

Estrutura da Terra e Tectônica de Placas



Terremoto Japão – março 2011





Tsunami Japão – março 2011



•Decifrando a Terra

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

•Para Entender a Terra

Press, Siever, Grotzinger e Jordan – Ed. Bookman

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

Comportamento dos feixes

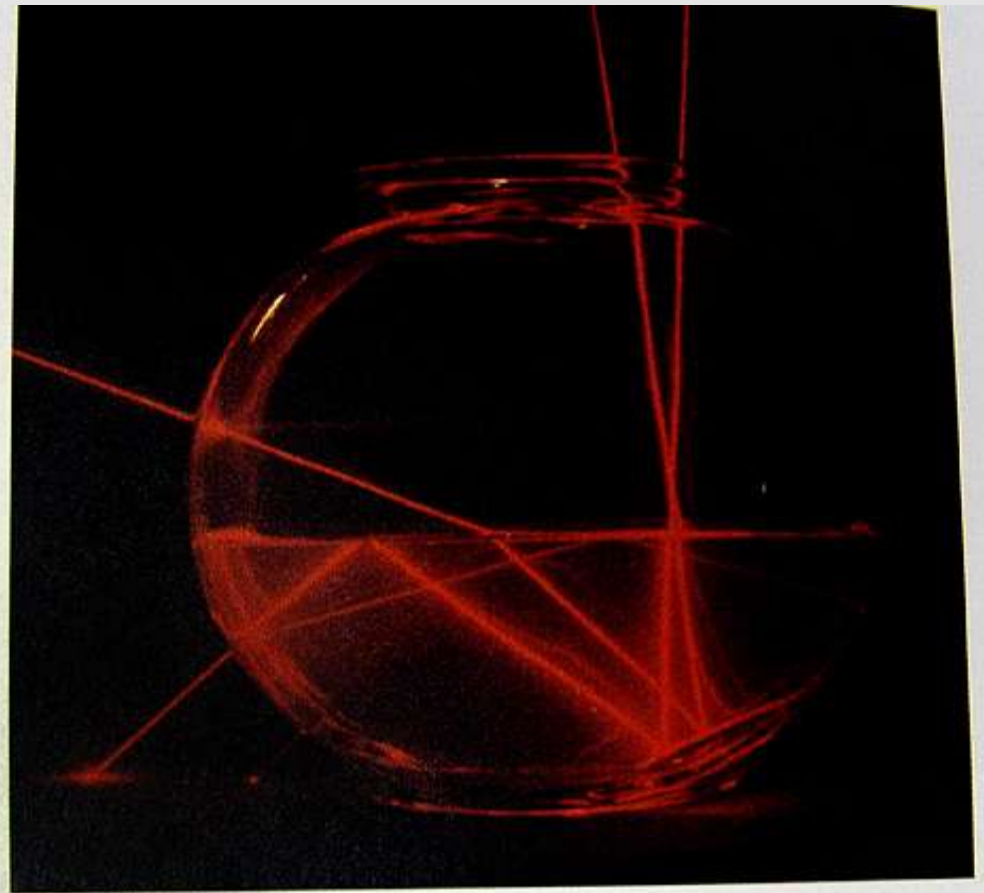
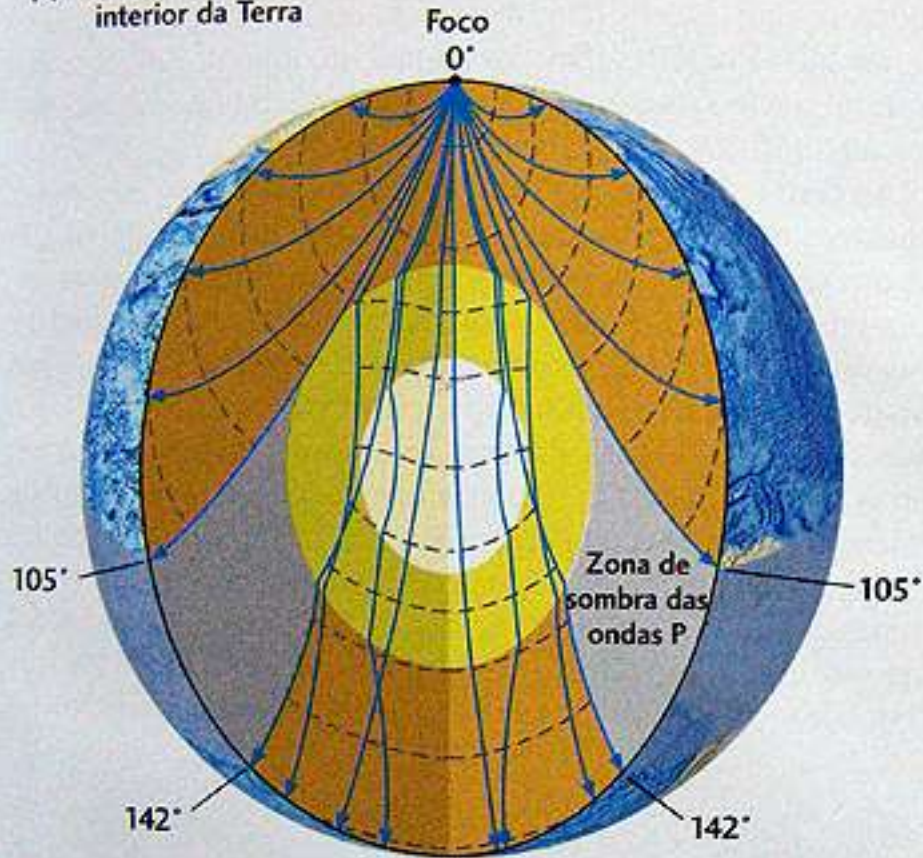


Figura 21.1 Neste experimento, os dois feixes de *laser* entram num globo com água pelo topo. Ambos são refletidos em um espelho posicionado no fundo do globo. Um, então, é refletido na interface ar-água e passa através da parede do globo, originando um ponto brilhante na mesa. A maior parte da energia 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]

(a) Padrão da trajetória das ondas P no interior da Terra



(b) Padrão da trajetória das ondas S no interior da Terra.

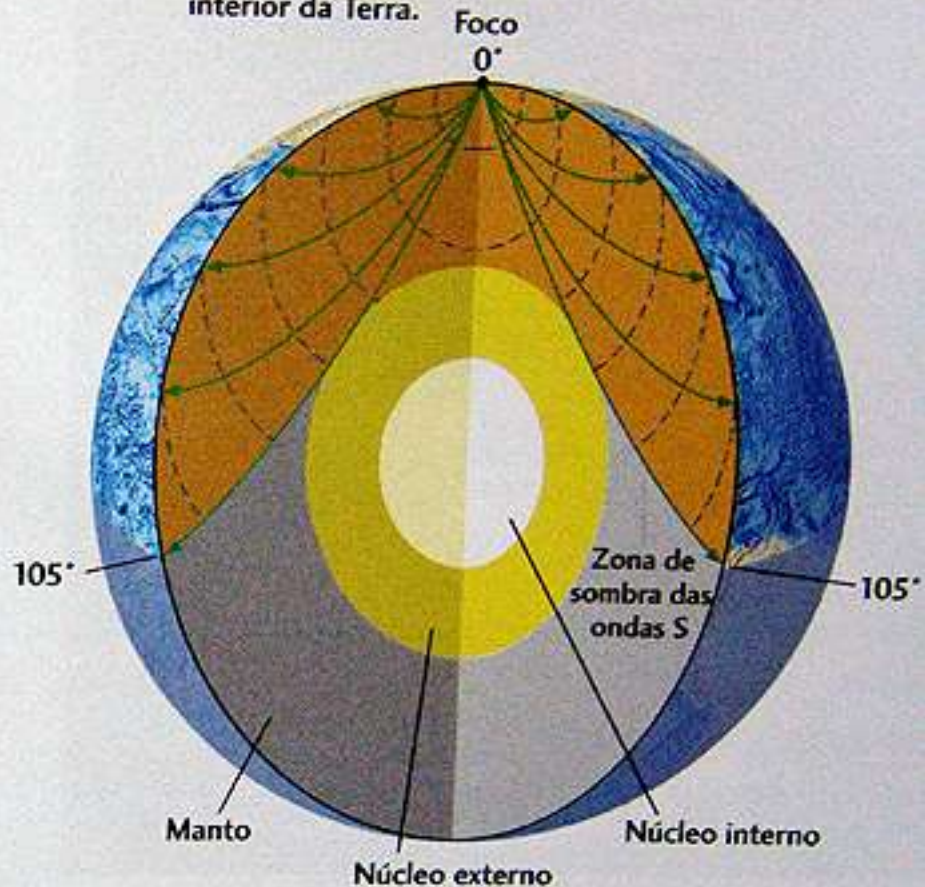


Figura 21.2 (a) O padrão da trajetória das ondas P no interior da Terra. A linha tracejada em azul mostra o avanço das frentes de ondas no interior, num intervalo de 2 minutos. As distâncias são medidas em ângulos a partir do foco do terremoto. A zona de sombra da onda P estende-se de 105 a 142°. As 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.

Ferro

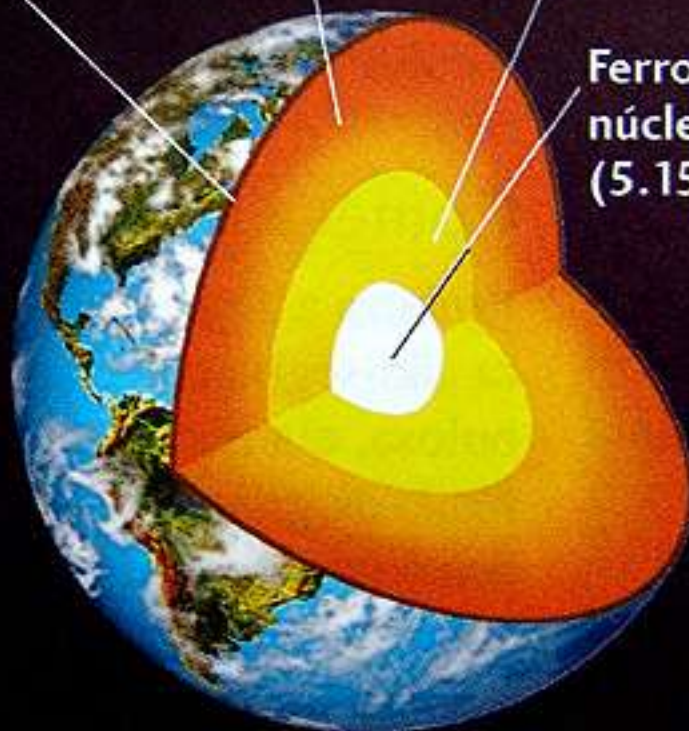
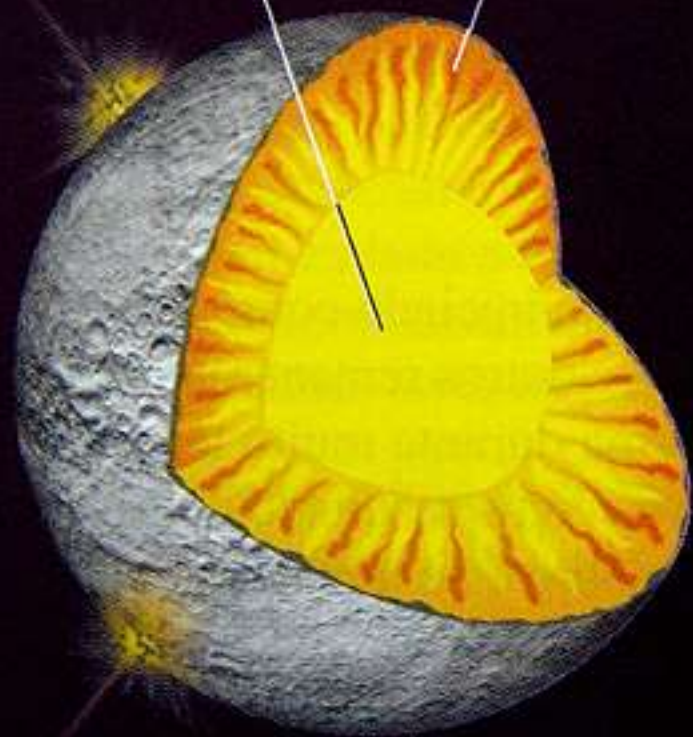
Matéria
mais leve

Crosta
(0–40 km)

Manto
(40–2.890 km)

Ferro líquido do
núcleo externo
(2.890–5.150 km)

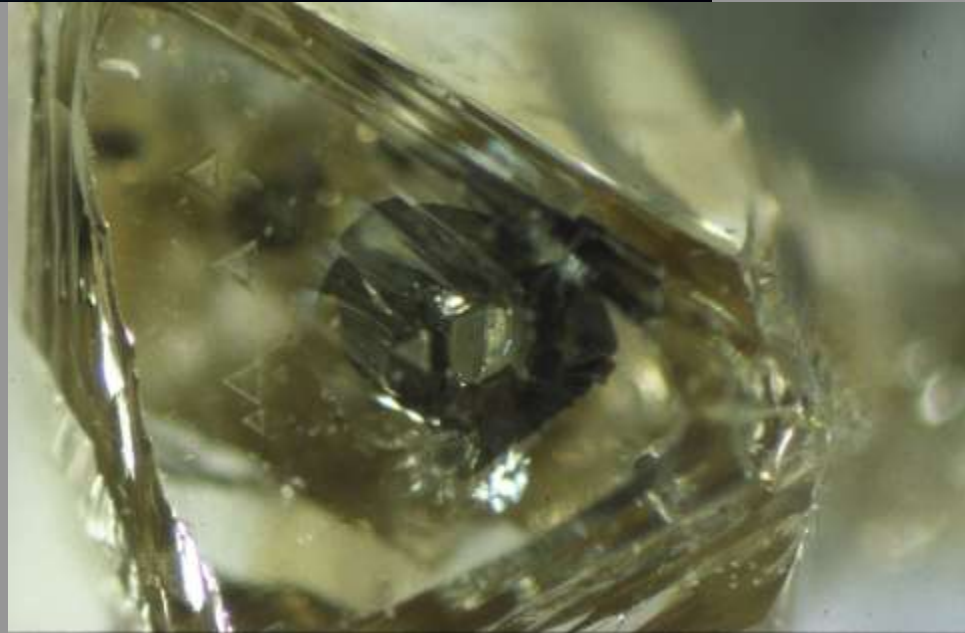
Ferro sólido do
núcleo interno
(5.150–6.370 km)

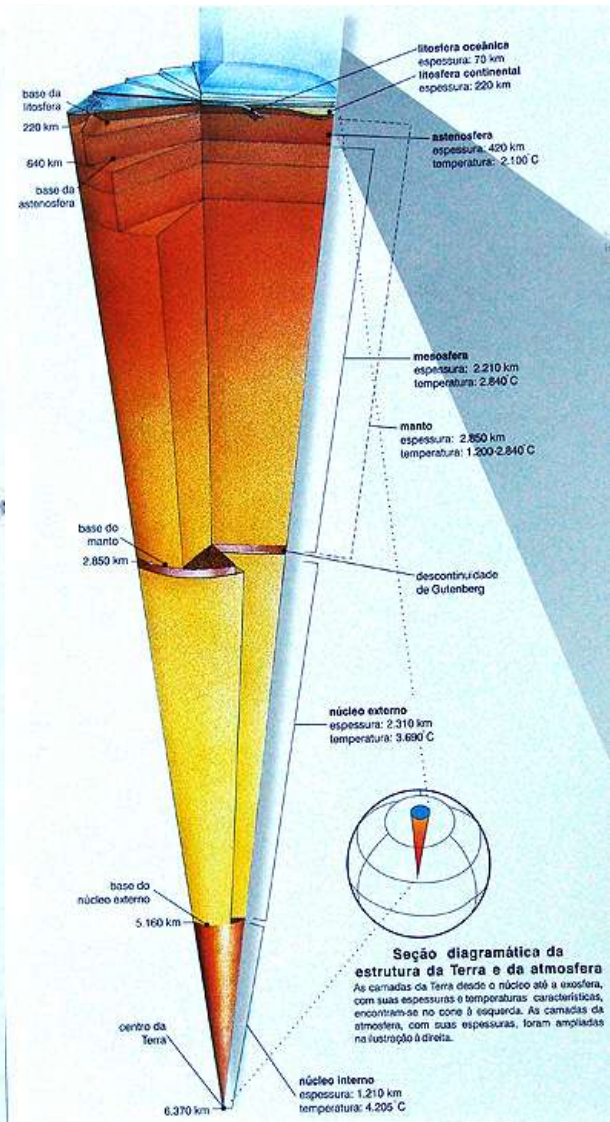
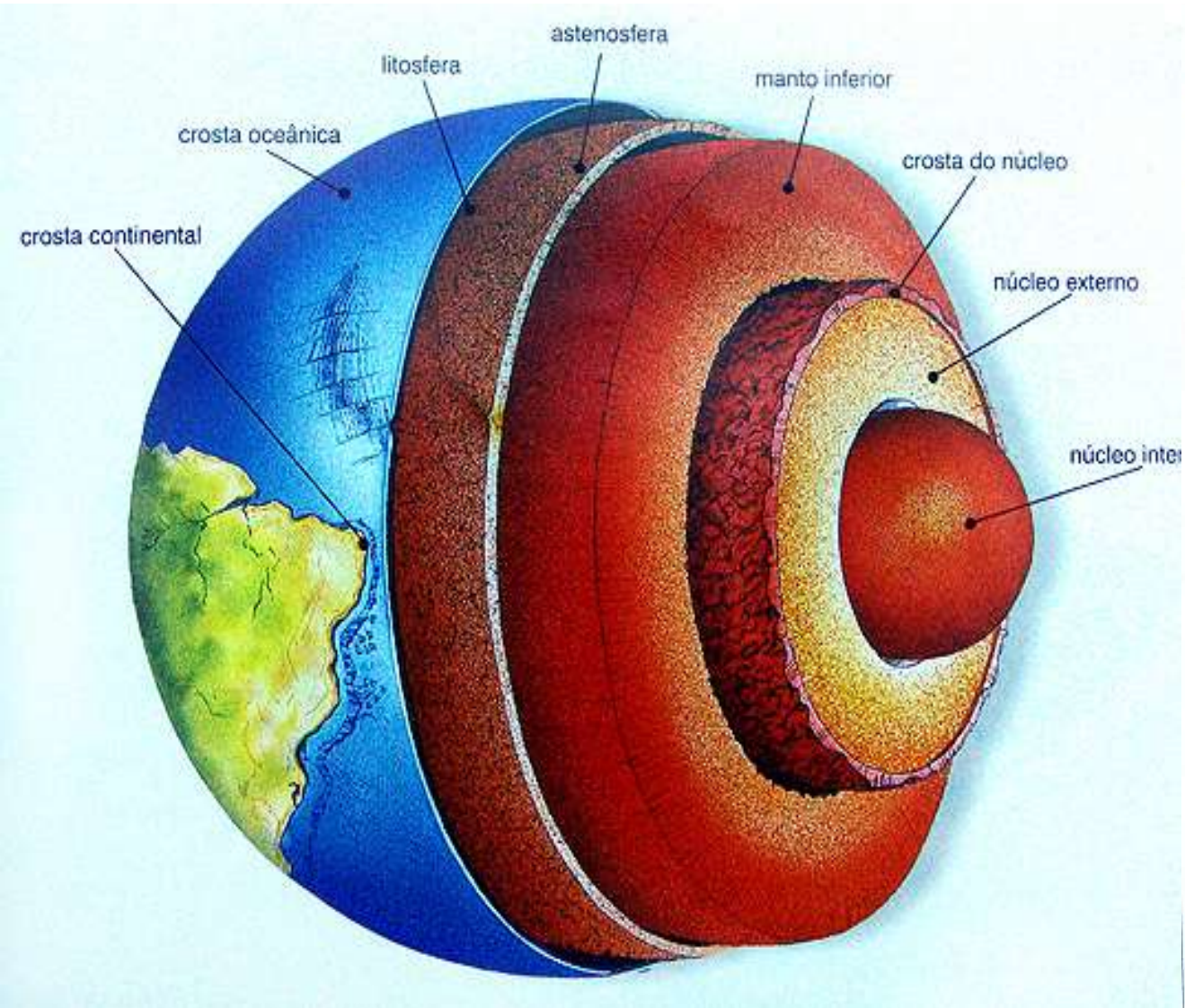


Durante a diferenciação, o ferro afundou em direção ao centro e o material mais leve flutuou para cima...

