

## **Aula 2: Composição e Estrutura Interna da Terra**

### **Origem do Estudo da Terra**

Prof. Daniel Caetano

**Objetivo:** Apresentar os fundamentos do estudo da Terra, bem como sua origem.

### **INTRODUÇÃO**

A Geologia sempre fascinou os seres humanos, o que explica o grande esforço e pesquisa para detalhamento cada vez maior dos conhecimentos já existentes. Mas como se estuda Geologia? Como é feita a Geologia?

A Geologia não é uma ciência de laboratório; ainda que algumas das teorias sejam melhor testadas e verificadas em laboratório, é no **campo** que a maior parte das observações e verificações são feitas. Seguindo o princípio de James Hutton, o pesquisador deve **buscar informações do presente que descrevam o que ocorreu no passado**.

Como não é possível observar diretamente o interior da Terra, muito do que se estuda em Geologia não foi determinado através de observação direta, mas sim inferido através de métodos indiretos. Em alguns casos, diversas teorias sobrevivem ainda hoje, com variados graus de aceitação entre os geólogos.

Nesta aula, veremos um pouco sobre a origem da Terra, bem como alguns métodos utilizados para o estudo de seu interior.

### **1. ORIGEM DA TERRA**

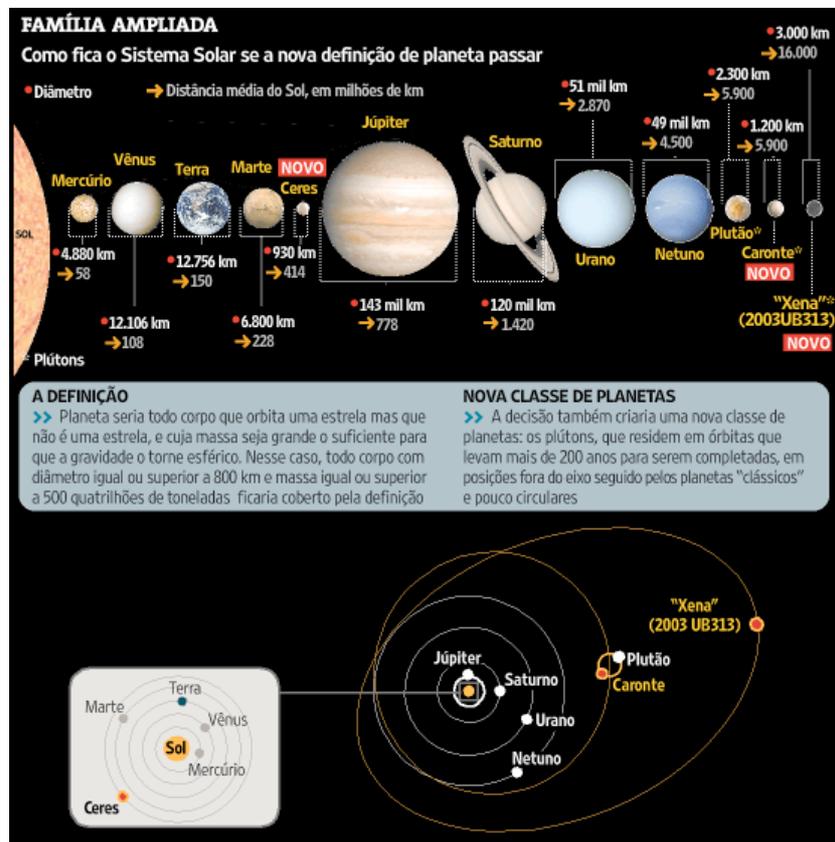
De acordo com a concepção atual, a Terra se encontra em um universo em expansão, cuja origem data de 13,7 bilhões de anos atrás. Há cerca de 4,6 bilhões de anos, ocorreu o surgimento do Sol, a estrela principal de nosso sistema solar.

Acredita-se que todos os elementos do Sistema Solar - isto é, o Sol e os planetas -, tenham surgido à mesma época e, além disso, que sejam compostos pelo mesmo tipo de matéria, o que até o momento foi comprovado pelas análises realizadas em rochas da Lua e Marte, por exemplo.

