

## VIII – ESTRUTURA INTERNA DA GEOSFERA

- ✓ Relacionar o comportamento das ondas sísmicas com a existência de descontinuidades internas;
- ✓ Identificar descontinuidades Mohorovicic, descontinuidades Gutenberg e descontinuidades de Lehmann;
- ✓ Compreender que a Terra, estruturalmente, é constituída por camadas concêntricas;
- ✓ Relacionar o comportamento das ondas sísmicas com as diferentes camadas estruturas do globo terrestre.

# VIAGEM AO CENTRO DA TERRA, JÚLIO VERNE



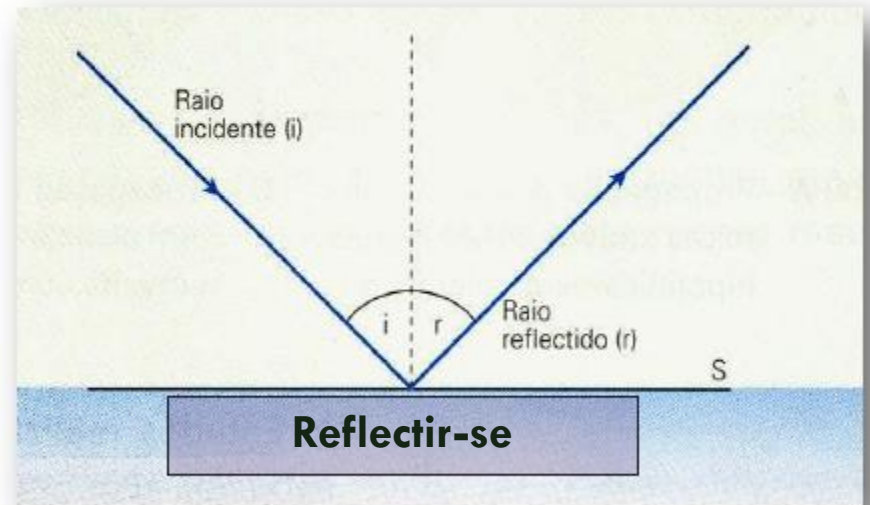
# PROPAGAÇÃO DE ONDAS

As ondas, no seu percurso através da Terra, podem experimentar desvios ou até serem absorvidas.

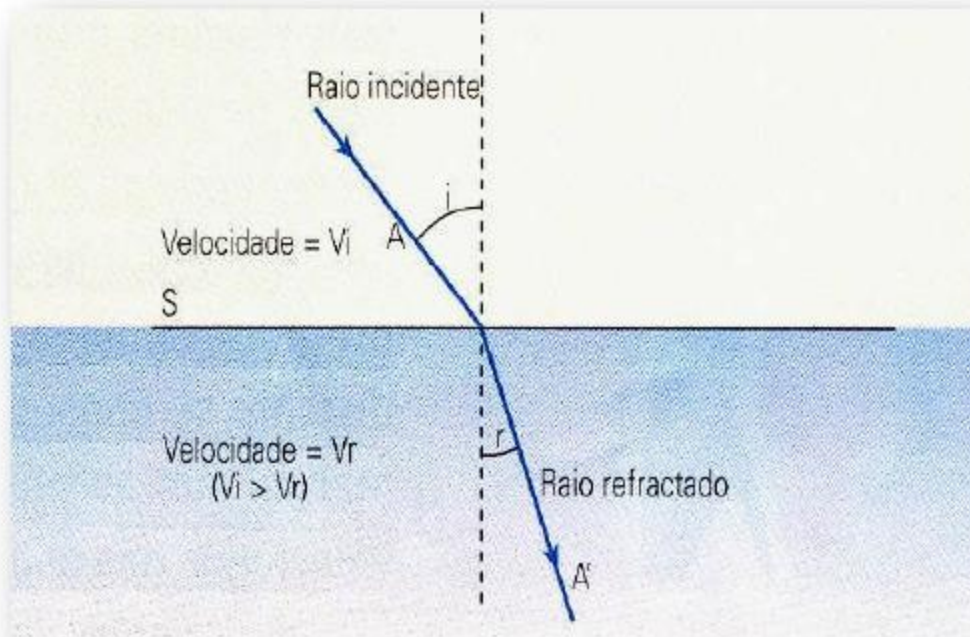


Significa que ocorrem mudanças na constituição ou nas características dos materiais que atravessam.

Assim, quando uma onda encontra uma superfície de separação entre materiais com características distintas pode sofrer duas mudanças:



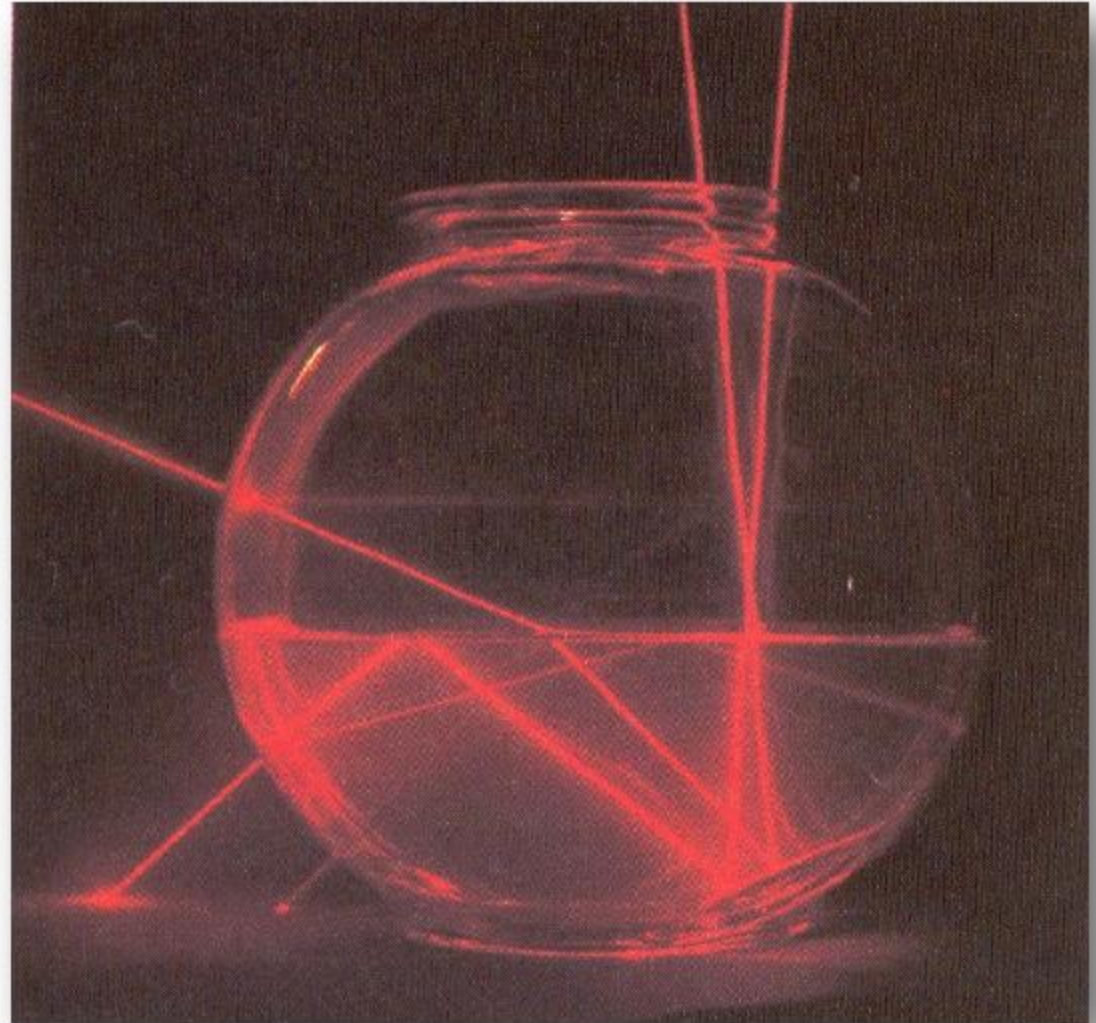
**Refractar-se:**



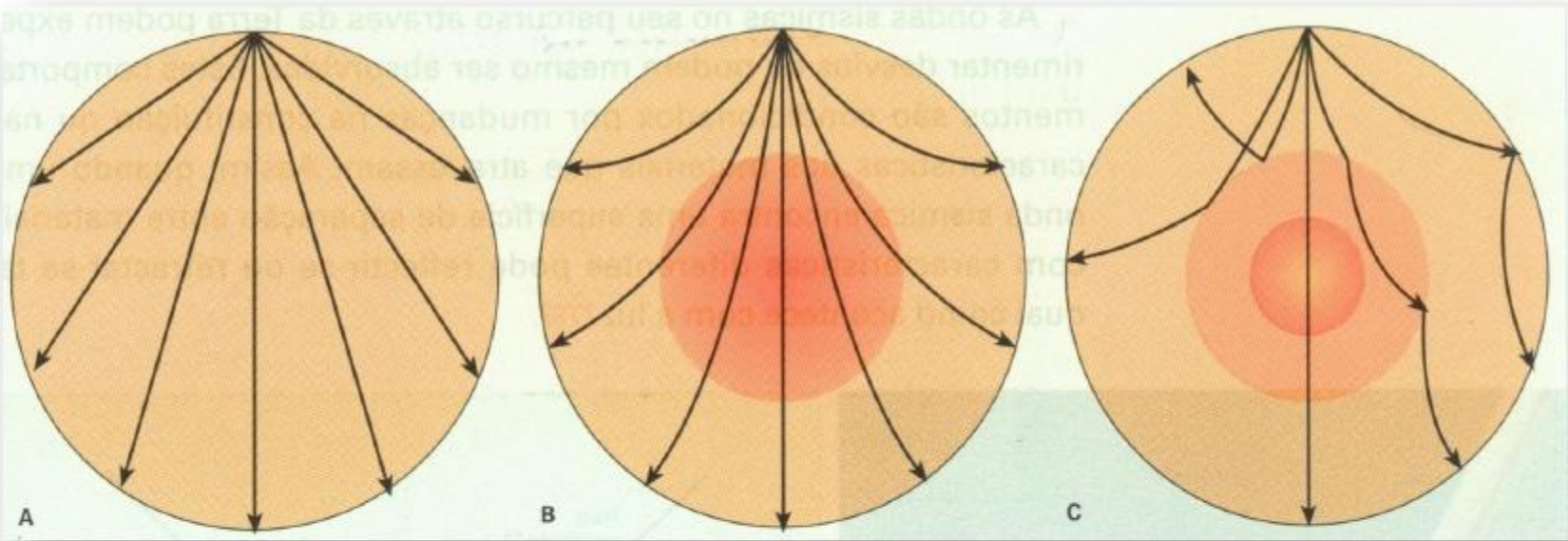
# PROPAGAÇÃO DE ONDAS



Refracções e Reflexões  
na interface ar-água



# PROPOGAÇÃO DE ONDAS



Propagação das ondas sísmicas através de um planeta hipoteticamente uniforme



Propagação das ondas sísmicas num planeta em que a velocidade aumenta com a profundidade



Algumas das trajetórias possíveis através da Terra real

# VELOCIDADE DAS ONDAS SÍSMICAS

Tal como o som e a luz, também as ondas sísmicas apresentam diferentes velocidades de propagação nos diferentes meios, em função das suas características.

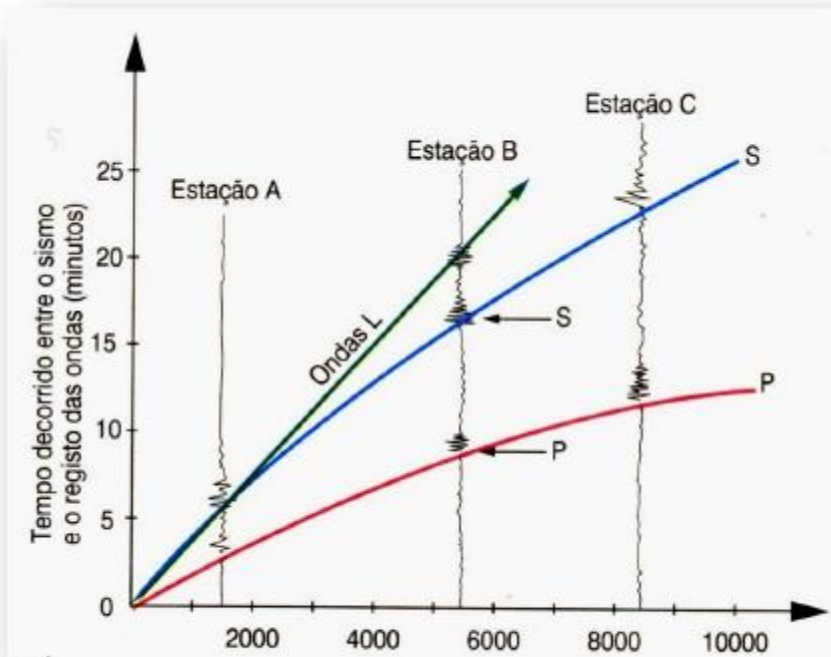
Conhecida a velocidade com que as ondas se propagam no interior da Terra, é possível desvendar a natureza da constituição terrestre.

Admite-se que a constituição e propriedades físicas dos materiais terrestres variam com a profundidade, condicionando assim a velocidade das ondas P e S.

