

Foto do Sol obtida pela estação espacial Skylab da Nasa em 19 de dezembro de 1973, mostrando uma das mais espetaculares proeminências solares já filmadas, atingindo mais de 588.000 km.

## Introdução

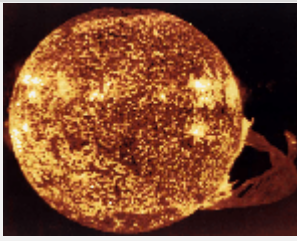
Prezado aluno, em nossa terceira aula, da segunda área, vamos tratar do Sol, a nossa estrela. O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima de nós e a que melhor conhecemos. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de **reações termo-nucleares**. O estudo do Sol serve de base para o conhecimento das outras estrelas, que de tão distantes aparecem para nós como meros pontos de luz.

Apesar de parecer tão grande e brilhante (seu brilho aparente é 200 bilhões de vezes o brilho de Sírius, a estrela mais brilhante do céu noturno), na verdade o Sol é uma estrela bastante comum.



Figura 02.03.01: Pôr do Sol em Porto Alegre.

Bom estudo!



## Objetivos

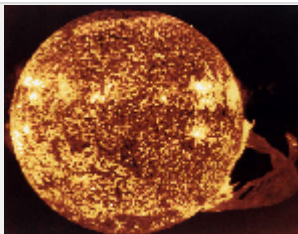
Nesta aula trataremos do Sol e de suas características. Esperamos que ao final você esteja apto a:

- identificar e caracterizar as manchas solares e granulações e em que zona do Sol elas se localizam;
- reconhecer e explicar a estrutura interna do Sol;
- identificar e caracterizar os flares e o vento solar;
- explicar a formação das auroras;
- definir a constante solar, aplicando-a na determinação da luminosidade do Sol;
- identificar e explicar a fonte de energia do Sol.

## Sol, que maravilha é essa que possibilita energia e luz necessárias para manutenção da vida?

O Sol é o objeto mais proeminente em nosso sistema solar. É o maior objeto e contendo aproximadamente 99,8% da massa total do sistema. Seu diâmetro é 109 vezes o diâmetro da Terra, de forma que em seu interior caberiam 1,3 milhões de Terras. A camada externa visível do Sol é chamada fotosfera, está a uma temperatura de aproximadamente 6.000 °C. Esta camada tem uma aparência turbulenta devida às erupções energéticas que lá ocorrem.

A energia solar é gerada no núcleo do Sol. Lá, a temperatura (15.000.000 °C) e a pressão (340 bilhões de vezes a pressão atmosférica da Terra ao nível do mar) são tão intensas que ocorrem reações nucleares. Estas reações transformam quatro prótons, que são núcleos de átomos de hidrogênio, em uma partícula alfa, que é o núcleo de um átomo de hélio. A partícula alfa é aproximadamente 0,7% menos massiva do que quatro prótons. A diferença em massa é expelida como energia e carregada até a superfície do Sol, sendo liberada em forma de luz e calor. A energia gerada no interior do Sol leva um milhão de anos para chegar à superfície. A cada segundo 600 milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em hélio e 5 milhões de toneladas de energia pura são liberadas; portanto, com o passar do tempo, o Sol está se tornando mais leve.



## Características do Sol

Tabela 02.03.01: Características do Sol.

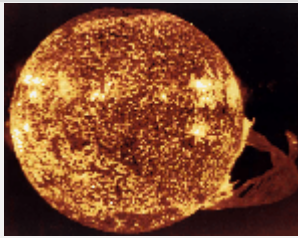
Massa	$M = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	$R = 695.500 \text{ km} = 109x R_{\text{Terra}}$
Densidade média	$\rho = 1.409 \text{ kg/m}^3$
Densidade central	$\rho_c = 160.000 \text{ kg/m}^3$
Distância	$1 \text{ UA} = 149.600.000 \text{ km}$
Luminosidade	$L = 3,9 \times 10^{26} \text{ W} = 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s}$
Temperatura efetiva	$T_{\text{ef}} = 5.785 \text{ K}$
Temperatura central	$T_c = 15.000.000 \text{ K}$
Magnitude absoluta bolométrica	$M_{\text{bol}} = 4,72$
Magnitude absoluta visual	$M_v = 4,79$
Tipo espectral e classe de luminosidade	G2 V
Índices de cor	B-V=0,62
	U-B=0,10
Composição química principal (Nº de partículas)	Hidrogênio = 91,2%
	Hélio = 8,7%
	Oxigênio = 0,07%
	Carbono = 0,03%
Período rotacional no equador	25,67 d
Período rotacional na latitude 75°	33,40 d

### Dados Gerais do Sol

- Maior objeto do sistema solar.
- Diâmetro: 1.391. 980 km.
- Temperatura da superfície visível: aproximadamente 6.000 °C.
- Distância média à Terra:  $\cong 1,5 \times 10^8 \text{ km}$ .
- Composição: Gás (H e He) incandescente.
- Geração de energia: Reações termonucleares.

