

Capítulo 2

A TERRA E A LUA

Neste capítulo avaliaremos a dinâmica da Terra e as propriedades físicas do sistema Terra-Lua. Nossos objetivos principais são: comparar esses dois corpos e explicar suas diferenças; descrever as conseqüências das interações gravitacionais entre ambos; estudar a estrutura interna, a atmosfera e a magnetosfera terrestre; descrever os eventos que formaram a superfície lunar; etc.

Iniciaremos discutindo a dinâmica da Terra e suas conseqüências, como efeitos de maré e paralaxe, entre outros vários fenômenos observados por nós. Na segunda parte do capítulo estudaremos o sistema Terra-Lua.

I. DINÂMICA DA TERRA

a. Evidências da Rotação da Terra:

O Efeito de Coriolis; O Pêndulo de Foucault; O Achatamento da Terra

b. Evidências da Revolução da Terra em torno do Sol:

Aberração anual da luz; Paralaxe; Efeito Doppler

c. Forças Gravitacionais Diferenciais:

Marés; Precessão e Nutação

II. SISTEMA TERRA-LUA

a. Características Gerais:

Dimensões; Distância e Massa

b. Estrutura Interna

c. Características Superficiais

d. Atmosferas

Estrutura da Atmosfera Terrestre; Campo Magnético

e. Evolução do sistema Terra-Lua

Bibliografia

- *Introductory Astronomy & Astrophysics*, de Zeilik & Smith (cap. 3 e 4)
- *Astronomy: a beginner's guide to the Universe*, Chaisson & McMillan (cap 5)

DINÂMICA DA TERRA

É em função dos movimentos da Terra e da Lua que se convencionaram várias unidades de medida de tempo. Desta forma, definem-se *segundo*, *minuto*, *hora* e *dia* em termos da **rotação da Terra**; *semana* e *mês* em termos do **movimento orbital da Lua**; e *ano* em função da **revolução** da Terra em torno do Sol.

O dia médio solar é de 24 horas, ou seja, 1^h corresponde a 15° de rotação da Terra. A duração de um **dia sideral** (o intervalo entre duas passagens sucessivas referentes a um determinado ponto celeste - como as estrelas, por exemplo) é de **23^h 56^m 4.09^s** (cerca de 4 min. mais curto que um dia médio solar). A duração de um ano é de 365,2564 dias.

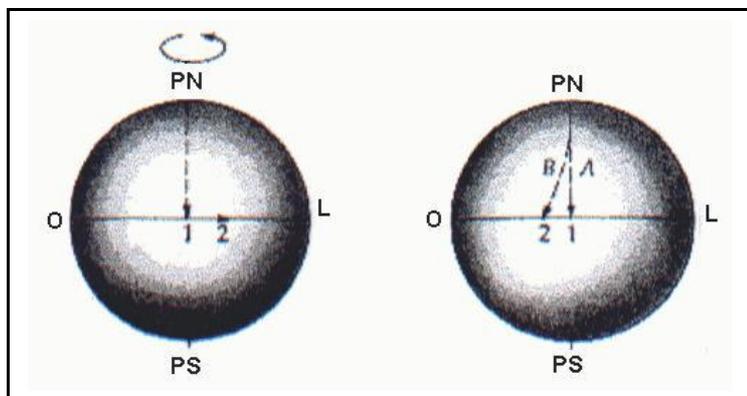
a. Evidências da Rotação da Terra

O simples fato de observarmos a esfera celeste "girando" para oeste diariamente não serve como prova de que a Terra está girando para leste, pois este argumento também poderia ser indicativo de que a Terra estaria estática e a esfera celeste girando. Vamos então buscar evidências a partir das bem conhecidas leis dinâmicas de Newton.

O Efeito de Coriolis

A observação da trajetória aparente de foguetes e satélites artificiais só pode ser explicada se a Terra estiver em rotação. Vamos considerar um projétil lançado do pólo norte e que cai no equador. A rotação da Terra transporta o alvo para leste, a uma velocidade de 0,46 km/s, e o projétil irá atingir um ponto a oeste do alvo.

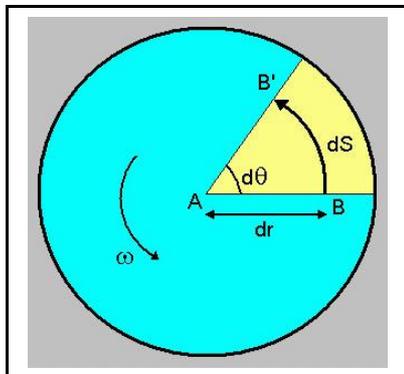
Embora o projétil esteja de fato movendo-se para o sul em relação ao solo, ele parece desviar para a direita (oeste). A aceleração fictícia que produz esse efeito - o efeito de Coriolis



- foi deduzida por Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843). Para observadores no Hemisfério Norte os corpos que se movem sobre a Terra em rotação parecem "desviar" para a direita e no caso do Hemisfério Sul para a esquerda.

Figura 1. Efeito de Coriolis atuando sobre um projétil lançado do Polo Norte em direção ao Polo Sul.

Para avaliarmos a aceleração de Coriolis, vamos estudar o caso de um corpo que se move com velocidade radial \mathbf{v} sobre uma mesa que gira com velocidade angular ω . No tempo t , o corpo sai de A , desloca-se $d\mathbf{r}$ e chega a B em um tempo dt . Enquanto isso o ponto B deslocou-se para B' percorrendo o ângulo $d\theta = \omega dt$.