Por isso, a hipótese colocada de uma Terra uniforme e homogénea foi excluída.

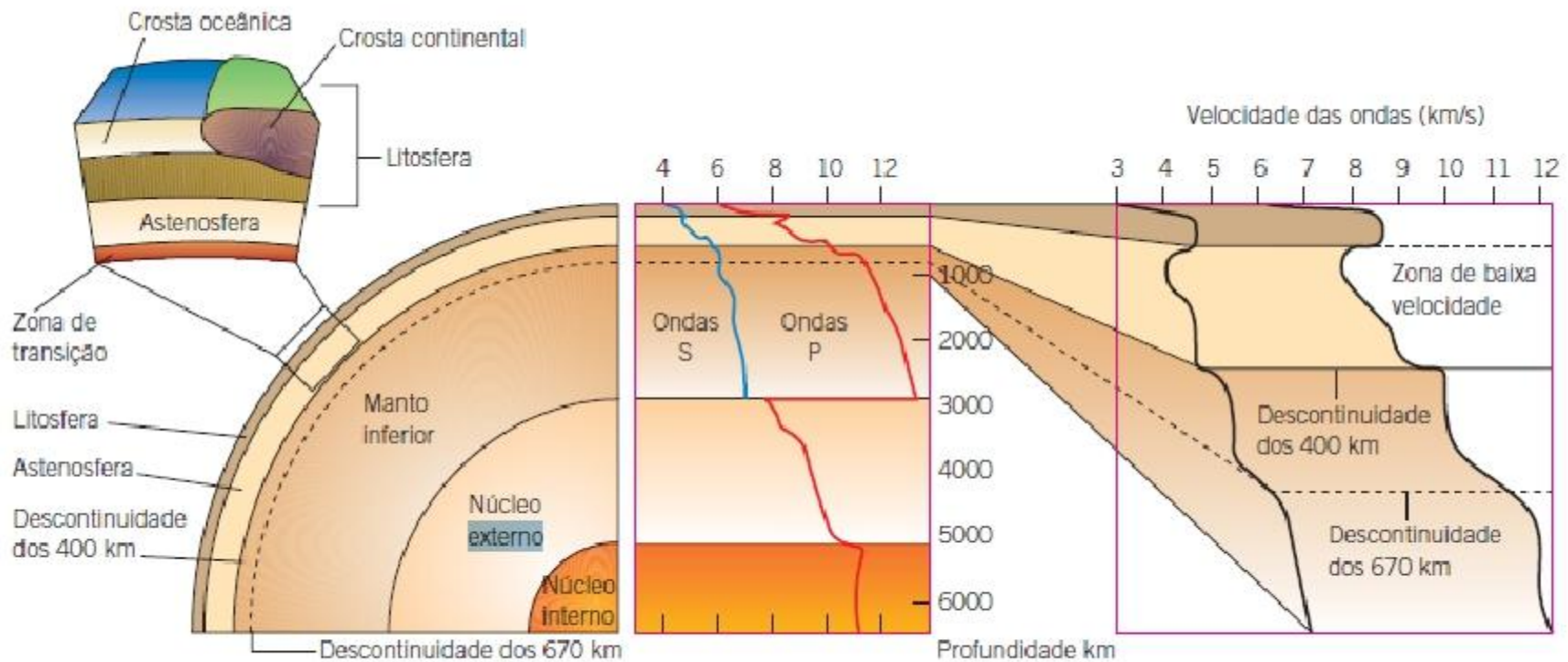
# VELOCIDADE / PROFUNDIDADE

Quanto maior for a distância epicentral maior será a profundidade atingida pelas ondas P e S.



Logo, maior é a velocidade média de propagação

# VELOCIDADE / PROFUNDIDADE



Varição da velocidade de propagação das ondas sísmicas interiores ( $V_p$  e  $V_s$ ), em função da profundidade.

# VELOCIDADE / DENSIDADE

A velocidade das ondas sísmicas aumenta com a rigidez e diminui com a densidade do material atravessado.

A densidade dos materiais terrestres aumenta com a profundidade.

## Velocidade das ondas sísmicas

Ondas P

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

Ondas S

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

k – Módulo de incompressibilidade (resistência à variação de volume)

$\rho$  – Densidade do meio

$\mu$  – Módulo de rigidez (resistência à deformação)

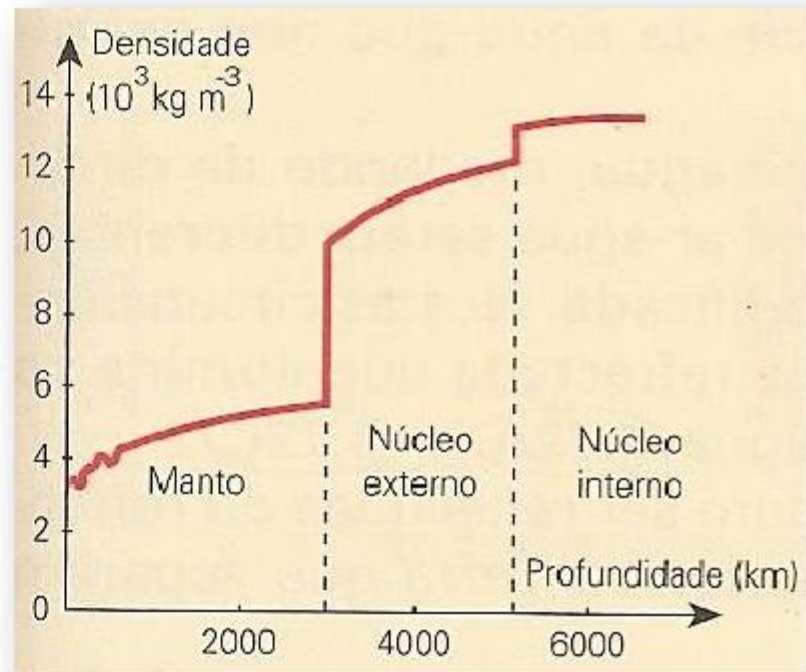
$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Se a velocidade das ondas sísmicas aumenta com profundidade.



A rigidez aumenta muito mais com a profundidade do que a densidade.



Quanto maior for a rigidez, maior é a velocidade com que as ondas P e S atravessam a rocha.

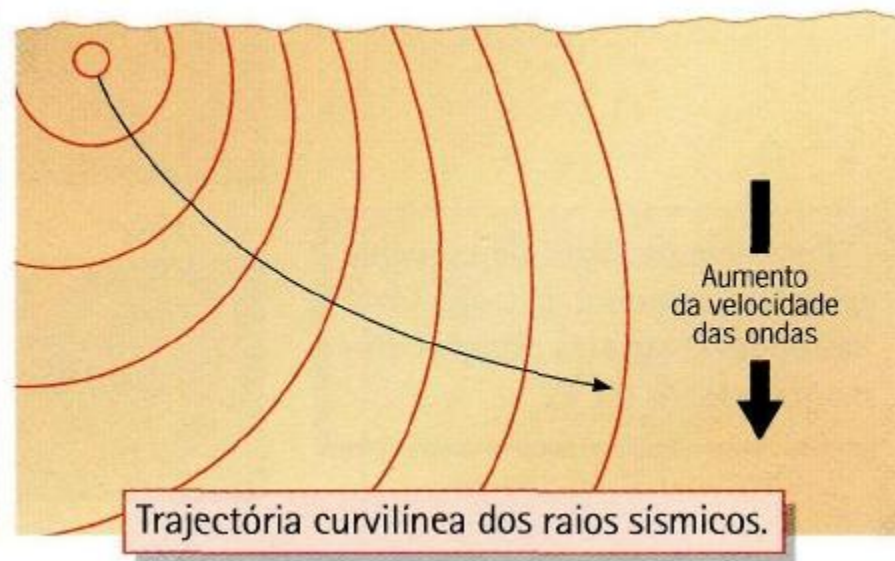
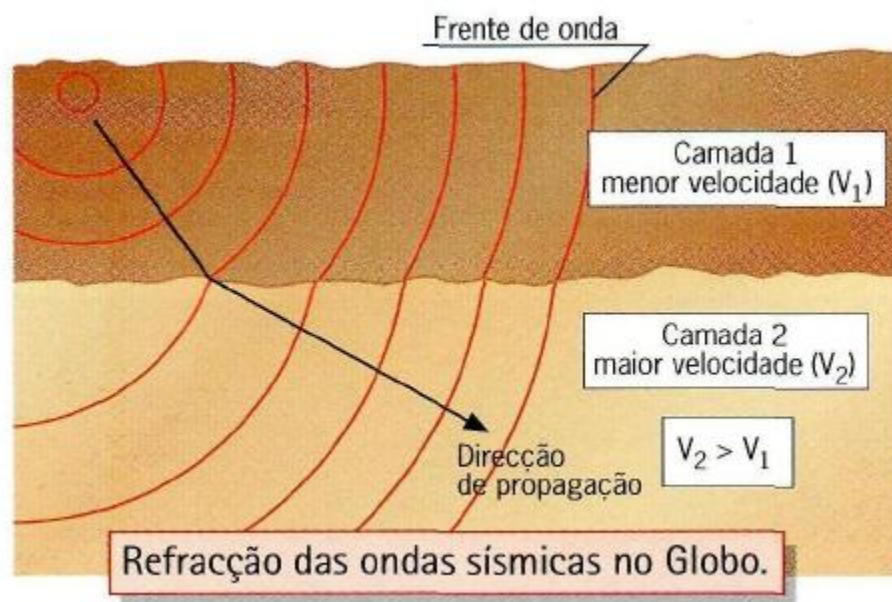
Na presença de materiais no estado líquido, a velocidade das ondas P é retardada.



Este meio não se deixa atravessar pelas ondas S.

# SUPERFÍCIES DE DESCONTINUIDADE

**Descontinuidade** – superfície de separação entre dois meios com características diferentes (composição química e propriedades físicas)



As ondas sísmicas podem ser reflectidas ou refractadas quando encontram superfícies no interior da Terra que separam materiais com diferentes características. É devido a refrações contínuas das ondas (com desvios na direcção e modificações na velocidade) que a sua trajetória não é rectilínea, mas sim arqueada na direcção da superfície (curvilínea).

# DESCONTINUIDADE DE MOHOROVICIC

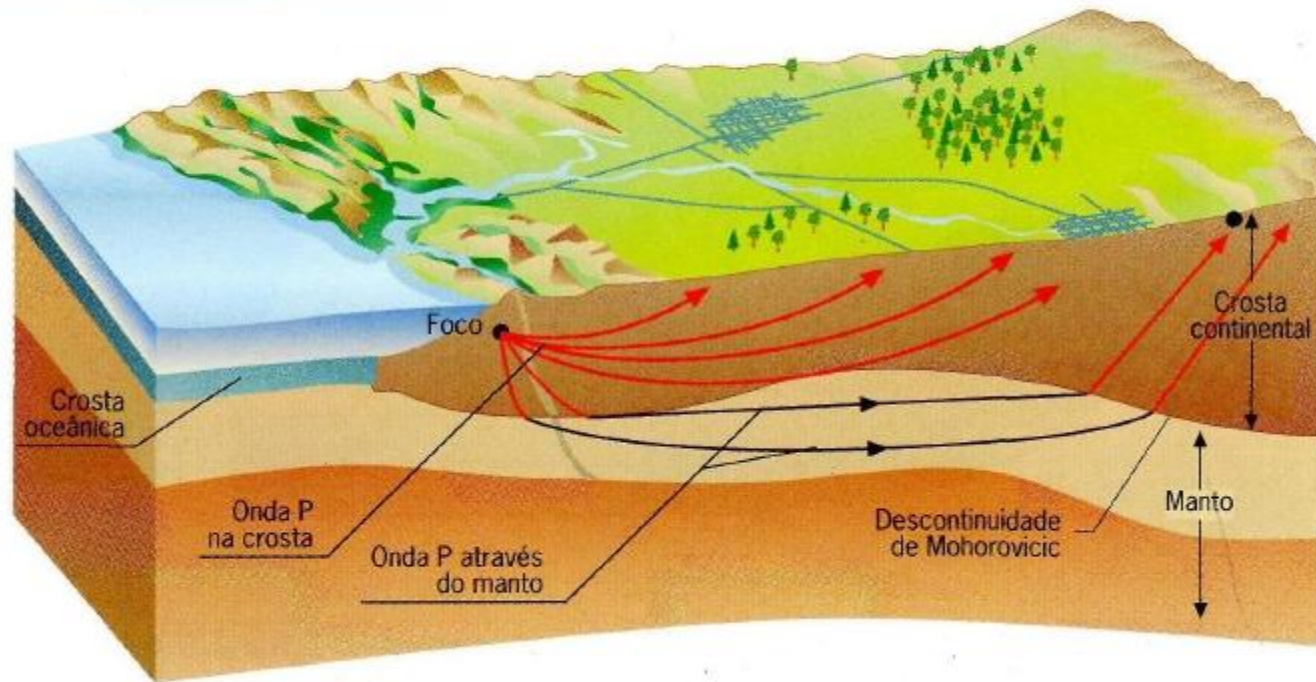
Nas estações muito próximas do epicentro, as ondas P e S directas chegam primeiro que as refractadas.

Em estações mais distantes, a hora de chegada dos dois tipos de onda é a mesma.

Nas estações que distam centenas de km do epicentro, registam-se primeiro as ondas refractadas.