Algumas das características listadas na tabela 1 são obtidas mais ou menos diretamente. Por exemplo, a **distância** do Sol, chamada Unidade Astronômica, é medida por ondas de radar direcionadas a um planeta em uma posição favorável de sua órbita (por exemplo, Vênus, quando Terra e Vênus estão do mesmo lado do Sol e alinhados com ele). O **tamanho** do Sol é obtido a partir de seu tamanho angular e da sua distância. A **massa** do Sol pode ser medida a partir do movimento orbital da Terra (ou de qualquer outro planeta) usando a Terceira Lei de Kepler. Sabendo então sua **massa** e seu raio temos a **densidade média do Sol**.

Outras características são determinadas a partir de modelos. Por exemplo, a equação de equilíbrio hidrostático, permite determinar a **pressão** e a **temperatura** no centro do Sol, supondo que elas têm que ser extremamente altas para suportar o peso das camadas mais externas.



## Estrutura do Sol

A figura 02.03.02 ilustra um modelo que representa as principais regiões do Sol.

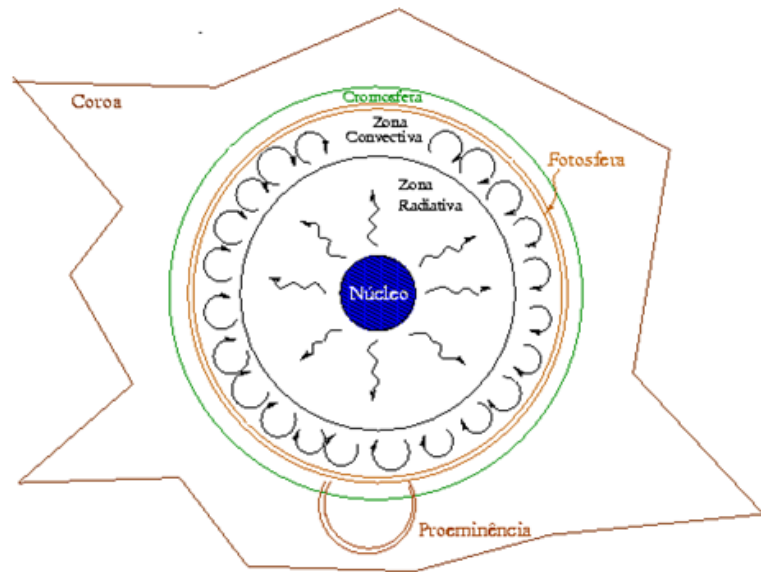


Figura 02.03.02: Estrutura do Sol.

### Estrutura do Sol

Núcleo,  
zona radiativa,  
zona convectiva,  
fotosfera,  
cromosfera e  
coroa.

A **fotosfera** é a superfície visível do Sol. As camadas externas à fotosfera constituem a atmosfera do Sol, composta pela estreita **cromosfera**, e pela extensa e rarefeita **coroa**. As camadas internas à fotosfera constituem o interior do Sol, composto pelo **núcleo**, pela **camada convectiva** e pela **camada radiativa**.

### Interior do Sol

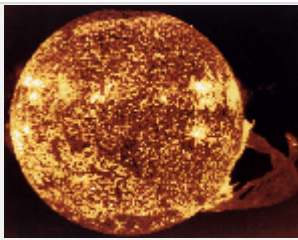
O **núcleo** é a região mais central, onde a energia é produzida, tendo temperatura na ordem de 15 milhões de kelvins. Em torno do núcleo está a **zona radiativa**, onde a energia se propaga por radiação, isto é, não há movimento das moléculas de gás; são os fótons que transportam a energia gerada no núcleo. Envolvendo a camada radiativa existe **zona convectiva**, com aproximadamente 15% do raio solar; nessa região a energia se propaga por convecção, ou seja, pelo movimento de moléculas do gás. (Na convecção há transporte mecânico que ocorre pela diferença de temperatura. O gás mais quente, sendo menos denso, se afasta do centro gravitacional).