A maior parte da massa do Sistema Solar - 99,8% - está no sol; o Sistema Solar é formado por diversos planetas e planetas anões, que giram ao redor do Sol em órbitas coplanares, ou seja, os movimentos de translação do planetas ocorrem em um mesmo plano. Cada um destes planetas possui um movimento de rotação com uma ligeira inclinação com relação ao plano de translação.

Os planetas e planetas anões são, do mais próximo para o mais distante do Sol:

- Mercúrio
- Vênus
- Terra
- Marte
- Ceres (Planeta Anão)
- Júpiter
- Saturno
- Urano
- Netuno
- Plutão (Planeta Anão)
- Caronte (Planeta Anão)
- Xena (Planeta Anão)



### 1.1. Formação e Descrição Inicial da Terra

A Terra se formou há cerca de 4,5 bilhões de anos e sua característica mais marcante é a presença de elementos que permitem a existência de vida orgânica, isto é, baseada no elemento Carbono.

A vida se desenvolve em três "camadas" principais: crosta, hidrosfera e atmosfera.



A atmosfera é composta basicamente de Nitrogênio, Oxigênio e Argônio e foi, supostamente, enriquecida ao longo do tempo, devido a emissões gasosas do interior da Terra e, acredita-se, por meio de corpos cadentes (cometas), incluindo água e matéria orgânica.

A temperatura é na medida exata para que a água exista em seus três estados: sólido (gelo), líquido (água) e gasoso (vapor). A atmosfera, com água, forma uma estufa natural que constitui a *biosfera*. A grande quantidade de água faz com que a Terra tenha coloração azulada quando vista do espaço.

A temperatura da Terra é mantida/influenciada por uma fonte de calor externa - o Sol - e também pelo calor no interior do planeta. O Sol, em especial, tem uma grande influência no regime de ventos e chuva.

A Lua, o único satélite natural da Terra, tem cerca de 4 bilhões de anos e influencia diretamente as marés. O relevo da lua é composto por *mares* e *terras altas*. As terras altas são compostas de plagioclásios (mais comuns) e anortositos (menos comuns). Os mares são basicamente basáltico (vulcânicos, comuns).

## 1.2. Formação da Hidrosfera e Atmosfera

A Hidrosfera e a Atmosfera não foram sempre iguais. Inicialmente não existiam e sua composição mudou com alguns dos principais eventos da história da Terra:

- 4,5 Ga: Formação do núcleo e desgaseificação
- 4,3 Ga: Grande crescimento dos continentes (resfriamento da crosta)
- 3,9 Ga: Redução dos bombardeios meteóricos
- 3,8 Ga: Registros mais antigos de atividade biológica e primeiros sedimentos, por deposição no fundo dos oceanos.

Pelo fato de terem surgido apenas após a formação do planeta, a atmosfera e a hidrosfera são classificadas como **secundárias**. Sua origem primordial veio do

desprendimento de gases do núcleo e, além disso, uma parte de sua composição tem origem extra-terrestre.

A composição original de atmosfera era rica em gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ), levando a temperaturas extremamente altas pelo efeito-estufa. Com o tempo esse gás carbônico foi fixado no fundo dos oceanos na forma de  $\text{CaCO}_3$ .

## **2. ESTUDO DA TERRA**

Nas próximas aulas serão apresentados elementos que levaram às conclusões apresentadas anteriormente. Antes de uma análise mais profunda sobre o **interior da Terra**, convém apresentar alguns dos efeitos que permitiram seu estudo e conhecimento.

A Terra pode ser estudada por **métodos diretos**, como escavações. O máximo já escavado, entretanto, foi de 12,4 km, na península de Kola, o que não é nada comparado aos 6.370km que a terra possui. Além da alta pressão, outro fator que atrapalha muito a escavação é o crescimento da temperatura, com uma elevação de 30 a 40°C para cada km de profundidade. As temperaturas no interior da Terra são tão altas que o **calor do sol que chega ao subsolo é irrelevante**.