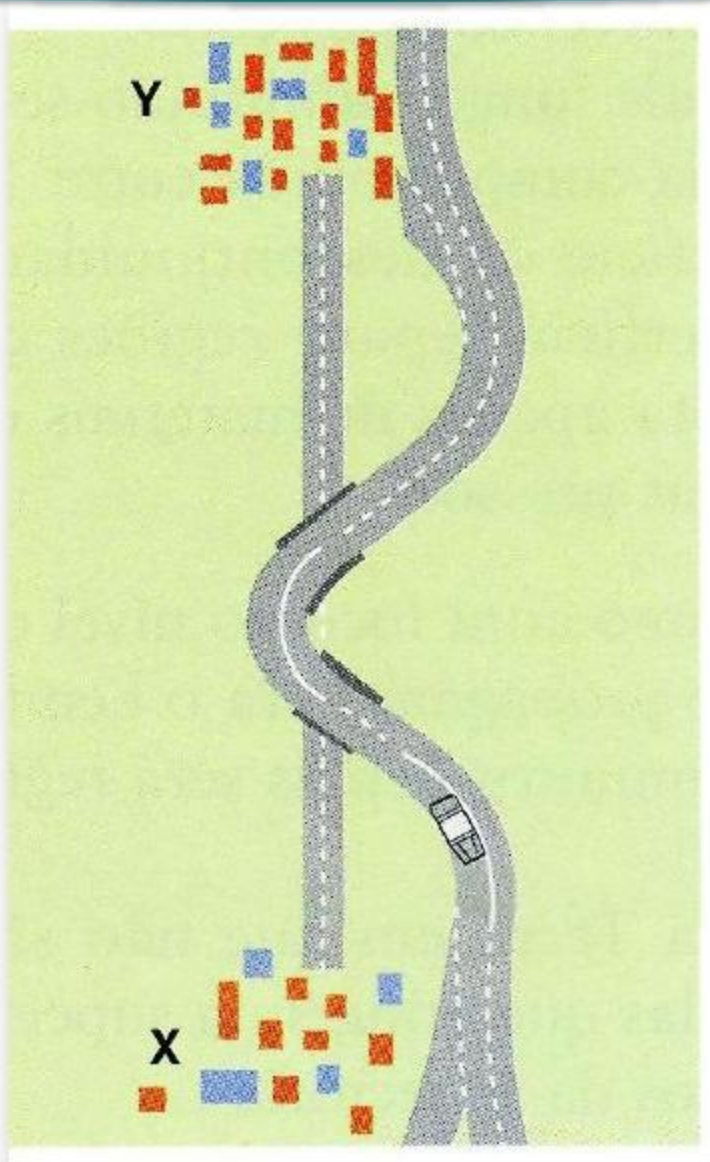


# DESCONTINUIDADE DE MOHOROVICIC



As ondas P que se refractam no manto aumentam a sua velocidade, de 6 km/s (na crosta) para 8 km/s, o que denuncia uma composição distinta.

A superfície de descontinuidade, existente no interior da Terra, que separa a crosta do manto (35 a 40 Km nas zonas continentais) designa-se por superfície de descontinuidade de Mohorovicic, Moho ou simplesmente M.

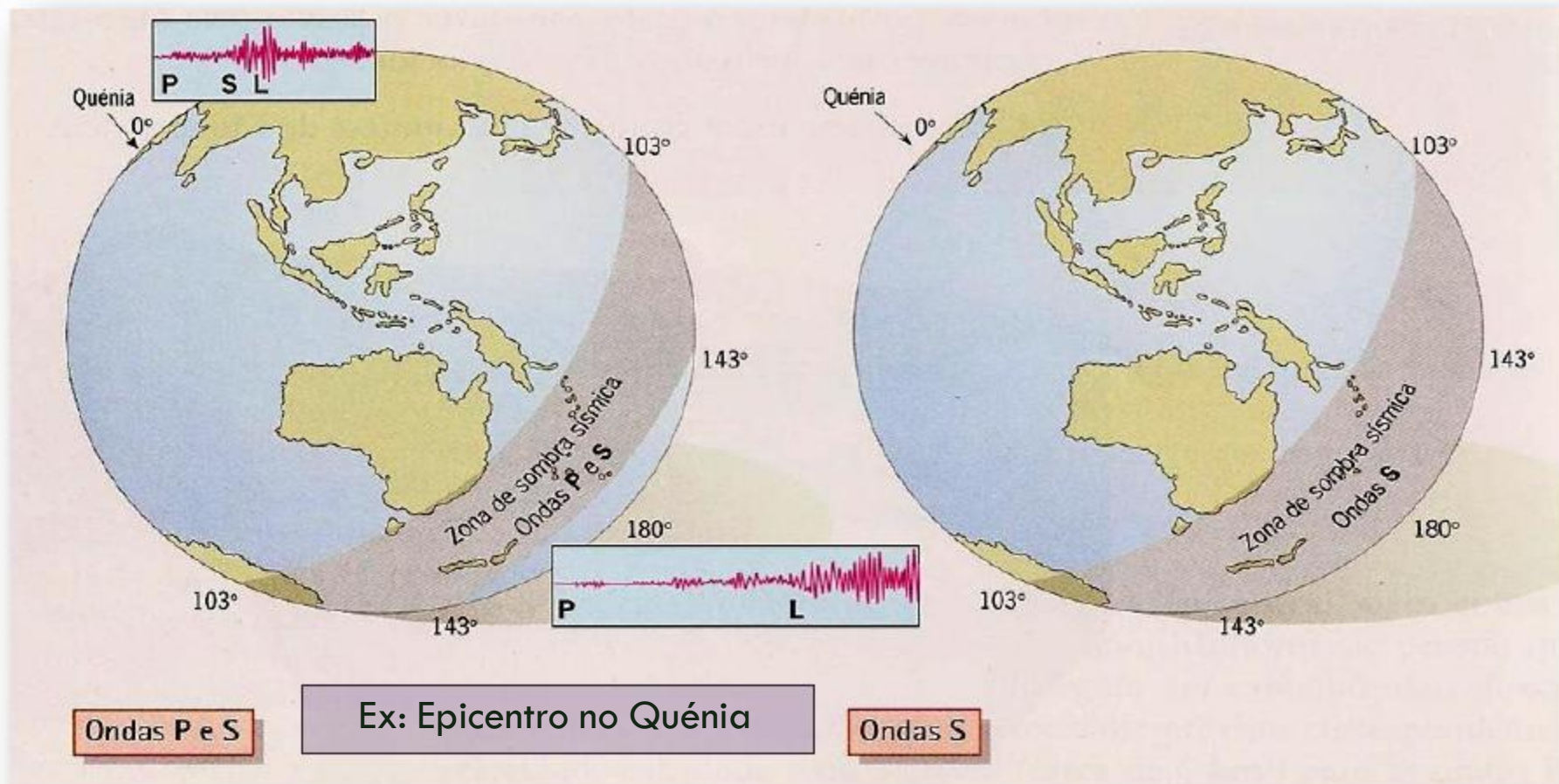


Percorrer uma maior distância pode ser compensador quando se pode atingir uma maior velocidade.



# ZONA DE SOMBRA

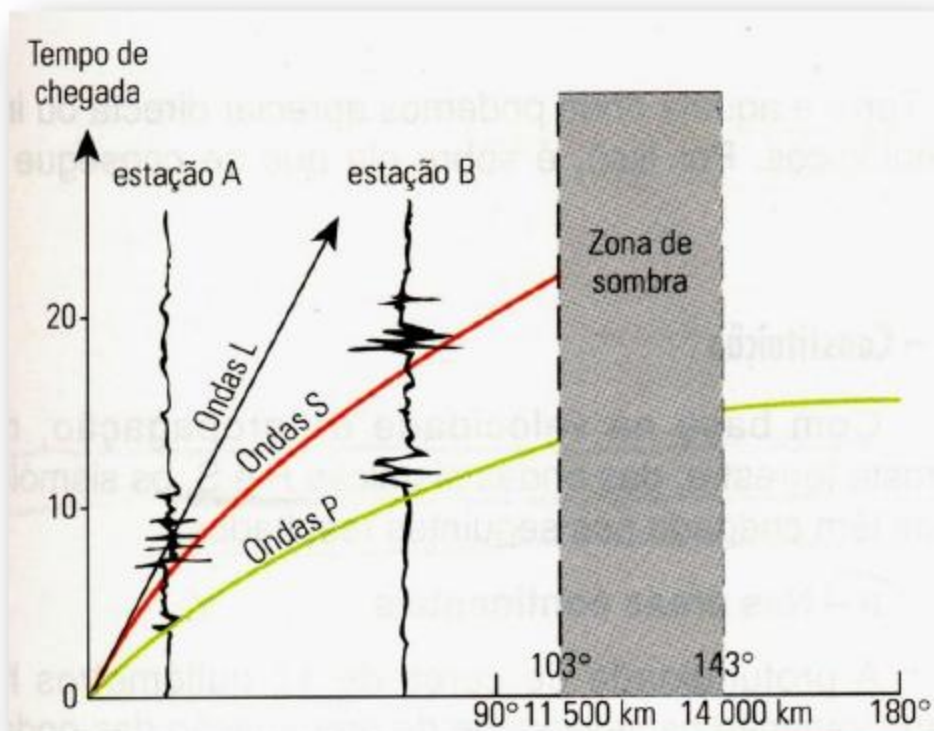
Qualquer estação sismográfica que esteja, em relação ao epicentro, a uma distância compreendida entre os 103° (11459 Km) e os 143° (15798 Km) não registra nem ondas P nem ondas S – zona de sombra.



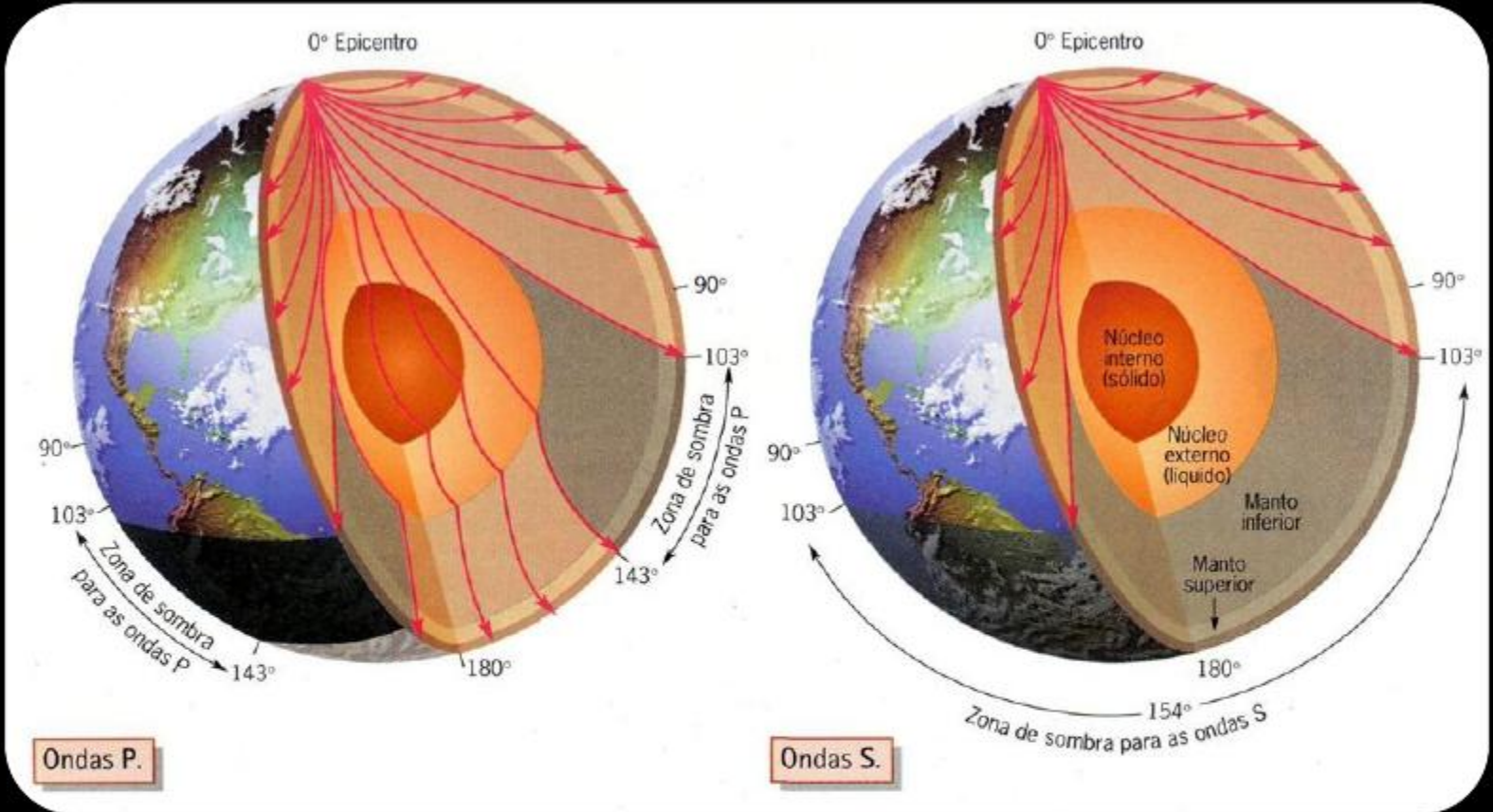
# ZONA DE SOMBRA

As estações localizadas até aos  $103^\circ$  registam a chegada das ondas P e S nos horários previstos.

