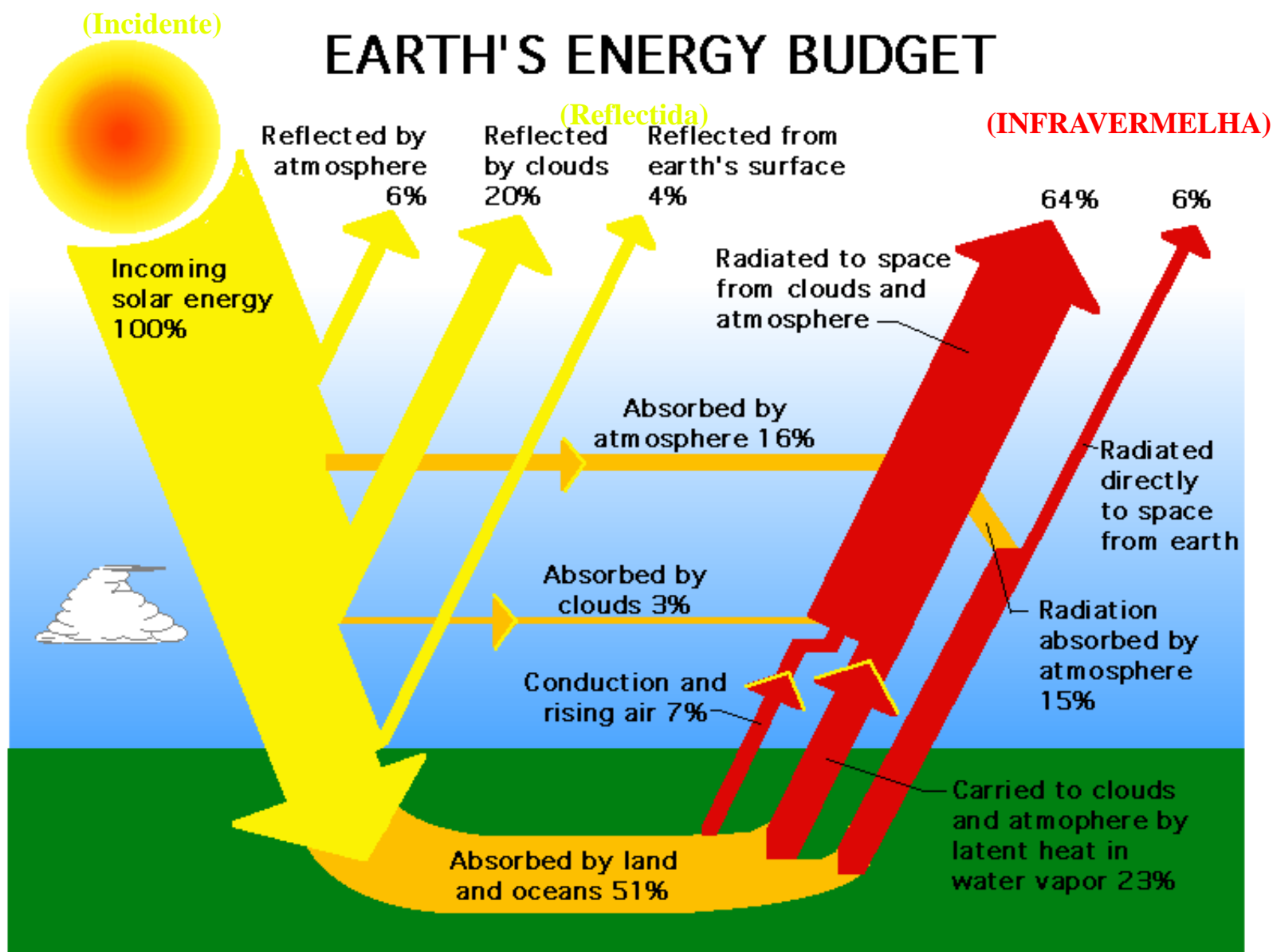
IR – radiação IV que chega à superfície terrestre a partir da atmosfera

IR' – radiação IV emitida pela superfície terrestre

Radiação Solar Global



Mapa obtido operacionalmente por interpolação (IDW), a partir dos apuramentos **diários acumulados da radiação global** (das 0 às 0 UTC) da rede de estações automáticas do IPMA no Continente. Atualização mensal, no primeiro dia do mês. O mapa utiliza os limites das DRAP (Direções Regionais de Agricultura e Pescas).



- Balanço Radiação?
- Radiação S. reflectida pelas, atm +nuvens + superfície ?
- A % anterior e < ou > do que a energia absorvida pela terra e mar?
- Quantas unidades são absorvidas pelo sistema terra-atm?

