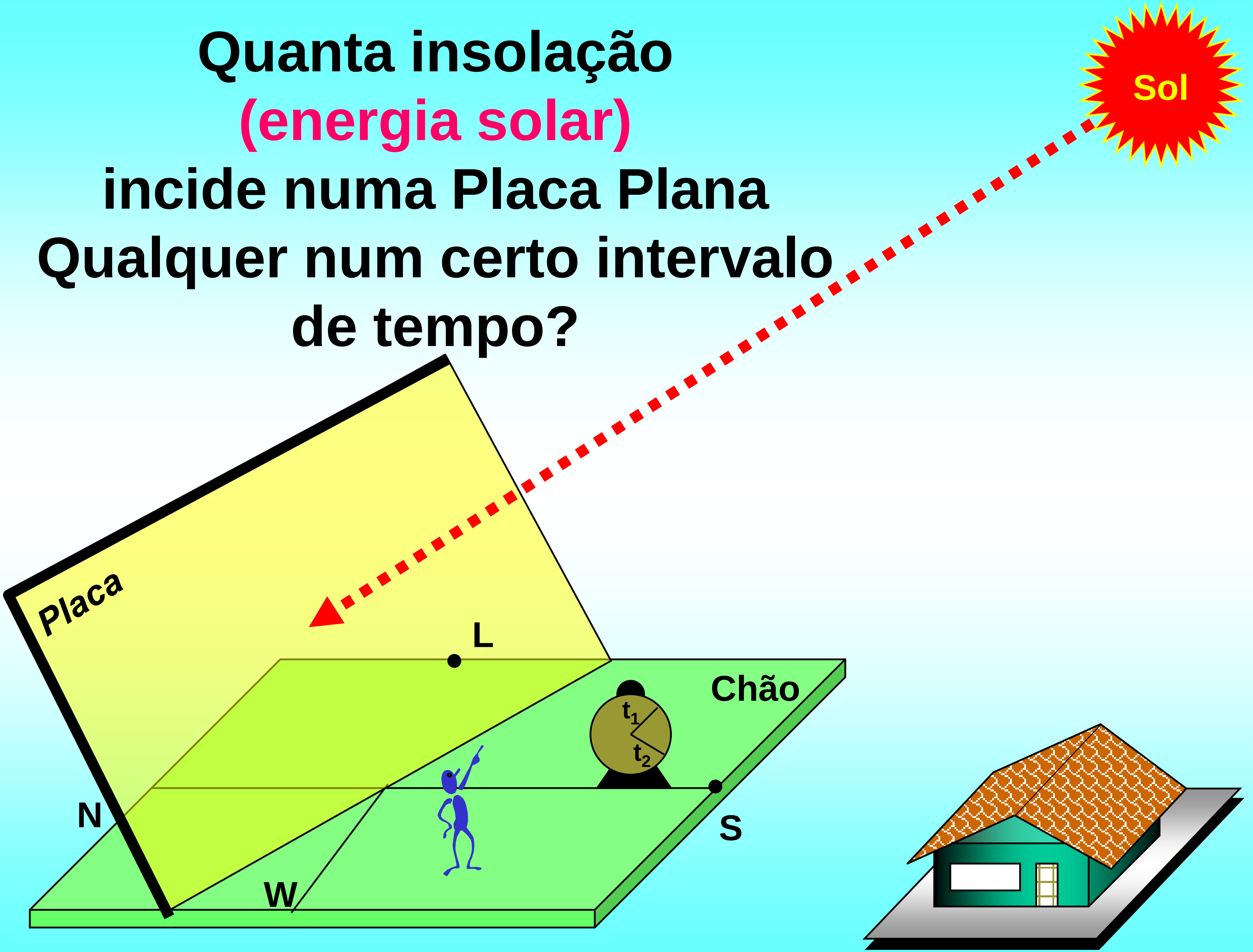
RB
R. Boczko

Insolação em placas planas

Jorge Meléndez,
baseado na
aula do
Prof. R.Boczko
IAG-USP

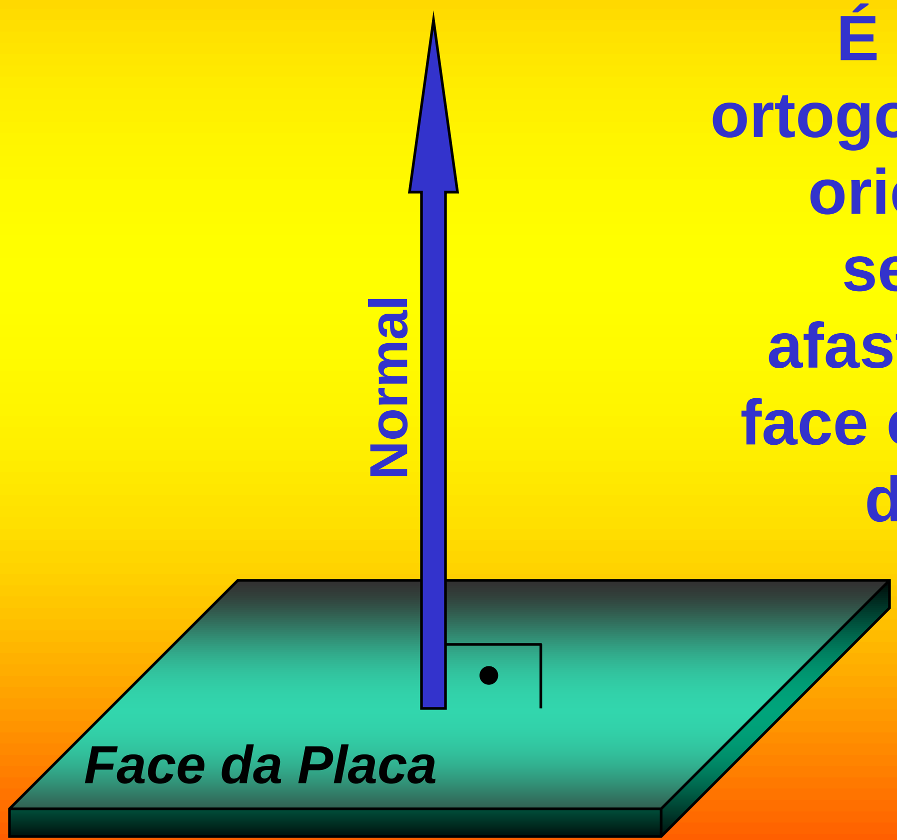
10
11
2011

Quanta insolação
(energia solar)
incide numa Placa Plana Qualquer num certo intervalo de tempo?



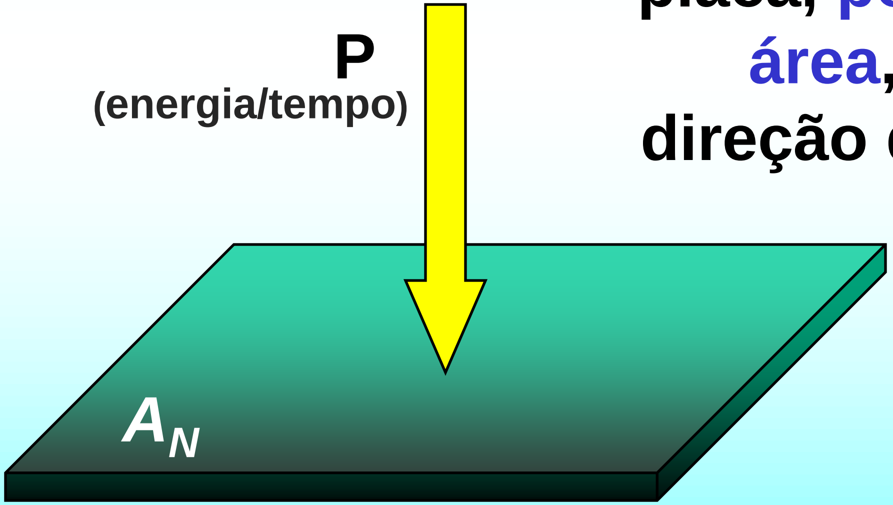
Irradiância

Normal a uma das faces de uma placa



É um vetor ortogonal à placa e orientado no sentido de afastamento da face considerada da placa.

Irradiância Normal I_N



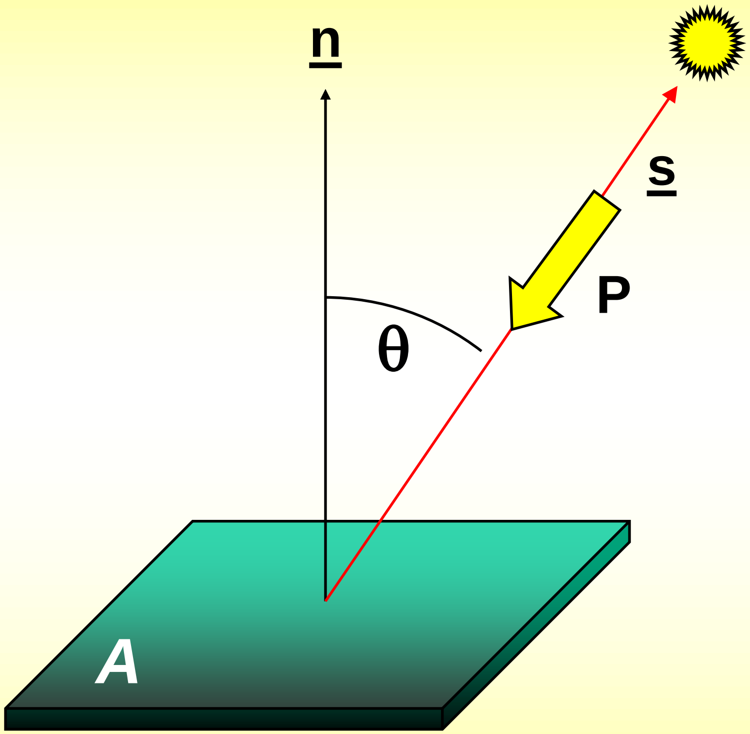
Irradiância normal I_N é a potência P incidente numa placa, por unidade de área, normal à direção de incidência

$$I_N \equiv P / A_N$$

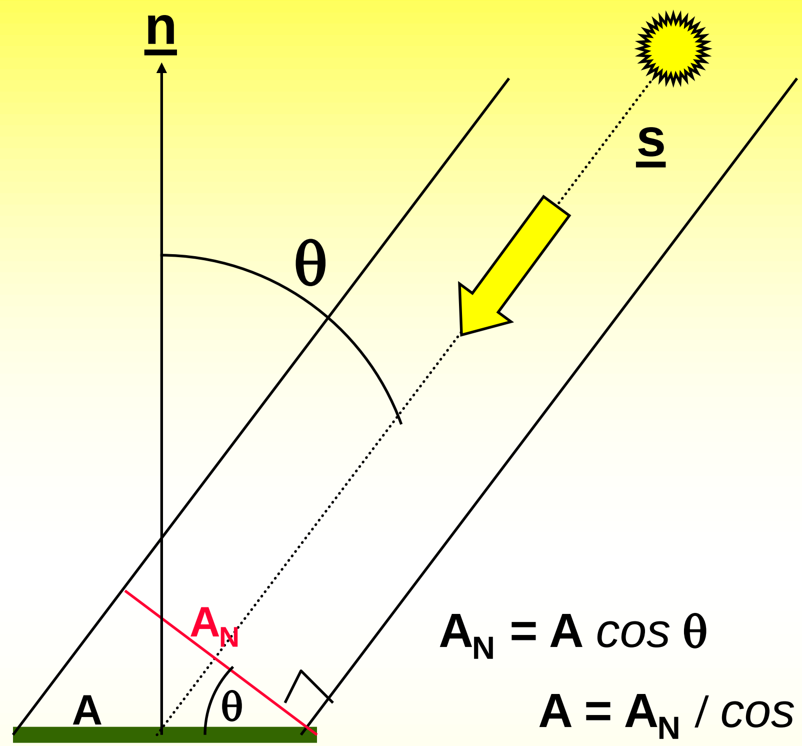
O símbolo ≡ indicará 'por definição'

$I' = [W/m^2]$

Irradiância $I \equiv P / A$



$$I \equiv P / A$$



$A_N = A \cos\theta$

$A = A_N / \cos\theta$

$$I = P / (A_N / \cos\theta)$$

$$I = (P / A_N) \cos\theta$$

Seja: $I_N \equiv P / A_N$

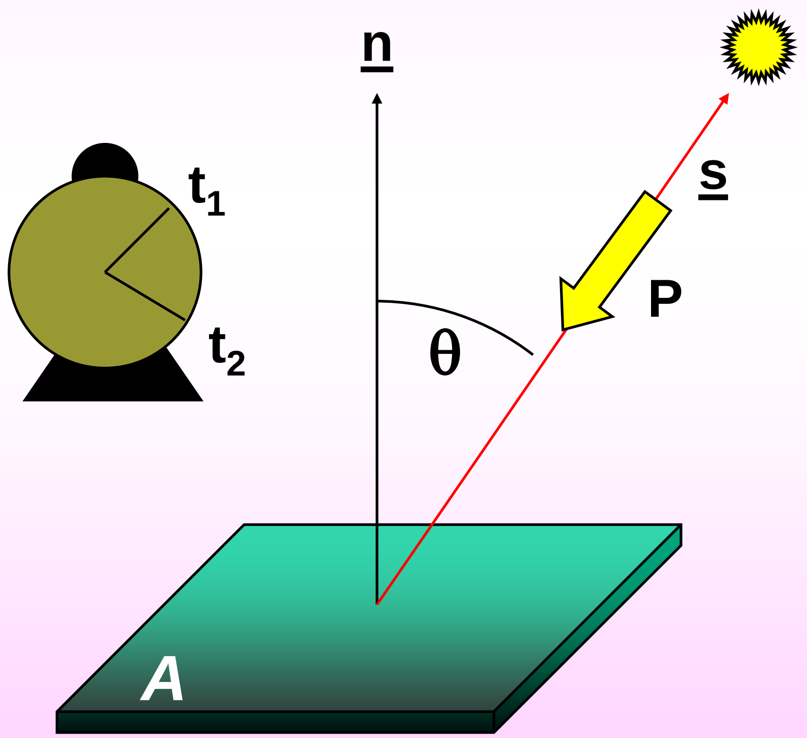
$$I = I_N \cos\theta$$

Energia Incidente numa placa

Energia Incidente E

Lembrar que: $I \equiv P / A$

E que $P = E/t$



A energia E incidente na placa de área A no intervalo de tempo entre t_1 e t_2 pode ser dada por:

$$E = \int (I\,A)\,dt \qquad [\,J\,,\,cal\,]$$

Como $I = I_N \cos\theta$

$$E = \int (I_N \cos\theta)\,A\,dt$$

$$E = \int I_N\,A \cos\theta\,dt$$

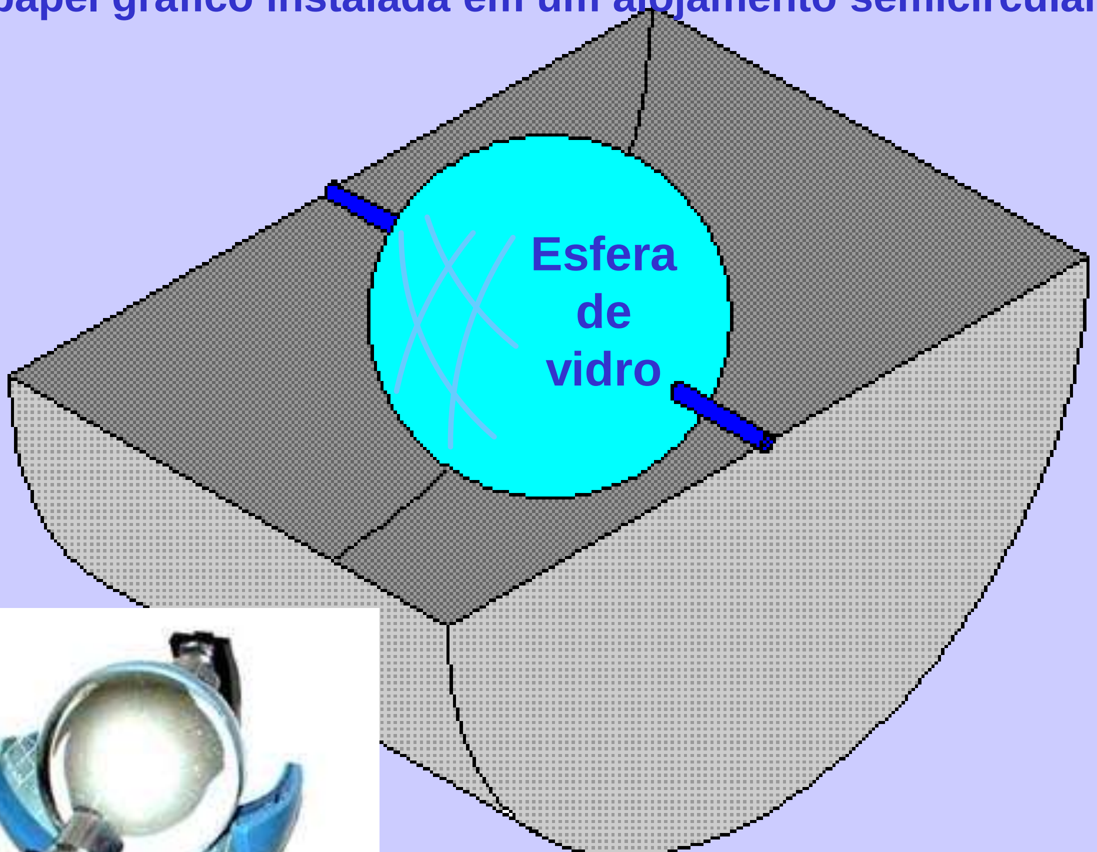
Medindo a insolação :

numero de horas de brilho solar com um heliógrafo

Esquema de um heliógrafo

Heliógrafo

esfera de vidro concentra os raios solares sobre uma fita de papel gráfico instalada em um alojamento semicircular

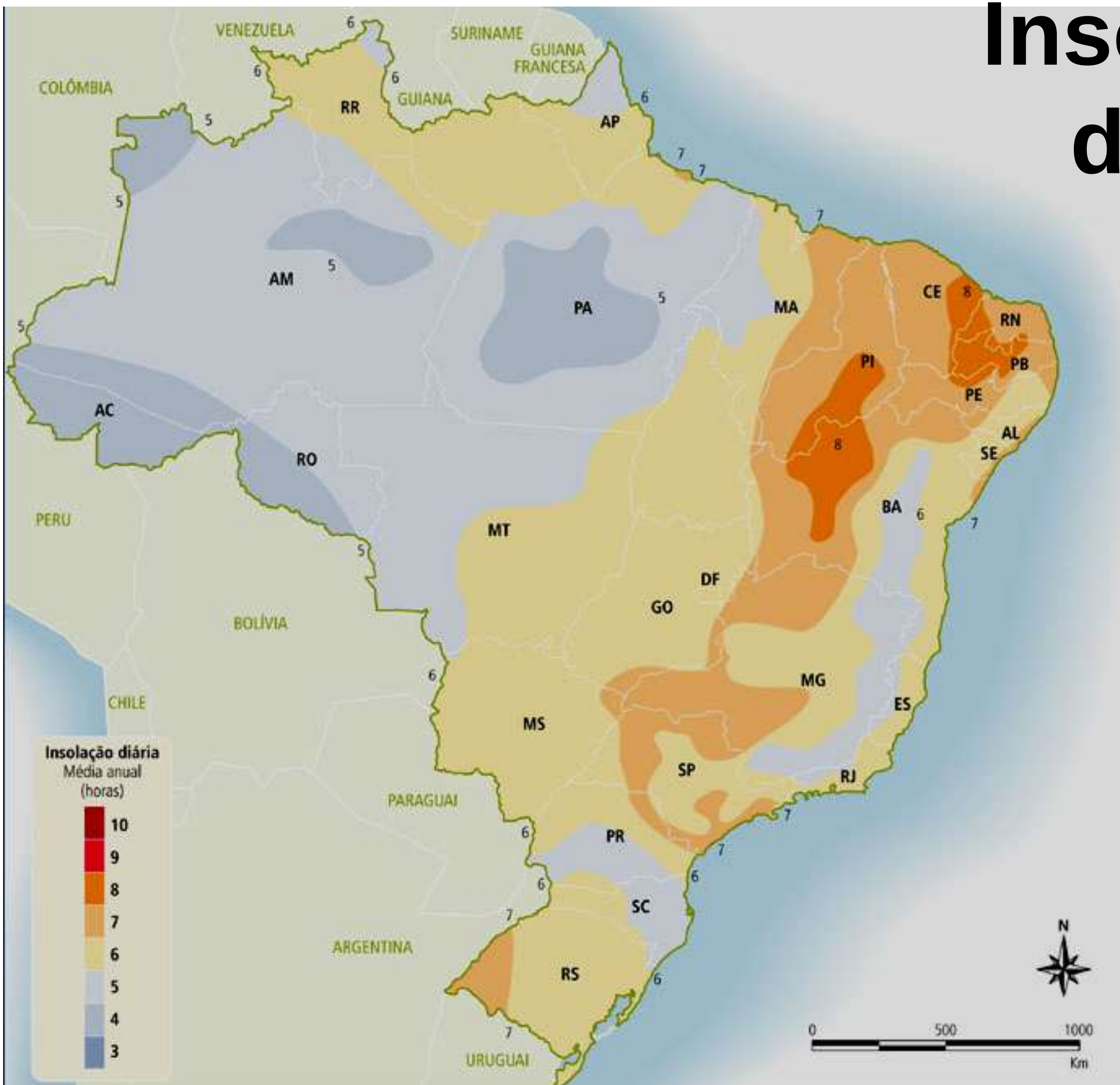


O eixo da esfera é apontado para o pólo, permitindo que o foco formado pelo Sol, no seu percurso anual atinja sempre toda a extensão da fita.


Heliógrafo

Qual a região do Brasil com o maior número de horas de Sol?

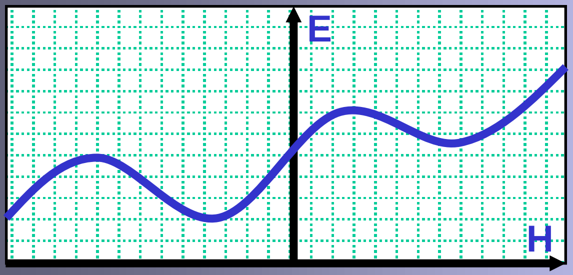
Insolação diária



Integração

- Indefinida $\int$
- Definida $\int_{ini}^{fin}$

Algumas integrais indefinidas



$$\int dH = H$$

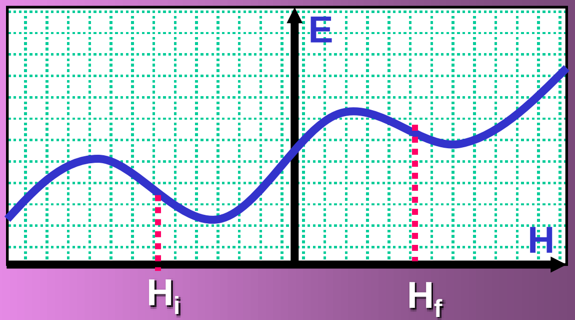
$$\int c \, . \, dH = c \, . \, H$$

$$\int \cos H \, . \, dH = \operatorname{sen} H$$

$$\int \operatorname{sen} H \, . \, dH = - \cos H$$

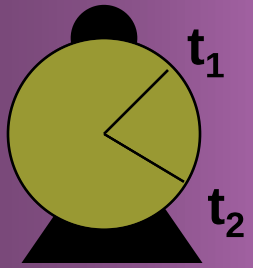
$$\int dH \, / \, H = \ln H$$

Algumas integrais definidas



$$\int_i^f dH = [\,H\,]_i^f = H_f - H_i$$

$$\int_i^f c\,.\,dH = c\,.\,[\,H\,]_i^f = c\,(H_f - H_i)$$



$$\int_i^f \cos H\,.\,dH = [\,\mathrm{sen}\,H\,]_i^f = \mathrm{sen}\,H_f - \mathrm{sen}\,H_i$$

$$\int_i^f \mathrm{sen}\,H\,.\,dH = -\,[\,\cos H\,]_i^f = -\,(\,\cos H_f - \cos H_i\,)$$

$$\int_i^f dH / H = [\,\ln H\,]_i^f = \ln H_f - \ln H_i$$

O Sol

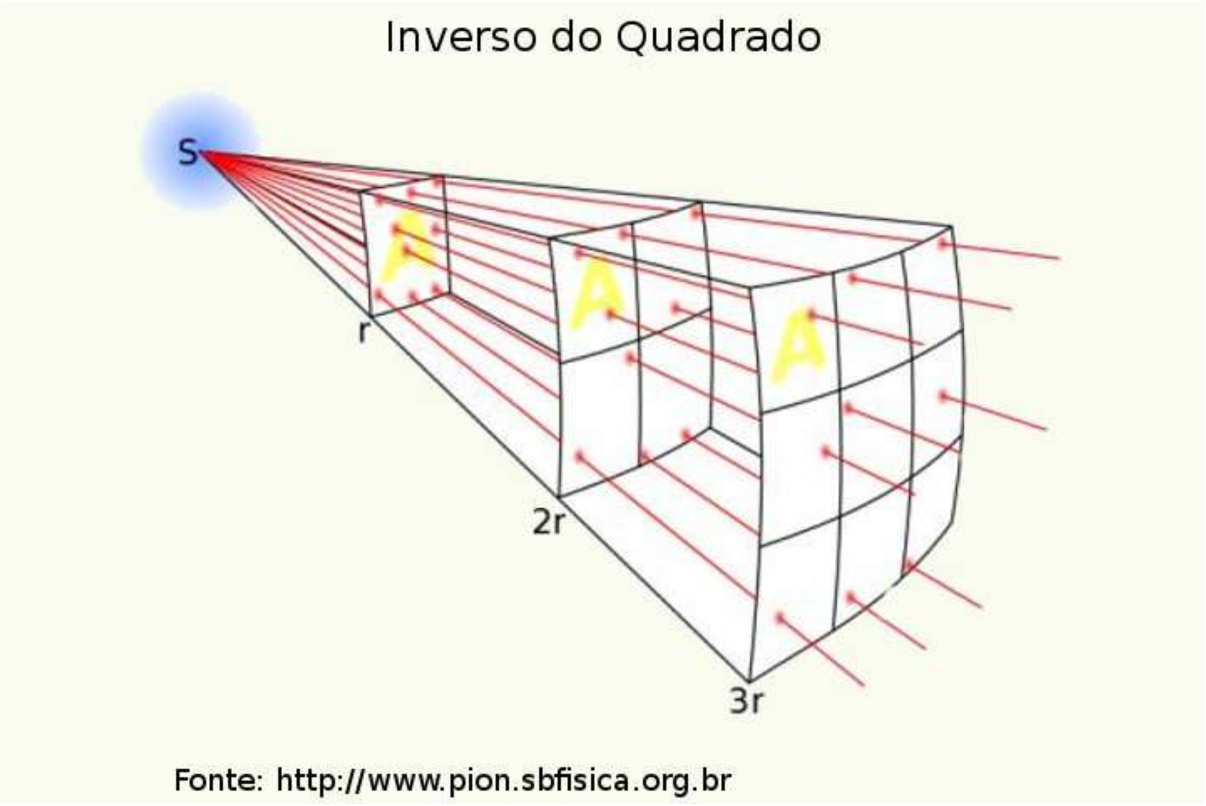
Sol

Luminosidade
$3{,}845 \times 10^{26}$ W
~4 septilhões de lâmpadas de 100 W

Luminosidade:
L é a potência
(energia / unid. tempo)
emitida Pelo Sol.

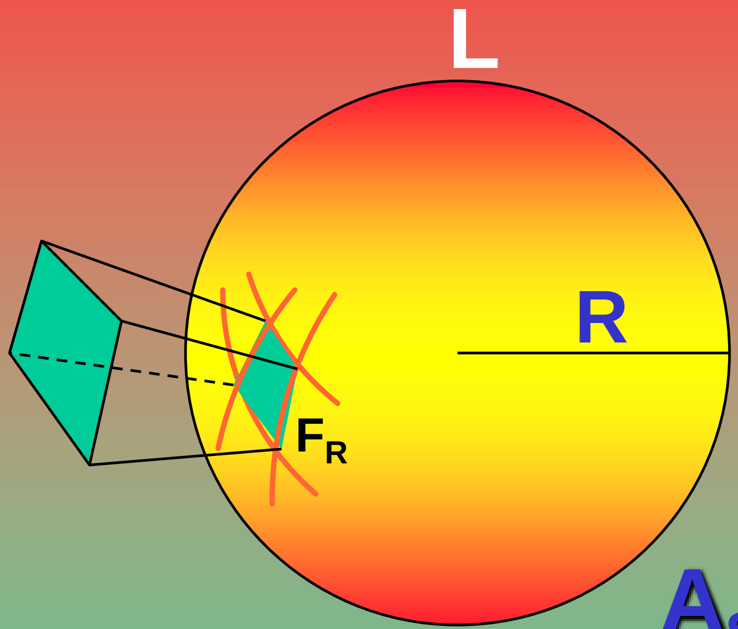
Luminosidade é constante
(em curtas escalas de tempo)

O Fluxo (energia/área) não é constante:
inversamente proporcional ao quadrado da distância



Fluxo Solar Superficial

É a potência emitida por unidade de área do Sol.

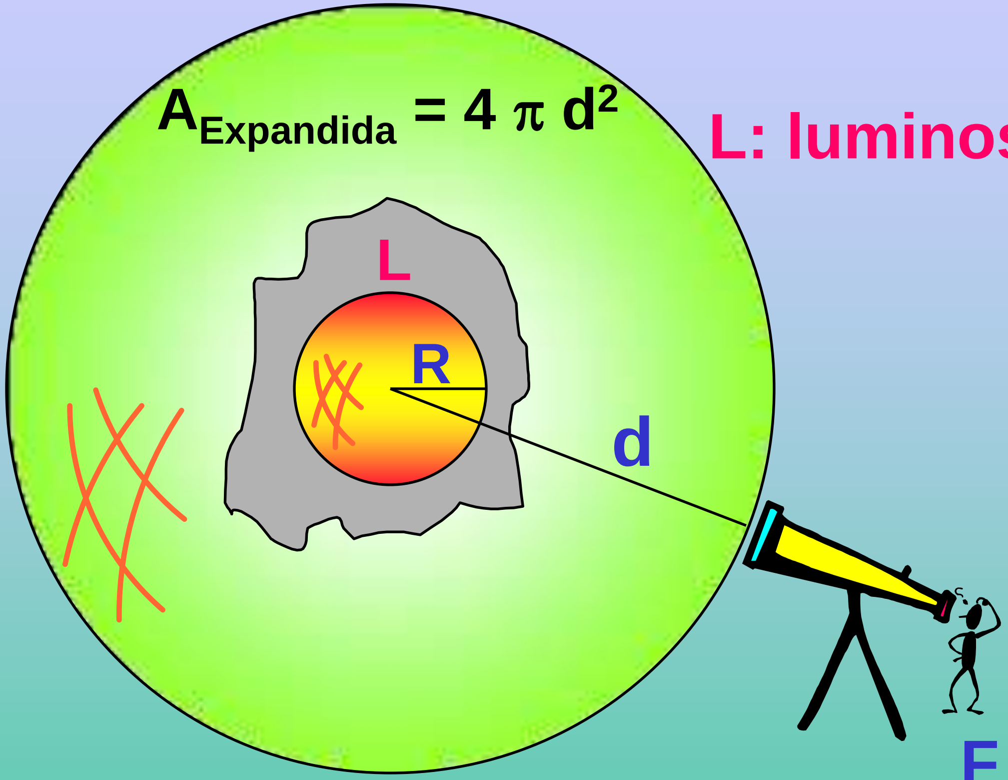


$A_{Superficial} = 4\,\pi\,R^2$

$F_R = L\,/\,(4\,\pi\,R^2)$

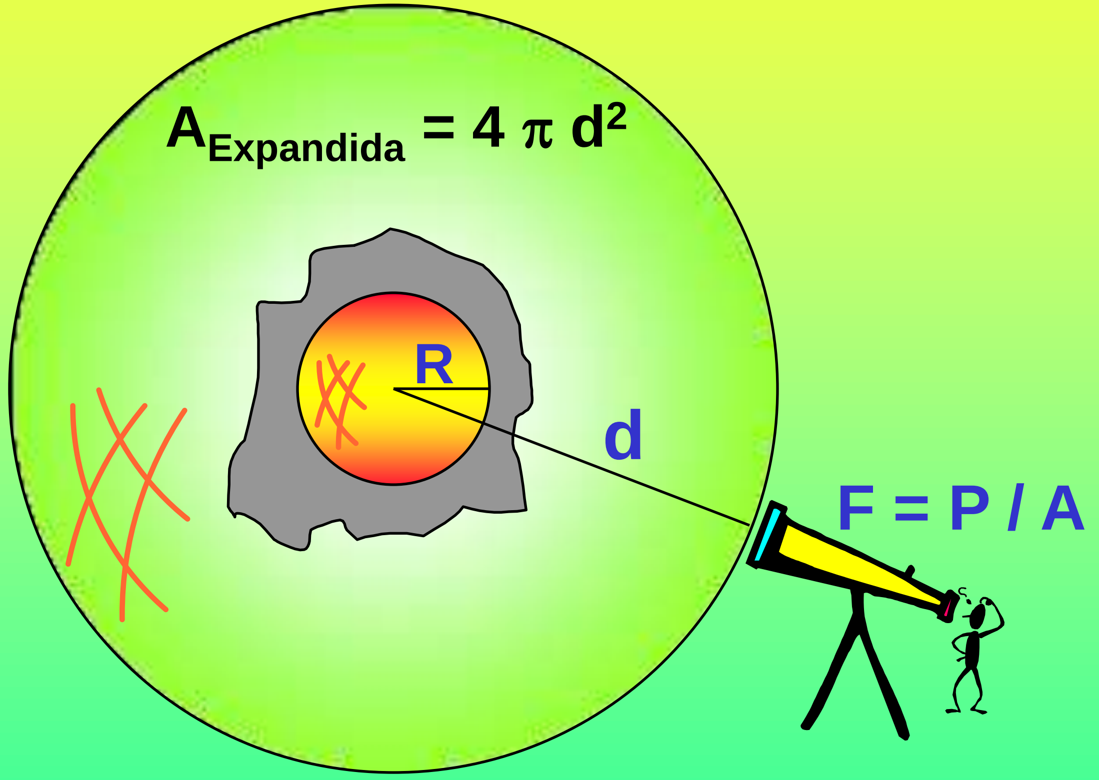
Fluxo Solar à distância d

É a potência medida por unidade de área a uma distância d do centro do Sol.



$$F = F_d = L / (4\pi d^2)$$

Variação do Fluxo em função da distância d



$F_d = L / (4\pi d^2)$

$F_R = L / (4\pi R^2)$

$F \propto 1 / d^2$

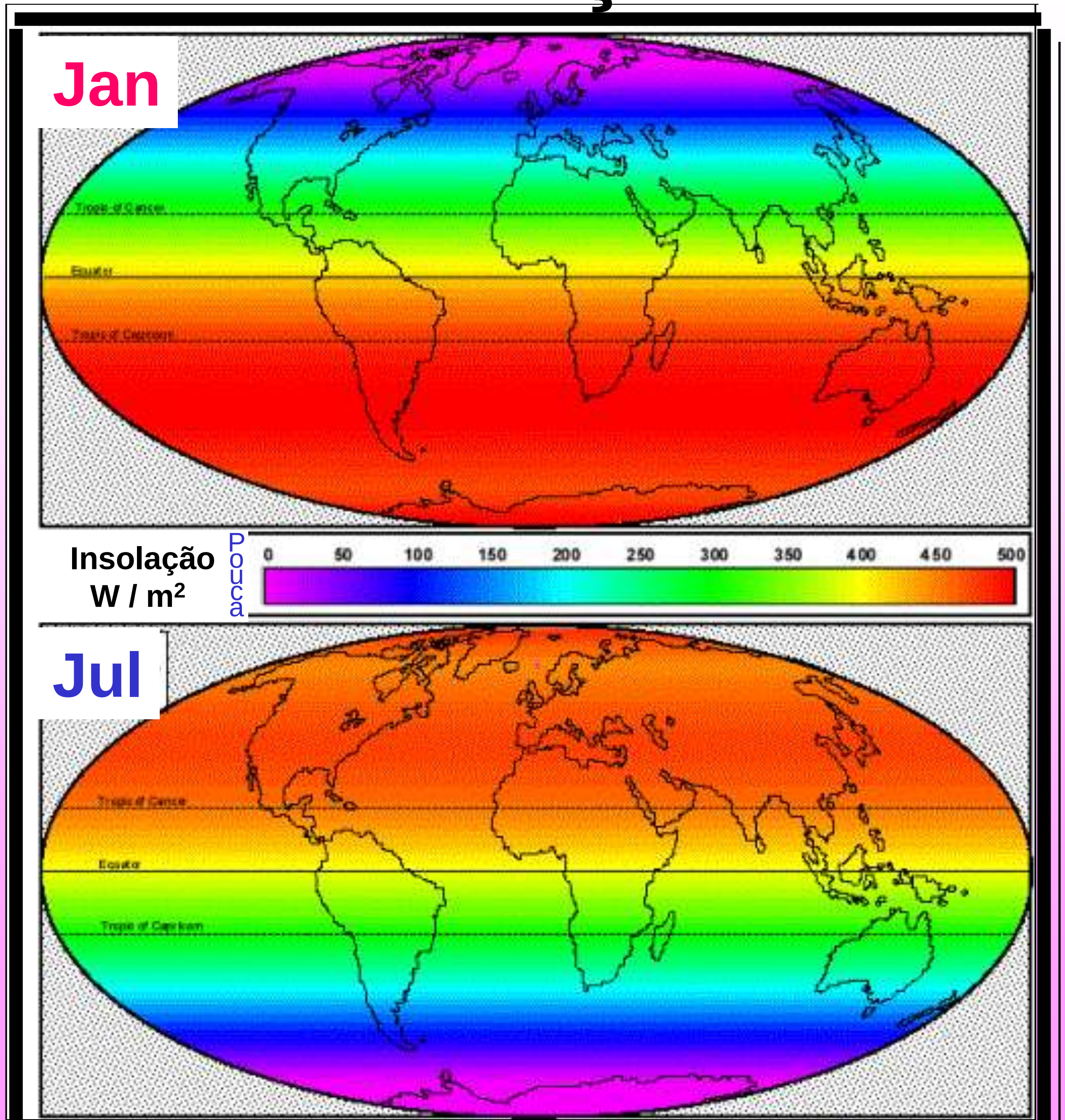
$F_d / F_R = R^2 / d^2$

$F_d \cdot d^2 = F_R \cdot R^2$

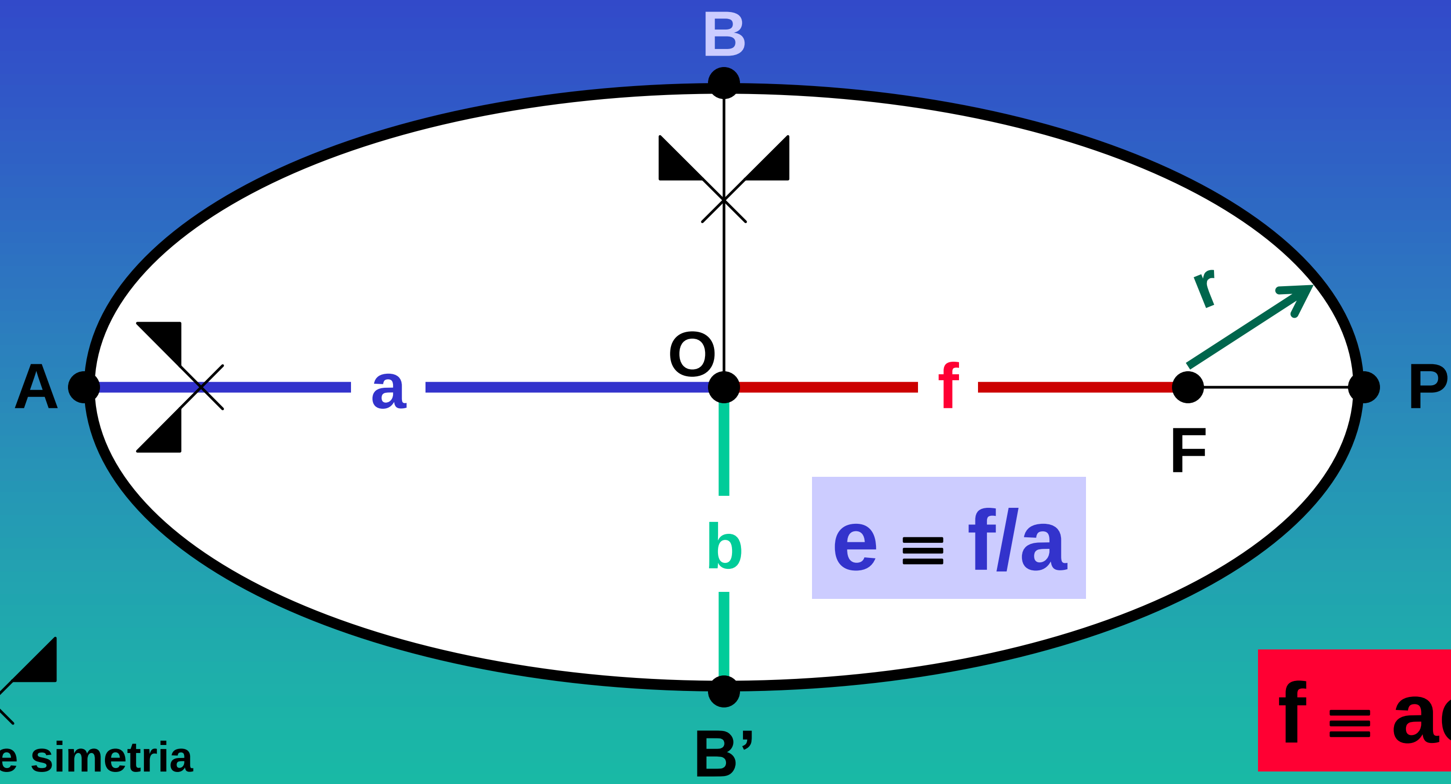
Insolação

Radiação solar no verão do H.Sul é maior que no verão do H.Norte.