### A fotosfera solar

É a região que emite a luz solar que se propaga no espaço, ou seja, é a superfície visível do sol. A luz que vemos quando olhamos para o Sol se origina na fotosfera. Com aparência de um líquido em ebulição, apresenta-se coberta de bolhas ou grânulos. Este fenômeno é denominado **granulação fotosférica**.

### Fotosfera

- Espessura: 500 km.
- Camada visível do Sol, coberta por granulações fotosféricas. Região em que se localizam as manchas solares.

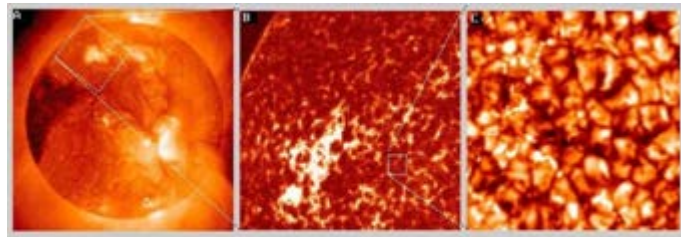


### Granulações

Bolhas de gás que assomam à superfície do Sol no topo da camada convectiva: gás quente sobe, gás frio desce.  
Diâmetro das bolhas  $\cong$  5.000 km.  
Duração  $\cong$  15 min.

### Cuidado

Olhar o Sol de forma direta é extremamente perigoso, a não ser que ele esteja na linha do horizonte.



A

B

C

Figura 02.03.03: As células de convecção aparecem em detalhe na foto C desta sequência, que é uma ampliação da região quadrada marcada na foto do centro, que por sua vez é uma ampliação da região marcada na foto A.

A duração dos grânulos é de aproximadamente 10 min e o diâmetro chega a 5.000 km. Eles indicam os topos das colunas convectivas do gás que se originam na zona convectiva, logo abaixo da fotosfera. Entre os grânulos há regiões escuras onde o gás mais frio, e por isso, mais denso, escorre para baixo. É na fotosfera que se percebe um fenômeno notável: as **manchas solares**.

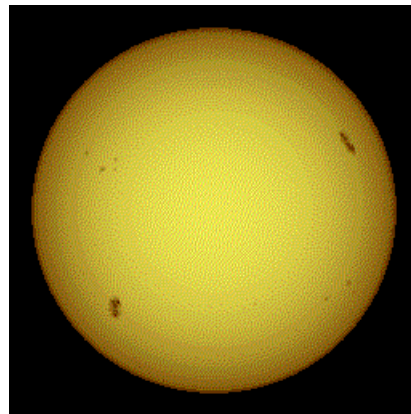
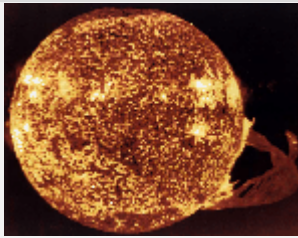


Figura 02.03.04: Foto do Sol em luz branca, mostrando algumas manchas solares.

Manchas solares são regiões irregulares que aparecem mais escuras que a fotosfera circundante e que muitas vezes podem ser observadas a olho nu. Elas são constituídas de duas partes; a umbra, parte central mais escura com temperatura de 3.800 K, e a penumbra, formando uma estrutura radial ao redor da umbra, um pouco mais clara que a mesma. As manchas solares estão associadas a intensos campos magnéticos existentes no Sol, e tendem a se formar em grupos, tendo uma duração aproximada de uma semana.

O número de manchas solares varia entre máximos e mínimos em um ciclo de 11 anos (ciclo de atividade solar), ciclo esse que foi descoberto apenas em 1843, pelo astrônomo alemão Samuel Heinrich Schwabe, e é ilustrado na figura 02.03.05.





### Manchas Solares

Regiões mais escuras da fotosfera, com temperaturas de aproximadamente 4.000 K. Duram em torno de uma semana. Tendem a se formar em grupos. Associadas a intensos campos magnéticos. Têm um ciclo de 11 anos.

[Vídeo de Manchas Solares.](#)

### Cromosfera

É uma camada estreita e rarefeita que envolve a fotosfera.  
Espessura: 10.000 km.  
Temperatura: de 4.300 K até 40.000 K.