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







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)

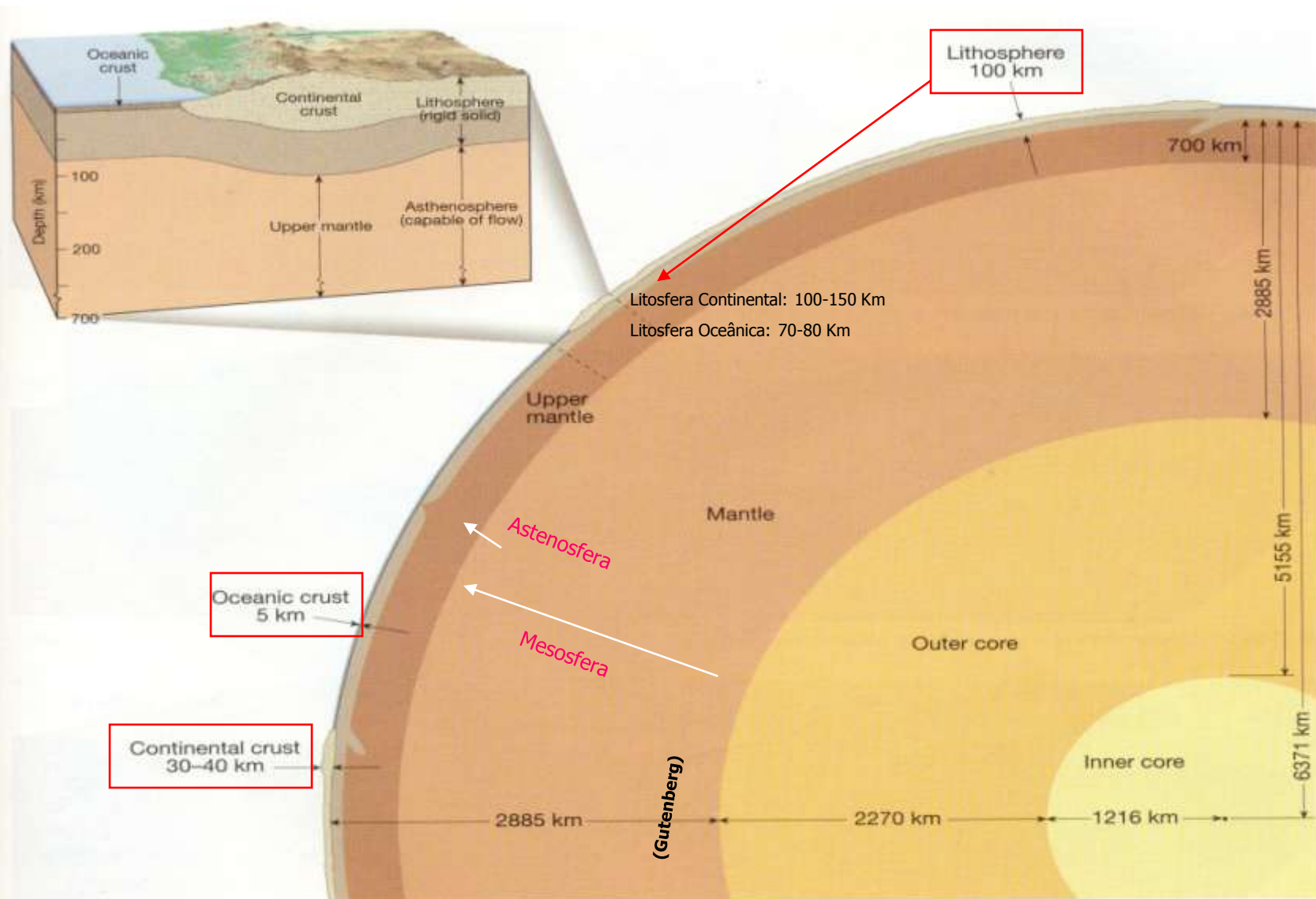


Figure 17.6 Cross-sectional view of Earth showing the internal structure.

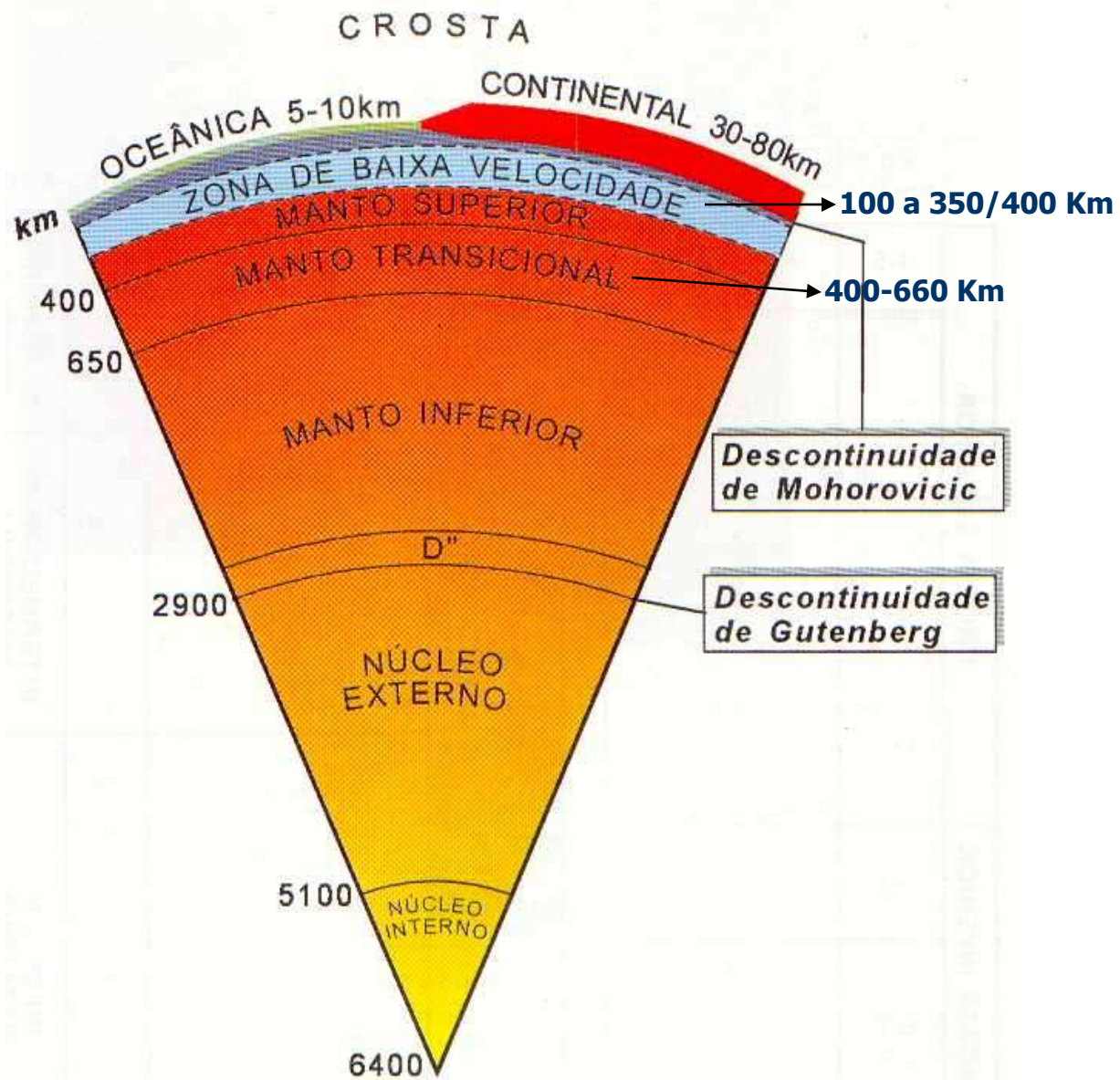
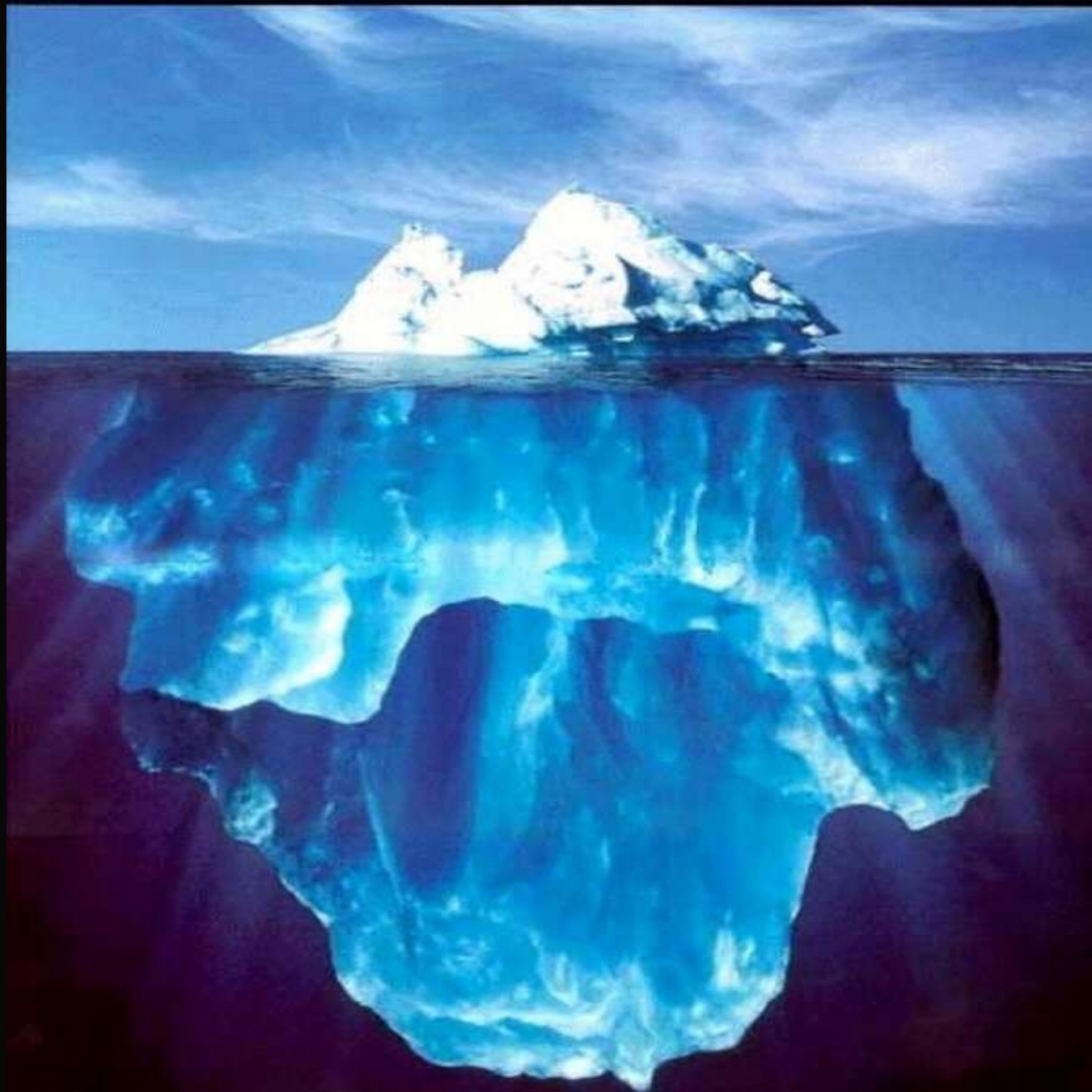




Figura 21.6 As ondas sísmicas revelam o limite entre a crosta e o manto subjacente e as variações na espessura da crosta. A crosta continental relativamente leve projetando-se dentro do manto mais denso serve como uma raiz que fornece o empuxo para a “flutuação” do continente. A raiz é mais profunda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



Observar Crostas, Litosferas continentais e oceânicas, Moho, ZBV e a astenosfera

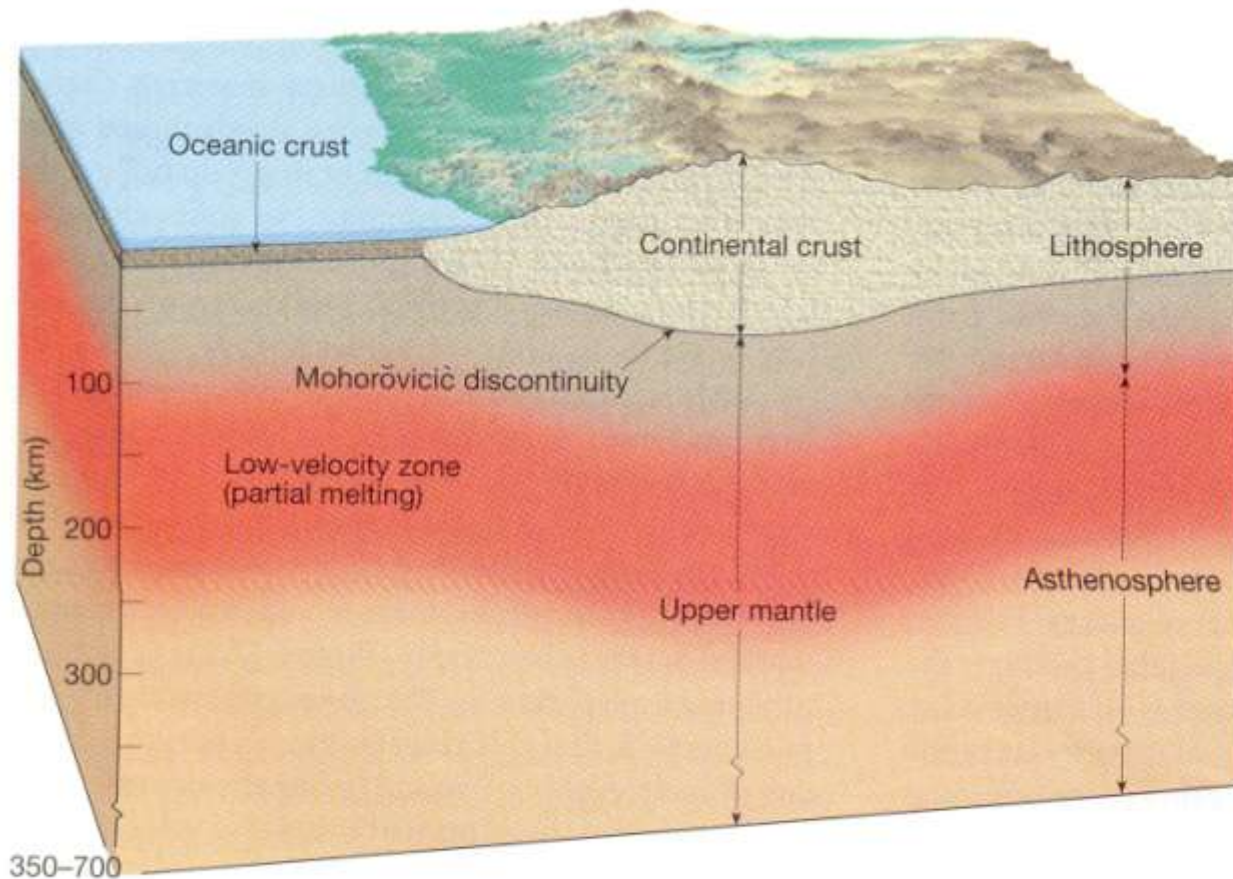
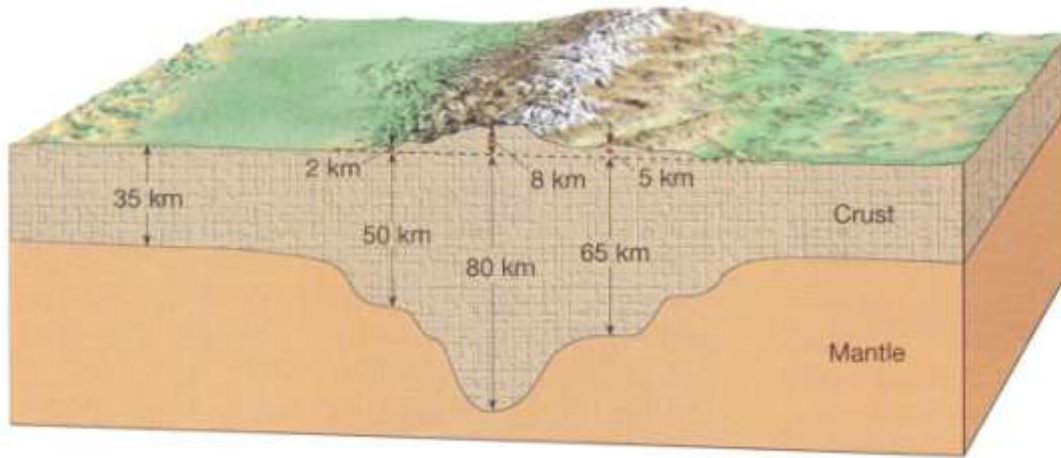
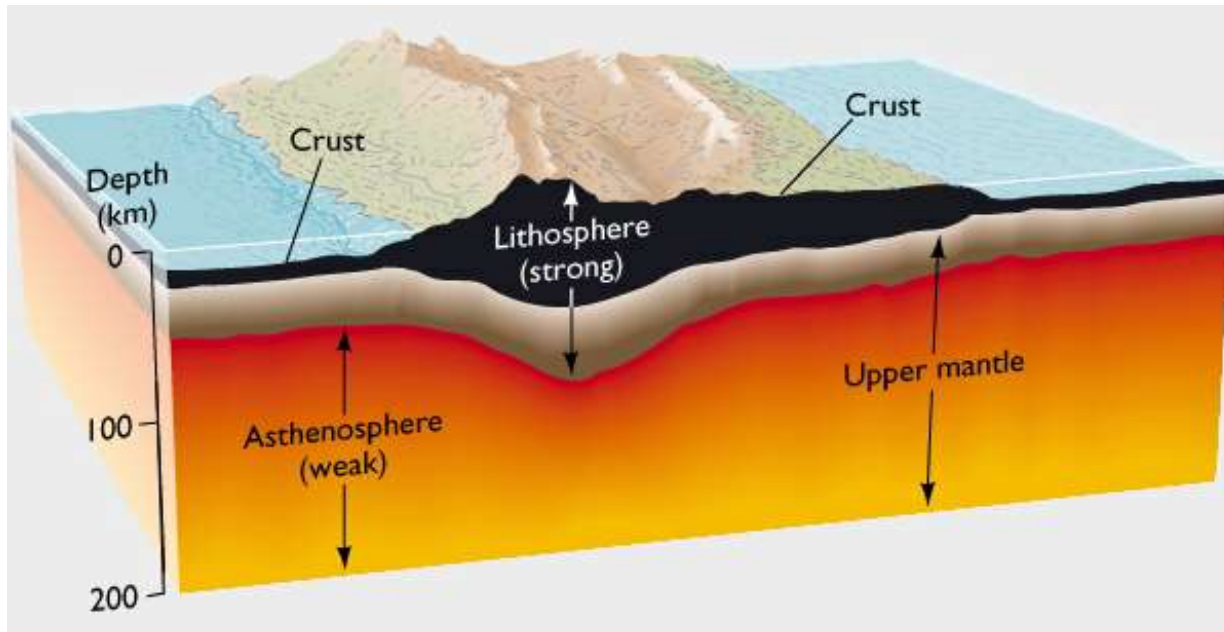


Figure 17.12 Respective locations of the asthenosphere and lithosphere.



