

Breve visão do Sistema Solar



Nebulosa de Órion: um berçário estelar

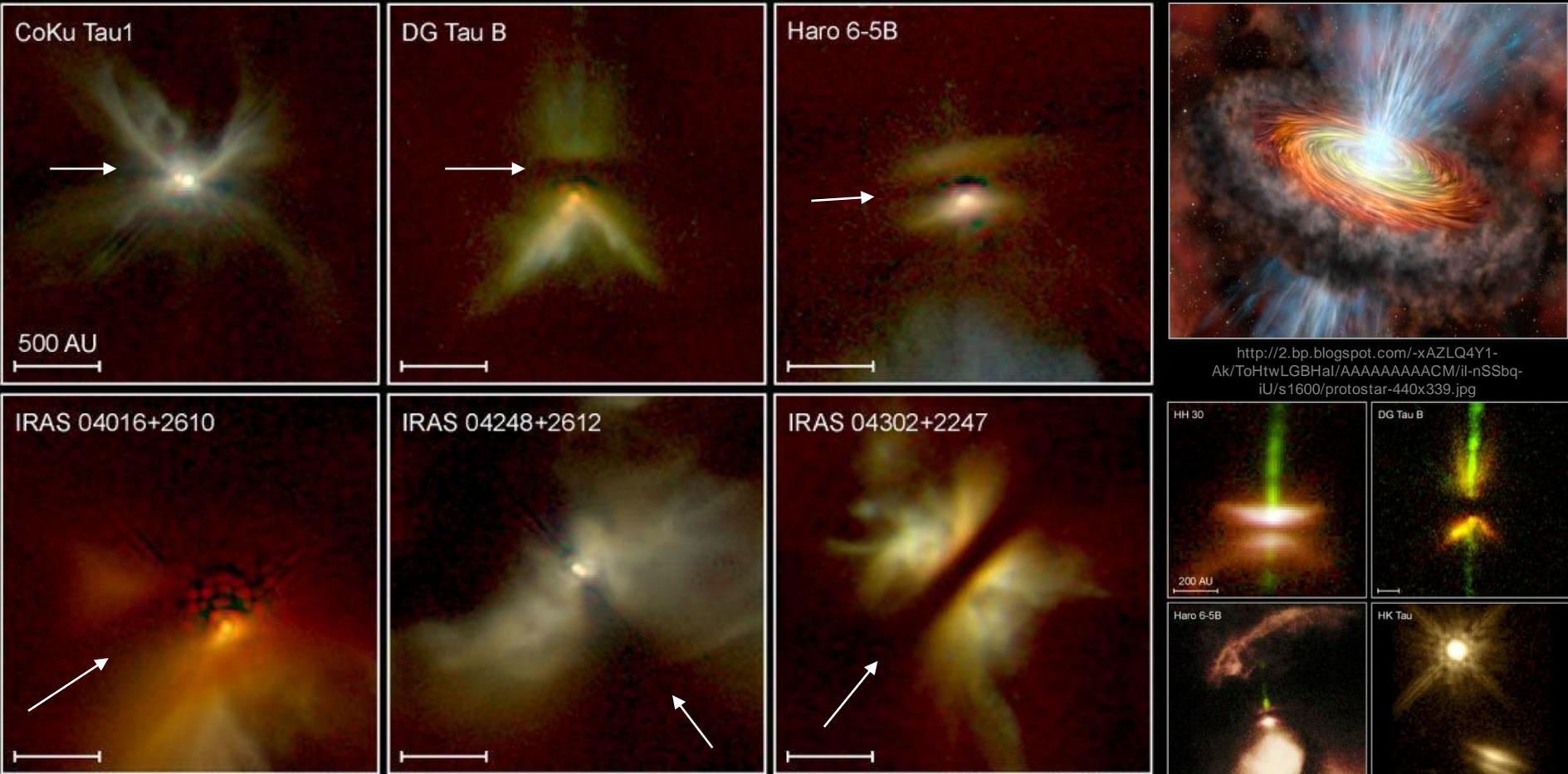


Nascimento de estrelas



Sistemas planetários em formação

Formação de disco protoplanetário durante a contração nebular também é observada em estrelas em formação. A posição do disco é indicada nas imagens.