Why ?



Elementos de uma elipse



$$e \equiv f/a$$

Símbolo de simetria

$$f \equiv ae$$

a = semieixo maior

b = semieixo menor

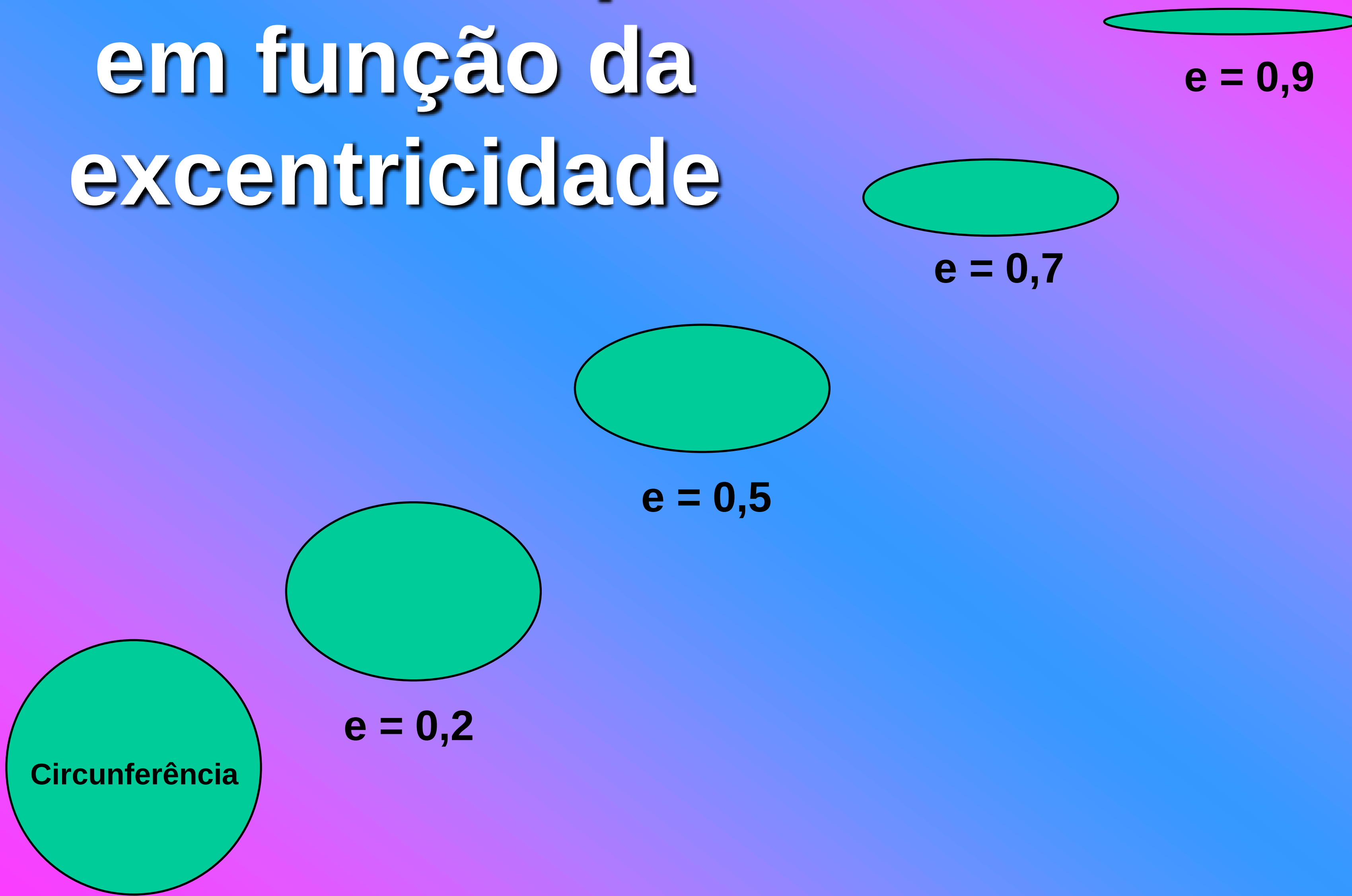
f = distância focal

e = excentricidade

$$r_p = a\,(1 - e)$$

$$r_a = a\,(1 + e)$$

Forma da elipse em função da excentricidade



Variação da insolação devido à variação da distância Terra-Sol

$$F_{afélio} = L / (4\pi r_a^2)$$

$$F_{periélio} = L / (4\pi r_p^2)$$

$$F_{afélio} / F_{periélio} = r_p^2 / r_a^2$$

$$r_a = a (1 + e)$$

$$r_p = a (1 - e)$$

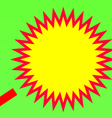
$$F_a / F_p = (1 - e)^2 / (1 + e)^2$$

Constante Solar

Sol: nossa estrela emissora de energia

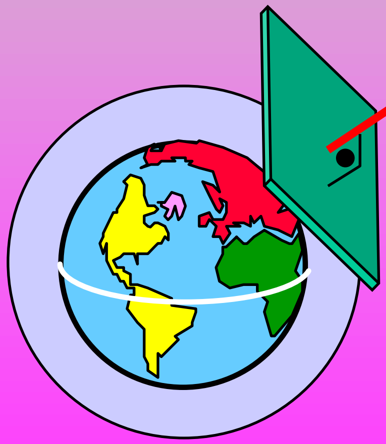
1 UA ≅ 149.597.870 km

Constante Solar S_o



Seja uma placa plana de área unitária, fora da atmosfera terrestre, a 1 unidade astronômica do Sol, posicionada perpendicularmente à direção de incidência dos raios solares. Define-se **Constante Solar S_o** como a irradiância solar normal I_N nessa placa

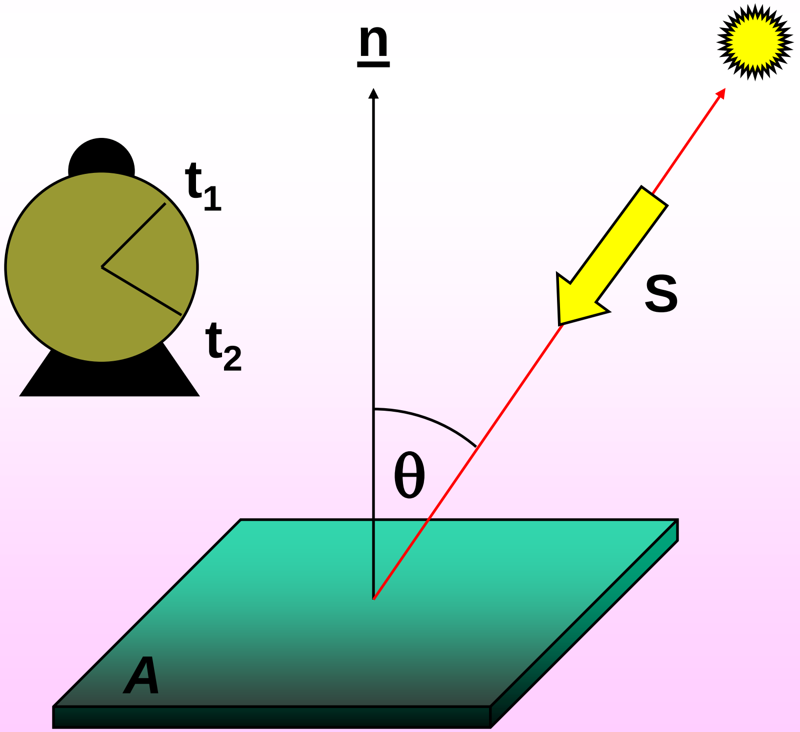
$$S_o = I_N \{Solar\}$$



S_o = 1367 W/m^2
= 0,1367 W/cm^2
= 1,367x10^6 erg/s.cm^2
= 1,95 cal/min.cm^2

Insolação

Insolação ou Energia Incidente E



A energia E incidente na placa de área A no intervalo de tempo entre t_1 e t_2 pode ser dada por:

Nomenclatura no caso solar:
$S = I_N$

$$E = \int S\, A \cos\theta\, dt$$

cal | cal/(cm².min) | cm² | min

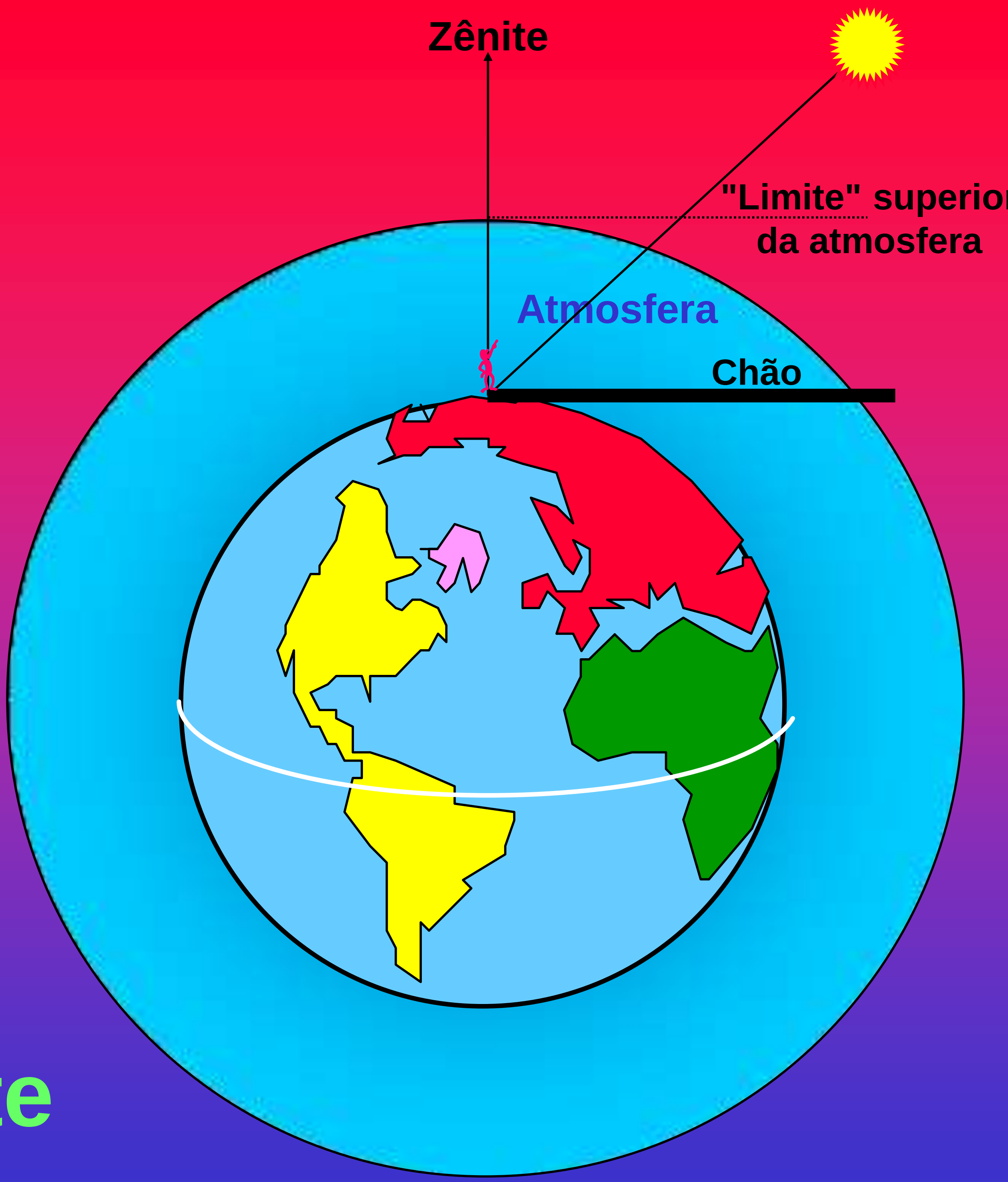
Problema!

$$E = \int S\, A \cos\theta\, dt$$

S
Irradiância
solar no solo

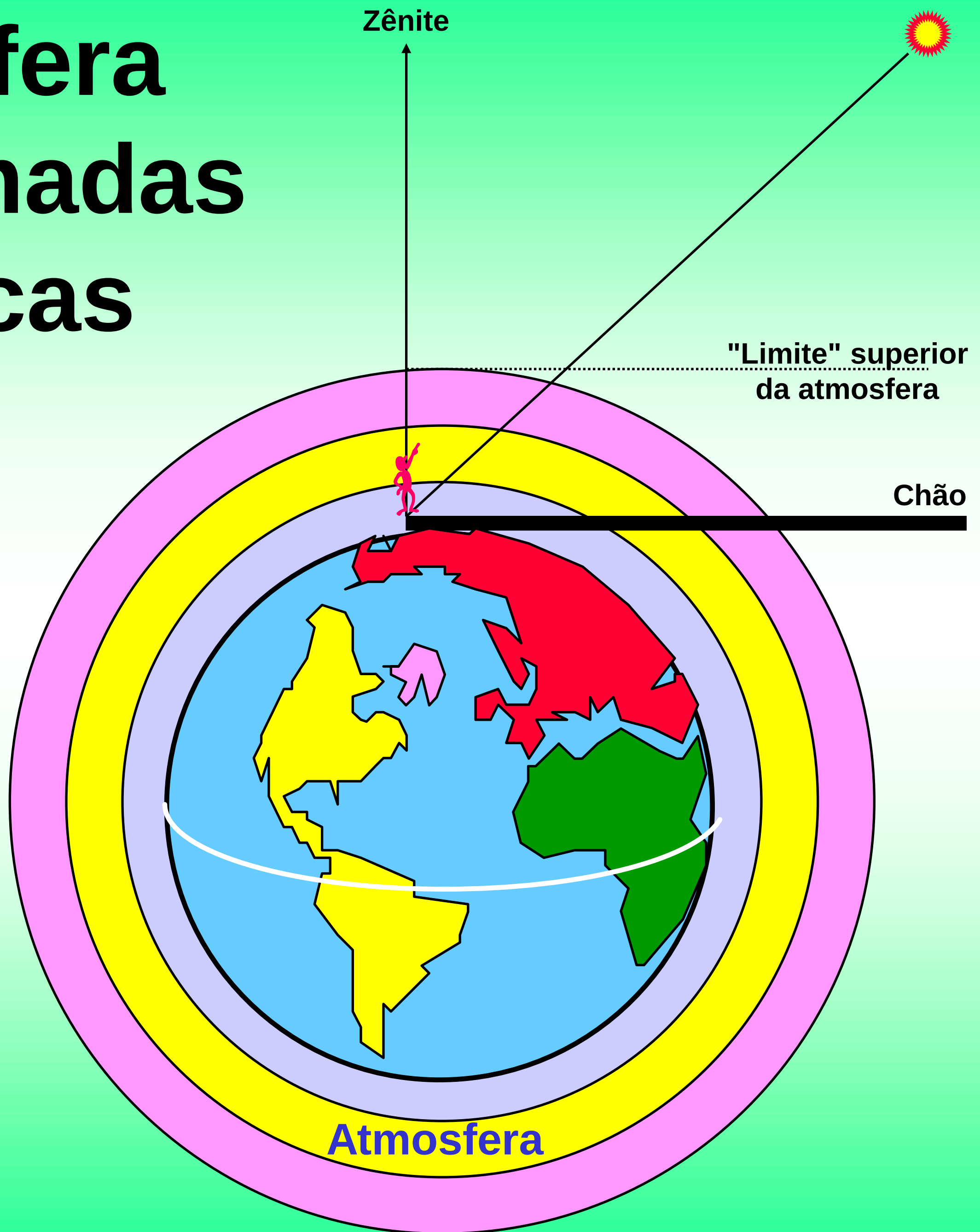
A atmosfera "rouba" parte do calor solar que deveria chegar ao solo!

S ≠ constante

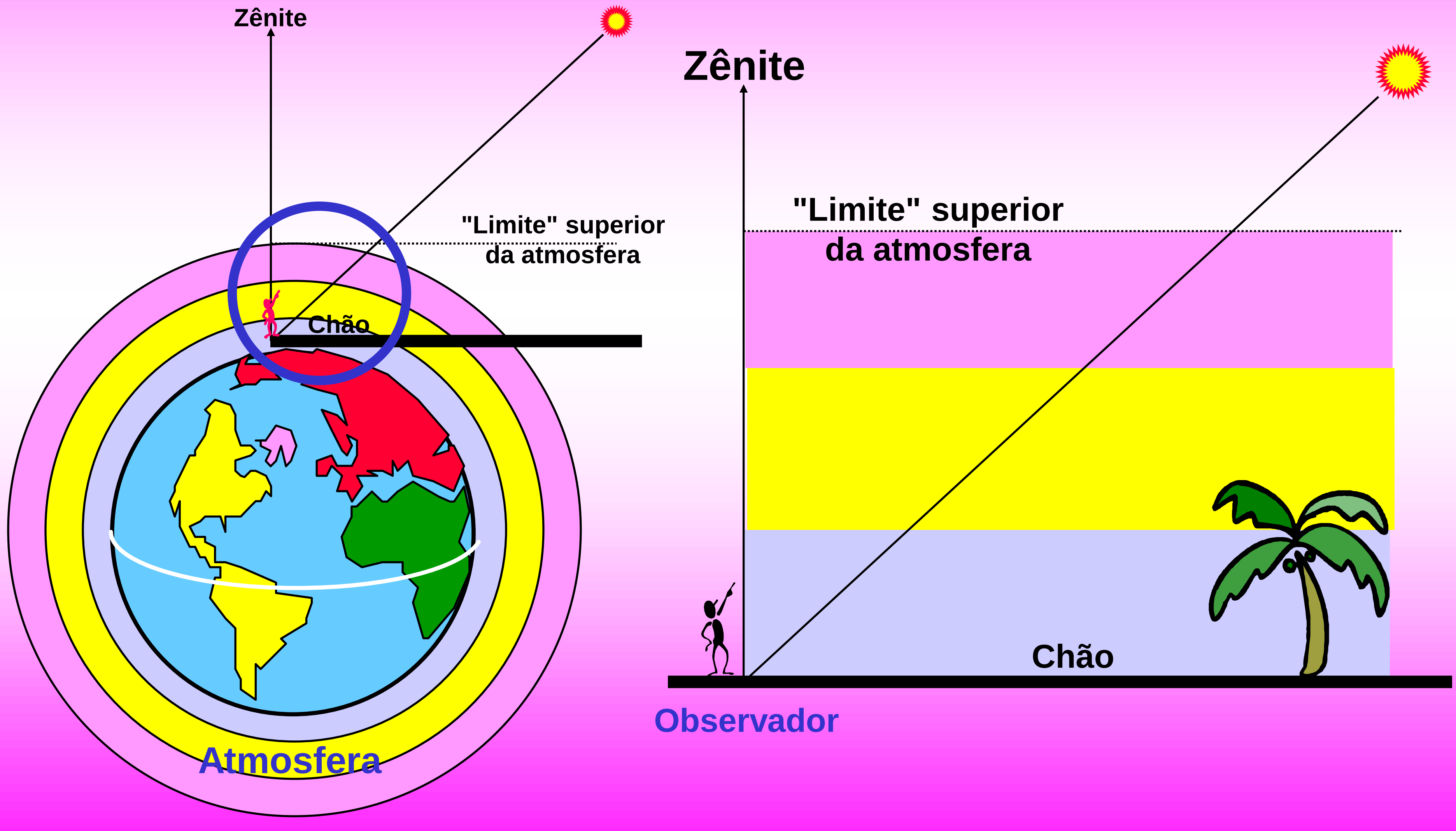


Geometria da atmosfera

Atmosfera com camadas esféricas

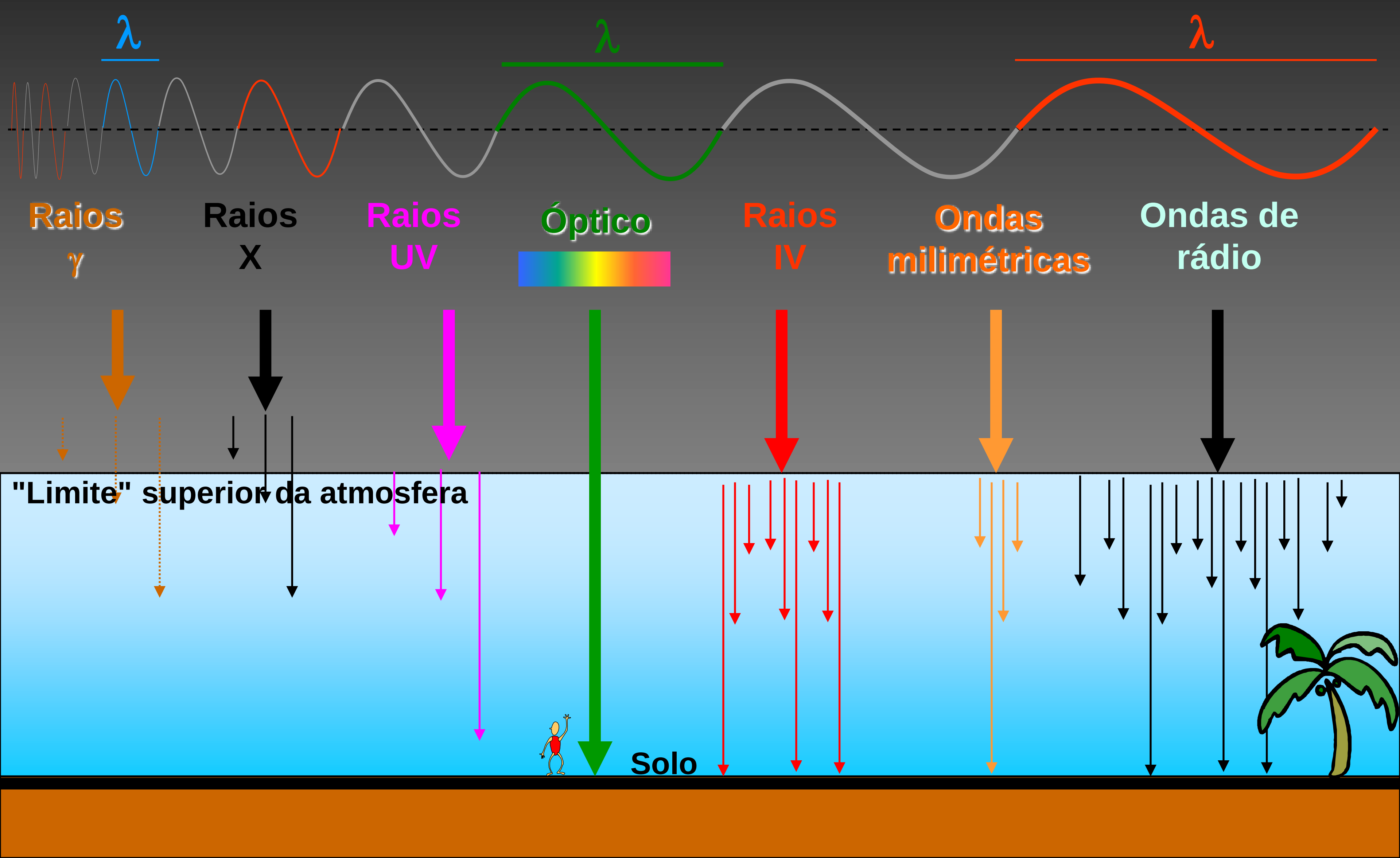


Aproximação da Atmosfera a camadas planas

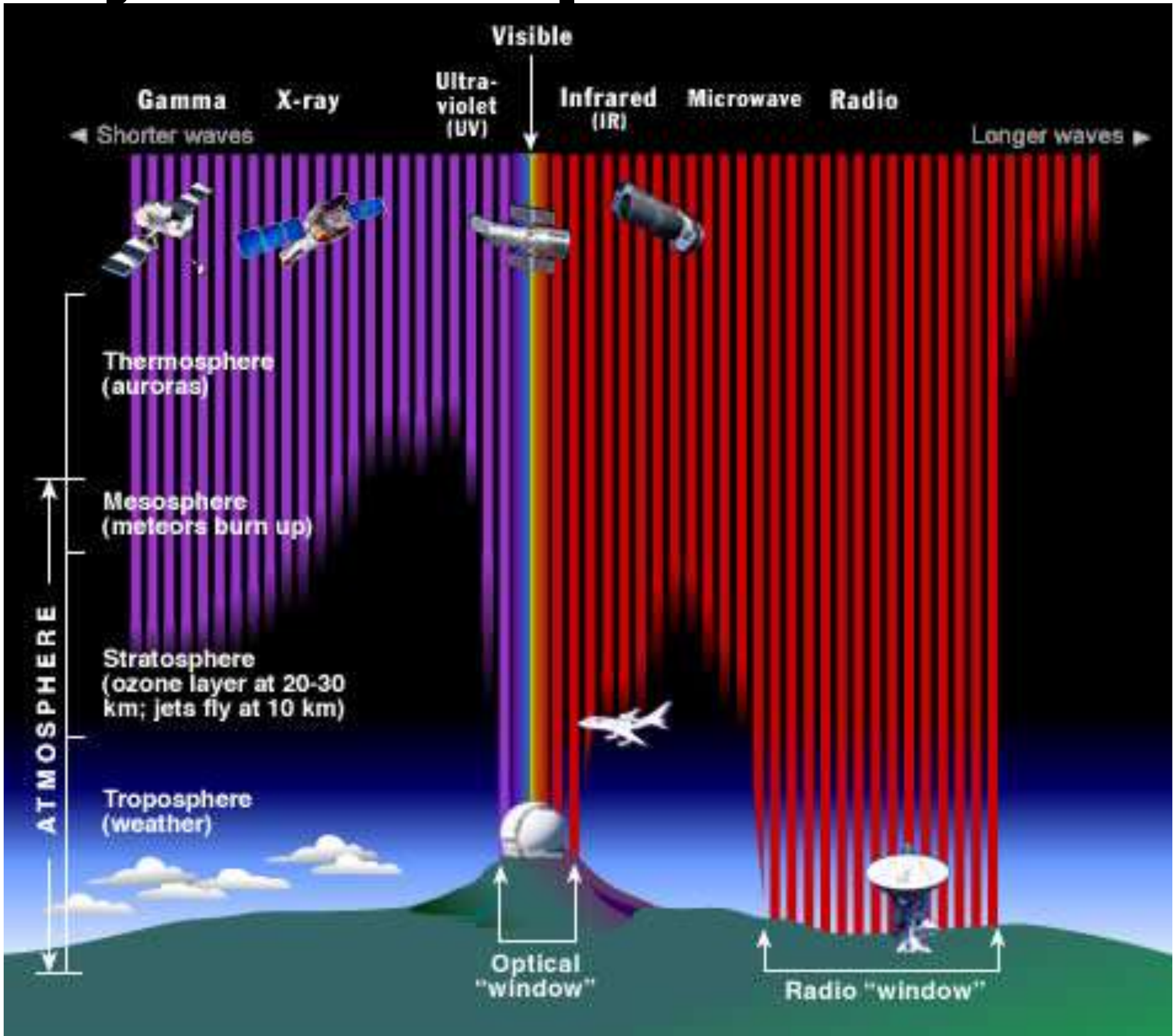


Extinção atmosférica

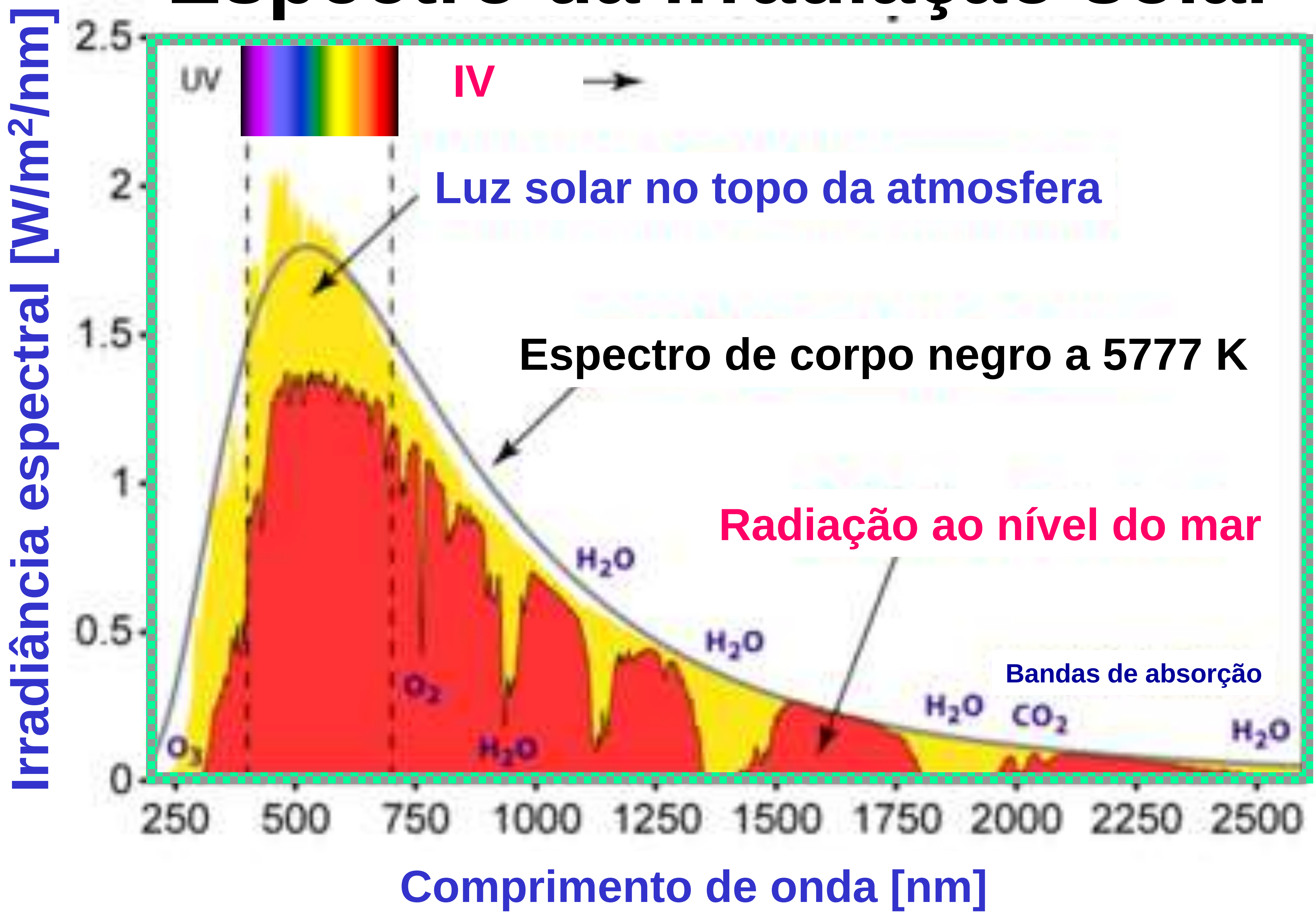
Filtro atmosférico seletivo



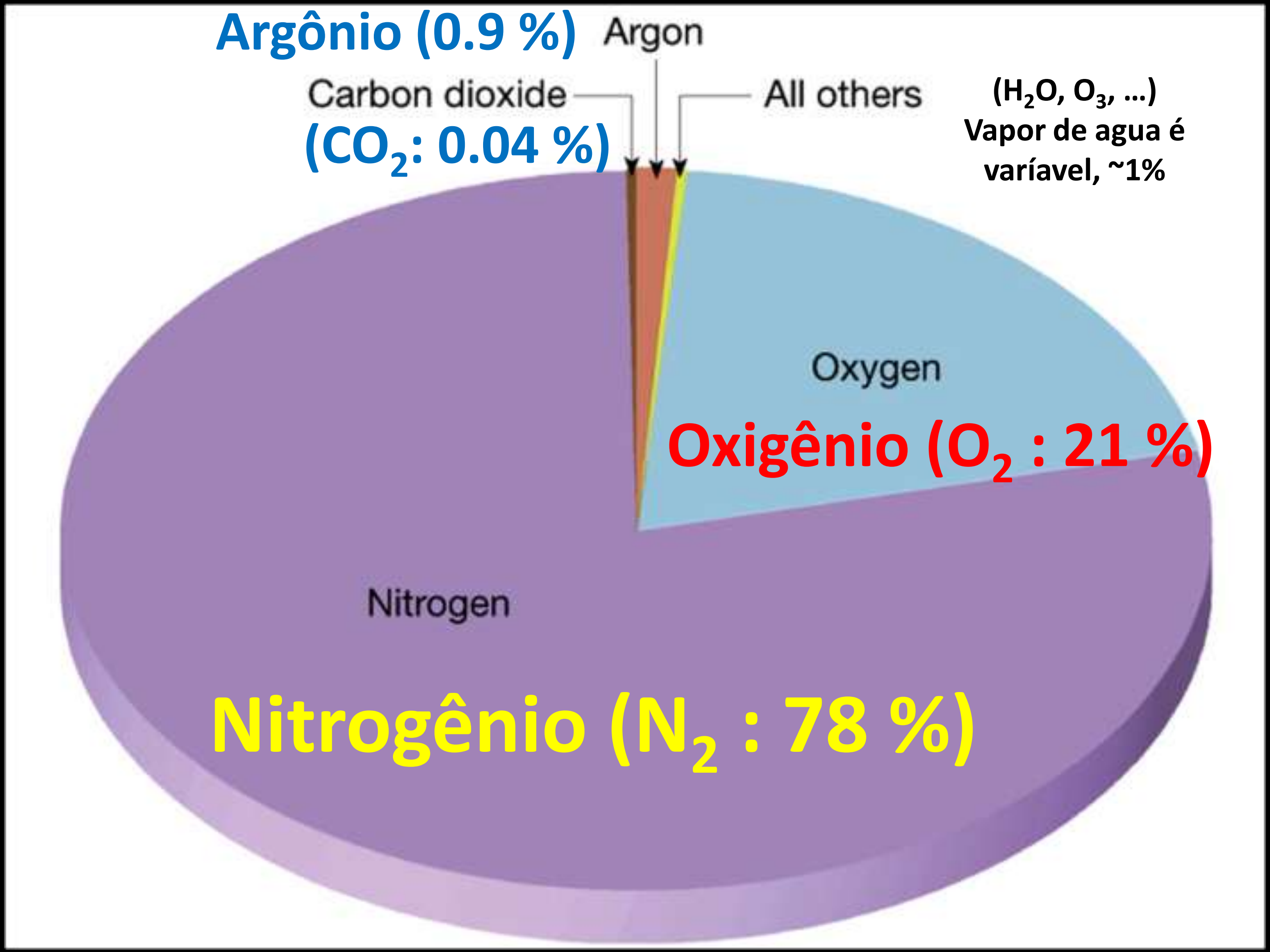
Atmosfera so deixa passar radiação UV-óptico-IR e rádio