Crosta-Manto
composicional

Figure 20.6 Mountains are supported by the buoyancy of light crustal roots floating in the denser mantle (like icebergs floating in seawater). (Modified after Peter Molnar)



Litosfera-Astenosfera
reológica

Crosta Continental e Oceânica



■ Crosta Continental:

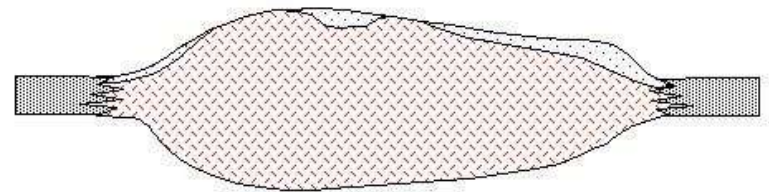
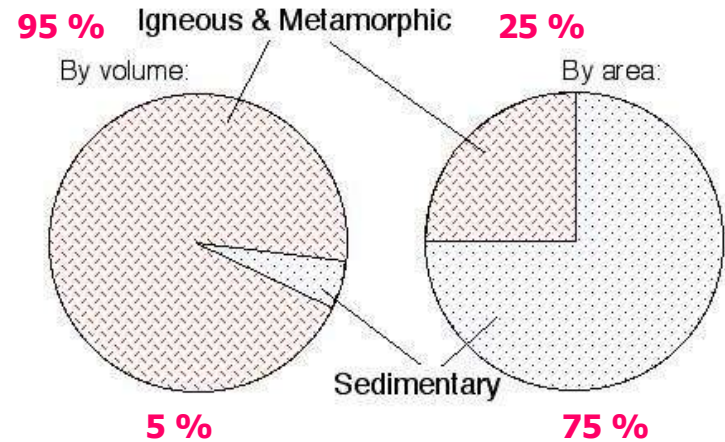
- Composição Granítica a granodiorítica (andesítica)
- Espessura: média entre 30 e 40 Km. Pode alcançar 70 Km (himalaia, placas continentais em colisão)
- 41 % em área e 79 % em volume da superfície da terra.
- Idade: Várias desde 4.3 G.a até o recente.

■ 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:

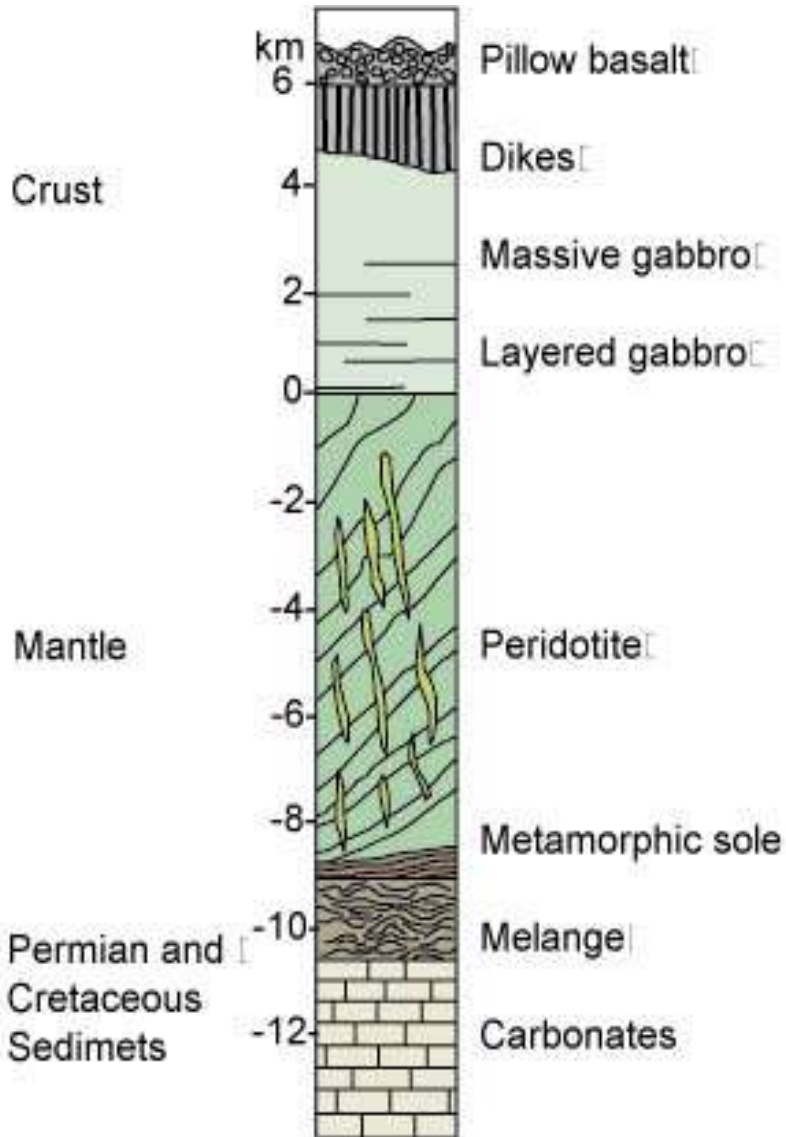
	Measured	Calculated
Shales:	47%	77%
Sandstones	31%	14%
Limestones	22%	9%

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



Crosta e litosfera oceânicas



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 liquido)
 espessura: 2270 Km
- Núcleo Interno: (rúptil, rígido)
 espessura: 1216 Km

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)

variação da espessura e da profundidade das Crostas, Litosferas e da Astenosfera

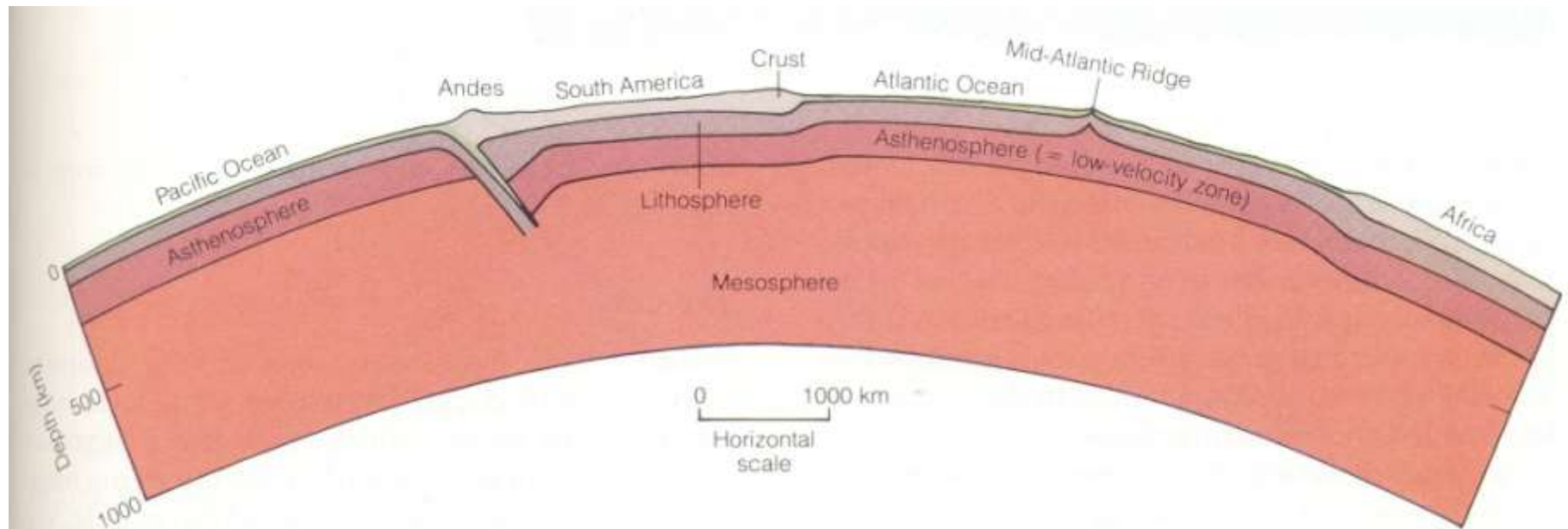


FIGURE 16.24 Asthenosphere varies in thickness and depth. Section through crust and upper mantle shows that the low-velocity layer corresponding to the asthenosphere is deeper beneath continents than beneath ocean basins and dips sharply down beneath the Andes. The section appears distorted because the vertical scale is twice the horizontal scale.

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 fossilífero e em rochas sedimentares de diferentes continentes
- Semelhanças litológicas, estruturais e geocronológicas entre rochas de vários continentes
- Paleomagnetismo



Figure 18.8 Alfred Wegener shown waiting out the 1912-1913 Arctic winter during an expedition to Greenland, where he made a 1200-kilometer traverse across the widest part of the island's ice sheet. (Photo courtesy of Bildarchiv Preussischer Kulturbesitz, Berlin)

Contorno dos continentes

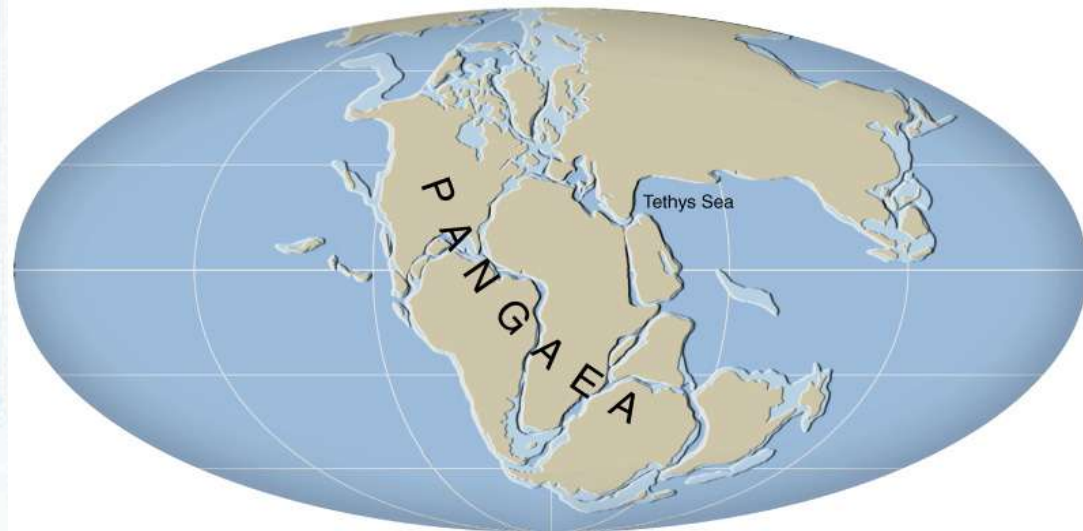
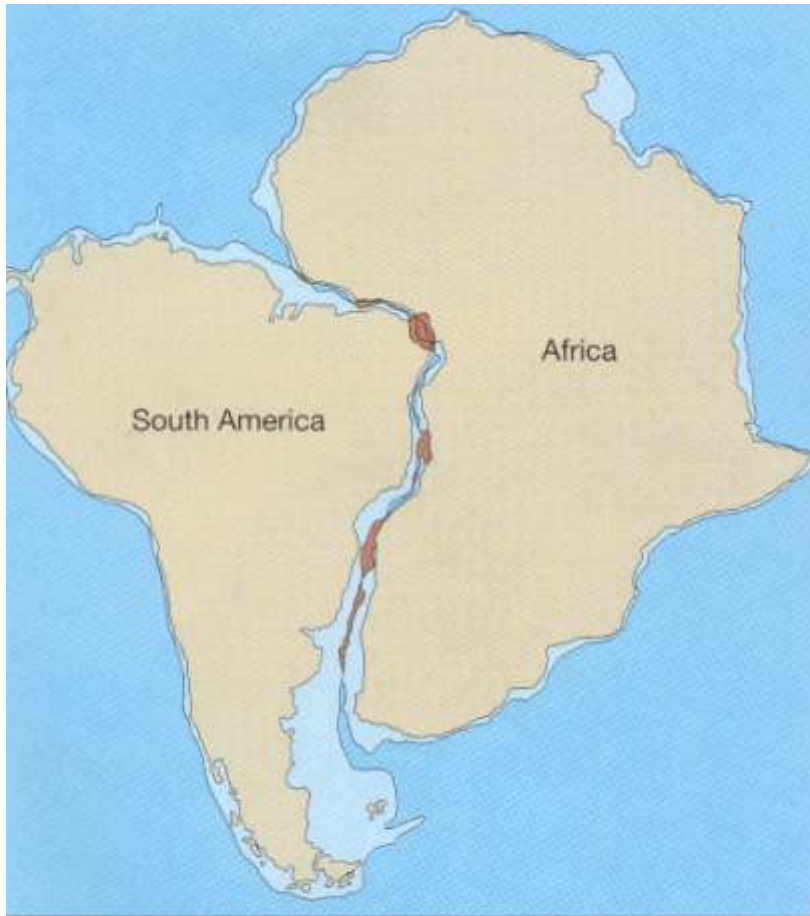
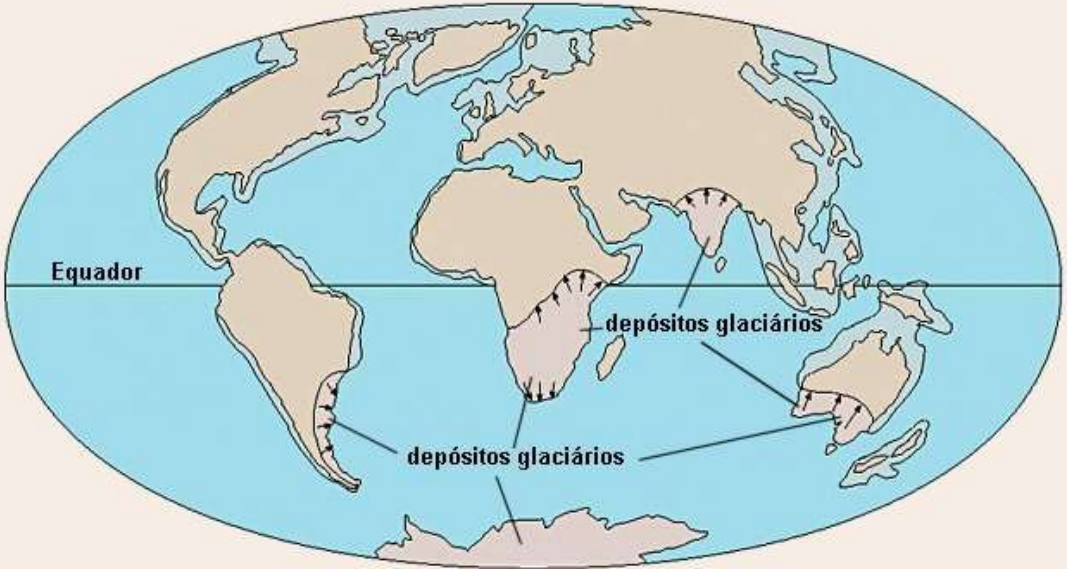
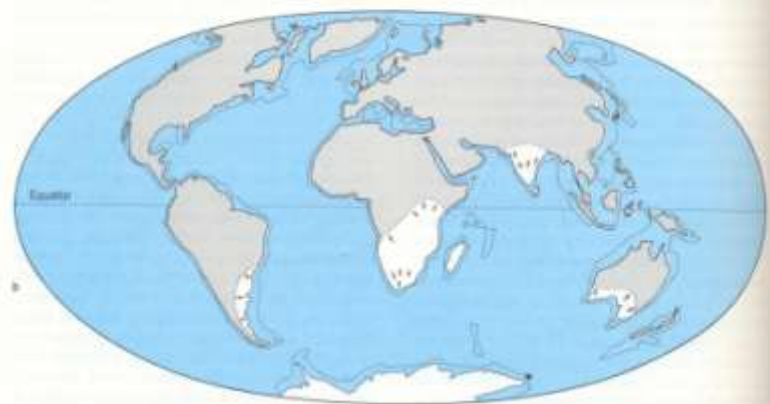


Figure 18.3 This shows the best fit of South America and Africa along the continental slope at a depth of 500 fathoms (about 900 meters). The areas where continental blocks overlap appear in brown. (After A. G. Smith. "Continental Drift." In *Understanding the Earth*, edited by I. G. Gass. Courtesy of Artemis Press)

Depósitos glaciais similares no supercontinentes Pangeia (e Gondwana)

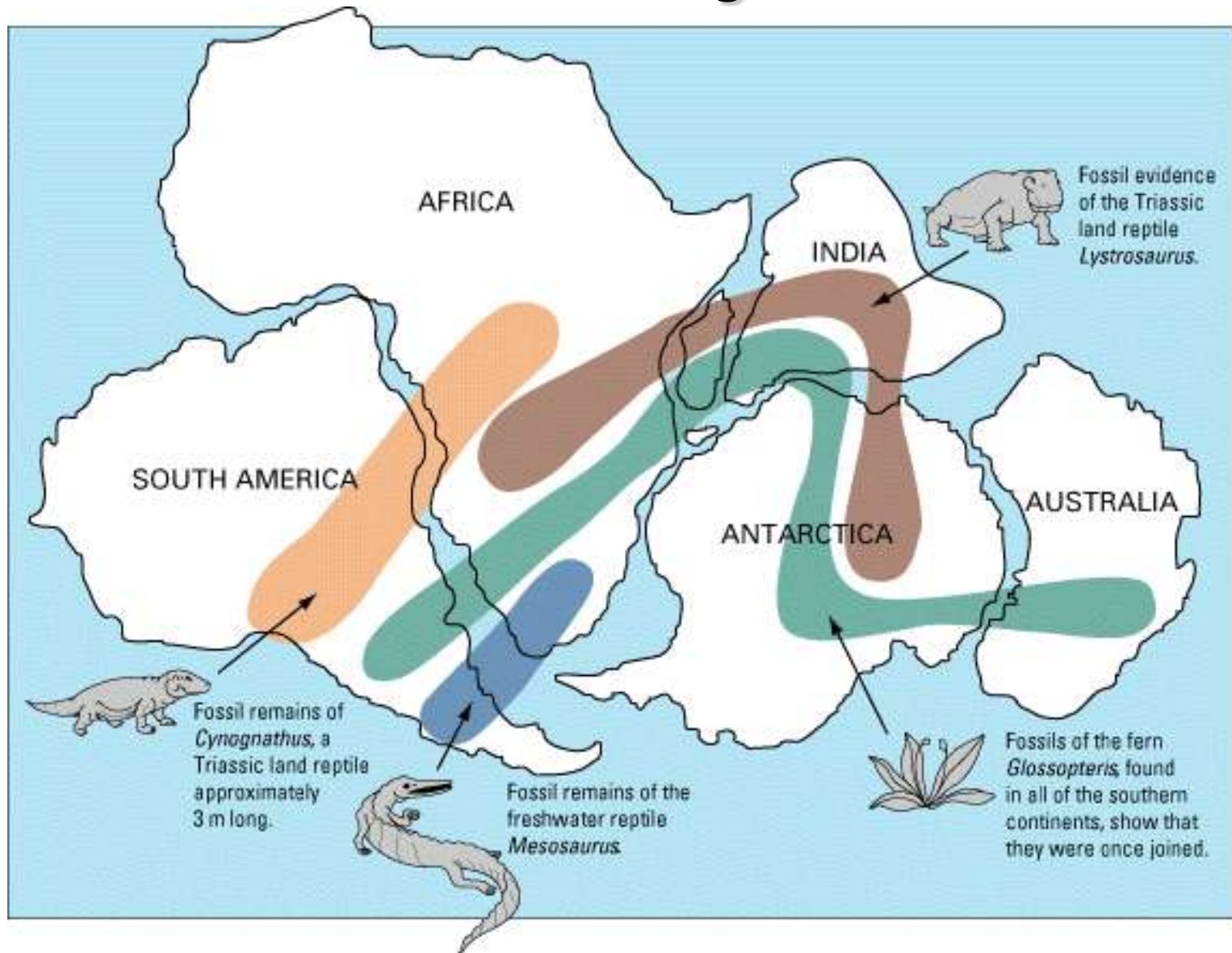


Distribuição dos depósitos glaciais no supercontinente da Pangeia.