Física da radiação

No estudo da física da radiação, considerando as relações básicas, já estudadas anteriormente, o comprimento de onda (λ) de uma radiação electromagnética é dado pela expressão:

$$\lambda = c / \nu$$

onde:

λ – Distância mínima entre picos consecutivos de uma onda;

c – Velocidade da luz no vazio $\approx 3,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$

ν – ($=f$) Frequência ou nº de vibrações por minuto;

Física da radiação – Leis da radiação

Lei de Planck:

A quantidade de energia emitida por um corpo, num dado λ (radiação monocromática), é determinado pela sua temperatura.

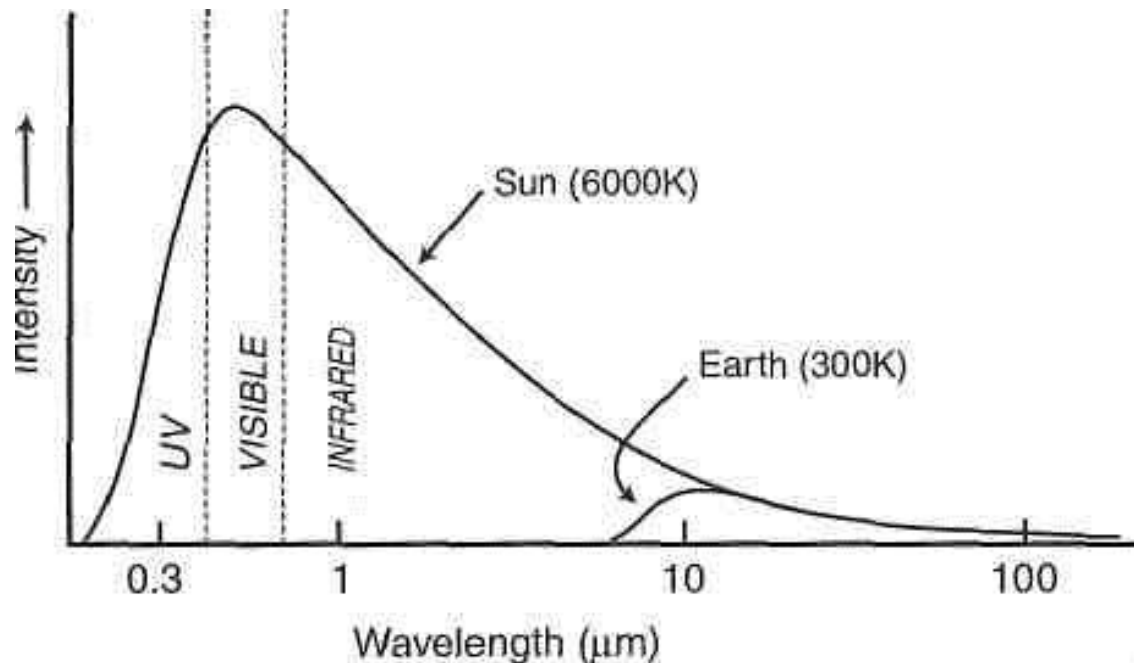
$$E\lambda = \frac{C1}{\lambda^5 [\exp(C2/\lambda T) - 1]}$$

Onde:

$$C1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2$$

$$C2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m}^\circ\text{K}$$

T = temperatura do corpo (K)

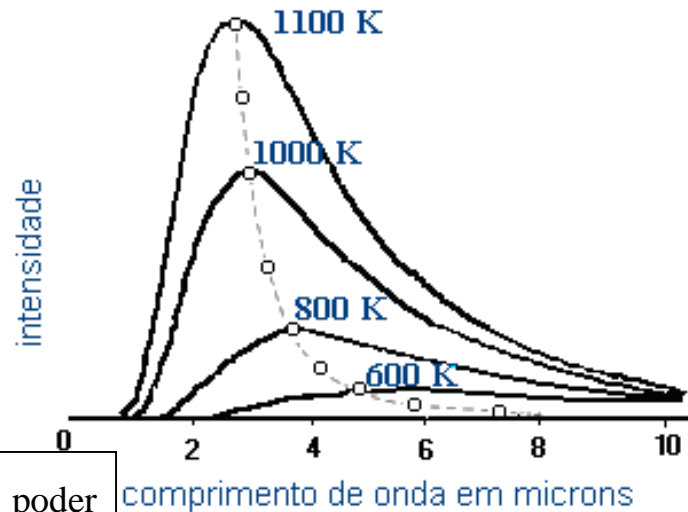


Física da radiação – Leis da radiação

Lei de Wien

Relaciona o λ correspondente ao poder emissivo máximo de um corpo com a sua temperatura.

