

Fundamentos de Astronomia e Astrofísica

A photograph of a sunset over a body of water. The sun is a bright, glowing orb in the upper center, casting a long, shimmering reflection down the center of the water. The sky is a gradient of orange and yellow, and the water is dark with a bright path of light. The horizon is visible in the distance with some silhouettes of land.

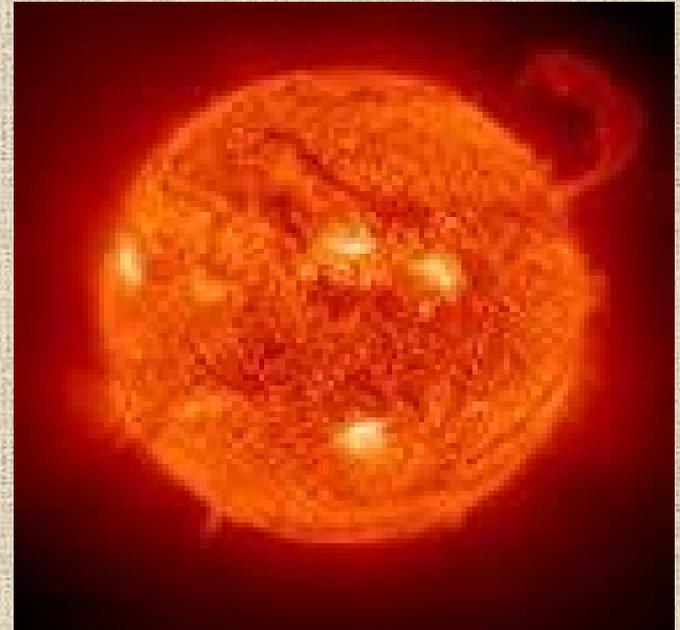
O Sol

Rogério Riffel

<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>

Dados gerais

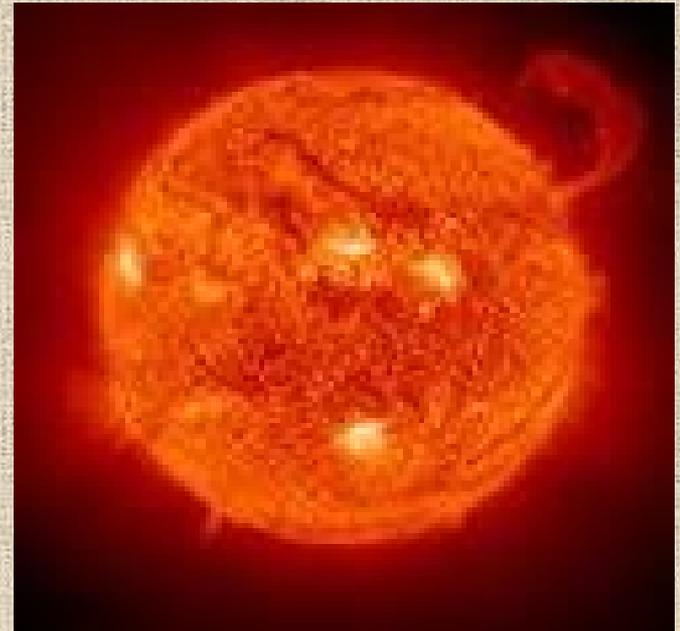
- Maior objeto do sistema solar
- Diâmetro (da fotosfera): 1 391 980 km
(100 X diâmetro da Terra)
- Massa: $1,99 \times 10^{30}$ kg (300 000 x massa da Terra)
- Temperatura superficial: 6000 K
- Distância média à Terra: 149 597 892 km
- Temperatura central: 10 milhões K
- Luminosidade: $= 3,9 \times 10^{26}$ Watts = $3,9 \times 10^{33}$ ergs/s



