

Sistema Solar – Formação e Estrutura



Visão Contemporânea do Sistema Solar

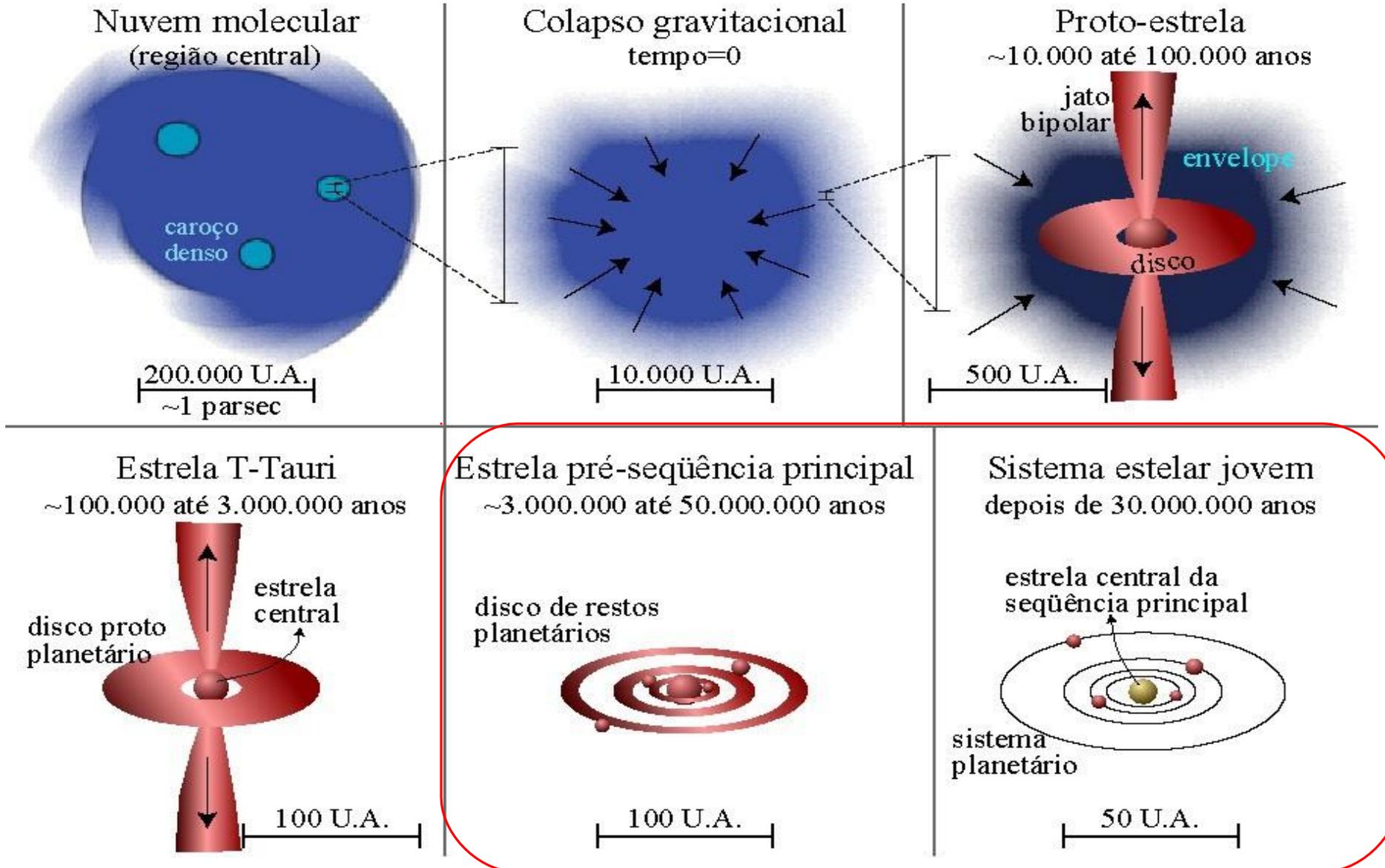
Estrutura, Dinâmica e Formação

Conteúdo, Localização e Dimensões

Propriedades Estruturais Gerais do Sistema Solar

Estrutura e Características do Sistema Solar Interno e Externo

Etapas de Formação de Proto-Estrelas até Estrelas e Sistema Planetário



• Baseado em Greene, site do telescópio Spitzer

Já na fase de pré-sequencia principal ocorre formação de disco

Estrela pré-sequência principal
~3.000.000 até 50.000.000 anos

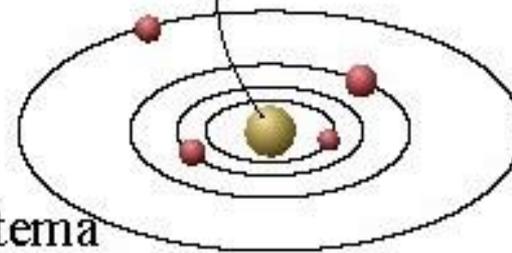
disco de restos planetários



100 U.A.

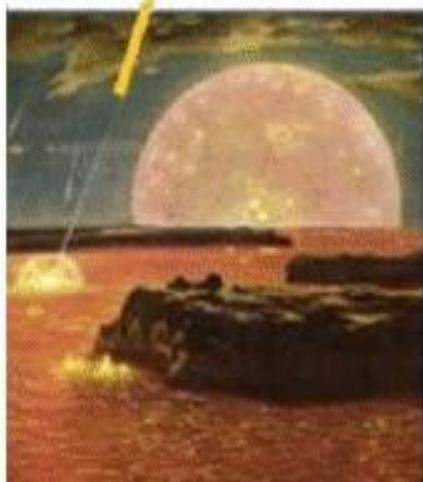
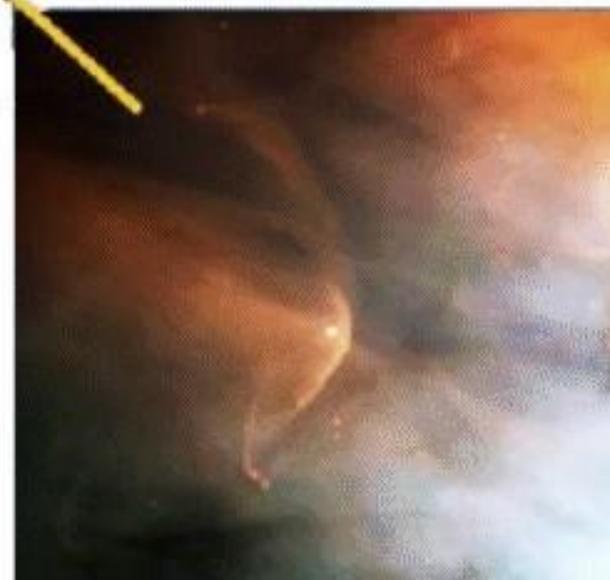
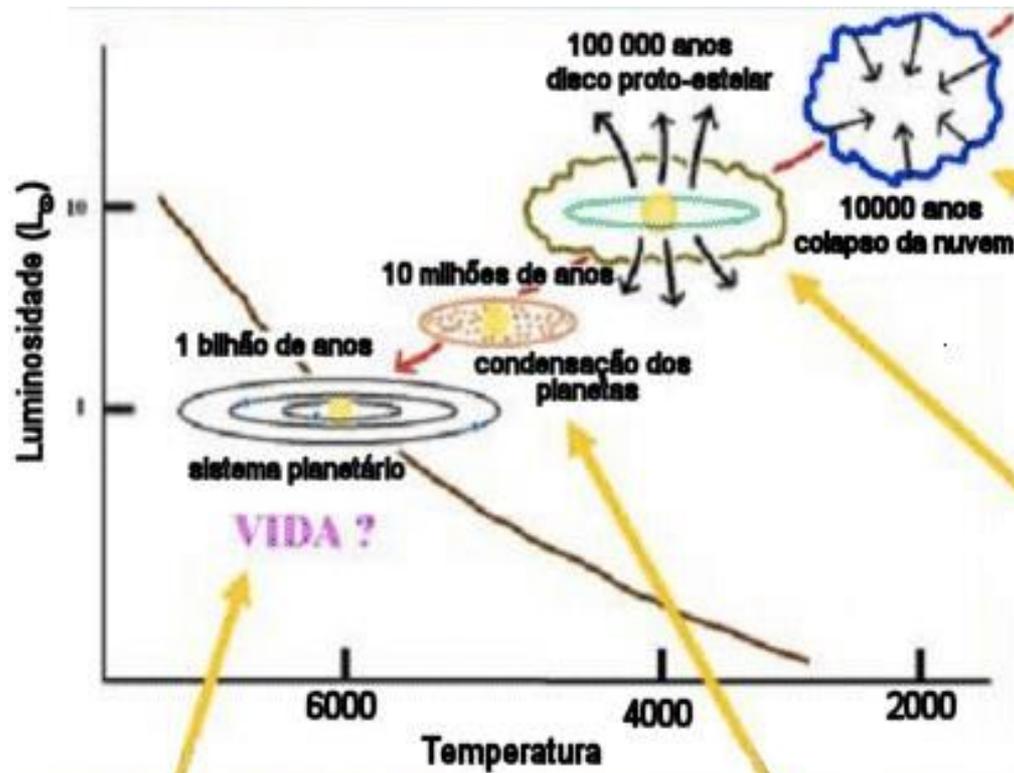
Sistema estelar jovem
depois de 30.000.000 anos

estrela central da
seqüência principal



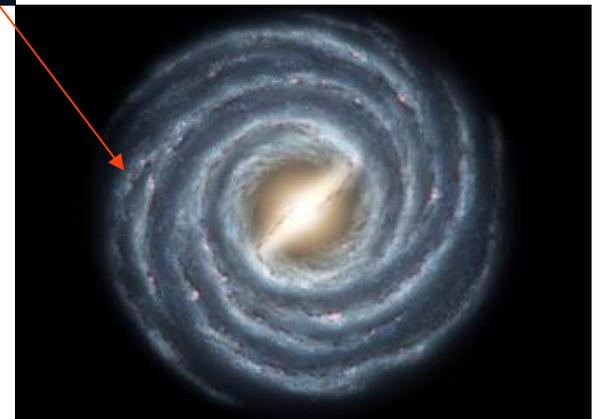
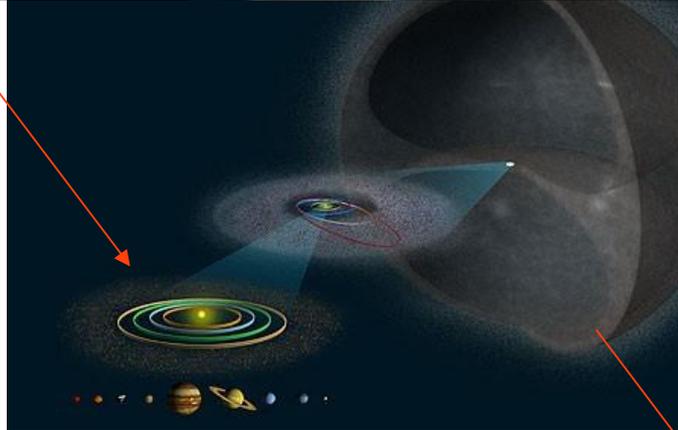
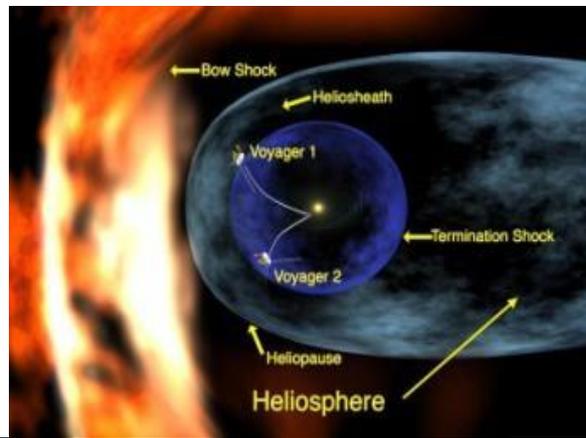
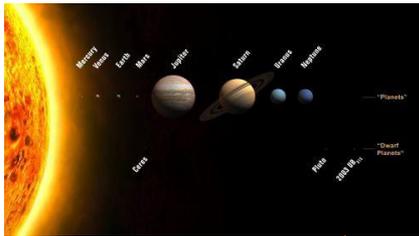
sistema planetário

