

O Sistema Solar

Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa

União Astronómica Internacional

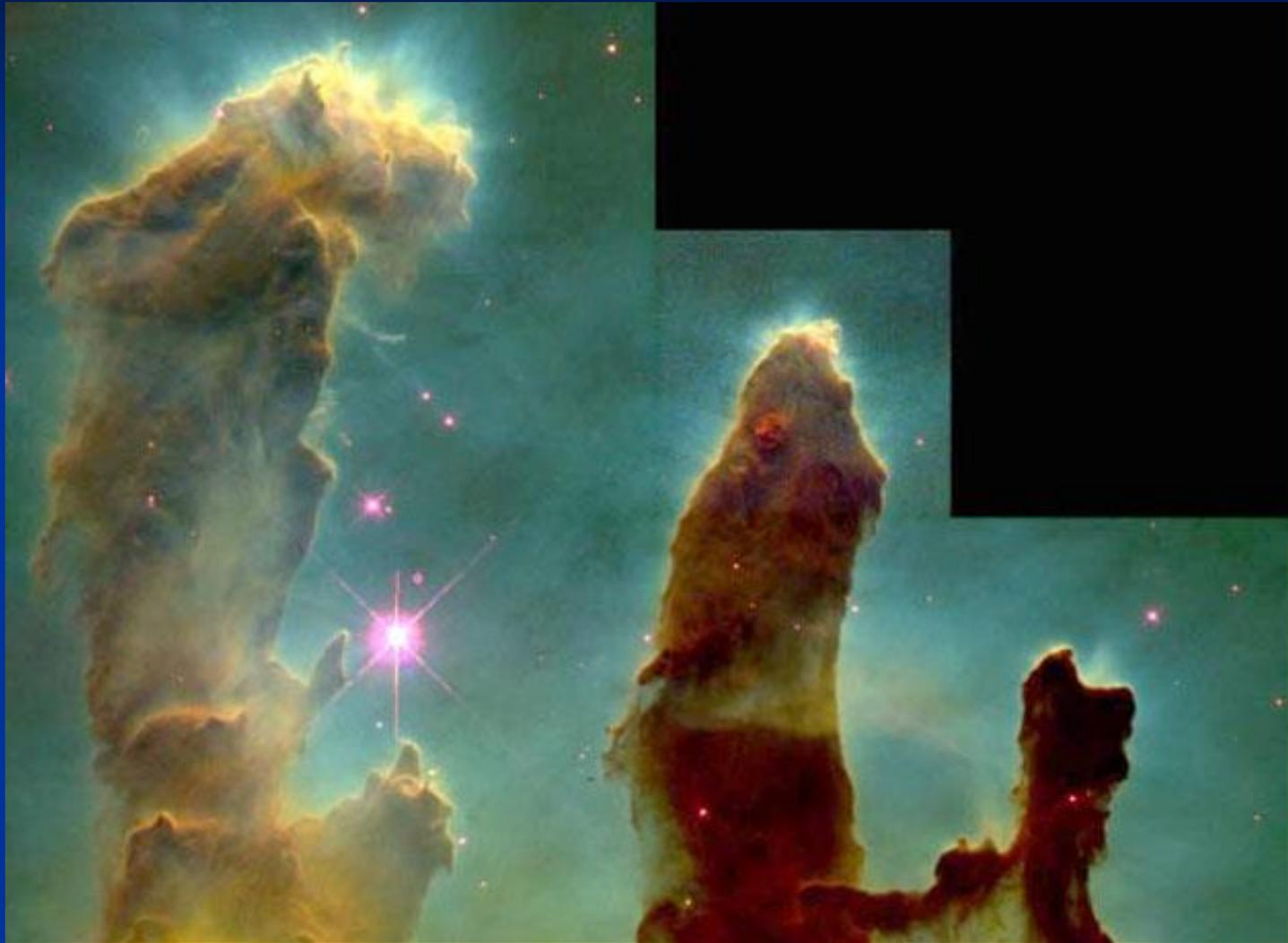
Instituto Astronómico da Academia Romena, Roménia

ITeDA e Universidade Tecnológica Nacional, Argentina

Universidade da República, Uruguai



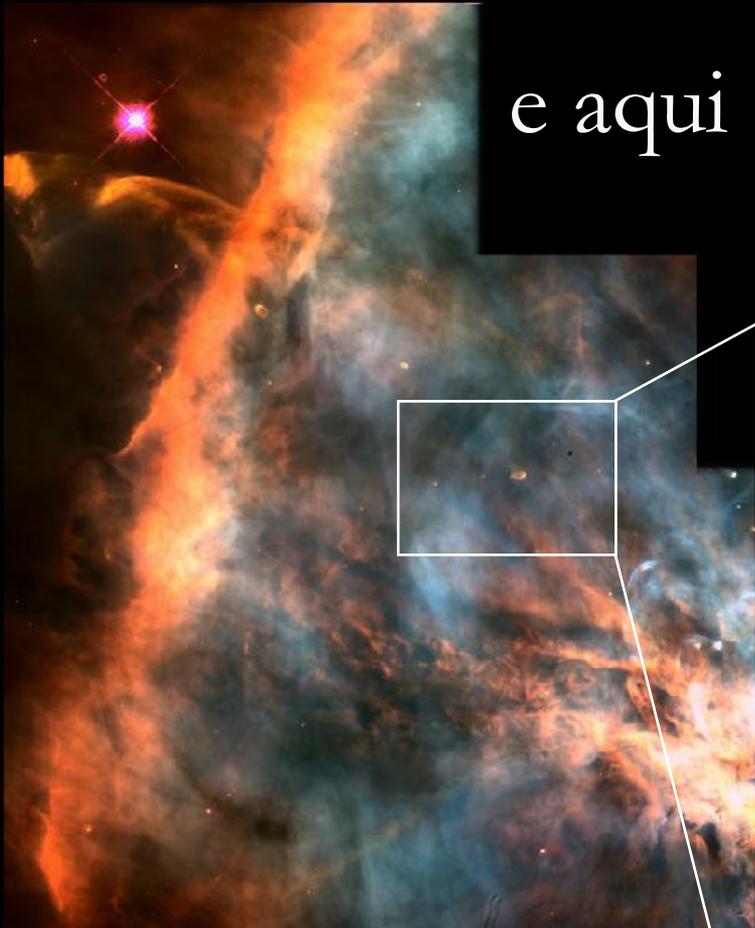
É aqui que as estrelas nascem



Messier 16, Pilares da Criação.
Crédito: Hubble Space Telescope

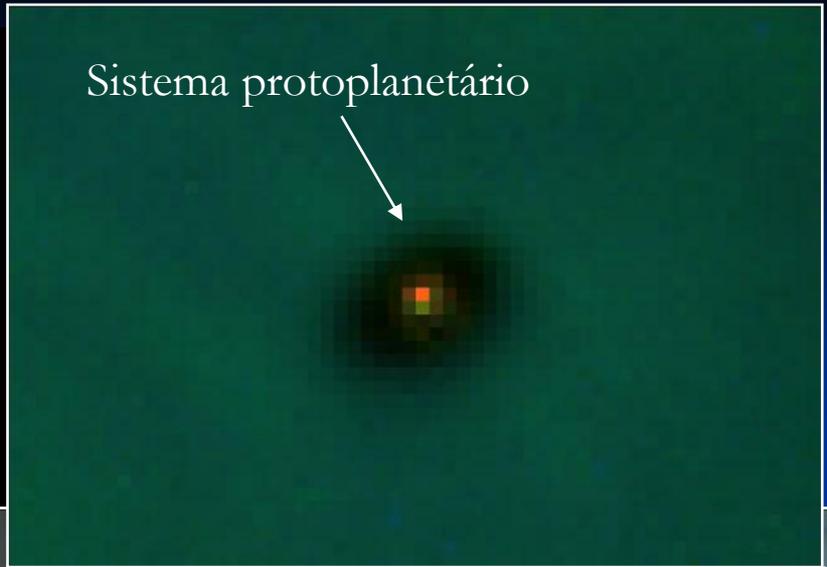
Nebulosa de Oriente

e aqui



Hubble Space Telescope

Sistema protoplanetário



Os planetas no passado: os visíveis a olho nu

Mercúrio

Vénus



Visíveis ao
nascer e pôr
do Sol

Marte

Júpiter

Saturno

Alinhamento planetário,
maio de 2002



O Sistema Solar atual

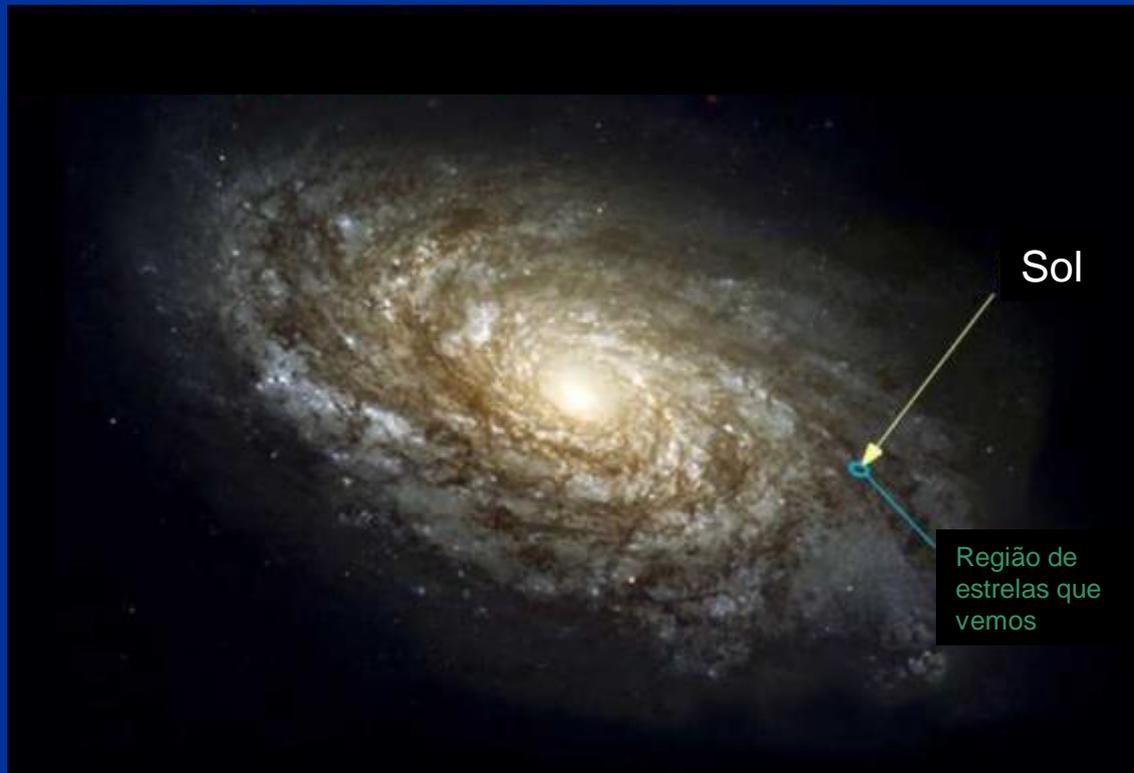
É constituído pelo Sol e por todos os corpos que orbitam em seu redor, sob a ação da gravidade:

- 8 planetas;
- Centenas de satélites naturais dos planetas;
- Dezenas de planetas anões (entre os quais Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Eris);
- Um número desconhecido de corpos menores: asteroides, cometas e transneptunianos (restos do processo de formação dos planetas).



Onde se localiza o Sistema Solar?

Está no **braço de Oriente**, um dos braços da **Via Láctea**.



A Via Láctea possui cerca de 200 000 milhões de estrelas e o seu diâmetro é de cerca de 100 000 a.l.

O Sistema Solar está localizado a uma distância de $\sim 25\,000$ a.l. do centro da Galáxia (\sim metade do seu raio), e demora 250 milhões de anos a completar uma rotação em torno do seu centro, com uma velocidade de 220 km/s ($800\,000\text{ km/h}$).



Modelo da Via Láctea, a partir de observações do Spitzer (2005); a nossa galáxia é uma galáxia espiral barrada.

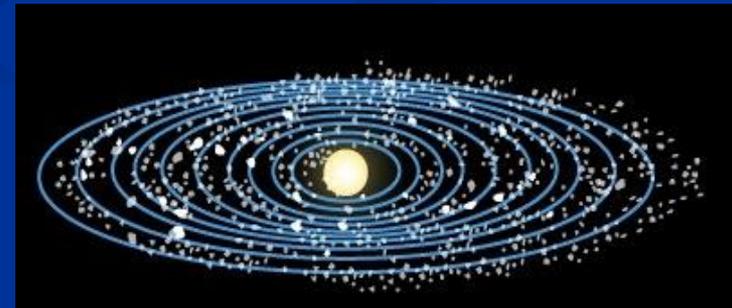
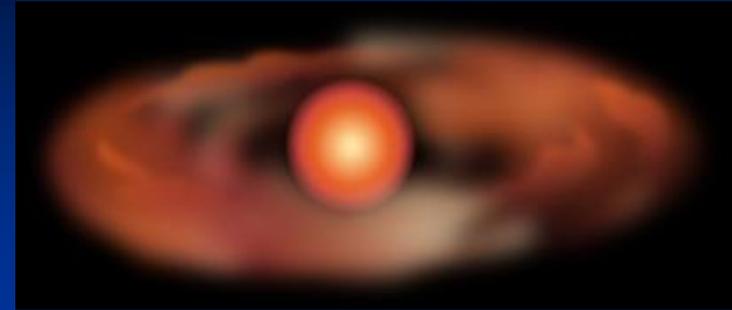
Formação do Sistema Solar

- Segundo a teoria mais aceita, há cerca de 4,6 mil milhões de anos, o Sistema Solar foi formado devido à contração gravitacional de uma nuvem de poeira e gás interestelar.
- Uma forte perturbação (possivelmente uma explosão de uma supernova) permitiu que a atração gravitacional fosse superior à força de pressão dos gases, colapsando a nuvem.
- A conservação do momento angular provocou o aumento de velocidade de rotação da nebulosa, achatando-a, dando lugar a um protossol, no seu centro, e a um disco protoplanetário de gás e poeira, em seu redor.



Formação do Sistema Solar

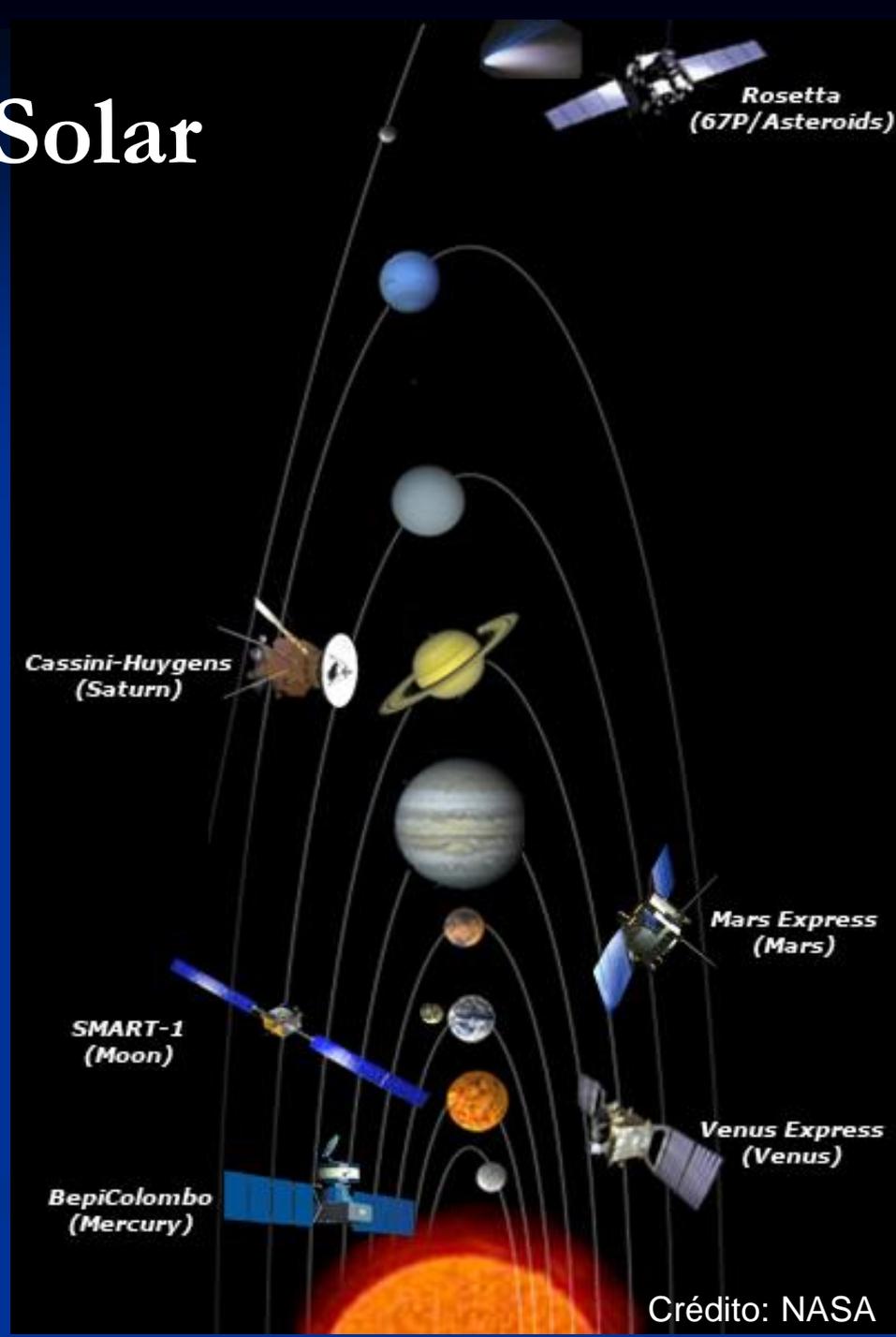
- No disco protoplanetário foram condensando pequenos núcleos sólidos (planetesimais), que, por processos de acreção, foram crescendo até se tornarem planetas.
- A teoria mais aceita (baseada na “Teoria Nebular” originalmente proposta por Kant e Laplace no século 17) explica a coplanaridade e quase-circularidade das órbitas planetárias.
- Confirmada nos últimos anos através de observações de diversos sistemas planetários em redor de outras estrelas.



Estudo do Sistema Solar

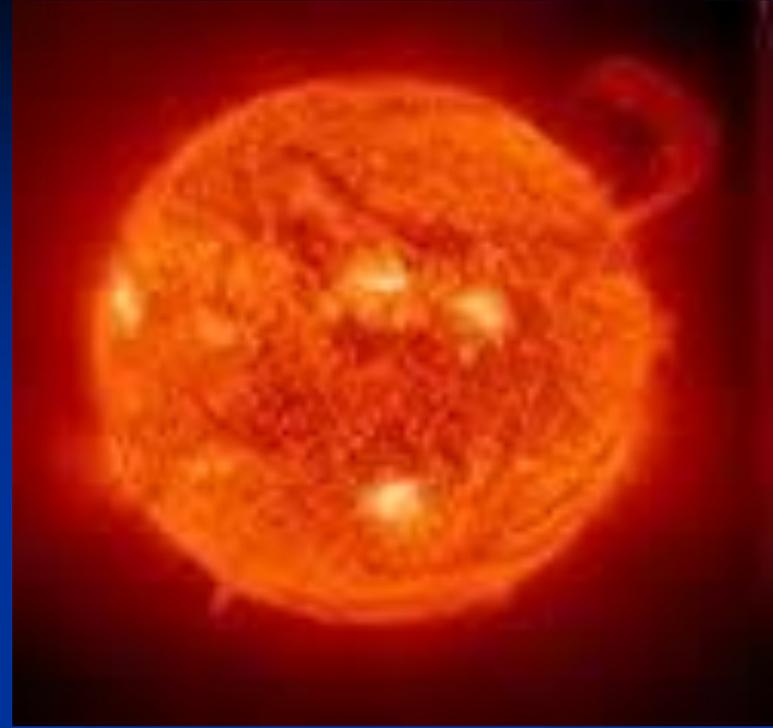
O Sol concentra mais de 99,8% da massa do Sistema Solar, enquanto 98% do momento angular é devido ao movimento orbital dos planetas.

Atualmente, o estudo dos corpos do Sistema Solar é feito a partir da Terra, mas também através de telescópios espaciais, do envio de missões para o espaço e descidas até às suas superfícies.



