

## O SOL

A fonte de energia que alimenta a nossa existência é esta estrela a que chamamos Sol

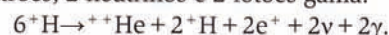
Texto José Ribeiro \*

**É UMA ESTRELA AMARELA**, relativamente calma de oscilações e estável de luminosidade. O seu diâmetro é de 1.391.000 km, mais de 109 diâmetros terrestres, e no seu interior caberia mais de um milhão de planetas Terra. Encontra-se a uma distância média de 149.600.000 km da Terra, levando a sua luz cerca de 8 minutos e 20 segundos a chegar até nós. A sua temperatura atual à superfície é de 5777°K (subtrair 273,15 para converter em graus centígrados). O Sol tem uma luminosidade atual de  $3,83 \times 10^{26}$  W, chegando ao topo da nossa atmosfera um fluxo de 1370 W por metro quadrado. A massa do Sol é atualmente composta por 74% de hidrogénio, 24% de hélio e 2% de outros elementos, sendo uma estrela de metalicidade elevada. A estrela roda mais rapidamente no Equador, 25 dias para uma rotação completa, diminuindo a velocidade com o aumento

da latitude (27,8 dias a 45°). O interior do Sol é composto por um núcleo radiativo, por uma zona radiativa e por uma zona convectiva (Fig. 1). Só nos anos 30 do século passado é que foi entendido o mecanismo de produção de energia no núcleo do Sol: a fusão nuclear de hidrogénio em hélio. O núcleo de hidrogénio é composto por um simples protão, uma partícula de carga positiva. Para que dois protões se juntem é necessário que se aproximem o suficiente para que a força nuclear atue nessa junção. Para tal, têm que colidir a uma velocidade que vença a repulsão eletrostática (cargas de sinal igual repelem-se). Para que tal condição se cumpra, são necessárias temperaturas superiores a oito milhões de graus Kelvin. O principal processo de fusão de hidrogénio em hélio no Sol é a cadeia p-p (91%). Neste processo, 6 protões vão resultar num núcleo de hélio (2

Fig.1 - Estrutura interna do Sol: núcleo, zona radiativa e zona convectiva.

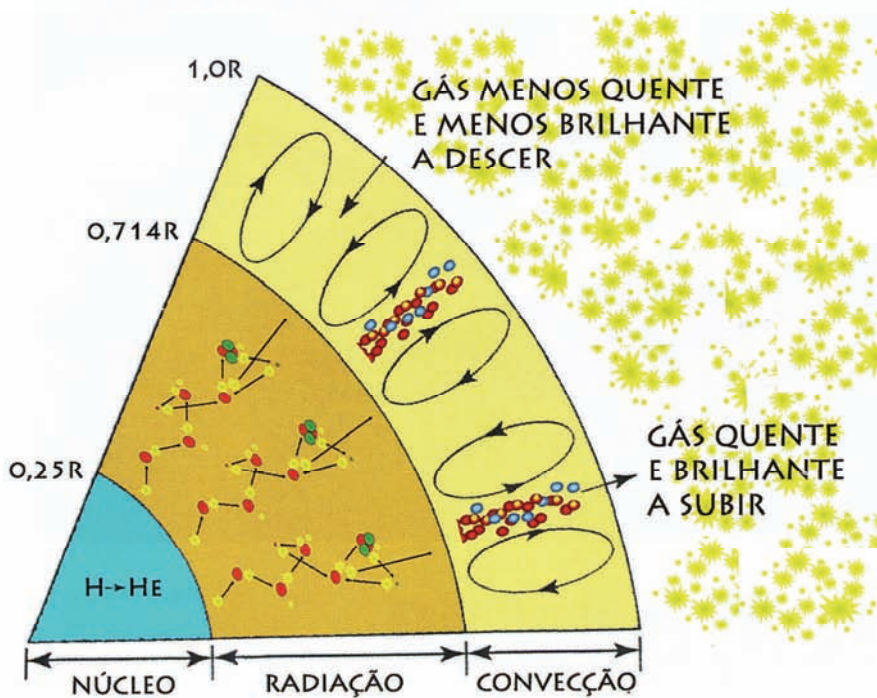
protões + 2 neutrões), 2 protões, 2 positrões, 2 neutrinos e 2 fotões gama:



A diferença entre a massa inicial dos 6 protões e a massa final da reação, que é de  $0,048 \times 10^{-27}$  kg, dá-nos a massa que foi transformada em energia (os 2 fotões  $\gamma$ ). A partir da célebre fórmula de Einstein  $E = mc^2$ , onde E = energia, m = massa e c = velocidade da luz, cada processo p-p produz  $0,43 \times 10^{-11}$  J. Esta energia é transportada para a superfície solar através de dois processos distintos: desde o centro até cerca de 70% do raio a energia é transportada por radiação e o restante percurso de 30% do raio por convecção.

