

# **GEOTECTÔNICA TECTÔNICA GLOBAL**

**Prof. Eduardo Salamuni**

## **AULA 3: O INTERIOR DA TERRA E A LITOSFERA**

## SUBDIVISÃO DO PLANETA

O interior da Terra é dividido da seguinte forma:

(a) **Núcleo**: interno (sólido) e núcleo externo (líquido), ambos compostos por Fe-Ni.

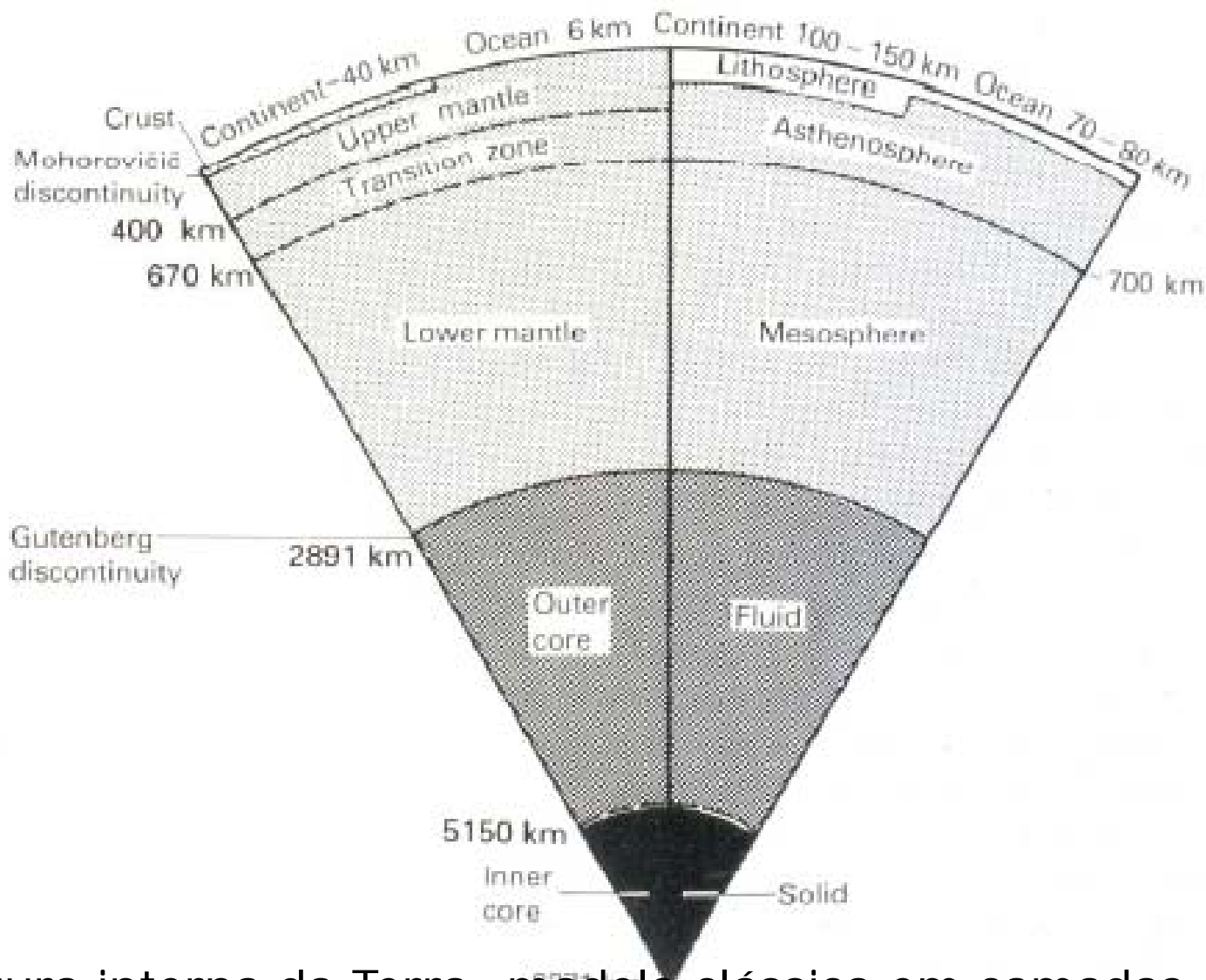
(b) **Manto**: sólido, composto por silicatos de Fe-Mg. O núcleo externo e o manto inferior estão separados pela *Descontinuidade de Gutenberg*.

(c) **Litosfera**: capa rígida consolidada da Terra composta pela crosta (Continental e Oceânica) e parte do manto superior, apresenta viscosidade da ordem da  $10^{20-21}$  Pa.s e não transmite calor por convecção sendo fria.

