

Universidade de São Paulo
Departamento de Geografia
Disciplina: Climatologia I

Radiação Solar

Prof. Dr. Emerson Galvani
Laboratório de Climatologia e
Biogeografia – LCB

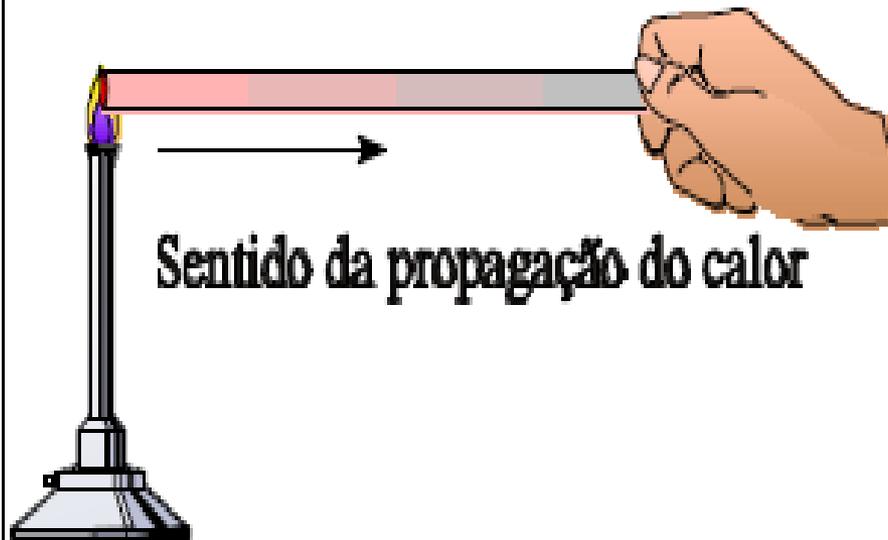
Na aula anterior verificamos que é a inclinação do equador terrestre em relação ao plano que contém o equador do sol, que resulta em diferentes quantidades de energia na superfície terrestre e, conseqüentemente as diferentes estações do ano.

Como o calor se propaga?

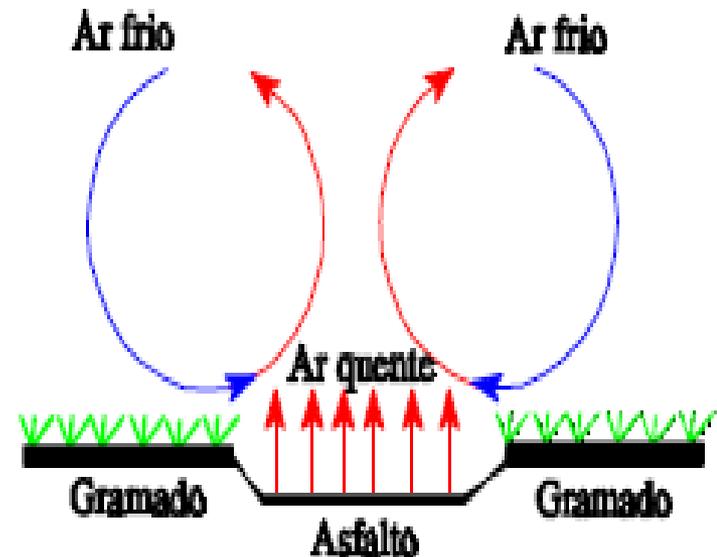
R: condução, convecção e radiação.

O calor é transferido mediante condução, convecção ou radiação.

Condução

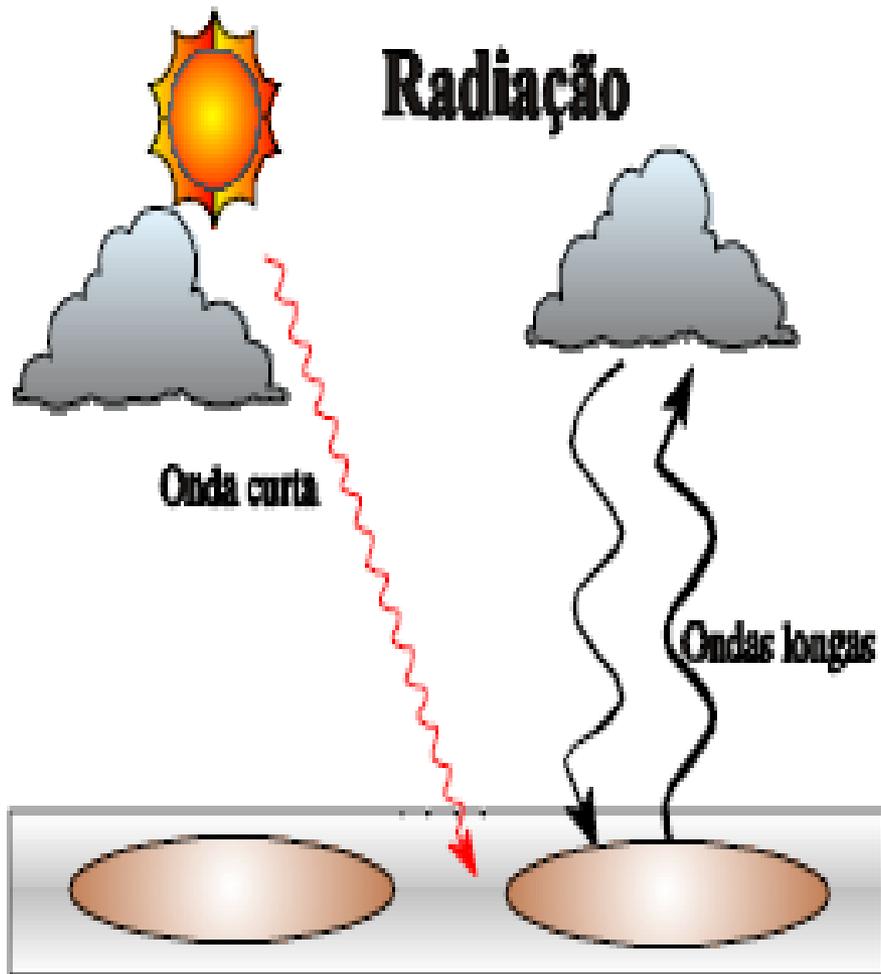


Convecção



O calor é transferido mediante convecção, radiação ou condução

Esse processo nos interessa em particular, pois é por meio deste que a Energia do sol chega a superfície terrestre, por isso que denominamos de Radiação Solar.



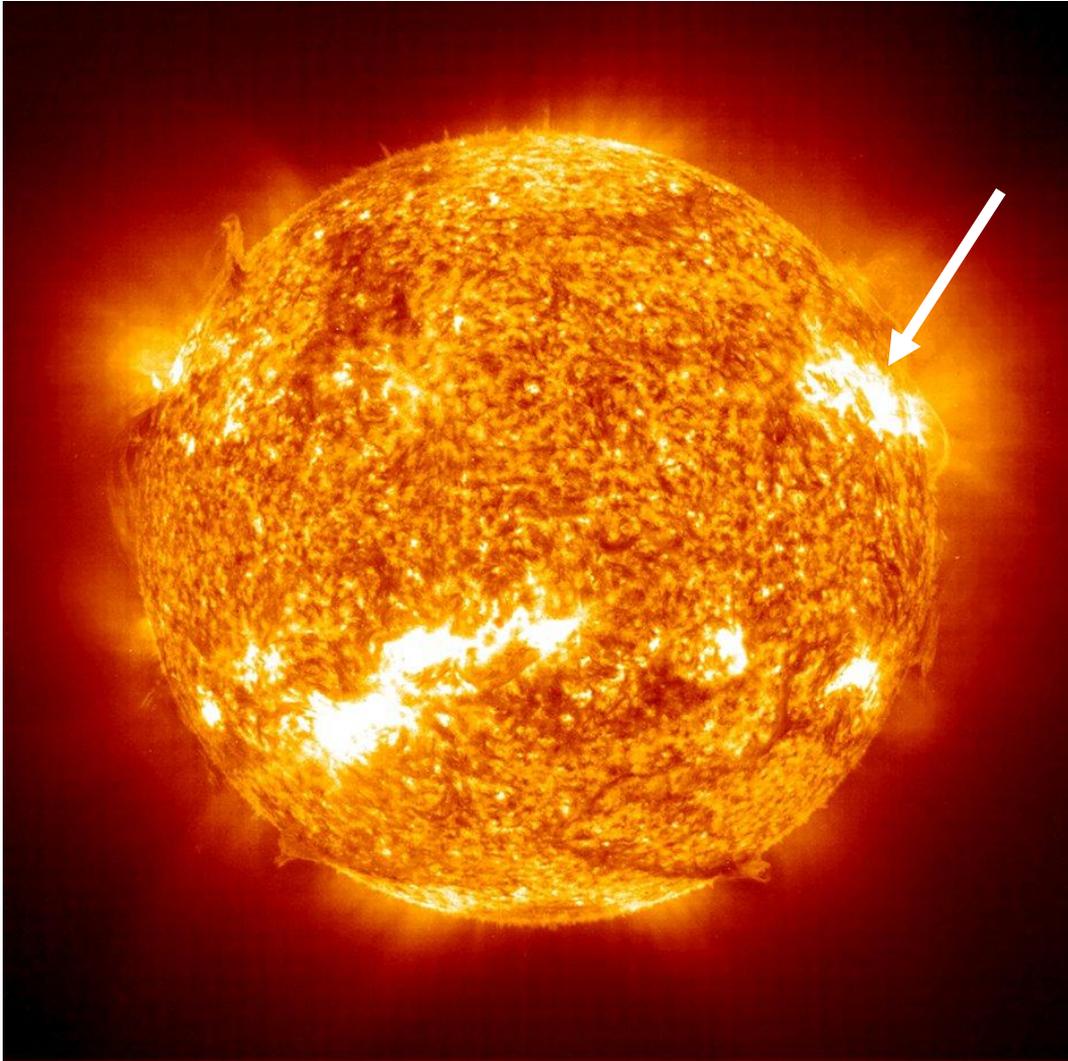


Quem é o SOL??