Lembrando que a velocidade radial é definida por $v=dr/dt$ e que o comprimento do arco é $ds=drd\theta$, escrevemos $ds=(v dt)(\omega dt)=v \omega (dt)^2$.

Pela 2ª Lei de Newton: um corpo percorre uma distância $ds = \frac{a(dt)^2}{2}$ em dt quando ele sofre uma aceleração constante .

De forma que $\mathbf{a}_{\text{Coriolis}} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$.

Figura 2. Deslocamento de um corpo sobre uma mesa giratória

O Pêndulo de Foucault

Baseado num efeito semelhante ao de Coriolis, em 1851 Foucault realizou uma experiência que demonstra a rotação da Terra. Um pêndulo de 60m foi suspenso no interior da cúpula do edifício Panthéon, em Paris, e foi constatado que o plano de oscilação do pêndulo desloca-se no decorrer de um dia. Se a Terra não girasse, esta rotação do plano de oscilação do pêndulo não ocorreria, porque todas as forças que agem sobre a bola presa ao pêndulo (gravidade e tensão do fio) permaneceriam no plano de oscilação.

No caso de um pêndulo balançando no equador não ocorrem forças perpendiculares ao plano de oscilação e o mesmo não gira (pois $\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega} = 0$). Num determinado ponto da superfície da Terra, a uma latitude φ , a componente vertical da velocidade angular da Terra é $\omega (\sin \varphi)$. A velocidade angular é inversamente proporcional ao período de rotação $\omega \sin \varphi = \frac{2\pi}{P}$, onde $\omega = \frac{2\pi}{24\text{hs}}$. Desta forma, o pêndulo parece girar para o oeste, com período $P = \frac{24^h}{\sin \varphi}$.

O Achatamento da Terra

A Terra tem a forma de um esferóide oblato, com raio polar de 6356,8 km, cerca de 21 km menor que o raio equatorial (6378,2 km). No caso de um planeta fluido, a rotação causa um achatamento em sua forma.

Apesar da Terra ser composta de materiais sólidos, seus componentes têm um comportamento plástico: sua massa tem uma liberdade de movimento e migra para o equador terrestre. Esse comportamento semelhante ao de um corpo fluido garante a manutenção do formato oblato.

b. Evidências da Revolução da Terra em torno do Sol



Aberração anual da luz

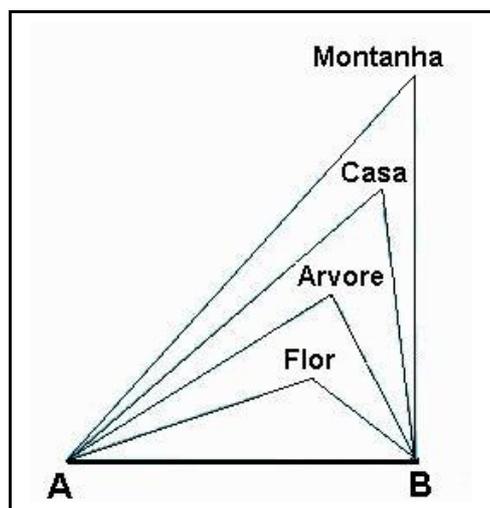
Caso você esteja caminhando debaixo de uma chuva vertical, sentirá a necessidade de aumentar o ângulo de inclinação do guarda-chuva tanto quanto mais rápido for seu passo. A aparente inclinação da chuva resulta da composição de movimento da pessoa combinado à queda da chuva.

Figura 3. A direção aparente da queda da chuva é resultado da combinação entre a velocidade da pessoa e a da chuva.

Vamos agora considerar o deslocamento da luz proveniente de um astro com relação a um observador. A composição de movimento entre o observador e a luz recebe o nome de **aberração da luz**.

Se a Terra move-se com velocidade v , para se observar um astro que esteja no zênite o telescópio deverá ser apontado para essa direção, mas com um ângulo de inclinação θ , tal que $\theta \sim \tan \theta = v/c$, onde $c \approx 3 \cdot 10^5$ km/s é a velocidade da luz. Desta forma, a luz atingirá a base do telescópio sem sofrer desvios.

Em 1729, o astrônomo inglês James Bradley descobriu a aberração da luz; constatou que $\theta = 20,49$ segundos de arco; e explicou este fenômeno como sendo causado pelo movimento orbital da Terra. Assim, podemos deduzir a velocidade orbital da Terra: $v = c\theta = (3 \cdot 10^5 \text{ km/s})(9,934 \cdot 10^{-5} \text{ rad}) = 29,80 \text{ km/s}$.



Paralaxe

Ao percorrermos uma estrada temos a impressão de que os objetos mudam de posição mais rapidamente quanto mais próximos se encontram da beira do caminho, e que os mais distantes parecem não se deslocar. Esse efeito de perspectiva tem o nome de **paralaxe**. Se considerarmos um triângulo imaginário, cuja base corresponde à distância percorrida, e o objeto observado encontra-se no vértice oposto à base, notamos que o ângulo de abertura nesse vértice será cada vez menor, quanto mais distante estivermos do objeto.

Figura 4. Efeito de perspectiva que exemplifica a paralaxe. Com relação ao observador, que se desloca na linha AB, o objeto mais próximo parece se deslocar mais rapidamente que o objeto mais distante.