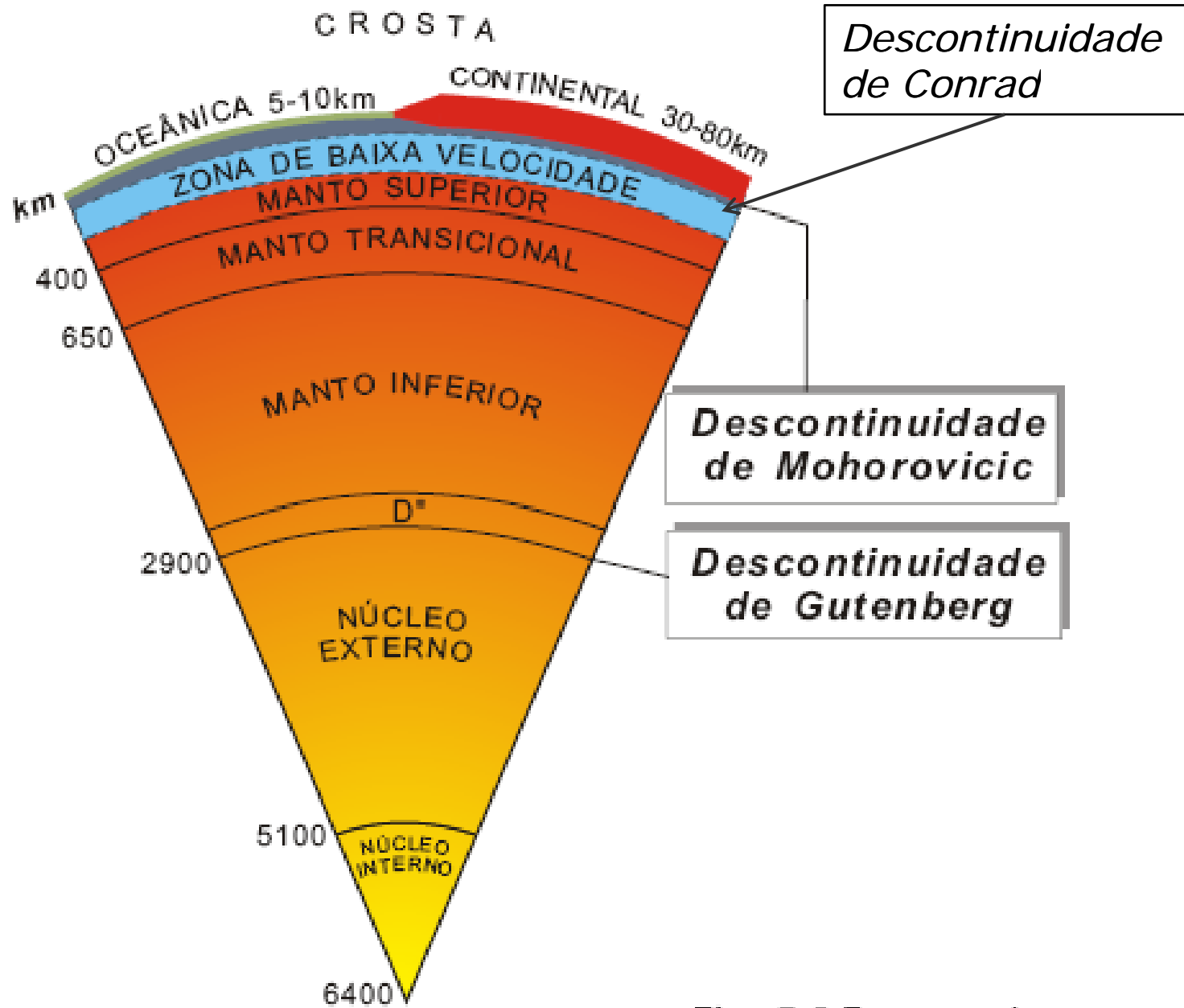
Obs: **Crosta**: faz parte da litosfera, é composta por rochas ígneas basálticas até graníticas, rochas sedimentares e/ou os equivalentes metamórficos destes dois conjuntos (em grande parte são alumino-silicatos sódicos, potássicos e cálcicos).

(d) **Astenosfera:** situa-se abaixo da litosfera, inclui parte do manto superior e da zona de transição (entre mantos superior e inferior), apresenta comportamento plástico e transmite calor por convecção

(e) **Tectosfera:** parte da Terra envolvida nos processos tectônicos, inclui a litosfera e parte superior da astenosfera.



Estrutura interna da Terra: modelo clássico em camadas concêntricas, obtido por meio de velocidades de ondas sísmicas.



## Detalhes sobre o Manto

- Embora não existam diferenças marcantes nem descontinuidades óbvias no interior do manto, divide-se o manto em duas camadas
  - (a) manto superior, vai da Moho até 650 km de profundidade;
  - (b) manto inferior, vai de 650 km de profundidade até o limite externo do núcleo (descontinuidade de Gutenberg, entre 2.700 e 2.890 km de profundidade).
- O Manto Superior é marcado pelo comportamento dúctil-rúptil indicado pela sismicidade e por poucos refletores na sísmica de reflexão.

## Composição do Manto Superior (% em peso)

Elemento	Teor	Composto	Teor
<u>O</u>	44.8		
<u>Si</u>	21.5	<u>SiO<sub>2</sub></u>	46
<u>Mg</u>	22.8	<u>MgO</u>	37.8
<u>Fe</u>	5.8	<u>FeO</u>	7.5
<u>Al</u>	2.2	<u>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	4.2
<u>Ca</u>	2.3	<u>CaO</u>	3.2
<u>Na</u>	0.3	<u>Na<sub>2</sub>O</u>	0.4
<u>K</u>	0.03	<u>K<sub>2</sub>O</u>	0.04
Total	99.7	Total	99.1

- O incremento do gradiente geotérmico na crosta é de 20 a 30°C/Km (nas partes mais internas do Planeta este incremento é mais baixo). Há, no entanto, **fontes de calor** de diferentes naturezas.
- O fluxo térmico resulta em aumento de temperatura e envolve o ciclo convectivo de materiais no núcleo líquido e no manto sólido.
- A convecção no núcleo pode transportar calor até o manto inferior, que é então levado até a superfície em um diferenciado sistema mantélico de convecção.
- O calor escapa da litosfera pela migração de fluidos, como rochas ígneas em forma de lava.



As principais fontes de calor são:

- (a)** Calor residual gerado durante a acreção original para a formação do planeta há 4,5 Ga
- (b)** Calor gerado pelo decaimento radiométrico espontâneo
- (c)** Calor latente da cristalização a partir da lenta solidificação do líquido no núcleo externo
- (d)** Calor gerado pela dissipação de energia no atrito entre as diversas camadas terrestres, que apresentam velocidades diferentes frente à rotação da Terra
- (e)** Calor produzido pela dissipação da energia tidal (marés terrestres e oceânicas) a partir da interação gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol.

## Detalhes sobre a Litosfera

- A base da litosfera (manto superior) situa-se a profundidades variáveis, sendo da ordem de 100-300 Km nas dorsais oceânicas. Nas zonas de subducção, pode descer a 700 Km.
- A espessura da litosfera depende do comportamento das isotermas: onde estas se elevam (p. ex., por ação de correntes de convecção ascendentes) ela se adelgaça; onde as isotermas sofrem subsidência, espessa-se.
- Inclui a **crosta oceânica**, a **crosta continental** e o **manto litosférico** (porção superficial do manto externo).

