

SISTEMA SOLAR: PROCESSOS EVOLUTIVOS

META

Apresentar as principais teorias de origem do Sistema Solar com destaque ao planeta Terra, objeto principal de estudo da Geologia e habitat de todas as espécies vivas conhecidas.

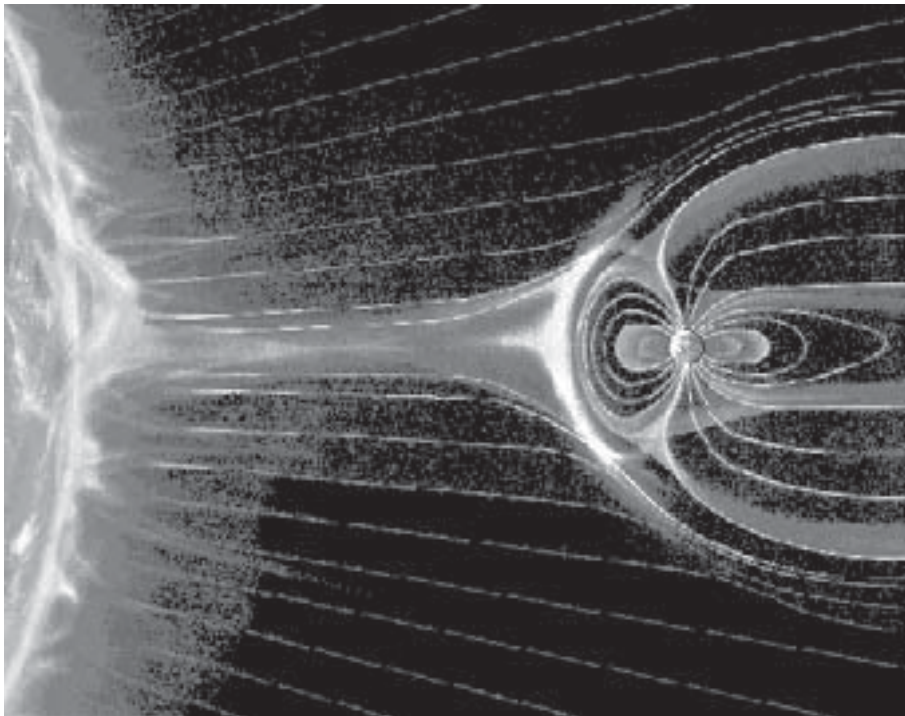
OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

reconhecer processos evolutivos; diferenciar as teorias Evolucionista e Catastrófica; definir Energia Gravitacional e estabelecer relação com o processo evolutivo da Terra; e definir as fontes de energia responsáveis pelas dinâmicas externa e interna da Terra.

PRÉ-REQUISITOS

Conhecimento sobre o surgimento do Universo, a Teoria de Expansão do Universo e o Mito da Criação, além dos astros e planetas que compõem o Sistema Solar.



(Fonte: www.plasma.inpe.br).

INTRODUÇÃO

Como foi discutido anteriormente, a Terra se formou do mesmo material que deu origem ao Sol e aos outros planetas. As hipóteses diferem quanto ao modo de agregação: uma considera que a Terra se formou a partir de um gás incandescente, a outra que ela cresceu por acréscimo gradativo de partículas sólidas em uma nuvem de poeira cósmica. Qualquer que seja a teoria de origem que se aceite, a estrutura interna da Terra - com sua estratificação acentuada segundo a densidade dos materiais - exige que, em um momento precoce de sua história, ela fosse suficientemente quente para fundir o ferro metálico, liquefazendo-o e possibilitando o seu acúmulo por gravidade, a que chamamos Núcleo.

