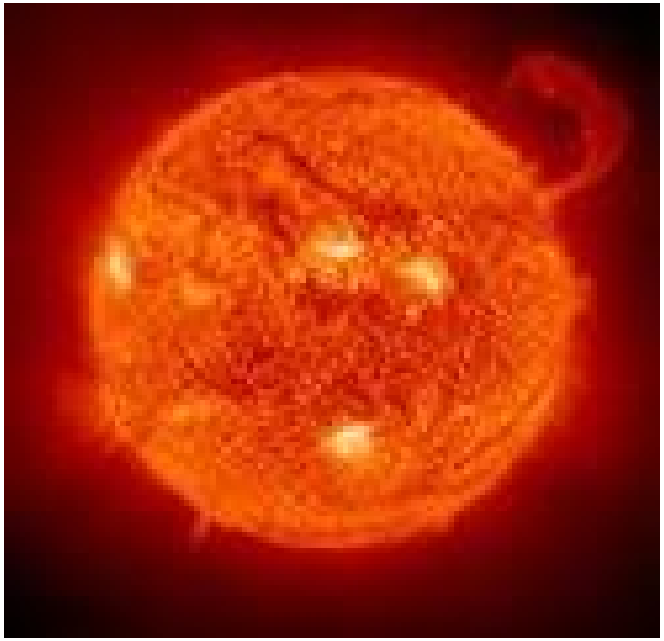
Introdução à Astrofísica

O Sol

Rogemar A. Riffel

Dados gerais

- Raio: 6.96×10^8 m ~100 x R_{Terra}
- Massa: $1,99 \times 10^{30}$ kg ~ 300000 x M_{Terra}
- Temperatura superficial: 6000 K
- Distância média à Terra:149 597 892 km
- Temperatura central: 15 milhões K
- Luminosidade: = $3,9 \times 10^{26}$ Watts = $3,9 \times 10^{33}$ ergs/s

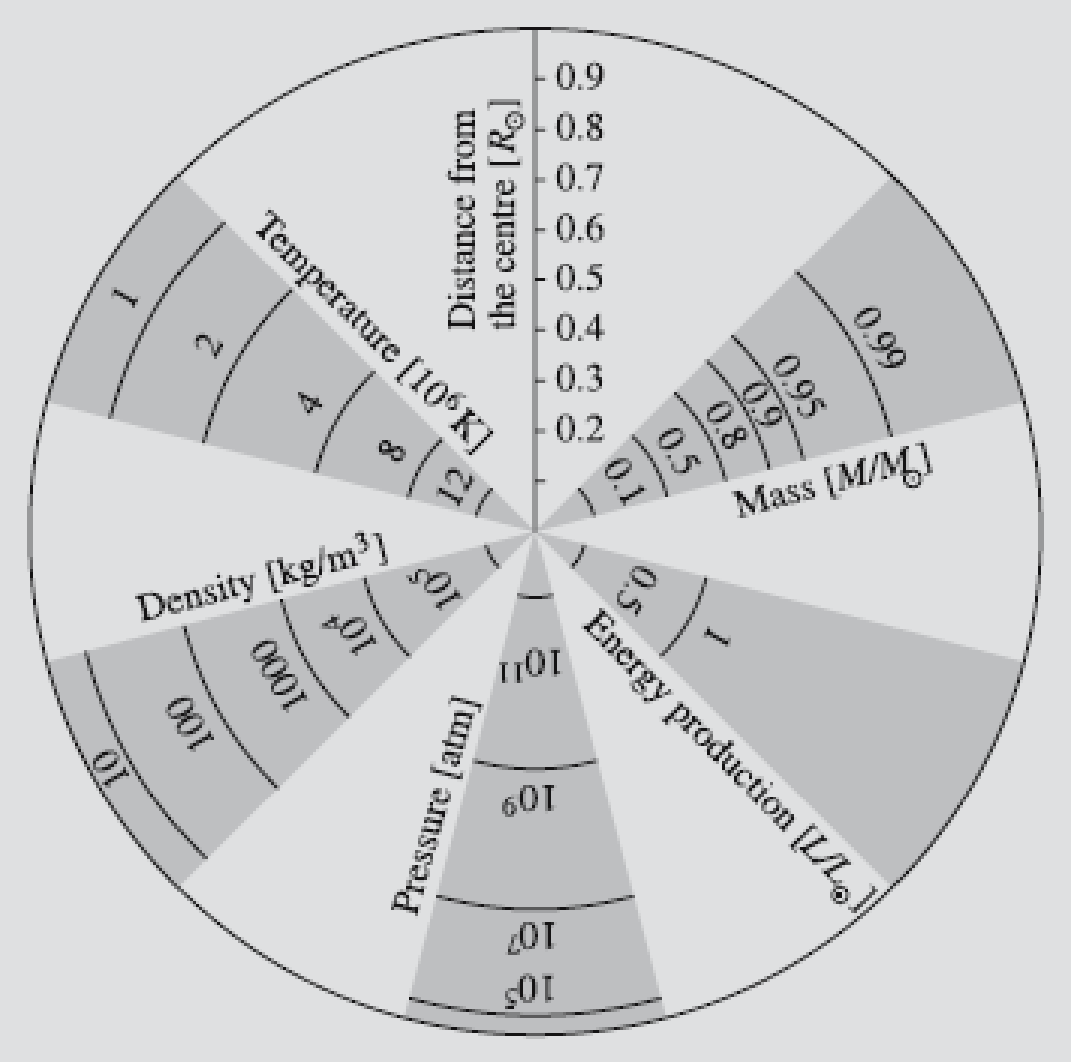


- Fluxo na Terra (constante solar): 1367 watts/m^2 (equivale a ter 14 lâmpadas de 100 W iluminando uma área de 1 metro quadrado)