50 U.A.



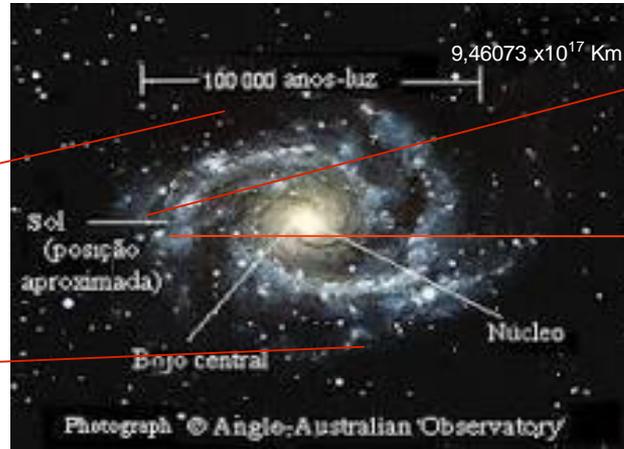
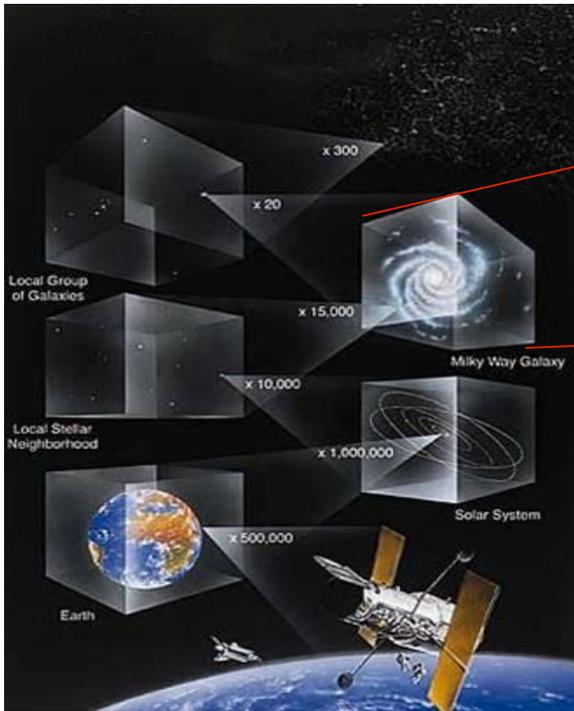
Contração da Nuvem Molecular
formação de estrelas e condensação de planetas



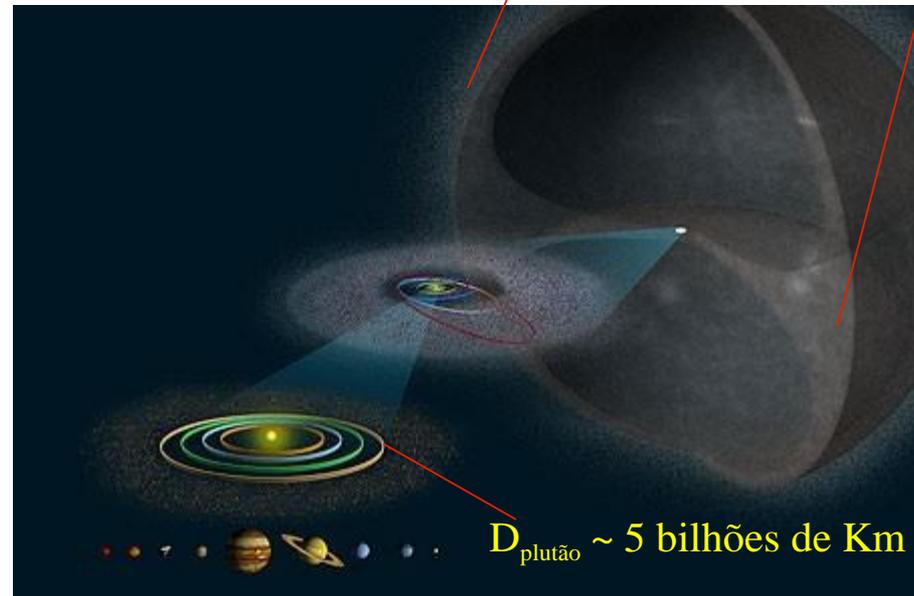


Localização do Sistema Solar na Galáxia

LOCALIZAÇÃO: entre os braços espirais da Via-Láctea, que pertence ao Grupo Local, que por sua vez faz parte do Superaglomerado Local....

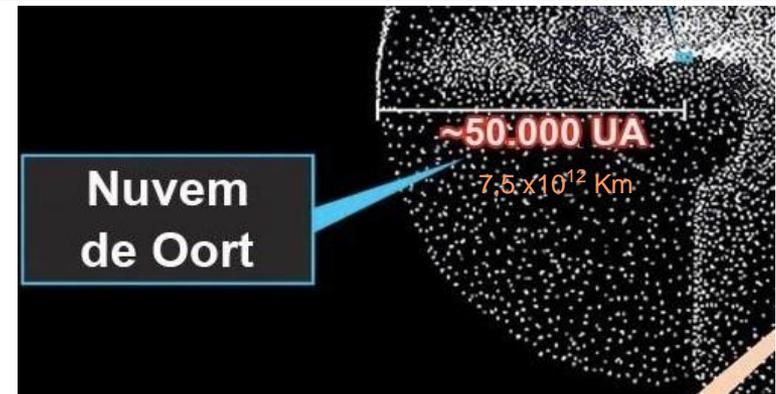
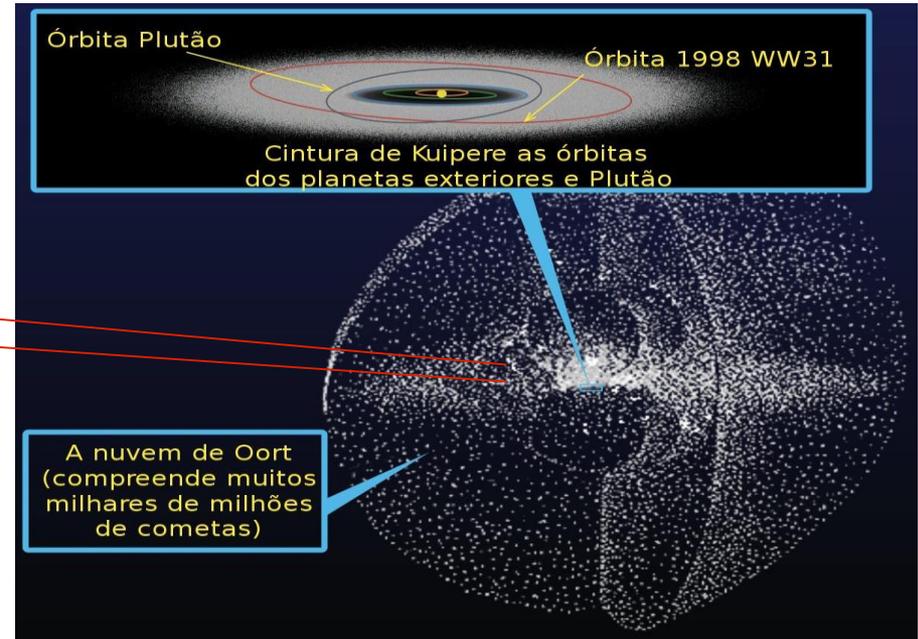
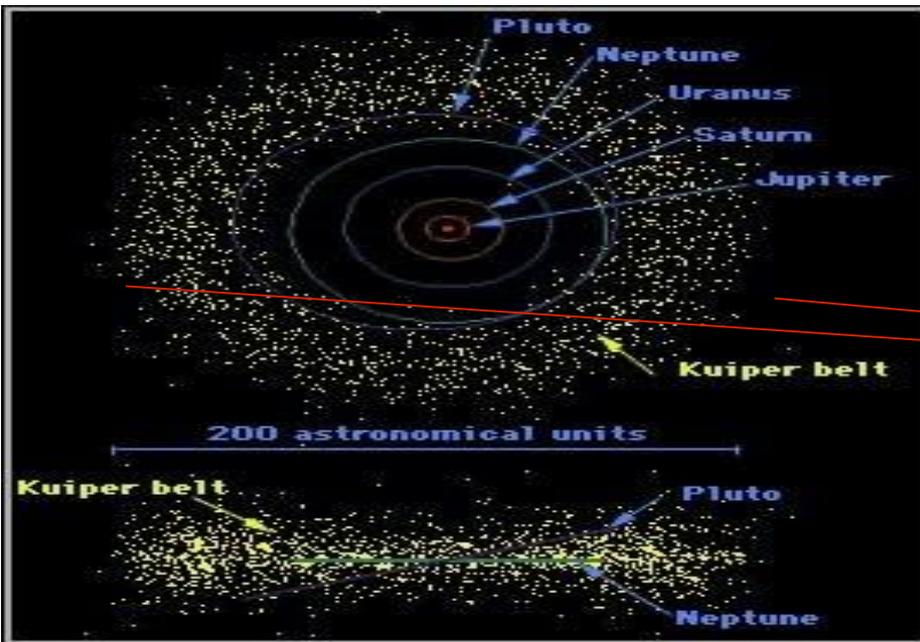


