



Geologia para Engenharia Ambiental

Mariana Consiglio Kasemodel

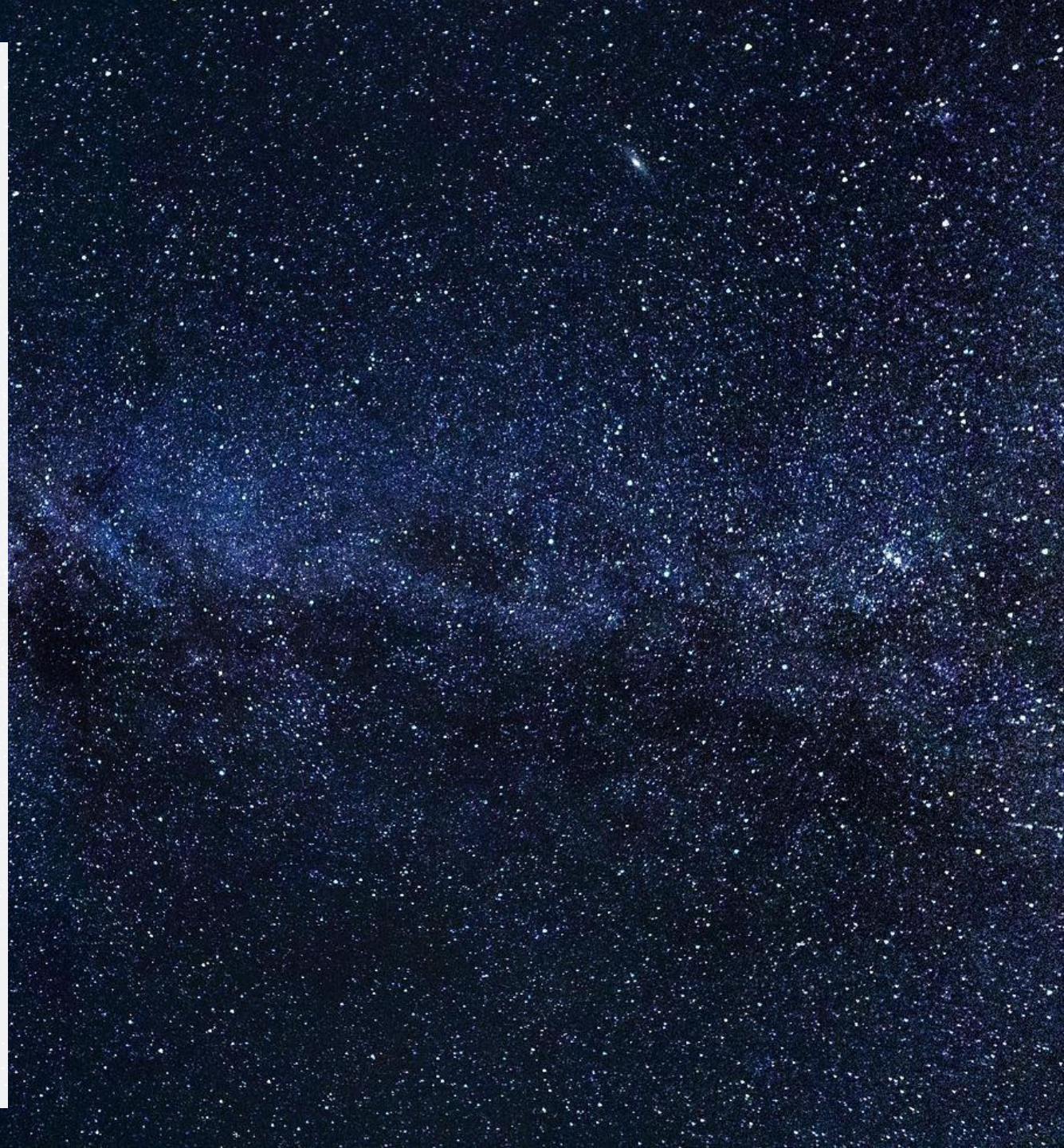
mariana.kasemodel@usp.br



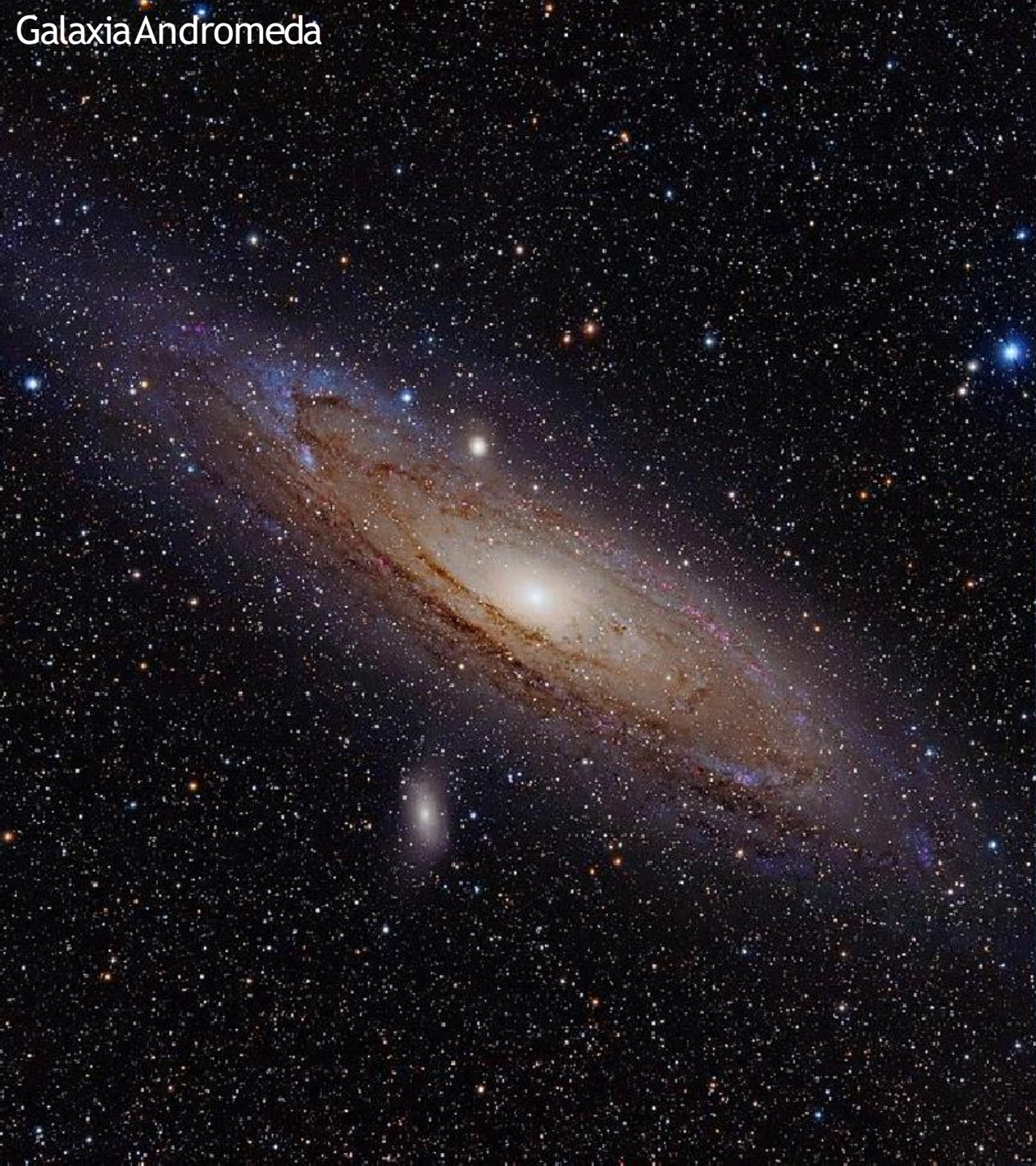
Estrutura do universo

- O planeta em que vivemos é **formado pelo mesmo material que compõe os demais corpos do Sistema Solar** e tudo o mais que faz parte de nosso Universo - origem comum;
- Com base nas informações de diversos campos da Ciência, já foram obtidas respostas para algumas importantes questões:
 - Como se formaram os elementos químicos?
 - Como se formaram as estrelas?
 - Como se formaram os planetas do Sistema Solar?
 - Qual é a idade da Terra e do Sistema Solar?
 - Qual é a idade do Universo?
 - Qual é o futuro do Sistema Solar, e do próprio Universo?

- Existem **incontáveis** estrelas no céu - dispostas de maneira ordenada:
 - **Galáxias:** agrupamentos de estrelas cujas dimensões são da ordem de 100.000 anos-luz (distância percorrida a velocidade da luz durante um ano) - pode conter mais de 1 bilhão de estrelas, com espaços de variada densidade
 - **Aglomerados:** agrupamento de dezenas a alguns milhares de galáxias
 - **Universo:** superaglomerado, compostos de até dezenas de milhares de galáxias