Objetos astronômicos próximos devem exibir o efeito de paralaxe correspondente ao movimento da Terra em torno do Sol. Vamos considerar um triângulo imaginário, cuja linha de base eqüivale ao diâmetro da Terra e no vértice encontra-se o objeto a ser observado

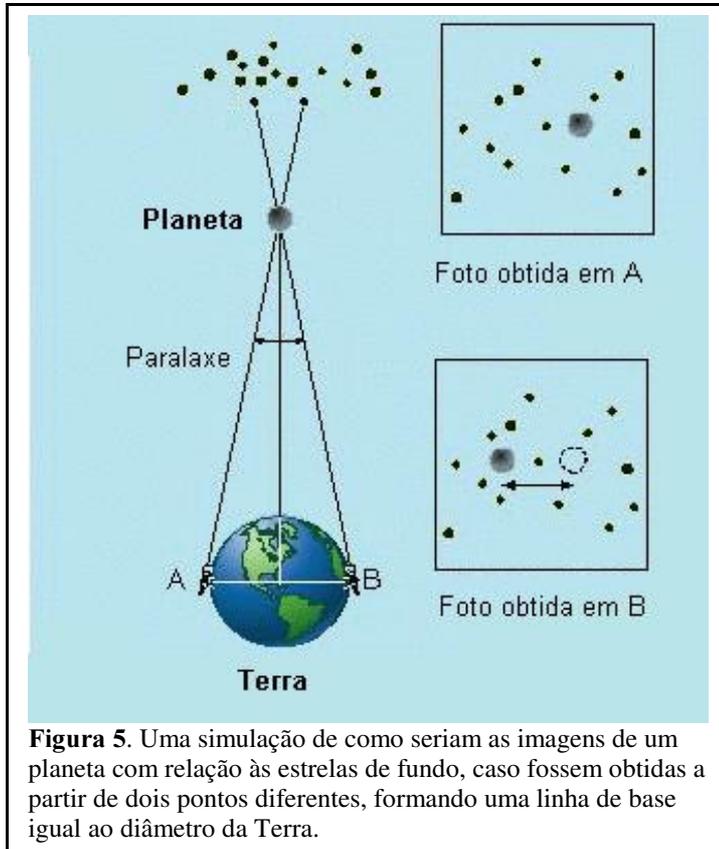


Figura 5. Uma simulação de como seriam as imagens de um planeta com relação às estrelas de fundo, caso fossem obtidas a partir de dois pontos diferentes, formando uma linha de base igual ao diâmetro da Terra.

(planeta). As estrelas de fundo podem ser consideradas fixas. Duas fotografias obtidas a partir de diferentes pontos da Terra, mostrarão um deslocamento aparente da posição do planeta com relação às estrelas de fundo.

O deslocamento aparente de objetos próximos como os planetas também pode ser observado quando as fotos são tomadas em dois pontos da Terra diametralmente opostos. Neste caso, a linha de base é definida pelo diâmetro da Terra. Essa paralaxe de planetas não evidencia a rotação da Terra em torno do Sol, mas sim a paralaxe **estelar**, cuja linha de base é dada pela distância Terra-Sol.

Efeito Doppler

Veremos no capítulo referente à Radiação Eletromagnética, que a natureza da luz é ondulatória e que portanto, os objetos celestes emitem radiação com um comprimento de onda natural. Veremos também que o efeito Doppler é um fenômeno que ocorre quando há movimento entre o emissor e o observador. O desvio sofrido no comprimento de onda observado é dado por: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ onde v é a velocidade radial do objeto e λ_0 o

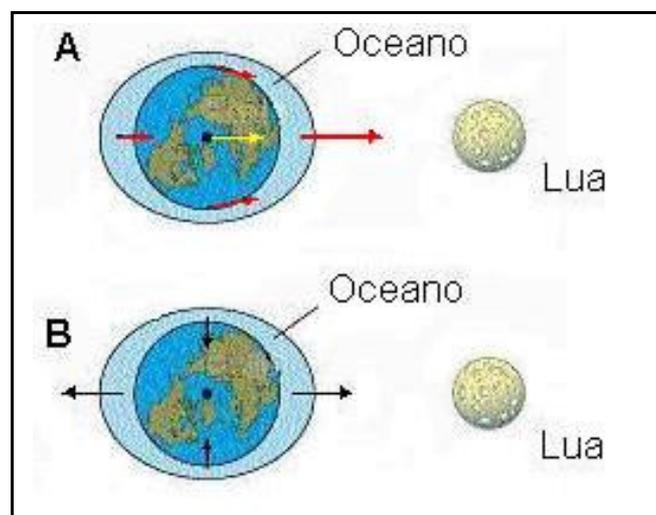
comprimento de onda natural (ou de laboratório) da luz emitida. Quando $v > 0$ ocorre o afastamento do objeto, enquanto que $v < 0$ indica sua aproximação.

Da mesma forma que o movimento da Terra em sua órbita ao redor do Sol pode ser demonstrado através do efeito da paralaxe, também podemos verificar que o comprimento de onda da luz emitida por um determinado objeto celeste pode aumentar ou diminuir, quando as observações são realizadas em épocas diferentes. Isso porque, num dado ponto de sua órbita, a Terra estará se afastando do objeto e 6 meses depois estará se aproximando do mesmo.

c. Forças Gravitacionais Diferenciais.

