

A TERRA



GUIA DO USUÁRIO



A TERRA GUIA DO USUÁRIO

Autoria e diagramação

Eder Cassola Molina - Geofísico do IAG-USP
eder.molina@iag.usp.br

Ilustrações

Projetadas por Freepik.com

Primeira edição elaborada em 2023 com apoio do projeto contemplado na Chamada Especial de 2023 de Fomento às Iniciativas de Cultura e Extensão da PRCEU-USP.



A Terra

Algumas características da Terra permitem qualificá-la como um corpo distinto: é o planeta mais denso do Sistema Solar, além de ser o maior e mais massivo dentre os planetas rochosos. Apresenta uma atmosfera com gases que mantêm o efeito estufa e permitem a regulação da temperatura e a existência de água em estado líquido e gasoso, oferecendo condições essenciais para a manutenção de vida. Seu único satélite tem dimensões comparativamente grandes com relação ao planeta.

Alguns valores médios de suas propriedades estão listados a seguir.

Massa: $5,972 \times 10^{24}$ kg

Densidade média: $5,5 \text{ g/cm}^3$

Raio equatorial médio: 6378 km

Raio polar médio: 6357 km

Achatamento: $1/298$

Distância média ao Sol: 150×10^6 km

Aceleração da gravidade média na superfície: $9,8 \text{ m/s}^2$

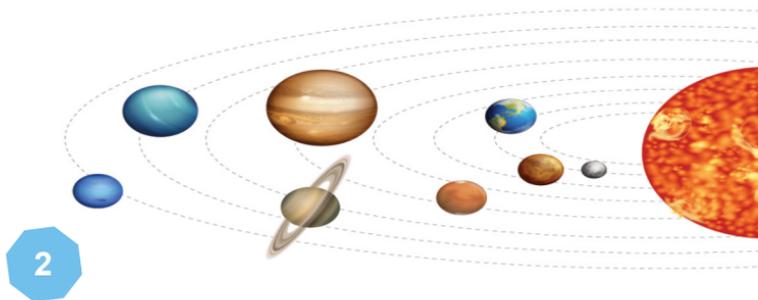
Temperatura média na superfície: 15°C

A Terra e o Sistema Solar

A Terra se formou em conjunto com os demais elementos do **Sistema Solar**, e tem idade calculada em aproximadamente 4,5 bilhões de anos.

Os corpos do Sistema Solar provêm de uma nuvem interestelar de gás e poeira, com composição semelhante ao que se observa no cosmos, que foi lentamente se diferenciando. A força gravitacional exerceu papel importante para que a nuvem original se compactasse, iniciasse um processo de rotação e concentrasse seu material nas partes centrais, com temperatura mais elevada ali do que na periferia.

Este processo gerou zonas similares a anéis, e cada anel deu origem a um corpo maior do Sistema Solar, que conhecemos hoje como planetas. Desta forma, a distância destas regiões ao centro da nuvem foi determinante para definir a composição do planeta que dali se formaria.



A origem da Terra

Além da **atração gravitacional**, o choque entre os corpos de diversos tamanhos que se formavam na região foi muito importante para a consolidação dos planetas, e em particular de nosso satélite natural, a Lua. Este processo gera calor, o que faz com que o corpo formado se estruture em camadas, com o material mais denso migrando para seu interior e o menos denso para a superfície.

Outra fonte importante de calor nas fases iniciais de formação do planeta foi o conteúdo elevado de certos materiais radioativos muito ativos que existiram nesta época.

Acredita-se que a Terra tenha se formado pela aglutinação de milhões de blocos de dimensão variada formados neste período, e que mesmo após sua consolidação, os choques ainda tenham sido frequentes nas primeiras centenas de milhões de anos.

Estes processos deram origem à estrutura do planeta em camadas como conhecemos hoje, com crosta, manto e núcleo apresentando materiais de composição e estrutura distintos.

A idade da Terra

Para se determinar a idade da Terra e demais corpos do Sistema Solar utilizam-se minerais e rochas que contêm alguns elementos radioativos. A quantidade atual destes elementos e dos que são formados a partir deles em relação ao valor inicial depende do tempo que se passou desde sua incorporação à rocha.

As rochas mais antigas encontradas na Terra têm 3,9 bilhões de anos, mas alguns minerais incorporados a outras rochas podem chegar a 4,2 bilhões de anos. Rochas mais antigas devem ter sido retrabalhadas pelos processos dinâmicos que atuam no planeta.

Por meio destes métodos a idade da Terra e do Sistema Solar foi estabelecida em **4,55 bilhões de anos**. Rochas lunares apresentam uma idade ligeiramente menor, da ordem de 4,4 bilhões de anos, ao passo que alguns meteoritos possuem idade concordante com a da Terra.

4



A evolução da Terra

Por conta dos processos dinâmicos que ocorrem desde a consolidação de sua camada superficial, a Terra mudou significativamente a configuração de seus continentes ao longo do tempo. Desta forma, o mapa-mundi que hoje conhecemos seria muito diferente há centenas de milhões de anos.