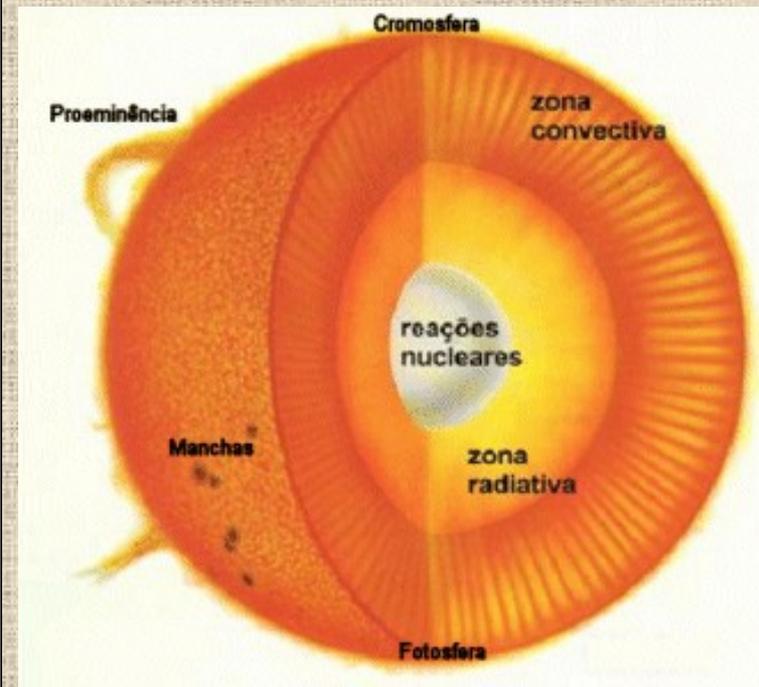
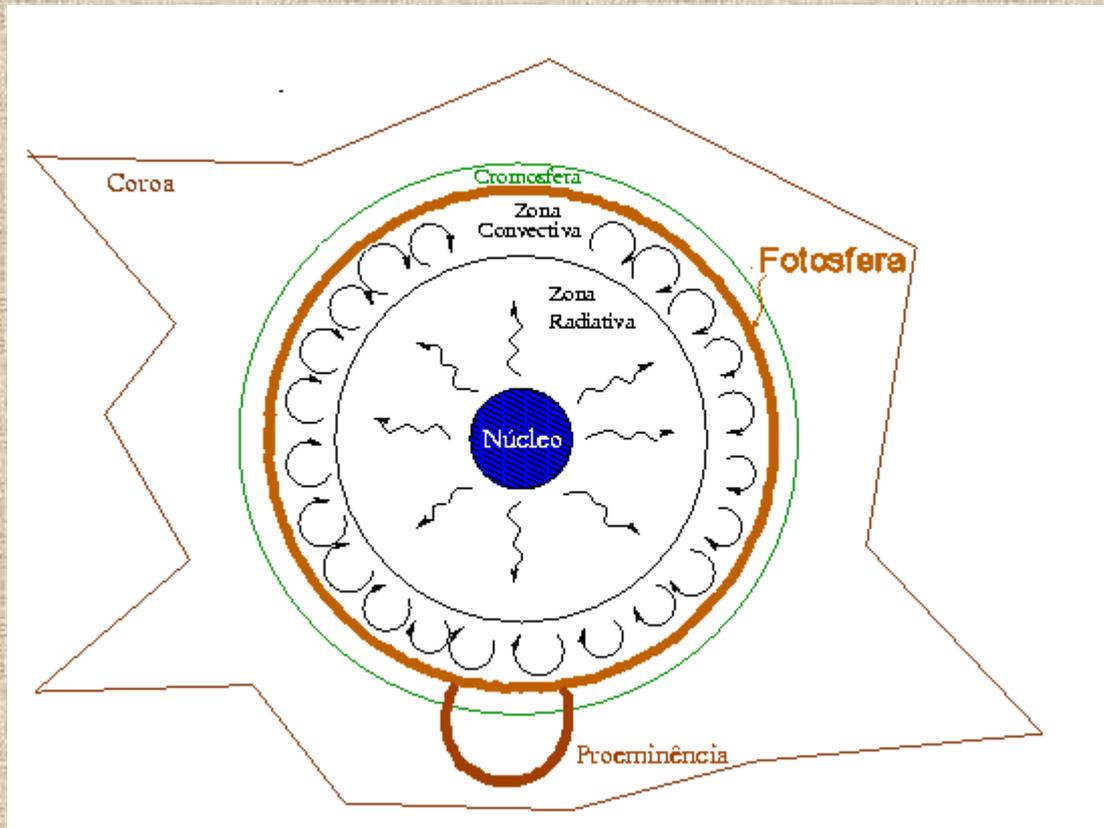
- Fluxo na Terra (constante solar): 1367 watts/m² (equivale a ter 14 lâmpadas de 100w iluminando uma área de 1 metro quadrado)

Dados gerais

- Densidade média: 1400 kg/m^3 (parecida com a da água)
- Densidade central: 160000 kg/m^3 (aprox. 15 vezes a densidade do chumbo)
- Período de rotação: 25 dias no equador, 34 dias nas regiões polares.
- Composição: gás (H e He) incandescente.
- Geração de energia: reações termonucleares

