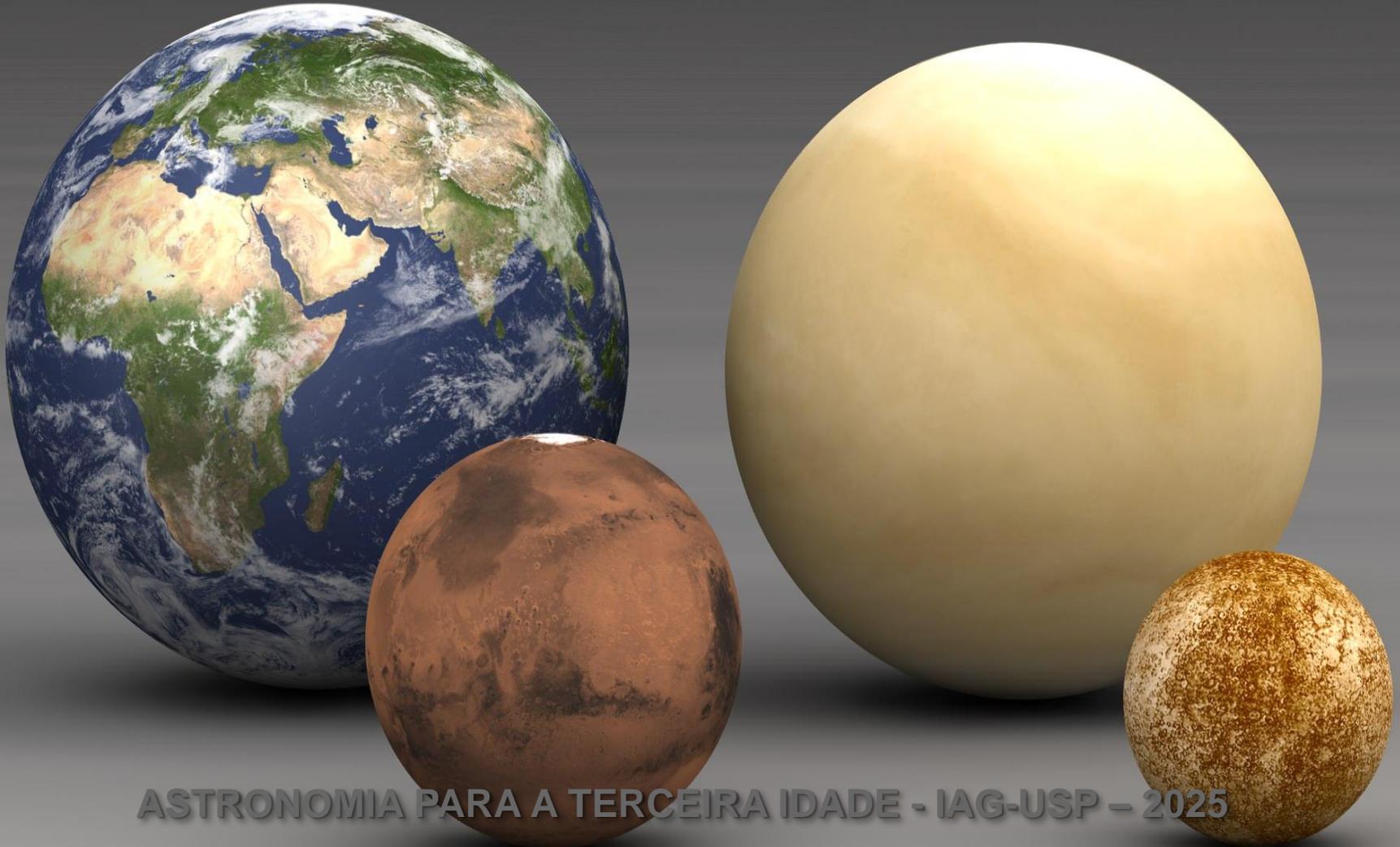


# A Terra: Formação, Estrutura e Métodos Geofísicos



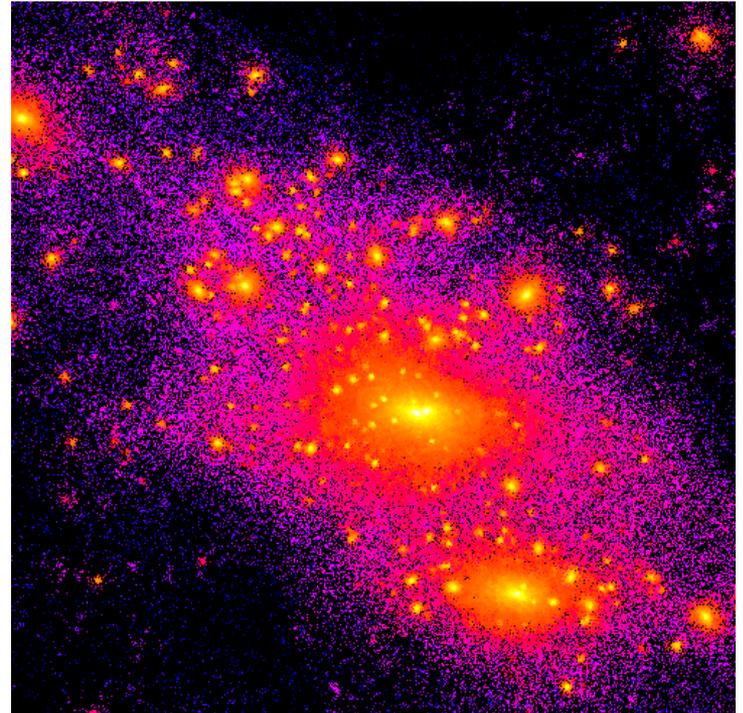
ASTRONOMIA PARA A TERCEIRA IDADE - IAG-USP – 2025

Eder C. Molina – [eder.molina@iag.usp.br](mailto:eder.molina@iag.usp.br)

# *Red shift*

Na década de 1920 os astrônomos descobriram que todas as galáxias estavam se afastando das estrelas próximas existentes na própria Via Láctea.

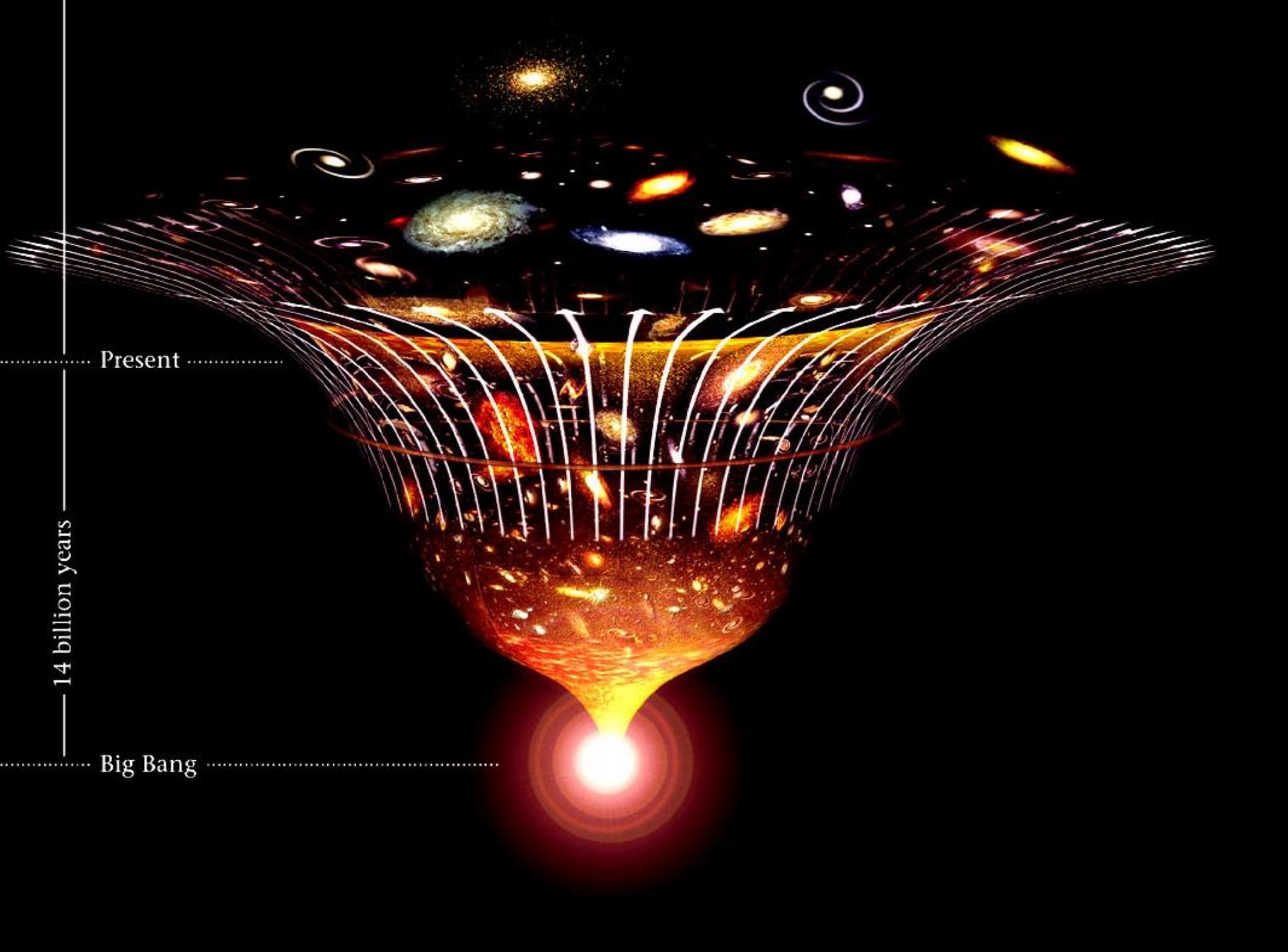
*Implicação: o Universo deve estar se expandindo uniformemente. Todos os astros estão se afastando uns dos outros.*



# A teoria do Big Bang



**Big Bang:** Toda a matéria e energia no Universo estavam concentradas em um ponto há aproximadamente 14 bilhões de anos. A “explosão” da matéria deu origem ao nosso Universo, que continua em constante expansão.



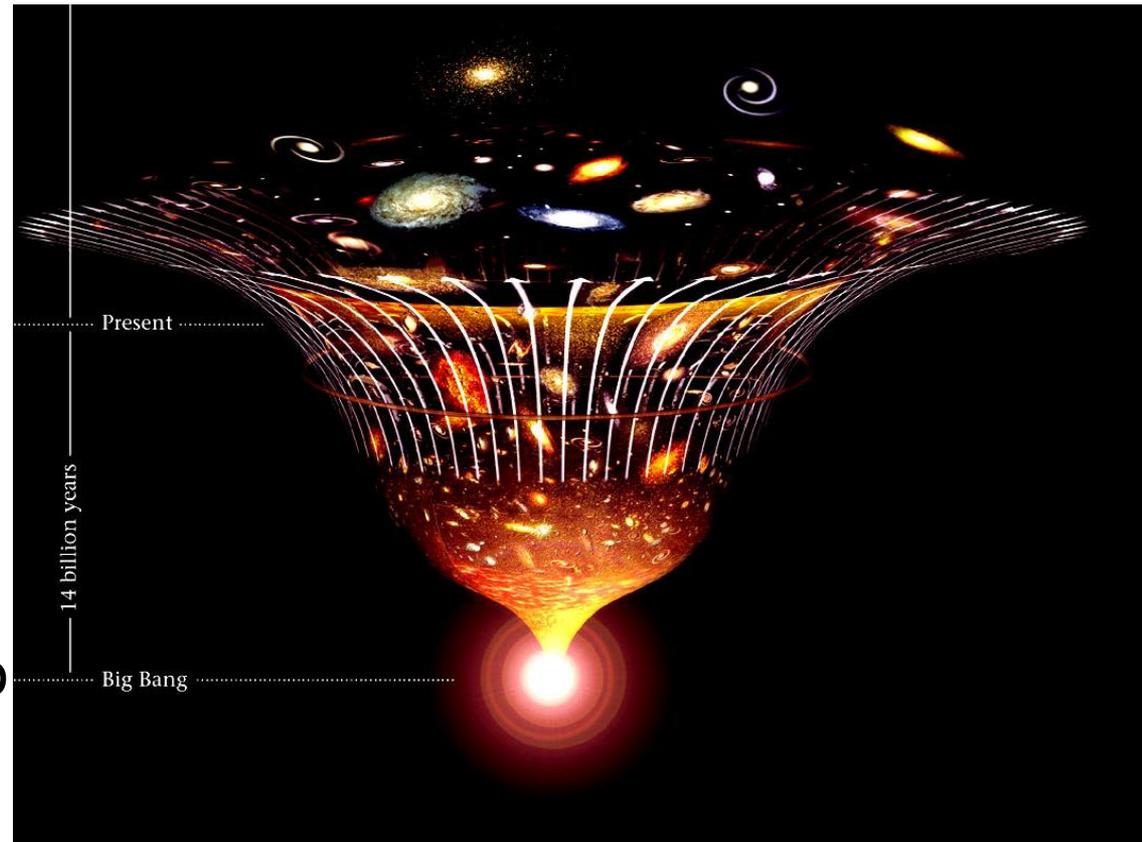
14 billion years

Present

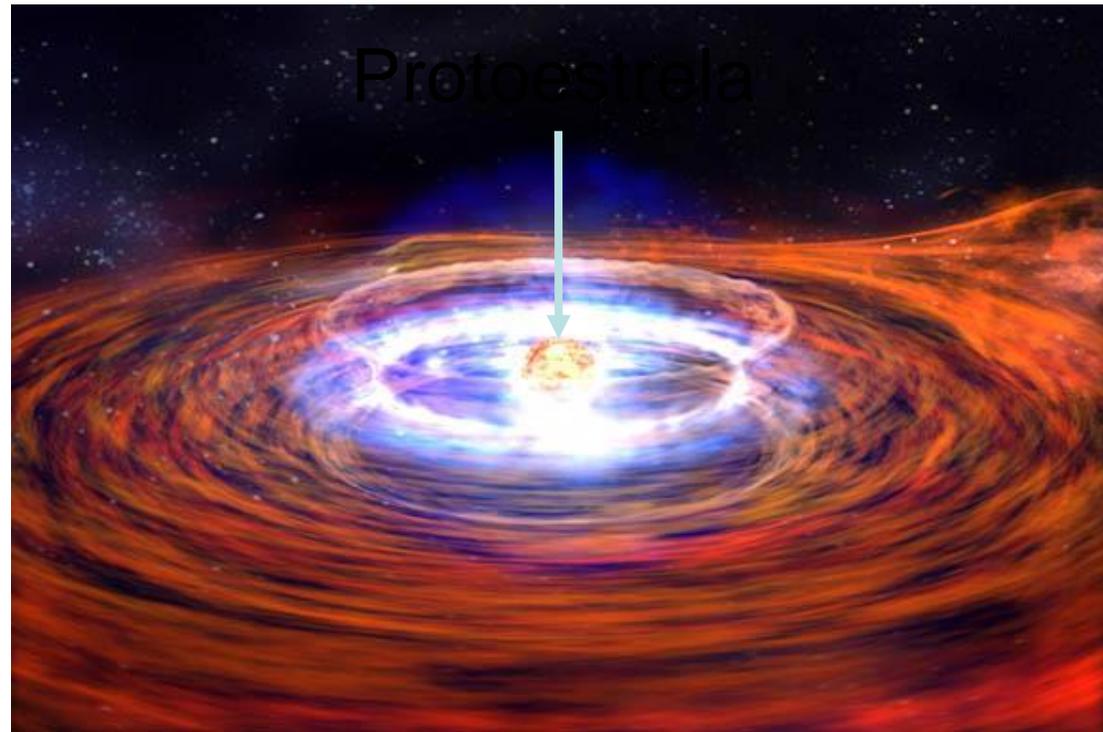
Big Bang

# A expansão e o resfriamento do Universo

- Em poucos momentos os núcleos dos átomos começaram a se formar;
- Em  $\sim 100.000$  anos os primeiros átomos de H e He se formaram;
- O resfriamento contínuo permitiu a existência de nuvens de gás.