Espectro da irradiação solar



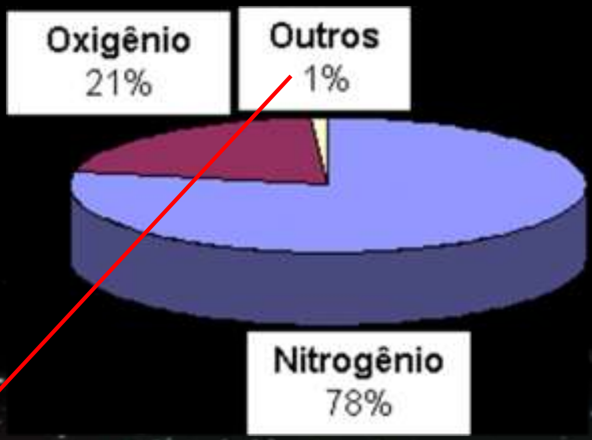
Constituintes da atmosfera

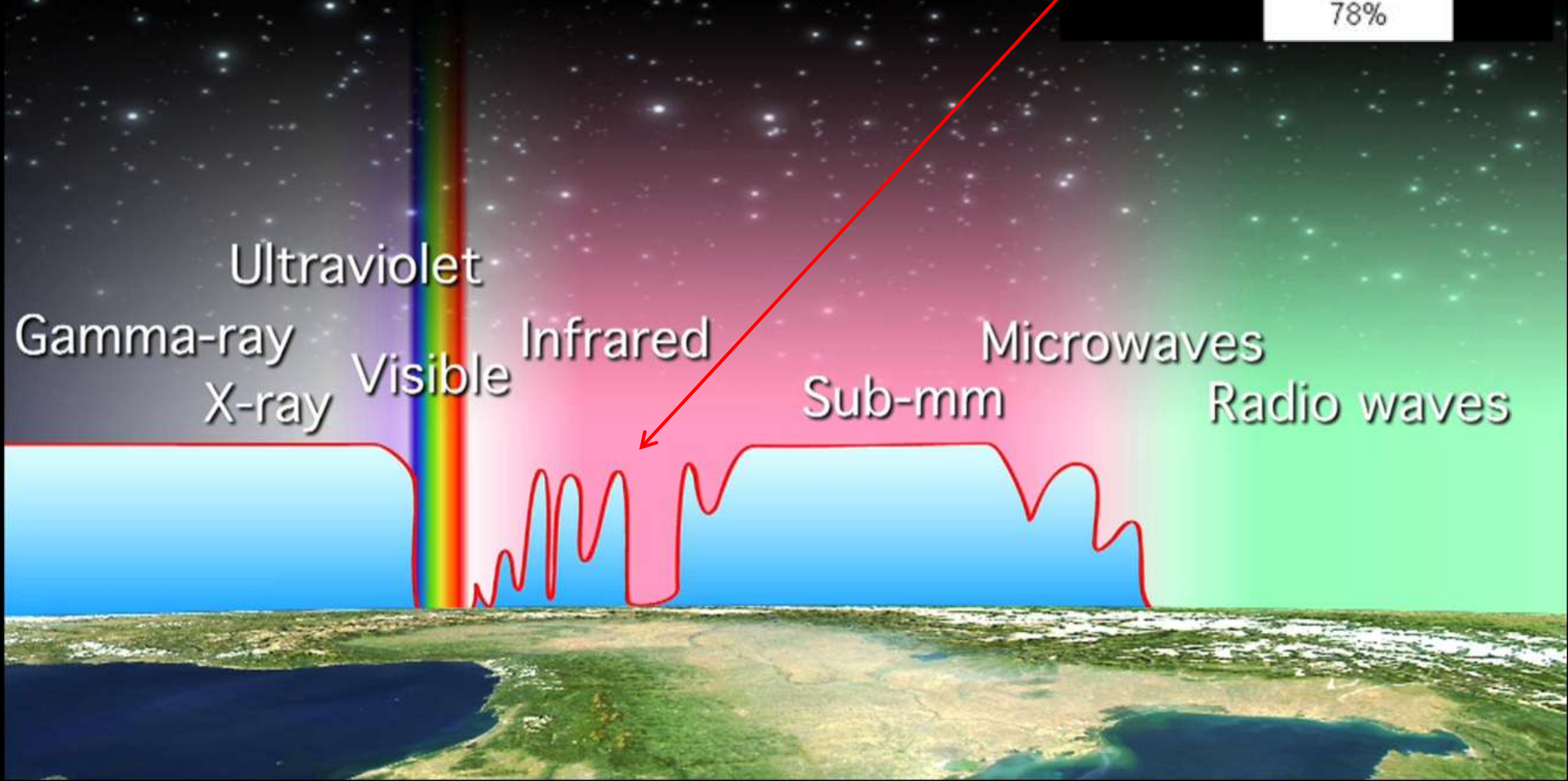


N e O são os principais constituintes. Sua proporção relativa é constante entre 0-90 km

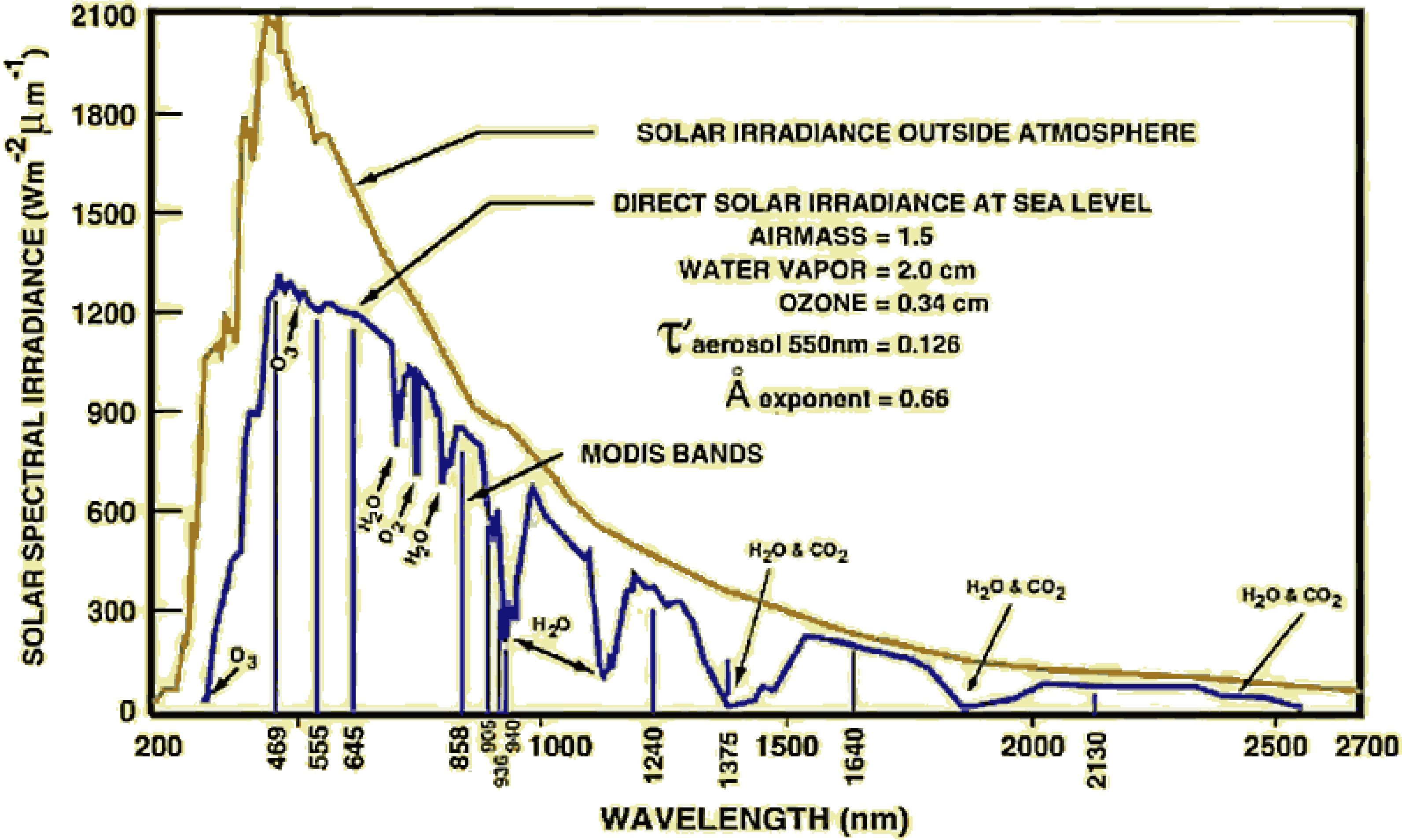
Constituintes da atmosfera (CO_2 , H_2O, O_3,...)

Os constituintes menores (e variáveis) são importantes fontes de opacidade na atmosfera



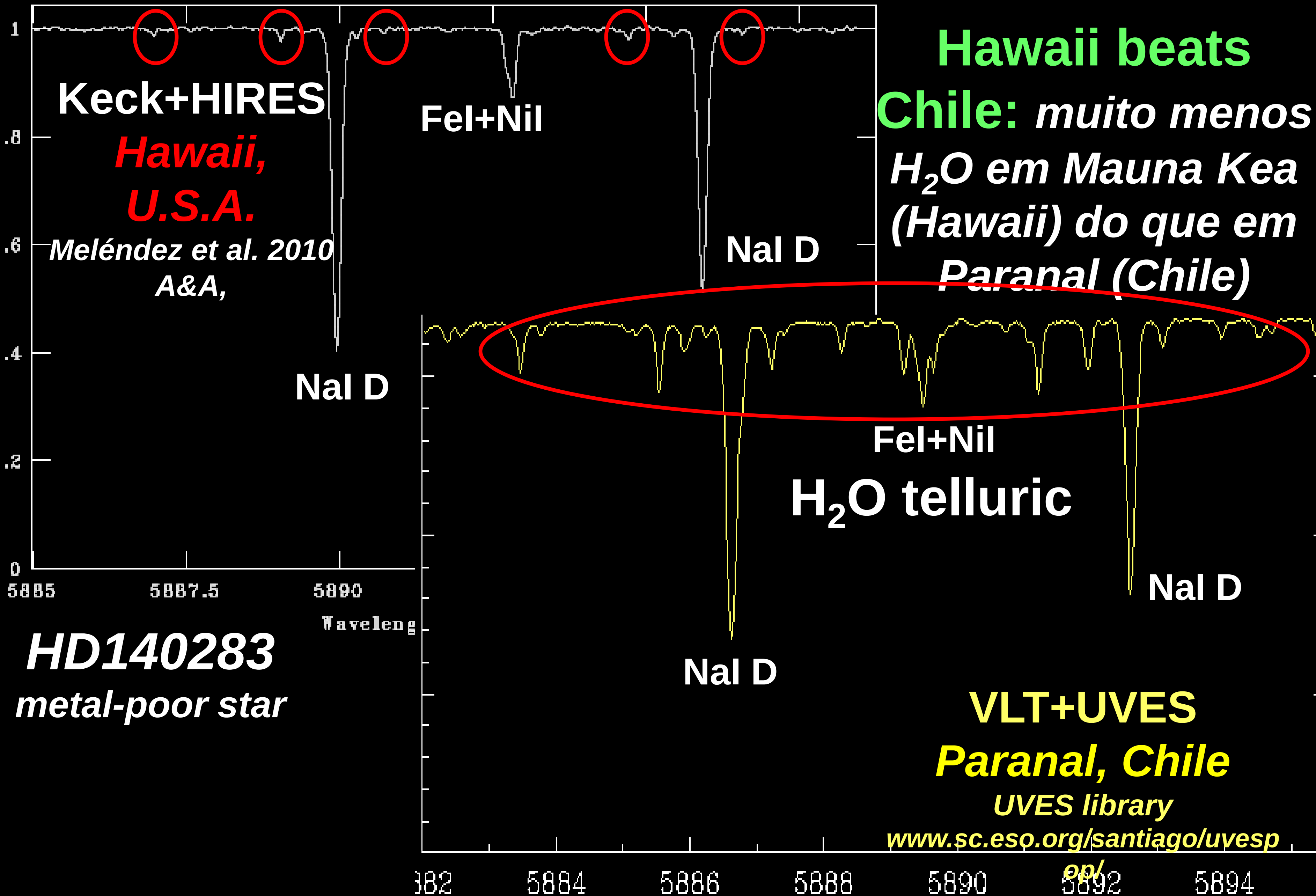


Vapor de água (H2O) atrapalha no infravermelho e no ótico



Estrela observada c/ Keck (4.2km) e VLT (2.7km)

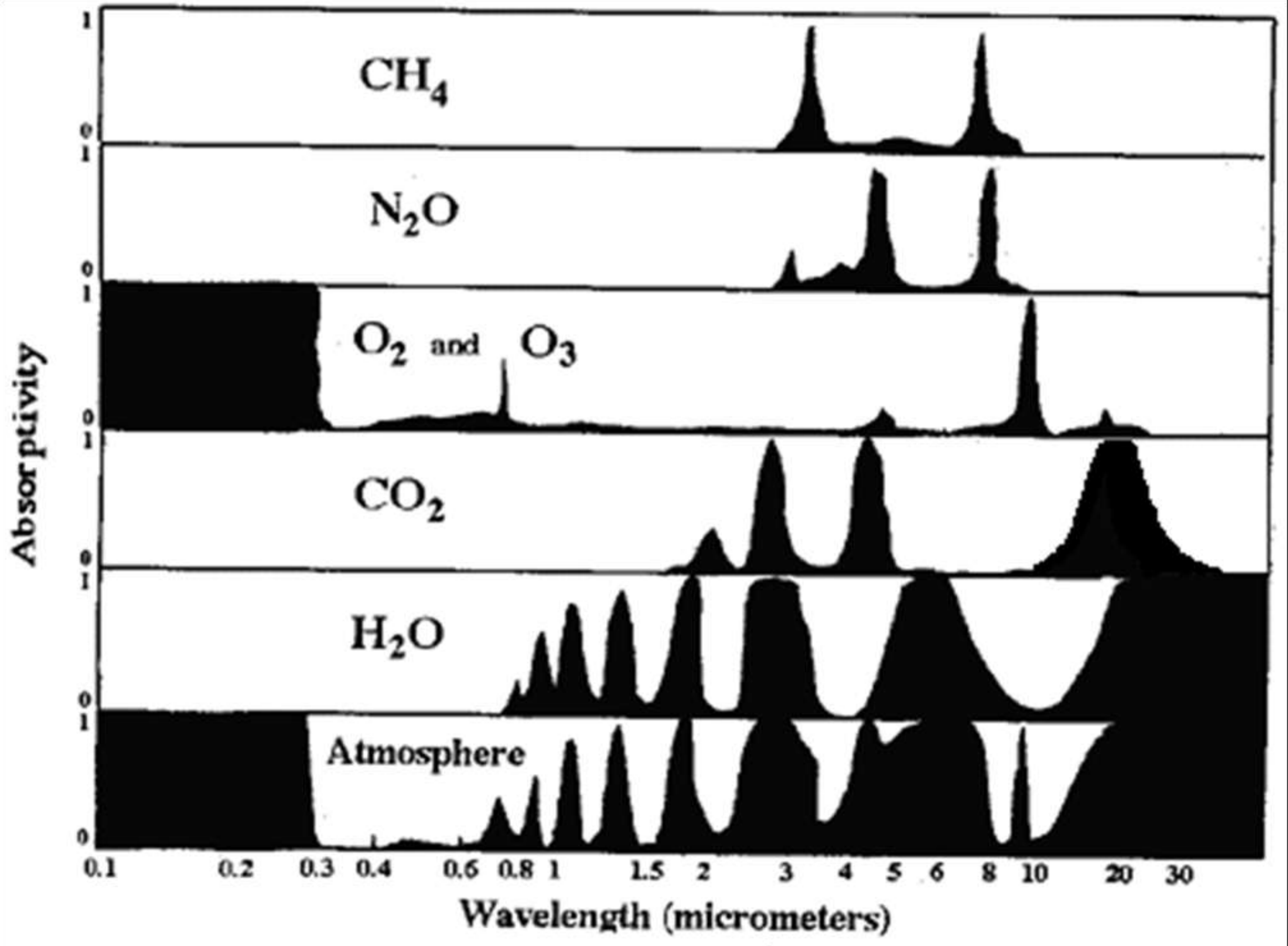
Hawaii beats Chile: ***muito menos H_2O em Mauna Kea (Hawaii) do que em Paranal (Chile)***



HD140283

metal-poor star

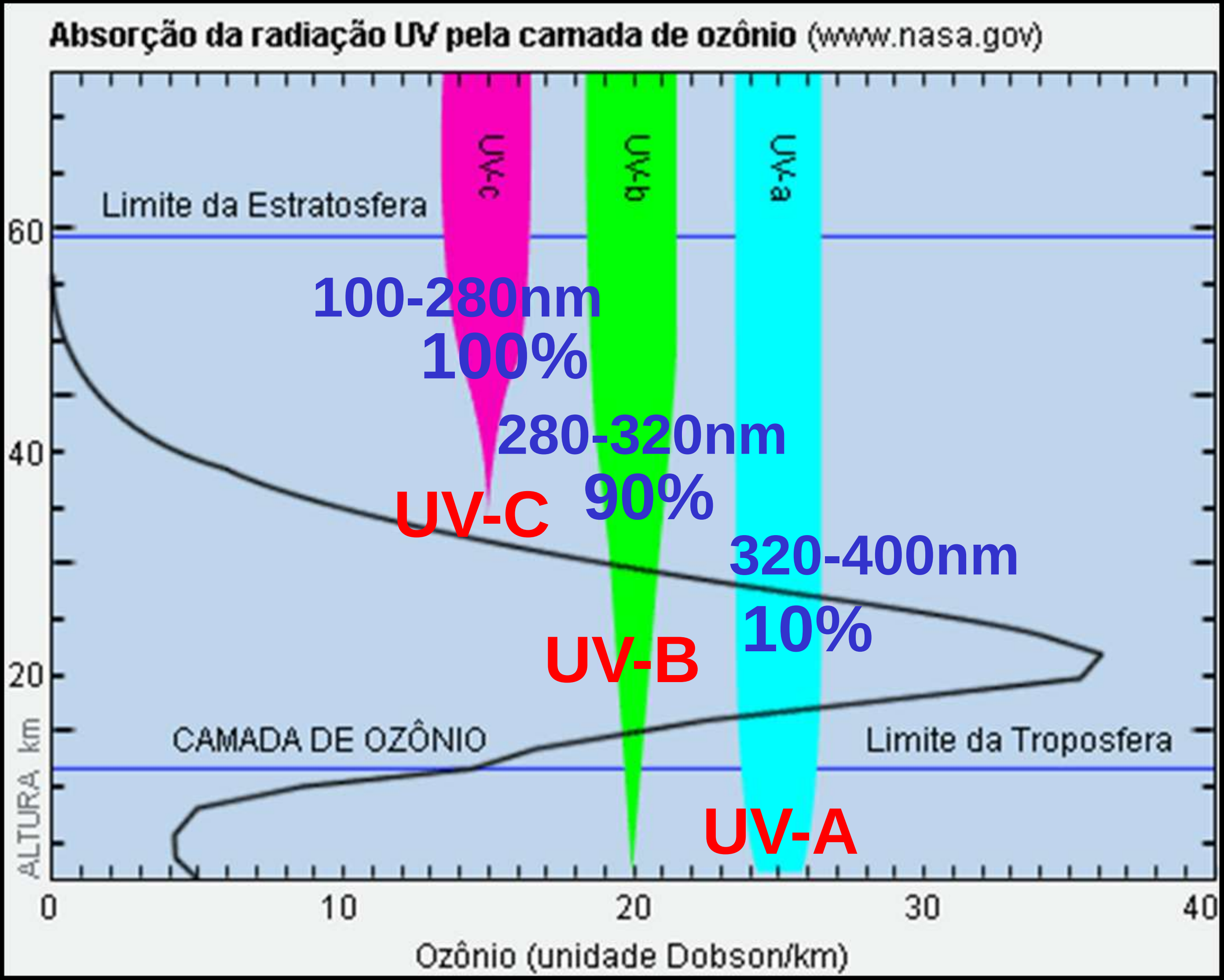
Bandas de absorção na atmosfera

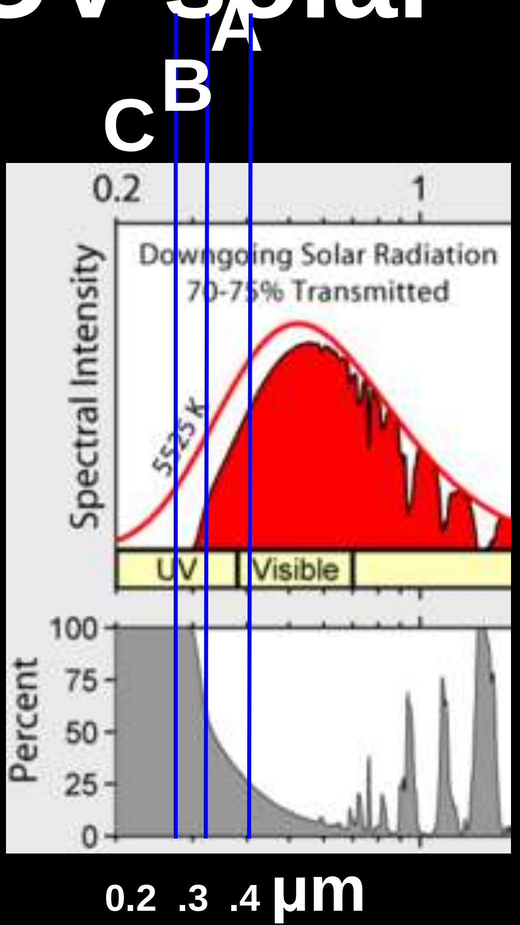


Absorptivity of various gases of the atmosphere and the atmosphere as a whole as a function of the wavelength of radiation. An absorptivity of zero means no absorption while a value of one means complete absorption. The dominant absorbers of infrared radiation are water vapor (H_2O) and carbon dioxide (CO_2). Oxygen (O_2) and ozone (O_3) absorb much of the sun's ultraviolet radiation.

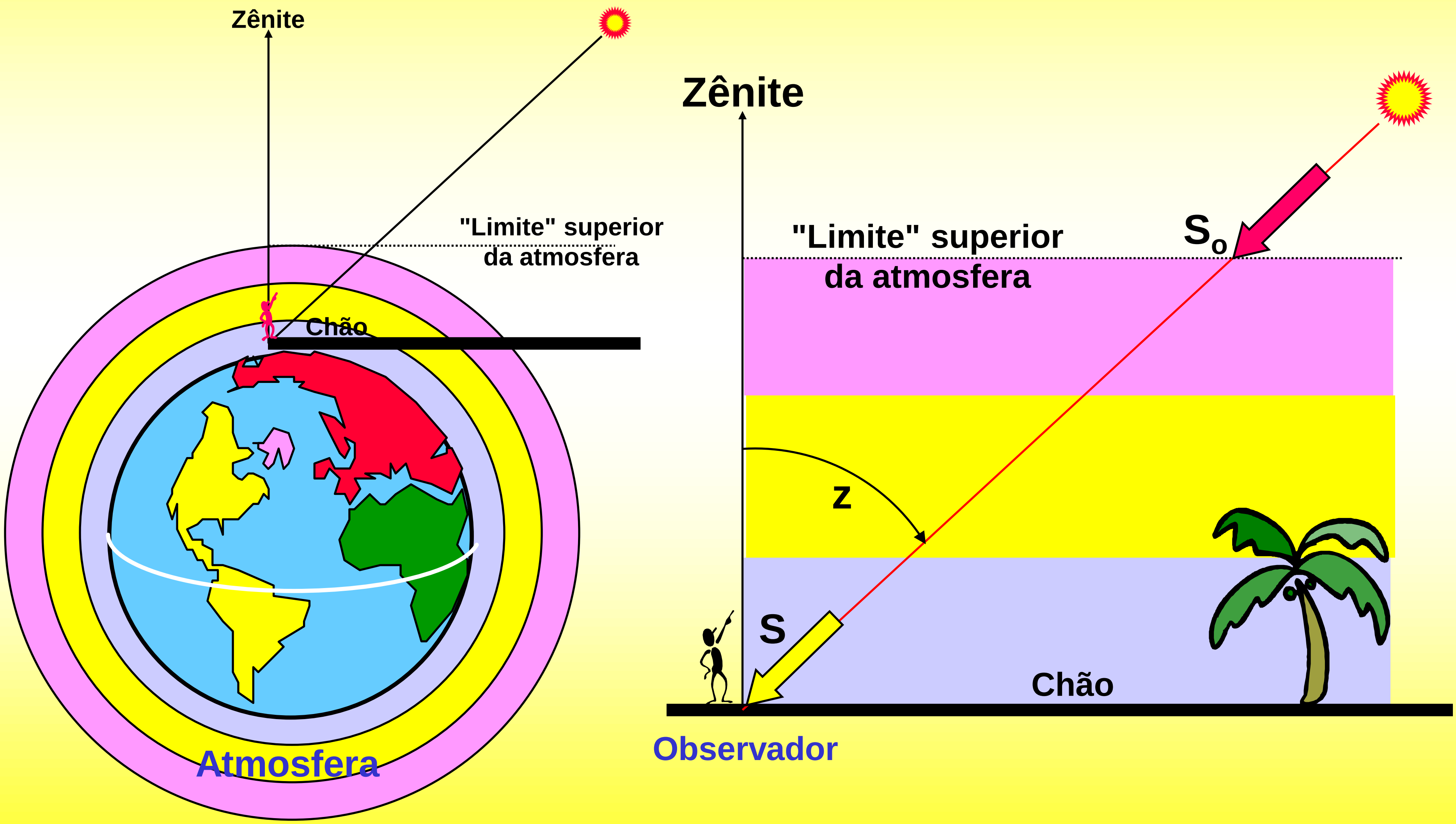
bandas de absorção atmosférica
(bandas teluricas)

Ozônio: principal proteção à Terra contra a radiação UV solar

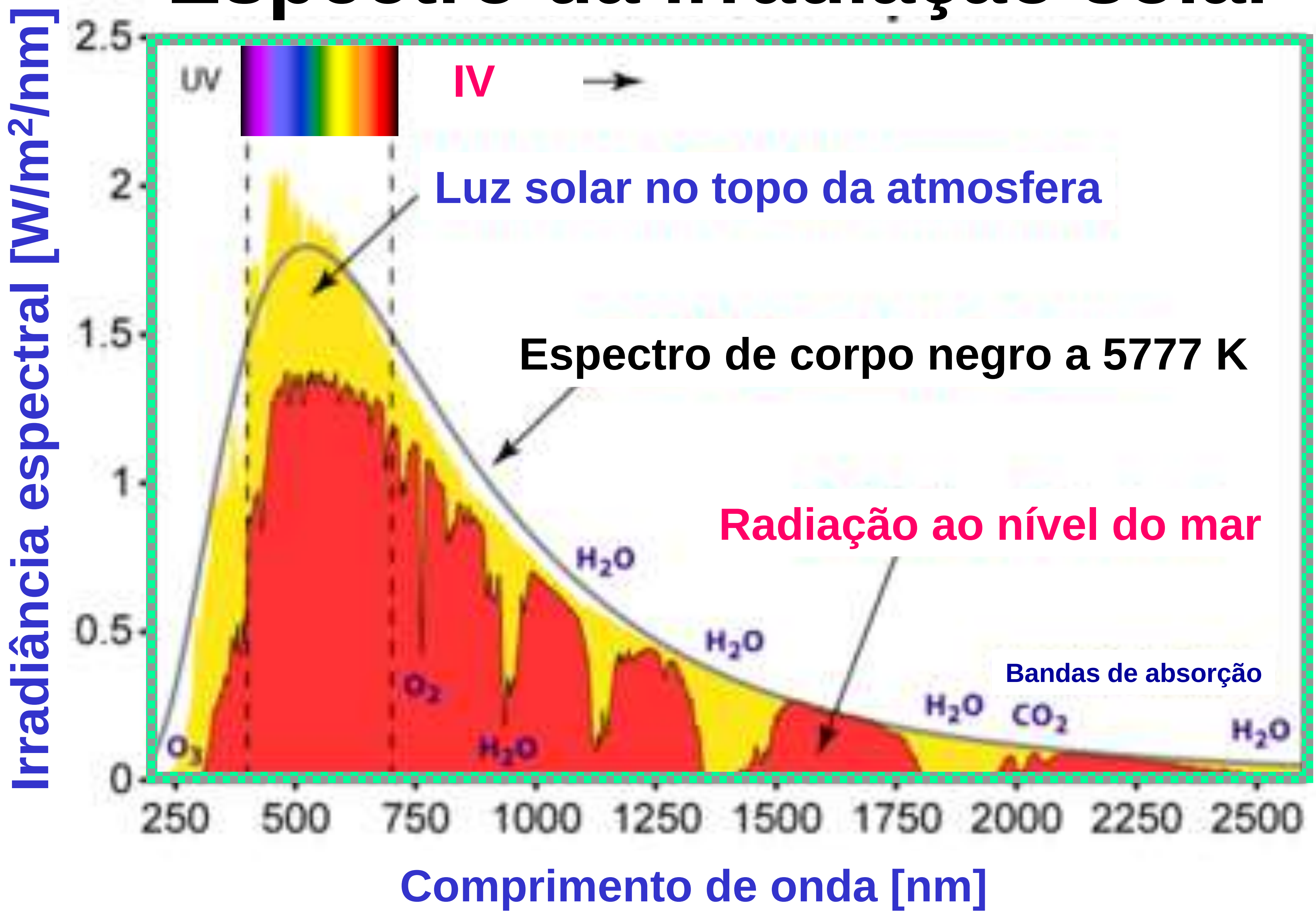




Atmosfera plano-estratificada

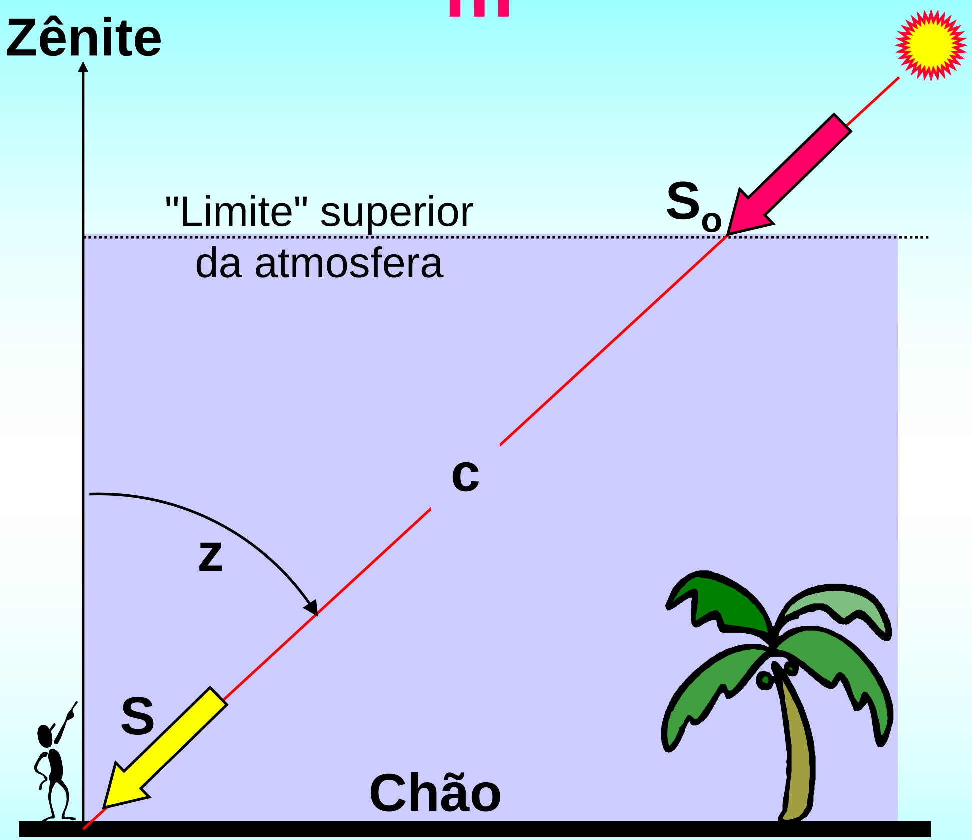


Espectro da irradiação solar



Coeficiente de Extinção Médio σ_m

c: comprimento do caminho percorrido pela luz na atmosfera



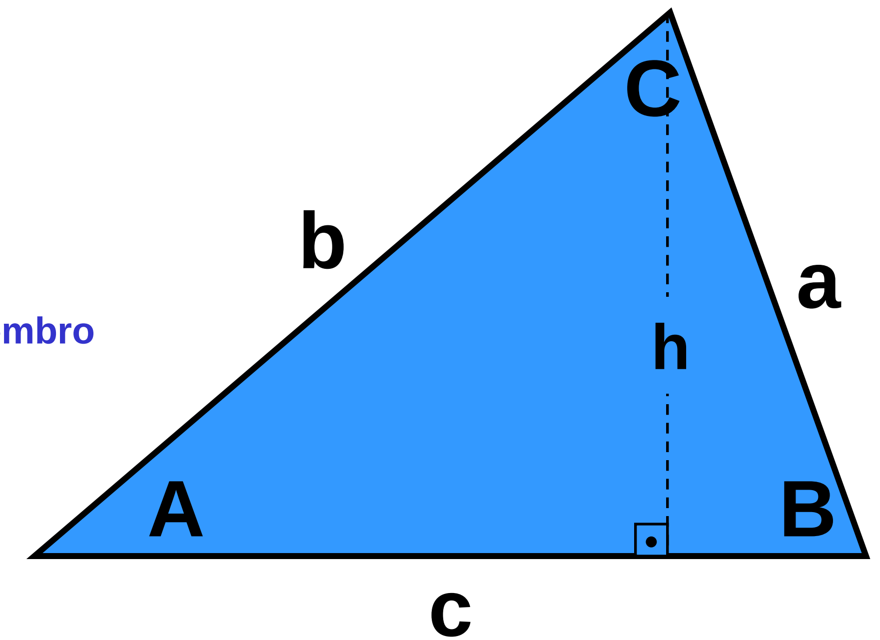
$$\sigma_m \equiv - [(S - S_o)/S_o] / c$$

σ_m = [1/m ou 1/cm]