Planisfério actual mostrando a distribuição dos depósitos glaciais com cerca de 300 milhões de anos.

Rejuntando continentes com base em Paleontologia



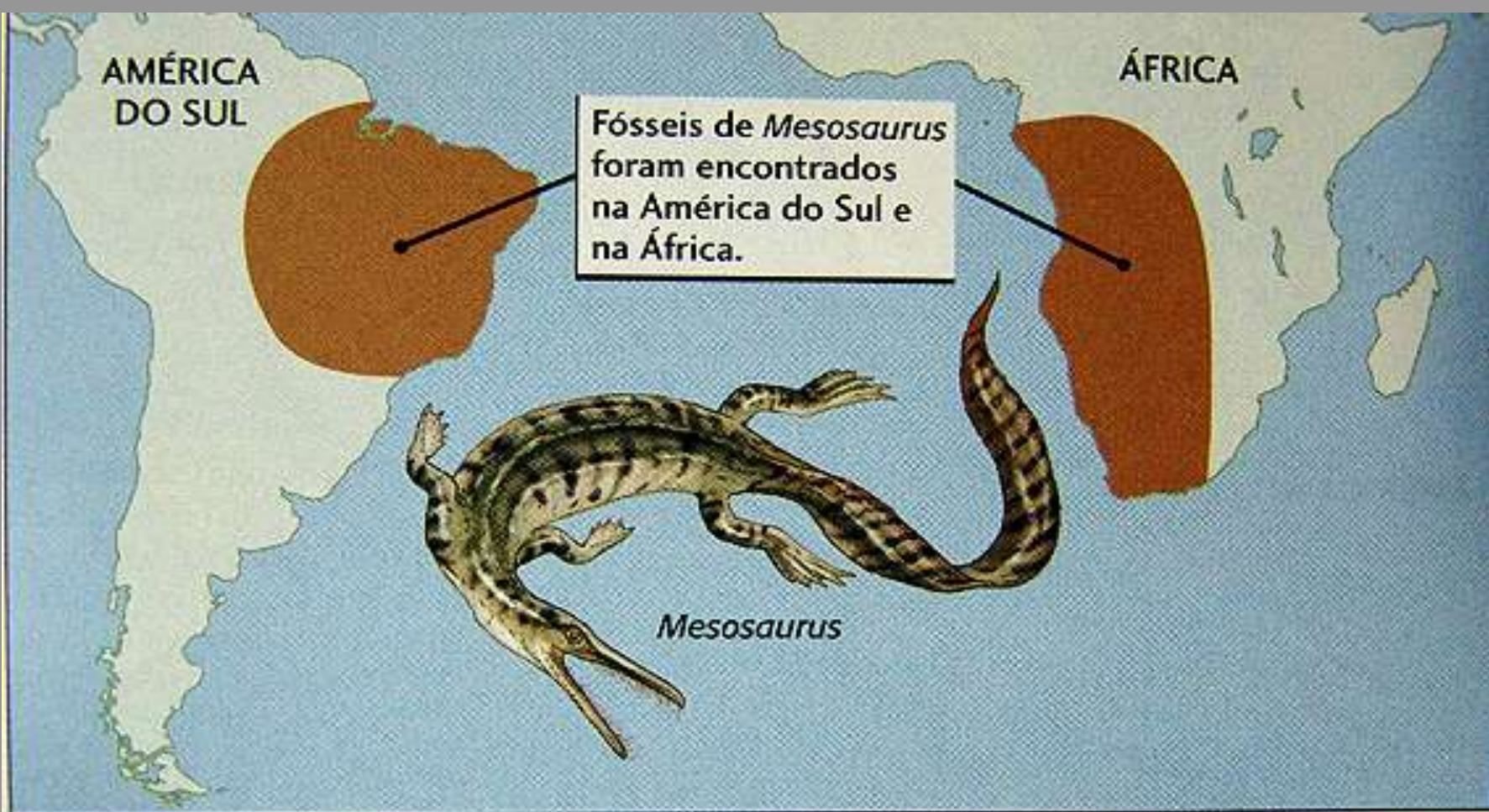
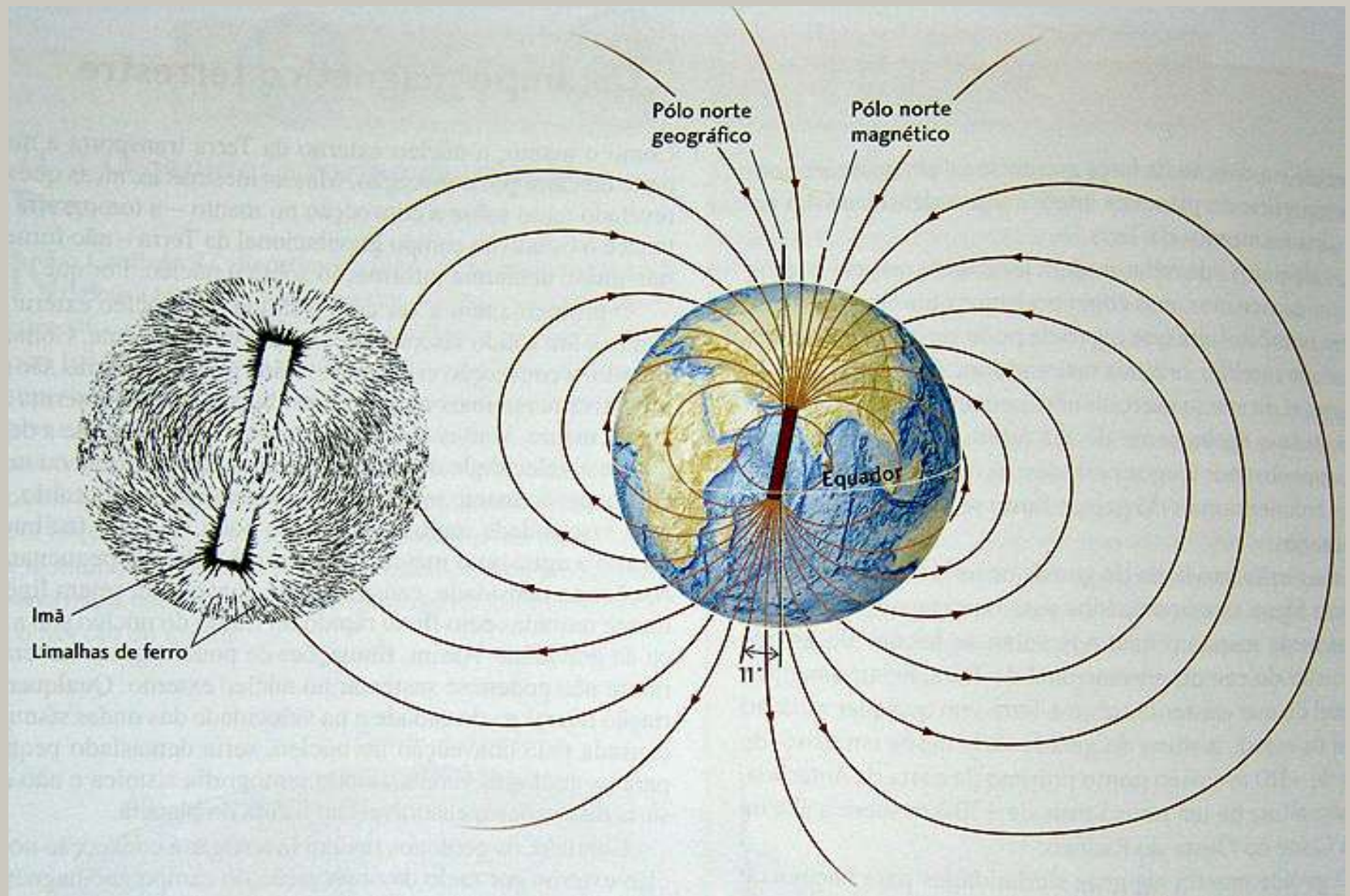


Figura 2.2 Fósseis do réptil *Mesosaurus*, com idade de 300 milhões de anos, foram encontrados apenas na América do Sul e na África. Se o *Mesosaurus* pudesse atravessar o Oceano Atlântico Sul nadando, ele poderia ter cruzado outros oceanos e se espalhado mais amplamente. O fato de ele não ter se espalhado sugere que a América do Sul e a África estavam conectadas naquele tempo. [Fonte: A. Hallam, "Continental Drift and the Fossil Record", *Scientific American* (November 1972): 57-66]

Magnetismo



Paleomagnetismo

30 mil anos atrás



Hoje

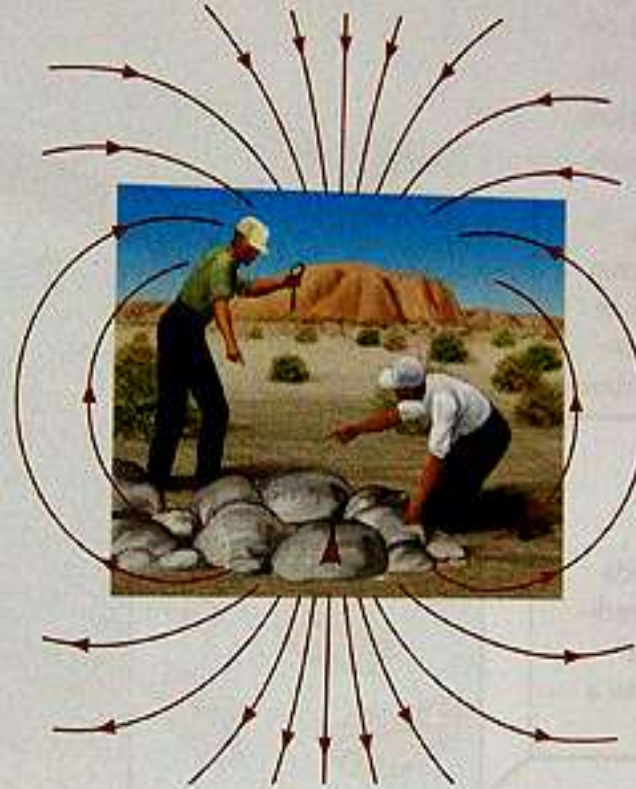
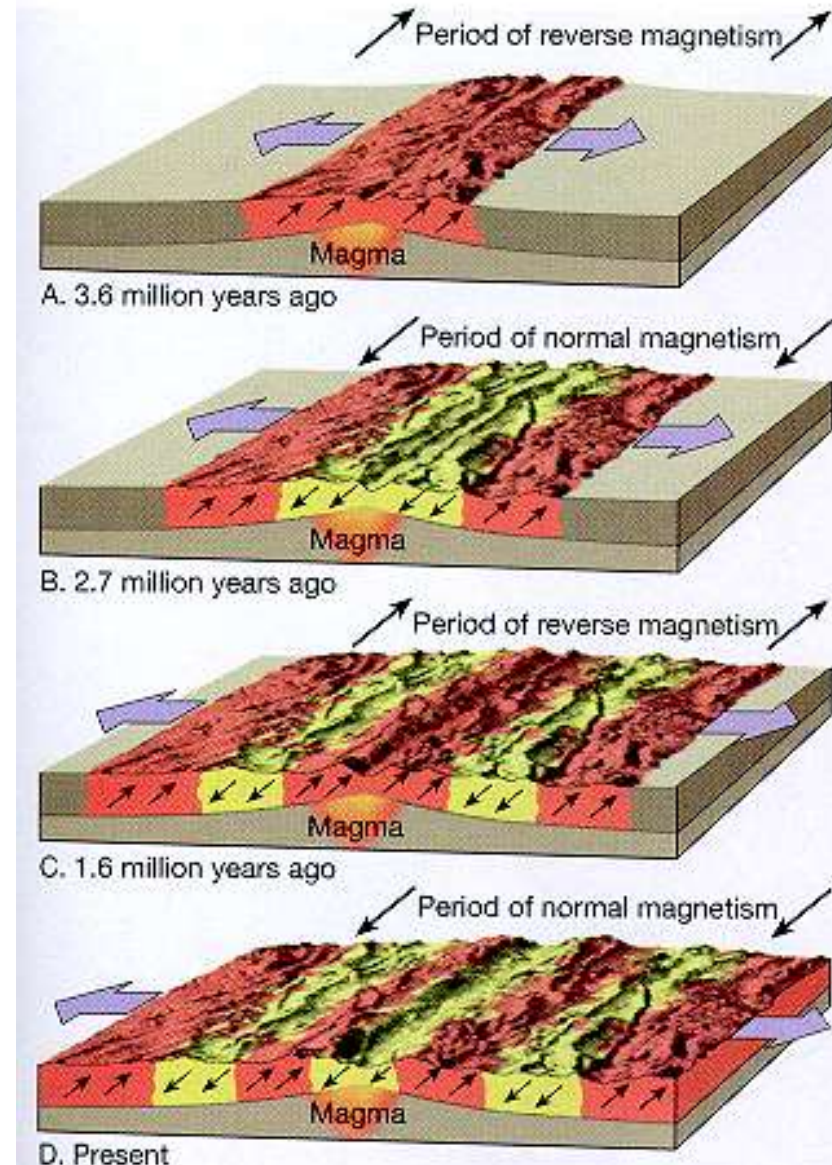
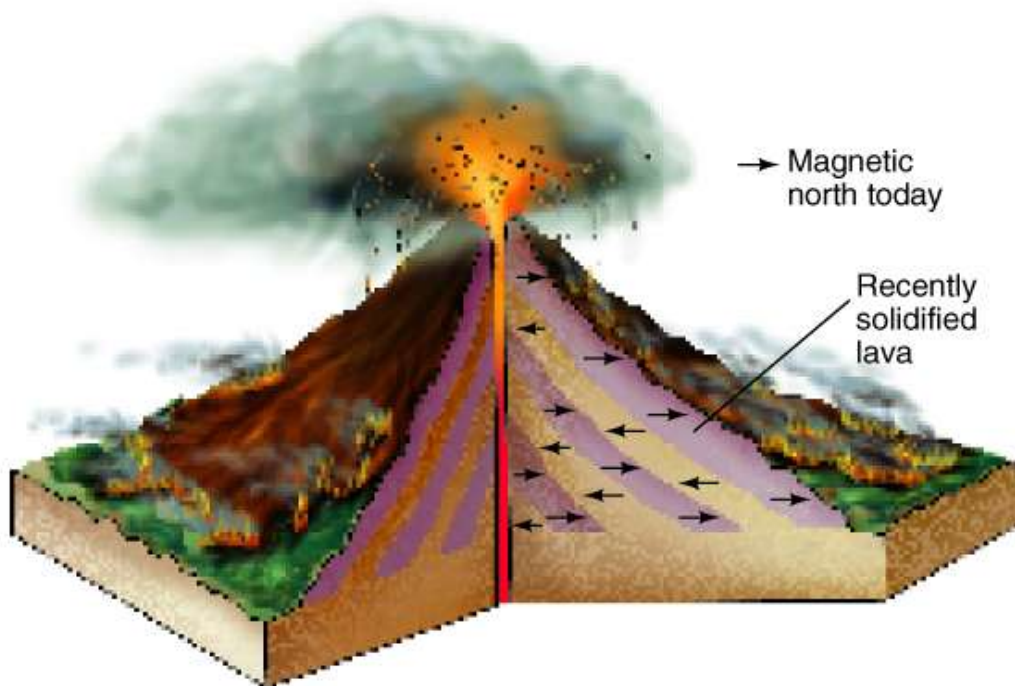


Figura 21.13 O campo geomagnético há 30 mil anos era invertido em relação ao atual, como evidenciado pelas rochas inversamente magnetizadas descobertas no local onde eram acendidas as fogueiras numa antiga aldeia aborígene. As rochas, esfriadas depois de o último fogo ter sido apagado, ficaram magnetizadas com a direção do antigo campo magnético, que deixou um registro permanente nelas, exatamente como um fóssil deixa um registro da vida antiga.

PADRÃO MAGNÉTICO DOS OCEANOS

- Rochas adquirem o campo magnético da época em que são formadas



Evidências geológicas e geocronológicas:
reconstruções de margens continentais ativas e evidências de colisões com
formações de cinturões orogênicos em 300 Ma atrás para formação da Pangea



A.



B.

Alinhamento de ilhas oceânicas Ex: ilhas do pacifico (Havaí) Registros da idade, direção e migração das Placas .