<http://2.bp.blogspot.com/-xAZLQ4Y1-AK/ToHtwLGBHal/AAAAAAAAACM/il-nSSbqiU/s1600/protostar-440x339.jpg>

Young Stellar Disks in Infrared

HST • NICMOS

Disks around Young Stars HST • WFPC2

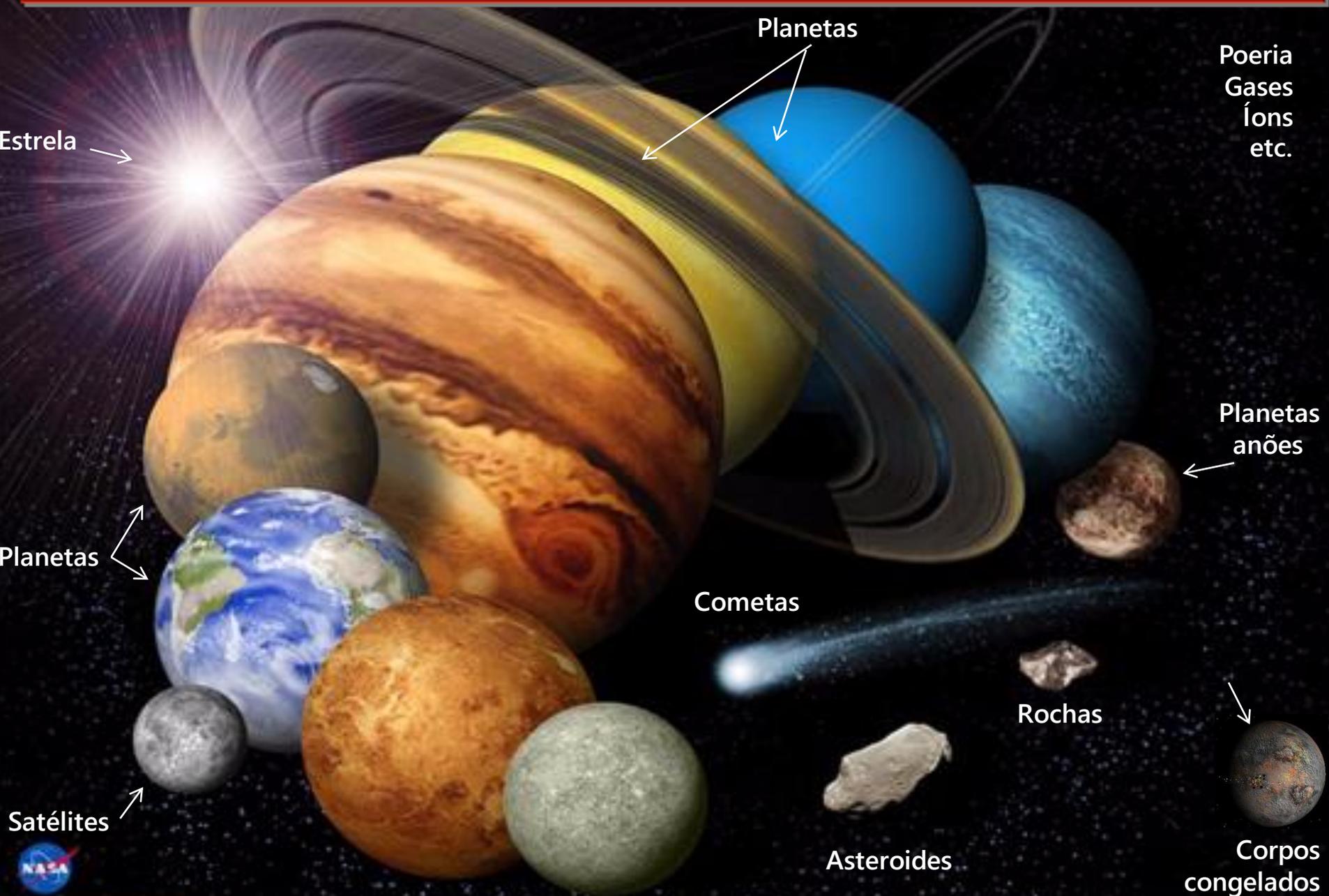
PRC99-05a • STScI OPO
D. Padgett (IPAC/Caltech), W. Brandner (IPAC), K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

PRC99-05b • STScI OPO
C. Burrows and J. Krist (STScI), K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

