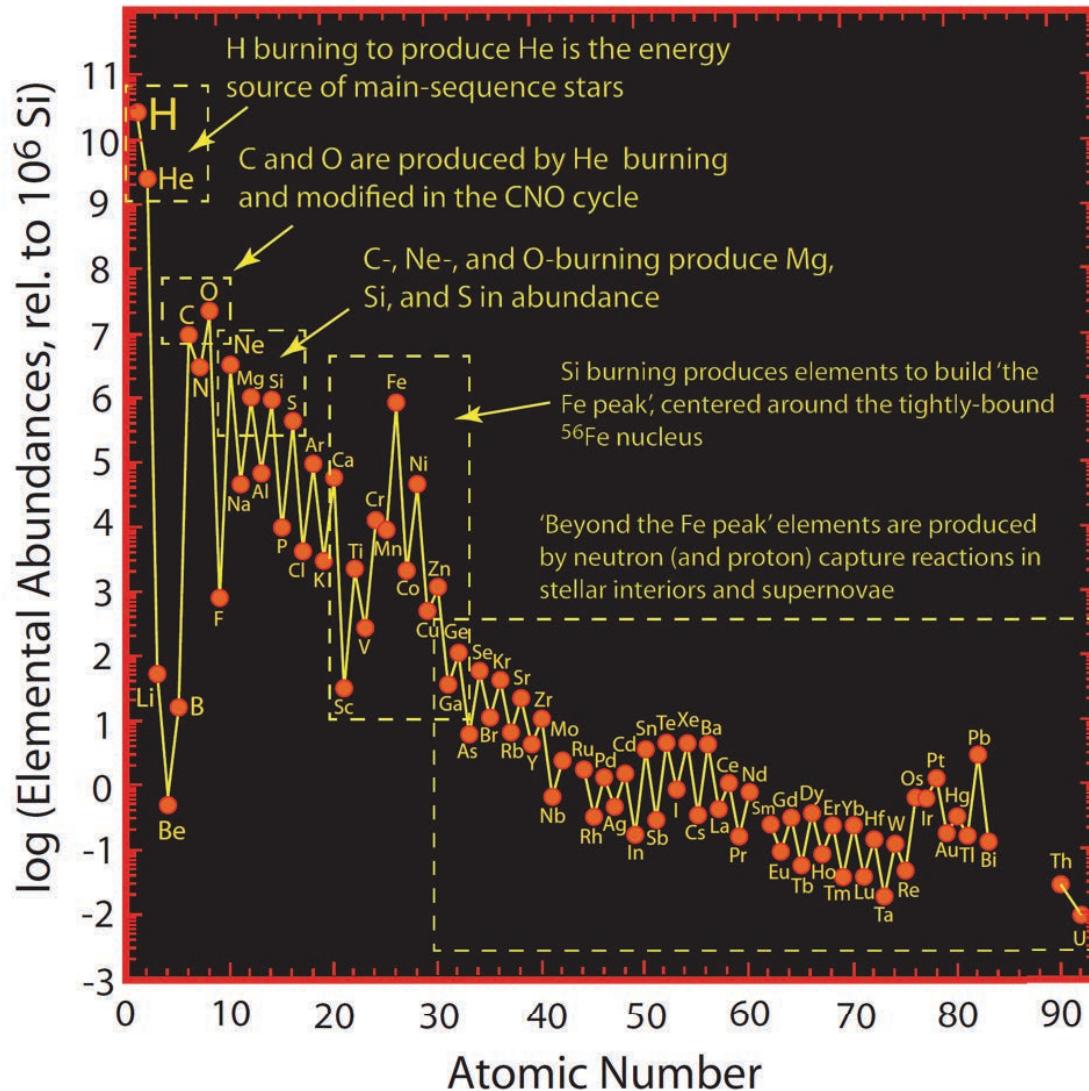


Sistema Solar

- Quais elementos químicos existem no sistema solar (incluindo o planeta Terra)?



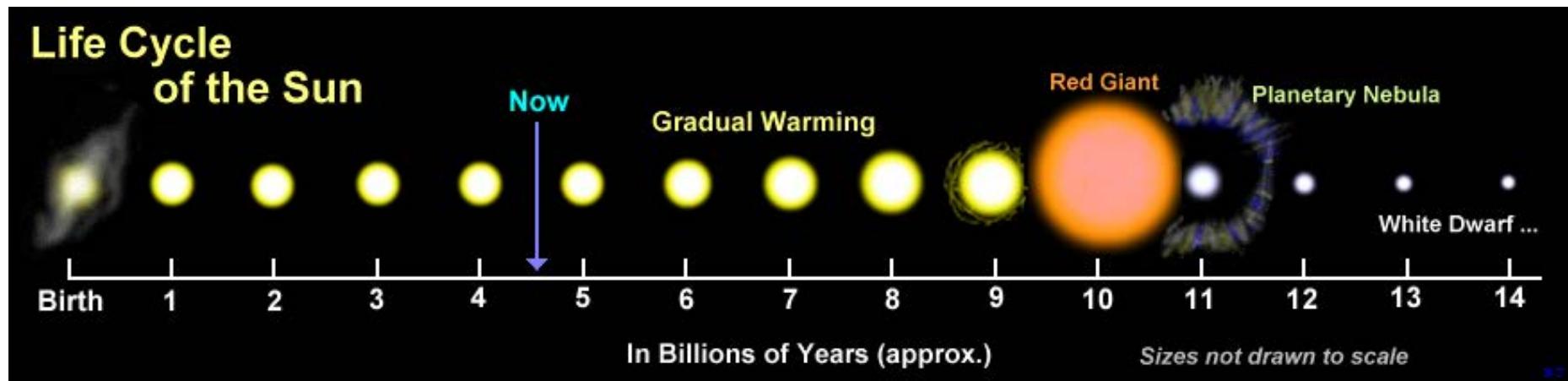
- O Sistema Solar é formado pelo material reciclado de outras estrelas antigas que já “morreram”

FIGURE 1 Solar System elemental abundances as a function of atomic number. The bulk elemental abundances are the result of nucleosynthetic reactions during different stages of stellar evolution.

Sistema Solar

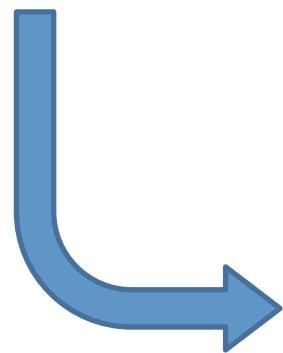
- Sol
 - estrela de grandeza média
 - sequência principal (fusão H para formar He)
 - formou-se há 4,6 bilhões de anos e deve durar mais 5 bilhões
 - corresponde a 99,8% da massa do sistema solar
- Outros corpos: planetas, planetas anões, satélites, asteróides, cometas, além de poeira e gás

Sistema Solar



Formação do Sistema Solar

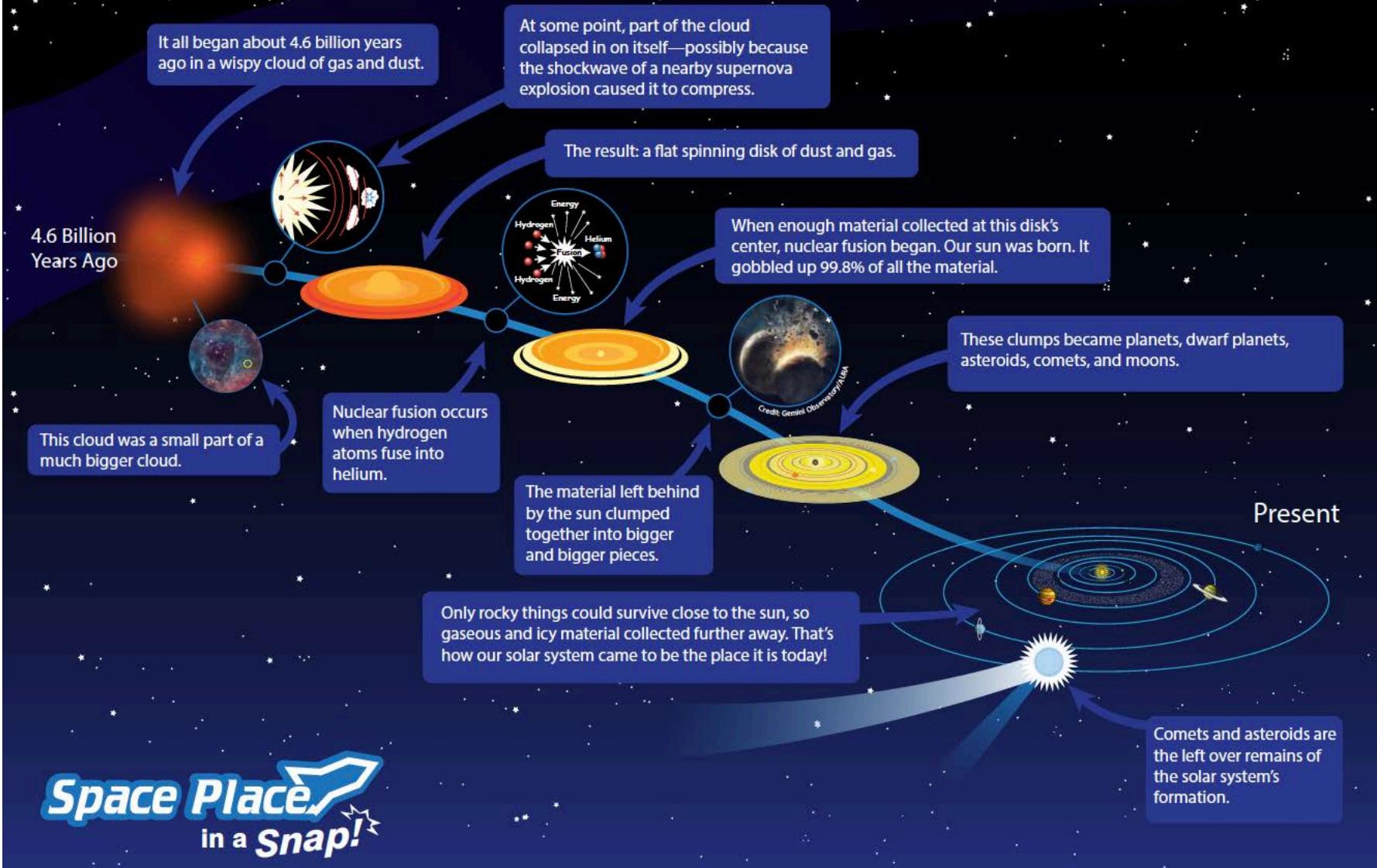
- Todos os objetos que compõem o sistema solar foram formados da mesma matéria e na mesma época