O Sol é uma estrela gasosa luminosa:

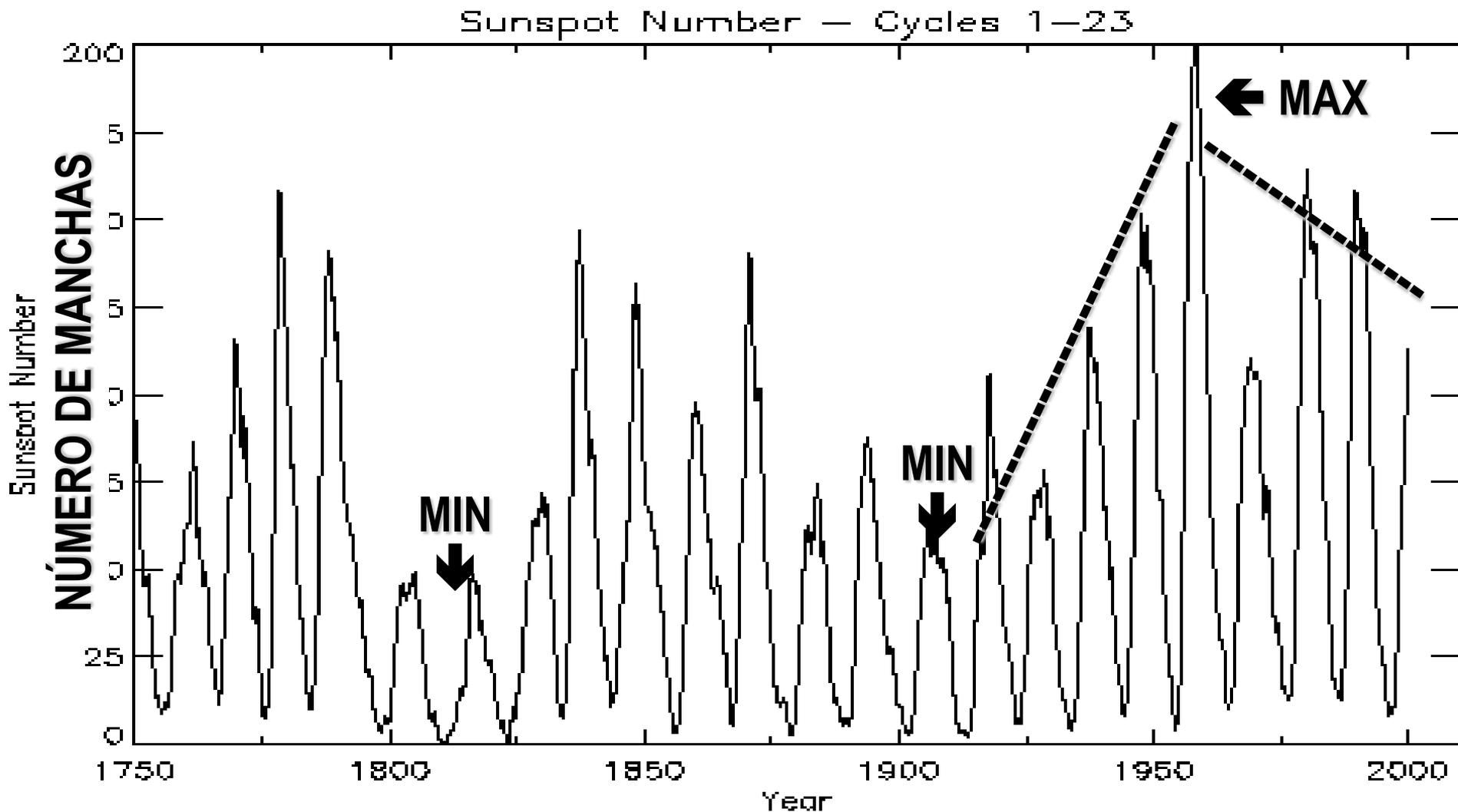
- raio médio de 696.000 km (100 x terra),
- superfície de $6,08 \cdot 10^{12}$ km²,
- temperatura de 6.000°C (superfície),
- emite energia em ondas eletromagnéticas que se propagam radialmente no espaço;
- essas ondas viajam no espaço (vácuo) a 300.000 km/s (velocidade da luz);
- 8,3 minutos é o tempo para chegar à superfície terrestre.

Imagem do sol



É possível observar áreas com maior atividade denominadas de manchas solares.

NÚMERO DE MANCHAS SOLARES ENTRE 1750 E 2000



Fonte: Echer et al (2003)

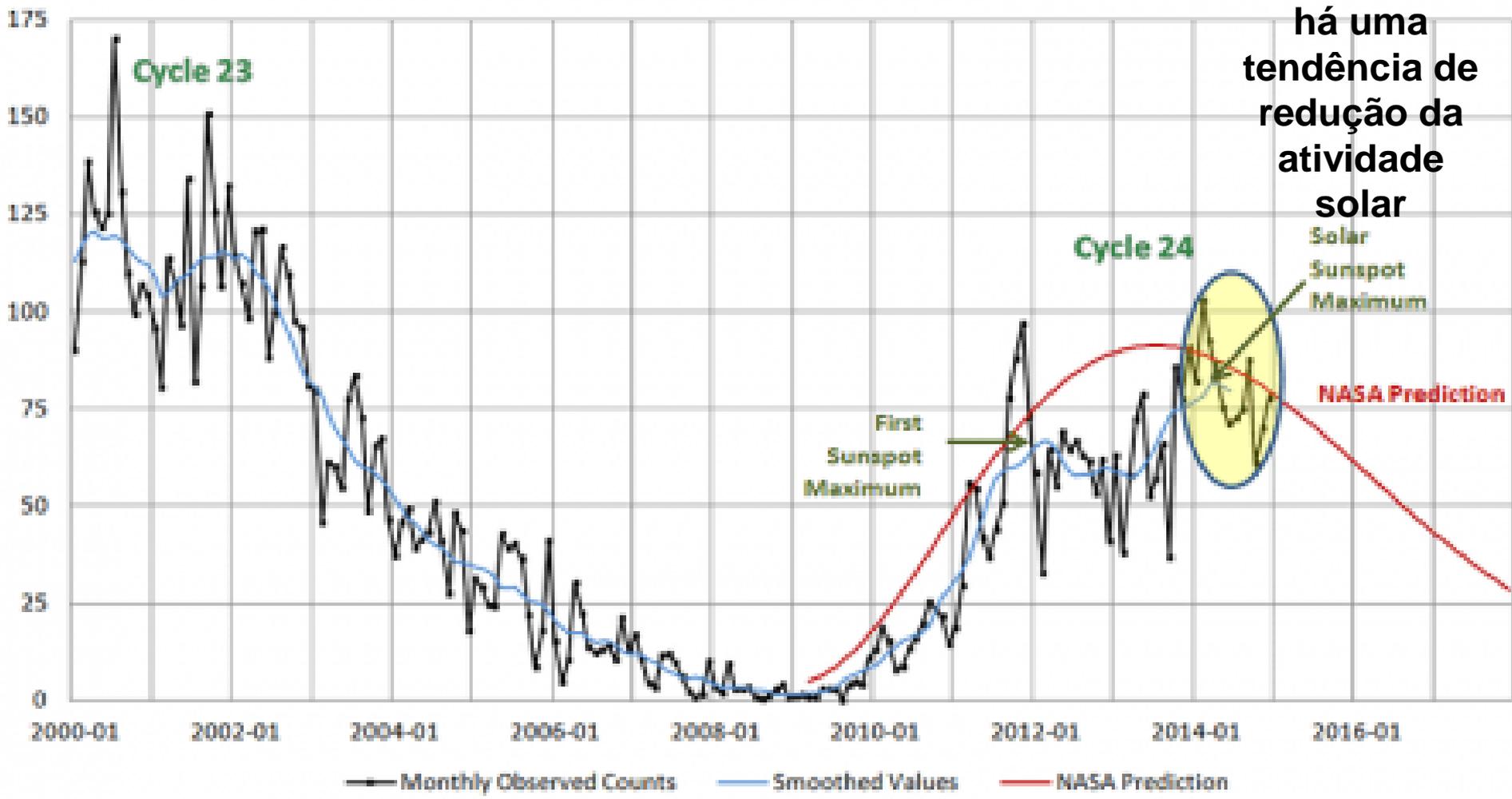
Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a04v25n2.pdf>