Uma vez que os métodos diretos são de alcance limitado, usualmente a Terra é estudada através de **métodos indiretos**. Estes métodos são:

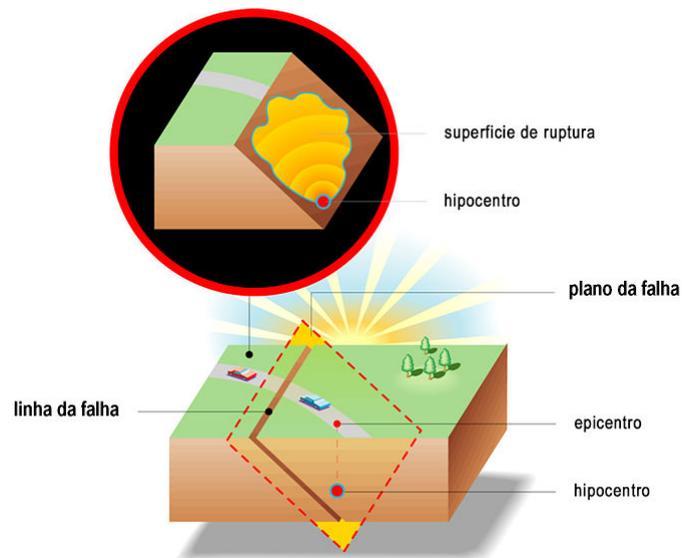
- **Sismologia**: propagação de vibrações dos terremotos
- **Gravidade**: teoria da gravitação
- **Geomagnetismo**: paleomagnetismo

### **2.1. Sismologia**

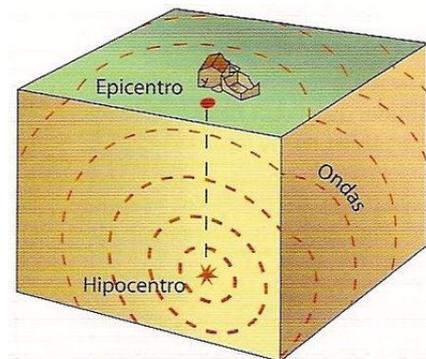
A Sismologia é o estudo das vibrações provocadas por terremotos. Mas o que é um terremoto? Um terremoto é a vibração de grande intensidade causada pela ruptura de uma camada do subsolo devido a forças de compressão ou tração, que serão estudadas posteriormente.

O ponto onde ocorre a ruptura é chamado de **hipocentro** (veja na figura a seguir). A *projeção* deste ponto na superfície é chamada de **epicentro** do terremoto. A **superfície de ruptura** determina o **plano da falha** e a intersecção do plano de fala com a superfície determina a **linha da falha**.

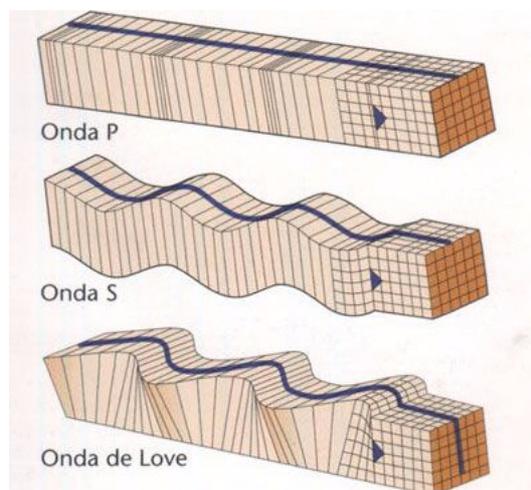
Algumas vezes, entretanto, a ruptura se dá apenas no interior do subsolo, não ficando visível a linha da falha na superfície. De uma forma ou de outra, este tipo de ruptura é brusca e provoca uma grande vibração no solo, que se propagará pela superfície terrestre.



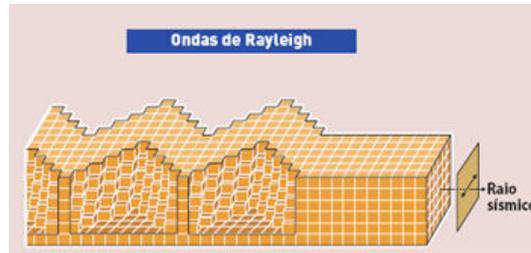
A propagação das vibrações ocorre nas três dimensões, como pode ser visto a seguir.