A atração entre dois corpos esféricos é equivalente àquela exercida entre duas massas pontuais. Entretanto, quando os corpos são elásticos ou não-esféricos, existem forças gravitacionais diferenciais ao longo do volume dos corpos, pois a força gravitacional depende da distância. Assim, diferentes partes de cada corpo estarão sujeitas a diferentes forças de atração dos vários corpos envolvidos, enquanto a aceleração cinemática tem uma distribuição uniforme.

Marés



Vamos avaliar a força gravitacional exercida pela Lua se a Terra fosse coberta por um oceano de espessura uniforme (situação **A**, vista acima do polo). Se subtrairmos o vetor de aceleração do centro da Terra, que é igual em todos os pontos, da aceleração gravitacional na superfície, obtemos as acelerações diferenciais de maré (situação **B**).

Figura 6. Na imagem A são indicados os vetores representando a ação gravitacional que a Lua exerce na superfície da Terra. No centro da Terra aparece indicado o vetor de aceleração da Terra. As acelerações diferenciais (imagem B) aparecem ao subtrairmos esse vetor de aceleração do centro da Terra, daqueles vetores da superfície.

Estas forças de maré originam uma preamar de cerca de 1 m nos pontos alinhados com a reta que une os centros da Terra e da Lua.

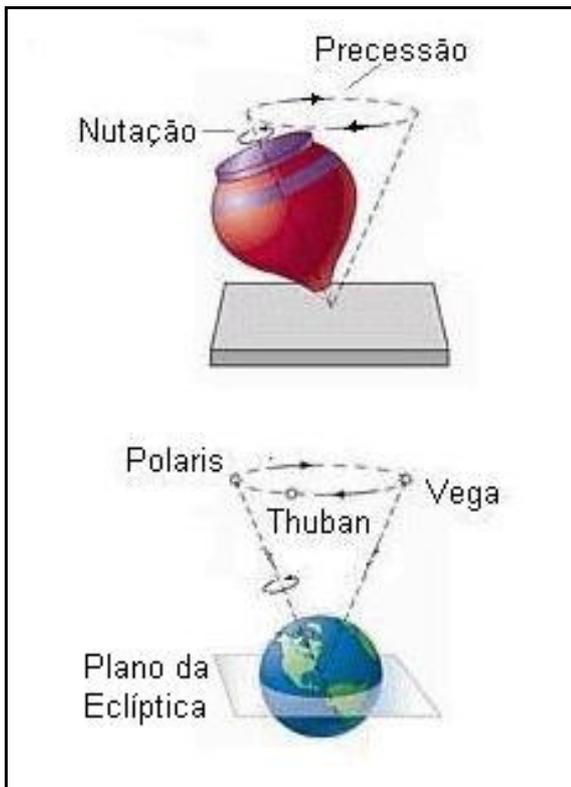
O Sol também produz efeitos de maré sobre a Terra, mas numa proporção menor. Uma vez que as acelerações diferenciais são proporcionais a MR/d^3 e como $R=R_{\oplus}$ é o mesmo em ambos os casos, a relação entre as forças de maré solar e lunar é :

$$\frac{M_{Sol}}{M_{Lua}} \left(\frac{d_{Lua}}{d_{Sol}} \right)^3 \cong \frac{5}{11}$$

As acelerações do Sol e da Lua combinam-se vetorialmente, de modo que a maré resultante depende da elongação da Lua relativamente ao Sol. Quando ocorre conjunção ou oposição, as duas forças somam-se e a maré atinge o máximo. Quando a Lua está em quadratura, ao contrário, elas cancelam-se parcialmente e as marés são mínimas.

Uma das conseqüências do atrito das marés é a dissipação de energia na forma de calor. Isso reduz a energia cinética de rotação da Terra e a duração do dia aumenta 0,002 segundos por século.

Precessão e Nutação



Esses dois movimentos do eixo de rotação da Terra são comparáveis aos movimentos de um pião. O eixo **precessiona** num período de 26.000 anos, além disso bamboleia em torno de uma posição média, num período de 18,6 anos, compondo o movimento chamado **nutação**.

Atualmente o eixo da Terra, na direção do polo norte, aponta para a estrela Polaris (também conhecida como estrela do norte). Daqui a aproximadamente 12000 anos, quase metade do ciclo de precessão, esse eixo vai apontar na direção da estrela Vega. Há cerca de 5000 anos atrás, a estrela do norte era a estrela Thuban.

Figura 7. Comparação dos movimentos de Precessão e Nutação da Terra com o movimento de um pião.

SISTEMA TERRA-LUA

a. Características Gerais

Dimensões

O primeiro cálculo do tamanho da Terra foi efetuado por Eratóstenes (sec. III.a.C.). Ele notou que num determinado dia do ano os raios de Sol incidiam perpendicularmente sobre um poço da cidade de Siena (somente nesse dia observava-se a imagem refletida em sua água). Ele notou também que nesse mesmo dia, na cidade de Alexandria (a 800 km de Siena) a inclinação dos raios solares era de cerca de 7° .

Da proporção $\frac{7^\circ}{360^\circ} = \frac{800km}{p}$, deduziu **p**, o perímetro aproximado da Terra como sendo de

cerca de 40 mil quilômetros, o que leva a um valor para o raio da Terra R_\oplus muito próximo do verdadeiro Raio Equatorial $R_\oplus = 6378,2 \text{ km}$. Para a determinação precisa desse valor atualmente utilizam-se medidas de satélite e radar (geodésia espacial).