$\lambda = 2900 / T$ [onde: T – temperatura (K) λ – Poder emissivo máximo (μm)]



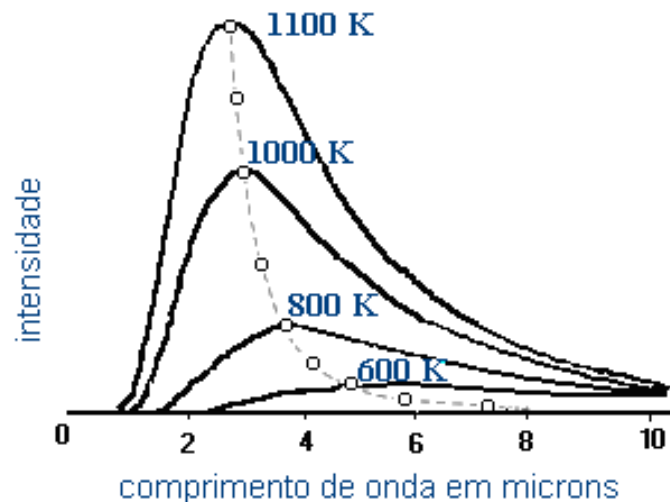
Assim, pode concluir-se que o poder emissivo máximo varia inversamente com a temperatura: quanto mais alta a temperatura, mais o seu poder emissivo máximo se desloca para menores comprimentos de onda.

O pico máximo da energia emitida por um corpo negro a temperaturas sucessivamente mais altas, corresponde a valores de λ cada vez mais deslocados para a esquerda. Daí esta lei ser também conhecida como Lei dos Deslocamentos dos Máximos para a Esquerda.

Física da radiação – Leis da radiação

Lei de Wien

Radiação solar concentra-se na região do visível ($0,5\mu\text{m}$) e início do ultravioleta do espectro, enquanto a radiação emitida pelo planeta terra e atmosfera se concentra na maioria, na região do infravermelho. ($10,0\mu\text{m}$)



Física da radiação – Leis da radiação

Lei de Kirchhoff

A energia pode ter três destinos:

Absorvida;

Reflectida;

Transmitida.

Esta lei estabelece que para um determinado comprimento de onda (λ) a proporção em relação ao total, de uma energia radiante absorvida é numericamente igual à proporção de energia radiante emitida pela mesma superfície.

$$\lambda\alpha = \lambda\varepsilon$$

Física da radiação – Leis da radiação

Lei de Stefan-Boltzman

Esta lei relaciona o poder **emissivo** de um corpo com a sua temperatura.

Se um corpo negro absorver a radiação total, terá um poder emissivo máximo, cuja densidade energética é função da 4ª potência da sua temperatura.

$$E = \sigma T^4$$

E – poder emissivo máximo

σ – Constante de Stefan-Boltzman = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T – temperatura (K)

Aplicável a um corpo negro (perfeito irradiador e absorvente de radiação).

Mas na natureza poucos são os corpos que se comportam como corpos negros. Surge então o conceito de corpo cinzento em que:

$$\lambda\alpha \neq \lambda\epsilon$$



Física da radiação – Leis da radiação

Lei de Stefan-Boltzman

Assim, para corpos cinzentos (não negros)

onde:

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

ϵ = emissividade do corpo (percentagem de energia irradiada por uma substância em relação à de um corpo negro)

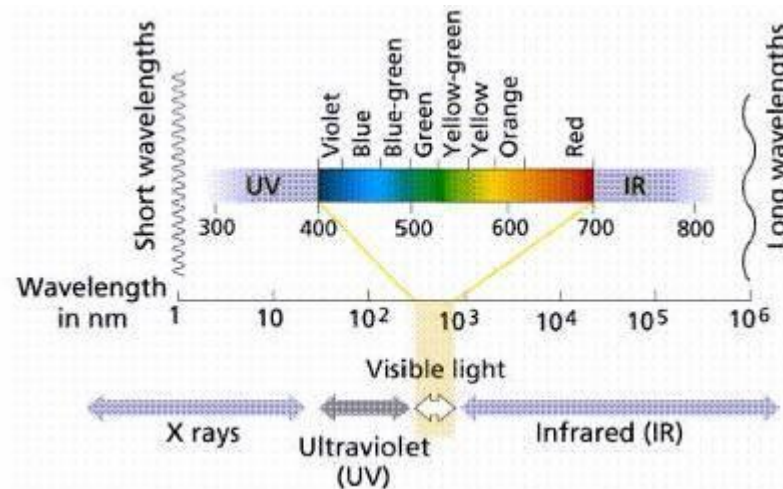
Os corpos têm calor específico próprio e capacidade térmica diferente, por isso alguns levam mais tempo a aquecer e também levam mais tempo a arrefecer.