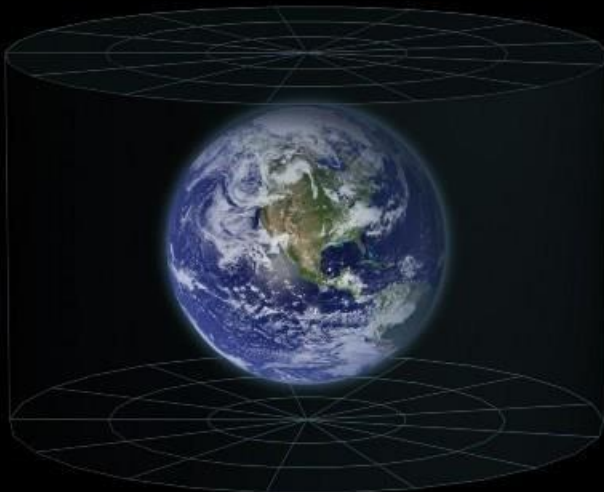
Galaxia Andromeda



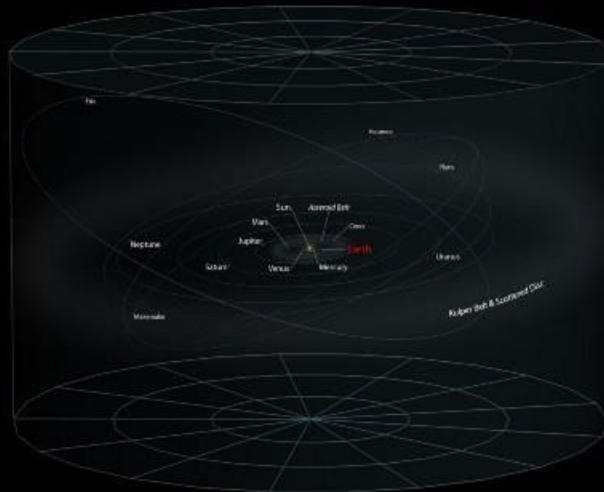
Galaxia Via Láctea



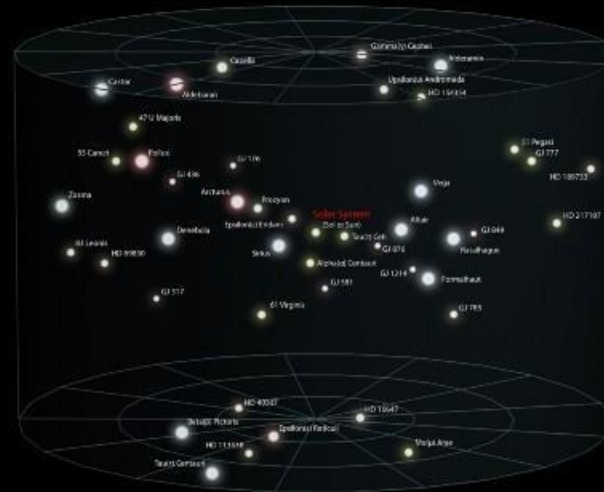
Earth



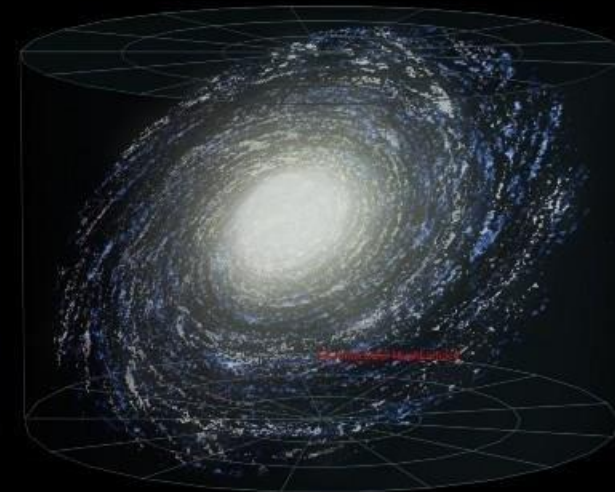
Solar System



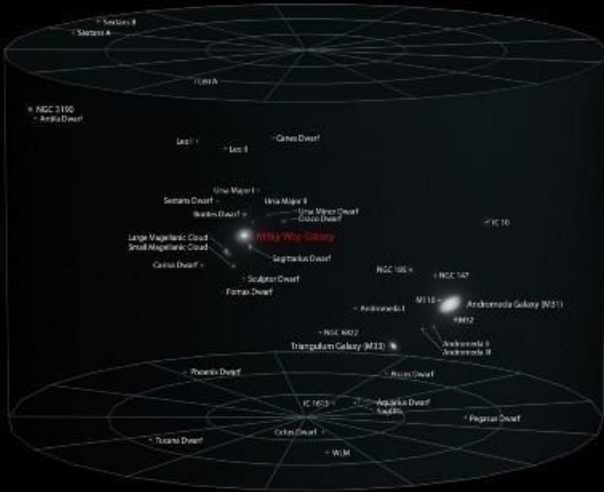
Solar Interstellar Neighborhood



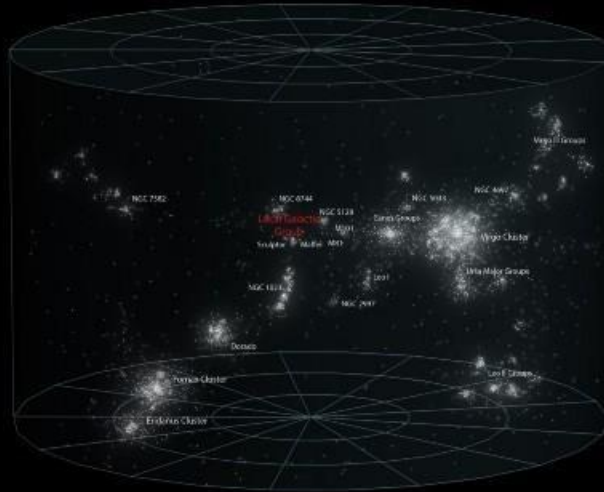
Milky Way Galaxy



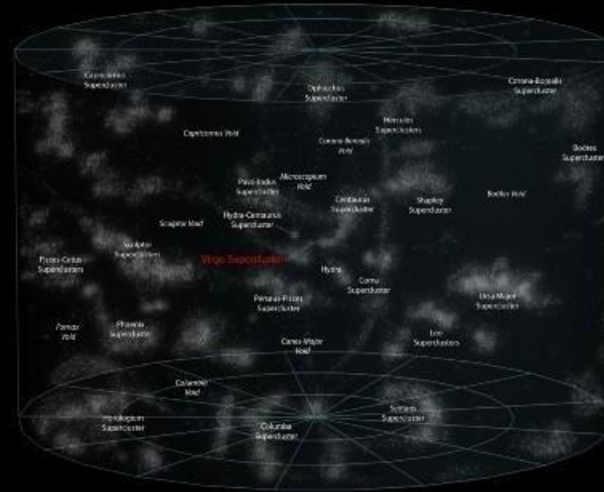
Local Galactic Group



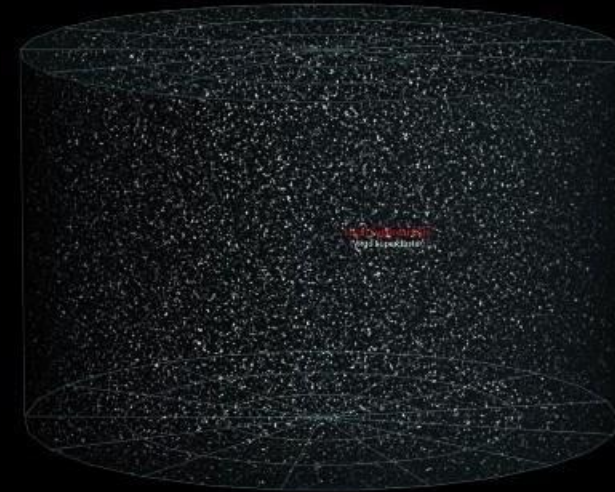
Virgo Supercluster



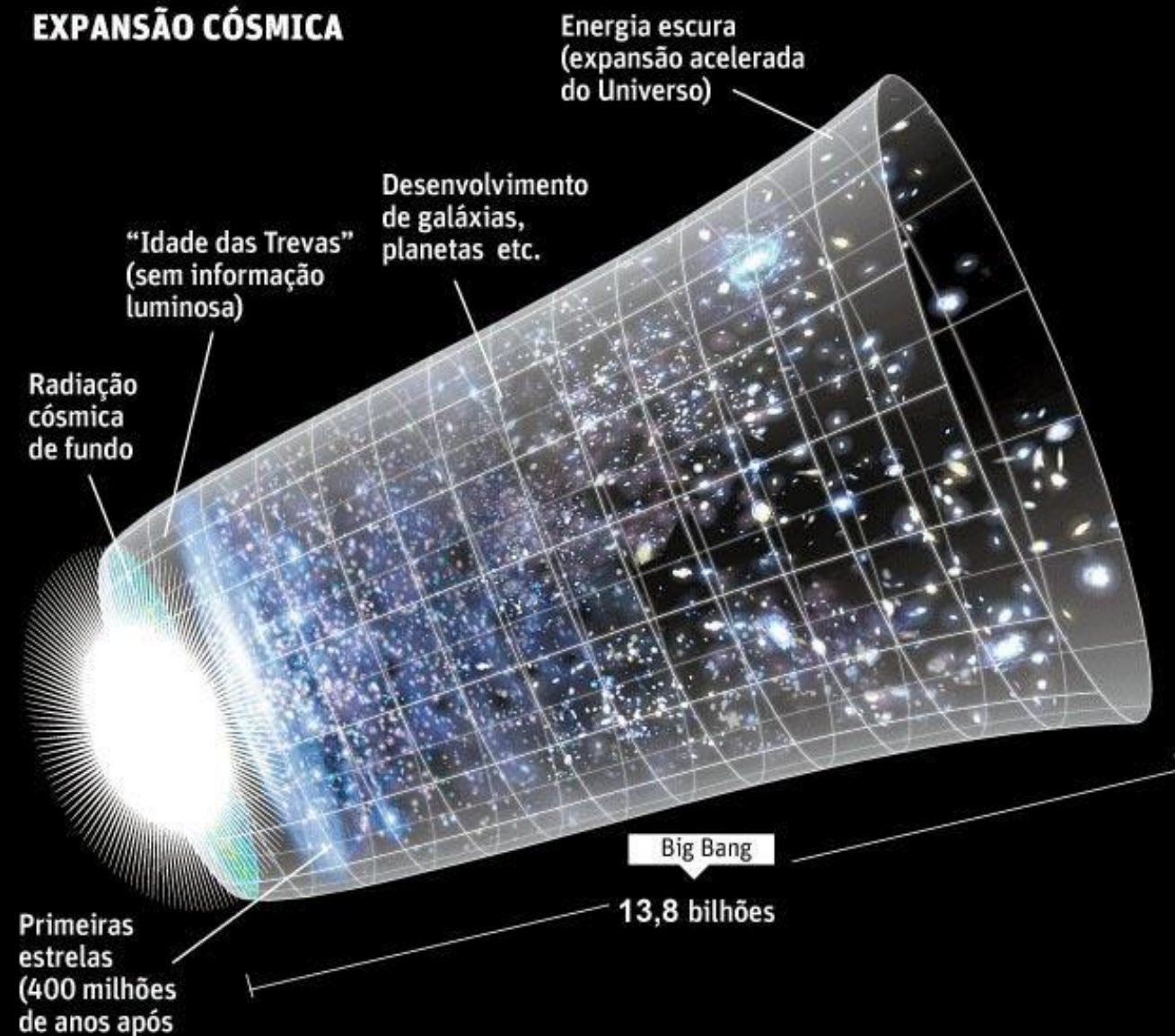
Local Superclusters



Observable Universe



EXPANSÃO CÔSMICA



Como nasceu o universo

Teoria mais aceita: *Big Bang*

- Condições específicas de calor e pressão;
- 13,8 bilhões de anos;
- Evidências: o universo está em expansão (Lei de Hubble, 1926), radiação cósmica (Wilson e Penzias, 1965); abundância de elementos primordiais (H, He e Li).

Edwin Hubble
1889-1953

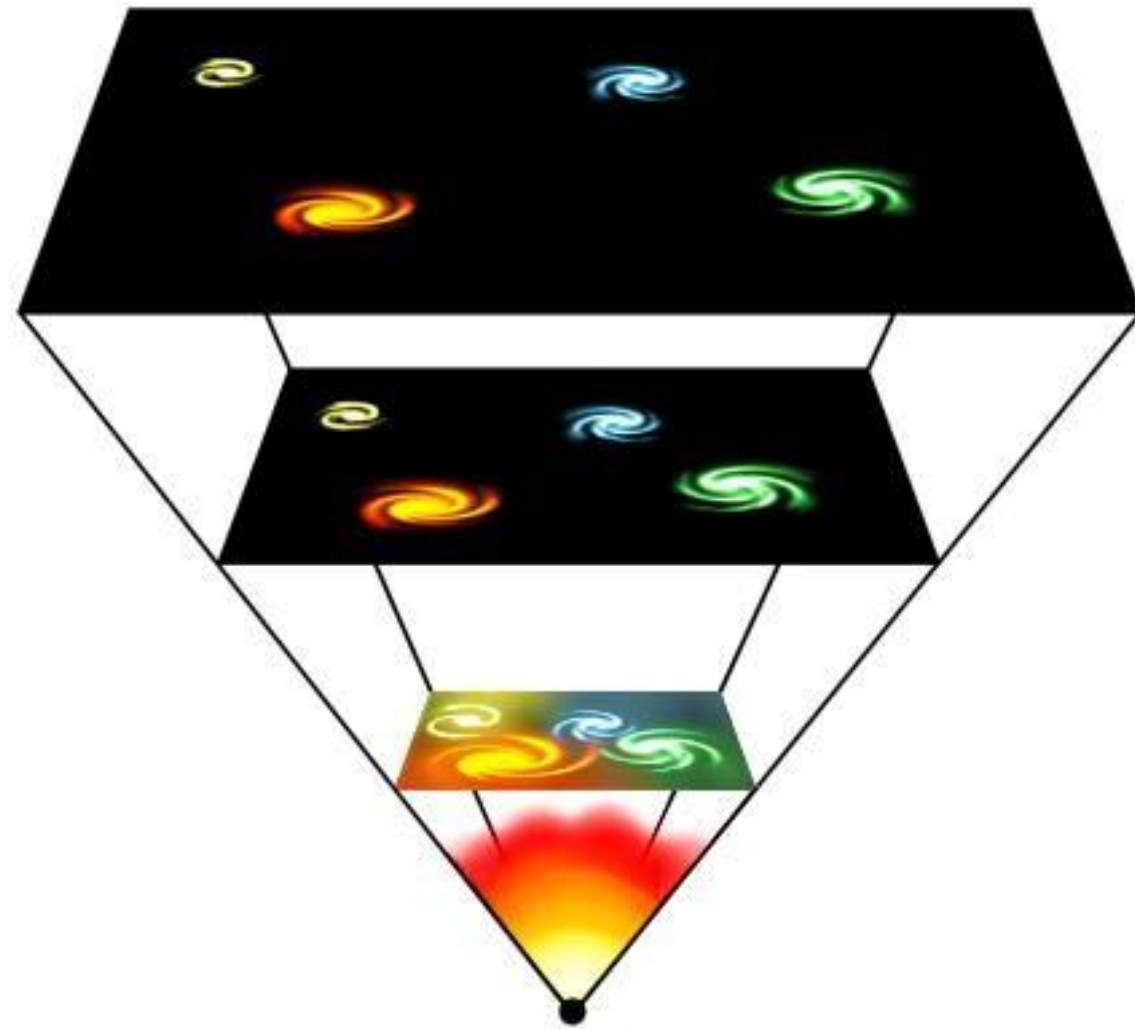


Em 1929 demonstrou que as galáxias se afastam em grande velocidade e que essa velocidade aumenta com a distância



Georges
Lemaître





1940: a explosão inicial poderia ter deixado resquícios observáveis até hoje. **Um universo tão compacto e quente teria emitido muita luz.** Com a expansão, a temperatura característica dessa luz teria abaixado. **Segundo cálculos simples, hoje ela talvez pudesse ser observada na radiação de microondas, com uma temperatura de cerca de 5 graus Kelvin.**



George Gamow
1904-1968



Fotos Arquivo Agência France Presse

Robert Woodrow Wilson e Arno Penzias.

- 1965: os engenheiros procuravam a origem de um ruído eletromagnético que estava atrapalhando as radiopropagações de interesse para um sistema de telecomunicações. **Descobriram que a radiação vinha de todas as direções para as quais apontassem sua antena. Mediram a temperatura dessa radiação; eles encontraram um valor para a temperatura não muito diferente do previsto, de 2,7 graus Kelvin (próximo ao zero absoluto).** Era a confirmação da teoria do Big Bang
- Penzias e Wilson receberam o Prêmio Nobel de Física em 1978.

Tempo	Raio do universo (m)	Temperatura (K)	Eventos
Zero (inicial)	Zero	Infinita	Aparecimento de espaço, tempo e energia
10^{-9} s a 10^{-6} s	0,4 a 300	$7,5 \times 10^{14}$ a 10^{12}	Estabilizam-se os <i>quarks</i> , prótons e nêutrons
10^{-3} s	300.000	$1,4 \times 10^{10}$	Estabilizam-se os núcleos ^2H
10 s	$3,0 \times 10^9$	$4,1 \times 10^9$	Estabilizam-se os elétrons
100 s	$3,0 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^9$	Estabilizam-se os núcleos de ^3He e ^4He
800.000 anos	$6,6 \times 10^{21}$	3.000	Captura de elétrons pelos núcleos. Formação de átomos de H e He e moléculas H_2 . O universo torna-se transparente para luz

Fonte: Teixeira et al., 2000

Raio atual: 15 bilhões de anos-luz

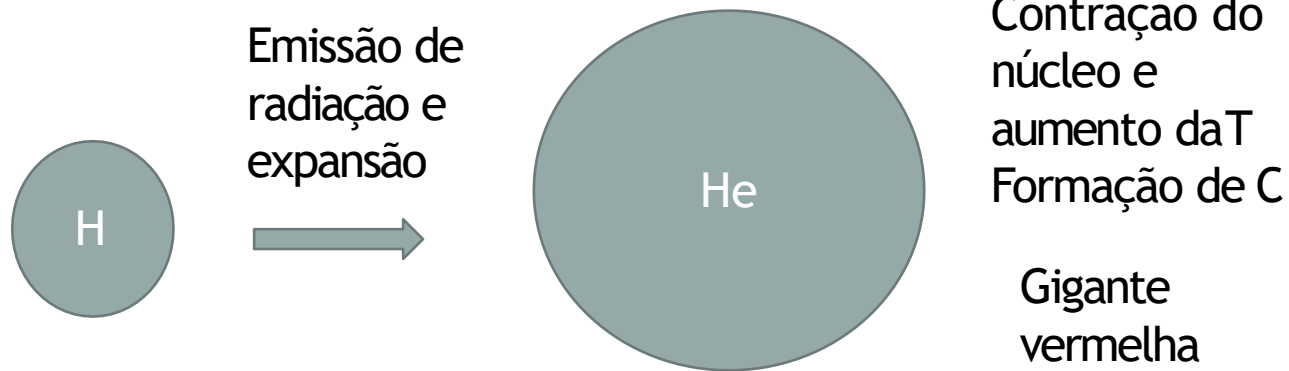


Evolução estelar e formação dos elementos

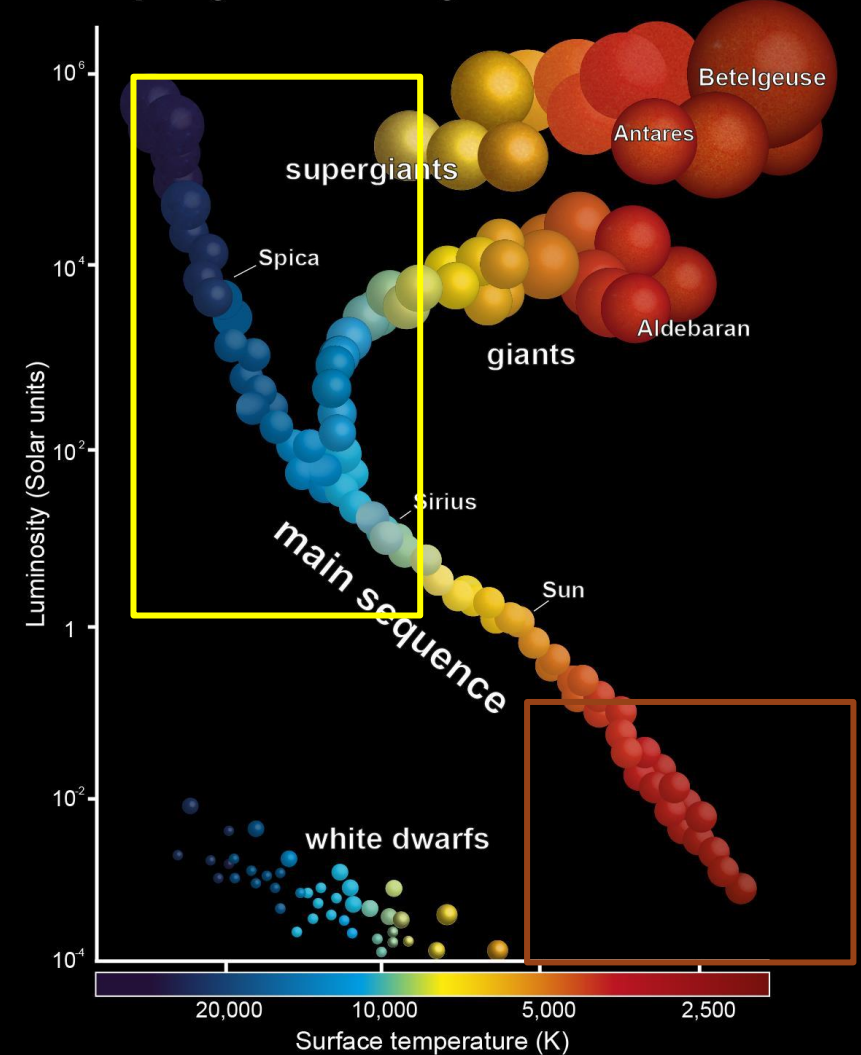
- No Universo em expansão havia variações de densidade como em gigantescas nuvens em movimento, com regiões de grande turbulência;
- Atração gravitacional - aumento da densidade - organização em hierarquias;
- As estrelas se formam pela nuvem de gases(nebulosas) constituídas quimicamente por grande quantidade de H e He

