

Curso de Especialização em Beneficiamento Mineral

Departamento de Engenharia de Minas – Escola de Minas de Ouro Preto
Universidade Federal de Ouro Preto

Fundamentação mineralógica para a produção mineral

- **Módulo 1 - Introdução à estrutura da Terra e origem dos elementos**
- Módulo 2 – Mineralogia fundamental
- Módulo 3 – Formação de rochas e mineralizações
- Módulo 4 – Reconhecimento prático de minerais e rochas
- Módulo 5 – Minerais não-metálicos na indústria cerâmica
- Módulo 6 – Mineralogia e geologia de gemas
- Avaliação – prova escrita

Módulo 01 – Introdução à estrutura da Terra e origem dos elementos

Antonio Liccardo

Bibliografia módulo 1

- **Decifrando a Terra**

Teixeira, Toledo, Fairchild & Taioli – Ed. Oficina de Textos

- **Para Entender a Terra**

Press, Siever, Grotzinger e Jordan – Ed. Bookman

- **Geologia Geral**

Leinz e Amaral – Ed. Nacional

- **Geologia Geral**

Popp – Ed. Livros Técnicos e Científicos

Origem da Terra e do universo

- Imaginário e alegorias
- Culturas
- Religiões
- Renascimento
- Ciência



Bíblia

- Gênesis
- Criacionismo
- Dilúvio
- Chuvas de fogo e cinzas
- Terremotos

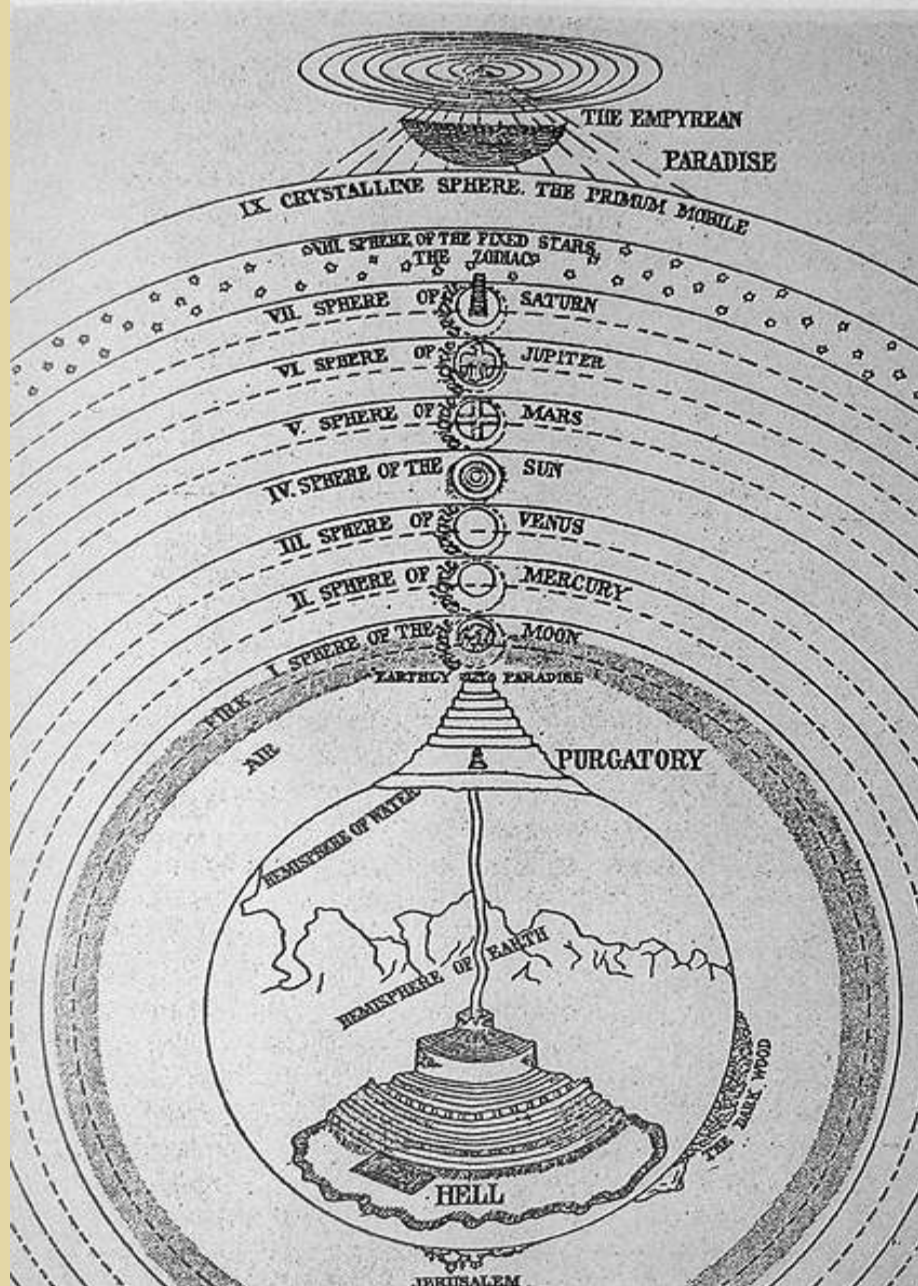


A Divina Comédia de Dante Alighieri séc XIV



LOS PRECIPITÓ A TODOS ABRASADOS EN VIVAS LLAMAS.

(Libro I).



O Locus Terrenus

Na *Divina Comédia* de Dante (1307-1321), a alma, na sua peregrinação, ascende do reino dos Infernos, cuja forma cônica se projecta no interior da terra, através da Montanha da Purificação e das nove esferas dos planetas, das estrelas e da esfera de cristal, todos eles mantidos em movimento pelos anjos, até chegar ao Paraíso, onde encontra o seu refúgio na rosa branca celeste, iluminada pela luz divina.

Michelangelo Cacciani, *La Materia della Divina Commedia di Dante Alighieri*, 1855

O cômputo da Idade da Terra

Da Criação até o Dilúvio _____ *1.656 anos*

Do Dilúvio até Abraão _____ *292*

Do Nascimento de Abraão
até Êxodo do Egito _____ *503*

Do Êxodo até a Construção
do Templo _____ *481*

Do Templo até o Cativoiro _____ *414*

Do Cativoiro até o Nascimento
de Jesus Cristo _____ *614*

Do Nascimento de Jesus Cristo
até hoje _____ *1.560*

Idade da Terra _____ *5.520 anos*

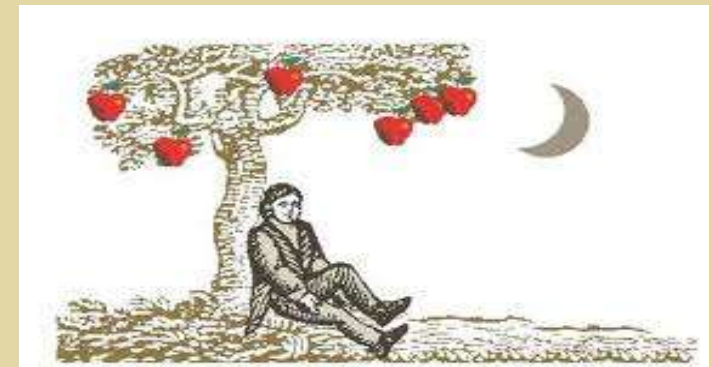
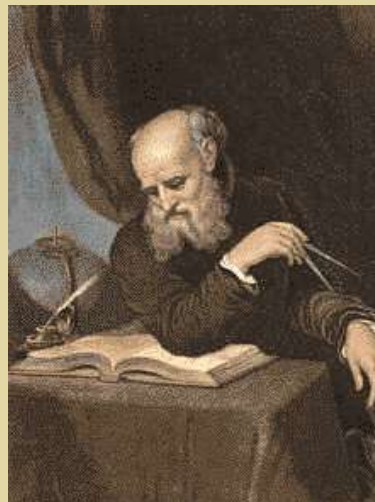
O conceito medieval
da idade da Terra.

Publicado na Crônica
de Cooper, Londres,
1560.

Cálculo detalhado
do arcebispo
John Usher

Renascimento e ciência

- Iluminismo
- Alquimia
- Fundamentos da ciência
- Galileu
- Newton...



Mineralogia e a alquimia



DISCURSOS E PRÁTICAS
ALQUÍMICAS

colóquio internacional II
LISBOA 2000

DISCURSOS E PRÁTICAS ALQUÍMICAS Vol. II
HUGIN EDITORES, LISBOA, 2003

- Os alquimistas descobriram centenas de novas substâncias e conheciam muito das propriedades dos minerais
- O alquimista árabe Gabir Ibn Haiyan (721-803), propôs uma **classificação baseada em propriedades físicas** observáveis ou determináveis.
- Três grupos: “**minerais quebradiços e pulverizáveis**”, fusíveis ou não; “**minerais metálicos**”, fusíveis e maleáveis; e “**minerais vaporizáveis**” pelo fogo, a que chamou “espíritos”.

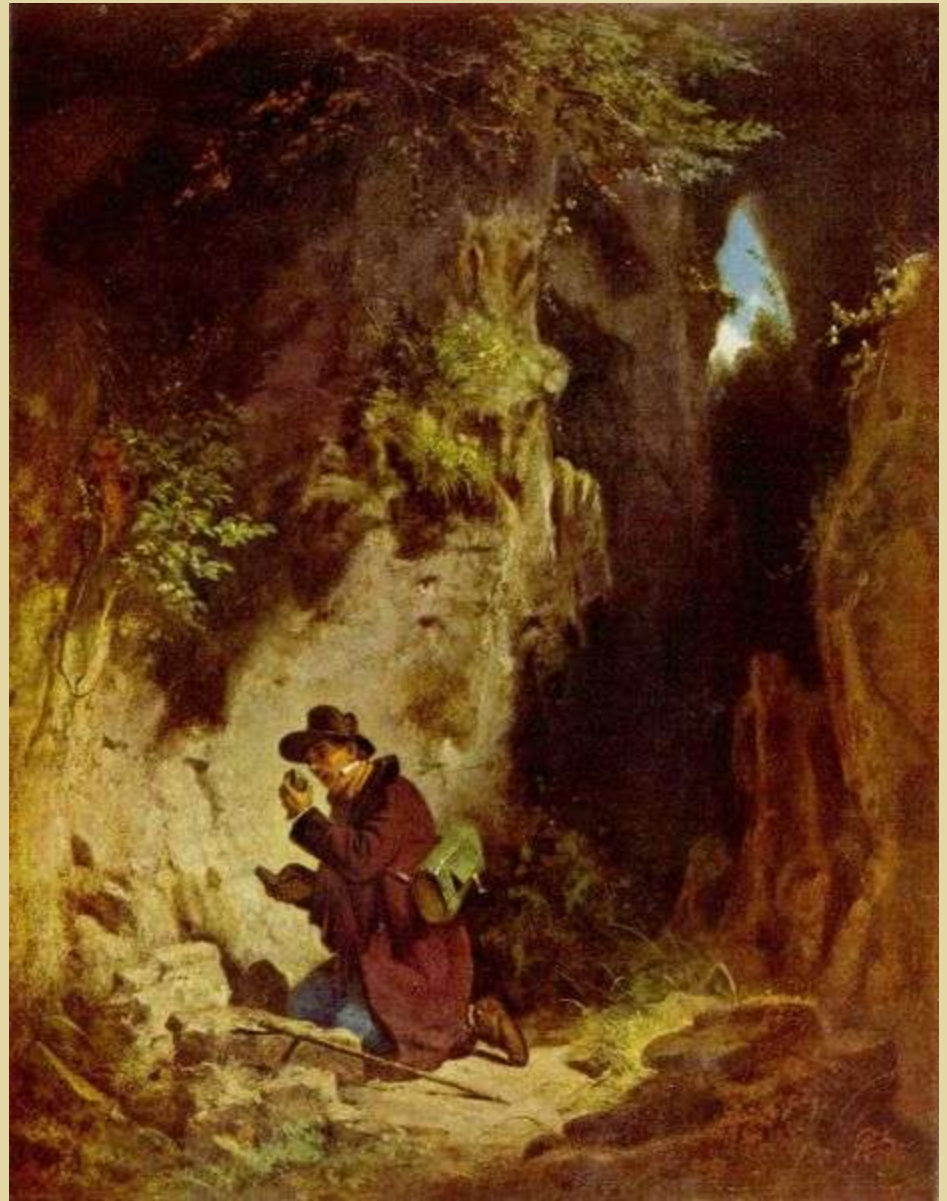
Nome	Data	Descobridor
Carbono	Antiguidade	
Ouro	Antiguidade	
Prata	Antiguidade	
Cobre	Antiguidade	
Enxofre	Antiguidade	
Estanho	Antiguidade	
Chumbo	Antiguidade	
Mercúrio	Antiguidade	
Ferro	Antiguidade	

Arsênio	1250	Crê-se que terá sido Alberto Magno o primeiro a isolar o elemento.
Antimônio	1450 ou outra data, antes de 1500	Descrito cientificamente nos textos, provavelmente apócrifos, de Basil Valentinus , hoje atribuídos a Johann Tholden
Zinco	1526	Identificado como metal único por Paracelso
Bismuto	século XV?	Pode ter sido descrito em escritos atribuídos a Basil Valentinus , identificados definitivamente por Claude Geoffroy Junine em 1753
Fósforo	1669	Hening Brand, mais tarde descrito por Robert Boyle
Cobalto	1732	George Brandt

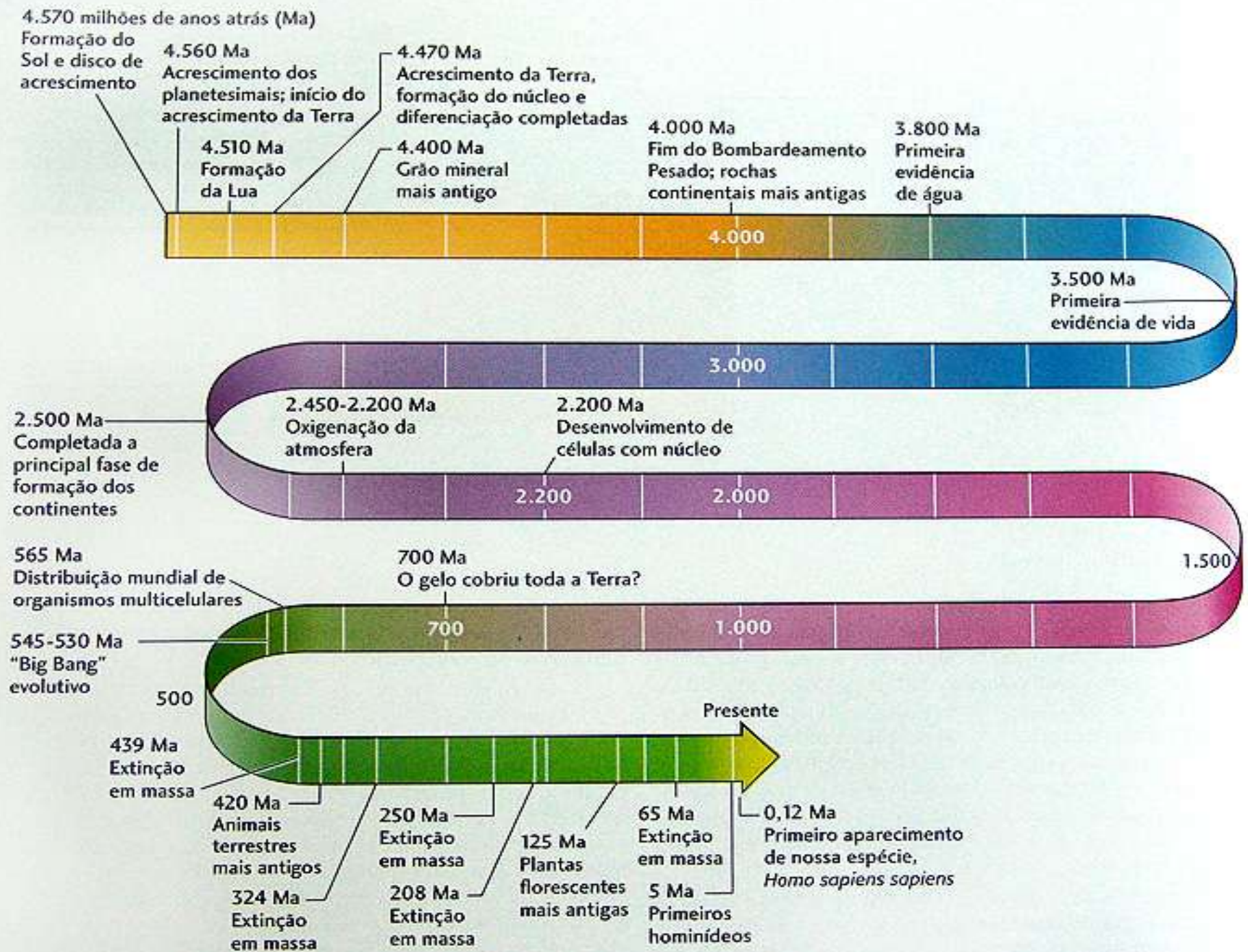
Geologia

é a ciência que estuda a Terra, sua composição, estrutura, propriedades físicas, história e os processos que lhe dão forma.