NÚMERO DE MANCHAS SOLARES ENTRE 2000 ATÉ ATUAL

SILSO Solar Cycle Sunspot Number Progression

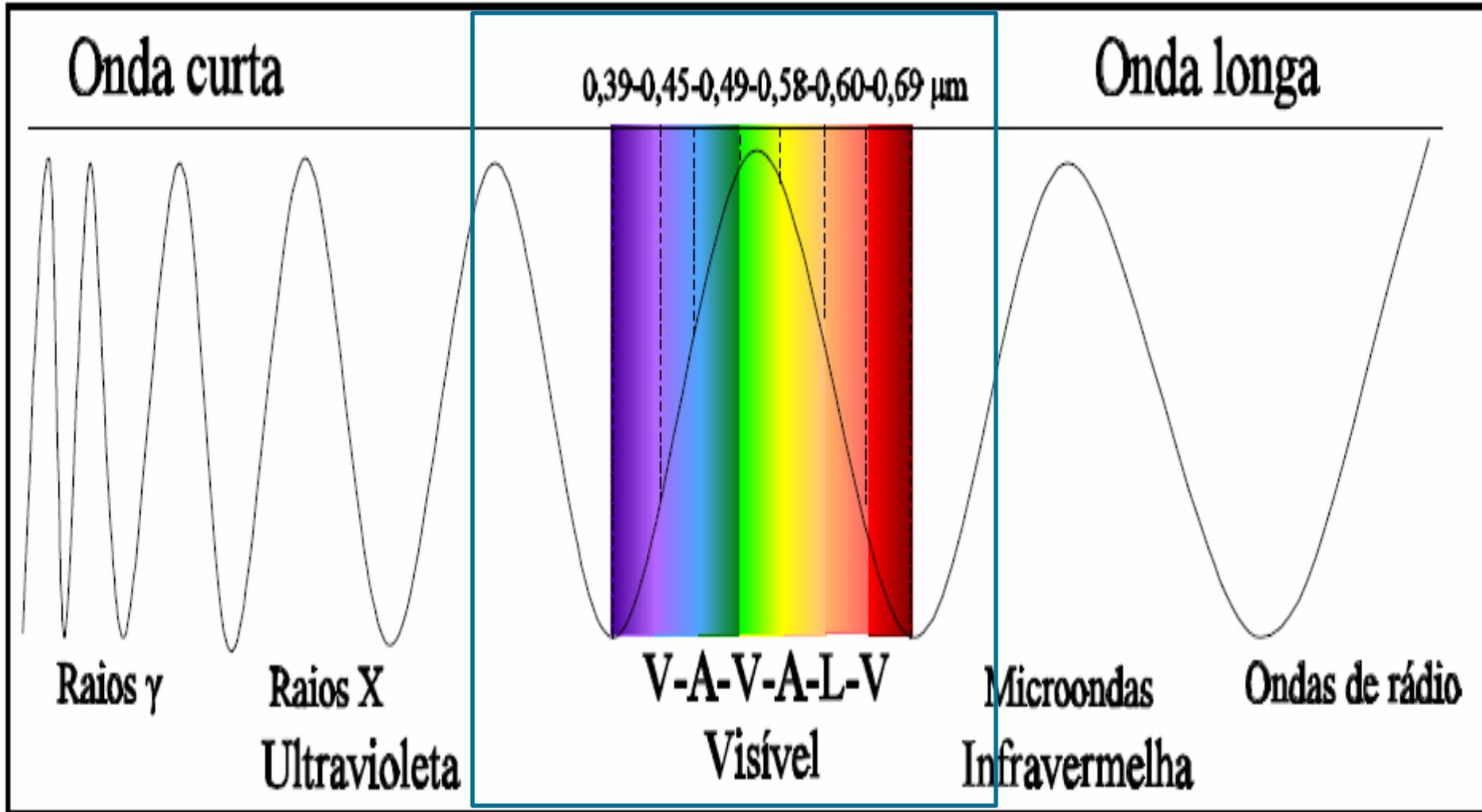
Measured thru December 2014 (Updated: January 1, 2015)

Observe que há uma tendência de redução da atividade solar

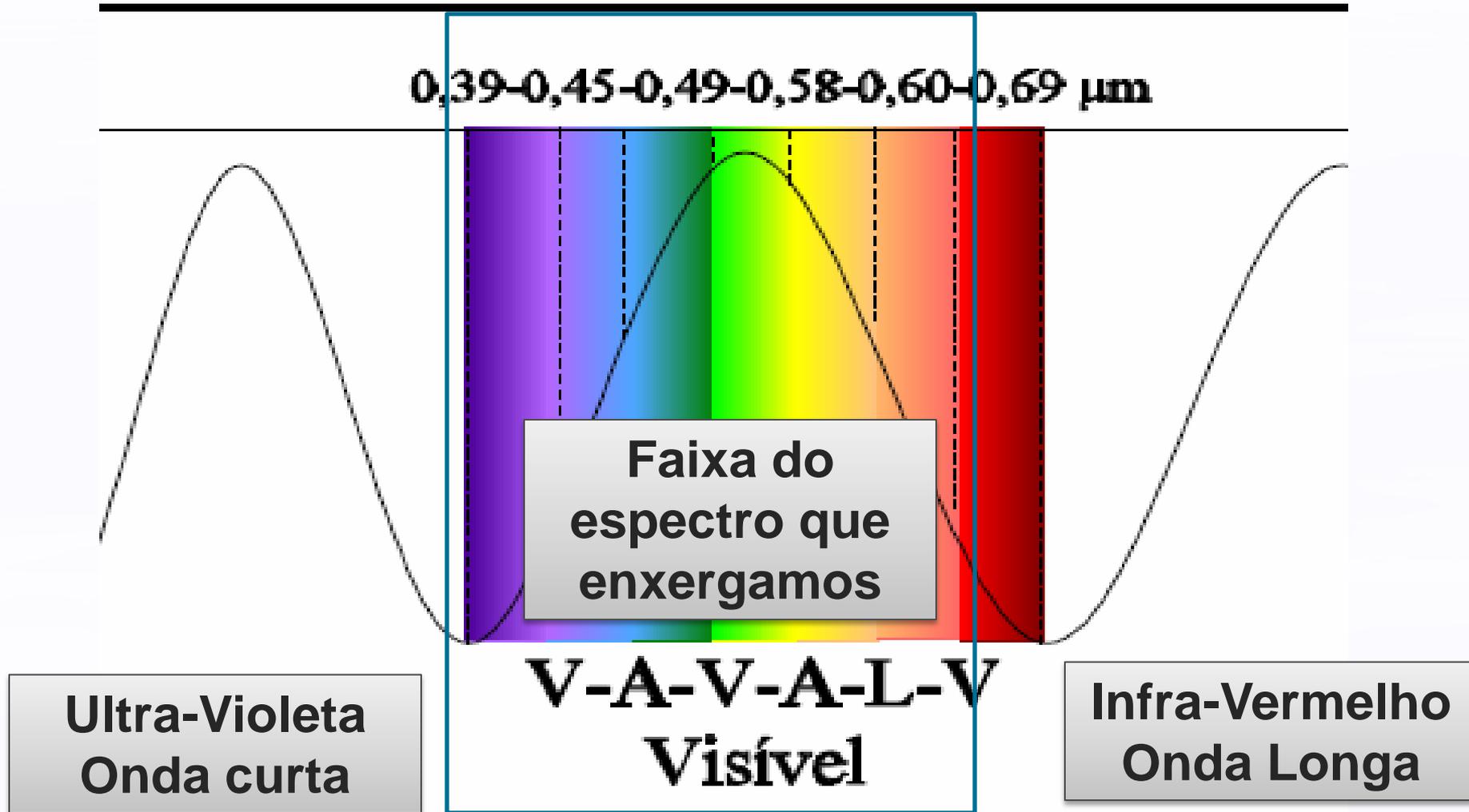


Fonte: dados Steve Davidson-SILSO, do Observatório Real da Bélgica, Bruxelas.

Espectro eletromagnético total



Espectro da Radiação Solar – Destaque para o Visível



Espectro da Radiação Solar

- **1 m = 10^3 milímetro – mm (0,001m)**
- **1 m = 10^6 micrômetro - μm (0,000001m)**
- **1 m = 10^9 nanômetro - nm (0,000000001m)**
- **1 m = 10^{12} picômetro - pm (0,000000000001m)**

Espectro da Radiação Solar

- A maior parte da energia radiante do sol está concentrada nas partes visível e próximo do visível do espectro. A luz visível corresponde a **~43% do total irradiado**, **49% estão no infravermelho próximo** e **7% no ultravioleta**.

**Distância Média de
150 milhões de km**



Terra

Raios Solares



SOL

Sem escala

Conceitos que envolvem a radiação solar

Radiação solar (onda curta):

* **Radiação solar direta (Rd):** Fração da radiação solar que atravessa a atmosfera (sem interagir) e atinge a superfície;

* **Radiação solar Difusa (RDif):** Fração da radiação solar que atravessa a atmosfera sendo difundida pelos constituintes atmosféricos (altera a direção);

* **Radiação solar Global (Rglo):** é a somatória da Radiação solar direta mais a difusa ($Rglo = Rd + RDif$);

A interação da radiação solar com atmosfera resulta em momentos agradáveis.



Conceitos que envolvem a radiação solar

Radiação solar (onda curta):

* **Radiação solar Refletida (Rref):** é a fração da radiação solar global que é refletida pela superfície (depende da cor da superfície);

* **Saldo radiação de onda curta (SRoc):** é a diferença entre a Radiação global e a radiação solar refletida ($SRoc = Rglo - Rref$) (ocorre somente nos períodos de brilho solar).

**Conceitos que envolvem a radiação infravermelha –
IR - (onda longa, calor)**

Após a radiação solar (onda curta) ser absorvida pela superfície é transformada em calor. Todo corpo acima de zero grau absoluto (-273 °C) emite energia.