- As nuvens de gás iniciaram um processo de rotação e aglutinação sob a ação da gravidade
- Assim que uma concentração central de matéria atingiu massa suficiente, iniciaram-se os processos de fusão nuclear – nasceram as estrelas.



- Foram necessárias muitas gerações de estrelas até que os elementos químicos mais pesados se formassem

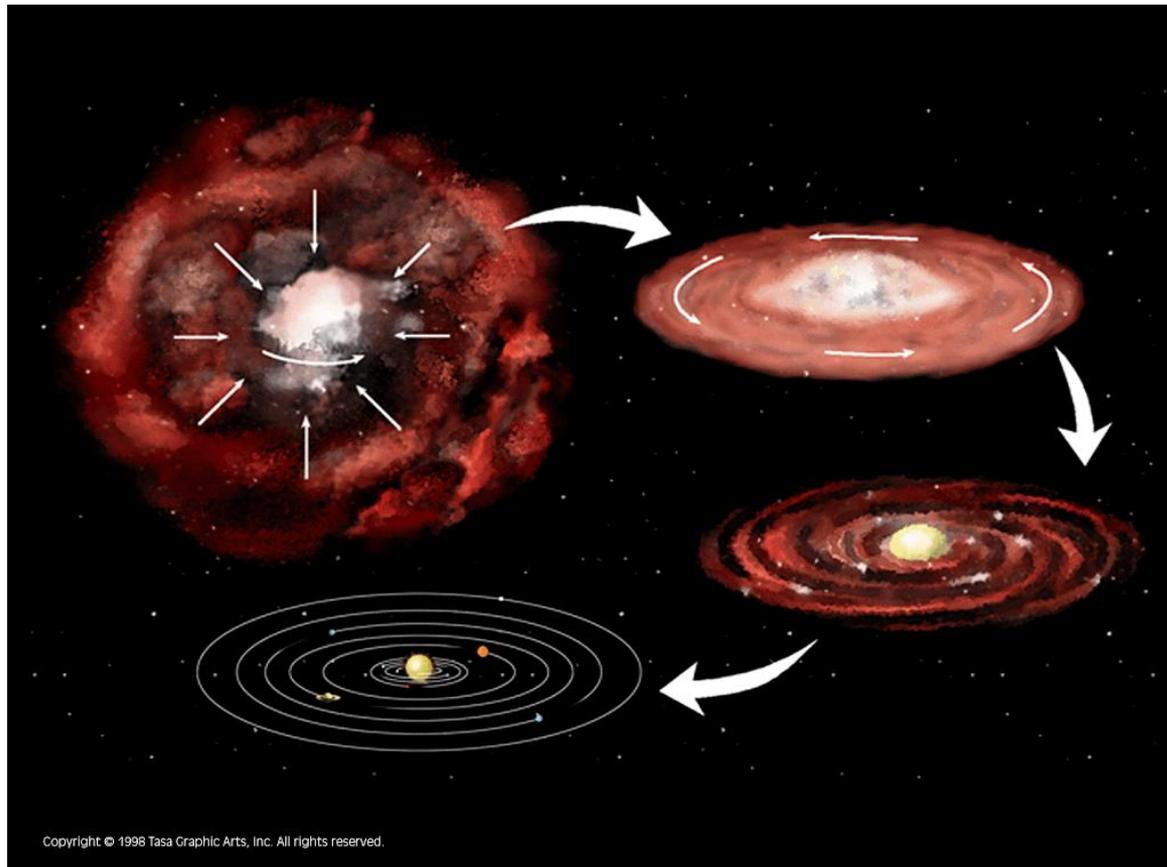
- SUGESTÃO:  
ASSISTA O VÍDEO  
**Rockstar e a origem dos elementos:**  
<https://youtu.be/wIEhSlt1oEI>



## Animação e Rock'n'Roll

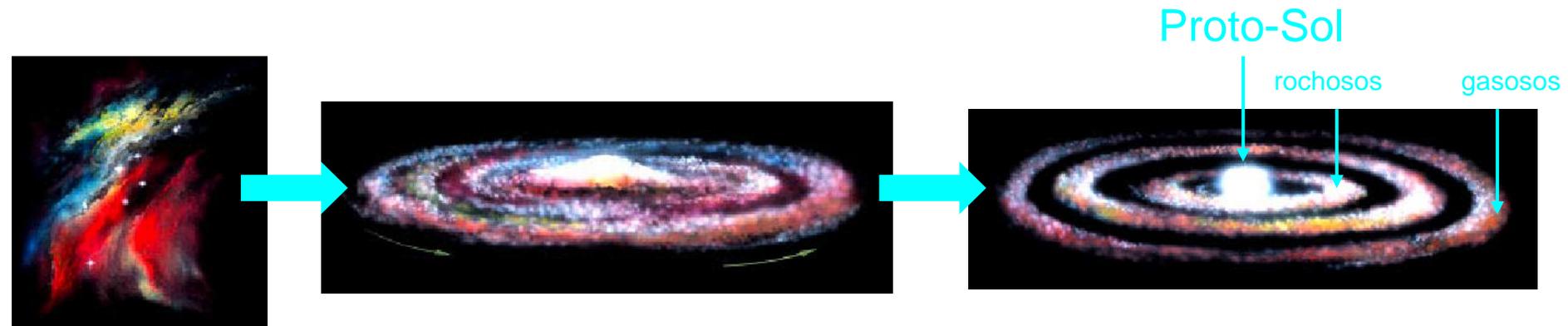
usados para facilitar o ensino de Astronomia e Química.

- O Sistema Solar iniciou o processo de aglutinação a partir de uma nuvem primordial há aproximadamente 4,6 bilhões de anos.



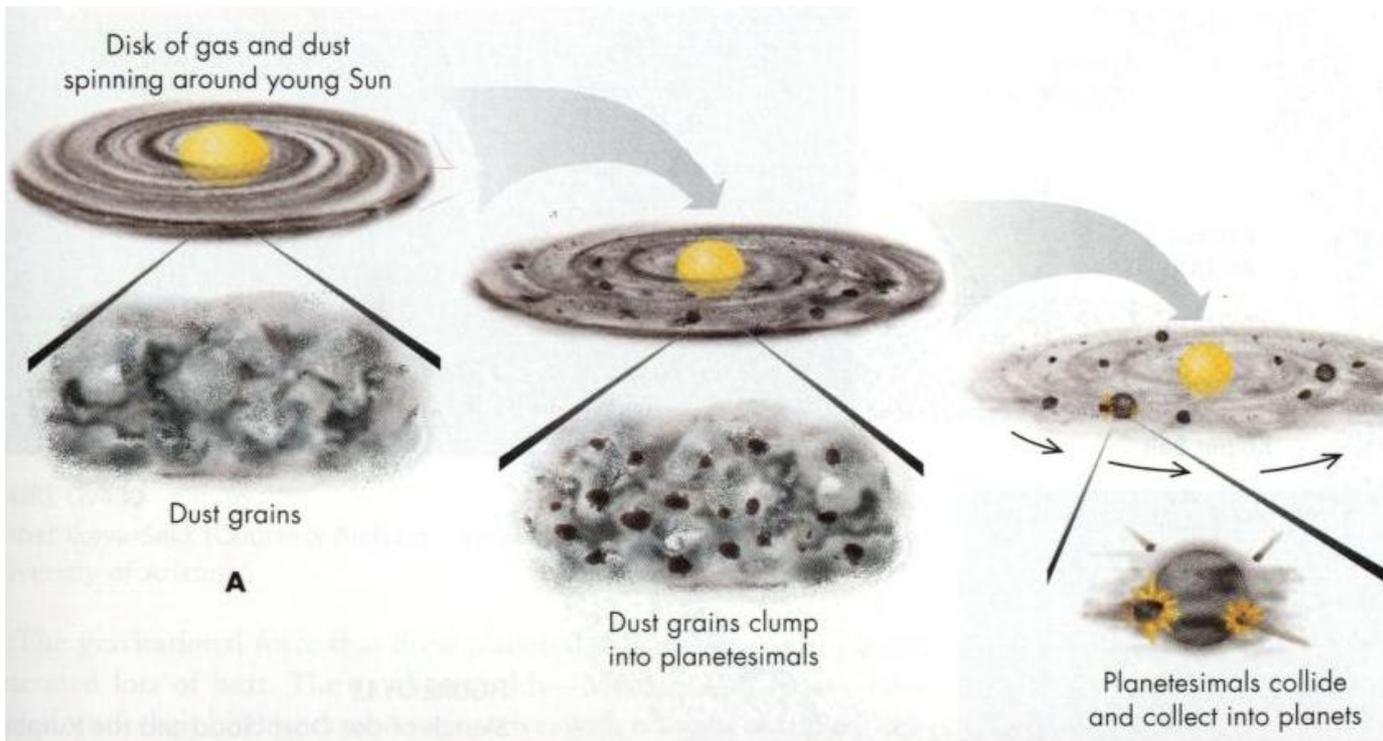
# A formação da Terra

No Sistema Solar, 99,8% da matéria primordial ficou concentrada no Sol. Os 0,2% restantes ficaram girando ao redor do proto-Sol na forma de um disco de gás e poeira.



# A formação da Terra

- A matéria nesta nuvem em forma de disco rapidamente convergiu para formar **planetesimais**.
- Planetesimais continuaram a colidir e crescer, formando os planetas há ~4,5 bilhões de anos.



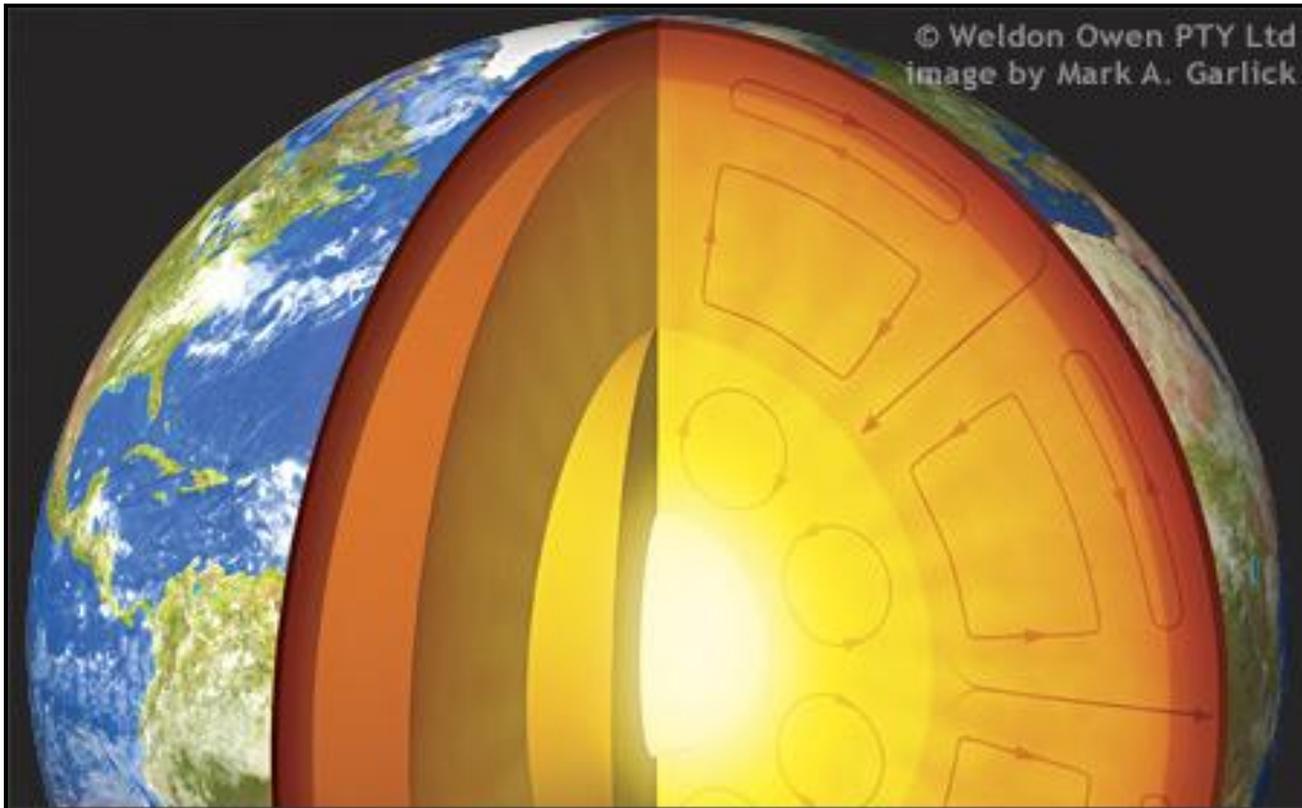
# A formação da Terra

- A proto-Terra deve ter sido formada quase inteiramente em estado fundido.



# A formação da Terra

- Ocorreu então a separação em camadas, sob ação da força da gravidade, gerando:
  - Um núcleo pesado de ferro e níquel;
  - Um manto primitivo composto por material silicático.



# A formação da Terra

Logo após a separação, acredita-se que um grande planetesimal colidiu ou “passou de raspão” com a proto-Terra e “arrancou” material suficiente para, junto com sua própria massa, formar a Lua.