Evolução do Disco Protoplanetário



O Sistema Solar

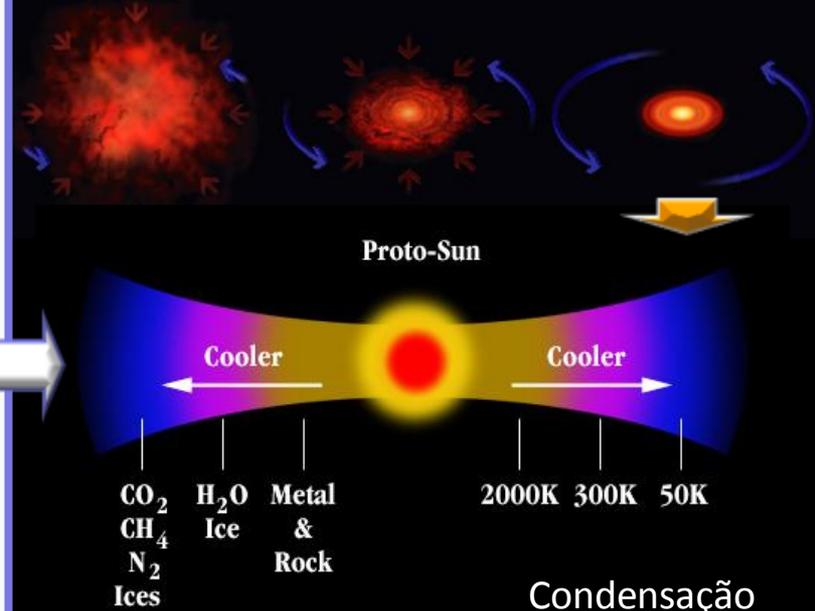


Formação do Sistema Solar

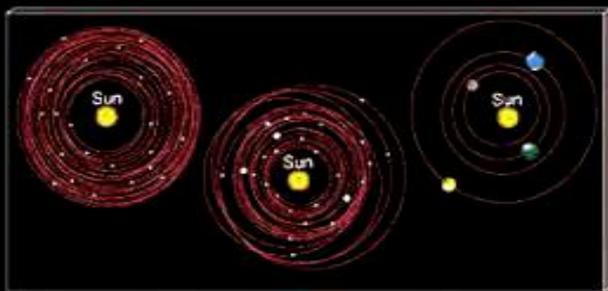
Matéria da Nebulosa Solar

	Metals	Rocks	Hydrogen Compounds	Light Gases
Examples				
	iron, nickel, aluminum	silicates	water (H ₂ O) methane (CH ₄) ammonia (NH ₃)	hydrogen, helium
Typical Condensation Temperature	1,000–1,600 K	500–1,300 K	<150 K	(do not condense in nebula)
Relative Abundance (by mass)	• (0.2%)	▪ (0.4%)	■ (1.4%)	■ (98%)