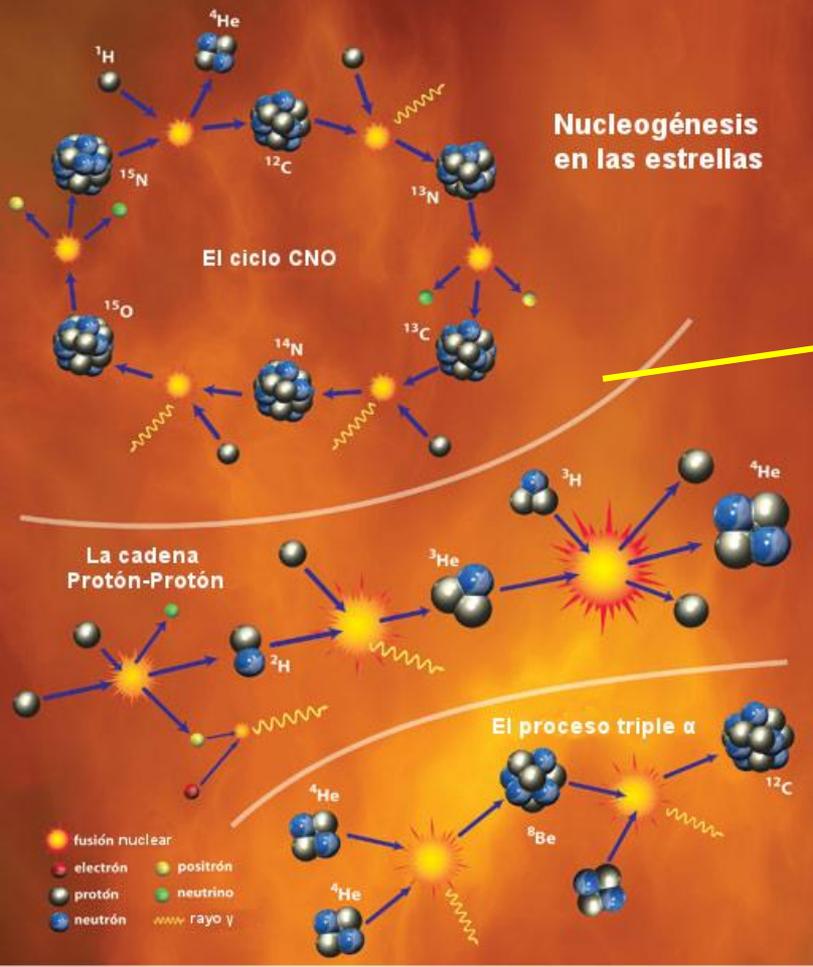
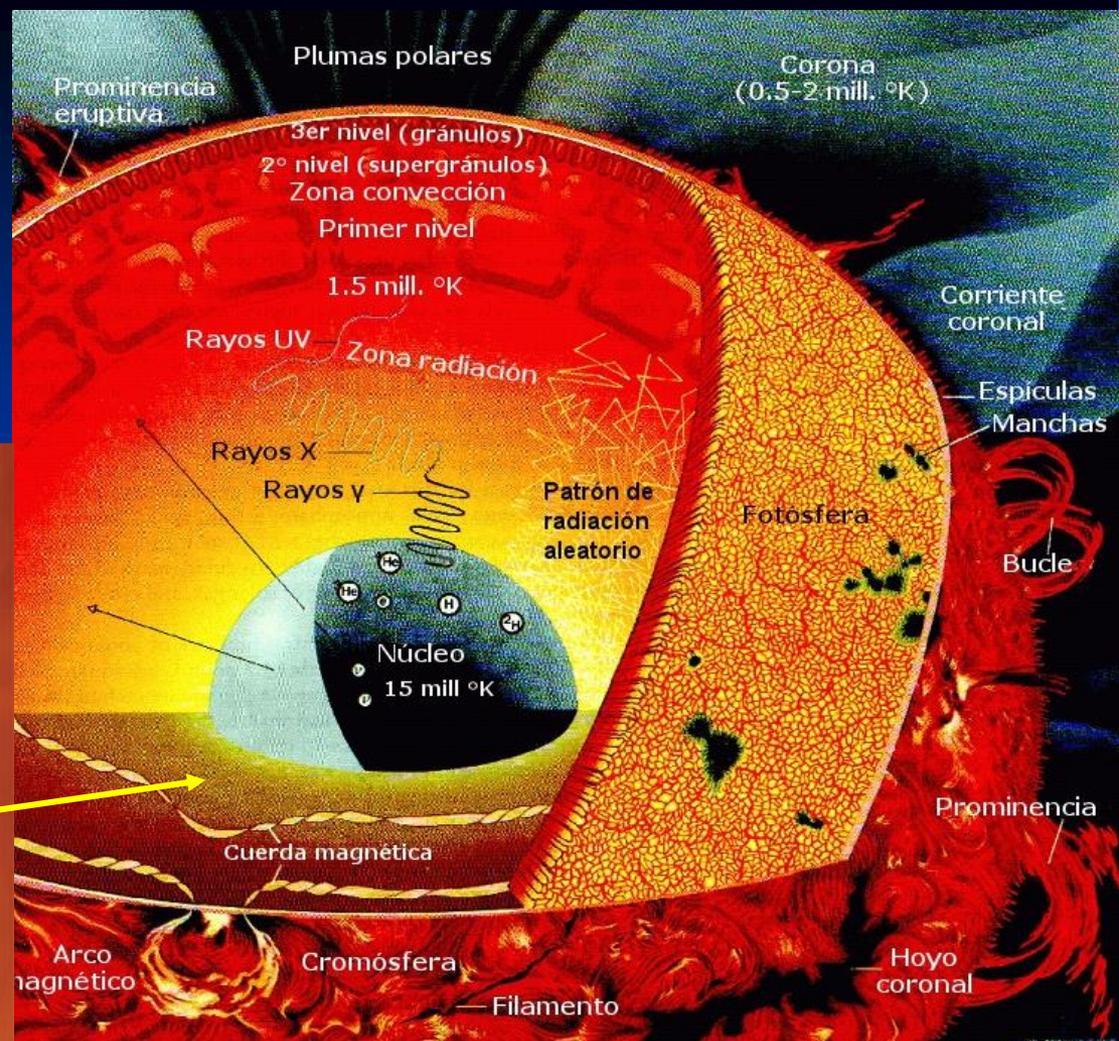
A nossa estrela: o Sol

- Com uma idade de 4 600 milhões de anos, o Sol está aproximadamente a meio do seu ciclo de vida.
- Em cada segundo, no núcleo do Sol, 4 milhões de toneladas de matéria são convertidas em energia, gerando um grande número de neutrinos, positrões e radiação.



74% do Sol é de H, 25% de He, e o restante de elementos pesados.

Estrutura do Sol



Produção de energia: fusão no núcleo.

A duração de uma estrela depende da sua massa

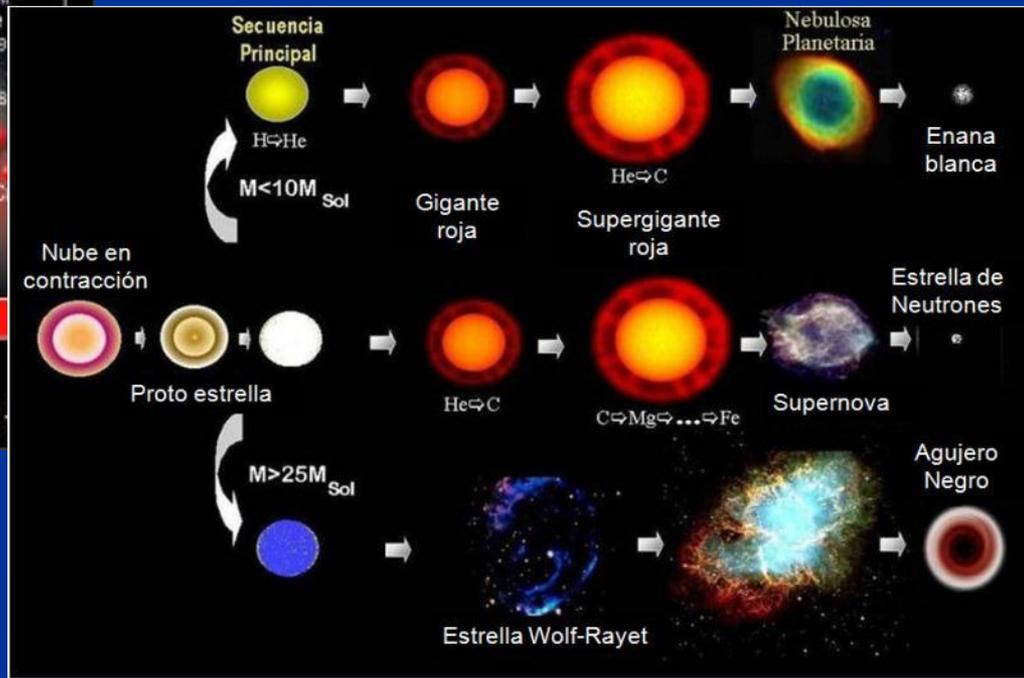
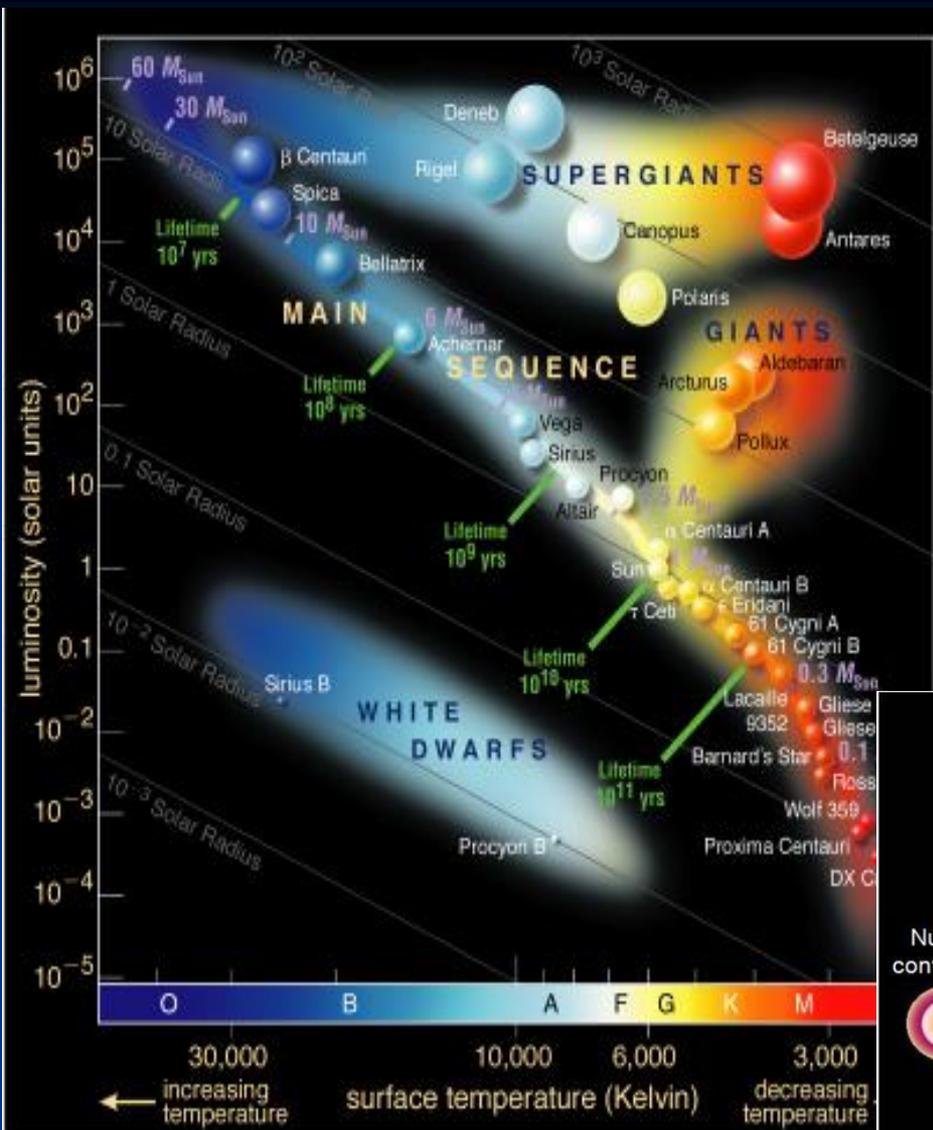
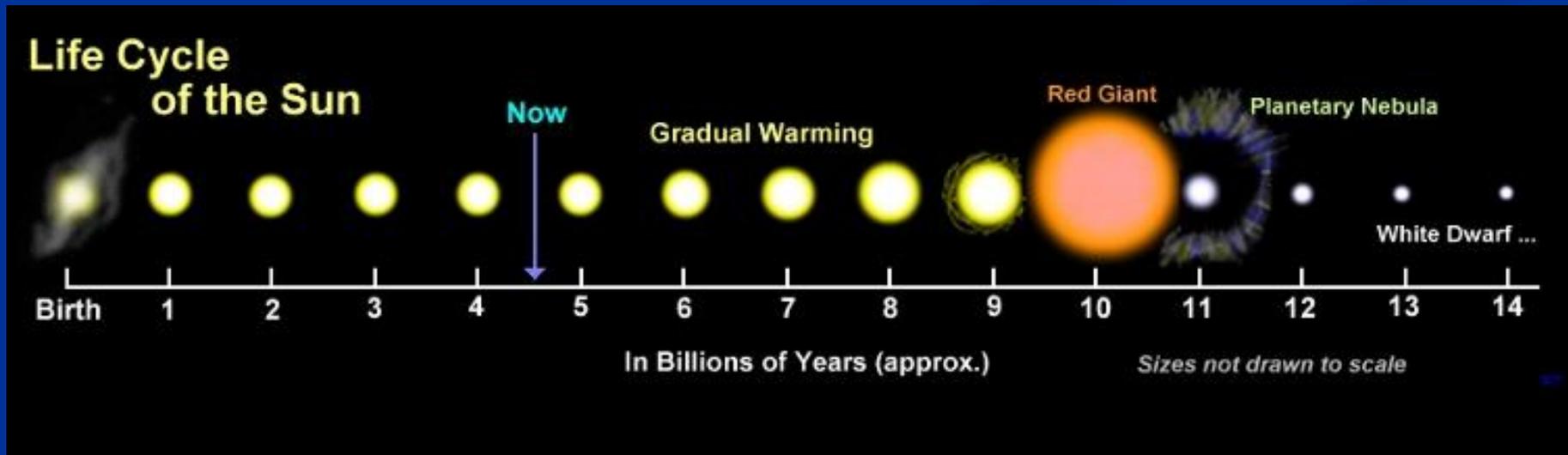


Diagrama de Hertzsprung-Russell

Ciclo de vida do Sol

Daqui a 5 000 milhões de anos, o Sol irá aumentar de tamanho e tornar-se uma gigante vermelha. Depois, expelirá as camadas exteriores, criando uma nebulosa planetária, e no seu centro ficará uma pequena estrela chamada anã branca, que irá arrefecer lentamente.



Os Planetas



Resolução da XXVI IAU-AG, Praga, 2006:

No SS, um “**planeta**” é um corpo celeste que:

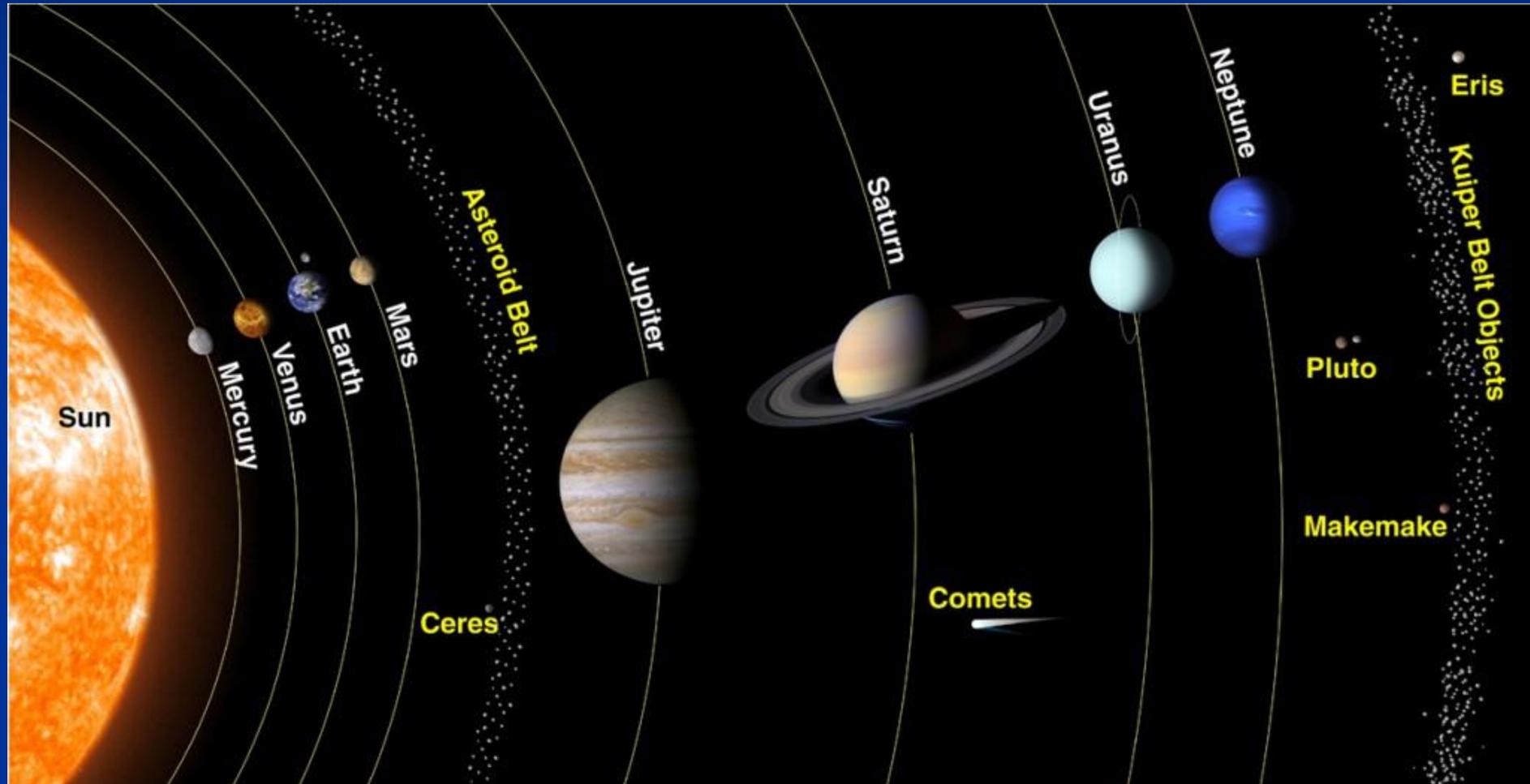
- Está em órbita em redor do Sol.
- Tem suficiente massa para que a sua própria gravidade supere as forças de corpo rígido de modo que adquira um equilíbrio hidrostático (forma praticamente esférica).
- Limpou a vizinhança da sua órbita.

Um corpo que cumpra apenas os dois primeiros critérios, e que não seja um satélite, é classificado como “**planeta anão**”.

Um corpo que cumpra apenas o primeiro critério, e que não seja um satélite, é classificado como “**corpo pequeno do SS**”.