*** Emissividade Terrestre (Eter): É quantidade de radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre (depende da temperatura da superfície);**

Conceitos que envolvem a radiação infravermelha – IR - (onda longa, calor)

*** Emissividade atmosférica (E_{atm}): É quantidade de radiação infravermelha emitida pela atmosfera terrestre (depende da temperatura da atmosfera). Por ex: a temperatura do topo da troposfera é de, aproximadamente, $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, portanto emite radiação infravermelha proporcional a essa temperatura.**

***Saldo de radiação (IR) de onda longa (SR_{ol}): É a diferença entre a E_{atm} subtraída da E_{ter} . (ocorre 24h do dia).**

Saldo total de Radiação (SR)

Saldo total de Radiação (SR): É a diferença entre o saldo total de onda curta (SRoc) e o saldo total de onda longa (SRol). É a quantidade de energia disponível aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre (aquecimento do ar e do solo, evaporação, transpiração, fotossíntese, etc.)

$$SR = SRoc - SRol$$

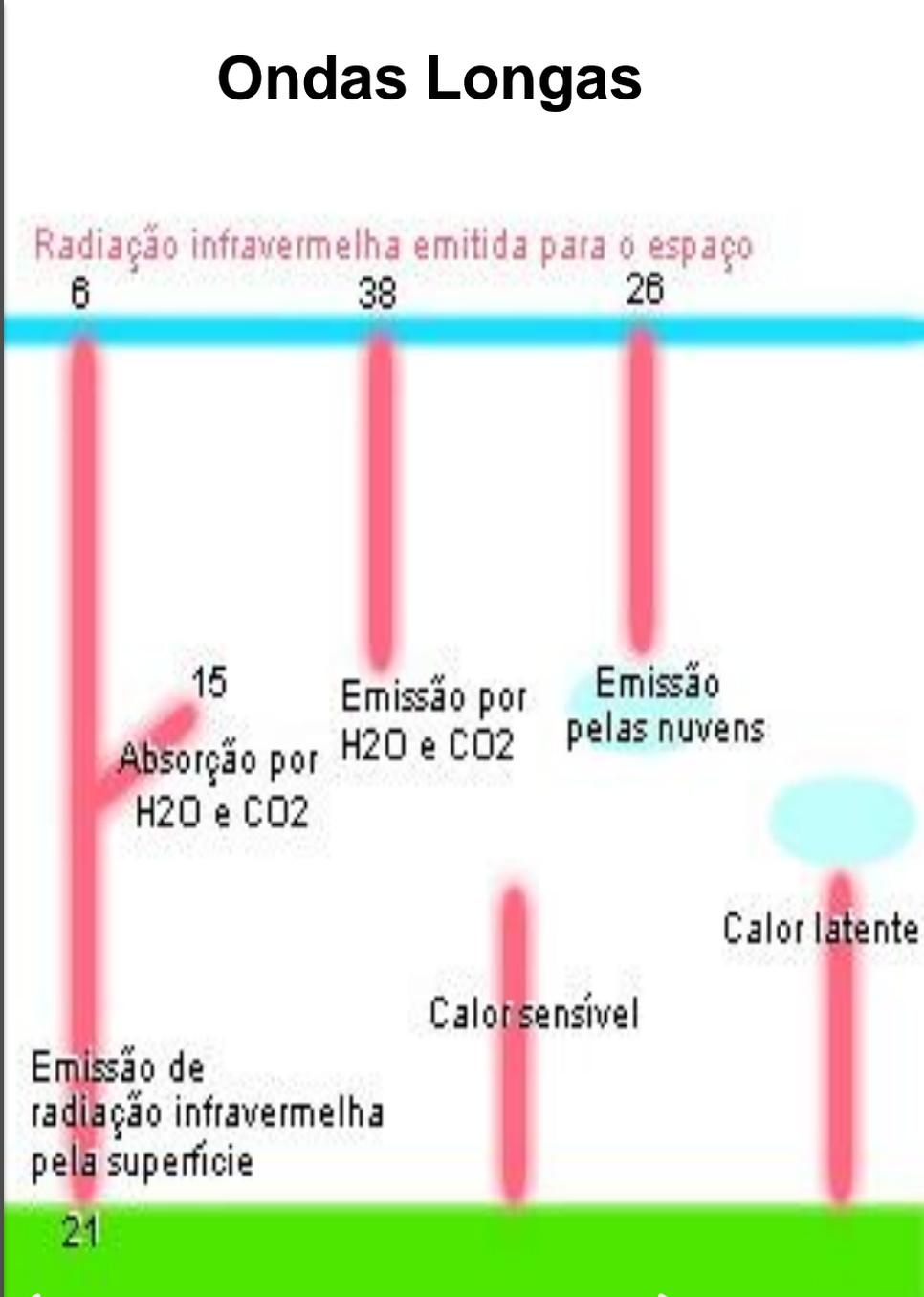
$$SR = (Rglo - Rref) - (Eatm - Eter)$$

Ondas Curtas



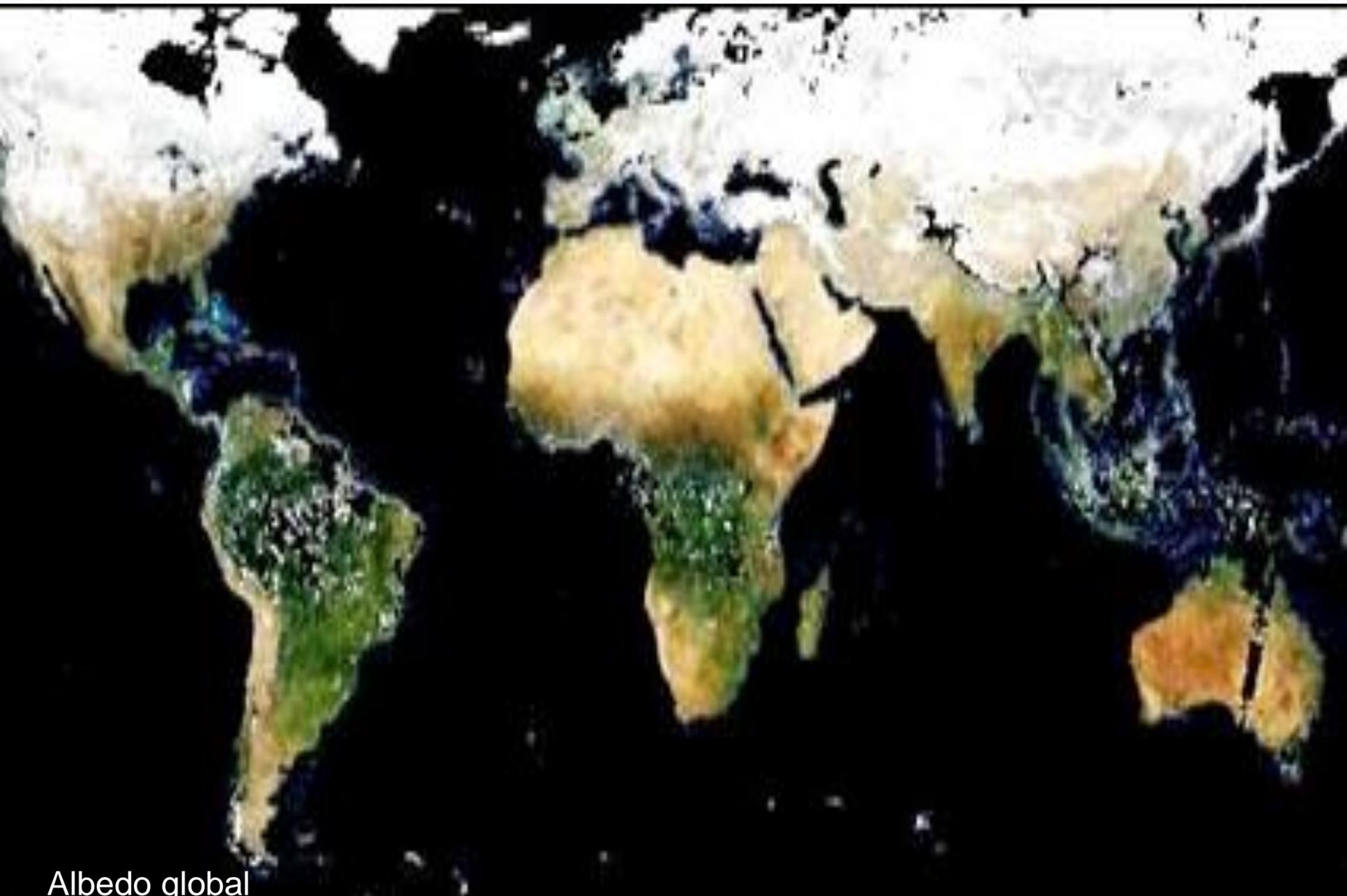
$$6 + 20 + 4 + 16 + 3 = 49 + 51 = 100$$

Ondas Longas



$$38 + 26 + 21 + 15 = 100$$

O Albedo da superfície ou coeficiente de reflexão da superfície é uma característica que depende, principalmente, da sua cor. O valor do albedo varia com as características ópticas da superfície; água ($r = 5\%$) e florestas ($r = 10$ a 15%) tem um albedo baixo, enquanto que as culturas e florestas tem albedo mais elevado ($r \approx 20\%$). Neve e areia tem os maiores albedos (entre 40 e 90%) - veja na figura as áreas de desertos e as geleiras.