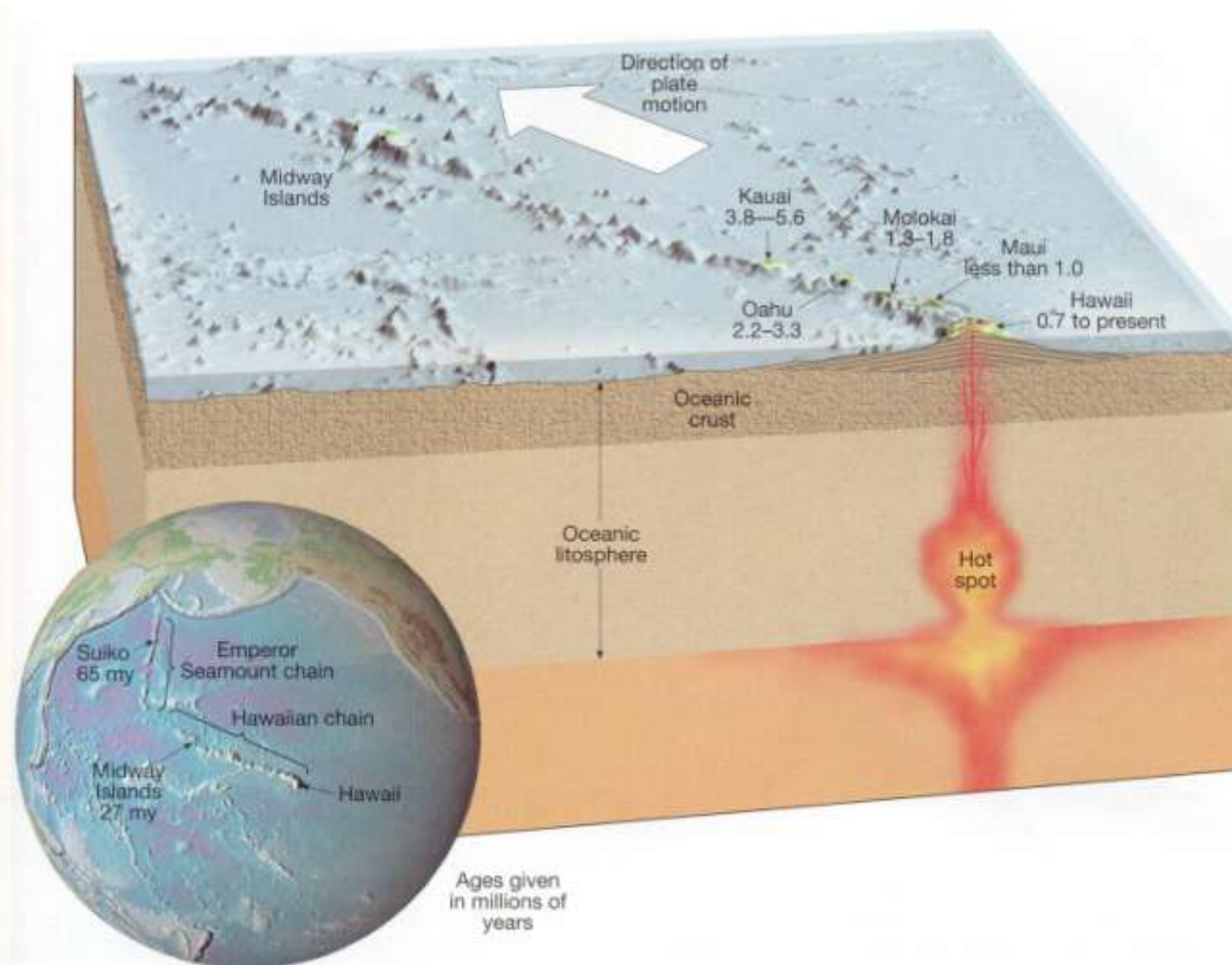
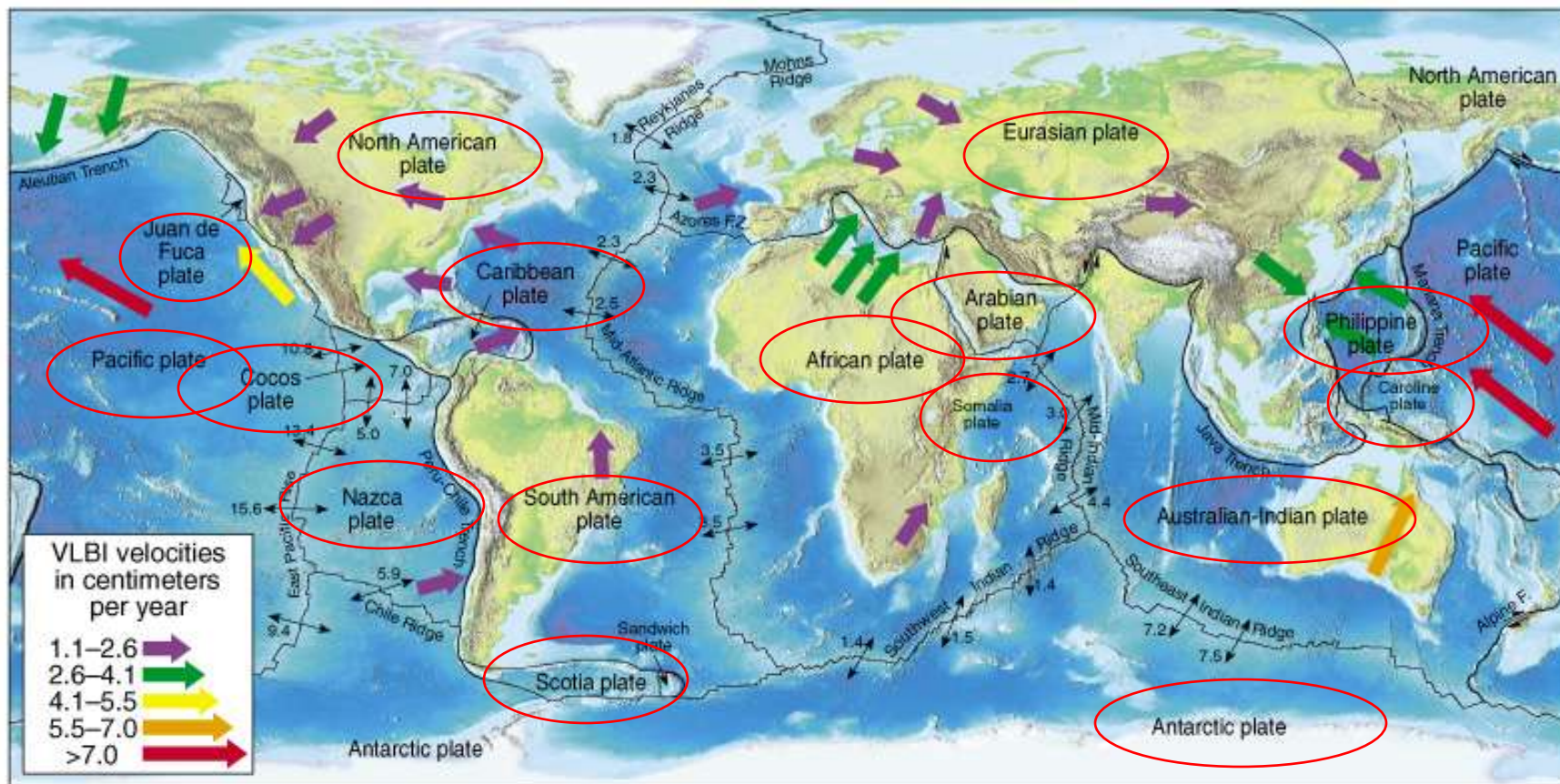


Figure 18.29 The chain of islands and seamounts that extends from Hawaii to the Aleutian trench results from the movement of the Pacific plate over an apparently stationary hot spot. Radiometric dating of the Hawaiian Islands shows that the volcanic activity decreases in age toward the island of Hawaii.

Principais placas tectônicas da Terra



Dinâmica das correntes de convecção – “motor das placas”

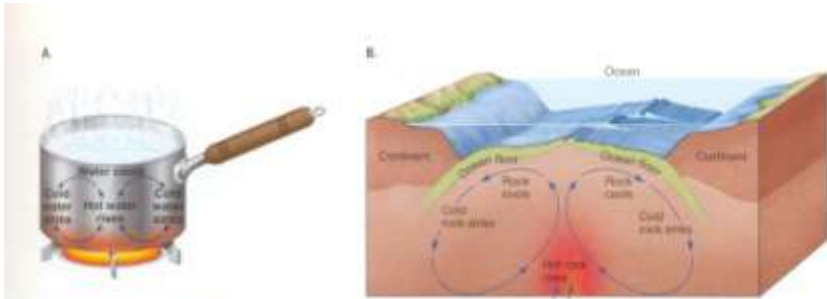
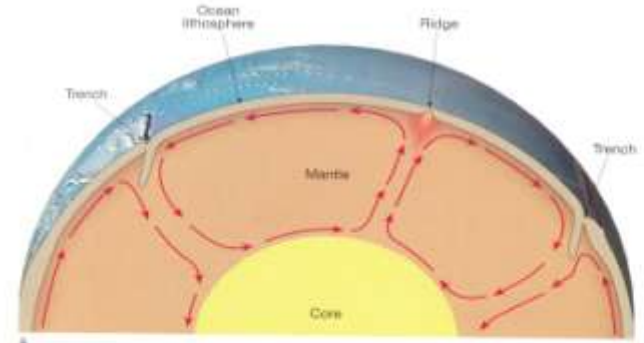
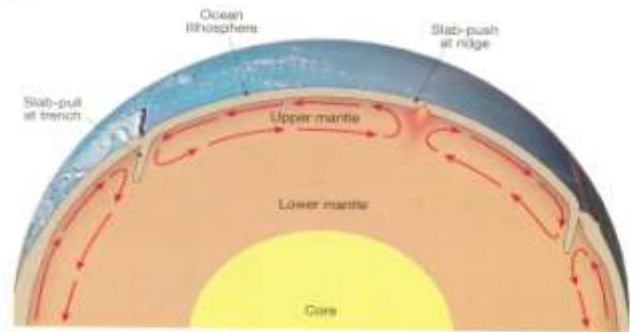


Figure 2.8 Convection in the Mantle Convection shapes the Earth's surface. A. Convection in a saucepan full of water. Water that is heated expands and rises. As it rises, it starts to cool, flows sideways, and sinks, eventually to be reheated and pass again through the convection cell. B. Convection 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. Eventually the upward-flowing rock flows sideways, cools, and sinks. The rising hot rock and sideways flow cause midocean ridge volcanism and the drift of ocean basins and continents.



Correntes de convecção no manto inteiro



Correntes de convecção somente na astenosfera

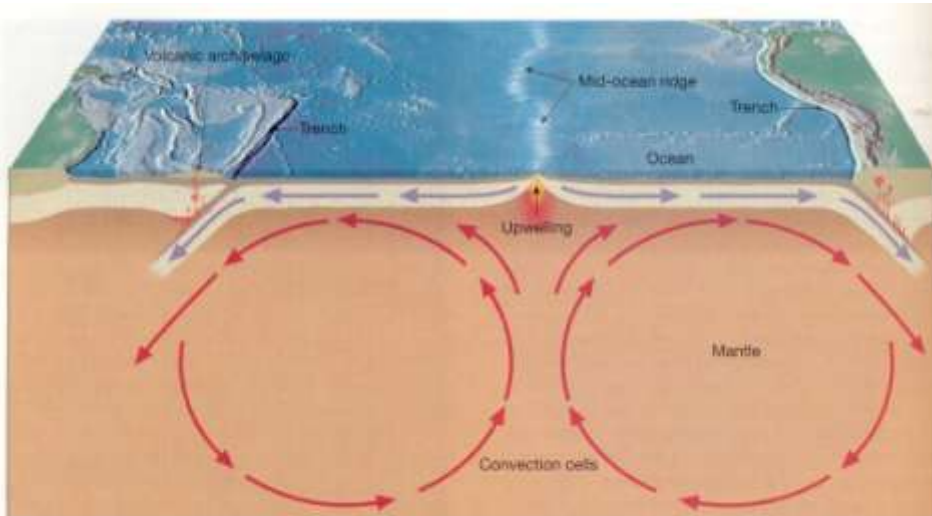


Figure 18.12 Seafloor spreading. Harry Hess proposed that upwelling of mantle material along the mid-ocean ridge system created new sea floor. The convective motion of mantle material carries the sea floor in a conveyor-belt fashion to the deep-ocean trenches, where the sea floor descends into the mantle.

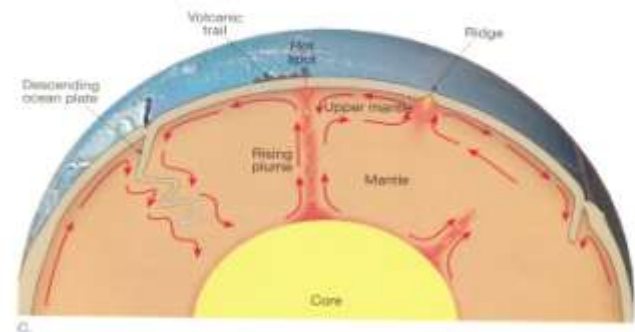


Figure 18.30 Proposed models of the driving force for plate tectonics. A. Large convection cells in the mantle may carry the lithosphere in a conveyor-belt fashion. B. Slab-pull results because the subducting slab is more dense than the underlying material. Slab-push is a form of gravity sliding caused by the elevated position of lithosphere at a ridge crest. C. The hot-plate 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.

Tipos de Margens de placas

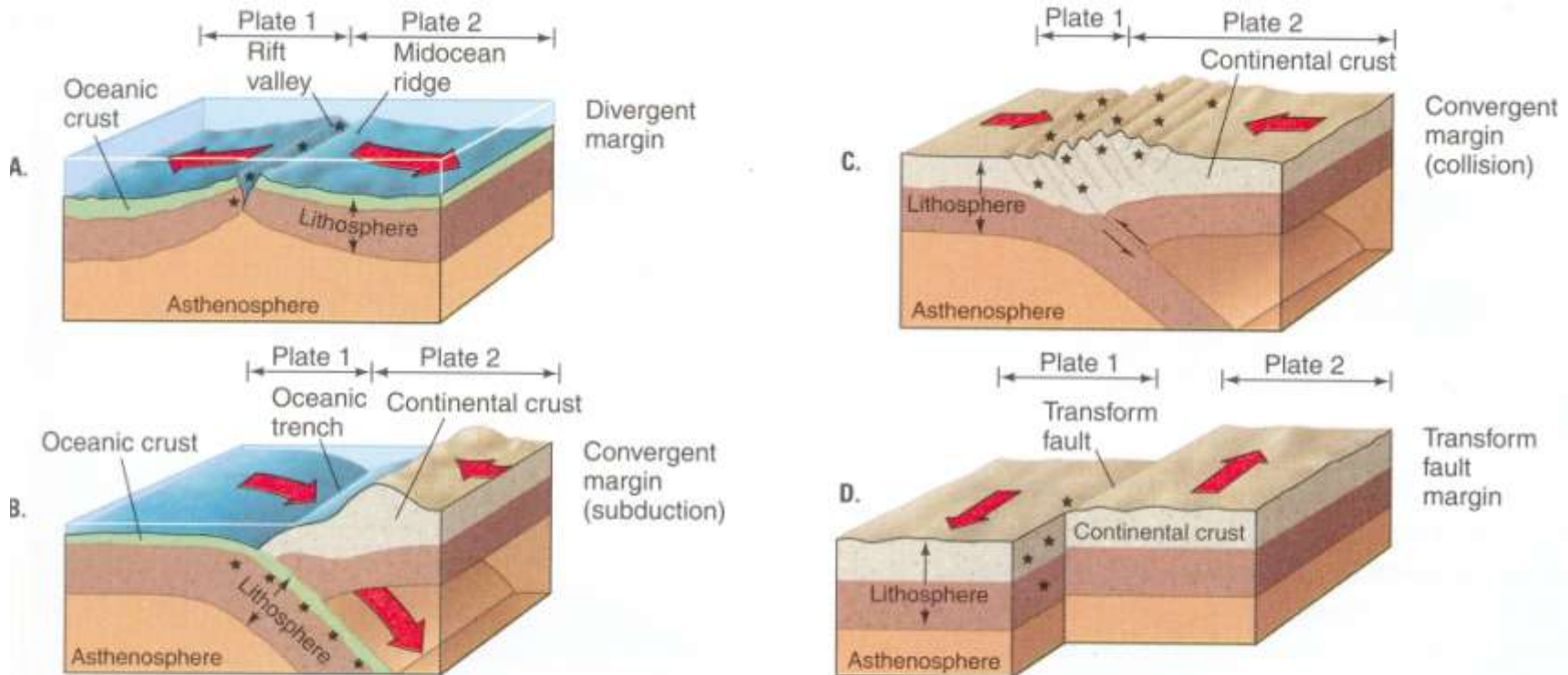
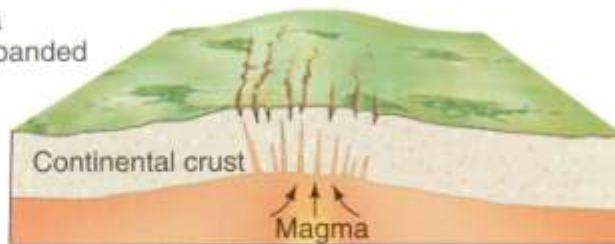


Figure 2.11 Plate Margins The various kinds of plate margins. Stars (★) indicate earthquake centers. A. Divergent margin or spreading center; its topographic expression is a mid-ocean ridge. B. Convergent subduction margin; its topographic expression is an oceanic trench. C. Convergent collision margin; its

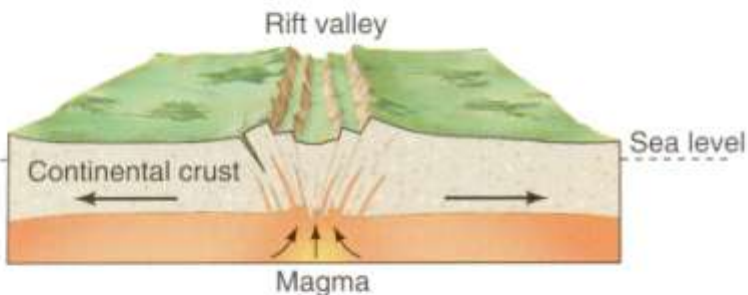
topographic expression is a mountain range. D. Transform fault margin; it does not produce a consistent topographic expression but is often marked by a long, thin valley due to preferential erosion along the fault.

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



Rift valleys formed
Example:
African Rift Valley
Rio Grande Rift

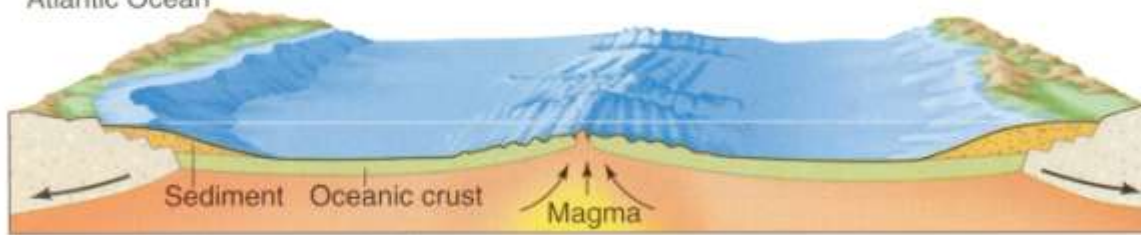
Lake Baikal



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



Mar vermelho



Figure 20.16 Rifting of Continental Crust

The rifting of continental crust to form a new ocean basin bounded by passive continental 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.