Relações do homem com este arcabouço



O geólogo – pintura de Carl Spitzweg - séc. XIX



Ciência moderna

Astronomia e Geologia

“Big Bang”

A teoria mais aceita para a origem do universo propõe que ele seja o resultado duma grande explosão, logo após a qual a **matéria estava extremamente densa**, comprimida e quente. Essa matéria primordial era composta, principalmente, de partículas elementares, como quarks e elétrons

THE BIG BANG THEORY

TIME
BEGINS

ONE
SECOND

PRESENT
DAY

Time 10^{-43} sec.
Temperature

10^{-32} sec.
 10^{27}°C

10^{-6} sec.
 10^{13}°C

3 min.
 10^8°C

300,000 yrs.
 $10,000^{\circ}\text{C}$

1 billion yrs.
 -200°C

15 billion yrs.
 -270°C

1 The cosmos goes through a superfast "inflation," expanding from the size of an atom to that of a grapefruit in a tiny fraction of a second

2 Post-inflation, the universe is a seething, hot soup of electrons, quarks and other particles

3 A rapidly cooling cosmos permits quarks to clump into protons and neutrons

4 Still too hot to form into atoms, charged electrons and protons prevent light from shining; the universe is a superhot fog

5 Electrons combine with protons and neutrons to form atoms, mostly hydrogen and helium. Light can finally shine

6 Gravity makes hydrogen and helium gas coalesce to form the giant clouds that will become galaxies; smaller clumps of gas collapse to form the first stars

7 As galaxies cluster together under gravity, the first stars die and spew heavy elements into space; these will eventually form into new stars and planets

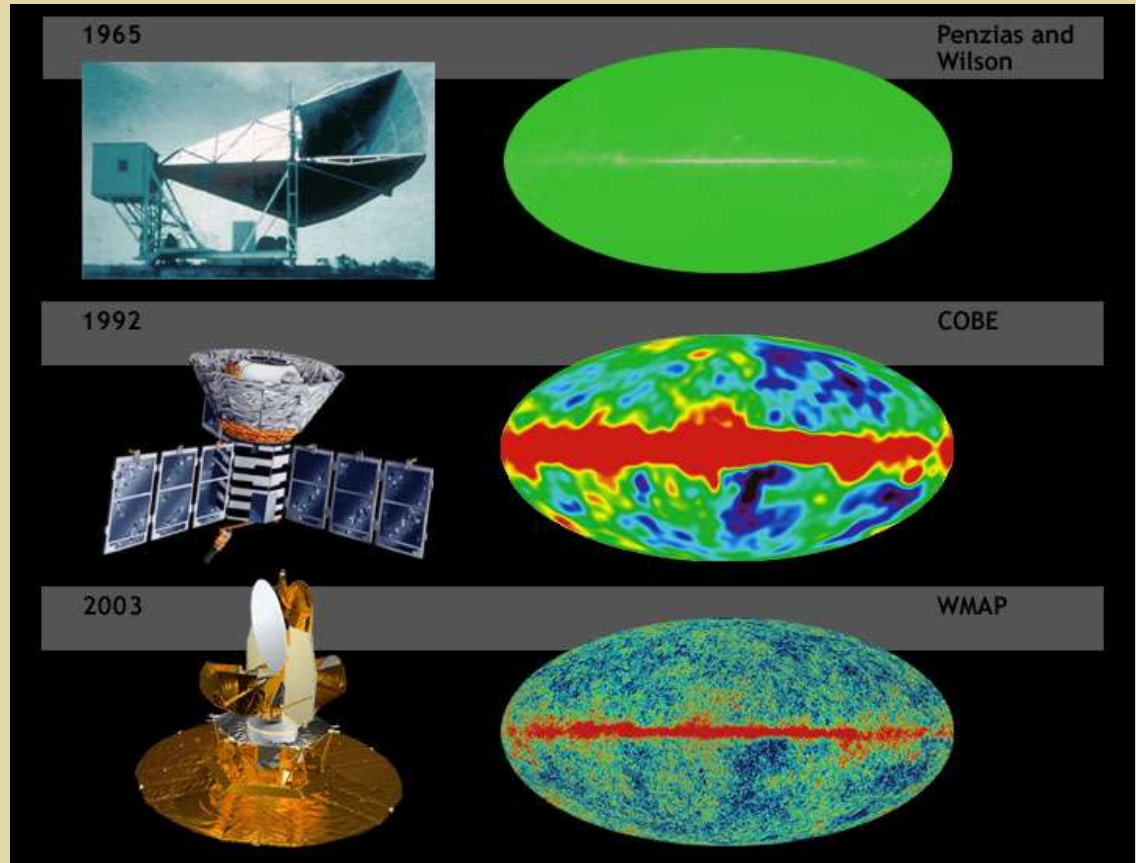
NOTE: The numbers in cosmology are so great and the numbers in subatomic physics are so small that it is often necessary to express them in exponential form. Ten multiplied by itself, or 100, is written as 10^2 . One thousand is written as 10^3 . Similarly, one-tenth is 10^{-1} , and one-hundredth is 10^{-2} .

Source: *The Birth of the Universe*; *The Kingfisher Young People's Book of Space*

TIME Graphic by Ed Gabel

A **nucleossíntese** foi a formação inicial dos primeiros núcleos atômicos elementares (**hidrogênio e hélio**). Ela ocorreu porque a atuação da Força Nuclear Forte acabou atraindo prótons e nêutrons que se comprimiram em núcleos primitivos

Isso se deu em torno de 10 mil anos após o impulso inicial. Com a queda da temperatura universal, os núcleos atômicos recém-formados se ligaram aos elétrons, formando assim **átomos completos de hidrogênio, hélio e lítio**



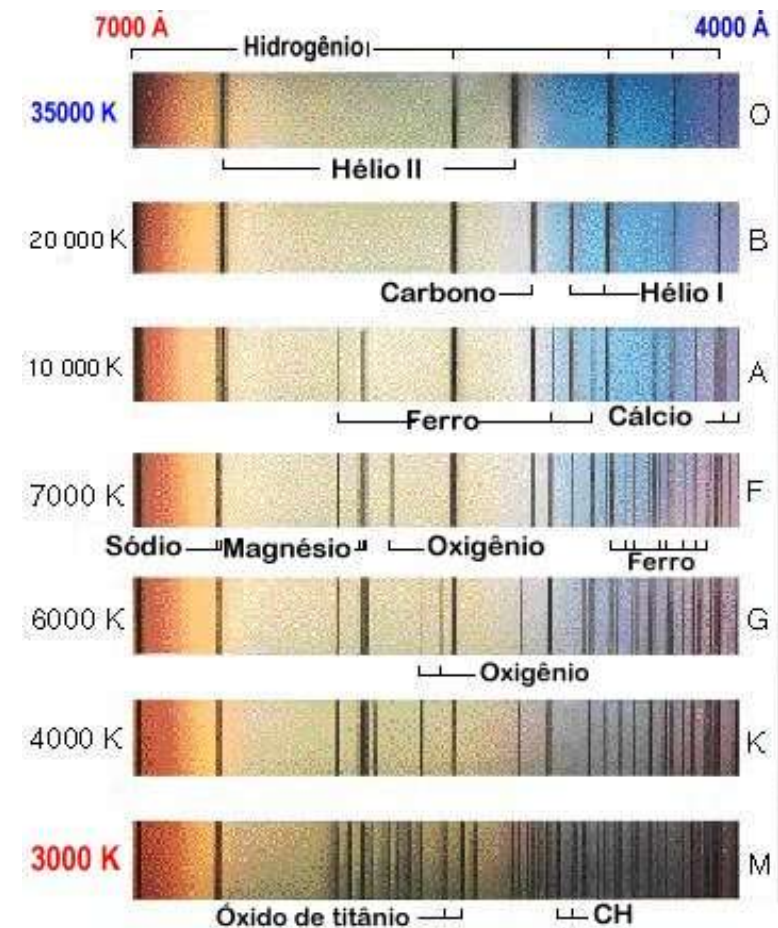
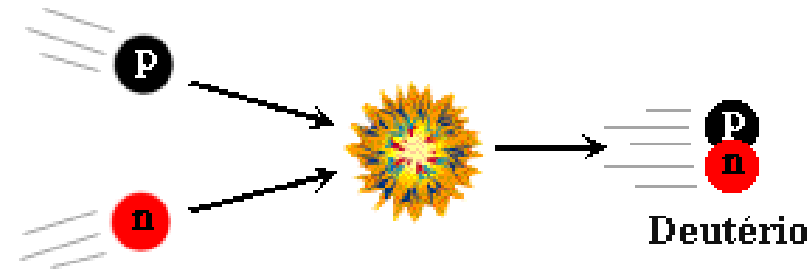
Radiação de Fundo resultante do Big Bang – sinais do início do universo!

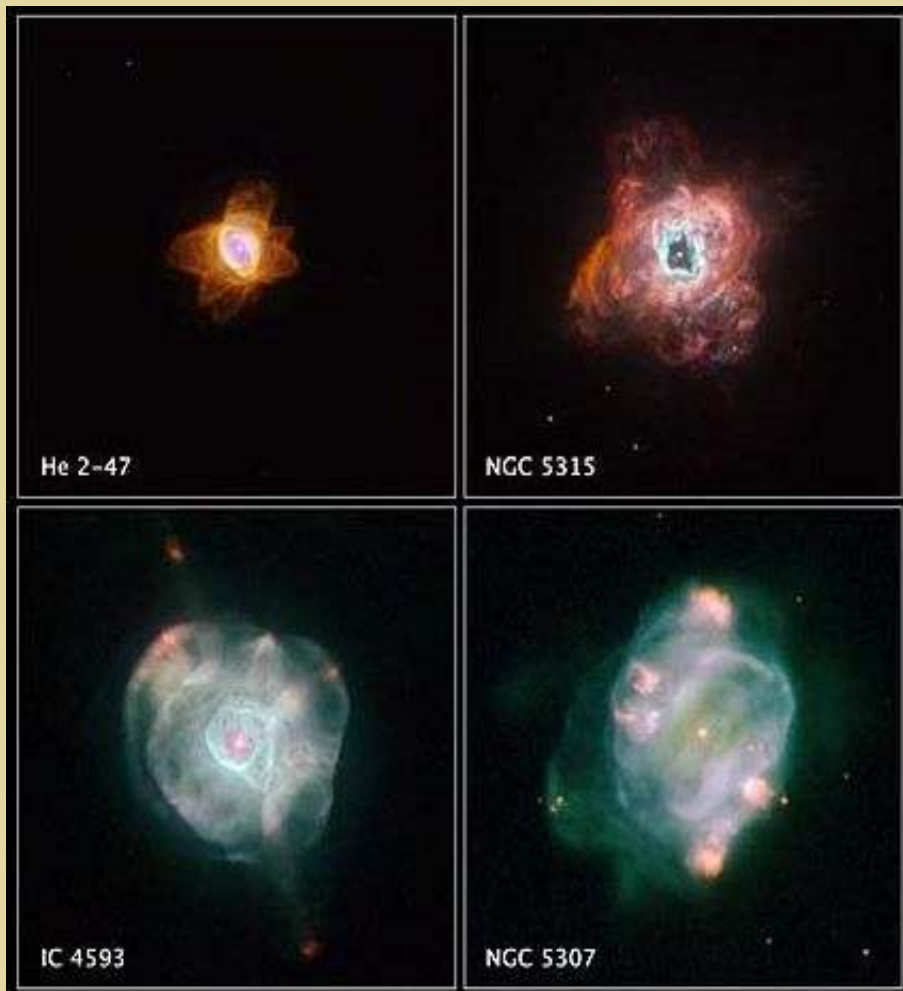
Pesquisas realizadas nos últimos trinta anos, consideram duas principais fontes responsáveis pela síntese dos elementos químicos:

1. Nucleosíntese durante o Big Bang;
2. Nucleosíntese durante a evolução estelar.



Os elementos mais pesados do que o lítio foram **sintetizados nas estrelas**. Durante os últimos estágios da evolução estelar, muitas das estrelas compactas queimaram e formaram o **carbono (C)**, o **oxigênio (O)**, o **silício (Si)**, o **enxofre (S)** e o **ferro (Fe)**.





Os destroços de explosões de supernovas sofreram influência de forças gravitacionais e produziram uma nova geração de estrelas.

Alguns desses destroços são coletados por pequenos corpos que entram em órbita em torno de uma estrela. Estes corpos são os planetas, e um deles é a terra.

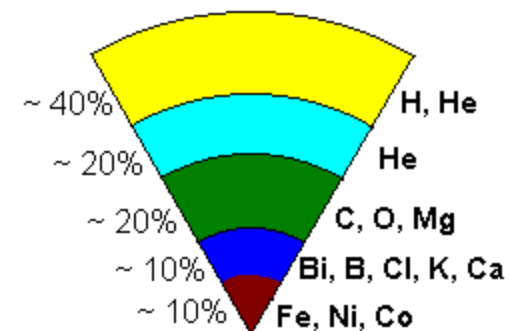
Toda a matéria na terra, foi formada pelo mecanismo da morte de uma estrela.

Abundância de elementos no universo

Z	Elemento	Abundância	Z	Elemento	Abundância	Z	Elemento	Abundância
1	H	$2,72 \times 10^9$	29	Cu	514	58	Ce	1,16
2	He	$2,18 \times 10^9$	30	Zn	1260	59	Pr	0,174
3	Li	59,7	31	Ga	37,8	60	Nd	0,836
4	Be	0,78	32	Ge	118	62	Sm	0,261
5	B	24	33	As	6,79	63	Eu	0,0972
6	C	$1,21 \times 10^4$	34	Se	62,1	64	Gd	0,331
7	N	$2,48 \times 10^6$	35	Br	11,8	65	Tb	0,0589
8	O	$2,01 \times 10^4$	36	Kr	45,3	66	Dy	0,398
9	F	843	37	Rb	7,09	67	Ho	0,0875
10	Ne	$3,76 \times 10^6$	38	Sr	23,8	68	Er	0,253
11	Na	$5,70 \times 10^4$	39	Y	4,64	69	Tm	0,0386
12	Mg	$1,075 \times 10^6$	40	Zr	10,7	70	Yb	0,243
13	Al	$8,49 \times 10^4$	41	Nb	0,71	71	Lu	0,0369
14	Si	$1,00 \times 10^6$	42	Mo	2,52	72	Hf	0,176
15	P	$1,04 \times 10^4$	44	Ru	1,86	73	Ta	0,0226
16	S	$5,15 \times 10^3$	45	Rh	0,344	74	W	0,137
17	Cl	5240	46	Pd	1,39	75	Re	0,0507
18	Ar	$1,04 \times 10^3$	47	Ag	0,529	76	Os	0,717
19	K	3770	48	Cd	1,69	77	Ir	0,660
20	Ca	$6,11 \times 10^4$	49	In	0,184	78	Pt	1,37
21	Sc	33,8	50	Sn	3,82	79	Au	0,186
22	Ti	2400^{-1}	51	Sb	0,352	80	Hg	0,52
23	V	295	52	Te	4,91	81	Tl	0,184
24	Cr	$1,34 \times 10^4$	53	I	0,90	82	Pb	3,15
25	Mn	9510	54	Xe	4,35	83	Bi	0,144
26	Fe	$9,00 \times 10^3$	55	Cs	0,372	90	Th	0,0335
27	Co	2250	56	Ba	4,36	92	U	0,0090
28	Ni	$4,93 \times 10^4$	57	La	0,448			

Tabela Periódica dos Elementos

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
1 H	2 He						
3 Li	4 Be						
5 Na	6 Mg	7 Al	8 Si	9 P	10 S	11 Cl	12 Ar
13 K	14 Ca	15 Sc	16 Ti	17 V	18 Cr	19 Mn	20 Fe
21 Co	22 Ni	23 Cu	24 Zn	25 Ga	26 Ge	27 As	28 Se
29 Br	30 Kr	31 Rb	32 Sr	33 Y	34 Zr	35 Nb	36 Mo
37 Tc	38 Ru	39 Rh	40 Pd	41 Ag	42 Cd	43 In	44 Sn
45 Sb	46 Te	47 I	48 Xe	49 La	50 Ce	51 Pr	52 Nd
53 Pm	54 Sm	55 Eu	56 Gd	57 Tb	58 Dy	59 Ho	60 Er
61 Tm	62 Yb	63 Lu	64 Hf	65 Ta	66 W	67 Re	68 Os
69 Ir	70 Pt	71 Au	72 Hg	73 Tl	74 Pb	75 Bi	76 Po
77 At	78 Rn	79 Fr	80 Ra	81 Ac	82 Th	83 Pa	84 U
85 Np	86 Pu	87 Am	88 Cm	89 Bk	90 Cf	91 Es	92 Lr



Uma nebulosa difusa, grosseiramente esférica e em lenta rotação começa a contrair-se.

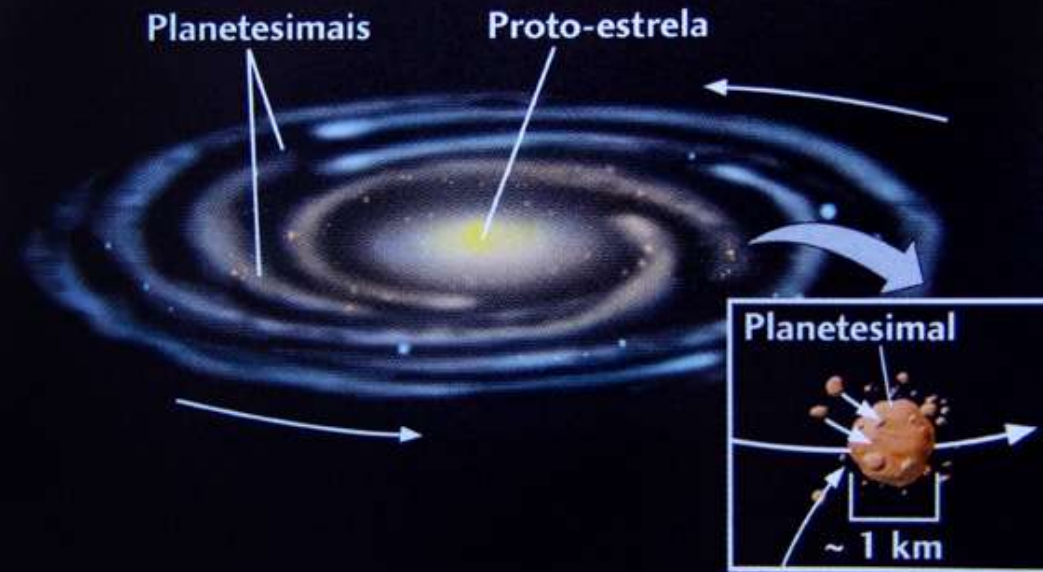
Início da formação da Terra



Como resultado da contração e rotação, um disco achatado, girando rapidamente, forma-se com matéria concentrada em seu centro, que se transformará no proto-Sol.

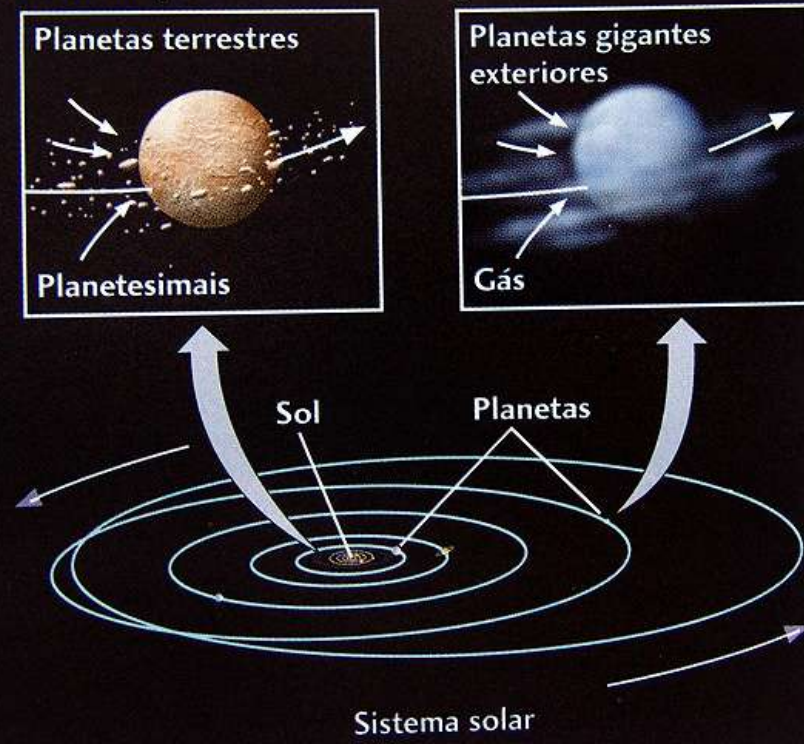


O disco envolvido por gás e poeira forma grãos que colidem e se agregam em pequenos blocos ou planetesimais.