$$S_0 \alpha = \epsilon \sigma T^4$$

Balanço da radiação

A Radiação pode identificar-se pelo efeito que produz quando incide sobre certos objectos:

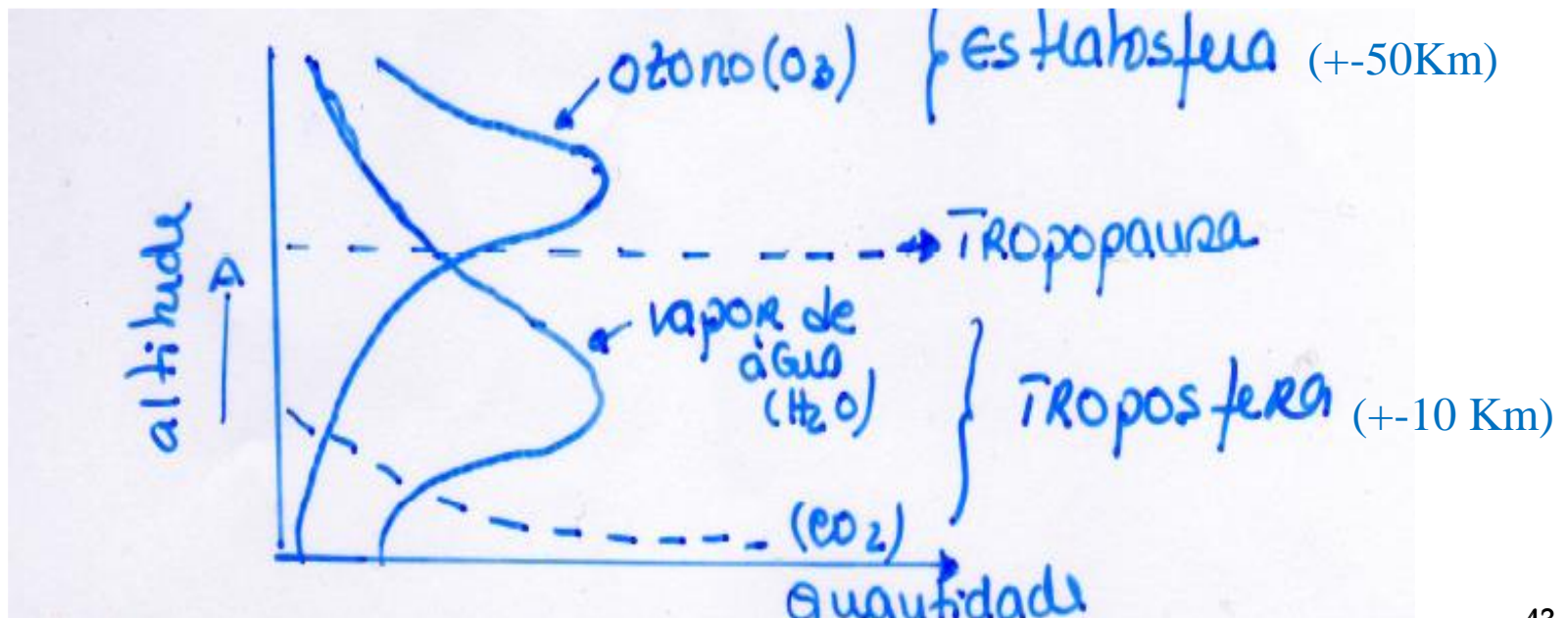
Ex: a retina ocular do olho humano é sensível à radiação de comprimento de onda (λ) na região do visível – luz.