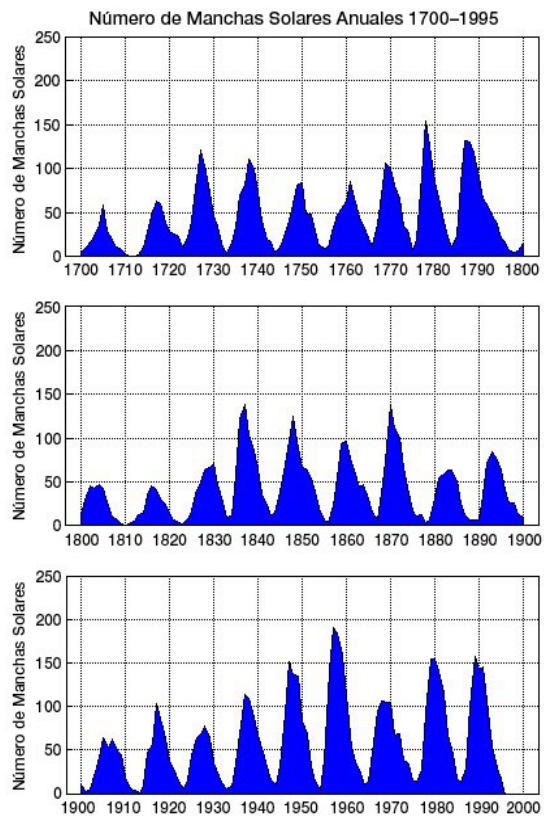


Figura 02.03.05: Variação do número médio mensal de manchas solares entre os anos 1700 e 2000.

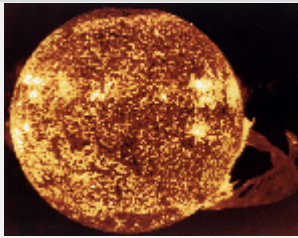
### A cromosfera

É uma camada rarefeita e estreita, de cor avermelhada, que envolve a fotosfera. Por ter uma radiação bem mais fraca do que a fotosfera, normalmente a cromosfera não é visível, a não ser em eclipses, quando a Lua encobre o disco da fotosfera, veja a figura 02.02.06. A cromosfera tem uma espessura de 10.000 km e sua temperatura que varia de 4.300 K na base até mais de 40.000 K no topo a 2.500 km de altura. O aquecimento da cromosfera possivelmente não é originado por fótons provenientes do interior do Sol, pois se a energia fosse gerada por fótons a cromosfera deveria ser mais fria do que a fotosfera, e não mais quente como realmente é. Na atualidade se pressupõe que a fonte de energia são campos magnéticos variáveis formados na fotosfera e conduzidos para a coroa por correntes elétricas, dissipando parte de sua energia na cromosfera.

Imagens com filtro na linha alfa do hidrogênio (H-alfa) mostram jatos de gás se elevando da cromosfera para a coroa. Essas estruturas são chamadas espículas. Alcançam alturas de 10.000 km e duram entre 5 e 10 minutos.



Figura 02.03.06: Foto do Sol, tirada por Kepler Oliveira, durante o eclipse total de 4 de novembro de 1994, em Santa Catarina. A foto mostra a cromosfera e, principalmente, a coroa solar.



### Coroa

Camada mais externa da atmosfera solar.  
Extensão: de 2 a 10 raios solares.  
Temperatura: até  $10^6$  K.  
Perda de massa ocorre pelos ventos solares e pelos flares.

### Vento Solar

Partículas emanadas das regiões ativas do Sol.  
Velocidade de 300 a 800 km/s.  
Causa perda de massa do Sol em torno de  $10^{-13}$  massas solares por ano.  
Causa as auroras na Terra.

### Auroras

Fenômeno luminoso provocado pela interação do vento solar com a atmosfera superior da Terra. Ocorrem em grandes variedades de cores, as mais comuns são verdes. Isso ocorre devido a que gases emitem luz em diferentes cores. O oxigênio emite luzes no vermelho e no verde, o nitrogênio emite luz vermelha.

### Proeminências

Grandes jatos de gás que se elevam acima da fotosfera.

## A coroa

Gradualmente a cromosfera se funde na coroa, que é a camada mais externa e mais rarefeita da atmosfera do Sol. Embora tenha um brilho similar ao da Lua Cheia, ela fica completamente obscurecida enquanto a fotosfera é visível, por isso só é observada em luz visível em eclipses totais, ou com instrumentos especiais. O espectro da coroa mostra linhas muito brilhantes que são produzidas por átomos de ferro, níquel, neônio e cálcio altamente ionizados; esses processos de ionização demandam muita energia, o que indica que a temperatura da coroa deve ser muito alta, em torno de 1 milhão de kelvins.