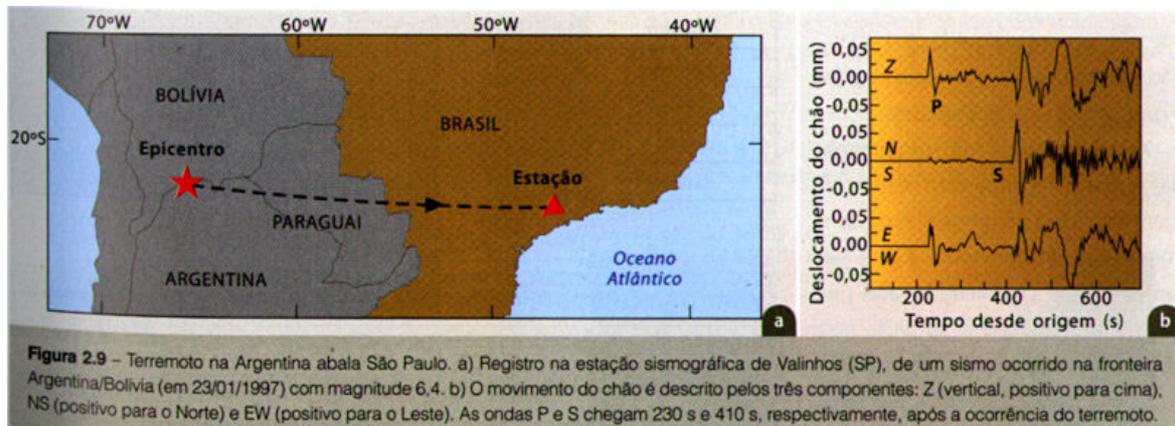
As ondas de propagação podem ser de três tipos: **ondas P**, que são **Paralelas** à direção de propagação da onda; **ondas S** que são **verticais** com relação à superfície e as **ondas de Love**, que são **horizontais** com relação à superfície. Observe a figura a seguir para compreender estes três movimentos.



Há ainda a onda Rayleigh, cujo movimento é um pouco mais complexo, como pode ser visto na figura a seguir. Esta onda pode ser entendida como uma combinação das ondas P e S.



As ondas são medidas normalmente nas direções Z (vertical), Norte-Sul e Leste-Oeste. Observe a figura a seguir (retirada do livro Decifrando a Terra), que mostra as vibrações nas diferentes direções medidas em valinhos, com relação a um terremoto ocorrido na Argentina.

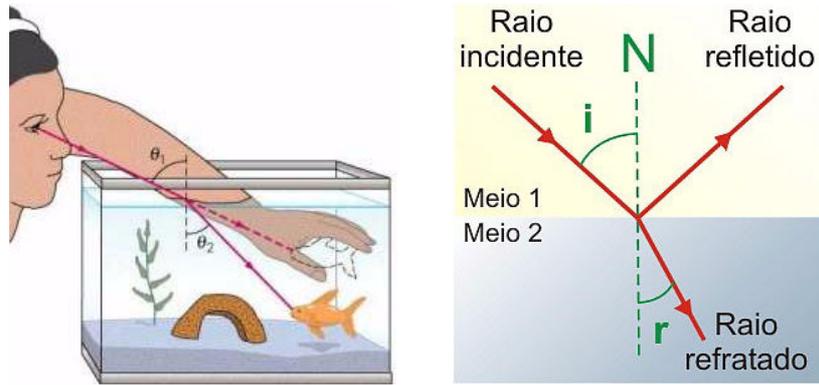


As ondas P são, em geral, mais rápidas que as ondas S; assim, o primeiro fenômeno observado são as ondas P e Love, posteriormente se observando ondas S e Rayleigh.

A velocidade de propagação das ondas é um importante fator para o estudo do subsolo. A tabela a seguir apresenta algumas valores de velocidade de propagação com relação ao tipo de solo.

