



## Como é a Terra por dentro?

As evidências de que a Terra não é homogênea são comprovadas por meio de métodos geofísicos, que investigam as diferentes propriedades físicas e químicas das rochas de forma indireta. Assim, por exemplo, o estudo da velocidade da propagação de uma onda sísmica em diferentes materiais terrestres permite estimar a composição e a estrutura da região em questão.

Considerando as diferenças de composição química e de propriedades físicas e mecânicas, como por exemplo, a densidade, a Terra pode ser dividida em **crosta, manto e núcleo**.

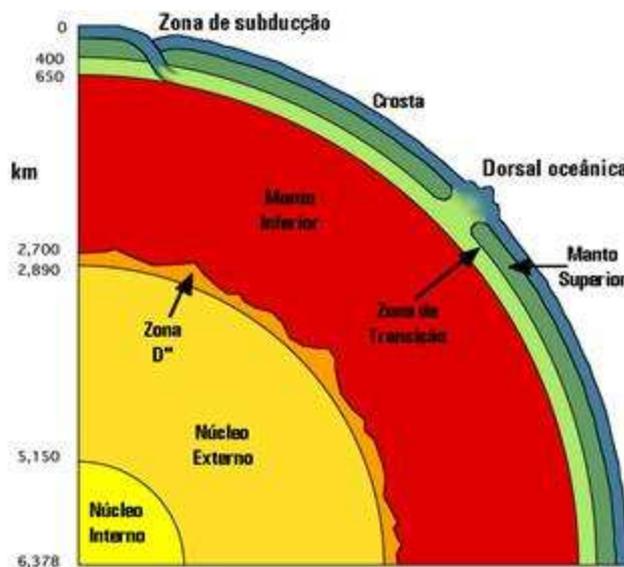


Diagrama esquematizando as camadas que compõe a Terra. As cores são ilustrativas.

A crosta é a camada superficial da Terra, rígida, que atinge a profundidade média de 35 km sob os continentes, onde apresenta densidade variando entre 2,6 a 2,8 g/cm<sup>3</sup>, e 6 km sob os oceanos, onde a densidade é de 3,0 a 3,3 g/cm<sup>3</sup>. Na base da crosta a velocidade das ondas sísmicas sofre um aumento brusco que marca claramente a mudança da propriedade física dos materiais. Esta descontinuidade que separa a crosta das camadas inferiores é chamada descontinuidade de Mohorovicic, em homenagem a um sismólogo iugoslavo que a estudou no início do século XX.

Abaixo da crosta encontra-se o manto, constituído de minerais silicáticos ricos em ferro e magnésio. O manto terrestre é sólido. Entretanto, em função das condições de temperatura e pressão em que se encontram as rochas no manto, elas tendem a se comportar como um fluido muito viscoso quando submetidas a esforços de longa duração e grande magnitude, como os esforços geológicos. A densidade do manto varia entre 3,5 g/cm<sup>3</sup> e 5,5 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com a velocidade das ondas sísmicas, podemos dividir o manto em três regiões: manto superior, zona de transição e manto inferior.

O manto superior vai da base da crosta até a profundidade de 400 km, e apresenta um aumento gradual de densidade com a profundidade. A partir dele, e chegando à profundidade de 1000 km, temos a zona de transição, onde a densidade passa por aumentos significativos em seu valor.

Abaixo de 1000 km temos o manto inferior, onde a densidade volta a aumentar gradualmente, até a profundidade de 2900 km, onde termina o manto e tem início uma nova camada: o núcleo terrestre.