Fórmula do seno num triângulo qualquer

sen **A = h / b**

sen **B = h / a**

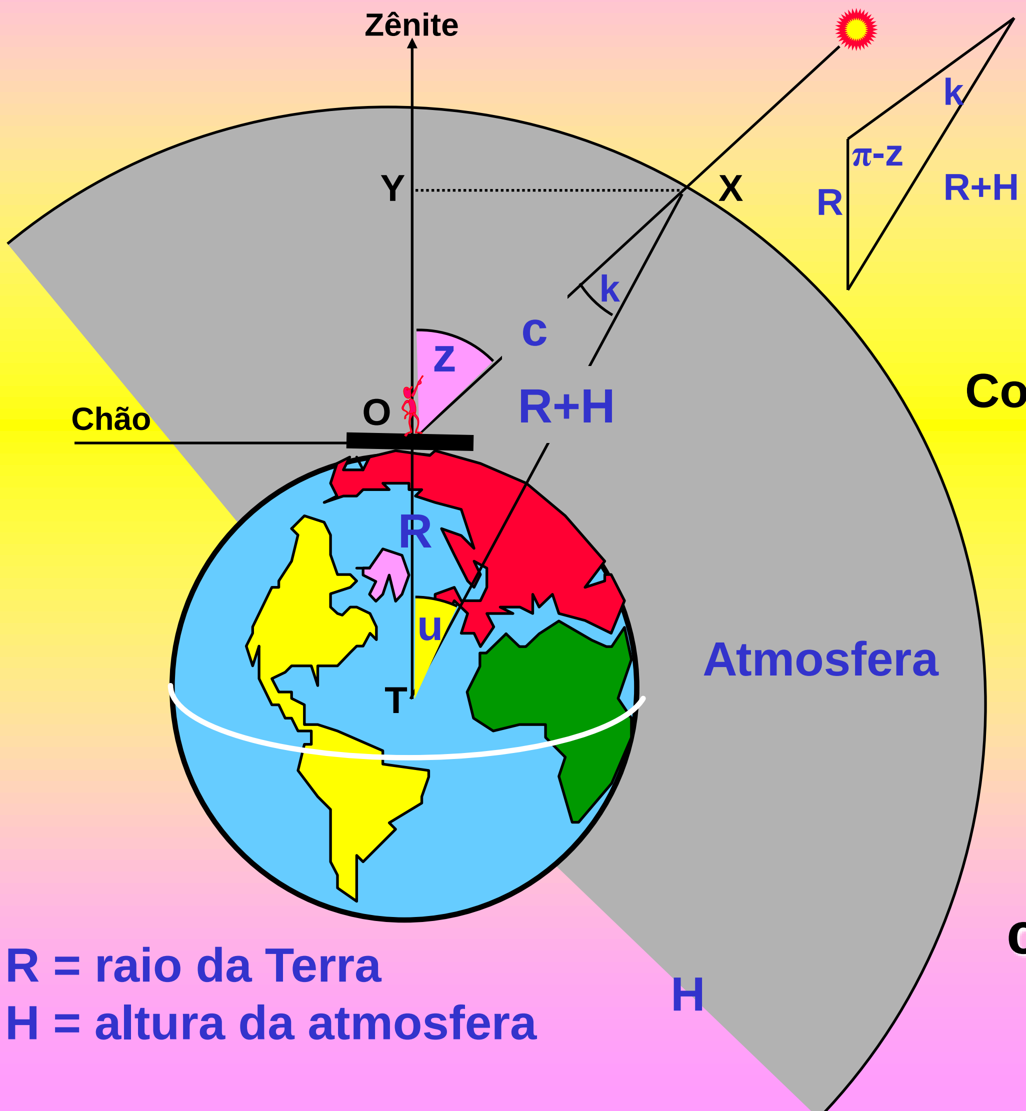


Dividir membro a membro

a / *sen* **A = b /** *sen* **B = c /** *sen* **C**

c: comprimento do caminho percorrido pela luz na atmosfera

Valor do c em função do z



R = raio da Terra

H = altura da atmosfera

Fórmula do seno no ΔTOX:

$$(R+H) / \mathit{sen}\ (180-z) = R / \mathit{sen}\ k$$

k

Como z é um ângulo externo do ΔTOX:

$$z = u + k$$

$$u = z - k$$

u

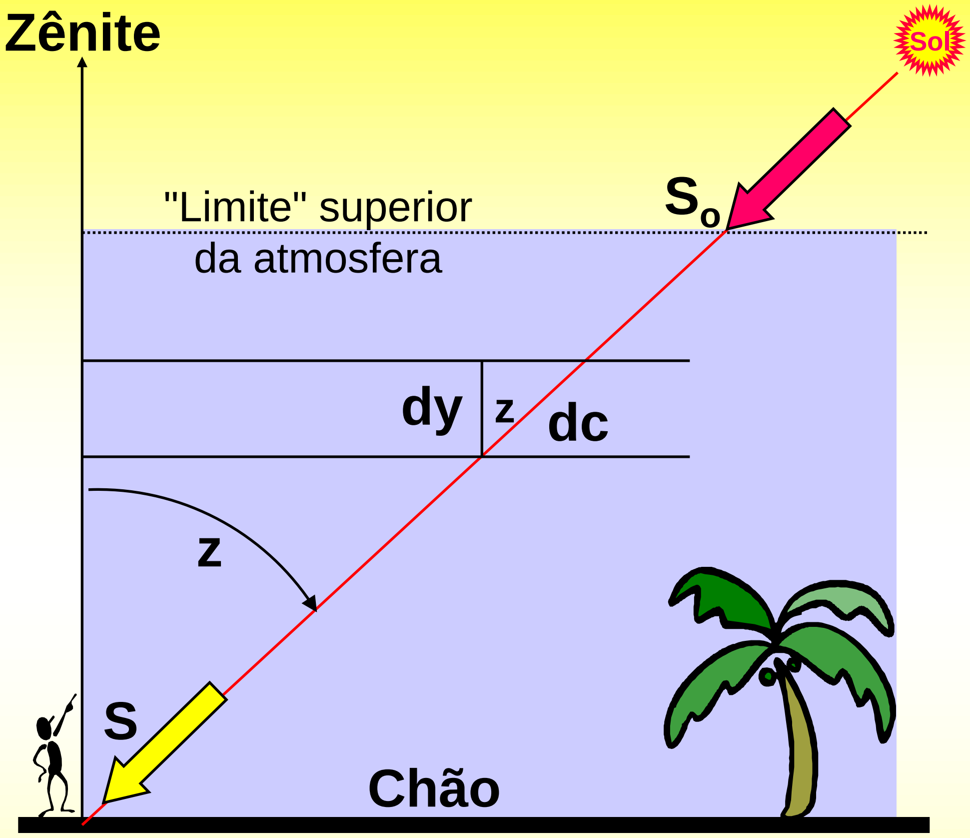
Projetando no eixo vertical (OY):

$$c \cdot \cos z = (R+H) \cdot \cos u - R$$

Explicitando c:

$$c = [\ (R+H) \cdot \cos u - R\ ] / \cos z$$

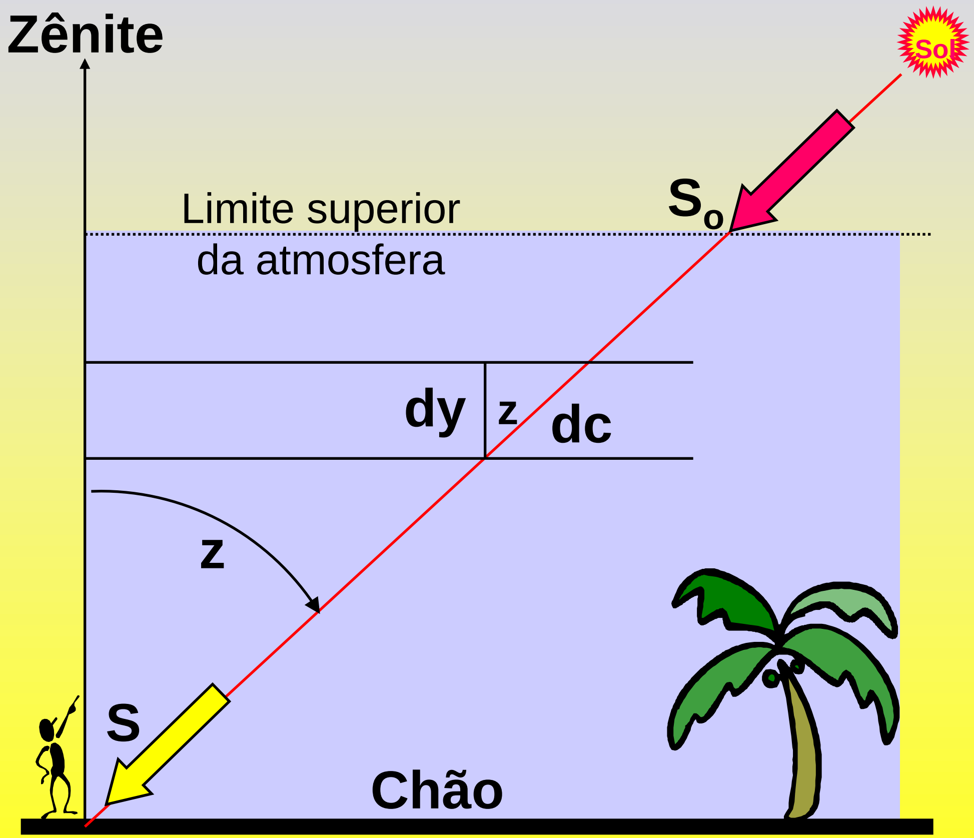
Coeficiente de Extinção Local σ



$$\sigma_m = - [(S - S_o)/S_o] / c$$

$$\sigma \equiv - [dS / S] / dc$$

Espessura óptica
(ou profundidade óptica)
τ



Coeficiente de extinção σ :

$$\sigma = - [\, dS / S \,] / dc$$

$$dS / S = - \sigma \, dc$$

$$\int (dS / S) = - \int \sigma \, dc$$

$$\tau \equiv \int \sigma \, dc$$

$$\int (dS / S) = - \tau$$

"Constante solar" no solo

$$\int (dS / S) = - \tau$$

$$[\ln S] = - \tau$$

S_o = constante solar (fora da atmosfera)
S = irradiância solar no local da medida

$$\ln S - \ln S_o = - \tau$$

$$\ln (S/S_o) = - \tau$$

$$S = S_o \, e^{-\tau}$$

$$e = \lim_{x \to \infty} (1 + 1/x)^x$$

$$e \cong 2{,}718\ 282 \ldots$$

Base Neperiana

Base do logaritmo natural

"Espessura Óptica" zenital $\tau_z \equiv \zeta$ *(zeta)*

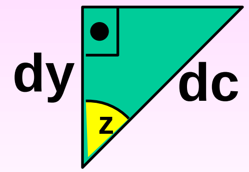
$$\tau \equiv \int \sigma \, dc$$

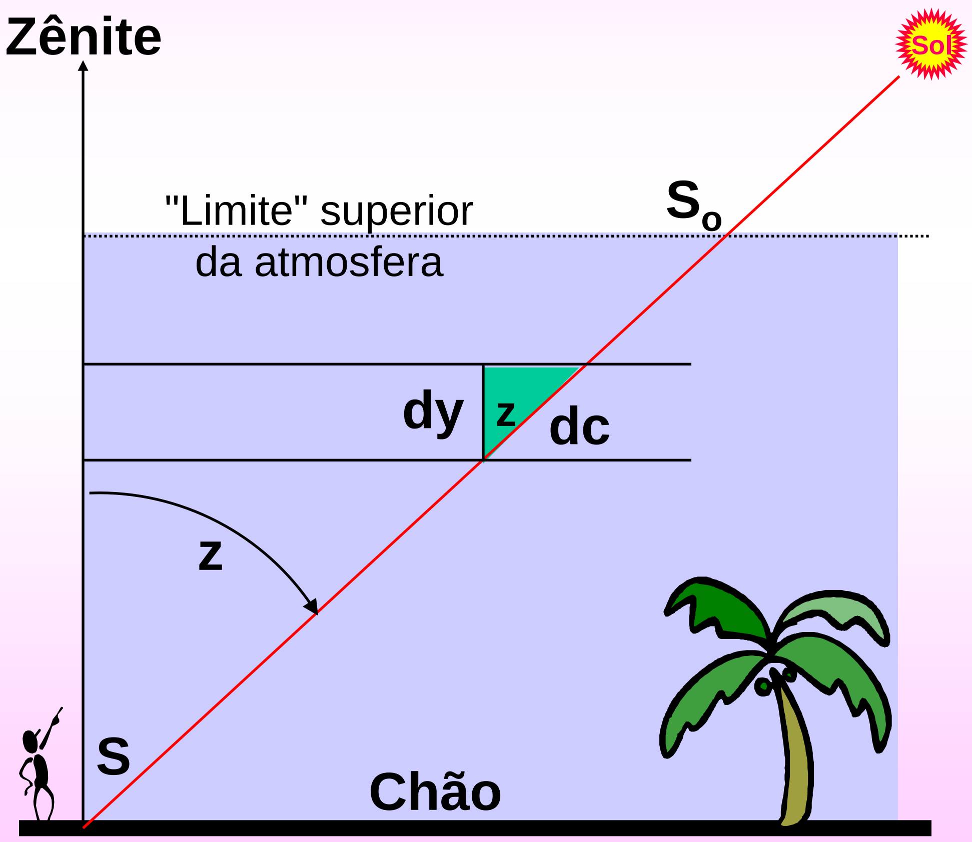
σ : Coeficiente de extinção

τ_z

dy = dc . *cos* z

dc = dy . *sec* z





$$\tau = \int \sigma \, dy \sec z$$

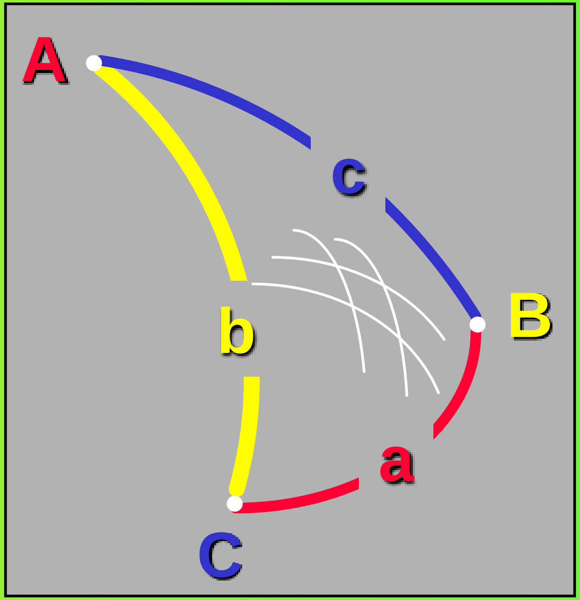
$$\tau = \sec z \int \sigma \, dy$$

$$\tau_z \equiv \int \sigma \, dy$$

$$\tau = \tau_z \sec z$$

Sol : $\tau = \tau_z \sec z_S$

Resumo das Fórmulas de Trigonometria Esférica



Co-seno

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$$

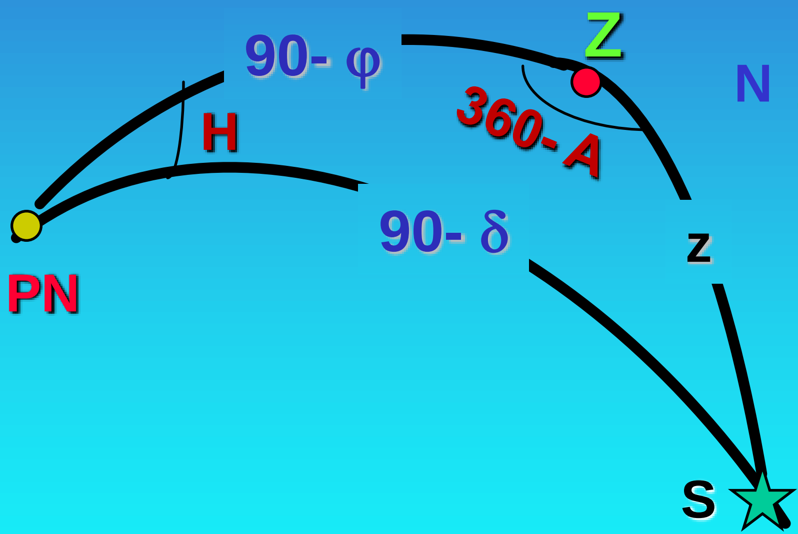
Seno

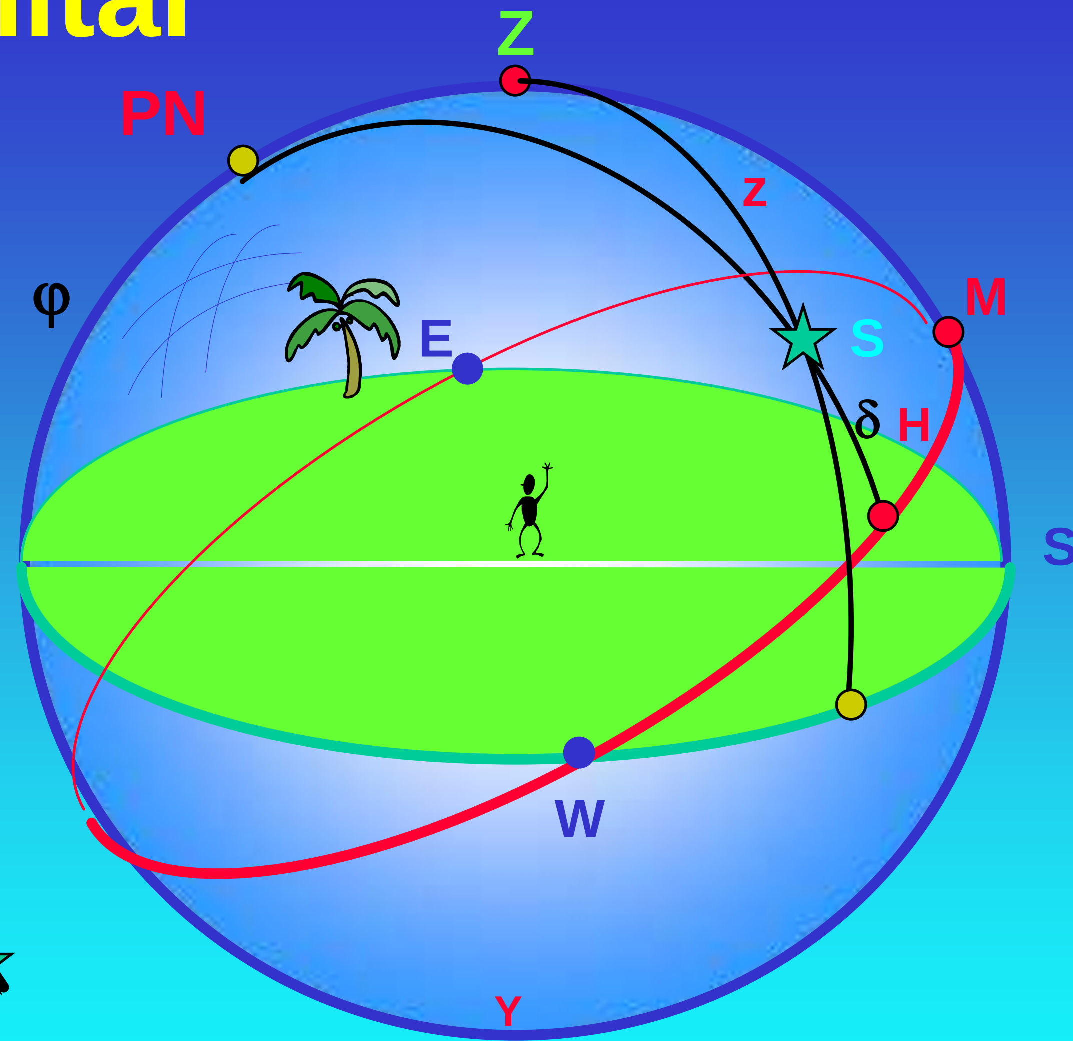
$$\frac{\text{sen } a}{\text{sen } A} = \frac{\text{sen } b}{\text{sen } B} = \frac{\text{sen } c}{\text{sen } C}$$

Seno & Co-seno

$$\text{sen } a \cdot \cos B = \cos b \cdot \text{sen } c - \text{sen } b \cdot \cos c \cdot \cos A$$

Distância zenital do Sol





Lei de cosenos no triângulo esférico:

$$\cos z_S = \cos(90-\varphi) \cdot \cos(90-\delta_S) + \operatorname{sen}(90-\varphi) \cdot \operatorname{sen}(90-\delta_S) \cdot \cos H_S$$

$$\cos z_S = \operatorname{sen}\varphi \cdot \operatorname{sen}\delta_S + \cos\varphi \cdot \cos\delta_S \cdot \cos H_S$$

$$\sec z_S = 1/\cos z_S$$

Irradiância Solar local S

$$\int (dS / S) = - \tau$$

$$\tau \equiv \tau_z \, sec\, z$$

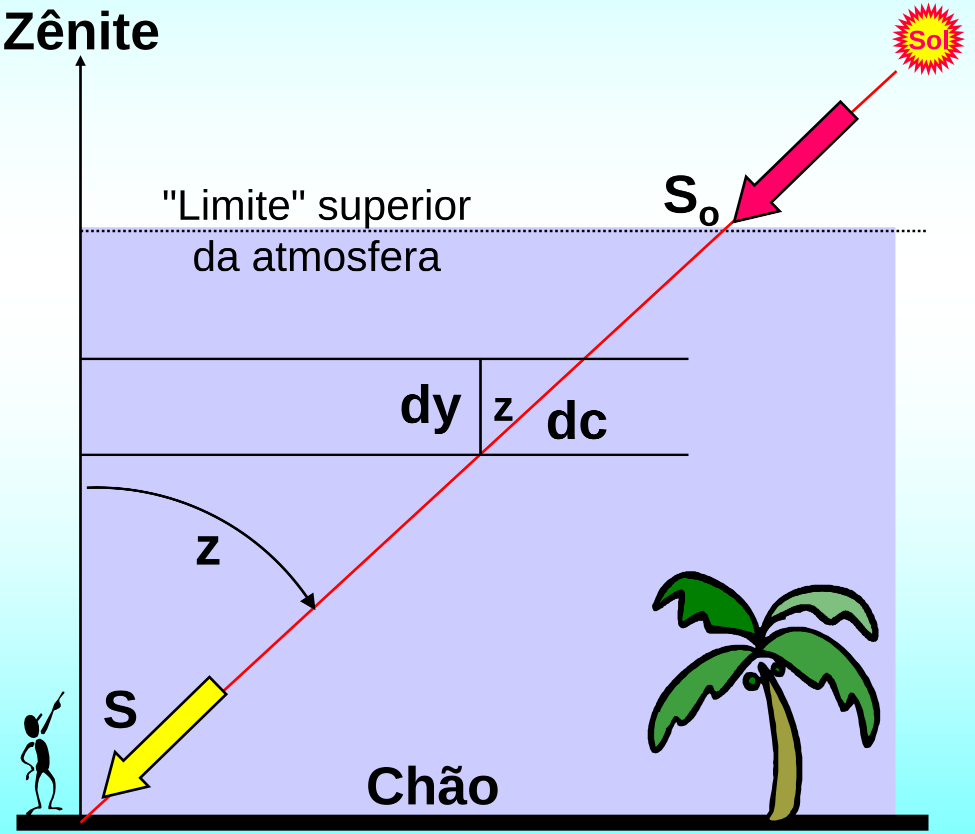
$$\ln (S / S_o) = - \tau_z \, sec\, z$$

$$\ln (S / S_o) = - \zeta \, sec\, z$$

$$\zeta \equiv \tau_z$$

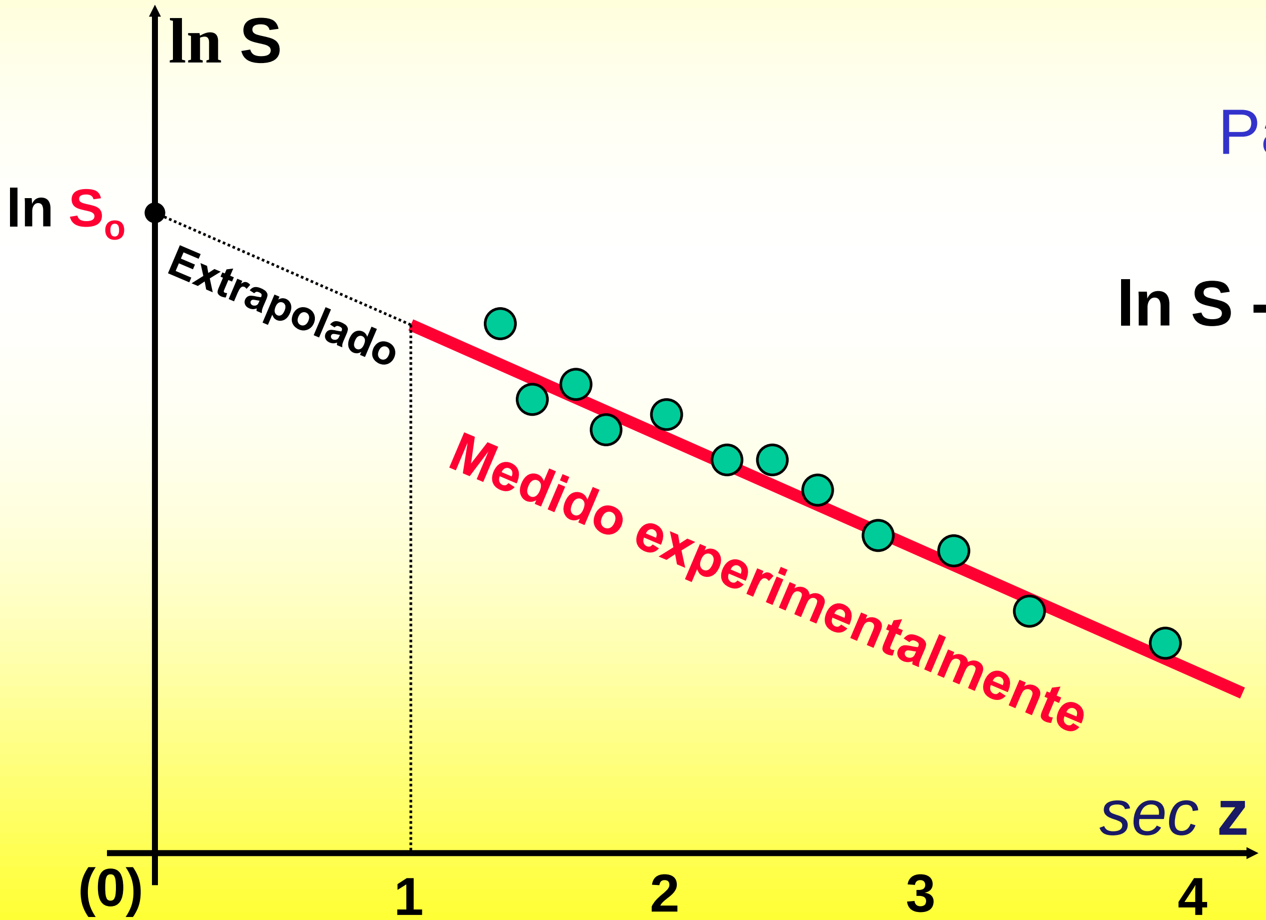
$$S / S_o = e^{- \zeta \, sec\, z}$$

$$S = S_o \, . \, e^{- \zeta \, sec\, z}$$



Cálculo da Constante Solar

Determinar S_o a partir do solo



$\ln S - \ln S_o = -\tau_z \sec z$

Para $\sec z = 0$

$\ln S - \ln S_o = -\tau_z \cdot 0$

$\ln S = \ln S_o$

Obtém-se S_o

Determinação empírica da Irradiância Solar no solo

Irradiância Solar Empírica

$$S = K \, . \, S_o \, . \, e^{-\tau}$$

S_o = constante solar (fora da atmosfera) a 1 UA

K = correção que leva em conta a órbita elipsoidal

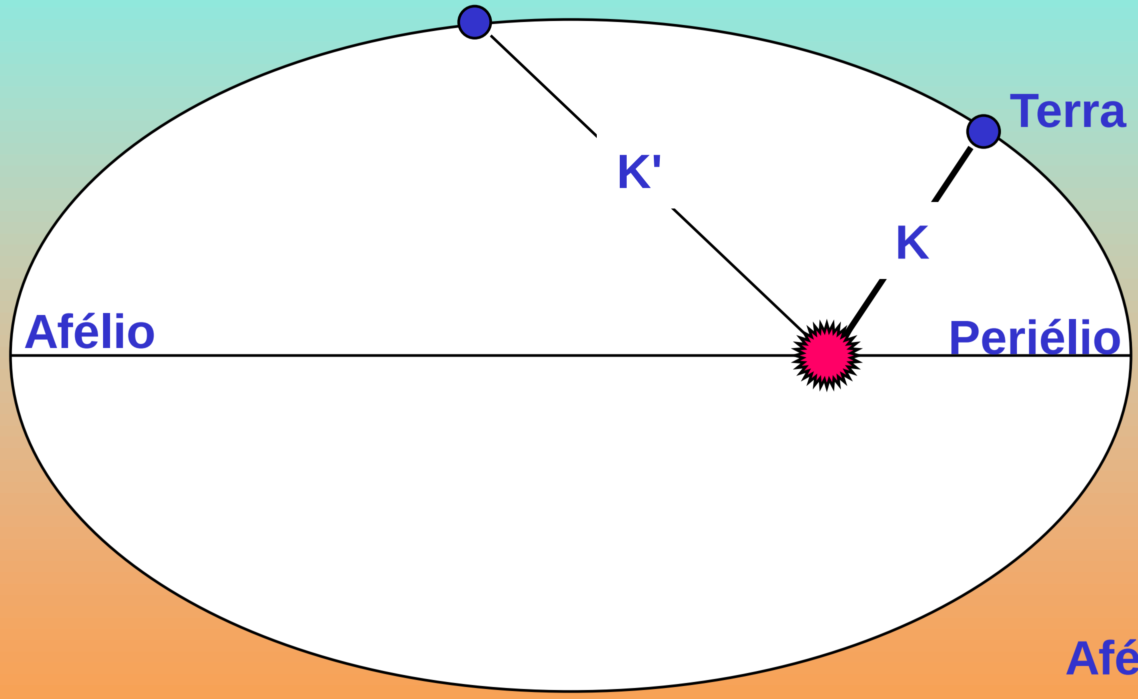
τ = espessura óptica da atmosfera

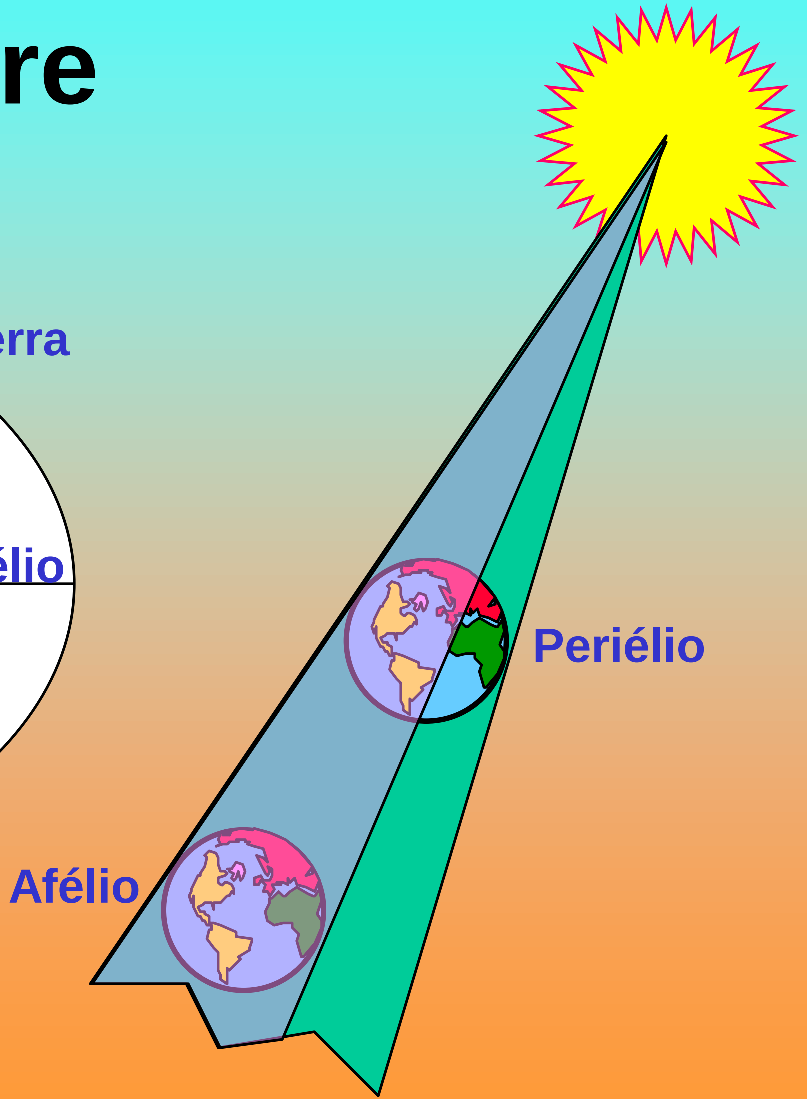
S = irradiância solar no local da medida.