## Detalhes sobre a Crosta

- As características da crosta da Terra são resultantes direto ou indiretos dos movimentos da litosfera.
- As terras acima do nível do mar são predominantemente crostas continentais, com exceção das ilhas como a Islândia.
- A divisão aproximada é de cerca de **29,2%** de terras emersas e **70,8%** de submersas. No entanto, 34,7% constituem crosta continental e **65,3%** crosta oceânica.

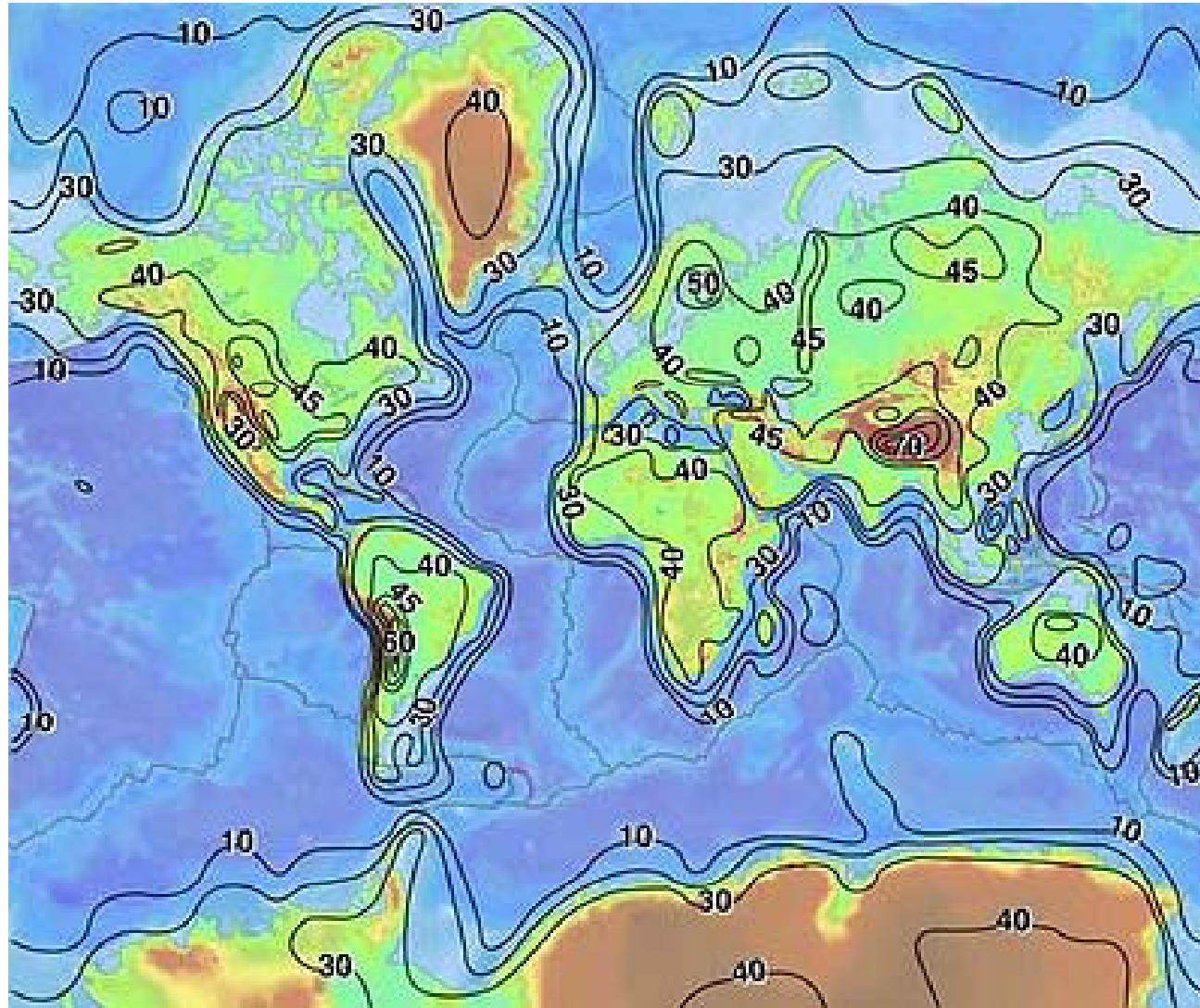
## ***Crosta superior***

- É marcada, em essência, **(a)** pelo comportamento mais rígido, **(b)** pela distribuição dos hipocentros, **(c)** pela presença de poucos refletores na prospecção sísmica de reflexão, **(d)** com mergulhos e padrões variados.
- A passagem entre a crosta superior e inferior, denominada de ***Descontinuidade de Conrad*** possui limites tênues detectado pela sísmica (passagem de  $V_p$  de 6,4 Km/s). Localiza-se a profundidades variáveis, entre 10 e 25 Km nos continentes, ou entre 50 e 70 Km sob cinturões orogênicos.

## ***Crosta Inferior***

- Marcada principalmente pela **(a)** velocidade sísmica  $V_p$  de 6,4 Km/s, **(b)** maior densidade que a da crosta superior, **(c)** maior produtividade de calor e **(d)** maior condutividade elétrica.
- Possui viscosidade menor que as da crosta superior (acima) e do manto superior (abaixo) (seu comportamento é mais plástico), configurando o chamado ***modelo sanduíche*** da litosfera.
- A sísmica de reflexão indica que a crosta inferior é marcada por estrutura lamelar e de mergulhos baixos ou horizontais, em franco contraste com a crosta superior e com o manto superior.

- A sísmica de reflexão indica que a crosta inferior é marcada por estrutura lamelar e de baixos mergulhos ou horizontais, em franco contraste com a crosta superior e com o manto superior.
- A base da crosta (oceânica e/ou continental) corresponde à ***Descontinuidade de Mohorovicic*** (ou, simplesmente ***Moho***).
- Sua profundidade é variável, sendo de 30-40 Km nos continentes (até 75 Km sob os cinturões orogênicos) e de 10-12 Km nos oceanos (até 25-30 Km nas dorsais). Pode alcançar até 700 Km nas zonas de subducção.