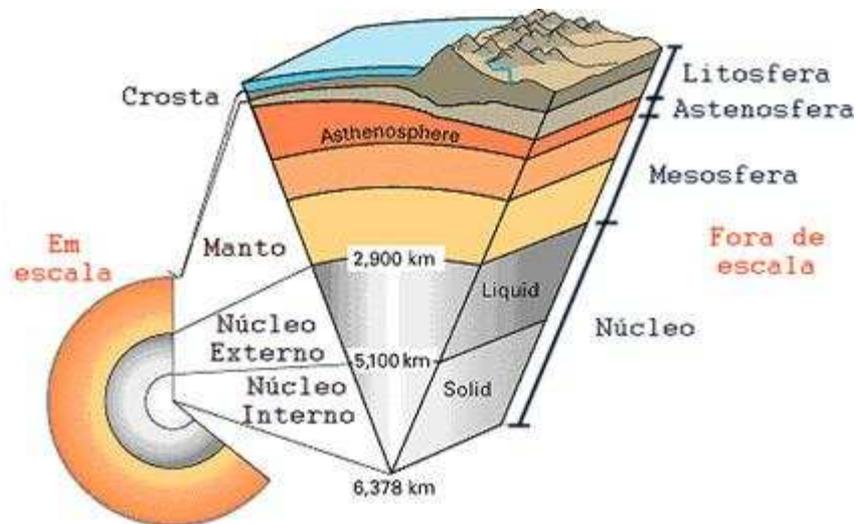
A análise das ondas sísmicas mostra que o núcleo é constituído por material de alta densidade, e está dividido em duas camadas: o núcleo externo e o núcleo interno.

O núcleo externo é fluido, indo de 2900 a 5100 km de profundidade, e possui cerca de 30% da massa da

Terra, sendo homogêneo pelos movimentos de convecção que nele ocorrem. Seu principal constituinte é o ferro, com pequenas quantidades de silício e enxofre.

A partir de 5.100 km de profundidade e indo até o centro da Terra, temos o núcleo interno, que é sólido e constituído basicamente por ferro e níquel. A interação entre o núcleo externo e o núcleo interno dá origem ao campo magnético terrestre, que é muito importante para a vida no planeta, por gerar uma “blindagem” que nos protege das partículas carregadas provenientes do Sol.

Levando-se em conta as características de rigidez e fluxo de material, podemos dividir as camadas mais externas da Terra de uma outra forma: litosfera, astenosfera e mesosfera.



Esquema das camadas da Terra considerando-se as propriedades físicas e químicas (à esquerda) e as características de rigidez (à direita). As cores são ilustrativas, não correspondendo à realidade.

A litosfera é a camada superficial rígida que possui mobilidade, que vai da superfície ao ponto onde a temperatura atinge os 1200 °C, que ocorre normalmente a 100 km de profundidade nas regiões das bacias oceânicas, e a 200 km nas regiões continentais. Nesta camada as rochas estão à pressão e temperatura tais que apresentam um comportamento rúptil, ou seja, apresentam condições de acumular esforços até o seu limite de ruptura, quando liberam a energia acumulada, normalmente sob a forma de um terremoto.