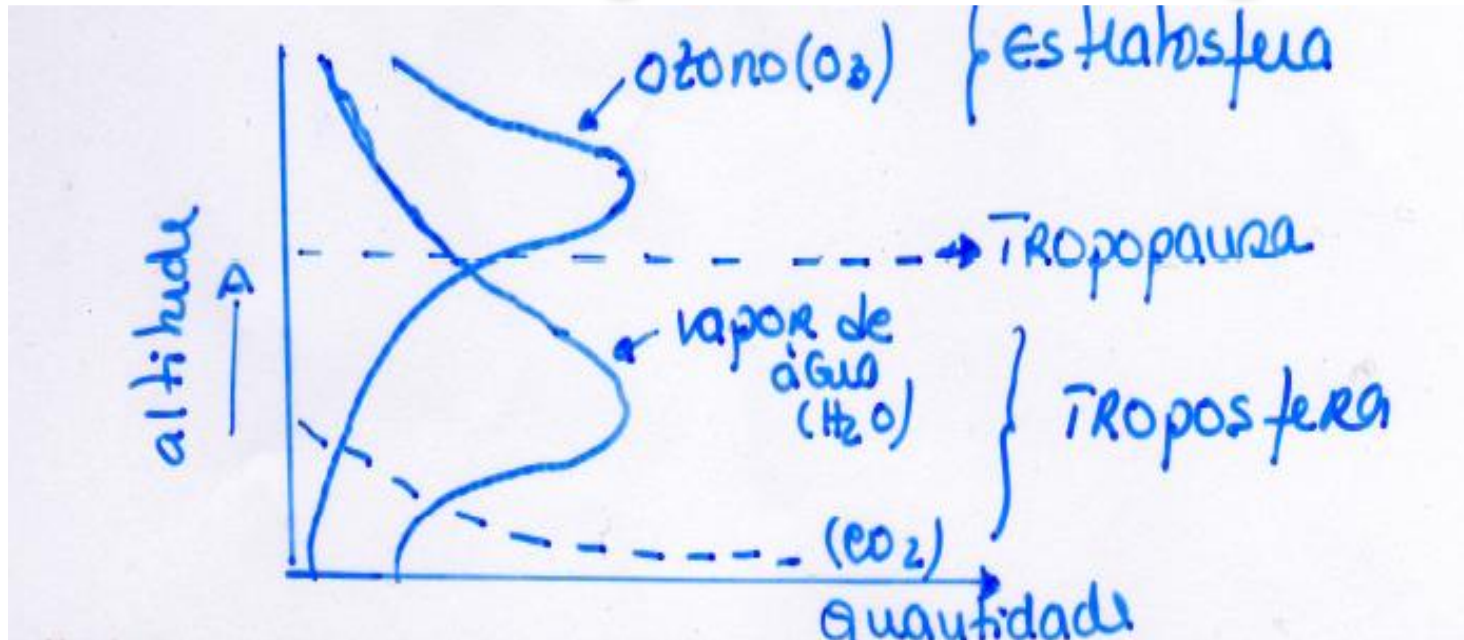
Balanço da radiação

Os principais absorventes da energia radiante terrestre (grande λ) e da radiação solar (pequeno λ) são o vapor de água; dióxido de carbono; ozono e oxigénio.

Distribuição na atmosfera de alguns dos principais absorventes da radiação:



Balanço da radiação



Maior concentração de O_3 a elevada altitude – estratosfera;

Maior concentração de vapor de água na troposfera, onde a nebulosidade é mais frequente (500 a 550 m);

Maior concentração de CO_2 junto ao solo, diminuindo com a altitude.

Comportamento dos GEE's quanto às radiações (solar e terrestre)