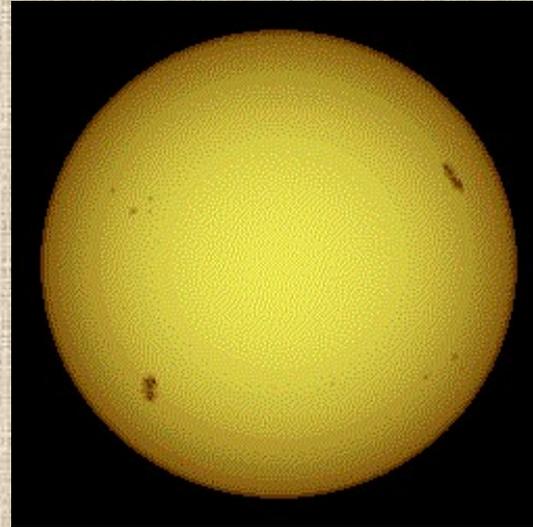


A estrutura do Sol

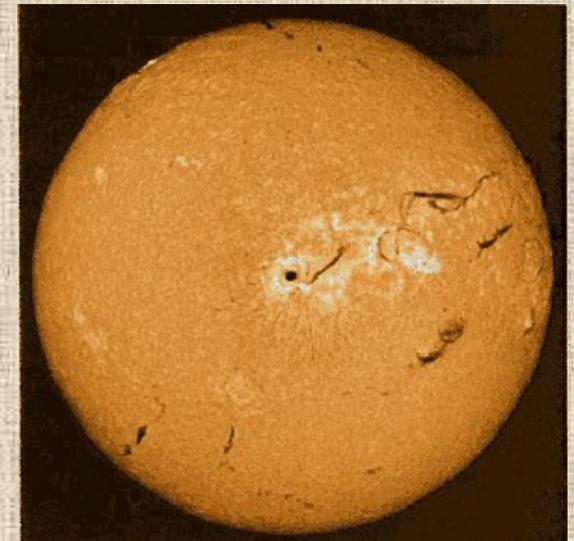
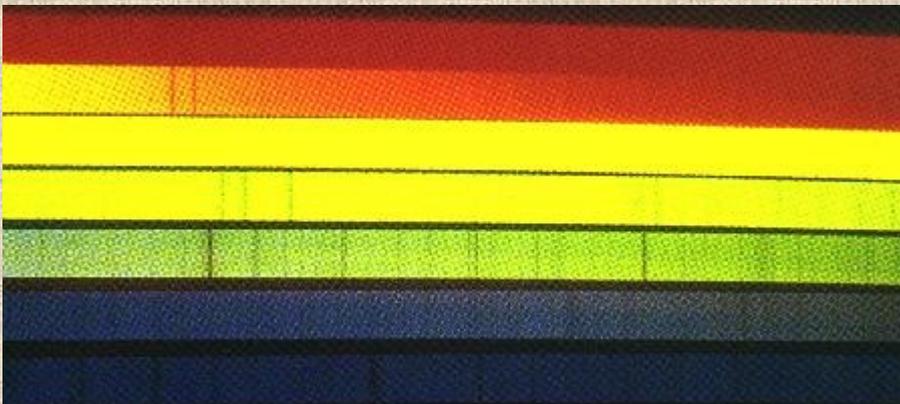


A Fotosfera

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



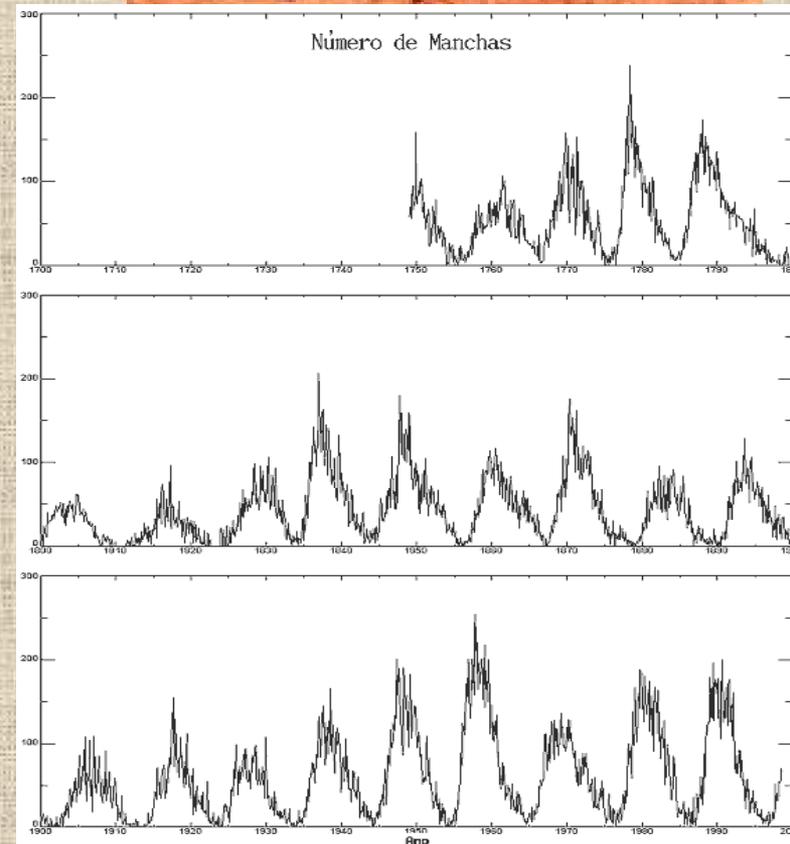
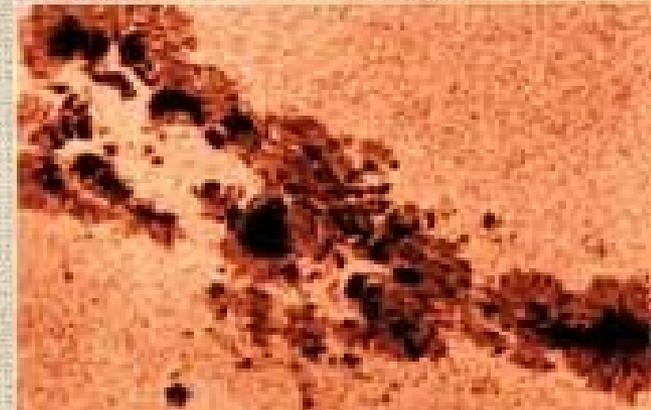
Luz Branca