Quando uma estrela nasce, seu material ainda está muito diluído e expandido - temperatura superficial é baixa

Com sua contração, temperatura e luminosidade aumentam e a estrela vai ocupando posições sucessivamente mais para cima no diagrama H-R



Hertzsprung–Russell Diagram



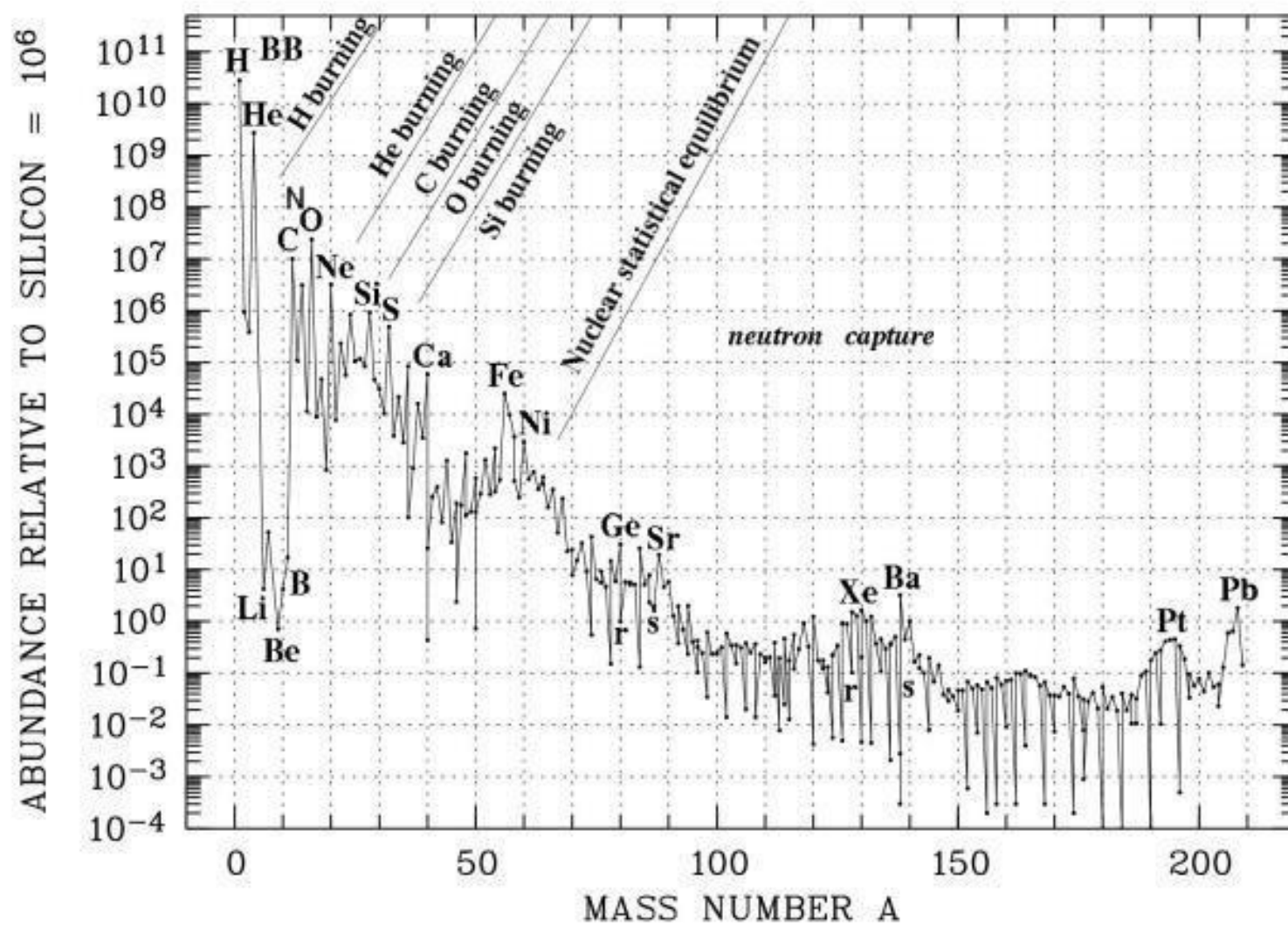
A cada contração a temperatura aumenta muito, no caso de estrelas formadoras de Fe a contração torna-se insustentável e a estrela implode em frações de segundo, comprimindo as partículas e formando uma estrela de nêutrons (diâmetro da ordem de km)

Nas camadas externas permanece grande quantidade de elementos ainda não queimados: H, He, C, O, etc

A implosão causa o colapso generalizado de tais camadas externas, aumento de temperatura em pouco tempo (menos de um segundo) e a estrela explode - lançando para o espaço o seu material (supernova) e formando novos elementos (nucleossíntese)

Elementos são formados durante a nucleogênese (Big Bang) ou sintetizados no interior das estrelas







Origem do sistema solar e Planeta Terra

Teoria mais aceita: Hipótese da Nebular (possivelmente - explosão de uma supernova)

- 4,6 bilhões de anos;
- Evidências: datação de meteoritos (fragmentos remanescentes da formação do sistema solar); plano e sentido de rotação dos planetas e do sol; observação da formação de outros sistemas.

Corpo de gases e poeira (Hipótese da Nebular)



Muita matéria se acumula na nébula formando redemoinhos
Maioria do material se acumula no centro do redemoinho - proto-sol (elevada temperatura e pressão)

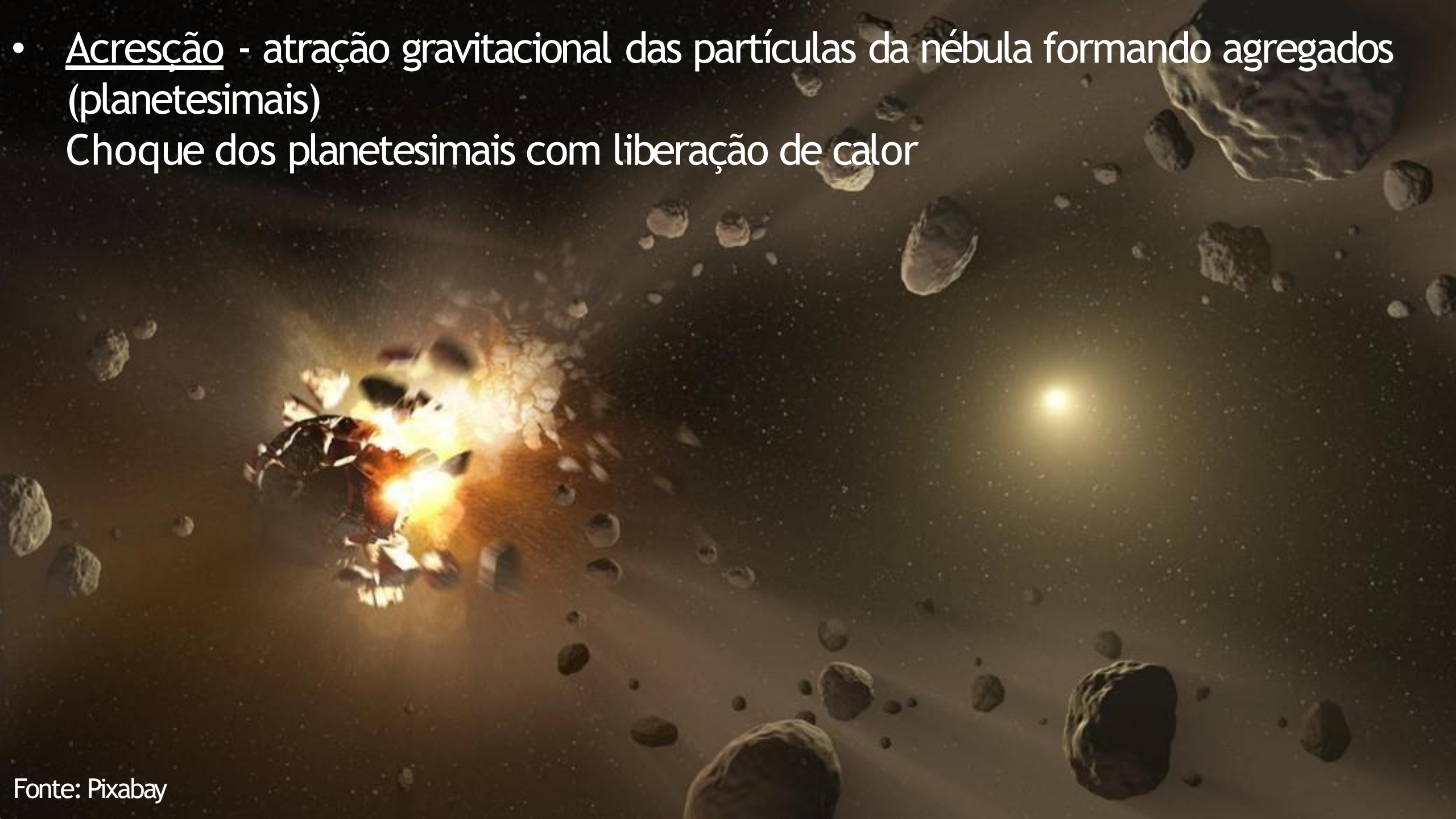


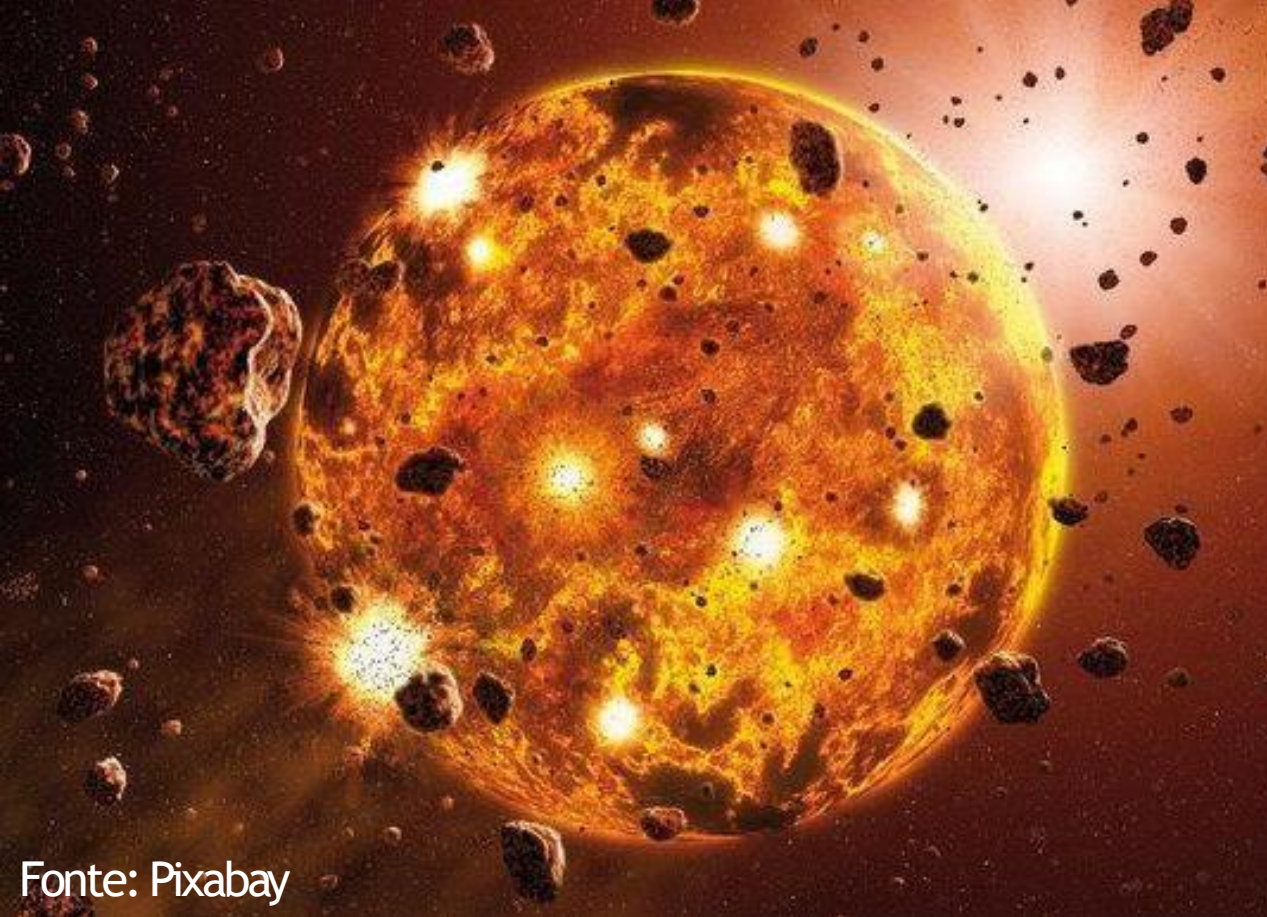


Matéria restante viria a formar
planetas e asteróides

Maioria da matéria formou o Sol
(99,8%)

- Acréscão - atração gravitacional das partículas da nébula formando agregados (planetesimais)
Choque dos planetesimais com liberação de calor





Fonte: Pixabay

Rocha fundida (magma) bombardeado por meteoritos metálicos e não-metálicos



Fonte: Pixabay

Resfriamento estabelecendo as correntes de convecção;
Diferenciação;
Liberação de gases devido ao resfriamento;
Precipitações (hidrosfera)