Dados gerais

- Densidade média: 1400 kg/m³ (parecida com a da água)
- Densidade central: 160000 kg/m³ (aprox. 15 vezes a densidade do chumbo)
- Período de rotação: 25 dias no equador, 34 dias nas regiões polares
- Composição: gás (H e He)
- Geração de energia: reações termonucleares

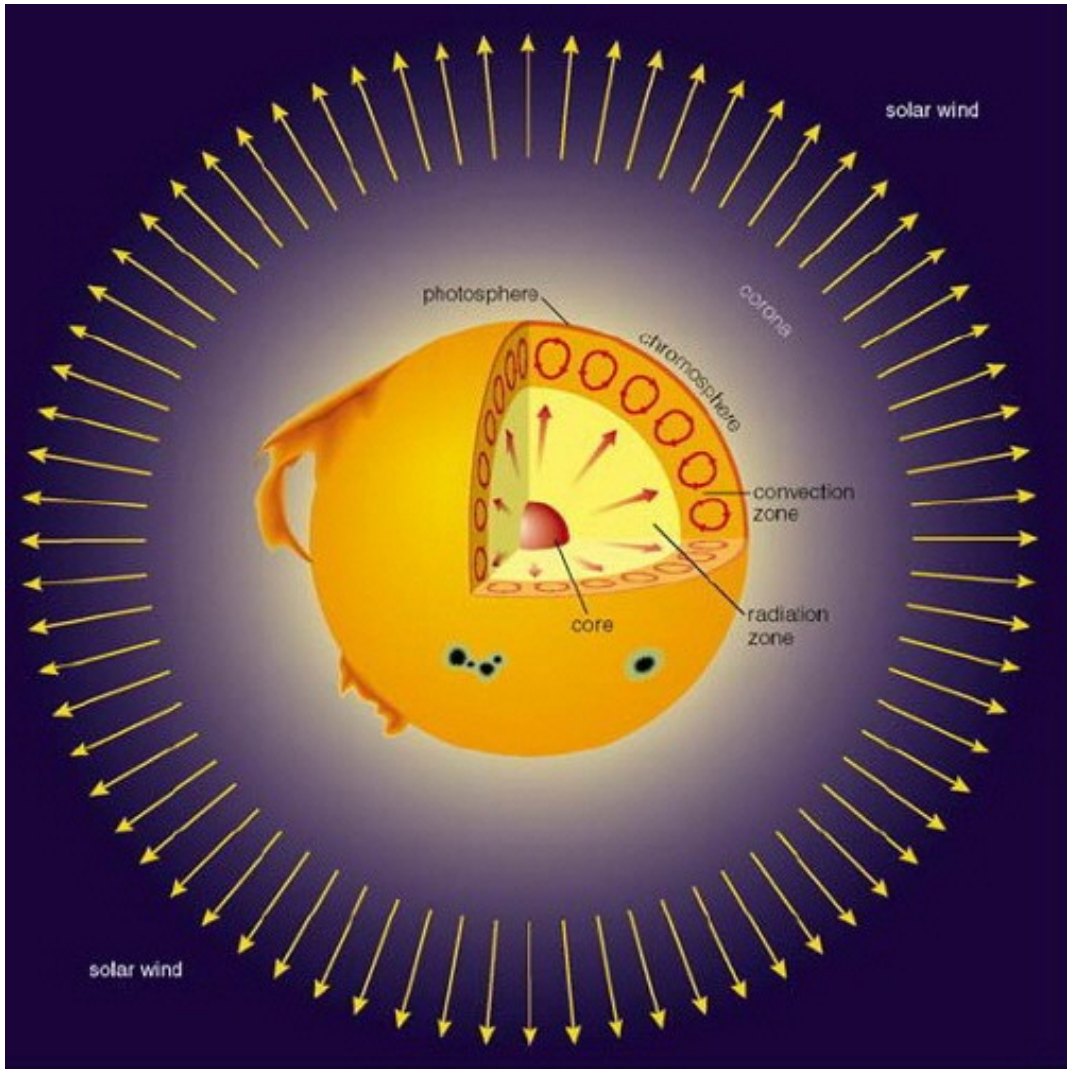
Dados gerais



Composição: principalmente H e He

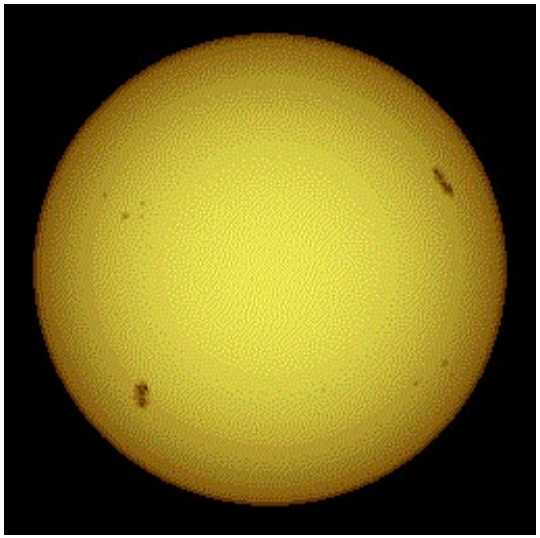
99% da energia solar é produzida interno a R/4

A estrutura do Sol

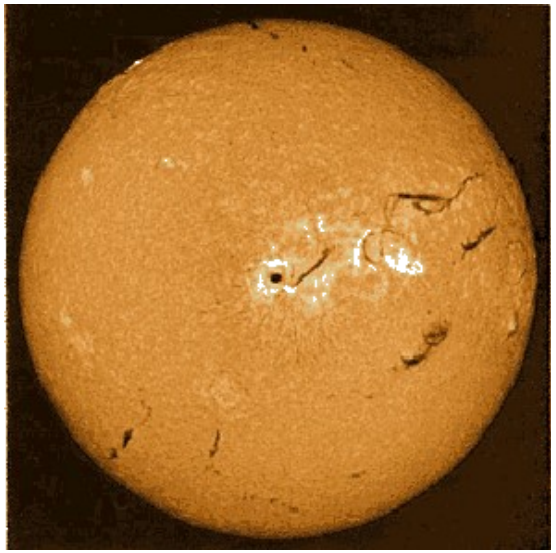


A Fotosfera

- espessura = 500 km
- temperatura = 6000 K.
- vista em luz branca, aparece lisa e amarela, com algumas manchas escuras superpostas (as **manchas solares**).
- imagens de alta resolução revelam as **granulações** fotosféricas