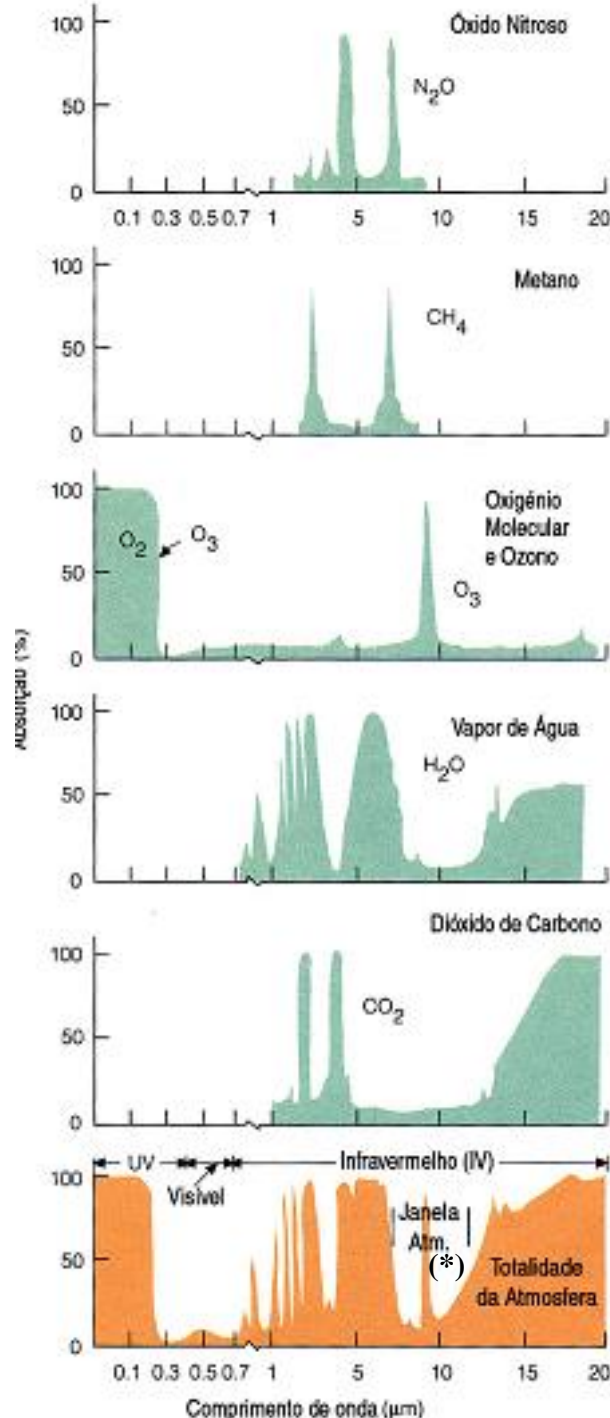


Figure 2.9 shows some of the most important selectively absorbing gases in our atmosphere (the shaded area represents the percent of radiation absorbed by each gas at various wavelengths). Notice that both water vapor (H₂O) and carbon dioxide (CO₂) are strong absorbers of infrared radiation and poor absorbers of visible solar radiation. Other, less important, selective absorbers include nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄), and ozone (O₃), which is most abundant in the stratosphere. As these gases absorb infrared radiation emitted from the earth's surface, they gain kinetic energy (energy of motion). The gas molecules share this energy by colliding with neighboring air molecules, such as oxygen and nitrogen (both of which are poor absorbers of infrared energy). These

Absorption of radiation by gases in the atmosphere. The shaded area represents the percent of radiation absorbed. The strongest absorbers of infrared radiation are water vapor and carbon dioxide.

*absorção atmosférica, mínima

Vapor de água contribui 60% para o efeito de estufa, o dióxido de carbono 23% e os restantes GEE's 14%.

Balanço da radiação

Na radiação solar (λ 0,15 a $3\mu\text{m}$) ocorrem processos atenuantes devido à difusão e à absorção pelos ozono, vapor de água, CO_2 e O_2 actuando mais o ozono. Para $\lambda > 0,8 \mu\text{m}$ o vapor de água é o mais importante;

A maior parte da radiação solar que atinge a superfície do globo situa-se entre 0,34 e $0,74 \mu\text{m}$ – radiação fotossintética activa

Quanto à radiação infravermelha na sua totalidade emitida pelo globo, seus constituintes e seus corpos sólidos e líquidos ($3,0$ a $30,0 \mu\text{m}$) não sofre atenuantes de difusão – só de absorção, devido ao vapor de água e ao CO_2 .