formação de placas oceânicas em margens divergentes, migração e idades

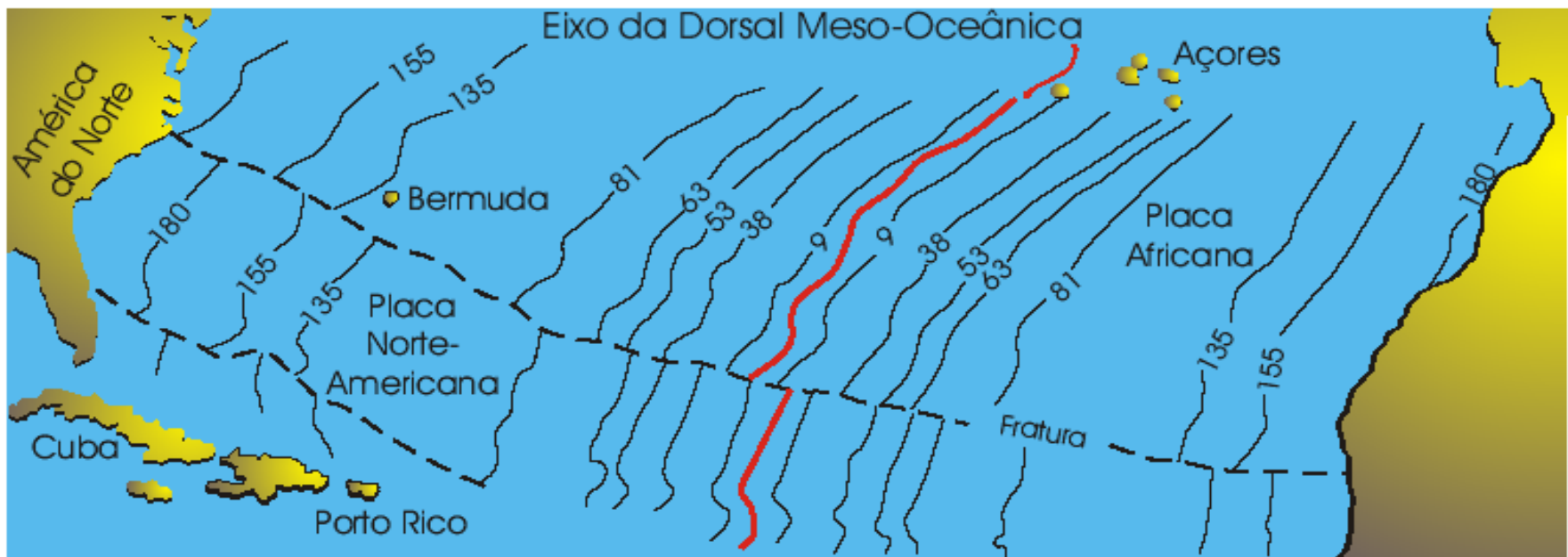


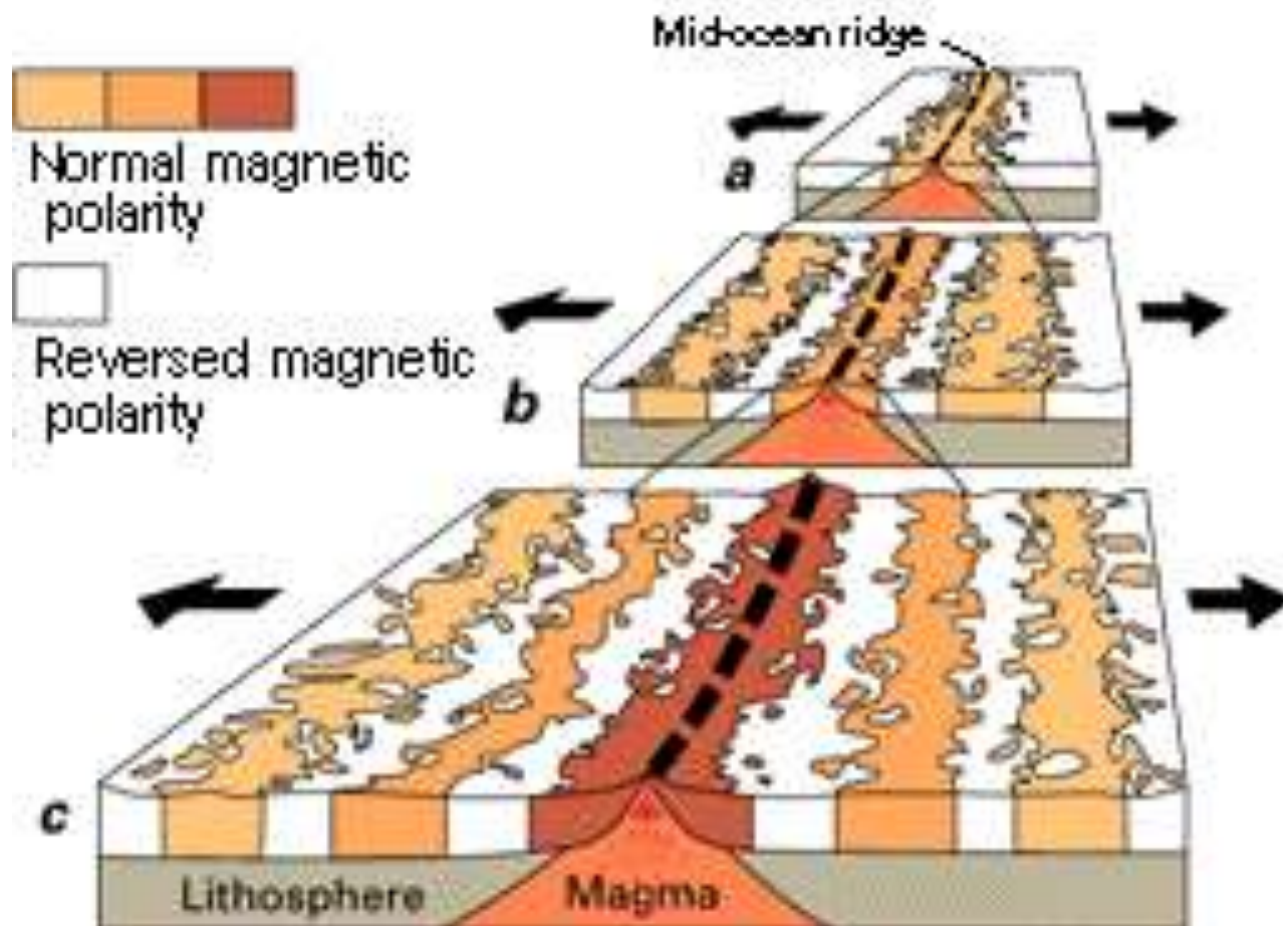
Fig. 6.3 Distribuição das idades geocronológicas do fundo oceânico do Atlântico Norte, onde se observam as idades (em Ma) mais jovens próximas à dorsal meso-oceânica.

Cadeia meso-Atlântica

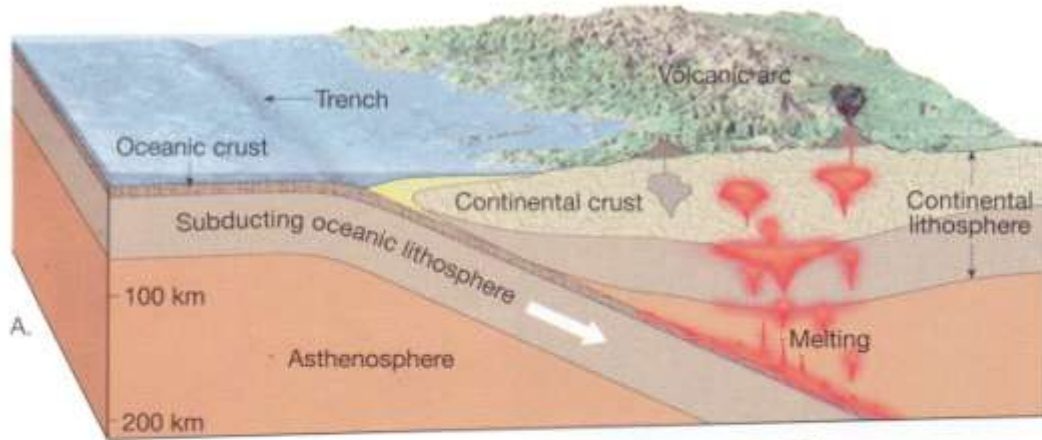


Figura 2.7 A Dorsal Mesoatlântica, um limite de placa divergente, aflora acima do nível do mar na Islândia. O vale em rifte com forma de fratura preenchido com rochas vulcânicas novas indica que as placas estão sendo afastadas. [Gudmundur E Sigvaldason, Nordic Volcanological Institute]

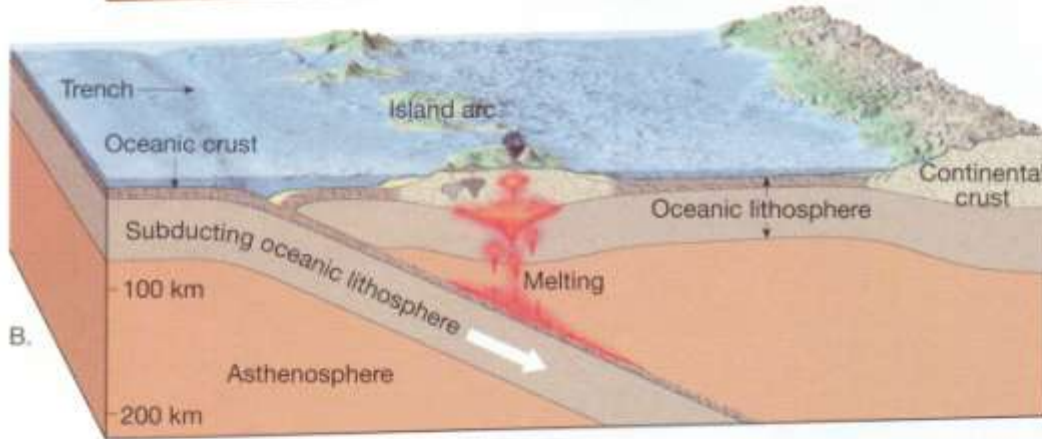
Modelo teórico para a formação do padrão magnético listrado. Nova crosta oceânica que se forma continuamente na crista meso-oceânica sofre resfriamento e se torna gradativamente mais antiga à medida em que se afasta do rifte devido à expansão do fundo oceânico.



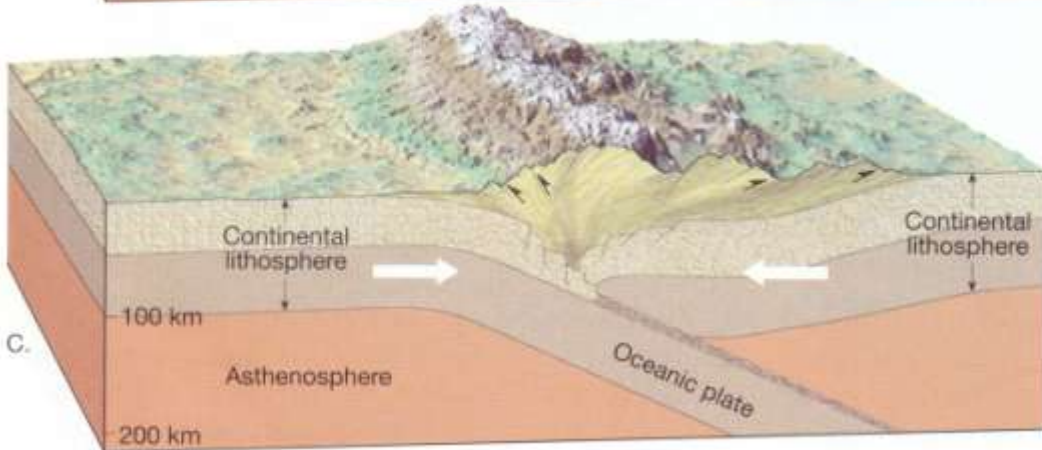
Interações entre placas convergentes



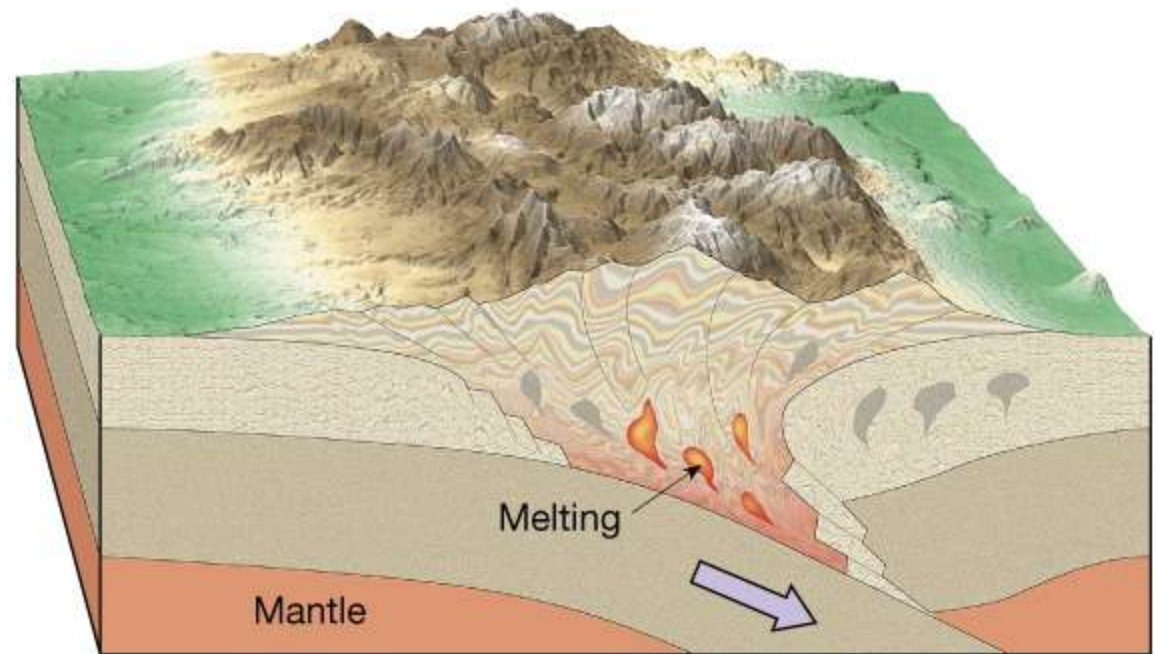
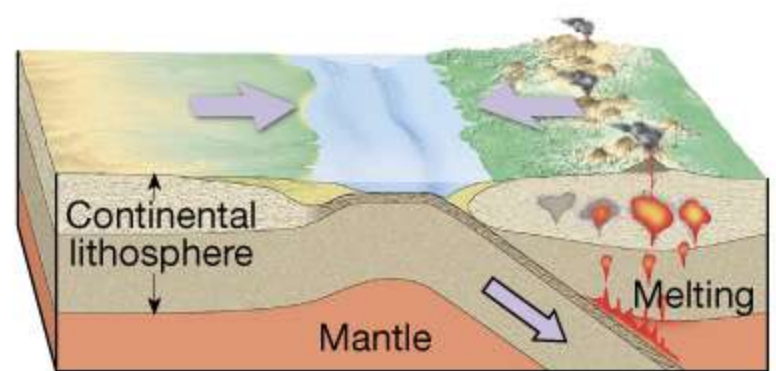
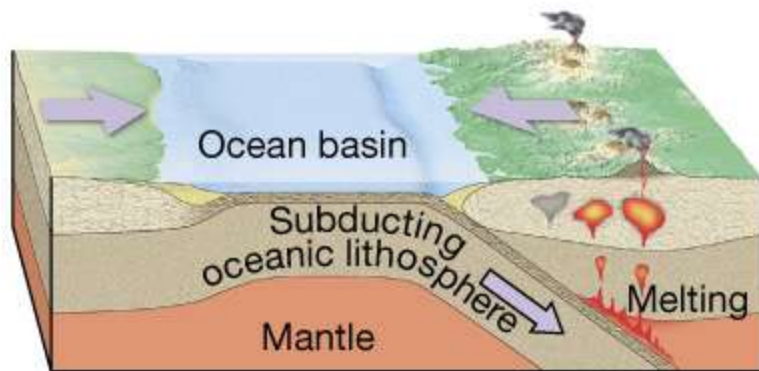
O-C. Ex: Andes



O-O. Ex: Japão, Filipinas



C-C. Ex: Himalaia



Seqüência de subducções seguidas de colisões



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

Após a colisão a velocidade caiu para 5cm por ano (últimos 50Ma).

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



Himalaia



- **Aumenta mais de 1 cm/ano.**

1 À medida que as placas Pacífica e Norte-Americana movem-se uma em relação à outra em direções opostas...

2 ... o canal de um riacho que atravessa a falha vai sendo deslocado.

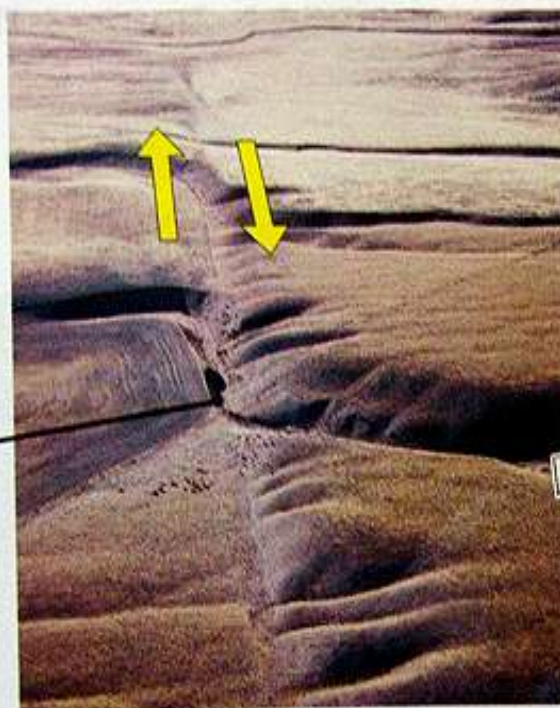
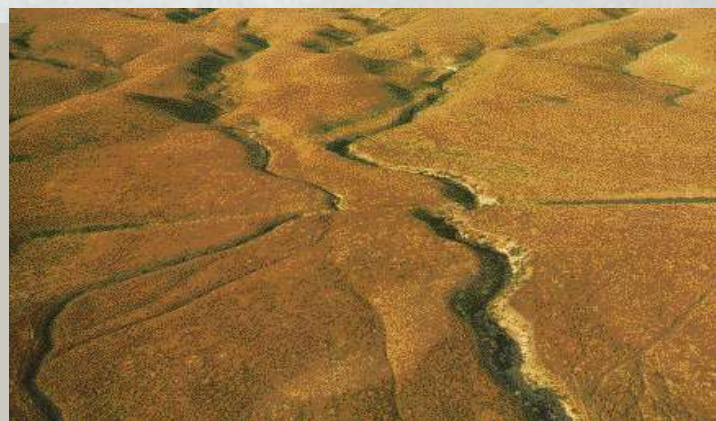


Figura 2.10 Uma vista para o noroeste ao longo da Falha de Santo André na Planície de Carrizo, na Califórnia Central. Santo André é uma falha transformante, formando uma parte do limite

deslizante entre a Placa Pacífica, à esquerda, e a Placa Norte-Americana, à direita. Note como o movimento da falha deslocou os canais dos riachos que correm ao longo da mesma. [John Shelton]



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

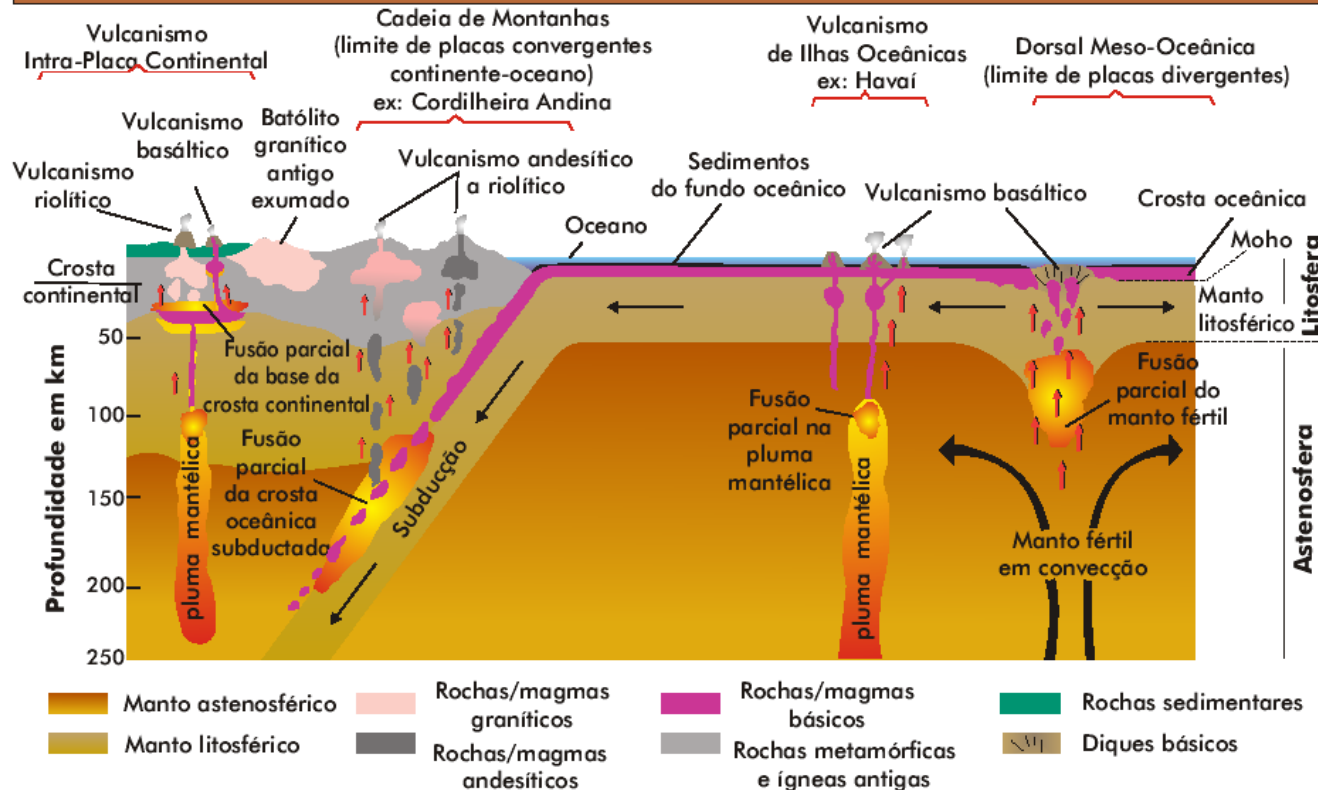


Fig. 16.4 Seção esquemática da crosta / manto (astenosfera / litosfera), indicando a localização dos sítios formadores de magmas no modelo de Tectônica de Placas.