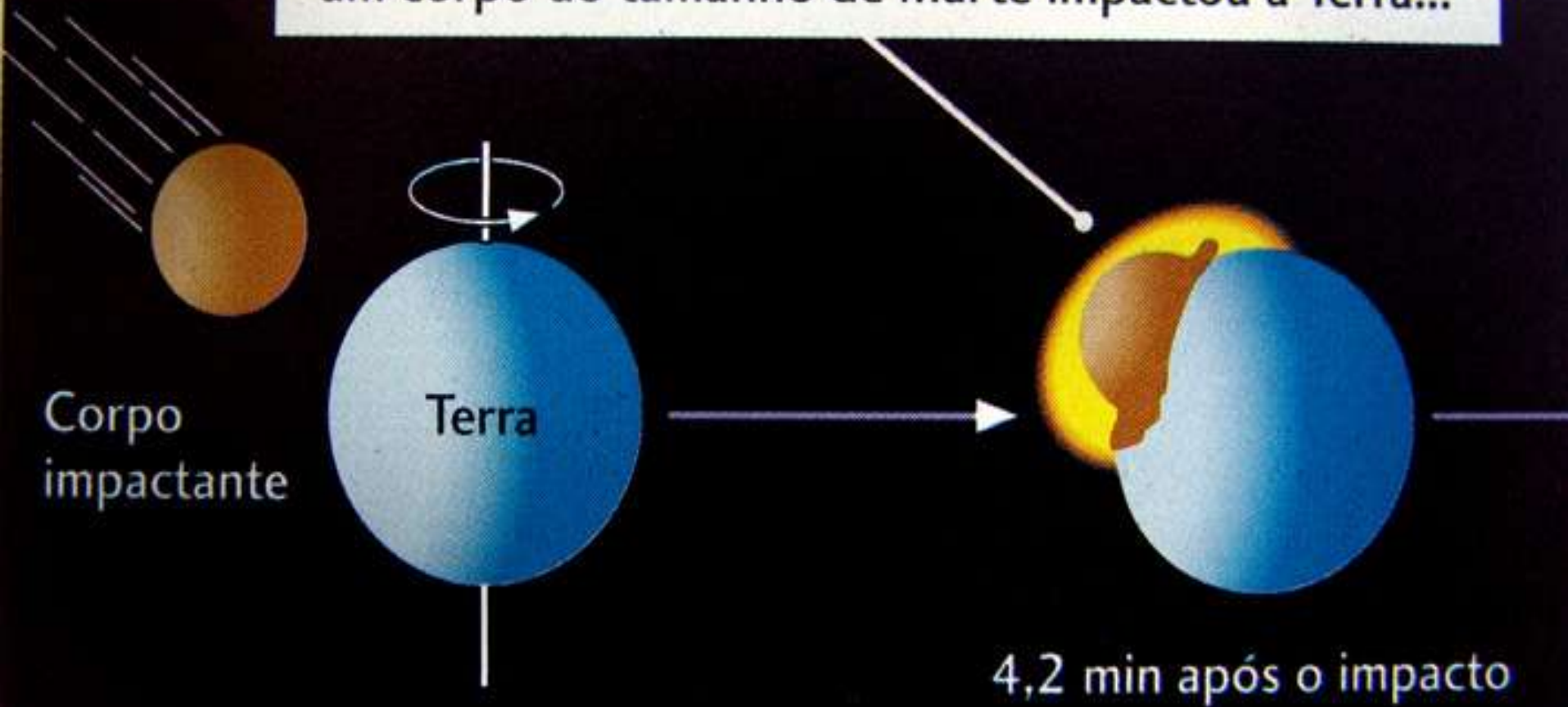


Início da formação da Terra

Os planetas terrestres estruturaram-se a partir de múltiplas colisões e crescimento de planetesimais ocasionados pela atração gravitacional. Os planetas gigantes exteriores aumentaram por crescimento de gás.

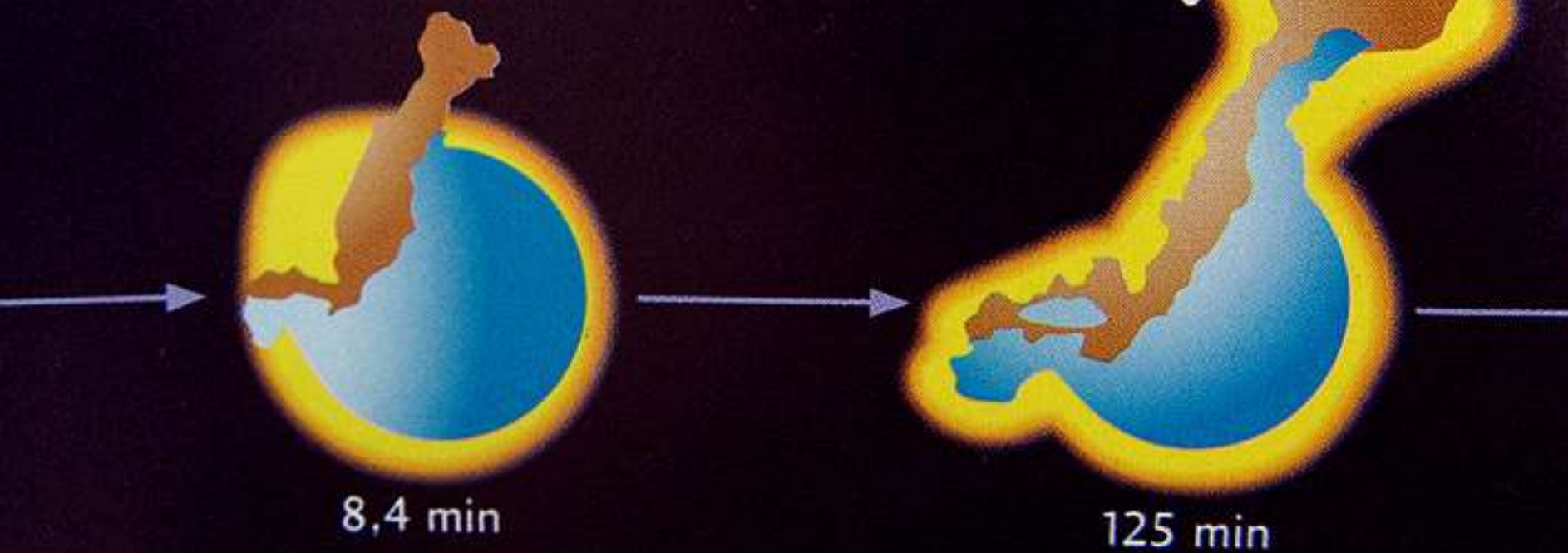


1 Durante os estágios intermediários e finais do crescimento da Terra, há cerca de 4,5 bilhões de anos, um corpo do tamanho de Marte impactou a Terra...



A Lua

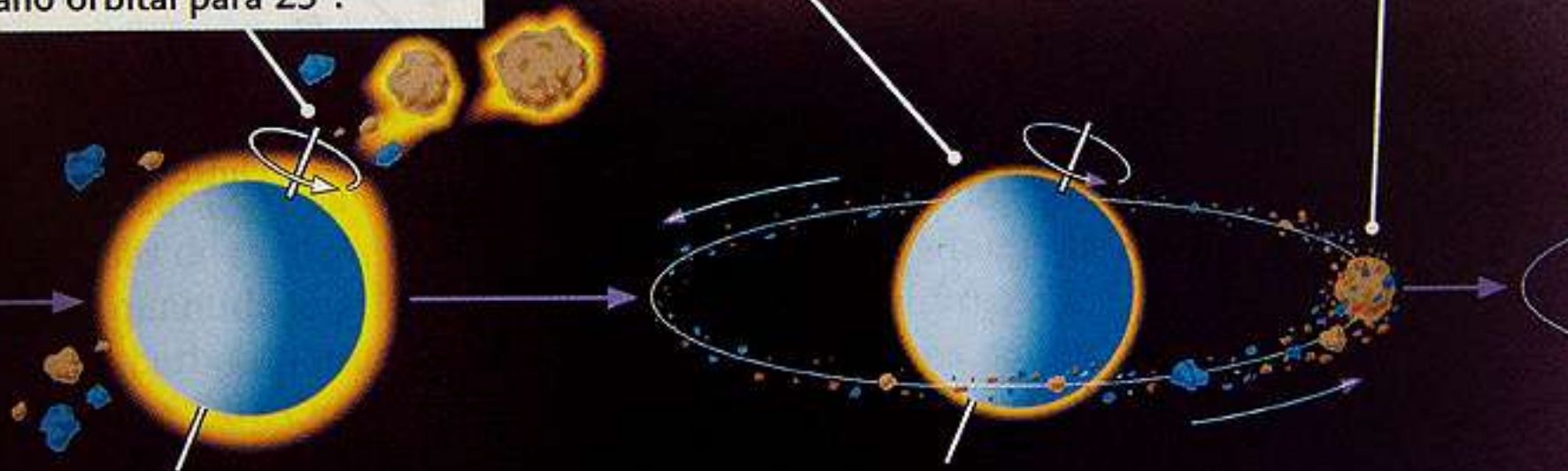
2 ... e o impacto gigante rapidamente ejetou para o espaço uma chuva de detritos tanto do corpo impactante como da Terra.



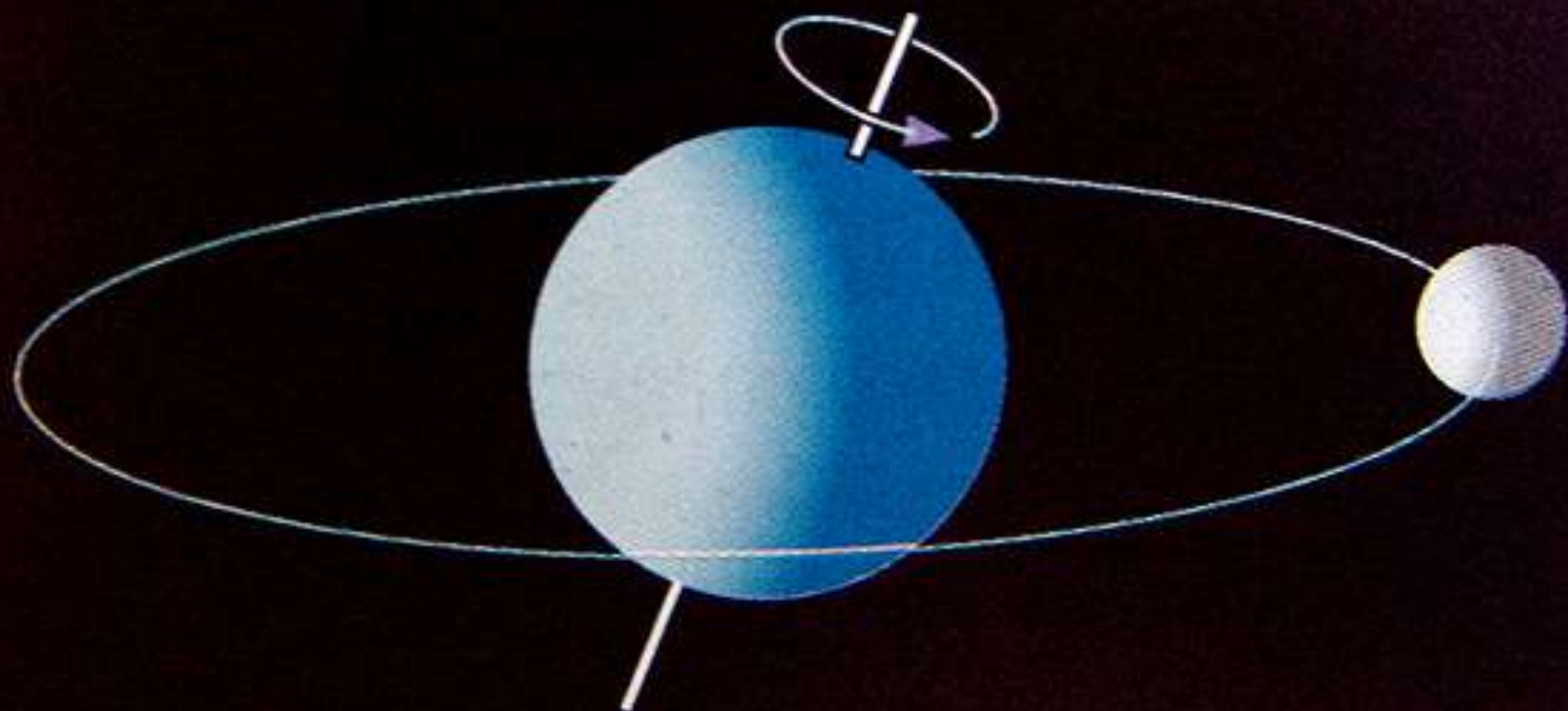
3 O impacto acelerou a rotação da Terra e inclinou o seu plano orbital para 23° .

4 A Terra reconstituiu-se como um grande corpo fundido...

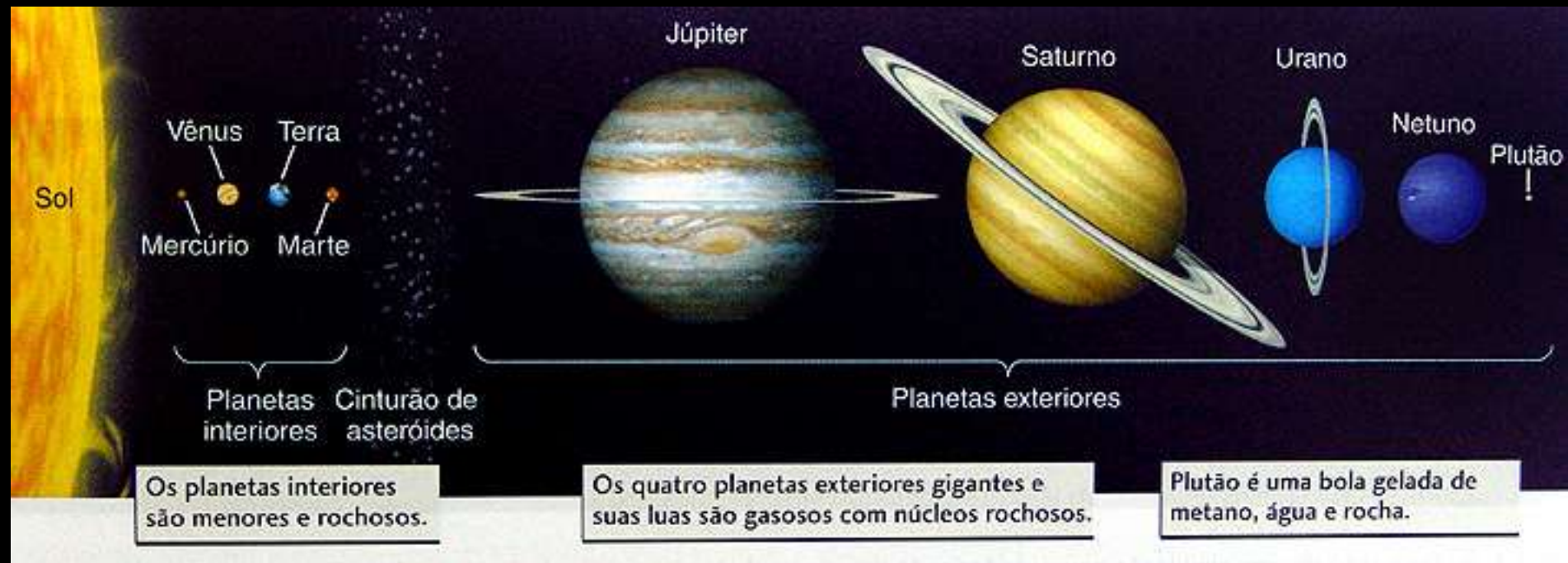
5 ... e a Lua agregou-se a partir dos detritos.