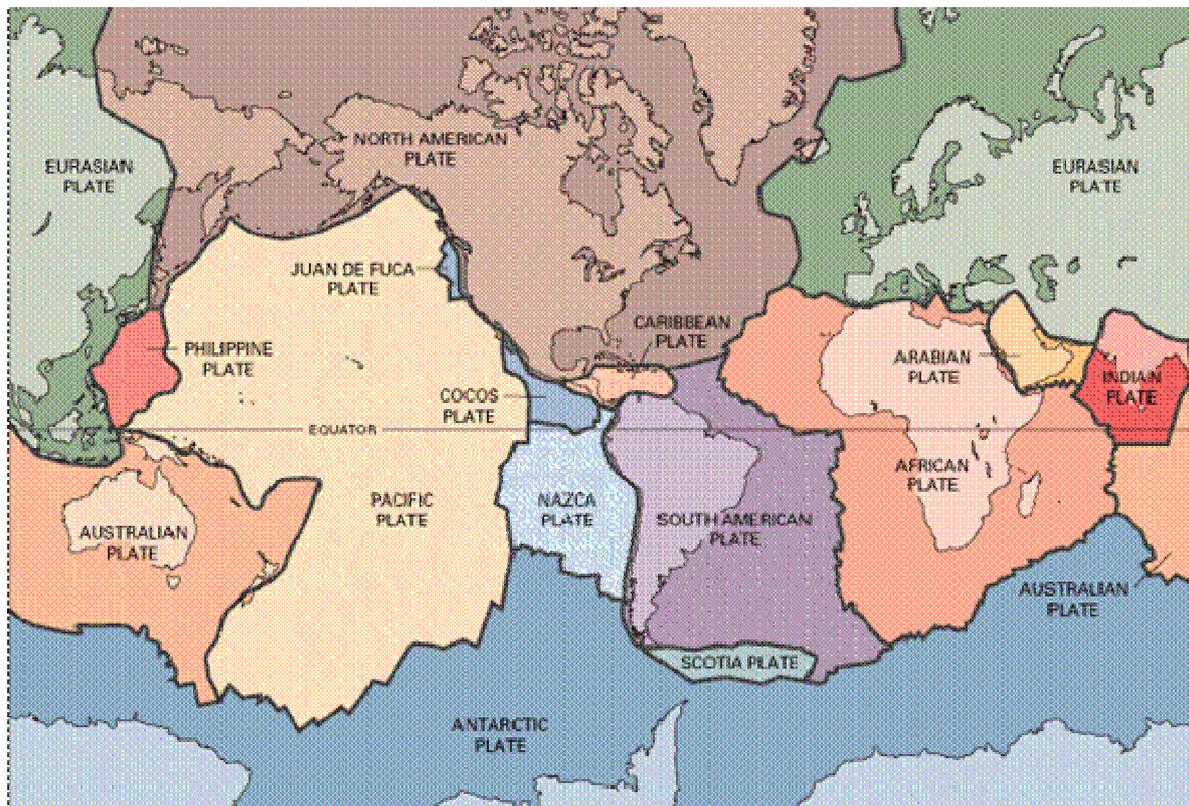
A astenosfera vai da base da litosfera até o ponto onde ocorre o terremoto mais profundo, o que ocorre a aproximadamente 700 km de profundidade. As propriedades desta camada são tais que permitem que ela seja considerada um fluido muito viscoso para grandes esforços atuantes em longos períodos, como é o caso do deslocamento da litosfera acima dela. Para eventos de curta duração, porém, a astenosfera comporta-se como um sólido elástico, o que pode ser comprovado pela propagação das ondas sísmicas. Abaixo da astenosfera, o aumento de pressão com a profundidade é tão acentuado que a viscosidade do material dificulta os movimentos de convecção. Temos nesta região a mesosfera, que vai dos 700 km até a interface com o núcleo externo, a 2900 km de profundidade.

É importante notar que as definições de crosta e litosfera são distintas, e os dois termos não devem ser utilizados como sinônimos, pois envolvem propriedades diferentes e apresentam características particulares.

### Como a superfície da Terra se move?

A distribuição dos terremotos e do vulcanismo na superfície terrestre permite delimitar estreitas faixas onde estes fenômenos normalmente ocorrem. Estas zonas são regiões de fraqueza na litosfera, que permitem dividi-la em grandes pedaços, que podem englobar tanto porções continentais quanto oceânicas: as placas litosféricas. (NOTA: é comum o termo “placas tectônicas”, mas os autores não gostam