Albedo global

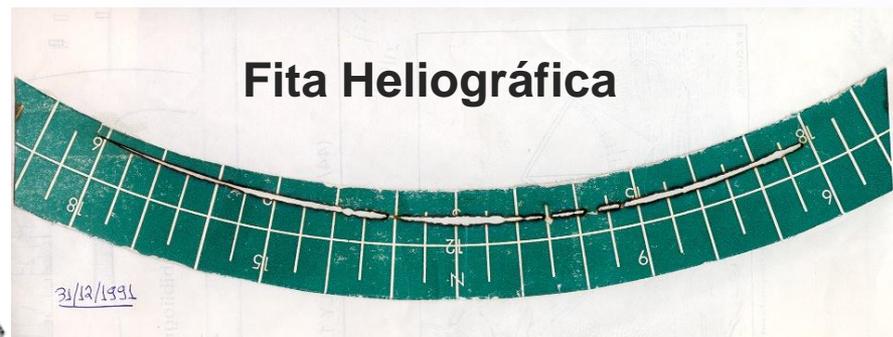
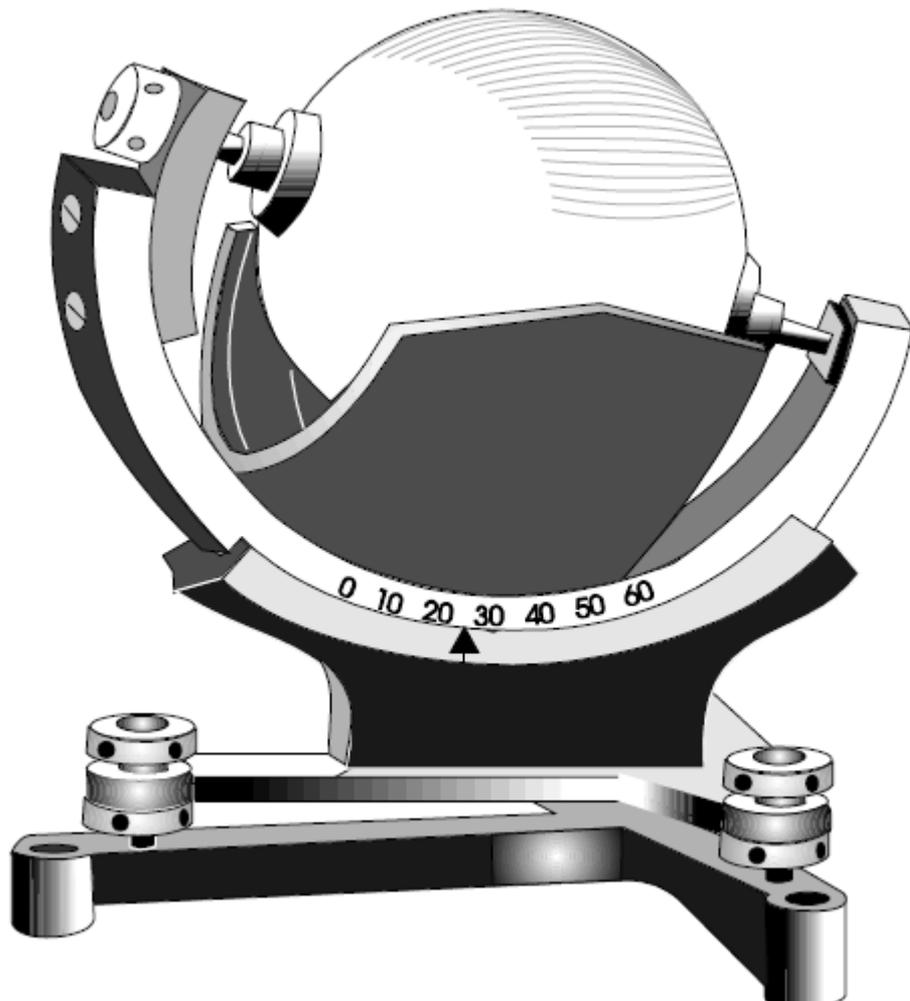
Albedo Médio de Algumas superfícies (porcentagem)

Solo descoberto	10-25
Areia, deserto	25-40
Gramma	15-25
Floresta	10-15
Neve (limpa, seca)	75-95
Neve (molhada e/ou suja)	25-75
Superfície do mar (sol > 25° acima do horizonte)	Menor que 10
Superfície do mar (pequena altura do sol)	10-70
Nuvens espessas	70-80
Nuvens finas	25-50

Observação: quando maior o albedo da superfície menos radiação solar absorve, portanto, aquece menos.

Equipamentos de medidas de Radiação Solar

Heliógrafo: Quantifica e registra o número de horas de brilho solar (n);

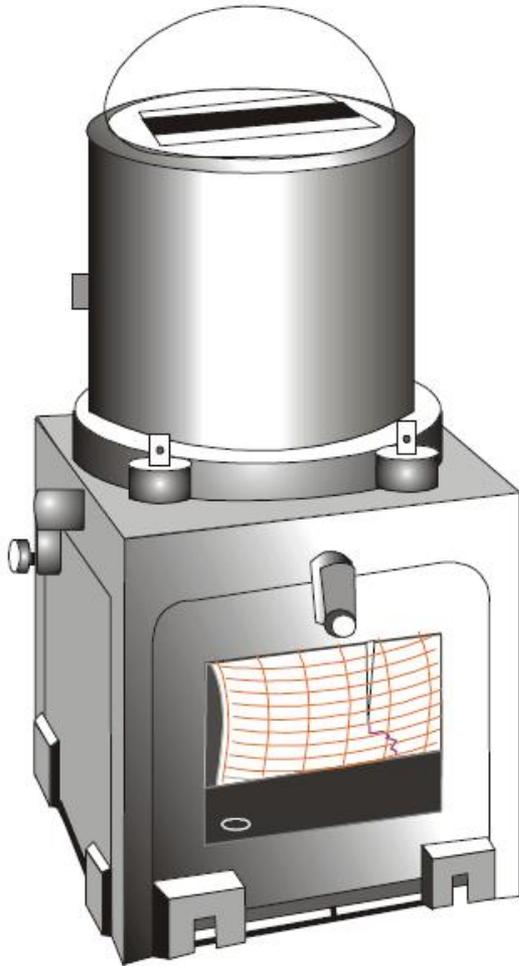


Fonte: Varejão-Silva, 2005

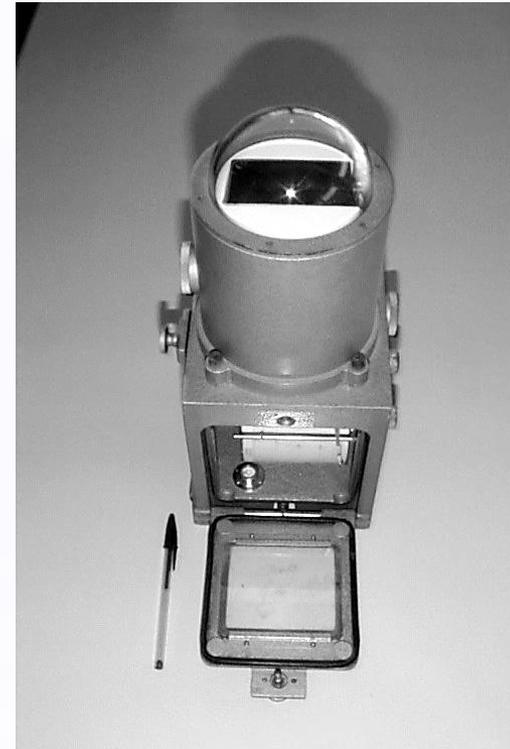
Fonte: www.inmet.gov.br

Equipamentos de medidas de Radiação Solar

Actinógrafo: Quantifica e registra o total de radiação solar global (Rglo) que chega em superfície. Equipamento de funcionamento mecânico.



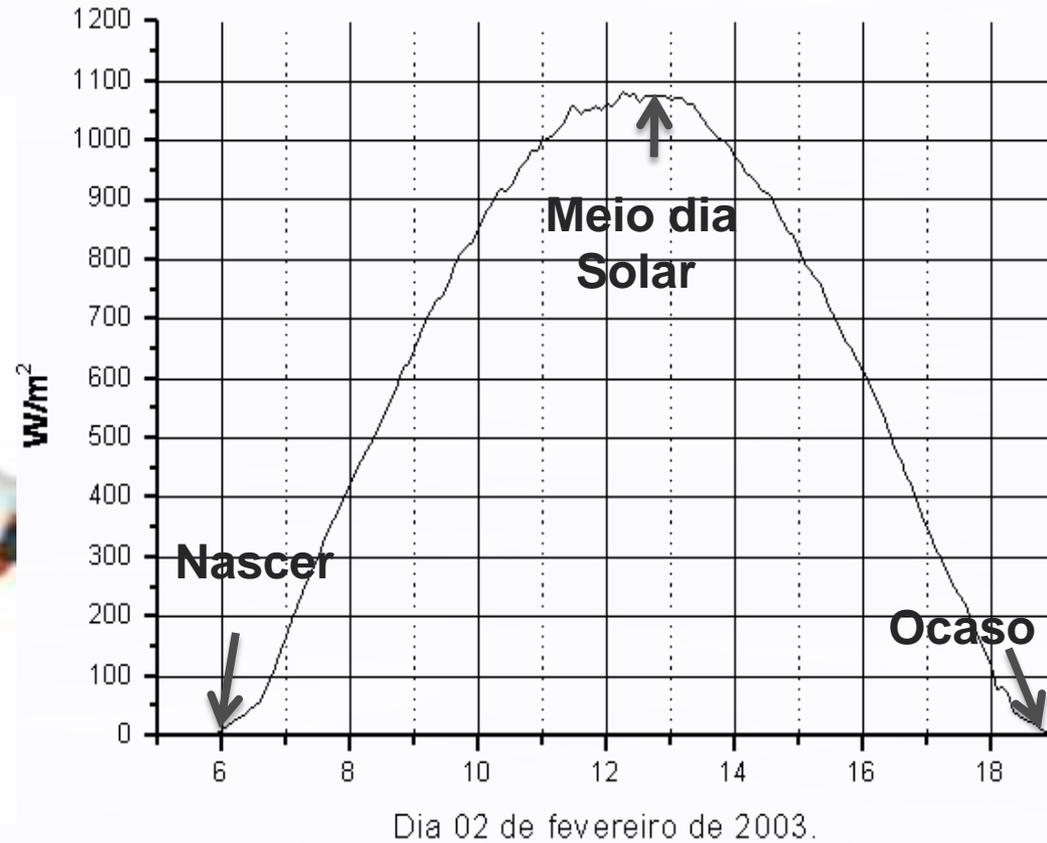
Fonte: Varejão-Silva, 2005



Fonte: Azevedo, 2005

Equipamentos de medidas de Radiação Solar

Radiômetro: Quantifica e registra o total de radiação solar global (Rglo) que chega em superfície. Equipamento eletrônico.