O Sistema Solar atual

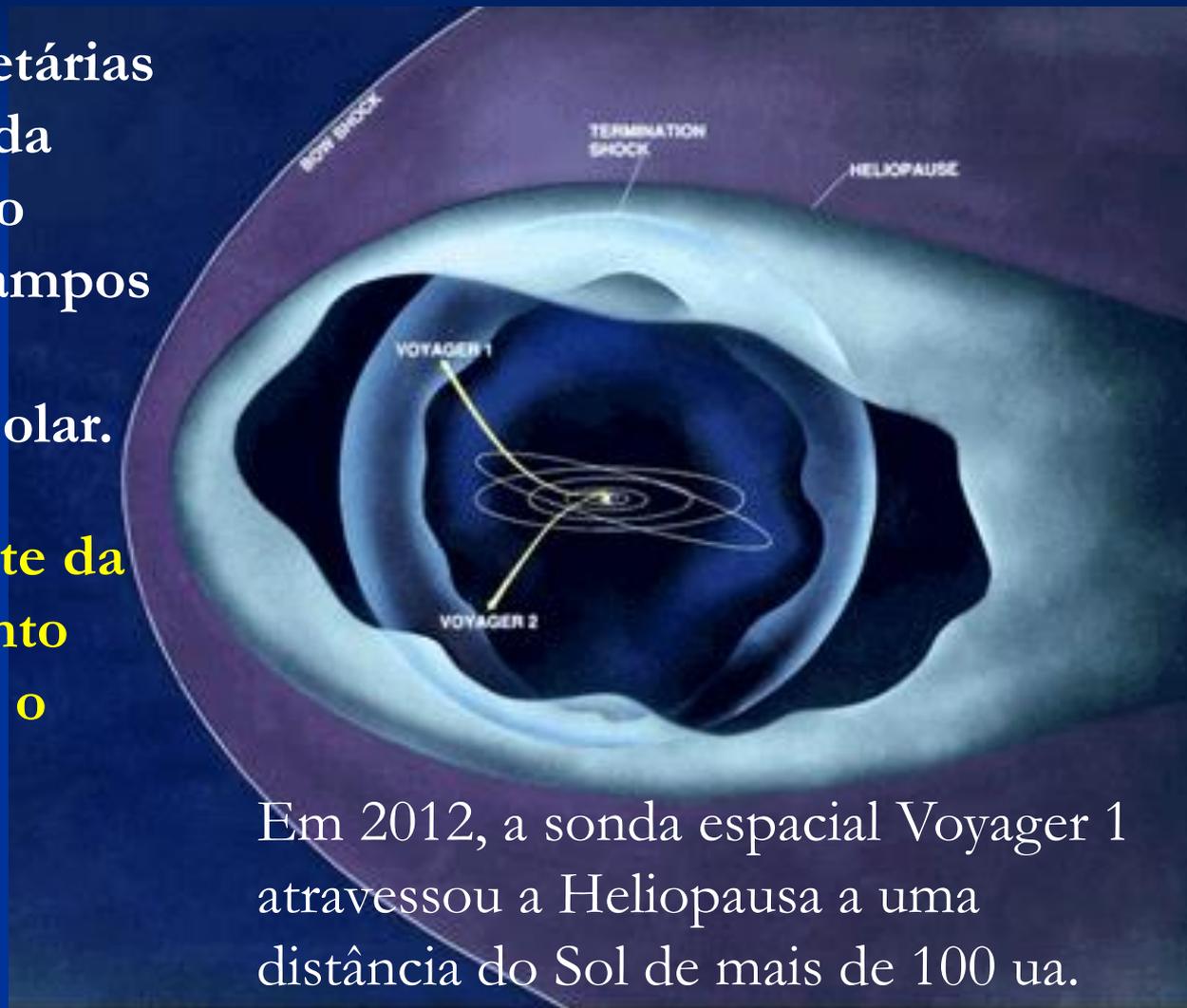
(tamanho dos corpos à escala)



Os limites do Sistema Solar

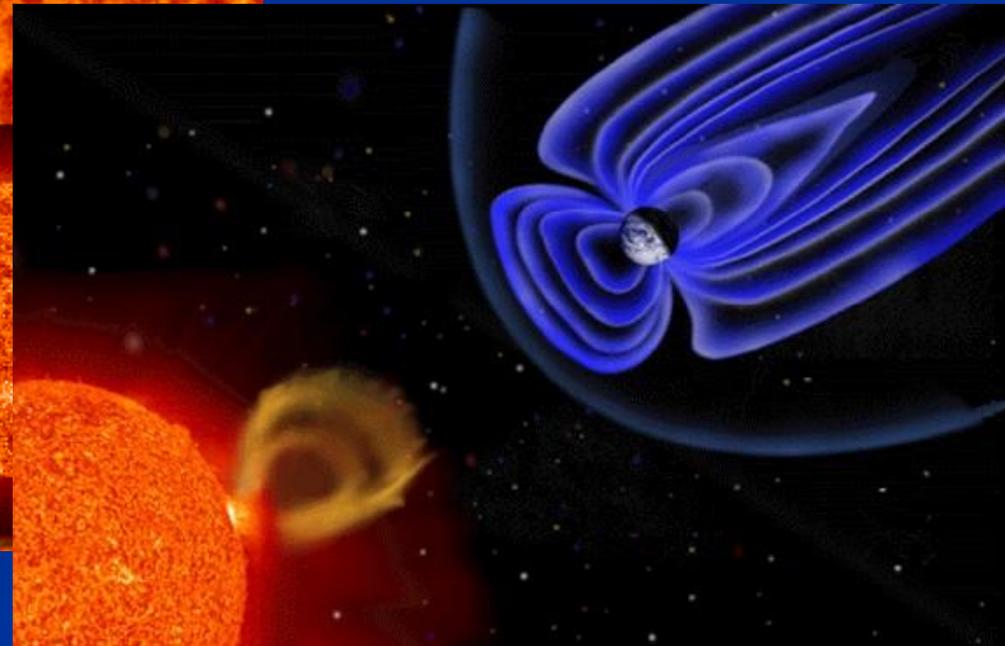
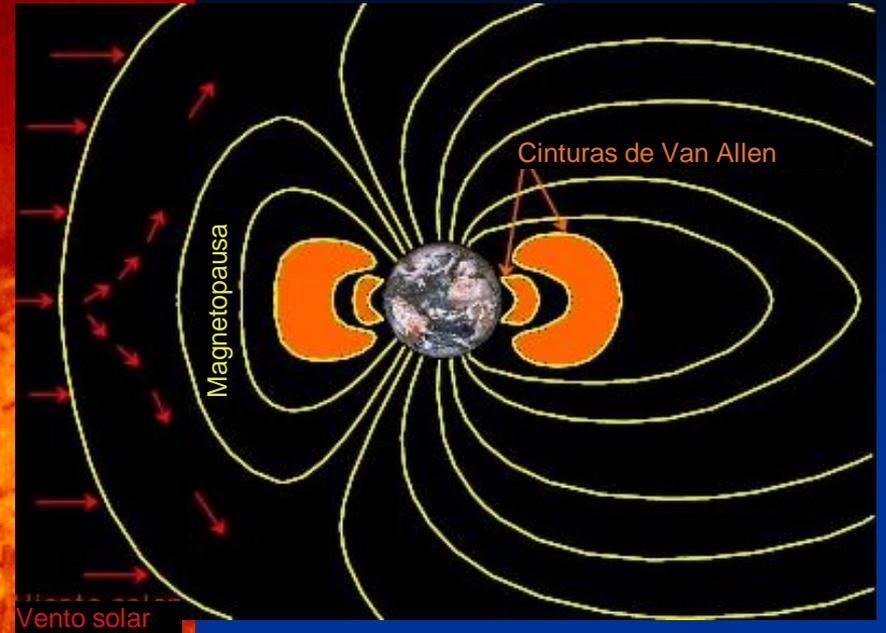
Todas as órbitas planetárias encontram-se dentro da Heliosfera, a região do espaço que contém campos magnéticos e plasma (“vento”) de origem solar.

A Heliopausa é o limite da Heliosfera, onde o vento solar se encontra com o meio interestelar.



Em 2012, a sonda espacial Voyager 1 atravessou a Heliopausa a uma distância do Sol de mais de 100 ua.

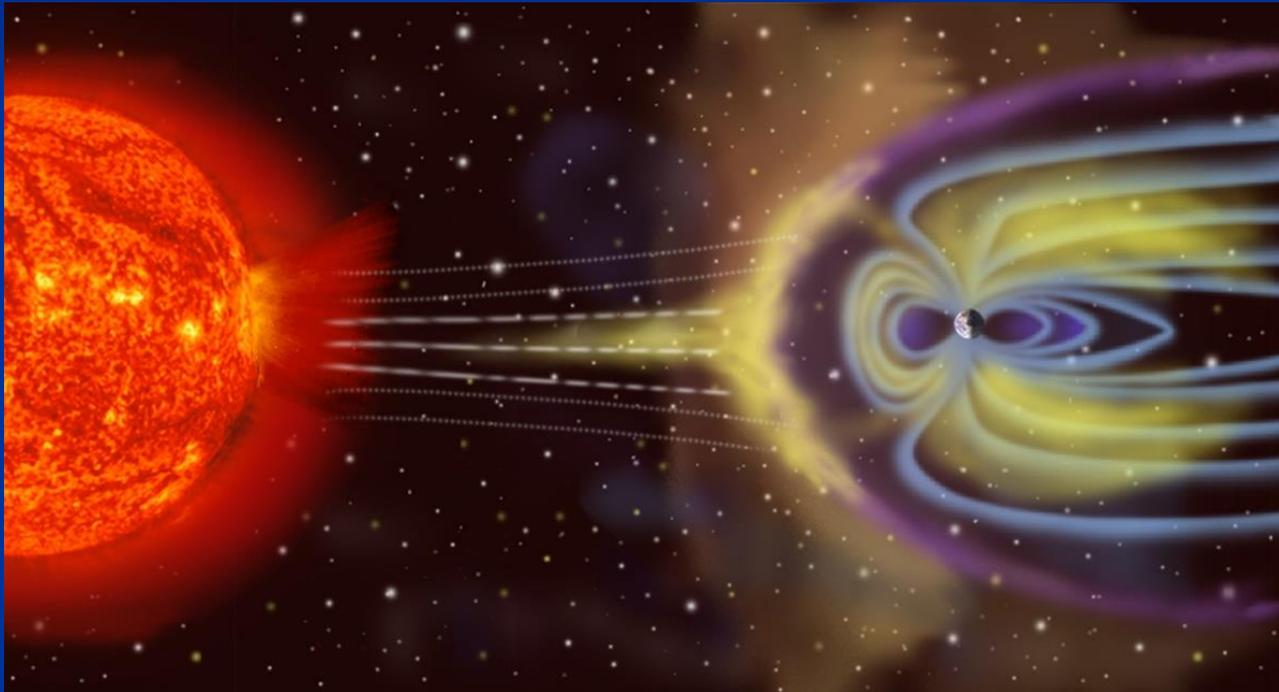
A Terra
como comparação



Ambiente Sol-Terra

O Meio Interplanetário

O Sol emite radiação eletromagnética e vento solar (um fluxo contínuo de partículas carregadas, plasma).



Este vento viaja à velocidade de 1,5 milhões km/h, criando a heliosfera, uma fina atmosfera que preenche todo o SS até cerca de 100 ua, marcando a heliopausa.

O campo magnético terrestre protege a atmosfera do vento solar e origina as auroras polares (boreais e austrais).



A heliosfera assegura uma proteção parcial do SS de raios cósmicos, proteção que é maior nos planetas com campo magnético.

A “meteorologia” espacial é monitorizada 24 horas

SpaceWeather.com -- News and information about meteor showers, solar flares, auroras, and near-Earth asteroids - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://www.spaceweather.com/

Google cinturones de van allen Search Share Bookmarks Check Translate AutoFill cinturones

SpaceWeather.com -- News and info...

Subscribe to SpaceweatherNews go!

 **spaceweather.com**
News and information about the Sun-Earth environment

AURORA ALERTS | **SUBMIT YOUR PHOTOS!** | **3D SUN** | **CONTACT US** | **SUBSCRIBE** | **FLYBYS** | **SCIENCE@NASA**

Current Conditions

Solar wind
speed: **347.4** km/sec
density: **1.1** protons/cm³
[explanation](#) | [more data](#)
Updated: Today at 0546 UT

X-ray Solar Flares
6-hr max: **B8** 0032 UT Mar29
24-hr: **B8** 0032 UT Mar29
[explanation](#) | [more data](#)
Updated: Today at: 0500 UT

Daily Sun: 28 Mar 11



What's up in space

Tuesday, Mar. 29, 2011

Metallic photos of the sun by renowned photographer Greg Piepol bring together the best of art and science. Buy one or a whole set. They make a stellar gift.



SOLAR RADIO STORM: Did you know sunspots can make noise? Consider the following: "Over the past few days, I have been recording a sustained solar radio storm at 180 MHz," reports amateur radio astronomer [Thomas Ashcraft](#) of New Mexico. "It consists of Type I radio bursts and sounds like ocean surf. [Here is an audio sample](#) from March 27th at 1930 UT. The sun seems to be entering a new phase of dynamism."

Radio emissions like these are caused by plasma instabilities in the sun's atmosphere above sunspots. With the sun becoming 'radio-active,' it's no coincidence that sunspots are emerging in abundance. Leading the way is behemoth active region AR1178, shown here in a photo taken yesterday by Larry Alvarez of Flower Mound, Texas:



space toys.com

Averted Imagination
ASTROPHOTOGRAPHY

Os Planetas

Os 8 planetas do nosso SS podem ser divididos em:

- **4 planetas rochosos**, na região interior (Mercúrio, Vénus, Terra e Marte). Rochosos, com densidades entre 4 e 5 g/cm³ aproximadamente.
- **4 planetas gigantes**, na região mais exterior, que se dividem em:
 - **Gigantes gasosos**: Júpiter e Saturno. Ricos em H e He, com uma composição química semelhante à do Sol.
 - **Gigantes gelados**: Urano e Neptuno. Os gelos predominam relativamente aos gases. A sua composição química difere muito da do Sol.
- Os planetas gigantes são mais *leves* que os rochosos, com densidades entre 0,7 g/cm³ (Saturno) e 2 g/cm³.

Os Planetas

Os planetas gigantes foram formados numa escala de tempo na ordem dos 10 milhões de anos (os rochosos foram em cerca de 100 milhões de anos).

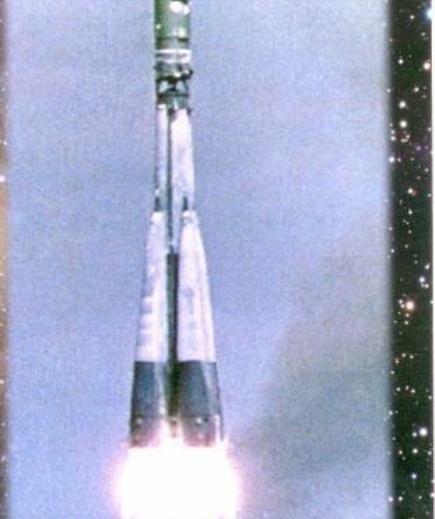
Não foram formados “in situ”, tendo havido uma migração provocada pela troca de momento angular entre os planetas gigantes em formação e os planetesimais que foram mudando para outras regiões do SS ou expelidos do SS.

Terra

Sistema Terra-Lua, fotografado pela sonda Galileo, a caminho de Júpiter (1998).

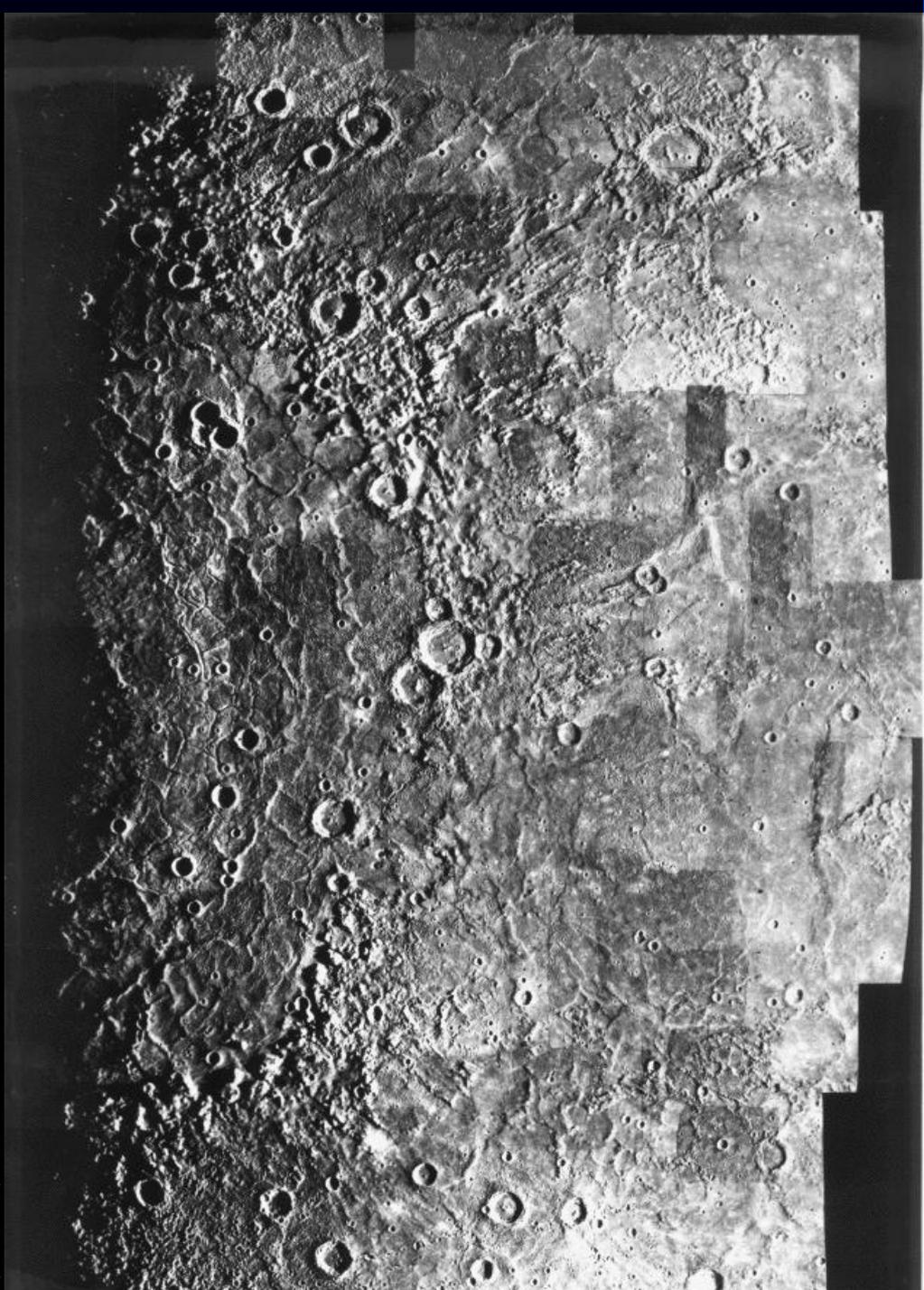


12 de abril de 1961
Primeiro voo de circun-
navegação da Terra, por
Yuri Gagarin.



Mercúrio

O mais próximo do Sol, apresenta marcas de impacto na sua superfície.





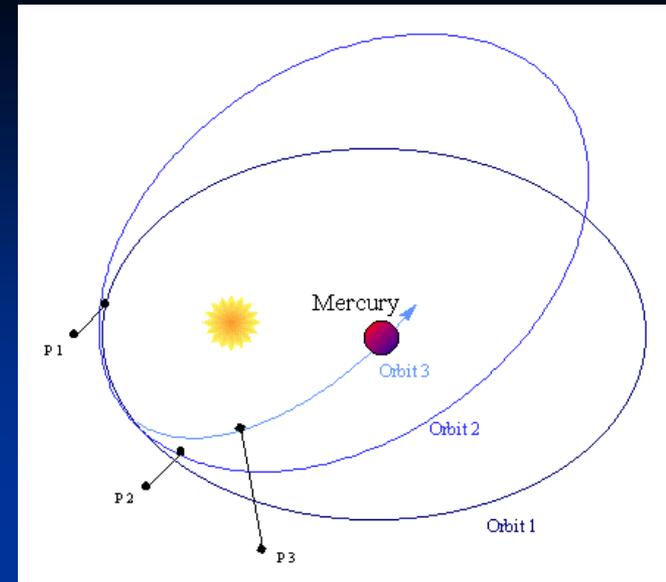
A cratera mais importante é a "Caloris Basin" (1 500 km de diâmetro): o impacto que a originou provocou ondas que quebraram a superfície nas antípodas.

A precessão do periélio de Mercúrio

A precessão do periélio de Mercúrio é mais rápida que a prevista pela mecânica celestial de Newton.

O avanço do periélio foi previsto pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein.

Acontece devido à curvatura do espaço provocada pelo Sol. Foi uma prova definitiva daquela Teoria.



Vénus



Observado da
Terra, com um
pequeno
telescópio.



Observado pelo
telescópio Espacial
Hubble.



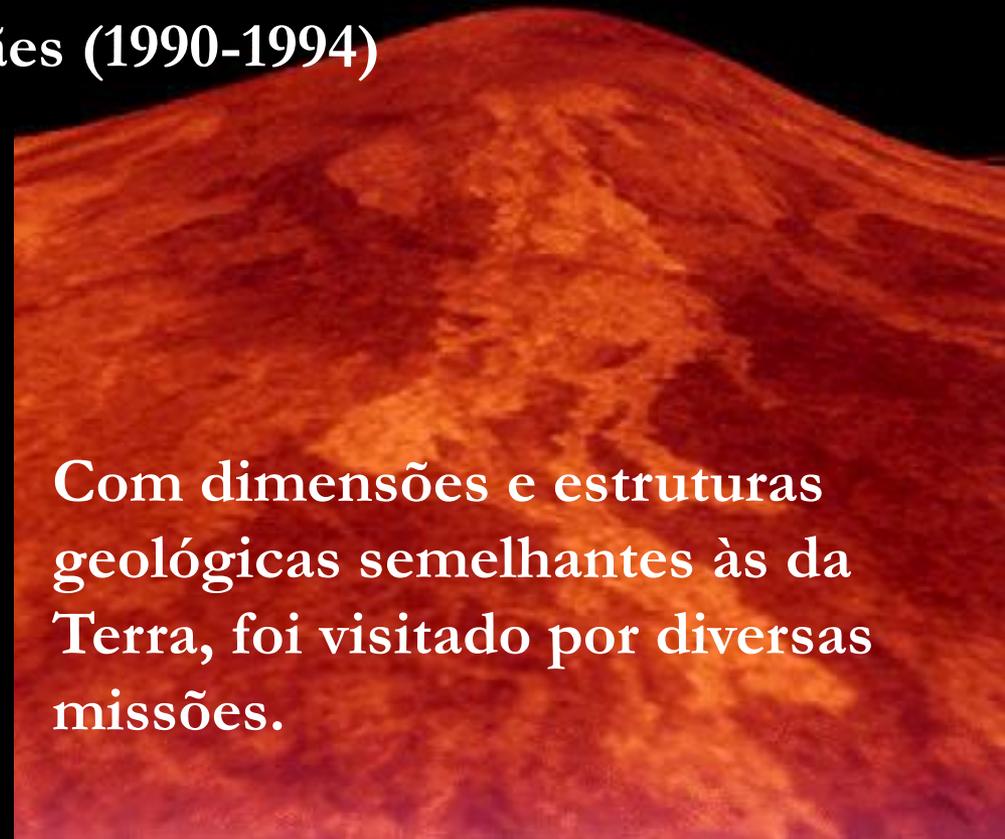
VENERA (1976)

ВЕНЕРА-9 22.10.1975

ОБРАБОТКА ИППИ АН СССР

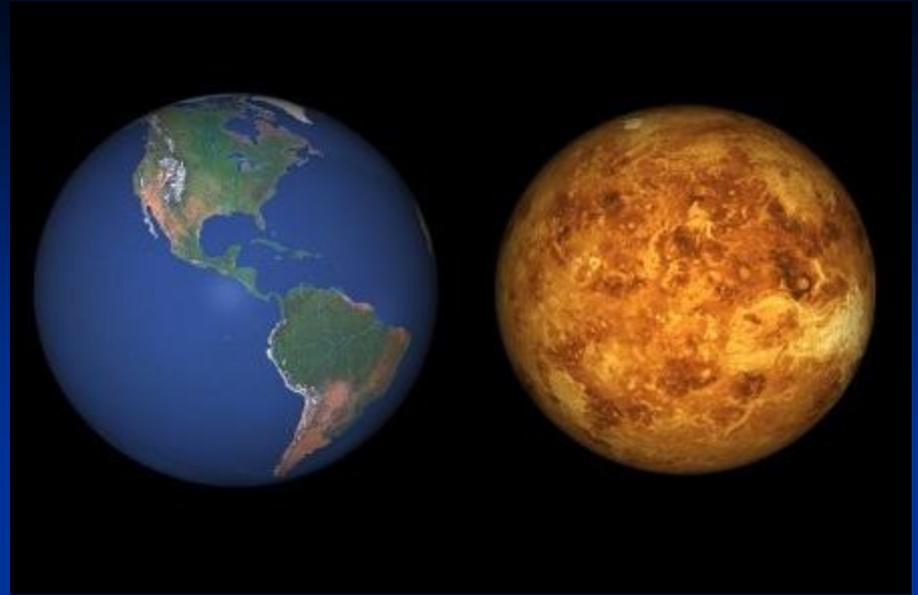
28.2.1976

Magalhães (1990-1994)



Com dimensões e estruturas geológicas semelhantes às da Terra, foi visitado por diversas missões.