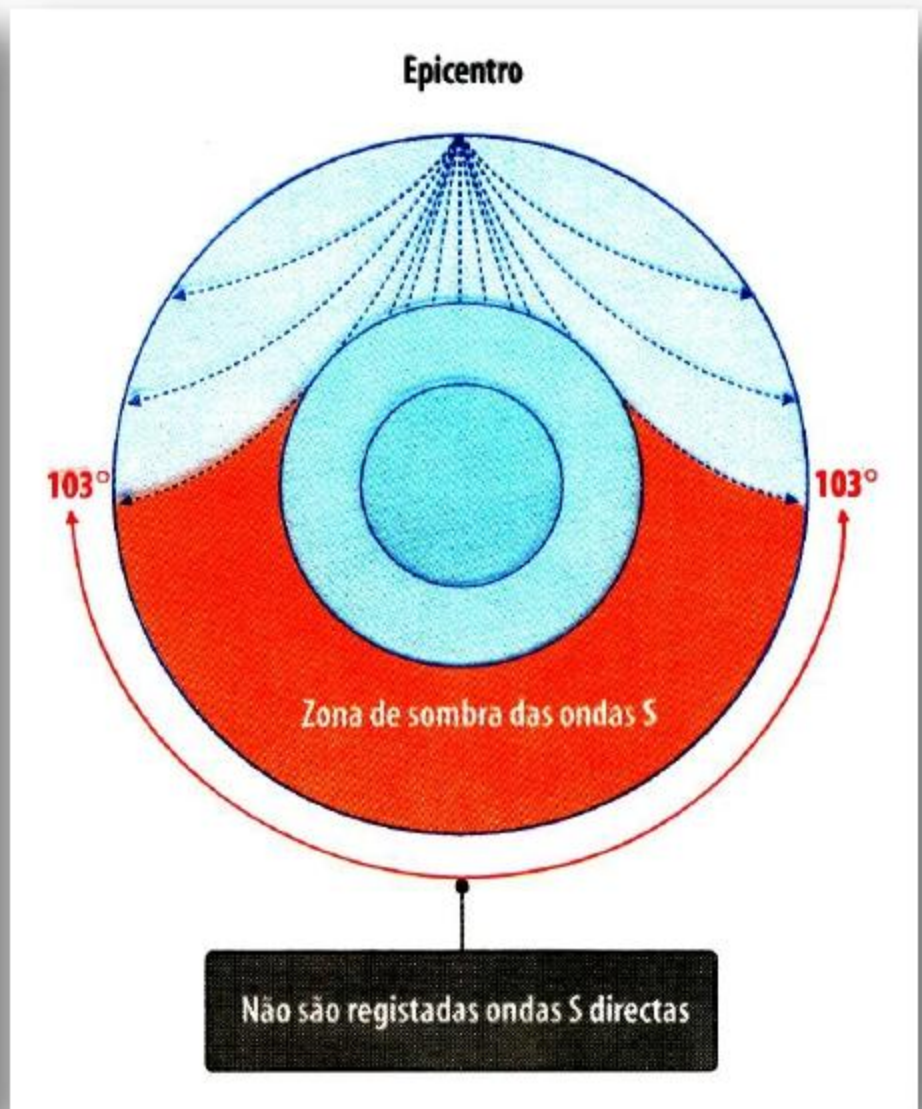
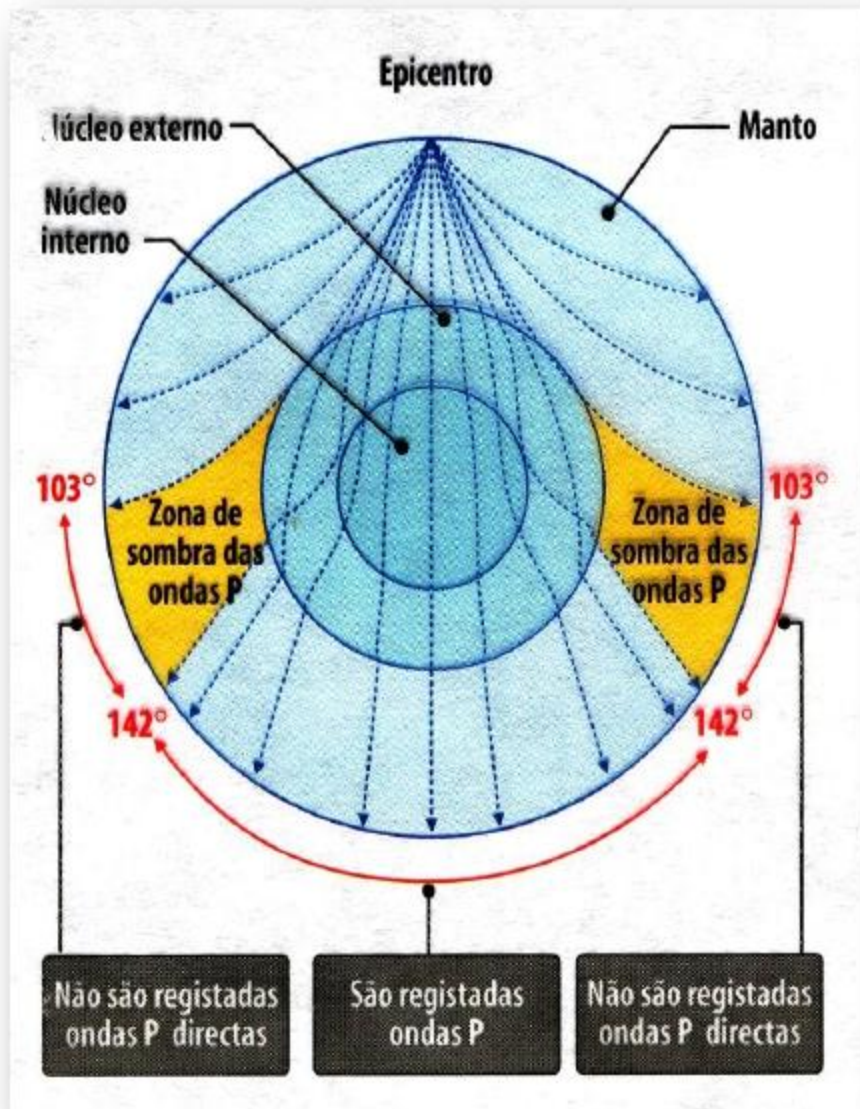
As estações localizadas para além dos  $143^\circ$  não registam a chegada das ondas S, e as ondas P são registadas com atraso relativamente ao tempo previsto.



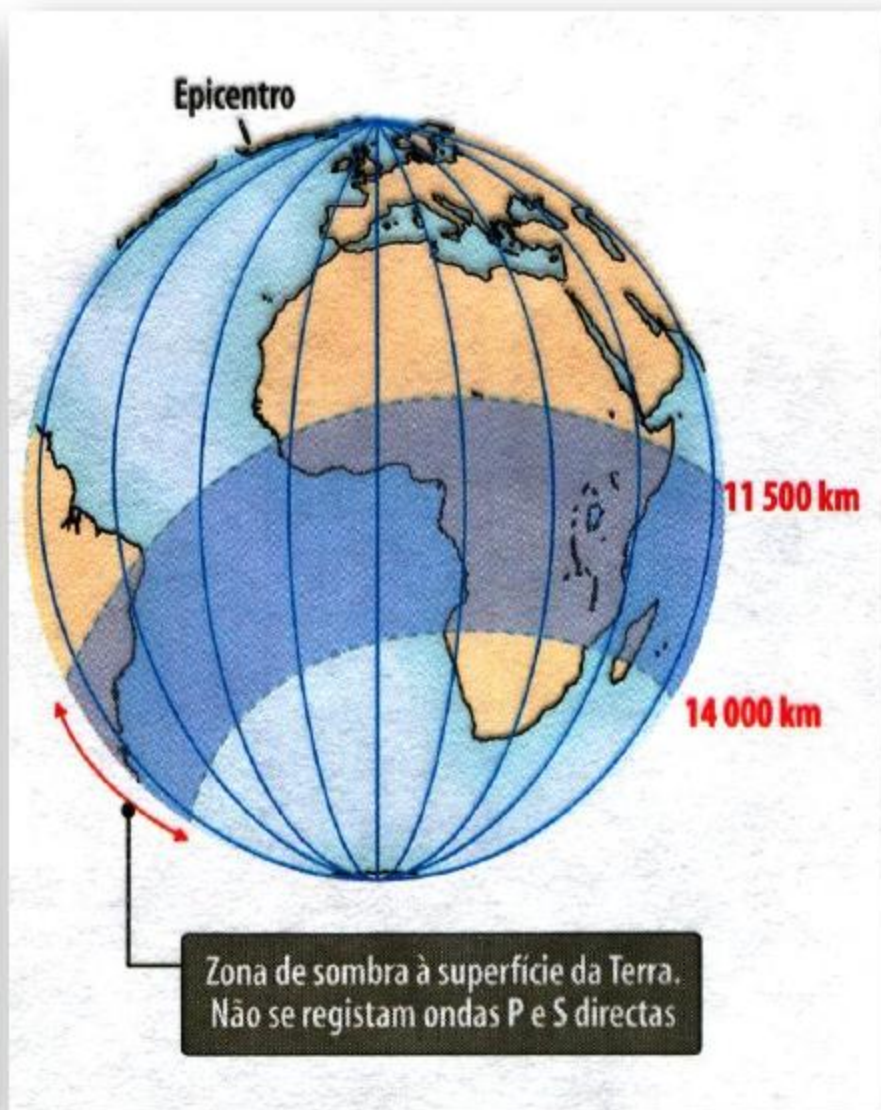
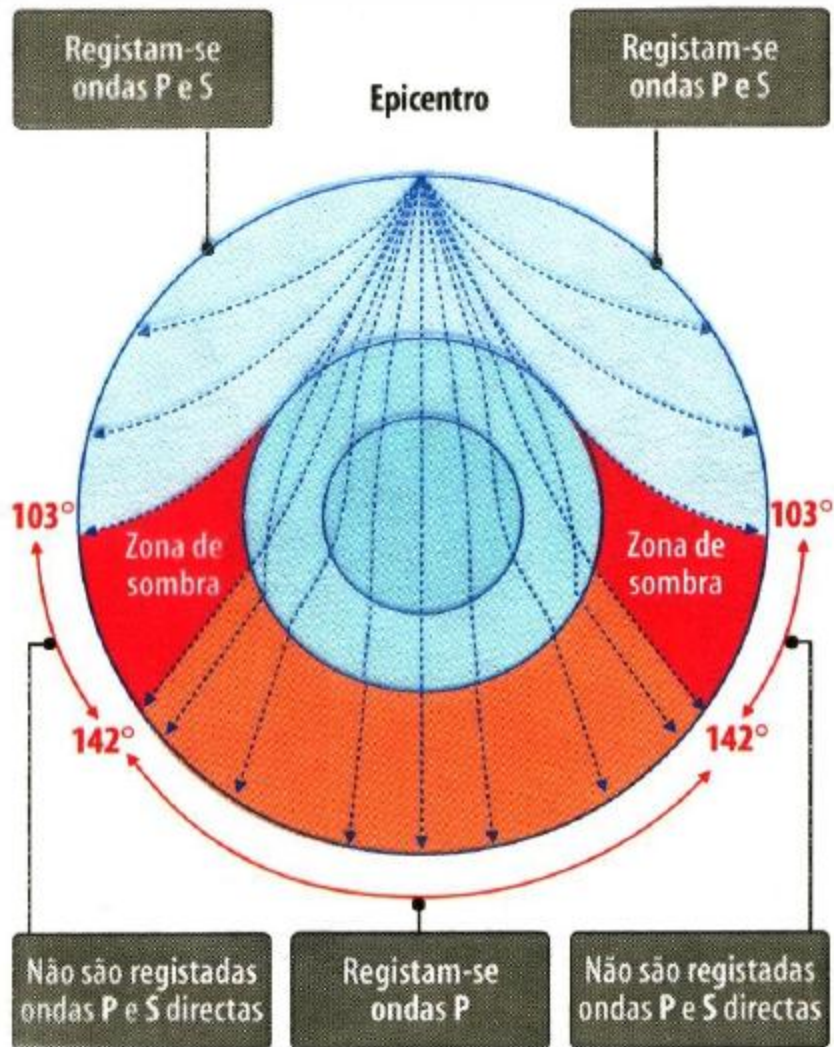
# ZONA DE SOMBRA