Material	Velocidade (m/s)
Areia não saturada	500 a 1.200
Argila	800 a 2.000
Água	1.500
Calcário	3.000 a 6.000
Granito	5.000 a 6.000
Aço	5.000 a 5.500
Basalto	5.500 a 6.500

Um outro efeito importante para o estudo do subsolo é a mudança de direção de propagação das ondas quando a característica do solo muda, similar ao que ocorre com a propagação da luz ao mudar de meio com velocidades de propagação diferentes.



No subsolo, considerando simplificada que há diferentes camadas horizontais bem definidas de matéria (isto é, camadas constituídas de diferentes materiais), o efeito seria o observado na figura a seguir (retirada do livro Decifrando a Terra).

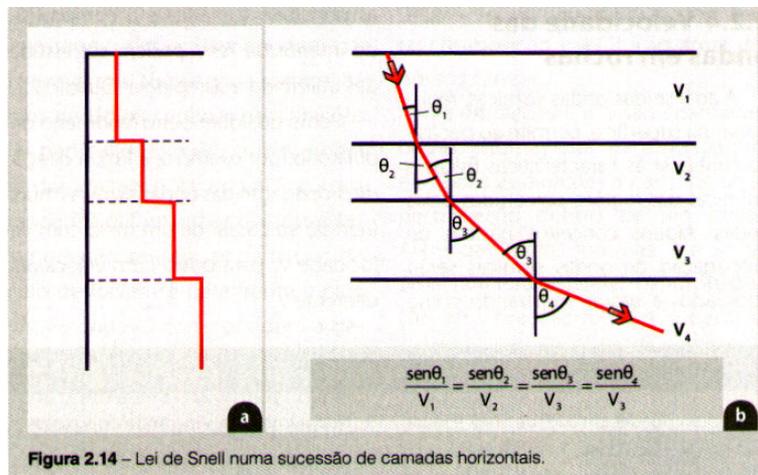


Figura 2.14 – Lei de Snell numa sucessão de camadas horizontais.

Considerando que, em geral, ocorre uma variação gradual da velocidade, a direção de propagação se torna uma curva, fazendo com que não haja uma relação linear entre o tempo e a distância percorrida pelas ondas (retirada do livro Decifrando a Terra).

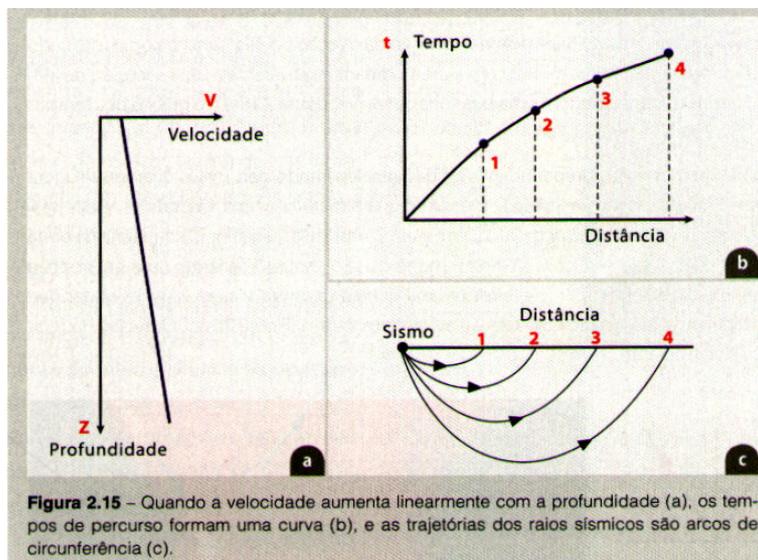
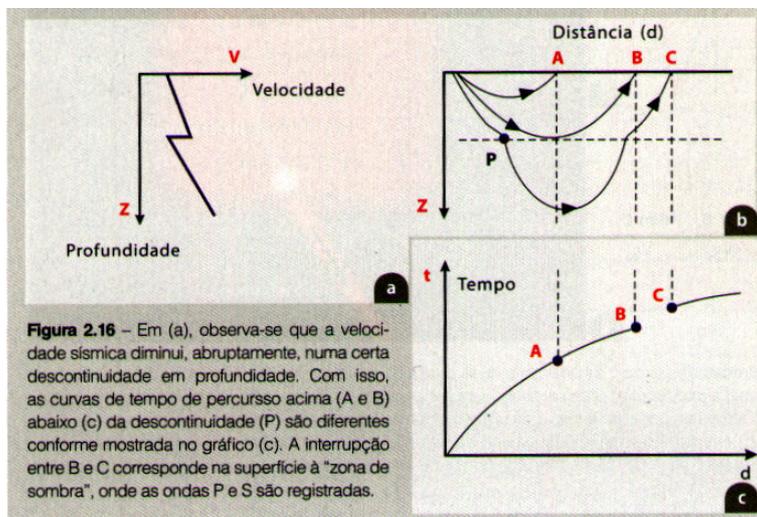