A espessura da crosta terrestre em km

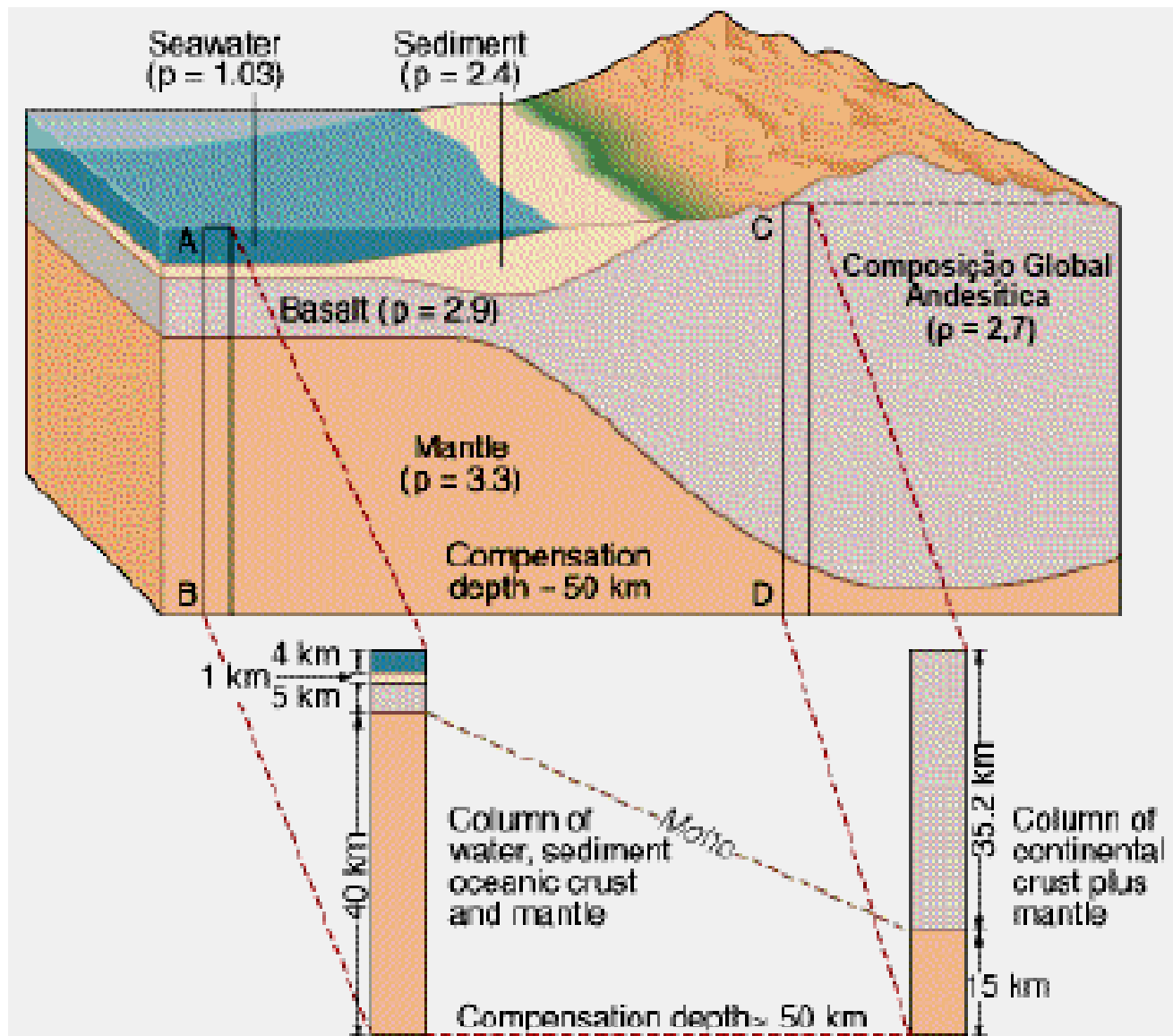
## ***Crosta Oceânica e Crosta Continental***

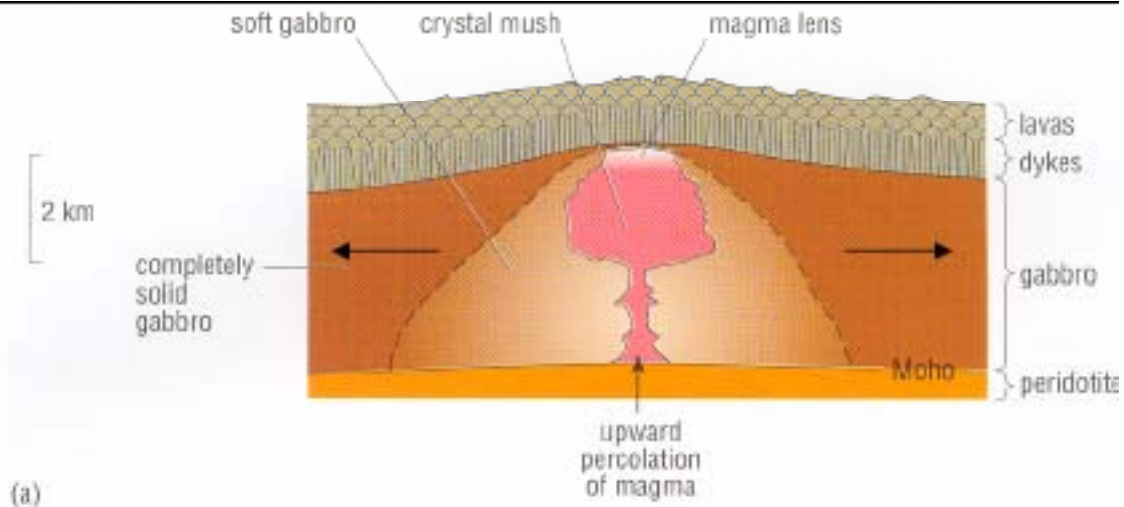
- A crosta oceânica é caracterizada pela constituição basáltica (é também utilizado o nome **crosta basáltica**, visto que a composição química média é semelhante à dos basaltos - daí o nome **sima**).
- O termo **oceânica** é o corretamente utilizado para referir-se a ela (o significado geológico/geofísico é diferente do geográfico). A idade mais antiga detectada na crosta oceânica é de cerca de 180 ma.