1 UA = 150 milhões Km = Dterra-Sol
 1 al = $9,5 \times 10^{12}$ Km
 1 al = 63.200 UA
 1 pc = 3,26 a.l



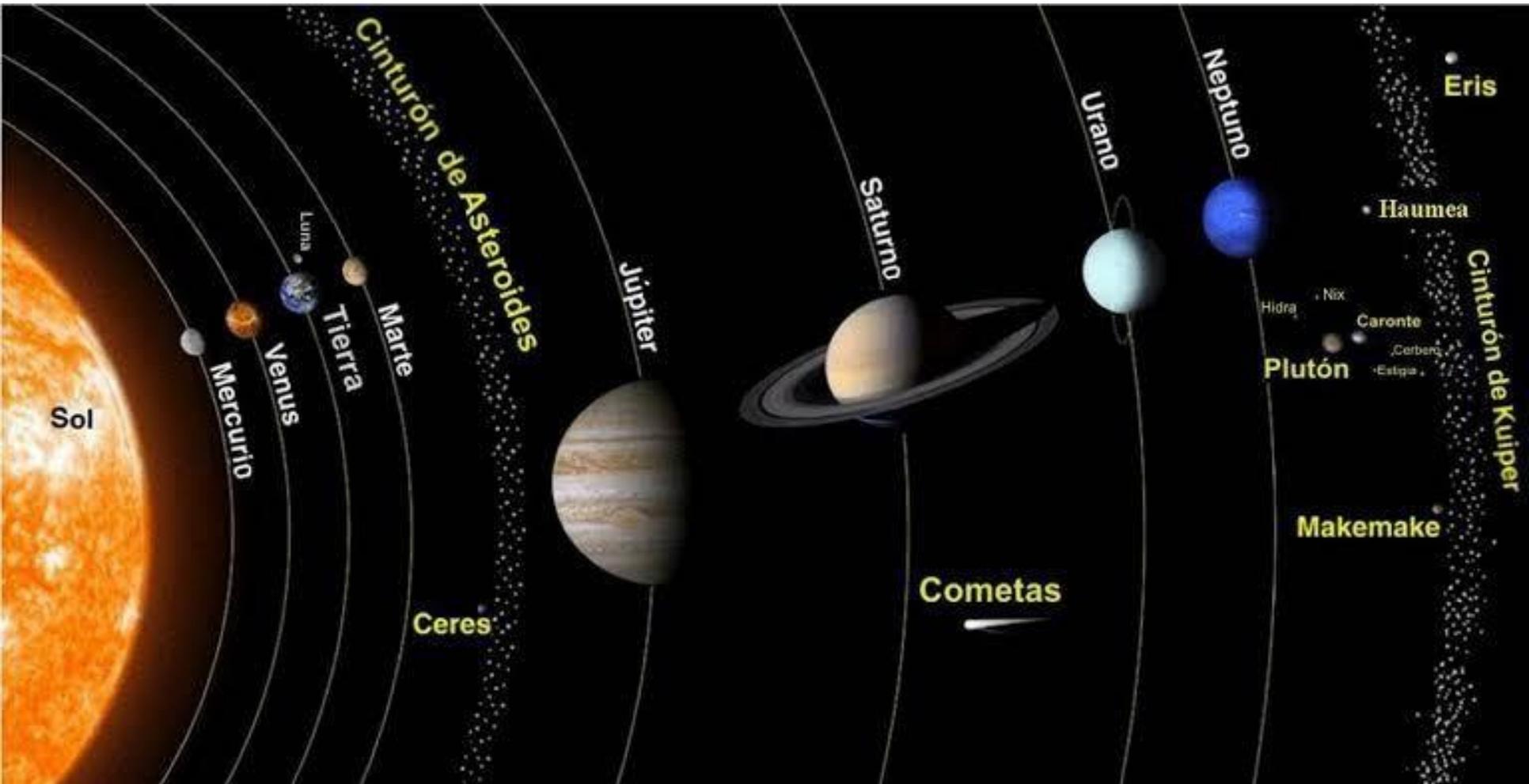
Visão do plano do Sistema Solar

Cinturão de Kuiper e Nuvem de Orth

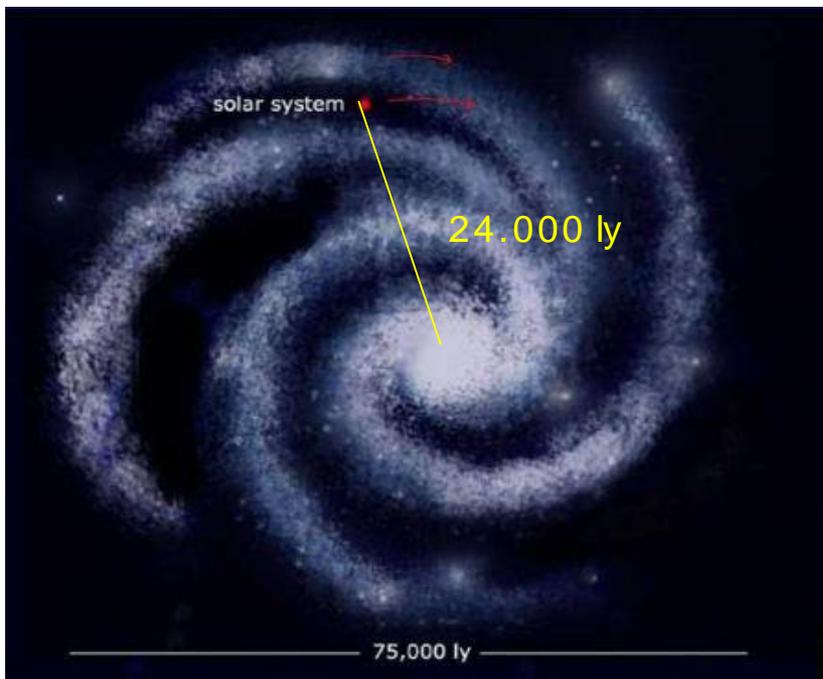


Estrutura Geral

Sol, 8 planetas (internos e externos), cinturões de Asteróides e de Kuiper....



Estrutura Interna inclui **4 planetas** rochosos e o Cinturão de Asteróides
Estrutura externa inclui os **4 planetas gasosos** o cinturão de Kuiper e a Nuvem de Orth...

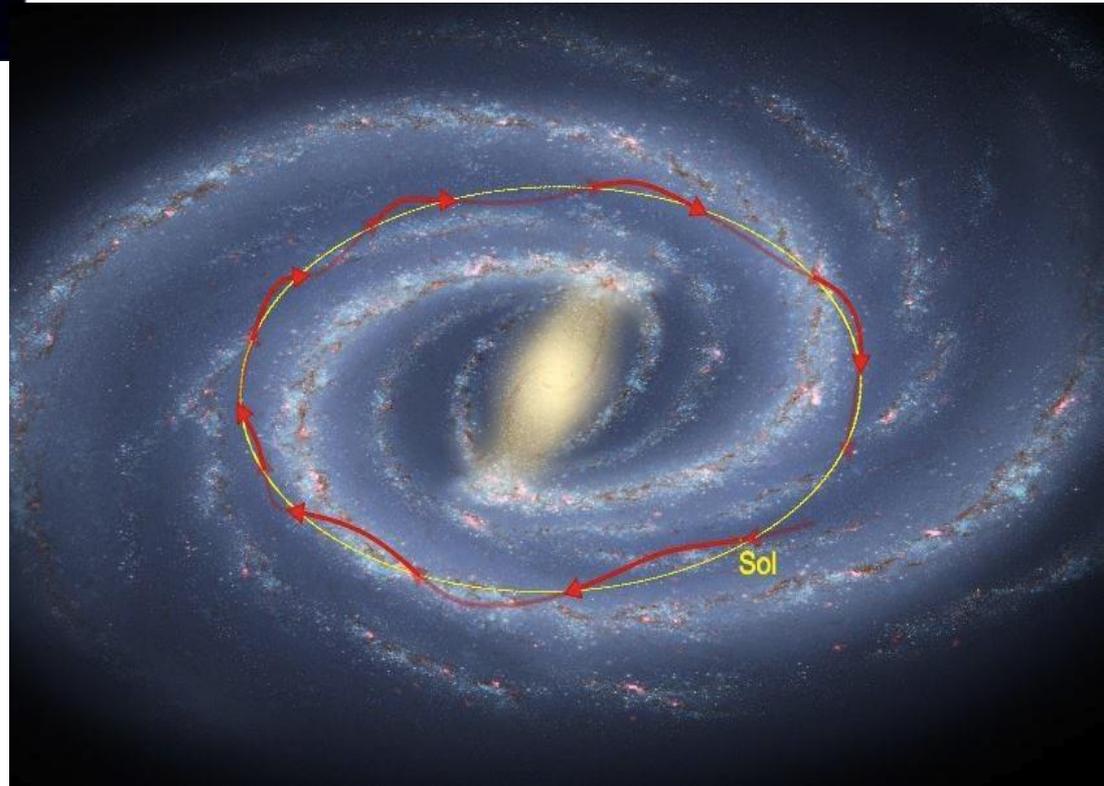


A Via-Láctea se movimenta dentro do Grupo Local, e este por sua vez também se movimenta...

O Sol se encontra a uma distância de 8,5 Kpc do centro da Via-Láctea.

Se movimenta na direção vertical e horizontal do disco -->

Realiza movimento de translação em torno do centro galáctico, a uma velocidade de 220 km/s e completa esta volta em um período de 225 milhões de anos. Até o momento realizou da ordem de 20 voltas...



Estimativas de Distância

Na atualidade utiliza-se radares/lasers para estimativas de distância no Sistema Solar

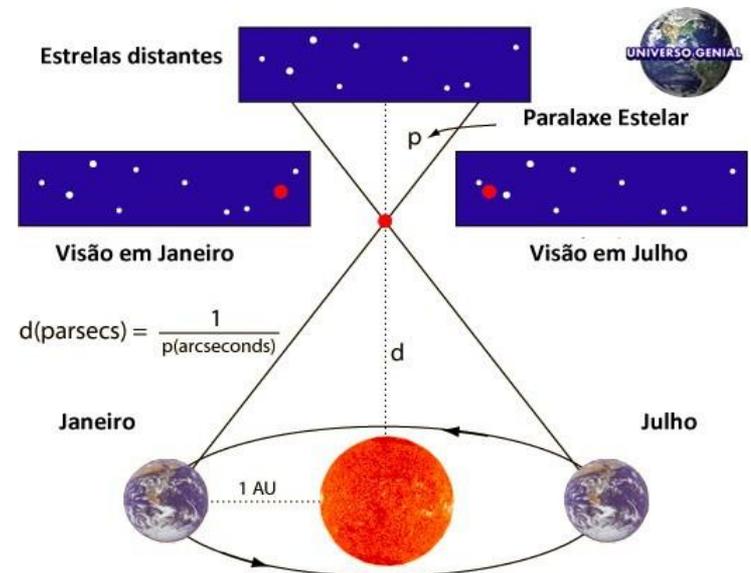
Na antiguidade utilizava-se método trigonométrico para estimativas de distância inacessíveis

Métodos de triangulação para medir distâncias envolvem o conceito de paralaxe

Paralaxe: alteração da posição aparente de um objeto devido ao movimento do observador, permite obter **via triangulação a distância do objeto...**



Mesmo conceito aplicado na Astronomia...

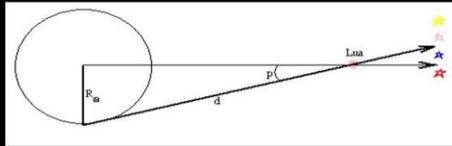


2 caminhos para se obter distâncias:

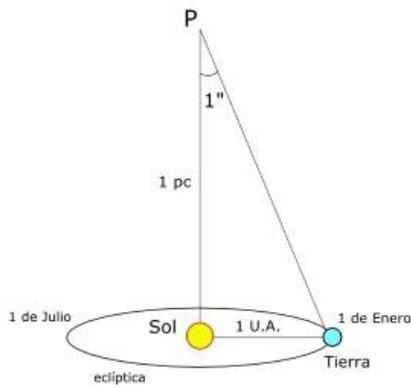
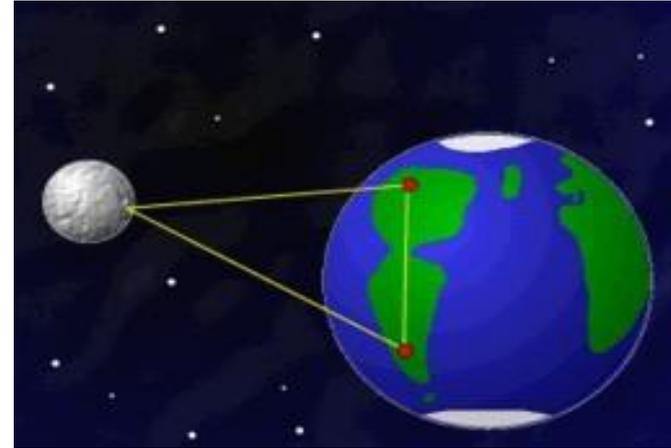
PARALAXE GEOCÊNTRICA E HELIOCÊNTRICA,
e que dependem da linha de base...