Colapso Gravitacional & Disco Protoplanetário

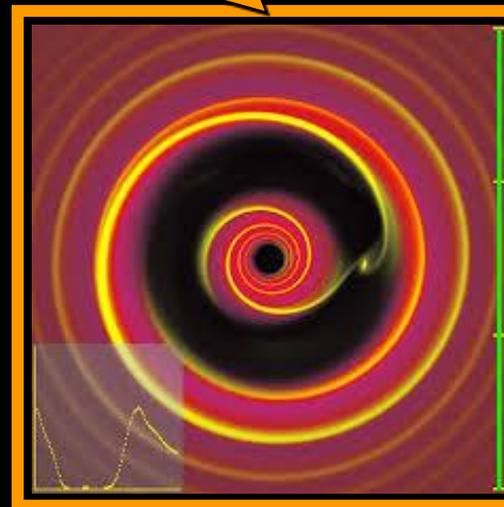


Collision of Planetesimals In A Protoplanetary Disk



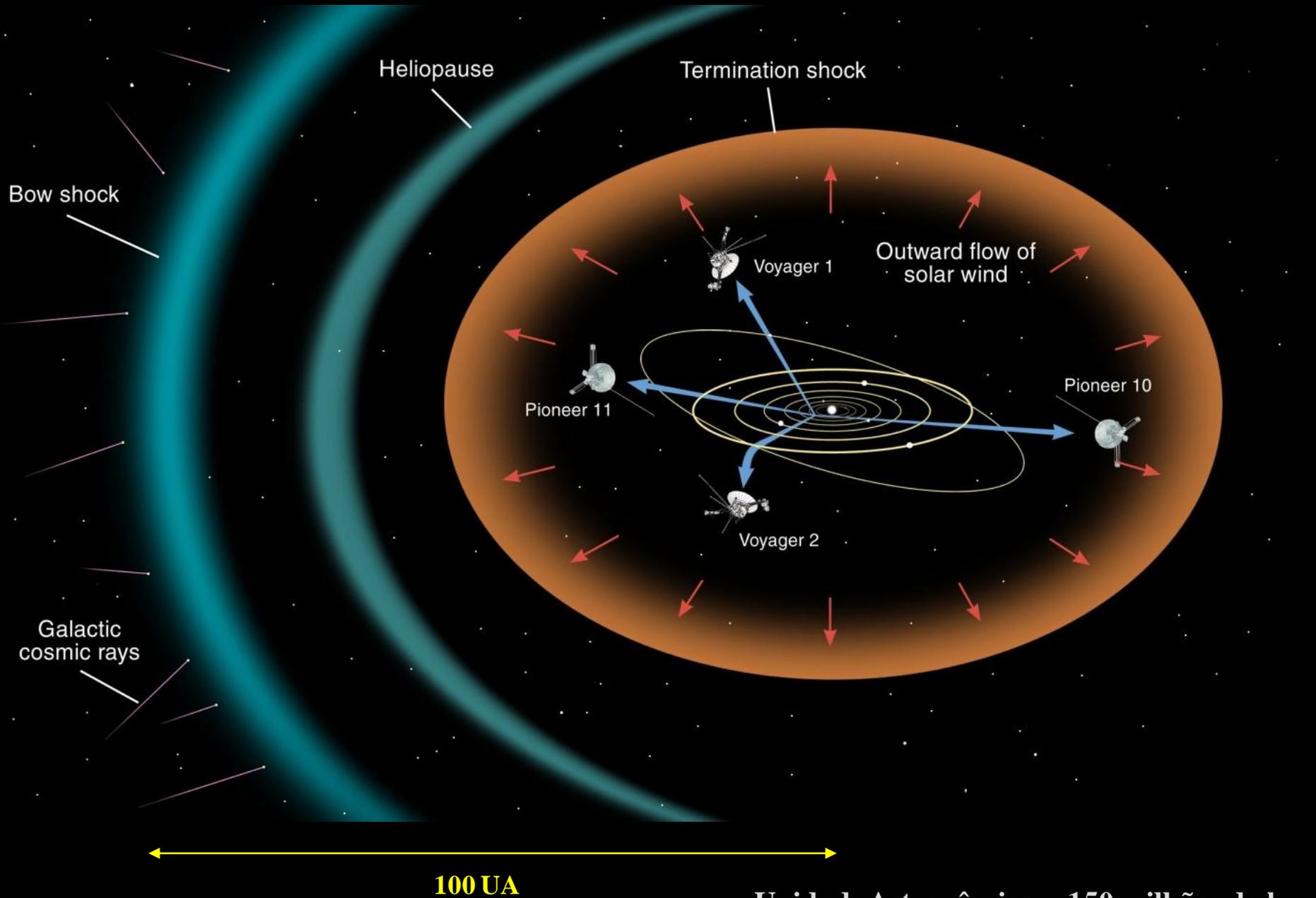
Acreção

Acúmulo gradativo de poeira rochosa. Processo lento

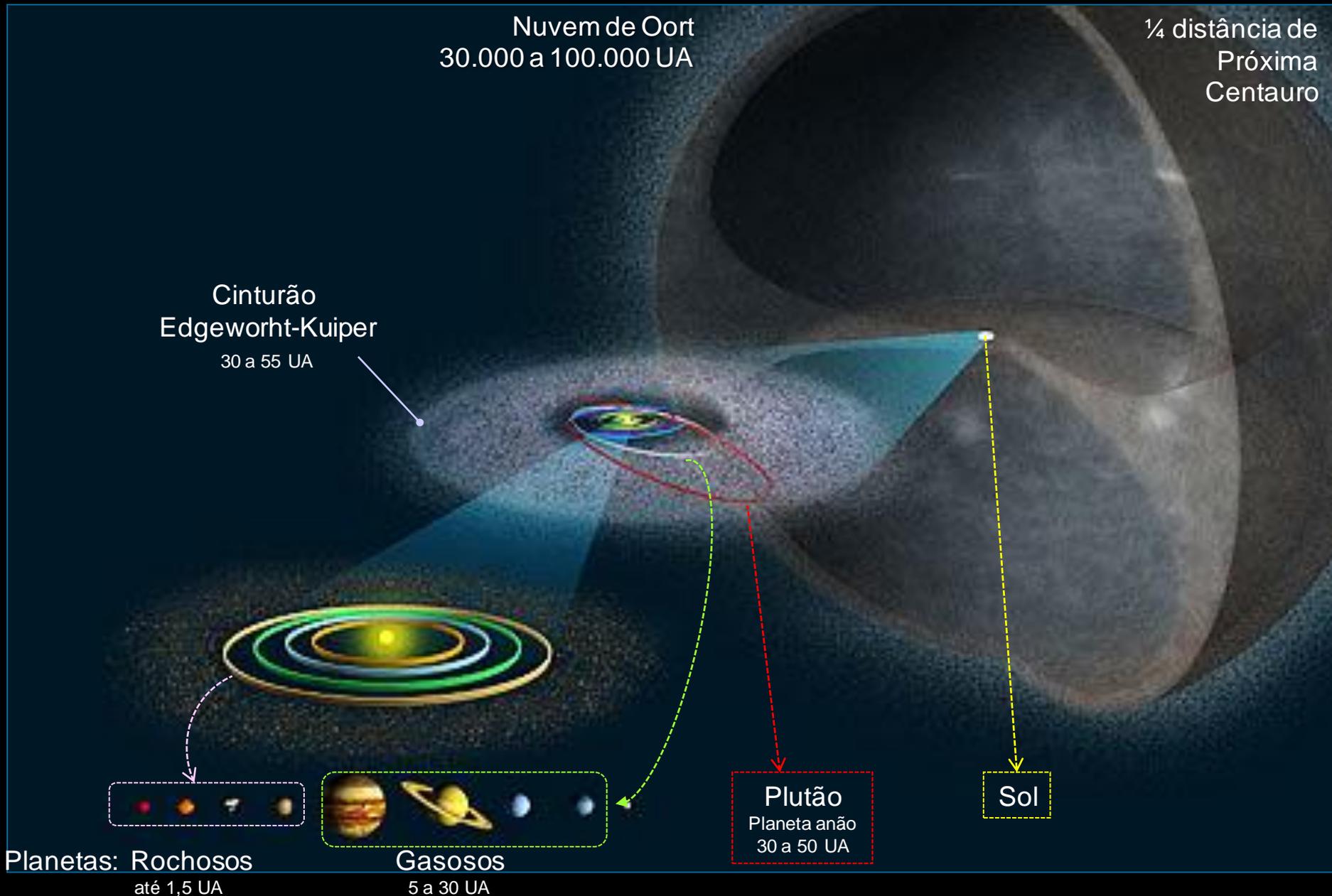


Colapso Gasoso. Processo rápido

A bolha solar - Heliosfera



Tamanho e forma do Sistema Solar



Os Planetas



Rochosos, Telúricos ou Terrestres

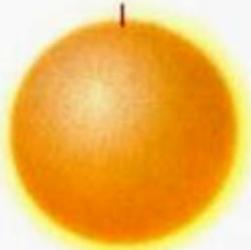
Gasosos, Jovianos ou Gigantes

* valores normalizados para a Terra

	<i>Mercúrio</i>	<i>Vênus</i>	<i>Terra</i>	<i>Marte</i>	<i>Júpiter</i>	<i>Saturno</i>	<i>Urano</i>	<i>Netuno</i>
<i>Raio*</i>	0,38	0,95	1	0,53	11,21	9,45	4	3,88
<i>Massa*</i>	0,055	0,814	1	0,104	317,7	99,66	14,53	17,06
<i>Densid.</i>	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,3	1,6
<i>Atmosf.</i>		CO ₂ (96) N(3)	N(78) O(21)	CO ₂ (95) N(3)	H(73) He(20)	H(78) He(20)	H,He(15) H ₂ O,CH ₄ NH ₃ (60)	H,He(10) H ₂ O,CH ₄ NH ₃ (60)
<i>Satélites</i>			1	2	63	56	27	13
<i>Distânc*</i>	0,39	0,72	1	1,52	5,2	9,55	19,19	30,11

Os parâmetros físicos dos planetas permitem dividi-los em dois grupos básicos bem distintos.