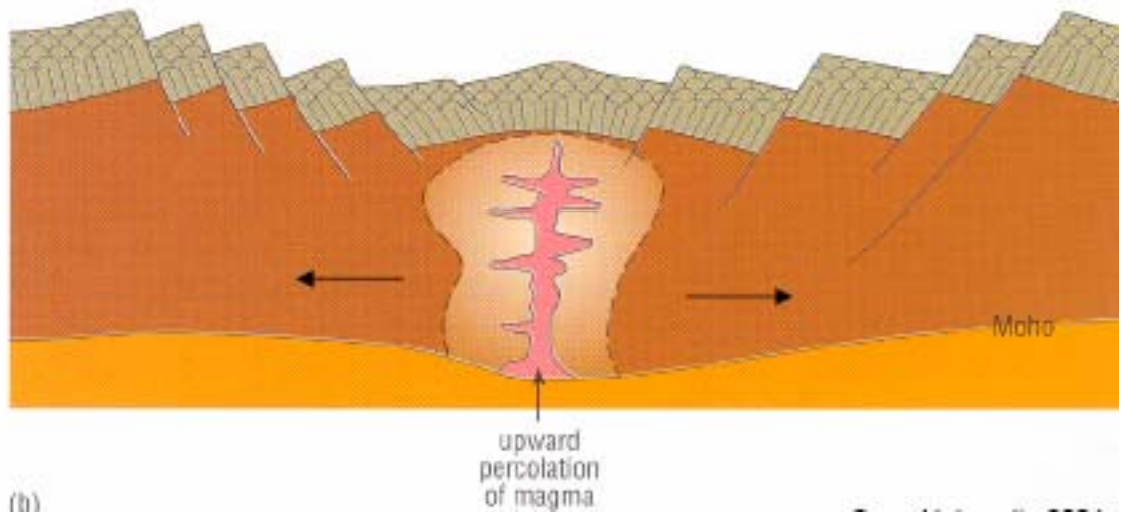
## Composição química da crosta

Composto	Fórmula	Composição	
		Continental	Oceânica
<u>sílica</u>	SiO <sub>2</sub>	60.2%	48.6%
<u>alumina</u>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.2%	16.5%
<u>óxido de cálcio</u>	CaO	5.5%	12.3%
<u>óxido de magnésio</u>	MgO	3.1%	6.8%
<u>óxido de ferro (II)</u>	FeO	3.8%	6.2%
<u>óxido de sódio</u>	Na <sub>2</sub> O	3.0%	2.6%
<u>óxido de potássio</u>	K <sub>2</sub> O	2.8%	0.4%
<u>óxido de ferro (III)</u>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5%	2.3%
<u>água</u>	H <sub>2</sub> O	1.4%	1.1%
<u>dióxido de carbono</u>	CO <sub>2</sub>	1.2%	1.4%
<u>dióxido de titânio</u>	TiO <sub>2</sub>	0.7%	1.4%
<u>pentóxido de fósforo</u>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2%	0.3%
<b>Total</b>		<b>99.6%</b>	<b>99.9%</b>





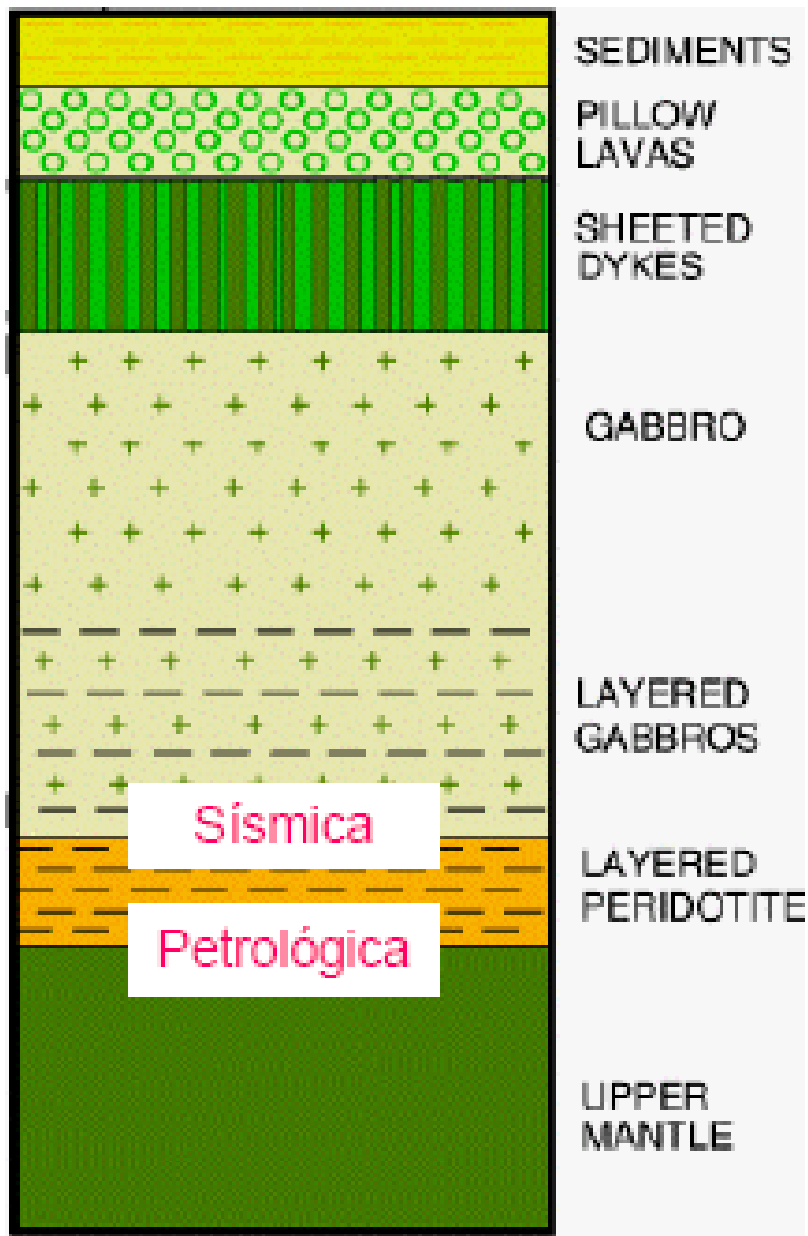
(a)