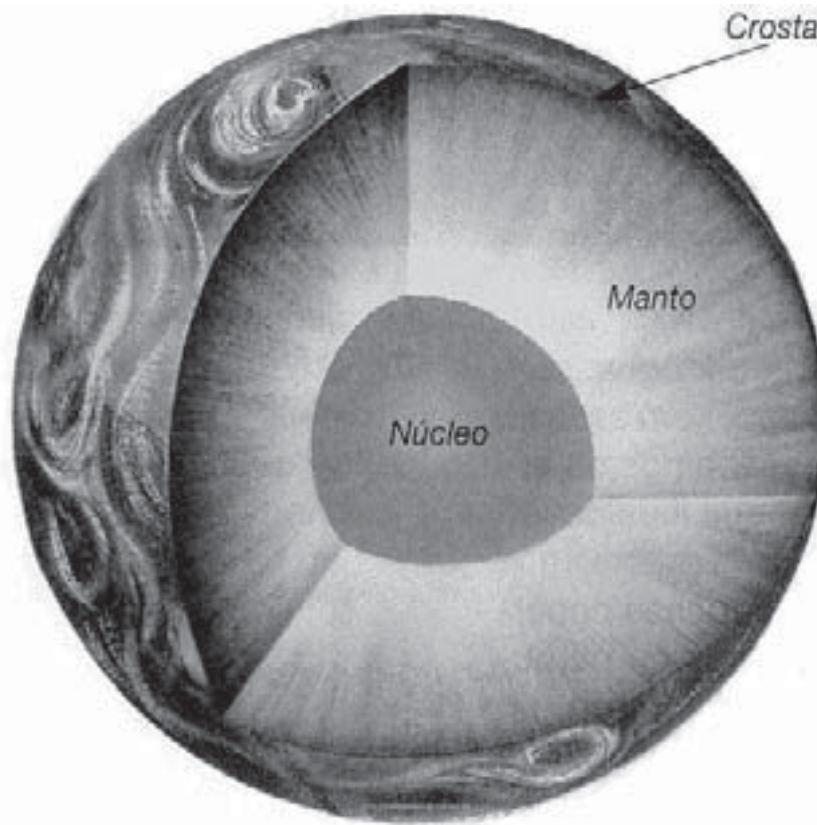


Figura 3.1 - Núcleo da terra (Fonte: www.cepa.if.usp.br).

HISTÓRIA

Entende-se por história pré-geológica da **Terra**, a seqüência de eventos pelos quais passou a Terra antes do tempo em que as condições físicas da superfície se tornassem semelhantes às de hoje, no que se refere à:

- temperatura média da Terra, determinada essencialmente pela energia solar;
- instalação dos processos denominados Intemperismo e **Erosão**;
- superfície da Terra constituída, em parte, de rochas e, em parte, de águas.

Após este momento, que pode ser lembrado como o “Momento Zero” da história geológica, a Terra foi submetida aos processos naturais de “modelagem” de sua superfície através do **intemperismo** e erosão das suas rochas.

ORIGEM DO SISTEMA SOLAR

As teorias científicas dividem-se basicamente em duas:

- a- Teorias Naturais ou Evolucionárias;
- b- Teorias Catastróficas.

Na teoria Natural, os sistemas planetários formaram-se como parte da história evolutiva de alguma estrela. Na Catastrófica, a partir de algum acidente ou catástrofe, tal como a colisão de duas estrelas.

A teoria “a”, também conhecida como Hipótese da Nebulosa, foi formulada depois do Marquês de Laplace - 1755, defendida pelo filósofo Immanuel Kant - 1796 e dizia basicamente que:

...uma nuvem de gás e poeira em rotação lenta, posicionada entre as estrelas. Há muitas dessas nuvens. Começou a esfriar e se contrair aumentando a velocidade de rotação e liberando anéis gasosos da massa central, pelo efeito da força centrífuga. Estes anéis nos estágios finais se concentraram e deram origem aos planetas.

A hipótese “b”, defendida por Chamberlin e Moulton, defendia que a Terra e os outros planetas tinham surgido de material arrancado do Sol pelo impacto de outras estrelas. Idealizou, assim, a formação dos planetas, pela agregação de partículas sólidas pequenas (planetesimais), enquanto que a de Kant e Laplace considerava que os planetas foram formados pela condensação de massas de gás incandescentes.

Terra

Planeta zonado (dividido em zonas da superfície ao Núcleo), com uma estrutura de camadas concêntricas e composição química definida, resultado de um processo evolutivo, que deixa implícitos as possibilidades de a evolução poderia ter sido outra.

Intemperismo

Conjunto de processos operantes na superfície terrestre, que ocasiona a decomposição dos minerais das rochas, graças à ação de agentes atmosféricos e biológicos.

Erosão

Processos relacionados ao transporte de material natural, produto dos processos intempéricos, de um lugar para outro da superfície da Terra.

A hipótese “b”, defendida por Chamberlim e Moulton, defendia que a Terra e os outros planetas tinham surgido de material arrancado do Sol pelo impacto de outras estrelas. Idealizou, assim, a formação dos planetas, pela agregação de partículas sólidas pequenas (planetesimais), enquanto que a de **Kant** e Laplace considerava que os planetas foram formados pela condensação de massas de gás incandescentes.