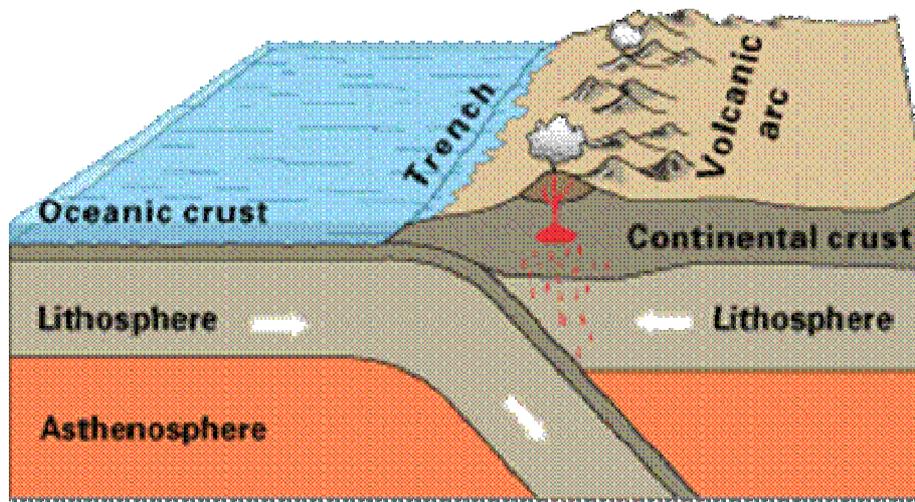
desta nomenclatura por dois motivos: o primeiro, é que ela advém de uma tradução errada de “plate tectonics”, que seria “tectônica de placas”; o segundo, é que não deixa explícito que se tratam de placas de dimensão litosférica, e não crustal; é comum o erro “placas tectônicas são pedaços da crosta que...”).



Esquema mostrando as principais placas litosféricas, em cores ilustrativas.

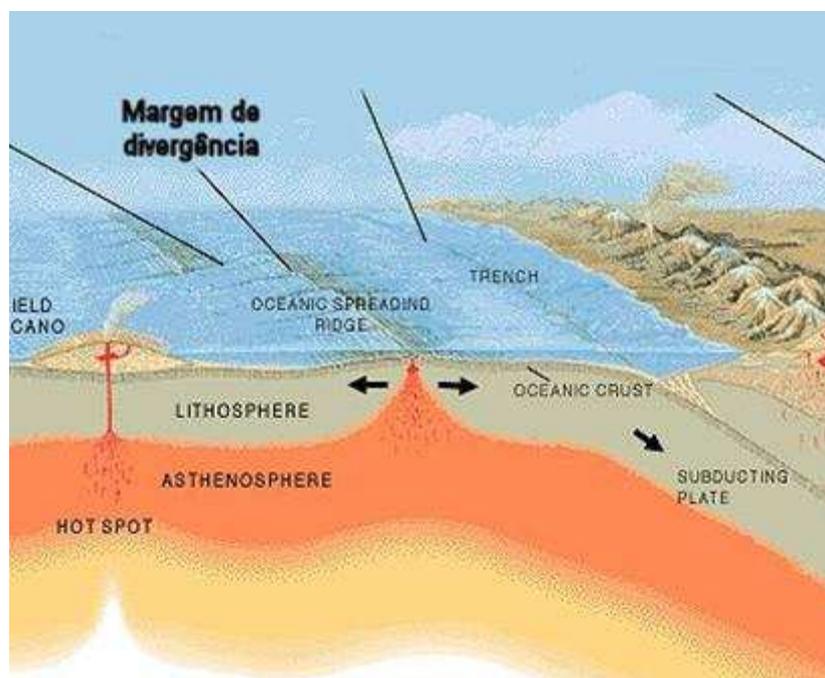
As regiões de bordas das placas litosféricas podem ser de três tipos: convergência, divergência e transcorrência.

Nas margens de convergência, duas placas colidem e uma delas é forçada a descer sob a outra, em um processo chamado de subducção. Neste tipo de colisão de placas, uma delas acaba sendo lentamente destruída, ao atingir a profundidade na qual as condições de pressão e temperatura são adequadas para que ocorra o processo de fusão. Um exemplo típico deste tipo de margem ocorre na região dos Andes, onde a placa de Nazca sofre subducção sob a placa da América do Sul. Neste processo foram geradas as cadeias de montanhas da região andina, bem como os inúmeros vulcões ativos ali presentes. A colisão das placas nesta região também é responsável pela grande quantidade de terremotos, muitos deles com magnitude muito grande, mostrando a enorme quantidade de energia envolvida no processo.