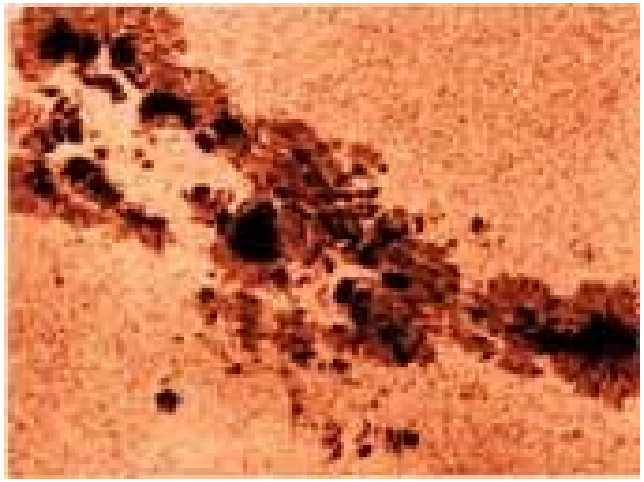
Luz Branca

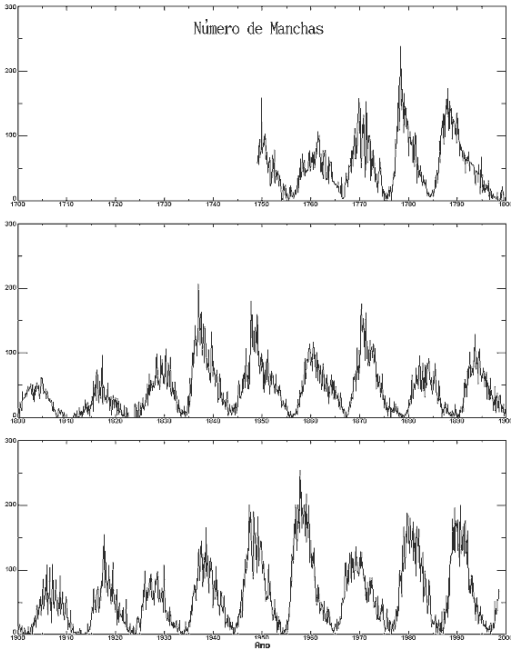


Halpha

A Fotosfera – manchas solares

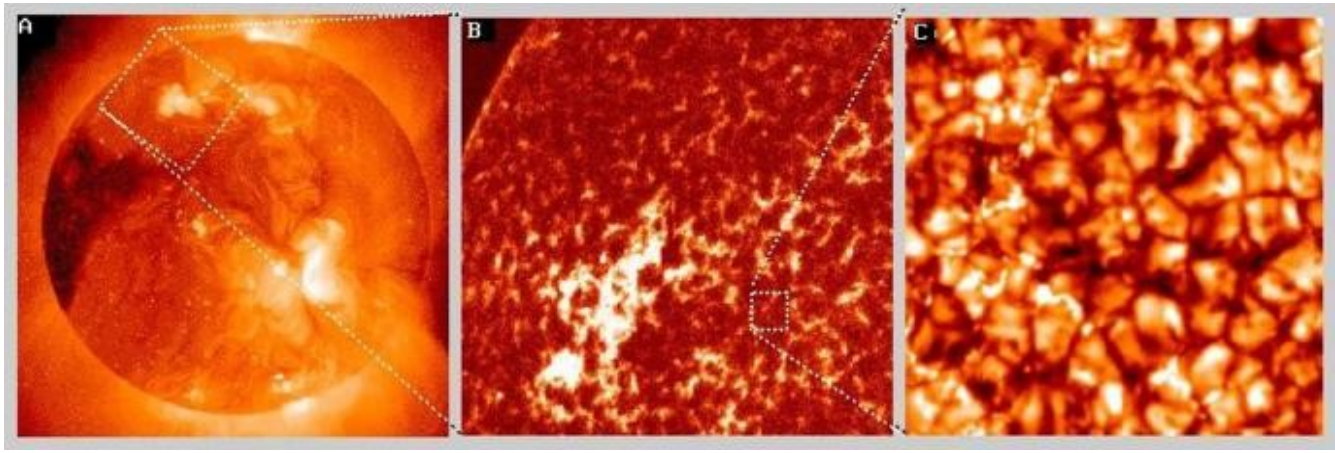
- são regiões mais frias da fotosfera (4000 K), por isso aparecem mais escuras.
- têm uma parte central mais escura (umbra), circundada por uma região mais clara (penumbra).
- duram em torno de 1 semana.
- tendem a se formar em grupos
- estão associadas a intensos campos magnéticos
- aumentam e diminuem de número num ciclo de 11 anos (ciclo de atividade solar)





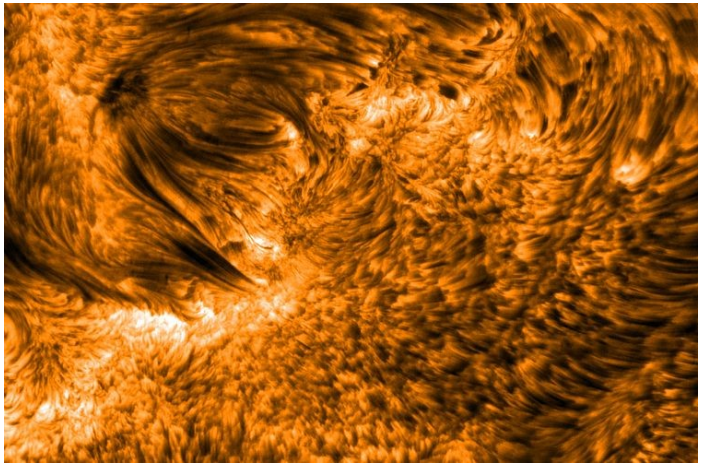
A Fotosfera – granulações

- pequenas regiões brilhantes (mais quentes) circundadas por regiões escuras (mais frias) que dão à fotosfera uma aparência granular;
- efeito de convecção (bolhas de gás): gás quente sobe, gás frio desce.
- diâmetro das bolhas ≈5000 km
- duração ≈ 15 minutos



Cromosfera

- É uma camada estreita e rarefeita que só aparece quando a fotosfera é coberta, como em eclipses.
  - espessura: 10000 km
  - temperatura: varia de 4300 K na base a mais de 40 000 K no topo.