Figura 2.15 – Quando a velocidade aumenta linearmente com a profundidade (a), os tempos de percurso formam uma curva (b), e as trajetórias dos raios sísmicos são arcos de circunferência (c).

Finalmente, quando há trechos de um tipo de material e, abruptamente, este tipo de material muda, ocorre uma grande variação na direção de propagação das ondas, como mostrado na figura a seguir (retirada do livro Decifrando a Terra).



Observe que, no gráfico (b) desta figura, a onda C saiu muito próxima à onda B, mas chegou em uma região bastante distante. Isso é consequência justamente da variação brusca do material do solo, criando uma **zona de sombra**, isto é, uma região **sem vibrações** do terremoto, entre B e C, como pode ser visto no gráfico (c).

NOTA: Convém lembrar que a mudança de direção de propagação das ondas pode transformar ondas P em ondas S!

## 2.2. Gravidade

A **gravimetria** (medida da gravidade) permite verificar que a gravidade na superfície Terrestre não é constante. Em uma mesma altitude, inclusive, a gravidade pode variar de um ponto para outro. Como isso é possível?

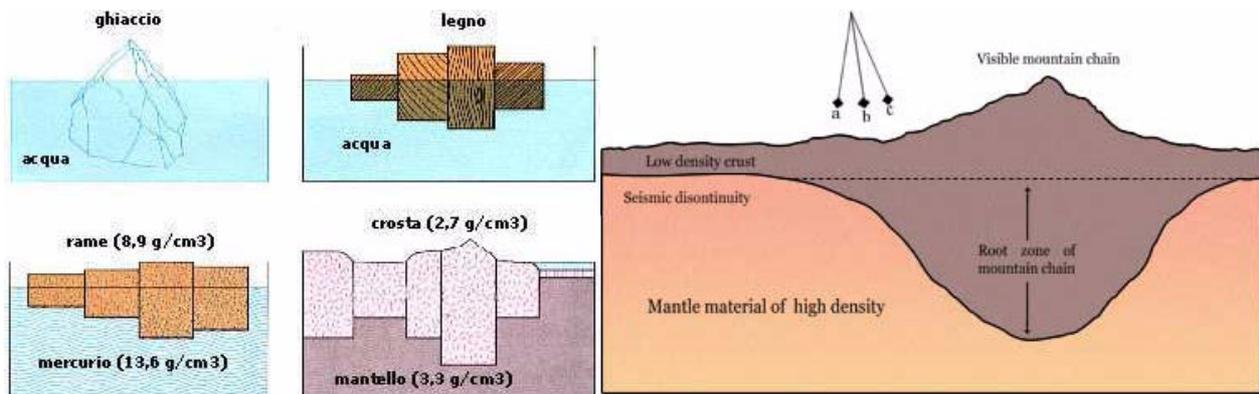
Bem, a Lei da Gravitação universal expressa que a força de atração  $F$  entre dois corpos pode ser dada pela seguinte expressão:

$$F = G \cdot (m_1 \cdot m_2) / d^2$$

Onde  $G$  é uma constante (constante da gravitação universal),  $m_1$  é a massa do corpo 1,  $m_2$  é a massa do corpo 2 e, finalmente,  $d$  é a distância entre ambos os corpos. Se considerarmos a Terra como um único grande corpo, não faz sentido a força gravitacional variar de um lugar para o outro... mas, se por outro lado, considerarmos que a Terra é composta por minúsculos corpos e que a força gravitacional é resultado das forças entre todos eles, a força gravitacional pode variar em um lugar ou outro, porque a **massa** de cada

elemento muda, e elementos mais próximos, ou seja, menos distantes, influenciam mais na força gravitacional de um determinado local.