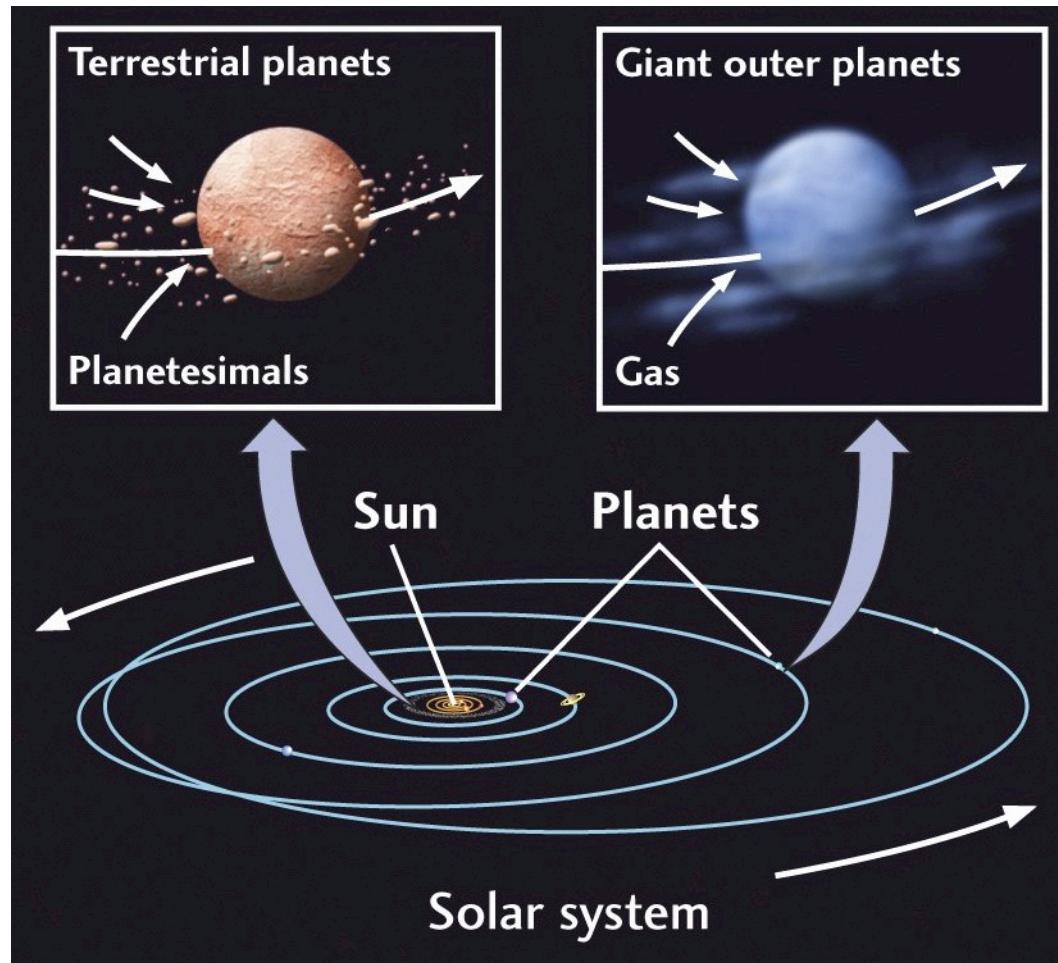
organização harmônica

How did our solar system come to be?

National Aeronautics and Space Administration



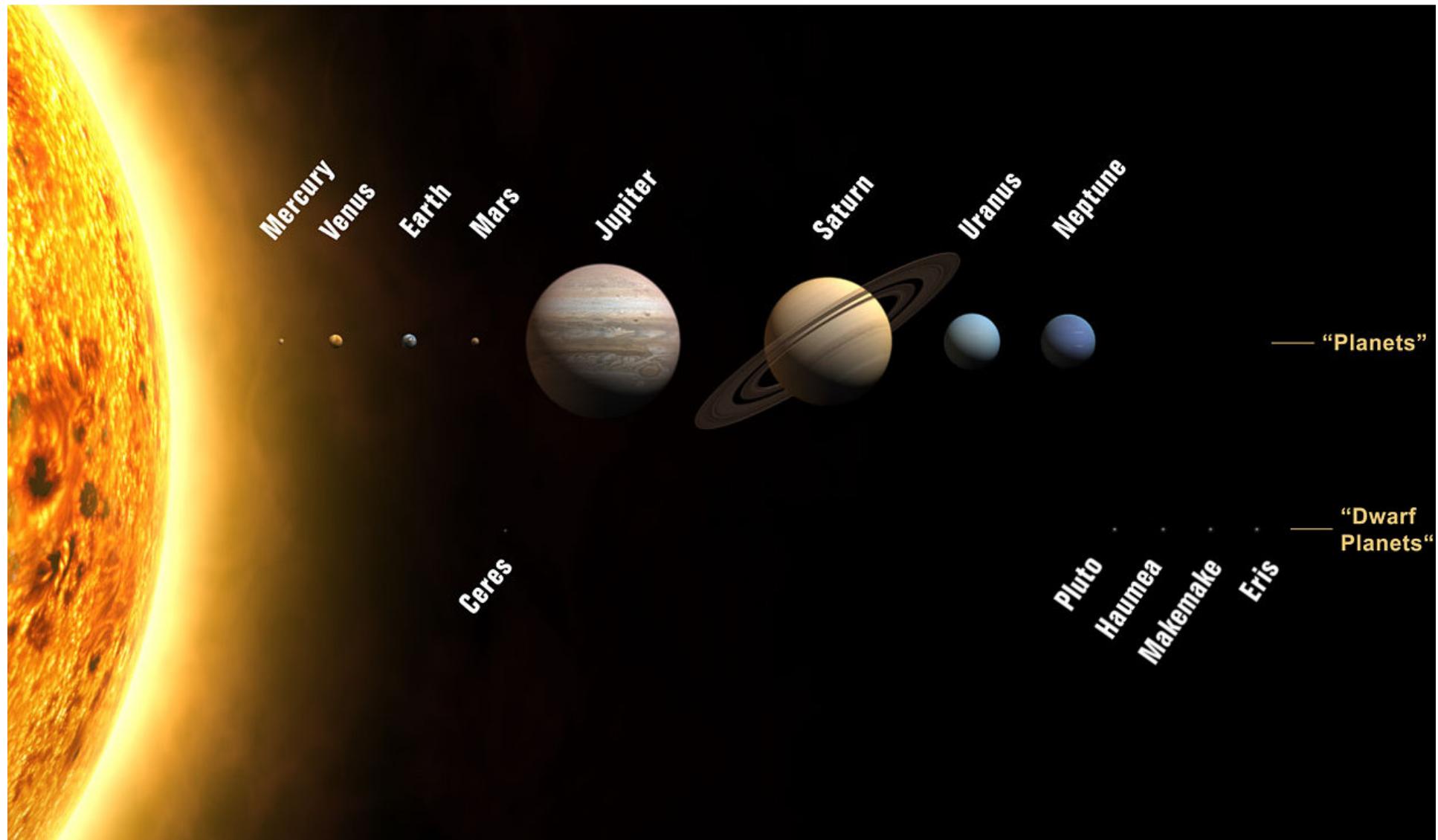
Planetas



- Os planetas interiores (terrestres) formam-se da colisão e acréscimo de planetesimais por meio da atração gravitacional.
- Os planetas exteriores (gasosos) aumentam por acréscimo de gás.

Fonte: Press et al., 2004

Sistema Solar



Planetas (definição) & Cia

- Segundo a IAU (International Astronomical Union):
- “A planet is a celestial body that
 - (a) is in orbit around the Sun,
 - (b) has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape, and
 - (c) has cleared the neighborhood around its orbit.”

Planetas (definição) & Cia

- Para os objetos em que o item (c) é descumprido, criou-se a categoria de **Planeta Anão**
- Todos os outros objetos, exceto os satélites, orbitando o Sol serão referidos como “**Pequenos Corpos do Sistema Solar**”. Estes incluem:
 - Asteróides
 - Cometas
 - entre outros corpos pequenos

Planetas & Planetas anões

- Planetas internos (ou Terrestres):
 - Mercúrio, Vênus, Terra e Marte
- Planetas externos (ou Jovianos):
 - Júpiter, Saturno, Urano, Netuno
- Planetas anões (ou Plutóides):
 - Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Eris