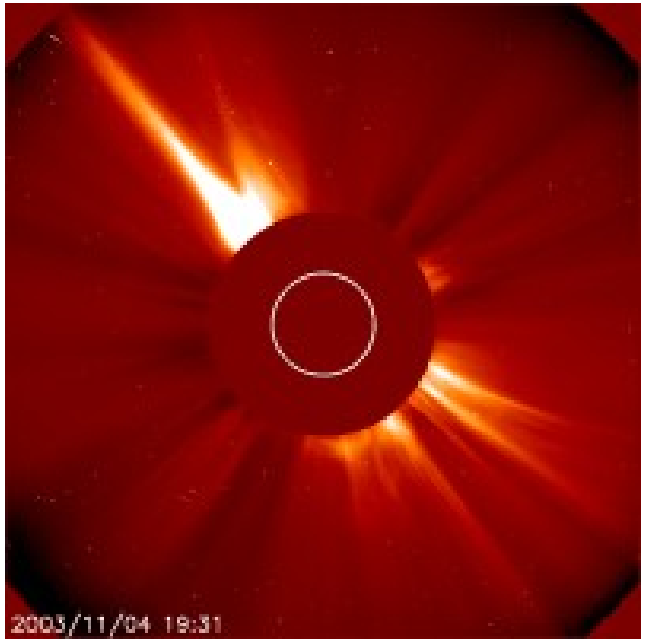


- **Espículas:** colunas de gás frio dentro da cromosfera

- **Proeminências:** grandes jatos de gás que se elevam acima da fotosfera

Coroa

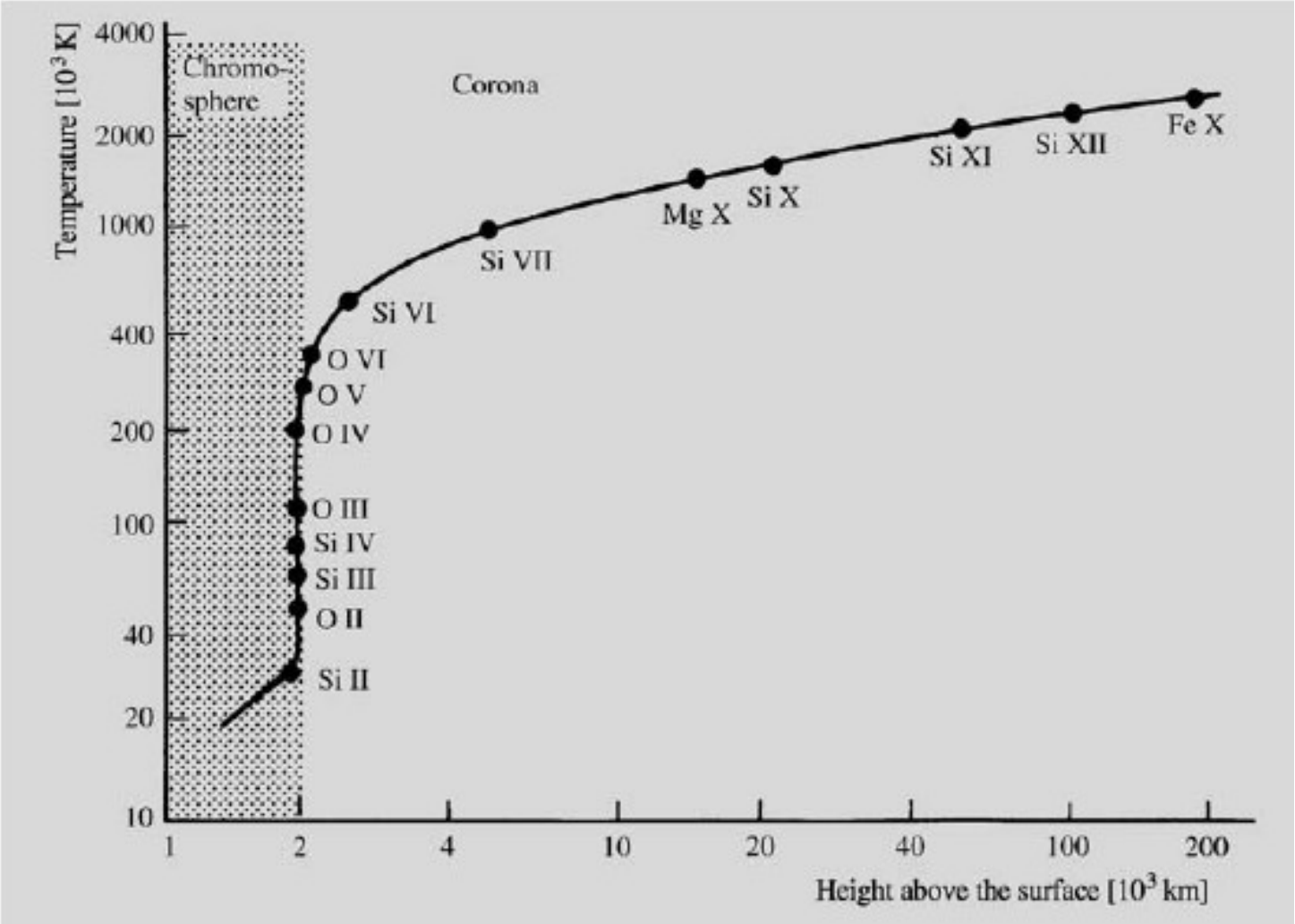
- Estende-se de 2 até 10 raios solares.
- temperatura: até 10^6 K.
- perda de massa: vento solar e ejeção de massa coronal (durante flares)



Flares (fulgurações)

- grandes explosões na superfície do Sol
- causa: armazenamento de energia em campos magnéticos (aquecimento por correntes elétricas) que é liberada quando o campo fica muito denso.
- grandes flares liberam gás junto com a energia (ejeção de massa coronal)
- energia liberada ≈ 100