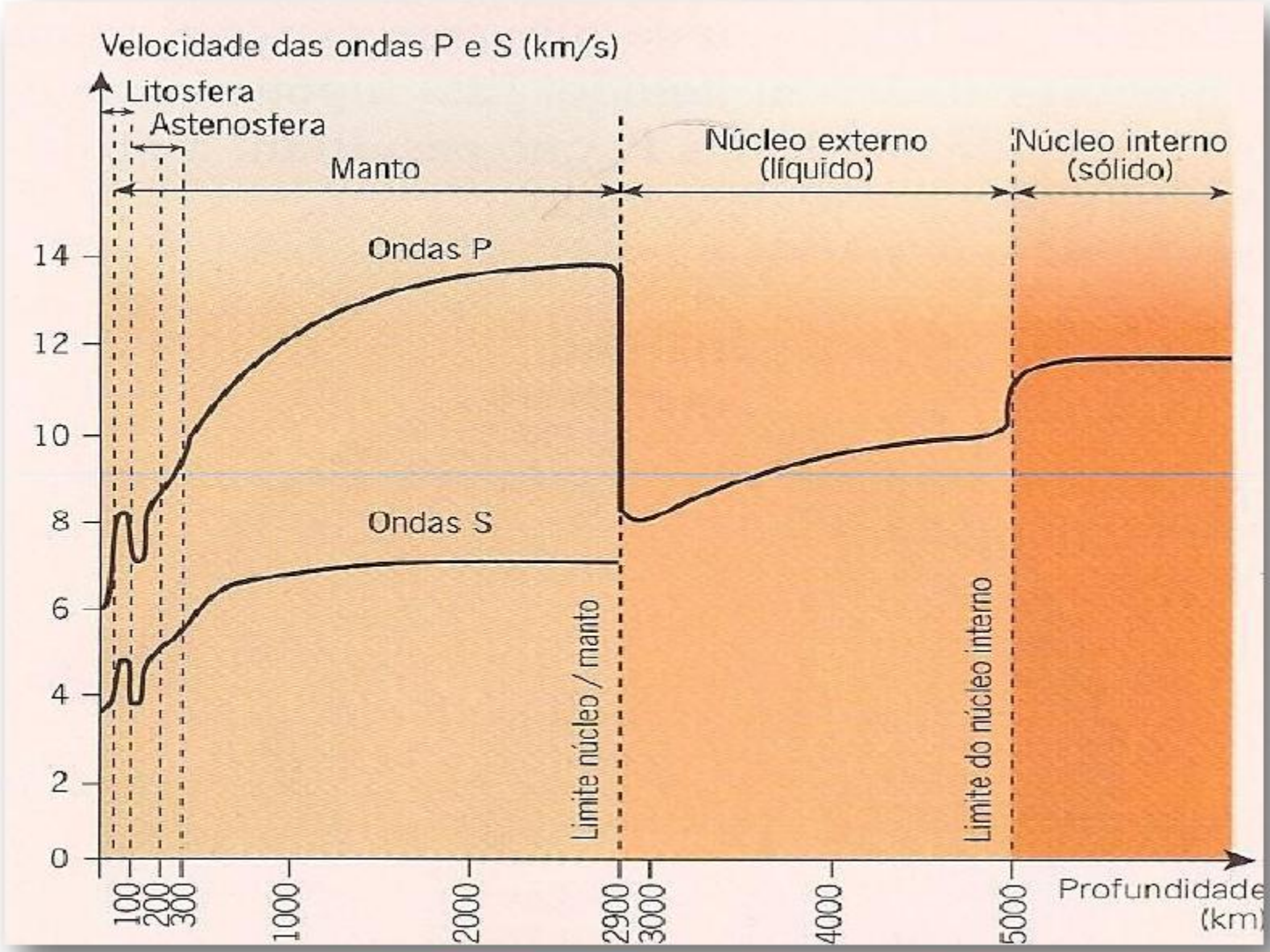


# ZONA DE SOMBRA



# ZONA DE SOMBRA





# DESCONTINUIDADE DE GUTENBERG

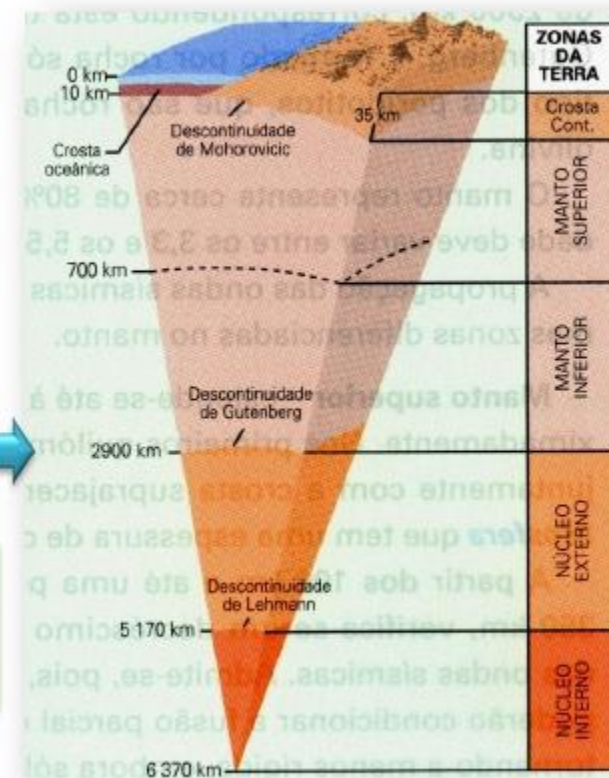
À profundidade de 2900 km:

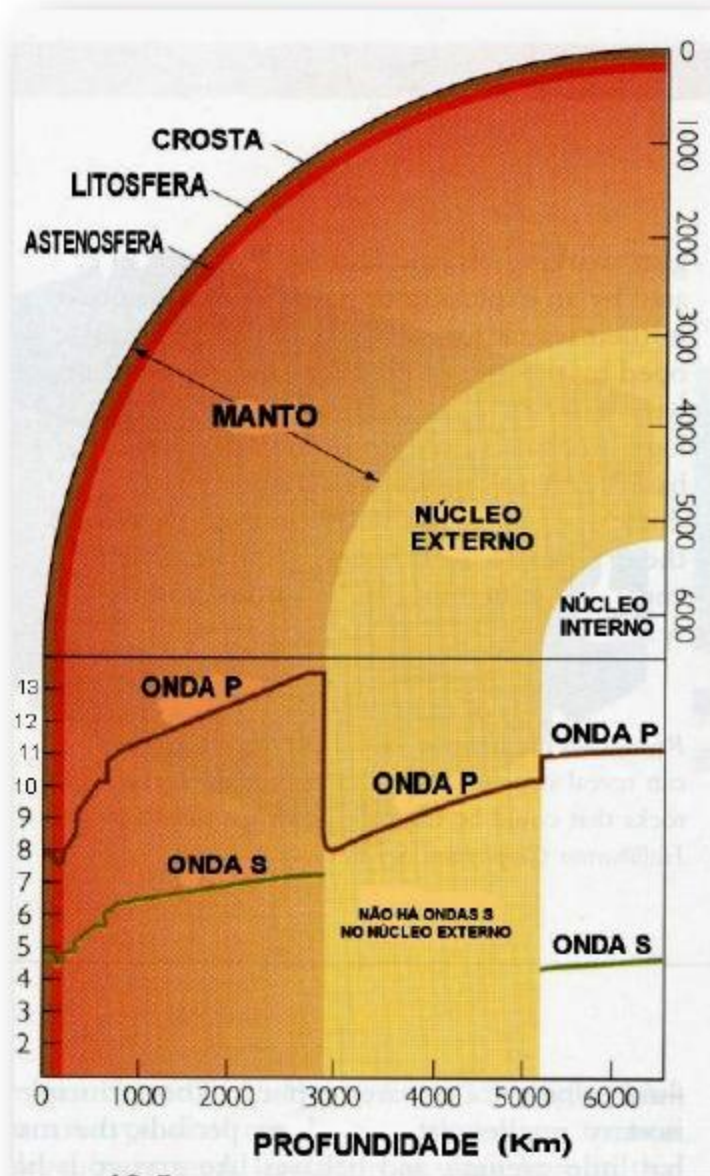
A velocidade das ondas P diminui : 14 km/s para 8 km/s

Deixa de haver propagação das ondas S



Há uma superfície de descontinuidade aos 2900 Km – separa o manto do núcleo externo – Descontinuidade de Gutenberg



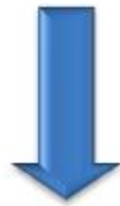


Dados geofísicos sugerem que o núcleo externo é mais denso do que o manto e constituído por ferro e níquel – hipótese baseada também em parte na análise de meteoritos.

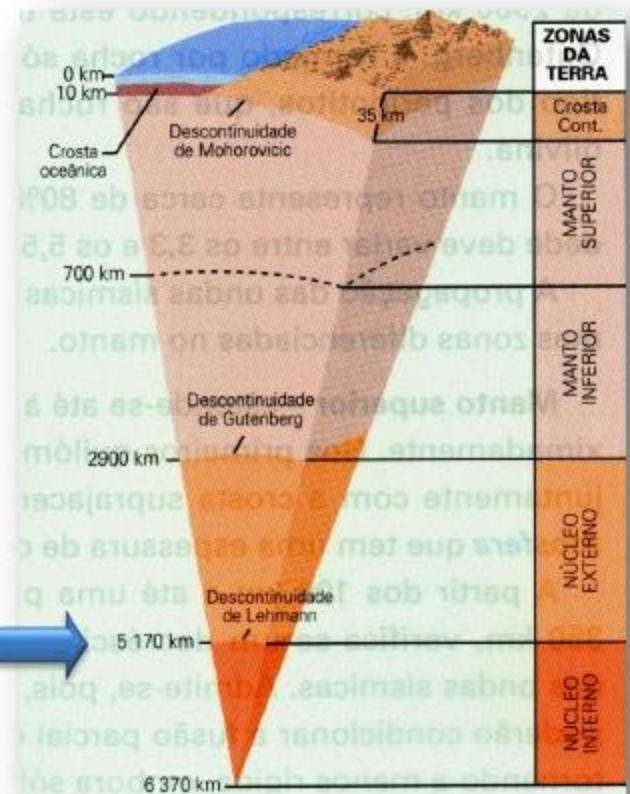
O núcleo externo deve ser líquido (ferro e níquel em fusão) uma vez que as ondas S não se propagam e as ondas P diminuem a sua velocidade.

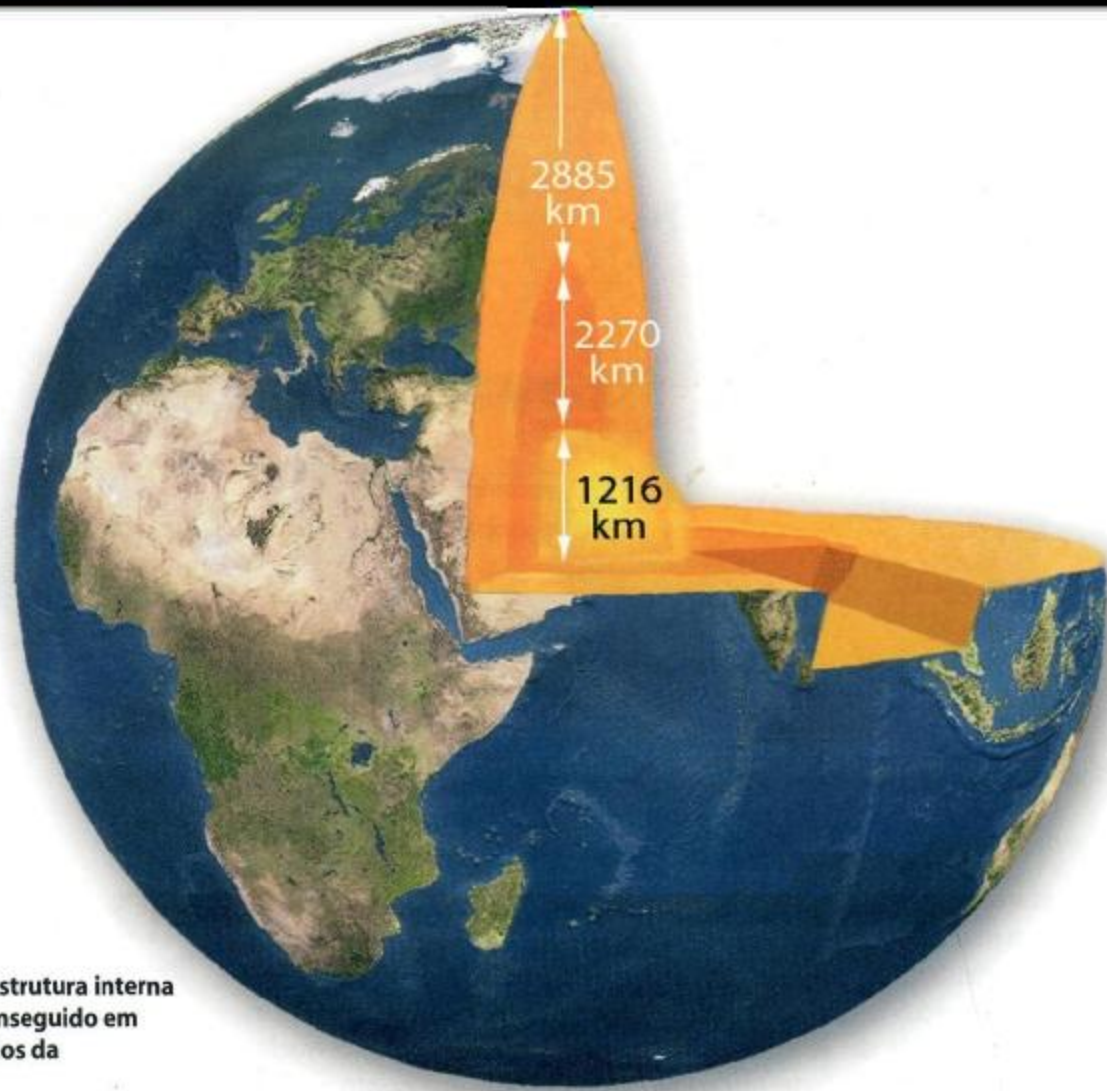
# DESCONTINUIDADE DE WIECHERT / LEHMANN

A cerca de 5150 Km de profundidade verifica-se uma variação importante na velocidade das ondas P – volta a aumentar – o que assinala uma nova superfície de descontinuidade.