e ≅ 2,718.281.828.459.045.235.360.287.471.352.7

Neper

Variação da Irradiância Solar devido à excentricidade da órbita terrestre



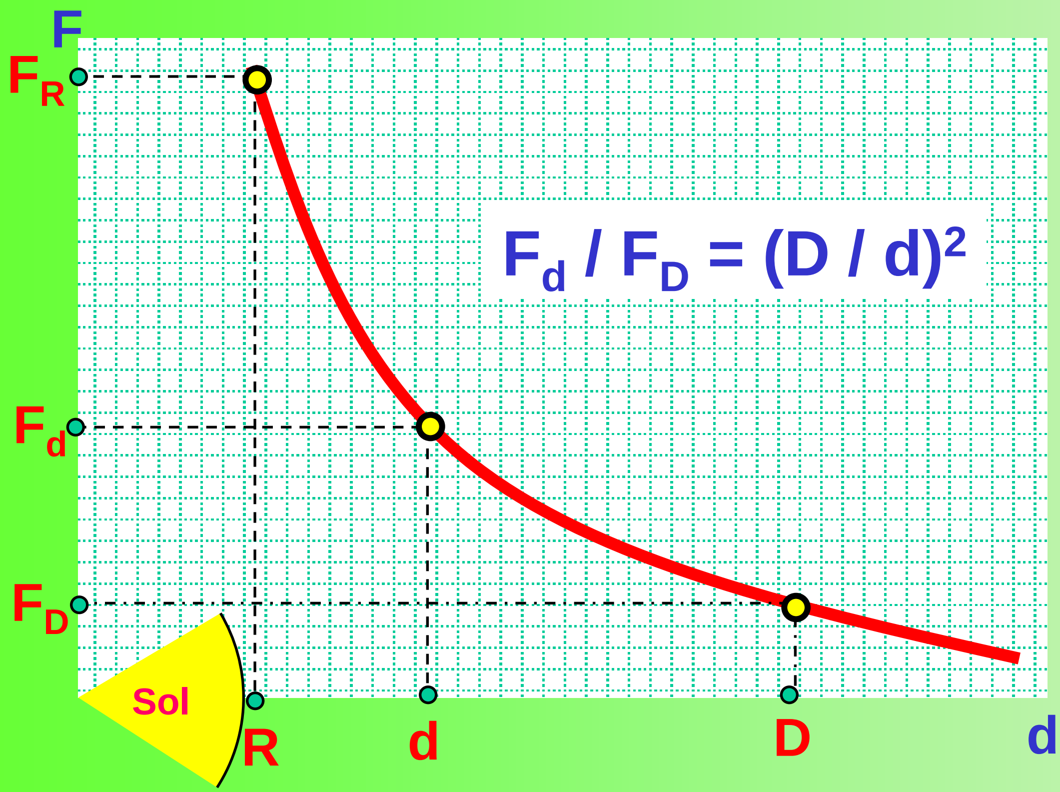


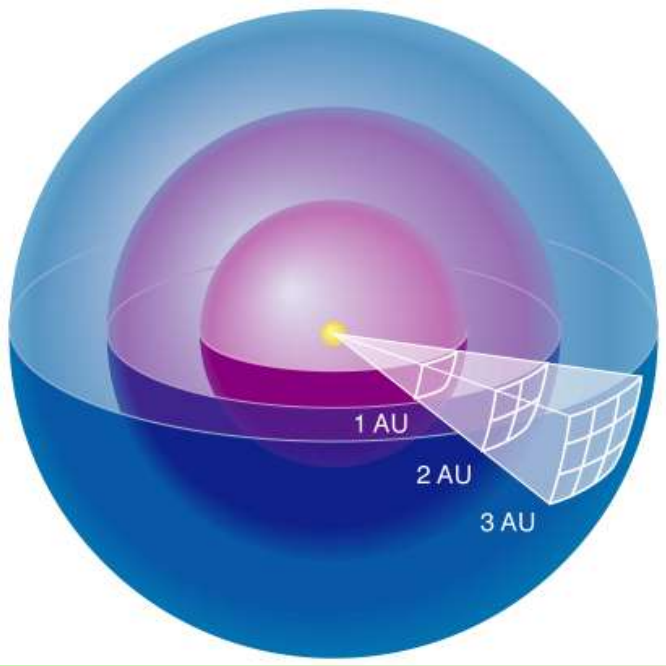
Fluxo em função da distância

$$F_d = L / (4\pi d^2)$$

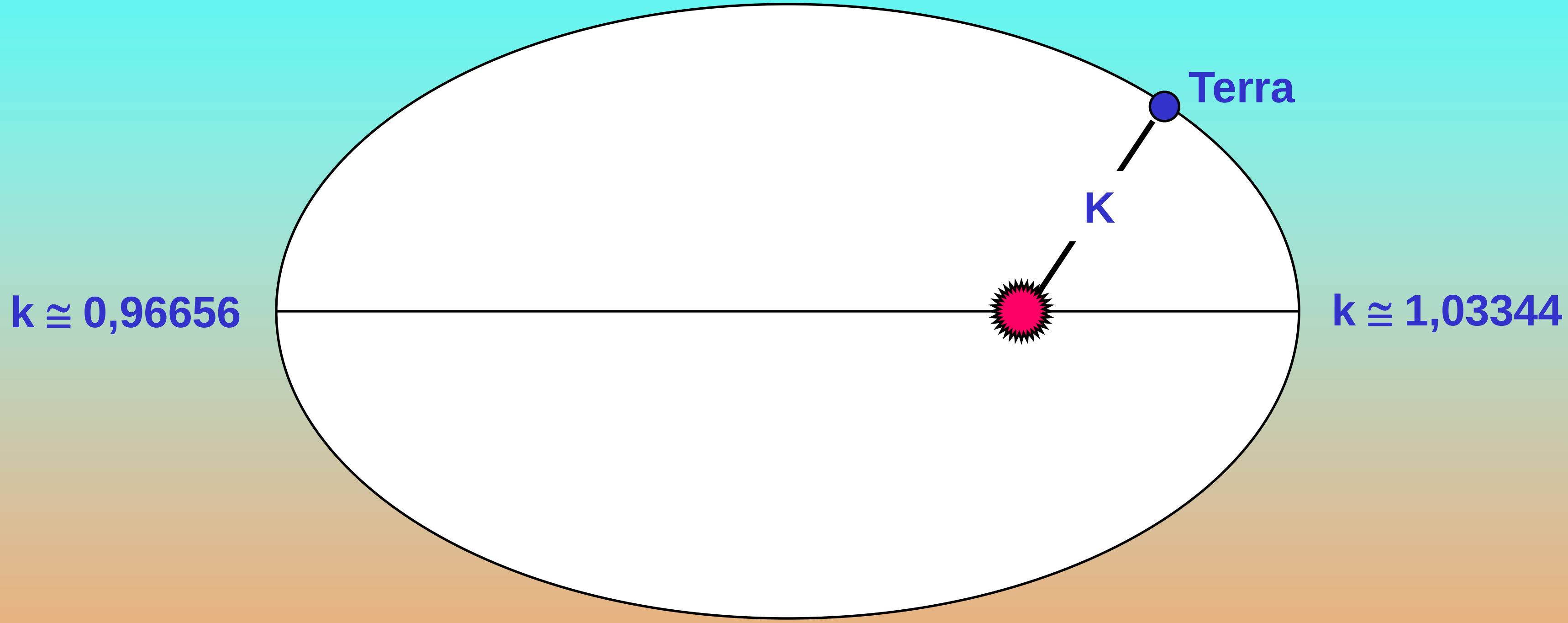
$$F_D = L / (4\pi D^2)$$

$$F_d / F_D = D^2 / d^2$$





Correção devida à excentricidade da órbita terrestre



$$K = 1 + 0{,}03344 \cos\left((360\, d / 365{,}25) - 2{,}8^{o} \right)$$

d = número do dia do ano

d ≡ 01 para 01/jan

d = 32 para 01/fev

Espessura óptica

$$\tau$$

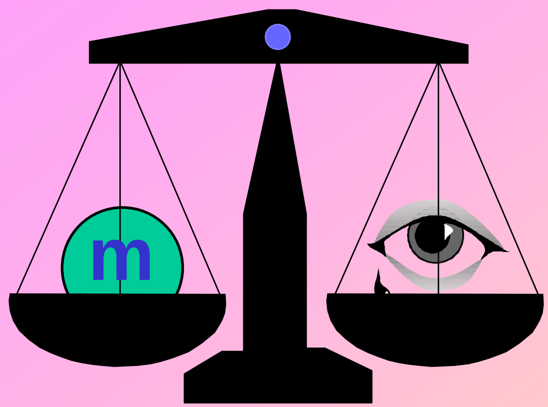
$$\tau = \tau_z \, sec \, z$$

$$\tau \equiv \delta_R \, m$$

δ_R = espessura óptica de Rayleigh

m = massa óptica dependente da altura h do Sol

Massa óptica m

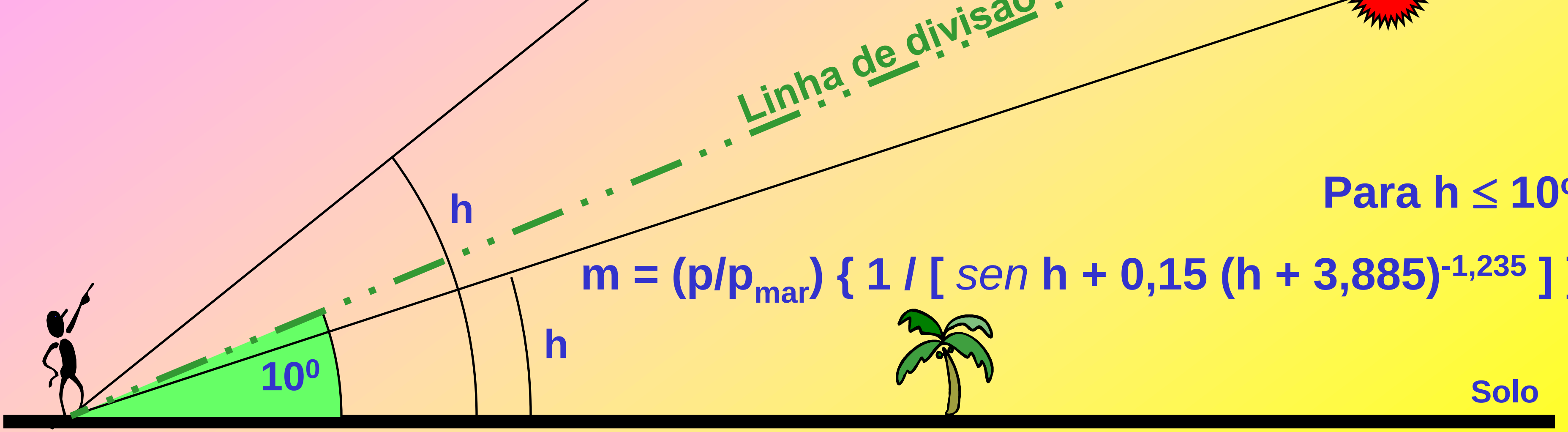


Para h > 10º

$$m = (p/p_{mar}) \{ 1 / sen\ h \}$$

Para h ≤ 10º

$$m = (p/p_{mar}) \{ 1 / [sen\ h + 0{,}15\ (h + 3{,}885)^{-1{,}235}] \}$$



Razão entre pressões

Para L qualquer:

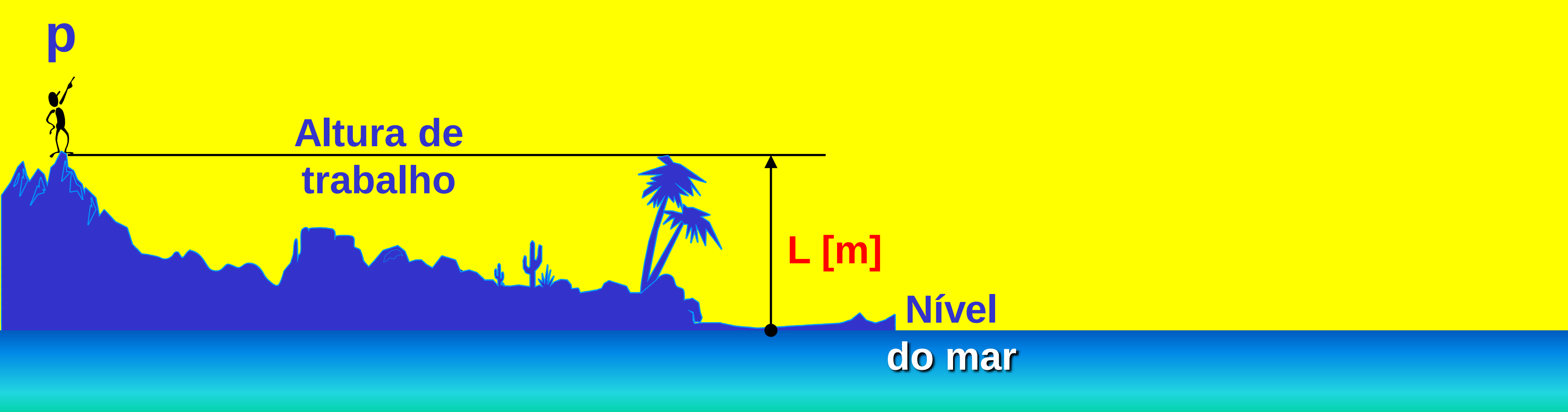
$$(p/p_{mar}) = e^{-(L/8.000)}$$

Linha divisória

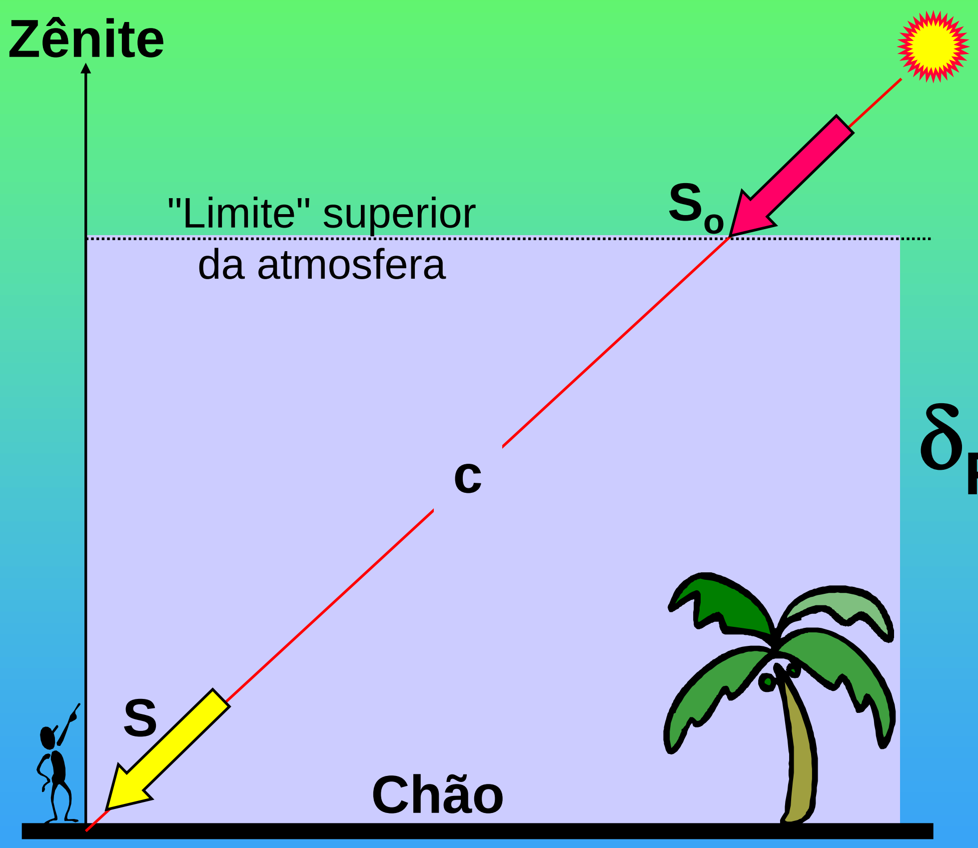
L = 4.000 m

Para L < 4000 m :

$$(p/p_{mar}) = 1 - (L/10.000)$$



Espessura óptica de Rayleigh



$$\delta_R = 1 / (0{,}9\ m + 9{,}4)$$

Obtenção da Irradiância Solar Empírica

$K = 1 + 0{,}033.44 \ \textit{cos} \ (\ (360 \ d \ / \ 365{,}25) - 2{,}8^o \ )$

Para L qualquer: $(p/p_{mar}) = e^{-(L/8.000)}$

Para L < 4.000 m : $(p/p_{mar}) = 1 - (L/10.000)$

Para $h > 10^o$ $m = (p/p_{mar}) \{ 1 \ / \ \textit{sen} \ h \}$

Para $h \leq 10^o$ $m = (p/p_{mar}) \{ 1 \ / \ [\ \textit{sen} \ h + 0{,}15 \ (h + 3{,}885)^{-1{,}235} \ ] \}$

$\delta_R = 1 \ / \ (0{,}9 \ m + 9{,}4)$

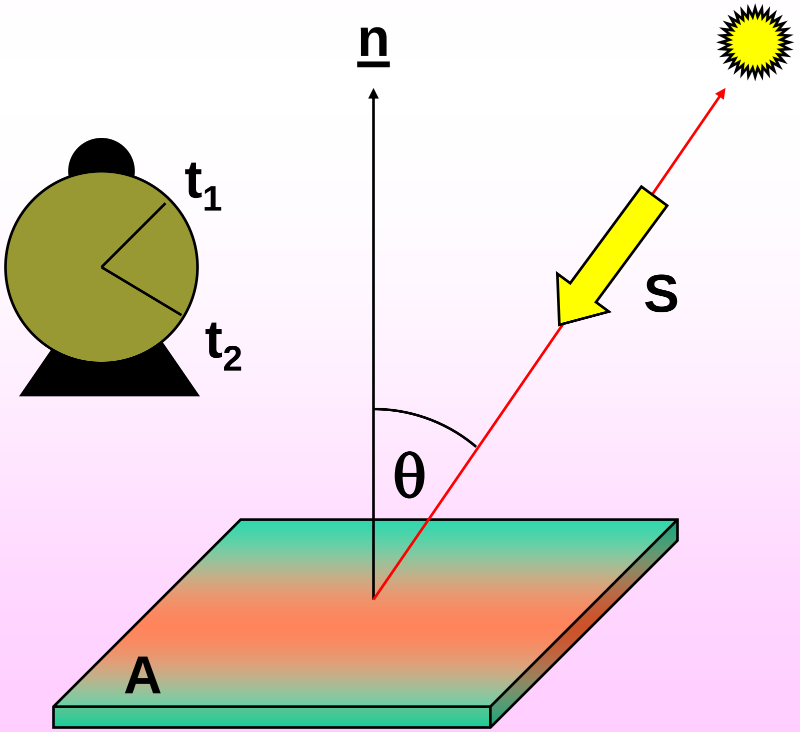
$\tau \equiv \delta_R \ m$

$$S = K \ . \ S_o \ . \ e^{-\tau}$$

Cálculo da insolação

Insolação ou Energia Incidente E

A energia E incidente na placa de área A no intervalo de tempo entre t_1 e t_2 pode ser dada por:



Nomenclatura:
S = I´

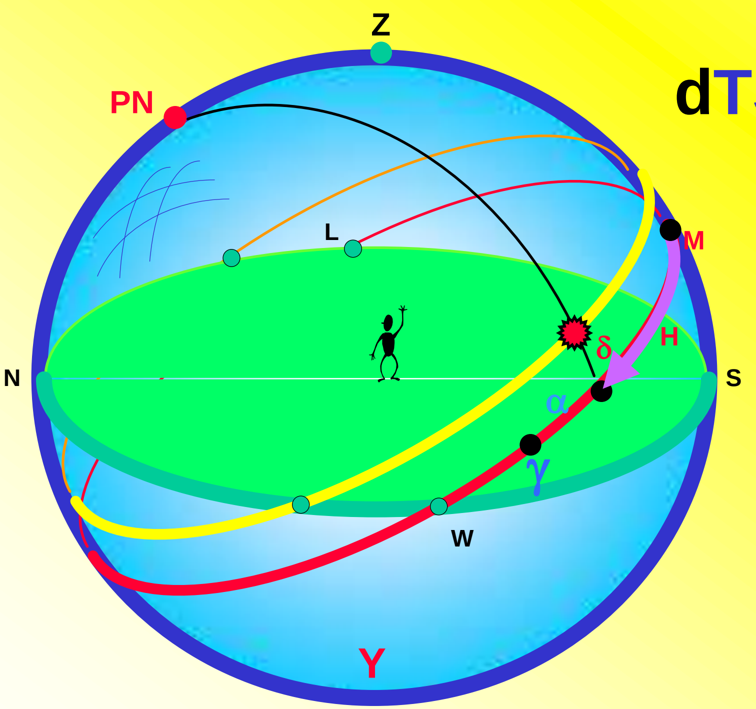
$$E = \int S\,A\,\cos\theta\,dt$$

- E: cal
- S: cal/cm².min
- A: cm²
- dt: min

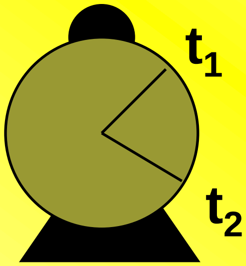
Diferencial do tempo

Relacionar diferenciais de tempo e de ângulo horário

Tempo sideral: $TS = \alpha + H$



$$dTS = d\alpha + dH$$



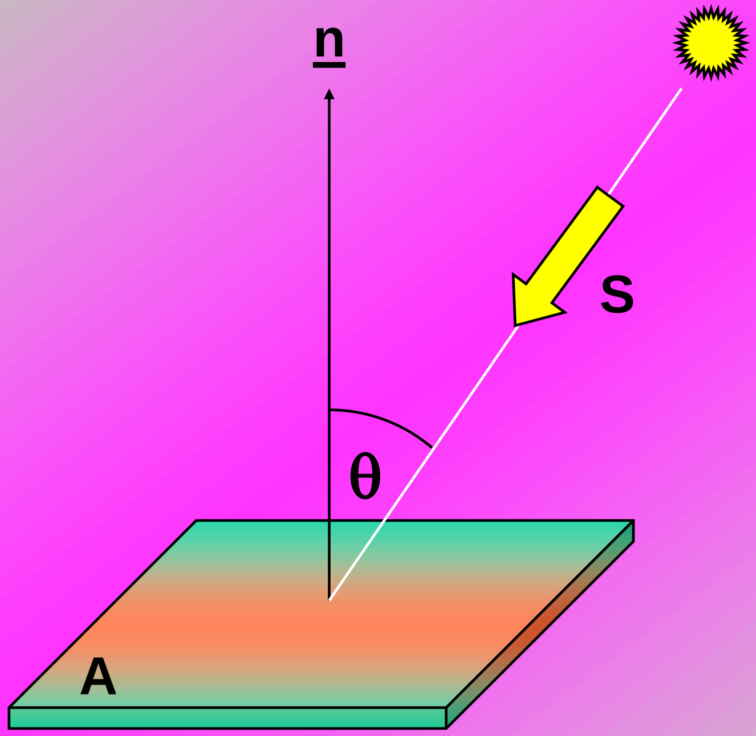
Hipótese: durante o intervalo de tempo considerado, a ascensão reta pode ser considerada constante. Nesse caso:

$$d\alpha = 0$$

$$dTS = 0 + dH$$

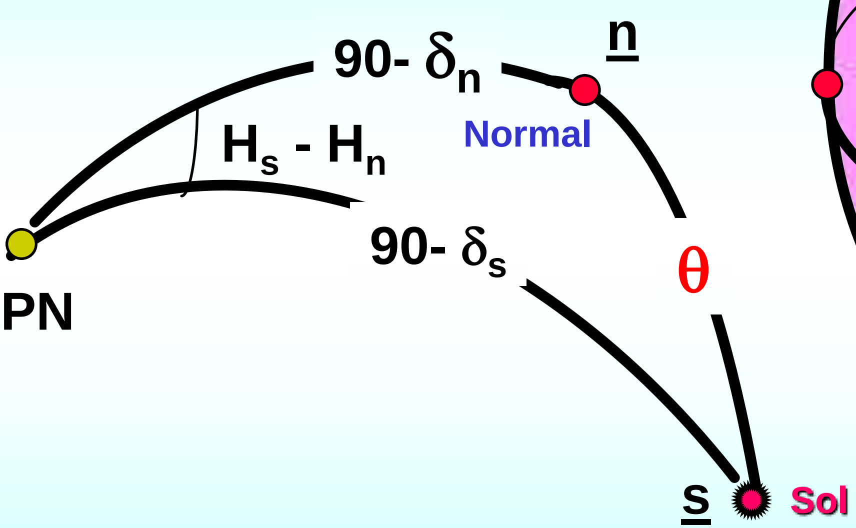
$$dTS = dH \quad \Rightarrow \quad dt = dH$$

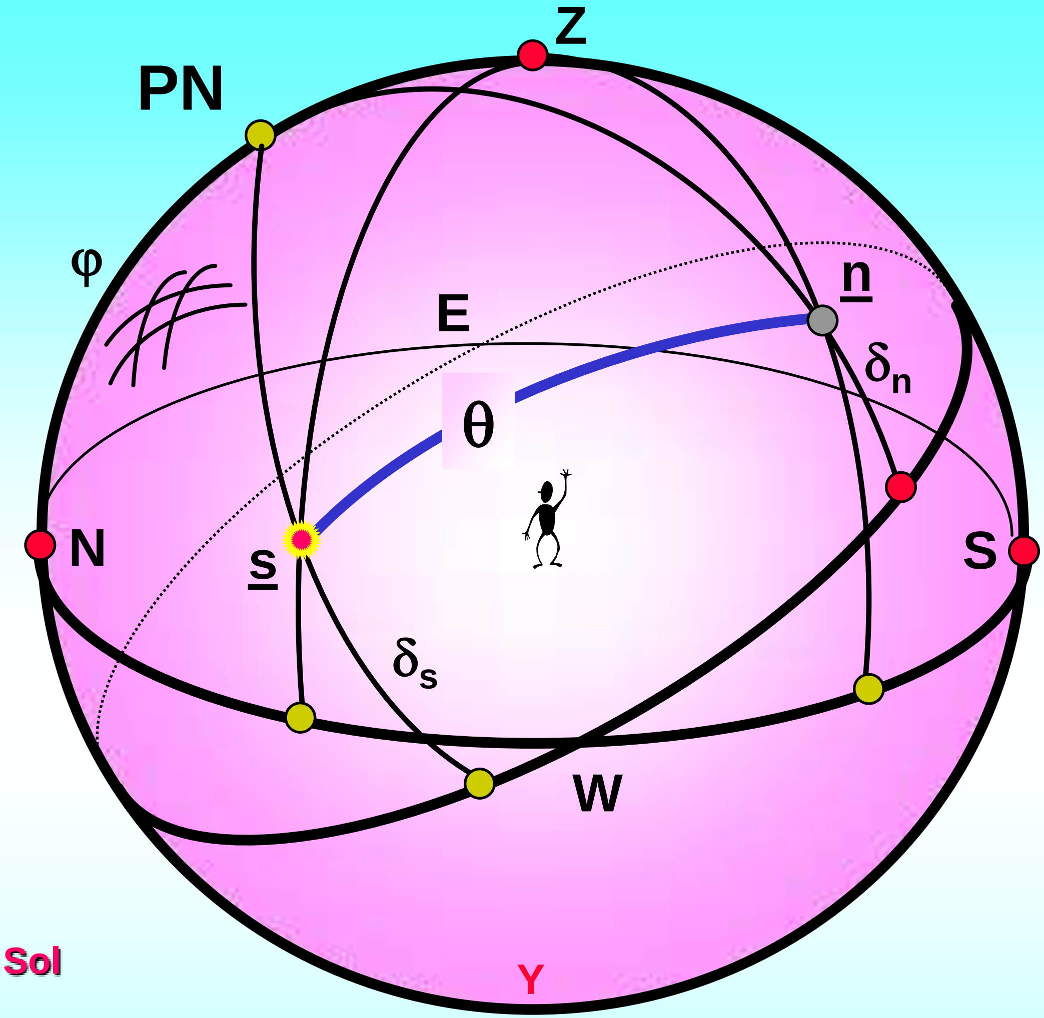
Obtenção do *cos θ*



E = ∫ **S A** *cos* **θ dt**

cos θ numa placa Plana Qualquer





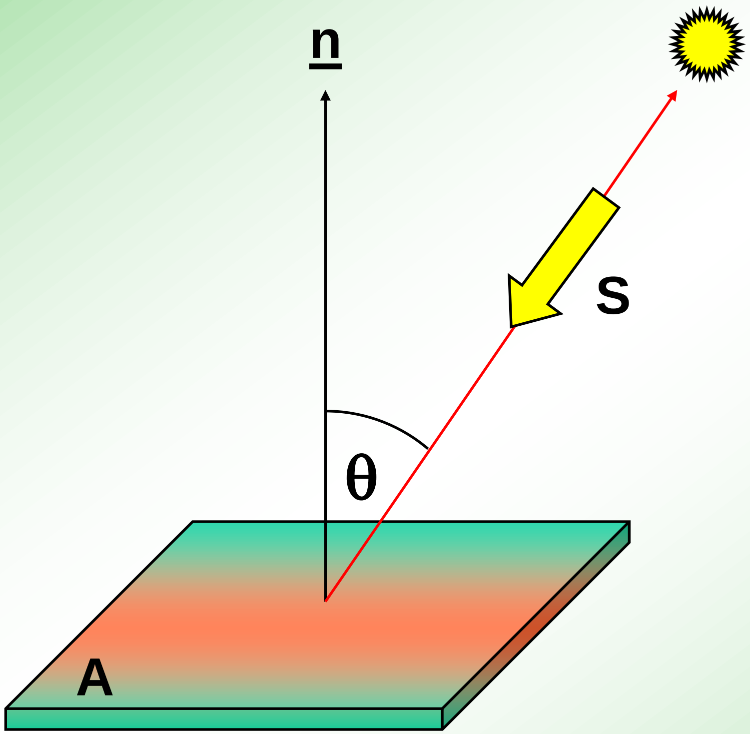
$$\cos\theta = +\cos(90-\delta_n)\,.\,\cos(90-\delta_s) + \operatorname{sen}(90-\delta_n)\,.\,\operatorname{sen}(90-\delta_s)\,.\,\cos(H_s - H_n)$$

$$\cos\theta = \operatorname{sen}\delta_n\,.\,\operatorname{sen}\delta_s + \cos\delta_n\,.\,\cos\delta_s\,.\,\cos(H_s - H_n)$$

Hipóteses adicionais

Hipóteses adicionais

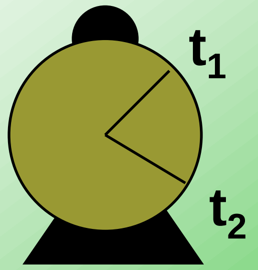
$$E = \int S\,A\,\cos\theta\,dt$$



Hipótese:

Durante o intervalo de tempo considerado, vamos impor que S e A possam ser consideradas constantes.

Nesse caso:



$$E = S\,A \int \cos\theta\,dt$$

Como: $dt = dH$

$$E = S\,A \int \cos\theta\,dH$$

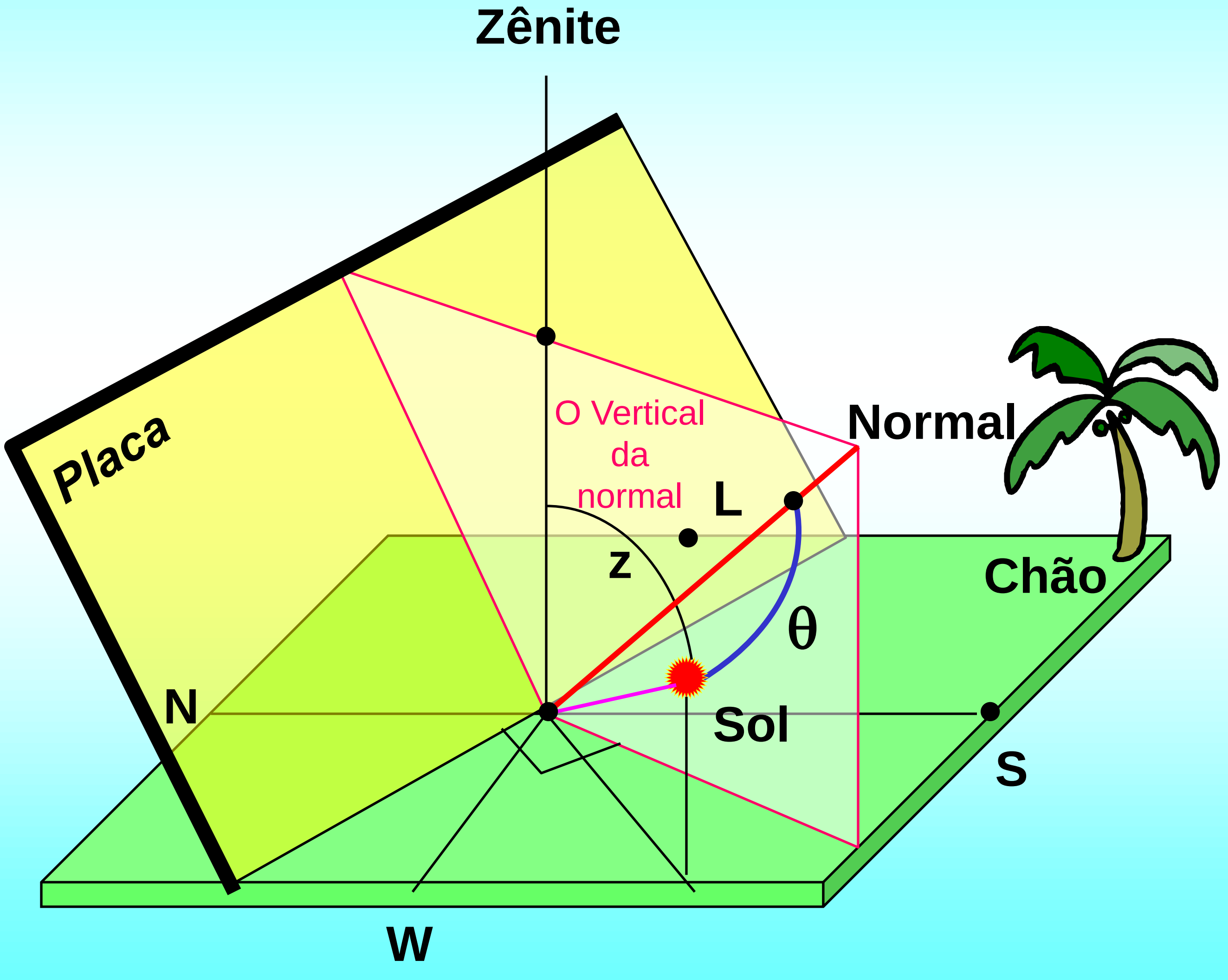
Insolação em placas planas com diferentes posicionamentos

Horizontal
Vertical Meridiana
Vertical Leste-Oeste
Vertical Qualquer
Qualquer

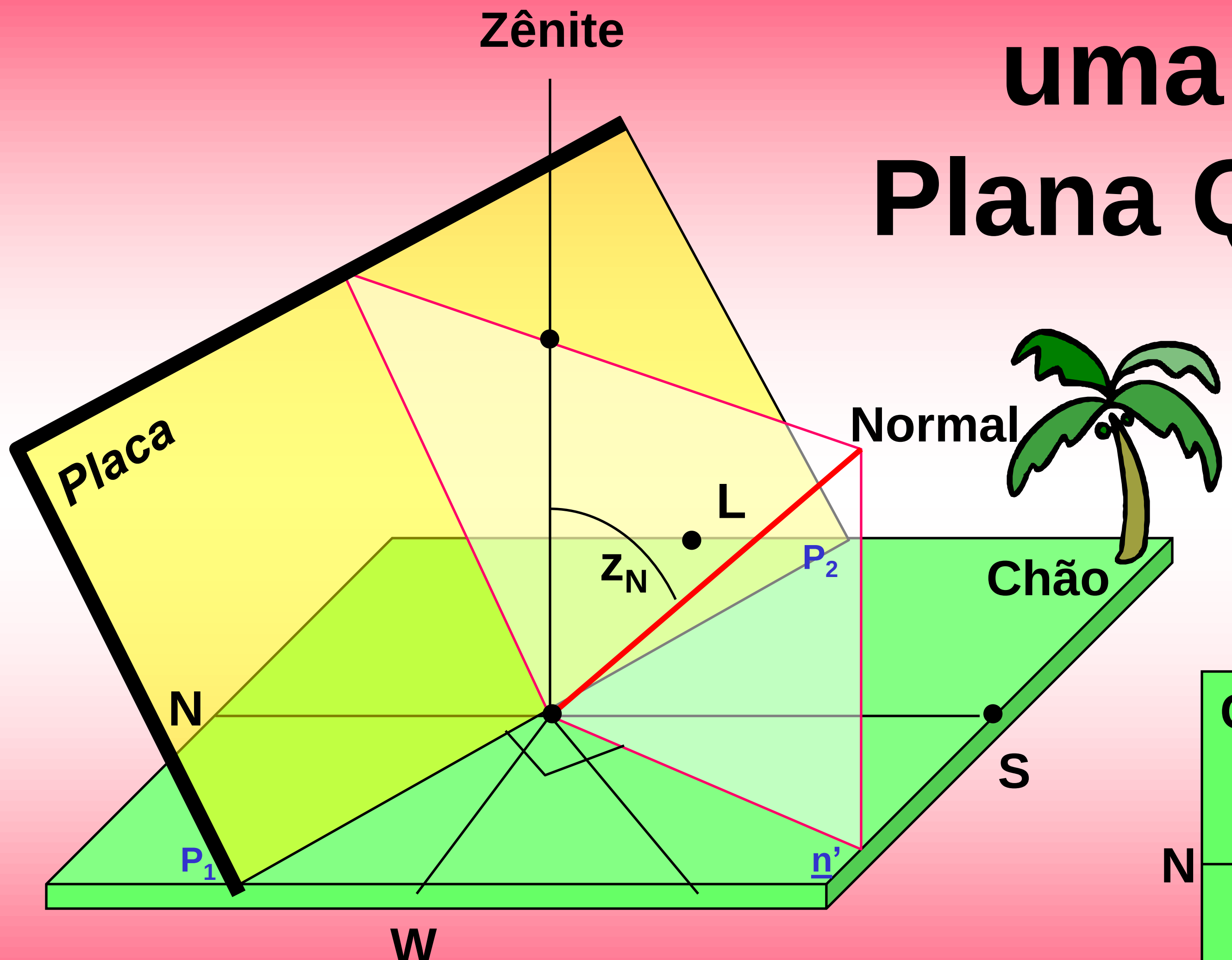
Placa Plana Qualquer

Horizontal
Vertical Meridiana
Vertical Leste-Oeste
Vertical Qualquer
→ **Qualquer**