Esquema mostrando uma margem de convergência. A placa oceânica à esquerda, por ser mais densa, afunda sob a placa continental à direita, e no processo ocorrem terremotos e vulcanismo. A figura não se encontra em escala e as cores utilizadas são ilustrativas.

Nas margens de divergência ocorre a separação de duas placas litosféricas, com saída de material da astenosfera, que se solidifica ao longo das bordas das placas envolvidas no processo, aumentando-as gradativamente de tamanho. Nesta região ocorrem muitos abalos sísmicos de pequena magnitude, originados pelo rompimento de porções da placa durante o afastamento. Um exemplo de região deste tipo é a dorsal meso-atlântica, uma longa cadeia de montanhas submarinas que atravessa o Oceano Atlântico desde a Islândia até as regiões antárticas.



Esquema mostrando uma margem de divergência, na dorsal oceânica. A figura não está em escala e as cores utilizadas são ilustrativas.

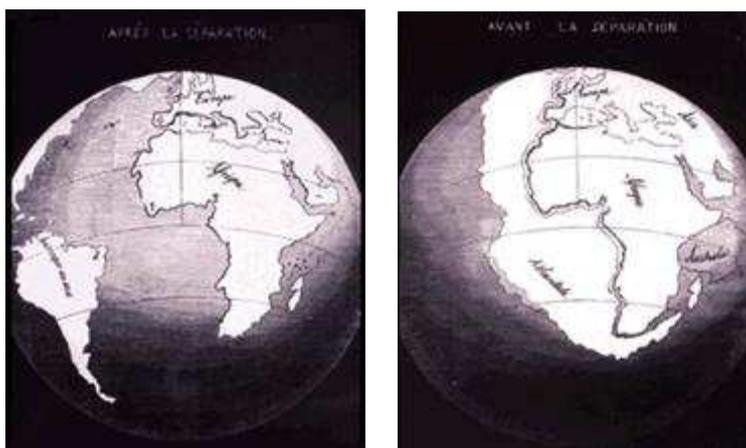
Nas margens de transcorrência, não há criação nem destruição de placas, mas somente o movimento lateral entre elas. Normalmente ocorrem terremotos neste tipo de margem, como é o caso da falha de San Andreas, na Califórnia.



Imagem da falha de San Andreas, na Califórnia, onde há o deslocamento relativo entre as placas.

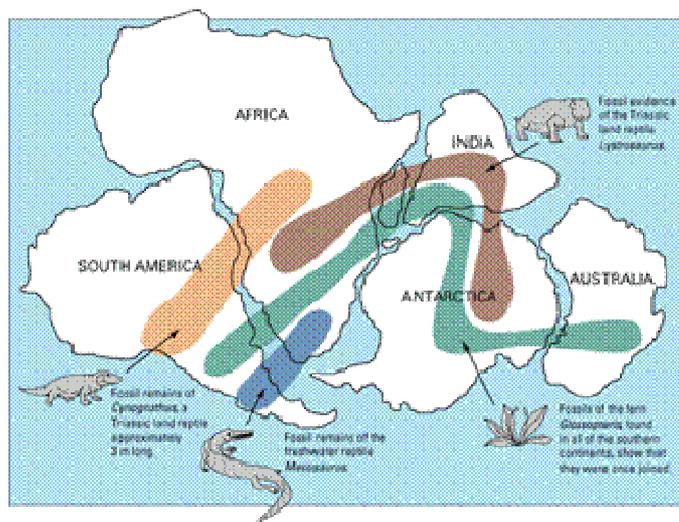
#### Deriva continental e tectônica de placas

A mobilidade das camadas superficiais da Terra foi proposta inicialmente em 1596 por um cartógrafo alemão chamado Abraham Ortelius, que notou a similaridade das linhas de costa da América do Sul e da África, sugerindo que os dois continentes estivessem unidos no passado.