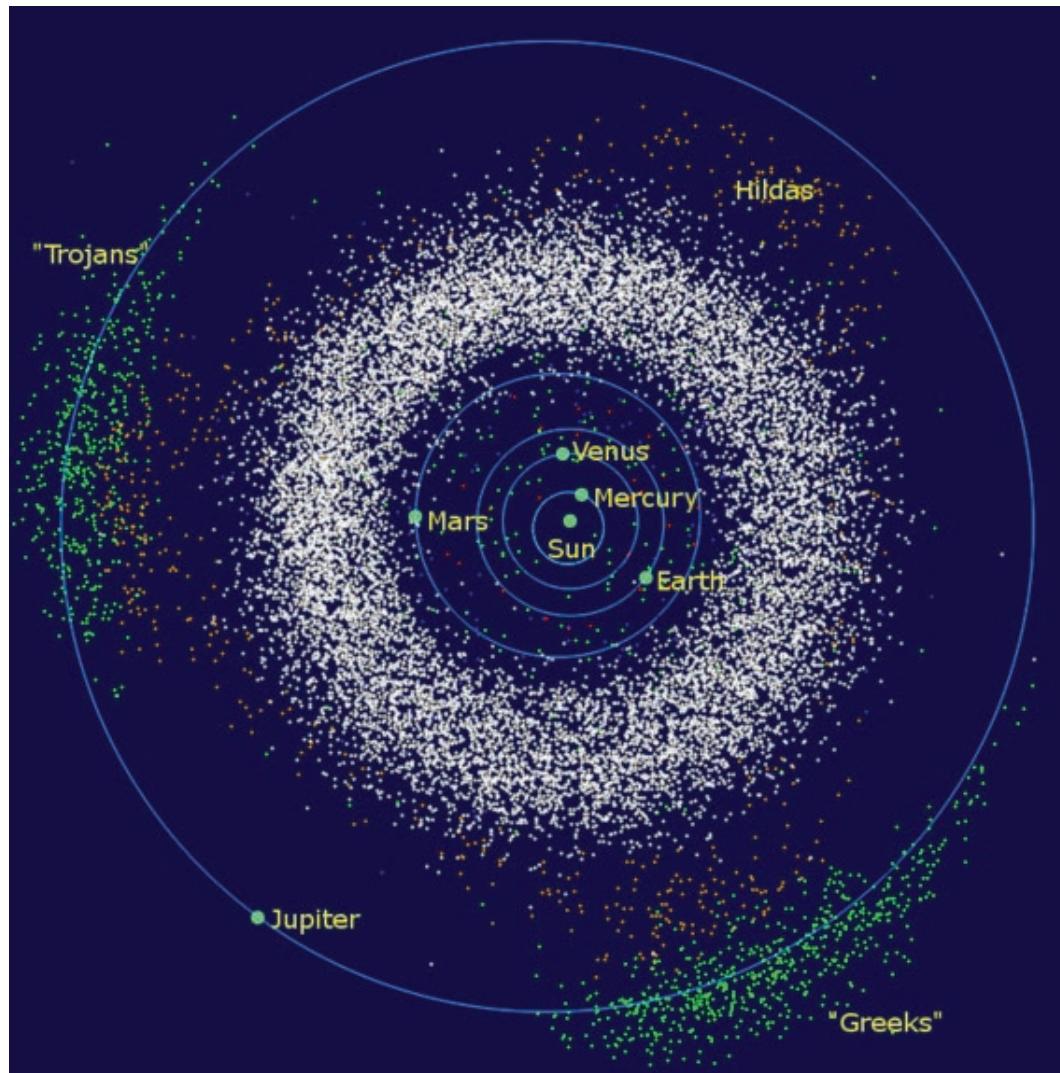
Satélites & Luas

- Qualquer objeto que orbita um planeta, planeta anão ou asteroide. Podendo ser natural, conhecido como lua, ou artificial (sondas, estação espacial)
- Sistema Solar possui aprox. 290 luas “tradicionais”
- Mercúrio (0), Vênus (0), Terra (1), Marte (2), Júpiter (80-95), Saturno (146), Urano (27), Netuno (14), Plutão (5)

Asteroides

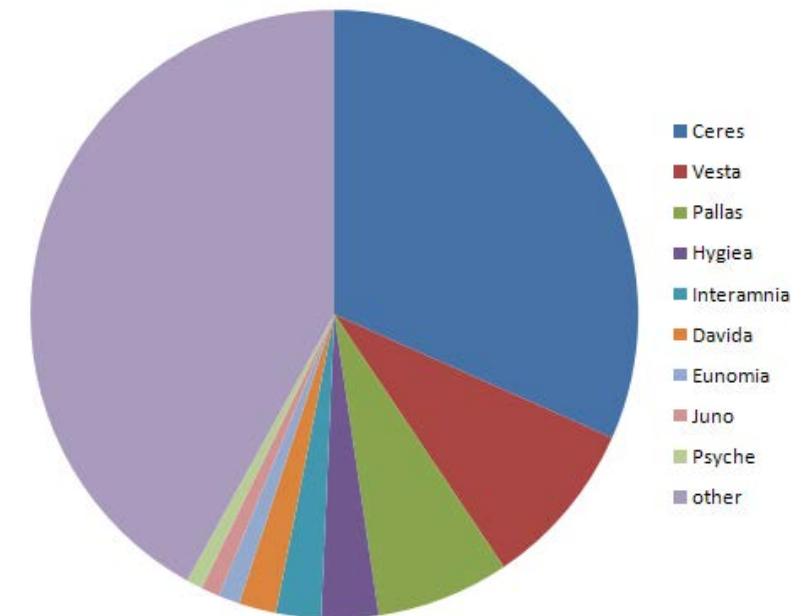
- Corpos celestes rochosos e metálicos que orbitam o Sol e podem ser encontrados em várias regiões do Sistema Solar
- Concentram-se especialmente entre Marte e Júpiter
- São remanescentes da formação do Sistema Solar, resultantes provavelmente de colisões de corpos maiores que teriam gerado corpos menores, e que ainda continuam a chocar-se entre si no próprio cinturão
- Suas dimensões variam de menos de 10 metros a centenas de quilômetros
- O Vesta é o maior asteroide, com 530 km de diâmetro.
- 1,113,527 asteroides identificados até o presente.