Separa núcleo interno do núcleo externo

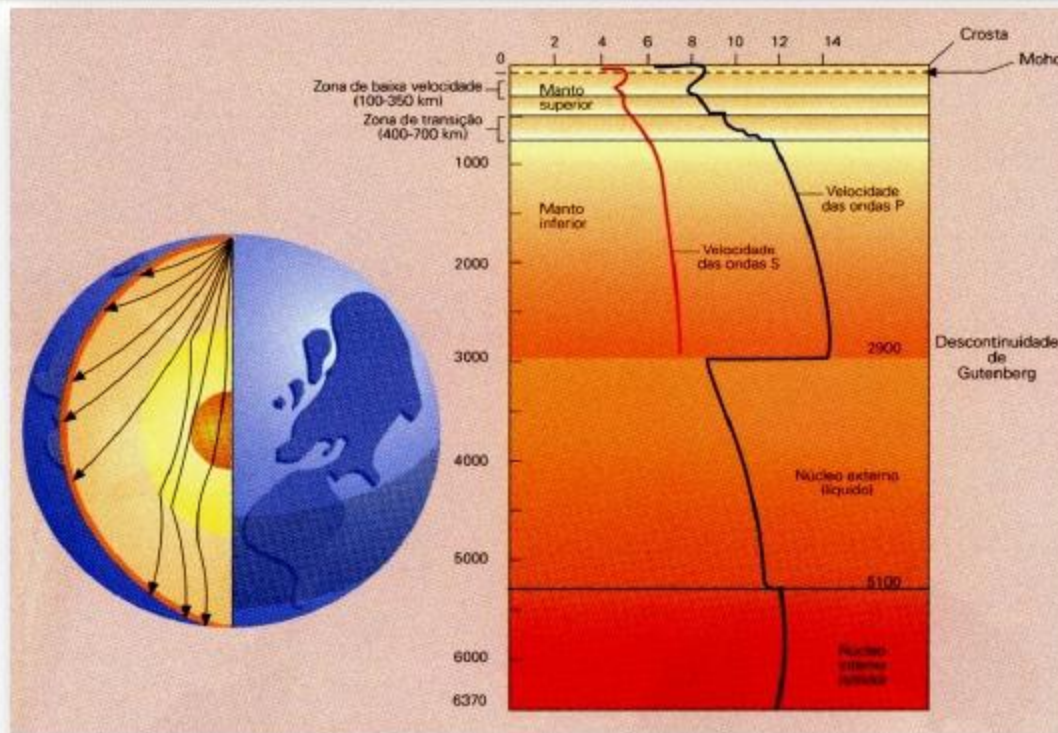




**38** Modelo da estrutura interna da Geosfera, conseguido em parte pelos dados da Sismologia.

Apesar da natureza geológica dos núcleos externo e interno ser a mesma, as condições físicas de ambos já não o são.

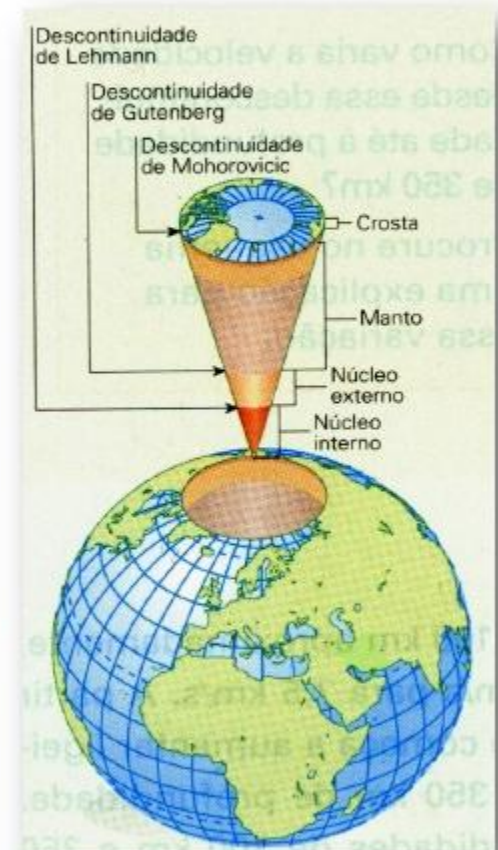
Núcleo interno: sólido, porque a velocidade das ondas que se propagam até estações situadas a  $180^\circ$  do epicentro e nas suas proximidades é maior do que a prevista para um núcleo totalmente líquido.



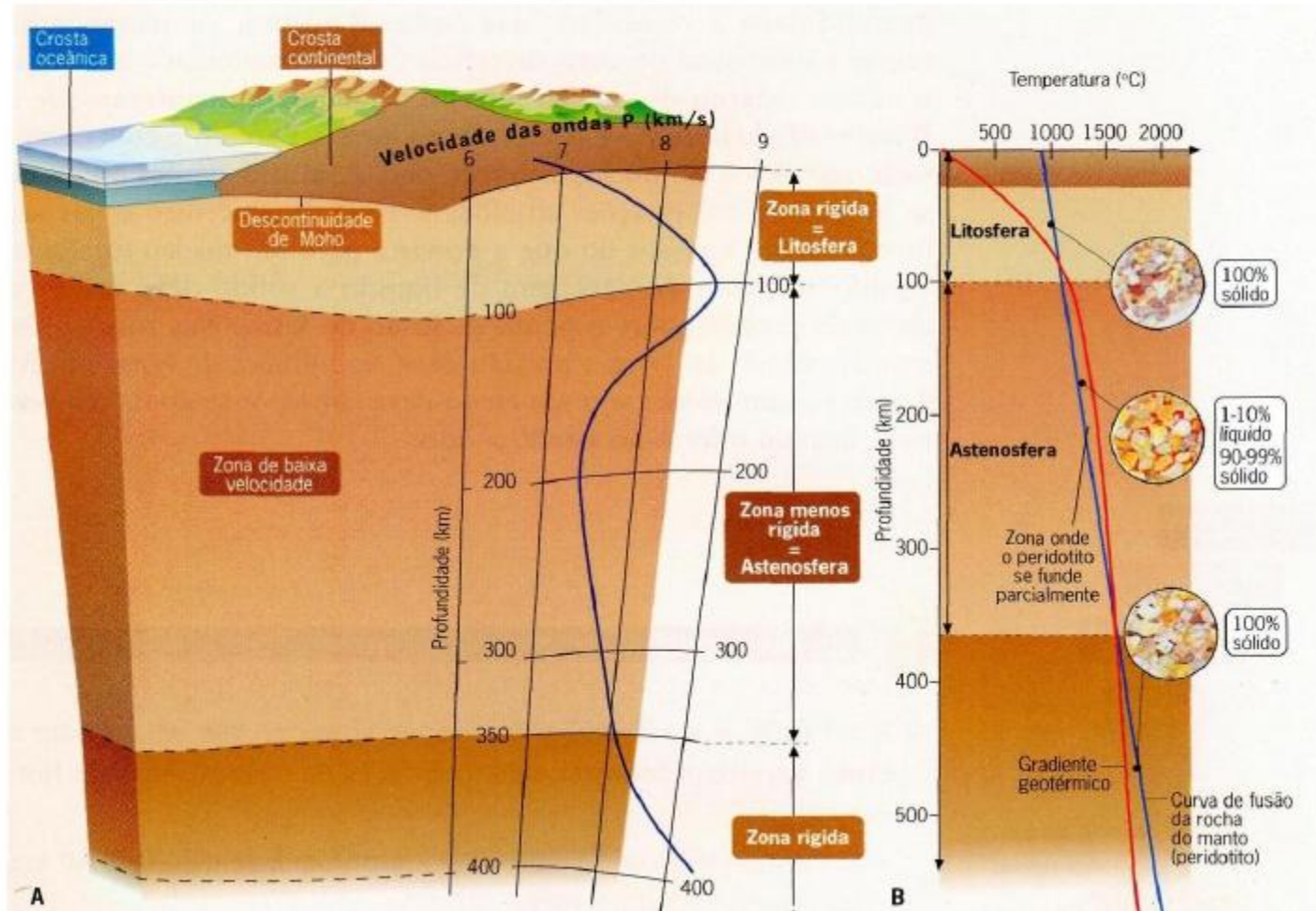
# DESCONTINUIDADES

A reflexão e refração das ondas sísmicas que atravessam o Globo, ondas P e S, permitem delimitar três superfícies de descontinuidade:

D.MOHOROVICIC	20Km	Crosta/Manto
D.GUTENBERG	2900Km	Manto/Núcleoexterno
D.WIECHERT/ LEHMANN	5150Km	Núcleoexterno/Núcleo interno



# ZONA DE BAIXA VELOCIDADE



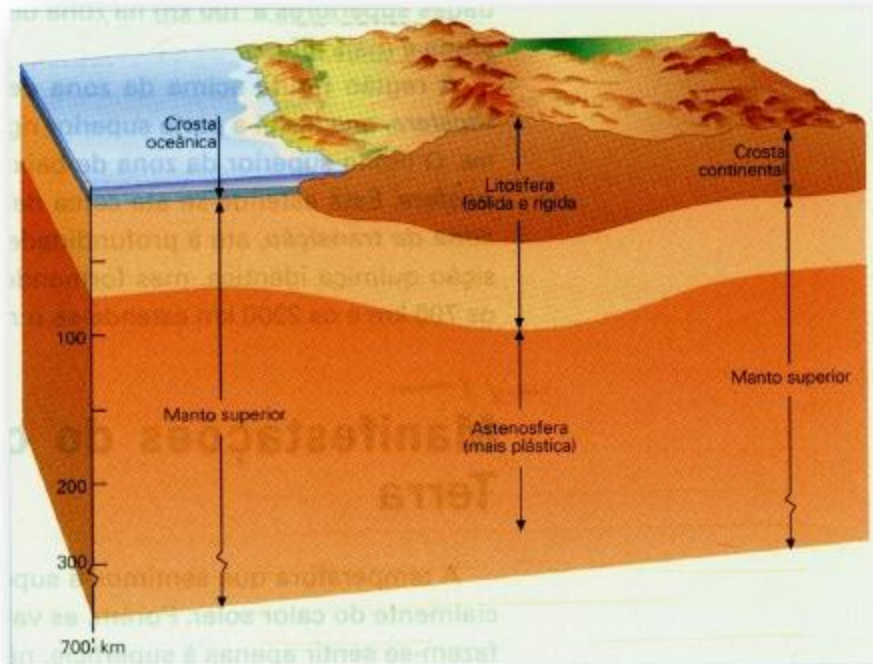
Entre os 100 e os 250/350 Km de profundidade – astenosfera – as ondas P e S registam uma diminuição de velocidade – zona de baixa velocidade.

# ZONA DE BAIXA VELOCIDADE

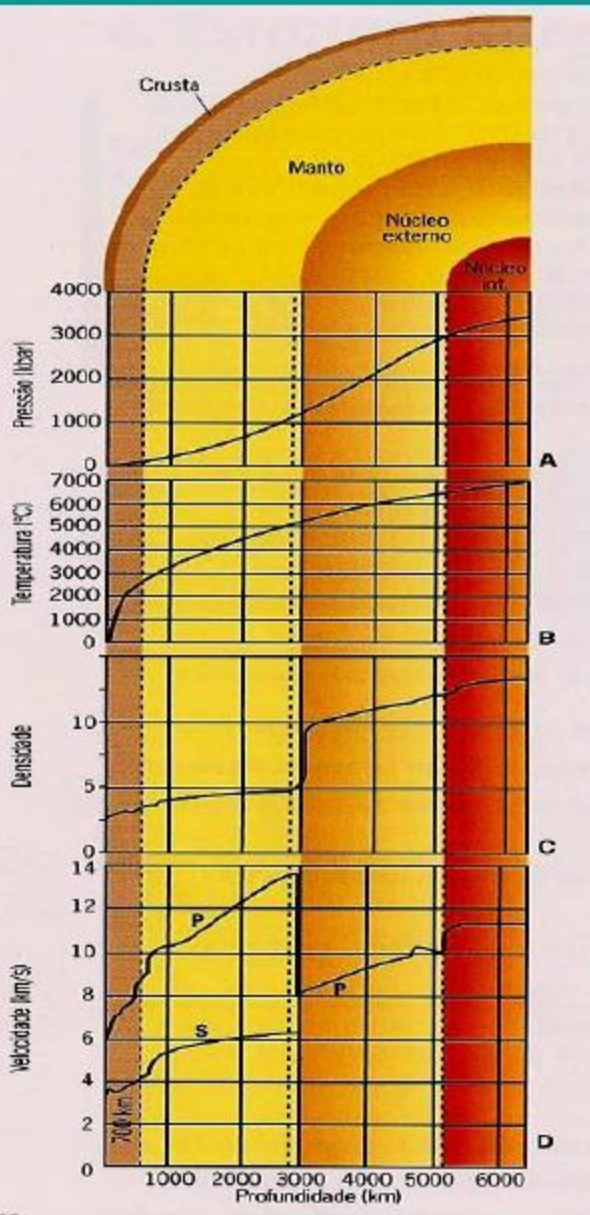
Na zona de baixa velocidade, as características físicas dos materiais devem ser bastante distintas das outras zonas do manto.