Vénus e Urano são os únicos planetas com movimento retrógrado (rodam sobre si mesmos na direção oposta à que rodam em torno do Sol).



- Ano venusiano = 224 dias terrestres
- Dia venusiano = 243 dias terrestres

A mistura de CO_2 e de nuvens densas de dióxido de enxofre geram o maior enorme efeito de estufa de todo o SS, com temperaturas que atingem 460°C , superiores às de Mercúrio.

A pressão atmosférica é 100 vezes a pressão da Terra, tendo nuvens, e talvez chuva, de ácido sulfúrico.

Trânsito de Vênus

Quando Vênus passa entre a Terra e o Sol a sua sombra atravessa o disco solar.

Devido à inclinação da órbita de Vênus, ocorre duas vezes em 8 anos, e as seguintes demoram mais de um século a acontecer (105,5 ou 121,5 anos).

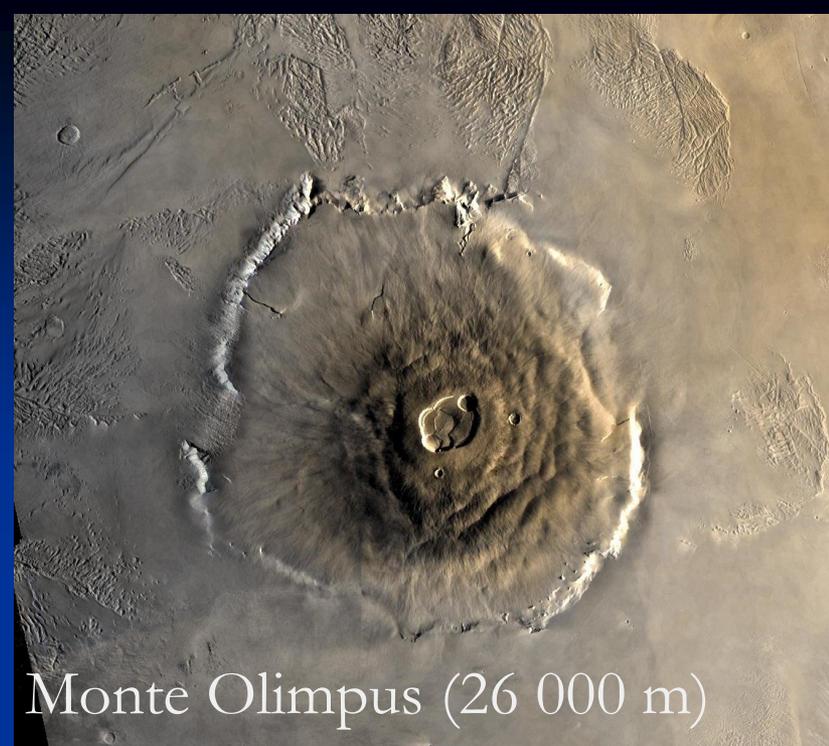
Os últimos ocorreram em junho de 2004 e junho de 2012. Não haverá mais nenhum até 11 de Dezembro de 2117.



Marte



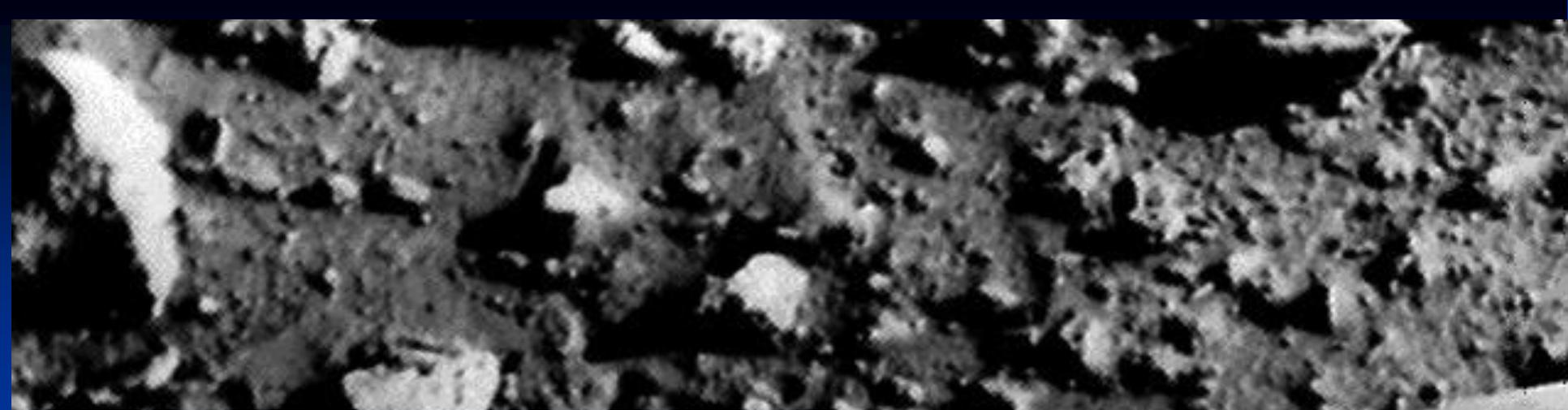
Imagem do telescópio espacial



Monte Olimpus (26 000 m)

Tem um atmosfera ténue,
composta maioritariamente por
 CO_2 . A pressão atmosférica é um
centésimo da terrestre.





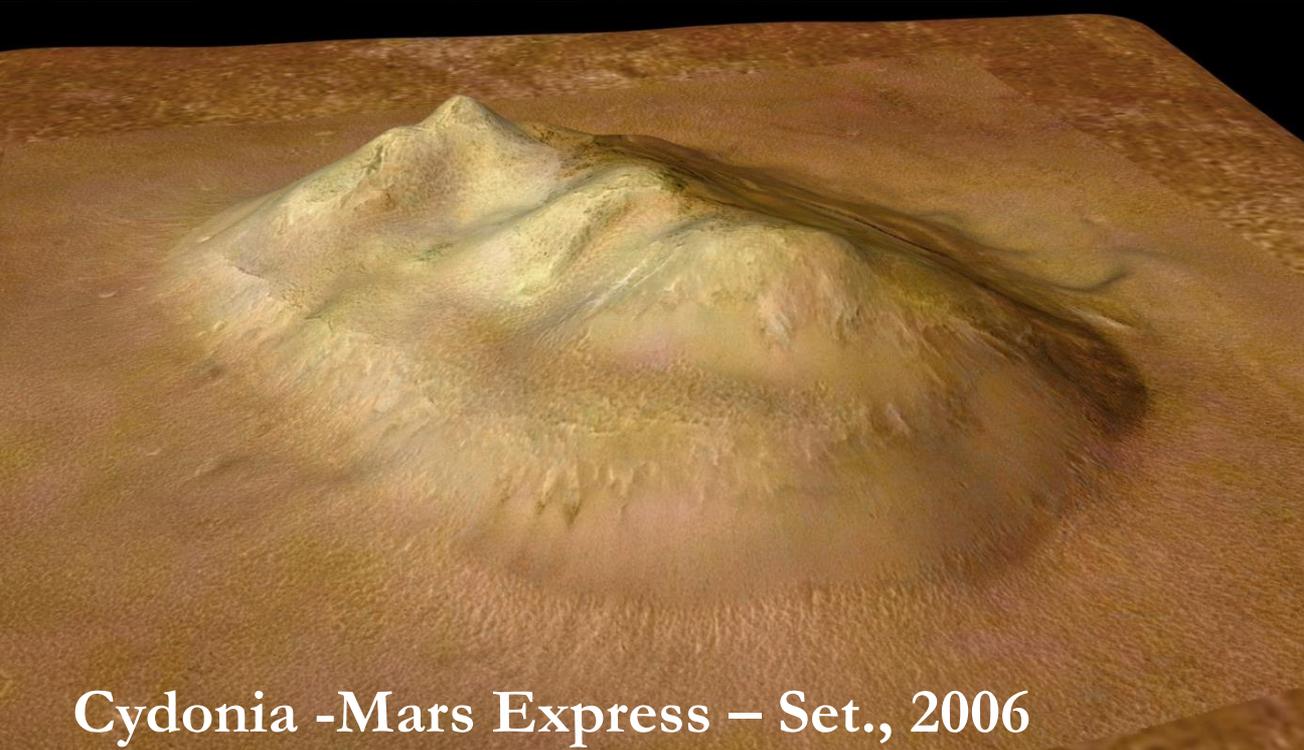
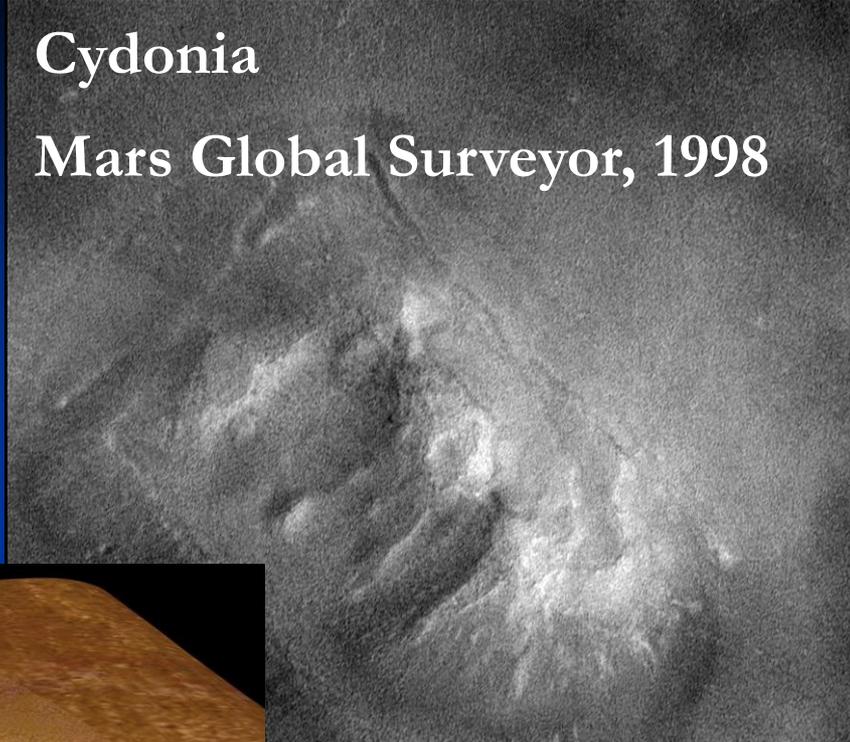
Primeira foto da superfície de Marte, pela Viking I, 1976.

Cydonia – Viking I, 1976

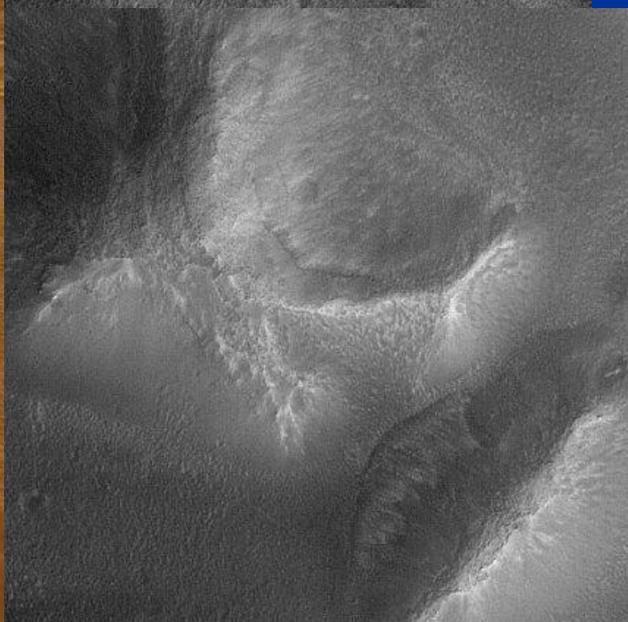


Cydonia

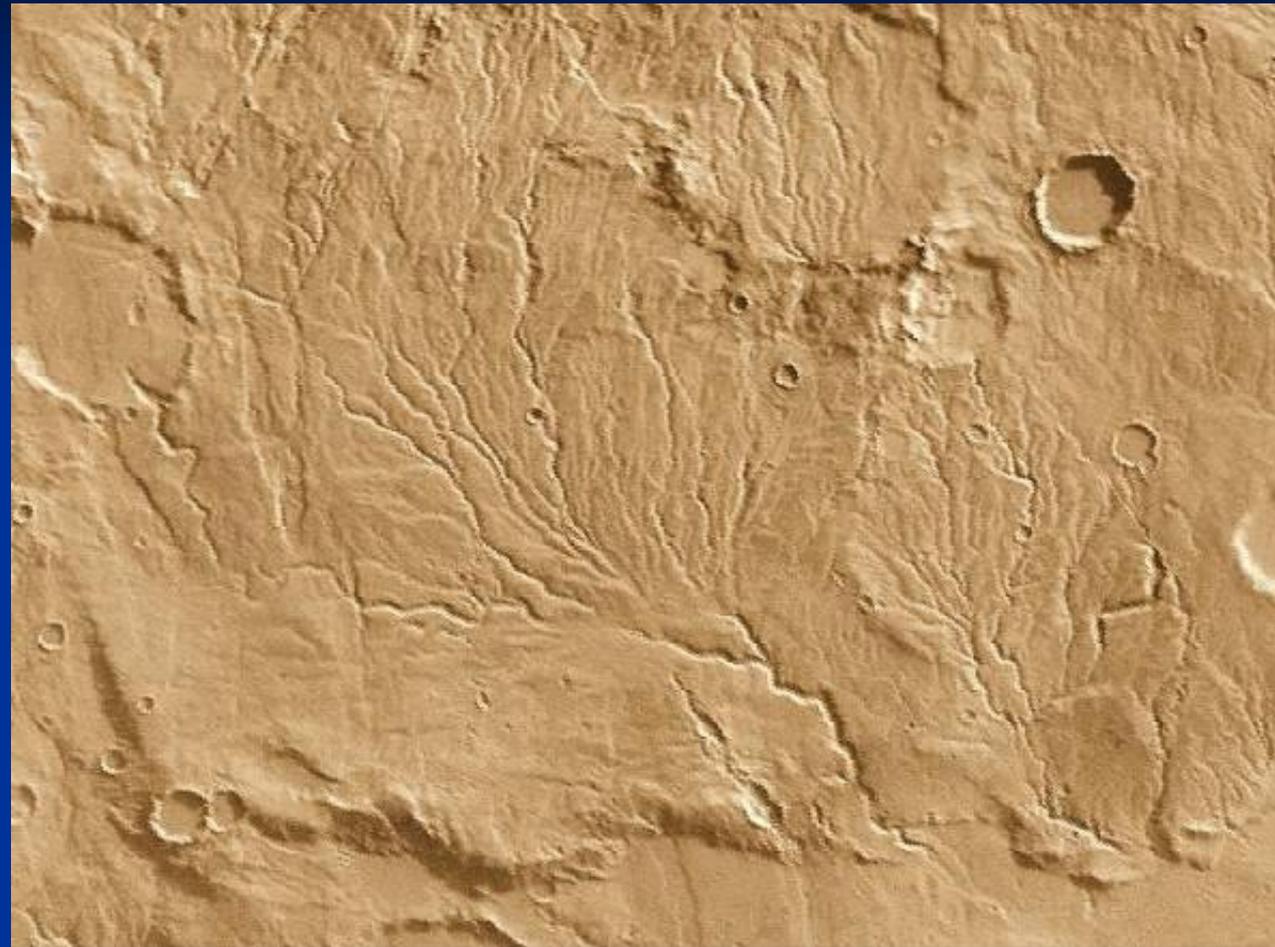
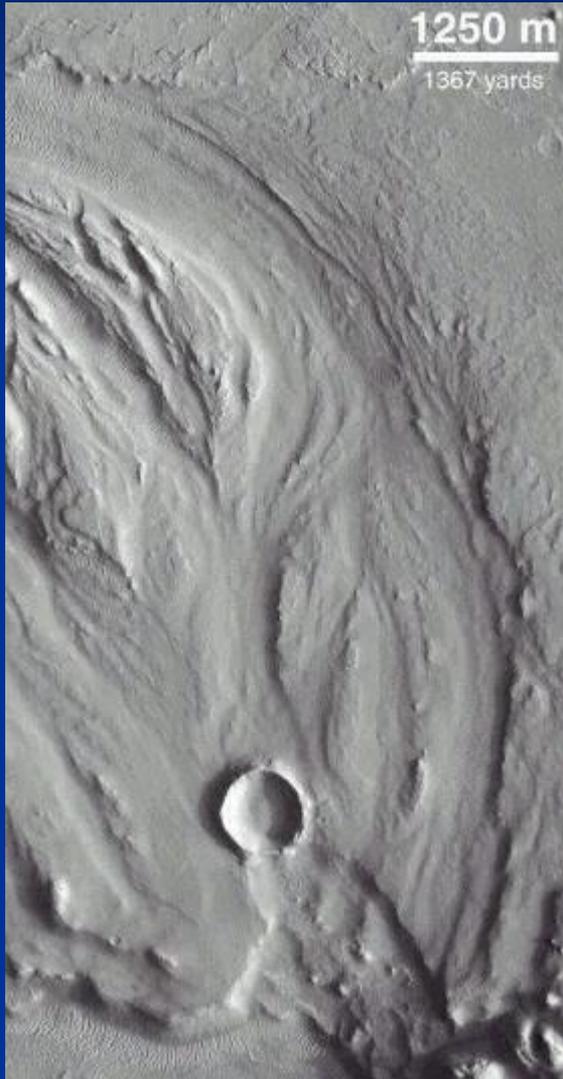
Mars Global Surveyor, 1998



Cydonia -Mars Express – Set., 2006



Há vestígios que indicam ter havido água em Marte.



A água pode agora estar congelada no subsolo.



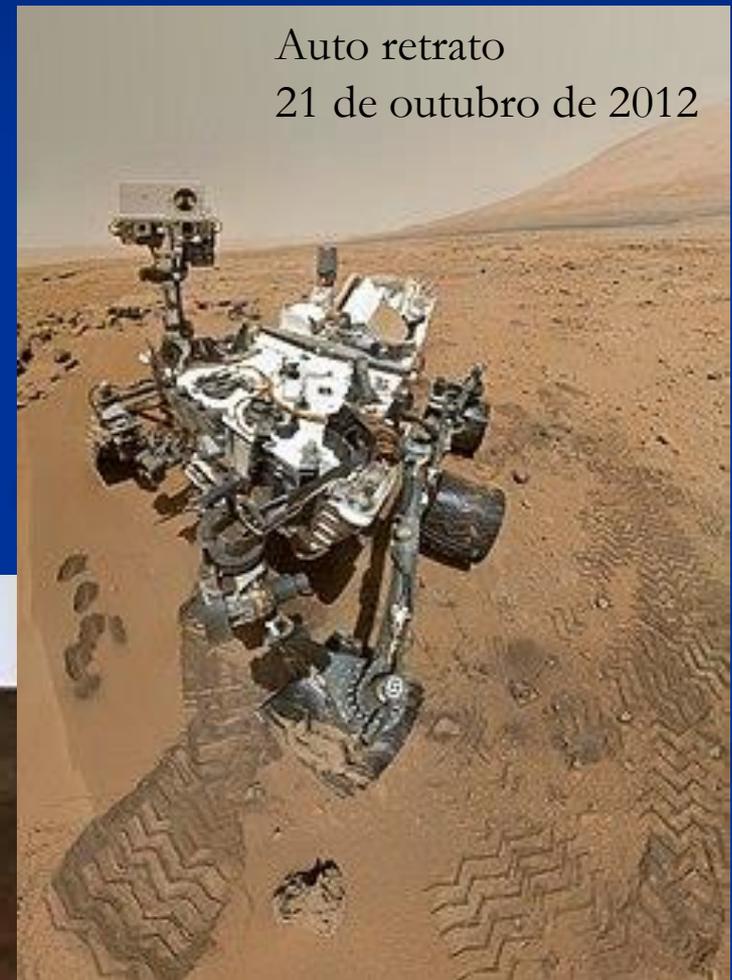
Tal como na Terra, em Marte há estações do ano devido à inclinação do eixo de rotação relativamente ao plano orbital, e porque os planetas se movem em redor do Sol mantendo a inclinação do eixo.