Halpha

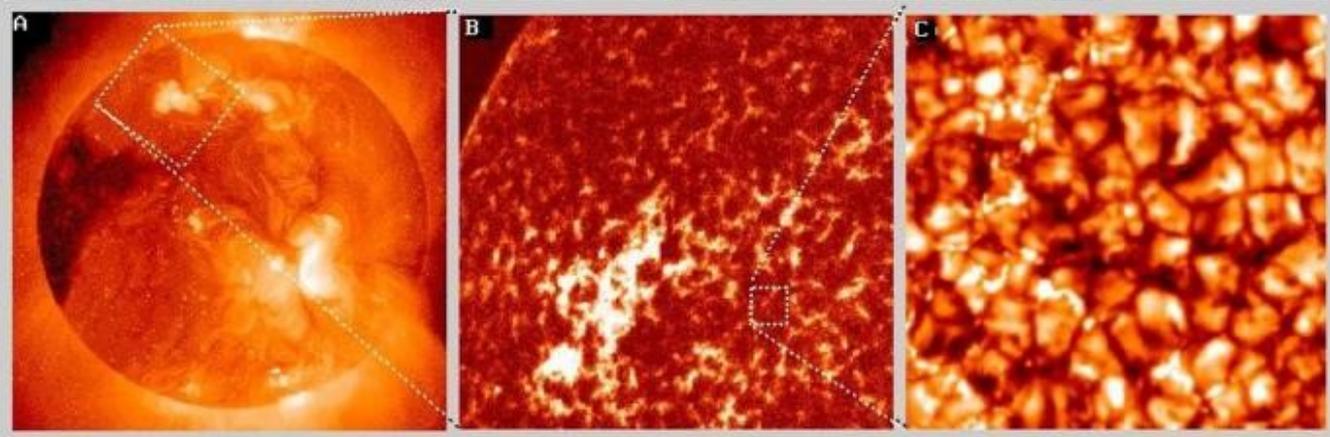
A Fotosfera – manchas solares

- 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- árvores).



A Fotosfera – granulações

- pequenas regiões brilhantes (mais quentes) circundadas por regiões escuras (mais frias) que dão à fotosfera uma aparência granular;
- são bolhas de gás que assomam à superfície no topo da camada convectiva: gás quente sobe, gás frio desce.
- diâmetro das bolhas ≈ 5000 km
- duração ≈ 15 minutos