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

Margens convergentes (ativas) e divergentes (passivas)

Quatro locais fornecedores (fontes) de magmas

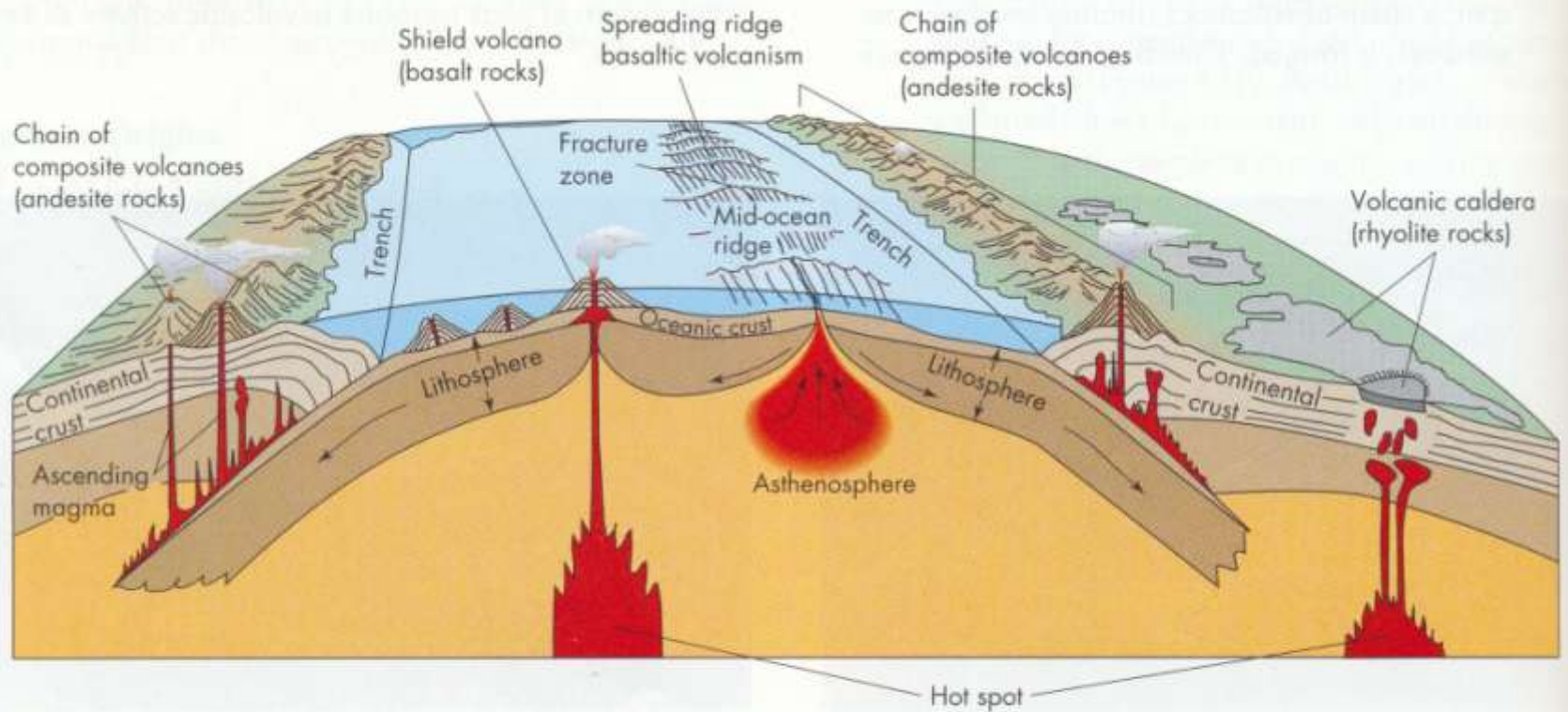
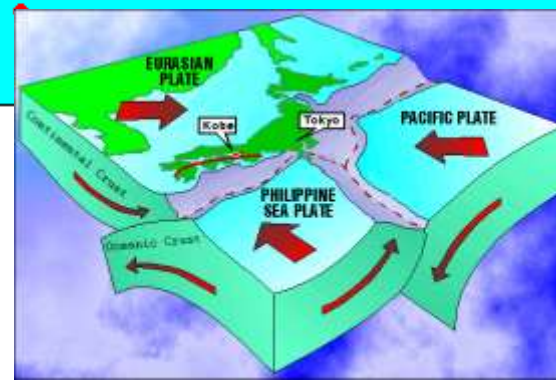


FIGURE 8.9 Idealized diagram showing plate tectonics processes and their relation to volcanic activity. (Source: Modified from Skinner and Porter, 1992. *The Dynamic Earth* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, p. 96, Figure 3.32.)

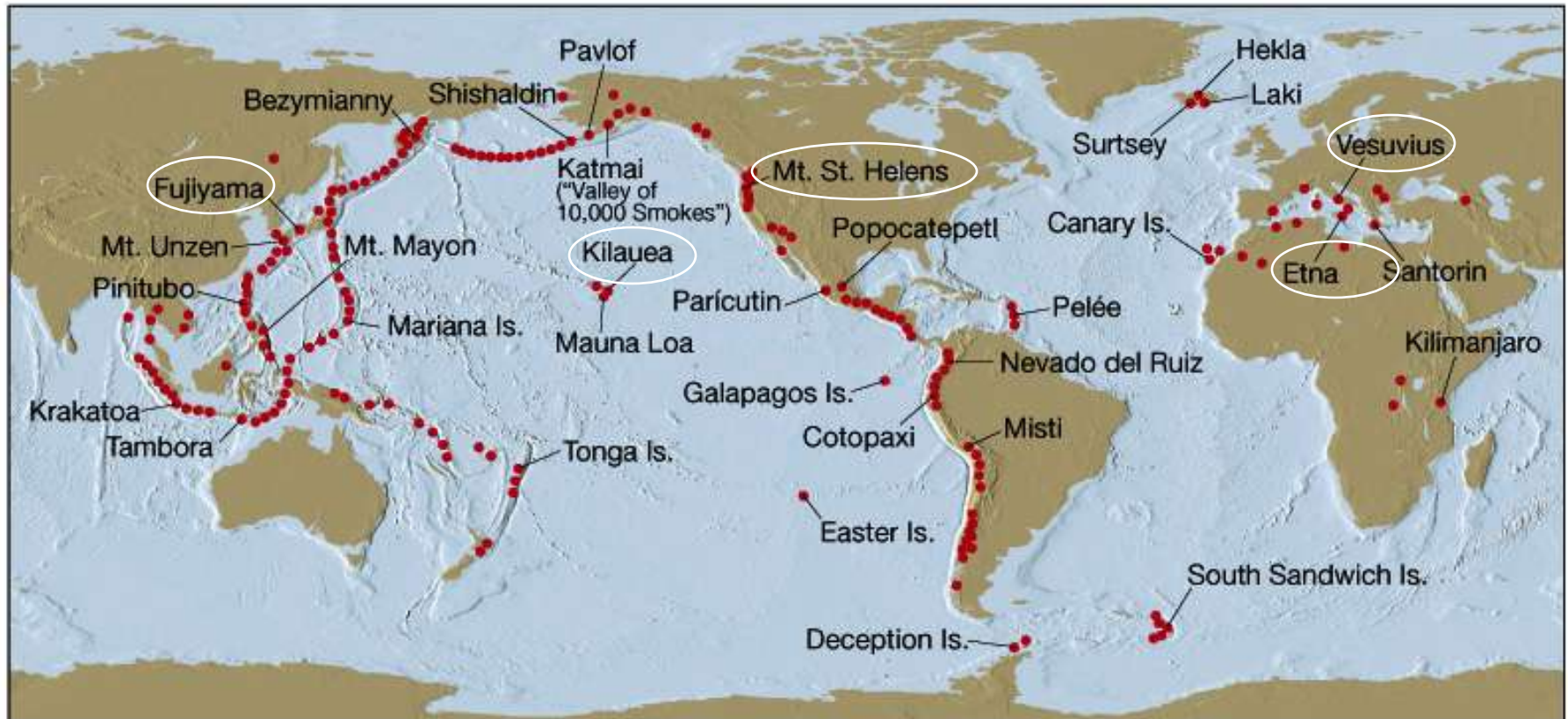
Active Volcanoes, Plate Tectonics, and the "Ring of Fire"



Japão!!!

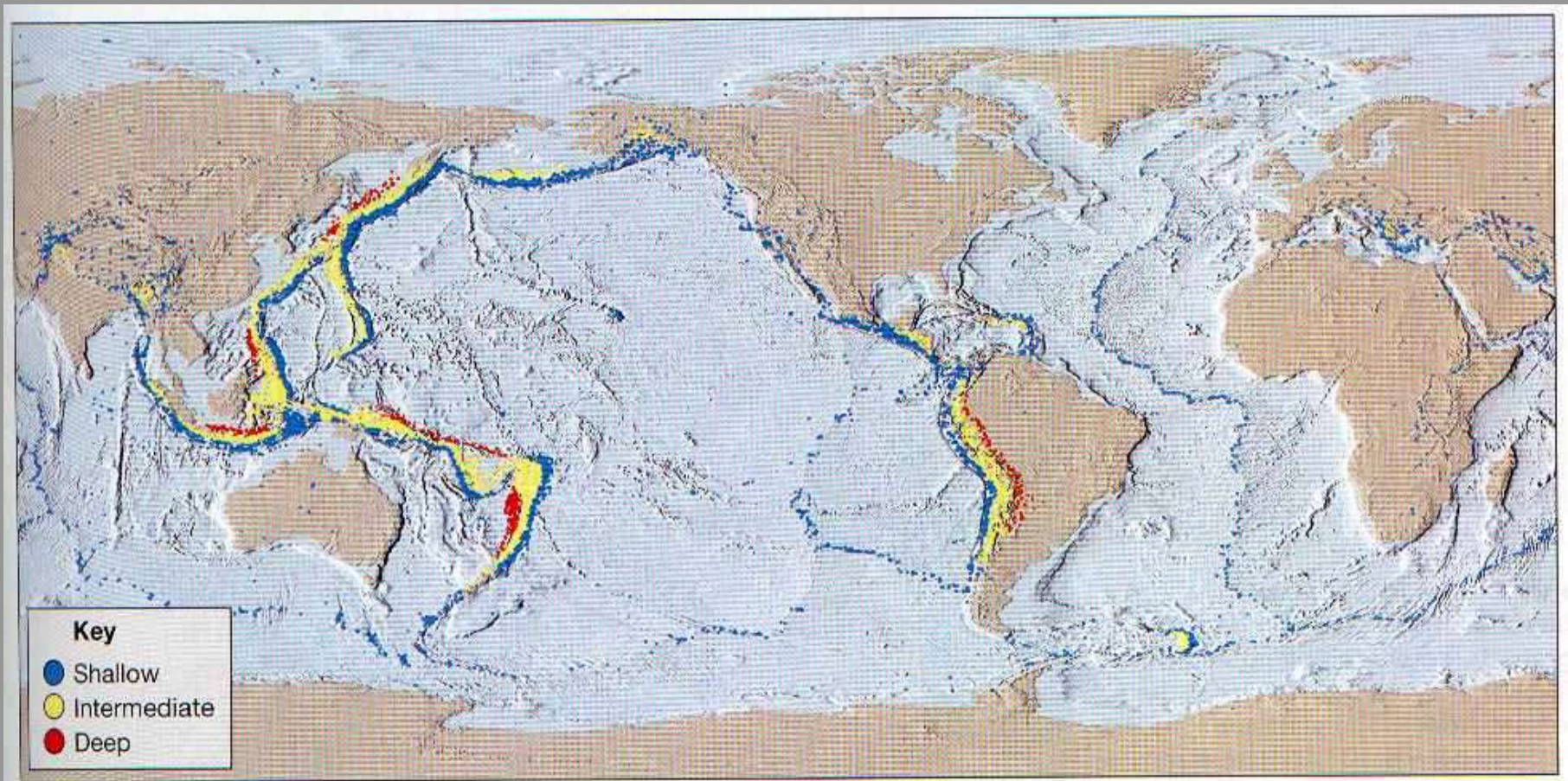


principais rochas vulcânicas e vulcões do mundo
em crostas continentais e oceânicas
(arcos magmáticos continentais e oceânicos)



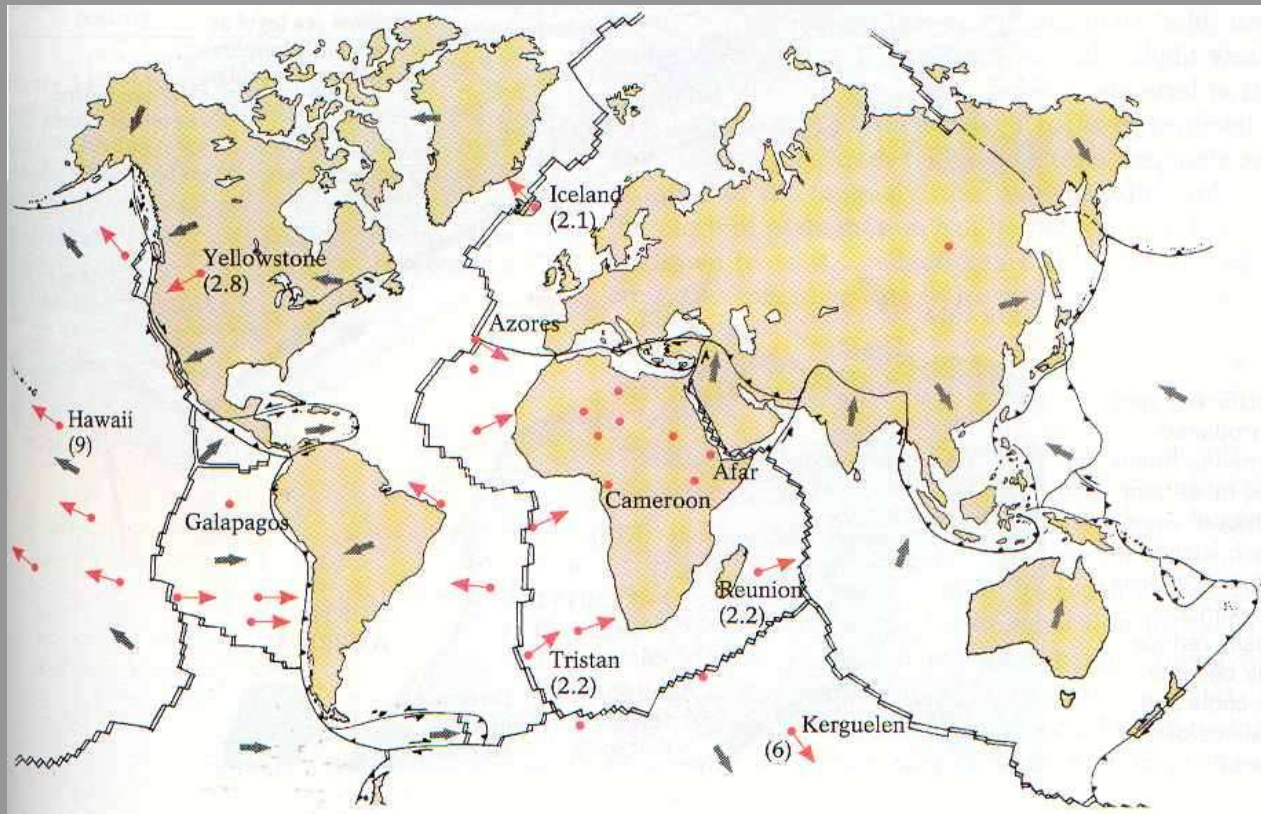
DISTRIBUIÇÃO DAS ATIVIDADES SÍSMICAS

- Relação com os limites entre as placas tectônicas
- Focos mais profundos associados a zonas de subducção

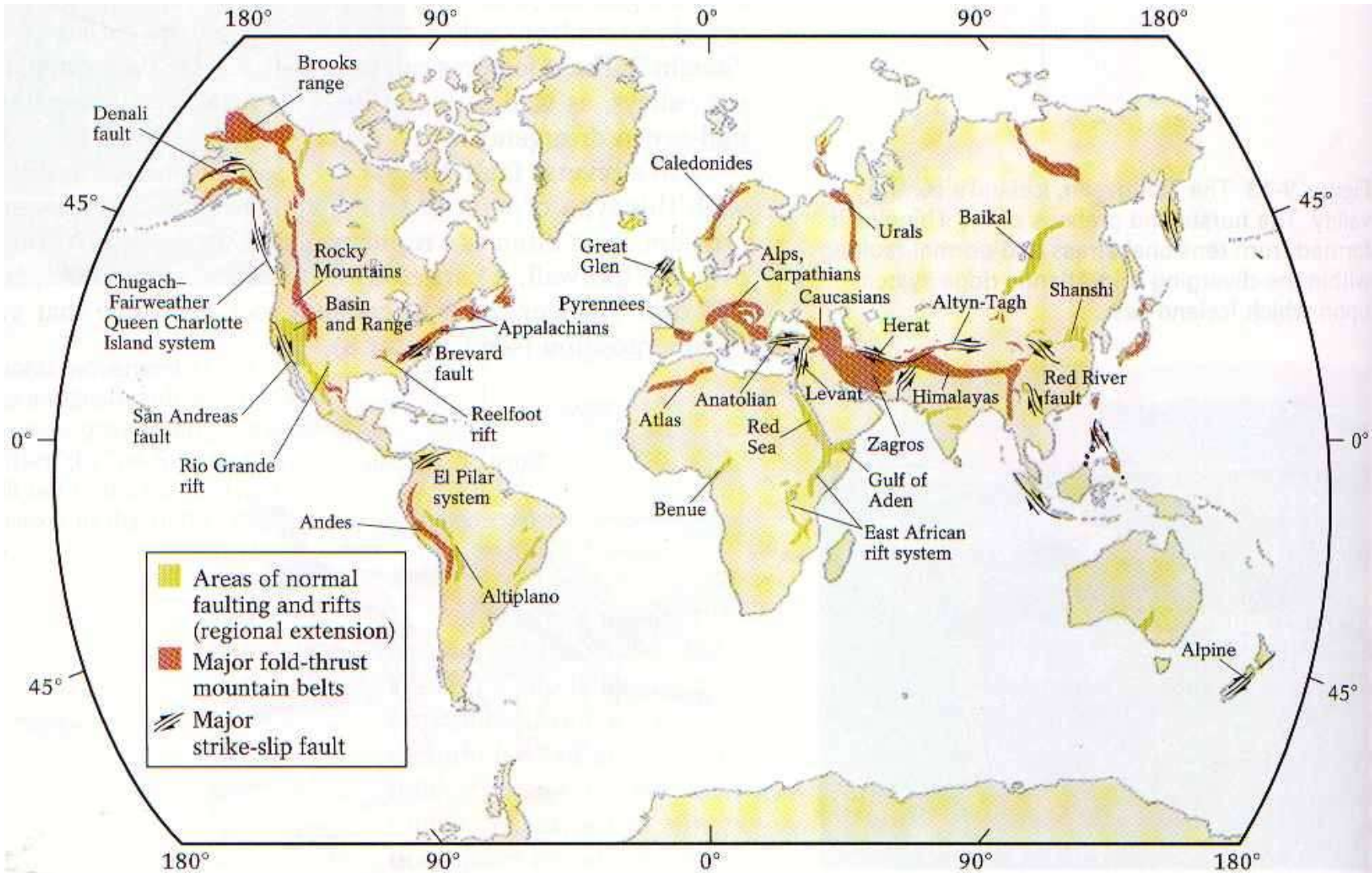


PONTOS QUENTES (*HOT SPOTS*)

- Atividades vulcânicas ligadas a porções ascendentes de material quente do manto (plumas mantélicas)
- Utilizados para medir a velocidade absoluta das placas litosféricas
- Exemplos: Haváí (intraplaca), Islândia (borda de placa)