Paralaxe Geocêntrica:

leva em consideração os efeitos de visão dentro da própria Terra.



--> linha de base
é a Terra



--> linha de base é a distância Terra-Sol

Paralaxe Heliocêntrica

Observações Diretas – Missões Espaciais

Sondas: naves não tripuladas utilizadas para observações remotas de planetas, satélites, asteróides ou cometas.

Equipadas com recursos como telemetria para estudos fisico-químicos, fotométricos, entre outros como veremos. Existem vários tipos a depender dos objetivos científicos.

Sobrevoo (flyby): sonda que passa próxima a um astro e o analisa com seus instrumentos

Orbitador (orbiter): sonda que entra em órbita de um astro, passando a funcionar como um satélite artificial do mesmo

Impacto: sonda que é colidida com um astro, fazendo análises durante a aproximação ou colisão a ele

Aterrissadora (lander): sonda que pousa num astro analisando-o “in loco” muitas vezes levando consigo uma sonda veicular

Veicular (rover): sonda com capacidade de locomoção para analisar uma área maior de um astro

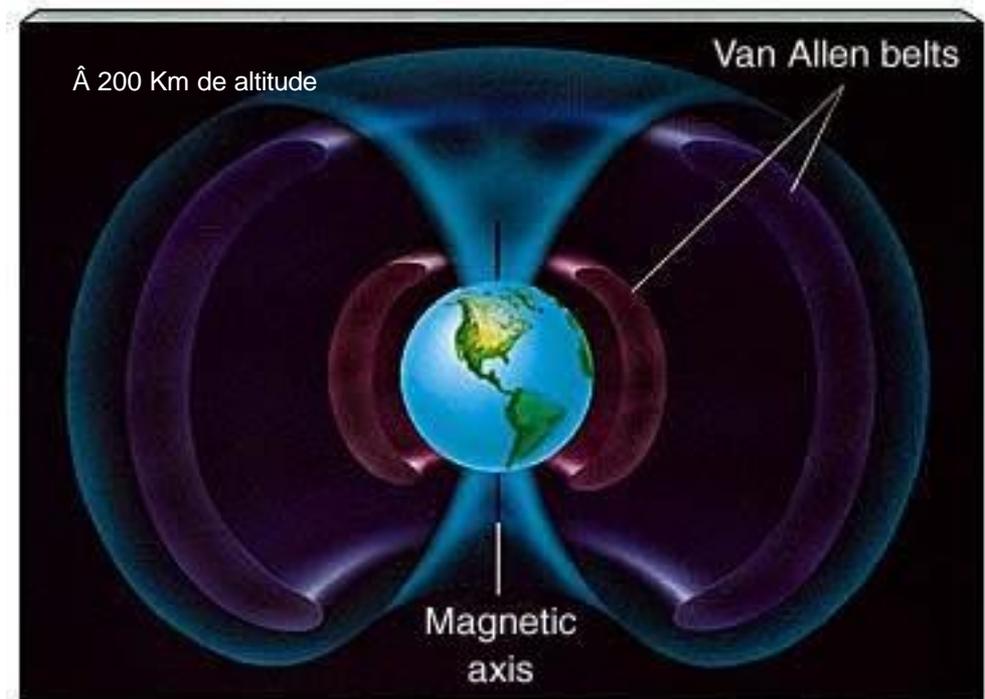
Observatório: sonda com capacidade telescópica, que pode atuar em **uma ou mais faixas do espectro eletromagnético**, para efetuar observações astronômicas, geofísicas e espectrais, sem as distorções provocadas pela atmosfera terrestre.

Alguns experimentos realizados via sonda e algumas descobertas...

Explorer 1 à 5: 1958

1º- Detecção de raios cósmicos

2º- Descoberta do Cinturão de Van Allen região em torno da Terra onde o movimento de partículas carregadas é governado fundamentalmente pelo campo da Terra



Missões Pioneers (1958-1960; 1965-1978)

...1a fase: alcançar a velocidade de escape para ir ao espaço

...2a fase: estudar “Sistema Solar Interior”

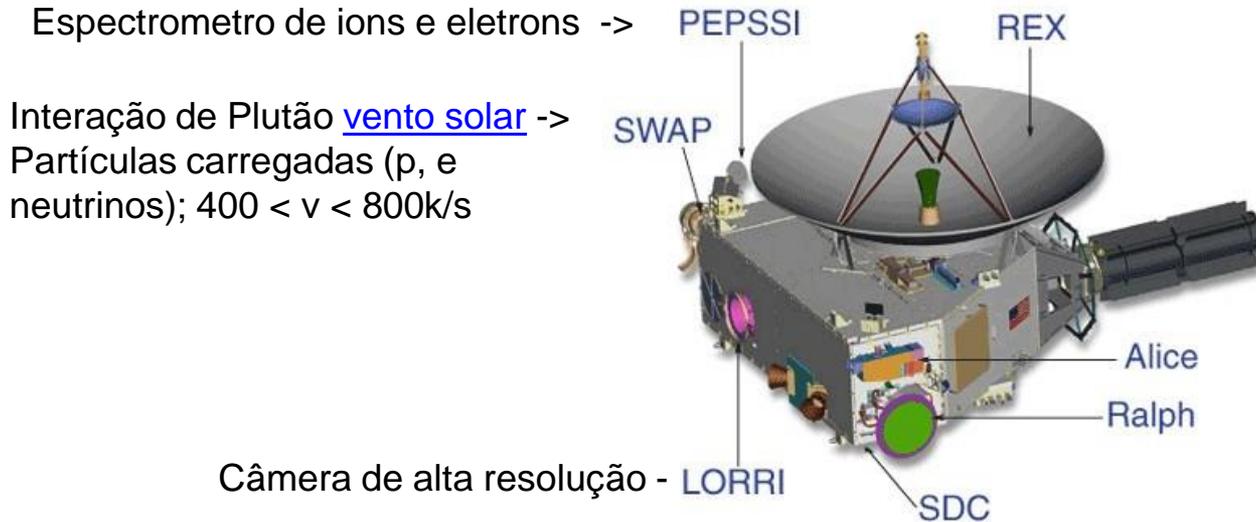


- Missões Pioneers: de 0 a 3: fracassadas no lançamento
- Pioneer 4 – tipo “flyby”, primeira a alcançar a velocidade de escape
- Pionners 10 e 11 → desenhadas para explorações planetárias dos planetas externos e depois para deixar o Sistema Solar

Sonda New Horizon (2006) - missão Plutão-Caronte e Cinturão de Kuiper

...tipo "flyby" - a mais complexa viajando no SS e atualmente em curso...

Custo U\$ 700 milhões



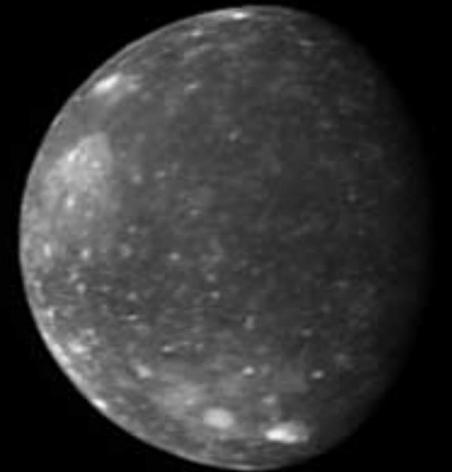
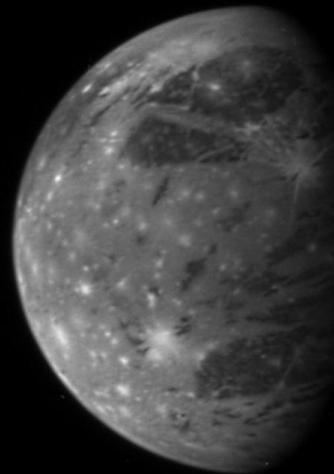
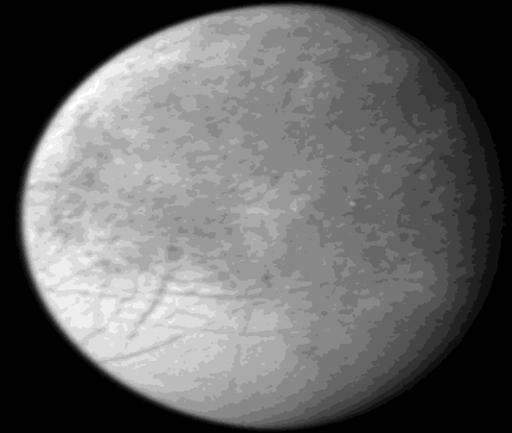
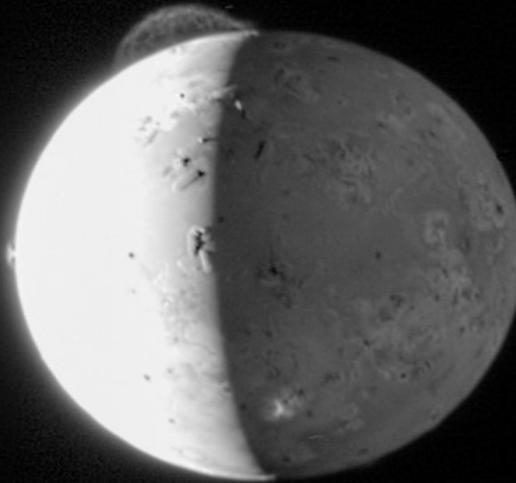
Equipada com foguete monopropulsor; gerador termoelétrico de radioisótopos; antena parabólica de 2,5 metros de diâmetro; propelente hidrazina.

Comunicações com a sonda deverão ser efetuadas na banda X da faixa de micro-ondas; transferência de dados deverá ser de 1 a 2 KByte/s para se comunicar com as antenas de espaço profundo de 70 metros de diâmetro da NASA.

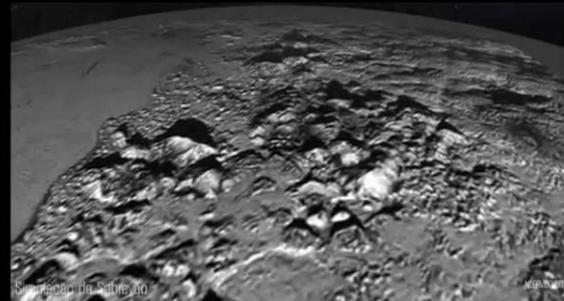
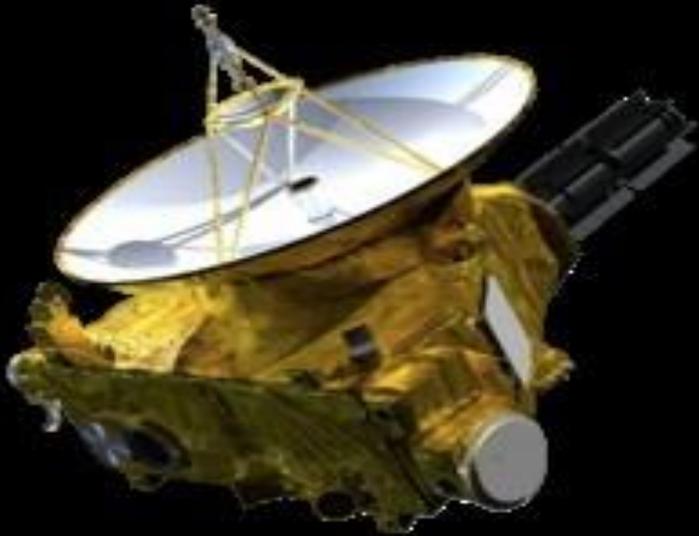
Navegação realizada com câmeras voltadas para as estrelas-guia estão montadas nas laterais da sonda

Passagens por Marte, Júpiter e Arrokot (asteróide)

Júpiter e Io, Io, Europa, Ganímedes, Calisto
Júpiter e as luas galileanas fotografadas pela New Horizons durante o sobrevoo.