6 Rochas da Lua com 4,47 bilhões de anos, trazidas pelos astronautas da *Apollo*, confirmaram essa hipótese do impacto.



Configuração do Sistema solar



Informações trazidas por meteoritos

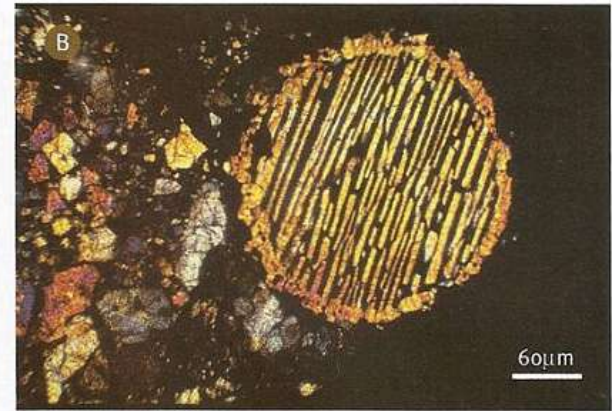
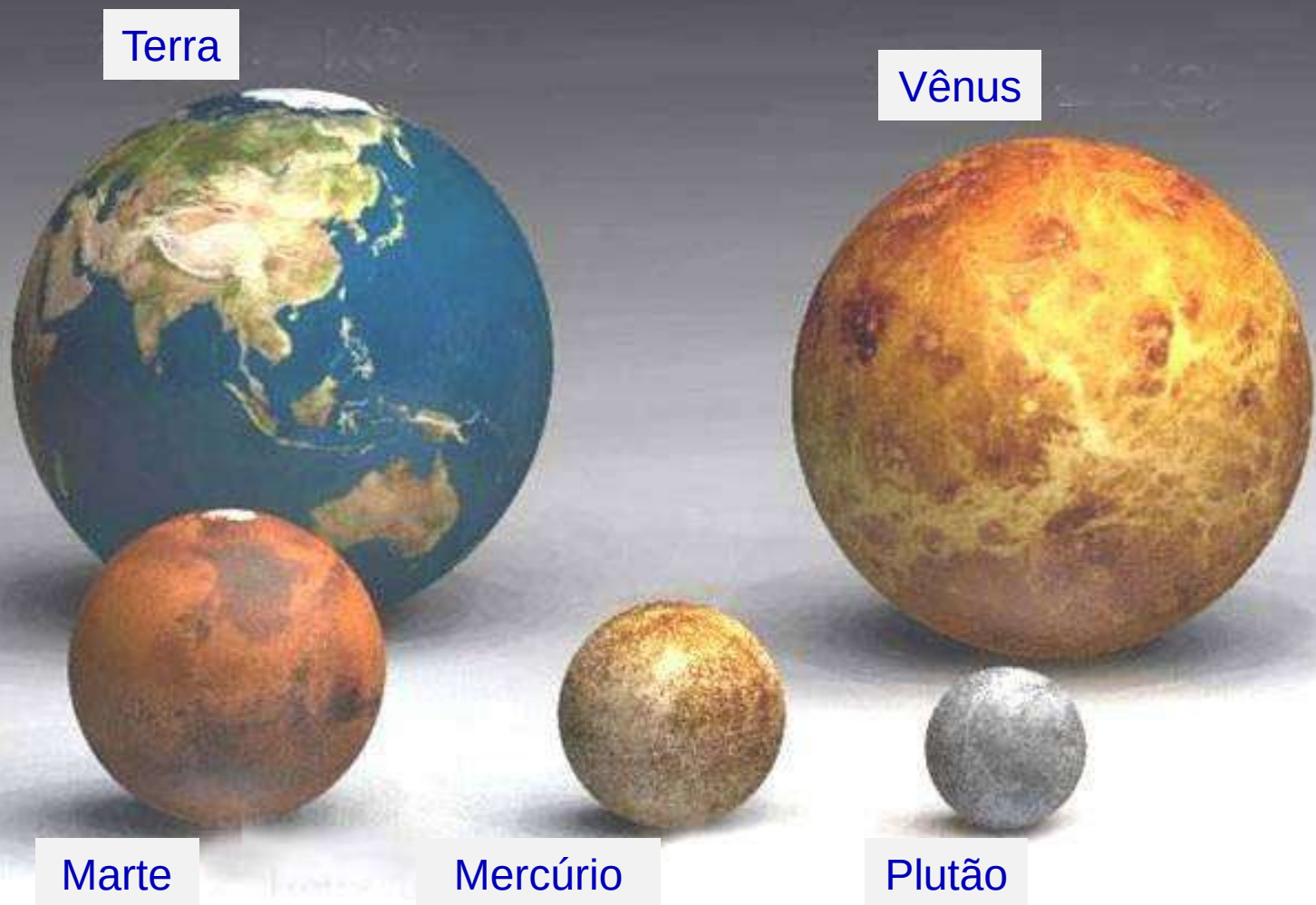


Figura 4. Os diferentes tipos de meteoritos, bem como os objetos incrustados neles, nos dão informação sobre a formação e a evolução da nebulosa solar. Em A, imagem feita por microscópio óptico de duas inclusões ricas em cálcio (Ca) e alumínio (Al) do meteorito Allende. As inclusões representam um dos primeiros objetos a se formar nessa nebulosa. Em B, imagem obtida por microscópio óptico de uma côndrula, em forma de barra, do condrito Mezó-Madaras (L3.7). Sua presença levanta a questão sobre a presença de líquidos nos instantes iniciais da formação do sistema solar. Em C, o meteorito Eagle Station, do tipo palasito, pertencente à coleção do Museu de História Natural, em Viena, consiste em cristais de olivina incrustados em metal, o que levanta a questão sobre como permaneceriam juntos materiais de densidade tão diferentes. Em D, microfotografia do meteorito de ferro Udei Station (IAB), encontrado em 1927, no rio Benue (Nigéria). Na imagem, observam-se cristais perfeitos de silicatos (no caso, objetos coloridos brilhantes) incrustados no metal

Meteoritos rochosos (95%)	Ordinários (81%)	Características: primitivos não diferenciados. Idades entre 4,5 e 4,6 bilhões de anos. Abundância solar (cósmica) dos elementos pesados. Possuem condritos, à exceção dos condritos carbonáceos tipo C1.
	Condritos (86%)	
	Carbonáceos (5%)	Composição: minerais silicáticos (olivinas e piroxênios) de fases refratárias e material metálico (Fe e Ni). Proveniência provável: cinturão de asteroides.
	Acondritos (9%)	Características: diferenciados. Idades entre 4,4 e 4,6 bilhões de anos, à exceção daqueles do tipo SNC, com idade de aproximadamente 1 bilhão de anos. Composição: heterogênea, em muitos casos similar à dos basaltos terrestres. Minerais principais: olivina, piroxênio e plagioclásio. Proveniência provável: corpos diferenciados do cinturão de asteroides, muitos da superfície da Lua, alguns (do tipo SNC) da superfície de Marte (Shergottitos-Nakhlitos-Chanignitos).
Meteoritos ferro-pétreos (siderólitos) (1%)	Composição: mistura de minerais silicáticos e material metálico (Fe + Ni). Proveniência provável: interior de corpos diferenciados do cinturão de asteroides.	
Meteoritos metálicos (sideritos) (4%)	Composição: mineral metálico (Fe + Ni). Proveniência provável: interior de corpos diferenciados do cinturão de asteroides.	

Tabela 1.4 – Classificação simplificada dos meteoritos.

Informações trazidas
por meteoritos



Relação de tamanho entre os corpos do sistema solar

Júpiter

Saturno

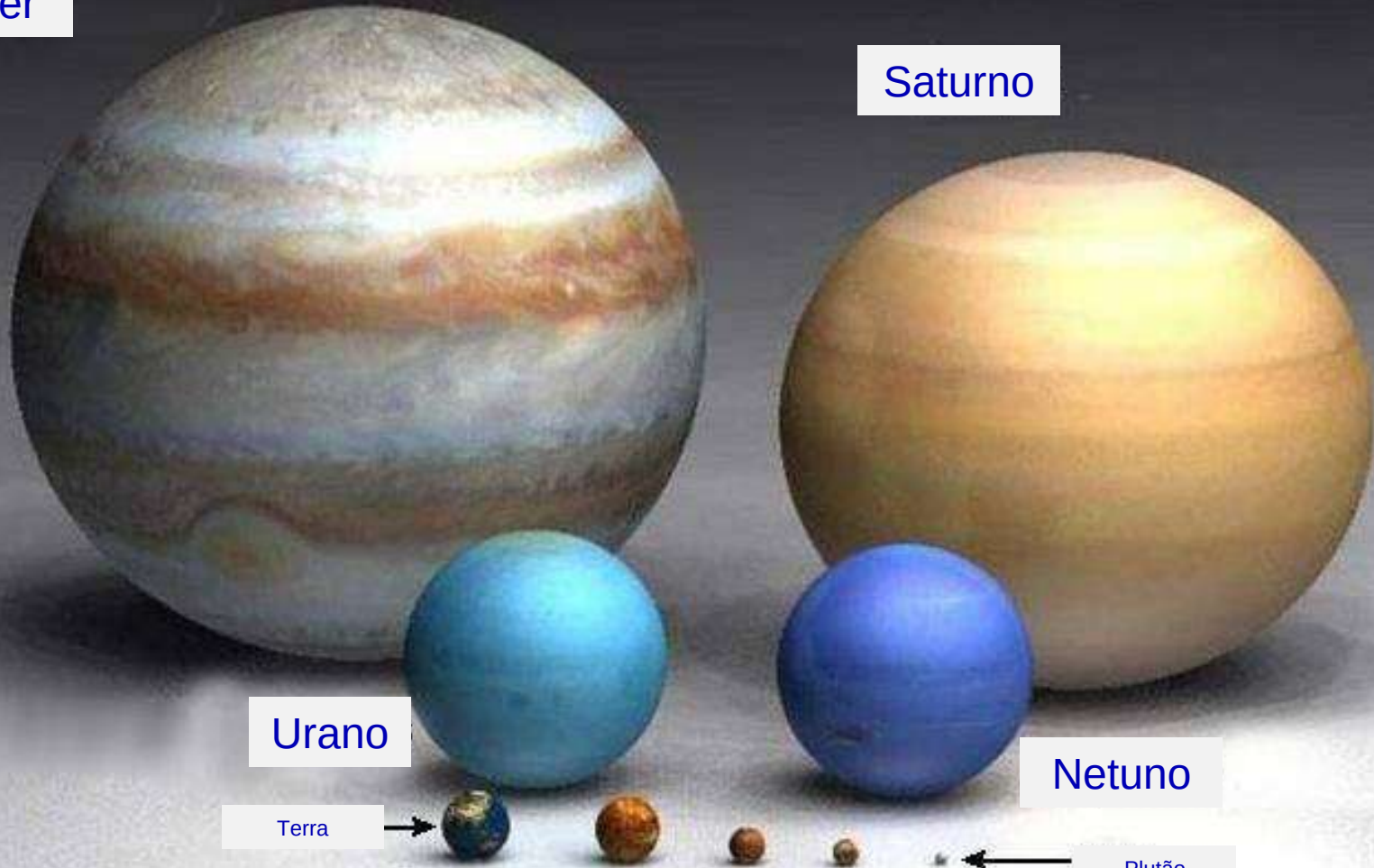
Urano

Netuno

Terra

Plutão

Relação de tamanho entre os corpos do sistema solar



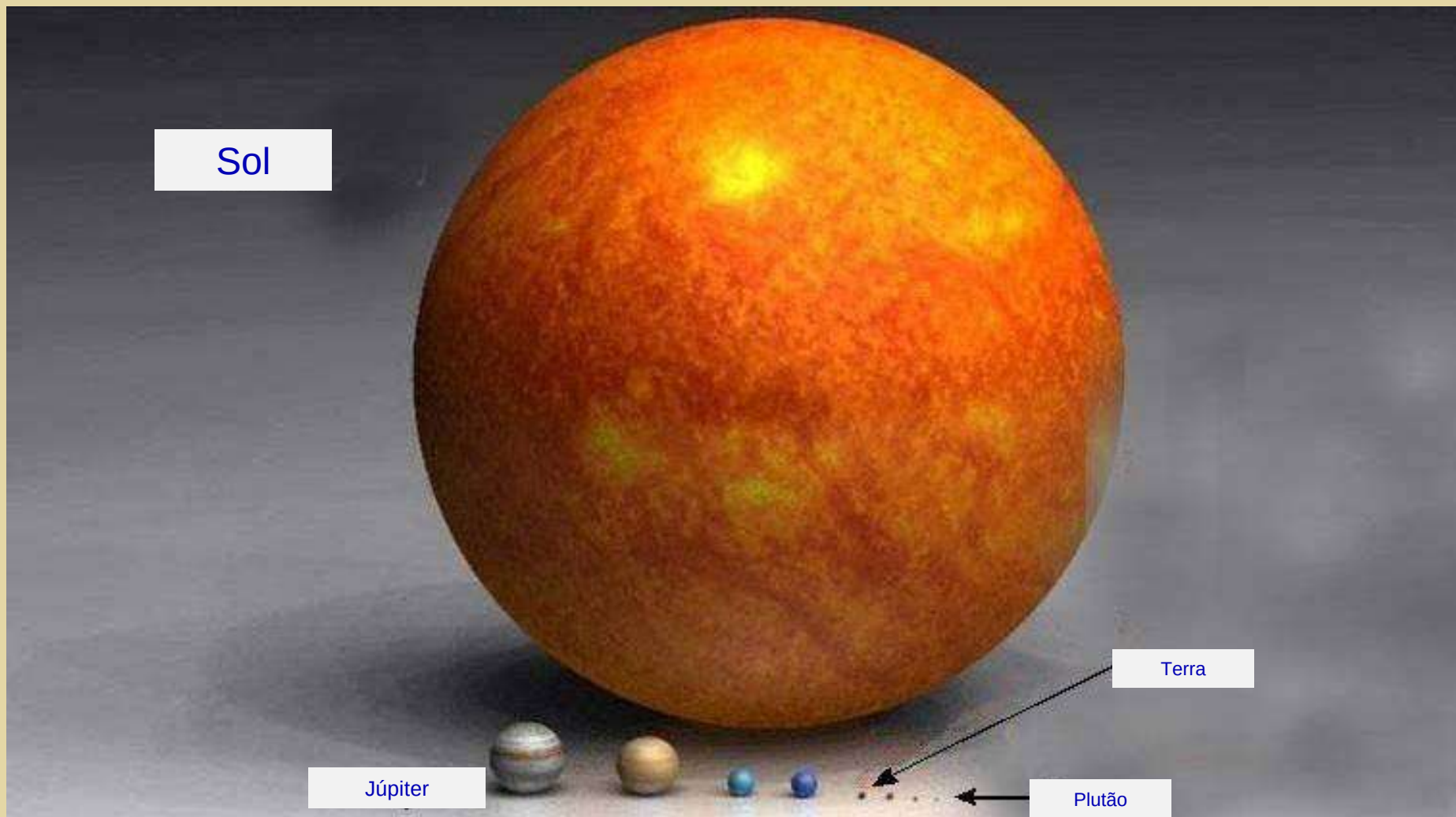
Sol

Júpiter

Terra

Plutão

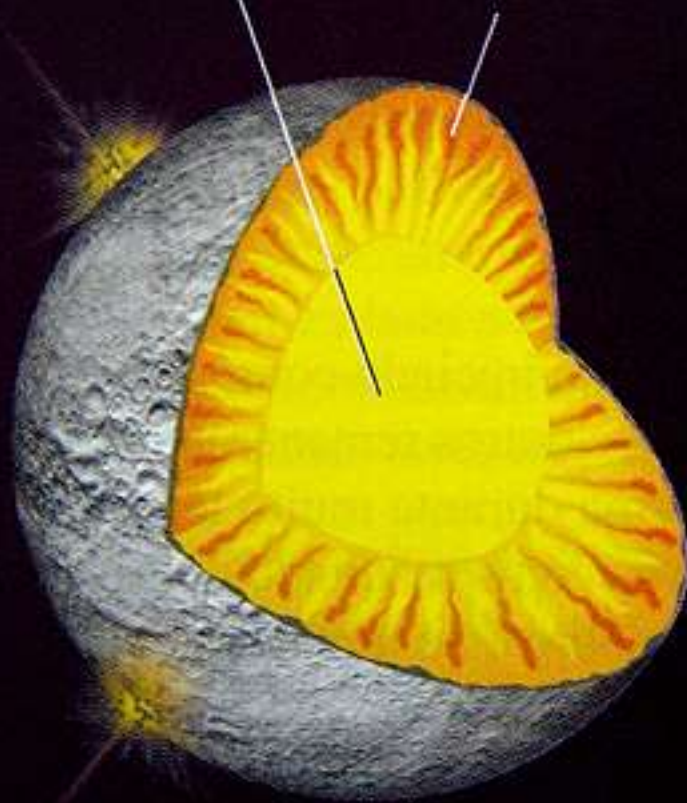
Relação de tamanho entre os corpos do sistema solar



Diferenciação

Ferro

Matéria
mais leve

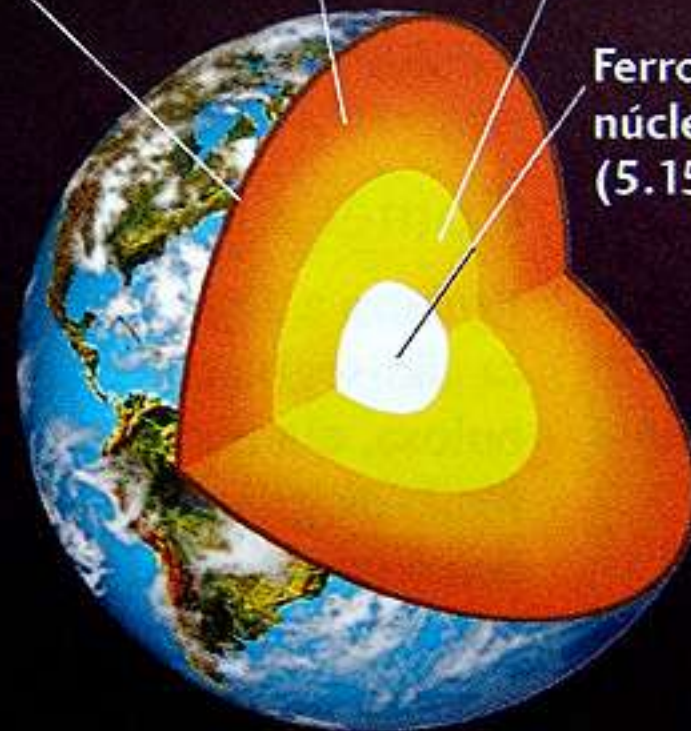


Crosta
(0–40 km)

Manto
(40–2.890 km)

Ferro líquido do
núcleo externo
(2.890–5.150 km)

Ferro sólido do
núcleo interno
(5.150–6.370 km)

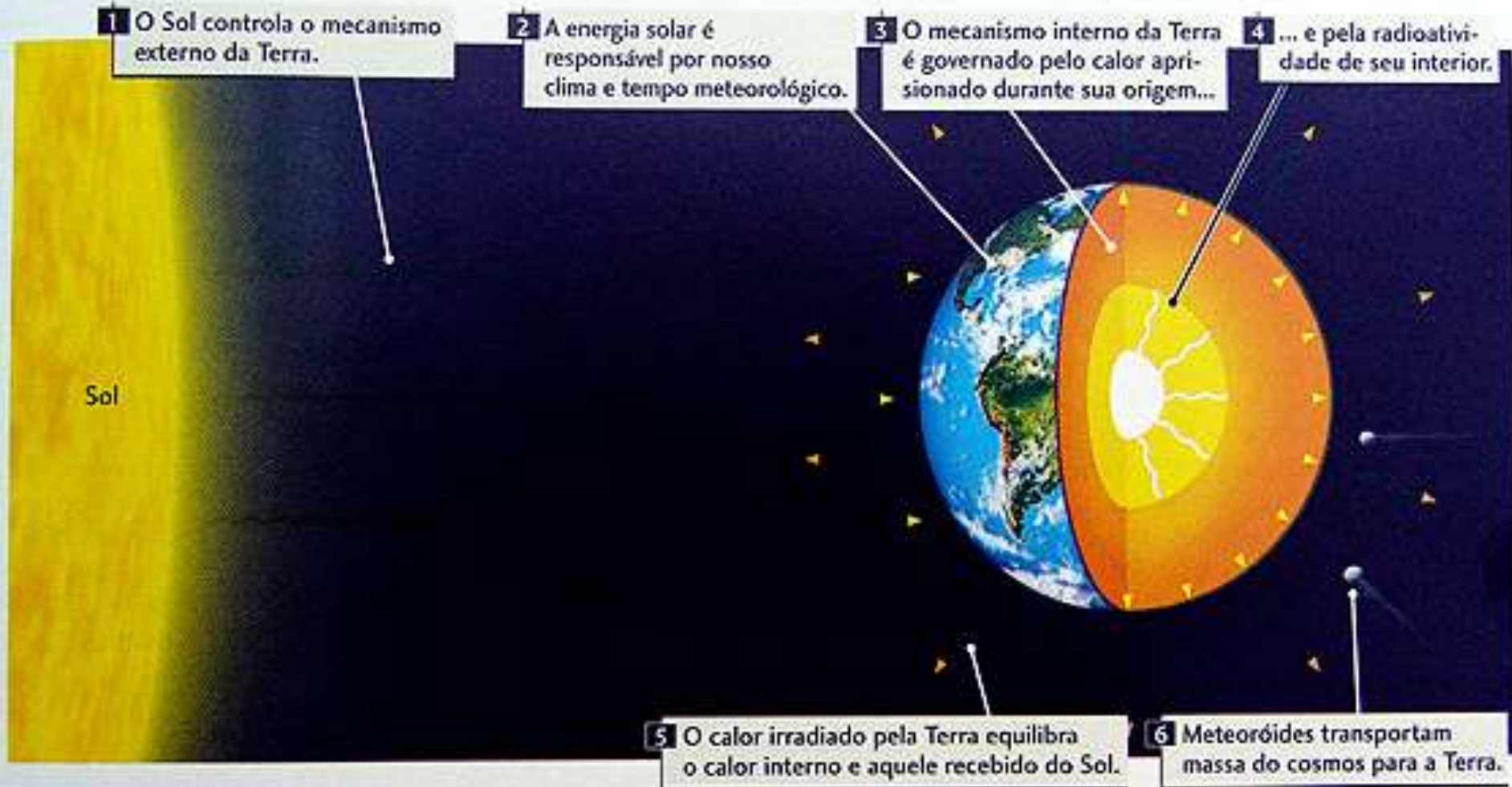


Durante a diferenciação, o ferro afundou em direção ao centro e o material mais leve flutuou para cima...