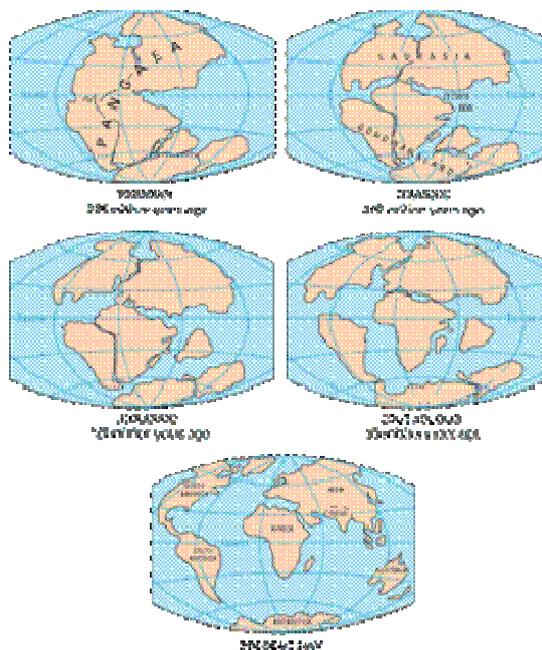
Esquema mostrando a similaridade entre as linhas de costa da América do Sul e África, observada por Abraham Ortelius.

Em 1912, um meteorologista alemão chamado Alfred Wegener propunha a teoria da Deriva Continental, baseado nas observações sobre o ajuste das linhas de costa, a distribuição de fósseis e as evidências sobre as dramáticas mudanças de clima ocorridas no passado geológico da Terra.



A distribuição de certos fósseis mostrava um padrão que só seria possível caso os continentes estivessem juntos no passado geológico.

A teoria da Deriva Continental propunha que há 200 milhões de anos todas as massas continentais faziam parte de um único bloco, que Wegener denominou de Pangea. A quebra deste supercontinente daria origem a duas grandes massas continentais: a Laurásia, ao norte, e o Gondwana, ao sul. Posteriormente estes dois blocos também se fragmentariam, dando origem às massas continentais que conhecemos na atualidade.



Esquema mostrando a configuração das massas continentais nos últimos 225 milhões de anos.

O principal problema com a teoria da Deriva Continental estava na força necessária para movimentar os blocos continentais, fazendo-os deslizar sobre o assoalho oceânico. Não se conhecia nenhuma força capaz de realizar tal tarefa, e, mesmo que existisse tal força, ela seria tamanha que fragmentaria completamente o continente. As críticas à teoria foram violentas, e ela acabou caindo no esquecimento após a morte de Wegener, durante uma expedição na Groelândia em 1930.

Posteriormente, na década de 1960, novas evidências geofísicas, como a constatação de que o assoalho oceânico é recente e repleto de feições fisiográficas, a distribuição dos terremotos e vulcanismo em faixas estreitas, delimitando as bordas das placas litosféricas, e o padrão simétrico de magnetização das rochas em relação à dorsal meso-oceânica, levaram à retomada da teoria da mobilidade das massas continentais, sob outra formulação, denominada Teoria da Tectônica de Placas.

A Tectônica de Placas postula que as placas litosféricas, que englobam tanto massas continentais quanto parte do assoalho oceânico, interagem entre si, afastando-se nas margens de divergência, como é o caso das dorsais oceânicas, e colidindo nas zonas de convergência, como é o caso dos Andes e Himalaias.

É importante notar, portanto, que a teoria da Deriva Continental foi uma primeira tentativa de explicar a mobilidade das massas continentais, mas mostrou-se em muitos pontos incorreta e foi substituída pela Tectônica de Placas, que é distinta, por considerar que não somente os continentes estão em movimento, mas toda a placa litosférica que os contém, além de utilizar diversas observações geofísicas que comprovam esta movimentação e explicam as forças envolvidas.

***Este artigo foi enviado pelo Prof Dr Eder Cassola Molina, e é baseado na apostila de sua autoria e do Prof Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade, ambos do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. eder@iag.usp.br***