A sonda sobrevoou Plutão em 14 de julho de 2015 (fotos abaixo), após nove anos e meio de viagem interplanetária, alcançando o seu ponto mais próximo da superfície do planeta, cerca de 12 500 km de distância, às 12h49min UTC, a uma velocidade de 45 000 km/h.



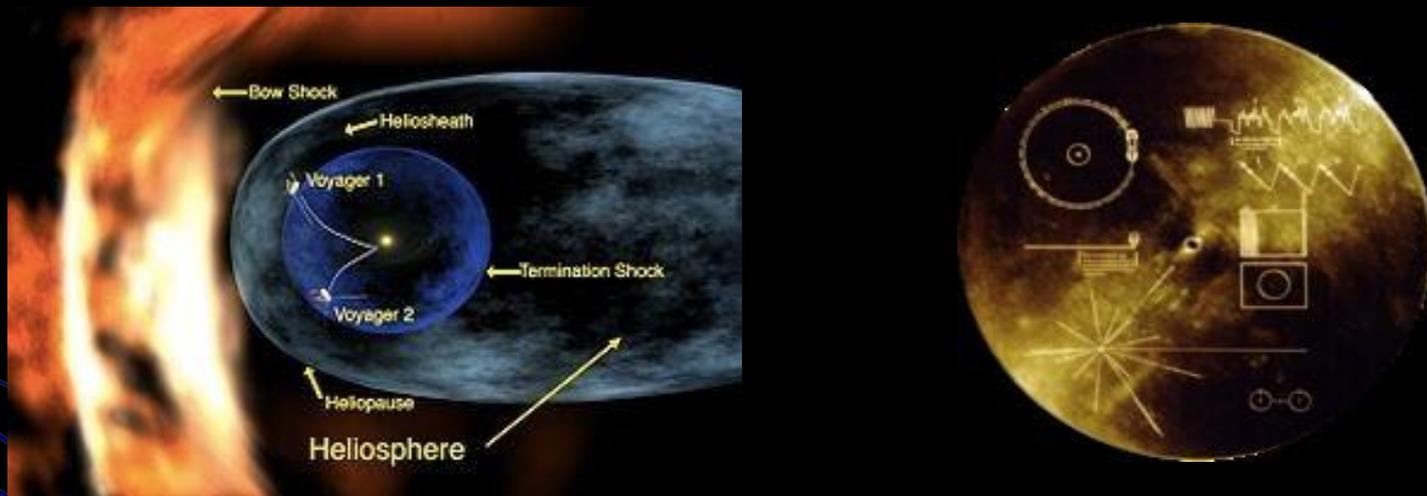
Objetivos Científicos:

Caracterizar globalmente a **geologia, morfologia, composição atmosférica e de superfície, bem como a interação com o vento solar**. Os mesmos objetivos em relação a sua lua Caronte, e depois dirigiu-se ao Cinturão de Kuiper e confins do Sistema Solar, se encaminhando para fora dos limites da Heliosfera.

Os primeiros dados enviados da atmosfera mostraram que ela é composta principalmente de **nitrogênio** e, mais próximo à superfície, de **metano**

As Voyagers 1 e 2 são sondas altamente sofisticadas e são os objetos feitos pelo homem que se encontram mais distante da Terra. Lançadas em 1977, a Voy-1 ultrapassou os limites do Sistema Solar em 09/2013 atingindo uma **distância da ordem de 20 bilhões de km**, a uma velocidade de 61920 km/h - a mais rápida até hoje, mergulhando posteriormente no Meio Interestelar.

Viajando a 43 anos e ainda recebendo comandos de rotina da Terra continua transmitindo dados, mas a previsão é de que a comunicação com a sonda se perca por volta da década de 2020.



As duas sondas carregam um disco revestido de ouro, com informações sobre nossa civilização contendo 115 imagens, entre elas a do Cristo Redentor no Brasil, a Grande Muralha da China, pescadores portugueses, entre outras. Possui também arquivos de 35 sons naturais (vento, pássaros, água, etc.) e saudações em 55 línguas, incluindo em língua portuguesa, feita por Portugal e pelo Brasil. Foram também incluídos excertos de música étnica, de obras de Beethoven e Mozart, e "Johnny B. Goode" de Chuck Berry.

Cometa Tempel 1

Pouco conhecido mas significativo do ponto de vista dos objetivos da missão... "Impacto Profundo – Missão NASA"



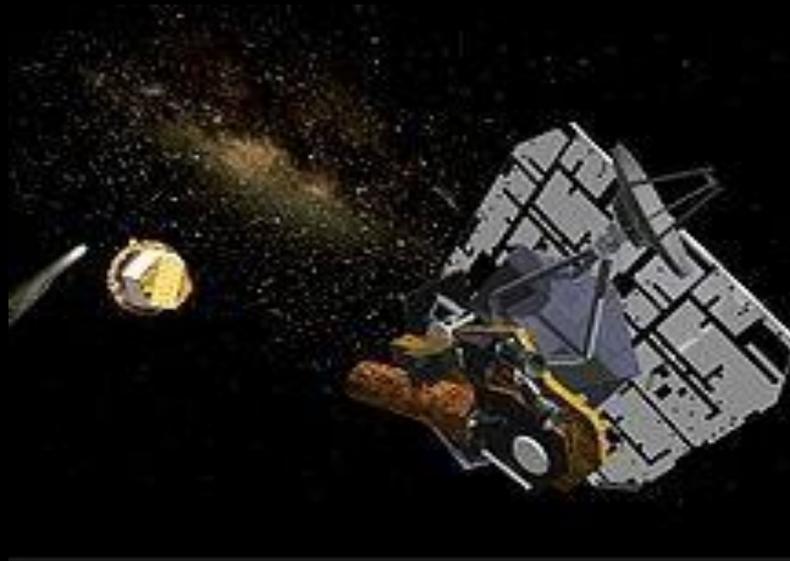
Objetivos Científicos: dados sobre a formação primitiva do S.Solar, a composição química do núcleo cometário bem como o interior e superfície, estimativa de massa, entre outros.

Objetivos Técnicos: atingir o cometa com um projétil; observar as estruturas da cratera; observar a composição do interior e dos jatos subsequentes ao impacto; observar o comportamento do gás após impacto...

Impacto Profundo (2005)

Missão Nasa

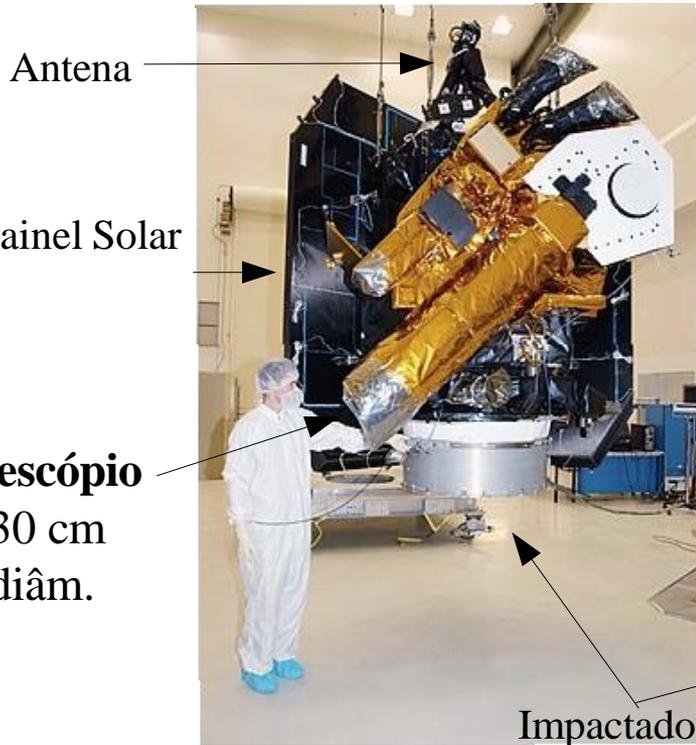
Nave com sondas gêmeas - "Impactor" e a sonda "Flyby" que observou o impacto." Projétil" lançado a uma distância de 864.000 km a uma velocidade de 40.000km/h para atingir uma área de 6 Km²



Circula entre Marte e Júpiter

Escolhido por ter uma janela de 2 anos, tamanho suficiente para sustentar o impacto, e lento para facilitar o impacto

Nave = sondas Impactor + orbitadora
Massa da Sonda = 601 Kg
Custo U\$ 330 milhões



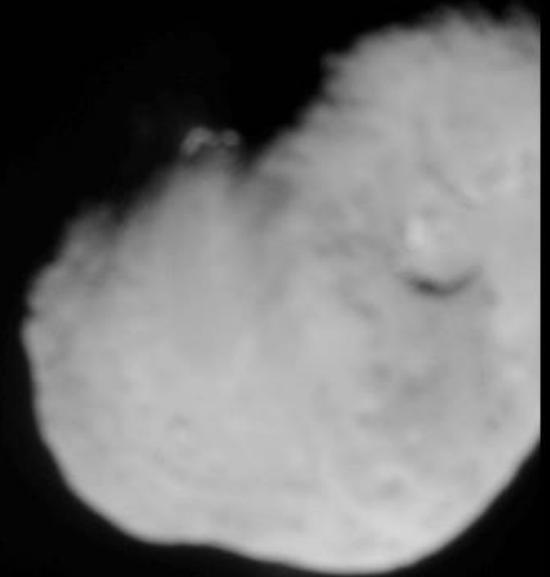
Massa de cobre pertencente ao impactador = 320 Kg

Principal instrumento científico da Missão. Fornece luz visível para a câmera fotográfica multiespectral e envia ao espectrometro a luz infravermelha captada .