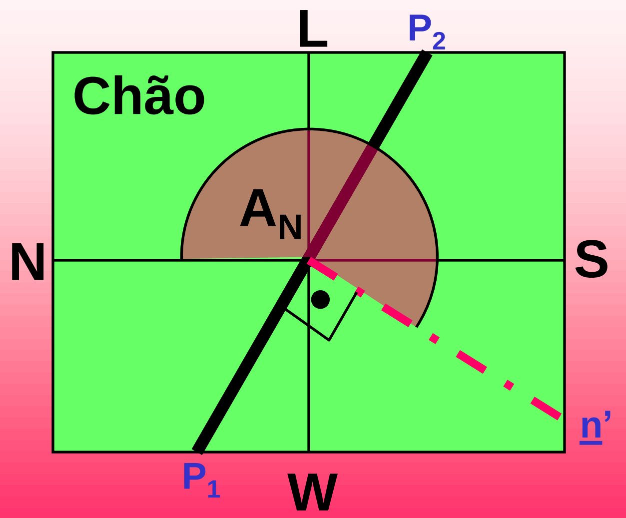
Placa Plana Qualquer



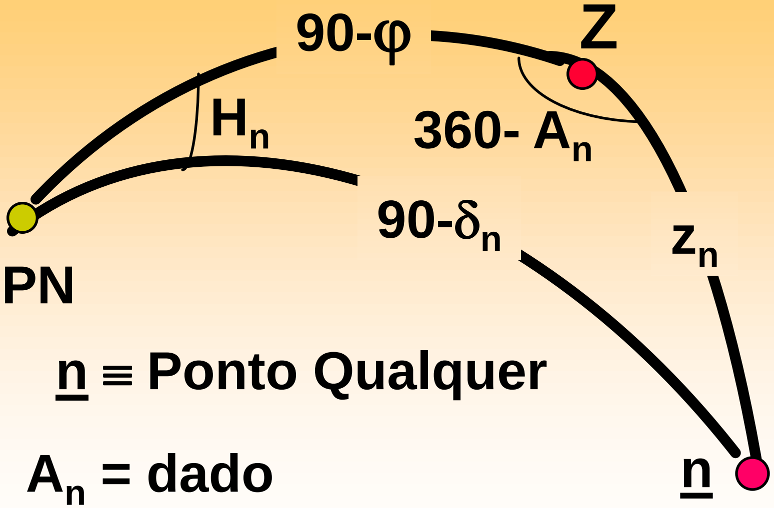
Posição de uma Placa Plana Qualquer



$A_N = A_{P2} + 90^o$

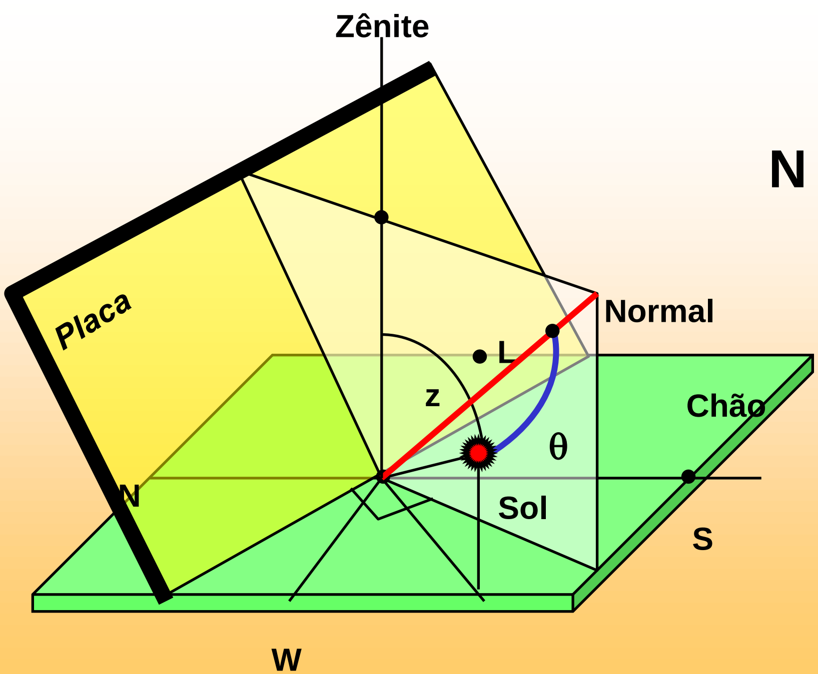


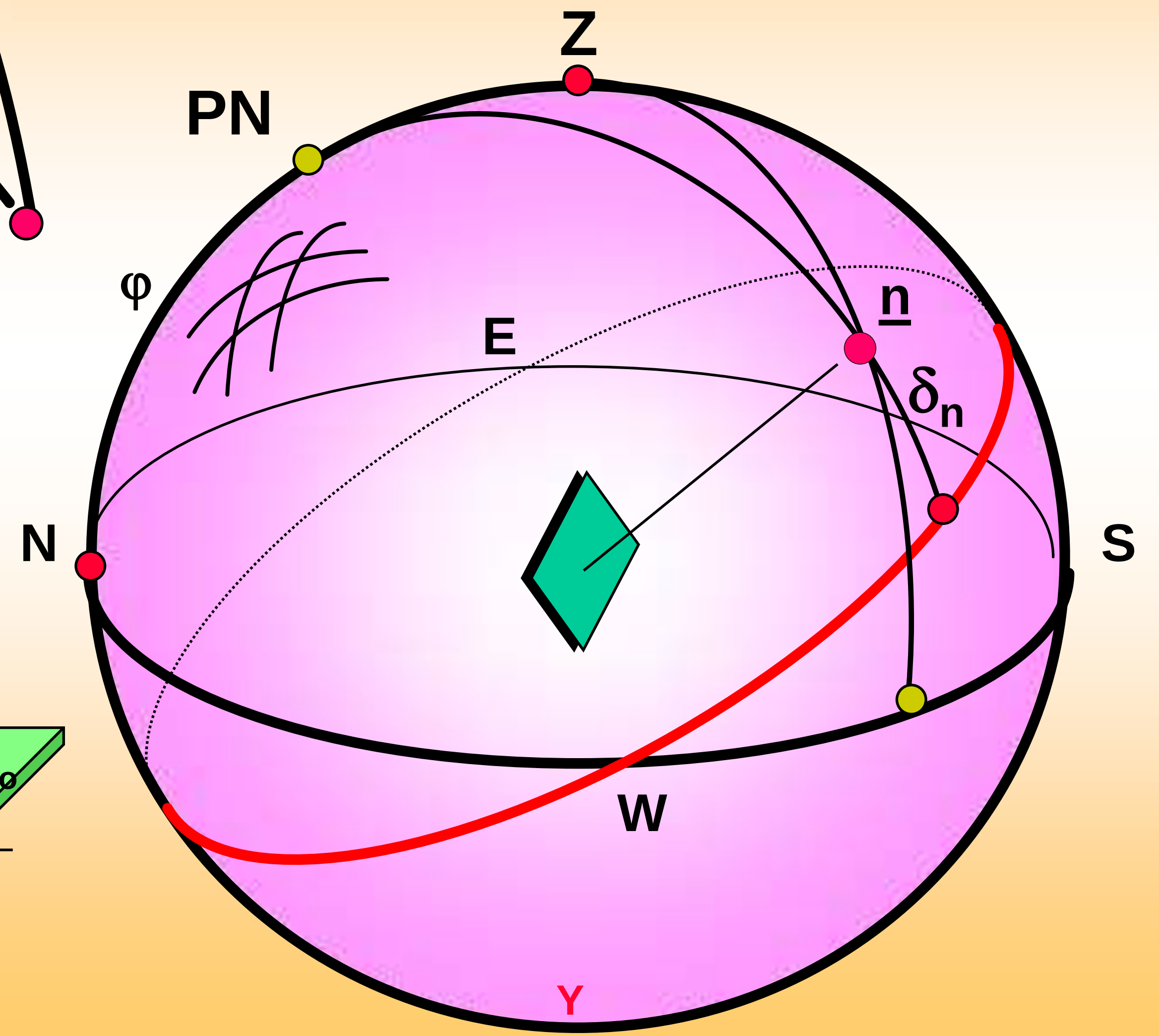
Placa Plana Qualquer



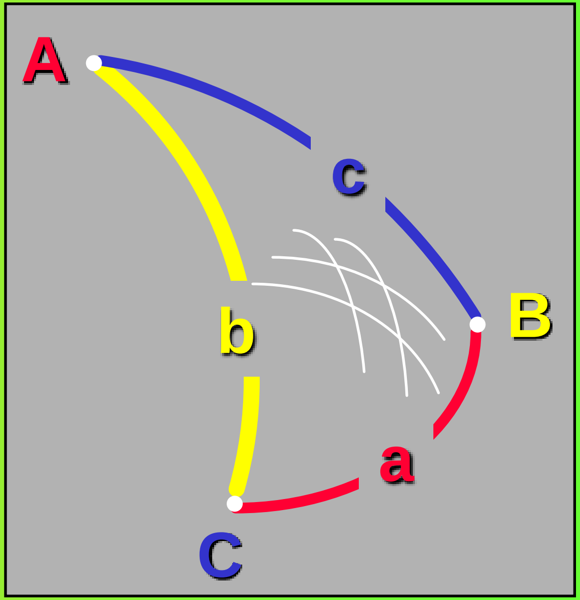
n ≡ Ponto Qualquer

A_n = dado
z_n = dado





Resumo das Fórmulas de Trigonometria Esférica



Co-seno

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \operatorname{sen} b \cdot \operatorname{sen} c \cdot \cos A$$

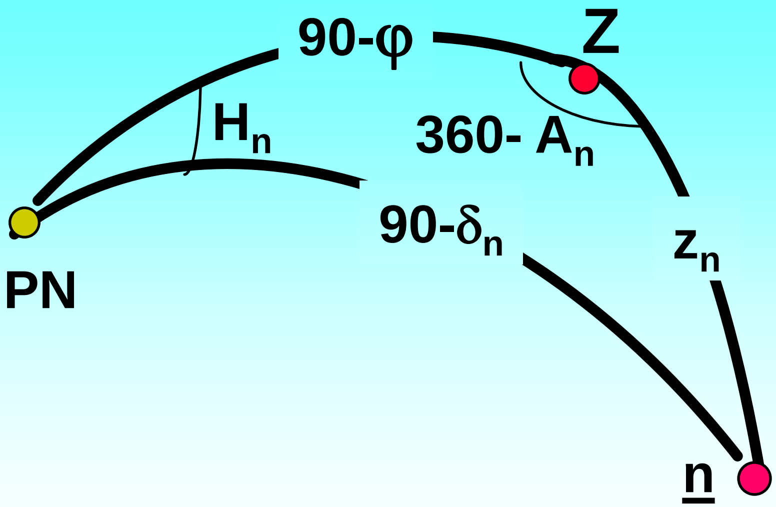
Seno

$$\frac{\operatorname{sen} a}{\operatorname{sen} A} = \frac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} B} = \frac{\operatorname{sen} c}{\operatorname{sen} C}$$

Seno & Co-seno

$$\operatorname{sen} a \cdot \cos B = \cos b \cdot \operatorname{sen} c - \operatorname{sen} b \cdot \cos c \cdot \cos A$$

Obter o H_N e o δ_N de Placa Plana Qualquer



$$\text{sen}\,\delta_n = \text{sen}\,\varphi \cdot \cos z_n + \cos\varphi \cdot \text{sen}\, z_n \cdot \cos A_n \Rightarrow \delta_n$$

$$\cos H_n = [\cos z_n \cdot \cos\varphi - \text{sen}\, z_n \cdot \text{sen}\,\varphi \cdot \cos A_n] / \cos\delta_n$$

$$\Rightarrow 0 \le \underline{H}_n \le 180^0$$

$$\text{sen}\, H_n = -\,\text{sen}\, z_n \cdot \text{sen}\, A_n / \cos\delta_n$$

Se sen $H_n \geq 0$ então $H_n = \underline{H}_n$

Se sen $H_n < 0$ então $H_n = 360^0 - \underline{H}_n$ $\Rightarrow H_n$

Insolação numa placa plana qualquer...

$$E = S\,A \int \cos\theta \, dH$$

$$\cos\theta = \operatorname{sen}\delta_n \,.\, \operatorname{sen}\delta_s + \cos\delta_n \,.\, \cos\delta_s \,.\, \cos(H_s - H_n)$$

$$E = S\,A \int \left[\operatorname{sen}\delta_n \,.\, \operatorname{sen}\delta_s + \cos\delta_n \,.\, \cos\delta_s \,.\, \cos(H_s - H_n)\right] dH_s$$

Integral de uma soma = soma das integrais

$$E = S\,A \int \left[\operatorname{sen}\delta_n \,.\, \operatorname{sen}\delta_s\right] dH_s + S\,A \int \left[\cos\delta_n \,.\, \cos\delta_s \,.\, \cos(H_s - H_n)\right] dH_s$$

Extrair as constantes do interior das integrais

$$E = S\,A\, \operatorname{sen}\delta_n \,.\, \operatorname{sen}\delta_s \int dH_s + S\,A \cos\delta_n \,.\, \cos\delta_s \int \left[\cos(H_s - H_n)\right] dH_s$$

...Insolação numa placa plana qualquer...

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\; sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \int \mathbf{dH_s} + \mathbf{S\,A}\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \int \left[cos\,(\mathbf{H_s} - \mathbf{H_n}) \right] \mathbf{dH_s}$$

Integrando dH

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\; sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \,\{\mathbf{H_s}\} + \mathbf{S\,A}\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \int \left[cos\,(\mathbf{H_s} - \mathbf{H_n}) \right] \mathbf{dH_s}$$

Co-seno de uma diferença

$$cos\,(\mathbf{H_s} - \mathbf{H_n}) = cos\,\mathbf{H_s} \,.\, cos\,\mathbf{H_n} + sen\,\mathbf{H_s} \,.\, sen\,\mathbf{H_n}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\; sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \,\{\mathbf{H_s}\} +$$

$$+ \mathbf{S\,A}\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \int \left[cos\,\mathbf{H_s} \,.\, cos\,\mathbf{H_n} + sen\,\mathbf{H_s} \,.\, sen\,\mathbf{H_n} \right] \mathbf{dH_s}$$

Integral indefinida em definida

Integral de uma soma = soma das integrais

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\; sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \,(\mathbf{H_F} - \mathbf{H_I}) +$$

$$+ \mathbf{S\,A}\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \int \left[cos\,\mathbf{H_s} \,.\, cos\,\mathbf{H_n} \right] \mathbf{dH_s} +$$

$$+ \mathbf{S\,A}\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \int \left[sen\,\mathbf{H_s} \,.\, sen\,\mathbf{H_n} \right] \mathbf{dH_s}$$

...Insolação numa placa plana qualquer...

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\ sen\,\delta_n\ .\ sen\,\delta_s\ (\mathbf{H_F} - \mathbf{H_I}) +$$
$$+\ \mathbf{S\,A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s \int \left[cos\,\mathbf{H_s}\ .\ cos\,\mathbf{H_n}\right] \mathbf{dH_s}\ +$$
$$+\ \mathbf{S\,A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s \int \left[sen\,\mathbf{H_s}\ .\ sen\,\mathbf{H_n}\right] \mathbf{dH_s}$$

Extrair as constantes do interior das integrais

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\ sen\,\delta_n\ .\ sen\,\delta_s\ (\mathbf{H_F} - \mathbf{H_I}) +$$
$$+\ \mathbf{S\,A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s\ .\ cos\,\mathbf{H_n} \int \left[cos\,\mathbf{H_s}\right] \mathbf{dH_s}\ +$$
$$+\ \mathbf{S\,A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s\ .\ sen\,\mathbf{H_n} \int \left[sen\,\mathbf{H_s}\right] \mathbf{dH_s}$$

Integrando *cos* H e *sen* H

$$\mathbf{E} = \mathbf{S\,A}\ sen\,\delta_n\ .\ sen\,\delta_s\ (\mathbf{H_F} - \mathbf{H_I}) +$$
$$+\ \mathbf{S\,A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s\ .\ cos\,\mathbf{H_n} \left\{sen\,\mathbf{H_s}\right\}\ +$$
$$+\ \mathbf{S\,A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s\ .\ sen\,\mathbf{H_n} \left\{-cos\,\mathbf{H_s}\right\}$$

...Insolação numa placa plana qualquer...

$$E = S\,A\; sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s\,(H_F - H_I) +$$

$$+ S\,A\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, cos\,H_n \left\{ sen\,H_s \right\} +$$

$$+ S\,A\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, sen\,H_n \left\{ -cos\,H_s \right\}$$

cal / (rad.cm²)

cal

cm²

rad

rad

Onde H_F e H_I são argumentos do *sen* ou do *cos* eles devem entrar em graus.

$$E = S\;A\; sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \,.\, (H_F - H_I) +$$

$$+ S\;A\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, cos\,H_n \left(sen\,H_F - sen\,H_I \right) +$$

$$- S\;A\; cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, sen\,H_n \left(cos\,H_F - cos\,H_I \right)$$

...Insolação numa placa plana qualquer...

cal / (min.cm²)

cal

cm²

minutos

Onde H_F e H_I são argumentos do *sen* ou do *cos* eles devem entrar em graus.

$$E = S\ A\ sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \bullet (H_F - H_I) +$$

$$+ \psi\ S\ A \cos\delta_n \,.\, \cos\delta_s \,.\, \cos H_n \left(sen\,H_F - sen\,H_I\right) +$$

$$- \psi\ S\ A \cos\delta_n \,.\, \cos\delta_s \,.\, sen\,H_n \left(\cos H_F - \cos H_I\right)$$

ψ : psi

$$[\,[\,[\,[\,x\,]^{rad} \times 180 / \pi\,]^{0} / 15\,]^{horas} \times 60\,]^{min}$$

$$[\,x\,]^{rad} \times 720 / \pi$$

$$\psi \equiv 720 / \pi$$

...Insolação numa placa plana qualquer

cal / (min.cm²)

cal

cm²

graus

Onde H_F e H_I são argumentos do *sen* ou do *cos.* Eles devem entrar em graus.

$$E = 4\,S\;A\;sen\,\delta_n\,.\,sen\,\delta_s\,\cdot\,(H_F - H_I) +$$

$$+\,\psi\,S\;A\,\cos\delta_n\,.\,\cos\delta_s\,.\,\cos H_n\,\left(sen\,H_F - sen\,H_I\right) +$$

$$-\,\psi\,S\;A\,\cos\delta_n\,.\,\cos\delta_s\,.\,sen\,H_n\,\left(\cos H_F - \cos H_I\right)$$

$$[\,[\,[\,x\,]^{0}\ /\ 15\,]^{horas} \times 60\,]^{min}$$

$$[\,x\,]^{0} \times 4$$

Expressão simplificada da insolação

cal / (min.cm²)

cal — cm² — graus

Onde H_F e H_I são argumentos do *sen* ou do *cos*. Eles devem entrar em graus.

Expressão geral

$$E = 4\,S\,A\;sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s \,.\, (H_F - H_I) +$$
$$+\,\psi\,S\,A\;cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, cos\,H_n\,(sen\,H_F - sen\,H_I) +$$
$$-\,\psi\,S\,A\;cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, sen\,H_n\,(cos\,H_F - cos\,H_I)$$

$$\psi \equiv 720 / \pi$$

Batizados:

$$W \equiv 4\,S\,A\;sen\,\delta_n \,.\, sen\,\delta_s$$
$$Q \equiv +\,\psi\,S\,A\;cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, cos\,H_n$$
$$C \equiv -\,\psi\,S\,A\;cos\,\delta_n \,.\, cos\,\delta_s \,.\, sen\,H_n$$

graus

Expressão simplificada

$$E = W \,.\, (H_F - H_I) + Q \,.\, (sen\,H_F - sen\,H_I) + C \,.\, (cos\,H_F - cos\,H_I)$$

Finalmente:
Expressão simplificada da insolação

$\psi \equiv 720 / \pi$

Batizados:

$W \equiv 4\, S\, A\, sen\, \delta_n \,.\, sen\, \delta_s$

$Q \equiv +\, \psi\, S\, A\, cos\, \delta_n \,.\, cos\, \delta_s \,.\, cos\, H_n$

$C \equiv -\, \psi\, S\, A\, cos\, \delta_n \,.\, cos\, \delta_s \,.\, sen\, H_n$

graus

$$E = W \,.\, (H_F - H_I) + Q \,.\, (sen\, H_F - sen\, H_I) + C \,.\, (cos\, H_F - cos\, H_I)$$

Próximo passo

Adaptação da fórmula geral para calcular a insolação em placas planas com posicionamentos particulares:

- Horizontal
- Vertical Meridiana
- Vertical Leste-Oeste
- Vertical Qualquer
- Qualquer

Horizontal

Vertical Meridiana

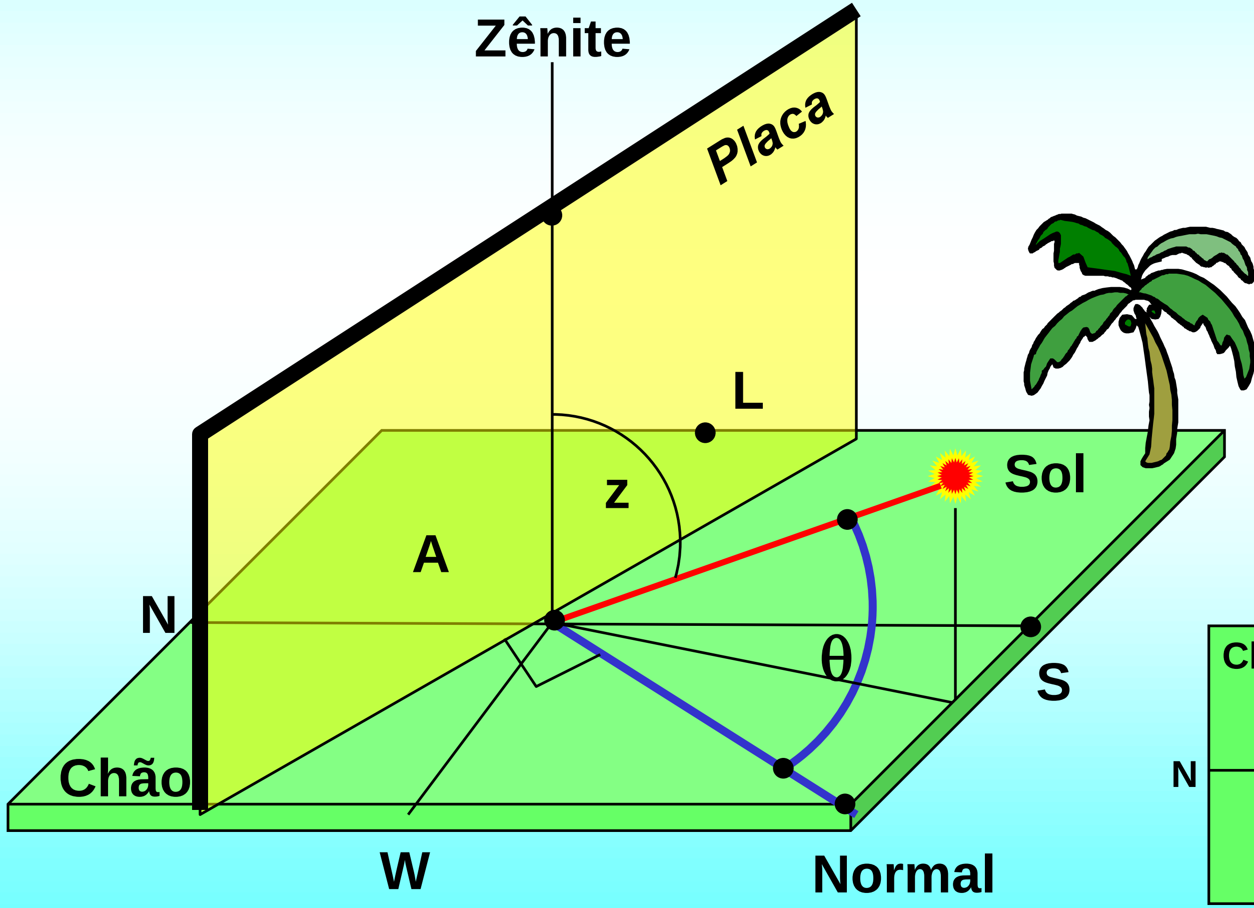
Vertical Leste-Oeste

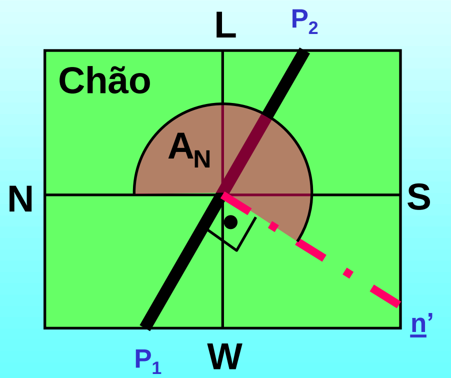
Vertical Qualquer

Qualquer

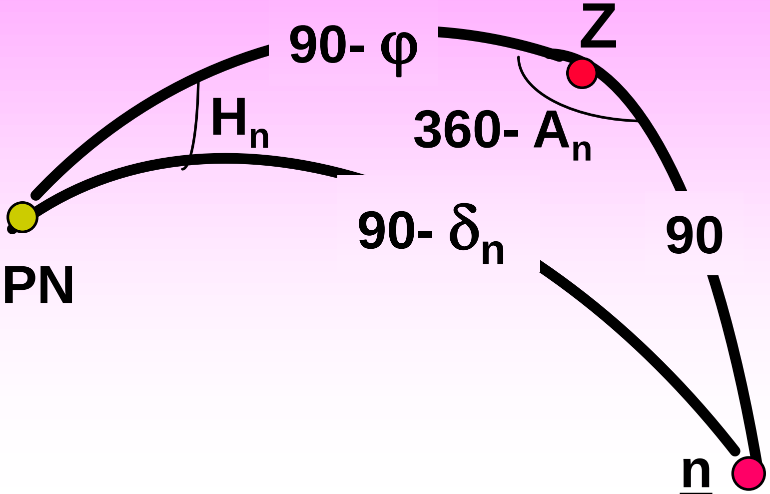
Placa Vertical Qualquer

Placa Vertical Qualquer





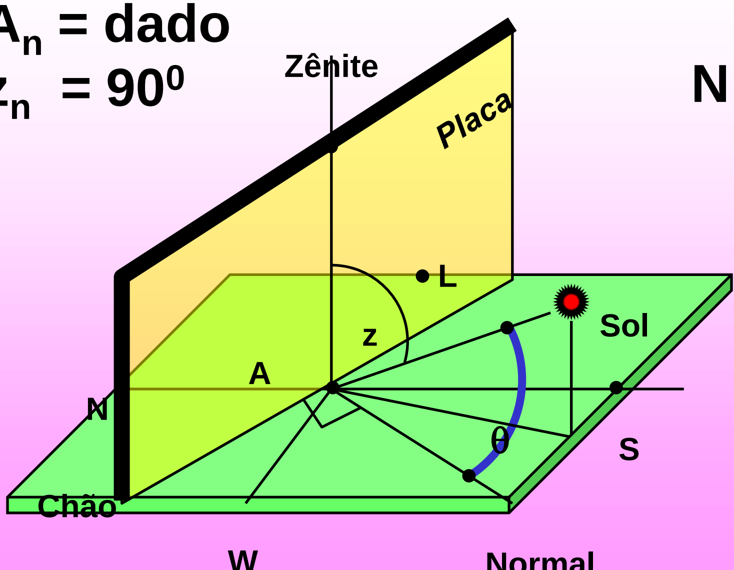
H e δ de Placa Vertical Qualquer no HN

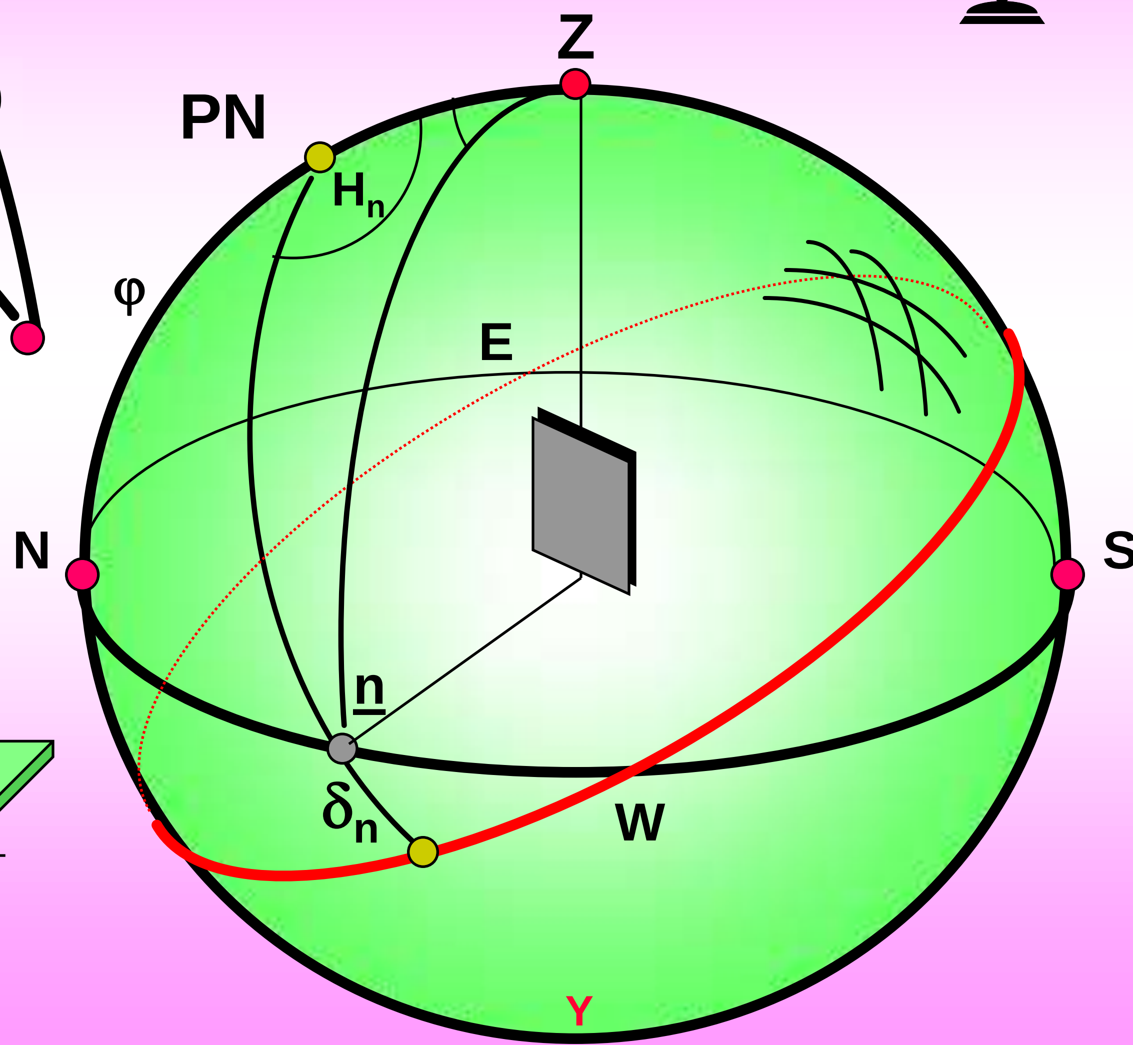


$\underline{n} \equiv$ Ponto do Horizonte

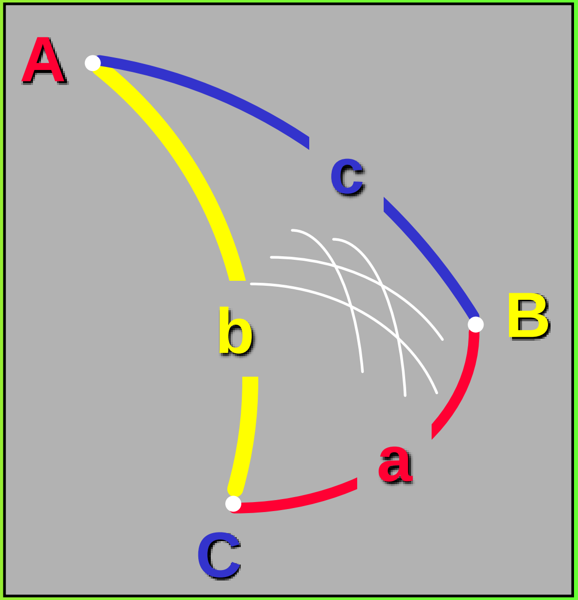
A_n = dado

$z_n = 90^0$





Resumo das Fórmulas de Trigonometria Esférica



Co-seno

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \operatorname{sen} b \cdot \operatorname{sen} c \cdot \cos A$$

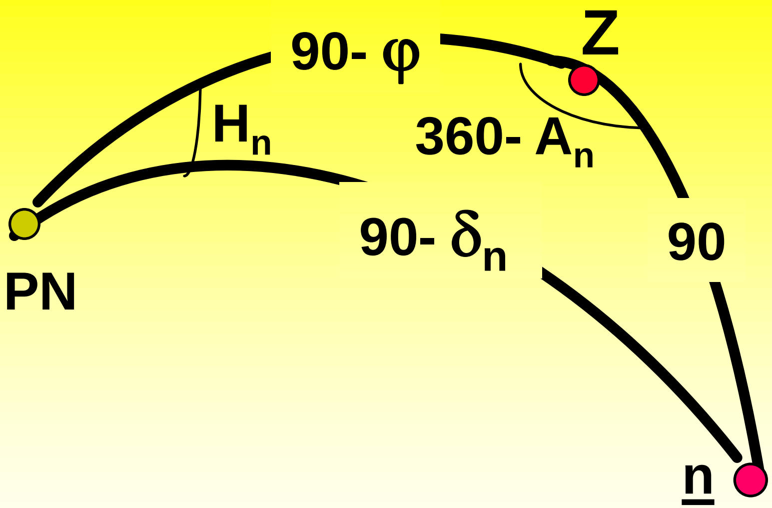
Seno

$$\frac{\operatorname{sen} a}{\operatorname{sen} A} = \frac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} B} = \frac{\operatorname{sen} c}{\operatorname{sen} C}$$

Seno & Co-seno

$$\operatorname{sen} a \cdot \cos B = \cos b \cdot \operatorname{sen} c - \operatorname{sen} b \cdot \cos c \cdot \cos A$$

H e δ de Placa Vertical Qualquer no HN



A_n = dado

C $\cos(90-\delta_n) = \cos(90) \cdot \cos(90-\varphi) + \sin(90) \cdot \sin(90-\varphi) \cdot \cos(360-A_n)$

$\text{sen}\ \delta_n = \cos\varphi \cdot \cos A_n$ ⇒ δ_n

S&C $\text{sen}(90-\delta_n) \cdot \cos H_n = \cos(90) \cdot \text{sen}(90-\varphi) - \text{sen}(90) \cdot \cos(90-\varphi) \cdot \cos(360-A_n)$

$\cos H_n = -\,\text{sen}\,\varphi \cdot \cos A_n / \cos\delta_n$

S $\text{sen}(90) / \text{sen}\,H_n = \text{sen}(90-\delta_n) / \text{sen}(360-A_n)$

⇒ $0 \leq \underline{H}_n \leq 180^0$

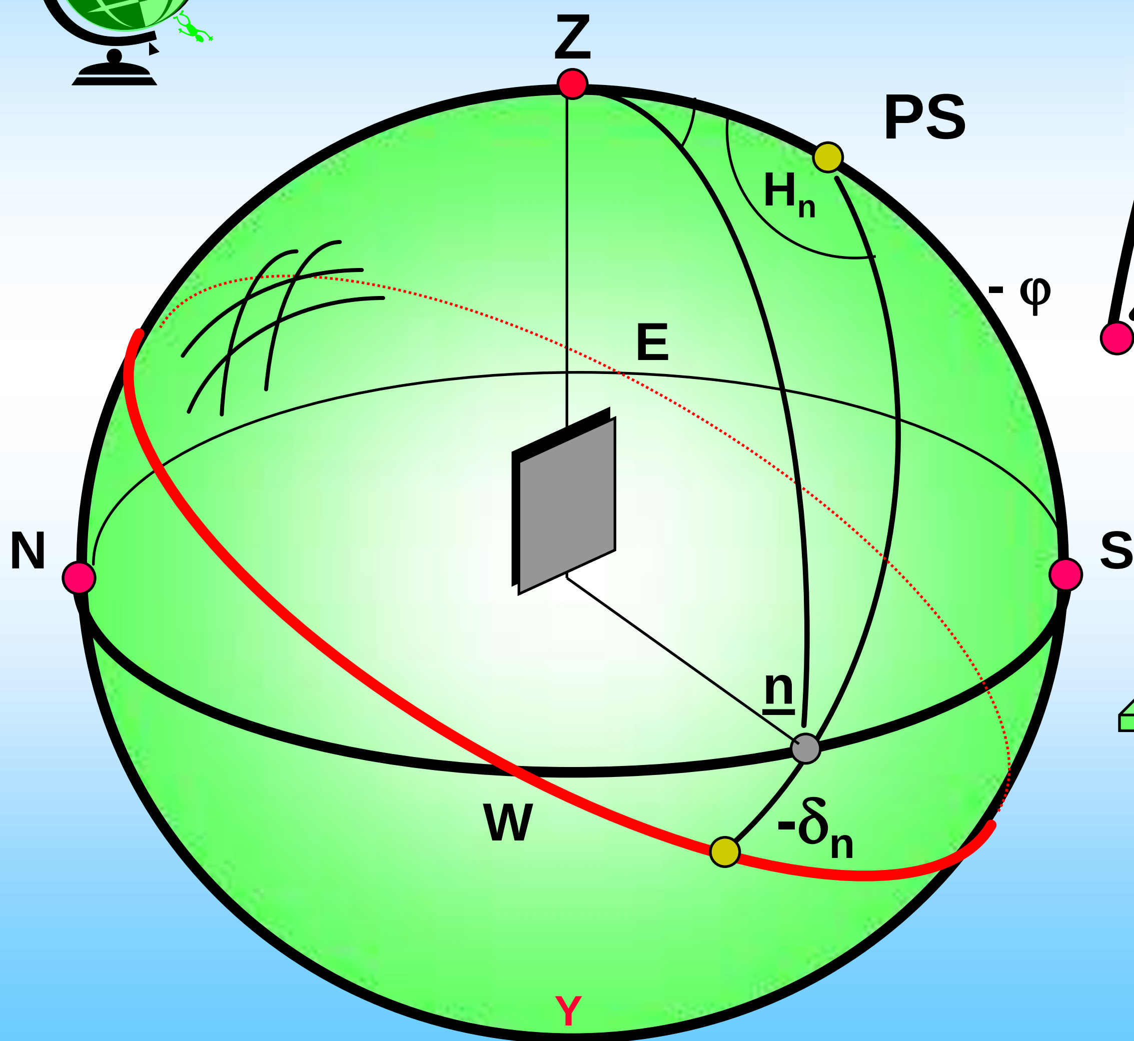
$\text{sen}\,H_n = -\,\text{sen}\,A_n / \cos\delta_n$

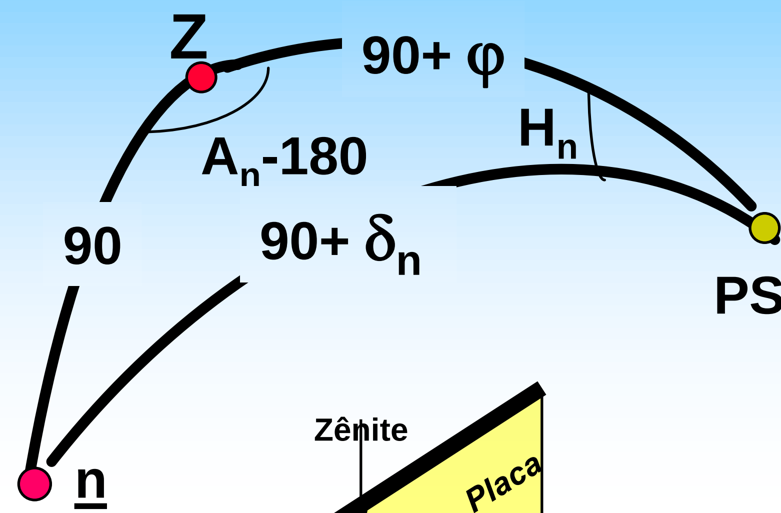
Se sen $H_n \geq 0$ então $H_n = \underline{H}_n$

