

Estrutura interna dos planetas

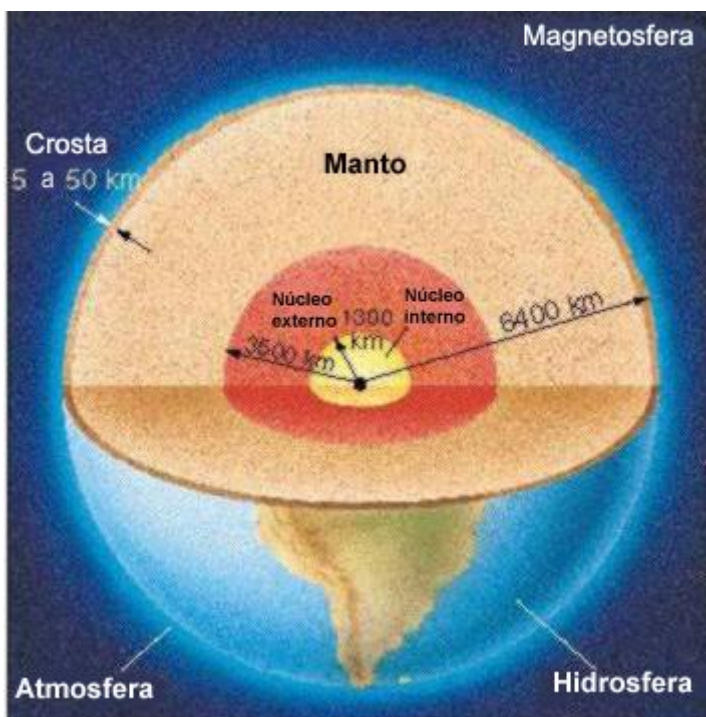
Pouco conhecemos sobre os interiores dos planetas e este pouco é, quase sempre, obtido a partir de evidências indiretas. Até mesmo no caso do planeta em que vivemos, a Terra, só conhecemos diretamente sua estrutura interna até uma profundidade de cerca de 10% do seu raio. O que sabemos sobre a estrutura interna da Terra também foi obtido a partir de evidências indiretas.

A primeira dessas evidências é a densidade. Como vimos (tabela 7 da introdução) a densidade total da Terra é de $5,5 \text{ g/cm}^3$. Entretanto, a densidade das rochas superficiais terrestres varia entre $2,6$ e $3,0 \text{ g/cm}^3$. Destes valores deduzimos que o interior da Terra deve ser muito mais denso do que a superfície, atingindo em seu núcleo valores tão altos como 10 g/cm^3 .

Outro dado indireto é obtido a partir do conhecimento de grutas e minas: quanto mais fundo nos encontramos, mais quente o ambiente se torna. Ou seja, o calor aumenta com a profundidade. Dai deduzimos que o interior da Terra deve ser mais quente do que a superfície. Os terremotos também nos fornecem indícios importantes sobre a estrutura interna da Terra. Cada terremoto gera, a partir de seu epicentro, ondas sísmicas que se deslocam através do interior da Terra e podem ser medidas em vários pontos da sua superfície. Estas ondas se propagam de formas distintas dependendo da composição e da estrutura do material que elas atravessam. Portanto, o estudo de como estas ondas se propagam no interior da Terra nos permite determinar temperaturas, pressões e diferenças de composição. Ao notarem que em regiões opostas ao epicentro de um terremoto não eram registradas ondas que sabíamos não se propagarem em meio líquido, os cientistas concluíram que o núcleo da Terra deve ter uma parte líquida.

As propriedades das rochas encontradas na superfície da Terra também fornecem indícios importantes sobre a estrutura do nosso planeta. Sabemos que certas rochas são formadas pelo derretimento de outras rochas e que algumas delas provêm de profundidades de até 200 km. Isto indica que as camadas inferiores devem estar derretidas e que existem grandes pressões nessas regiões mais profundas.

Por fim, outro dado que temos é que a Terra possui um campo magnético intenso. Sabendo que um campo magnético é gerado pelo movimento turbulento de um líquido metálico. A partir disso podemos concluir que o interior da Terra deve ser líquido e também metálico.