O Registro do Impacto

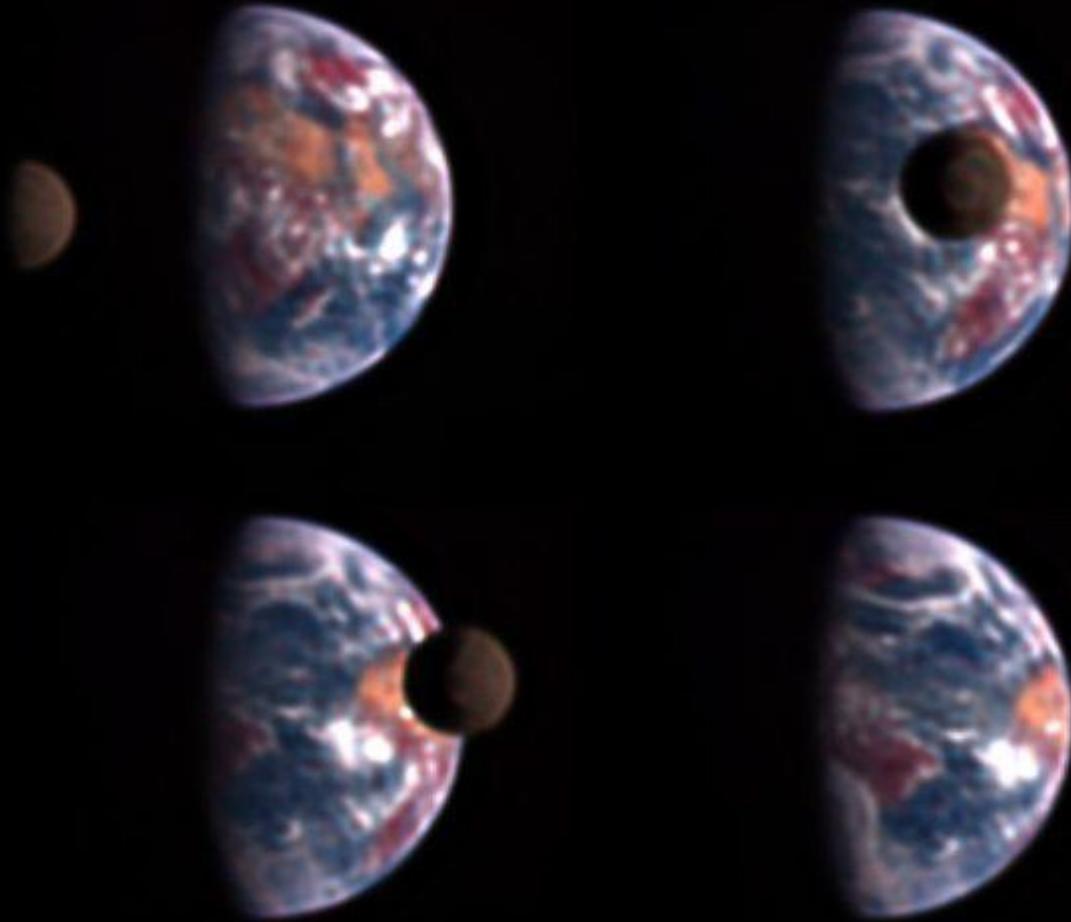
04/07/2005 as 02hs52m (horário Brasília)

Maior desafio foi o de acertar um alvo de 6 km² de área, a uma distância de 864.000 km a uma velocidade de 40.000 km/h



Entre os objetivos científicos encontram-se a estimativa da massa, composição química da superfície e interna

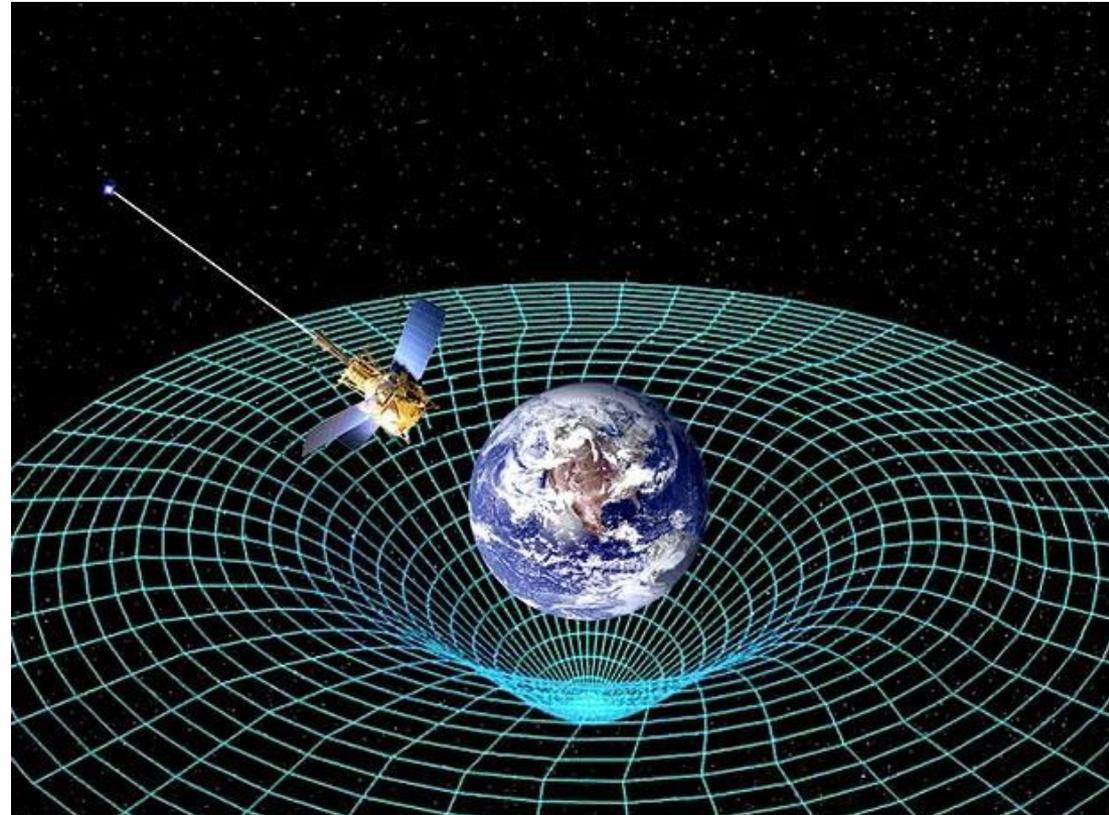
Terra e Lua vistos da Sonda-"flyby"



Sonda Gravity Probe B (GP-B)

- - 40 anos de preparação
- - Lançada em 2004
- 4 Giroscópios de alta tecnologia

"os giroscópios experimentaram mudanças mensuráveis na direção de seu giro à medida que eram atraídos pela gravidade da Terra"



As tecnologias criadas para desenvolver a sonda gravitacional foram utilizadas posteriormente para elaborar os [Sistemas de Posicionamento Global \(GPS\)](#) e o cálculo da [radiação de fundo do Universo](#).

Considerando as vias de informação que acabamos de ver e lembrando das contribuições da gravitação (Leis de Movimento de Newton, Leis de Kepler do Movimento Planetário), das informações trazidas pelas sondas, algumas ainda em operação e da análise da luz via imagens e/ou espectros, chega-se a “ Visão Contemporânea do Sistema Solar”, como veremos a seguir....

Estrutura, Movimento e Dinâmica do Sistema Solar

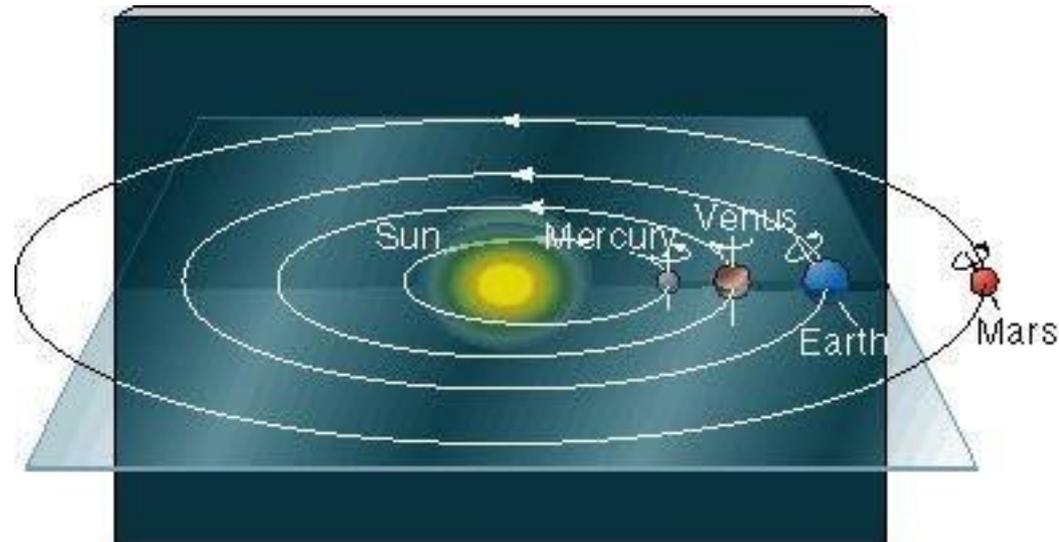
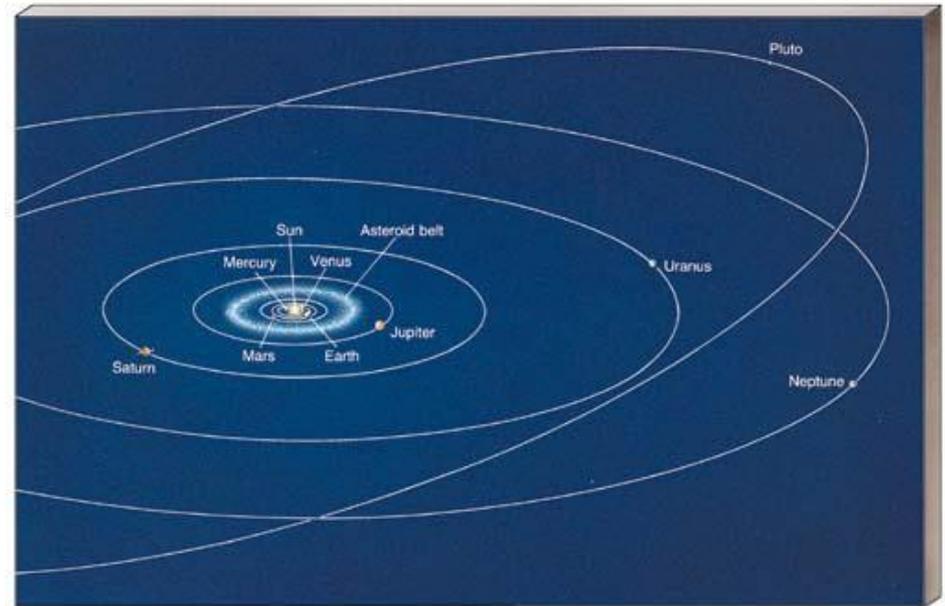
Estrutura geral em forma de disco, planetas em órbitas elípticas e aproximadamente coplanares.

Devido a enormes diferenças entre as propriedades gerais dos planetas, distingue-se para fins de estudo:

Estrutura Interna do Sistema Solar, que abriga planetas terrestres, ou telúricos ou rochosos.

Estrutura Externa c/ os planetas gasosos ou jovianos.