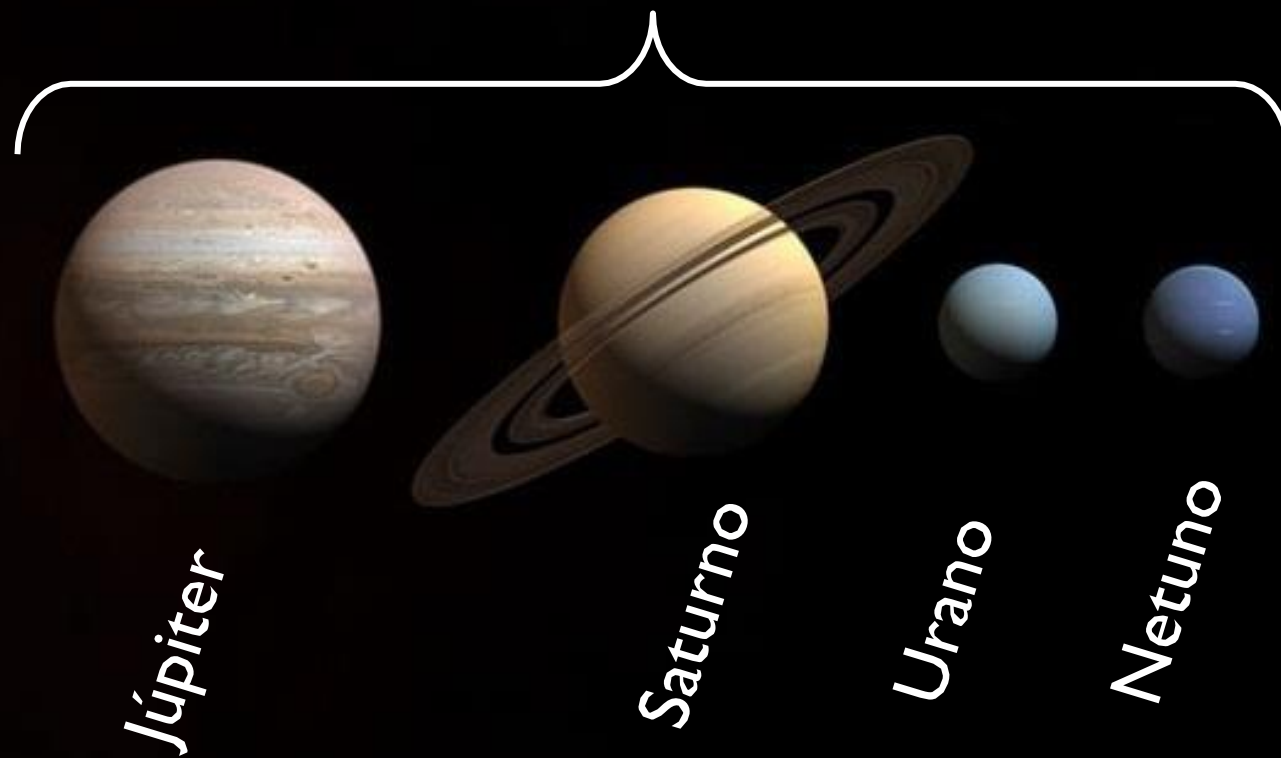
No final das colisões, os poucos agregados que se tornaram maiores atraíram a matéria restante e formaram os planetas nas órbitas que conhecemos



Planetas internos (terrestres ou telúricos)



Planetas externos (jovianos)





Massa: 6×10^{29} g
Densidade: $5,52 \text{ g/cm}^3$
Raio equatorial: $6378,2 \text{ km}$
Volume: $1,083 \times 10^{12} \text{ km}^3$



Massa: 1,25% da massa terrestre

Densidade: 3,3 g/cm³

Diâmetro: 3.480 km

Não possui atmosfera

Feições geológicas visíveis a olho nu

Composição (missão Apollo): anortositos
(silicatos de Na e Ca) e basaltos

Idade: 4000 milhões de anos

Formação da Lua a partir do choque de Theia com a Terra



Estrutura interna da Terra

- A partir da década de 1950, a humanidade pôde observar a Terra vista de longe por meio das fotografias obtidas durante as viagens espaciais.
- Hoje em dia, as imagens fornecidas pelos satélites permitem caracterizar as grandes **feições superficiais do nosso planeta**, e detalhá-las com base nos estudos das rochas componentes e suas propriedades físicas e químicas. No entanto, o mesmo não é possível para o caso do interior do planeta, já que a maior profundidade atingida em perfurações para observação direta dos materiais rochosos foi de 12 km, na península de Kola (Rússia), o que é quase nada, comparado com o raio terrestre (raio equatorial: 6.378 km - raio polar: 6.357 km).



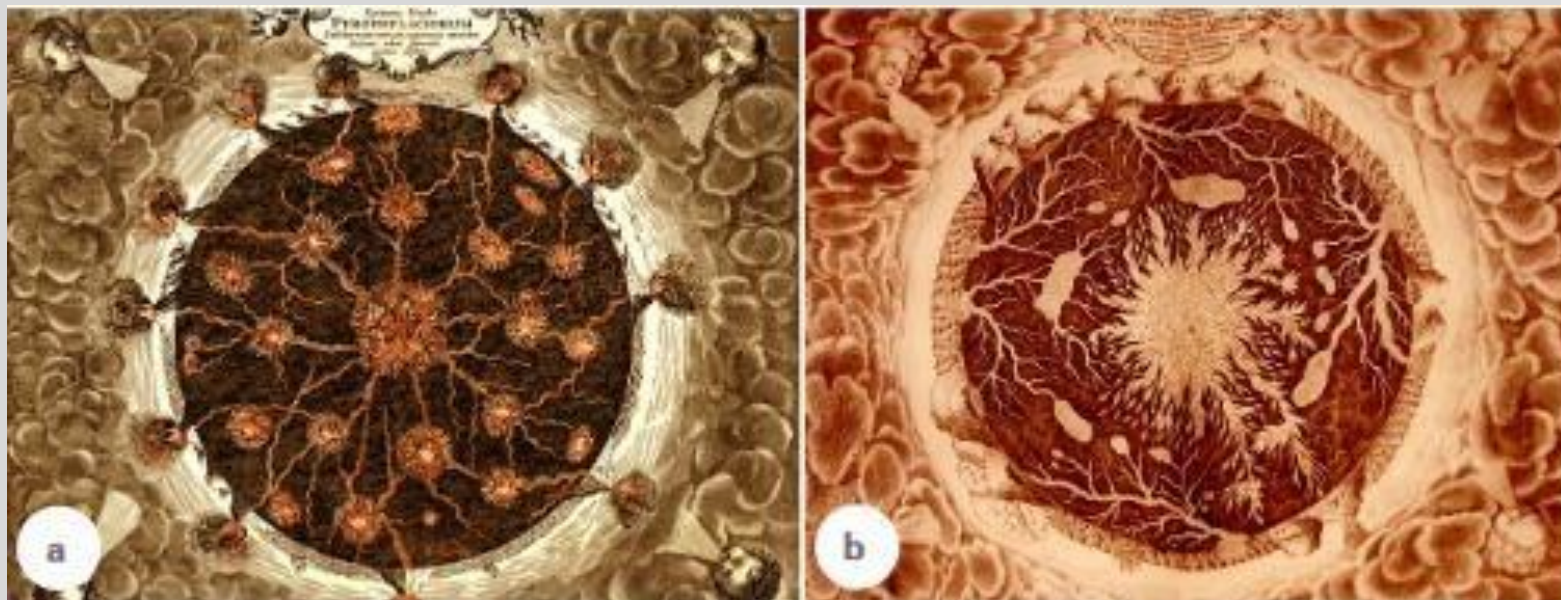


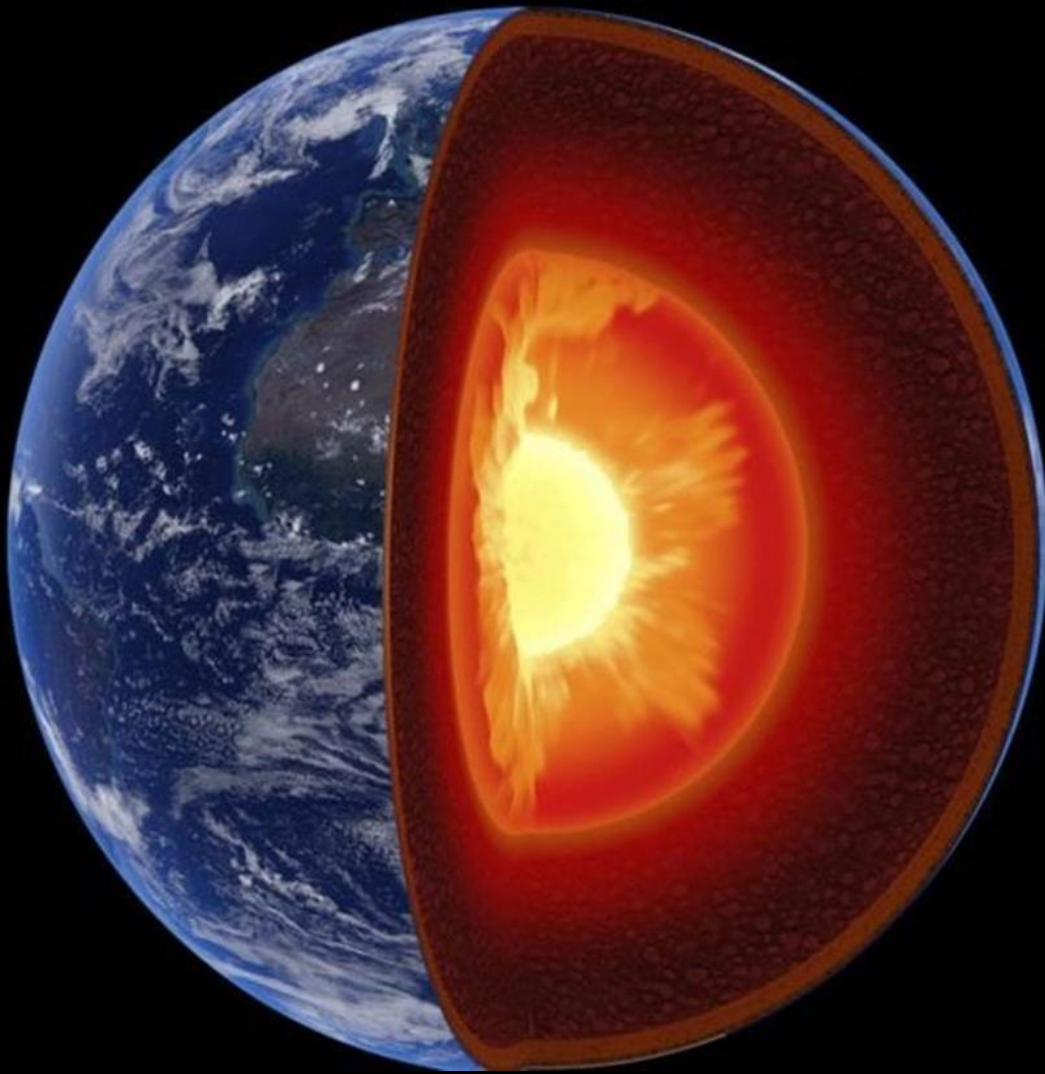
Figura 3.1: Concepções do século XVII sobre a estrutura da Terra. **(a)** interior com bolsões de material fluido (líquido e gás) interligados em meio a material sólido; e **(b)** modelo de Athanasius Kircher (1678), com o fogo central. Estes modelos já mostravam a compreensão de que os vulcões representavam conexões com a subsuperfície do planeta.

Fonte: UNIVESP

- Apesar disso, o conhecimento geológico sobre as camadas mais profundas da Terra evoluiu muito ao longo das primeiras décadas do século XX, graças à utilização de evidências indiretas, como os dados geofísicos, e às características dos magmas

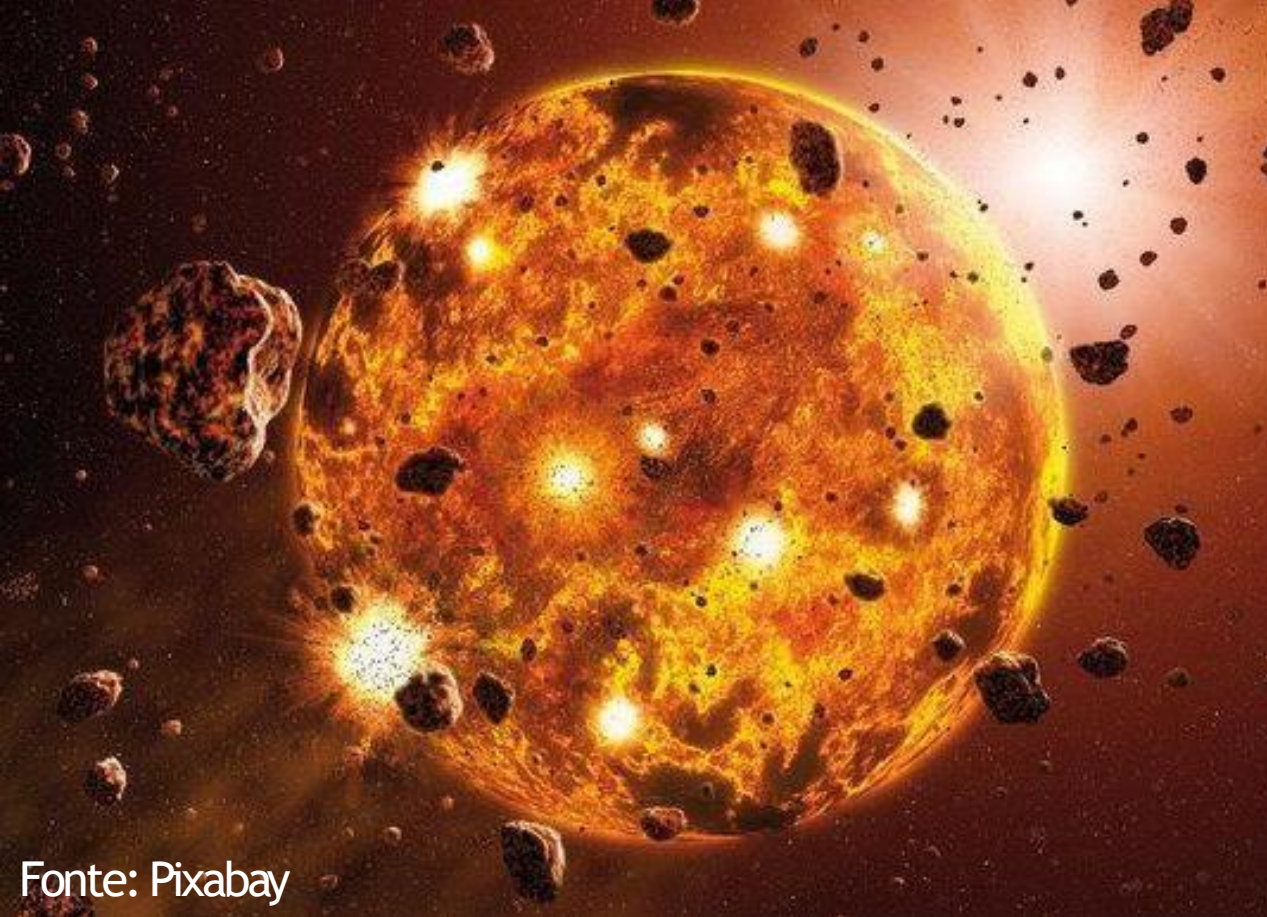
- Século XVIII: após etapas importantes do desenvolvimento da Física por Isaac Newton, foi possível medir a densidade média da Terra, resultando num valor de **5,5 g/cm³**. Este valor é bem superior à densidade das rochas conhecidas da superfície (**média de 2,7 a 2,8 g/cm³**) - Essa constatação, portanto, implica na existência de um **volume de material muito mais denso no interior da Terra** do que as rochas superficiais acessíveis à observação direta;
- Século XIX: medidas diretas da temperatura em minas subterrâneas indicaram um aumento de **1 °C a cada 32 m**, em média, mas com variações de local para local. A profundidade, em metros, em que a temperatura aumenta 1 °C, é chamada **grau geotérmico**; seus valores máximos são encontrados nas regiões de grande fluxo térmico, em ambientes onde há vulcanismo recente. Em contraposição, áreas continentais muito antigas possuem fluxo térmico menor;
- Século XX: com o avanço dos estudos de Geofísica, chegou-se ao modelo de **estruturação concêntrica interna** terrestre, com distinção do **núcleo, manto e crosta**. Com os estudos geofísicos, foi comprovada a variação de velocidade e direção de propagação de **ondas sísmicas** no interior da Terra, possibilitando o estabelecimento de modelos de composição e outras propriedades de cada setor interno da Terra.