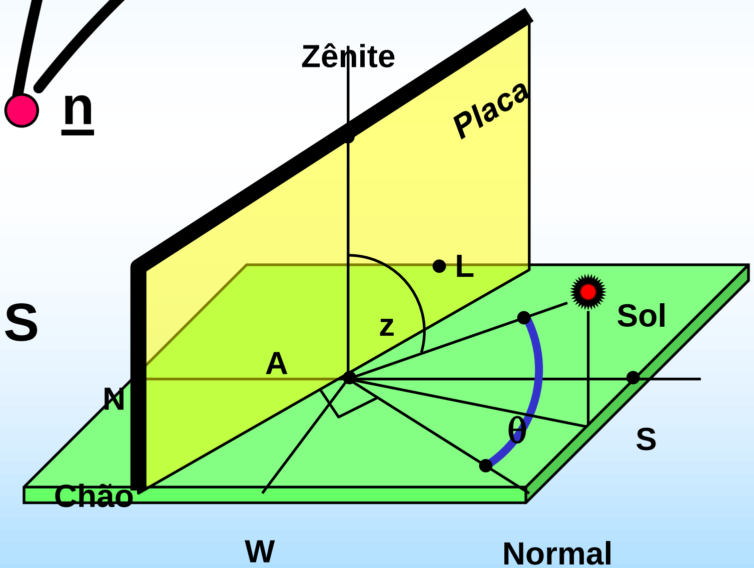
Se sen $H_n < 0$ então $H_n = 360 - \underline{H}_n$

⇒ H_n

H e δ de Placa Vertical Qualquer no HS





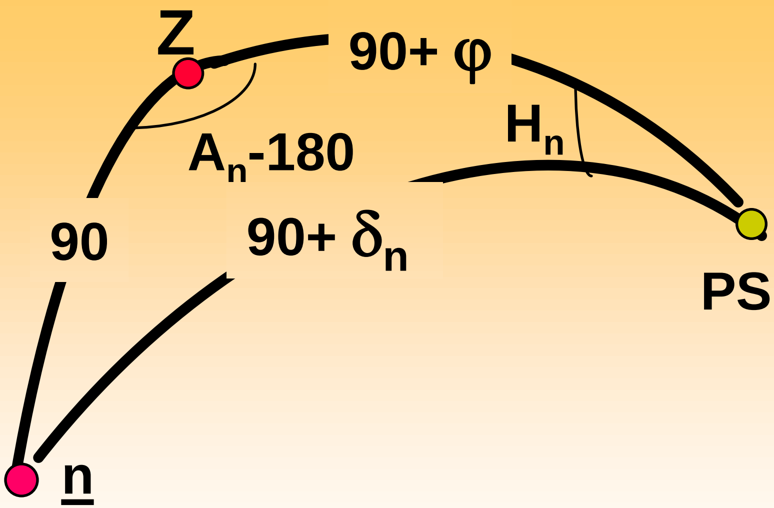


n ≡ Ponto do Horizonte

A_n = dado

$z_n = 90^0$

H e δ de Placa Vertical Qualquer no HS



A_n = dado

C

$cos\,(90+\delta_n) = cos\,(90)\,.\,cos\,(90+\varphi) + sen\,(90)\,.\,sen\,(90+\varphi)\,.\,cos\,(A_n\text{-}180)$

$- sen\,\delta_n = cos\,\varphi\,.\,(- cos\,A_n)$

$sen\;\delta_n = cos\,\varphi\,.\,cos\,A_n$ ⇒ δ_n

S&C

$sen\,(90+\delta_n)\,cos\,H_n = cos\,(90)\,.\,sen\,(90+\varphi) - sen\,(90)\,.\,cos\,(90+\varphi)\,.\,cos\,(A_n\text{-}180)$

$cos\,H_n = - sen\,\varphi\,.\,cos\,A_n\,/\,cos\,\delta_n$

S

$sen\,(90)\,/\,sen\,H_n = sen\,(90+\delta_n)\,/\,sen\,(A_n\text{-}180)$

⇒ $0 \leq \underline{H}_n \leq 180^0$

$sen\,H_n = - sen\,A_n\,/\,cos\,\delta_n$

Se sen $H_n \geq 0$ então $H_n = \underline{H}_n$

Se sen $H_n < 0$ então $H_n = 360 - \underline{H}_n$

⇒ H_n

Insolação numa Placa Vertical Qualquer

Batizados:

$\mathbf{W} \equiv 4\,\mathbf{S}\ \mathbf{A}\ sen\,\delta_n\ .\ sen\,\delta_s$

$\mathbf{Q} \equiv +\,\psi\,\mathbf{S}\ \mathbf{A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s\ .\ cos\,\mathbf{H}_n$

$\mathbf{C} \equiv -\,\psi\,\mathbf{S}\ \mathbf{A}\ cos\,\delta_n\ .\ cos\,\delta_s\ .\ sen\,\mathbf{H}_n$

graus

$$\mathbf{E} = \mathbf{W}\ .\ (\ \mathbf{H}_F - \mathbf{H}_I\ ) + \mathbf{Q}\ .\ (\ sen\,\mathbf{H}_F - sen\,\mathbf{H}_I\ ) + \mathbf{C}\ .\ (\ cos\,\mathbf{H}_F - cos\,\mathbf{H}_I\ )$$

Horizontal

Vertical Meridiana

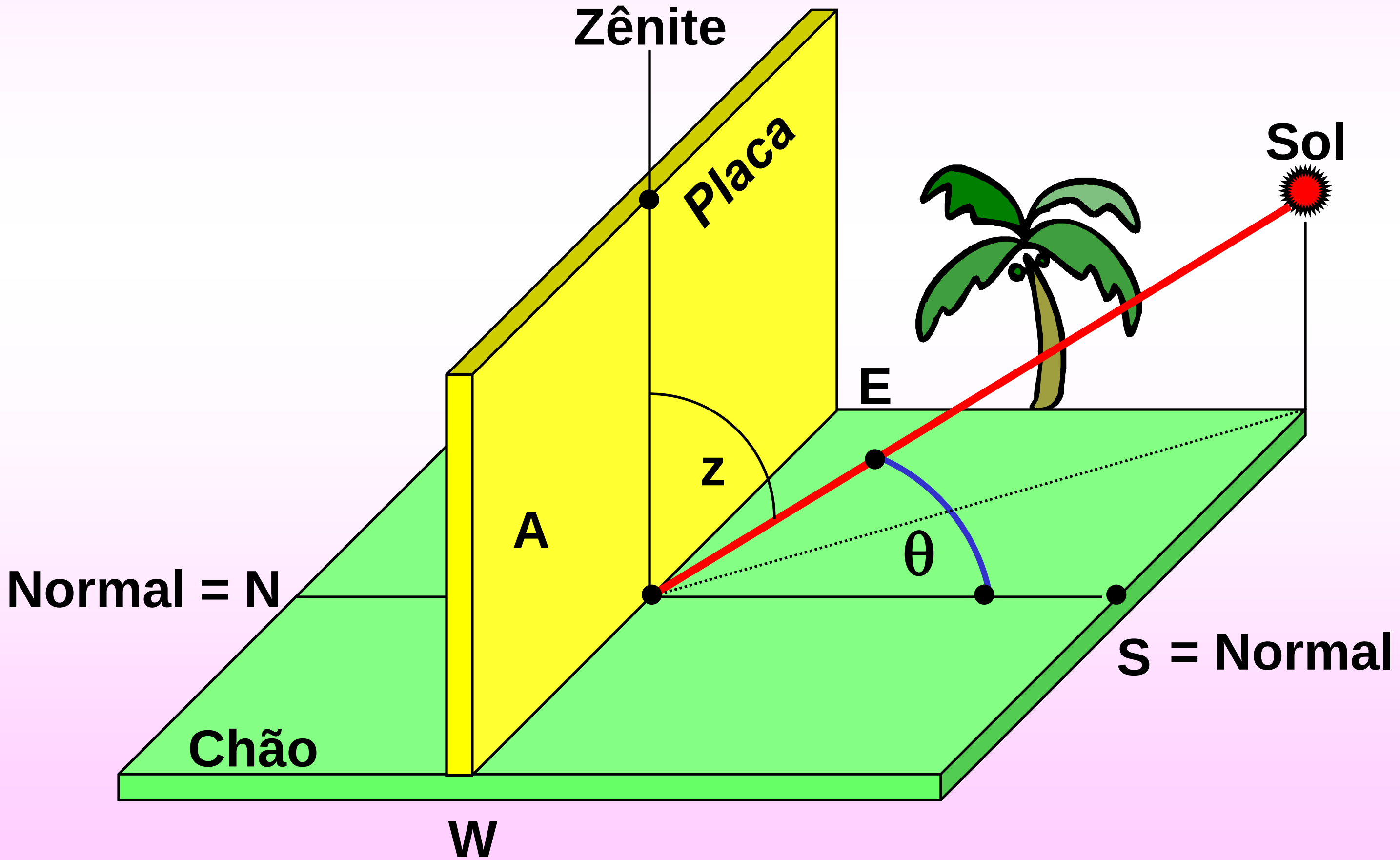
Vertical Leste-Oeste

Vertical Qualquer

Qualquer

Placa vertical Leste-Oeste

Placa vertical Leste-Oeste

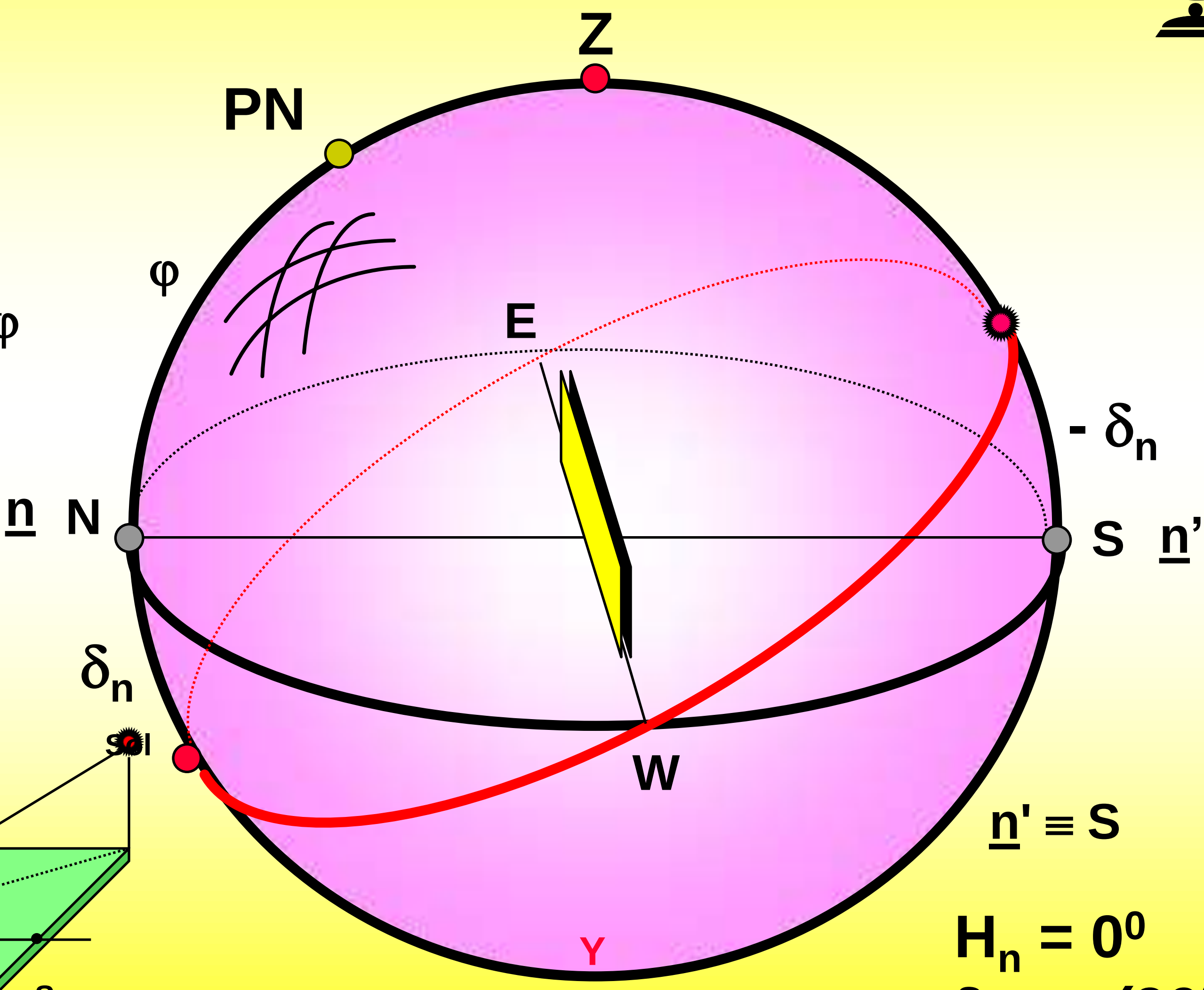


H e δ de Placa Vertical Leste-Oeste no HN

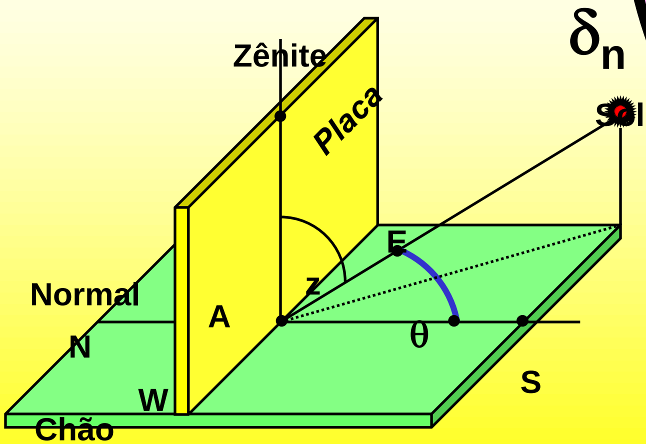
$\underline{n} \equiv N$

$H_n = 180^0$

$\delta_n = 90^0 - \varphi$



$\underline{n'} \equiv S$



$H_n = 0^0$

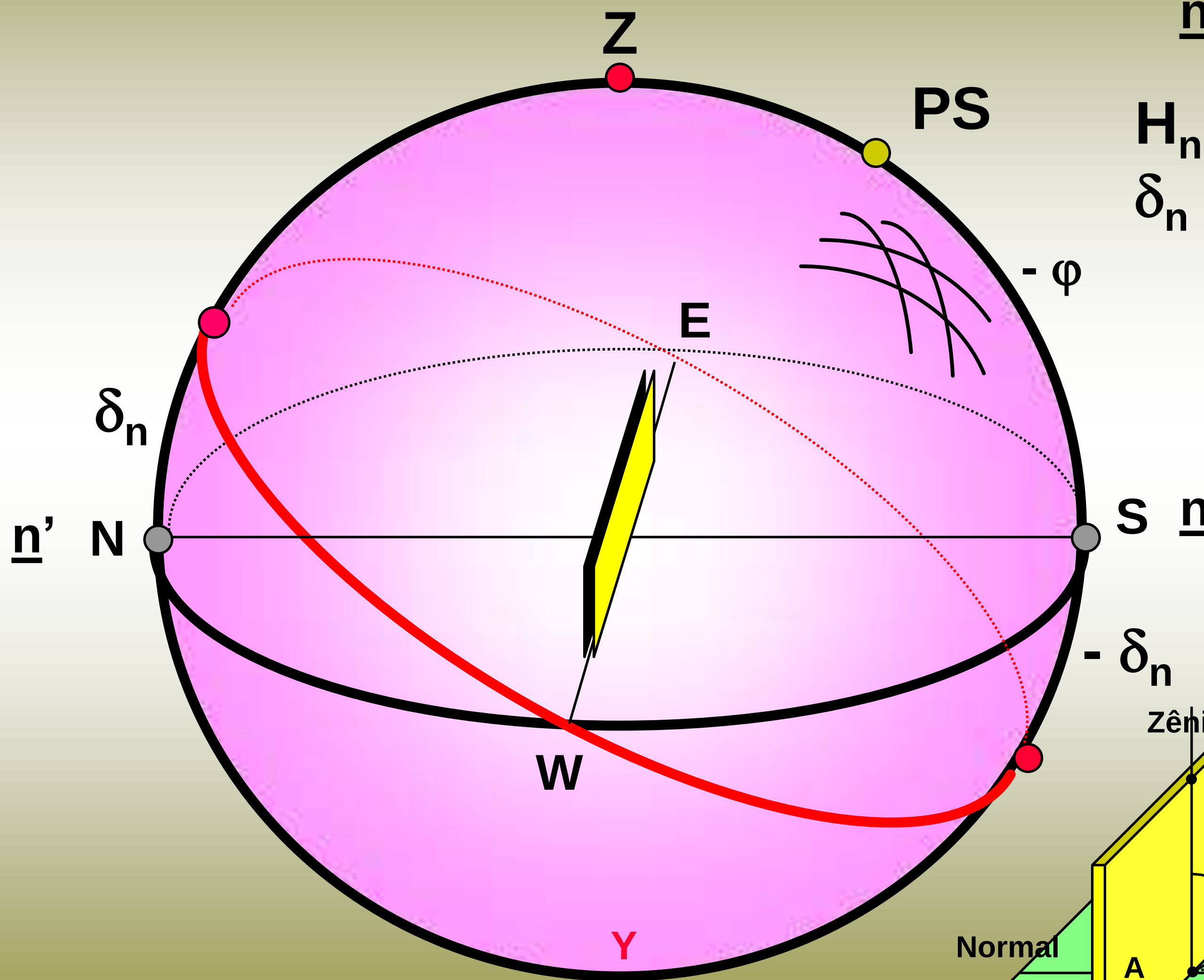
$\delta_n = -(90^0 - \varphi)$

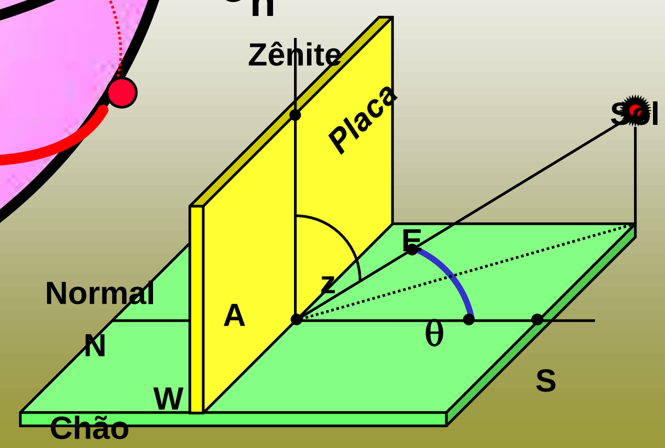
H e δ de Placa Vertical Leste-Oeste no HS

$\underline{n} \equiv S$

$H_n = 180^0$

$\delta_n = -(90^0 + \varphi)$





$\underline{n}' \equiv N$

$H_n = 0^0$

$\delta_n = 90^0 + \varphi$

Insolação numa Placa Vertical Leste-Oeste

Como
$H_n = 0$
ou
$H_n = 180^0$
$\rightarrow sen\ H_n = 0$
$\rightarrow cos\ H_n = \pm 1$

Batizados:

$W \equiv 4\ S\ A\ sen\ \delta_n\ .\ sen\ \delta_s$

$Q \equiv +\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n\ .\ cos\ \delta_s\ .\ cos\ H_n$

$C \equiv -\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n\ .\ cos\ \delta_s\ .\ sen\ H_n$

$W = 4\ S\ A\ sen\ \delta_n\ .\ sen\ \delta_s$

$Q = +\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n\ .\ cos\ \delta_s\ .\ cos\ H_n$

$C = -\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n\ .\ cos\ \delta_s\ .\ \underline{sen\ H_n} = 0$

graus

$$E = W\ .\ (\ H_F - H_I\ ) + Q\ .\ (\ sen\ H_F - sen\ H_I\ ) + C\ .\ (\ cos\ H_F - cos\ H_I\ )$$

$$E = W\ .\ (\ H_F - H_I\ ) + Q\ .\ (\ sen\ H_F - sen\ H_I\ )$$

Horizontal

Vertical Meridiana

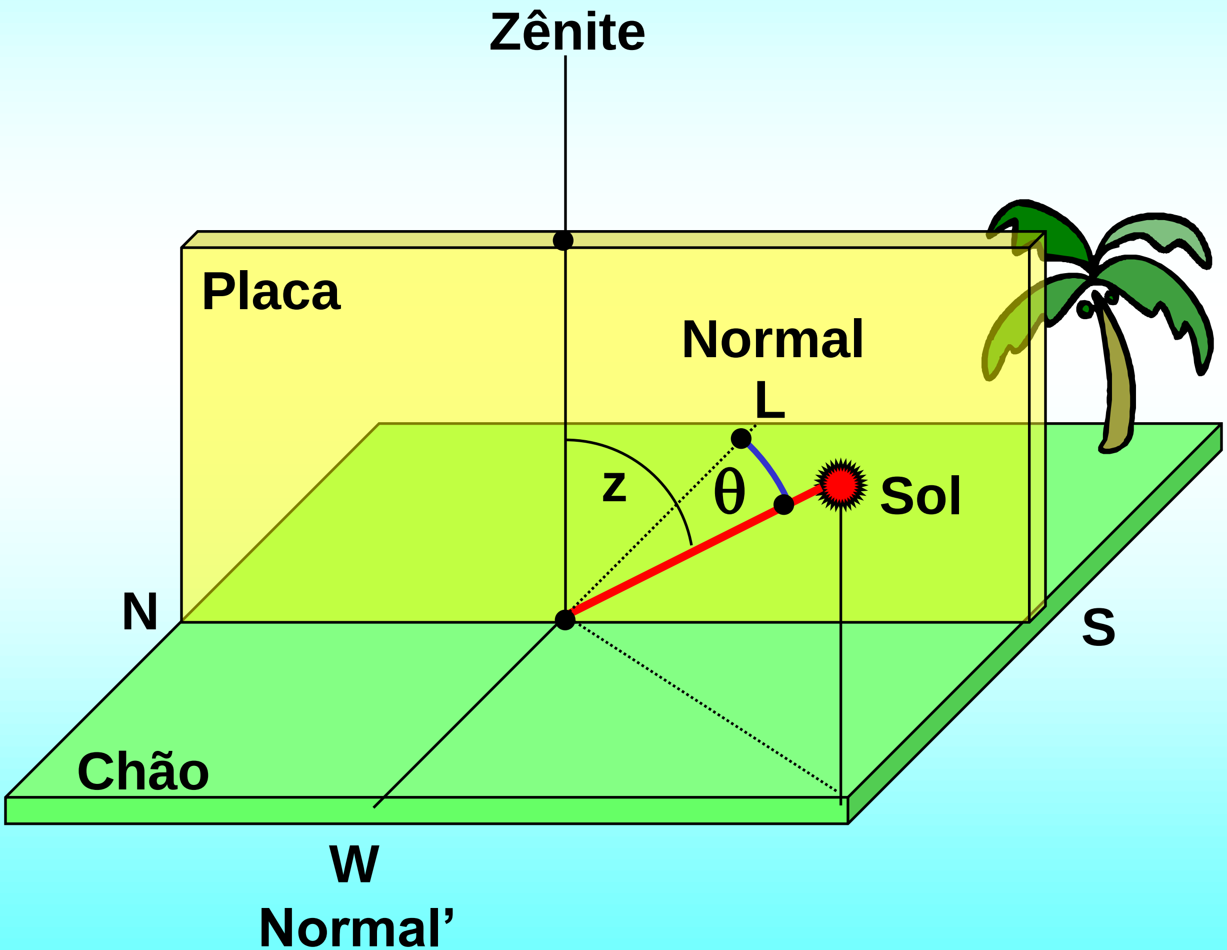
Vertical Leste-Oeste

Vertical Qualquer

Qualquer

Plana vertical meridiana

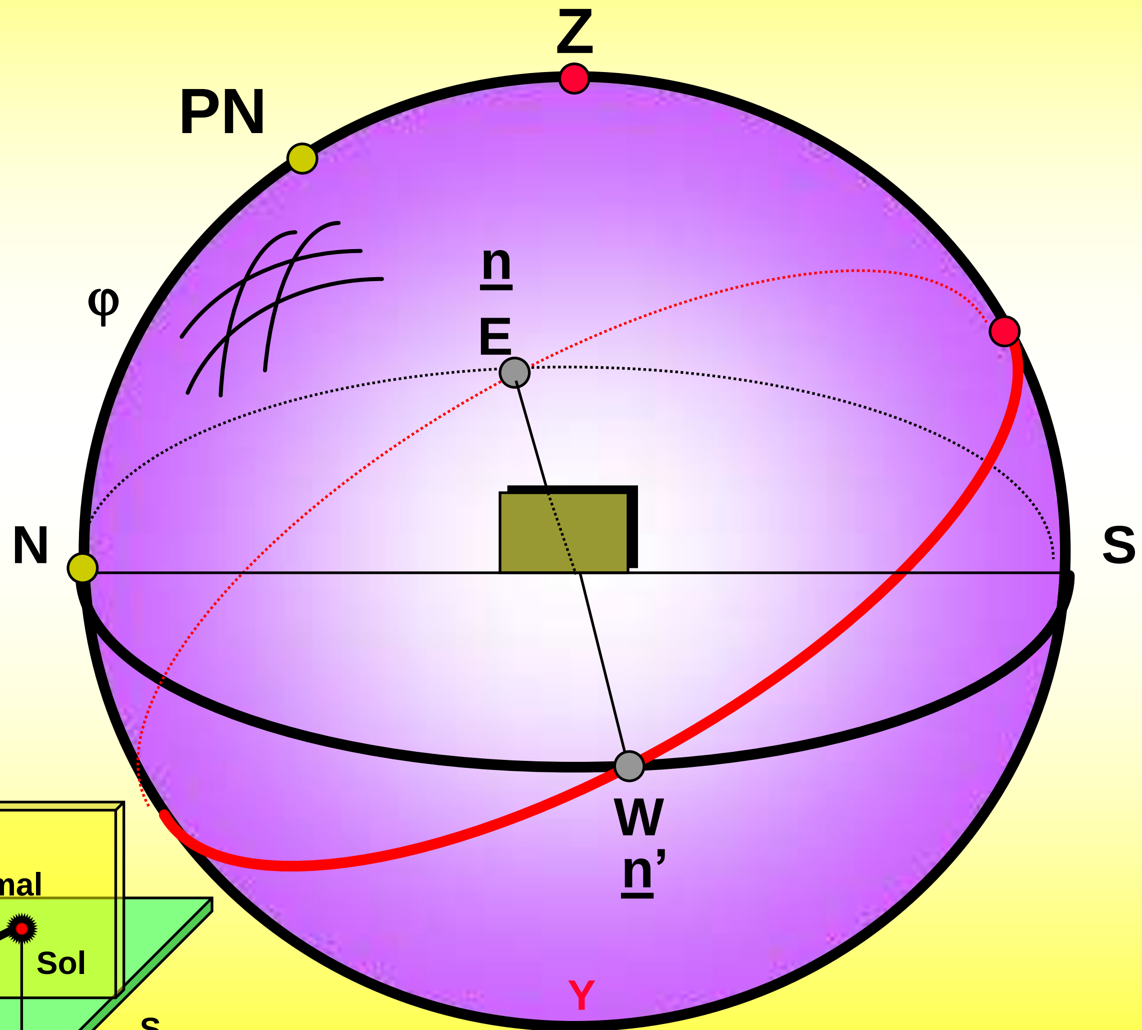
Placa Vertical Meridiana



H e δ de Placa Vertical Meridiana no HN

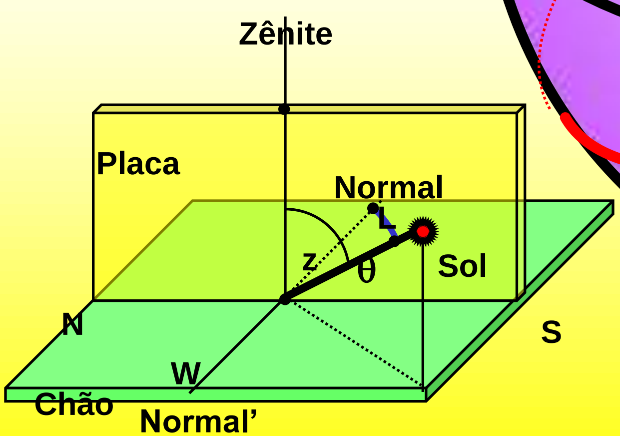
n ≡ E

$H_n = -90^0$
$\delta_n = +0$

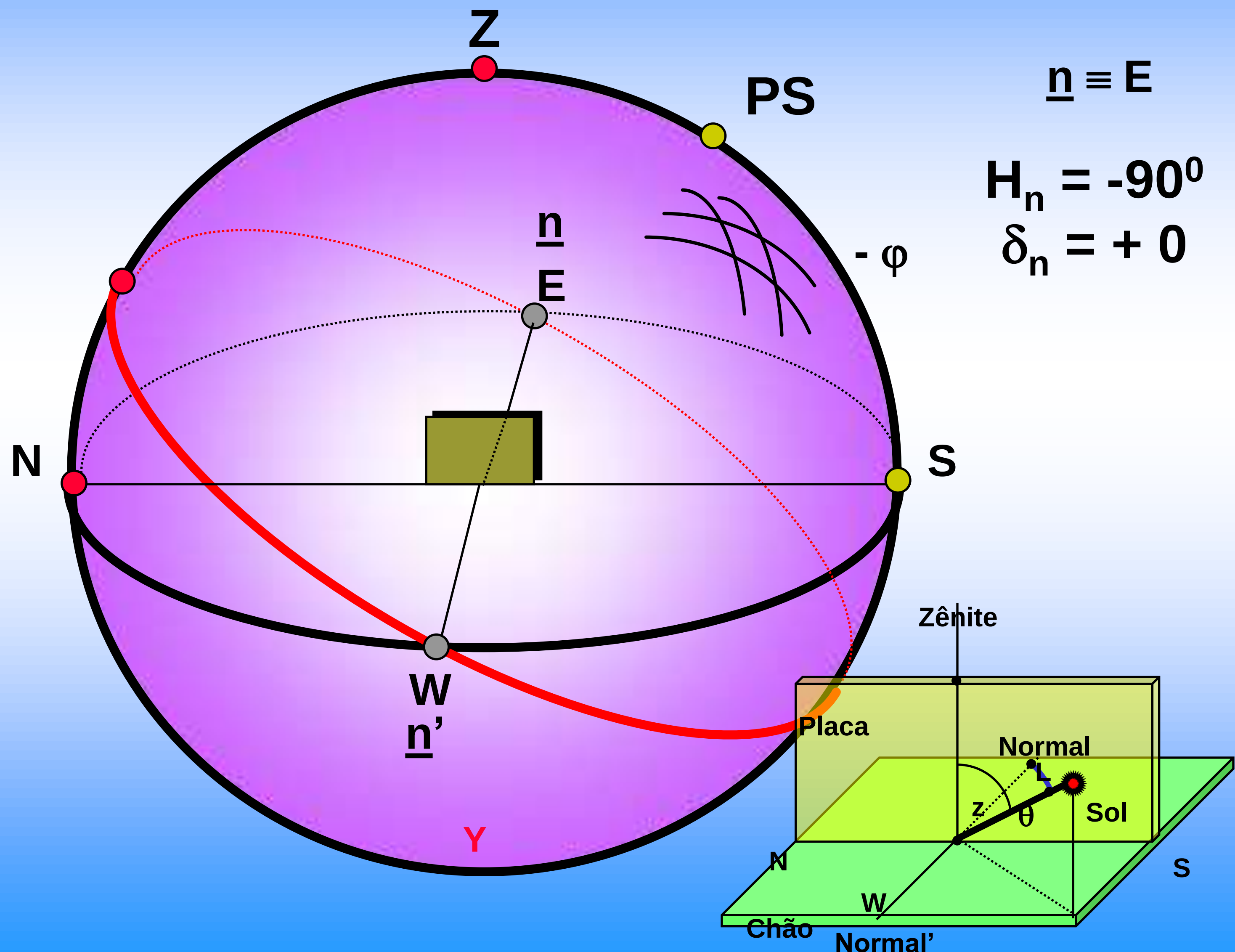


n' ≡ W

$H_n = +90^0$
$\delta_n = +0$



H e δ de Placa Vertical Meridiana no HS



$\underline{n} \equiv E$

$H_n = -90^0$

$\delta_n = +\ 0$

$\underline{n}' \equiv W$

$H_n = +90^0$

$\delta_n = +\ 0$

Insolação numa Placa Vertical Meridiana

Como $\delta_n = 0 \rightarrow sen\ \delta_n = 0$

$cos\ \delta_n = 1$

Como $H_n = \pm 90 \rightarrow cos\ H_n = 0 \rightarrow sen\ H_n = \pm 1$

Batizados:

$W = 4\ S\ A\ sen\ \delta_n \, . \, sen\ \delta_s$

$Q = +\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n \, . \, cos\ \delta_s \, . \, cos\ H_n$

$C = -\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n \, . \, cos\ \delta_s \, . \, sen\ H_n$

=1

$W = 4\ S\ A\ sen\ \delta_n \, . \, sen\ \delta_s = 0$

$Q = +\ \psi\ S\ A\ cos\ \delta_n \, . \, cos\ \delta_s \, . \, cos\ H_n = 0$

$C = -\ \psi\ S\ A \, . \, cos\ \delta_s \, . \, sen\ H_n$

graus

$E = W \, . \, (H_F - H_I) + Q \, . \, (sen\ H_F - sen\ H_I) + C \, . \, (cos\ H_F - cos\ H_I)$