... de modo que a Terra se apresenta como um planeta zoneado.

Terra – um sistema aberto

A TERRA É UM SISTEMA ABERTO QUE TROCA ENERGIA E MASSA COM SEU ENTORNO



Um planeta dinâmico

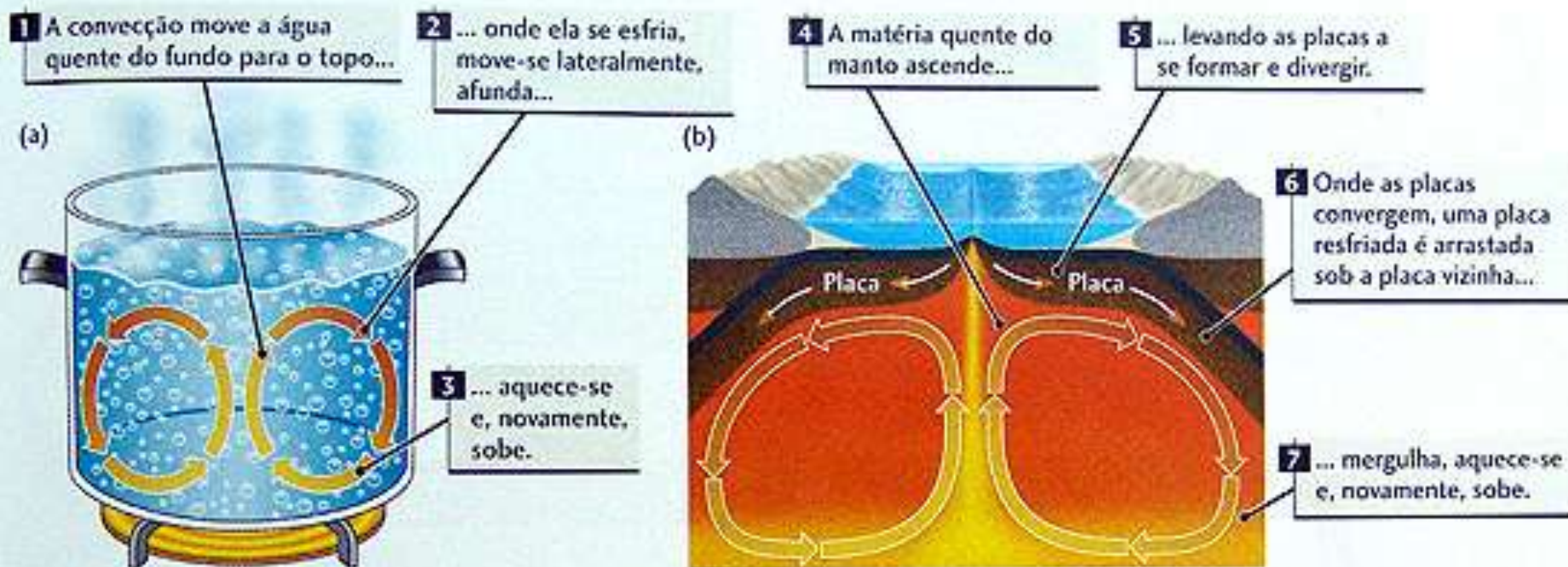


Figura 1.11 (a) A água fervendo é um exemplo familiar da convecção. (b) Uma visão simplificada das correntes de convecção no interior da Terra.

Comportamento dos feixes

Informações
sobre a
estrutura da
Terra

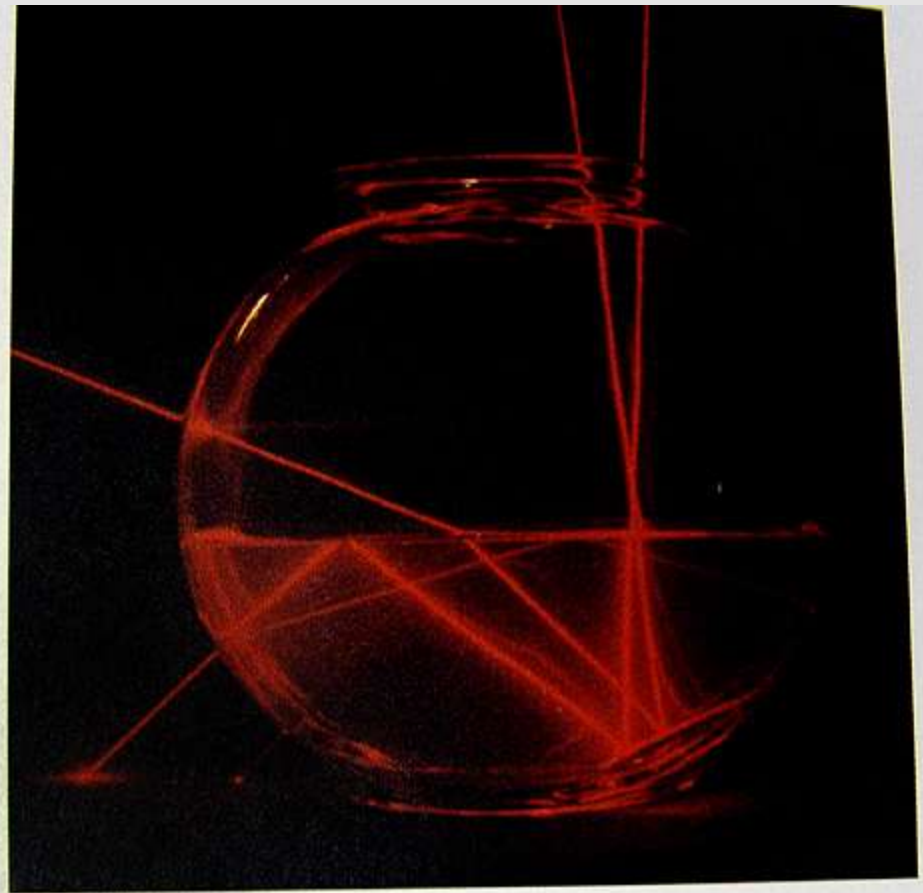


Figura 21.1 Neste experimento, os dois feixes de *laser* entram num globo com água pelo topo. Ambos são refletidos em um espelho posicionado no fundo do globo. Um, então, é refletido na interface ar-água e passa através da parede do globo, originando um ponto brilhante na mesa. A maior parte da energia do outro é desviada para baixo (refratada) quando ele passa da água para o ar, e uma pequena quantidade é refletida para formar um segundo ponto brilhante na mesa. Você pode traçar o caminho de outros feixes refletidos pelas interfaces. [Susan Schwartzberg/The Exploratorium]

Informações
sobre a
estrutura da
Terra

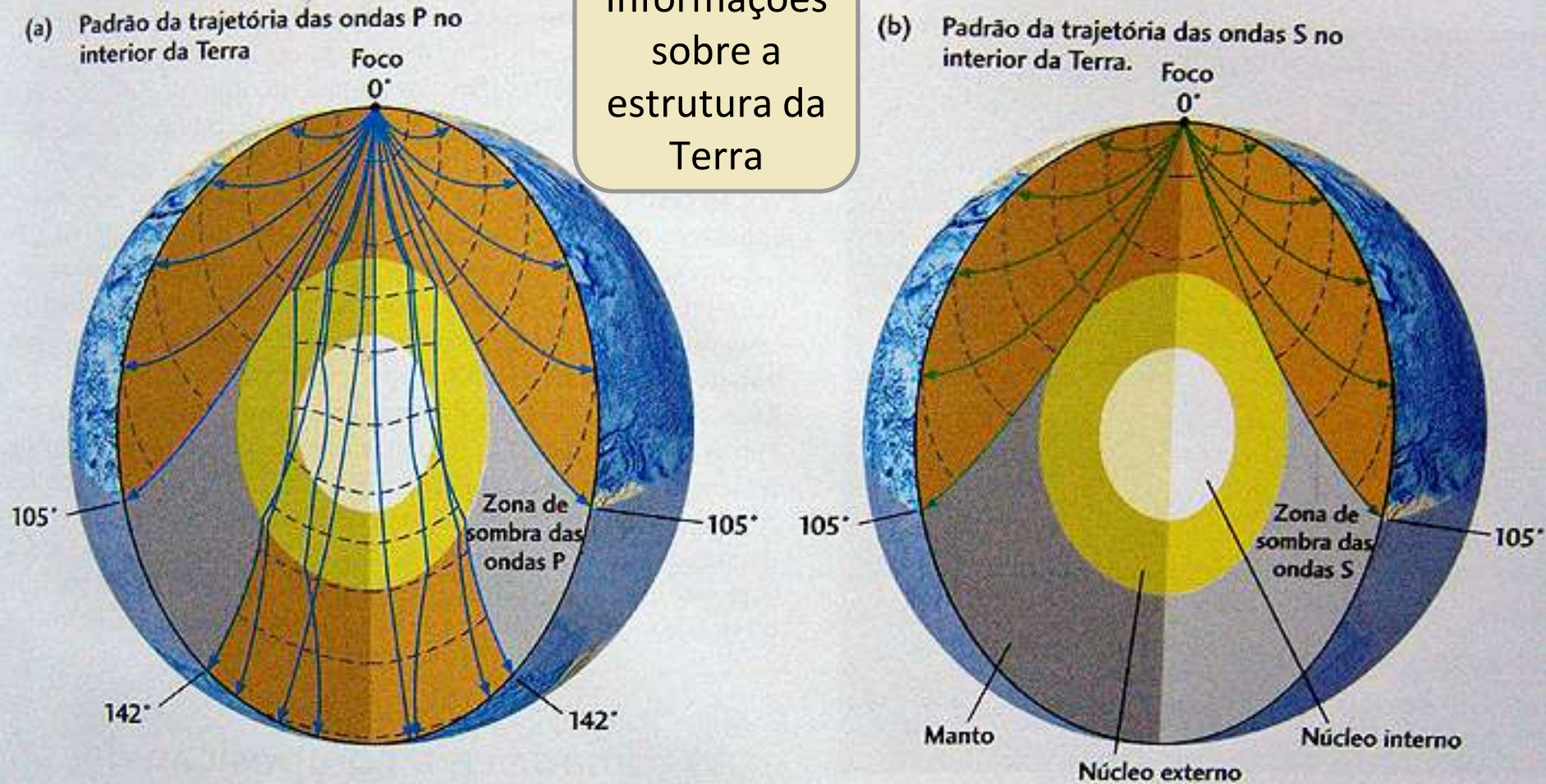


Figura 21.2 (a) O padrão da trajetória das ondas P no interior da Terra. A linha tracejada em azul mostra o avanço das frentes de ondas no interior, num intervalo de 2 minutos. As distâncias são medidas em ângulos a partir do foco do terremoto. A zona de sombra da onda P estende-se de 105° a 142° . As ondas P não podem alcançar a superfície nessa zona, devido ao desvio da trajetória ao entrarem e saírem do núcleo. (b) A zona de maior sombra das ondas S estende-se de 105° a 180° . Embora as ondas S incidam no núcleo, elas não podem viajar através da sua região fluida mais externa e, assim, nunca emergem antes de 105° a partir do foco.



Informações
sobre a
estrutura da
Terra



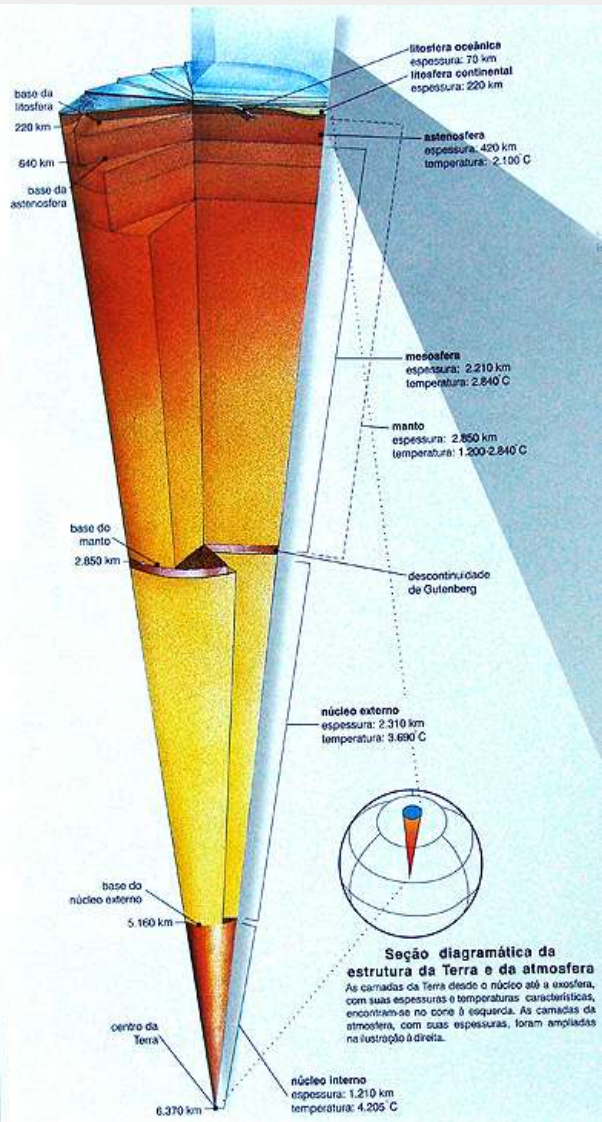
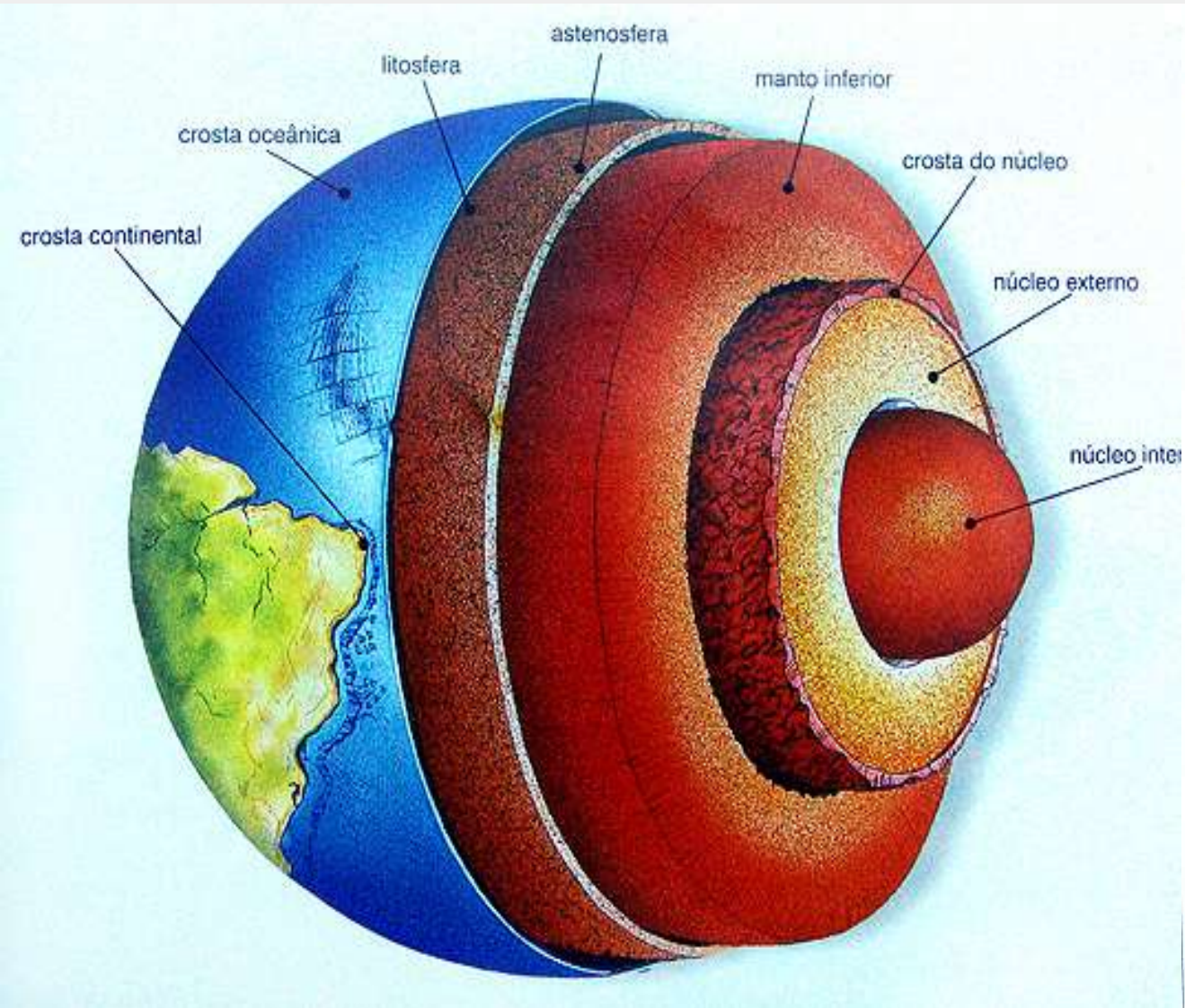
Três camadas composicionais da Terra