A elevação da temperatura da coroa deve ter a mesma origem do processo físico responsável pelo aquecimento da cromosfera, ou seja, o transporte de energia originado por correntes elétricas induzidas nos campos magnéticos variáveis.

É da coroa que emana o **vento solar**, um contínuo fluxo de partículas, principalmente prótons e elétrons, que é emitido da coroa, provocando uma perda de massa do Sol de cerca de  $10^{-13} M_{\odot}$  ao ano. O vento solar tem densidade média de 7 prótons por centímetros cúbicos e velocidade de aproximadamente 400 km/s.

Ao entrar na magnetosfera da Terra ele é capturado, formando o chamado Cinturão de Van Allen. Tal cinturão foi descoberto pelo físico americano **James Alfred Van Allen** (1914 - 2006) em 1958. O cinturão de partículas só entra em contato com atmosfera da Terra nos polos onde causa os fenômenos conhecidos como **auroras**. Veja a figura 02.03.07.

Auroras são fenômenos luminosos provocados pela excitação e desexcitação dos átomos de oxigênio ao colidirem com as partículas carregadas do vento solar. As auroras acontecem tanto nas altas latitudes do hemisfério norte - as auroras boreais -, quanto nas altas latitudes do hemisfério sul- as auroras austrais.

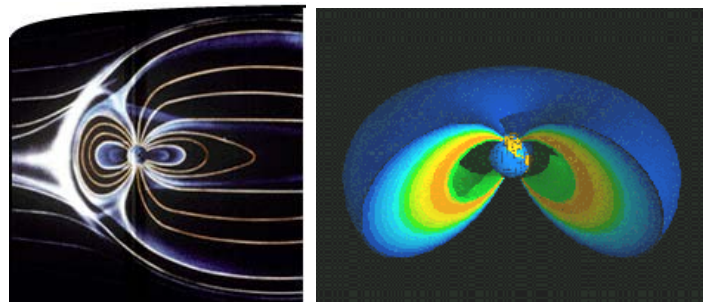
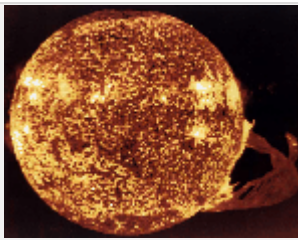


Figura 02.03.07: Esquema mostrando as partículas carregadas desviadas pelo campo magnético da Terra para o Cinturão de Van Hallen, (à esquerda) e o cinturão de Van Allen (à direita), formado pelas partículas do vento solar capturadas pelo campo magnético da Terra.

Em períodos em que o Sol está mais ativo, podem ser vistas no limbo solar grandes arcos brilhantes, constituídos de plasmas mais frios suspensos na coroa pelo campo magnético. Esses arcos são chamados **proeminências**. Quando vistos contra o disco brilhante (em vez de na borda) aparecem como filamentos escuros, e são chamados **filamentos**. Mas filamentos e proeminências são estruturas idênticas. Essas estruturas podem durar horas ou até meses. As figura 02.03.08 e 02.03.09 mostram proeminências.



## Flares

Grandes explosões na superfície do Sol. Gerado pelo armazenamento de energia em campos magnéticos; é liberada quando o campo fica muito denso. Energia liberada  $\cong$  100 milhões de bombas nucleares.

Grandes explosões na superfície do Sol são chamadas de **flares** ou **fulgurações**. São ocasionadas pelo armazenamento de energia em campos magnéticos do Sol, que é liberada quando o campo fica muito intenso. Grandes flares podem gerar grandes proeminências que vencem o campo magnético e se desprendem da coroa, liberando gás ionizado junto com energia. Esses fenômenos são chamados de ejeção de massa coronal, e um exemplo pode ser visto na figura 02.03.09. A energia liberada pode atingir o valor equivalente à 100 milhões de bombas nucleares.

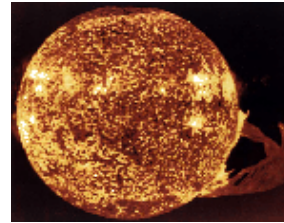


Figura 02.03.08: Foto do Sol obtida pela estação espacial Skylab da Nasa em 19 de dezembro de 1973, mostrando uma das mais espetaculares proeminências solares já filmadas, atingindo mais de 588.000 km.