Tem duas calotes polares, de gelo e de CO₂ cujas extensões variam com as estações.



Curiosity em Marte (2004-presente): uma história de sucesso da ciência e tecnologia: um laboratório de microbiologia.



InSight: chegou a Marte em novembro de 2018

InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport)



OBJETIVO: colocar um robô geofísico, equipado com instrumentos de alta tecnologia para o estudo do interior, do subsolo, da transmissão de calor e dos movimentos do solo marciano e análise da evolução geológica inicial do planeta.

Júpiter

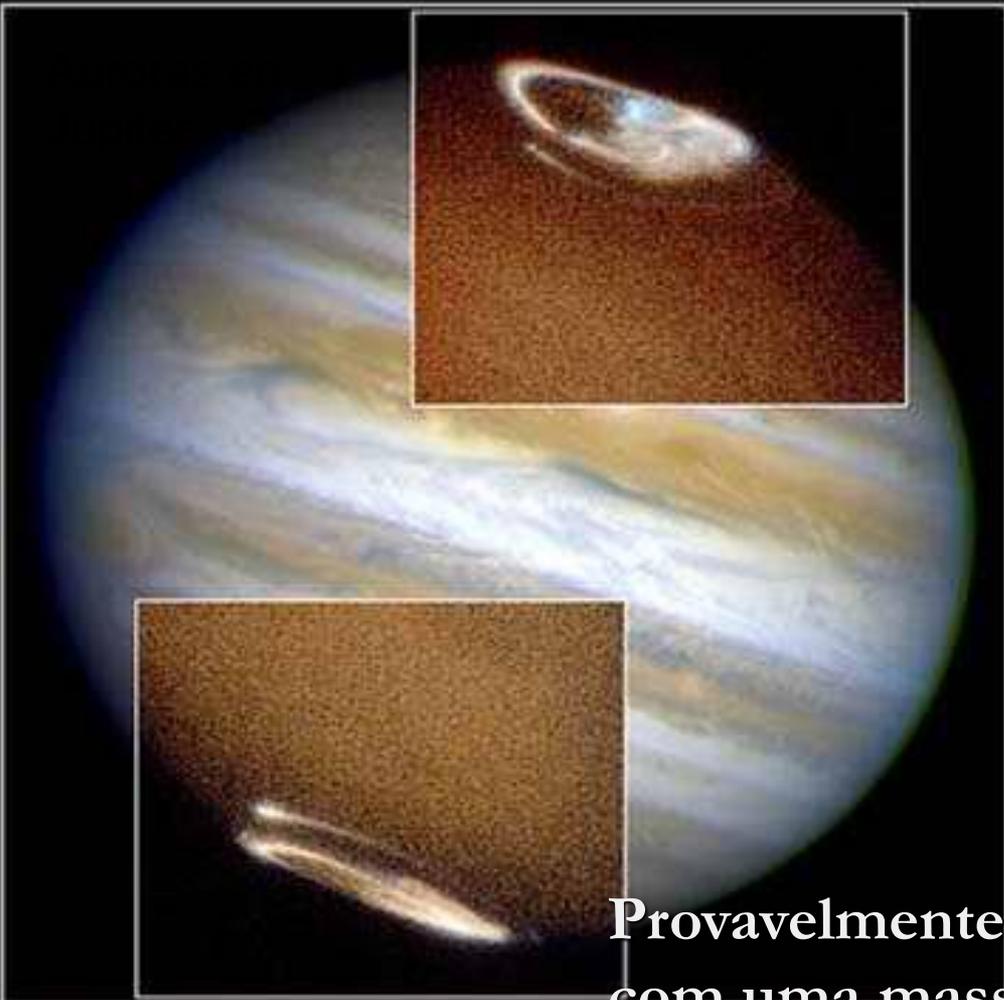


O planeta mais massivo do SS, tem mais de 60 luas. Em 1610 Galileo observou pela primeira vez 4 delas, que chamou de "Mediceas". No mesmo ano Simon Marius batizou-as de Io, Europa, Ganimedes e Calisto.

Auroras, foto do Telescópio Hubble



Grande Mancha Vermelha
(um ciclone)



Provavelmente terá um pequeno núcleo sólido,
com uma massa entre 10 a 15 vezes superior à
massa da Terra.



Anillos de Júpiter

Sistema de anéis

Saturno

É o planeta menos denso do SS.

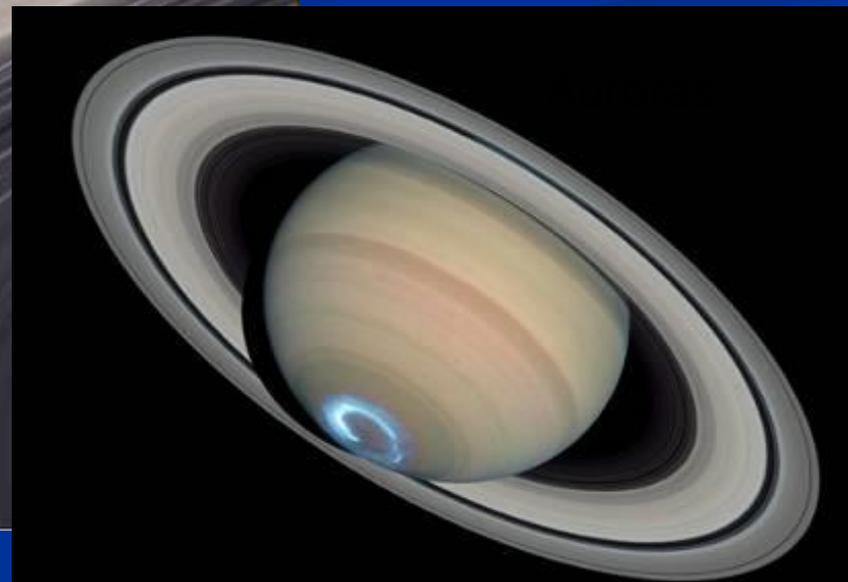


Tem mais de 60 luas, estando algumas delas entre os anéis, mantendo o sistema dinamicamente organizado, sendo por isso chamadas de “pastoras dos satélites”.

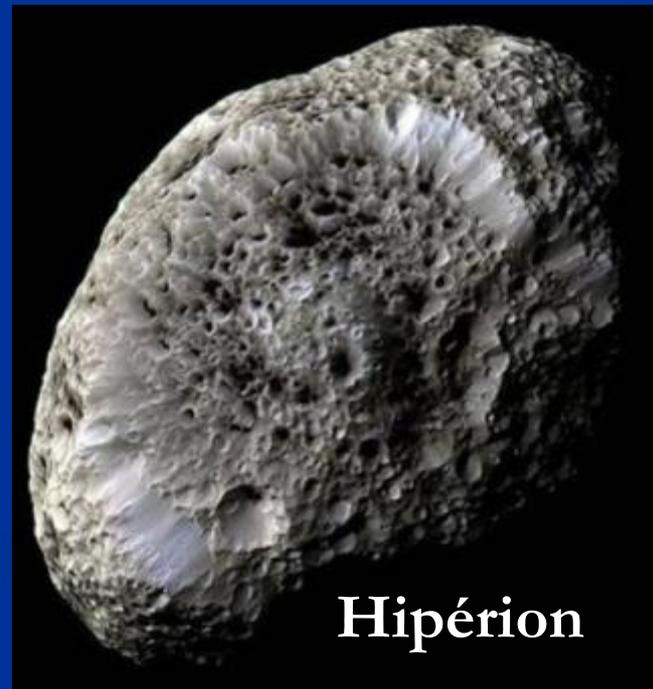
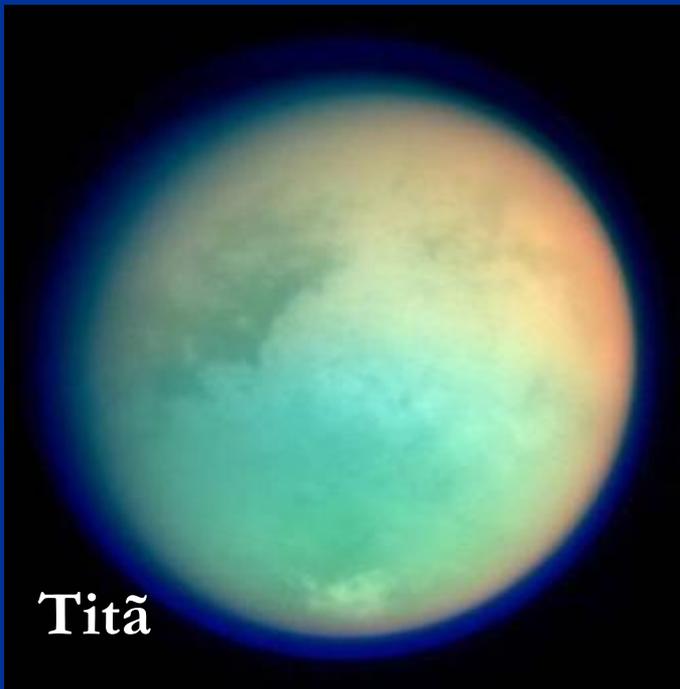
Sistema de anéis, formado por poeiras e pequenos pedaços de gelo.



Aurora em Saturno, foto do telescópio espacial Hubble.

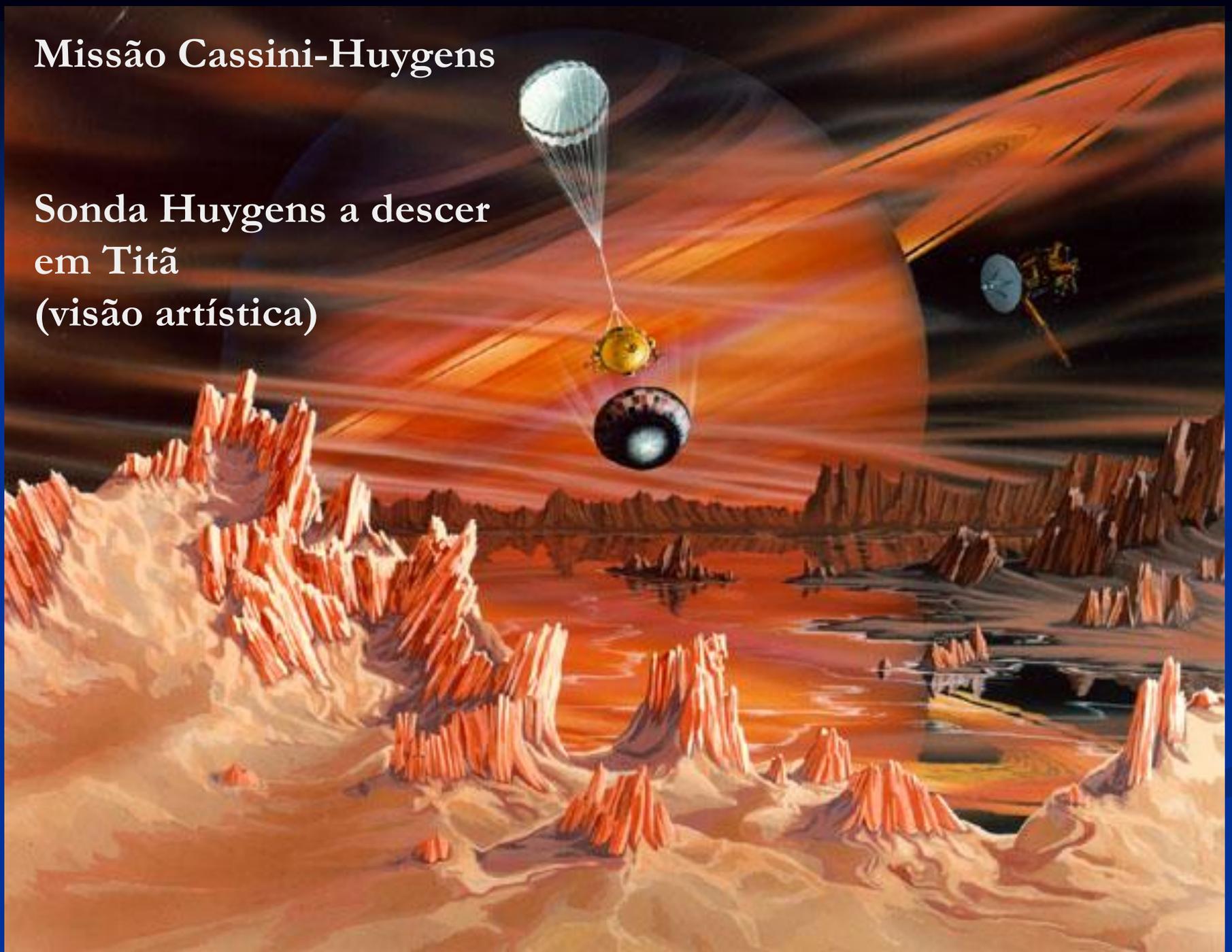


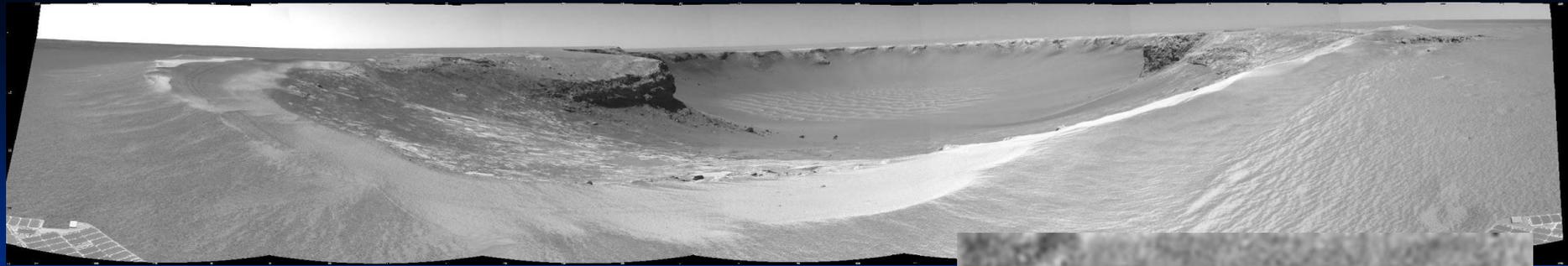
- Saturno tem mais de 60 satélites e 7 deles são suficientemente grandes para ter forma esférica.
- Titã é o maior (maior que Mercúrio ou Plutão) e o único no SS com uma atmosfera densa.



Missão Cassini-Huygens

Sonda Huygens a descer
em Titã
(visão artística)





Sonda Huygens em Titã
(primeira foto panorâmica, 2004)

Titã: mares, rios e lagos de metano

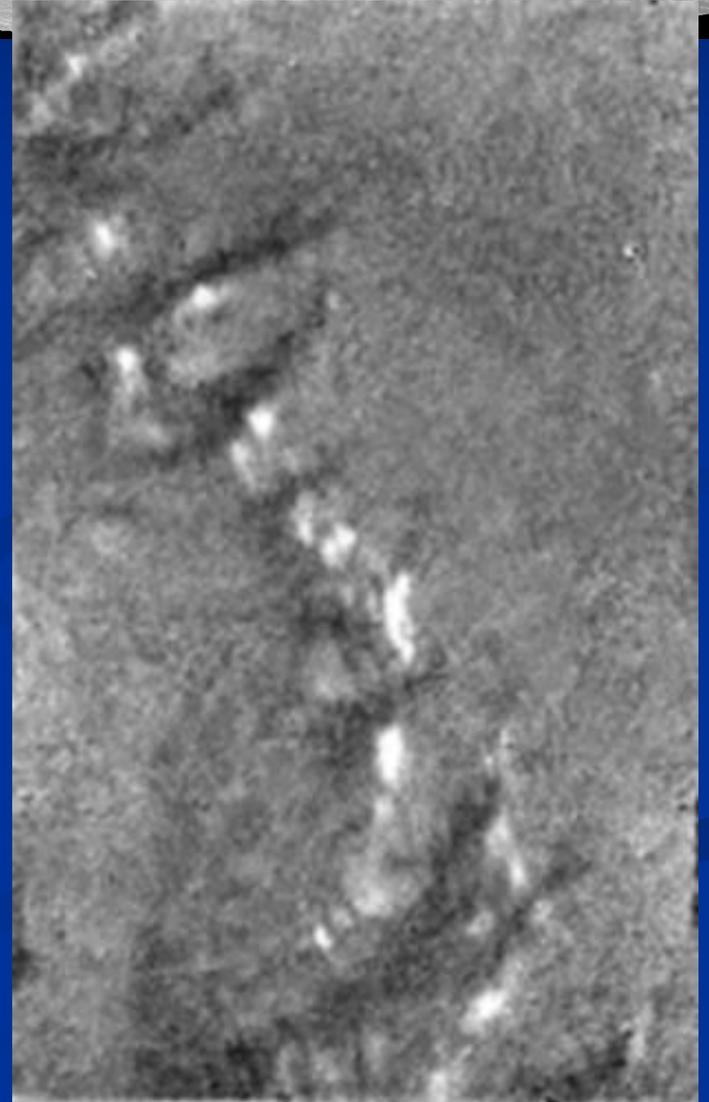
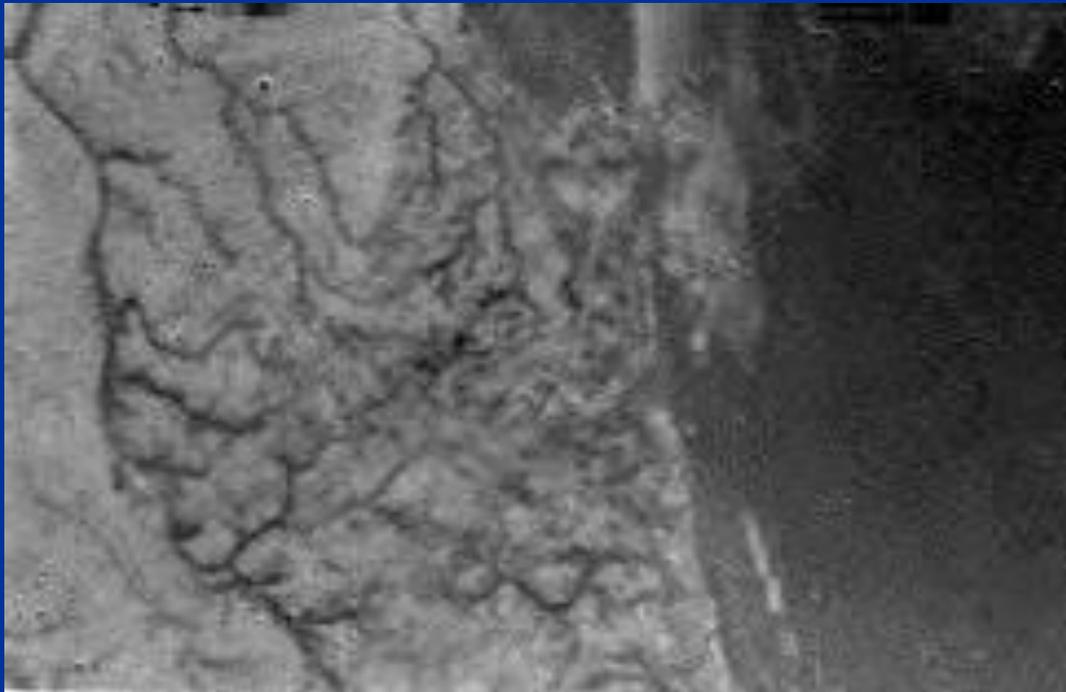
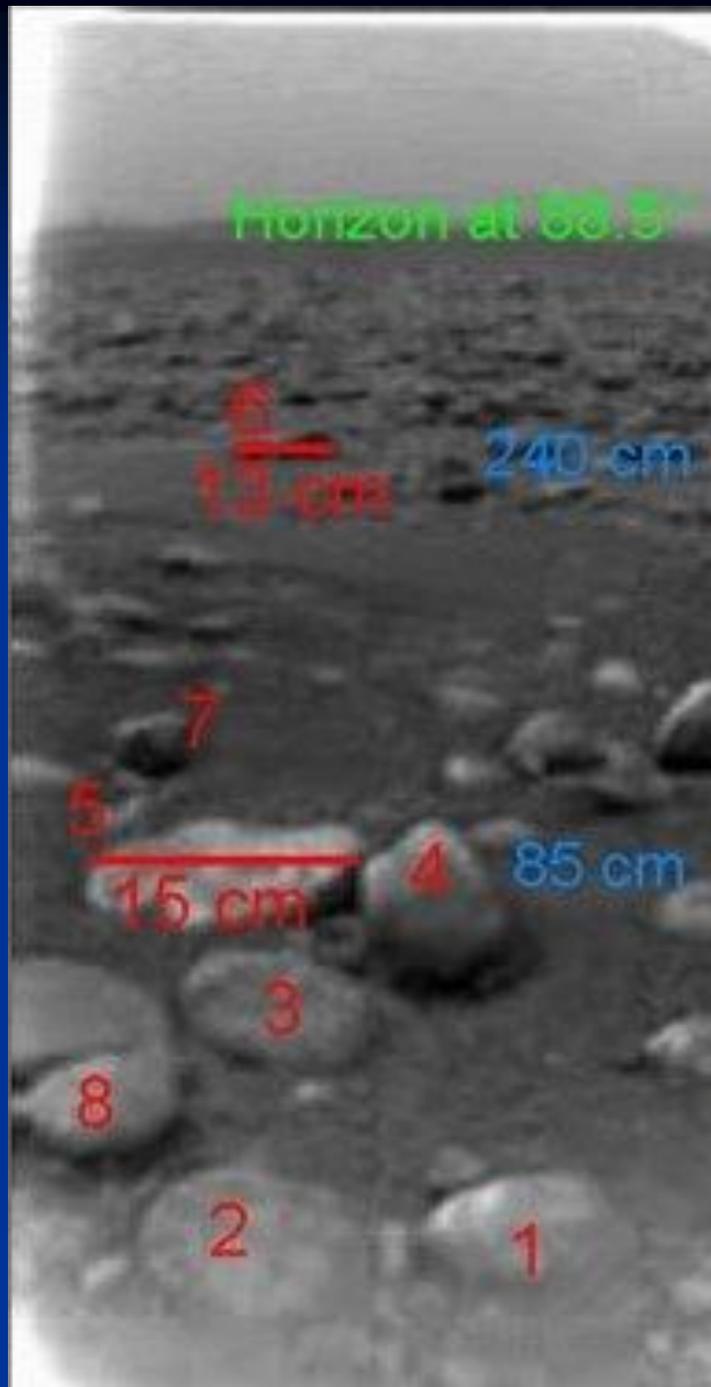
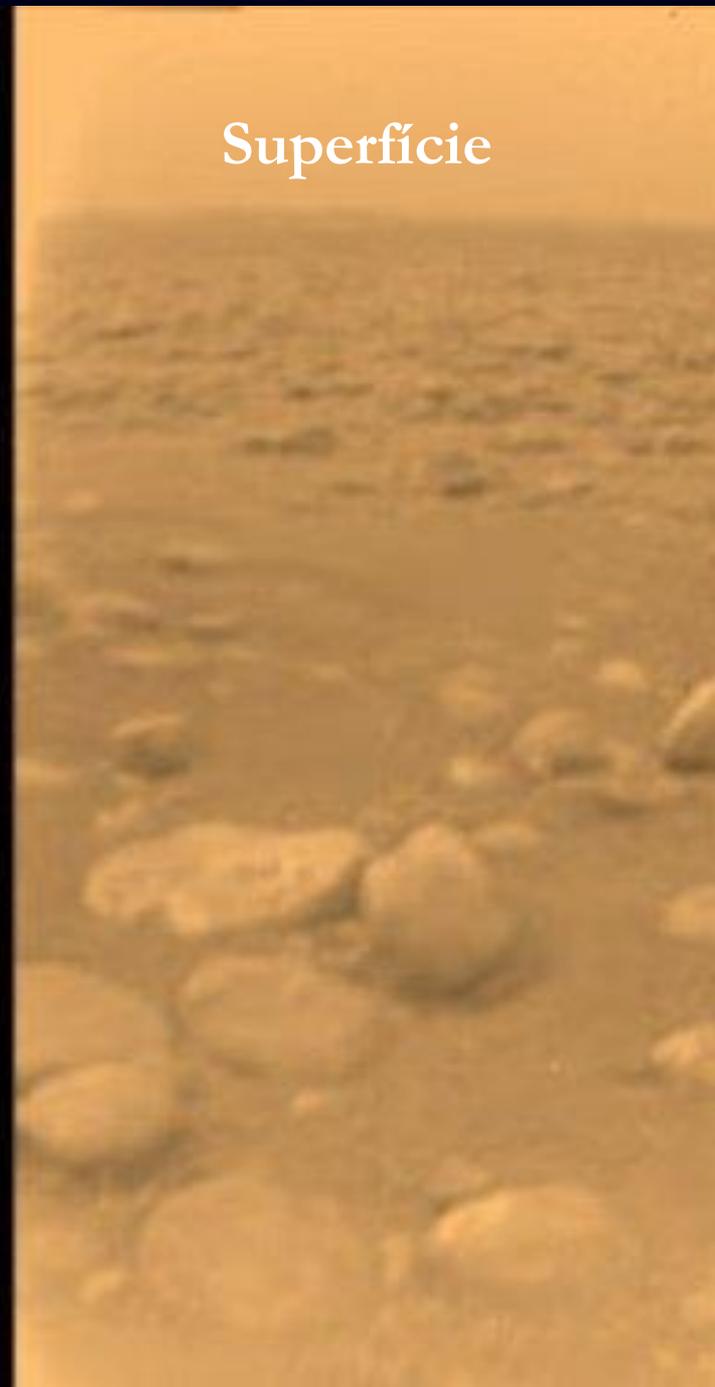