Immanuel Kant

Filósofo alemão (1724-1804). Sua obra é uma das mais importantes da história da filosofia. Dentre as suas principais obras, destaca-se a *Crítica da Razão Pura*.



Thomas Chamberlin

Geólogo e pedagogo estado-unidense (1843 - 1928). Desenvolveu a teoria dos Planetesimais, segundo a qual a Terra surgiu a partir da agregação de pequenas partículas, num processo chamado de acreção.

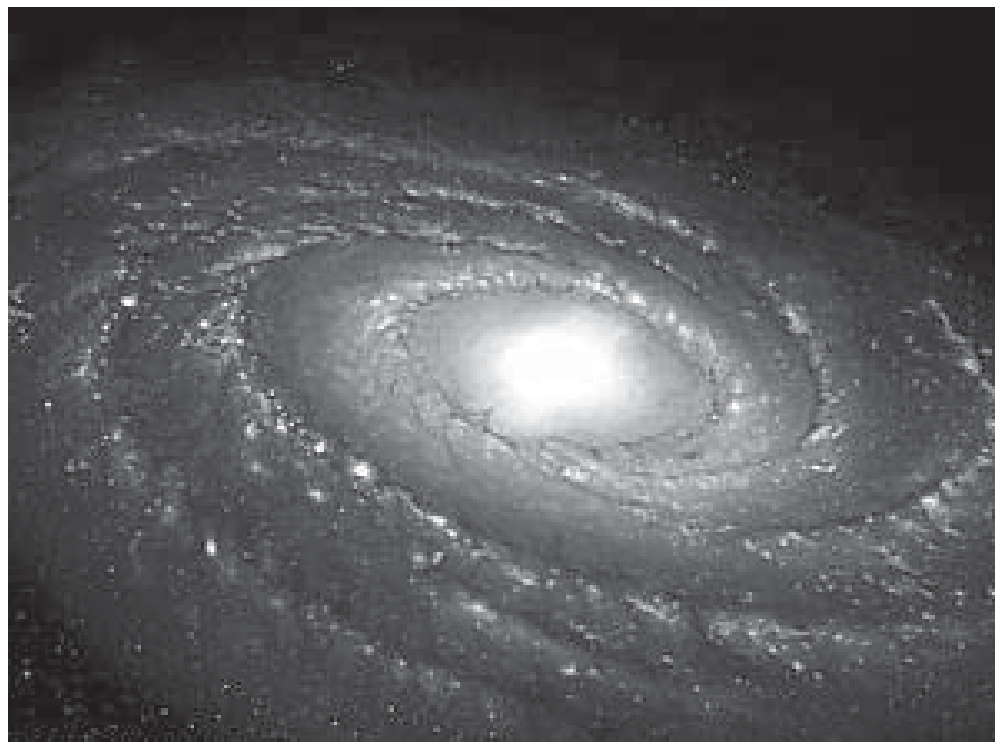


Figura 3.2 - Nebulosa com vórtices (Fonte: www.galeria.universia.com.ar).

Atualmente, a origem da Terra e do Sistema Solar continua sendo objeto de intensa discussão.

Alguns astrônomos sugeriram variantes das teorias anteriores, como por exemplo, a do astrônomo alemão Von Weizsacker, que tem sido a melhor aceita.

...o Sol primitivo seria uma massa em rotação rápida rodeada por um invólucro extenso em forma de lente, consistindo em partículas sólidas e gases em movimento turbulento. Dentro do invólucro formaram-se vórtices semelhantes a redemoinhos que provocavam acumulações preferenciais de matéria que mais tarde formariam os planetas.

Esta teoria incorpora parte da hipótese de **Chamberlim-Moulton**, pois considera que os planetas se construíram pela agregação de partículas sólidas, isto é, planetesimais, mais do que pela condensação de gás incandescente. Esta teoria foi posteriormente desenvolvida em seus aspectos químicos

por Urey em 1952 (Urey, H. C., 1952 – The Planets. Yale University Press, New Haven).