Coroa Solar – Espécies altamente ionizadas



Vento solar

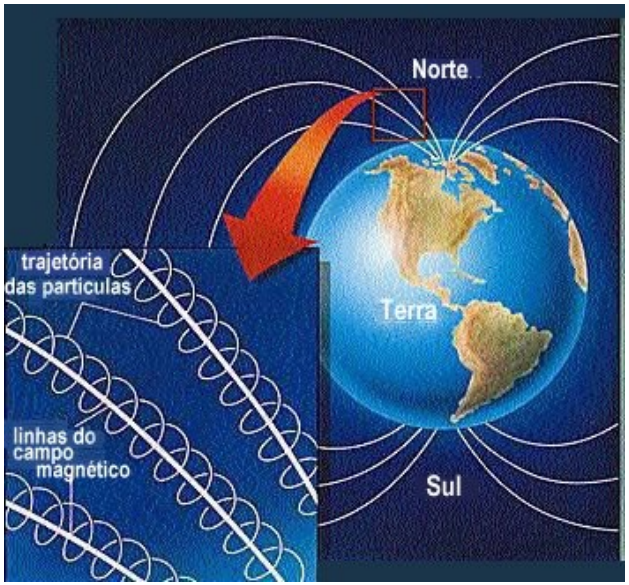
- partículas (principalmente prótons e elétrons) emanadas das regiões ativas do Sol
- velocidade: 300-800 km/s
- causa perda de massa do Sol em torno de 10^{-13} Msol/ano
- na Terra, causa as auroras.

Vento Solar

- As partículas do vento solar são capturadas pelo campo magnético da Terra;