Fonte: www.campbellsci.com.br

Fonte: LCB/Dep. de Geografia, USP

**Radiação solar Global
Onda curta**

**Emissividade atmosférica
Onda Longa**

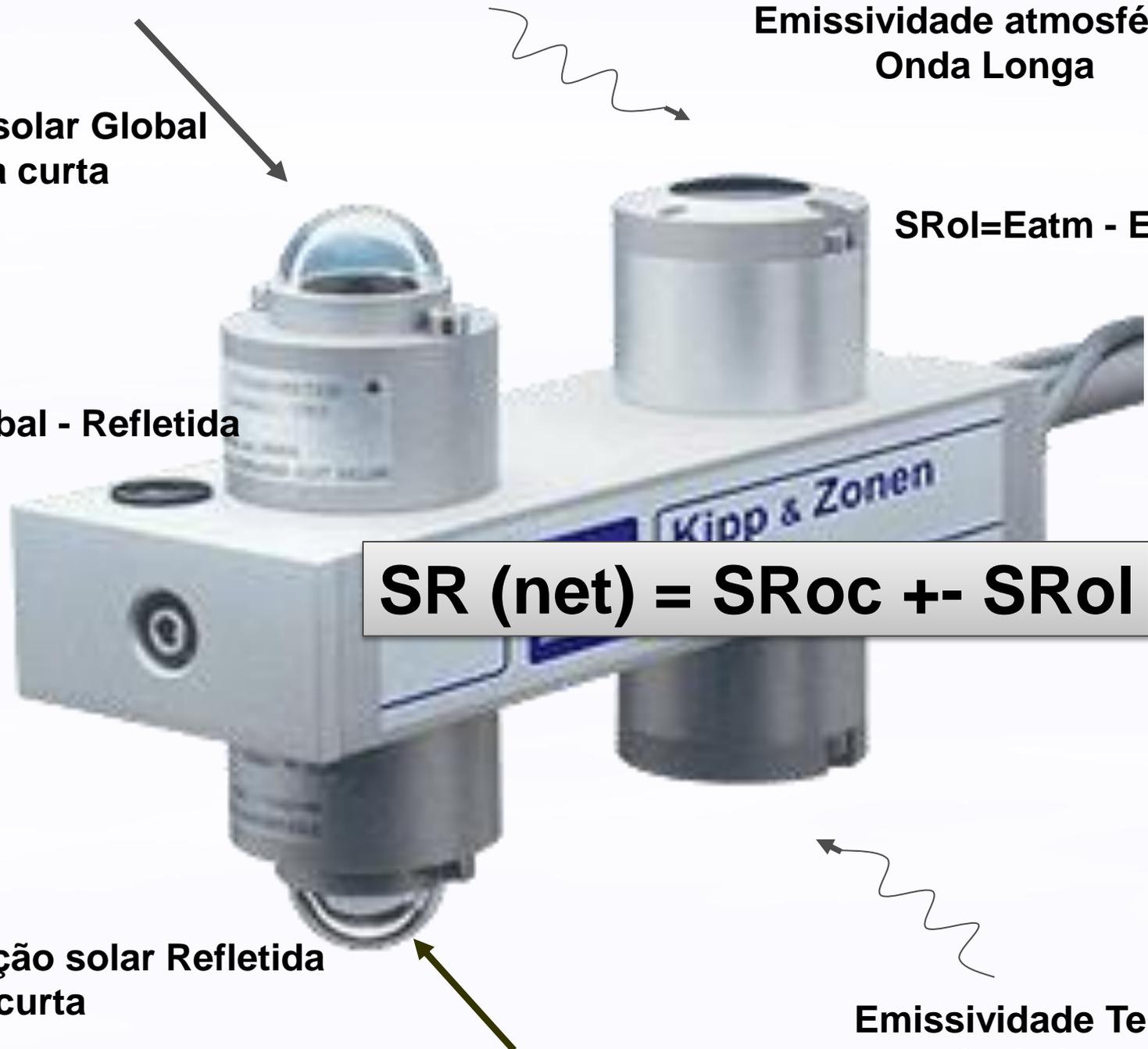
SRol=Eatm - Eter

SRoc=Global - Refletida

SR (net) = SRoc +- SRol

**Radiação solar Refletida
Onda curta**

**Emissividade Terrestre
Onda Longa**



Unidades de Irradiância Solar

**Valores
instantâneos**

SI \Rightarrow $\text{W/m}^2 = \text{J/m}^2\text{s}$

CGS \Rightarrow $\text{cal/cm}^2\text{min}$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J} \text{ ou } 1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal} \Rightarrow 1 \text{ cal/cm}^2\text{min} = 696,67 \text{ W/m}^2$$

**Valores
diários**

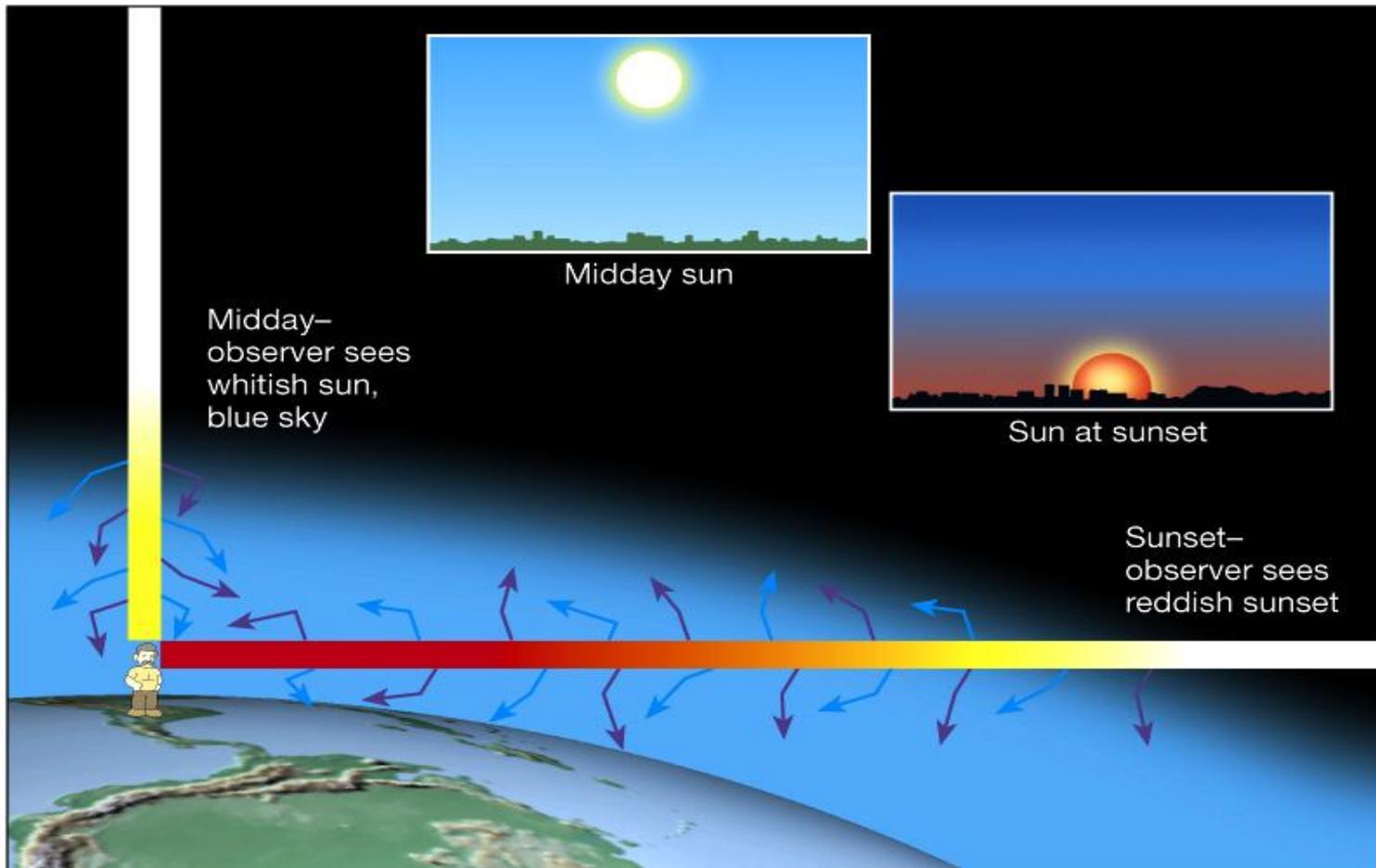
SI \Rightarrow $\text{MJ/m}^2\text{dia}$