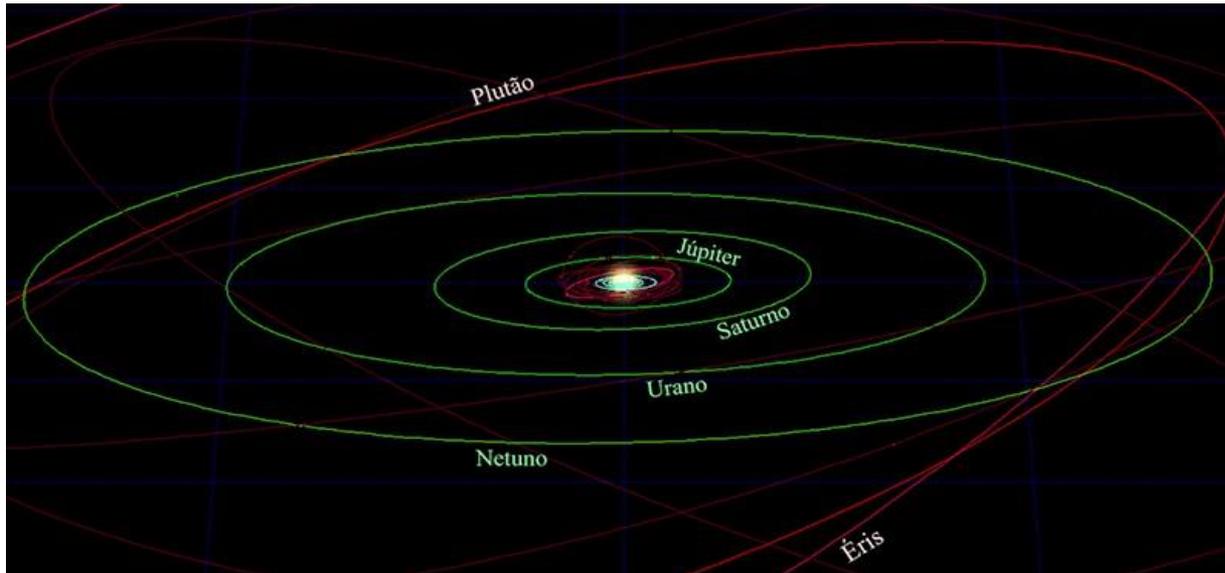
Tds planetas orbitam, e a maioria dos satélites t^{bem} , na **mesma direção anti-horária**, na mesma direção de rotação do Sol.



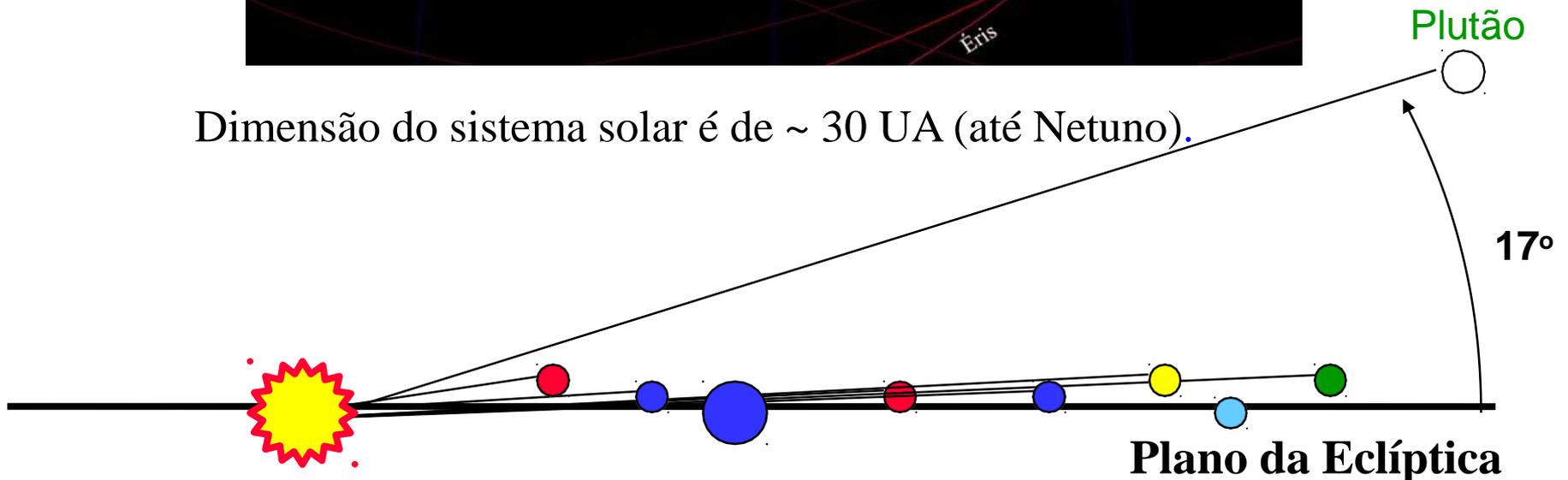
Estrutura interna do Sistema Solar

Órbitas (quase) coplanares dos planetas

As órbitas dos planetas estão praticamente no mesmo plano.



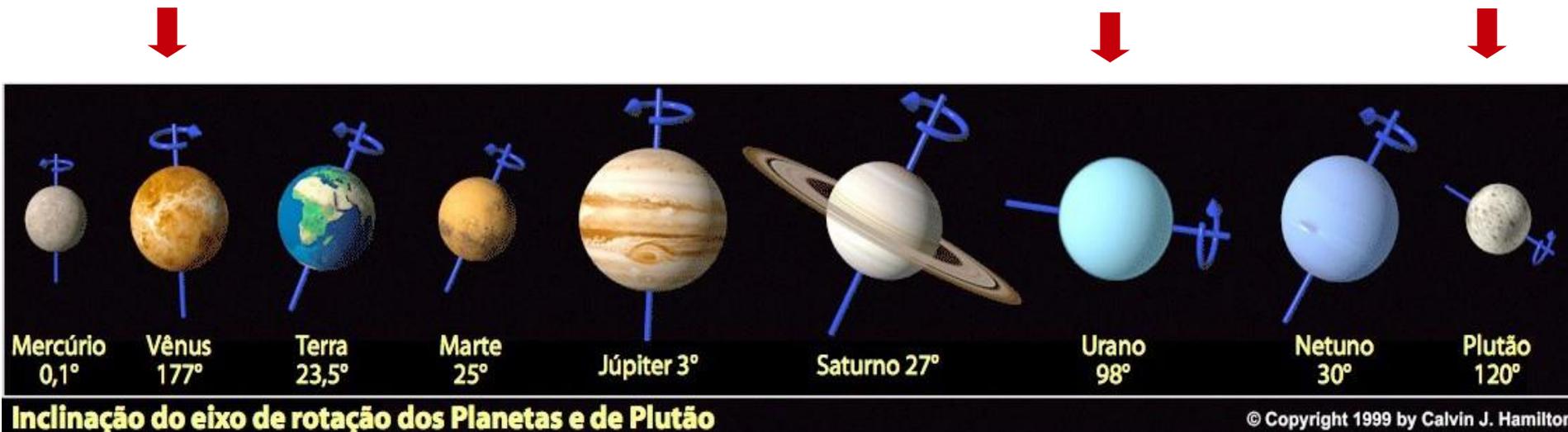
Dimensão do sistema solar é de ~ 30 UA (até Netuno).



Estrutura, Movimento e Dinâmica do Sistema Solar

A direção de rotação no sentido anti-horário de quase tds os planetas e satélites é na mesma direção do movimento orbital geral (...ou de translação em torno do Sol).

Eixo rotação da maioria dos planetas é **aproximadamente** perpendicular ao plano da órbita, c/ exceção de Vênus, Urano e Plutão, cuja inclinação do eixo de rotação é maior do que 90°



Inclinação do eixo de rotação dos Planetas e de Plutão

Conteúdo

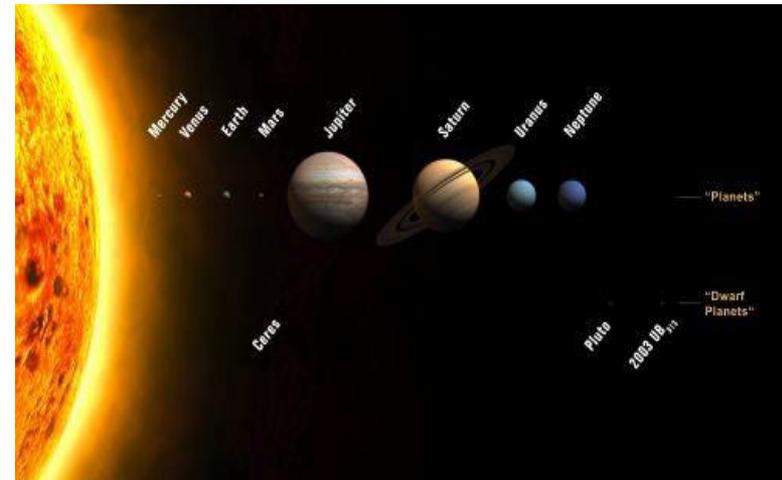
Sol: Estrela 5ª grandeza, tipo espectral G2, astro mais importante do ponto de vista da luminosidade e massa (L, M).

Planetas clássicos: 8 (M, V, T, M, J, S, U, N)
(Plutão obj trans-netuniano ou plutoniano)

Planetas anões: pelo menos 4 (Plutão, Eris, Ceres, Haumea, Makemake)

Satélites: mais de 250

Pequenos corpos ou corpos interplanetários
(asteróides, cometas, meteoróides, gás tênue e pequenas partículas de poeira)



Dwarf Planets in the Solar System

In 2006, the organization responsible for classifying celestial bodies, the International Astronomical Union (IAU) decided that a new class of objects was needed. Pluto, considered a planet since its discovery in 1930, was reclassified into the new “dwarf planet” category. To date, five dwarf planets have been found, although some astronomers expect there may be as many as 50 in the solar system.

Earth's
moon
to scale

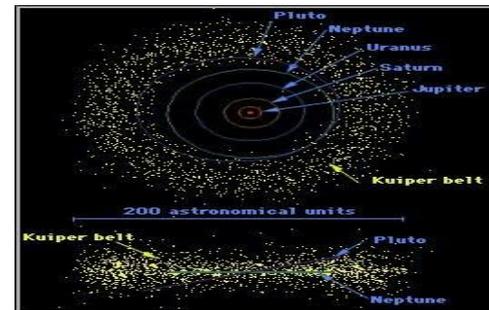
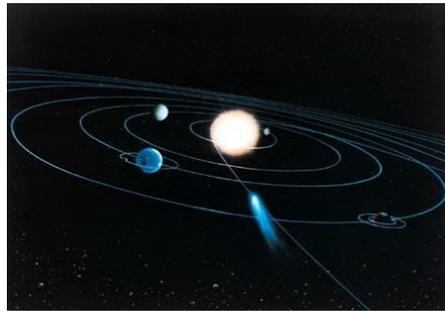


	ERIS	PLUTO	HAUMEA	MAKEMAKE	CERES
Year of discovery	2003	1930	2003	2005	1801
Diameter (mean)	1,445 miles 2,326 km	1,430 miles 2,302 km	892.3 miles 1,436 km	882 miles 1,420 km	591.8 miles 952.4 km
Orbital period (Earth years)	561.4	247.9	281.9	305.34	4.6
Distance from sun (times Earth's distance)	68	39.5	43.1	45.3	2.8
Orbital inclination (degrees)	46.9	17.14	28.2	29	10.59
Rotation period	25.9 hours	6.39 Earth days	3.9 hours	22.5 hours	9.1 hours
Moons	1	5	2	0	0

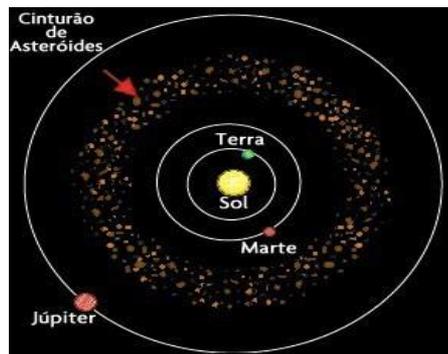
Definindo e Caracterizando o Conteúdo do Sistema Solar

Corpos Interplanetário

1. Cometas -> pequenos corpos com composição de gelo e poeira, originários do **cinturão de Kuiper** e da nuvem de Oort e que, devido a instabilidades, são lançados para a região interna do sistema. Com órbitas elípticas ao redor do Sol, quando se aproximam do Sol vaporizam gerando **cauda+cabeleira**, que se alonga na direção oposta ao movimento que realiza.