- Colidem com as partículas da atmosfera, causando efeitos como dissociação, excitação e ionização.

- Quando as partículas se recombinam ou voltam ao seu estado anterior, elas emitem luz



Vento Solar

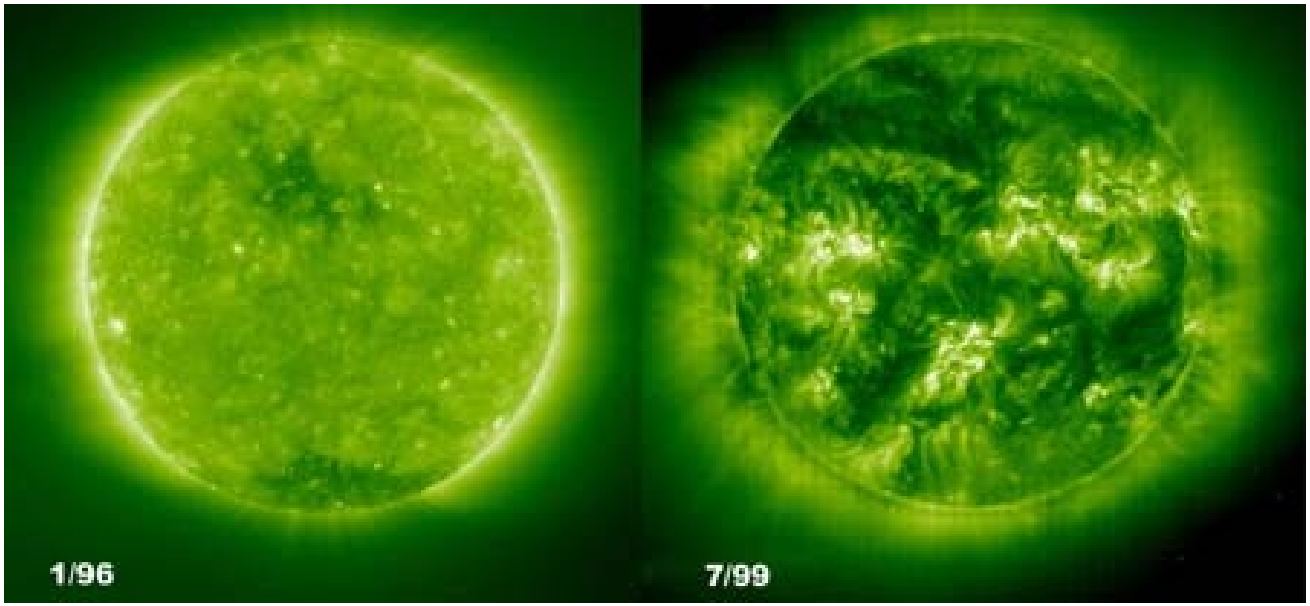
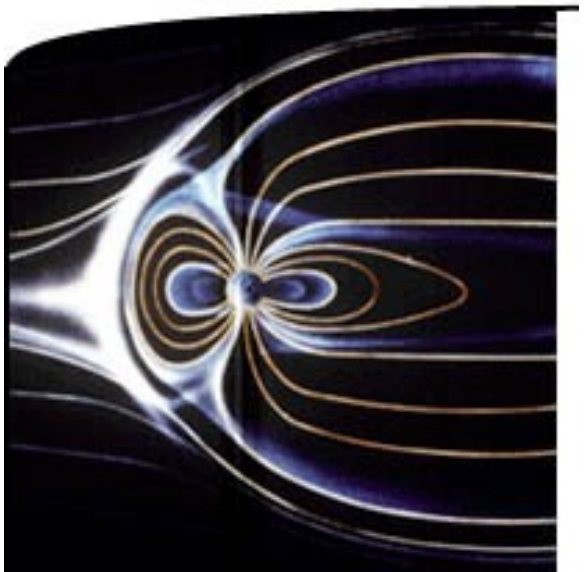
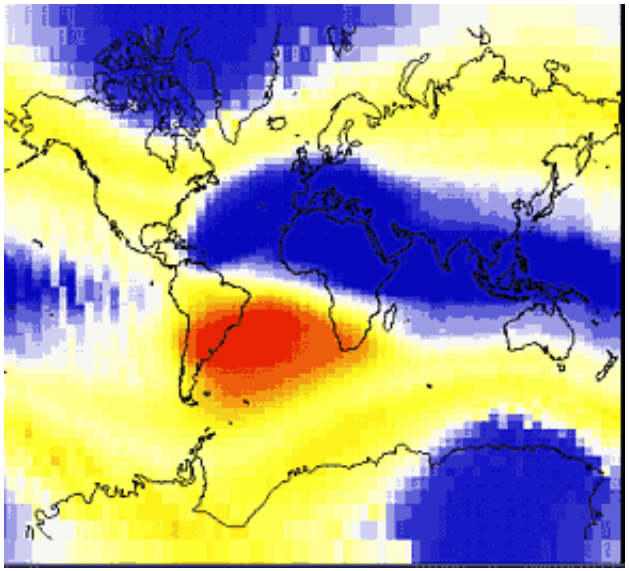