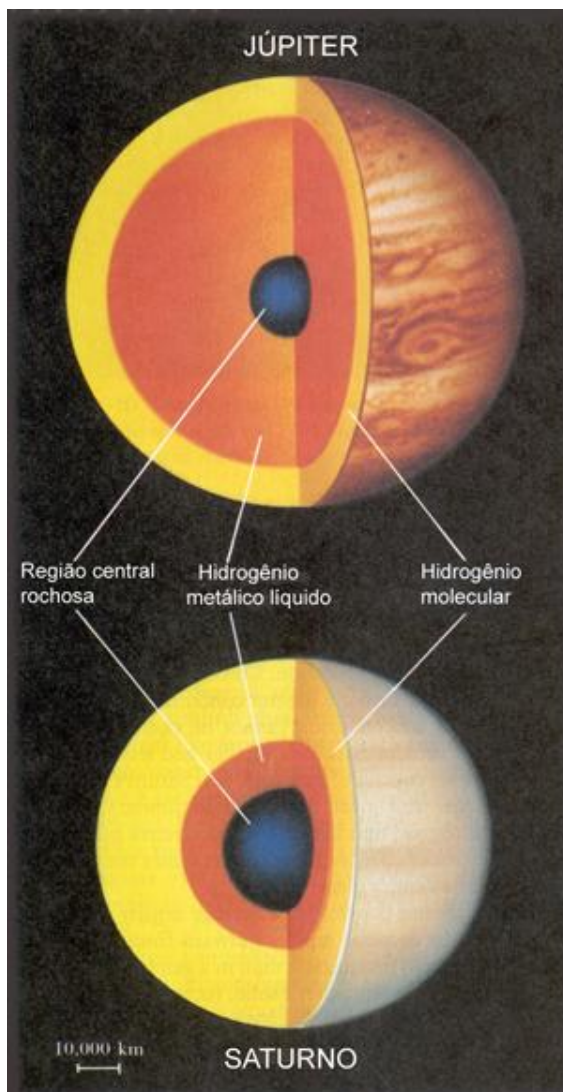
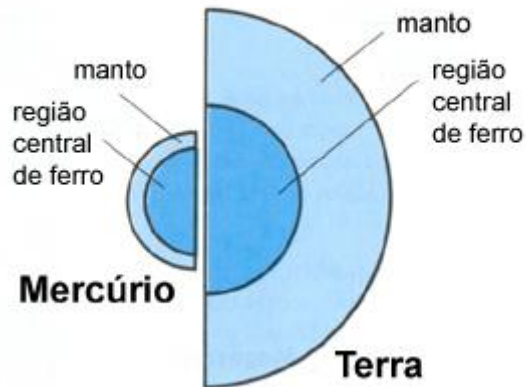


A partir de todos esses "dados" podemos finalmente descrever a estrutura interna da Terra. Abaixo da atmosfera temos uma camada, com uma espessura entre 5 e 80 km, a qual denominamos de **crosta**. A parte da crosta que fica abaixo dos oceanos, os quais cobrem cerca de 55% de toda a superfície da Terra, tem uma espessura típica entre 5 e 10 km e é composta por rochas vulcânicas conhecidas como basaltos. A parte da crosta continental, que tem entre 30 e 80 km de espessura, é composta por rochas, também de origem vulcânica mas distintas dos basaltos, que são chamadas granitos. Abaixo da crosta temos uma espessa camada, o **manto**, que chega até cerca de 2900 km de profundidade. No manto, devido ao calor e às pressões existentes, as rochas são deformadas e se tornam um fluido denso chamado de magma. A densidade no manto aumenta com a profundidade, como resultado da

compressão causada pelo peso do material, e varia de $3,5 \text{ g/cm}^3$ até mais de 5 g/cm^3 . A partir de cerca de 2900 km temos então o denso **núcleo metálico** do nosso planeta, com um raio de cerca de 3500 km, maior do que o raio do planeta Mercúrio. A parte mais externa do núcleo é líquida enquanto que a parte mais interna, com um raio de cerca de 1300 km, é extremamente densa e, provavelmente, sólida.