(b)

**Fonte: Open University, 2001**

Câmara magmática em dorsal oceânica, gerando os litotipos e estruturas ígneas específicas da crosta oceânica



Seção colunar e  
"estratigrafia" ígnea  
da crosta oceânica

- Importante: ***pillow-lavas*** ou **lavas almofadadas** são formadas quando o magma básico é extrudido sob a água (ou com fluxo para a água). A porção externa se resfria rapidamente enquanto a interna continua fluida com fluxo. As pressões internas ocasionam protusões localizadas que em geral se rompem criando uma almofada adiante



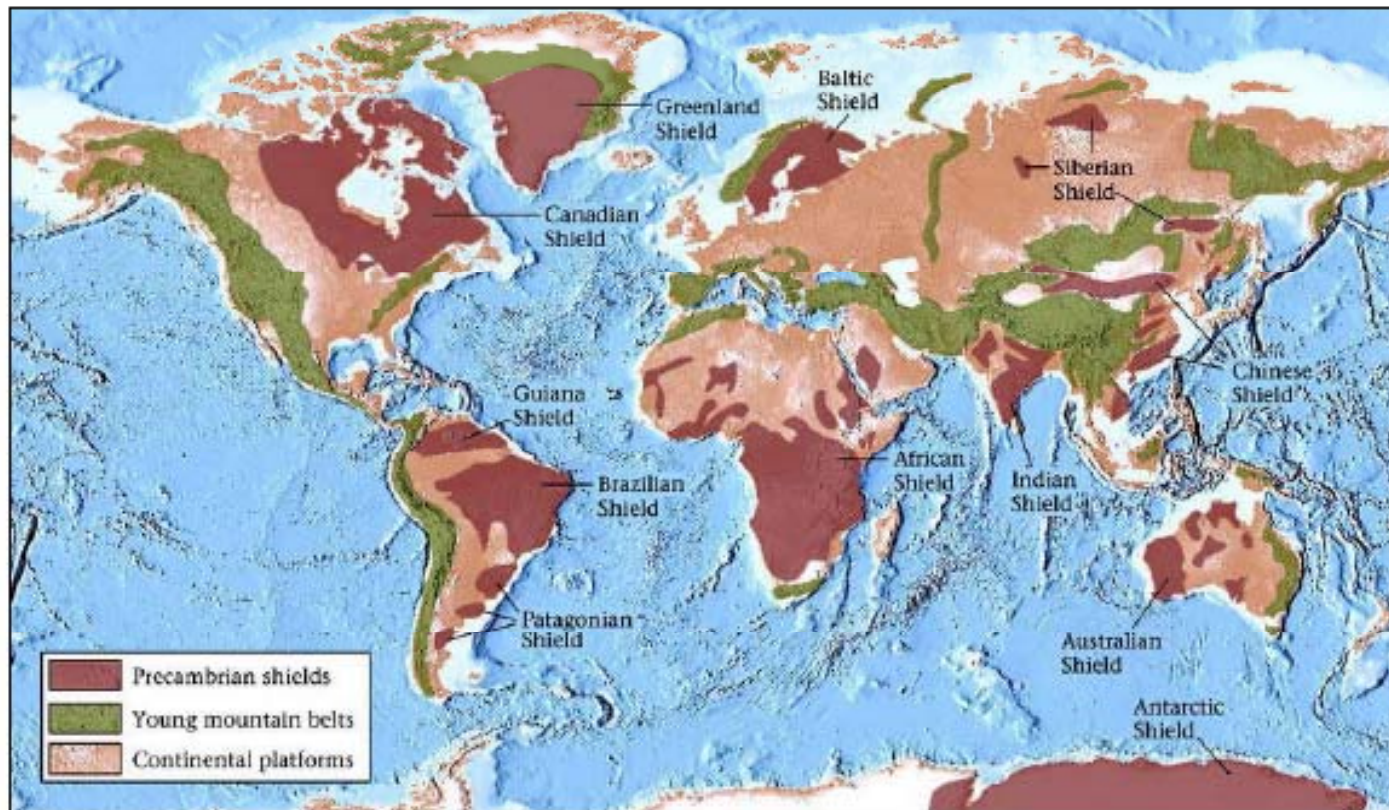
Fonte: Andrew Alden (2001)