Variação mineralógica, química e de temperatura!



Composição e estrutura interna do Planeta Terra

- Raio (~6400 km)
- Inferida por métodos indiretos (ondas sísmicas) e meteorítica
- Formada por vários anéis concêntricos com diferentes propriedades físicas e químicas



Fonte: Pixabay

Rocha fundida (magma) bombardeado por meteoritos metálicos e não-metálicos



Fonte: Pixabay

Resfriamento estabelecendo as correntes de convecção;
Diferenciação;
Liberação de gases devido ao resfriamento;
Precipitações (hidrosfera)

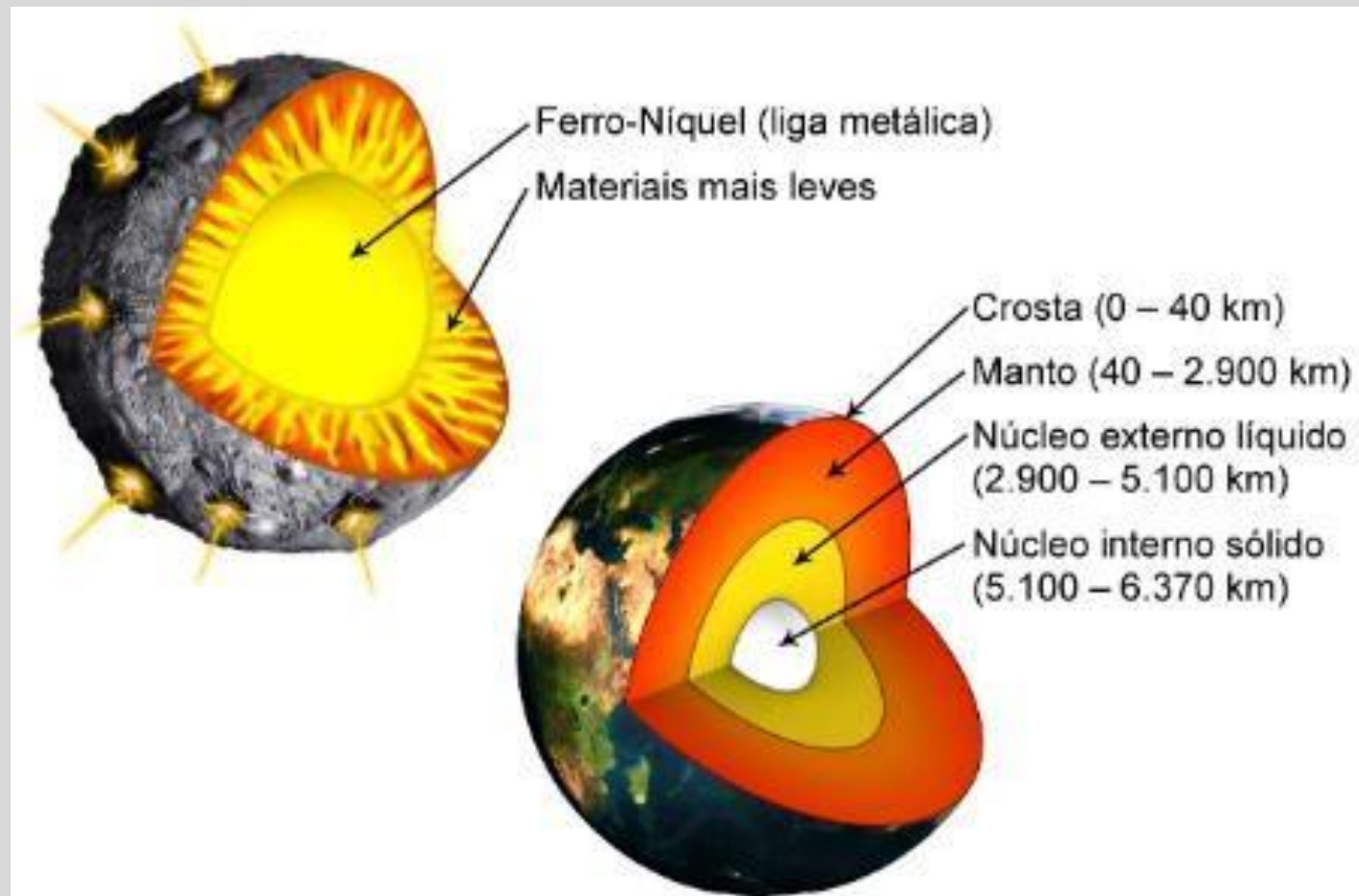
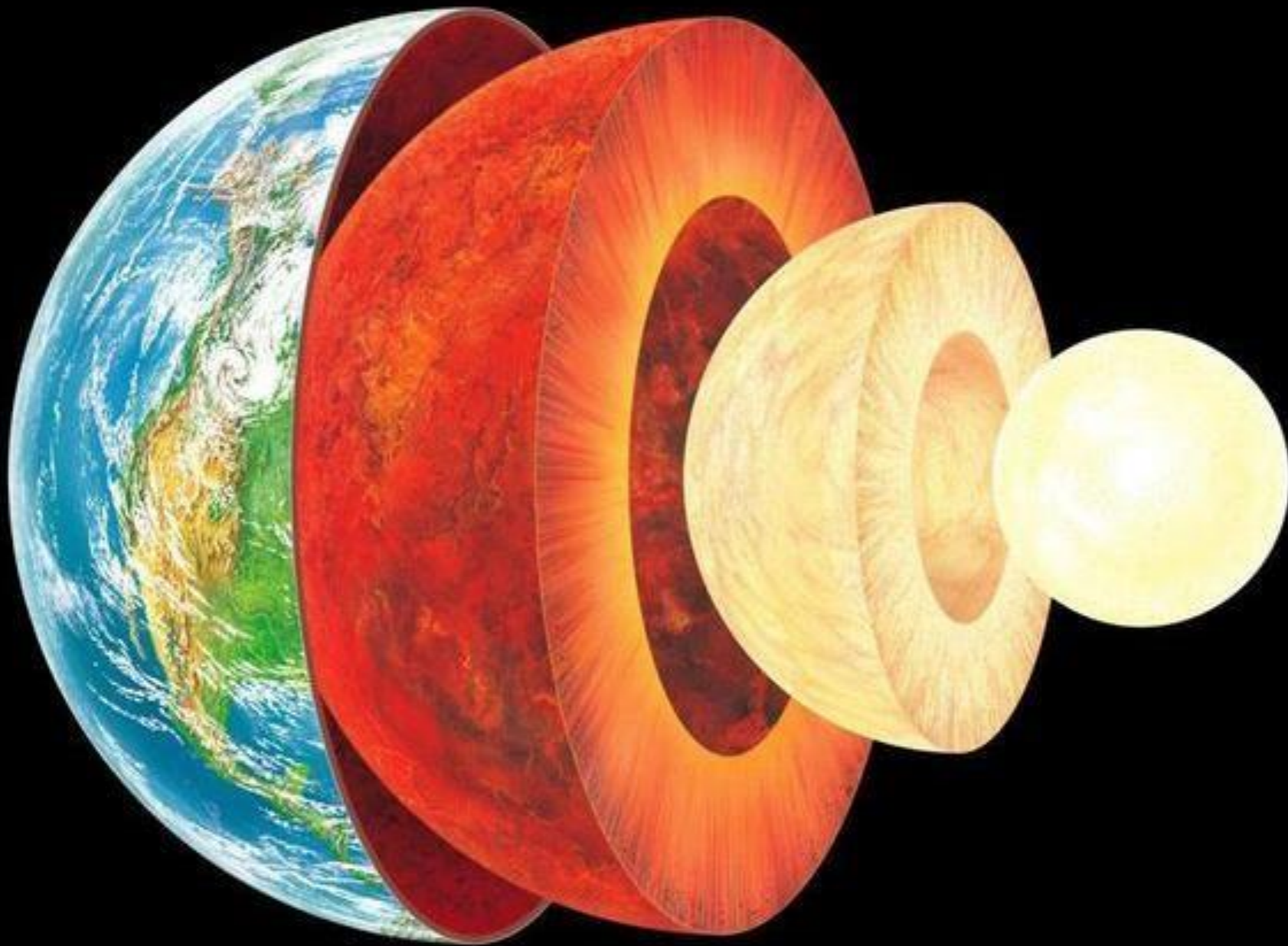
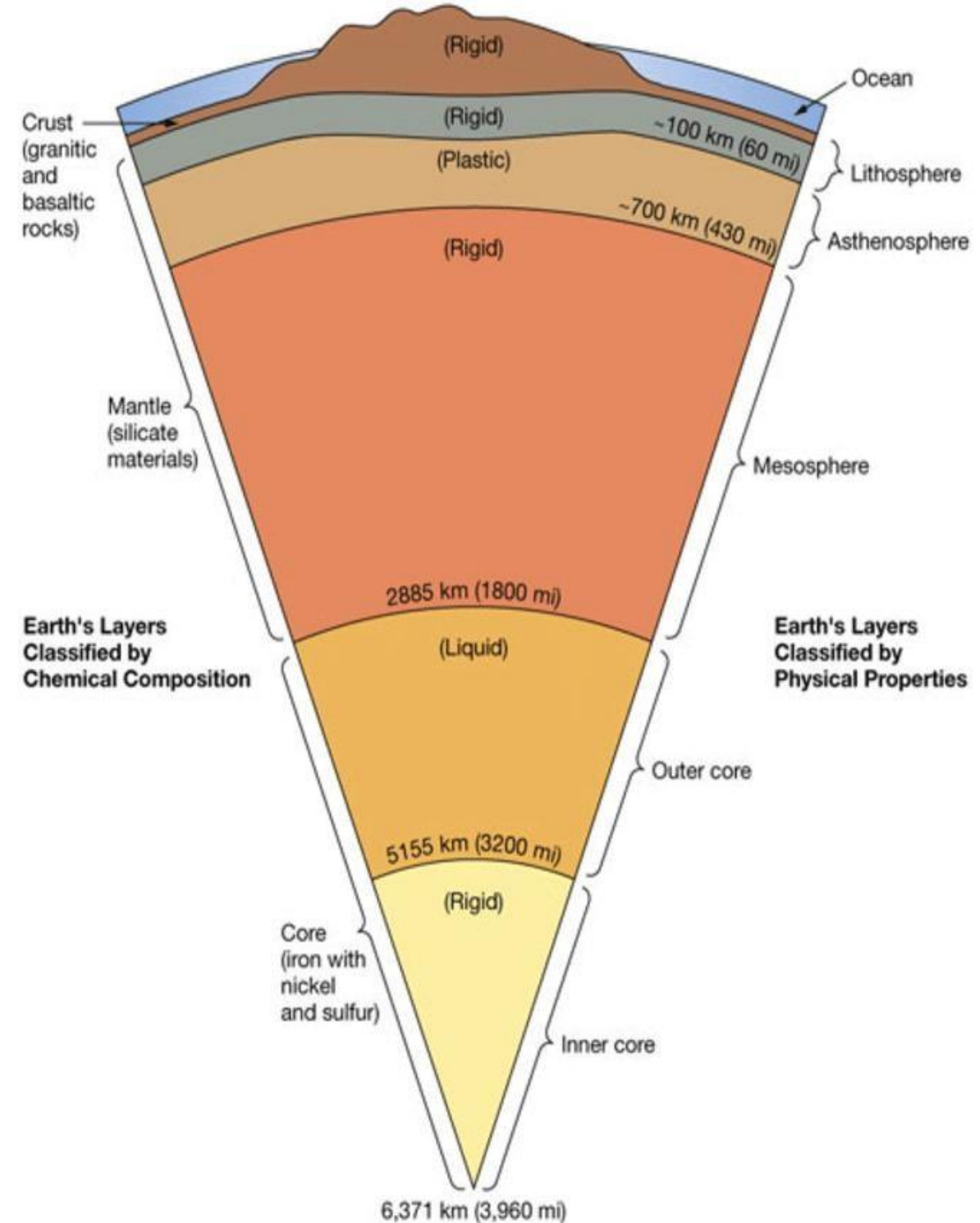


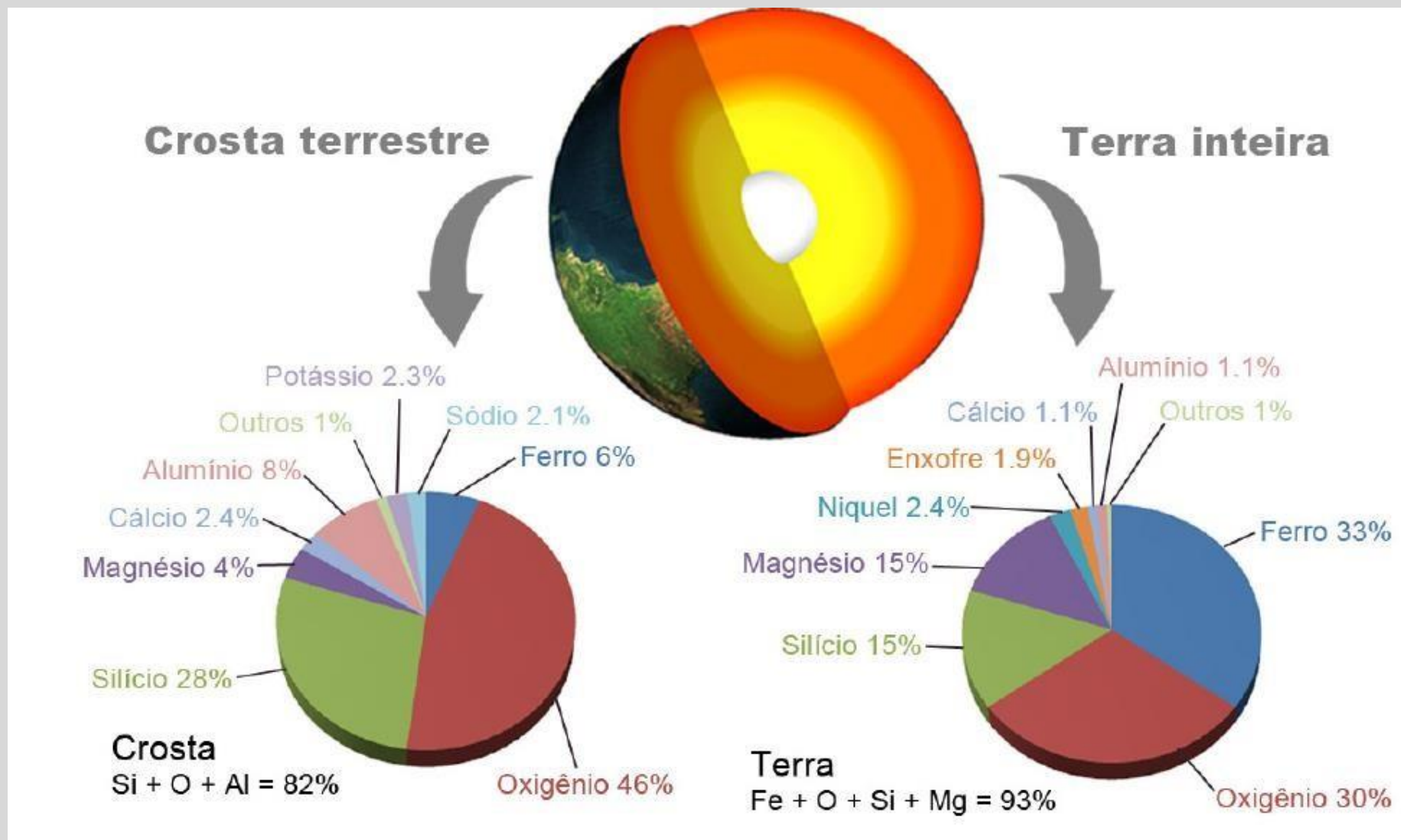
Figura 3.2: Diferenciação interna da Terra após a acreção planetesimal. Grande parte do ferro migrou para as partes internas do planeta e os compostos mais leves para níveis mais superficiais.