NATUREZA DO SISTEMA SOLAR

Os dados sobre o Sistema Solar mostram regularidades curiosas, das quais as mais importantes são:

- O Sol contém mais que 99,8% da massa do Sistema;
- Todos os planetas giram na mesma direção ao redor do Sol, em órbitas elípticas, e estas órbitas situam-se, todas, quase no mesmo plano.
- Os próprios planetas giram em torno de seus eixos na mesma direção que a de suas revoluções em torno do Sol: o mesmo acontece com os satélites;
- Os planetas apresentam um espaçamento regular (lei de Tittus-Bode);
- Os planetas formam dois grupos: os internos (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte) e os externos (Júpiter, Saturno, Urano, Netuno), separados pela zona de Asteróides.

ATIVIDADES

1. O que a teoria de Von Weizsacher absorveu das teorias Evolucionária e Catastrófica, respectivamente?
2. Liste as características físicas da Terra ao atingir o seu Momento Zero.
3. Antes do Momento Zero, o grau de conhecimento sobre a Terra era maior ou menor que o conhecimento de após este Momento? Comente sua resposta.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

A teoria de Von Weizsacher é uma mistura das teorias Evolucionária e Catastrófica, porque faz referencia à Nebulosa e também à agregação de partículas, que teriam sido originadas de impactos entre estrelas.

O Momento Zero da história geológica coincide com o momento em que a Terra passa a ter as características que tem hoje em relação à grande parte coberta por água; atmosfera definida; dinâmica externa presente.

A história da Terra é conhecida com maiores detalhes a partir dos registros geológicos deixados pela dinâmica externa, responsável pelo modelado da superfície terrestre.



**Forest
Ray Moulton**

Astrônomo estado-unidense (1872 - 1952). Lançou, junto com Thomas Chamberlin, a hipótese de origem do sistema solar a partir do Planetesimais.



Condensação

Fenômeno químico de passagem do estado gasoso da matéria para o estado líquido (semelhante às lavas vulcânicas); Interpretado também como a capacidade de tornar denso ou mais denso, consistente, grosso.



**Von C. F.
Weizsacker**

Astrônomo, físico, ma-temático e filósofo alemão (1912-2007). Apresentou uma versão modificada da hipótese da Nebulosa. É autor do livro *Uma História da Natureza*.

Elementos radioativos

Elementos químicos que emitem radioatividade.

Radioatividade

Propriedade que tem certos elementos químicos, tais como Rádio (Ra), Urânio (U), Tório (Th) e outros, de emitir espontaneamente radiações diversas, comparáveis aos raios-X.

Como discutido anteriormente, a Terra se formou do mesmo material que deu origem ao Sol e aos outros planetas. As hipóteses diferem quanto ao modo de agregação: uma considera que a Terra condensou a partir de um gás incandescente, a outra que ela cresceu por acrescentamento gradativo de partículas sólidas em uma nuvem de poeira cósmica.

Qualquer que seja a teoria da origem que se aceite, a estrutura interna da Terra, com sua estratificação acentuada segundo a densidade, exigiu que, em um determinado momento precoce de sua história, ela fosse suficientemente quente para fundir o ferro metálico liquefazendo-o e possibilitando o seu acúmulo por gravidade, na sua parte mais profunda que se chama Núcleo.

FONTES DE ENERGIA

Acresção - A Terra, tendo sido formada por adição de partículas, acrescentou energia gravitacional ao conjunto, todas as vezes em que uma partícula se somou às demais. A energia cinética (de movimento) da partícula, ao se chocar com o conjunto já aglomerado, transformava a energia de movimento (cinética) em calor. Assim, à medida que a massa aumentava, aumentava também a energia calorífica da Terra.

Compressão - O atrito provocado pelas partículas que se ajustavam em função do aumento da energia gravitacional gerava calor, que foi certamente uma fonte muito importante para o progressivo aumento do calor dentro da Terra.

Desintegração radioativa - É essencial ter presente o efeito maior dos núcleos radioativos de vida curta quando retrocedemos no tempo, ou seja, os elementos radioativos de vida curta rapidamente se desintegravam, liberando mais energia que hoje, quando eles estão enormemente diminuídos no planeta.

A figura 02 mostra que, há 5 bilhões de anos, a produção de calor radiogênico (proveniente dos elementos radioativos), na Terra, era seis vezes maior do que hoje e que grande parte desse calor foi fornecida pela desintegração do K-40 e U-235, enquanto hoje, por eles estarem muito diminuídos (depletados), as fontes principais de calor são o U-238 e o Th-232.