Imagem do Sol em 1710 Å, mostrando o Sol no ano de 1996 (mínimo) e em 1999 (máximo).

Normalmente as partículas carregadas são desviadas pelo campo magnético da Terra e somente chegam à Terra próximas aos pólos

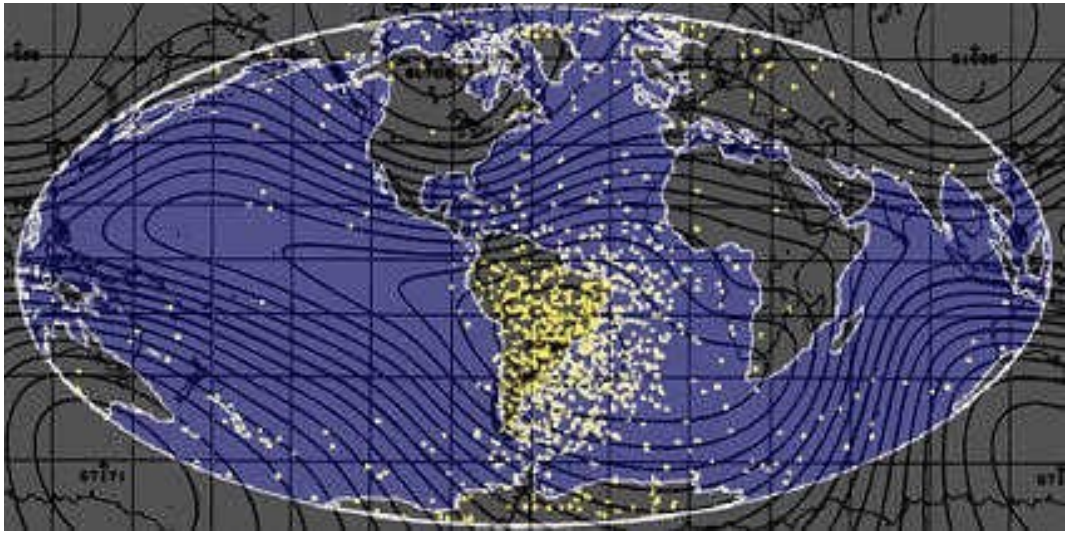


Anomalia Magnética do Atlântico Sul



Fluxo de elétrons de alta energia (>30 KeV) próximos do solo

Quando partículas do vento solar atingem a Terra causam danos às redes elétricas e aos satélites



Cada ponto branco ou amarelo marca a posição de um satélite onde ocorreu defeito na memória do computador

Efeitos das ejeções coronais de massa na Terra

- Danos a satélites

- Erro no posicionamento de navios e aviões de vários quilômetros, tanto pelo sistema GPS, quanto pelos sistemas Loran e Omega, por instabilidades no plasma da ionosfera terrestre, causando cintilação na amplitude e fase do sinal.

- Danos às redes de energia elétrica, induzindo voltagens de milhares de volts e queimando transformadores.

- Danos nas tubulações metálicas de gasodutos, já que as correntes induzidas aumentam drasticamente a corrosão,