A Lua, com raio de 1738 km ($0,272 R_\oplus$) e massa de $7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ ($0,0123 M_\oplus$) é um dos maiores satélites do sistema solar, comparando-se seu tamanho, e massa em relação à Terra.

Distância e Massa

A separação entre o centro da Terra e o centro da Lua é de 384.405 km, que equivale a 60,3 R_{\oplus} . Desta forma, a posição do centro de massa (CM) do sistema pode ser calculada por (vide expressão (2) da pg. 13): $\frac{M_L a_L}{M_{\oplus} + M_L} = \frac{(0,0123)(384.405)M_{\oplus}}{1,0123M_{\oplus}} = 4671 \text{ km}$ a partir do centro da Terra, ou seja, o CM do sistema está a 1707 Km abaixo da superfície da Terra.

Se desprezarmos a massa da Lua e considerarmos seu período orbital de 28 dias, podemos estimar a massa da Terra pela terceira Lei de Kepler :

$$M_{\oplus} = \frac{4\pi^2 a_L^2}{GP_L^2} = 5,98.10^{24} \text{ kg, com erro inferior a 1\%.$$

Conhecendo a posição do CM e a massa da Terra, podemos calcular a massa da Lua, através do movimento da Terra em torno do CM, pela relação: $M_L = \left(\frac{d_{\oplus}}{d_L}\right) M_{\oplus} = 7,35.10^{22} \text{ kg} = (1/83)M_{\oplus}$, onde, d_{\oplus} e d_L são as distâncias entre o CM até o centro da Terra e da Lua, respectivamente.

Atualmente, com o uso de uma tecnologia mais avançada, medidas com maior precisão têm sido obtidas. O valor mais preciso para a massa da Lua é determinado por sondas espaciais. O achatamento da Lua é 0,006 e o eixo maior aponta para a Terra. A distância entre a Lua e a Terra é obtida com precisão medindo-se o tempo de trajeto de ida e volta de um pulso de radar (com erros de até alguns metros) ou laser (precisão de até alguns centímetros).

A determinação do diâmetro da Lua resulta do conhecimento da distância e do diâmetro angular aparente que pode ser obtido por medidas angulares diretas e tempo de ocultação de estrelas e eclipses solares. Multiplica-se o diâmetro aparente de 31 minutos de arco (ou 0,009 rad) pela distância Terra-Lua, deduzindo-se o diâmetro de 3466 km (raio de 1733 km).

b. Estrutura Interna

Terra

A densidade média da Terra é: $\bar{\rho} = \frac{3M_{\oplus}}{4\pi R_{\oplus}^3} = 5520 \text{ kg/m}^3$. Como sabemos que a densidade das rochas superficiais é $\bar{\rho} \cong 3000 \text{ kg/m}^3$, conclui-se que o interior da Terra deve ser muito denso.

De fato, a Terra é estratificada, sendo que os primeiros 35 km são compostos de rochas ($\bar{\rho} \approx 3300 \text{ kg/m}^3$). Na faixa até $\sim 2900 \text{ km}$ encontra-se o **manto** (silicatos em forma compacta com densidade $\bar{\rho} \approx 3300 - 6000 \text{ kg/m}^3$). Em seguida apresenta-se o **núcleo exterior líquido** com espessura de $\sim 2200 \text{ km}$ e densidade $\bar{\rho} \approx 9000 - 11000 \text{ kg/m}^3$. O centro é ocupado **pelo núcleo interior sólido** com raio 1300 km e $\bar{\rho} \approx 12000 \text{ kg/m}^3$.

Lua

A partir da massa e raio calcula-se a densidade média da Lua $\bar{\rho} \approx 3370 \text{ kg/m}^3$, semelhante à da crosta terrestre. As missões espaciais, como a Apollo, trouxeram amostras de rochas superficiais de composição semelhante a silicatos basálticos com densidade $\bar{\rho} \approx 3000 \text{ kg/m}^3$. Desta forma, a densidade não deve crescer muito na direção do centro da Lua.

Sismógrafos instalados na Lua revelaram uma baixa atividade sísmica, sendo que as maiores apresentam nível menor que 2 na escala de Richter. Alguns dos sismos lunares devem ser provenientes dos impactos de meteoritos.

O modelo do interior lunar mais aceito atualmente considera a presença de um **núcleo** não-metálico, inativo e sólido; um **manto** que pode ter sofrido fusão parcial e a **crosta** com espessura $\sim 60-70 \text{ km}$.

Na figura abaixo estão esquematizadas (fora de escala) as principais regiões da Terra e da Lua. Para a Terra são apresentados o núcleo interno rodeado pelo núcleo líquido externo. A maior parte da Terra é dominada pelo manto, que é circundado por uma fina crosta, com apenas algumas dezenas de quilômetros. Acima da hidrosfera encontra-se a atmosfera e a região mais externa da Terra é a magnetosfera.