**O percurso de cada fotão** produzido no núcleo solar até à superfície é bastante atribulado, chegando a levar até 10 milhões de anos. A densidade de núcleos atômicos e de eletrões no núcleo e na zona radiativa do Sol é muito elevada, pelo que os fotões gerados na fusão nuclear iniciam um processo de colisões, desvios, absorções e reemissões com as partículas, perdendo





■ Fig.2 - Atmosfera solar: 1 - fotosfera, 2 - cromosfera, espectro-heliograma em Call K, 3 - coroa durante o eclipse total de 2006.

energia em cada uma dessas interações. Chegam assim à zona convectiva fotões com diferentes energias, dependente do número de interações no percurso. Segundo a lei de Planck,  $E = hc/\lambda$ , são essas energias  $E$  inversamente proporcionais aos comprimentos de onda  $\lambda$  (traduzíveis em cor na zona visível do espectro, razão pela qual a luz solar contém todas as cores). Finalmente, a energia é transportada por correntes de convecção, em que o gás quente sobe até à fotosfera, liberta fotões, arrefece e desce de novo até à fronteira com a zona radiativa.

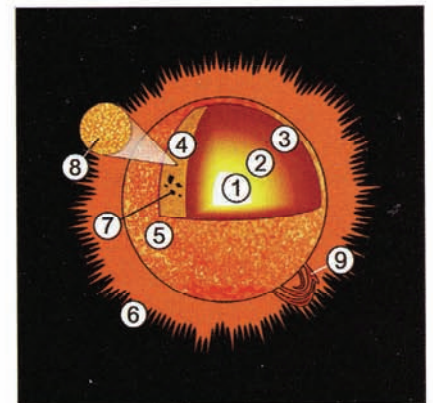
**A atmosfera solar** (Fig. 2) é composta por três zonas, a fotosfera (1), a cromosfera (2) e a coroa (3). A fotosfera é a camada mais interior da atmosfera solar. Tem uma espessura de cerca de 500 km e uma temperatura de 5777°K. É a fotosfera que nós vemos quando olhamos para o Sol (NUNCA OLHAR O SOL SEM A PROTEÇÃO ADEQUADA). Tem uma textura granulada devido aos efeitos superficiais das células de convecção. Por vezes revela manchas es-

## É A FOTOSFERA QUE VEMOS QUANDO OLHAMOS PARA O SOL

curas, zonas mais frias com cerca de 4200°K devido a efeitos magnéticos. As manchas podem durar algumas semanas. O elevado campo magnético do Sol deve-se às correntes de gás ionizado e à rotação diferencial. Entre a fotosfera e a coroa encontra-se a cromosfera, uma camada irregular, pouco densa, com uma espessura um pouco inferior a um diâmetro terrestre e de estrutura complexa. A sua temperatura aumenta dos 5800°K da fotosfera até às elevadas temperaturas da coroa por ação do campo magnético. A cromosfera, tal como a coroa, só se conseguem ver com instrumentação específica ou durante os eclipses totais. Na cromosfera são visíveis jatos de gás ascendente, as espículas, com duração de 5 a 15 minutos. A

coroa solar revela uma estrutura filigranada de matéria ionizada, que segue as linhas do campo magnético. A sua densidade é baixa, somente um milhão de átomos/cm<sup>3</sup> na base, diminuindo para 1 a 10 átomos/cm<sup>3</sup> na periferia. A sua temperatura de cerca de 500.000°K junto à cromosfera aumenta com a altitude, chegando a valores superiores a 2 milhões de graus Kelvin. Algumas linhas do campo magnético não regressam ao Sol e parte da matéria coronal afasta-se da estrela, originando o vento solar, que flui a velocidades até 1000 km/s.

O Sol inverte o campo magnético quase regularmente de 11 em 11 anos. Cada ciclo começa com pouca atividade magnética manifestada pela ausência de manchas, começando progressivamente as manchas a aparecer a elevadas latitudes, migrando gradualmente para o Equador e intensificando-se a sua frequência. Na fase de maior atividade aumentam os episódios de erup-



■ Esquema da estrutura do Sol: (1) núcleo, (2) zona radiativa, (3) zona convectiva, (4) fotosfera, (5) cromosfera, (6) coroa, (7) mancha solar, (8) grânulos e (9) protuberância.

ções conhecidas como flares e de ejeções de massa coronal, matéria que se liberta do Sol a elevadas velocidades, levando cerca de dois dias a atingir a Terra. Estes fenómenos intensificam a frequência de auroras e podem causar apagões e interferências graves nas telecomunicações. 5

\* jmscrib@gmail.com.