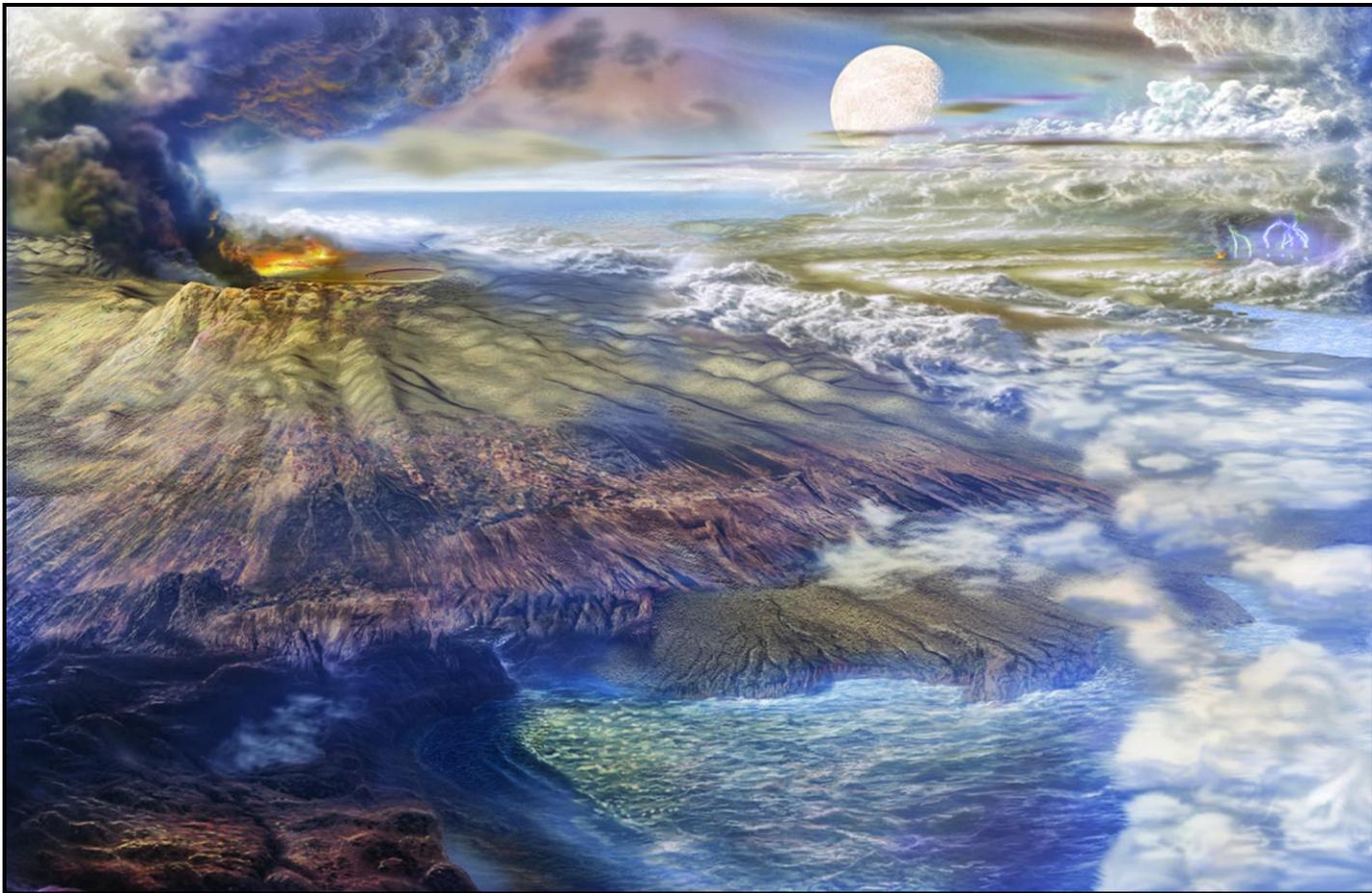
# A formação da Terra

Durante os primeiros 600–700 milhões de anos, o choque contínuo de meteoritos e a atividade vulcânica não permitiram a formação de uma crosta no planeta.



# A formação da Terra

Há ~3.8 bilhões de anos o sistema se estabilizou e se formou uma crosta.



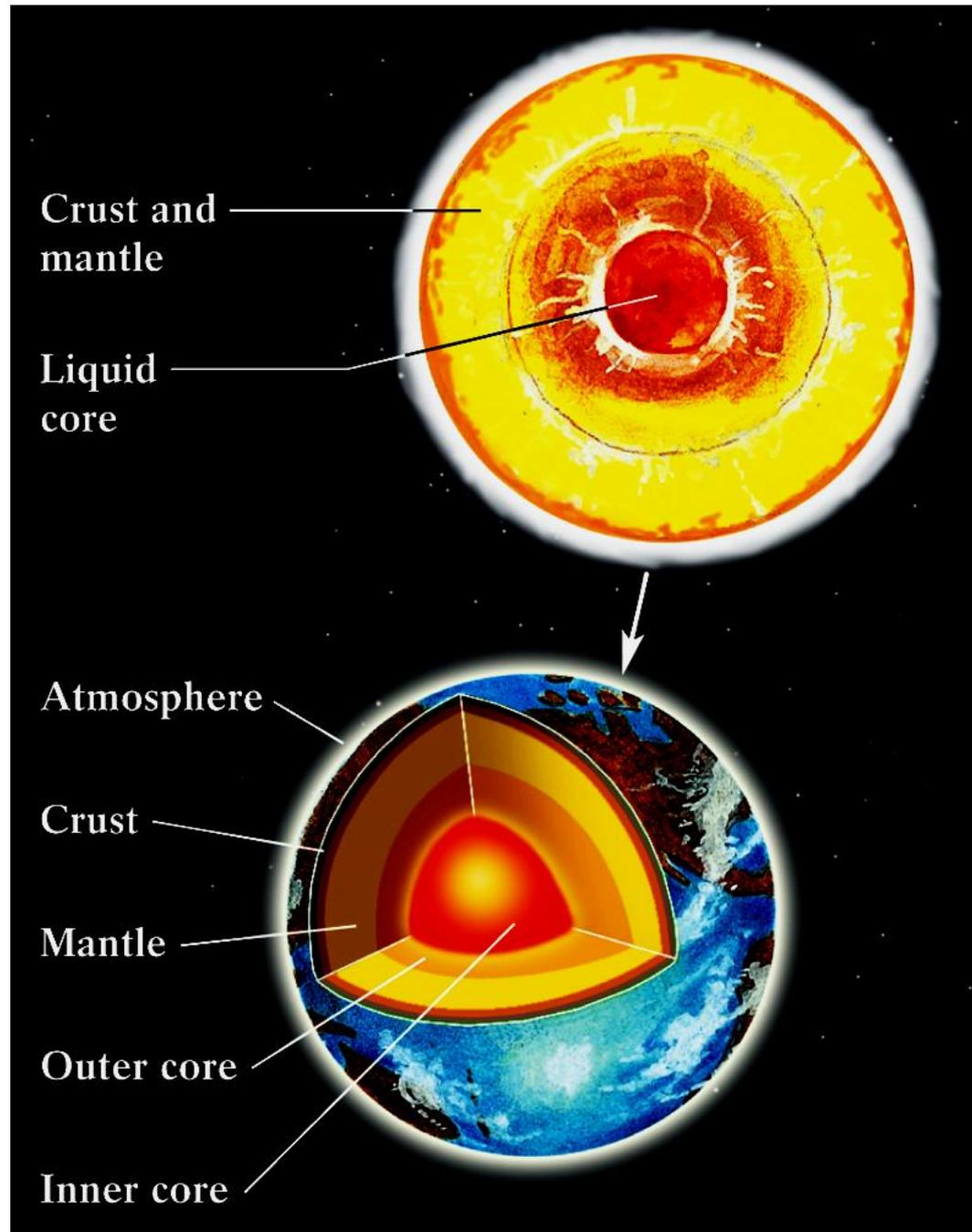
# A idade da Terra

As idades dos meteoritos variam entre 4,53 e 4,58 bilhões de anos. Acredita-se que esta seja a idade de formação do Sistema Solar.



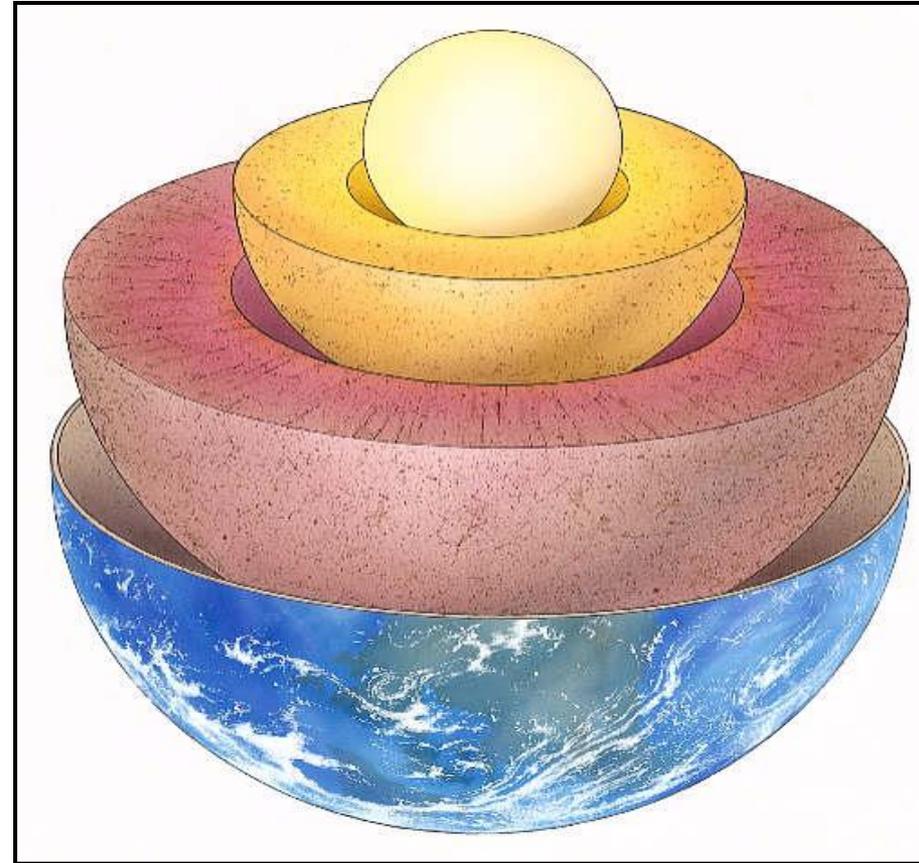
# A estrutura da Terra

- Inicialmente se formou um **núcleo metálico** circundado por um **manto de composição rochosa**
- Com o passar do tempo, parte do núcleo se solidificou
- Os elementos mais leves continuaram a migrar do manto para a superfície

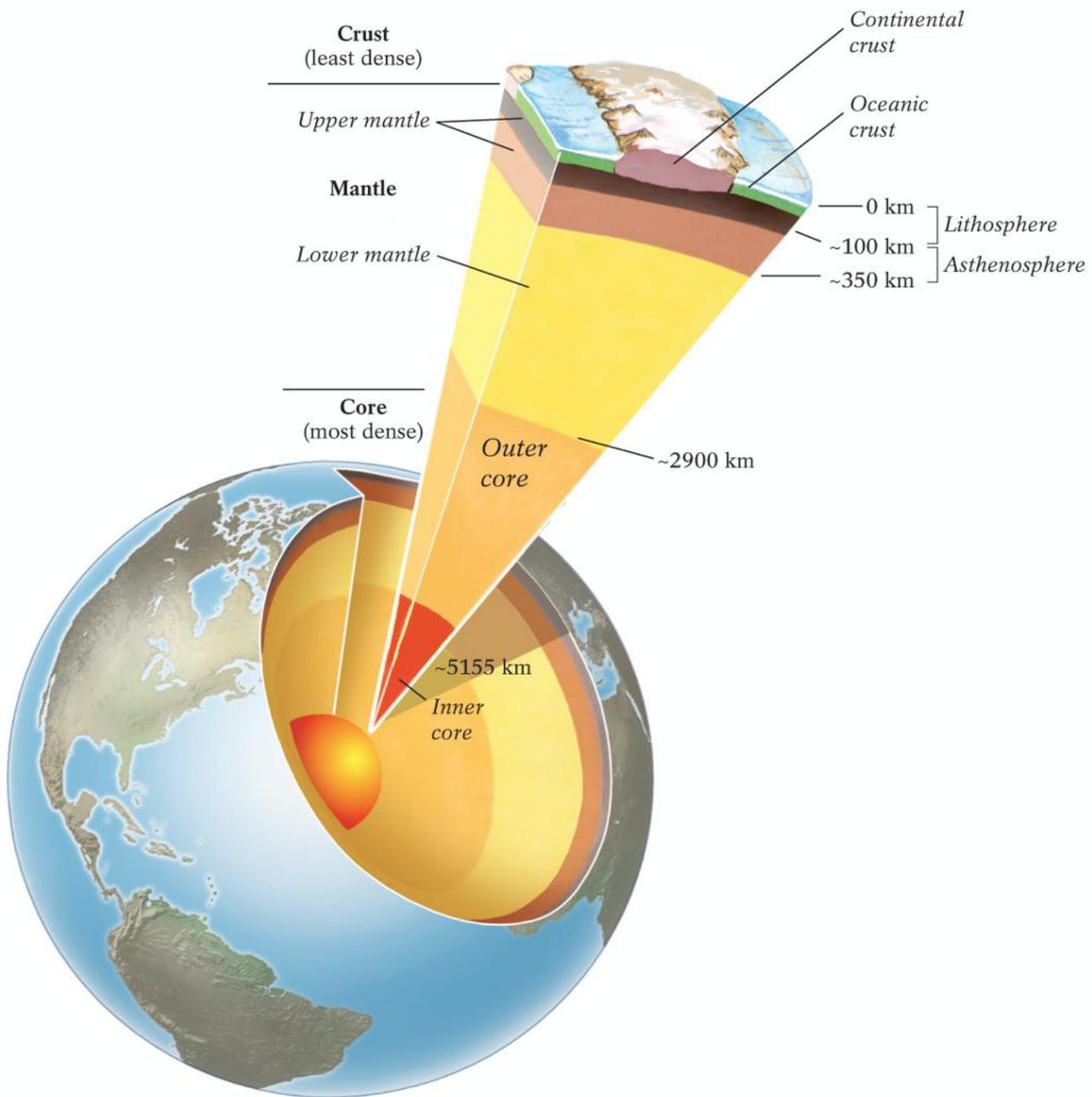


# As camadas da Terra

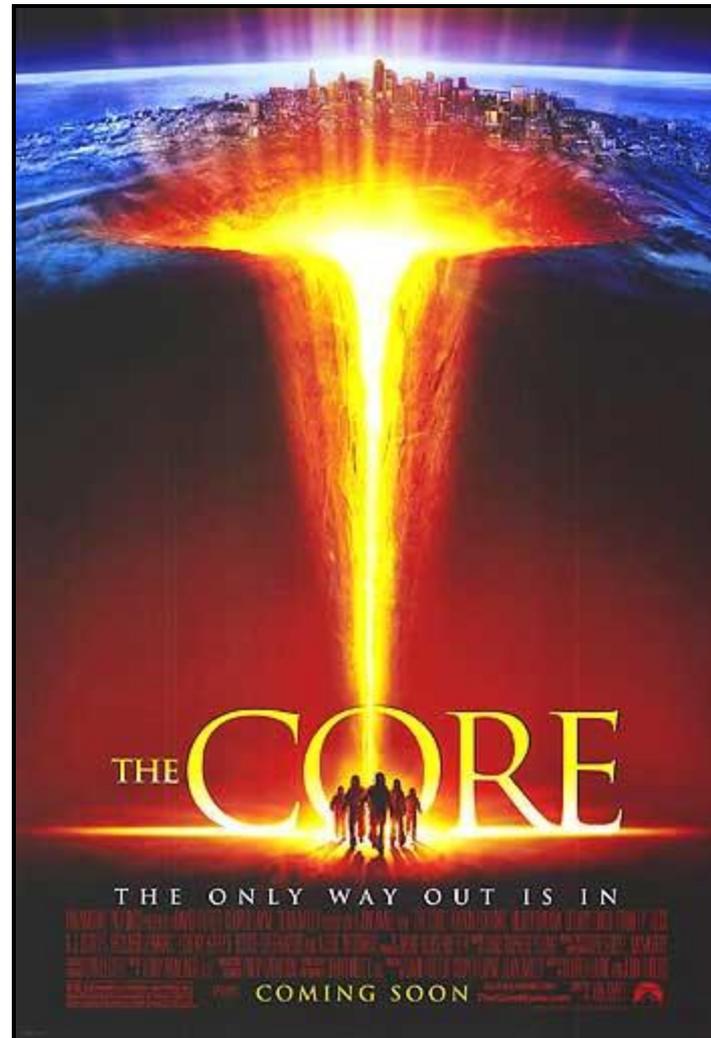
- **Núcleo** composto de uma liga de ferro e níquel:
  - Núcleo interno sólido
  - Núcleo externo fluido
- **Manto** composto de material de composição rochosa.