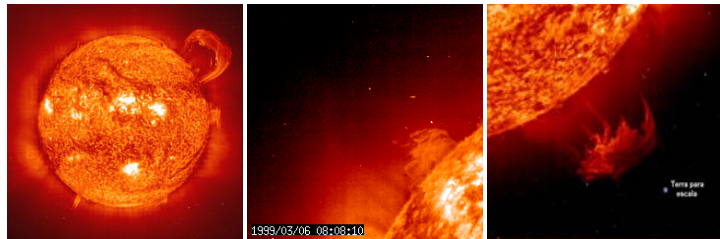
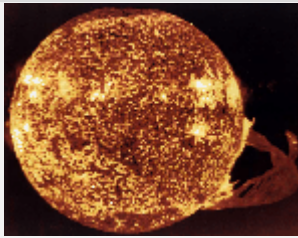


Figura 02.03.09: Fotos Ejeção Coronal de Massa em 14 de setembro de 1999, fotografada pelo SOHO em 3.040 Å.

As grandes ejeções de massa coronal associadas às proeminências viajam a aproximadamente 1 milhão km/h e levam de um a quatro dias para alcançar a Terra. Quando atingem a Terra, têm milhões de quilômetros de extensão e podem causar:

- danos a satélites, também causados pelo aumento da fricção provocada pela expansão da atmosfera;
- erro no posicionamento de navios e aviões de vários quilômetros, tanto pelo sistema GPS (*Global Positioning System*- GPS) quanto pelos sistemas *Loran* e *Omega* (8 transmissores distribuídos pela Terra), pelas instabilidades no plasma da ionosfera terrestre geradas pelas ejeções de massa coronal, causando cintilação na amplitude e fase do sinal e reduzindo o número de satélites disponíveis de 8 a 10 para até 4. Em geral essas 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;
- aumenta 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:  $1.367 \text{ W/m}^2$ .  
Seu valor varia dependendo do ciclo de 11 anos.

### Luminosidade do Sol

É a quantidade de energia que um corpo irradia por unidade de área.

Obtida pelo produto da constante solar pela área da esfera compreendida pela órbita da Terra ao redor do Sol.

Valor:  $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ .

Área 2, Aula 3, p.9  
Müller, Saraiva & Kepler

O penúltimo máximo do ciclo de 11 anos ocorreu em 1989 e logo após uma grande proeminência solar, a rede elétrica na província de Quebec, no Canadá, sofreu uma grande sobrecarga elétrica que causou vários danos aos equipamentos. Algumas regiões da província ficaram até duas semanas sem luz elétrica. Em 1994, o satélite de comunicações E2 teve alguns circuitos queimados por uma sobrecarga estática, também associada com a ejeção de uma nuvem de plasma solar. O máximo do último ciclo solar ocorreu em 15 de fevereiro de 2001, quando o campo magnético solar reverteu de polaridade.

O pico de máxima atividade do atual ciclo solar deve ocorrer em 2012.

### A Energia do Sol

Logo após ser determinada a distância do Sol, em 1673, foi possível determinar a sua luminosidade, que é a potência por ele produzida.

#### Constante Solar (Irradiação Solar)

Corresponde a energia solar que atinge a Terra, por unidade de área normal aos raios solares (utilizando a distância média Terra – Sol) e por unidade de tempo. Seu valor é  $1.367 \text{ W/m}^2$ , mensurado por satélites logo acima da superfície da Terra. Porém, seu valor varia, dependendo da época no ciclo de 11 anos, de  $1.364,55 \text{ W/m}^2$  a  $1.667,86 \text{ W/m}^2$ .

As medidas feitas por satélites logo acima da Terra indicam que cada metro quadrado da Terra recebe do Sol cerca de 1.400 joules de energia por segundo (1.400 watts), o que equivale à potência de 14 lâmpadas de 100 W. **O valor mais preciso da constante solar é de  $1.367,5 \text{ W/m}^2$ , e tem uma variação de 0,3% durante o ciclo solar de 11 anos.**