Fonte: USGS

Fonte: Paul Browning

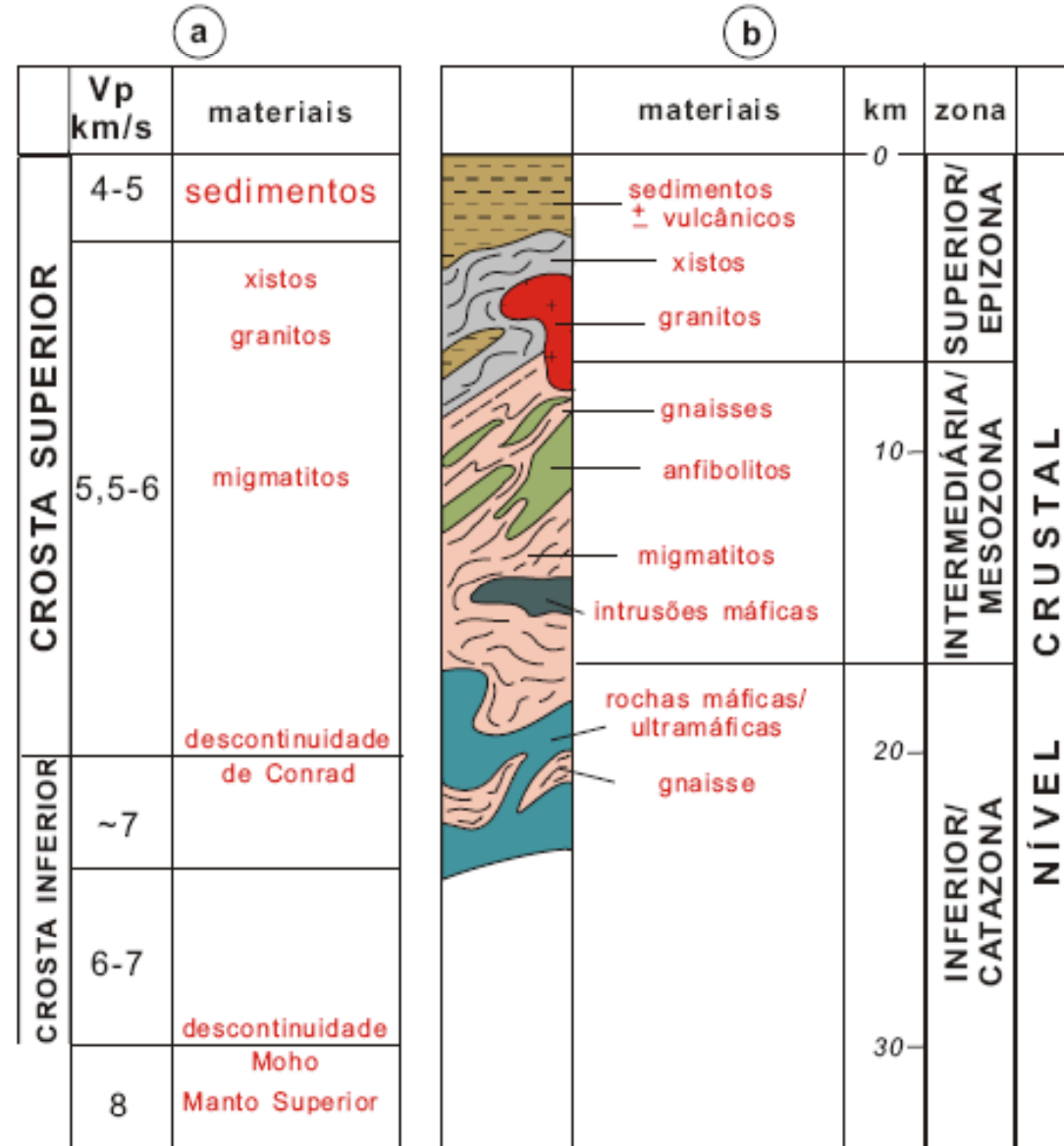
## ELEMENTOS DA CROSTA CONTINENTAL

- A crosta continental é caracterizada pela predominância de rochas quartzo-feldspáticas (daí também o nome ***crosta granítica***). Sua composição química média é semelhante à das rochas graníticas (daí o nome ***sial***).
- O termo **continente** é de uso corrente como sinônimo de ***crosta continental*** (igualmente o significado geológico/geofísico é diferente do geográfico). A história da Terra pode ser contada devido aos registros geológicos preservados na crosta continental.



Crosta Continental: divisão fundamental

- (a)** Crátons antigos formados por rochas ígneas e metamórficas de médio a alto grau ( $> 550$  ma)
- (b)** Cinturões de dobramentos e áreas pericratônicas relativamente estáveis
- (c)** Orógenos terciários ( $< 60$  ma)