Camadas da Terra  
(SEM ESCALA E COM  
CORES-FANTASIA)



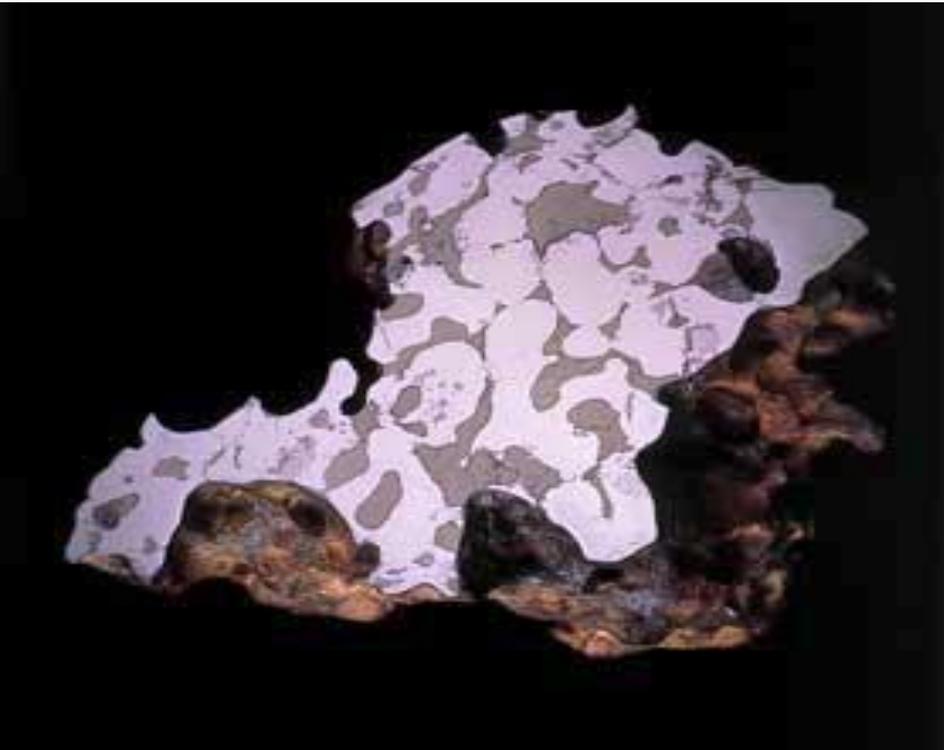
# Como sabemos o que existe no interior da Terra?



# Evidências diretas

## 1. Composição dos meteoritos

Liga de ferro e níquel



Silicatos de  
magnésio

## 2. Inclusões do manto em rochas da superfície



3. **Ofiolitos**: fragmentos da crosta oceânica e do manto superior presentes em alguns cinturões de montanhas

Oman



## 4. Métodos indiretos: GEOFÍSICA!!! 😊

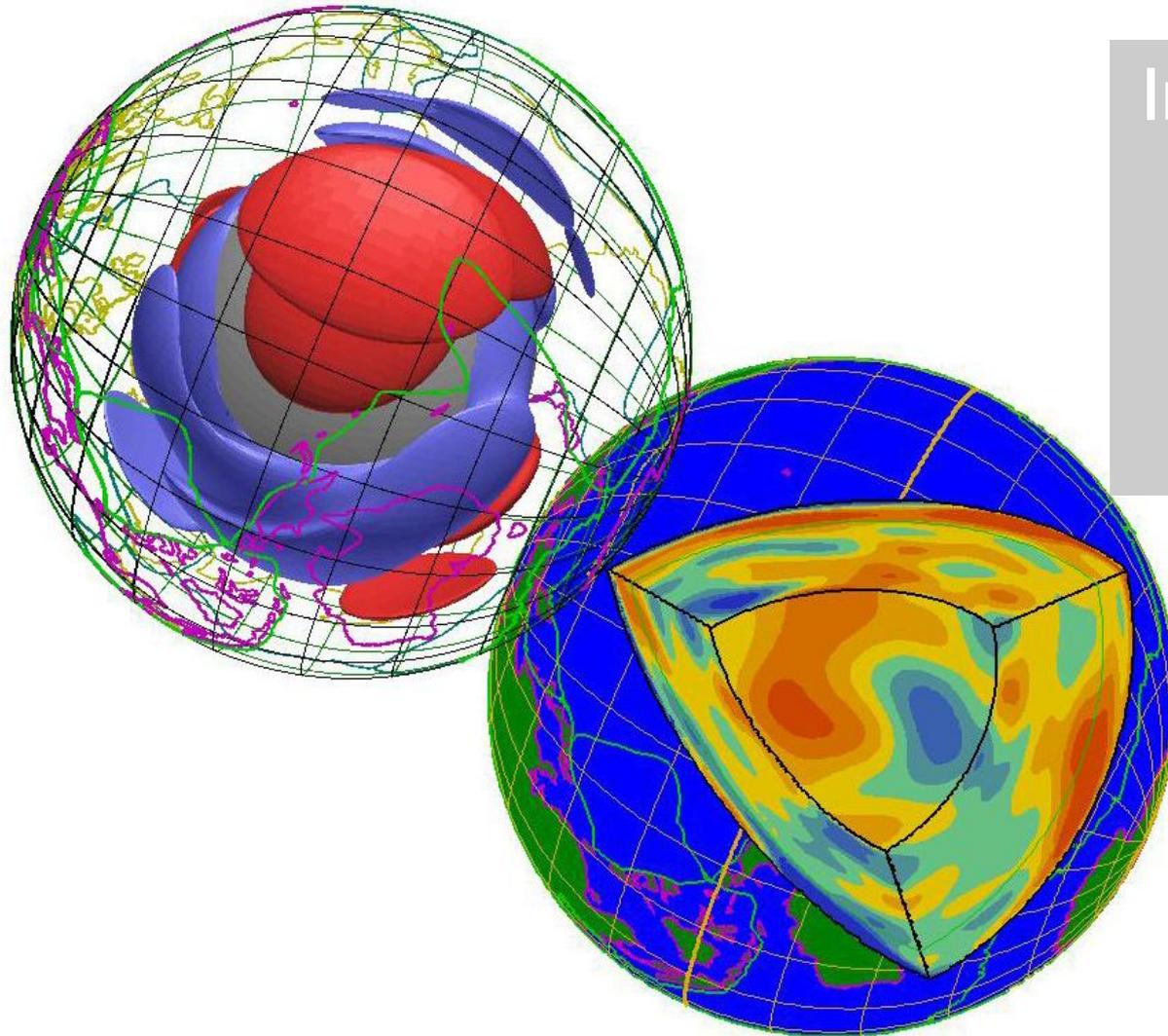
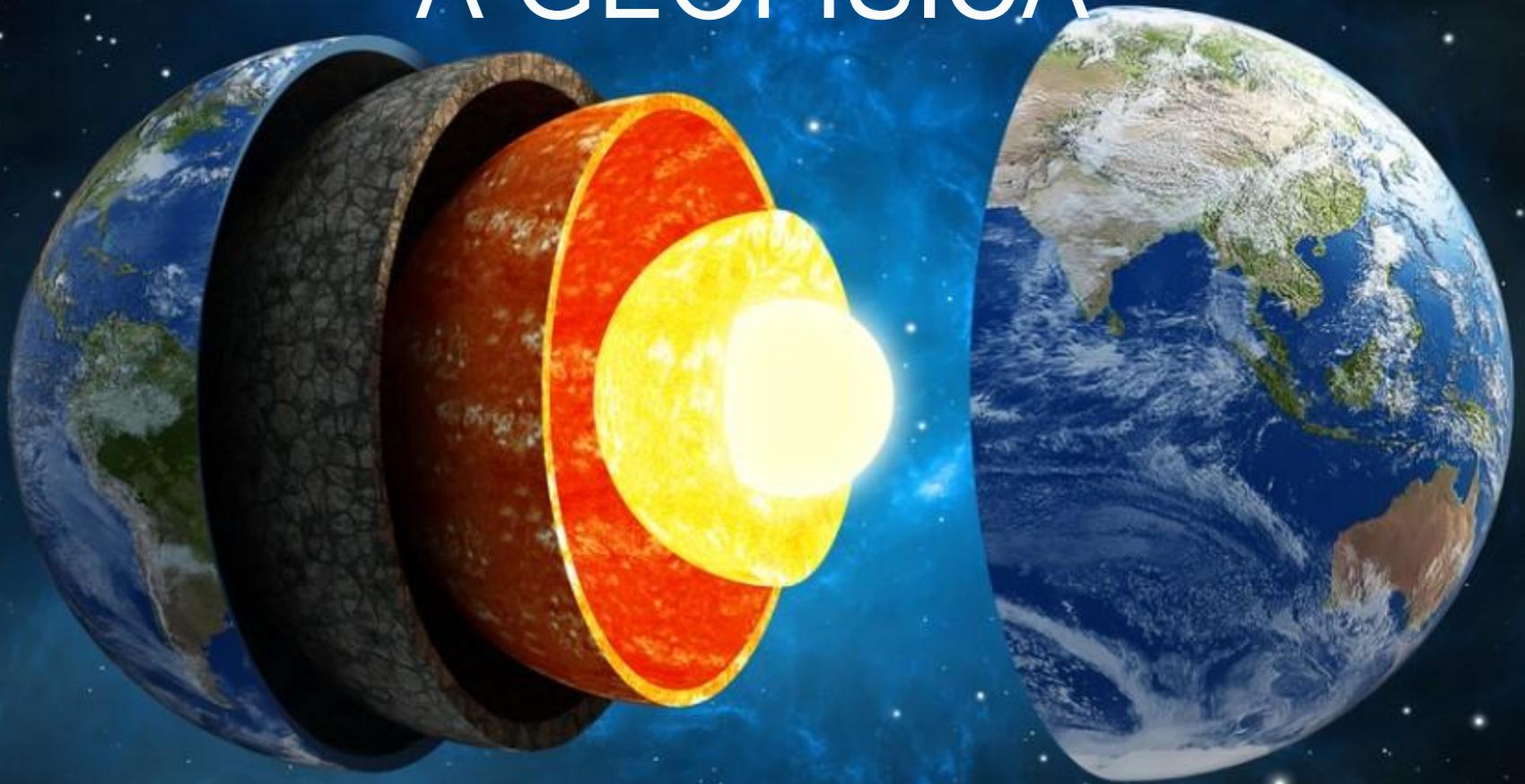


Imagem da estrutura  
interna do manto  
obtida pela  
propagação de  
ondas sísmicas

# A GEOFÍSICA

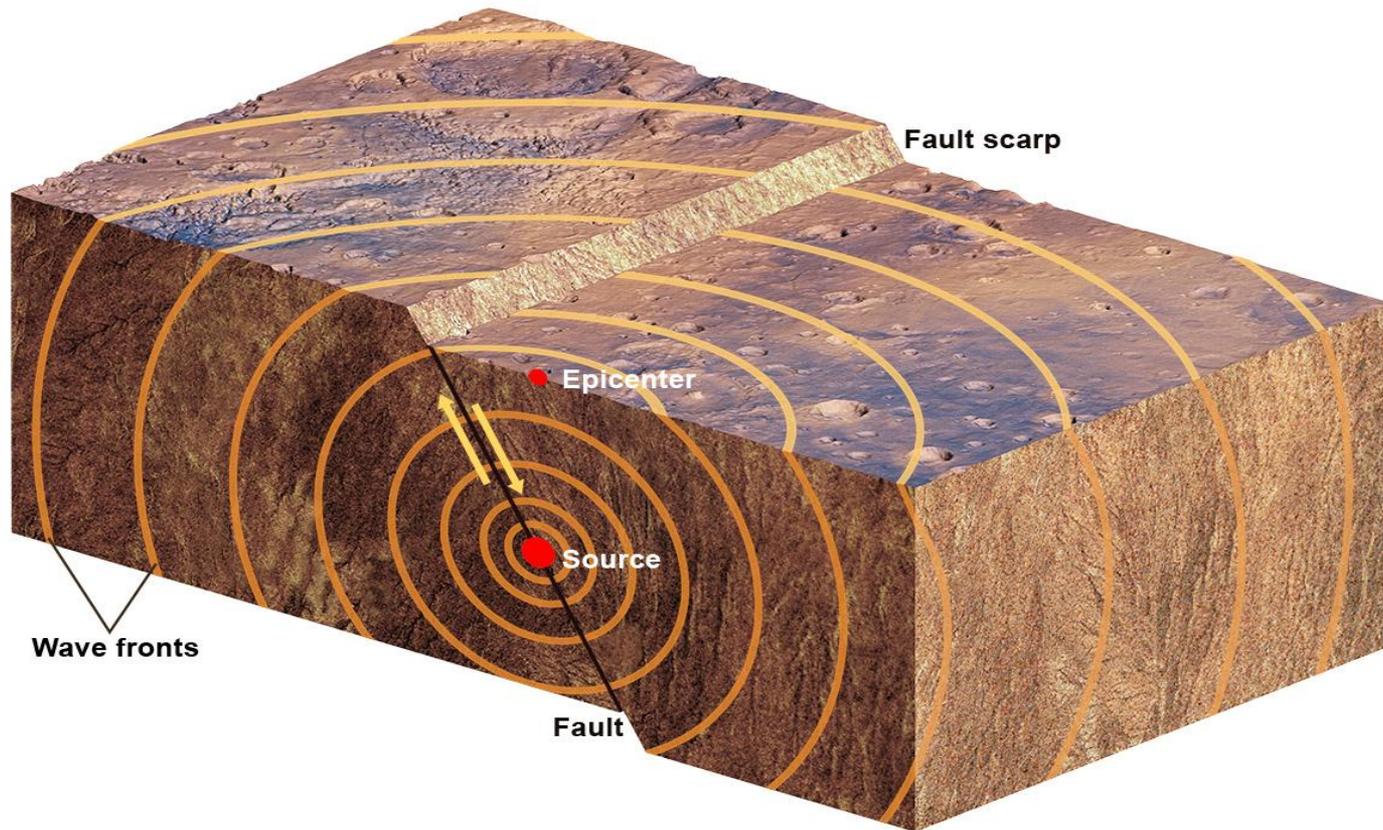


A **Geofísica** é a ciência que estuda a origem, estrutura e evolução da Terra, utilizando métodos físicos e interpretando os resultados obtidos de acordo com modelos físicos/matemáticos e conhecimento geofísico e geológico.