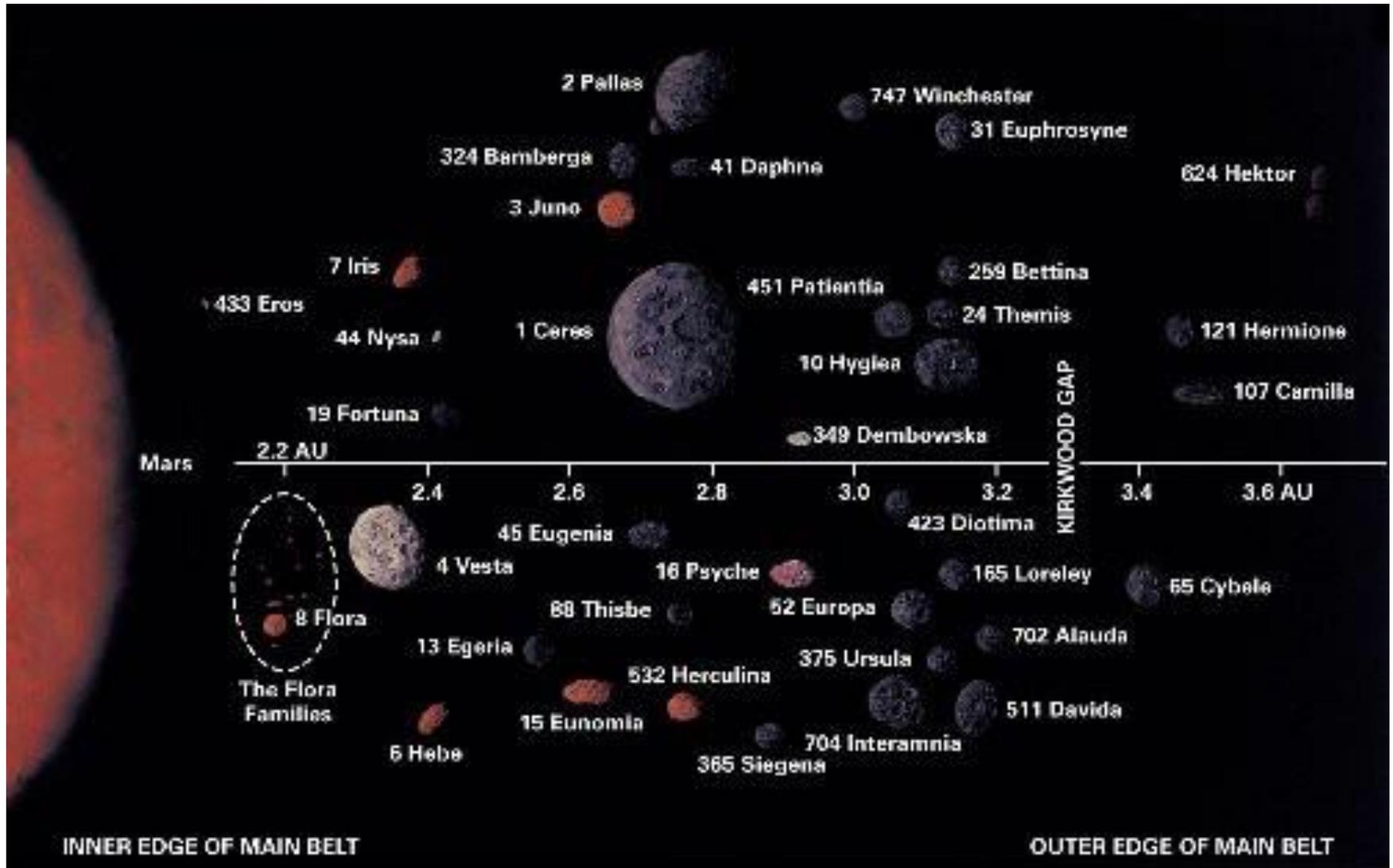


2. Asteróides -> “planetas” menores, **planetóides**, muito pequenos, orbitando o Sol, sempre acompanhados de grupos, localizados entre **Marte** e **Júpiter**.



Asteróides

...objetos que se encontram entre Marte e Júpiter



3. Meteoróides, Meteoros e Meteoritos

Meteoróides: fragmentos de rocha ou metal que viajam no espaço com dimensões relativamente pequenas comparadas a de asteróides.

Meteoros: também conhecidos como “estrelas cadentes”.

Pedaços de rochas ou metal que quando batem na atmosfera da Terra, na colisão, geram luz. Este “flash” de luz causado pelo choque na atmosfera é o que define-se como meteoro.



Meteoritos: pedaços do meteoro que conseguem passar pela atmosfera e atingem o solo terrestre.



4. Poeira, Grãos

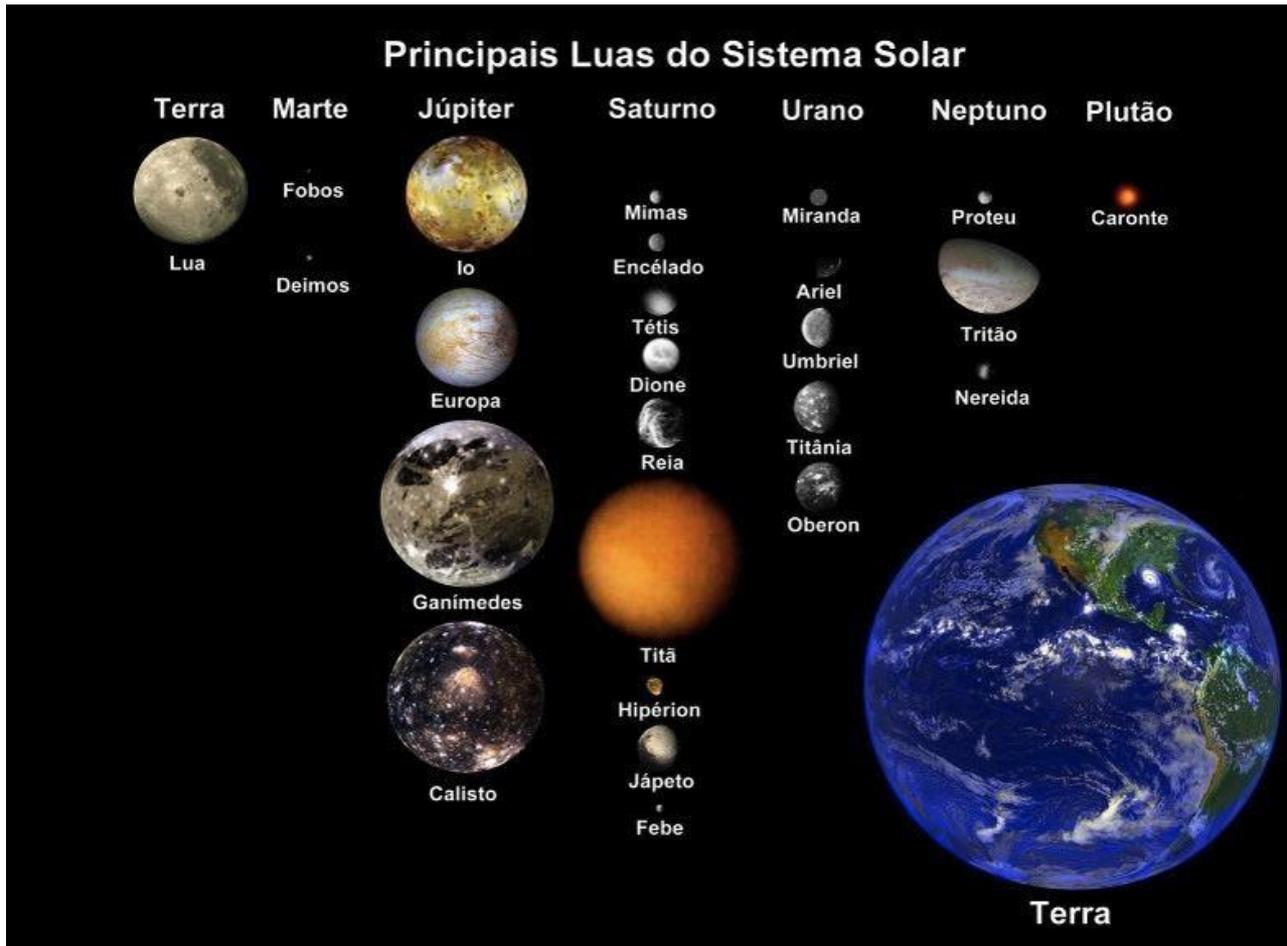
Partículas interplanetárias c/ dimensões da ordem de 10^{-7} m, em média, fazem parte do Meio Interestelar (MIS)



CLASSIFICAÇÃO DOS METEORITOS		
Sideritos ou férreos (1) - Essencialmente formados por uma liga metálica de ferro e níquel e apresentam inclusões de um mineral pouco frequente na Terra – a troilite.		
Siderólitos ou petroférreos (2) - Constituídos por proporções idênticas de minerais silicatados, tal como feldspatos, e de uma liga metálica de ferro e níquel.		
Aerólitos ou pétreos (3) - Possuem uma elevada percentagem de minerais silicatados e uma reduzida percentagem da liga ferro e níquel.	Condritos – Possuem côndrulos (Pequenos agregados esféricos de minerais como a olivina e a piroxena).	Ordinários Carbonosos – Contêm compostos orgânicos e água.
	Acondritos – Semelhantes às rochas	em textura e composição.

5- Satélites

Corpos celestes que orbitam planetas clássicos ou anões. A figura abaixo mostra as luas mais relevantes respectivas de cada planeta.



6- Planetas

Segundo a União Astronômica Internacional (IAU-2005) a identificação de planetas deve obedecer **3 condições** :

1a. Objetos que **orbitam o Sol**

2a. Forma é determinada pelo **equilíbrio hidrostático** (arredondada), resultante da autogravidade (consequência da massa) do planeta e a rigidez do material, gerando a forma esférica. A forma arredondada só ocorre quando a dimensão é maior do que 800 km.

3a. A dimensão deve ser predominante entre os objetos que se encontram na vizinhança.

3 categorias de Planetas

(1) – Terrestres (rochosos ou telúricos)

Planetas internos, relativamente pequenos e densos, com superfícies rochosas, composição química relativamente baixa de elementos leves e gases voláteis (H e He), e alta de refratores c/o silício e ferro. Densidade alta, da ordem de 3500-5500 kg/m³. São eles: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte

(2) - Gigantes gasosos (jovianos)

Planetas externos, muito maiores e massivos, sem superfície sólida, domínio de H e He (semelhantes ao Sol), muitos satélites e com anéis. Densidade baixa, da ordem de 700-1700 Kg/m³. São eles: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno

(3) – Planetas Anões: estão em órbita ao redor do Sol, são pequenos porém com massa suficiente para sua gravidade superar as forças de corpo rígido, não são satélites e não tenha as vizinhanças de sua órbita desimpedidas (IAU 2005).

Dados sobre o Sistema Solar são encontrados nesse link:

<https://science.nasa.gov/solar-system/>