Assim, se uma região da Terra for composta por material "mais leve" (isto é, menos denso) que outra região, em similar altitude e latitude, a primeira região terá uma gravidade ligeiramente inferior que a segunda. Observe as figuras a seguir.



Isso permite determinar, juntamente com outros elementos, a espessura aproximada da camada superficial, a **crosta terrestre**, em geral composta de materiais muito mais leves que o manto.

É claro que, como a Terra gira em torno de si mesma e do sol, a aceleração da gravidade varia também com a latitude (fenômeno que faz com que a Terra seja achatada nos polos); sendo assim, esses efeitos precisam ser considerados na análise.

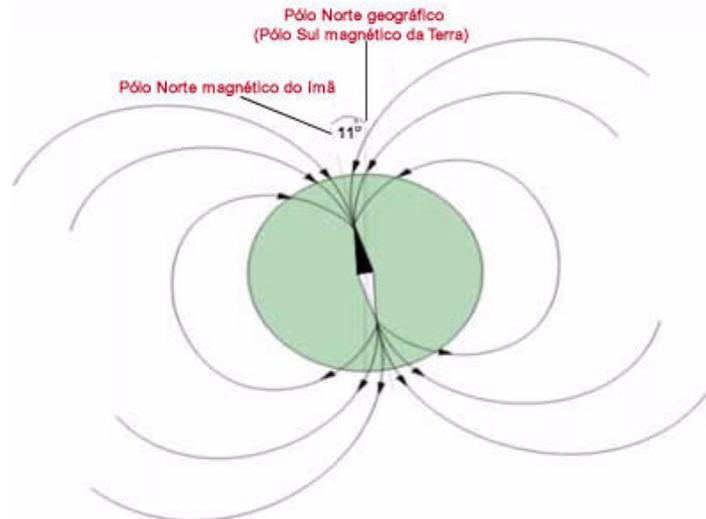
### 2.3. Geomagnetismo

A Terra é o único planeta analisado pelo homem que possui um campo magnético. Considera-se que este campo magnético tenha origem na estrutura interna da Terra, em que o núcleo sólido gira com um movimento diferente da crosta. Esta diferença, que não ocorre em outros planetas conhecidos, seria a responsável pela formação de um campo magnético.

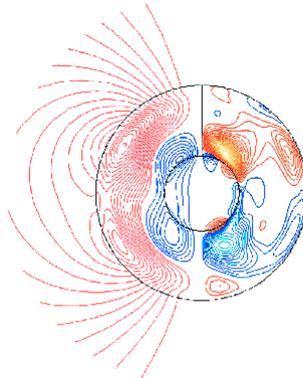


Um fato relevante, entretanto, é que **os polos magnéticos não coincidem com os polos geográficos**, e isso é de fundamental importância para os engenheiros civis, em especial aqueles que pretendem trabalhar com topografia. Existe uma inclinação de cerca de

11,5 graus do norte magnético com relação ao norte geográfico, que precisa ser levado em conta. A bússola mede o norte magnético, mas em geral é o norte geográfico que importa ao engenheiro. Em 2005, as coordenadas do Norte Magnético eram 83,2° N e 118° W e as do Sul Magnético eram 64,5° S e 137,8° E.



Adicionalmente, convém lembrar que certas regiões possuem anomalias magnéticas e, por essa razão, o campo magnético terrestre não é exatamente uniforme.



A direção do campo magnético da terra varia, o que pode ser observado por observação direta; essa direção do campo magnético é "armazenada" em rochas que se formam a partir do magma em uma determinada época. Com base nessas informações, há fortes indícios de que em determinados períodos ocorre uma completa inversão dos pólos magnéticos terrestres.

### **3. BIBLIOGRAFIA**

TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T.R; TOLEDO, M.C.M; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2a. Edição. Companhia Editora Nacional, 2009.

PRESS; SIEVER; GROTZINGER; JORDAN. **Para Entender a Terra**. 4a. Edição. Artmed Editora, 2006.