Foto da
superfície de
Titã, pela
sonda
Huygens.

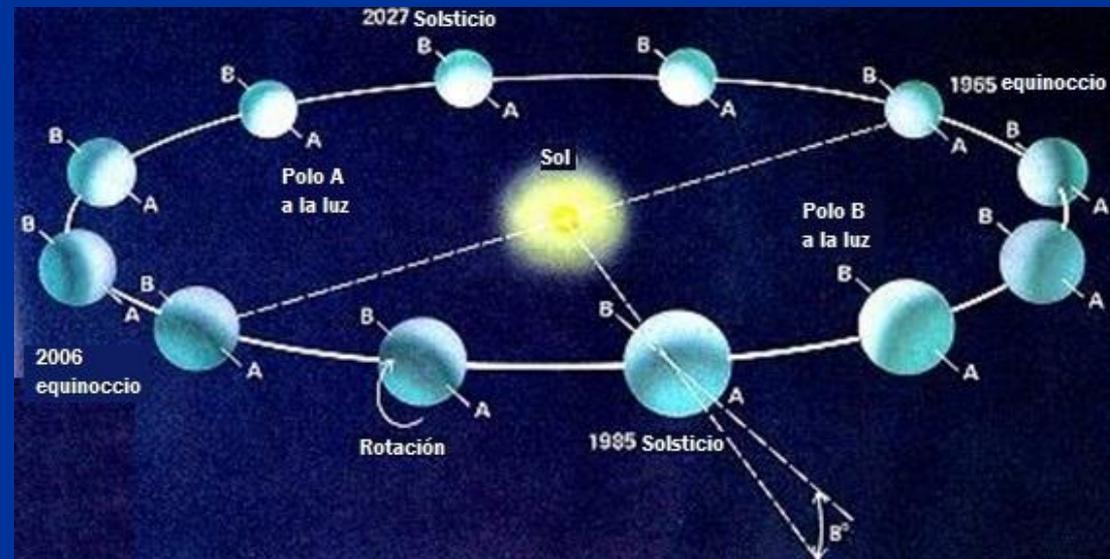
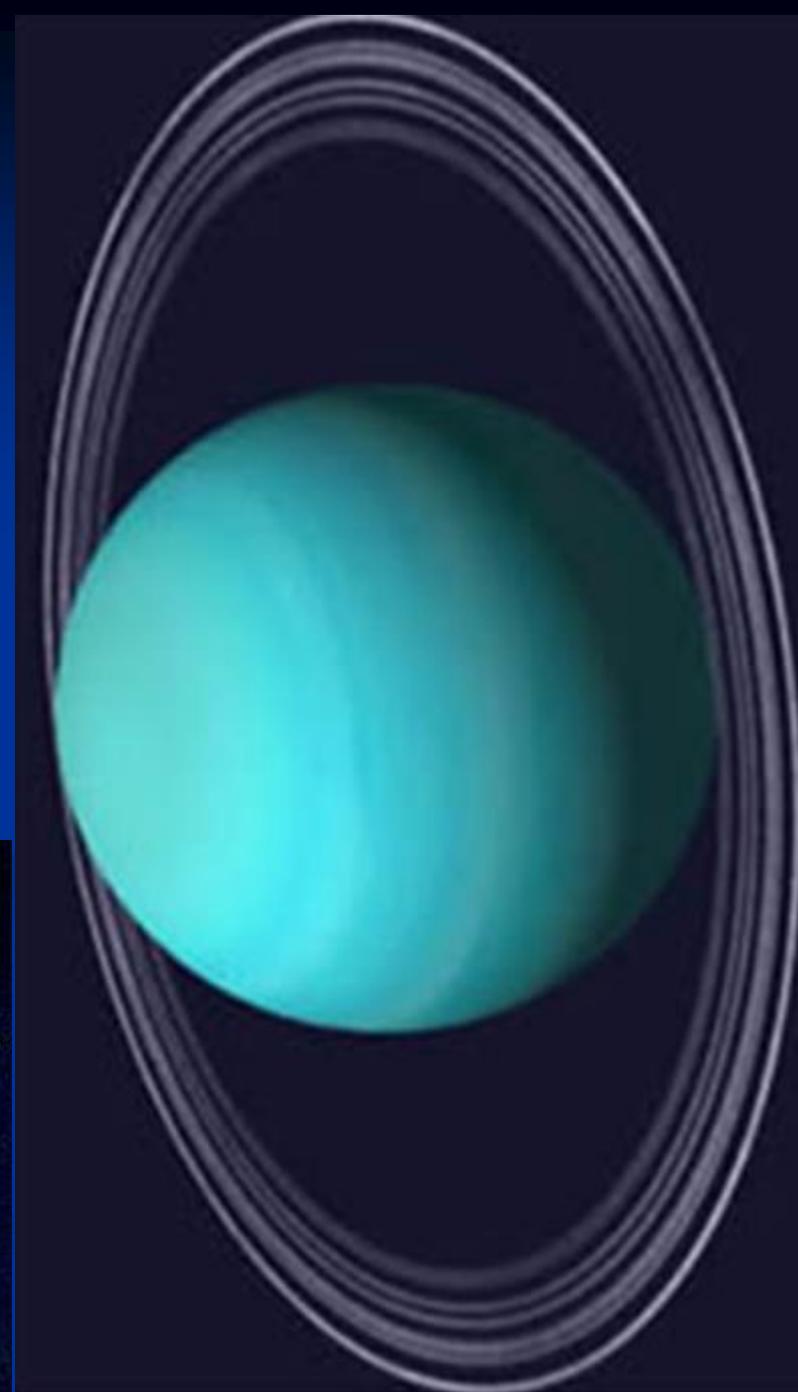


Superfície



Urano

O seu eixo de rotação praticamente coincide com o plano de translação.



Sistema de anéis de Urano

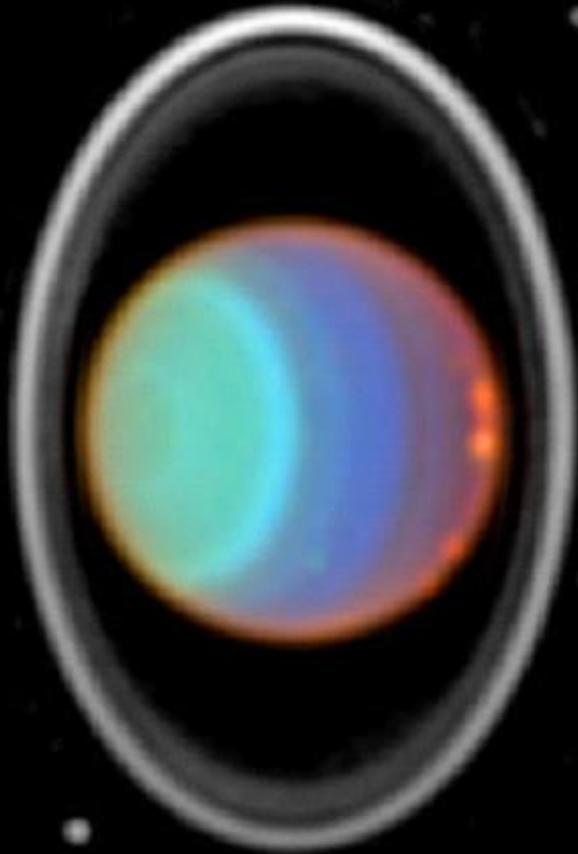


Urano tem pelo menos 27 satélites naturais.

Os dois primeiros foram descobertos por William Herschel em 1787: Titânia e Oberon.



Os satélites de Urano têm nomes de heroínas de peças de Shakespeare.



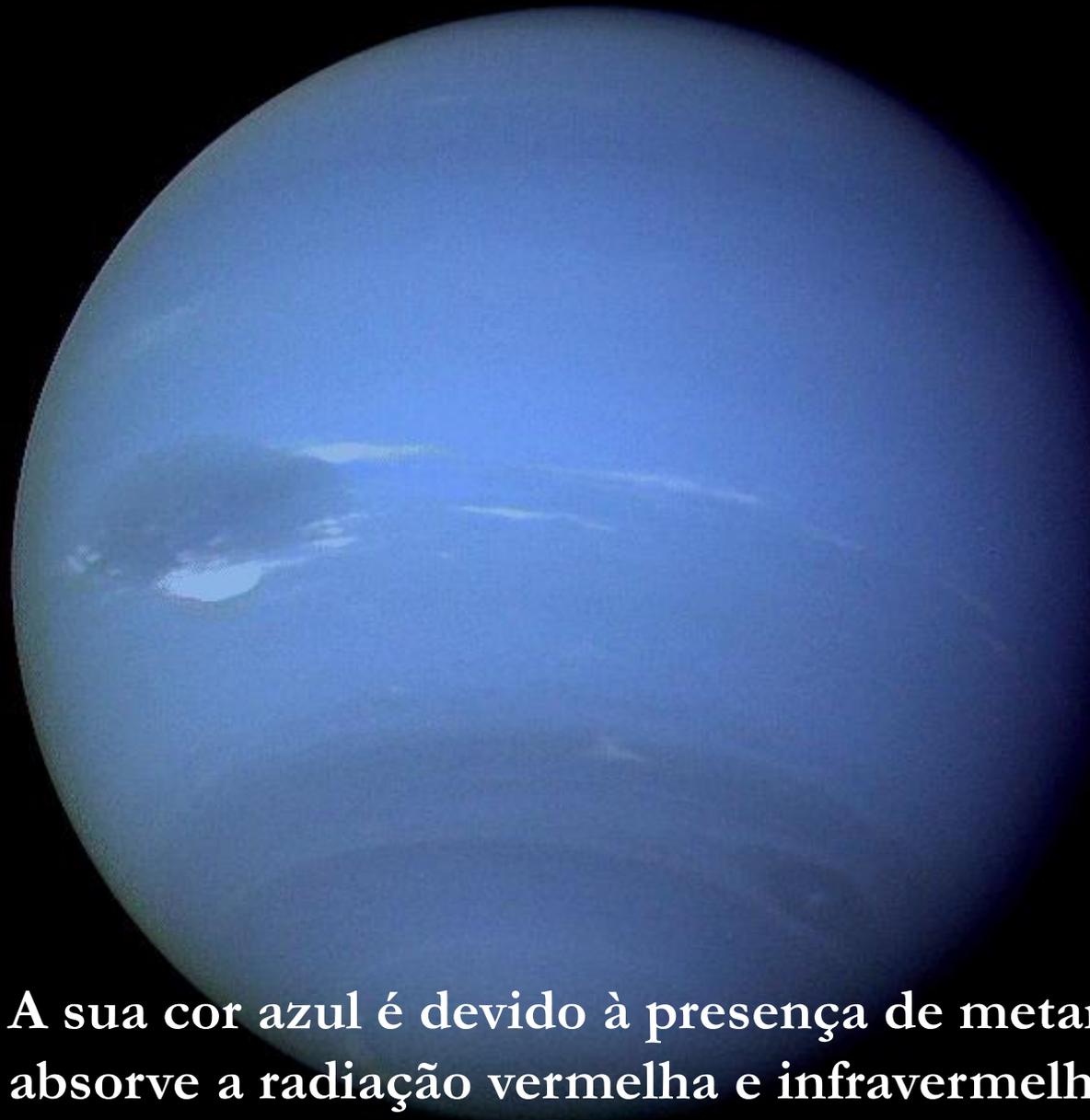
Urano • Julio 28, 1997

HST • NICMOS

PRC97-36a • November 20, 1997 • ST ScI OPO

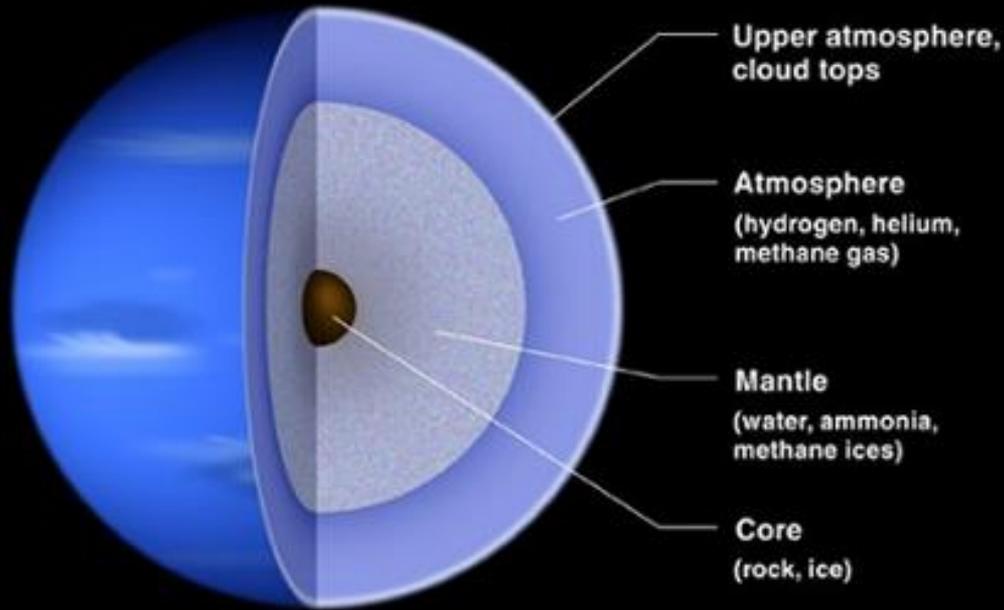
E. Karkoschka (University of Arizona Lunar & Planetary Lab) and NASA

Neptuno



A sua cor azul é devido à presença de metano na atmosfera, que absorve a radiação vermelha e infravermelha.

Neptuno



Acredita-se que tenha um núcleo sólido de silicatos e ferro, quase do tamanho da Terra.

Acima do núcleo existe uma camada de gelo, metano, H e um pouco de He.

Dois painéis de imagens de Neptuno, cada um mostrando o planeta com seus anéis escuros. O planeta é o ponto branco brilhante no centro de cada imagem, e os anéis são linhas finas e escuras que o cercam.

Tem diversos anéis escuros, de origem desconhecida.

Clyde Tombaugh,
descobriu Plutão em
18 de fevereiro de
1930.

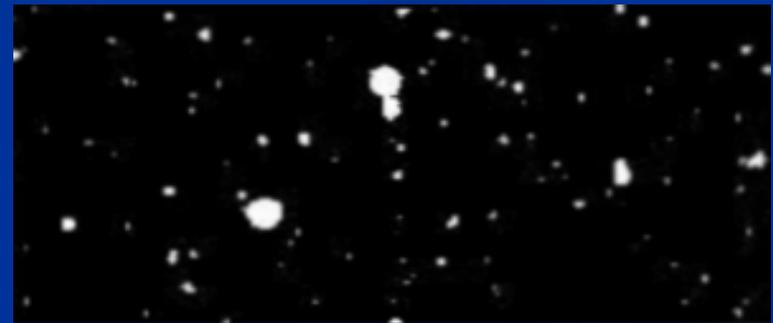
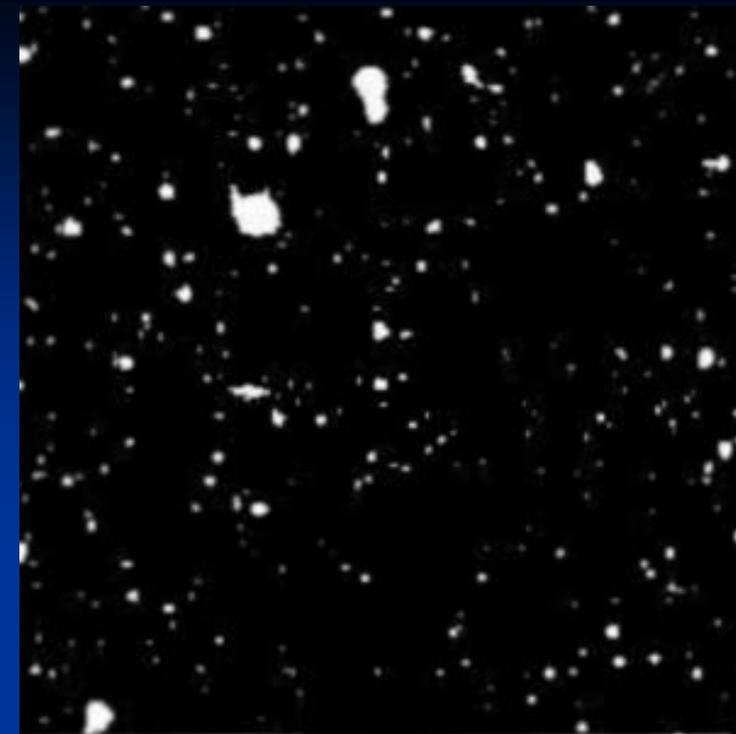
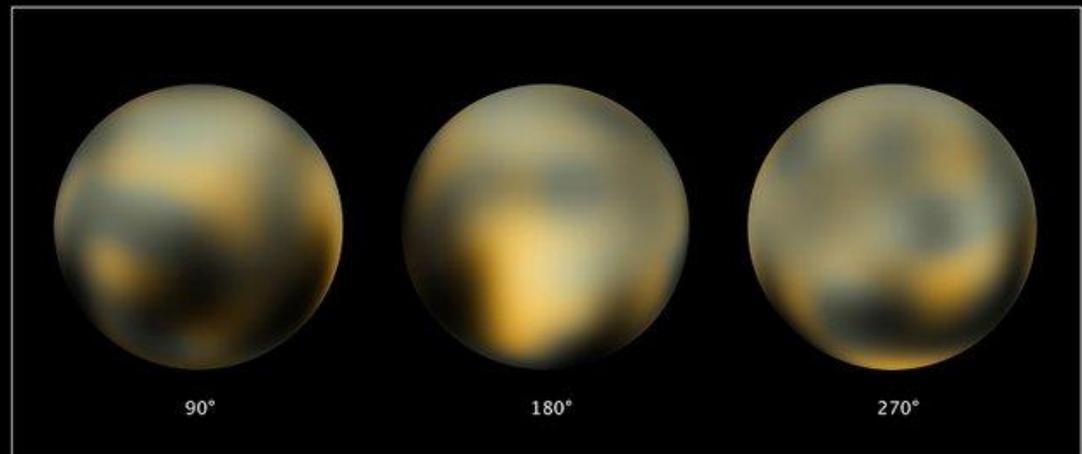


Imagem da
descoberta (1930).