- Base da divisão: ondas sísmicas P e S e seções geológicas na superfície da terra
- **Crosta Continental:** Superior e inferior
- **Manto:** Superior, transicional e Inferior
- **Núcleo:** Externo e Interno

Três camadas reológicas da Terra

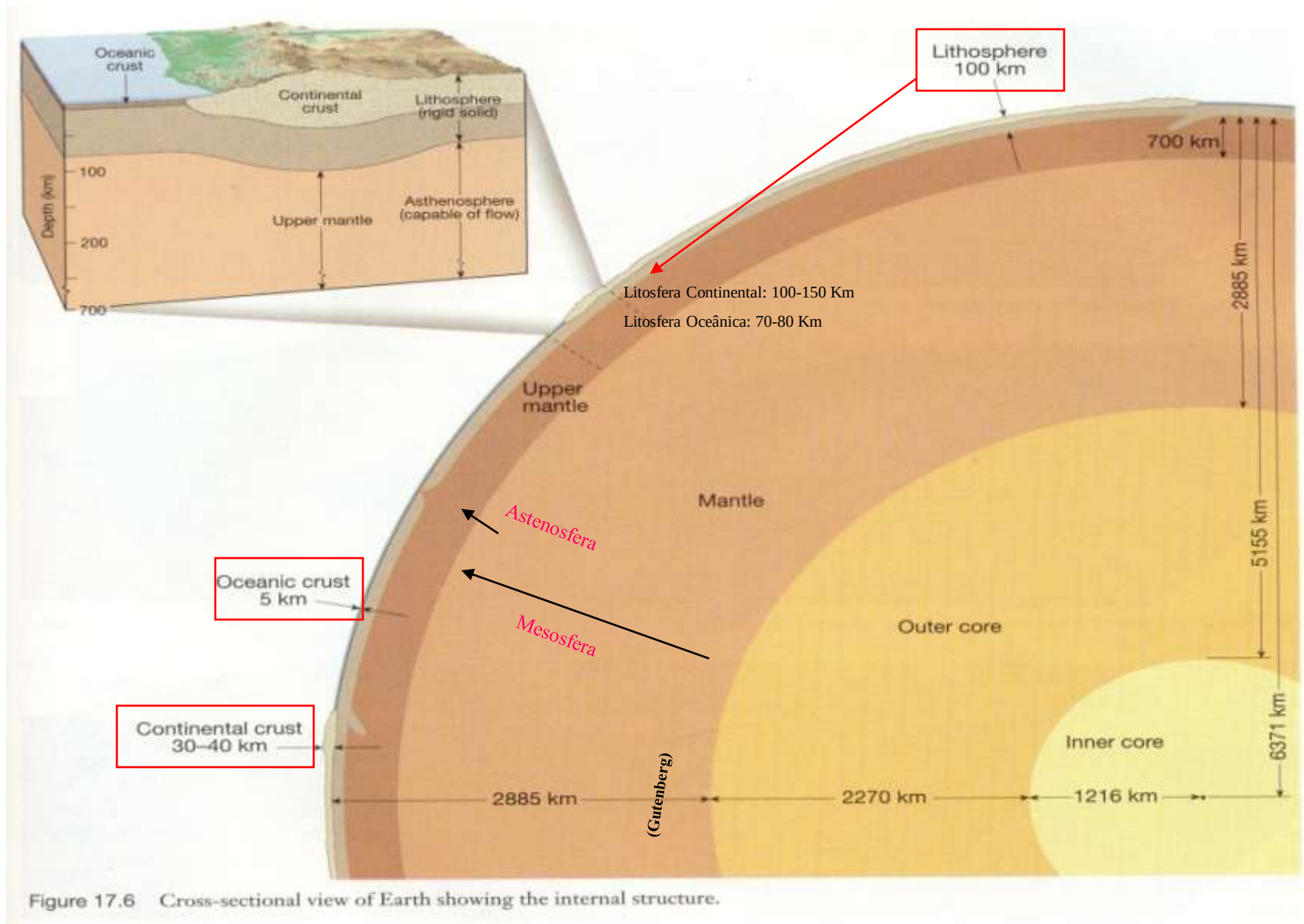
- Litosfera: Continental e o oceânica
- Astenosfera
- Mesosfera

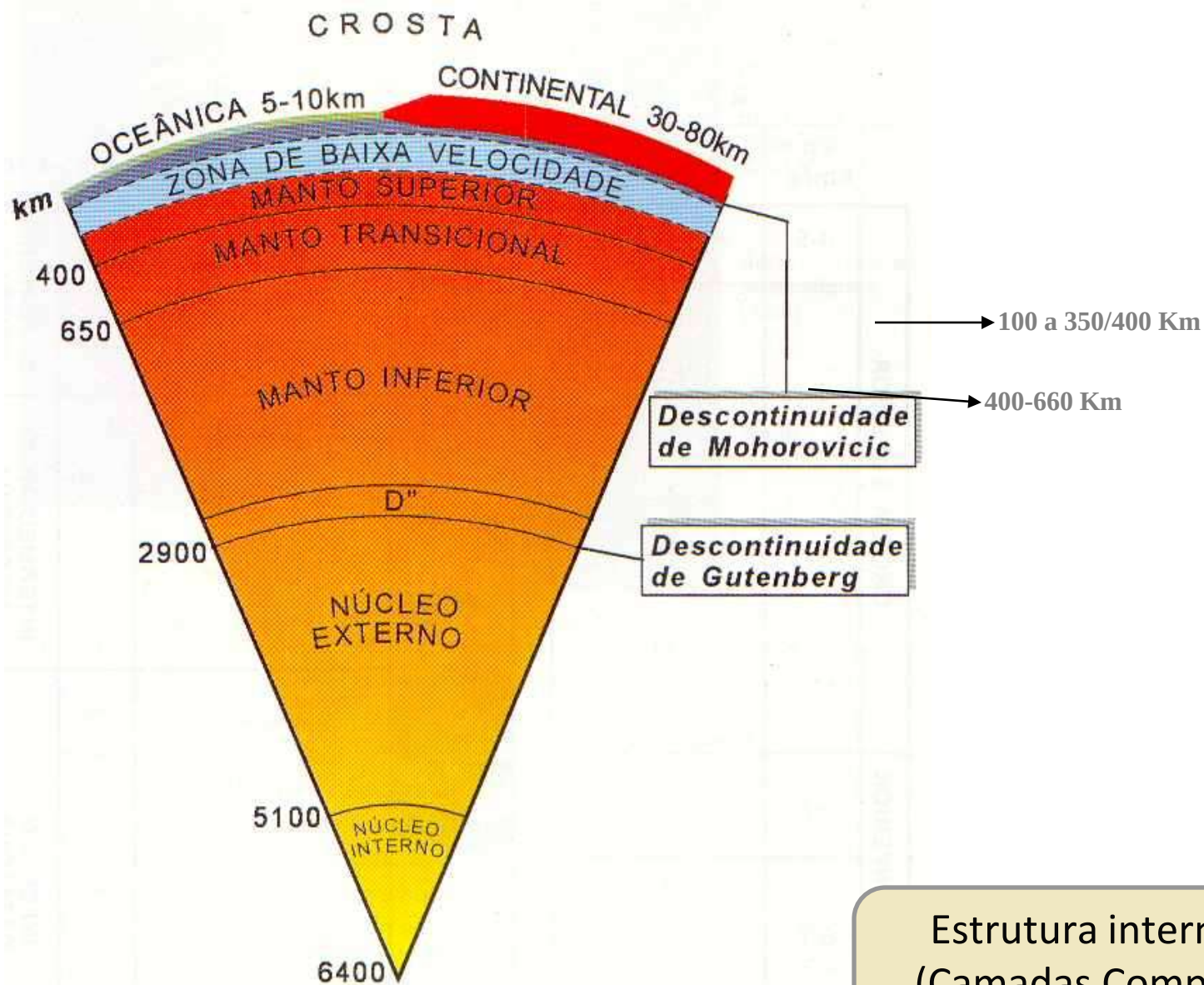
Viscosidade e plasticidade dos fluidos



Estrutura interna da Terra (Camadas Composicionais e Reológicas)

Estrutura interna da Terra (Camadas Composicionais e Reológicas)





Estrutura interna da Terra
(Camadas Composicionais e
Reológicas)

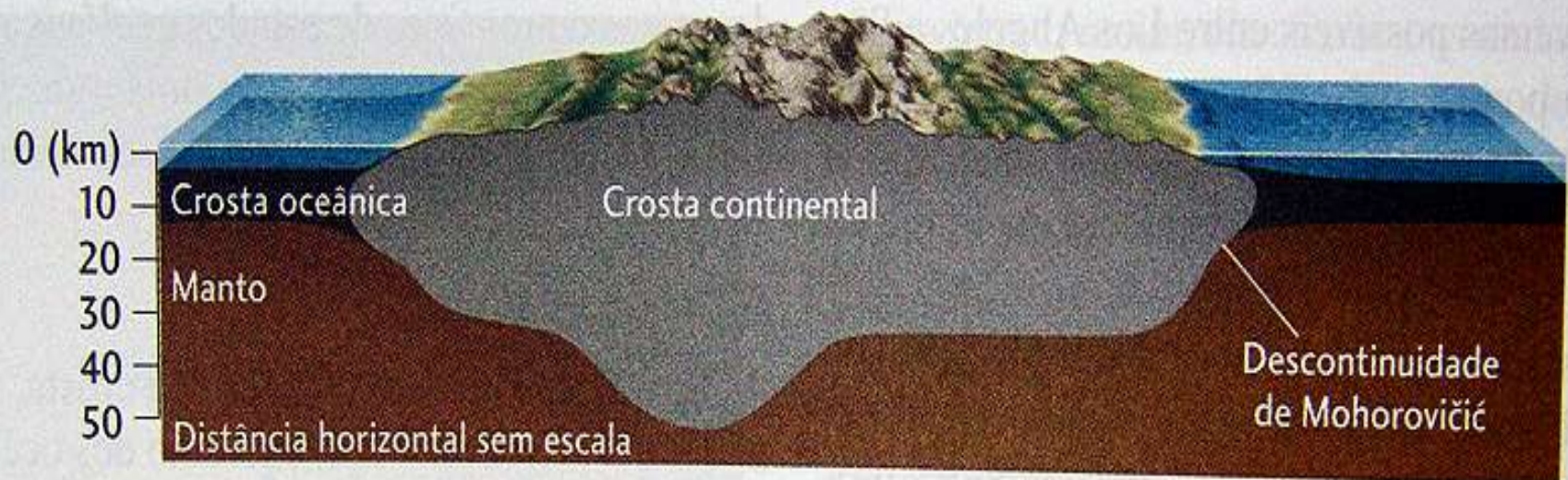
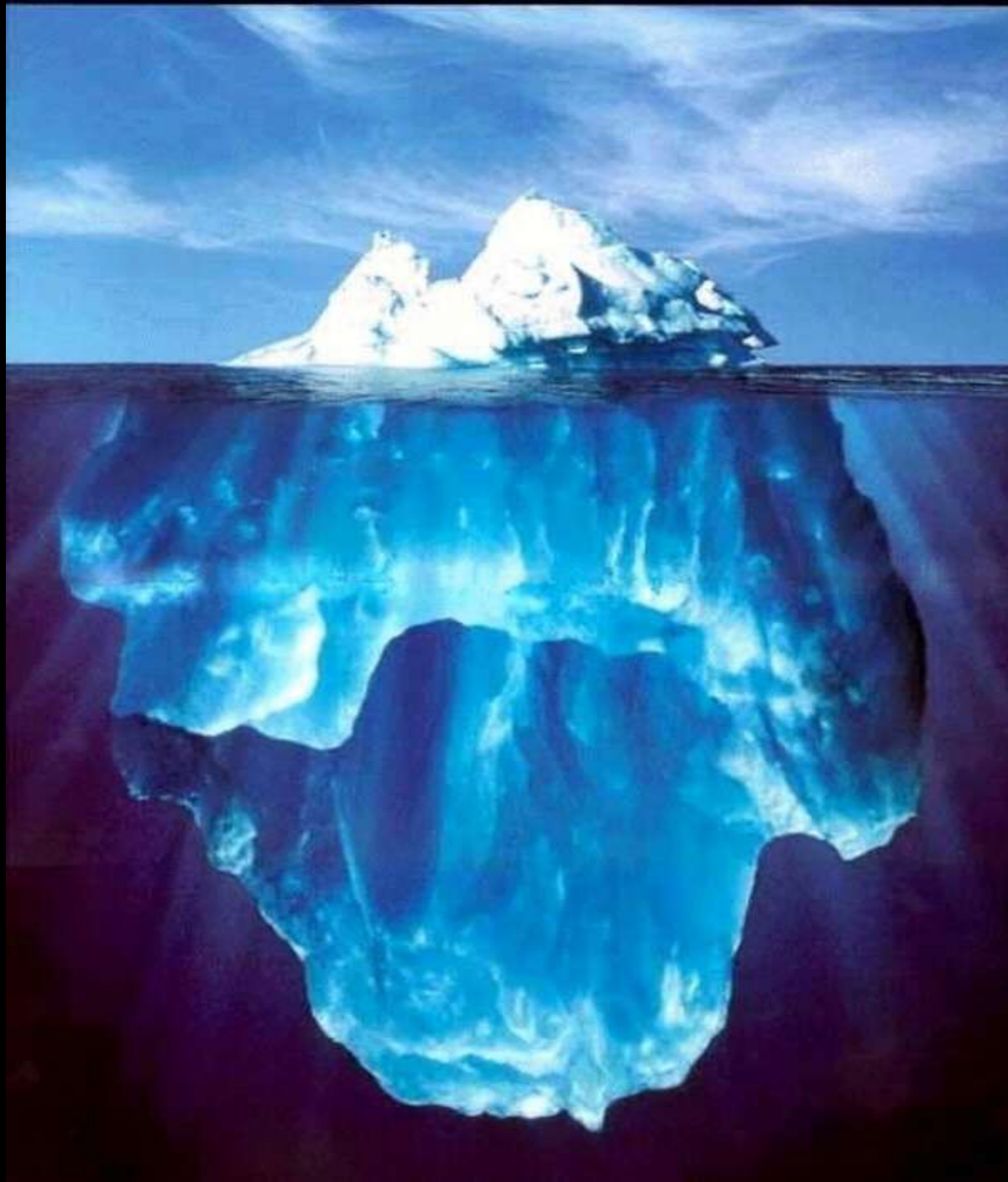


Figura 21.6 As ondas sísmicas revelam o limite entre a crosta e o manto subjacente e as variações na espessura da crosta. A crosta continental relativamente leve projetando-se dentro do manto mais denso serve como uma raiz que fornece o empuxo para a “flutuação” do continente. A raiz é mais profunda embaixo das montanhas, onde é necessário mais empuxo para suportar a carga mais pesada, de acordo como princípio da isostasia.



Abundância dos elementos na Terra

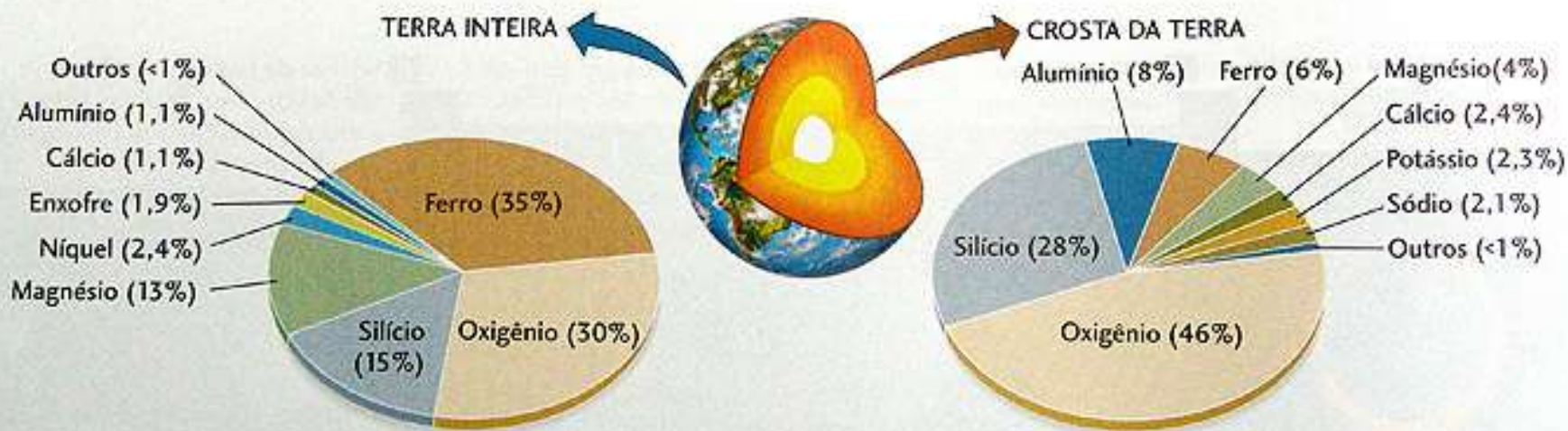


Figura 1.7 A abundância relativa dos elementos da Terra inteira comparada com a dos elementos da crosta é dada em percentuais de peso. A diferenciação criou uma crosta leve, empobrecida de ferro e rica em oxigênio, silício, alumínio, cálcio, potássio e sódio.

Apenas quatro elementos constituem cerca de 90% da Terra: ferro, oxigênio, silício e magnésio. Observe que o oxigênio, o silício e o alumínio, sozinhos, formam mais de 80% da crosta.