CGS \Rightarrow $\text{cal/cm}^2\text{dia}$

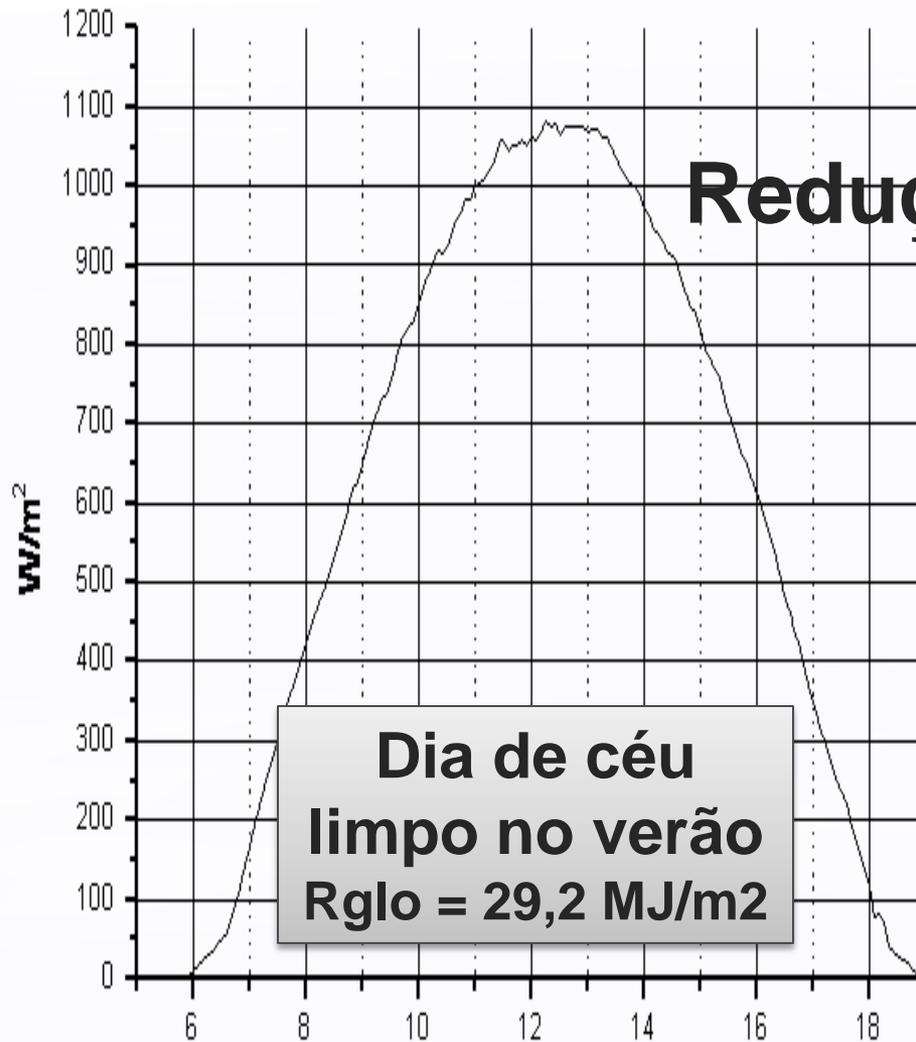
$$1 \text{ MJ/m}^2\text{dia} = 23,923 \text{ cal/cm}^2\text{dia}$$

$$\text{ou } 1 \text{ cal/cm}^2\text{dia} = 0,0418 \text{ MJ/m}^2\text{dia}$$

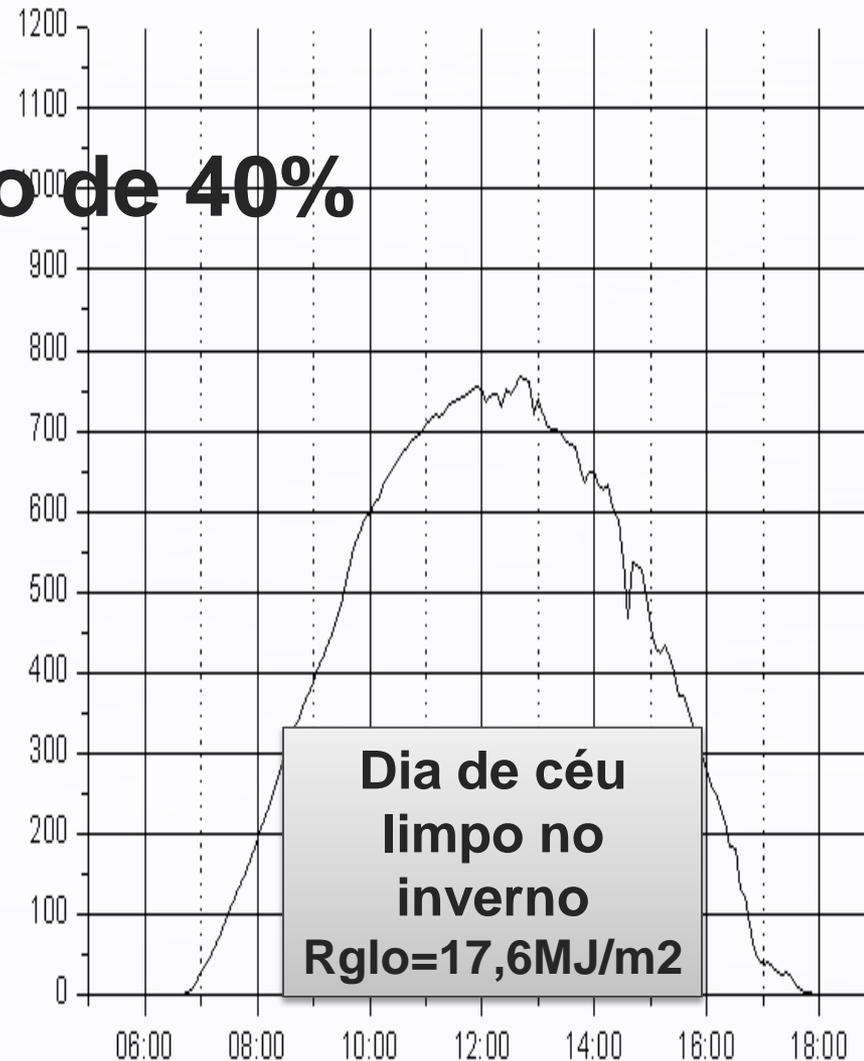
Os valores instantâneos da irradiância solar global na superfície sofrem grandes variações temporais e espaciais em função das condições atmosféricas, especialmente umidade e nebulosidade, e também da época do ano e hora do dia, pois ocorre variação da camada da atmosfera a ser atravessada pela radiação solar.



Radiação solar global para um dia de verão e de inverno em São Paulo, SP

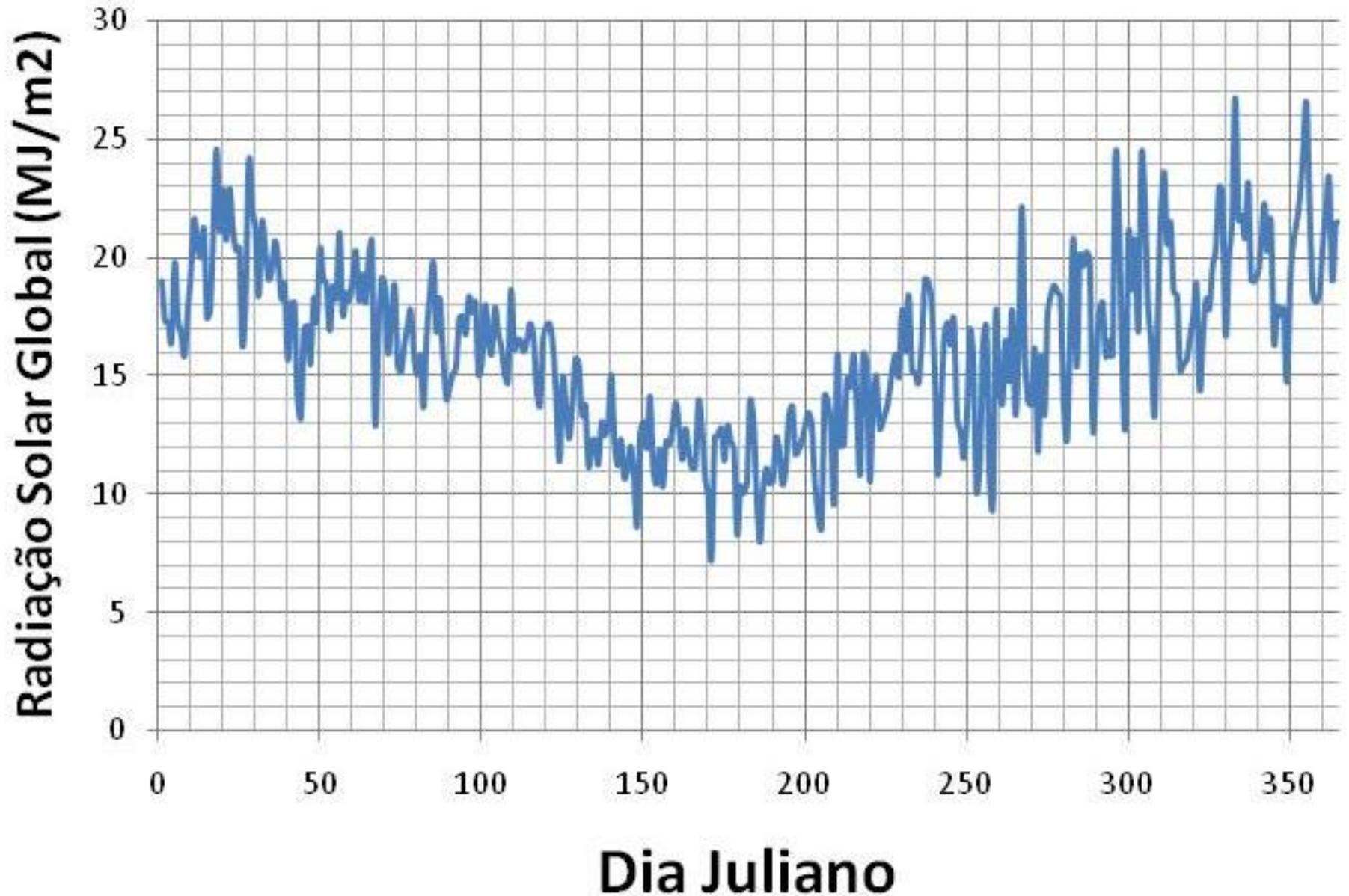


Dia 02 de fevereiro de 2003.