Apesar de Plutão ser demasiado pequeno para perturbar a órbita de Neptuno de forma a denunciar a sua presença, Lowell calculou a sua localização. Clyde Tombaugh encontrou Plutão (magnitude ~13,5) fotografando de forma sistemática o plano do SS.

Plutão e Caronte,
Telescópio Hubble,
1999.

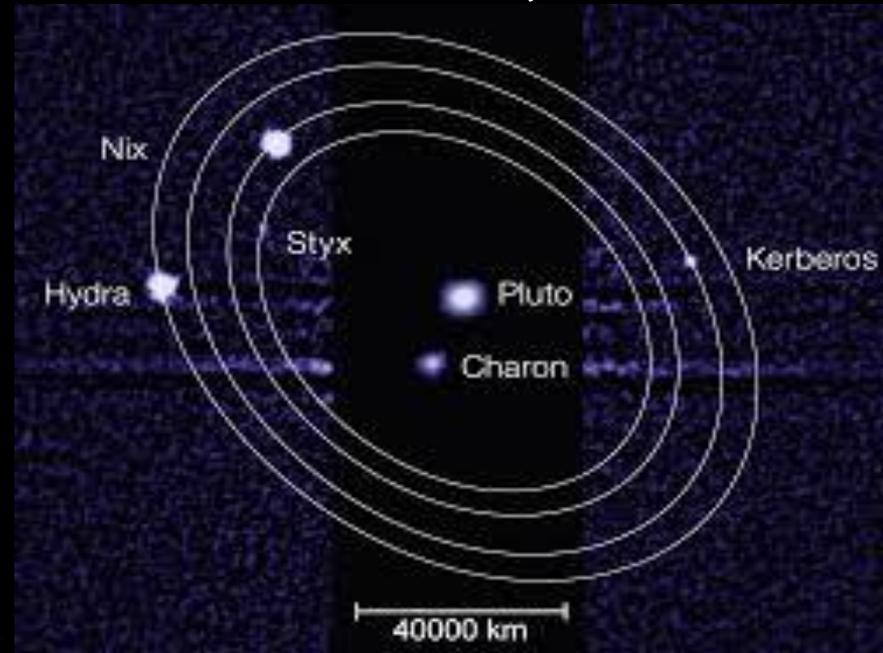


Pluto Faces
Hubble Space Telescope • ACS/HRC

Pluto System ▪ February 15, 2006
Hubble Space Telescope ▪ ACS/HRC



Sistema de Plutão, 2011-2012



NASA, ESA, H. Weaver (JHU/APL), A. Stern (SwRI),
and the HST Pluto Companion Search Team

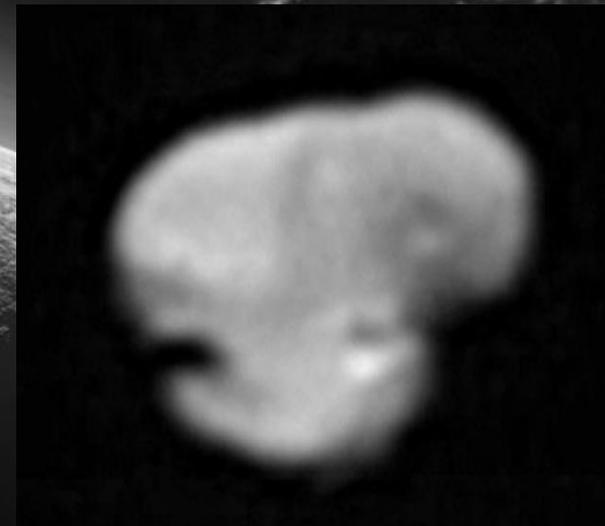


Plutão e Caronte
New Horizons, 2015

20 miles

NASA

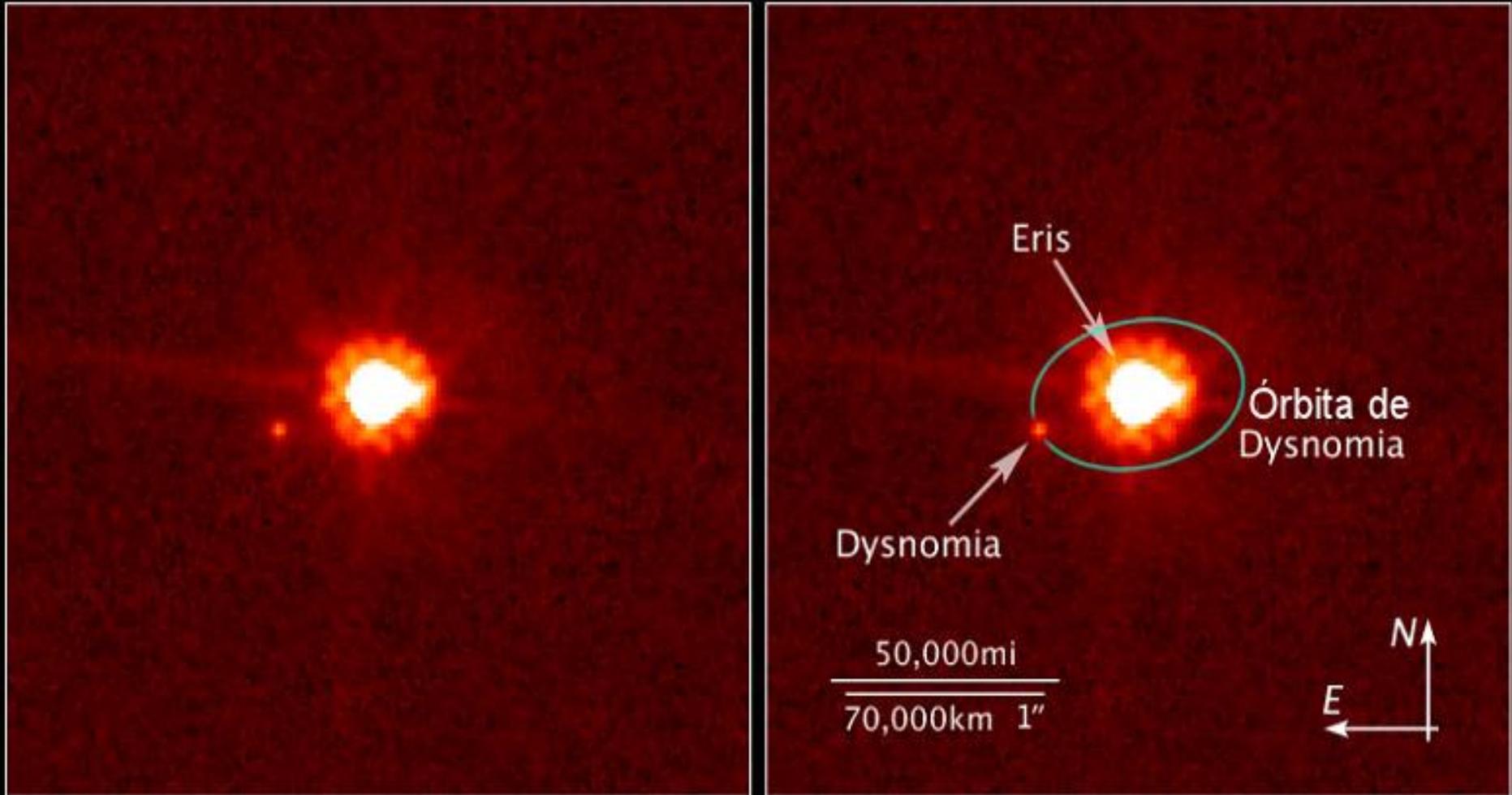
**Sobrevooo de Plutão
(14 de julho de 2015).
É possível observar a ténue
atmosfera de nitrogénio.**



Descoberta de Éris

Planeta anão Éris e o satélite Dysnomia, 30 de agosto de 2006.

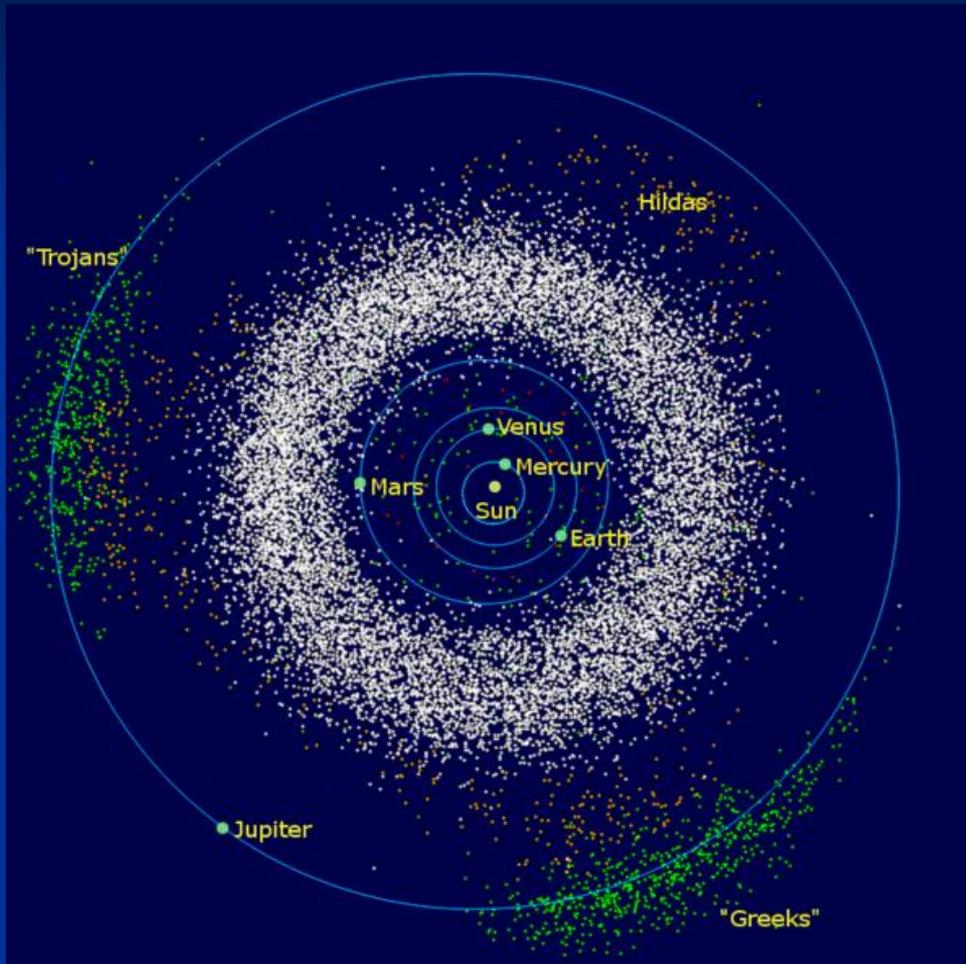
HST • ACS/HRC



Corpos menores do Sistema Solar

- **Eles são os remanescentes da acreção planetária.**
- Eles compreendem diversas populações de asteroides, cometas e objetos transneptunianos.
- Os asteroides são essencialmente rochosos e metálicos, enquanto os cometas são objetos mais frágeis e porosos, formados basicamente por gelo (predominantemente água) e partículas de poeira.
- A grande maioria dos asteroides encontram-se numa região entre as órbitas de Marte e Júpiter, conhecidas como "cintura principal de asteroides".
- Os objetos transneptunianos contêm quantidades significativas de gelo, e estão localizados numa região para além da órbita de Neptuno, conhecido como a "cintura transneptuniana" (ou cintura de Kuiper, em reconhecimento a um dos primeiros a prever a sua existência).

Cintura principal de asteroides



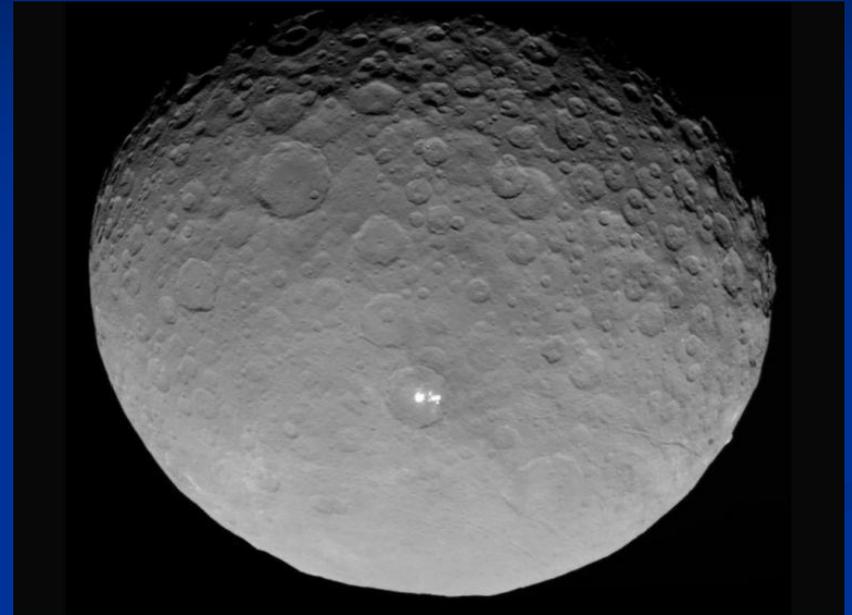
Há centenas de milhar ou milhões, e a massa total não excederá um milésimo da massa da Terra.

O tamanho dos asteroides varia de várias centenas de quilómetros a metros e frações de metro.

Ceres

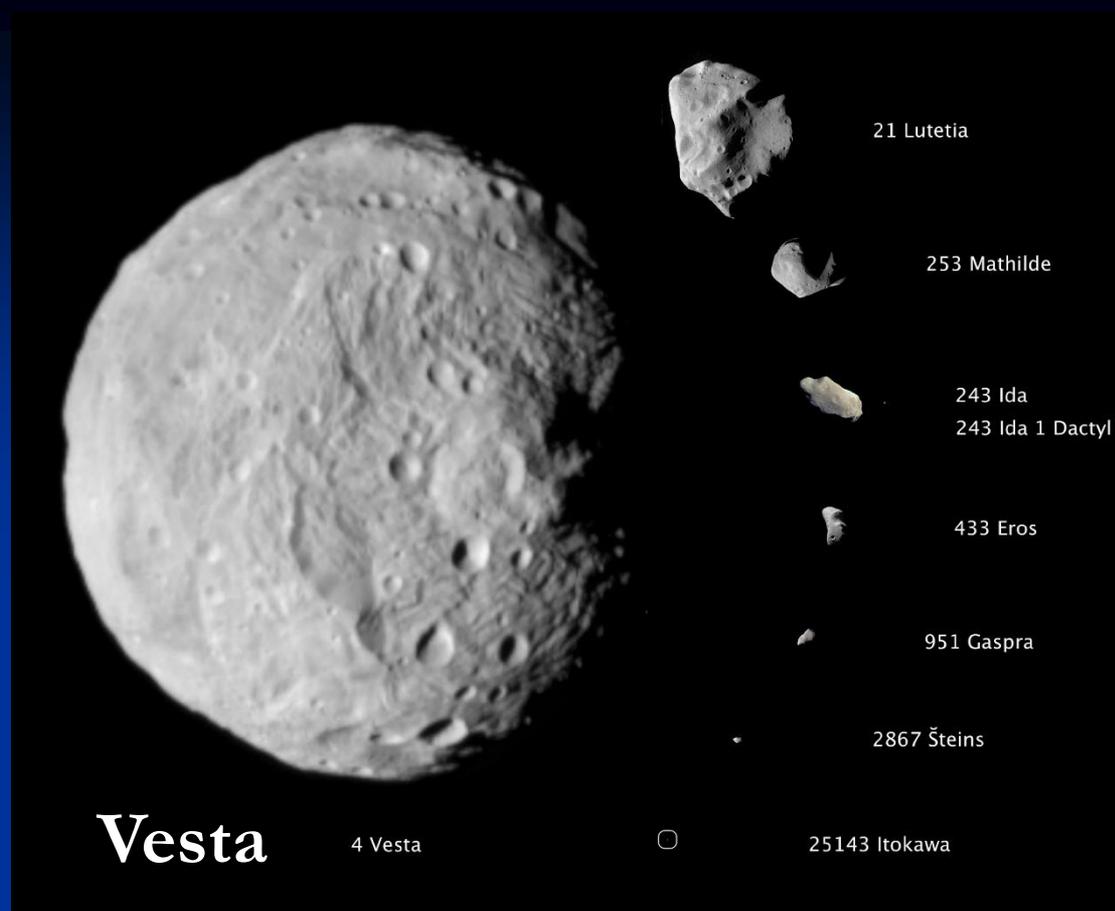
Descoberto em 1801 por Giuseppe Piazzi, foi considerado um planeta até 1850 quando muitos outros objetos similares foram encontrados.

É o maior corpo da cintura de asteroides, e o único deles catalogado, em 2006, como planeta anão.

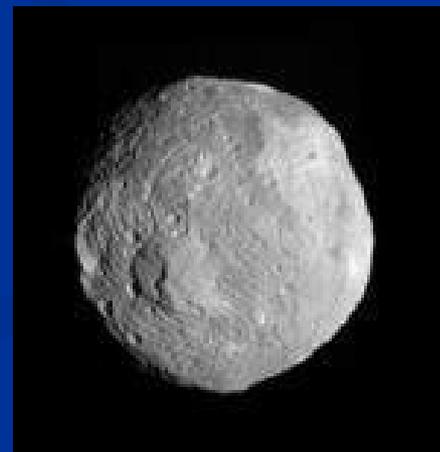


Com um diâmetro de quase 1 000 quilómetros, é suficientemente grande para que a sua gravidade lhe confira uma forma esférica.

Todos os outros asteroides são considerados pequenos corpos irregulares, embora alguns deles, como Palas e Vesta, possam ser classificados como planetas anões se for demonstrado que alcançaram o equilíbrio hidrostático.



Palas



Reservatórios de corpos menores na SS

Os reservatórios são regiões relativamente estáveis, onde os objetos podem permanecer por períodos de tempo comparáveis à idade do SS, até que alguma perturbação os force a alterar a sua órbita.

Existem três grandes reservatórios na SS:

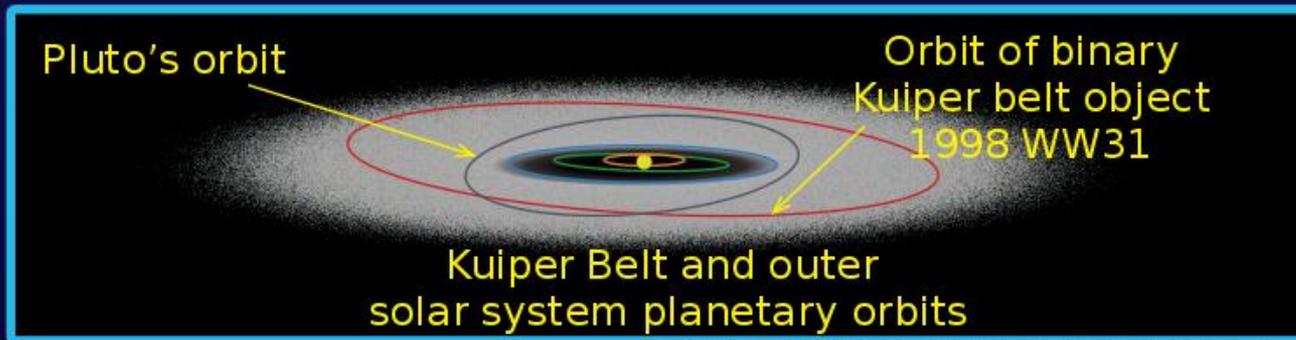
- A **Cintura Principal de Asteroides**. Algumas populações podem ser originárias desta região, Tal como os asteroides que se aproximam da Terra (conhecidos pelo seu acrónimo inglês NEAS).
- A **Cintura Transneptuniana**. É desta região que os cometas de período curto são originários.
- A **Nuvem de Oort**. Tem uma distribuição esférica e é formada pelos planetesimais gelados expelidos para longe pelos planetas gigantes durante a formação do SS. Graças a perturbações provocadas pela passagem próxima de estrelas ou gigantes nuvens moleculares, ou a marés galáticas, as órbitas de alguns desses objetos podem ser desviadas em direção ao interior do SS, transformando-os em cometas de período longo.

17 de abril 17 de 2019.