A separação e junção de porções mais antigas da sua camada superficial deu origem a diferentes configurações de massas continentais em determinados períodos da história do planeta, caracterizando o que se chama de supercontinentes.

O supercontinente mais conhecido é o **Pangeia**, palavra cuja origem traz a ideia de “todas as massas”, que teria se formado há 336 milhões de anos e permanecido íntegro até 175 milhões de anos atrás, quando se iniciou o processo de sua fragmentação e movimentação das massas, originando a configuração atual dos continentes.

Da mesma forma que os blocos continentais se fragmentaram, eles podem se unir no futuro e formar outro supercontinente, em centenas de milhões de anos.

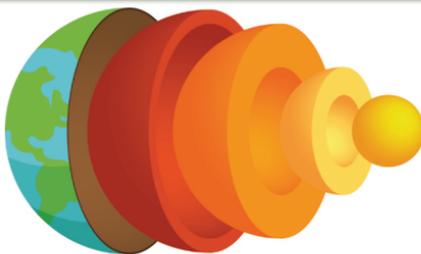
A estrutura da Terra

Desde que Cavendish determinou em 1797 que a densidade média da Terra é de $5,5 \text{ g/cm}^3$ percebeu-se que ela não pode ser homogênea, visto que as rochas superficiais têm densidade média de $2,7 \text{ g/cm}^3$, o que indica que há uma concentração de massa no interior do planeta.

As investigações diretas e indiretas posteriores permitiram definir regiões no interior do planeta com propriedades distintas, que eventualmente seriam constituídas por materiais diversos.

Se forem consideradas a composição e as propriedades físicas, pode-se dividir a Terra em crosta, manto e núcleo, este último subdividido em duas partes, o externo e o interno.

Outra forma de caracterizar a estrutura interna terrestre é baseada nas propriedades mecânicas dos materiais, e desta forma divide-se a Terra em litosfera, astenosfera, manto inferior, núcleo externo e núcleo interno.



6





A crosta terrestre

A crosta é a camada mais externa do planeta, sólida, com espessura que varia de 5 a 80 km. Possui características e espessuras muito distintas se considerarmos a porção continental e a oceânica.

Por apresentarem composições distintas, a crosta continental tem densidade média de $2,8 \text{ g/cm}^3$, ao passo que a crosta oceânica se caracteriza por um valor de $3,0 \text{ g/cm}^3$. Pelo mesmo motivo, a espessura da crosta continental varia entre 30 e 80 km, ao passo que a crosta oceânica tem entre 5 e 10 km de espessura.

A base da crosta é definida por métodos sísmicos, e é denominada **descontinuidade de Mohorovicic**, abaixo da qual encontra-se o material do manto terrestre. Na crosta continental existe uma transição presente entre as profundidades de 15 e 20 km, denominada **descontinuidade de Conrad**.



As rochas da crosta terrestre

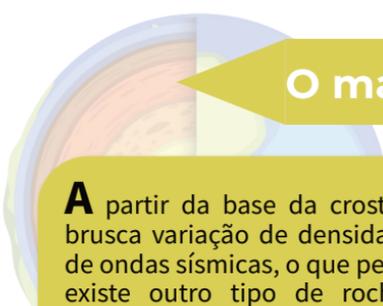
As rochas são agregados naturais de minerais, e podem se apresentar homogêneas ou com apreciável variedade de minerais visíveis a olho nu. Podem ser classificadas em ígneas, sedimentares e metamórficas.

Rochas ígneas ou magmáticas são formadas quando o magma se resfria, e normalmente possuem muitos minerais silicáticos. As condições de pressão e temperaturas reinantes durante sua criação são determinantes para sua composição e estrutura. Exemplos típicos são o granito, o basalto, o peridotito e o diabásio.

Rochas sedimentares são formadas a partir de material proveniente da decomposição de outras rochas. Este material pode ser compactado, dissolvido, recristalizado ou cimentado, originando uma nova rocha. Exemplos são o calcário, o dolomito e o arenito.

Já as **rochas metamórficas** são formadas por condições normalmente elevadas de pressão e temperatura atuando em rochas pré-existentes, que podem alterar sua estrutura e os seus minerais. Mármore, xisto, quartzito e ardósia são exemplos de rochas metamórficas.





O manto terrestre

A partir da base da crosta, o material apresenta uma brusca variação de densidade, composição e velocidade de ondas sísmicas, o que permite concluir que a partir dali existe outro tipo de rocha, caracterizando o **manto terrestre**. A densidade no topo desta região é de $3,3 \text{ g/cm}^3$. Para pequenos esforços e curtos intervalos de tempo o manto comporta-se como um sólido.

A parte superior do manto chega a 420 km de profundidade, apresentando algumas heterogeneidades importantes para a dinâmica terrestre, particularmente uma zona de baixa velocidade de ondas sísmicas a 220 km, onde se encontra a chamada **descontinuidade de Lehmann**.

Após uma zona de transição, que vai até 670 km de profundidade, na qual o material sofre uma modificação em sua rede cristalina pelas condições de pressão e temperatura, temos o manto inferior, que atinge a profundidade de 2900 km, aonde a densidade chega a $5,6 \text{ g/cm}^3$ e acredita-se que o material modifica-se regularmente apenas por compactação.