Balanço da radiação

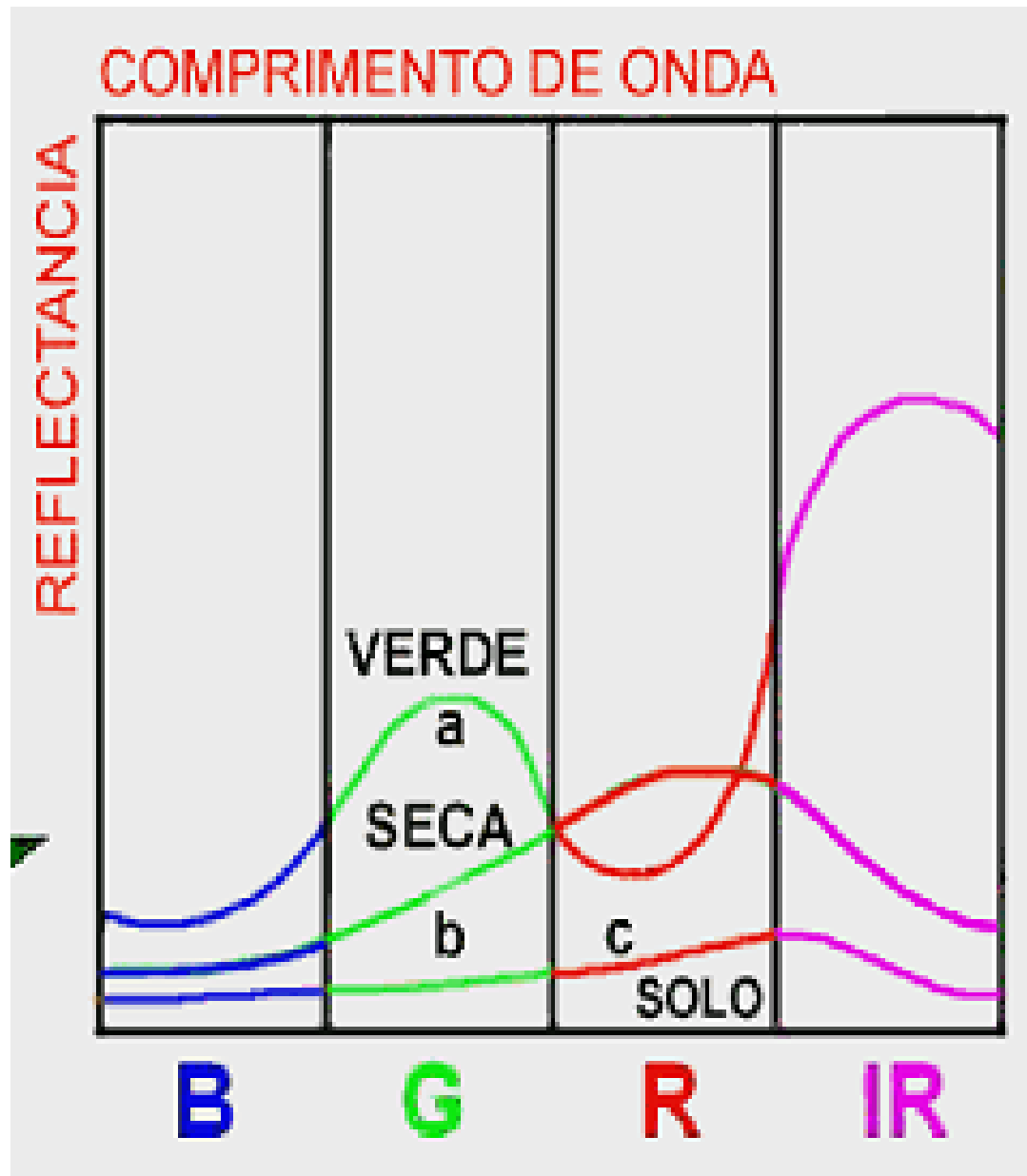
Propriedades espectrais das folhas

As folhas e matérias verdes das plantas não se comportam como corpos negros em relação a luz sobre elas incidente.

Assim a radiação incidente vai ser repartida entre mecanismos de absorção, reflexão e transmissão para além da difusão que ocorre no interior da estrutura celular da folha.

TABLE 2.7. Green leaf response to spectral radiation components

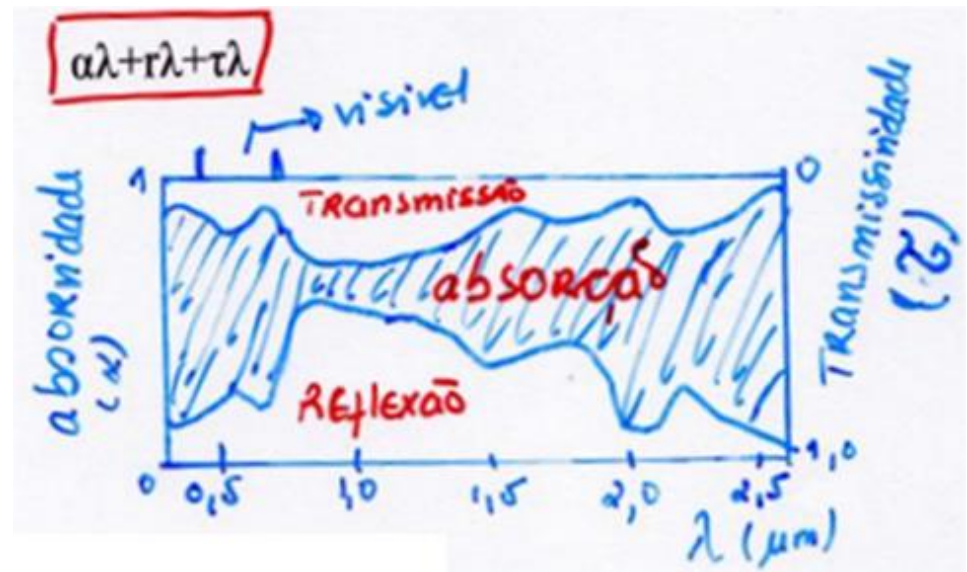
Wavelength (μm)	Reflection (%)	Transmission (%)	Absorption (%)
0.34	9	0	91
0.44 (0,40 a 0,47 μm)	11	2	87
0.51	14	10	76
0.58 (50 e 0,55 μm)	14	10	76
0.64 (0,60 a 0,70 μm).	13	9	78
1.0	45	50	5
2.4	7	28	65