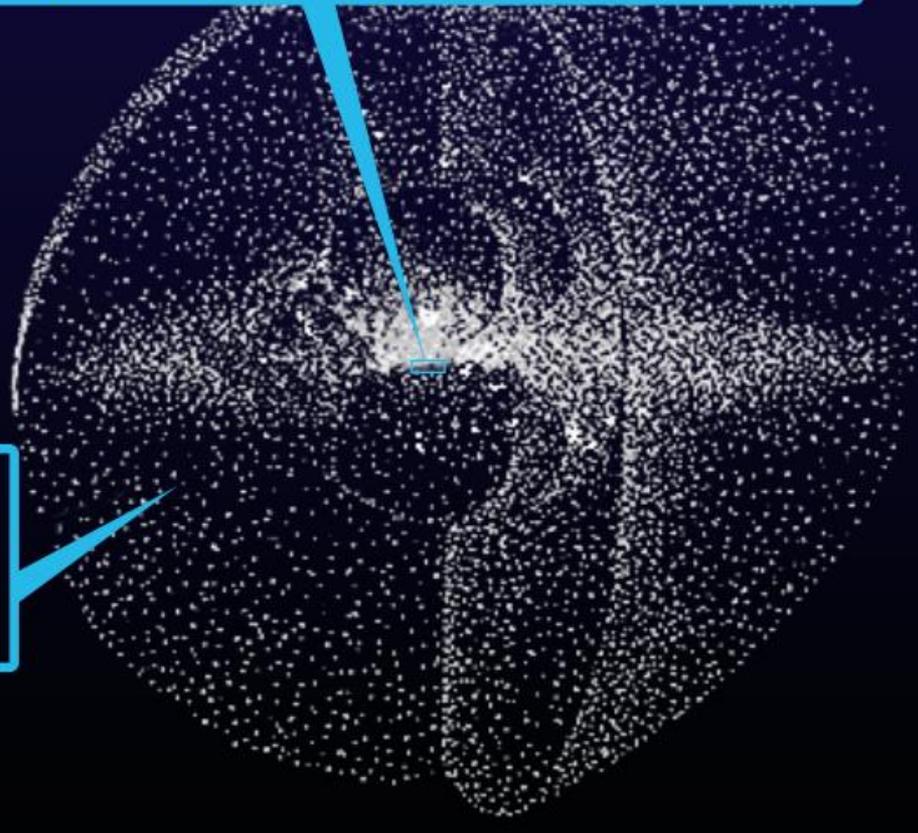
Fonte: NASA/JPL <https://ssd.jpl.nasa.gov>)

- Total de asteroides conhecidos: 798 130. Incluindo:
 - Cintura principal: 705 913
 - Troianos de Júpiter: 7 236
 - Asteroides dentro da órbita de Marte: 3 573
 - NEAs: 19 996
 - Asteroides parcialmente perigosos (PHAs): 1 973
- Cometas:
 - Elípticos: 420 de período longo ($P > 200$ anos) + 860 período curto ($P < 200$ anos).
 - Parabólicos: 1 837
 - Hiperbólicos: 347 (de origem extrassolar)
- Transneptunianos (TNOs): 3 218

Cintura Transneptuniana e Nuvem de Oort



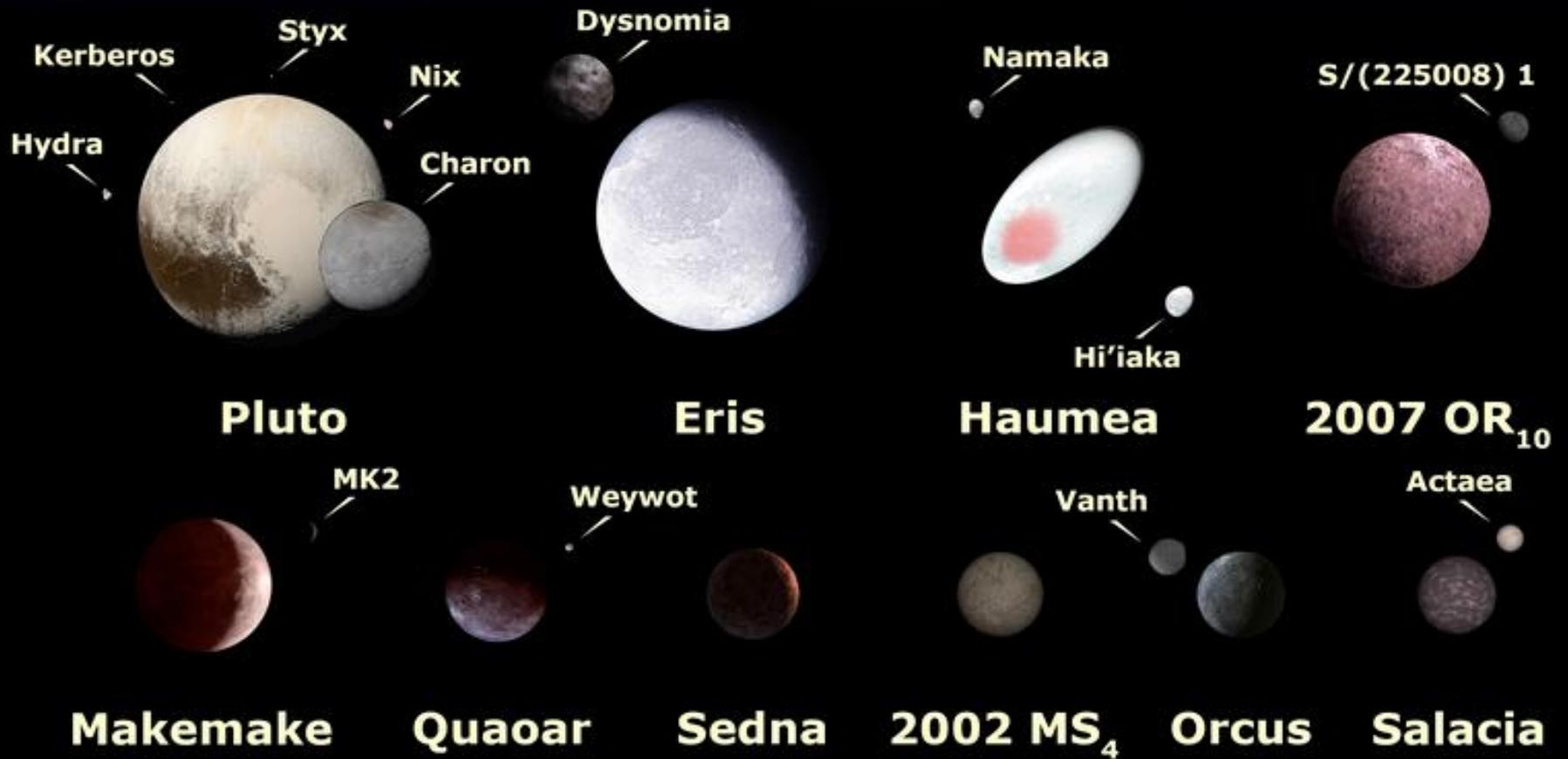
Transneptunianos



Os maiores são planetas anões

The Oort cloud (comprising many billions of comets)

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



2000 km

Cometas

- São pequenos corpos de alguns km, constituídos principalmente por materiais voláteis (água gelada, dióxido de carbono, metano, amónia, etc.) e poeiras.
- Quando se aproximam do Sol podem tornar-se visíveis.
- Pensa-se que a H_2O existente na Terra pode ser originária dos cometas.

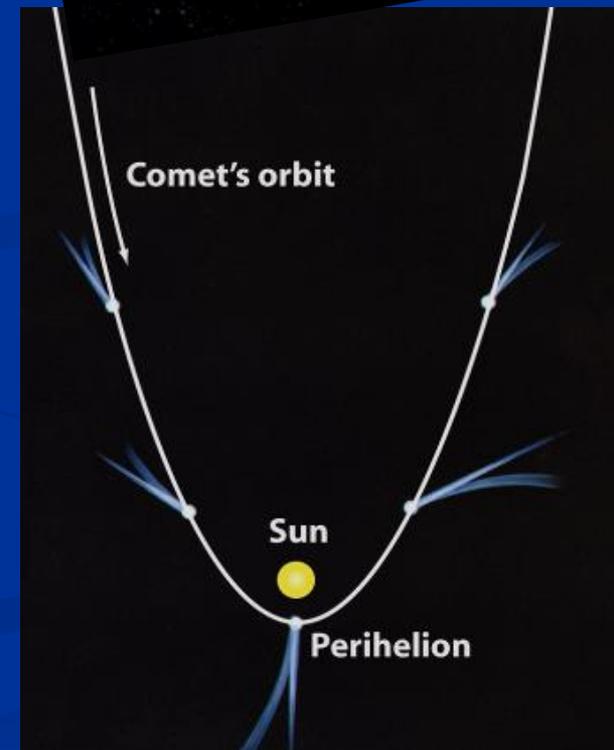


West, 1976



Hale-Bopp, 1997

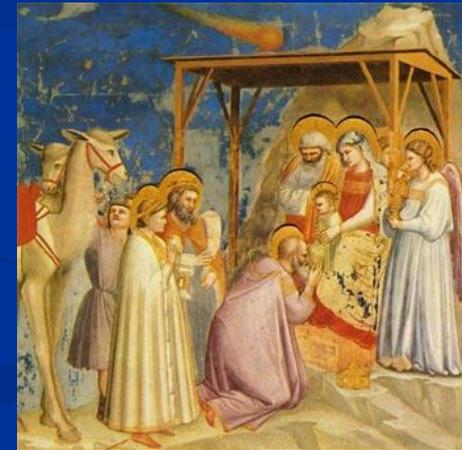
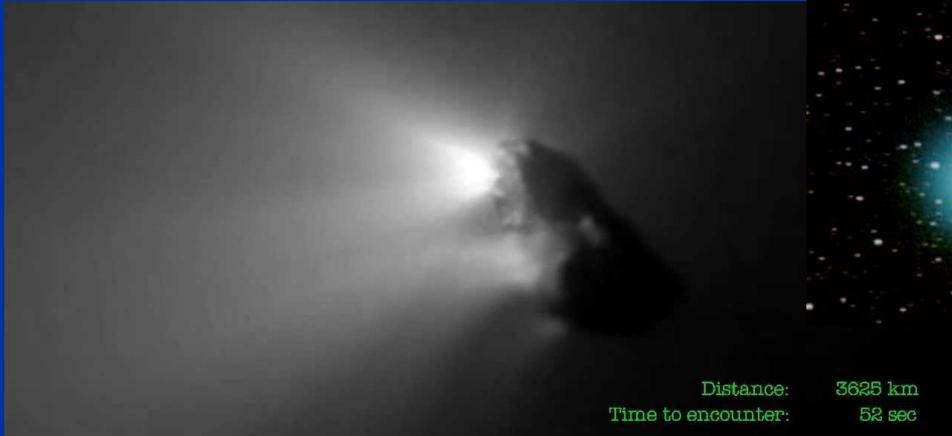
- Geralmente os cometas têm órbitas bastante excêntricas. Os de período longo têm inclinações aleatórias e podem ter órbitas retrógradas ou diretas. Os de período curto têm geralmente pequenas inclinações e suas órbitas são diretas.
- Ao aproximar-se do Sol, o gelo superficial do cometa é sublimado criando uma cabeleira e duas caudas. A cauda de poeira é formada por partículas de poeira arrastadas pelo gás e a cauda iônica é formada pelos átomos e moléculas ionizadas pela interação com o vento solar. A cauda de poeira é curva, e a cauda iônica azulado é direita e aponta no sentido oposto ao Sol.



Halley: o cometa mais famoso

O seu nome é em honra a Edmond Halley, que previu a sua aproximação ao Sol, por aplicação da Lei da Gravitação Universal e de cálculos de perturbações. Halley não viveu o suficiente para ver a sua previsão confirmada.

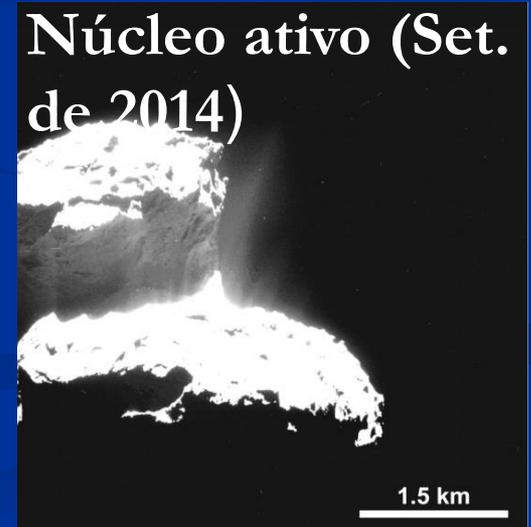
Retorna a cada 76 anos.



Em 1986 tornou-se o primeiro cometa a ser visitado por uma sonda, a Giotto, que fotografou o seu núcleo.

Missão Rosetta: encontro com o cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko

A sonda Philae desceu até ao cometa a 12 de novembro de 2014



Câmara OSIRIS/ESA

Outros Sistemas Planetários

Em 1995 os astrónomos suíços Michel Mayor e Didier Queloz anunciaram a deteção de um exoplaneta a orbitar a estrela 51 Pegasi.

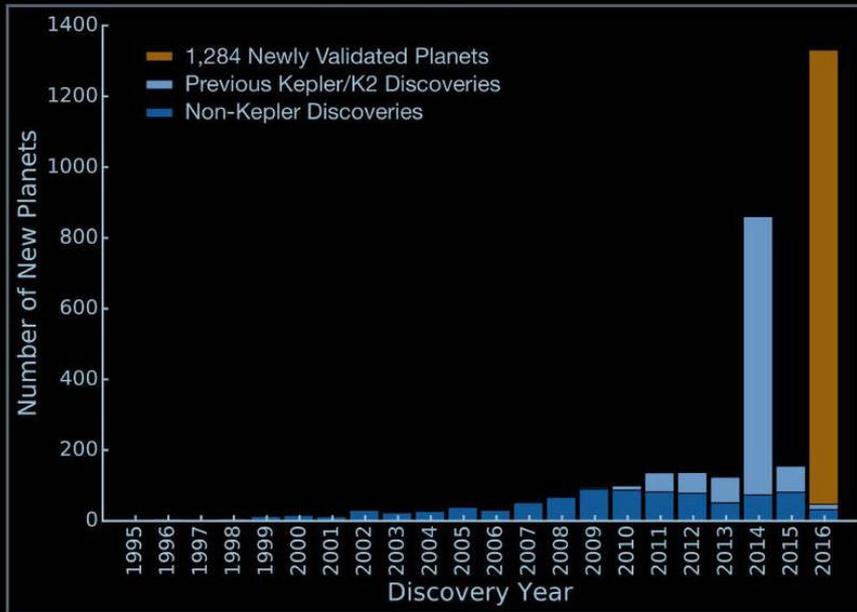
- Esta estrela e o seu planeta foram batizados, em 2015, como Helvetios e Dimidio, após votação pública promovida pela IAU.



1ª foto de um planeta extrassolar em redor de uma anã castanha 2M1207. 16 de março de 2003.

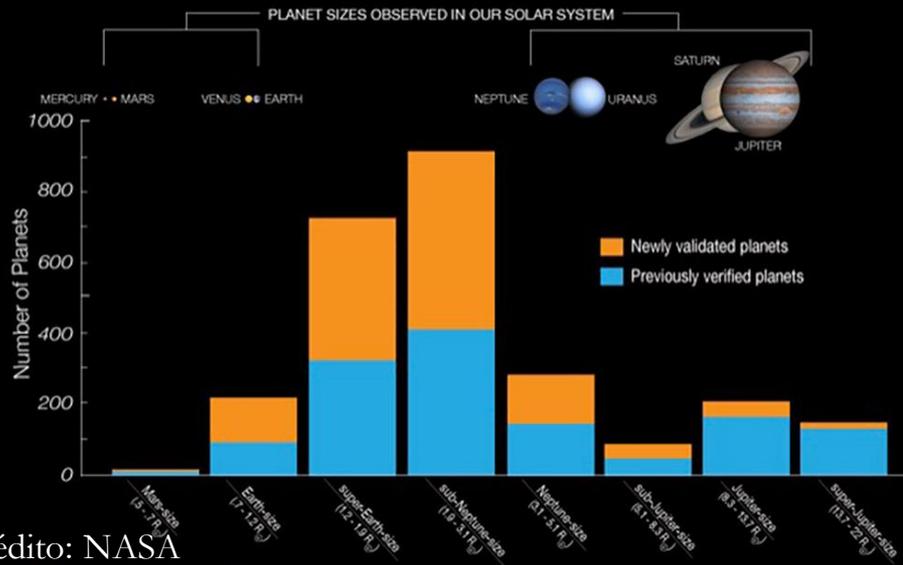
Exoplanet Discoveries Through the Years

As of May 10, 2016



Kepler's Planets by Size

As of May 10, 2016

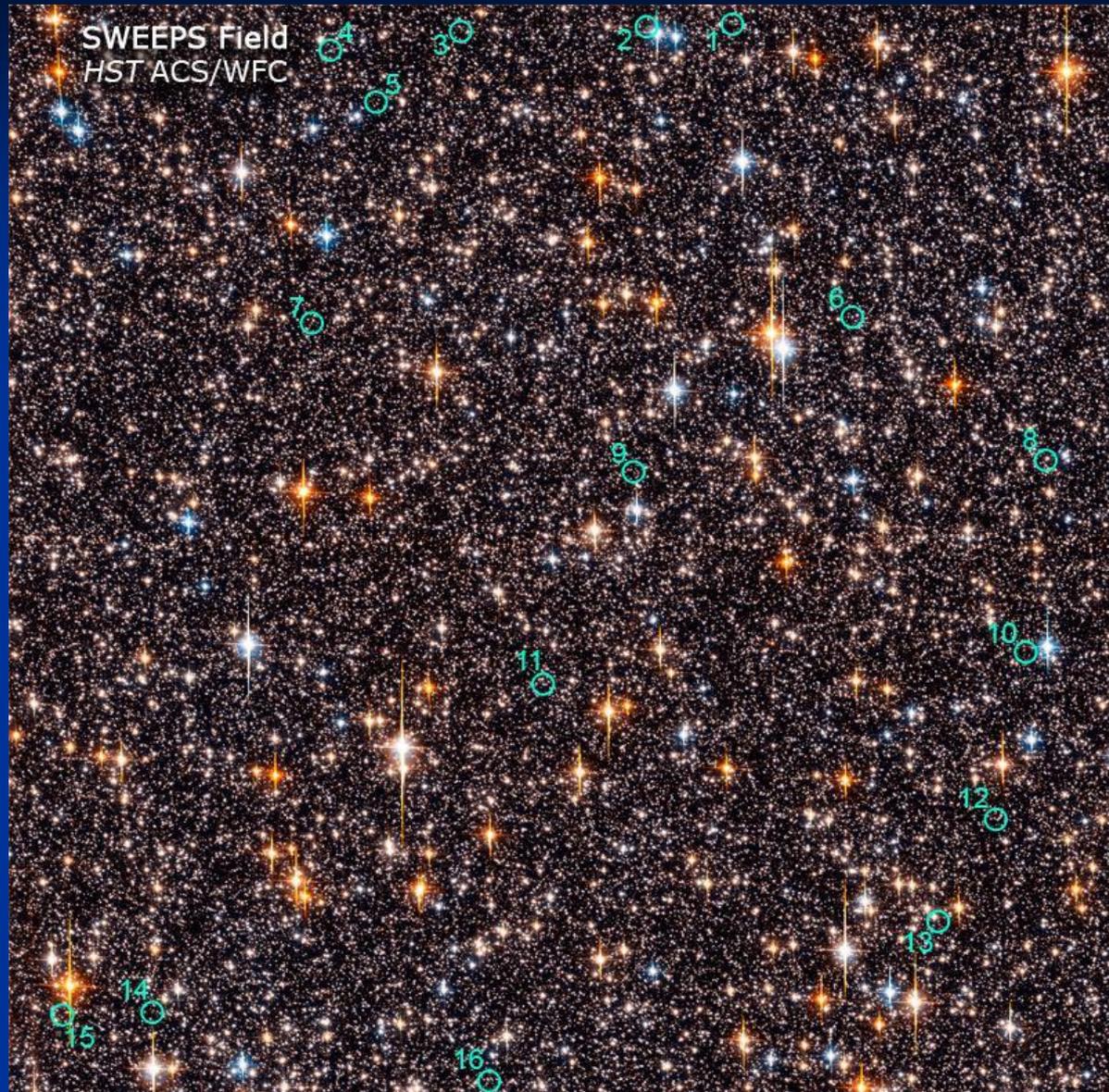


Kepler (março de 2009), foi a primeira missão da NASA para procurar planetas potencialmente habitáveis, do tamanho da Terra.

Em 10 maio de 2016, foi anunciada a maior coleção de exoplanetas.

De um total de cerca de 5 000 candidatos, mais de 3 200 foram confirmados, e 2 325 desses foram descobertos pelo telescópio Kepler.

Desde 2018, que o satélite da NASA "Transiting Exoplanet Survey", que usa o mesmo método do telescópio Kepler, monitoriza 200 000 estrelas e procura por planetas, em especial do mesmo tamanho da Terra ou superior (as super Terras).



Quantas estrelas têm planetas?

Quantos desses planetas são habitáveis?

Em quando se desenvolveu alguma forma
de vida?

Questões que os astrónomos procuram
responder

Muito obrigado
pela sua atenção!