Modelos do interior da Terra

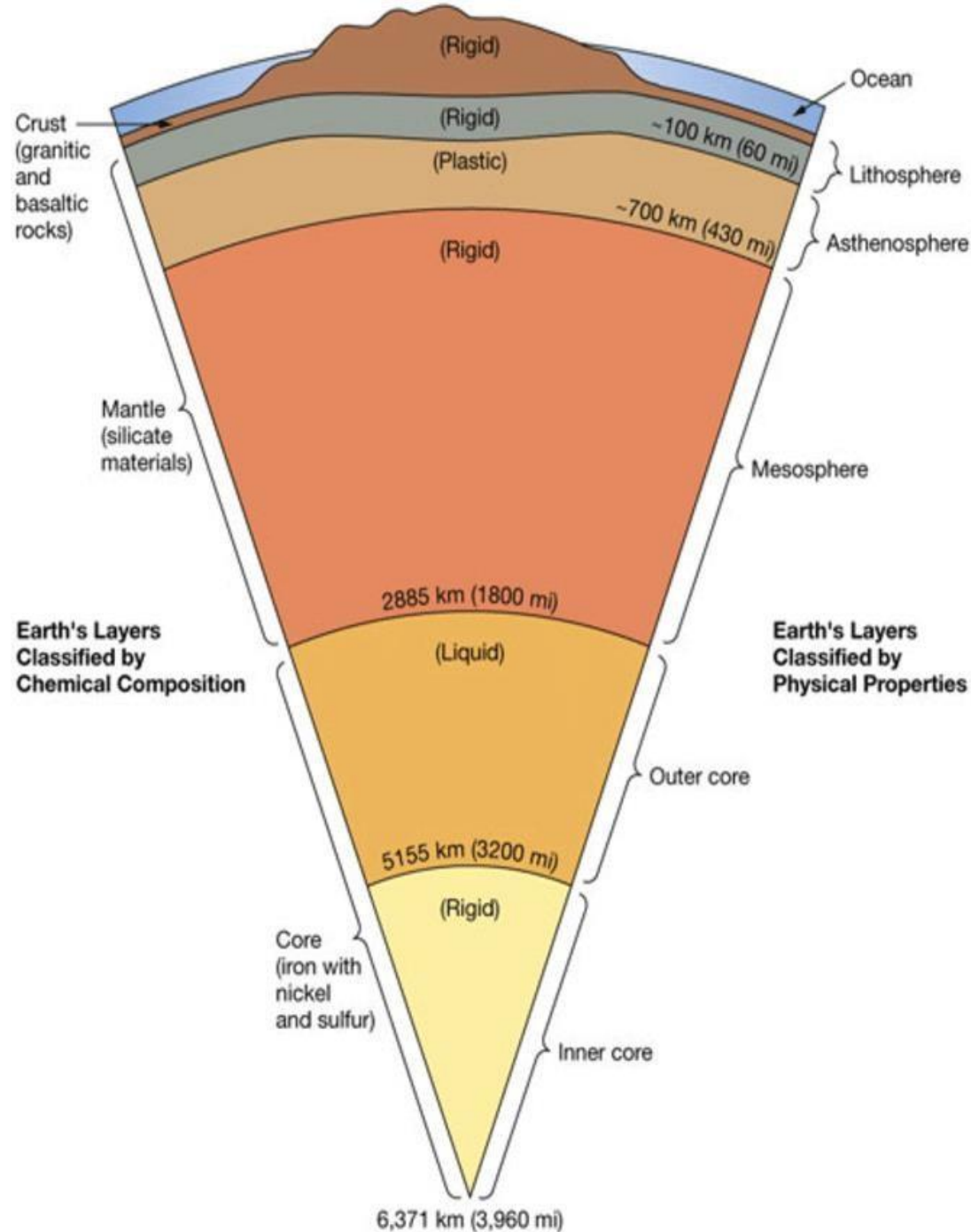
- Modelos baseados na composição química (geoquímica) e no comportamento físico (geodinâmica);
- Profundidades são variadas em diferentes pontos da superfície terrestre.





Fonte: UNIVESP

Modelo geoquímico

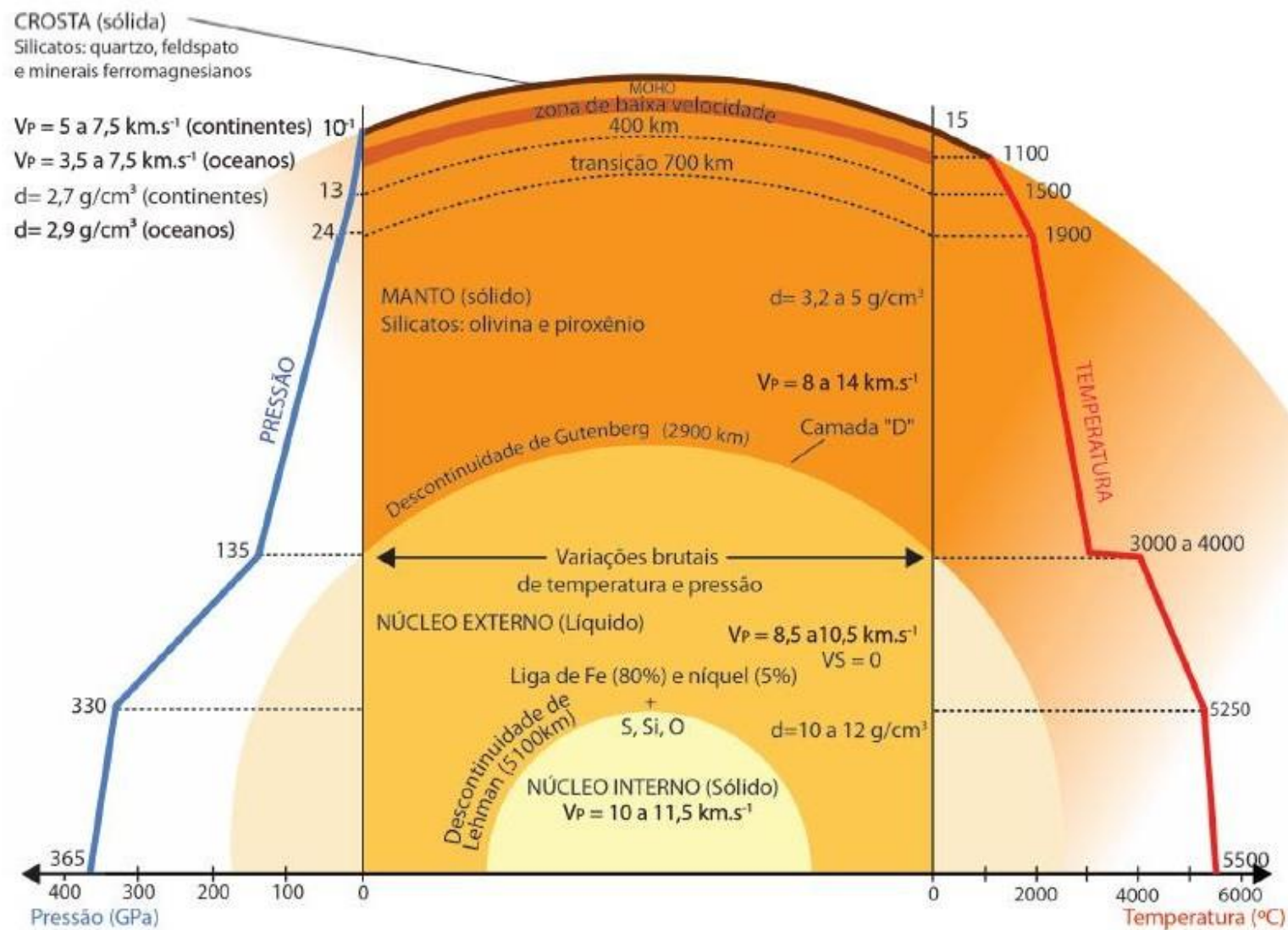


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Modelo geodinâmico

Aumento de pressão
e temperatura

Alteração das propriedades
mecânicas

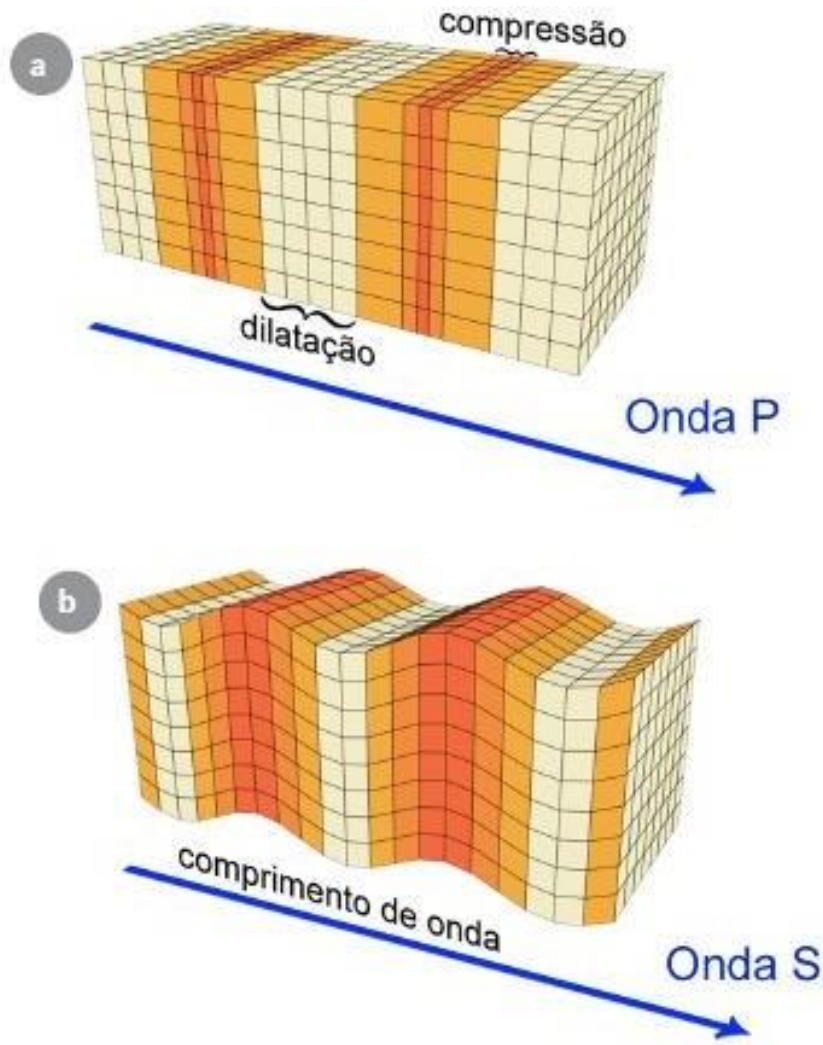


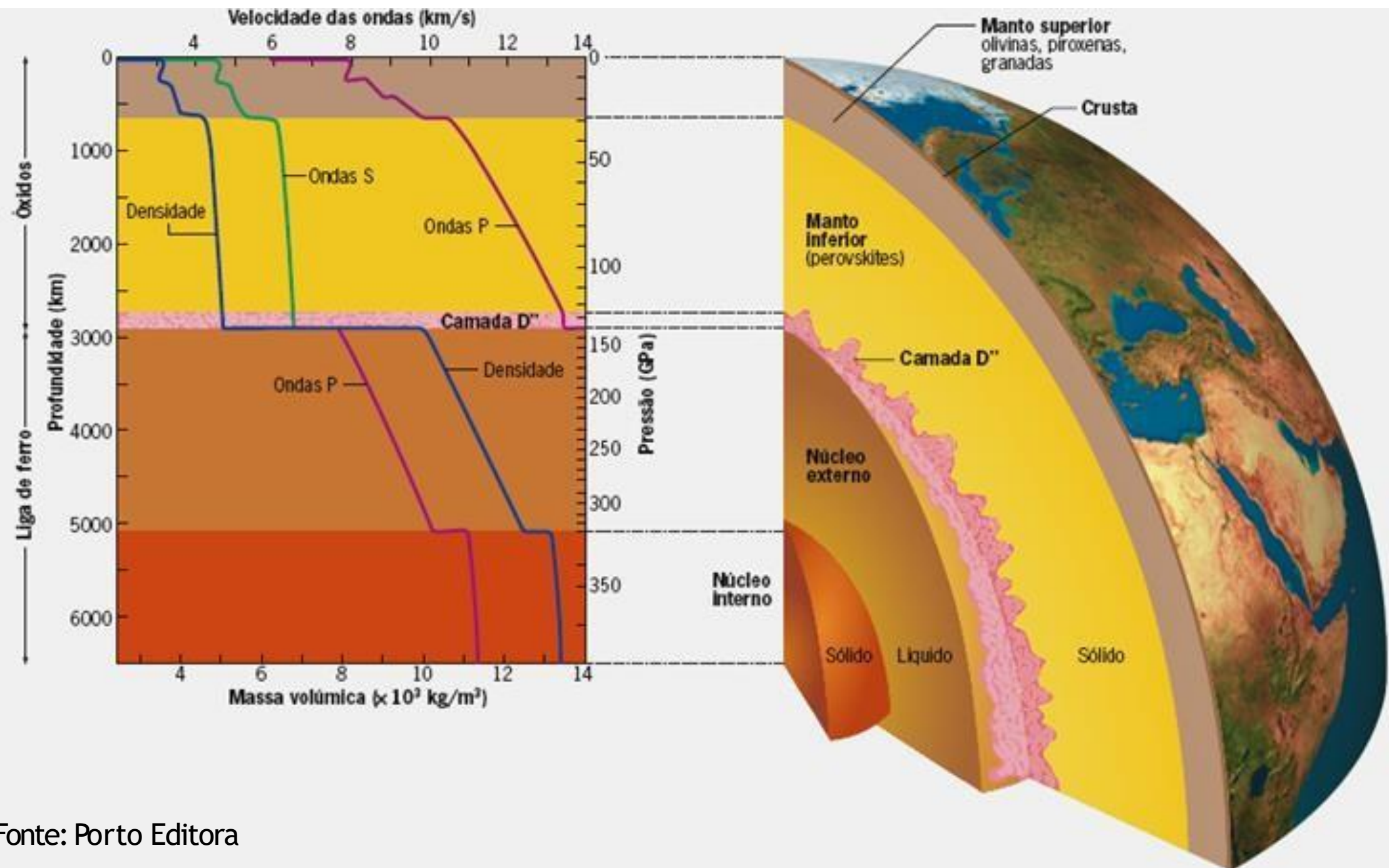
Fonte: UNIVESP

Ondas sísmicas

Quando ocorre uma ruptura na litosfera, são geradas vibrações sísmicas que se propagam em todas as direções na forma de ondas