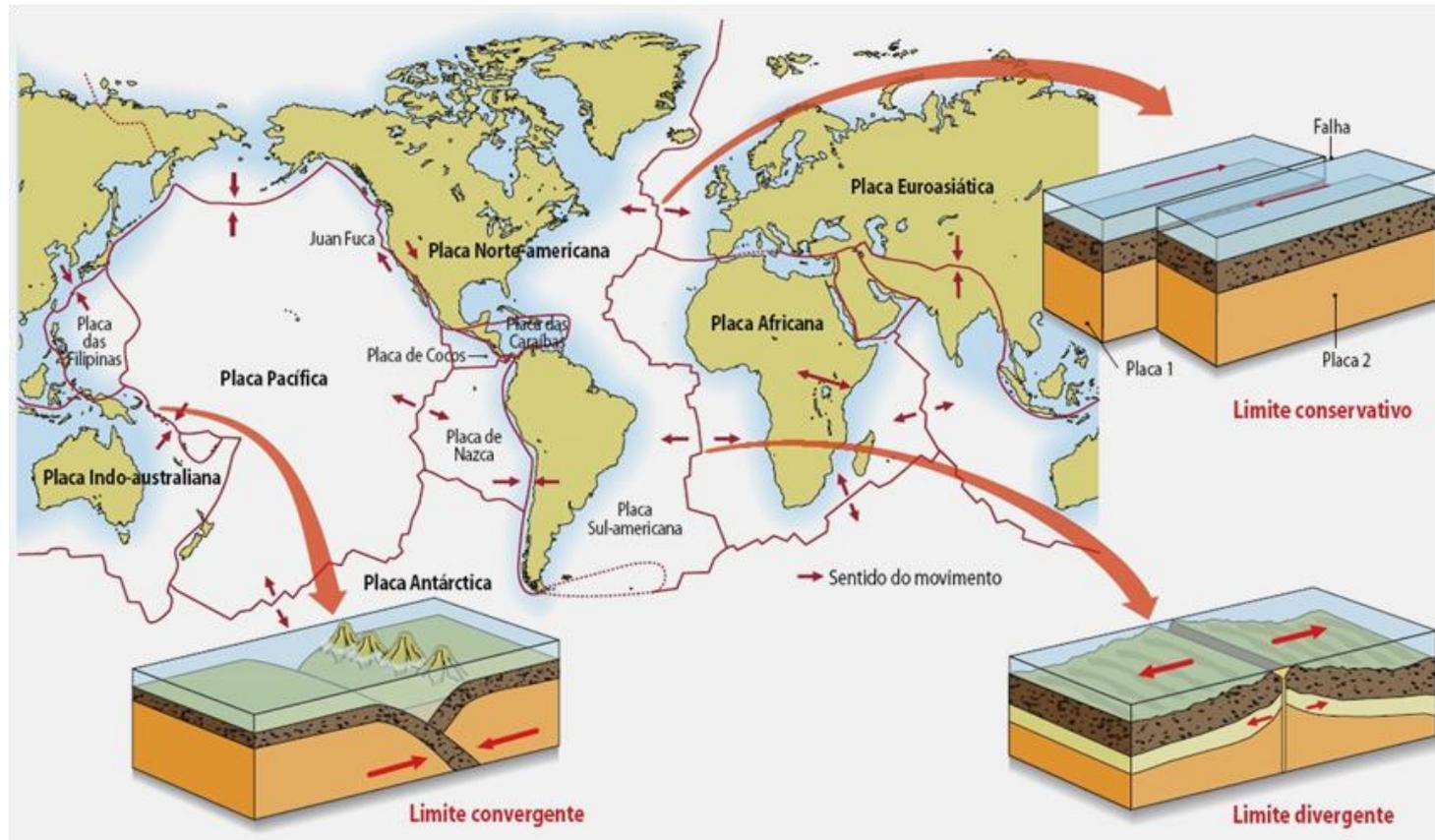
# UMA FORMA EFICIENTE DE INVESTIGAR A TERRA: AGITANDO



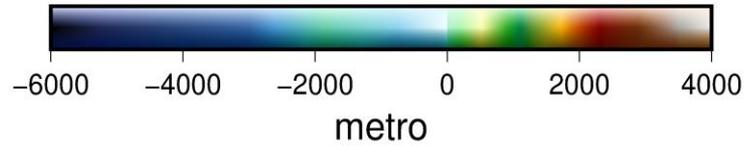
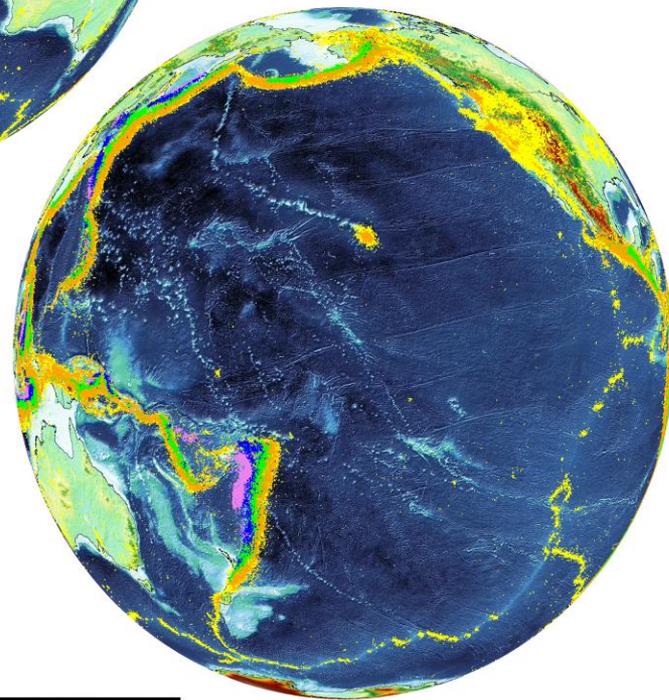
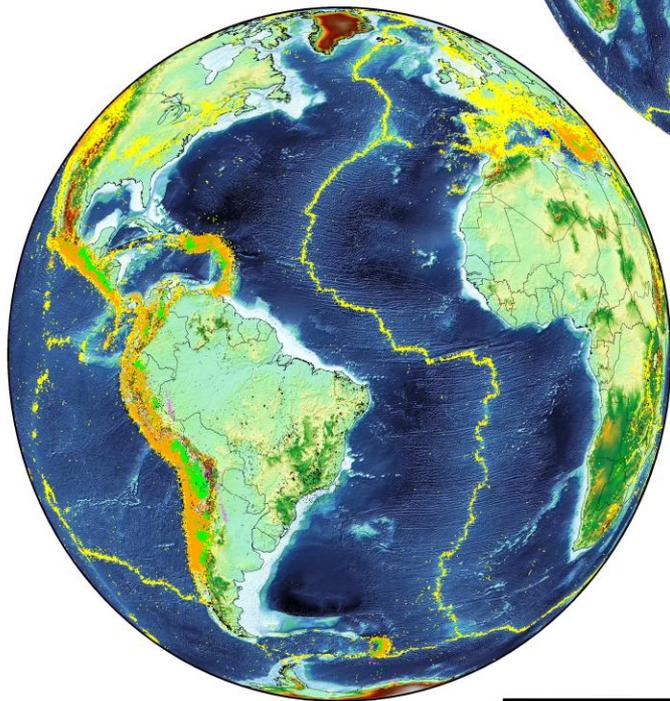
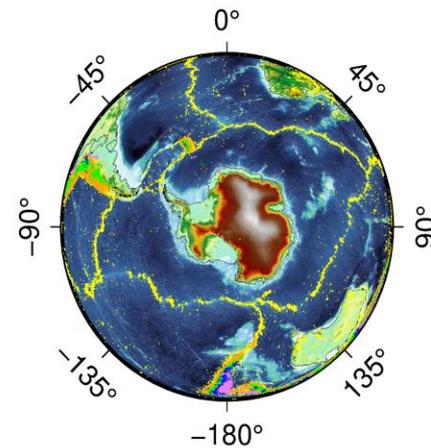
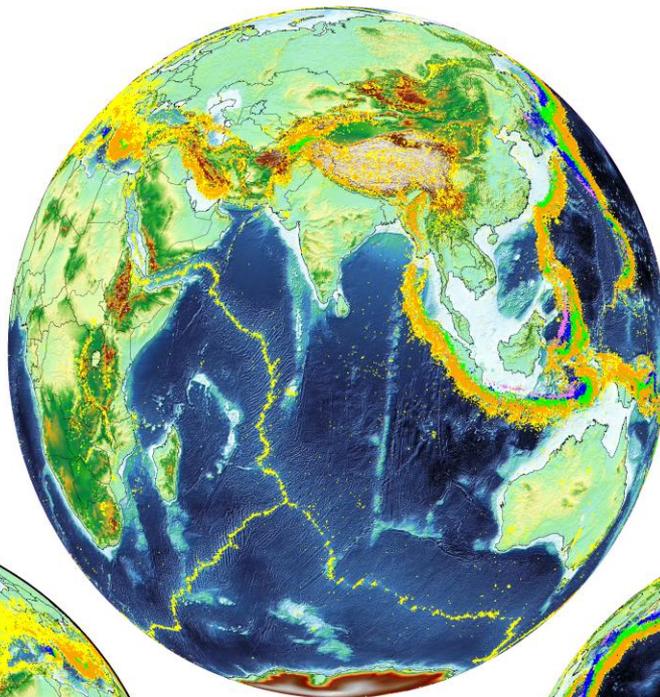
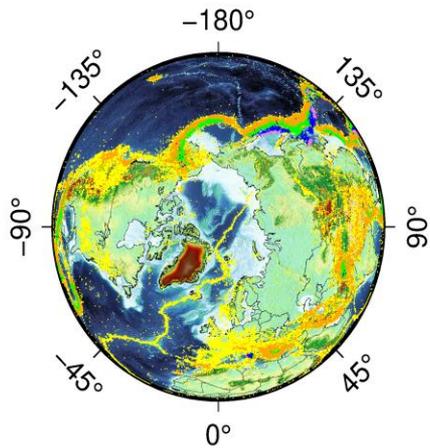
# COMO AGITAR A TERRA? TERREMOTOS

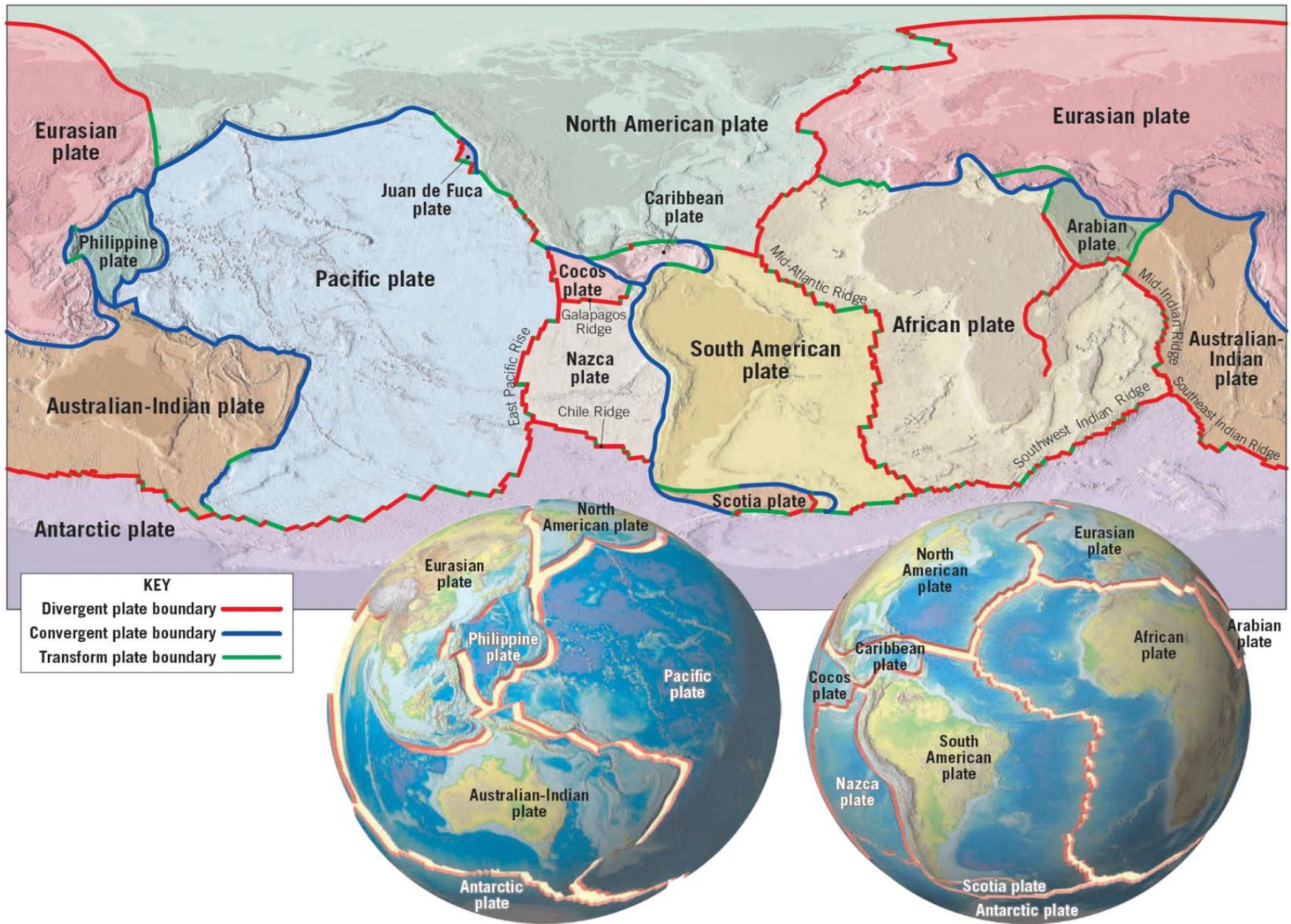


# ONDE OCORRE A MAIORIA DOS TERREMOTOS?









▲ **Figure 3.10**

**Earth's major lithospheric plates** A. Divergent, convergent, and transform plate boundaries illustrated on a flat map. B. Some of Earth's plates shown using two globes.

# EXEMPLO: DESCONTINUIDADE DE MOHO

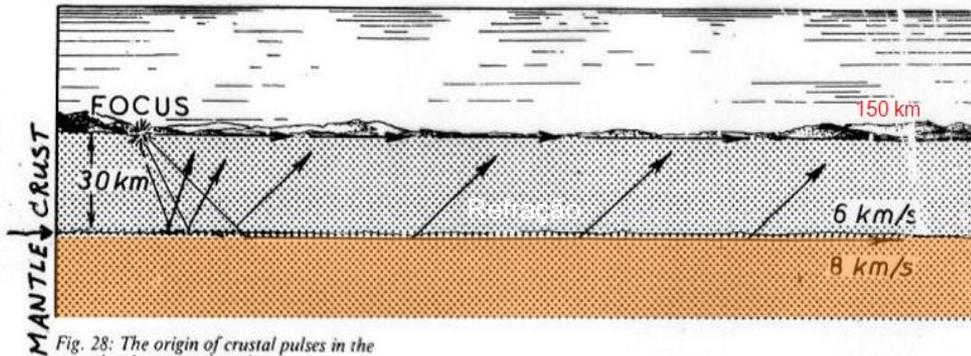
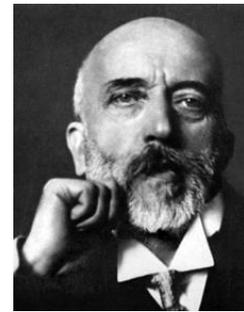
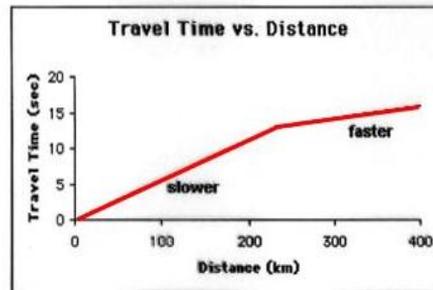
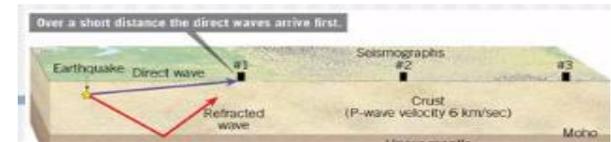


Fig. 28: The origin of crustal pulses in the records of near earthquakes.

"Moho"  
Andrija Mohorovicic  
Zagreb Seismological Observatory  
1909



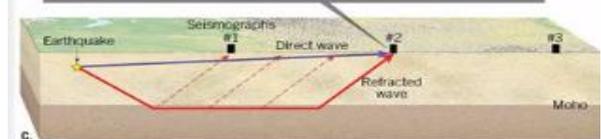
Terremoto ocorrido em 1909 na atual Sérvia



Tempos de chegada proporcionais à distância para estações até 150 km



At the cross-over point, both waves arrive at the same time. The distance to the cross-over point increases as the depth of the Moho increases, and therefore can be used to determine the thickness of the crust at different locations.



Para mais do que 150 km de distância, a onda chegava mais rápido do que deveria, se houvesse homogeneidade no interior da Terra.