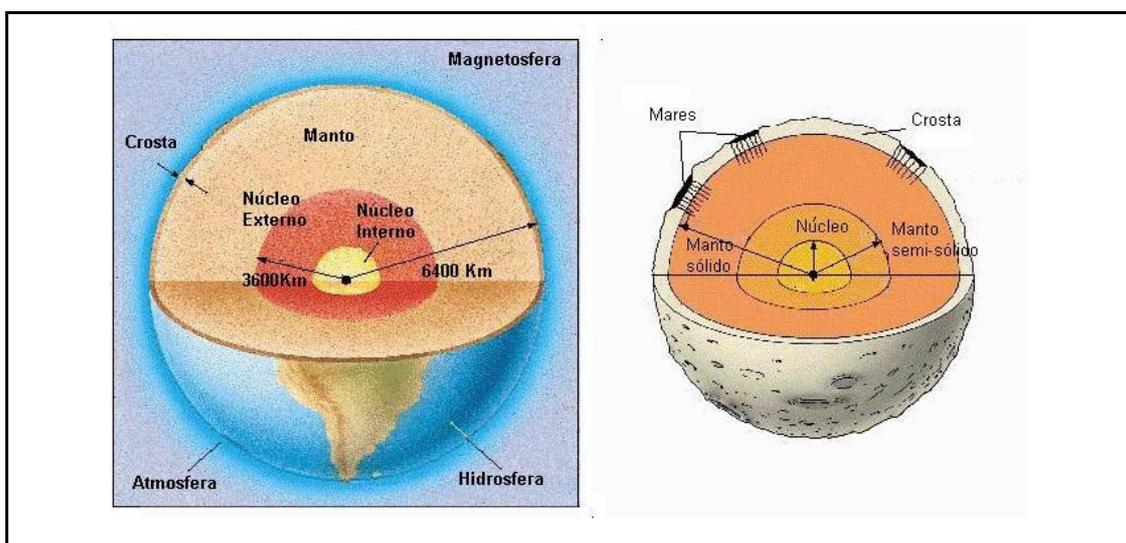
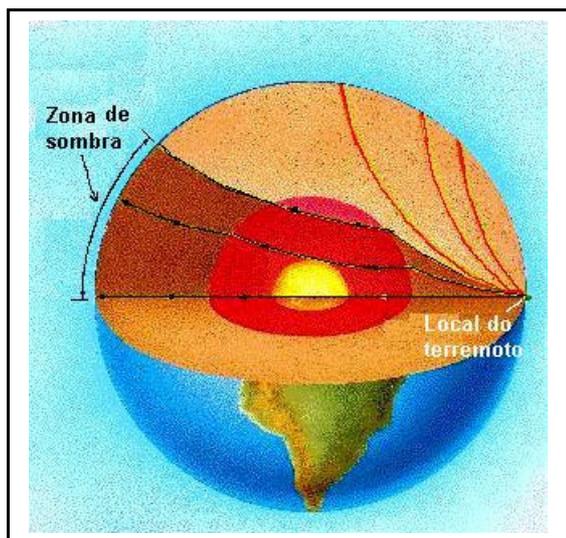


Figura 8. Representação esquemática das estruturas da Terra (painel à esquerda) e da Lua (painel à direita).

No esquema da Lua aparece o manto rochoso, que cobre o manto interno semi-sólido, que por sua vez circunda o núcleo interno. Na superfície aparecem os mares e as partes mais altas da crosta.

O conhecimento que temos hoje em dia a respeito do interior da Terra foi obtido graças ao do estudo da propagação das ondas sísmicas. Os tremores de terra irradiam ondas longitudinais de compressão e ondas transversais, cujas trajetórias no interior da Terra dependem das propriedades elásticas do material em cada ponto.



Essas ondas sofrem refração e reflexão. Algumas ondas não são detectadas nas zonas de "sombra" criadas pelo núcleo externo, o que indica que esse núcleo é líquido. A composição química precisa do núcleo não é ainda bem conhecida.

Terremotos geram ondas sísmicas que podem ser detectadas em estações sismográficas ao redor do mundo. As ondas se propagam no interior da Terra e são desviadas de acordo com a variação da densidade e temperatura no interior do planeta.

Figura 9. O desvio das ondas sísmicas causado pelo núcleo externo da Terra, indicando sua composição líquida.

c. Características Superficiais

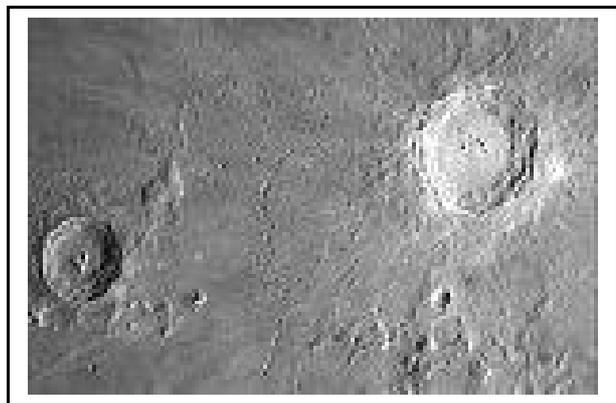
As superfícies da Terra e da Lua apresentam muitas diferenças, devidas principalmente às características evolutivas. Por possuir um interior quente e uma atmosfera erosiva, a Terra não foi preservada, como no caso da Lua, que tem um interior frio e não possui atmosfera.

Terra

A crosta terrestre é composta por uma **litosfera** sólida (blocos continentais de granito) e uma **hidrosfera** líquida (70% da superfície total). As placas continentais e oceânicas da crosta são separadas e flutuam sobre o manto. O movimento das placas é causado pelo padrão convectivo no manto superior que arrasta as placas através da superfície da Terra. Um exemplo desse fenômeno é a falha de San Andreas na Califórnia, o resultado do deslizamento na parede das placas da América do Norte e do Pacífico.