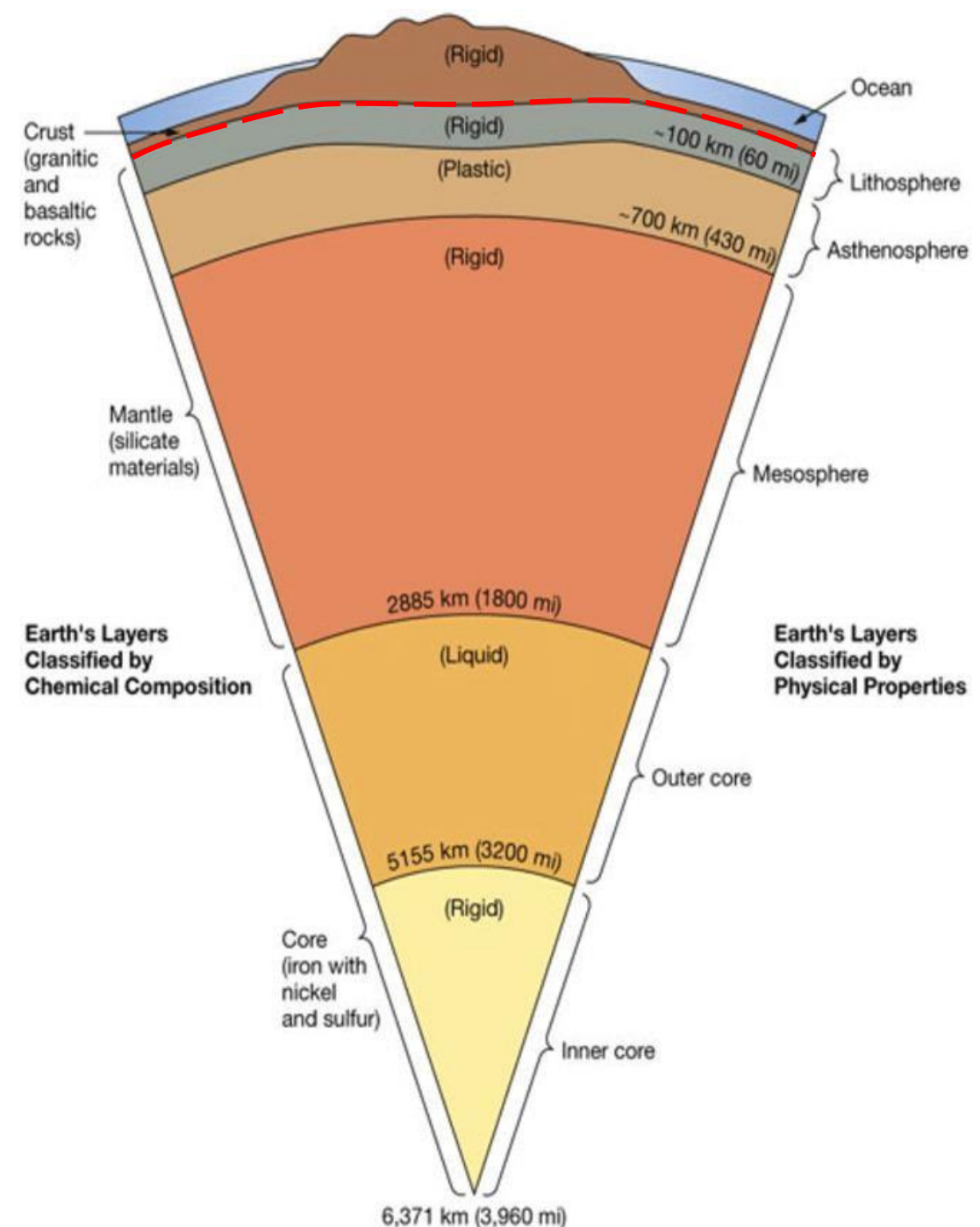
- **Ondas P:** ondas primárias (primeiras a chegar, maior velocidade de propagação); ondas longitudinais; atravessam materiais sólidos e líquidos
- **Ondas S:** ondas secundárias; transversais; cisalhantes; atravessam apenas materiais sólidos

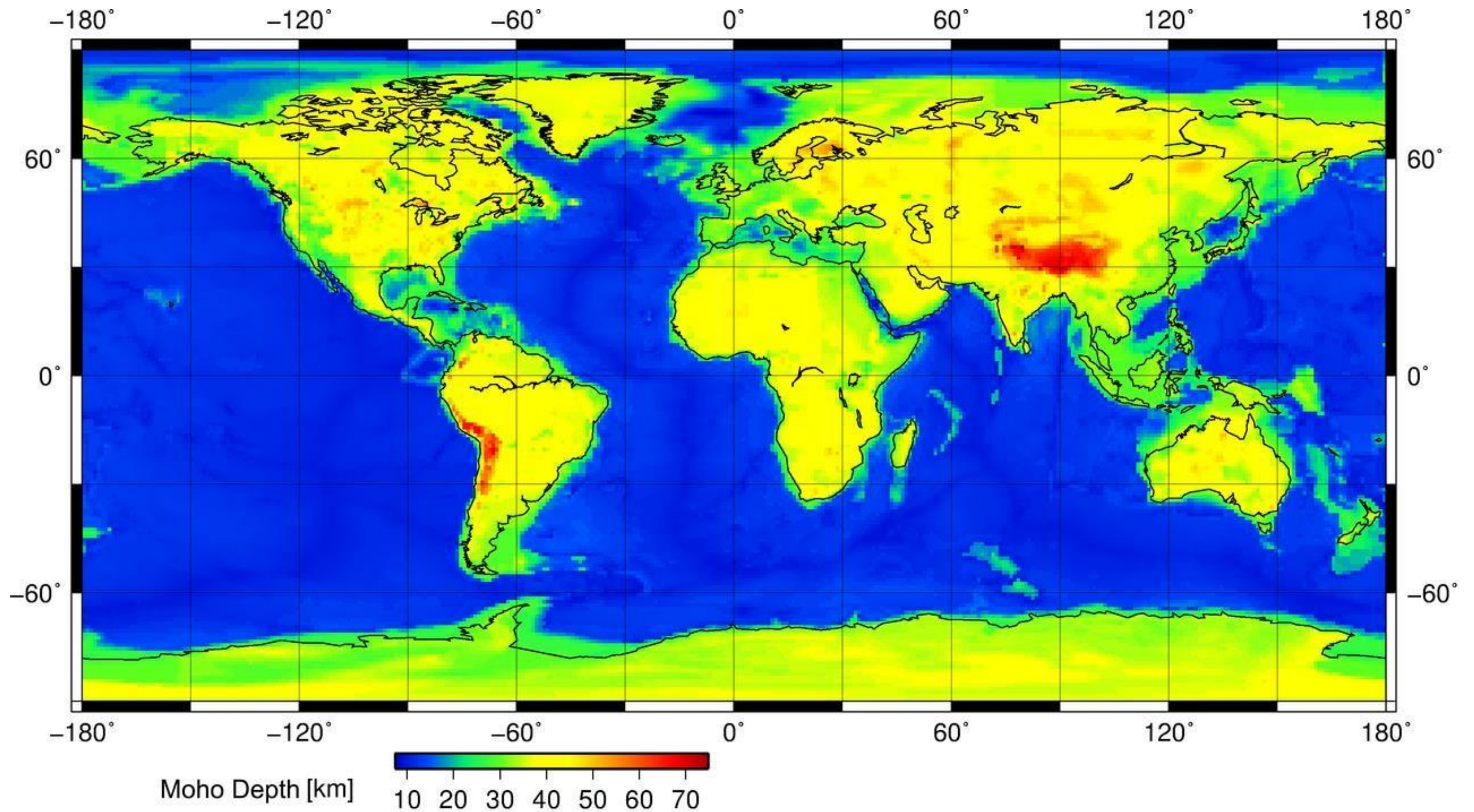




As descontinuidades do interior da Terra

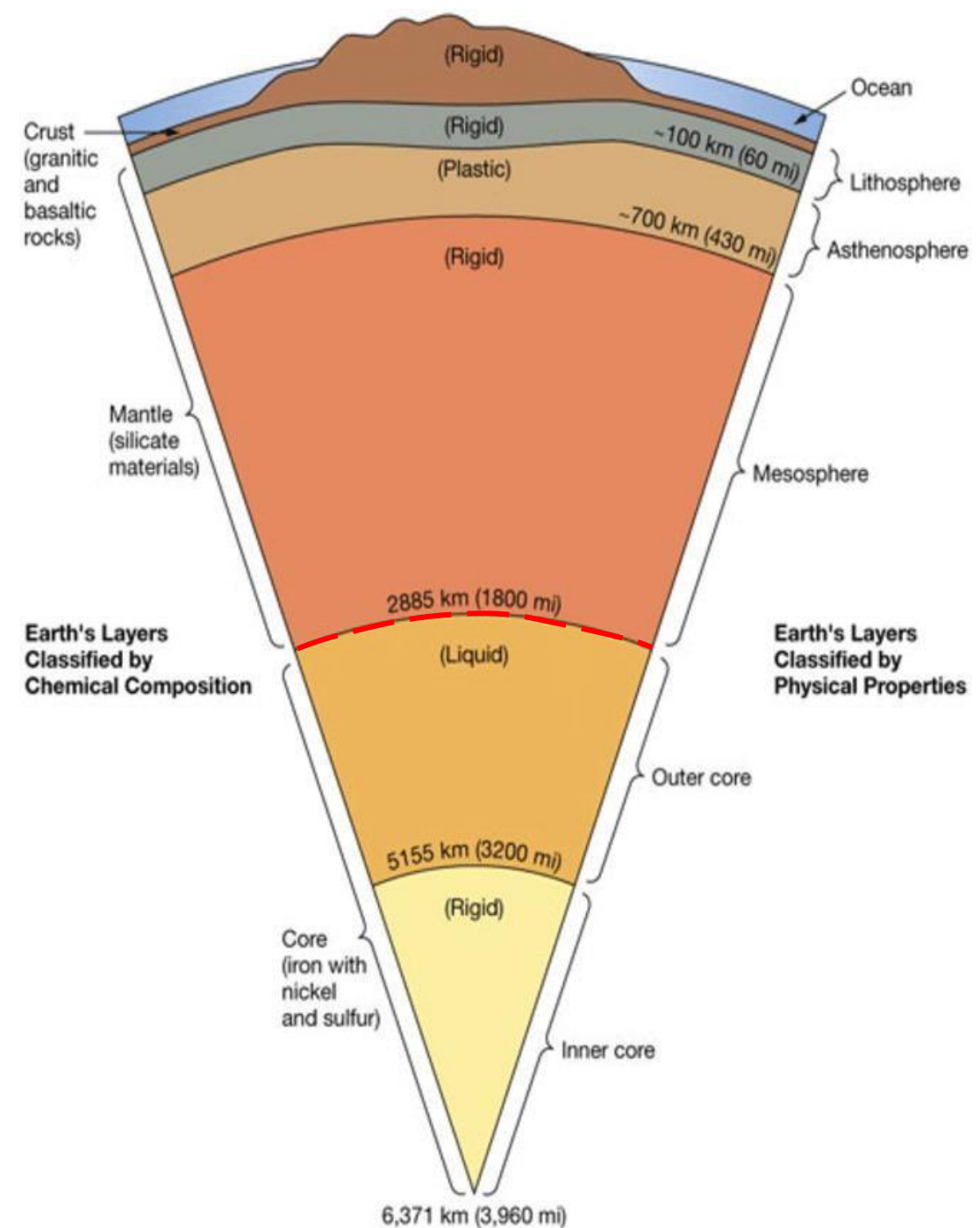
- Os limites entre as camadas principais na divisão geoquímica são chamados de descontinuidades e caracterizam mudanças relativamente bruscas de composição química;
- A primeira descontinuidade detectada na Terra foi o limite crosta-manto (sismólogo iugoslavo Andrija Mohorovicic em 1909) - materiais silicáticos com maior teor de Al dos com maior teor de Fe e Mg;
- Descontinuidade de Moho:** 5-10 km nas áreas oceânicas e 30-80 km nos continentes;