Cinturão de Asteróides

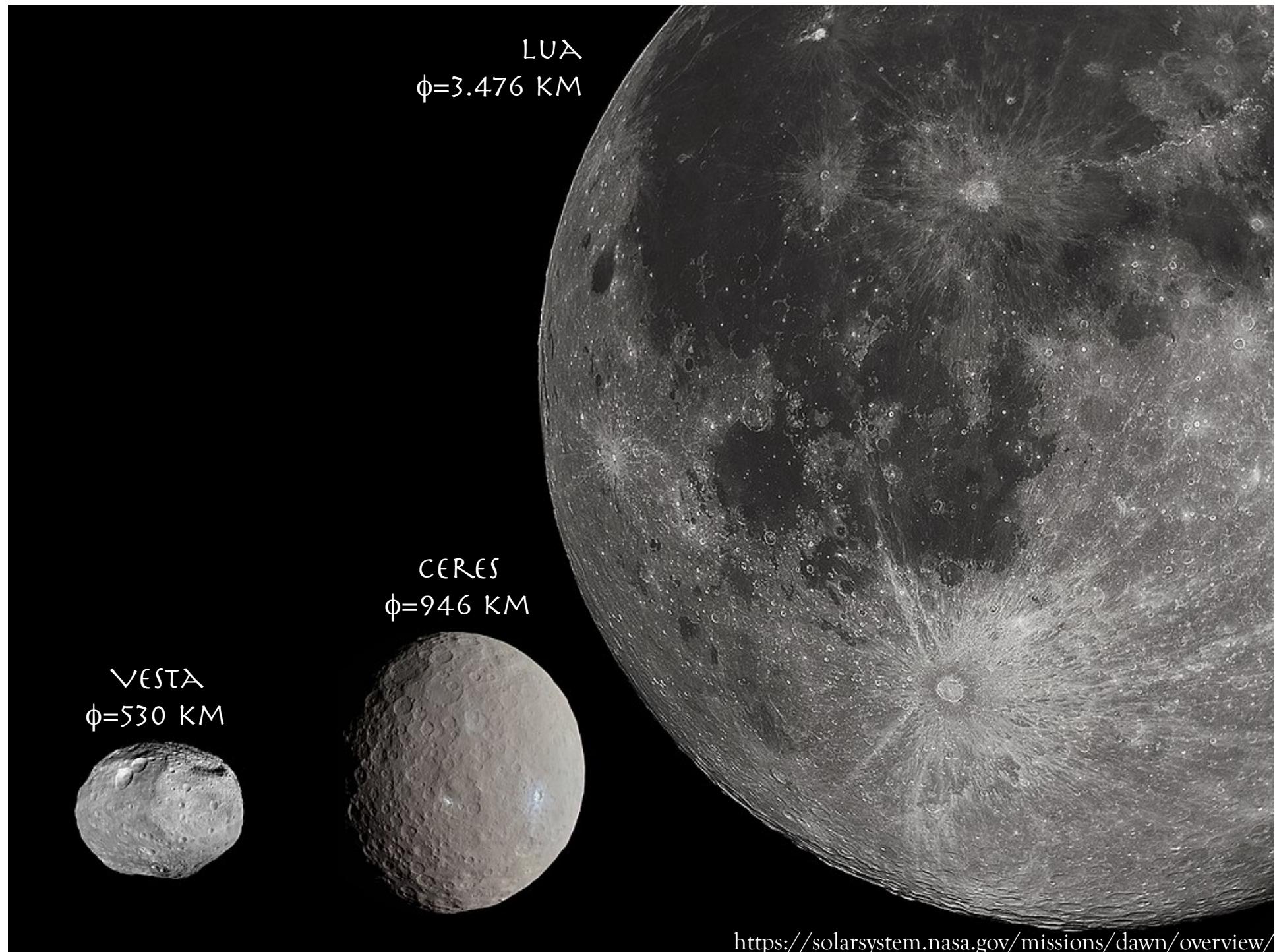


<https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/overview>

Proporção de massa dos corpos no cinturão

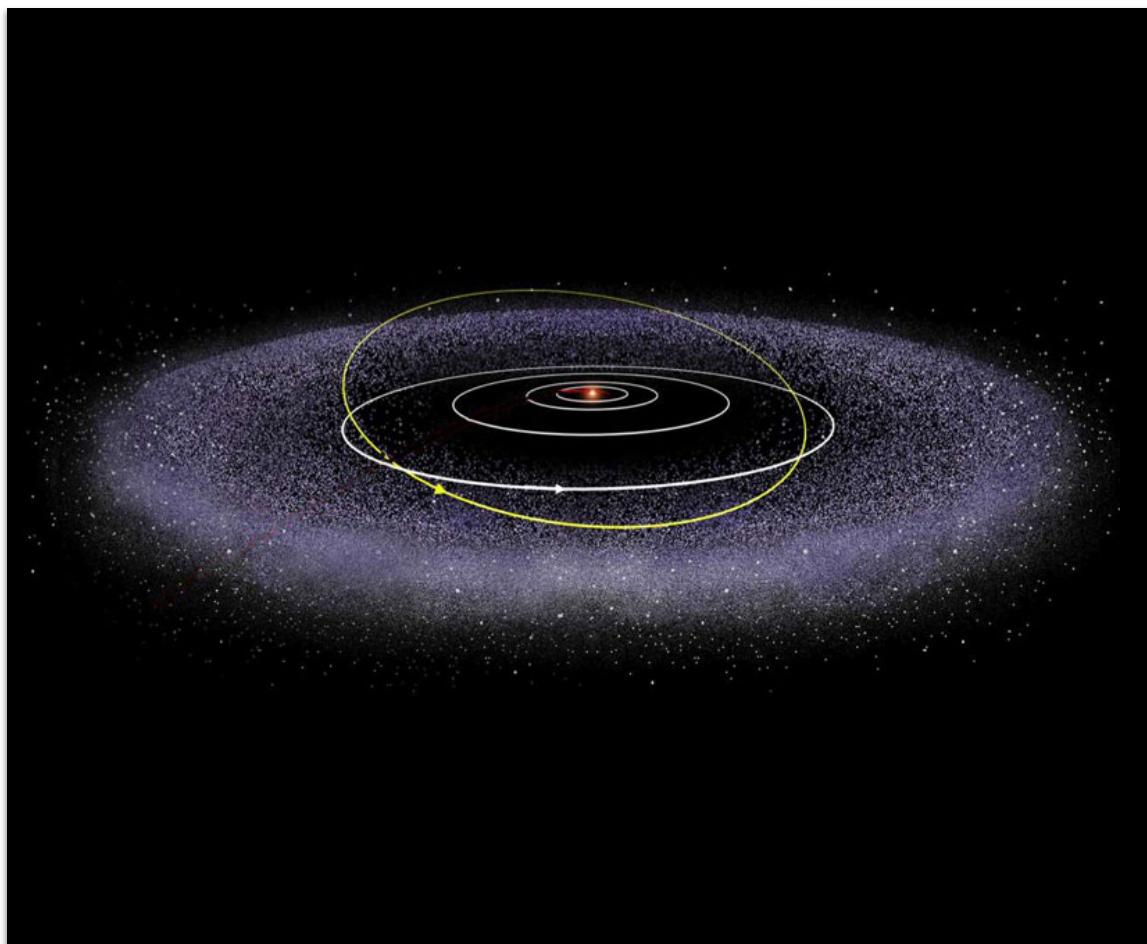


Ceres é reconhecido como um planeta anão



<https://solarsystem.nasa.gov/missions/dawn/overview/>

Cinturão de Kuiper



Órbita de Plutão em amarelo dentro do Cinturão de Kuiper, uma região em formato de disco além da órbita de Netuno e que hospeda centenas de milhares de corpos de gelo > 100 km e até um trilhão de cometas.

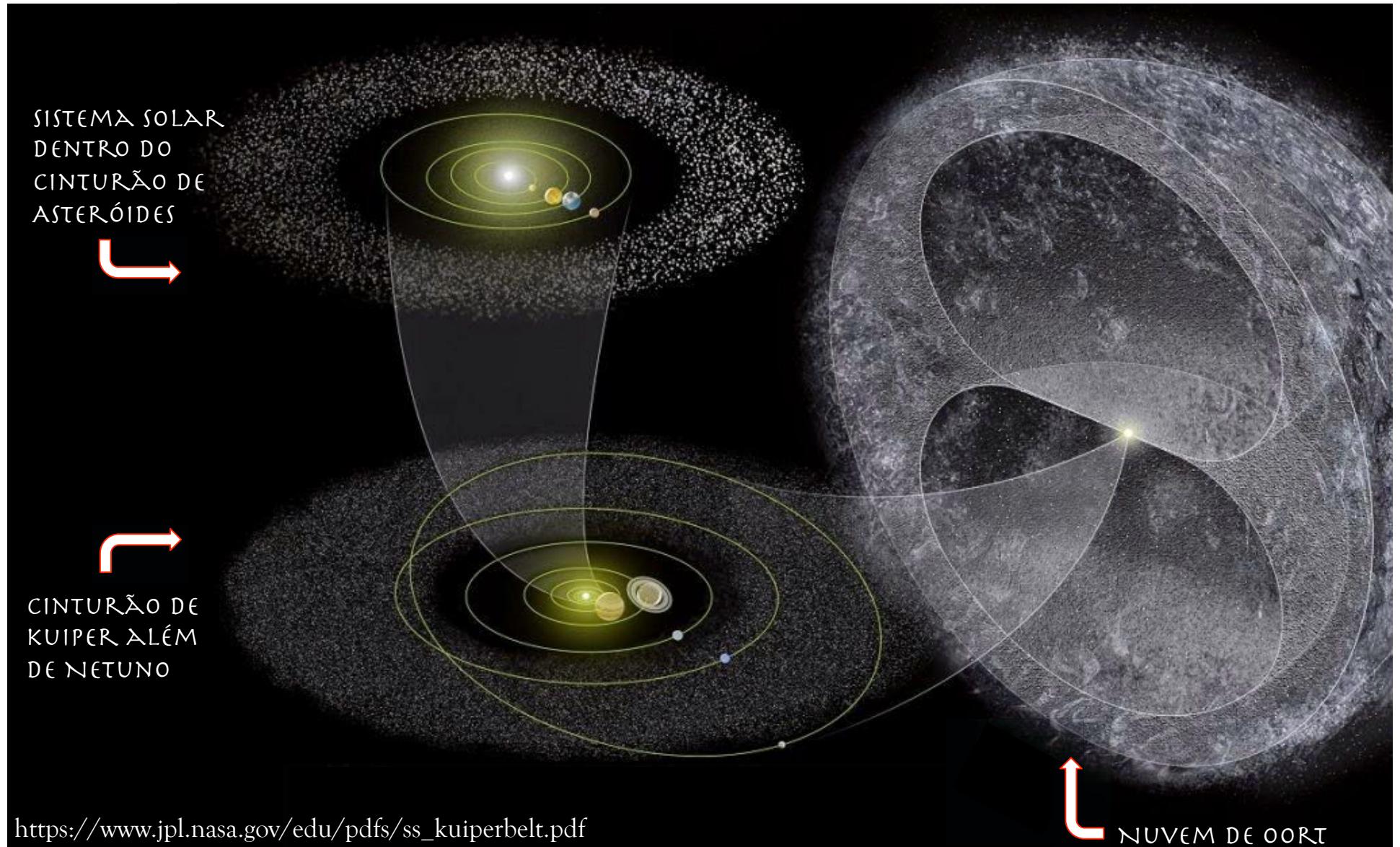
Planetas anões no Cinturão de Kuiper



Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Nuvem de Oort



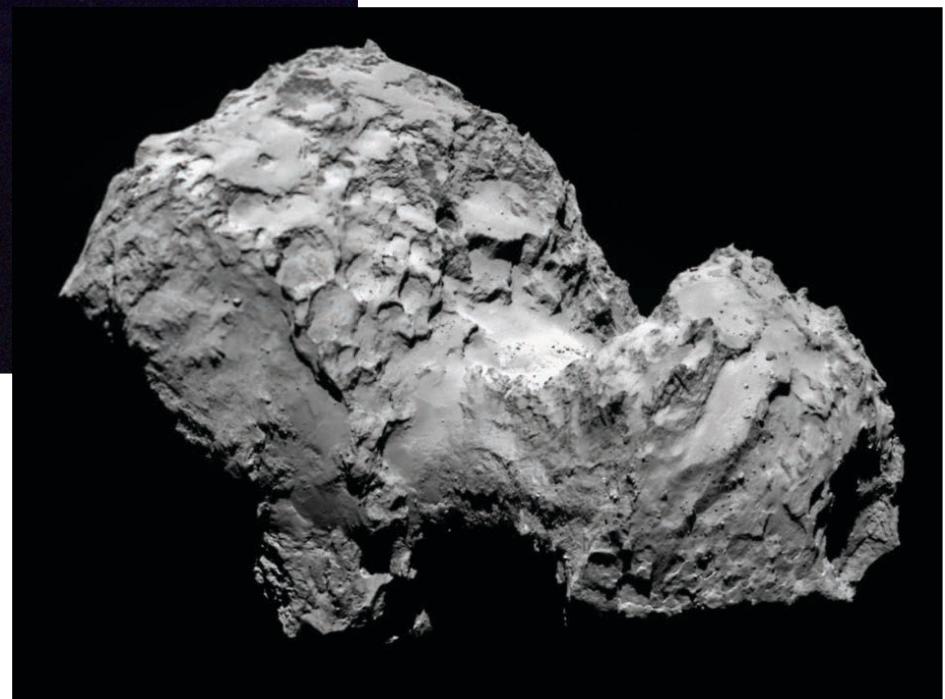
Cometas

- São corpos congelados remanescentes da formação do Sistema Solar, constituídos de fragmentos de rochas, poeira e gases congelados (núcleo)
- Se esses corpos escaparem do cinturão de Kuiper ou da nuvem de Oort para órbitas + próximas do Sol, tornam-se cometas de curto e longo período, respectivamente
- A aproximação do cometa ao Sol gera a sublimação do gelo, com a formação de uma cauda de poeira e o coma, que é uma atmosfera resultante dos gases volatilizados
- 3.884 cometas identificados até o presente

Cometas



Cometa ISON capturado em 11/2013, a 9 dias de seu encontro mais próximo ao Sol



Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko pela sonda Rosetta em 08/2014, a uma distância de 285 km