Lua

A superfície lunar e os primeiros metros de seu solo têm sido muito bem estudados graças a várias missões de sensoriamento remoto ou por sondagem direta. Seu material é de composição basáltica com um albedo médio muito baixo (0,07). Sua temperatura varia rapidamente desde ~390 K até 110 K. Apresenta **planaltos** que aparecem como áreas saturadas de crateras (regiões claras) bem como



planícies (ou Mares), que são grandes áreas escuras, aproximadamente circulares com diâmetro de 300 a 1000 km.

Em 1609, Galileu observou os “mares” lunares. A origem desse mares é devida o impacto de meteoritos, cujas dimensões são desde centímetros até ~290 km.

Figura 10. Duas crateras lunares e parte de uma planície, representada pela cor mais escura.

Estágios na formação de uma cratera lunar por impacto meteorítico

- (a) Um meteorito colide na superfície lunar liberando grande quantidade de energia;
- (b) como resultado, o material é ejetado do impacto e envia ondas de choque embaixo da superfície.
- (c) Eventualmente forma-se uma cratera rodeada por uma mistura de material ejetado.

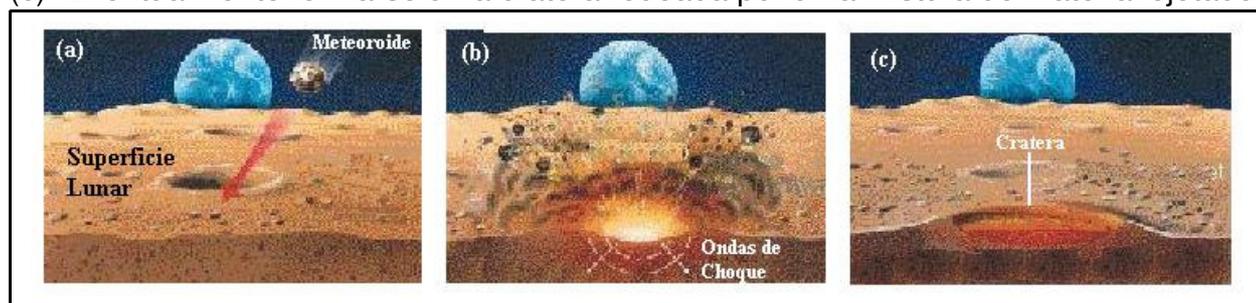


Figura 11. Representação esquemática da formação de uma cratera por impacto de um meteorito.

d. Atmosferas

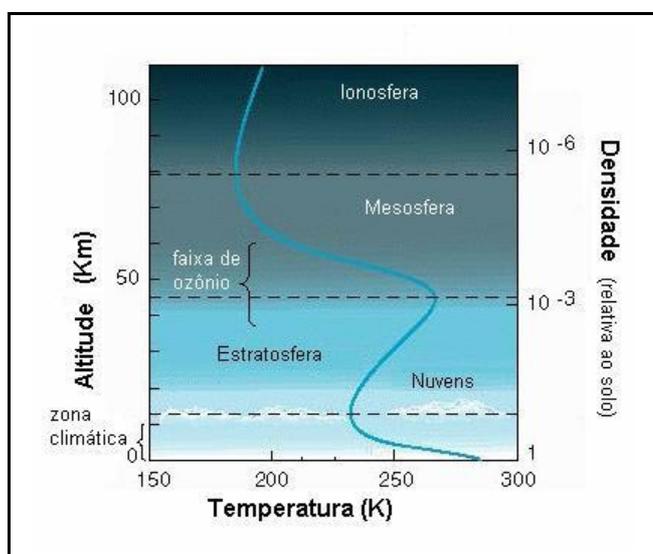
No caso da Terra, a atmosfera atual é o resultado de vulcanismo; de emissões gasosas diversas; e do fato de que a atração gravitacional é suficiente para reter a atmosfera. A composição química da atmosfera terrestre na superfície é dada na seguinte tabela:

Gás	%
Nitrogênio (N ₂)	78,08
Oxigênio (O ₂)	20,95
Argônio (Ar)	0,934
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,033
Neônio (Ne)	0,0018

Ao contrário da Terra, a Lua não tem atmosfera, pois não há manifestação de vulcões que poderiam expelir gás para formá-la, nem tampouco gravidade suficiente para retê-la.

Estrutura da Atmosfera Terrestre

A atmosfera terrestre é estratificada em várias camadas. A inferior, chamada **troposfera** é densa, homogênea, sede principal dos processos meteorológicos. A **tropopausa** vai até cerca de 15 km de altitude; a **estratosfera** é tênue e estável, com uma espessura de 40 a 50 km; a **mesosfera** está entre 50 e 80 km de altitude.