A estrutura do Sistema Solar



ROCHOSOS

0° 177.4° 23.5° 25.2°



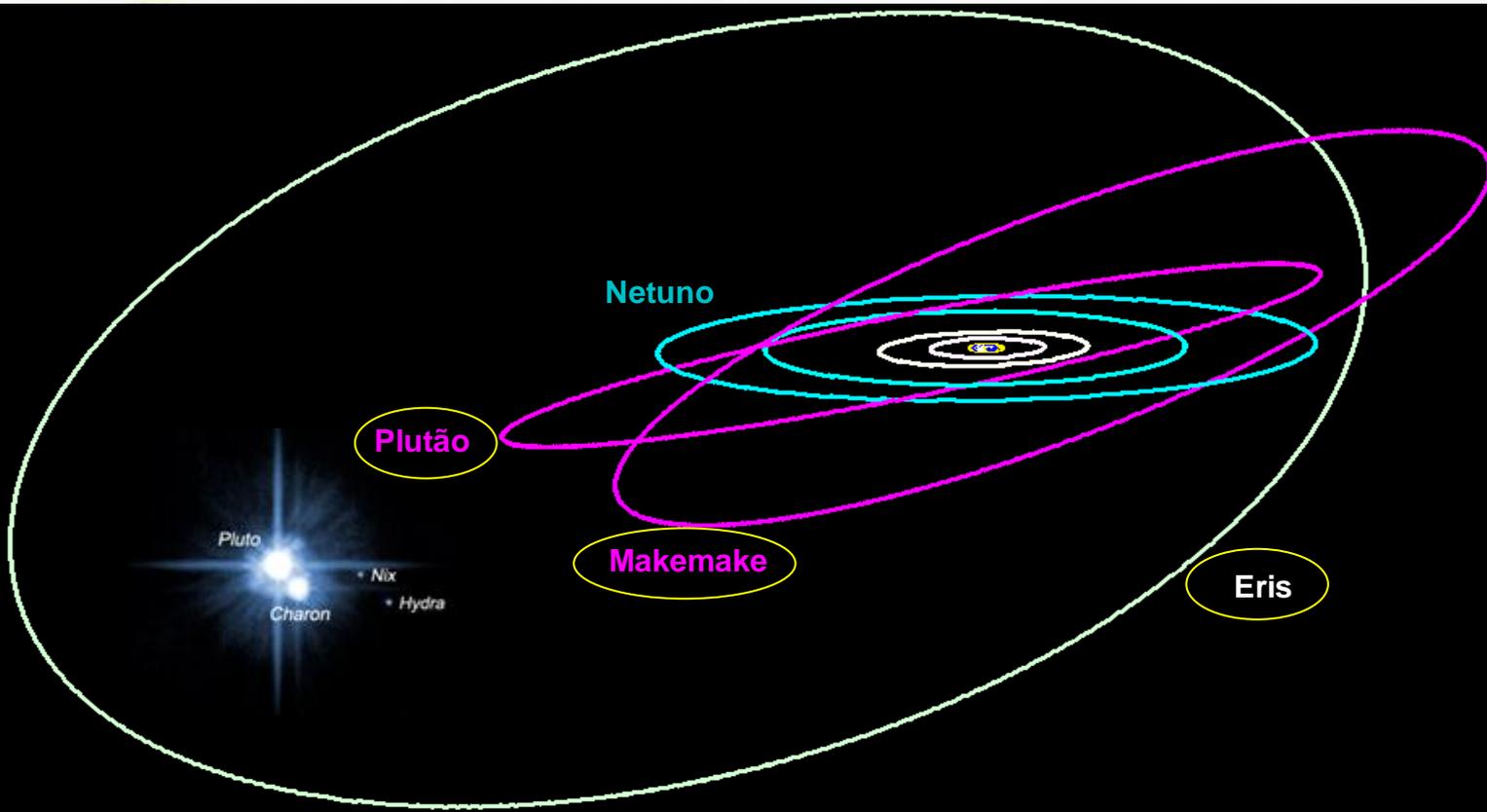
Mercury Venus Earth Mars Asteroids

GASOSOS

3.1° 26.7° 97.9° 28.3° 122.5°

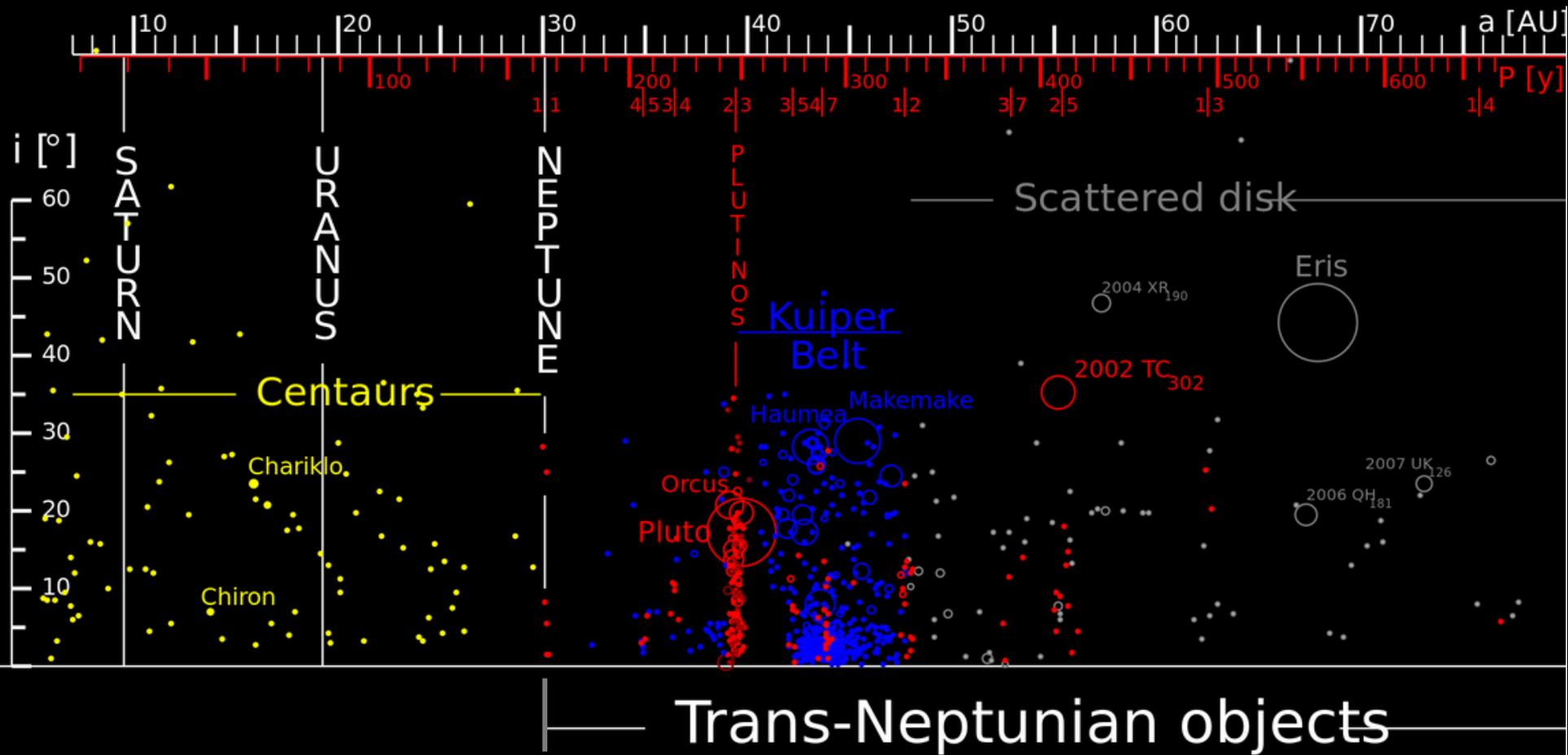


Jupiter Saturn Uranus Neptune Pluto

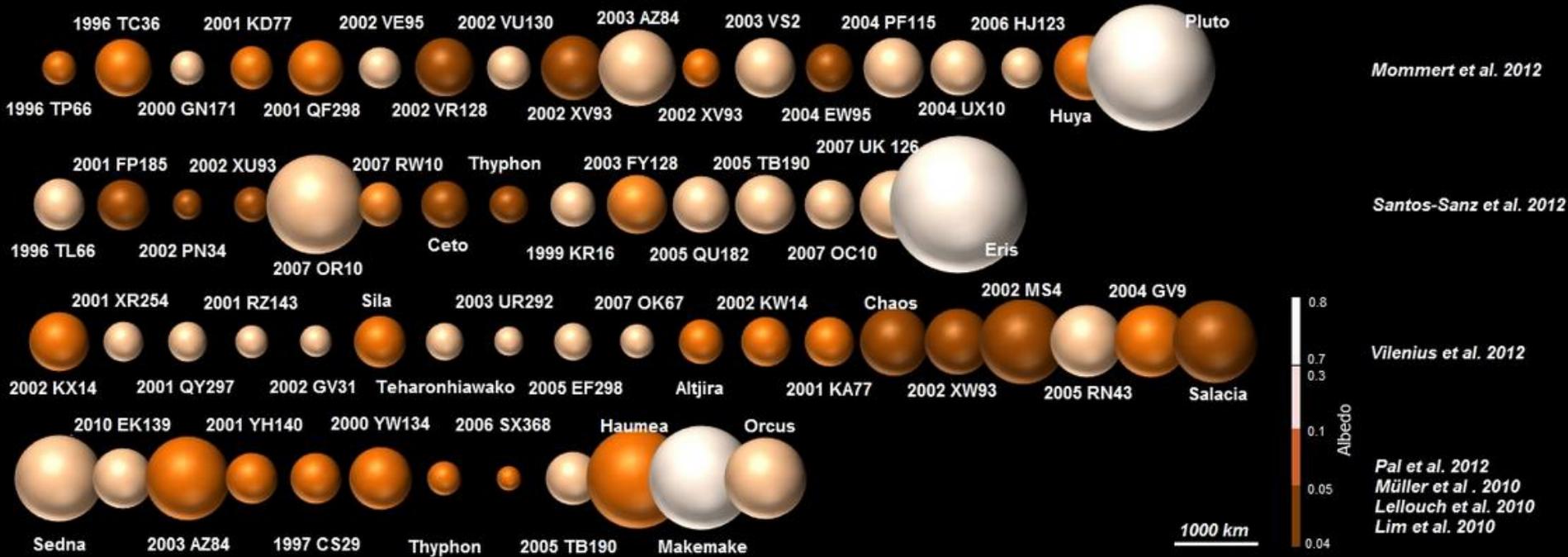