# O INTERIOR LUNAR VISTO PELA GEOFÍSICA

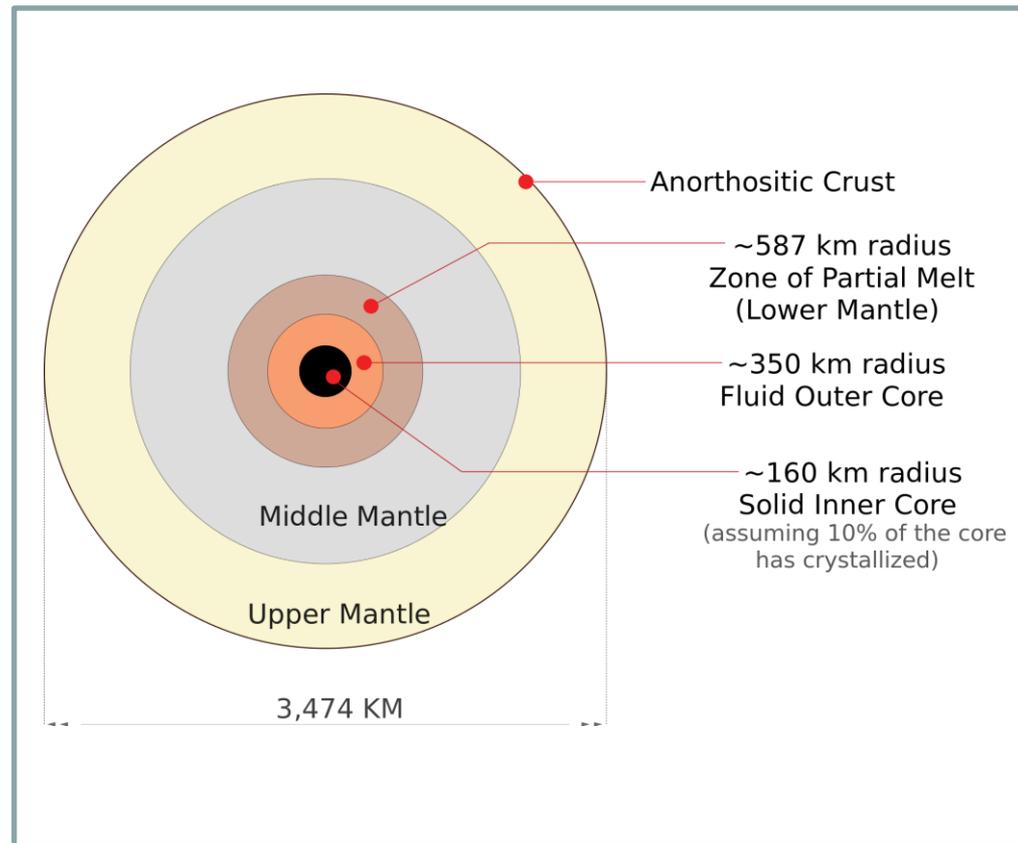
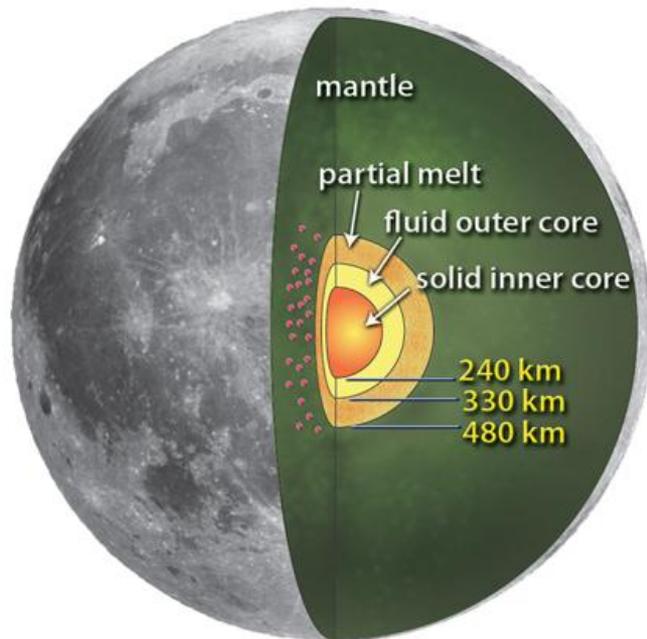
**SHARE** **REPORT**

## Seismic Detection of the Lunar Core

Renee C. Weber<sup>1\*</sup>, Pei-Ying Lin<sup>2</sup>, Edward J. Garnero<sup>3</sup>, Quentin Williams<sup>3</sup>, Philippe Lognonné<sup>4</sup>  
\* See all authors and affiliations

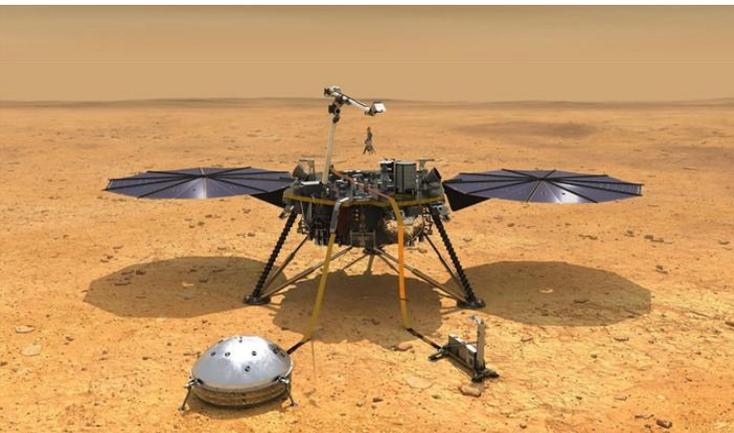
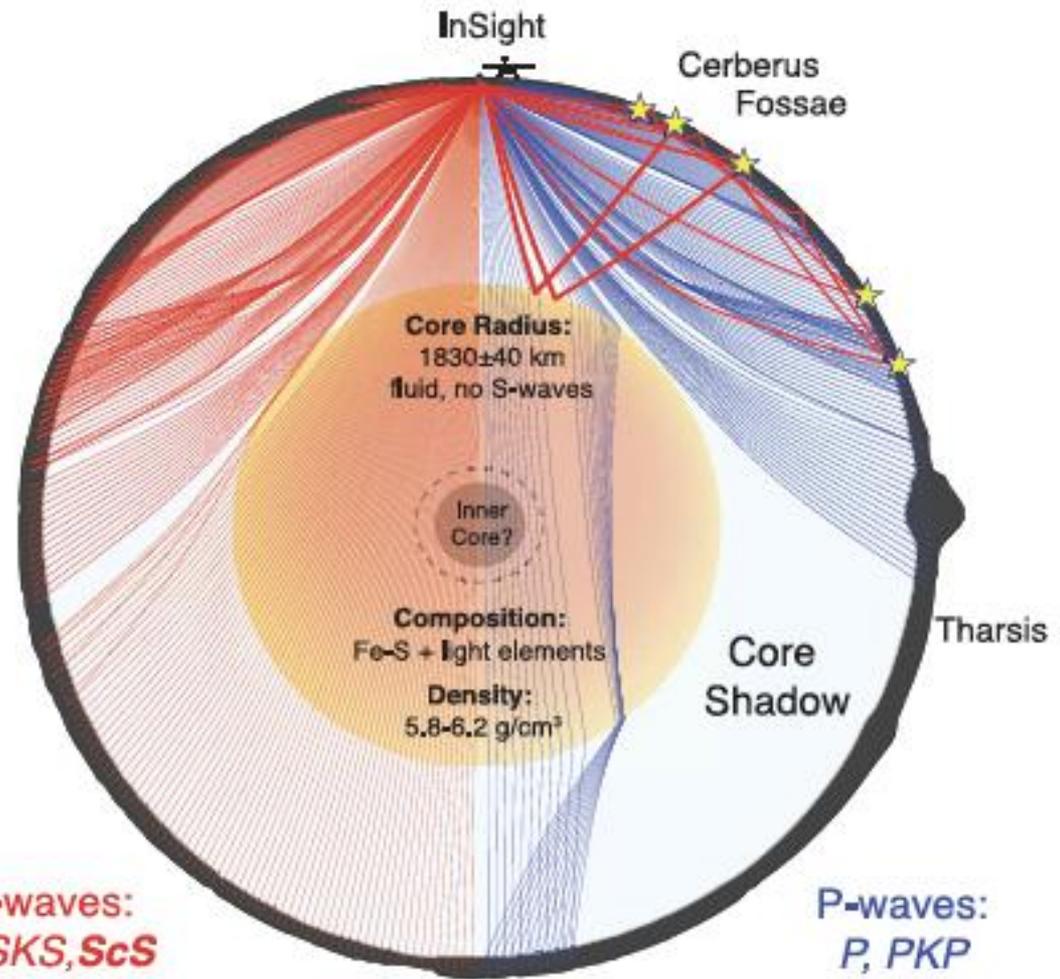
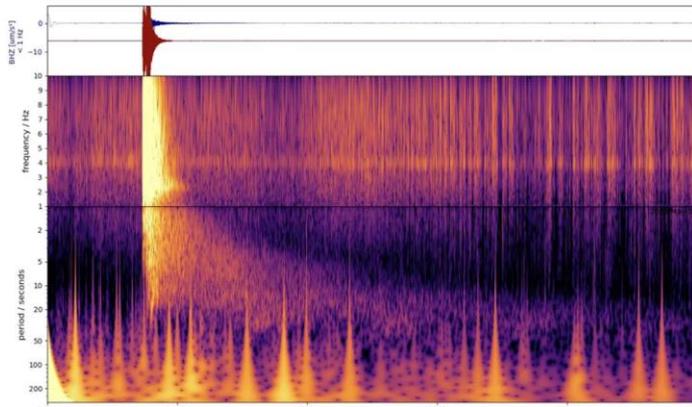
Science 21 Jan 2011;  
Vol. 331, Issue 6015, pp. 309-312  
DOI: 10.1126/science.1199375

Article **Figures & Data** Info & Metrics eLetters PDF



# O INTERIOR DE MARTE VISTO PELA GEOFÍSICA

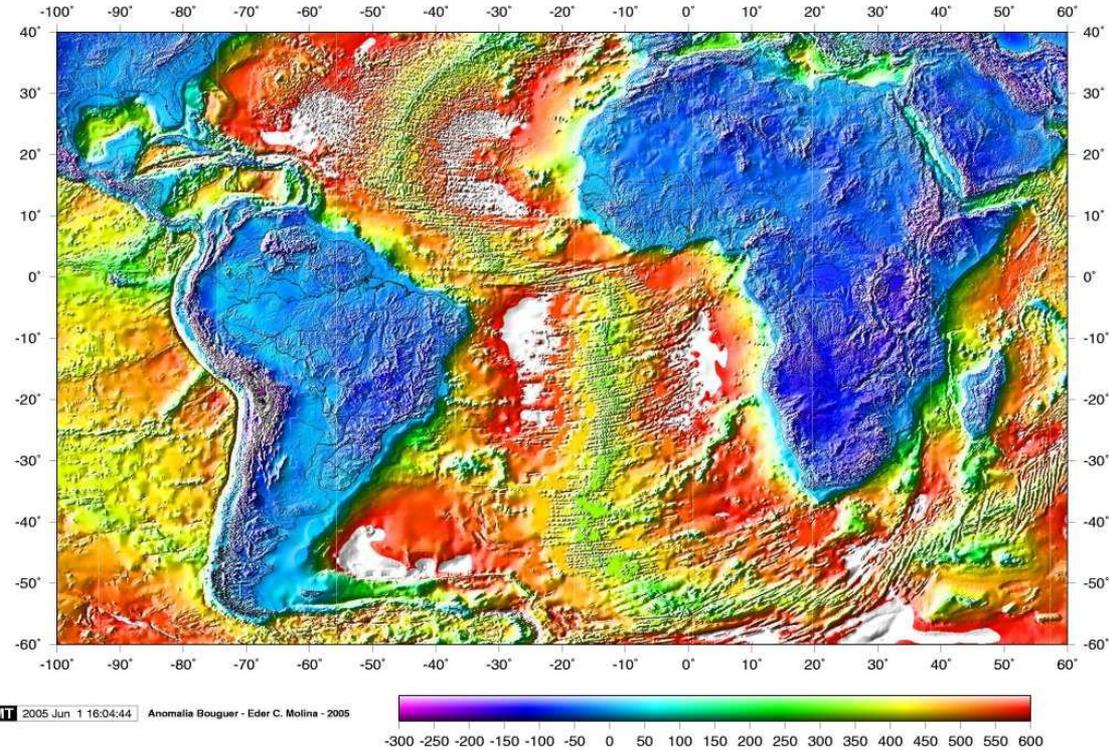
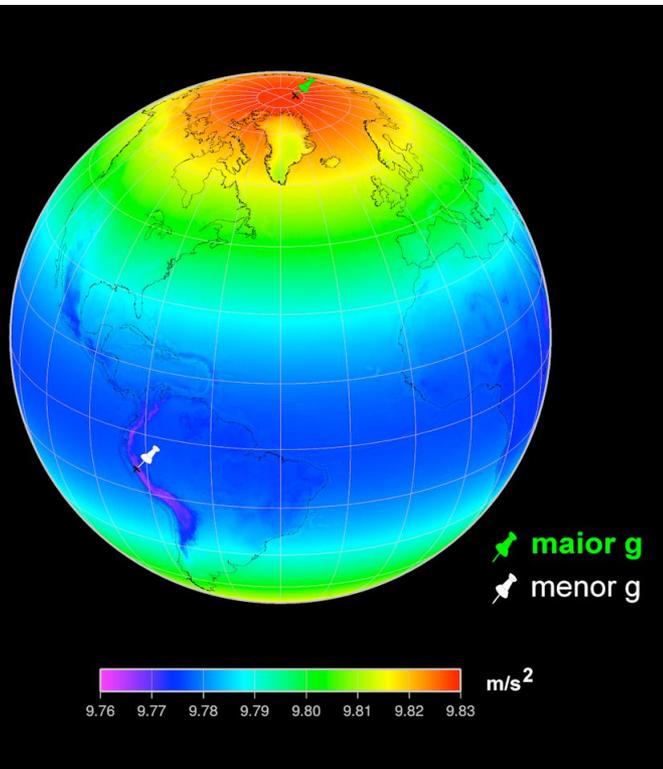
## NASA's InSight Records Monster Quake on Mars



# O USO DE INFORMAÇÕES DO CAMPO DE GRAVIDADE TERRESTRE

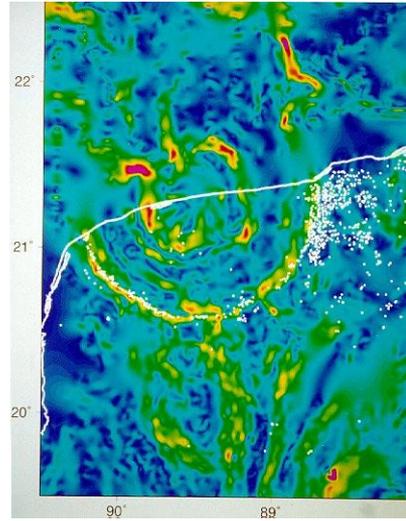
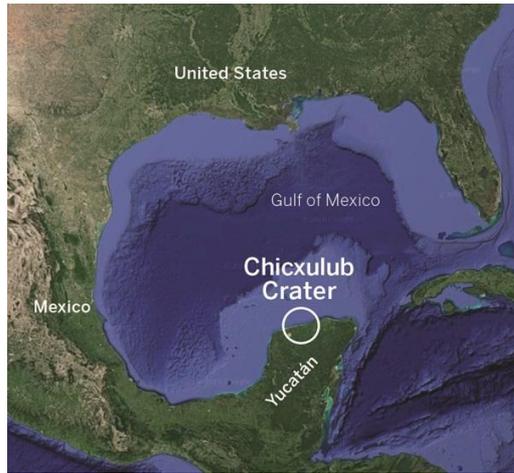