Dessa forma, a Terra primitivamente indiferenciada, quase homogênea, se aqueceria de forma que, em aproximadamente 600 milhões de anos, teria alcançado a temperatura do ponto de fusão do Ferro, a uma profundidade de algumas centenas de quilômetros.

CATÁSTROFE DO FERRO

Uma camada consistente de ferro fundido denso, dentro de um Manto predominantemente silicatado leve, pouco denso, é claramente instável. Como o Ferro é mais denso que o silicato (com

posto à base de Silício, SiO_2), aquele tende a descer empurrando o silicato para as partes superiores do planeta.

Elsasser mostra que isto resulta no desenvolvimento de uma grande “gota” (fig.03), que se afunda em direção ao Centro da Terra, deslocando para cima os materiais mais leves. Com o movimento do Ferro livre, que corresponde a aproximadamente um terço da massa da Terra, deslocando-se para o Centro da Terra, todo o planeta sofre profunda reorganização.



Figura 3.3 - Hidrofesra (Fonte: www.portal.huascaran.edu.pe).

Enquanto o Ferro afundava, os materiais mais leves estavam subindo, sofrendo fusão, misturas e desmisturas. Muito provavelmente, a superfície original (Crosta Primitiva) tenha sido engolfada e digerida, sumindo literalmente da Terra. Isto explica o fato de que as rochas da Crosta atual sejam mais novas que o planeta em torno de 600 milhões de anos, exatamente o tempo que o Ferro levou para fundir.

Em outras palavras, não se encontram, na crosta atual, rochas da idade do planeta, 4,6 bilhões de anos. Somente rochas mais novas que correspondem ao tempo necessário para ter acontecido a fusão do Ferro e a reorganização do planeta. A este fenômeno fantástico deu-se o nome de Catástrofe do Ferro.

Catástrofe do ferro

Evento responsável pela reorganização do planeta, provocando um zoneamento químico concêntrico, conhecido por Diferenciação química da Terra, que é considerado o evento mais importante da história evolutiva.

Ambientes deposicionais

Lugares da superfície terrestre capazes de receber material rochoso fragmentado, originado a partir dos processos intempéricos e transportados pelos agentes erosivos.

Outras consequências da diferenciação:

- Formação da Crosta atual;
- Formação dos Oceanos - Hidrosfera;
- Concentração dos elementos radioativos próximos à superfície;
- Resfriamento do interior da Terra através de Correntes de Convecção.

Por Hidrosfera entende-se um envoltório descontínuo de água doce, salgada e sólida na superfície da Terra. Compreende os oceanos com seus mares e golfos associados, os lagos, as águas dos rios, água subterrânea, a neve, e o gelo. Os oceanos cobrem uma área de 361 milhões de quilômetros quadrados, ou seja, 70,8% da superfície do planeta.

Com uma profundidade média de 3800m, o volume das águas oceânicas é de 1.372 milhões de quilômetros cúbicos.

Os oceanos vieram do interior da Terra como um produto do processo de Aquecimento e Diferenciação. Tanto a água quanto o Cloreto (NaCl) teriam vindo das rochas fundidas, resultantes do momento da Catástrofe do Ferro. Esta hipótese seria conhecida como hipótese do volume constante e cloreto constante.

Outra hipótese advoga um processo gradual: hipótese do oceano vulcânico e cloreto também vulcânico. Uma terceira hipótese defende que a água condensou-se a partir da atmosfera primitiva e o cloreto teria sido adicionado ao longo do tempo geológico: hipótese do volume constante e cloreto vulcânico.

ATIVIDADES

- Na sua opinião, qual a hipótese que melhor explica a origem da água e do sal dos oceanos?
- Liste as hipóteses em ordem de probabilidade de serem verdadeiras.



Agentes erosivos

O ar em movimento (vento), as geleiras e principalmente as águas das chuvas e dos rios, que funcionam como verdadeiras esteiras transportadoras de sedimentos dos continentes para as regiões oceânicas.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Atualmente, percebe-se, na comunidade científica, uma tendência à aceitação da proveniência do interior da Terra, da água que forma os oceanos. A salinização se deu em função dos sais constituintes das rochas, dissolvidos no processo de ascensão do vapor da água quando aconteceu a Catástrofe do Ferro.

Outras hipóteses existem, porém, com menor aceitação.

ORIGEM DA ATMOSFERA

A atmosfera é especialmente simples em sua composição. Seus principais elementos são Nitrogênio, Oxigênio e Argônio. Outros elementos e compostos estão presentes em proporções muito inferiores (CO₂, Ne, He, CH₄, H₂, O₃, N₂O).