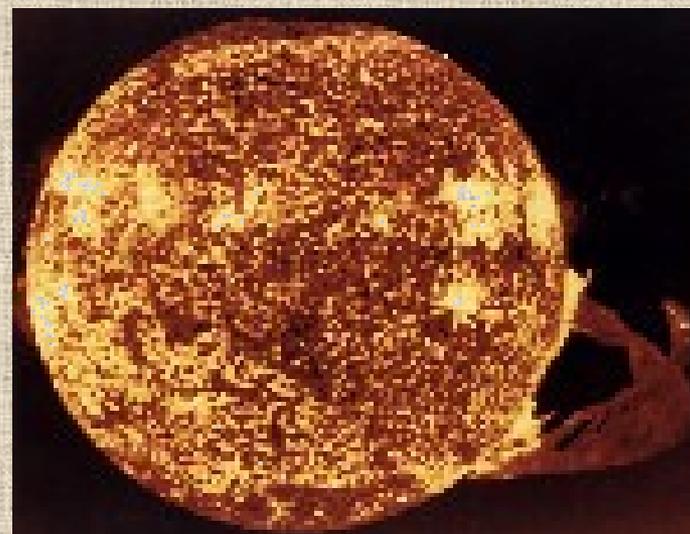
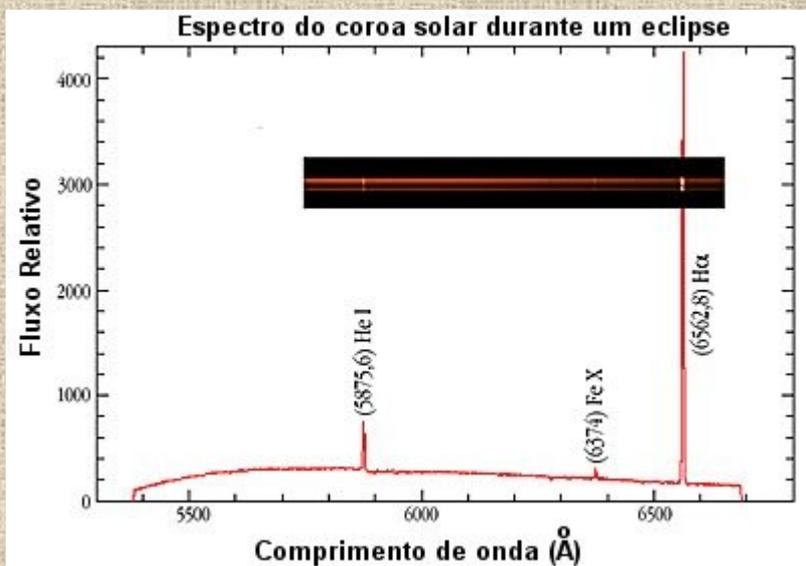
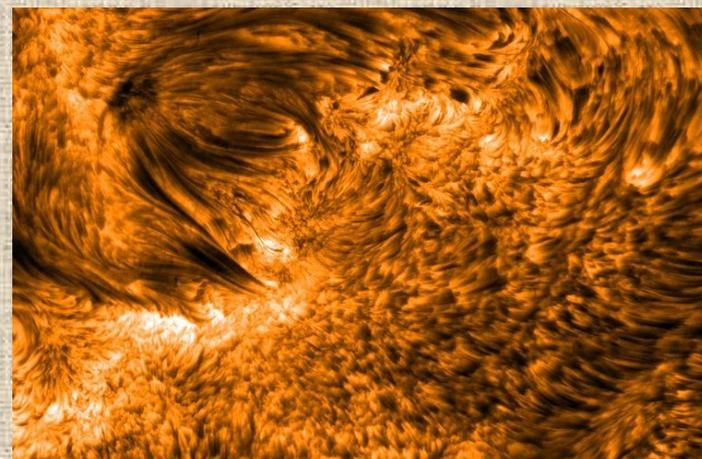


Cromosfera

- 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 (a 2500 km de altura; campos magnéticos).

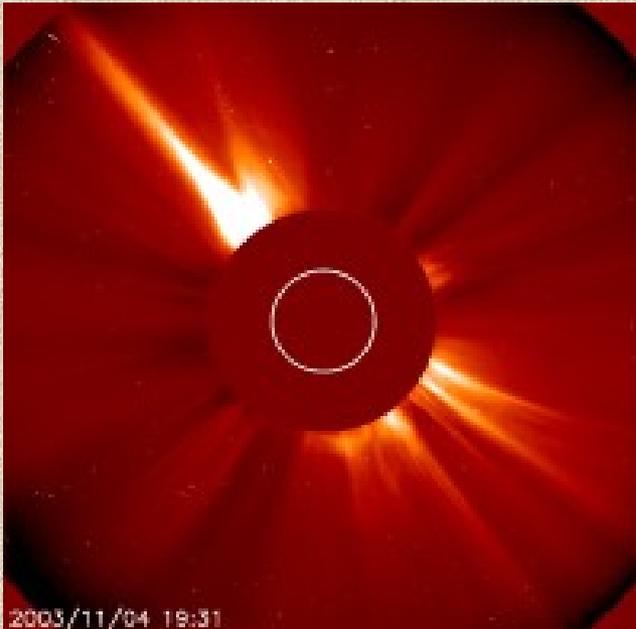
Espículas: colunas de gás frio dentro da cromosfera

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)

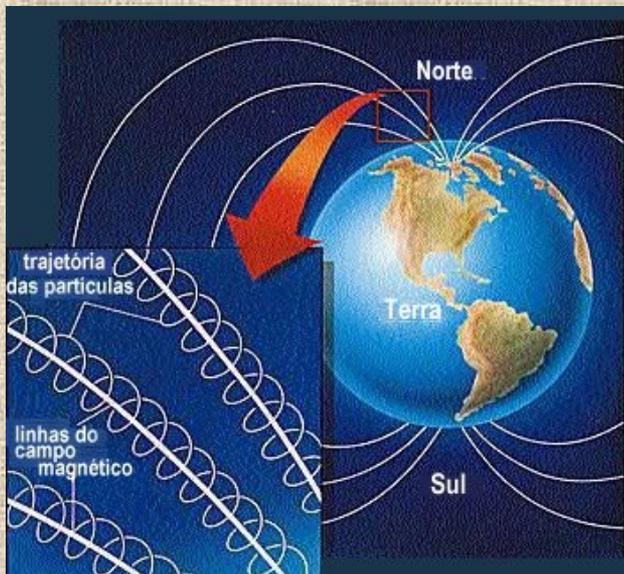
- grandes explosões na superfície do Sol
- causa: armazenamento de energia em campos magnéticos; que é liberada quando o campo fica muito denso.
- grandes flares liberam gás junto com a energia (ejeção de massa coronal)
- energia liberada \approx 100 milhões de bombas nucleares

Coroa – 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 e danos a sistemas elétricos.