$E = C \, . \, (cos\ H_F - cos\ H_I)$

Placa plana horizontal

Horizontal

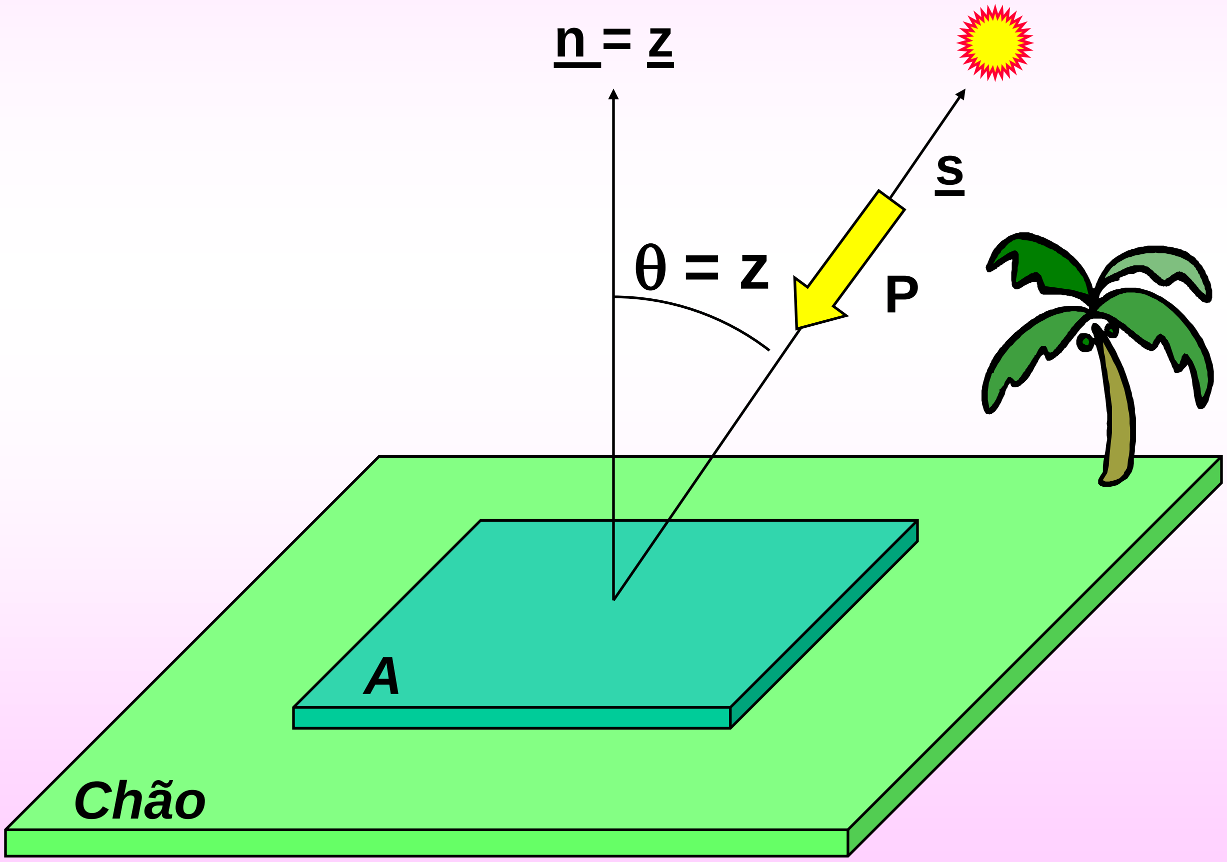
Vertical Meridiana

Vertical Leste-Oeste

Vertical Qualquer

Qualquer

Placa horizontal

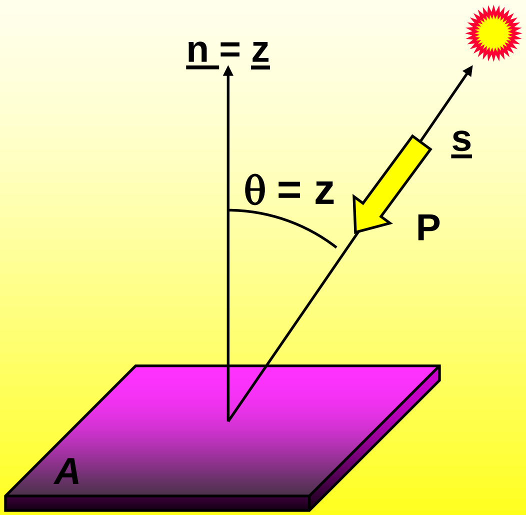


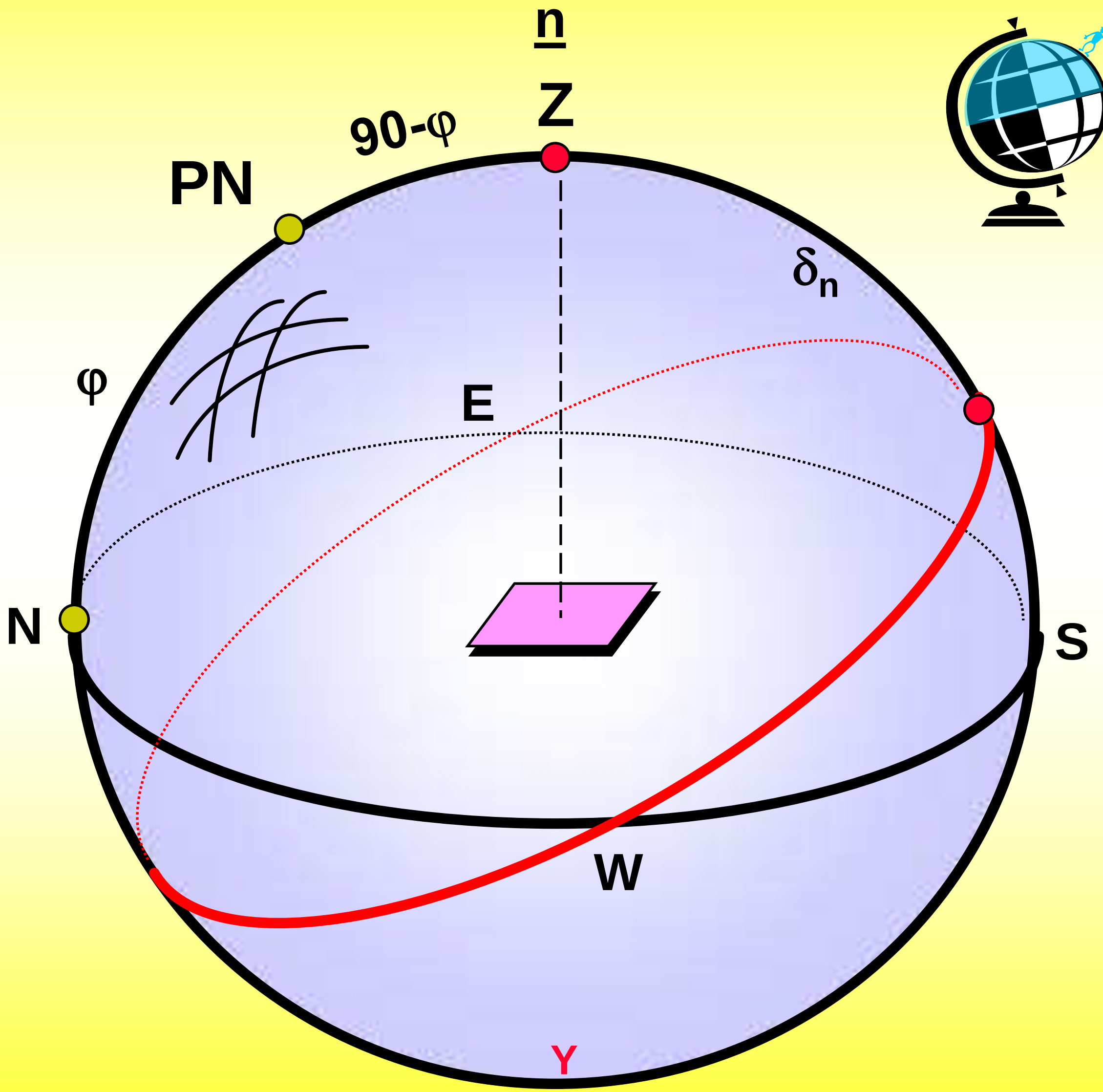
H e δ de Placa horizontal no HN

$\underline{n} \equiv Z$

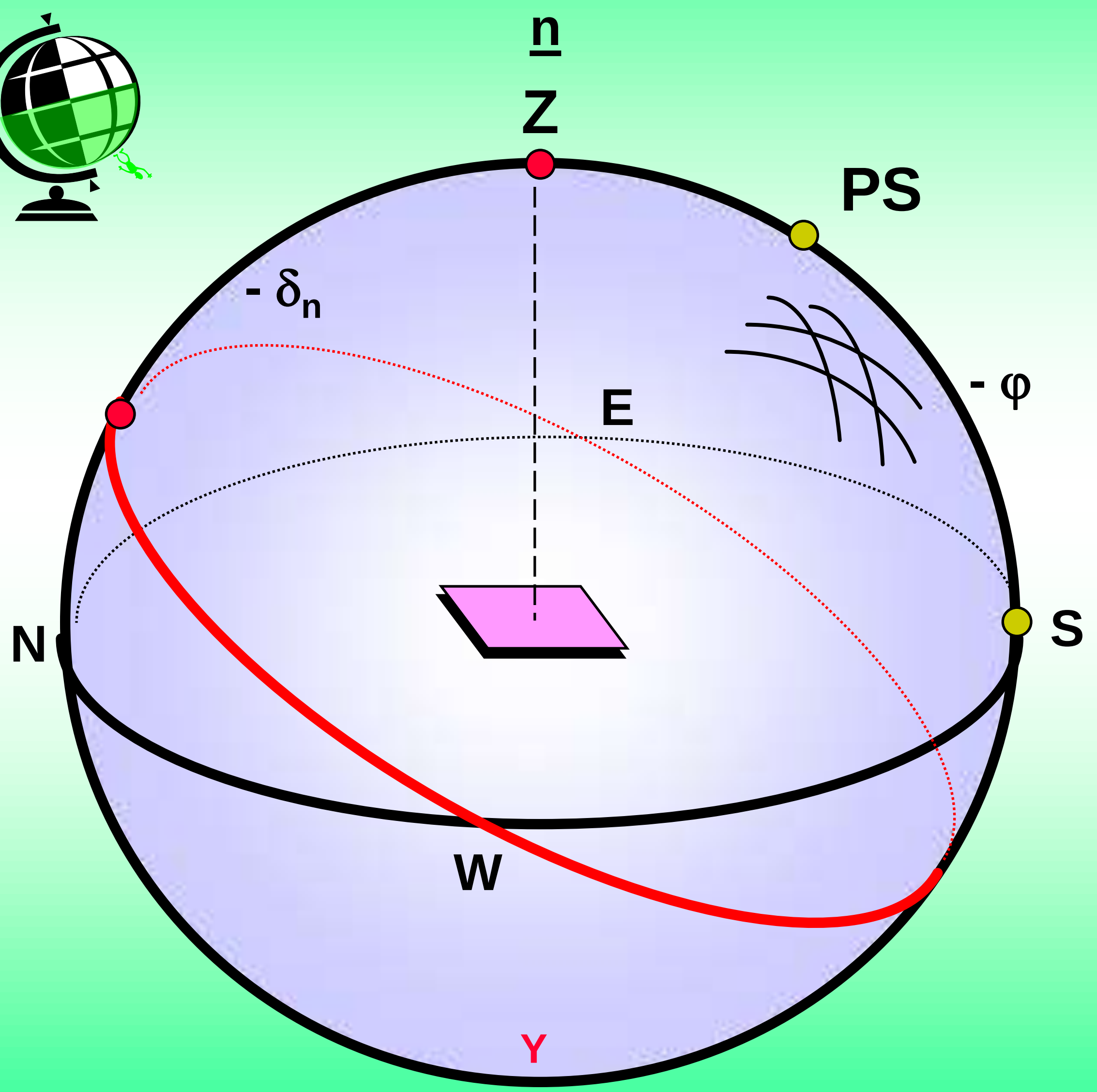
$H_n = 0$

$\delta_n = \varphi$





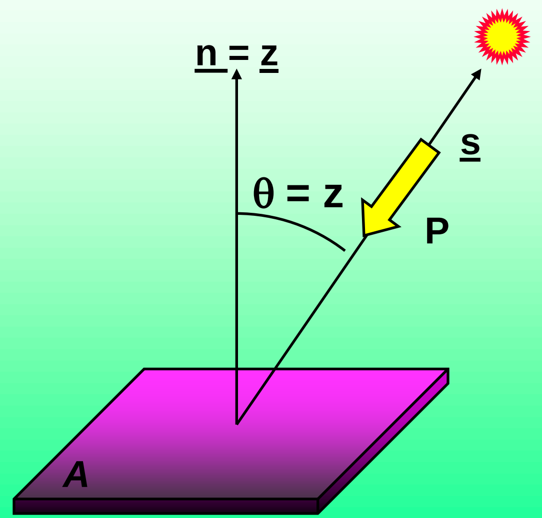
H e δ de Placa horizontal no HS



$\underline{n} \equiv Z$

$H_n = 0$

$\delta_n = \varphi$



Insolação numa Placa Horizontal

Como $\delta_n = \varphi \rightarrow \mathit{sen}\ \delta_n = \mathit{sen}\ \varphi$

$\cos \delta_n = \cos \varphi$

Como $H_n = 0 \rightarrow \mathit{sen}\ H_n = 0$

$\cos H_n = 1$

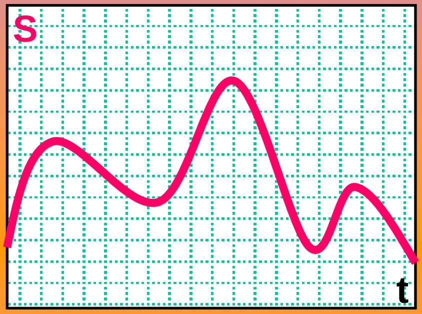
$$W = 4\,S\,A\ \mathit{sen}\ \delta_n \cdot \mathit{sen}\ \delta_s$$
$$Q = +\psi\,S\,A \cos \delta_n \cdot \cos \delta_s \cdot \cos H_n$$
$$C = -\psi\,S\,A \cos \delta_n \cdot \cos \delta_s \cdot \mathit{sen}\ H_n$$

$$W = 4\,S\,A\ \mathit{sen}\ \varphi \cdot \mathit{sen}\ \delta_s$$
$$Q = +\psi\,S\,A \cos \varphi \cdot \cos \delta_s \cdot \underline{1}$$
$$C = -\psi\,S\,A \cos \varphi \cdot \cos \delta_s \cdot \underline{\mathit{sen}\ H_n} = 0$$

graus

$$E = W \cdot (H_F - H_I) + Q \cdot (\mathit{sen}\ H_F - \mathit{sen}\ H_I) + C \cdot (\cos H_F - \cos H_I)$$

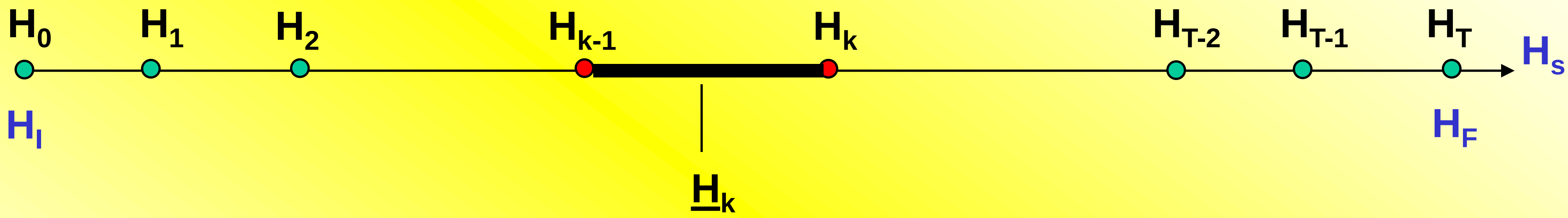
$$E = W \cdot (H_F - H_I) + Q \cdot (\mathit{sen}\ H_F - \mathit{sen}\ H_I)$$



Quando S não puder ser considerado constante no intervalo de tempo

$$t_F - t_I$$

Partição do intervalo (t_F - t_I)



$\underline{H}_k = (H_k + H_{k-1}) / 2$ $\qquad$ $k = 1, 2, \ldots T$

1. Dividir o intervalo H_I a H_F em T subintervalos
2. Calcular o ângulo horário médio $\underline{H}_k$ de cada subintervalo
3. Calcular a distância zenital z_s do Sol em cada subintervalo no instante $\underline{H}_k$

$$\cos \underline{z}_k = \mathrm{sen}\, \varphi \,.\, \mathrm{sen}\, \delta_s + \cos \varphi \,.\, \cos \delta_s \,.\, \cos \underline{H}_k$$

Calcular a "Constante Solar" para cada subintervalo k

$k = 1, 2, \ldots T$

Correção da distância heliocêntrica

$$K = 1 + 0{,}03344 \cos\left((360\, d / 365{,}25) - 2{,}8^o \right)$$

Cálculo da influência da pressão atmosférica

Para L qualquer: $(p/p_{mar}) = e^{-(L/8.000)}$

Para L < 4000 m : $(p/p_{mar}) = 1 - (L/10.000)$

Cálculo da massa óptica

$h = 90^0 - z_k$

Para $h > 10^o$ $\quad m_k = (p/p_{mar}) \{ 1/ \operatorname{sen} h \}$

Para $h \leq 10^o$ $\quad m_k = (p/p_{mar}) \{ 1/ [\operatorname{sen} h + 0{,}15\,(h + 3{,}885)^{-1{,}235}] \}$

Cálculo da espessura óptica de Rayleigh

$$\delta_R = 1 / (0{,}9\, m_k + 9{,}4)$$

Cálculo da espessura óptica

$$\tau_k \equiv \delta_R\, m_k$$

Cálculo da "Constante Solar" no local

$$S_k = K \,.\, S_o \,.\, \left(e^{-\tau}\right)_k$$

Calcular a insolação em cada subintervalo e no total

Para cada k = 1, 2, ... T

$$W \equiv 4\, S_k\ A\ sen\, \delta_n \,.\, sen\, \delta_s$$

$$Q \equiv +\, \psi\, S_k\ A\ cos\, \delta_n \,.\, cos\, \delta_s \,.\, cos\, H_n$$

$$C \equiv -\, \psi\, S_k\ A\ cos\, \delta_n \,.\, cos\, \delta_s \,.\, sen\, H_n$$

graus

Insolação em cada intervalo

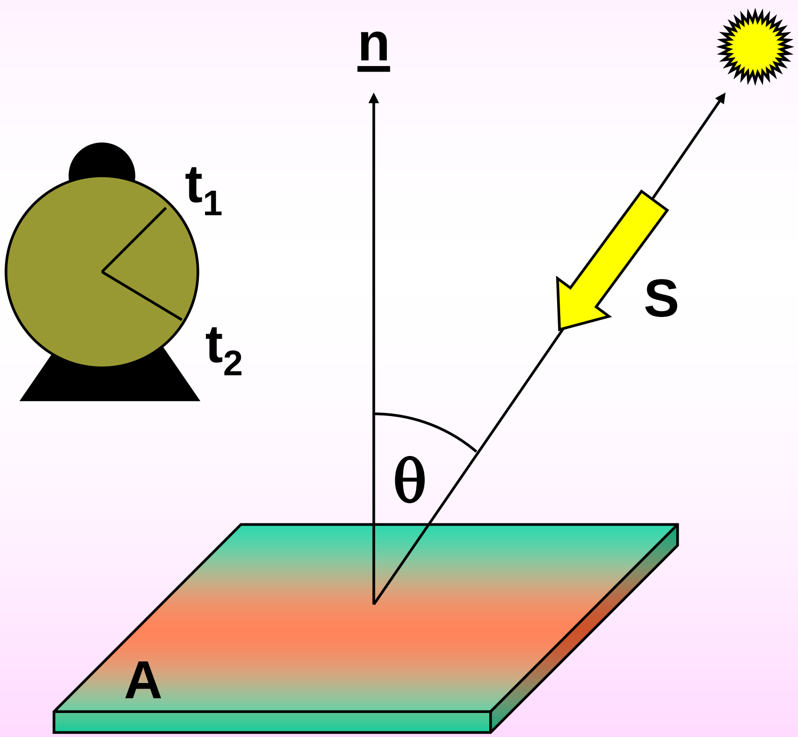
$$E_k = W_k \,.\, (\, H_k - H_{k-1}\,) + Q_k \,.\, (\, sen\, H_k - sen\, H_{k-1}\,) + C_k \,.\, (\, cos\, H_k - cos\, H_{k-1}\,)$$

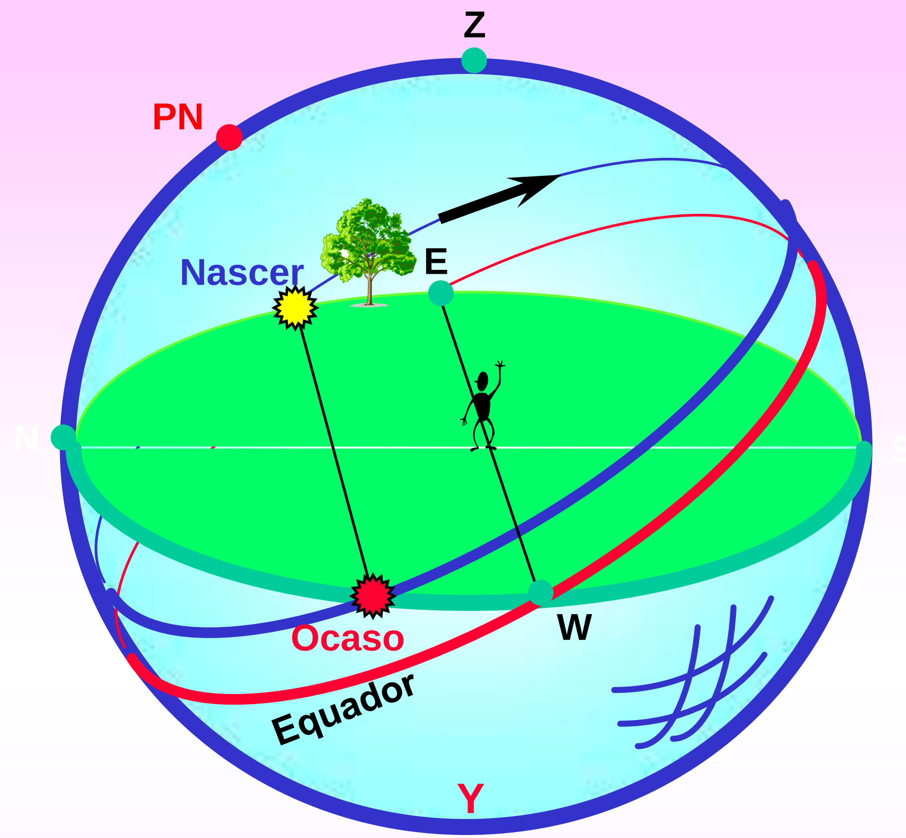
Insolação total

$$E = E_0 + E_1 + E_2 + \ldots + E_T$$

Limites temporais da Integração

Limite temporal da integração da Insolação





$$E = \int S\ A \cos\theta\ dt$$

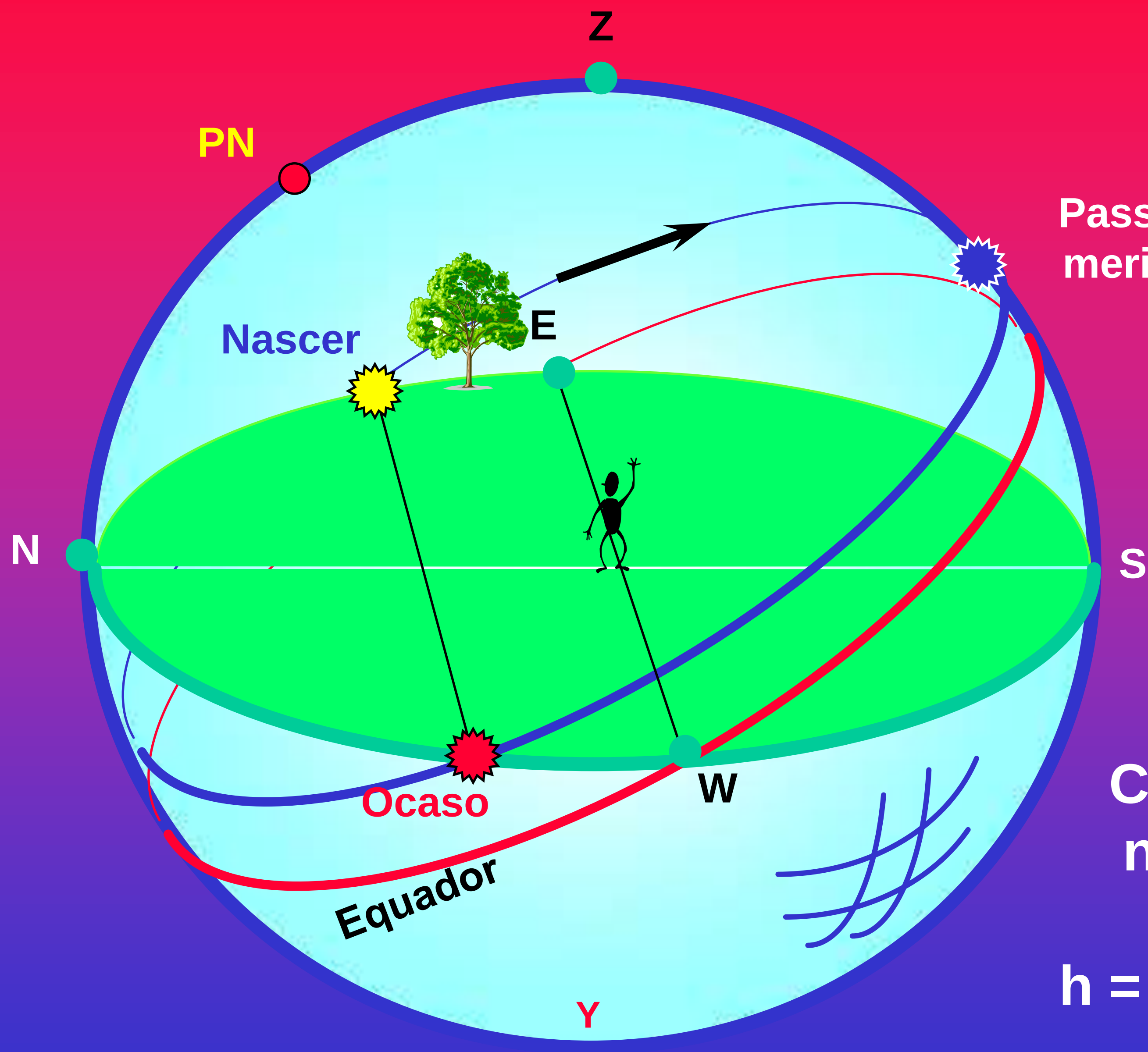
cal | cal/cm².min | cm² | min

Limites de integração:

- Sol entre seu nascer e seu ocaso
- Sol deve estar na frente da placa.

Ângulo horário e Azimute do nascer e do ocaso, sem considerar a refração

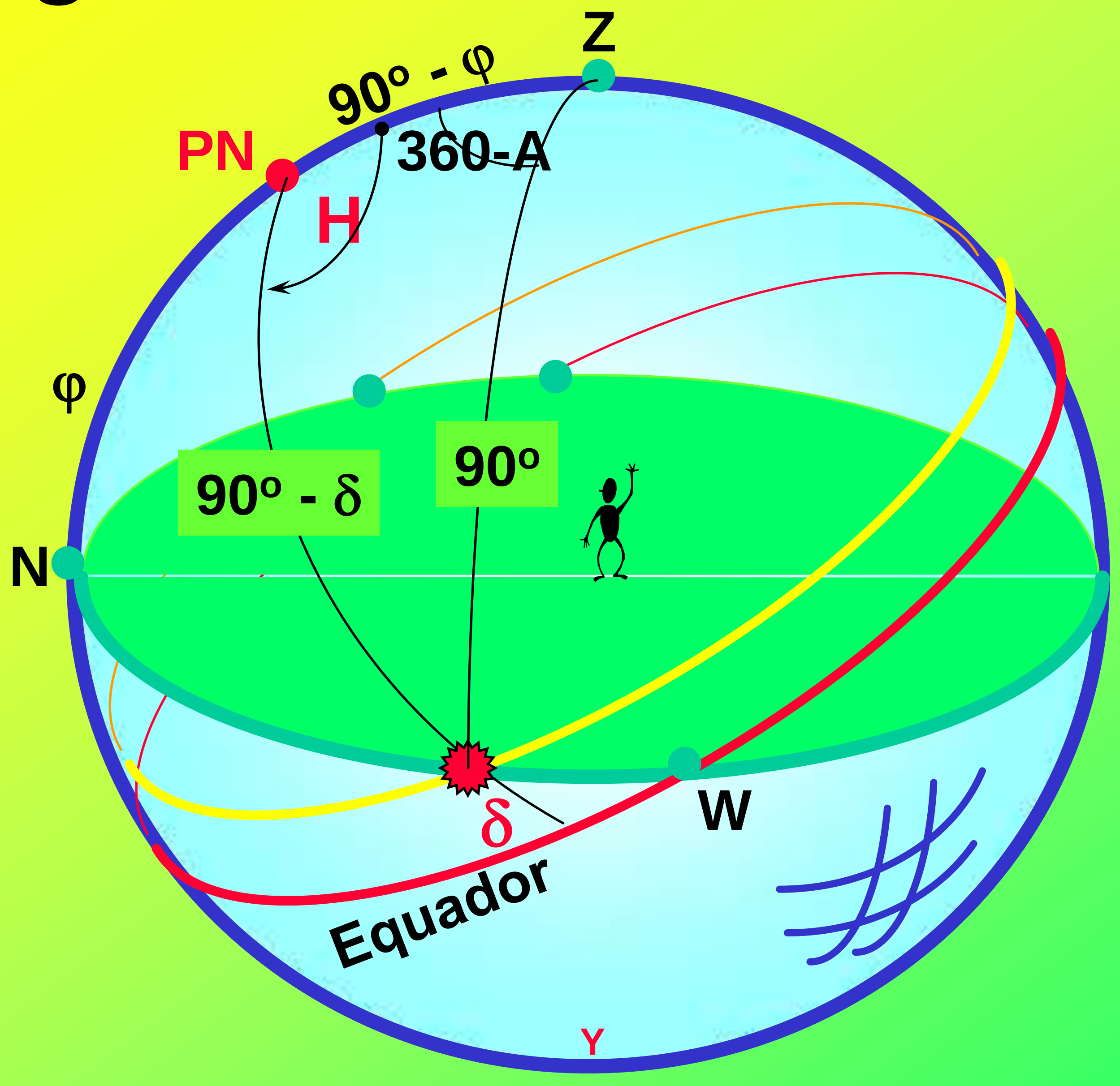
Nascer e Ocaso de um astro



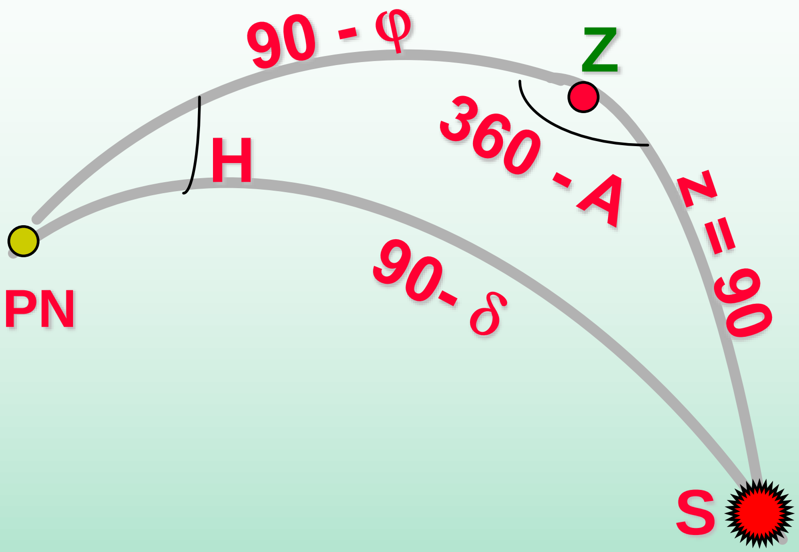
Condição de nascer e de ocaso:

$h = 0$ ou $z = 90^{o}$

Triângulo no ocaso de um astro



Azimute do Nascer e do Ocaso



$$\cos \mathbf{a} = \cos \mathbf{b} \,.\, \cos \mathbf{c} + \text{sen}\, \mathbf{b} \,.\, \text{sen}\, \mathbf{c} \,.\, \cos \mathbf{A}$$

C

$$\cos (90-\delta) = \cancel{\cos z}\,.\, \cos(90-\varphi) + \text{sen}\,(90-\varphi) \,.\, \text{sen}\, z \,.\, \cos (360-A)$$

$$\text{sen}\, \delta = \cos \varphi \,.\, \cos A$$

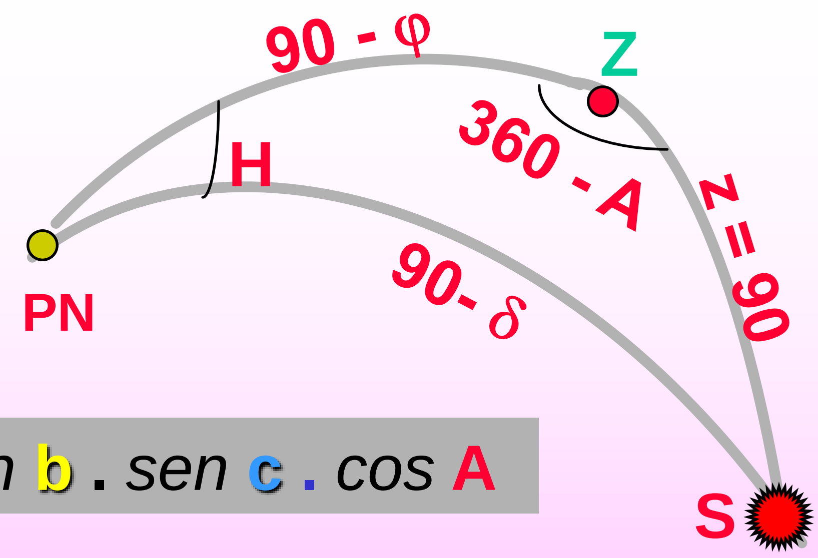
$$\cos A = \text{sen}\, \delta / \cos \varphi$$

$\Rightarrow 0 \leq \underline{A} \leq 180^{o}$

No Nascer: A = $\underline{A}$

No Ocaso: A = 360º - $\underline{A}$

Ângulo horário no nascer e no ocaso



$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \text{sen}\, b \cdot \text{sen}\, c \cdot \cos A$$

C

$$\cos z = \cos(90-\varphi) \cdot \cos(90-\delta) + \text{sen}(90-\varphi) \cdot \text{sen}(90-\delta) \cdot \cos H$$

$$0 = \text{sen}\,\varphi \cdot \text{sen}\,\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos H$$

$$\cos H = -\,\text{sen}\,\varphi \cdot \text{sen}\,\delta \,/\, \cos\varphi \cdot \cos\delta$$

$$\cos H = -\tan\varphi \cdot \tan\delta$$

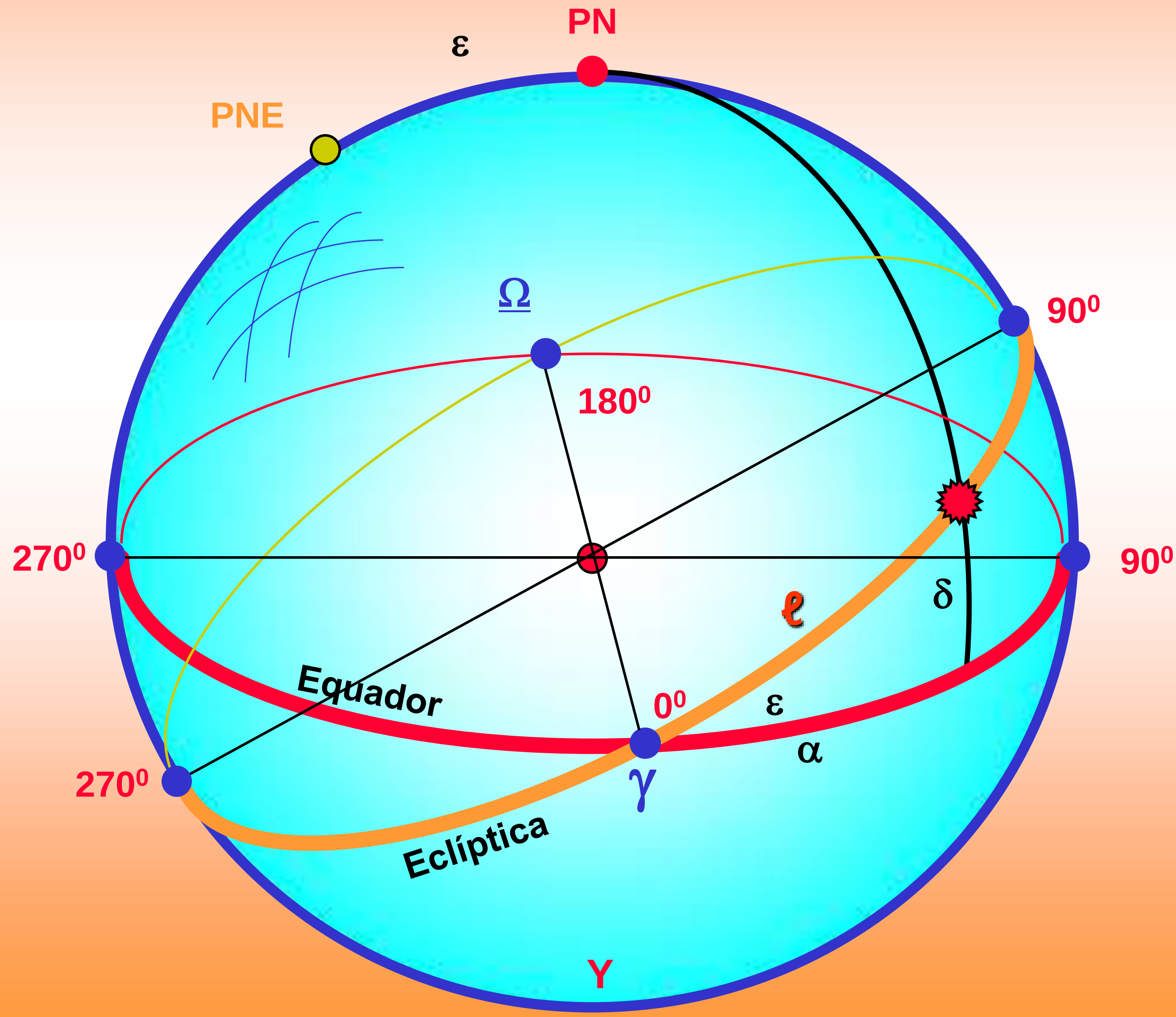
$$\Rightarrow 0 \leq \underline{H} \leq 180^0$$

No Ocaso: $H_o = \underline{H}$

No Nascer: $H_n = -\underline{H}$

Coordenadas aproximadas do Sol

Coordenadas equatoriais do Sol



Coordenadas aproximadas do Sol

(precisão de $0{,}01^0$ entre 1950 e 2050)

$DJ2000 = 2\ 451\ 545{,}0$

$n = DJ - DJ2000$ (Número de dias desde o meio-dia de 01/jan/2000)

$\varepsilon \cong 23{,}439^0 - 0{,}000\ 000\ 4\ n$ (Obliqüidade da eclíptica)

$L \cong 280{,}461^0 + 0{,}985\ 6474\ n$ (Longitude média)

$0 \leq L < 360^0$ (Imposição)

$g \cong 357{,}528^0 + 0{,}985\ 6003\ n$ (Anomalia média)

$0 \leq g < 360^0$ (Imposição)

$R \cong 1{,}000\ 14^{UA} - 0{,}016\ 71\ \cos g - 0{,}000\ 14\ \cos 2g$ (Raio vetor do Sol)

$\ell_\bullet = L^0 + 1{,}915^0\ sen\ g + 0{,}020\ sen\ 2g$ (Longitude eclíptica do Sol)

$f = 180^0 / \pi$

$t = \tan^2 (\varepsilon / 2)$

$\alpha \cong \ell_\bullet{}^0 - f\ .\ t\ .\ sen\ 2\ \ell_\bullet + (f/2)\ .\ t^2\ .\ sen\ 4\ \ell_\bullet$ (Ascensão reta do Sol)

$Eq.T^{minutos} \cong -4\ .\ (L^0 - \alpha^0)$ (Equação do tempo: precisão de $0{,}1^{min}$)

$\delta \cong arcsen\ (sen\ \varepsilon\ .\ sen\ \ell_\bullet)$ (Declinação do Sol)

Bibliografia

Prediction of Solar Radiation

on Inclined Surfaces

Editor: J.K. Page

Departament of Building Sciences of University of Sheffield, UK. Publicado por: D. Reidel Publishing Company

An introduction to Solar Radiation

Muhammad Iqbal, Toronto, Academic Press, 1983

Fim