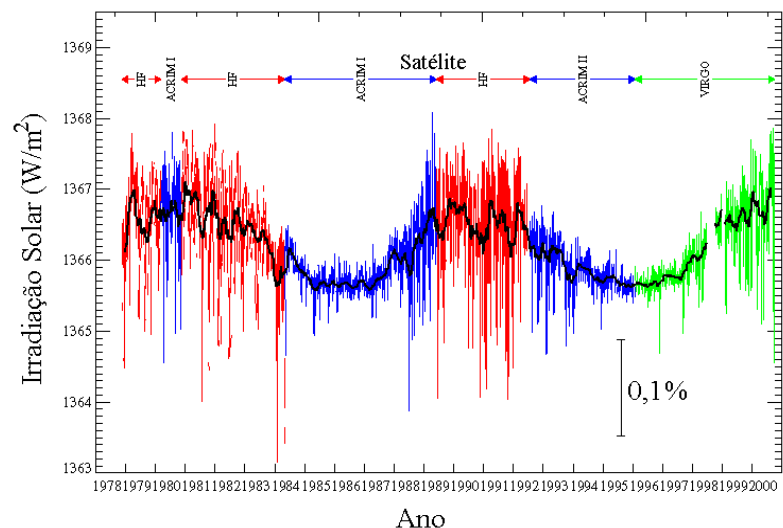
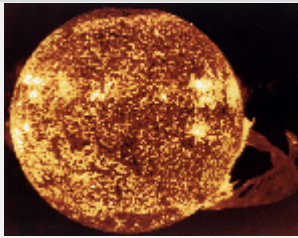


Figura 02.03.10: Irradiação solar x ano. As diferentes cores indicam medidas feitas por diferentes satélites. O gráfico mostra que a constante solar varia periodicamente entre  $1.364,55 \text{ W/m}^2$  a  $1.667,86 \text{ W/m}^2$ .

### Luminosidade do Sol

A luminosidade do Sol é obtida pelo produto da constante solar pela área da esfera compreendida pela órbita da Terra em torno do Sol, seu valor é de:

$$3,9 \times 10^{26} \text{ W} = 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s,}$$



### Fonte de Energia do Sol

Reações termonucleares, obtidas pela fusão de 4 núcleos de hidrogênio (4 prótons) em 1 núcleo de hélio ( $\alpha$ ).

Para se ter uma ideia comparativa, tal quantidade de energia é equivalente à queima de aproximadamente  $7,5 \times 10^{20}$  litros de gasolina por minuto, ou aproximadamente 10 milhões de vezes a produção de petróleo anual do nosso planeta.

### Fonte de energia do Sol

No século XIX os astrônomos já sabiam que a energia produzida pelo Sol não poderia ser gerada por combustão, pois dessa forma o Sol só brilharia por 10 mil anos.

Em 1854 o físico alemão **Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz** (1821 - 1894) propôs que a energia do Sol fosse devida ao colapso gravitacional, mas também não foi adequado, pois dessa forma a energia só poderia manter a luminosidade do Sol por cerca de 20 milhões de anos, enquanto evidências geológicas indicam que o Sol tem uma idade de 4,5 bilhões de anos.

Em 1937, **Hans Albrecht Bethe** (1906 - 2005) propôs que a energia seria gerada pelas reações termonucleares, proposta essa aceita até os dias atuais.

Nessas reações quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, com liberação de energia. O Sol tem hidrogênio, fonte primária desse processo, suficiente para manter essas reações por bilhões de anos. À medida que diminui, gradualmente, a quantidade de hidrogênio, aumenta a quantidade de hélio no núcleo.

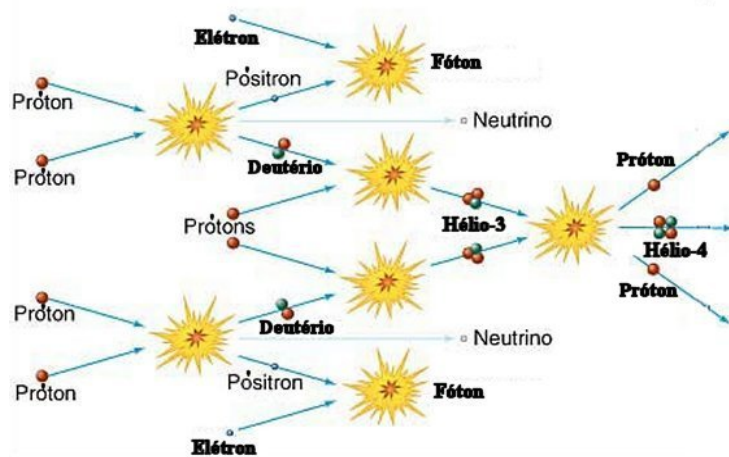
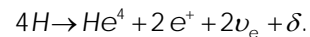
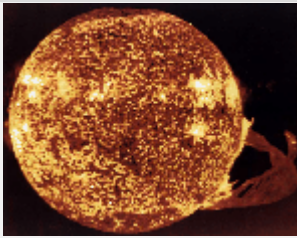


Figura 02.03.11: Processo de fusão do hidrogênio,



Segundo os modelos de evolução estelar, daqui a cerca de 1,1 bilhões de anos, o brilho do Sol será 10% maior, o que ocasionará a elevação da temperatura da Terra, aumentando o vapor de água na atmosfera, vapor esse que é uma causa do efeito estufa. Daqui a cerca de 3,5 bilhões de anos, o Sol terá seu volume acrescida de aproximadamente 40% do volume atual, o calor será tão forte que os oceanos secarão completamente, ampliando ainda mais o efeito estufa.