Dia 05 de agosto de 2003.

Radiação solar global média em São Paulo, SP



Radiação solar global para o Brasil

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL

Anual

CARTA 3.14

Radiação solar global diária, média anual
(MJ/m².dia)



Coordenador do Projeto
Chiquero Tiba

GRUPO INE - Grupo de Pesquisa em Fontes Alternativas de Energia CENEC/UFPE
Chiquero Tiba / Naum Frideiraich

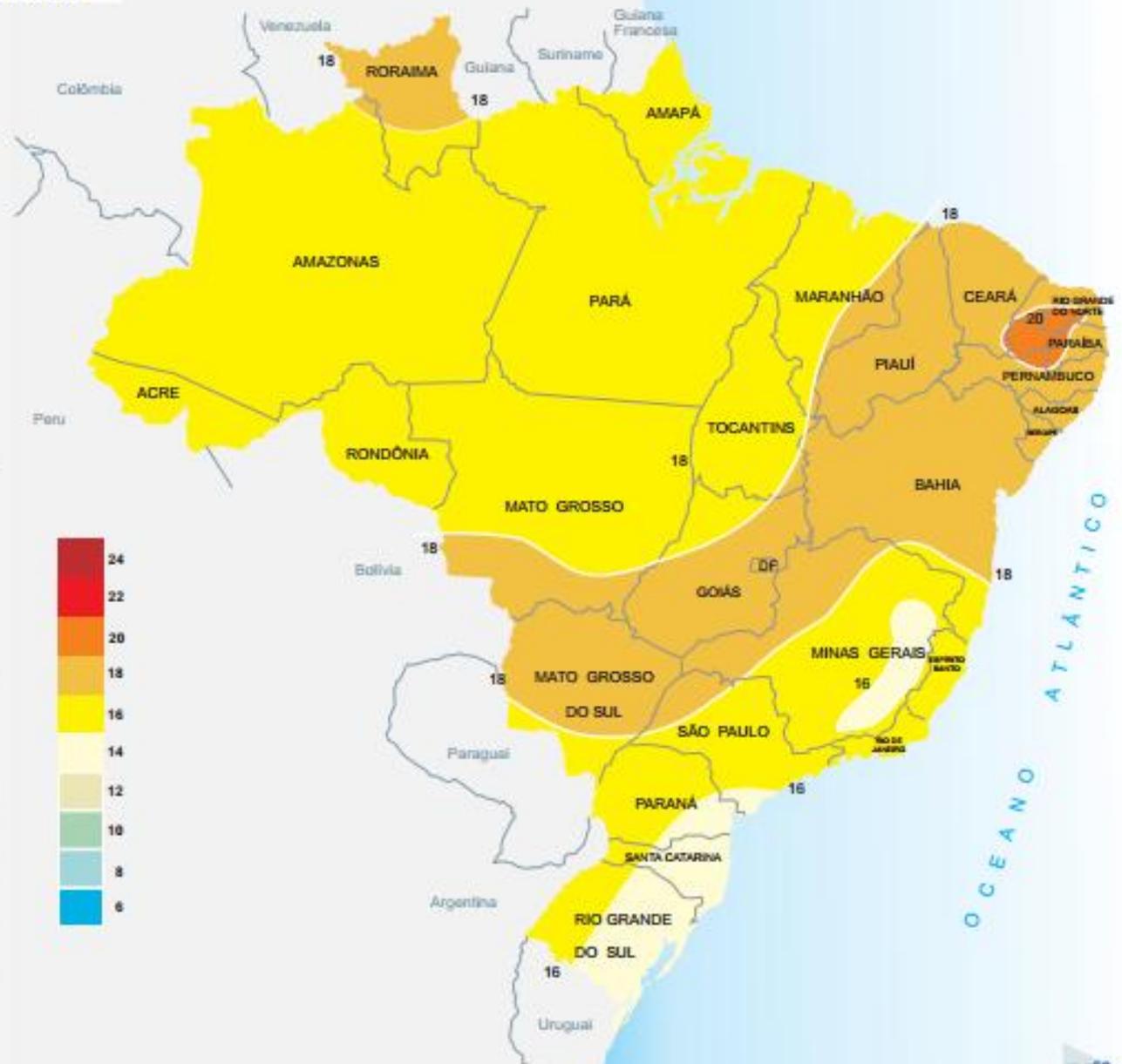
CESEP - Comissão Nôdo Editorial de São Francisco
Francisco José Maciel Lyra / Ângela M. De Barros Nogueira

CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

Consultor Técnico
Hugo Gross/Gallegos

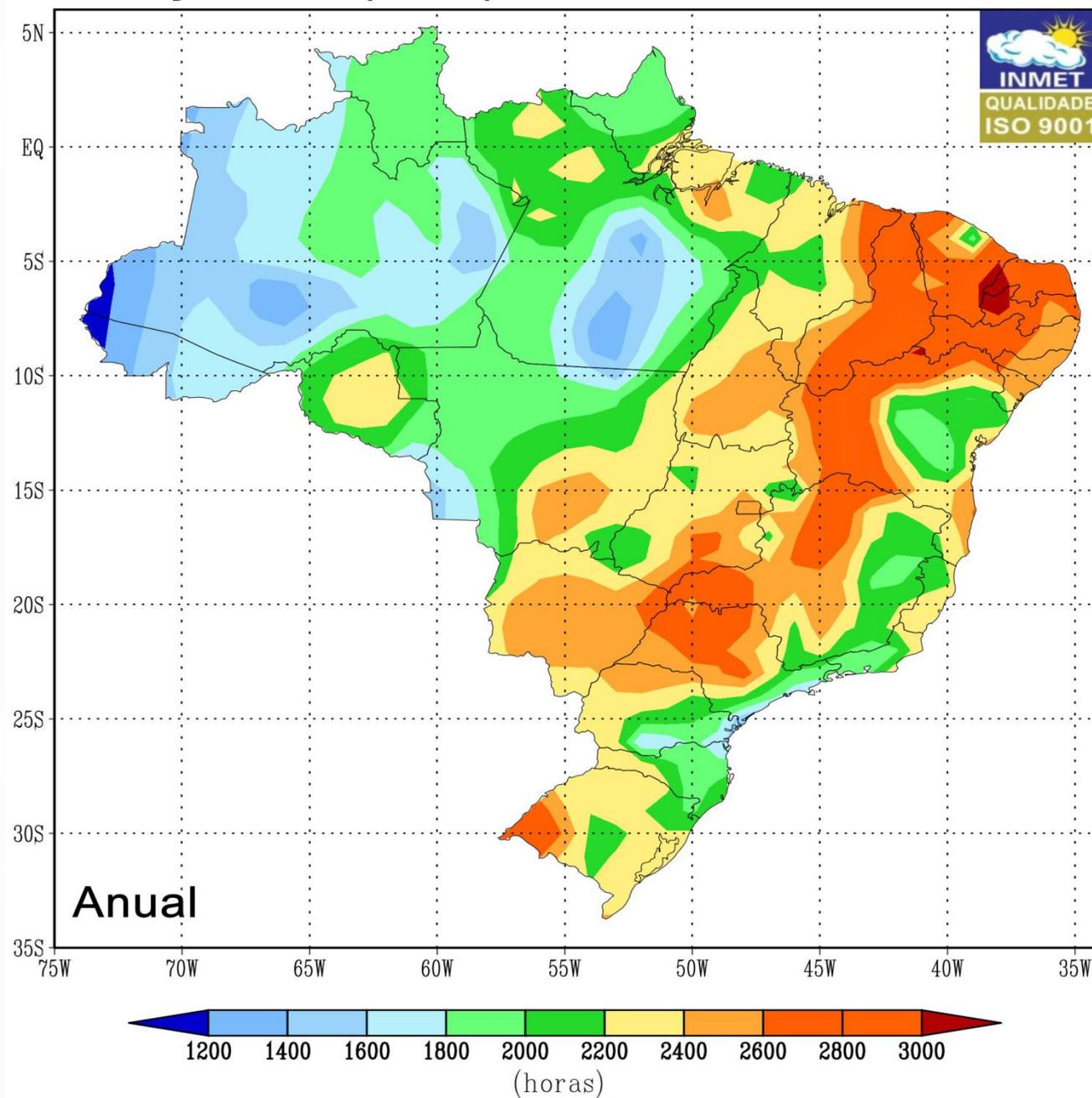
ESCALA GRÁFICA

0 50 100 150 200 250 km



Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990

Insolação Total (horas)



**Variação espacial
da Insolação (n)
no Brasil**

Retomando:

- O Sol,**
- Componentes da Radiação Solar,**
- Balanço de radiação solar,**
- Equipamentos de medidas,**
- Variação temporal e espacial da radiação solar e da insolação,**
- Leitura complementar.**
- Exercício 3.**