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 recombinaem ou voltam ao seu estado anterior, elas emitem luz



Vento Solar

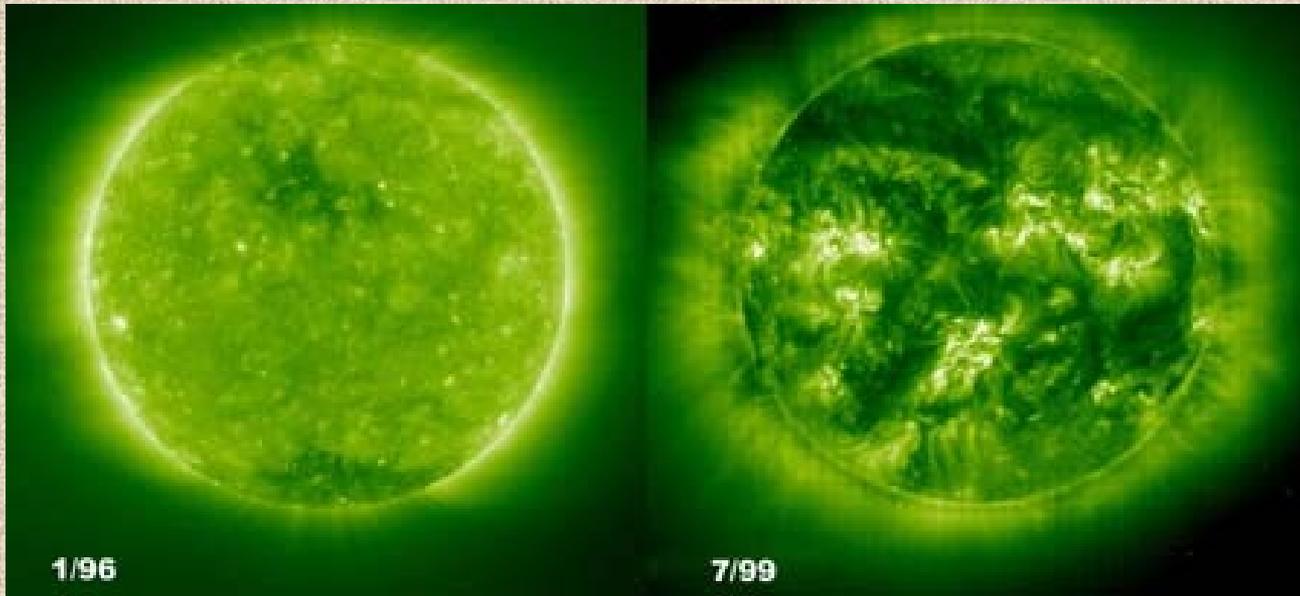
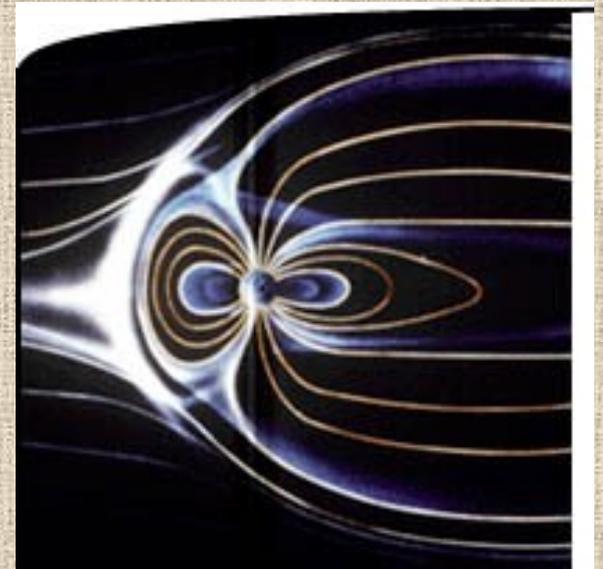
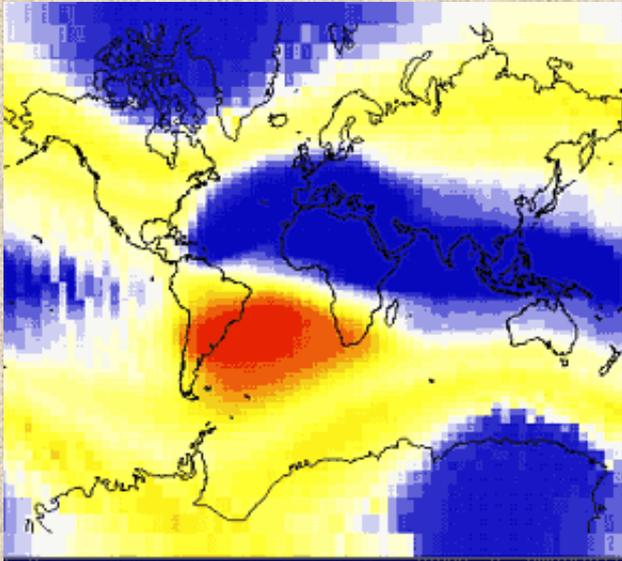