Crosta Continental e Oceânica

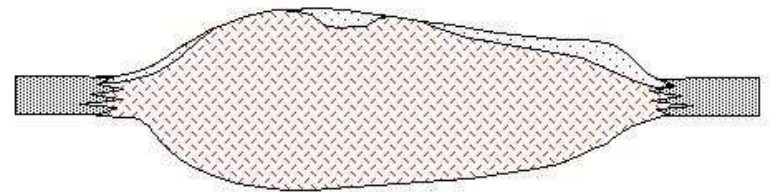
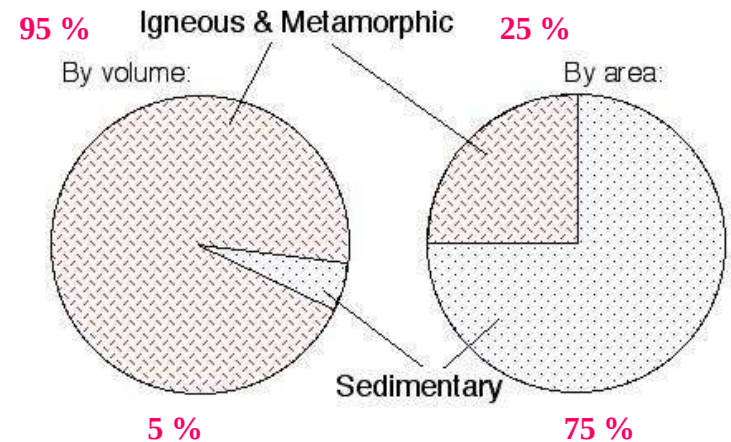
- **Crosta Continental:**

- Composição Granítica a granodiorítica (andesítica)
- Espessura: média entre 30 e 40 Km. Pode alcançar 70 Km (himalaia, placas continentais em colisão)
 - 41 % em área e 79 % em volume da superfície da terra.
- Idade: Várias desde 4.3 G.a até o recente.

- **Crosta Oceânica:**

- Composição Basáltica (gabróica)
- Espessura: média 5 Km. Pode ser zero ?
 - 59 % em área e 21 em volume da superfície da terra.
- Idade: até 200 Ma.

Proportions of Rock Types in the Continental Crust:



Relative abundance of sedimentary rocks:

	Measured	Calculated
Shales:	47%	77%
Sandstones	31%	14%
Limestones	22%	9%

Tabela 2.3 Constituição mineralógica da crosta continental.

Classe mineral	Espécie ou grupo mineral	% em vol .
Silicatos	feldspatos	58
	piroxênios e anfibólios	13
	quartzo	11
	micas, clorita, argilominerais	10
	olivina	3
	epídoto, cianita, andaluzita, sillimanita, granadas, zeólitas etc.	2
Carbonatos, Óxidos, Sulfetos, Halóides etc.		3
Total		100

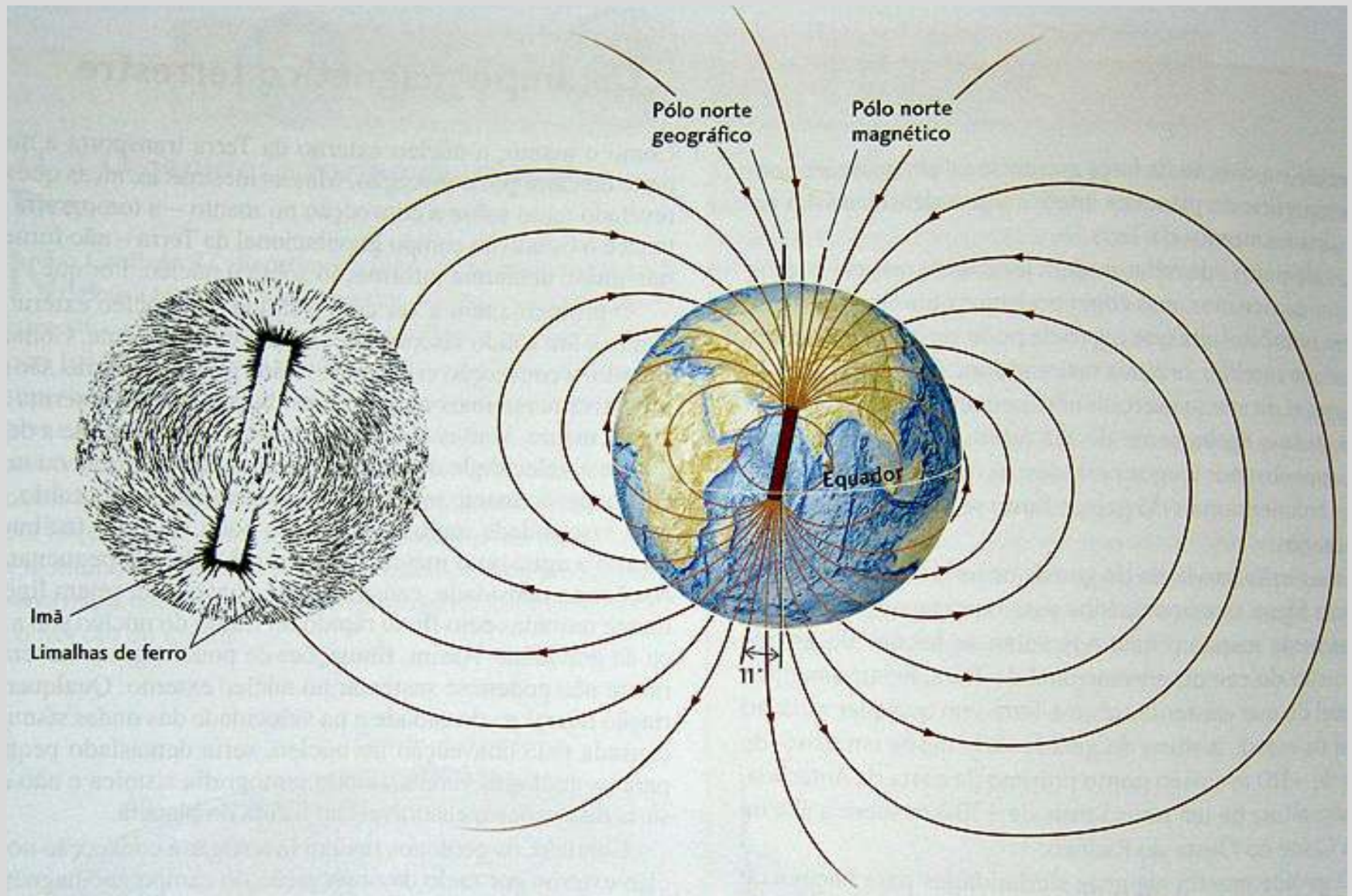
Manto

- Composição: Peridotítica (Olivina, piroxênio e espinélio e granada).
- Espessura: 2885 Km
- Manto Superior: (rígido)
- Manto Inferior: (plástico, viscoso)

Núcleo

- Espessura Total: 3486 Km
- Núcleo Externo: (plástico/viscoso a líquido)
espessura: 2270 Km
- Núcleo Interno: (rúptil, rígido)
espessura: 1216 Km

Magnetismo - geodínamo





Litosfera (movimento das placas litosféricas)

- Camada rígida, de alta viscosidade e ocorre da superfície até **100-150 km** (espessura) de profundidade.
- **Litosfera continental:** Crosta continental + Manto litosférico (rígido)
- **Litosfera oceânica :** Crosta oceânica + Manto litosférico (rígido)

Deriva Continental e Tectônica de Placas

- **Alfred Wegener:** hipótese da Deriva Continental (*Continental Drift*) e a tectônica de placas, a existência do supercontinente **Pangea** (200 Ma) que se fragmentou em vários pequenos continentes.

Evidências:

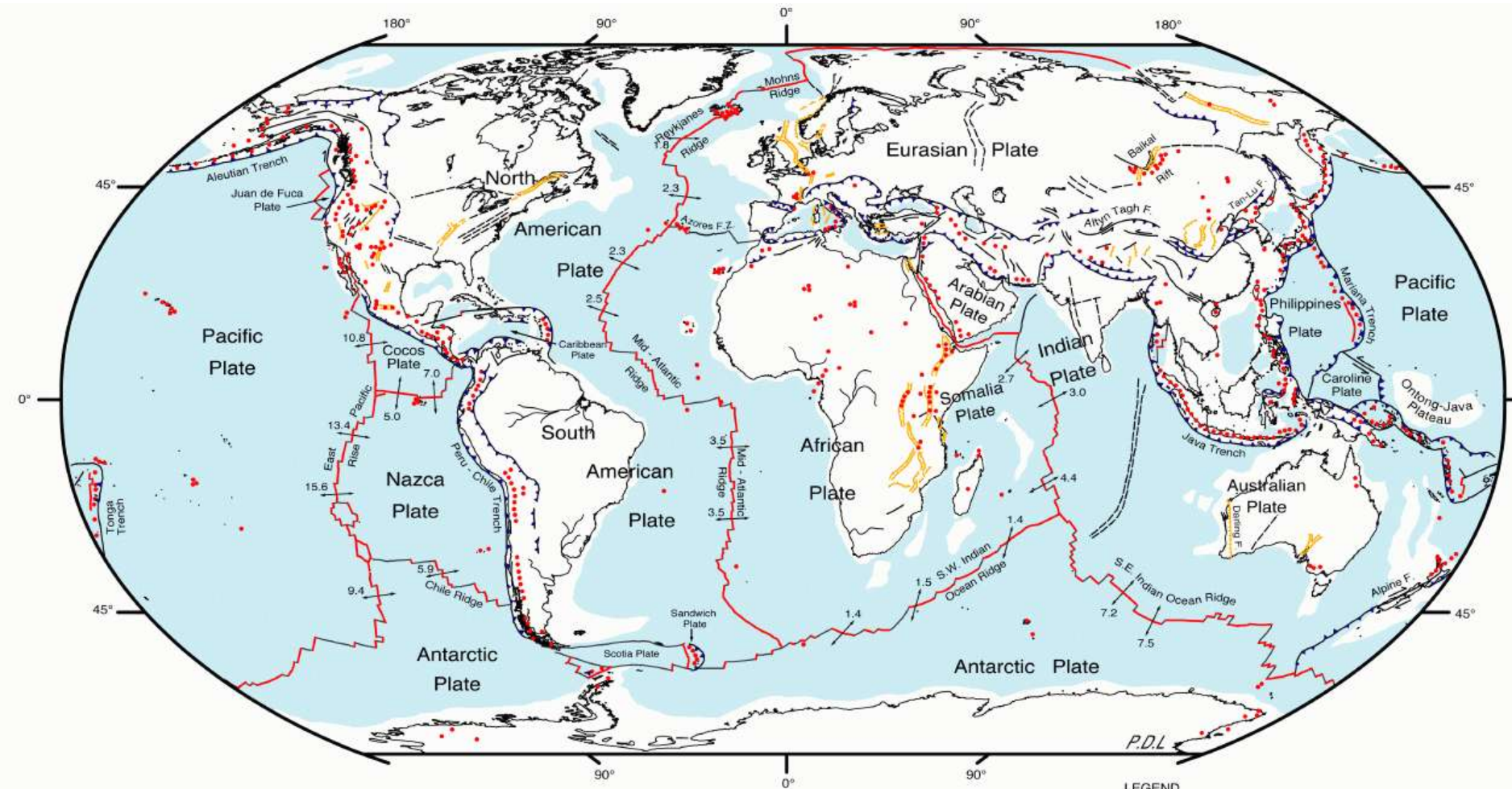
- Contornos e geometria dos continentes. Ex: porção W da África e E da América do sul.
- Similares depósitos glaciais (gelo) e eólicos (vento) na América do sul, África e Índia.
- Similares idades do conteúdo fóssilífero e em rochas sedimentares de diferentes continentes
- Semelhanças litológicas, estruturais e geocronológicas entre rochas de vários continentes
- Paleomagnetismo



Figure 18.8 Alfred Wegener shown sitting on the 1912-1913 Arctic winter during an expedition to Greenland, when he made a 3200-kilometer traverse across the widest part of the island's ice sheet. (Photo courtesy of Böttcher, Preussische Kulturbotschaft, Berlin)



Mapa tectônico atual da terra (fonte: Nasa)



DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH
Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years

DTAM



NASA/Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771

Robinson Projection

□ Mainly oceanic crust

October 1998

LEGEND

- Actively-spreading ridges and transform faults
- Total spreading rate, cm/year, NUVEL-1 model (DeMets et al., Geophys. J. International, 101, 425, 1990)
- Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
- Normal fault or rift; hachures on downthrown side
- Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; barbs on upthrown side
- Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and seamounts omitted.

Dinâmica das correntes de convecção – “motor das placas”

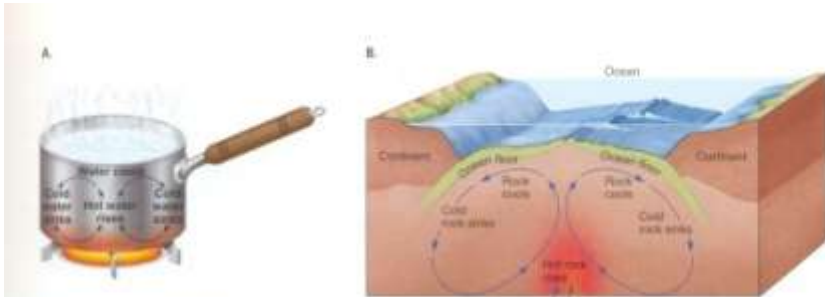


Figure 18.28 Convection in the Mantle Convection shapes the Earth's surface. A. Convection in a saucepan full of water. Water that is heated expands and rises. As it rises, it starts to cool, flows sideways, and sinks, eventually to be reheated and pass again through the convection cell. B. Convection as it is thought to occur in Earth. Though much slower than convection in a saucepan, the principle is similar. Heat lost from the cooling lithosphere leads it to contract into a smaller volume, becoming

denser. Large slabs of lithospheric rock sink through the asthenosphere and mix with the deeper mantle. In Earth's mantle, cooling from the top, rather than heating from below, maintains convective motions. Once sinking starts, hot rock rises slowly from deep inside Earth to balance the downward flow. Externally the upward-flowing rock flows sideways, cools, and sinks. The rising hot rock and sideways flow cause mid-ocean ridge volcanism and the drift of ocean basins and continents.

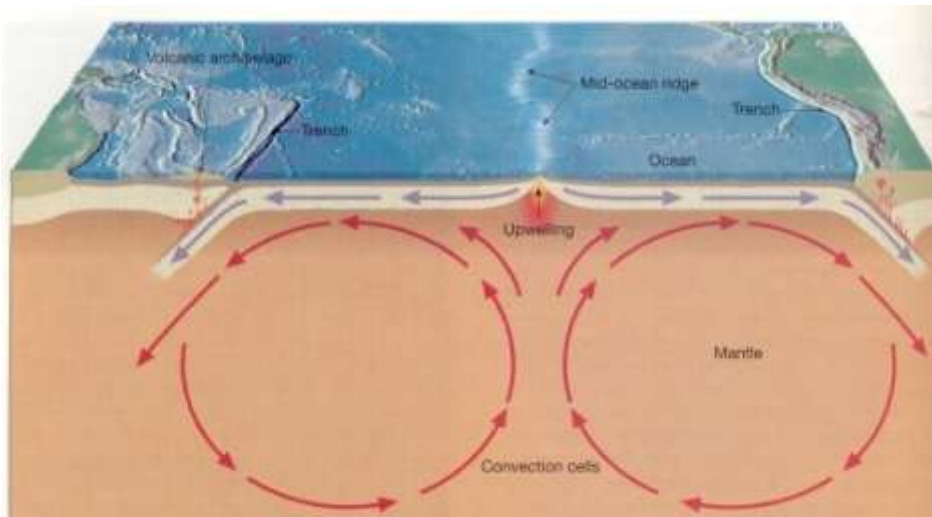
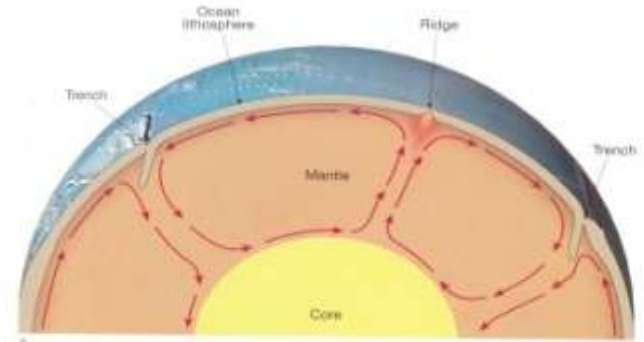
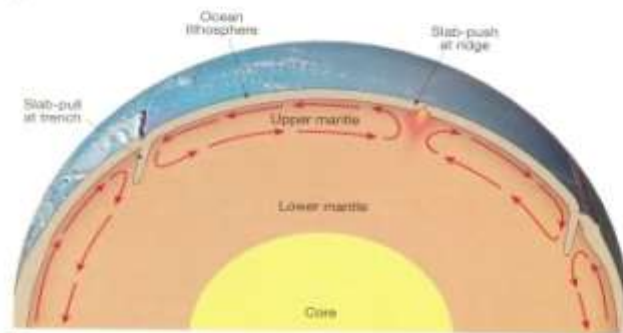


Figure 18.12 Seafloor spreading. Harry Hess proposed that upwelling of mantle material along the mid-ocean ridge system created new sea floor. The convective motion of mantle material carries the sea floor in a conveyor-belt fashion to the deep-ocean trenches, where the sea floor descends into the mantle.



Correntes de convecção no manto inteiro



Correntes de convecção somente na astenosfera

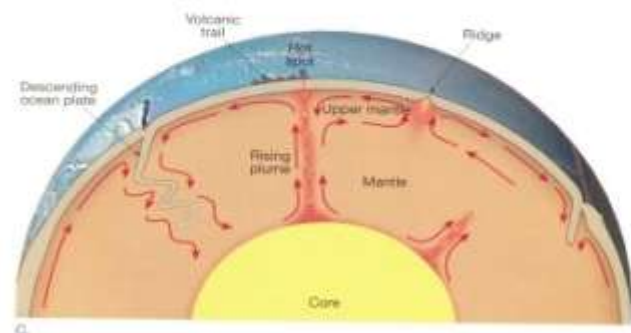
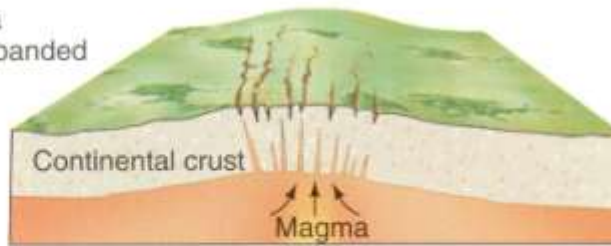


Figure 18.30 Proposed models of the driving force for plate tectonics. A. Large convection cells in the mantle may carry the lithosphere in a conveyor-belt fashion. B. Slab-pull results because the subducting slab is more dense than the underlying material. Slab-push is a form of gravity sliding caused by the elevated position of lithosphere at a ridge crest. C. The hot plume model suggests that all upward convection is confined to a few narrow plumes, while the downward limbs of these convection cells are the cold, dense subducting oceanic plates.