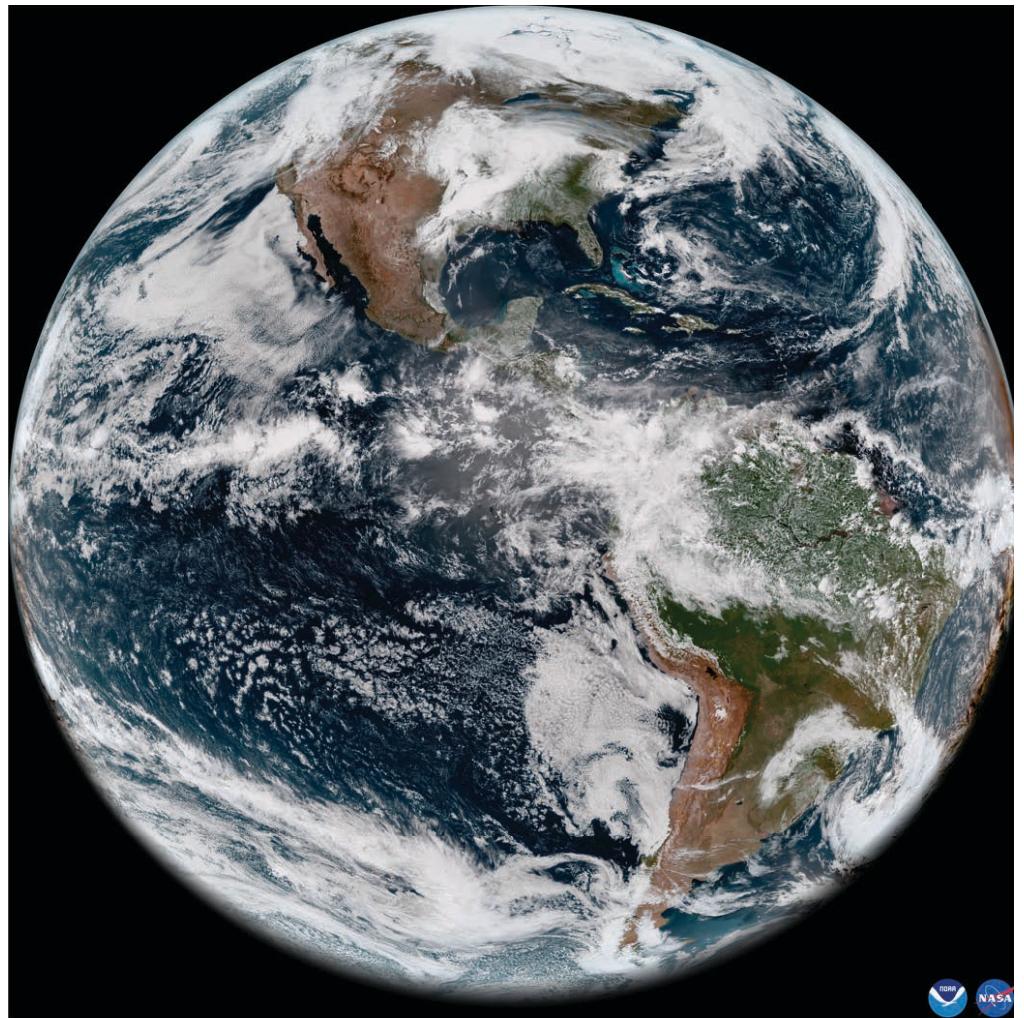
Sistema Solar - Planetas

Categoria	MERCÚRIO	VÊNUS	TERRA	LUA	MARTE	JÚPITER	SATURNO	URANO	NETUNO	PLUTÃO
	Planeta interno	Planeta interno	Planeta interno	Satélite natural	Planeta interno	Planeta externo	Planeta externo	Planeta externo	Planeta externo	Planeta anão
Massa (10^{24} kg)	0,33	4,87	5,97	0,073	0,642	1898	568	86,8	102	0,013
Diâmetro (km)	4879	12.104	12.756	3475	6792	142.984	120.536	51.118	49.528	2376
Densidade (kg/m ³)	5429	5243	5514	3340	3934	1326	687	1270	1638	1850
Gravidade (m/s ²)	3,7	8,9	9,8	1,6	3,7	23,1	9	8,7	11	0,7
Velocidade de Escape (km/s)	4,3	10,4	11,2	2,4	5	59,5	35,5	21,3	23,5	1,3
Período de Rotação (horas)	1407,6	-5832,5	23,9	655,7	24,6	9,9	10,7	-17,2	16,1	-153,3
Duração do dia (horas)	4222,6	2802	24	708,7	24,7	9,9	10,7	17,2	16,1	153,3
Distância do Sol (10^6 km)	57,9	108,2	149,6	0,384*	228	778,5	1432	2867	4515	5906,4
Periélio (10^6 km)	46	107,5	147,1	0,363*	206,7	740,6	1357,6	2732,7	4471,1	4436,8
Afélio (10^6 km)	69,8	108,9	152,1	0,406*	249,3	816,4	1506,5	3001,4	4558,9	7375,9
Período Orbital (dias)	88	224,7	365,2	27,3*	687	4331	10.747	30.589	59.800	90.560
Velocidade Orbital (km/s)	47,4	35	29,8	1,0*	24,1	13,1	9,7	6,8	5,4	4,7
Inclinação Orbital (graus)	7	3,4	0	5,1	1,8	1,3	2,5	0,8	1,8	17,2
Excentricidade Orbital	0,206	0,007	0,017	0,055	0,094	0,049	0,052	0,047	0,01	0,244
Obliquidade à órbita (graus)	0,034	177,4	23,4	6,7	25,2	3,1	26,7	97,8	28,3	122,5
Temperatura média (°C)	167	464	15	-20	-65	-110	-140	-195	-200	-225
Pressão Superficial (bars)	0	92	1	0	0,01	-*	-*	-*	-*	0,00001
Número de luas	0	0	1	0	2	79	82	27	14	5
Sistema de anéis	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Campo Magnético Global	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	-*

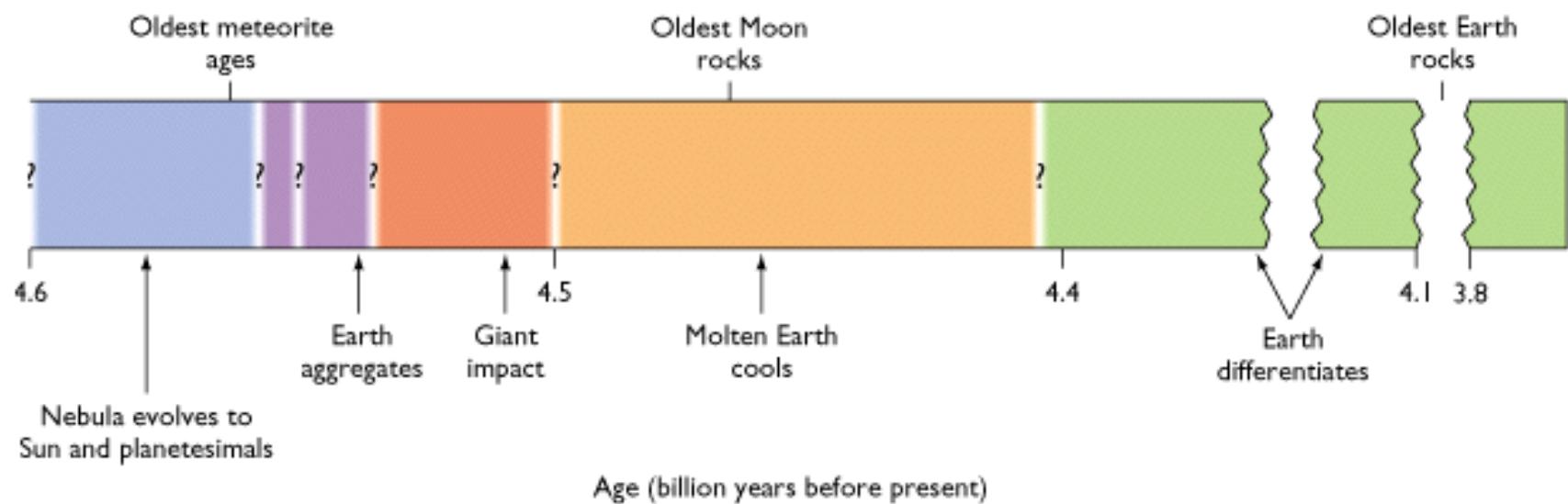
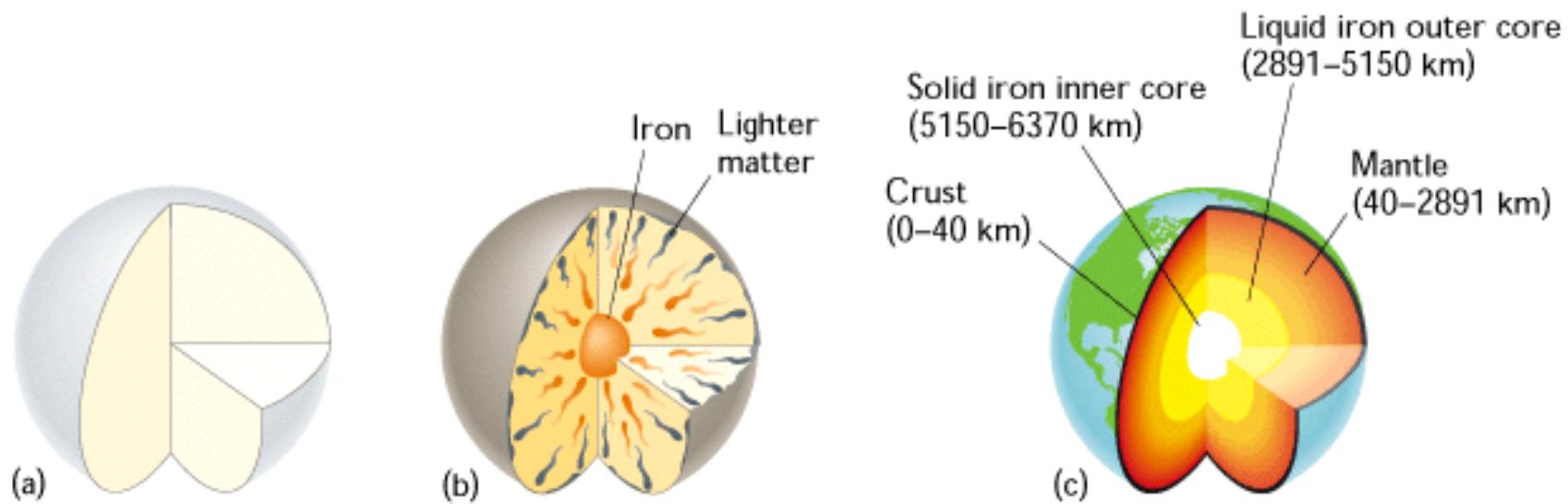
-*: consultar nota da Nasa

Formação do Planeta Terra

- 4,56 bilhões de anos atrás (junto com o restante do Sistema Solar)