# Gravimetria – o estudo da Terra por meio do campo de gravidade

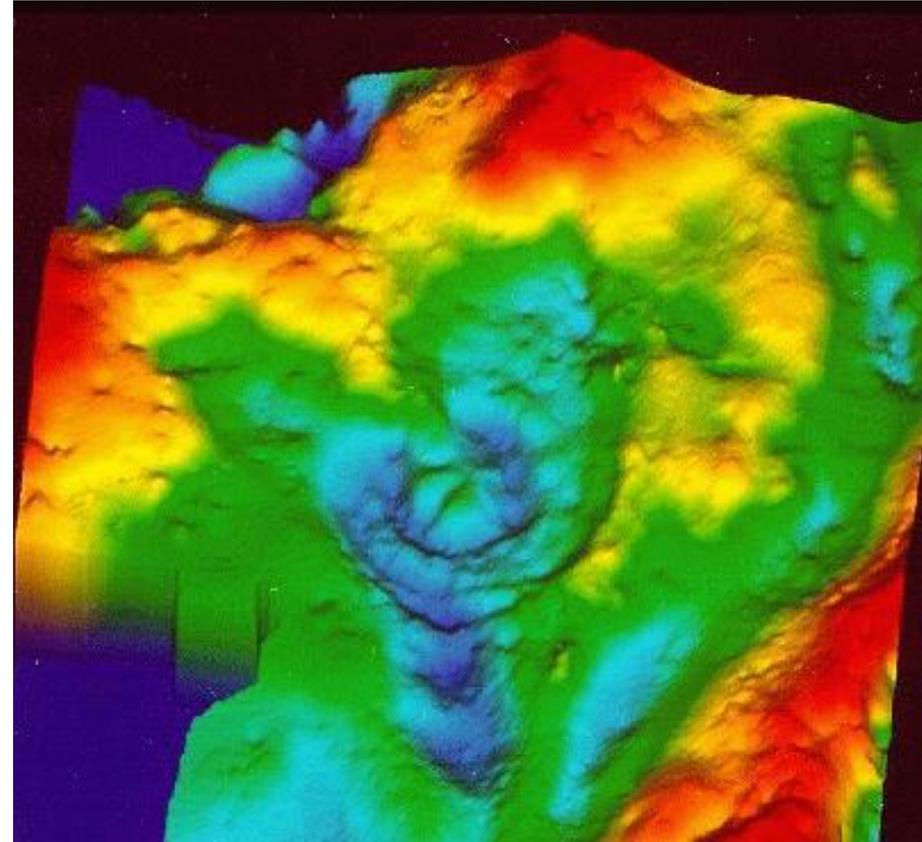


A distribuição da densidade no interior terrestre gera deformações no campo de gravidade, que podem ser medidas, permitindo inferir como a massa está distribuída em subsuperfície

# A CRATERA DE CHICXULUB



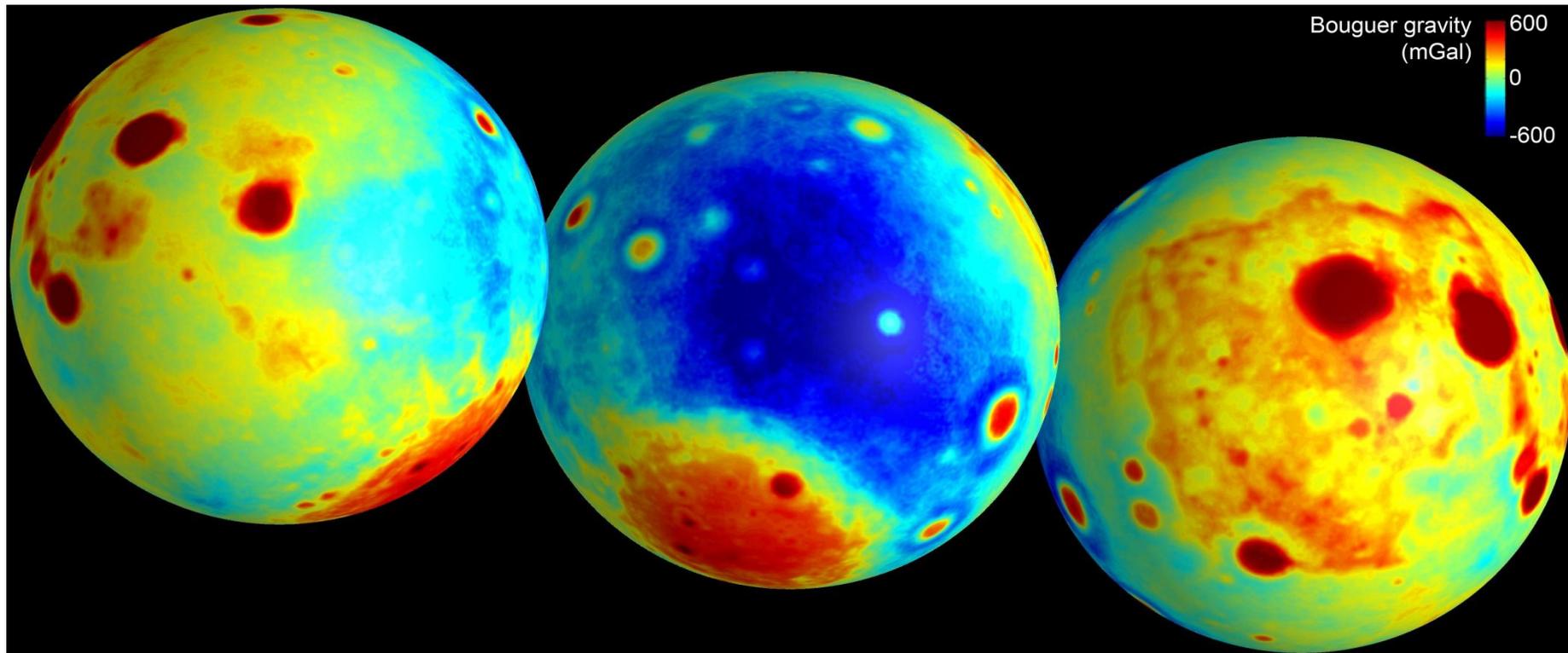
Representação artística da área abrangida pela cratera (que não é visível).



Visualização em 3D da anomalia gravimétrica negativa em Chicxulub. A figura está orientada com o Norte apontando para cima.

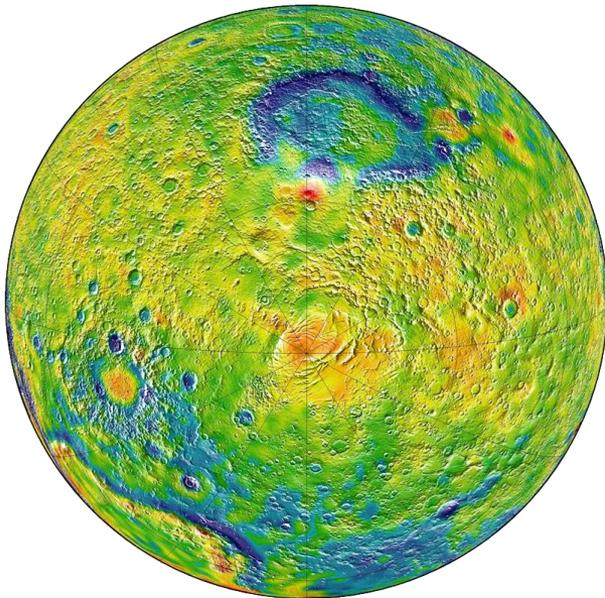
# O CAMPO DA GRAVIDADE NA LUA

Dados gravimétricos ajudaram a vislumbrar, dentre várias coisas, uma solução para um problema muito antigo, relacionado à origem do Mar das Tormentas (*Ocean of Storms*, ou *Oceanus Procellarum*). Imaginava-se que, como a maioria dos *mares* lunares, esta estrutura tinha sido formada pelo impacto de um asteroide ou corpo similar. Ocorre que, após os dados da missão GRAIL terem sido processados, os cientistas começaram a acreditar em outra possibilidade: o Mar das Tormentas ser produto do vulcanismo lunar. Mares, ou *mare* em latim, são vastas regiões planas da superfície lunar, que acredita-se terem sido geradas pelo impacto de corpos externos.

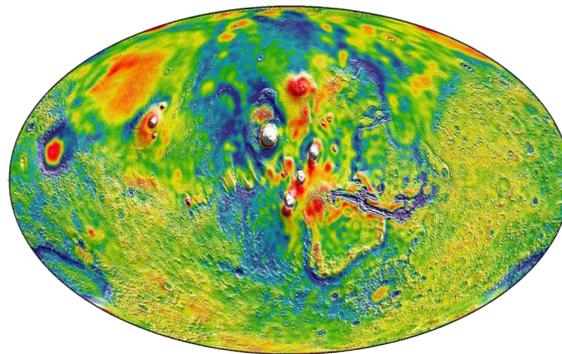


# O CAMPO DA GRAVIDADE EM MARTE

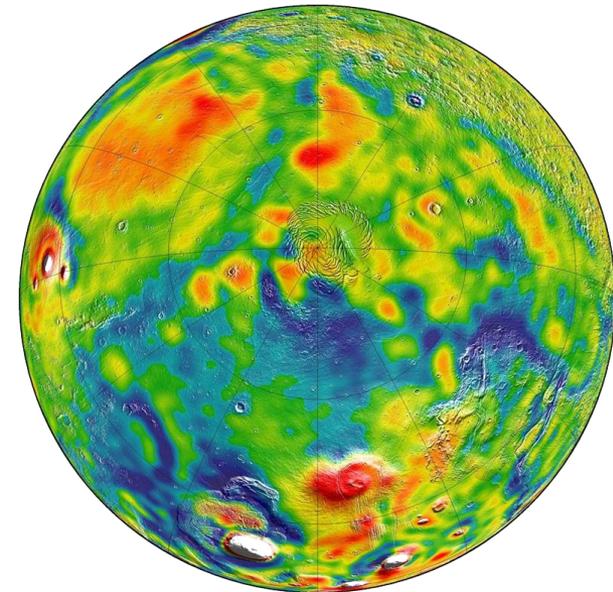
A partir de 16 anos de coleta de dados de três espaçonaves que orbitaram o planeta vermelho os cientistas conseguiram elaborar um mapa detalhado do campo de gravidade de Marte. As naves *Mars Global Surveyor*, *Mars Odyssey* e *Mars Reconnaissance Orbiter* forneceram informações que permitiram não somente caracterizar o campo de gravidade marciano, o que é extremamente importante para balizar as próximas missões.



Campo de gravidade em Marte, olhando a partir do polo Sul, no centro da imagem. Cores do branco ao vermelho indicam locais de aceleração da gravidade elevada, ao passo que cores azuis indicam locais onde a aceleração da gravidade é baixa. Fonte: MIT/UMBC-CRESST/GSFC

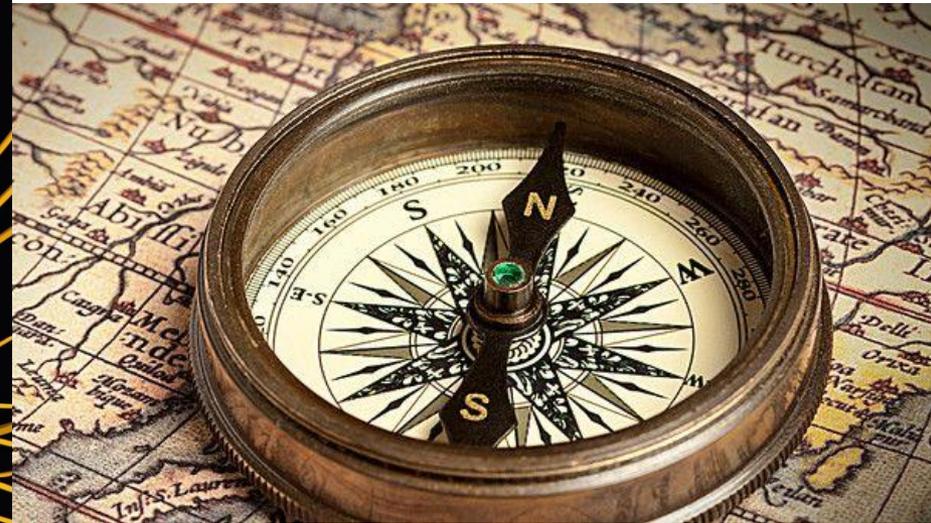
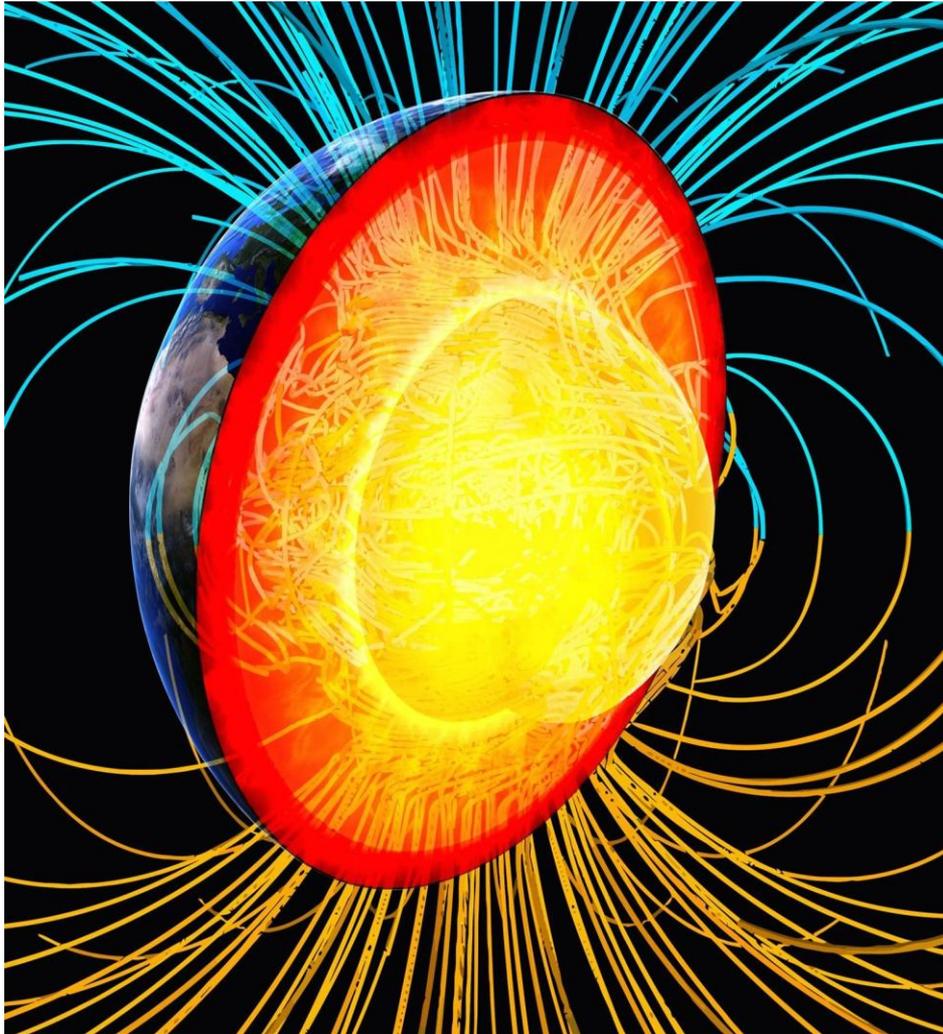