Daqui a uns 6 bilhões de anos o Sol terá consumido o hidrogênio do núcleo e vai se transformar em uma gigante vermelha, com um volume preenchendo aproximadamente até a órbita da Terra. Durante cerca de 1 bilhão de anos ele viverá às custas da queima do hélio no núcleo, até esse hélio também se esgotar. Sem novas fontes de energia nuclear o Sol começará a morrer.



## Resumo

Sol é o maior objeto do sistema solar, com distância média à Terra de 149.597.892 km (1 UA). Em sua estrutura apresenta o núcleo, a zona radiativa, a zona convectiva, a fotosfera, a cromosfera e a coroa.

O Sol é composto de hidrogênio e hélio incandescente. No núcleo a energia é produzida por reações de fusões termonucleares de 4 núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio, partícula  $\alpha$ .

Na fotosfera estão as manchas solares, regiões mais escuras que duram cerca de uma semana. As manchas solares aumentam e diminuem de número num ciclo de 11 anos (ciclo de atividade solar) e estão associadas a intensos campos magnéticos. Também na fotosfera estão as granulações, pequenas regiões brilhantes circundadas por regiões escuras que são bolhas de gás que assomam à superfície no topo da camada convectiva, com duração de aproximadamente 15 minutos.

A cromosfera é uma camada estreita e rarefeita que só é perceptível quando a fotosfera é coberta, como em eclipses. Lá estão as espículas, colunas de gás frio. As proeminências são grandes jatos de gás que se elevam acima da fotosfera.

Na coroa ocorrem os ventos solares e os flares. Os ventos solares são partículas emanadas das regiões ativas do Sol, provocam, na Terra, as auroras. Já os flares são grandes explosões na superfície do Sol, gerados pelo armazenamento de energia em campos magnéticos que é liberada quando o campo se torna muito denso.

As auroras são fenômenos luminosos provocados pela interação do vento solar com a atmosfera.

A constante solar é a 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, com valor  $1.367 \text{ W/m}^2$ . A luminosidade é obtida multiplicando-se a constante solar pela área da esfera compreendida pela órbita da Terra em torno do Sol, com valor de  $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ .

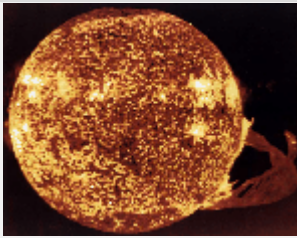
## Questões de Fixação

Agora que vimos o assunto previsto para a aula de hoje resolva as questões de fixação e compreensão do conteúdo a seguir, utilizando o fórum, comente e compare suas respostas com os demais colegas.

Bom trabalho!

1. Comparado com a Terra, quantas vezes o Sol é maior em:

- a) raio?
- b) área?
- c) volume?



2.
  - a) Quais são os principais elementos que compõem o Sol?
  - b) Qual a abundância desses elementos em massa?
  - c) Qual a abundância desses elementos em números de partículas?
3. Como se chama a superfície visível do Sol e qual é a sua temperatura?
4.
  - a) O que são manchas solares?
  - b) Qual é o seu ciclo?
5. Que outros fenômenos se observam no Sol, associados a sua atividade?
6. Como varia a temperatura e a pressão do Sol desde o centro até a coroa?
7. Como ocorre o transporte de energia do Sol desde o centro até a superfície?
8. O que é vento solar?
9. Qual é a relação entre o vento solar e as auroras na Terra?
10. Calcule a massa do Sol, em quilogramas, através do movimento da Terra em torno dele.
11. Calcule o raio do Sol, em quilômetros, a partir de seu raio angular de  $0,25^\circ$ , e de sua distância à Terra de 150 milhões de quilômetros.
12. Calcule a densidade média do Sol em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .
13.
  - a) O que é constante solar?
  - b) Quanto vale a constante solar?
14. A partir do valor da constante solar, calcule a luminosidade do Sol. Dado a distância média Terra-Sol de 150 milhões de quilômetros (1 UA).
15. Se fossemos medir a constante solar em Saturno, que está 10 vezes mais distante do Sol que a Terra, que valor seria obtido?

Até a próxima aula!