<https://solarsystem.nasa.gov/planets/earth/overview/>



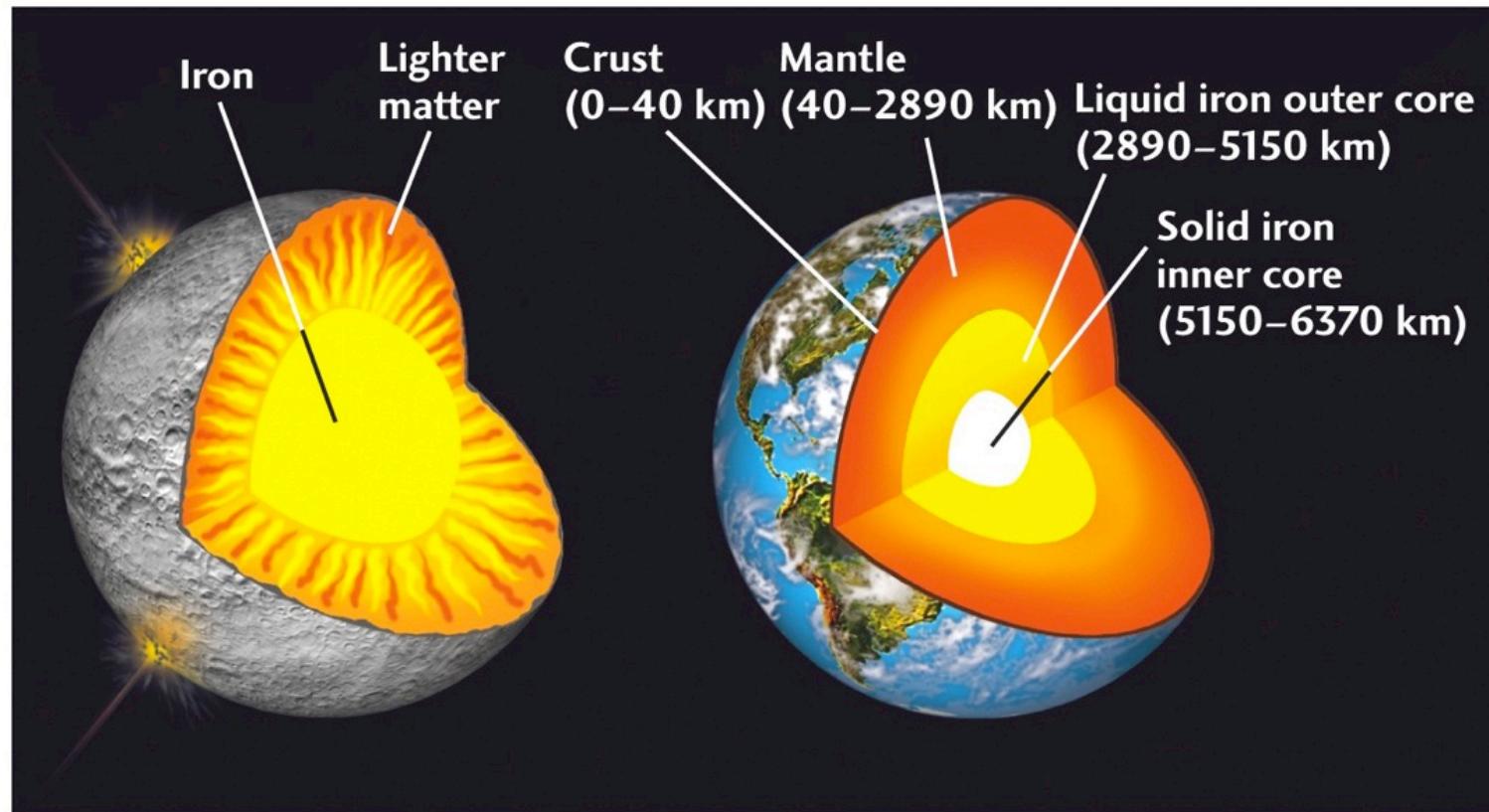
Formação do Planeta Terra

- Fatores levaram ao aquecimento e fusão nos estágios iniciais da história da Terra:
 - Acréscimo de corpos menores;
 - Colisões → transferência de energia cinética em calor;
 - Compressão;
 - Decaimento radioativo (K, U e Th).

Diferenciação química da Terra

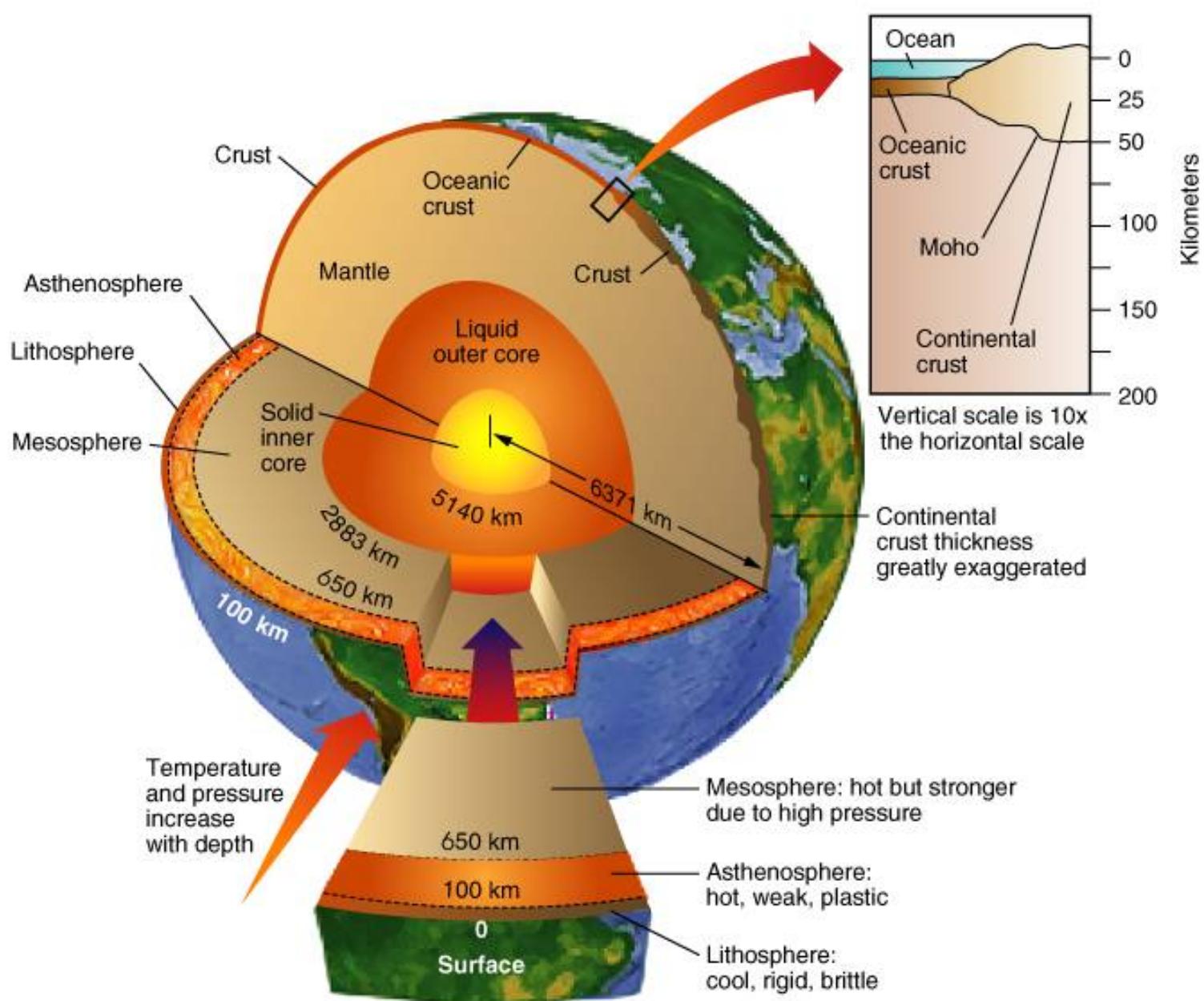
(Separação dos elementos químicos por densidade e afinidade química)

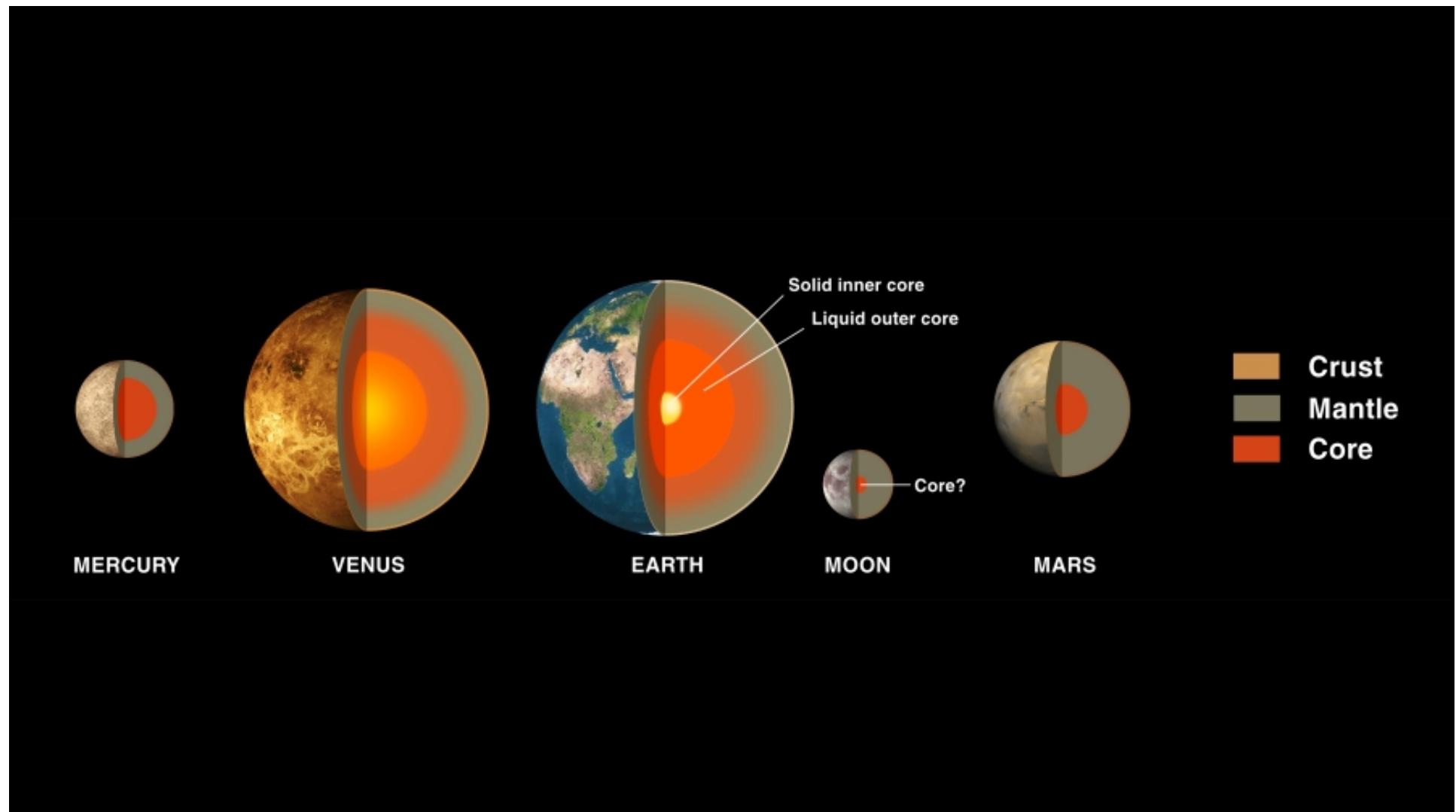
De 200 a 100 milhões de anos após a acresção inicial:



Energia Gravitacional → calor

Fonte: Press et al. (2004)

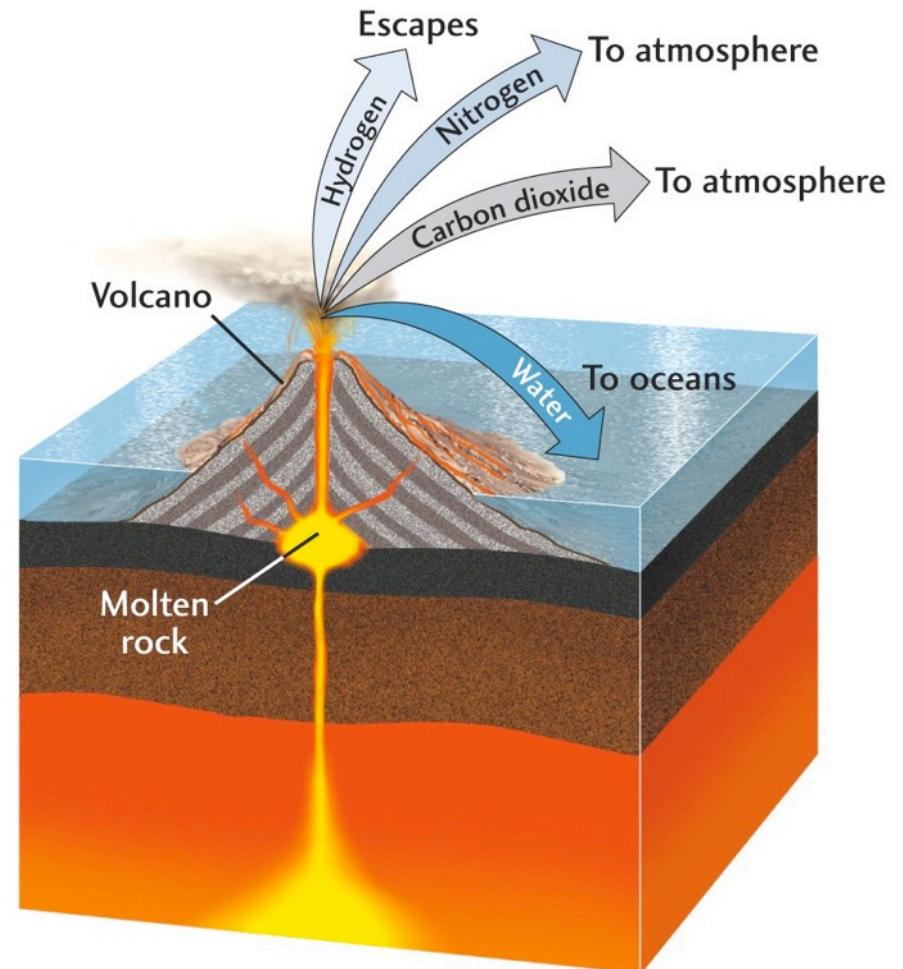




Diferenciação química da Terra

Crosta continental e oceânica:
rochas menos densas que
“flutuam” acima do manto.

Oceanos e Atmosfera: camada
externa de fluidos derivados da
transferência de gases voláteis a
partir do interior (e de cometas).



Fonte: Press et al., 2004

Meteoroides, Meteoros & Meteoritos

- Meteoroides, as chamadas “rochas espaciais”, são objetos que estão no espaço e cujos tamanhos variam de grãos de poeira a pequenos asteroides. Podem ser rochosos, metálicos ou mistos
- Meteoros, as chamadas “estrelas cadentes”, são meteoroides que adentram a atmosfera de um planeta em alta velocidade e sofrem combustão. Estima-se que 48,6 ton de meteoros entrem na atmosfera terrestre todo dia
- Meteorito é um meteoróide que sobreviveu à sua viagem ao longo da atmosfera e se choca à superfície.

Meteoro



VELOCIDADE DE ENTRADA
ENTRE 40 MIL E 250 MIL KM/H
ENTRE 5 E 25KM ACIMA DO
SOLO, A VELOCIDADE CAI
PARA 350 KM/H

TEMPERATURA DE ENTRADA
DE 1500°C

Meteoritos

- São corpos metálicos, rochosos ou mistos caídos na superfície terrestre.
- 99,8% vieram do cinturão de asteróides e o restante da Lua e de Marte
- O atrito com a atmosfera chega a fundir parcialmente as partes externas do meteorito
- Cerca de 50.000 meteoritos foram encontrados
- Impacto que + gerou calor foi há 36 milhões de anos no Canadá (Lago Mistastin) = 2.370°C
- Exemplos de impactos:
 - Meteor Crater (Arizona, EUA)
 - Colônia (São Paulo/SP)



METEOR CRATER, ARIZONA



Tabela 1.4 Classificação simplificada dos meteoritos.

Meteoritos Rochosos (95%)	Condritos (86%)	Ordinários (81%)	Características: Primitivos não diferenciados. Idade entre 4,5 e 4,6 bilhões de anos. Possuem côndrulos, à exceção dos condritos carbonáceos tipo C1.
	Acondritos (9%)	Carbonáceos (5%)	Composição: Minerais silicáticos fases refratárias e material metálico (Fe e Ni). Proveniência provável: Cinturão de asteróides.
Meteoritos ferro-pétreos (siderólitos) (1%)	Características: Diferenciados. Idade entre 4,4 e 4,6 bilhões de anos, à exceção daqueles do tipo SNC, com idade aproximada de 1 bilhão de anos. Composição: Heterogênea, em muitos casos similar à dos basaltos terrestres. Minerais principais: Olivina, piroxênio e plagioclásio. Proveniência provável: Corpos diferenciados do cinturão de asteróides.		
Meteoritos Metálicos (sideritos) (4%)	Composição: Mistura de minerais silicáticos e material metálico (Fe + Ni). Proveniência provável: Interior de corpos diferenciados do cinturão de asteróides.		
			Composição: Mineral metálico (Fe + Ni). Proveniência provável: Interior de corpos diferenciados do cinturão de asteróides.

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

Meteoritos condritos (primitivos)

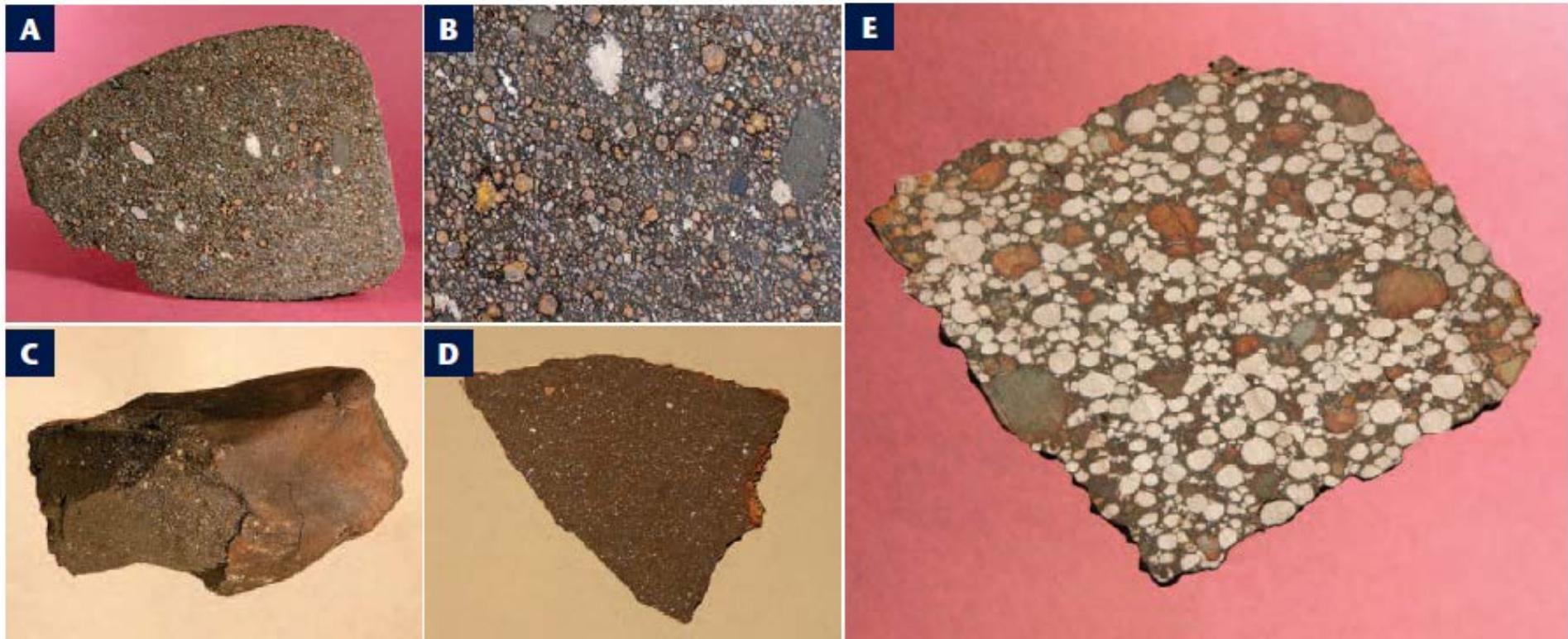


FIGURE 1 Four kinds of chondrites. (A) A polished slice of the Axtell CV3 chondrite showing abundant millimeter-sized chondrules and several white Ca-Al-rich inclusions (CAIs). (B) Close-up view of Axtell. (C) The Murchison CM2 chondrite with a fusion crust (right), showing small chondrules embedded in a dark matrix, which contains organic compounds and presolar grains. (D) A slice of the Kaufman L5 chondrite showing white grains of Fe-Ni metal enclosed in black silicates. (E) The CB3 chondrite Gujba contains ~70 vol% globules of Fe-Ni (white) metal and chondrules with diverse sizes. Long dimensions of samples: (A) 12 cm, (B) 5 cm, (C) 6 cm, (D) 18 cm, (E) 11 cm. ALL PHOTOS BY GEOFFREY NOTKIN®, OSCAR E. MONNIG METEORITE COLLECTION, TEXAS CHRISTIAN UNIVERSITY

Meteoritos “diferenciados”