Comportamento típico de um alvo vegetal

Balanço da radiação

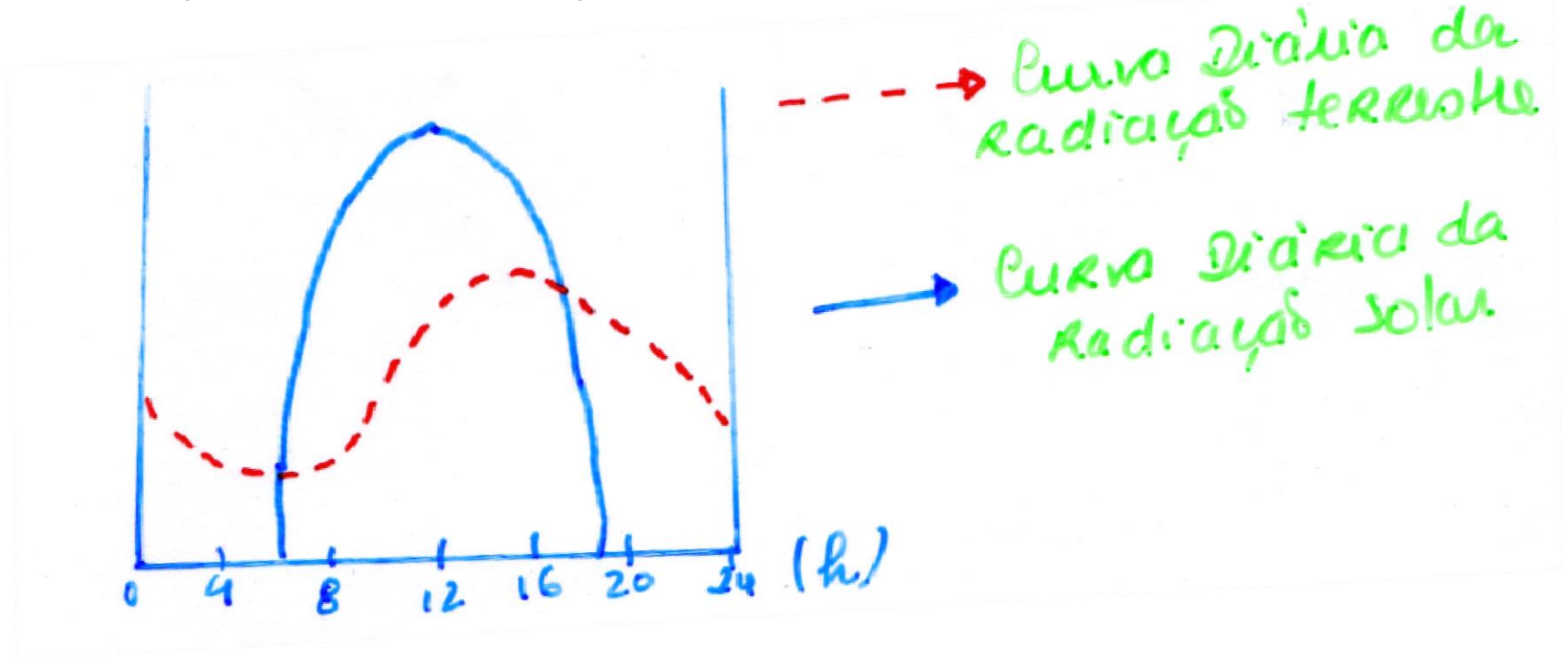
Região IV de espectro – (0,70 a 1,0 μ m) os pigmentos absorvem pouca radiação (com exceção de 0,73 μ m que é absorvida pelos fitocromos) – permite a conversão de energia luminosa em térmica – controlando o desenvolvimento das plantas.



Propriedades espectrais:

Balanço da radiação

Distribuição diária da radiação solar e terrestre (dia típico de céu limpo)



A radiação terrestre é emitida durante 24 horas com um mínimo ao nascer do sol e um máximo ao meio da tarde, contrariamente a radiação solar.

A curva da radiação terrestre reflecte a curva da temperatura diária. Mínimo aquando da ocorrência da temperatura mínima e máxima aquando do máximo da temperatura máxima.

Balanço da radiação

Ra ou S₀

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

B_{co}. Rns

B_{co}. Rnl

Rd

Rb

Lr

αRs

Ld + Le

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

Rg ou Rs

$$Rn = Rns - Rnl$$

$$Rn = (1 - \alpha) R_s - \sigma \left[\frac{T_{\max, K}^4 + T_{\min, K}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$