Campo de gravidade de Marte, mostrando ao centro os vulcões da região de Tharsis. Cores do branco ao vermelho indicam locais de aceleração da gravidade elevada, ao passo que cores azuis indicam locais onde a aceleração da gravidade é baixa, possivelmente indicando fraturas na parte superficial da litosfera do planeta. Fonte: MIT/UMBC-CRESST/GSFC

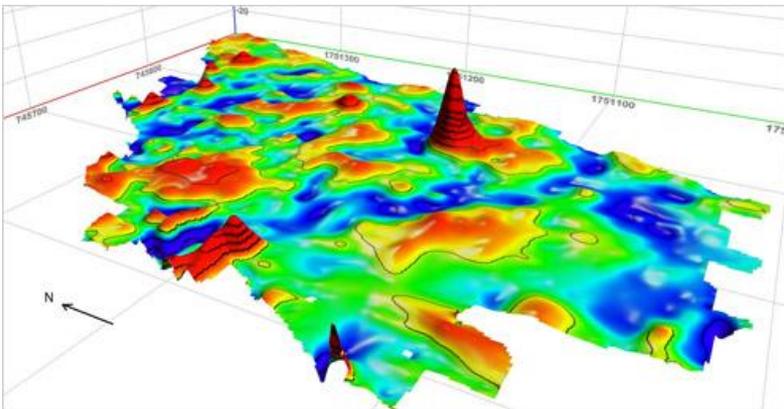
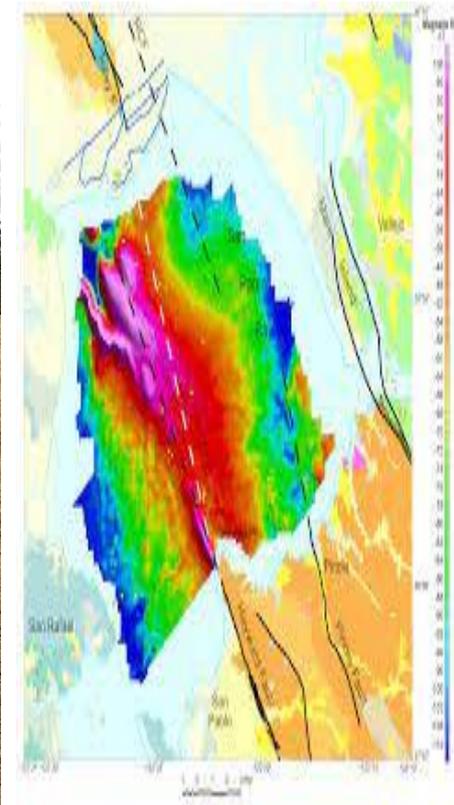


Campo de gravidade em Marte, olhando a partir do polo Norte, no centro da imagem. Cores do branco ao vermelho indicam locais de aceleração da gravidade elevada, ao passo que cores azuis indicam locais onde a aceleração da gravidade é baixa. Fonte: MIT/UMBC-CRESST/GSFC

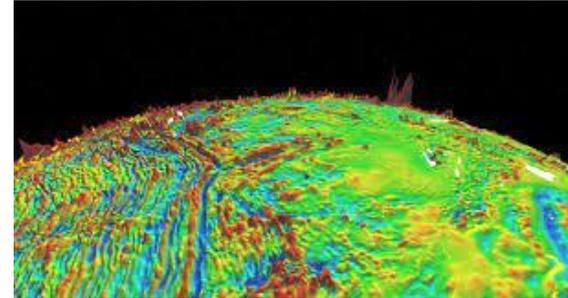
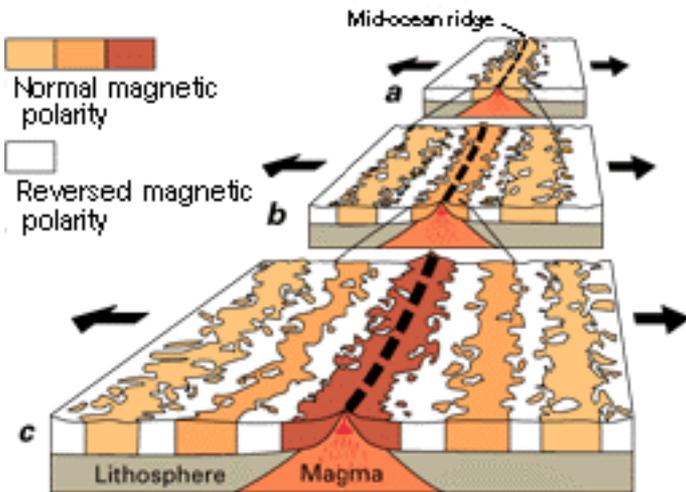
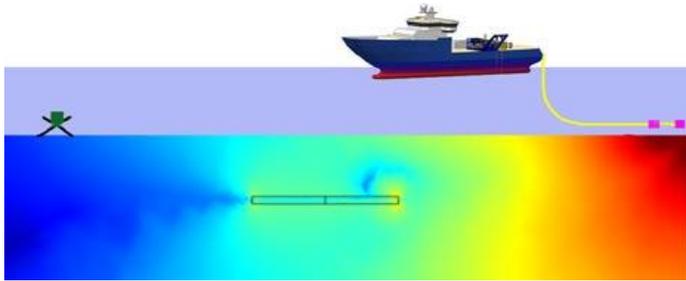
# O CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE



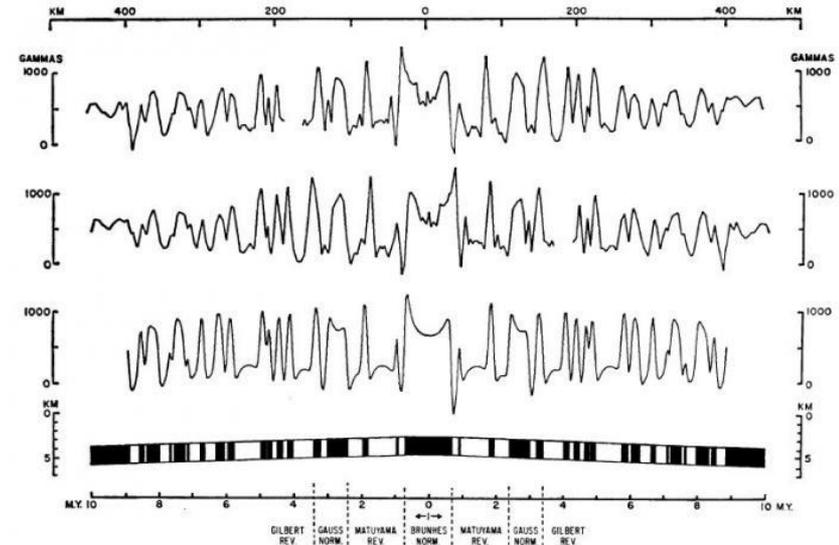
# MEDIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE



# O PADRÃO ZEBRADO DO ASSOALHO OCEÂNICO



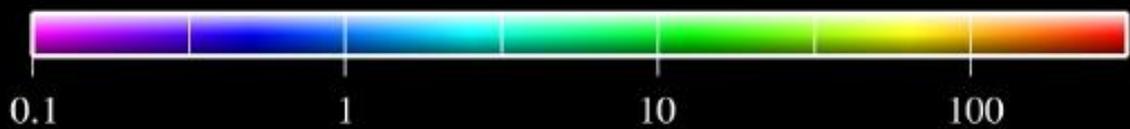
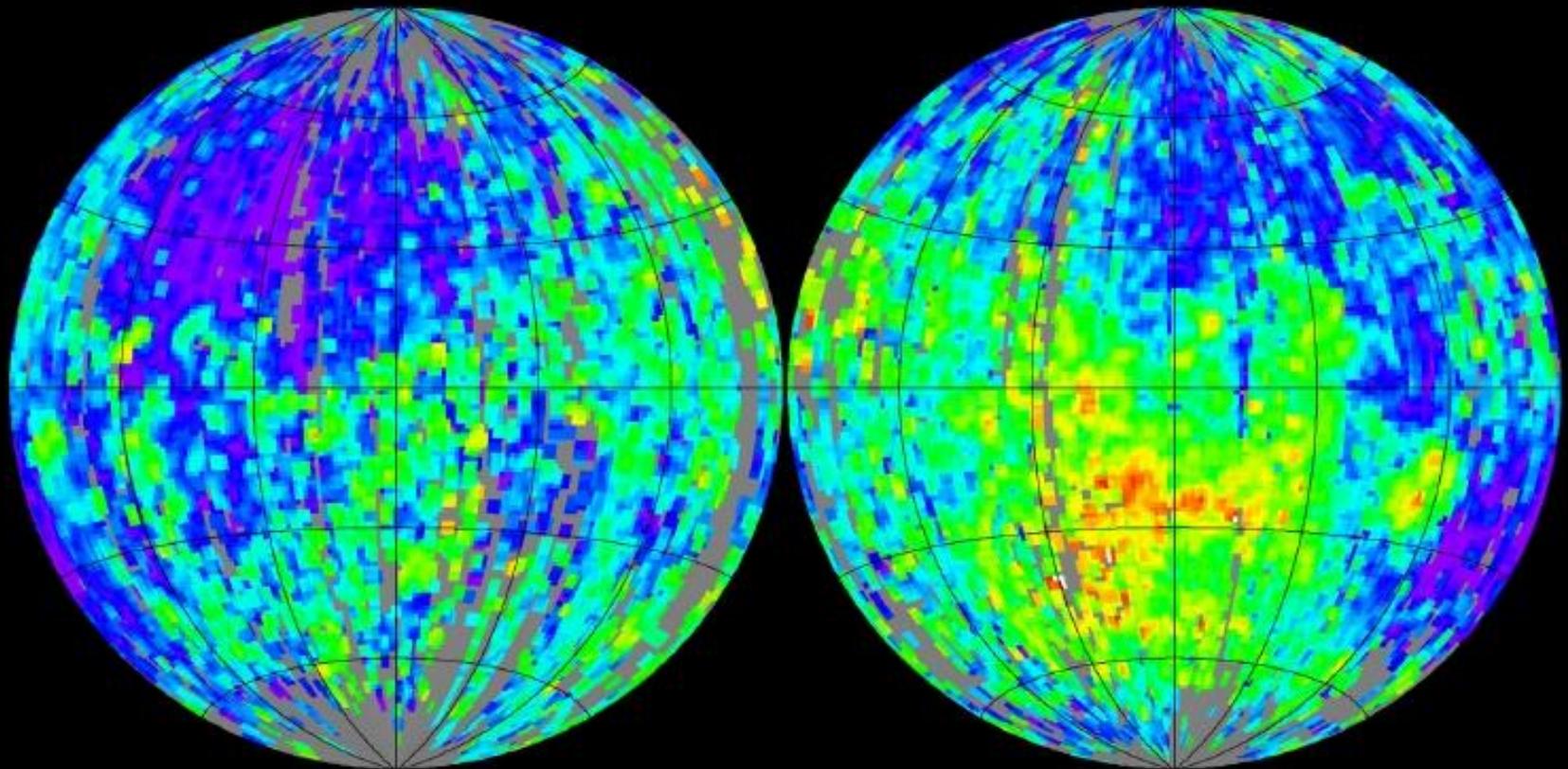
Walter Pitman



# O CAMPO MAGNÉTICO DA LUA

Near side

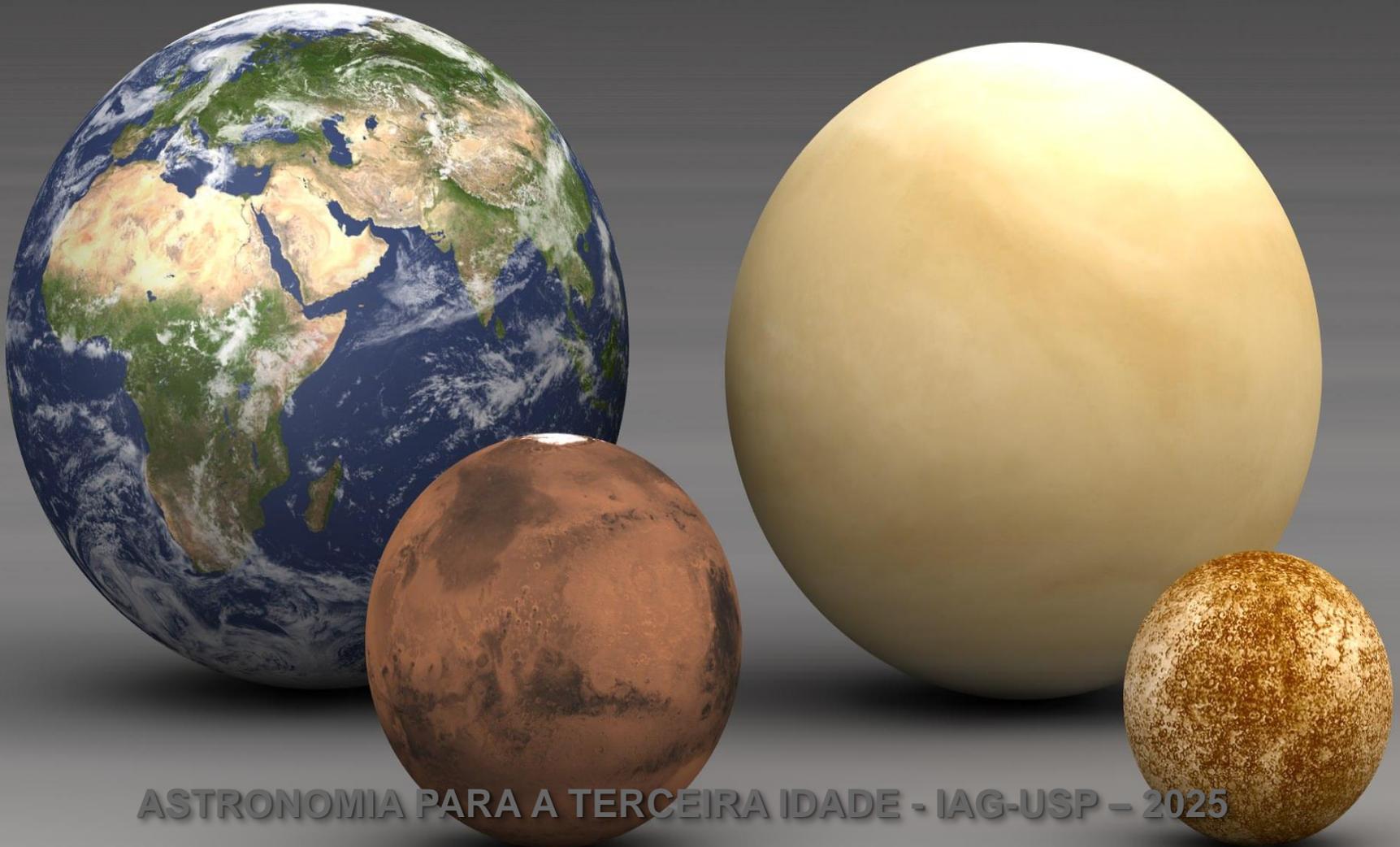
Far side



Total magnetic field strength, nT

Visualização do campo magnético da Lua, obtido por meio de dados da Lunar Prospector

# A Terra: Formação, Estrutura e Métodos Geofísicos



ASTRONOMIA PARA A TERCEIRA IDADE - IAG-USP – 2025

Eder C. Molina – [eder.molina@iag.usp.br](mailto:eder.molina@iag.usp.br)