Talvez viscosa (mais plástica), que corresponderá a 1 % de material fundido



A partir dos 350 km de profundidade a velocidade das ondas P e S volta a aumentar até aos 2900 km.



A pressão aumenta com a profundidade (gradiente geobárico). A Pressão altera a estrutura dos minerais (ficam mais densos e faz subir o seu ponto de fusão)



A temperatura aumenta com a profundidade (gradiente geotérmico).



A densidade aumenta com a profundidade



A velocidade das ondas sísmicas varia consoante a profundidade, sendo condicionada pela natureza e estado físico dos materiais.



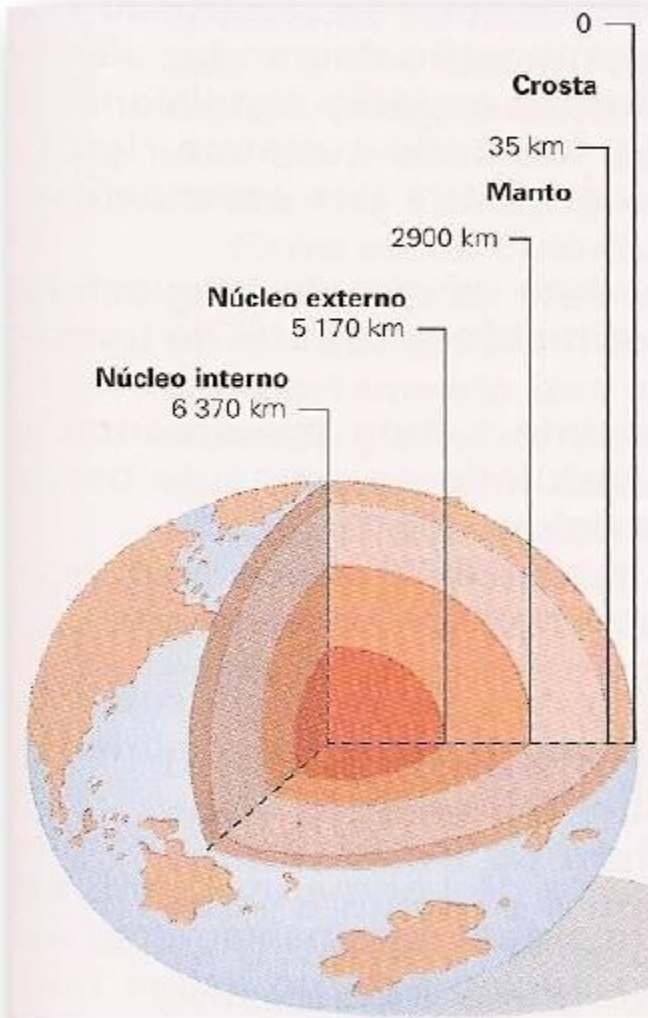
# MODELOS DA ESTRUTURA INTERNA DA TERRA

**MODELO QUÍMICO /  
GEOQUÍMICO** – com base na  
composição química.

**MODELO FÍSICO** – com base  
nas propriedades físicas dos  
materiais.



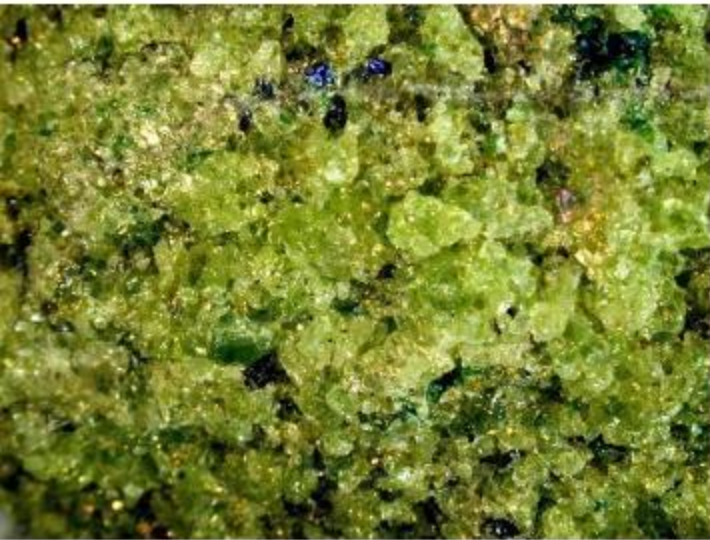
Existem 3 Unidades Estruturais: Crusta / Crosta; Manto e Núcleo.



Crusta – zona superficial da Terra. Subdivide-se em :

✿ Crusta continental – natureza granítica; também com rochas metamórficas e sedimentares; 20 a 40 Km de espessura (70 Km nas cadeias montanhosas ); idade – rochas até 3800/3900 M.a; Alguns investigadores admitem a existência de uma crosta continental superior e outra inferior separadas pela descontinuidade de Conrad (aos 20 Km de profundidade). Densidade média de 2,7.

✿ **Crusta oceânica** – 5 a 10 Km de espessura; natureza sobretudo basáltica; idade – inferior a 200 M.a. Densidade média de 3,0.



Manto – vai desde a base da crosta até 2900 Km / 2883 Km de profundidade; ocupa 80 % do volume da Terra; formado por rochas do tipo peridotito (com minerais ferromagnesianos). Subdivide-se em:

\* **Manto superior** – até 660 / 700 Km de profundidade; rochas constituídas por peridotito, com minerais olivinas (que fundem parcialmente cerca de 1% de fusão) e piroxenas. Densidade média de 3,3.

\* **Manto inferior** – desde 660 / 700 Km até 2883 / 2900 Km de profundidade. Rochas com minerais mais densos, como a perovskite.

Existência da zona de transição entre os 100 e 350 Km, na qual se verificam transformações dos minerais piroxena e olivina. Densidade média de 5,5.





Núcleo – situado entre os 2891 e os 6371 Km; formado por ferro e níquel (98%) e alguns sulfuretos.

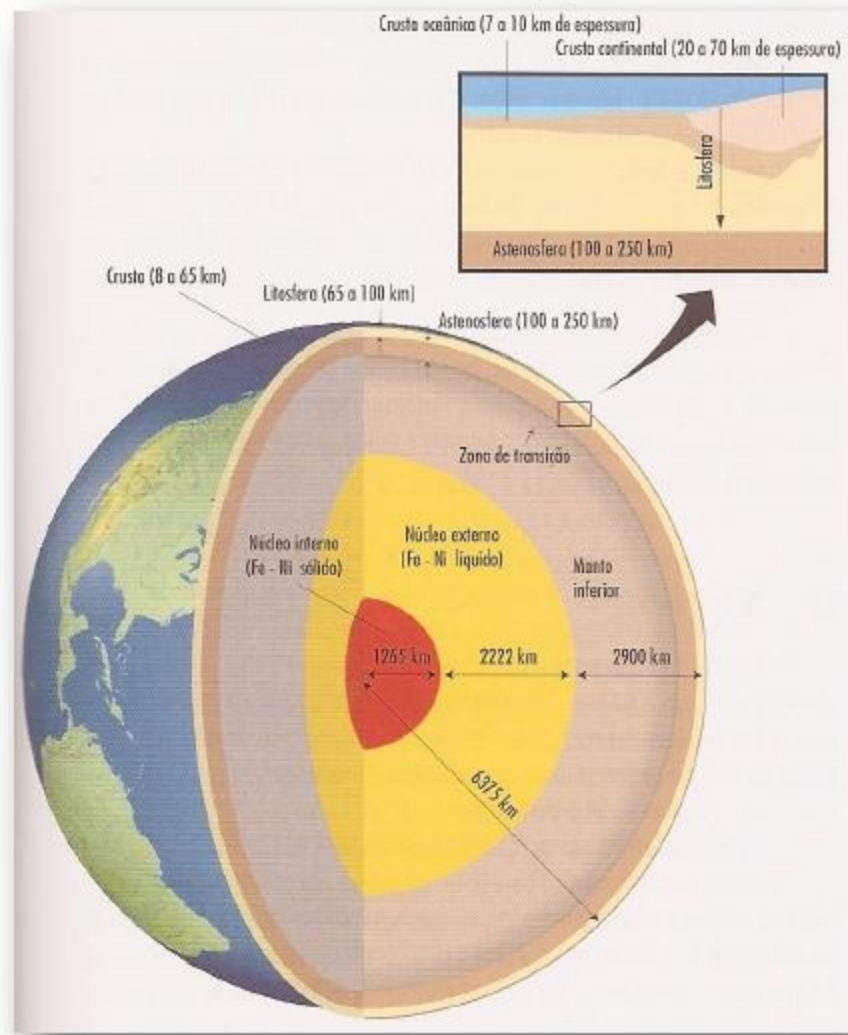
Compreende o núcleo externo (2891 Km a 5140 / 5150 Km, densidade média de 9,9 a 12,2) e o núcleo interno (dos 5150 Km aos 6371 Km, densidade média de 12,6 a 13,0).

## COMPOSIÇÃO DA GEOSFERA

CRUSTA	Continental	Rochosadotipogranítica	SílicioeAlumínio(Sial)
	Oceânica	Rochosadotipobasáltica	SilícioeMagnésio(Sima)
MANTO		RochosadoTipoperoditítica	FerroeMagnésio(Fema)
NÚCLEO	Interno	Metálica	NíqueleFerro(Nife)
	Externo		



# MODELO FÍSICO



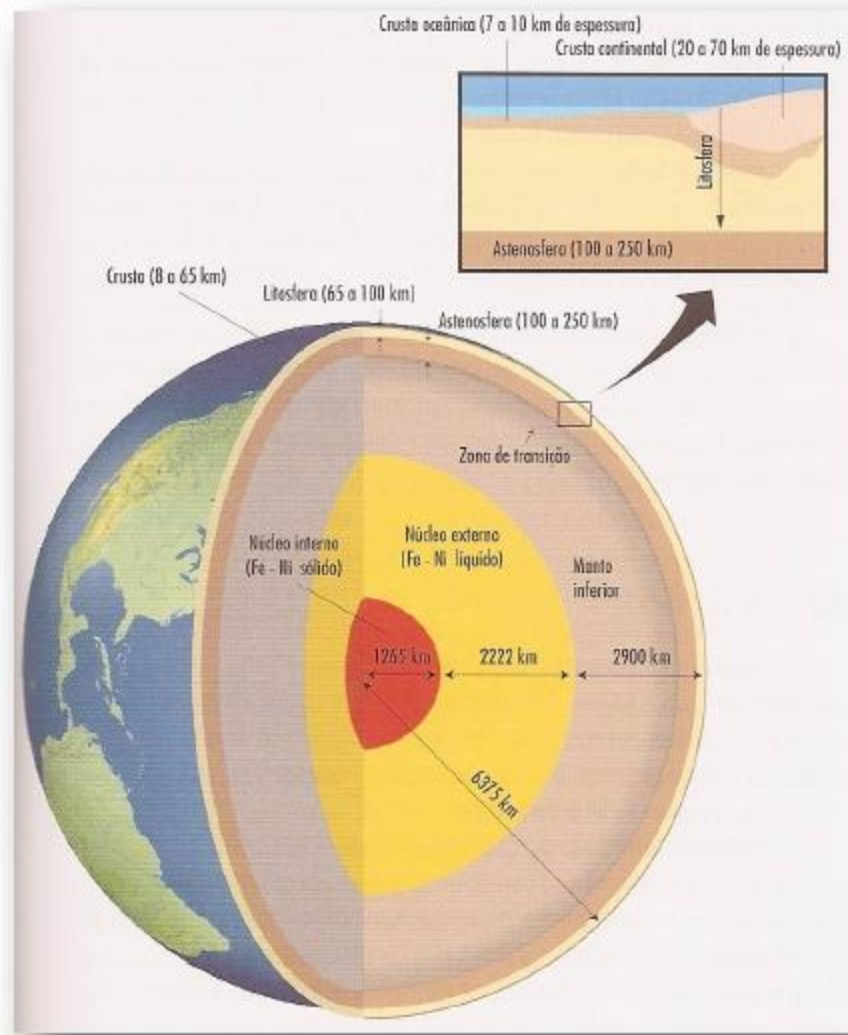
**Litosfera** – engloba a crosta mais a parte do manto superior; 100 Km de espessura (em média); materiais sólidos e rígidos.

- Continental, entre 125 e 250 km de profundidade.

- Oceânica, entre 70 a 100 Km de profundidade.

**Astenosfera** – engloba a zona de baixa velocidade; dos 100 aos 250 / 350 Km de profundidade; natureza menos rígida, plástica (1% materiais fundidos).