Imagem do Sol em 1710 Å, mostrando o Sol no ano de 1996, Sol mínimo, e perto do máximo, em 1999.

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

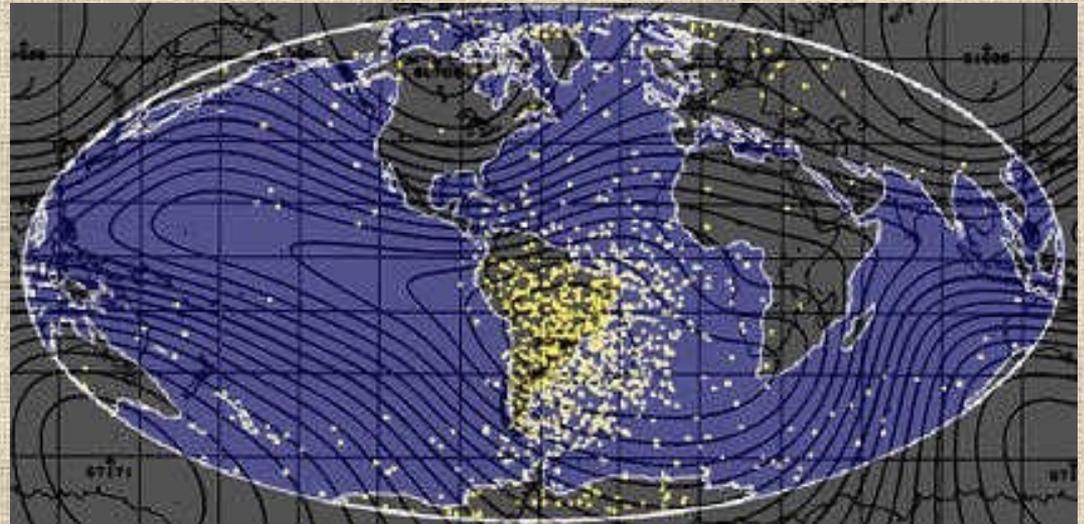


Anomalia Magnética do Atlântico Sul



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



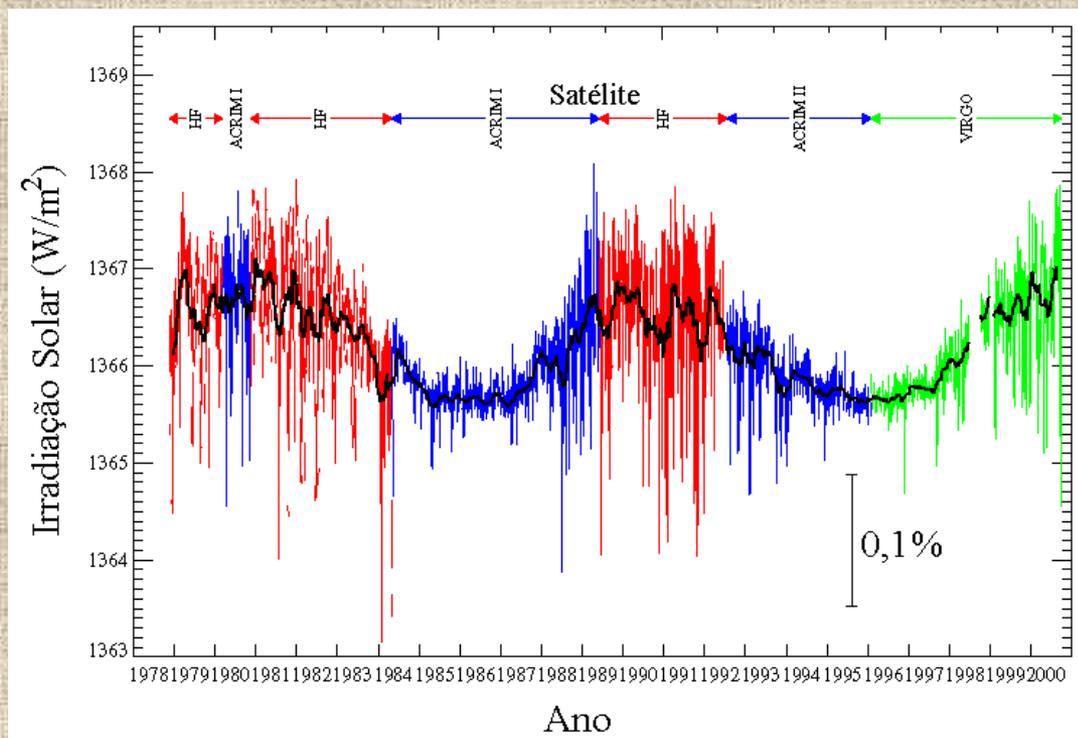
Cada ponto branco ou amarelo marca a posição de um satélite onde ocorreu defeito na memória do computador