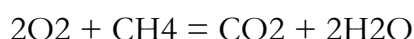
Atmosfera primitiva - considerando o crescimento da Terra por acreção em uma nuvem de poeira solar, sugere uma atmosfera inicial rica em “H” (hidrogênio) e à qual faltava “O” (oxigênio) livre. Parece haver pouca dúvida de que os constituintes da atmosfera foram em grande escala, senão totalmente, exalados do interior da Terra e tinham a seguinte composição:

Hidrogênio – H; Hélio - He; Nitrogênio – N; vapor d’água; Metano – CH₄; e Amônia – NH₃;

O Metano e a Amônia estão presentes na atmosfera dos planetas gigantes. A atração gravitacional da Terra não é suficiente para reter o “H” (Hidrogênio) e o “He” (Hélio), que se difundiram no espaço exterior. Assim, a atmosfera primitiva evoluiu para a que se tem hoje, que consiste essencialmente de Nitrogênio e Oxigênio.

REAÇÕES VITAIS

As principais reações são: dissociação fotoquímica do vapor de água pela radiação solar, resultando em Oxigênio livre, que, por sua vez, reage com o metano (CH₄), resultando em dióxido de carbono e água. Parece difícil, mas não é, veja só:



Outras reações desencadeadas pela luz solar (fotoquímicas), mais complexas, produziram compostos orgânicos conduzindo a sistemas auto-reprodutivos e provavelmente à vida.

A probabilidade de essas reações acontecerem foi demonstrada no passado a partir de descargas elétricas através de uma mistura de Metano e Amônia e mais vapor de água e Hidrogênio e obteve ácidos carboxílicos e aminoácidos. Este último é uma molécula orgânica indispensável à vida.

Oparin, em 1957, demonstrou que o desenvolvimento inicial da matéria viva depende da pré-existência de moléculas orgânicas como os aminoácidos.

Fotossíntese - A fotossíntese pode ter se originado do desenvolvimento de certos compostos coloridos, capazes de agir como catalisadores (facilitadores) de reações que precisam da luz solar para acontecer, que são chamadas de fotoquímicas.



Alexander I. Oparin


Biólogo e bioquímico soviético (1894-1980). Ficou famoso com seus trabalhos a respeito da origem da vida. Foi considerado o “Darwin” do século XX.

CONCLUSÃO

Os acontecimentos que levaram a Terra ao seu Momento Zero possibilitaram registros que puderam, por muito tempo depois, ser interpretados pelo homem. Dentre eles destacam-se a ação de Intemperismo, Erosão e Deposição em um dos diferentes ambientes deposicionais da Terra, além do controle da temperatura da superfície da Terra pela circulação da atmosfera e o Ciclo Hidrológico.


Antes da existência das marcas deixadas pela Dinâmica Externa, os conhecimentos fundamentavam-se em hipóteses que, embora de caráter científico, sempre deixam uma possibilidade maior de dúvidas. Para que se tenha História com H, tem-se que ter registro, que no caso da Geologia são as marcas deixadas pelos agentes atmosféricos e biológicos da Dinâmica Externa do planeta.

RESUMO



A história geológica da Terra pode ser contada a partir dos registros deixados pela ação dos agentes atuantes dentro e fora da Terra, conhecidos por Dinâmica Externa e Dinâmica Interna, respectivamente. Antes do momento da teoria da Catástrofe do Ferro, o que existia eram hipóteses que, embora se fundamentem em evidências científicas, estão sujeitas a contestações. A Catástrofe do Ferro é considerada o evento mais importante no processo evolutivo do planeta Terra. A partir dele, formou-se a Crosta atual e a estrutura interna do planeta, assim como a atmosfera e os oceanos, berço da vida.

PRÓXIMA AULA



Na próxima aula você verá os mecanismos responsáveis pela Dinâmica Externa, como também os registros geológicos produzidos pelo vento.

REFERÊNCIAS

- Mason, Brian Harold. Princípios de Geoquímica. São Paulo, Polígono; Editora da USP, 1971.
- Gohau, Gabriel. História da Geologia: Europa-América, Limitada,
- Urey, H.C. The Planets Yale University Press New Haven: uma discussão pormenorizada da origem e do desenvolvimento do Sistema Solar, com ênfase nos processos químicos.