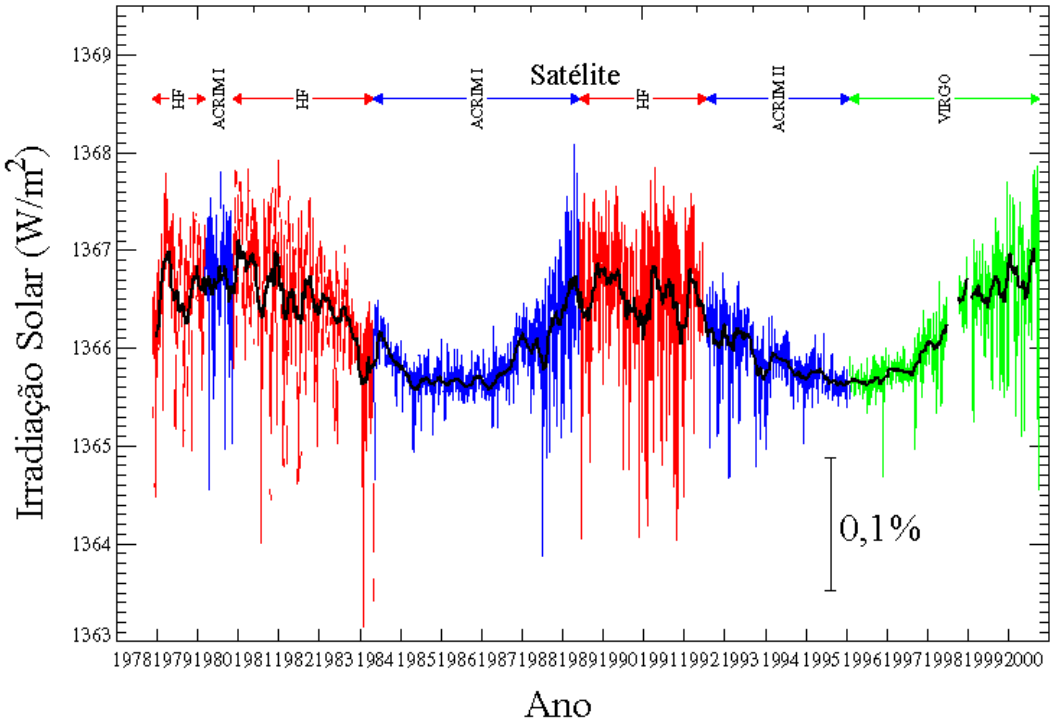
- Aumentam também a incidência de radiação ionizante nas pessoas, principalmente em vôos de alta altitude, como vôos supersônicos e astronáuticos.

Constante Solar

- Quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média Terra-Sol

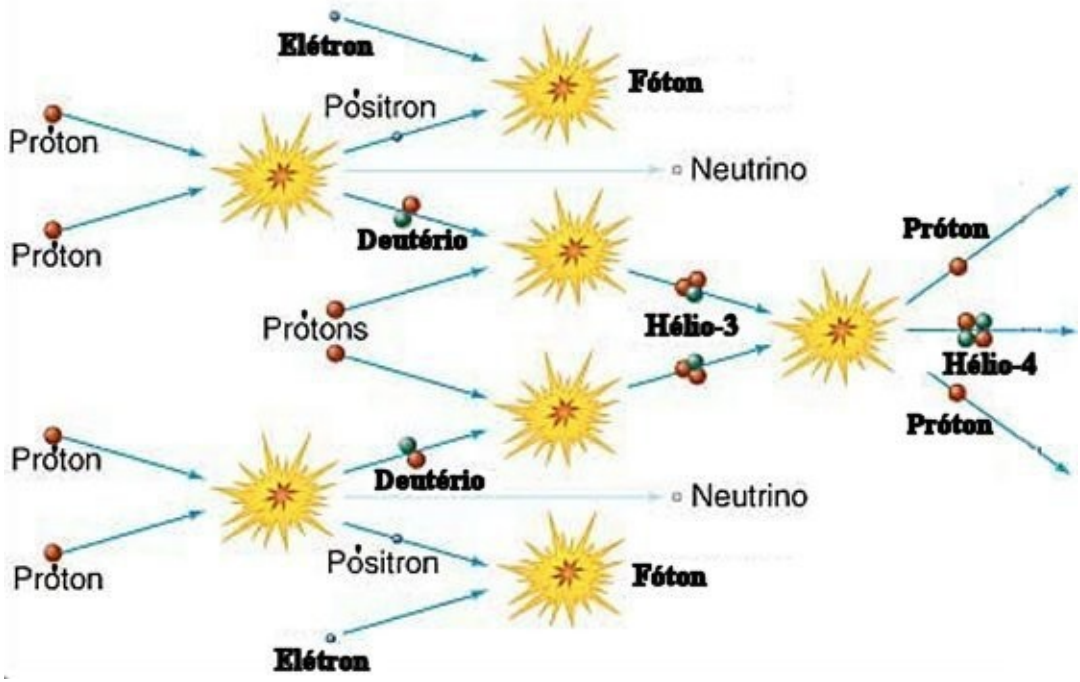
- Valor: 1367 W/m² (medido por satélites logo acima da atmosfera terrestre)

- Varia, dependendo da época no ciclo de 11 anos, de 1364,55 a 1367,86 Watts/m²



Fonte de energia do Sol

- reações termo-nucleares (Hans Bethe, 1937)
- fusão termonuclear: 4 núcelo de hidrogênio (4 prótons) se fundem para formar 1 núcleo de hélio (partícula α)



- O processo é descrito pela equaç $4\mathrm{H} \rightarrow \mathrm{He}^4 + 2e^+ + 2\nu_e + \gamma$

Fonte de energia do Sol

- Questão: Assuma que o Sol converte 0.8% de sua massa em energia. Encontre um limite superior para a idade do Sol, assumindo que sua luminosidade permaneceu constante.

- R: $t \sim 10^{11}$ anos

- Idade do Sol: 4,5 bilhões de anos.
- A luminosidade do Sol já foi maior.