Passando aos demais planetas, verificamos que Mercúrio tem um interior dominado por um núcleo metálico que chega a conter cerca de 60% de toda a massa do planeta. Esse núcleo tem um raio de cerca de 1750 km e acima dele existe uma camada de rochas com uma espessura de cerca de 700 km. Mercúrio tem um fraco campo magnético, o que é indício de que pelo menos parte do seu núcleo deve ser líquido.

Sobre o interior de Vênus e de Marte pouco sabemos. No caso de Vênus sabemos que seu interior deve ser, ou ter sido em alguma época do passado, quente devido aos traços de intensa atividade vulcânica observados na superfície deste planeta. Vênus deve ter um núcleo rico em metais mas não tem magnetosfera ou seja, não possui campo magnético no espaço a sua volta. Marte também não tem magnetosfera e possui muito pouco metal, sendo que o seu núcleo metálico tem o tamanho de, apenas, cerca de 40% de seu diâmetro.



A estrutura do interior dos planetas gigantes, por outro lado, é dominada pela pressão. No caso de Júpiter, em seu centro a pressão deve chegar a $100 \times 10^6 \text{ bar}$ atingindo o material aí localizado a fantástica densidade de 31 g/cm^3 .

O que é bar?

Apenas para comparação com Júpiter, lembramos que no centro da Terra a pressão é de $4 \times 10^6 \text{ bar}$, com uma densidade de 10 g/cm^3 . A estrutura dos planetas gigantes é bem similar entre si. Primeiro temos as nuvens superficiais formadas por hidrogênio e hélio em estado gasoso. À medida que a profundidade aumenta as pressões se tornam muito fortes e o hidrogênio passa ao estado líquido, que chamamos de hidrogênio metálico. Essa transformação é devida ao fato de que, devido à alta compressão, os elétrons se tornam mais ou menos livres passando a ter um comportamento de metal. Por fim, temos um pequeno núcleo composto de rochas, basicamente formadas por ferro, silício e oxigênio, e de gelos de carbono, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio.

É importante ressaltar que os quatro planetas gigantes têm núcleos aproximadamente do mesmo tamanho, entre 14000 e 20000 quilômetros de raio. O que os faz diferirem é o tamanho das camadas superiores. No caso de Júpiter a camada de hidrogênio metálico atinge 45000 quilômetros de espessura contra apenas 24000 quilômetros em Saturno. Esta camada de hidrogênio metálico não existe em Urano e Netuno que possuem apenas

uma camada de hidrogênio molecular com raio de cerca de 25000 quilômetros. No caso de Saturno a camada de hidrogênio molecular tem uma espessura de 30000 quilômetros enquanto que em Júpiter ela tem apenas 20000 quilômetros.

Entre os pequenos corpos os cometas são agregados homogêneos de gelo de água e poeira com pouca coesão, podendo ser facilmente destruídos. Os satélites pequenos e os asteróides também têm interiores basicamente homogêneos sendo corpos poucos diferenciados. Os satélites maiores tem interiores basicamente compostos de gelos e rochas, a única exceção sendo Io, satélite de Júpiter, que é o objeto com maior atividade vulcânica de todo o Sistema Solar. Esta intensa atividade vulcânica é devida ao interior líquido deste corpo e é causada pela atração gravitacional de Júpiter. Io está a uma distância de Júpiter aproximadamente igual àquela entre a Lua e a Terra. Entretanto, Júpiter tem 300 vezes mais massa do que a Terra e sua intensa força gravitacional distorce seu satélite fazendo-o assumir uma forma alongada. Esta "maré" se estende por vários quilômetros na direção de Júpiter. Se Io mantivesse sempre a mesma face voltada para Júpiter esta distorção não produziria calor. Entretanto, Io sofre perturbações produzidas por outros satélites de Júpiter, principalmente Europa e Ganimede, fazendo com que ele desenvolva uma órbita ligeiramente excêntrica. À medida que Io se aproxima e se afasta de Júpiter, as forças de atrito vão aquecendo o interior do satélite o que gera o intenso vulcanismo observado nele. Depois de bilhões de anos de flexão e torção o interior de Io se tornou completamente derretido e sua crosta é constantemente refeita pela ação do vulcanismo.