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. Em geral, estas instabilidades duram menos de 10 minutos, mas já ocorreram casos em que o sistema ficou fora do ar por até 13 horas
- Danos às redes de energia elétrica, induzindo voltagens de milhares de volts e queimando transformadores.
- Danos nas tubulações metálicas de gaseodutos, 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.

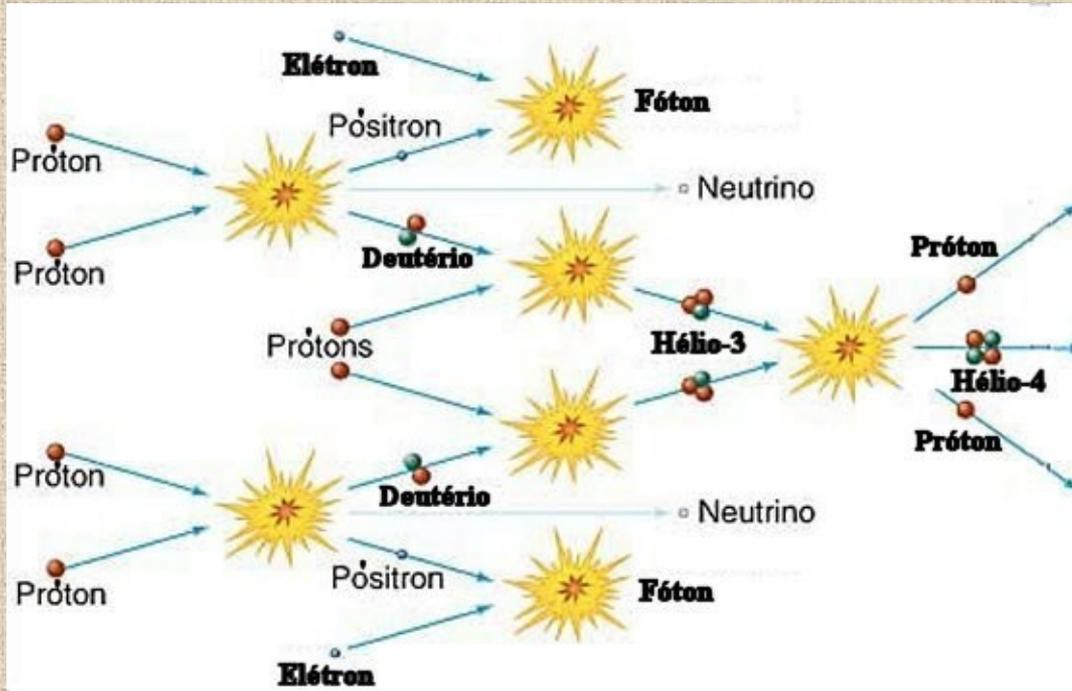
Constante Solar

- 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/m^2 (medido por satélites logo acima da atmosfera terrestre)
- Varia, dependendo da época no ciclo de 11 anos, de $1364,55$ a $1367,86 \text{ Watts/m}^2$

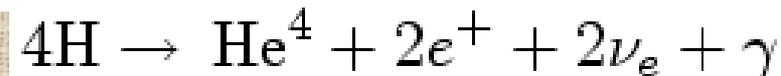


Fonte de energia do Sol

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



- O processo é descrito pela equação



Problemas

Exercícios: 3, 5 e 6 da Lista 3

3. Calcule a densidade média do Sol.

5. O fluxo de energia solar, à distância da Terra, é de 1367 W/m^2 , o que chamamos de “constante solar”. Esse fluxo ilumina constantemente toda a metade da superfície terrestre que está voltada para o Sol. Imagine que toda a superfície da Terra fosse populada e que seus habitantes pudessem acender luzes artificiais a cada pôr-do-Sol de maneira a que nunca houvesse noite. Quantas lâmpadas de 100 W seriam necessárias para fazer com que a metade não iluminada da Terra brilhasse tanto quanto a metade iluminada pelo Sol?

6. Os grânulos da fotosfera solar têm diâmetro de $1''$. Também são observados supergrânulos com diâmetros de até $1'$. A quantos quilômetros correspondem estas estruturas? Compare com o diâmetro da Terra.