# MODELO FÍSICO



**Mesosfera** – desde a base da astenosfera até à fronteira manto / núcleo (2900Km); materiais sólidos e rígidos.

**Endosfera** – dos 2900 Km aos 6370 Km.

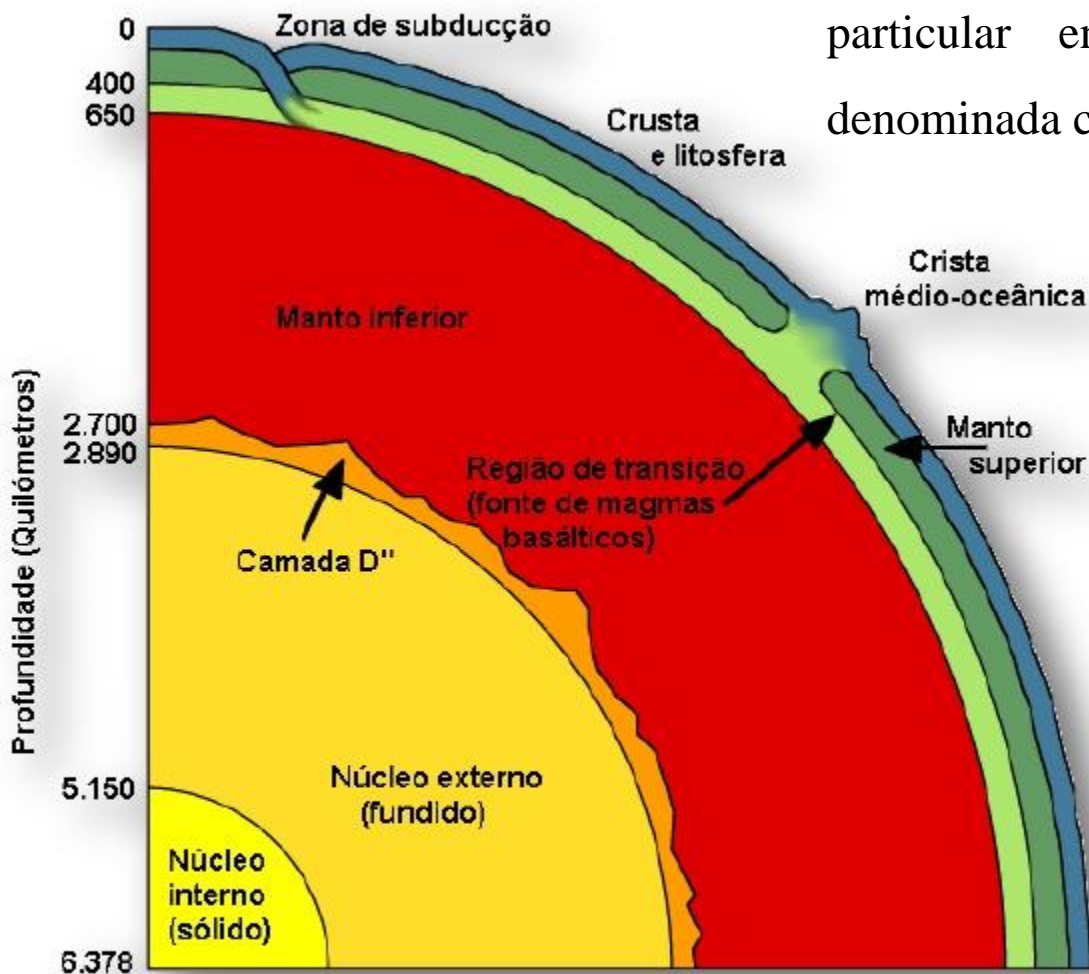
Compreende:

☆ Núcleo externo – materiais líquidos / fundidos.

☆ Núcleo interno – materiais sólidos e rígidos.

# CAMADA D

Os cientistas admitem que existe uma zona particular entre o núcleo e o manto denominada camada D.



## Camada D:

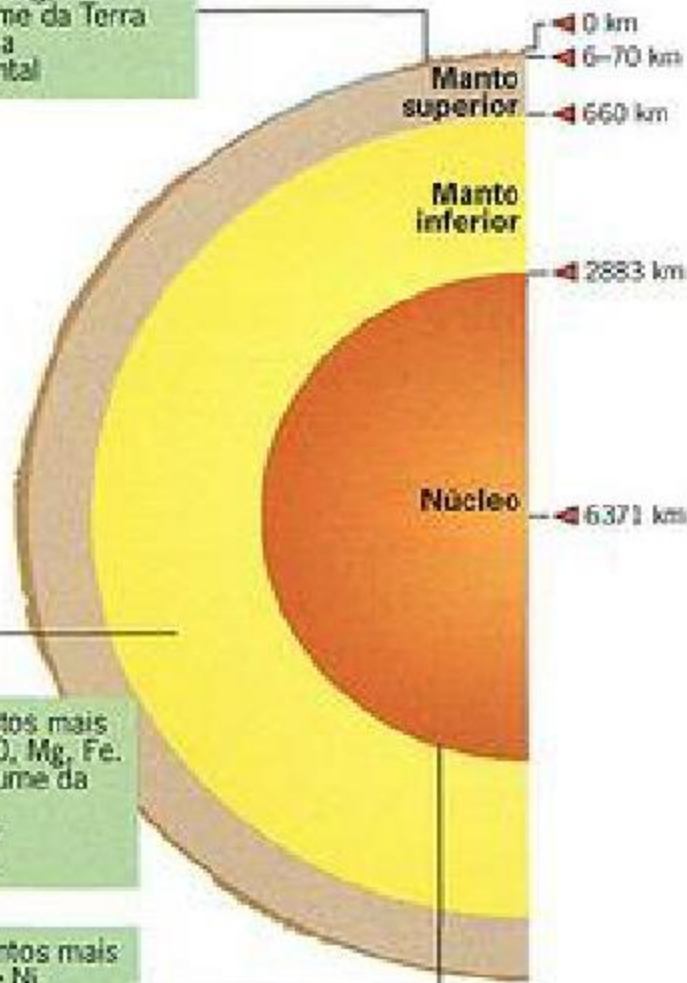
- ✎ espessura: 100 a 200 Km;
- ✎ separa zonas de composição, densidade, rigidez, pressão, temperatura e estado físico diferentes;
- ✎ fonte das plumas térmicas;
- ✎ zona ainda enigmática.

## Modelo geoquímico

**Crusta** – Elementos mais abundantes: Si, O, Al, Mg, Fe.  
• 1,55% do volume da Terra  
• Crusta oceânica  
• Crusta continental

**Manto** – Elementos mais abundantes: Si, O, Mg, Fe.  
• 82,25% do volume da Terra  
• Manto superior  
• Manto inferior

**Núcleo** – Elementos mais abundantes: Fe e Ni.  
• 16% do volume da Terra



## Modelo físico

**Litosfera** – Zona rígida mais externa constituída pela crosta e pela parte do manto mais externa.

**Astenosfera** – Zona com comportamento plástico. As condições de pressão e de temperatura permitem a fusão parcial de alguns constituintes.

0 km  
75-100 km  
350 km

Mesosfera

Núcleo externo

5000 km

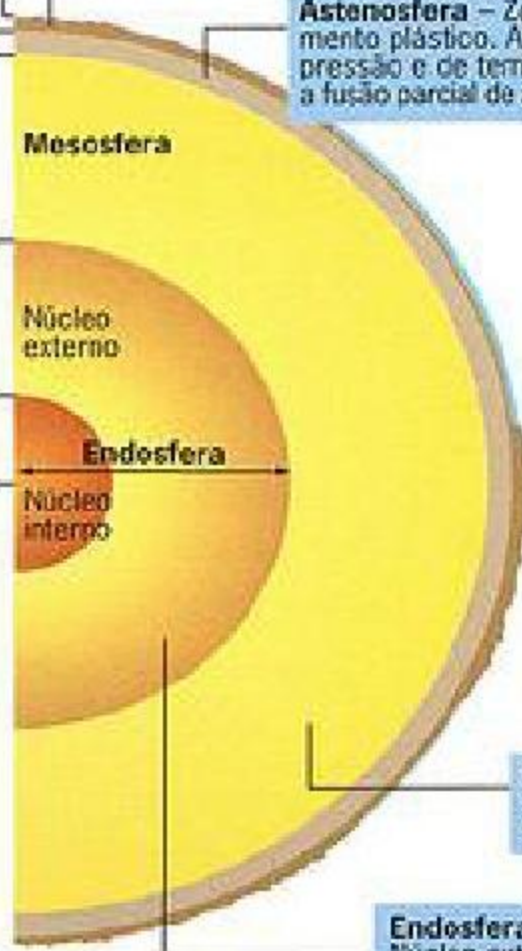
Endosfera

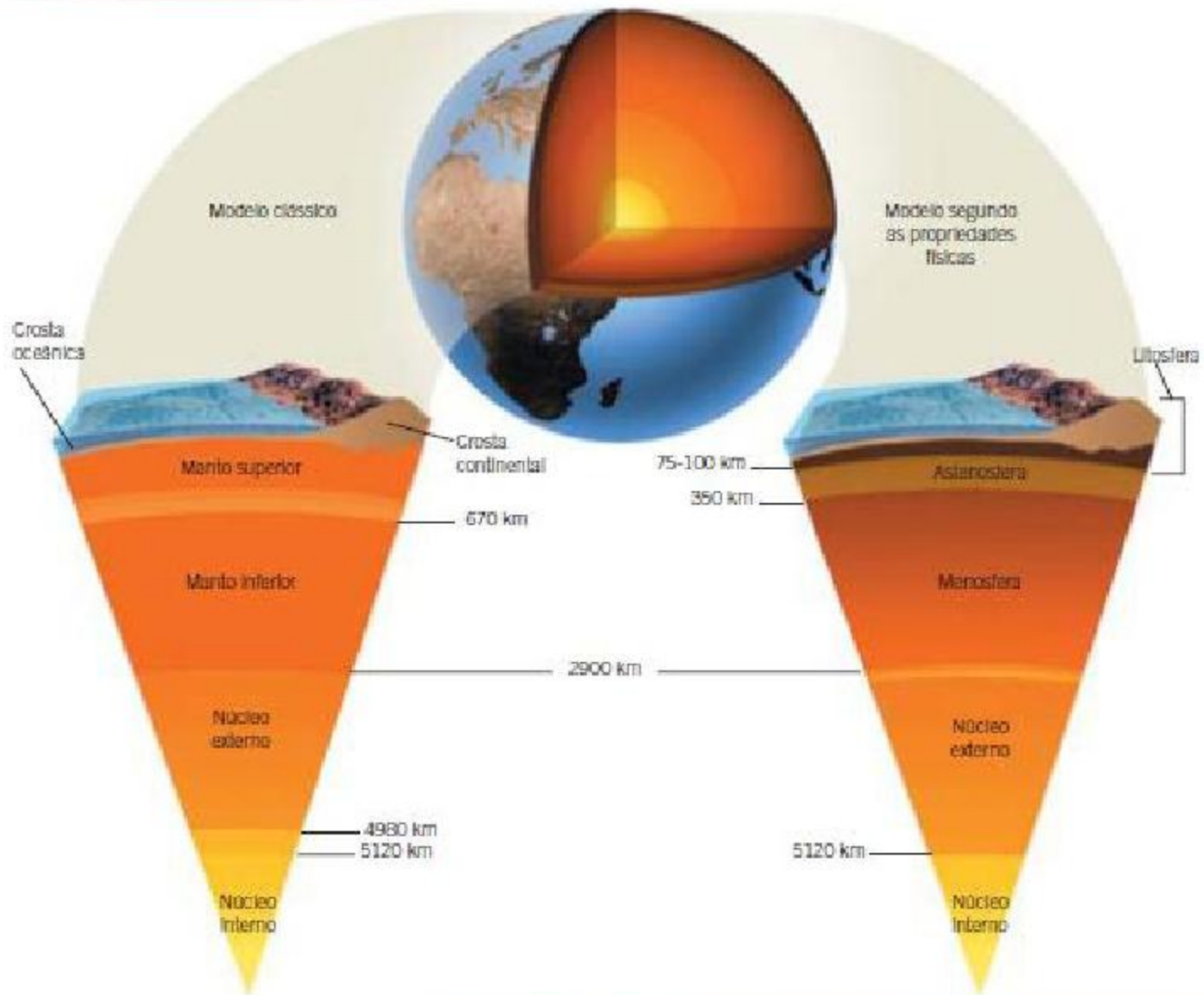
Núcleo interno

6371 km

**Mesosfera** – Zona rígida entre a astenosfera e o núcleo.

**Endosfera** – Compreende:  
Núcleo externo – líquido  
Núcleo interno – sólido/rígido





Zonas		Composição	Espessura/Limites	Densidade
Crusta	Continental	Rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares.	30 a 40 km de espessura – 70 km nas montanhas.	2,7
	Oceânica	Basaltos na zona mais superficial e gabros na zona mais inferior.	5 a 10 km de espessura.	3,0
Manto	Superior	Peridotito, rocha rica em olivina e piroxenas.	Da descontinuidade de Moho até +- 660 km.	3,3
	Inferior	Minerais mais densos, como perovskite.	Desde 660 km até cerca de 2883 km.	5,5
Núcleo	Externo	Ferro e cerca de 12% de níquel, sílica, enxofre e potássio.	Da descontinuidade de Gutenberg até 5140 km.	9,9 a 12,2
	Interno	Ferro e 10% a 20% de níquel.	Da descontinuidade de Lehmann até ao centro.	12,6 a 13,0

Zonas		Estado físico/Rigidez	Espessura/Limites
Litosfera	Continental	Materiais sólidos e rígidos.	Da superfície até 125 km a 250 km.
	Oceânica	Materiais sólidos e rígidos.	Da superfície até 70 km a 100 km.
Astenosfera		Materiais globalmente sólidos mas menos rígidos – comportamento plástico.	Da base da litosfera até uma profundidade ainda discutível de 350 km ou 660 km.
Mesosfera		Materiais sólidos e rígidos.	Da base da astenosfera até 2883 km.
Endosfera	Núcleo externo	Materiais líquidos.	Desde 2883 km até 5140 km.
	Núcleo interno	Materiais sólidos e rígidos.	Desde 5140 km até ao centro.