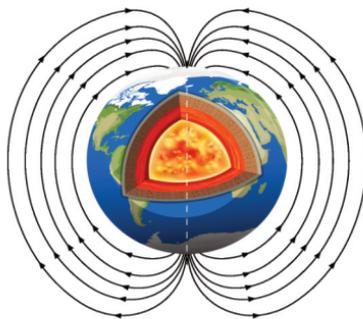
Na porção mais profunda do manto existe uma região de 200 a 300 km de espessura, chamada camada D'', na qual a velocidade das ondas sísmicas sofre uma considerável modificação, possivelmente pela mistura de material do manto com o do núcleo subjacente.

O núcleo terrestre

A 2900 km de profundidade ocorrem bruscas mudanças na propagação das ondas sísmicas e na densidade, que chega a 10 g/cm^3 , que só podem ser explicadas pela mudança na composição do material, caracterizando a chamada **descontinuidade de Gutenberg**, que marca o início do núcleo do planeta, de composição metálica, basicamente ferro e níquel.

A porção exterior desta camada é chamada de **núcleo externo**, e se encontra em estado líquido, com baixa viscosidade, indo de 2900 a 5100 km de profundidade. A partir daí, no **núcleo interno**, o material possui uma composição metálica similar, mas apresenta-se em estado sólido até o centro da Terra, a 6370 km em média.

A interação do material metálico fluido do núcleo externo e do material metálico sólido do núcleo interno dá origem ao campo magnético terrestre.



10

A estrutura dinâmica da Terra

Outra forma de classificar as camadas mais próximas à superfície terrestre utiliza as propriedades mecânicas das rochas.

A camada mais superficial, que engloba a crosta e parte do manto superior, é denominada **litosfera**, e vai da superfície à profundidade onde as rochas atingem a temperatura de 1300°C, aproximadamente. Até este ponto as rochas apresentam comportamento rúptil e se fragmentam quando sujeitas a esforços elevados. Nas regiões continentais a litosfera pode chegar a 250 km de espessura, ao passo que na parte oceânica ela atinge até 150 km.

Abaixo desta profundidade as rochas apresentam comportamento dúctil, ou seja, podem se deformar e fluir como reação a um esforço de grande magnitude aplicado ao longo de um grande intervalo de tempo. Esta região, que engloba parte do manto superior, é chamada de **astenosfera**, e possui uma espessura que pode atingir 300 km sob as regiões continentais ao passo que sob as regiões oceânicas pode chegar a 150 km. Abaixo dela, encontra-se o manto inferior.

Desta forma, é incorreto usar os conceitos de crosta e de litosfera como sendo equivalentes, bem como confundir a astenosfera com o manto terrestre.

Como estudar a Terra

Como as condições de pressão e temperatura não permitem investigar diretamente todas as camadas da Terra, grande parte da informação que temos sobre a sua estrutura tem que ser obtida por meio de métodos indiretos, e para isso a **Geofísica** utiliza diversos princípios físicos para investigar as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material. Atualmente utilizam-se métodos geofísicos também para a investigação de outros corpos do Sistema Solar.

Os métodos geofísicos mais conhecidos utilizam a propagação de ondas mecânicas geradas por meio de terremotos ou explosões, medições envolvendo o campo de gravidade, o campo magnético, o campo elétrico, o campo eletromagnético, o fluxo de calor e a emissão radioativa de elementos químicos presentes nas rochas para caracterizar as propriedades do planeta, tanto para os níveis superficiais quanto para os mais profundos.



Este material encontra-se disponível no endereço eletrônico <https://www.iag.usp.br/~eder/Terra/>

Outros materiais relacionados ao tema

Material informativo sobre métodos geofísicos desenvolvido por pesquisadores do IAG-USP:

<https://www.iag.usp.br/~eder/geofisica/>

Material didático produzido no IAG-USP:

<https://www.iag.usp.br/cultext/materiais/livros>

Departamento de Geofísica – IAG-USP:

<https://www.iag.usp.br/geofisica>

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas:

<https://www.iag.usp.br/>

Instituto de Geociências – IGc-USP:

<https://igc.usp.br/>

Museu de Geociências - IGc-USP:

<https://museu.igc.usp.br/>

Museu de Geologia e Ciências Naturais - UNESP:

<https://www.assis.unesp.br/#!/departamentos/ciencias-biologicas/museu-cbi/>

SGBEduca – Serviço Geológico do Brasil - CPRM:

<https://sgbeduca.cprm.gov.br/>

Os poucos furos de sondagem profundos que puderam ser realizados na Terra permitiram investigar diretamente apenas 12 km dos 6370 km que nos separam do seu centro. Ainda assim, uma boa quantidade de conhecimentos geológicos e geofísicos acumulados a seu respeito permitem inferir os processos que atuaram na sua formação e evolução e determinar como é a estrutura interna com uma boa precisão. Descubra estas características de nosso fascinante planeta!