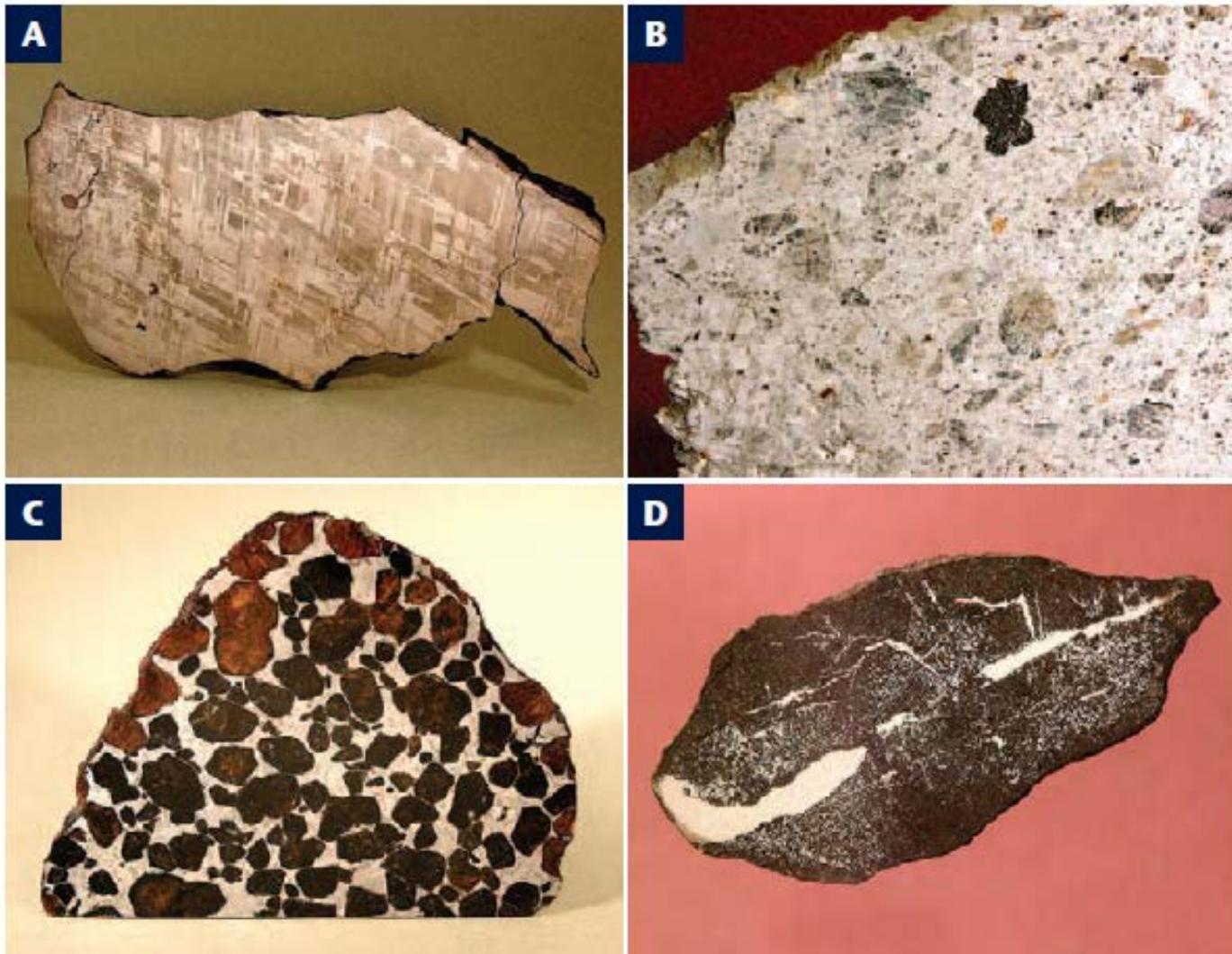


FIGURE 2 Four kinds of differentiated meteorites from asteroids that melted. (A) A slice of the San Angelo IIIAB iron etched to show the Widmanstätten pattern of oriented kamacite crystals (body-centered cubic Fe–Ni), which exsolved from a single crystal of taenite (face-centered cubic Fe–Ni). (B) A slice of the Peña Blanca Spring aubrite—an achondritic breccia composed largely of enstatite fragments. (C) A polished and etched slice of the Ahumada pallasite showing olivine fragments enclosed by Fe–Ni metal. (D) Monument Draw is a so-called “primitive achondrite” containing rare chondrules and metallic veins; it formed in an asteroid that was hot enough to melt Fe–Ni metal and iron sulfide. Long dimensions of samples: (A) 20 cm, (B) 9 cm, (C) 17 cm, (D) 6 cm. ALL PHOTOS BY GEOFFREY NOTKIN©, OSCAR E. MONNIG METEORITE COLLECTION, TEXAS CHRISTIAN UNIVERSITY

Meteoritos

- O estudo dos meteoritos nos dão informações da evolução primitiva do sistema solar:
 - os meteoritos condrílicos sobre o processo de acreção planetária
 - os meteoritos diferenciados (acondritos, metálicos e ferro-pétreos) sobre a estrutura interna dos planetas

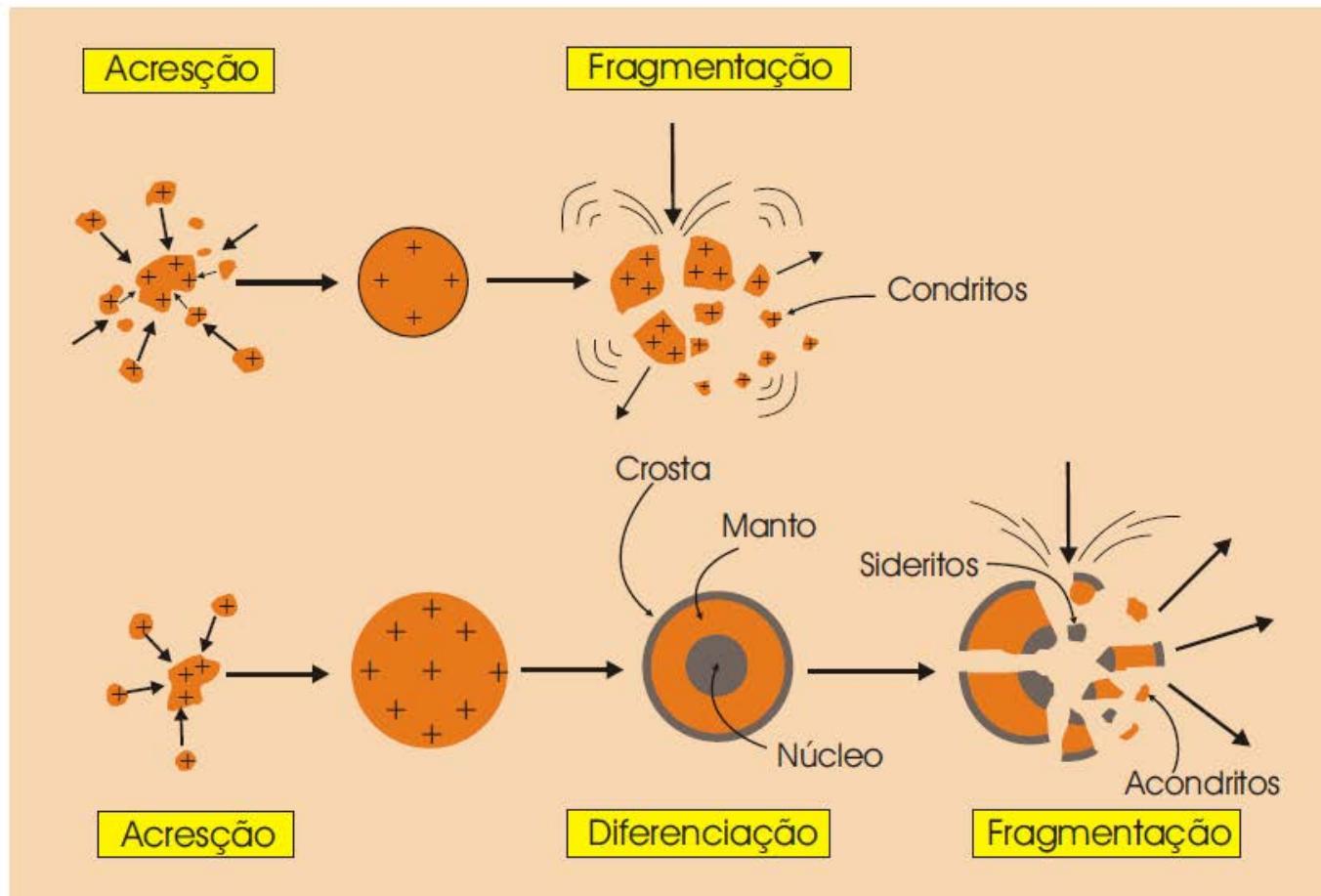


Fig. 1.10 Esquema simplificado da origem dos corpos parentais dos meteoritos. Grandes impactos no espaço causaram a fragmentação desses corpos parentais, originando diferentes tipos de meteoritos.

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

Matéria Orgânica em Meteoritos

- Meteoritos condrílicos carbonáceos possuem **Carbono (C)** em diferentes formas:
 - carbeto de silício
 - grafite
 - diamante
 - carbonato
 - compostos orgânicos (menos de 2%)
- Alguns pesquisadores sugerem que os meteoritos carbonáceos contribuíram para a formação dos primeiros blocos de construção pré-biótica da vida na Terra primitiva.

TABLE 1 ABUNDANCES OF SOLUBLE ORGANIC MATTER IN THE MURCHISON AND TAGISH LAKE METEORITES

Compounds	Murchison	Tagish Lake
Carboxylic acids (monocarboxylic)	332	40
Sulfonic acids	67	≥20
Amino acids	60	<6
Dicarboximides	>50	5.5
Dicarboxylic acids	>30	17.5
Ketones	17	n.d.
Hydrocarbons (aromatic)	15–28	≥1
Hydroxycarboxylic acids	15	b.d.
Hydrocarbons (aliphatic)	12–35	5
Alcohols	11	n.d.
Aldehydes	11	n.d.
Amines	8	<0.1
Pyridine carboxylic acid	>7	7.5
Phosphonic acid	1.5	n.d.
Purines	1.2	n.d.
Diamino acids	0.4	n.d.
Benzothiophenes	0.3	n.d.
Pyrimidines	0.06	n.d.
Basic N-heterocycles	0.05–0.5	n.d.

b.d. – below the detection limit; n.d. – not determined

Martins (2011); Elements, v.7, pp.35-40