**(a)** Estrutura da crosta continental em regiões cratônicas ou escudos.

**(b)** Estrutura da crosta continental sugerida pelas observações de seções crustais expostas.

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI -



km

0

5

10

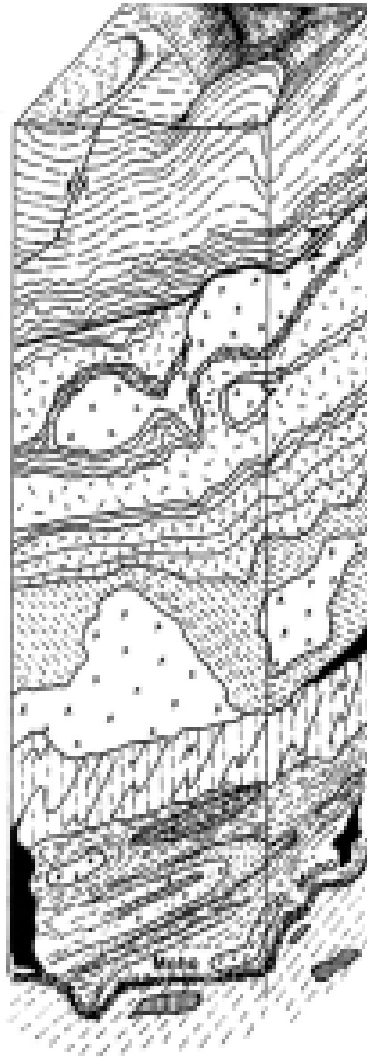
15

20

25

30

35



**Hidrotermalismo**

**Zeólita**

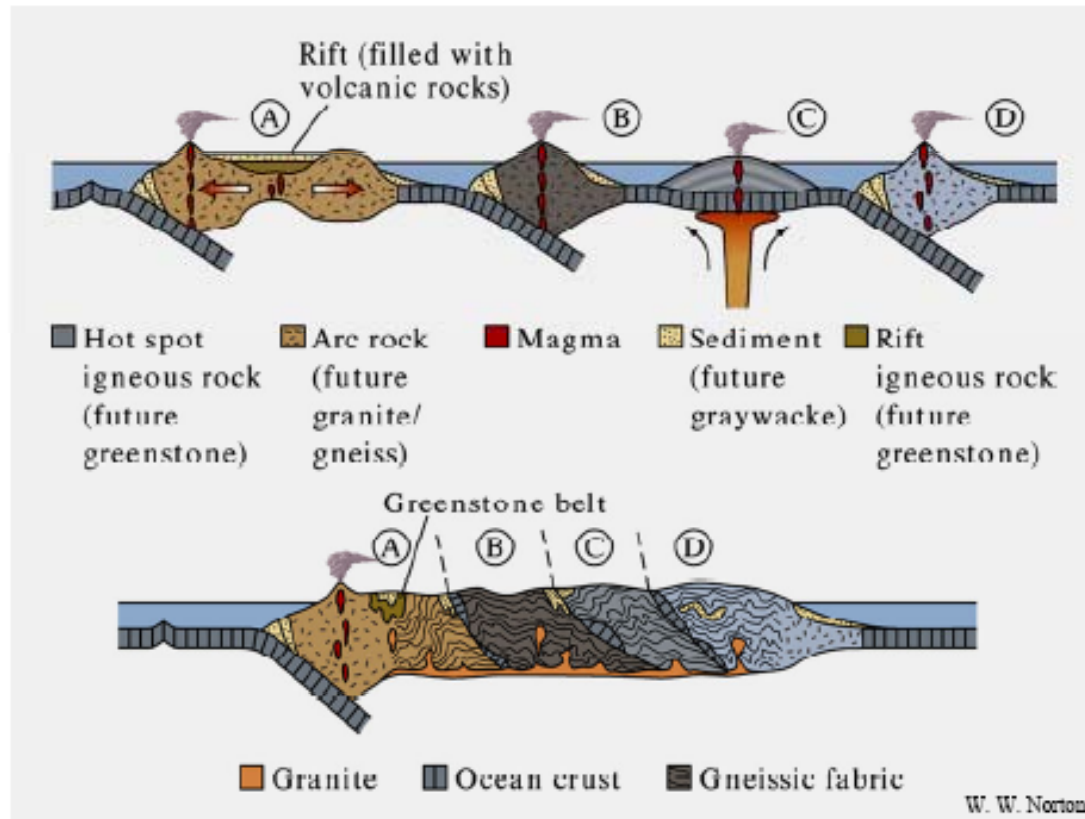
**Prehnita /  
pumpelyita**

**Xisto verde**

**Anfibolito**

**Granulito**

## Origem da crosta continental



(1) acresção em margens convergentes (arcos de ilha, platôs oceânicos, micro-continentes); (2) magmatismo intraplaca associado a plumas mantélicas (províncias basálticas e underplating)

- **Plataforma:** área continental estável, coberta por rochas sedimentares subhorizontais ou suavemente basculadas.

- **Elementos de Plataforma:**

Embasamento: geralmente metamórfico, dobrado e/ou cisalhado, com intrusões de idades diversas

Coberturas: manto sedimentar não metamórfico (ou anquimetamórfico), em discordância angular sobre o embasamento.

- **Cráton:** plataformas antigas.
- **Escudo:** área exposta do embasamento da plataforma.
- **Cinturões Orogenéticos:** cadeias de montanhas atuais e antigas.
- **Maciço:** exposição reduzida do embasamento (subdivisão de um escudo)
- **Maciço mediano:** bloco posicionado entre depressões. É limitado por falhas. Apresentam comportamento mais estável. Baixos intermontanos.





## MOVIMENTOS GEOTECTÔNICOS

- **Tectogênese:** dobramentos, falhamentos, metamorfismo e magmatismo.
- **Orogênese / Movimentos Orogenéticos** (*Oros* = montanha): movimentos rápidos positivos de grande amplitude que originam cadeias montanhosas.
- **Tecto-orogênese:** combinação de tectogênese mais orogênese.
- **Epirogênese:** arqueamento e deslocamento vertical da crosta.
  - (a) Deslocamentos positivos, ligados à erosão
  - (b) Deslocamentos negativos, ligados à sedimentação (interior ou costeira).

- **Diastrofismo:** engloba os movimentos da litosfera (verticais, horizontais, rápidos, lentos etc).
- **Movimentos Plicativos e Disjuntivos:** formação de dobras e falhas, respectivamente (Belousov 1962).
- **Tafrogênese** (*Tafros = fossa*): criação de grabens e horsts por falhas de gravidade (normais). Tectônica extensional.
- **Movimentos Oscilatórios:** movimentos verticais, reversíveis de velocidades e amplitudes variáveis.

Inclui a epirogênese, a orogênese e a subsidência (fase geossinclinal).



- **Paroxismo:** fase de tectonismo mais intenso de um ciclo (fase principal).
- **Fase Orogênica:** são deformações processadas **em** um intervalo de tempo definido.
- **Período orogênico:** são várias fases de deformação.
- **Fase de Deformação:** é o pulso em um ciclo de deformação
- **Ciclo Geológico:** subsidência inicial, geração de bacia (fase geossinclinal"), entulhamento progressivo, dobras e falhas, metamorfismo e
- Magmatismo, formação de cadeia

## CICLOS TECTÔNICOS

- São processos tectônicos sincrônicos de escala global.
- Há uma reorganização geral das megaestruturas geológicas e geomorfológicas em amplas porções da crosta continental

### CICLOS PALEOZÓICOS POR IDADE (Ga)

	Alpino	próx. 0,21
<b>Paleozóico</b>	Variscano	0,41 a 0,29
	Caledoniano	0,57 a 0,50

## CICLOS PROTEROZÓICOS POR IDADE (Ga)

	Vendiano (Ediacariano)	0,64 a 0,54
<b>Neoproterozóico</b>	Criogeniano	0,85 a 0,64
	Toniano	1,00 a 0,85
	Steniano	1,2 a 1,0
<b>Mesoproterozóico</b>	Ectasiano	1,4 a 1,2
	Calimiano	1,6 a 1,4
	Stateriano	1,8 a 1,6
<b>Paleoproterozóico</b>	Orosiniano	2,05 a 1,8
	Riaciano	2,3 a 2,05
	Sideriano	2,5 a 2,3

## PLACAS TECTÔNICAS ou LITOSFÉRICAS

- A litosfera acha-se fragmentada em diversas porções, que caracterizam as ***placas litosféricas*** ou, simplesmente, ***Placas***, as quais se movimentam continuamente. Utiliza-se o termo “movimento de corpo rígido”, mas que não implica que sejam rígidas e indeformadas, e sim que há menor deformação no interior das placas, em relação aos cinturões orogênicos, os quais apresentam formas mais ou menos lineares e onde há a maior parte deformação.