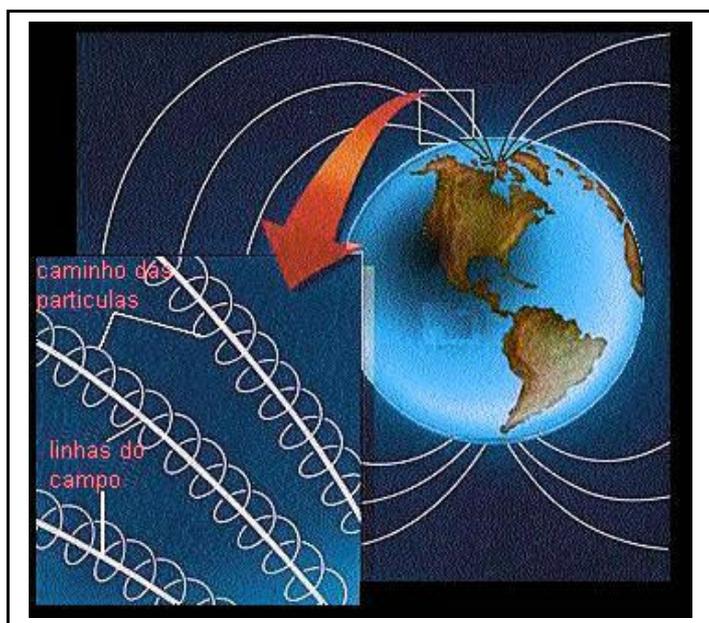
Na figura ao lado, indica-se a variação média da temperatura em função da altitude. Até a mesosfera a temperatura chega a um mínimo de 190K, enquanto que subindo até a **termosfera**, a uma altitude de 250 km, a temperatura sofre um aumento. Na **exosfera** (acima de 600 km) a temperatura é aproximadamente estável, sendo esta a região onde a atmosfera pode perder-se para o espaço interplanetário (região não indicada na figura).

Figura 12. Variação da temperatura na atmosfera terrestre, em função da altitude.

O comportamento da alta atmosfera (50 a 300 km) é parte do resultado de um processo de fotoionização, que produz a **ionosfera**. Os raios ultravioleta e raios-X do Sol são capazes de dissociar o nitrogênio e o oxigênio e de ionizar muitos outros átomos, até atingir um estado de equilíbrio. A ionosfera atua como uma camada protetora, que absorve a maior parte da radiação solar de alta energia.

Campo Magnético

Na Lua o campo magnético intrínseco é inferior a 10^{-9} T, enquanto que na Terra ele é bipolar, da ordem de $0,4 \cdot 10^{-4}$ T, e pode ser expresso por $(B \propto \frac{1}{r^3})$. Sua inclinação com relação ao eixo de rotação é de 12° . A provável origem é explicada pelas correntes fluidas no núcleo exterior, que é metálico (cargas elétricas em movimento geram um campo magnético).



Na presença de fortes campos magnéticos, partículas carregadas ficam aprisionadas, deslocam-se por caminhos espirais, ao redor das linhas de campo. O fenômeno das auroras é resultado da emissão da radiação após partículas magnetosféricas colidirem com moléculas atmosféricas.

Figura 13. Campo magnético terrestre. Partículas carregadas que chegam na atmosfera terrestre a partir do vento solar, por exemplo, ficam aprisionadas nas linhas de campo, deslocando-se em espirais.

e. Evolução do sistema Terra-Lua

Conhecendo-se as propriedades físicas da Terra e da Lua podemos inferir seus processos evolutivos. Por um lado, a Terra é um dos planetas mais evoluídos (e ainda está em evolução), enquanto isso, a Lua tem características de um mundo fóssil, que preserva evidências dos primeiros estágios de evolução planetária.

A história da Lua

A Lua formou-se há cerca de 4,6 bilhões de anos a partir do agrupamento de blocos de matéria. A crosta começou a se solidificar há ~4,4 bilhões de anos e foi bombardeada por meteoritos. Nos últimos 3 bilhões de anos a crosta esteve inativa. Os Planaltos representam as partes mais antigas e os Mares correspondem às regiões mais recentes.

A história da Terra

Podemos classificar a evolução da Terra em seis estágios provocados pelo calor interno: (1) há 4,6 bilhões de anos ocorreu sua formação pela aglomeração de blocos de matéria proveniente do disco proto-planetário. (2) há 4,5 bilhões de anos ocorreu formação de um núcleo denso; (3) a atividade vulcânica propiciou a formação de uma atmosfera; (4) a queda de meteoritos causou fraturas na crosta; (5) há 3,7 bilhões de anos ocorreu o surgimento dos primeiros continentes. Havia também muita ação de chuva e vento, causando erosões na superfície; (6) desde 600 milhões de anos atrás os processos do estágio anterior diminuiram progressivamente e a Terra tornou-se muito semelhante ao que observamos hoje em dia.



EXERCÍCIOS

1. Quais evidências levaram os Geofísicos a propor que o núcleo da Terra é parcialmente líquido?
2. Ao observarmos uma estrela que esteja no zênite, o telescópio deve ser apontado para essa direção, mas levemente inclinado, por um ângulo de aproximadamente 20 segundos de arco. **(a)** Por que esse procedimento é necessário? **(b)** Considerando a origem deste fenômeno, o que poderíamos concluir, caso esse ângulo fosse duas vezes maior?
3. Na direção do Polo Norte o eixo da Terra aponta para a estrela **Polaris** (estrela do norte). Por que **Vega** será considerada a estrela do norte, num futuro distante?
4. Calcule o raio da Terra, sabendo que na cidade de Alexandria a inclinação dos raios solares é de 7° , com relação à incidência dos raios solares observada no mesmo dia do ano, na cidade de Siena, a qual se encontra a uma distância de 800 Km.
5. Qual é a hipótese mais aceita que explica o campo magnético da Terra?
6. Por que a taxa de erosão na Terra é tão maior que na superfície lunar?
7. Como se explica a falta de atmosfera na Lua?
8. Qual é a explicação para as auroras terrestres?