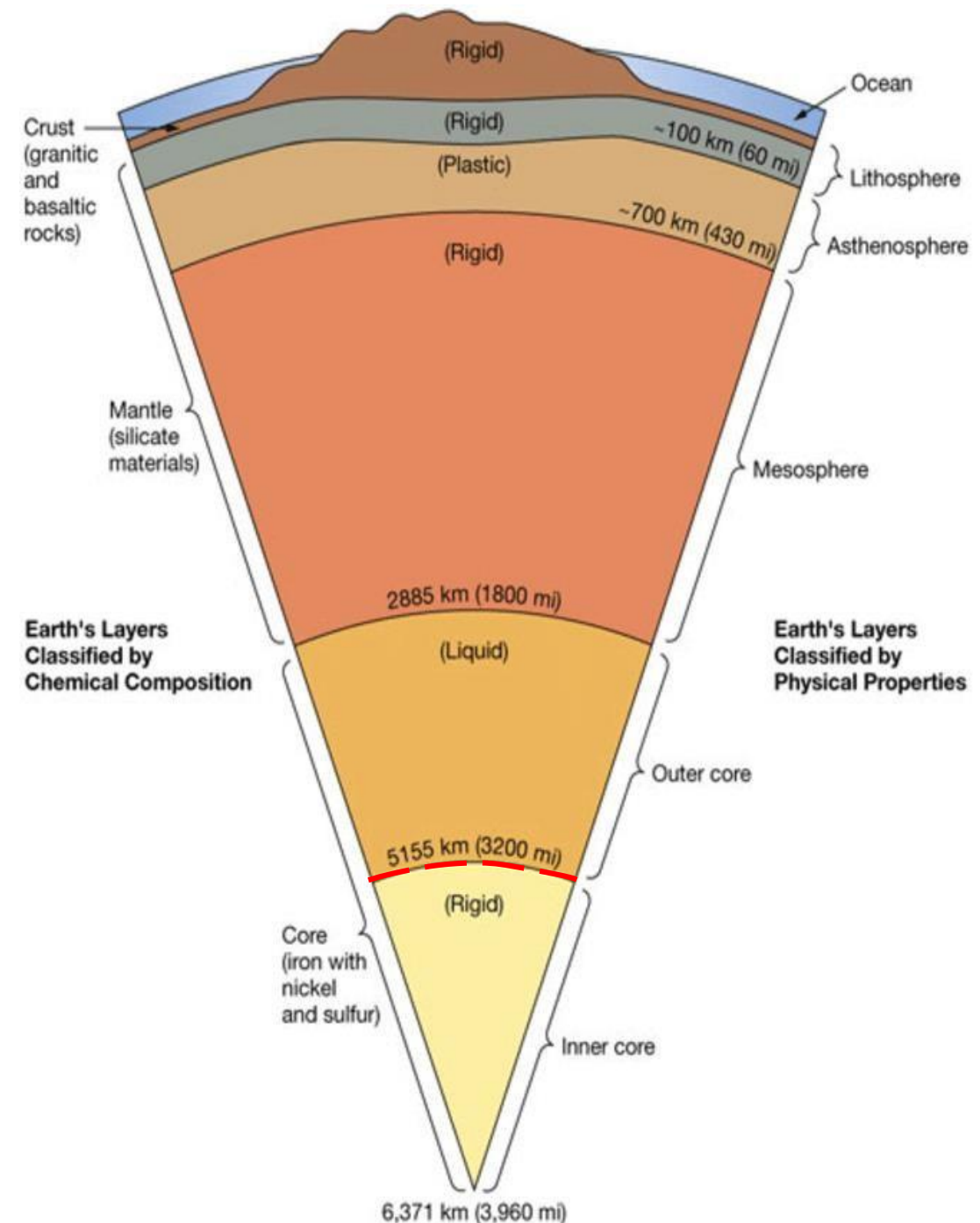


Fonte: Christian-Albrechts University of Kiel

- A interface núcleo-manto, ou **descontinuidade de Gutenberg**, situa-se a 2.900 km de profundidade - estudando as ondas S, verificou-se que elas não se propagavam no núcleo - o que levou à conclusão que a rigidez do material é nula (núcleo externo líquido);
- Separa materiais silicáticos de materiais metálicos (Fe e Ni);

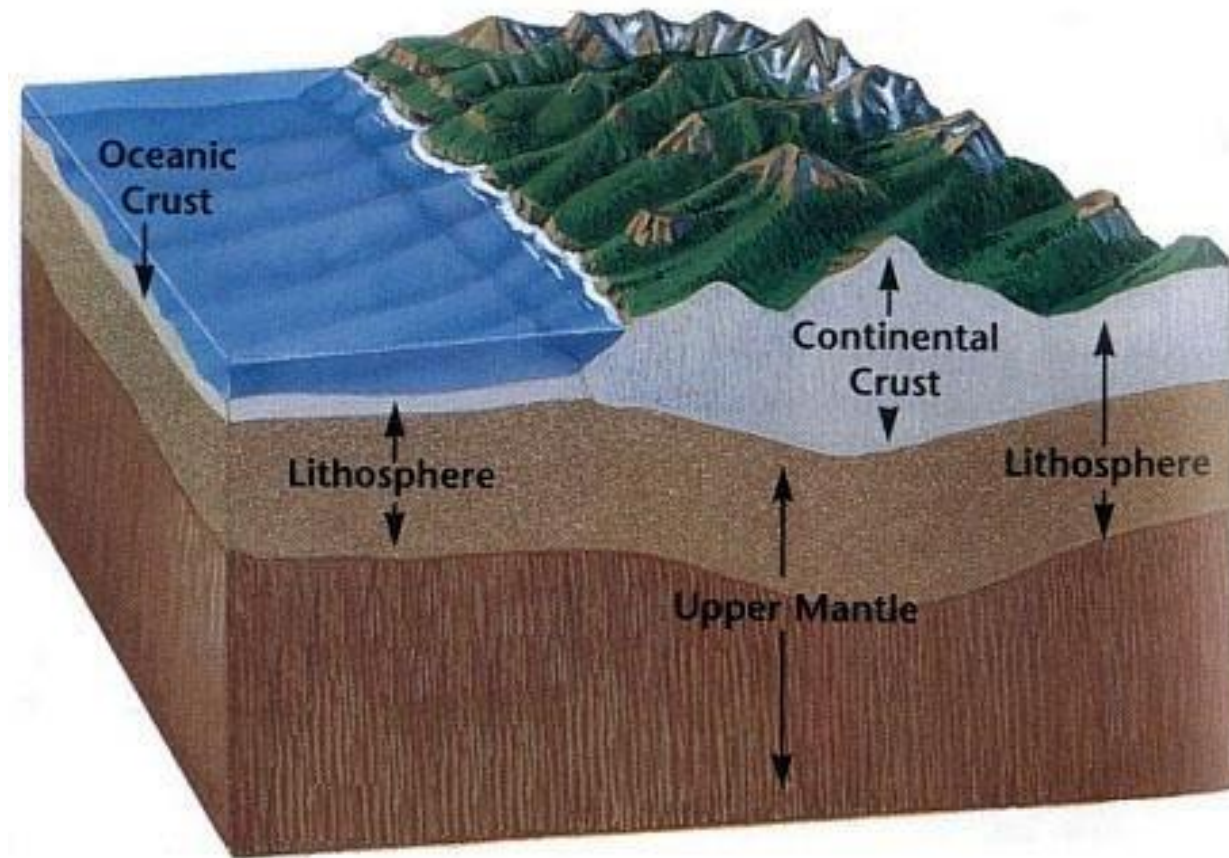


- A interface núcleo interno-núcleo externo, ou **descontinuidade de Lehman**, situa-se a 5.100 km de profundidade - velocidade das ondas P é muito maior - núcleo interno sólido;
- Mudança de estado físico e química

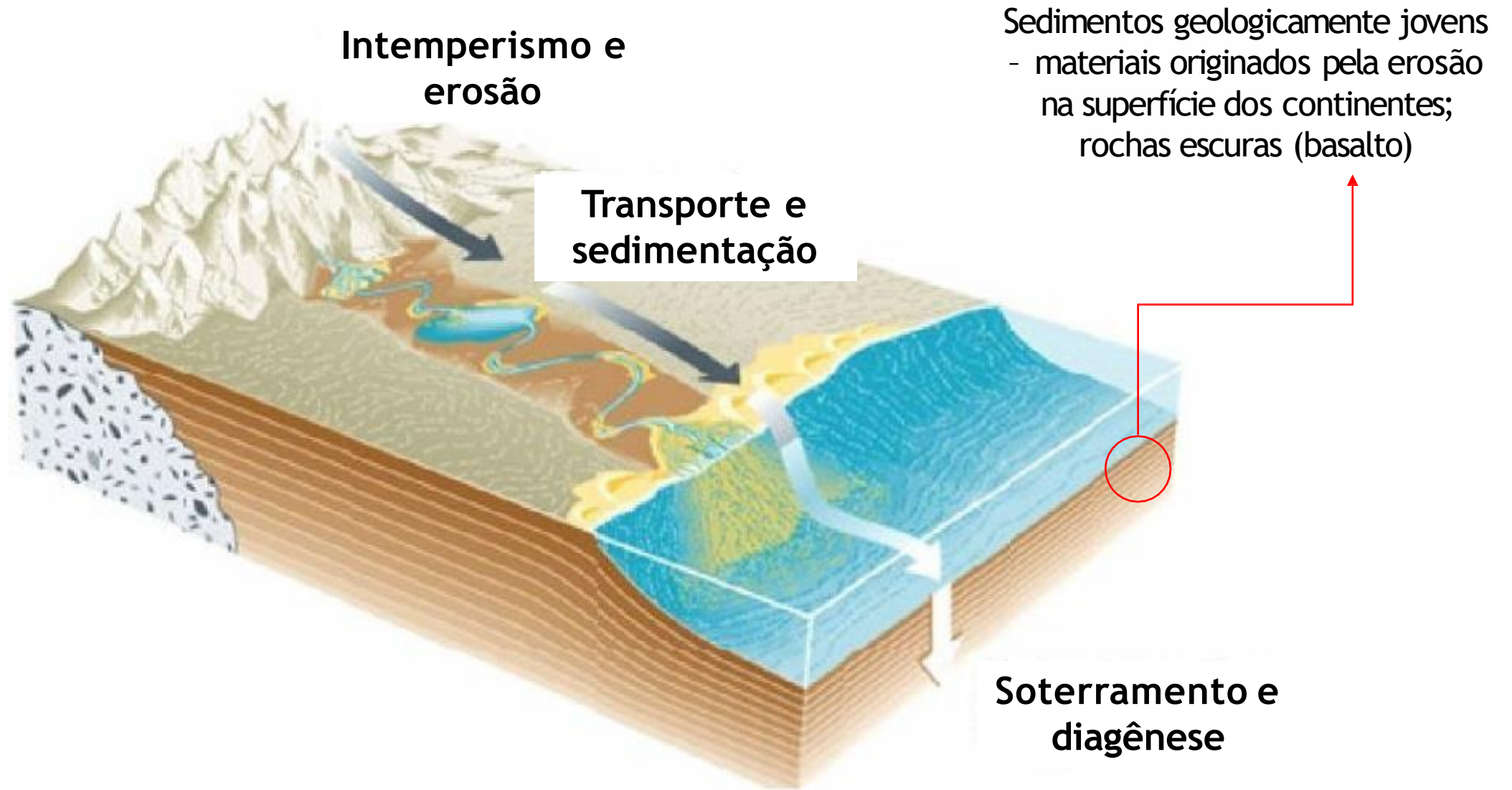


- **Crosta Terrestre**

- Encontram-se rochas sedimentares, rochas metamórficas, rochas plutônicas e vulcânicas;
- A crosta é a camada externa na Terra e é dividida em continental e oceânica;
- Crosta continental: mais espessa (30 a 80 km) e menos densa (**predomínio de silicatos ricos em alumínio**);
- Crosta oceânica: menos espessa (8 a 10 km) e mais densa (**predomínio de minerais ricos em ferro e magnésio**)

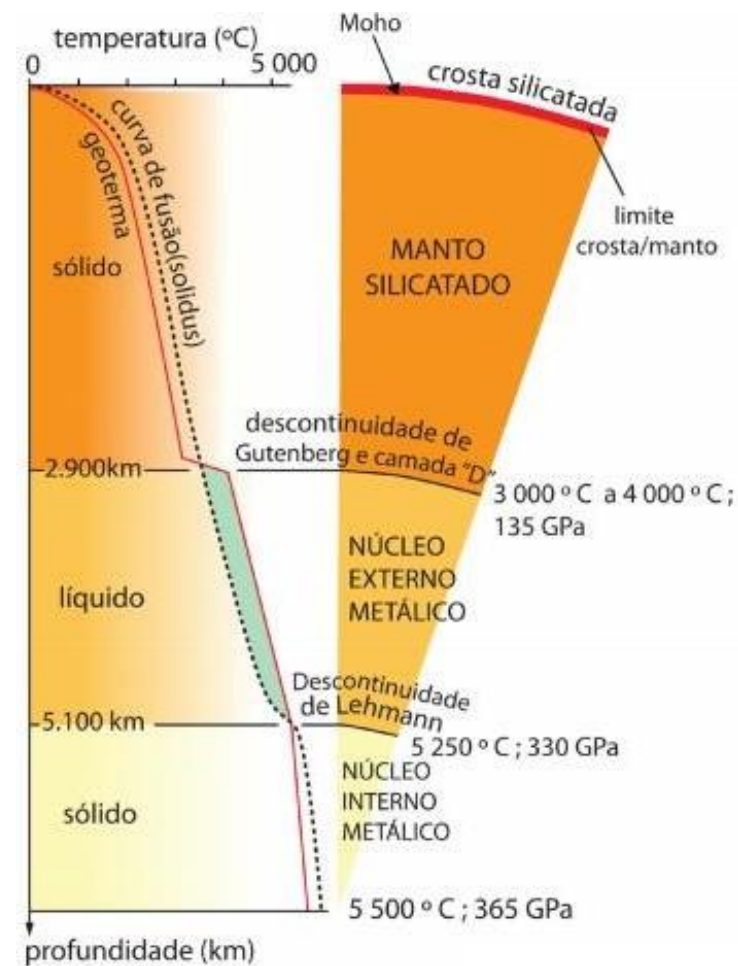


Fonte: Blue Planet

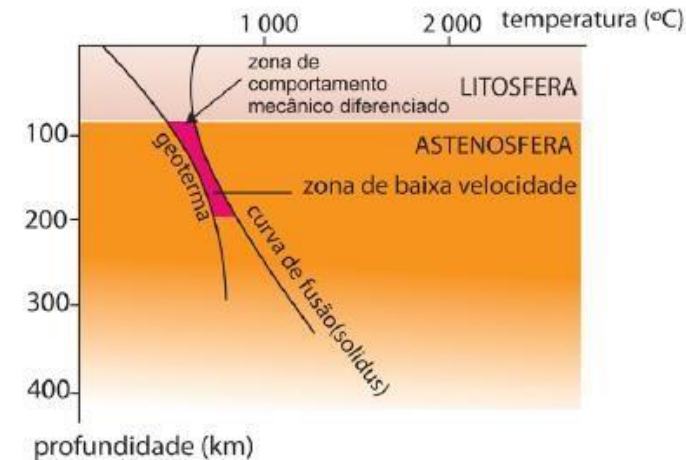


- **Manto**

- Estrutura complexa com espessura de 2.900 km;
- Densidade do manto superior 3,2-3,7 g/cm³;
- Composto de minerais silicatados ricos em ferro e magnésio (olivinas e piroxênios - peridotito (olivina + piroxênio) e eclogito (granada e piroxênio)) - [IGc](#);
- Moho ~ 400 km: zona de baixa velocidade (2% de umidade/próximo ao ponto de fusão - meio plástico/dúctil) - astenosfera



Fonte: UNIVESP



- **Núcleo**

- É dividido em núcleo interno e núcleo externo;
- Núcleo interno possui um raio de cerca de 1.200 km e composto basicamente de Fe e Ni sólido;
- Núcleo externo, com cerca de 2.300 km de espessura, composto de ligas de ferro e níquel no estado líquido, com participação de elementos químicos mais leves como O, Na, Mg e S; Densidade < 10 g/cm³