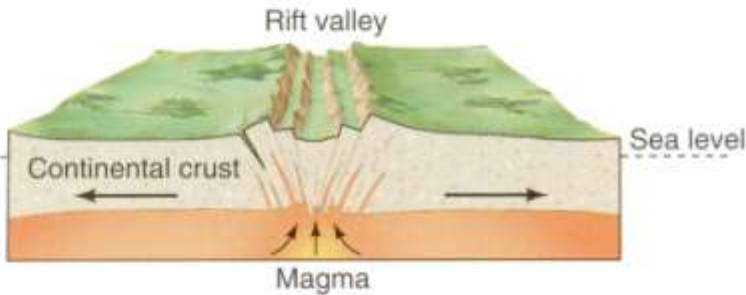
Uplift of a broad area
Crust heated and expanded
Example:
Colorado Plateau



Abertura de um oceano

Rift valleys formed
Example:
African Rift Valley
Rio Grande Rift

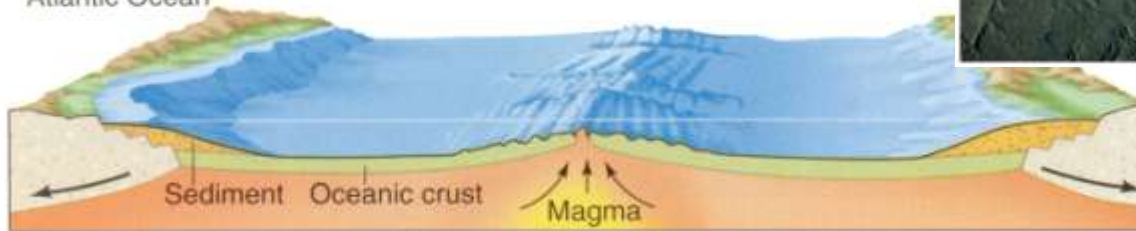
Lake Baikal



Oceanic crust and new
ocean forms
Erosion reduces height
of flanking continent
Example:
Red Sea



Continental crust, thinned by erosion, cools,
contracts, and sinks beneath the sea
Example:
Atlantic Ocean



Continental Crust
to form a
massive con-

tinental margins. The rifting can cease at any stage. It is not necessarily correct to conclude that the African Rift Valley, for example, will open to form a new ocean.



Cadeia meso-Atlântica

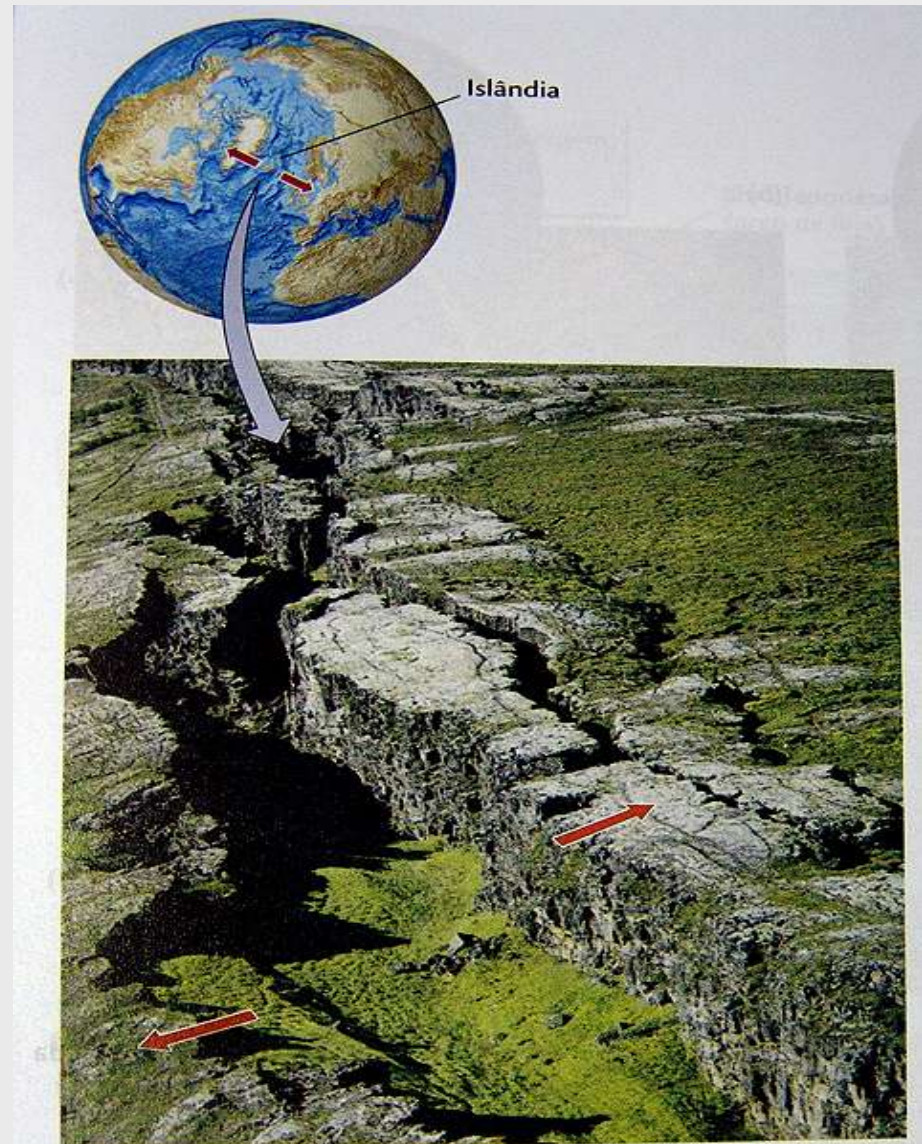
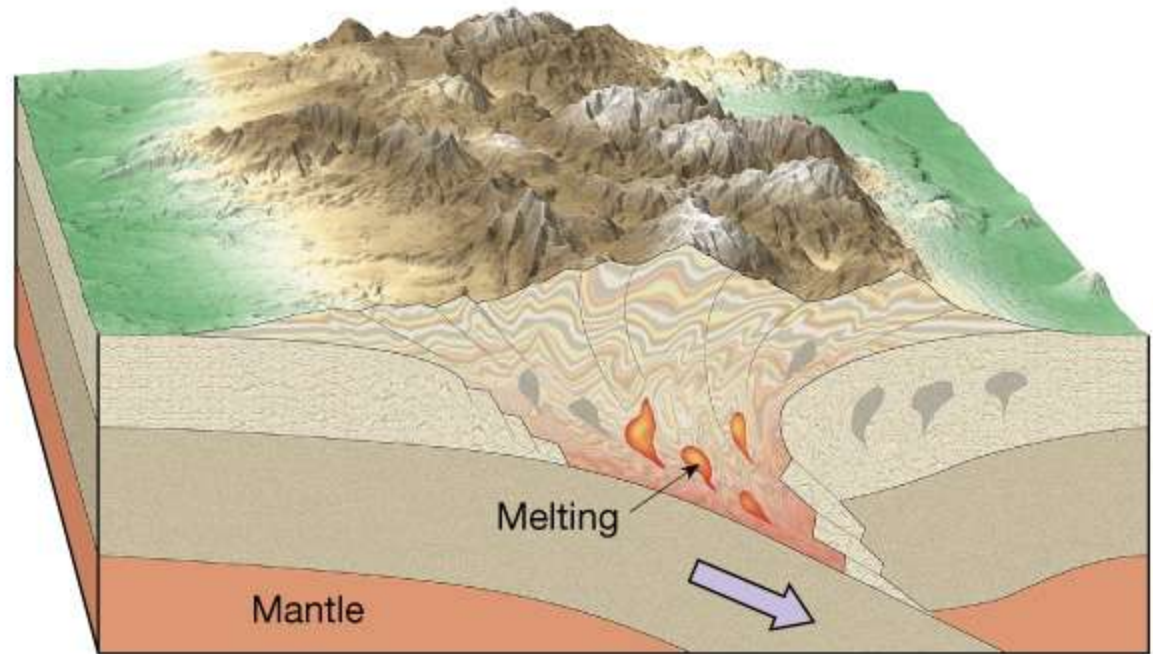
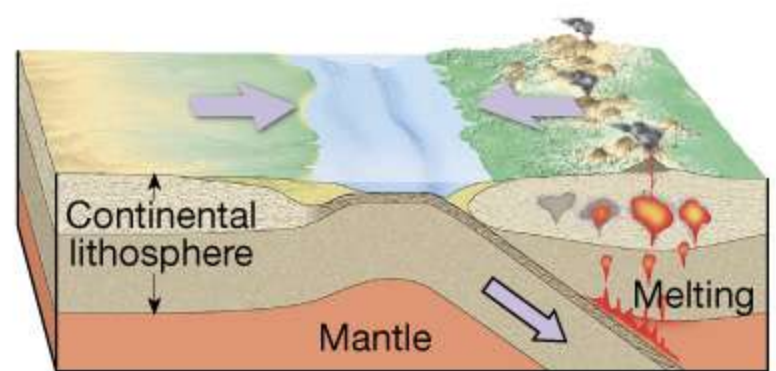
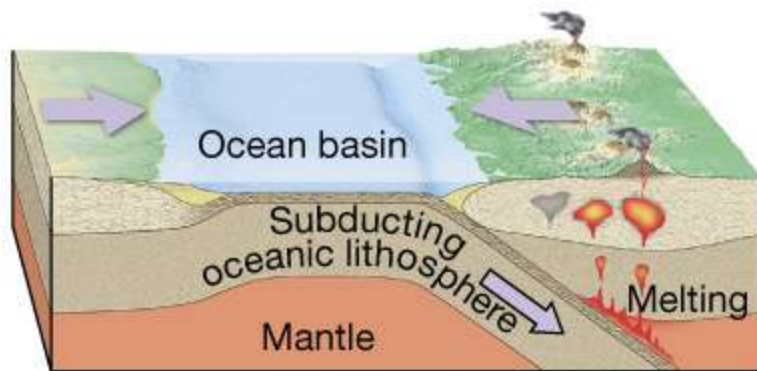


Figura 2.7 A Dorsal Mesoatlântica, um limite de placa divergente, aflora acima do nível do mar na Islândia. O vale em rifte com forma de fratura preenchido com rochas vulcânicas novas indica que as placas estão sendo afastadas. [Gudmundur E Sigvaldason, Nordic Volcanological Institute]



Colisão de placas



A placa da Índia avançou a uma velocidade de 15 a 20cm por ano, até a colisão com a Eurásia.

A Índia avançou cerca de 2.000Km para dentro da placa eurasiática - cerca de 800km para dentro da Ásia.

- Himalaia aumenta mais de 1 cm/ano.



Quatro principais ambientes fornecedores (fontes) de magmas (4 fontes em duas camadas: crosta e manto)

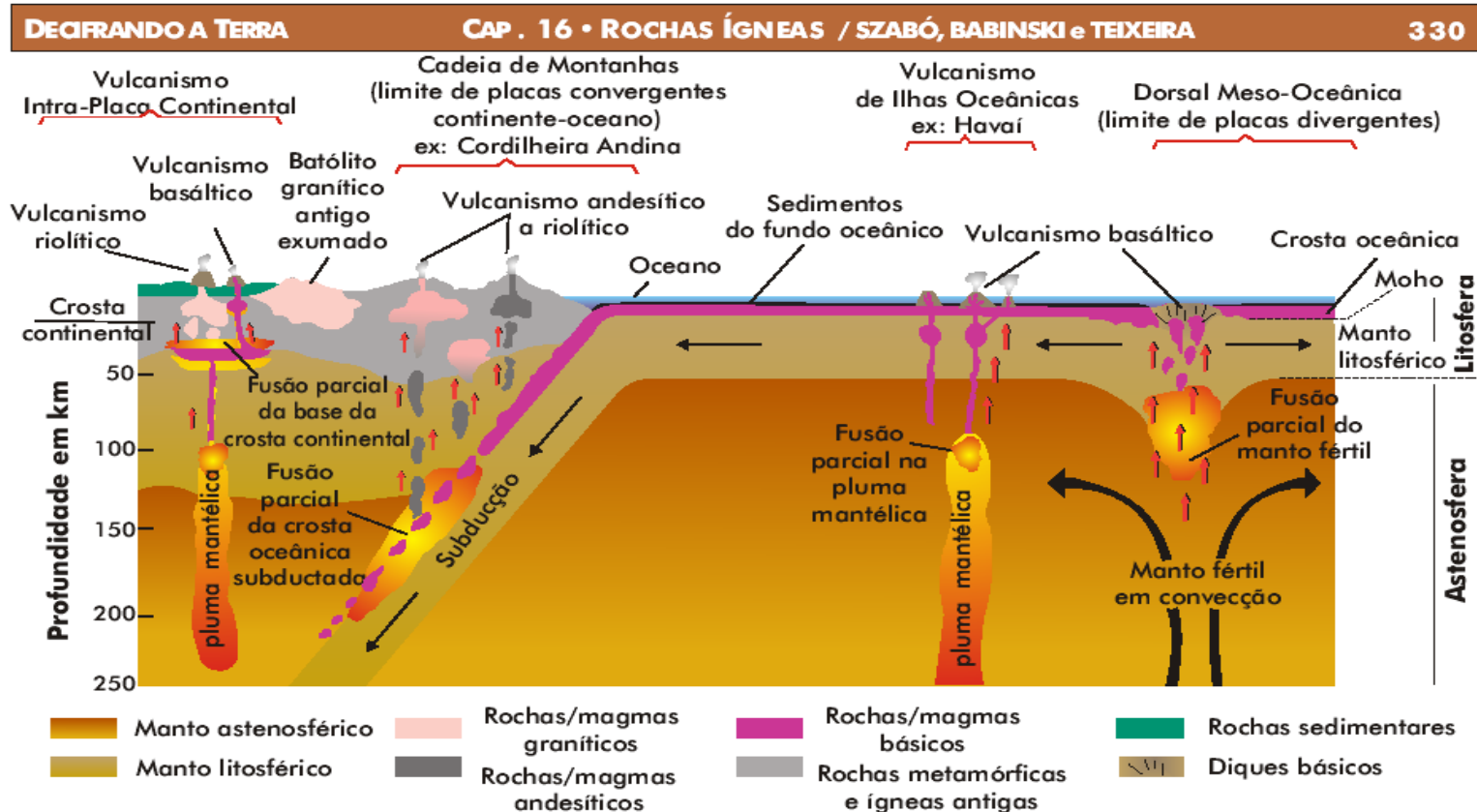


Fig. 16.4 Seção esquemática da crosta / manto (astenosfera / litosfera), indicando a localização dos sítios formadores de magmas no modelo de Tectônica de Placas.

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.



Vulcão na Islândia

Processo magmático



Salar na Bolívia

Photo © Ladislav Kamarád

Processo sedimentar



Mármore de Carrara - Itália

Processo metamórfico



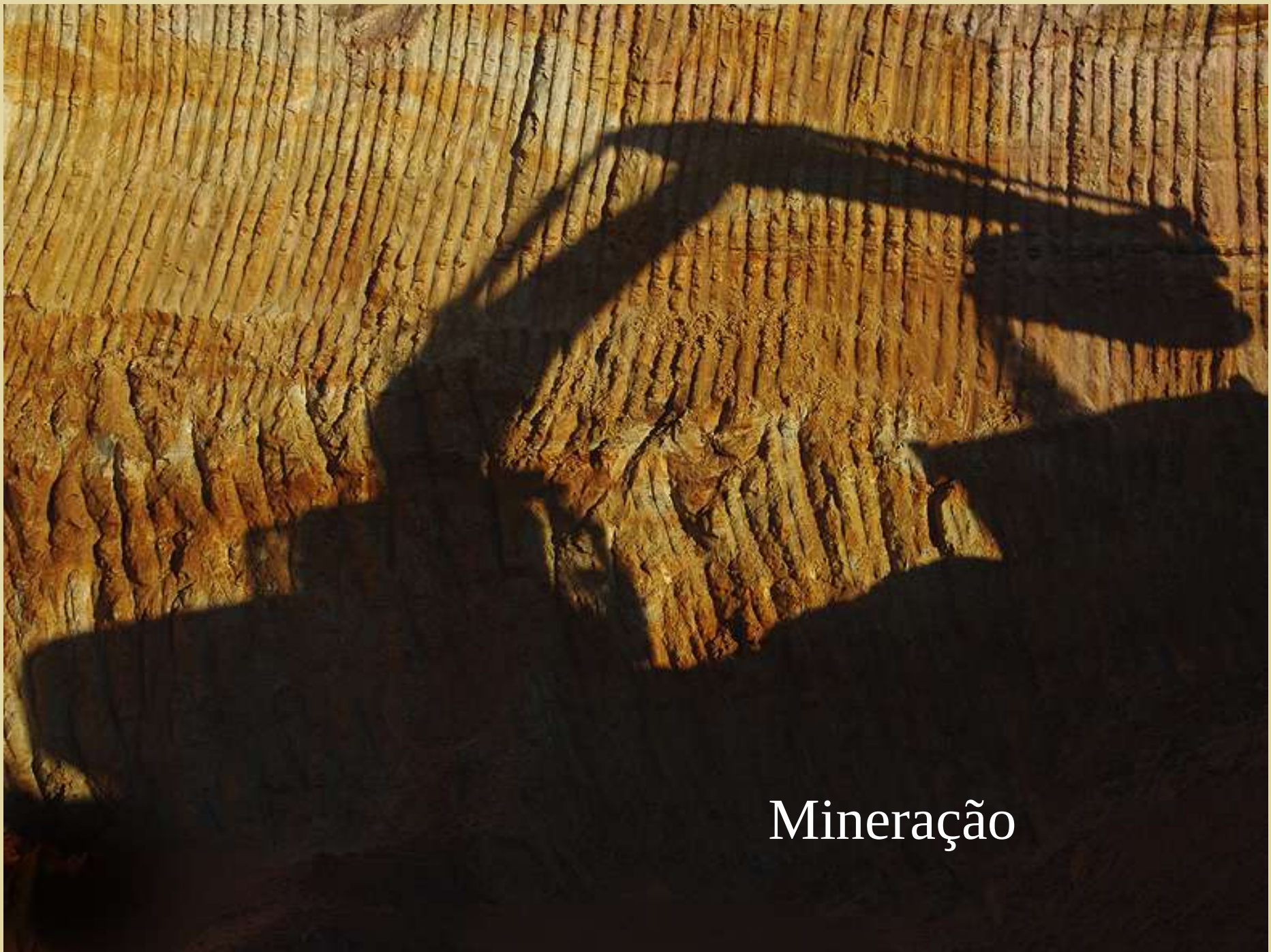
Resultado dos vários processos
geológicos atuantes no planeta:
minerais





Extração bens minerais





Mineração