Cinturões orogênicos ou grandes cadeias de montanhas: resultados de subducções e colisões entre oceanos e continentes ao longo do tempo geológico



separação de continentes começa com pontos quentes, formação de mares (ex: mar vermelho), oceanos e cadeias meso-oceânicas

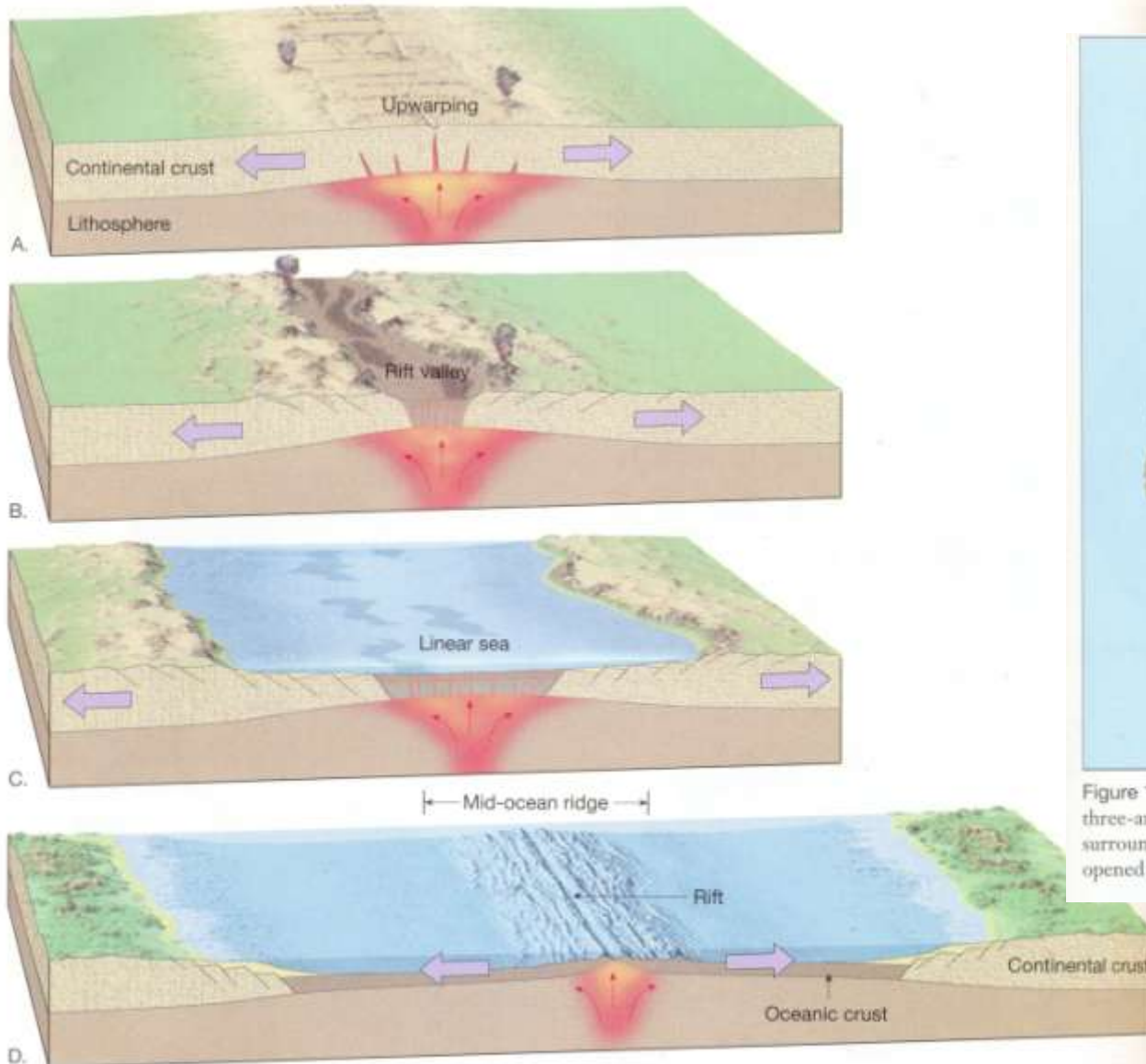


Figure 18.20 A. Rising magma upwarps the crust, causing numerous cracks in the rigid lithosphere. B. As the crust is pulled apart, large slabs of rock sink, generating a rift zone. C. Further spreading generates a narrow sea. D. Eventually, an expansive ocean basin and ridge system are created.

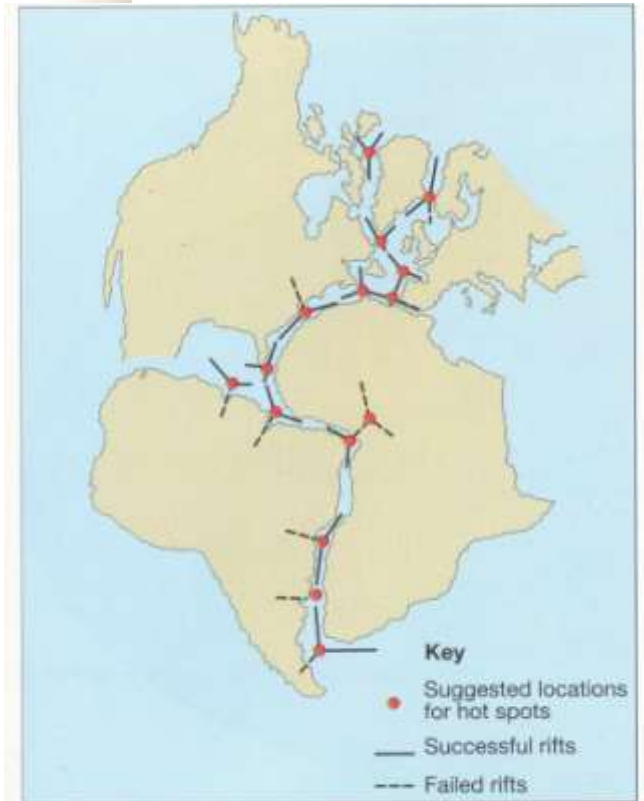
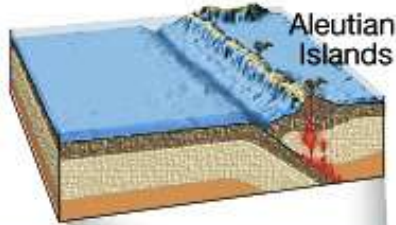


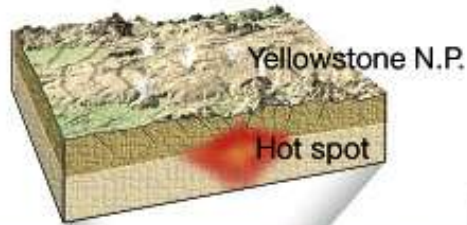
Figure 19.17 Possible locations of hot spots and associated three-armed rifts that account for the shapes of the continents surrounding the Atlantic. In most instances two of the arms opened while the third failed. (After Burke and Wilson)

Placas e tipos de margens

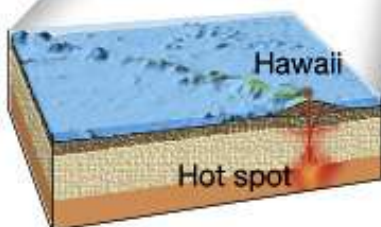
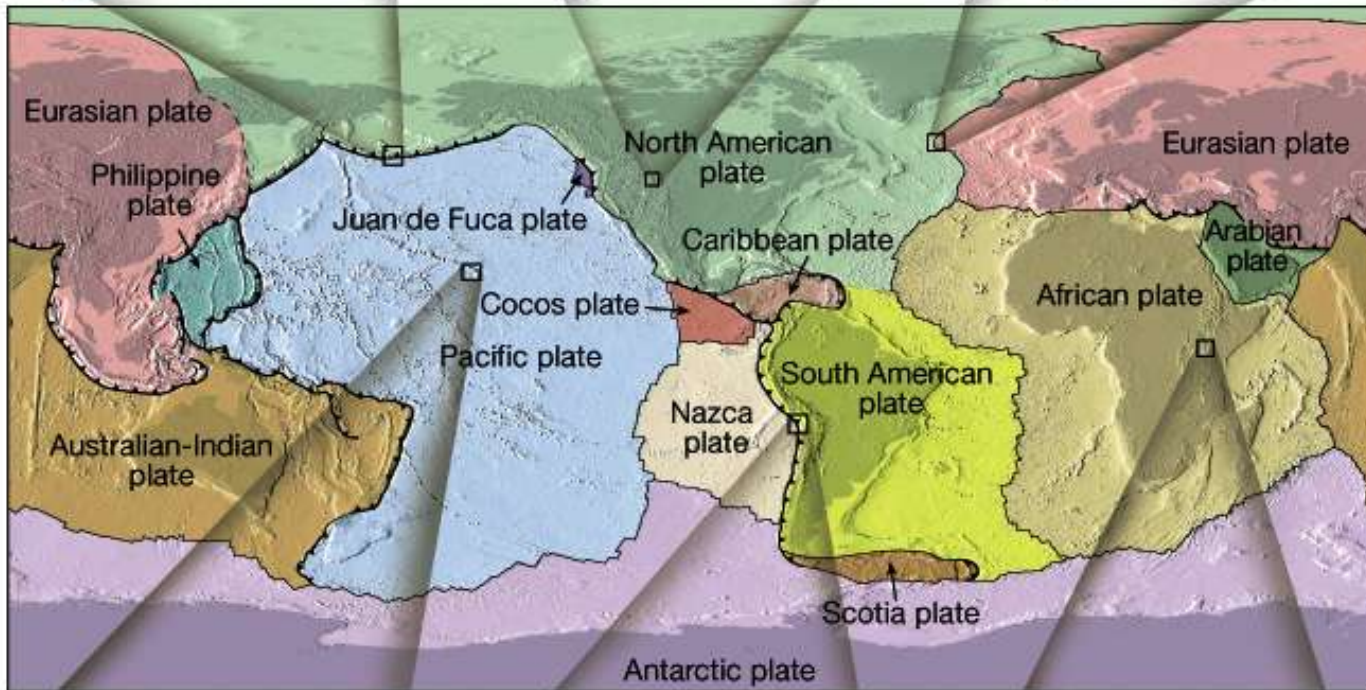
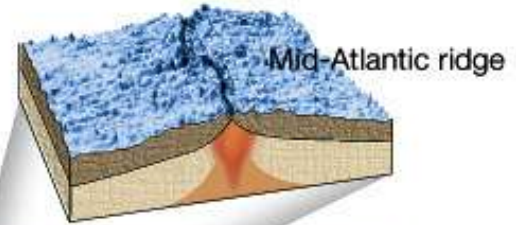
B. Subduction zone volcanism



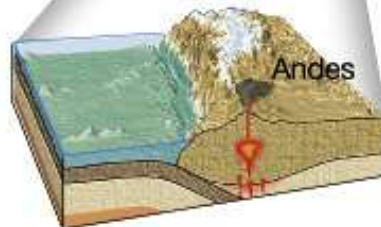
C. Intraplate volcanism (continental)



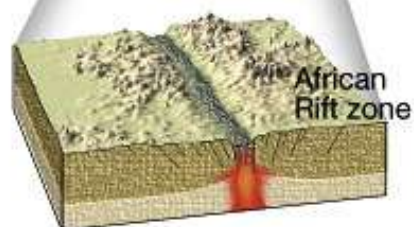
A. Spreading center volcanism (oceanic)



C. Intraplate volcanism (oceanic)



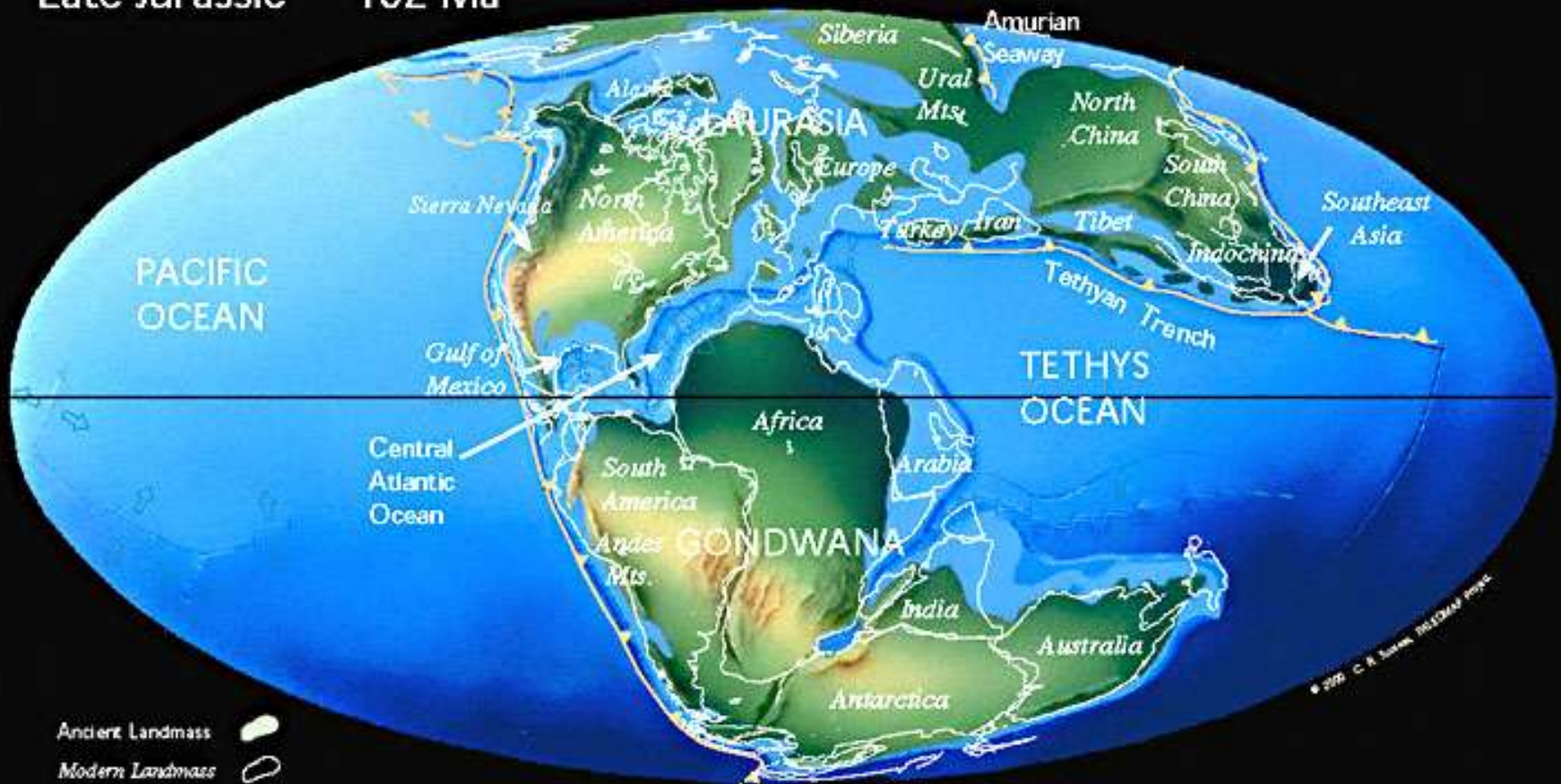
B. Subduction zone volcanism



A. Spreading center volcanism (continental)

Há 152 milhões de anos atrás

Late Jurassic 152 Ma



Ancient Landmass

Modern Landmass

Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)

Sea Floor Spreading Ridge

Há 50 milhões de anos atrás

Middle Eocene 50.2 Ma



Ancient Landmass



Modern Landmass



Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)



Sea Floor Spreading Ridge



© 2001 C. R. Scotese, PHOTODISC PROJECT

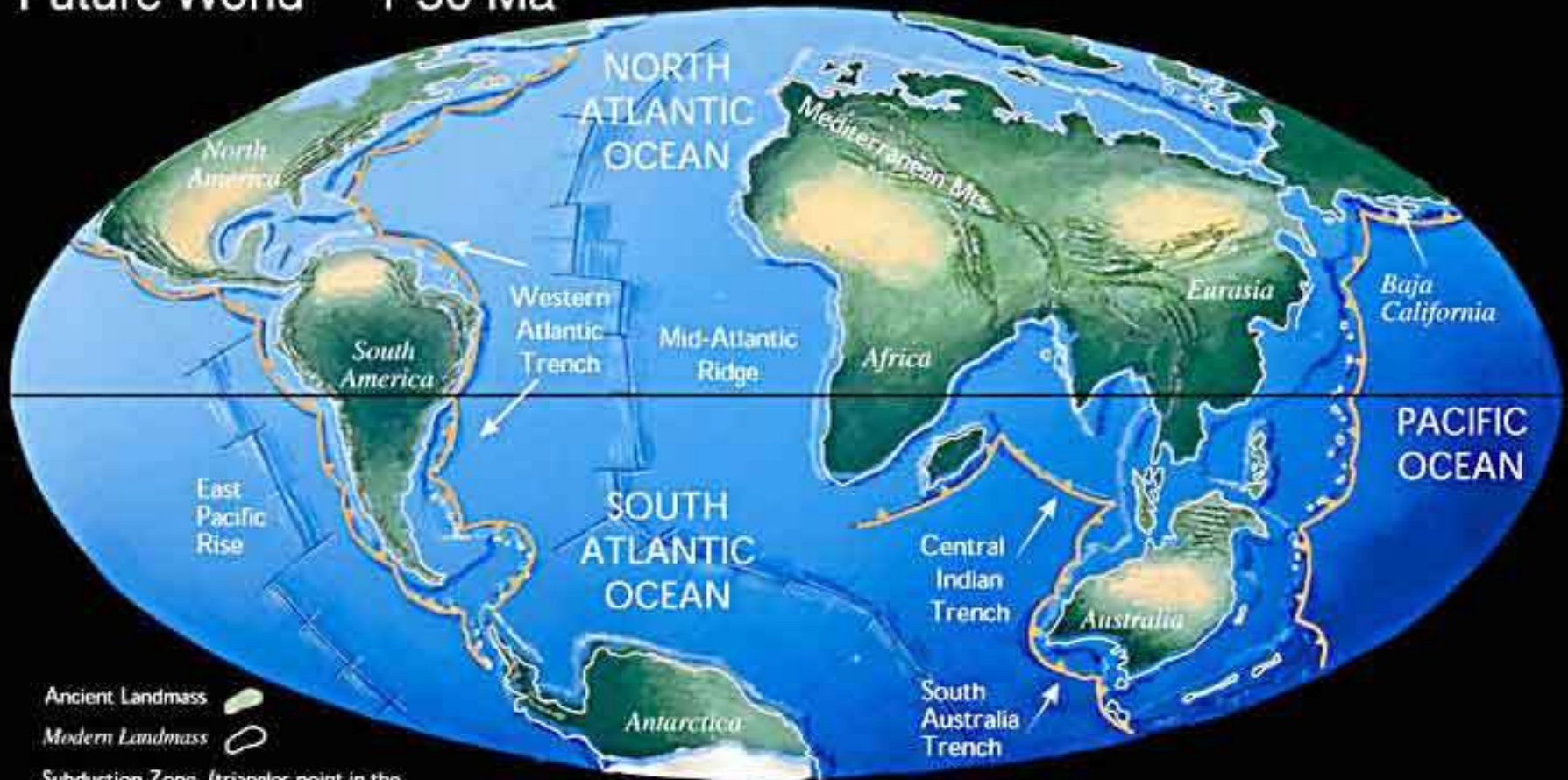
O mundo hoje

Modern World



O mundo daqui a 50 milhões de anos

Future World + 50 Ma



- Ancient Landmass
- Modern Landmass
- Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)
- Sea Floor Spreading Ridge

O mundo daqui a 150 milhões de anos

Future World + 150 Ma



Ancient Landmass

Modern Landmass

Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)

Sea Floor Spreading Ridge

- Animação tectônica placas
- Vídeo terremoto México