↑
PLANETAS ANÕES

Região Transnetuniana



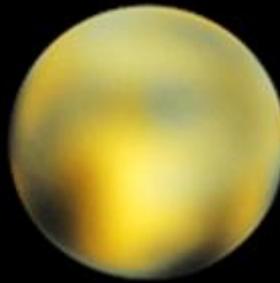
Região Transnetuniana



Earth's moon to scale



ERIS



PLUTO



HAUMEA



MAKEMAKE



CERES

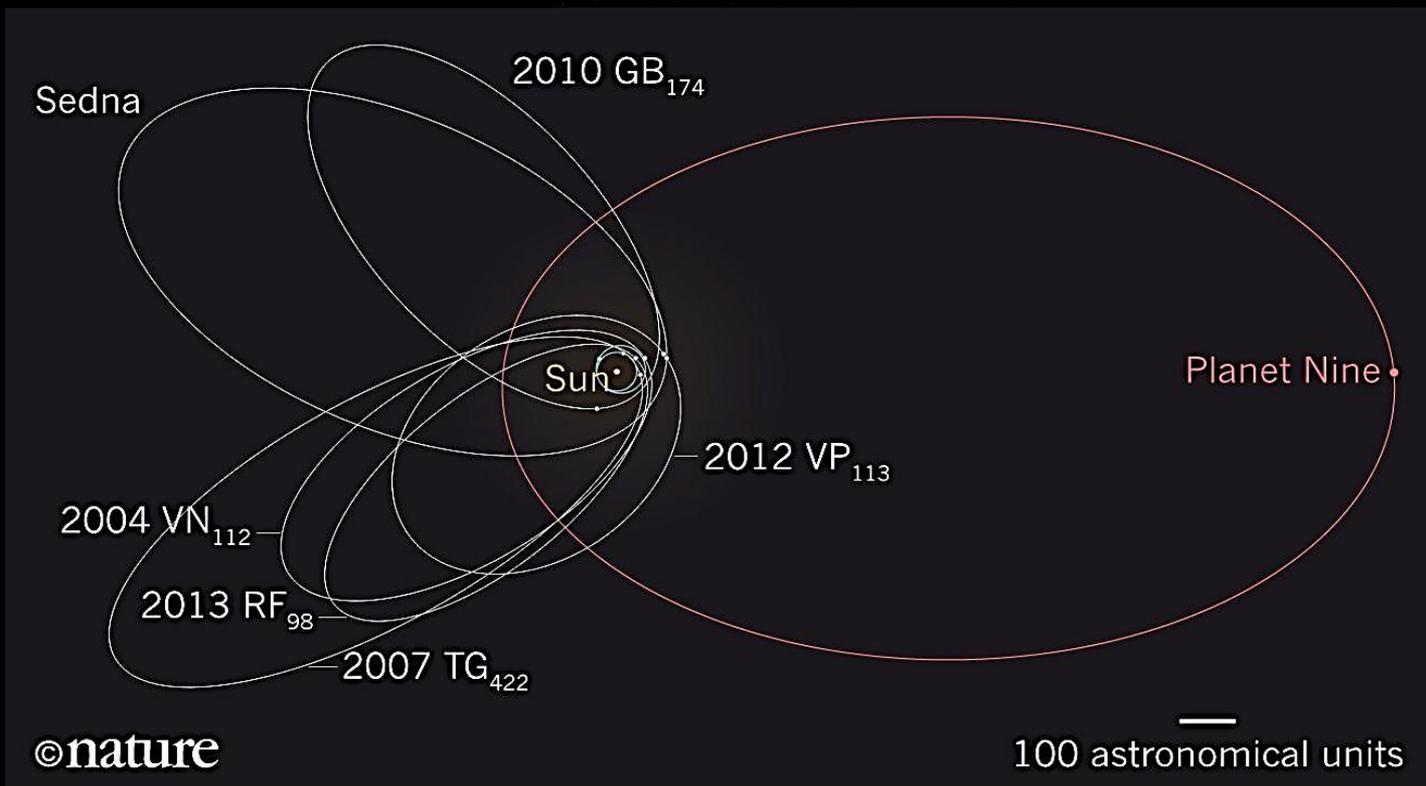
Nono planeta?



Mike Brown

Massa: ~ 10 vezes a da Terra
Período: de 10.000 a 20.000 anos

A existência do nono planeta poderia explicar as formas estranhas das órbitas de vários objetos (órbitas em branco) do Cinturão de Kuiper



Mercúrio: o menor planeta solar

Questões a responder

Por que ele é tão denso?

Núcleo é 60% da massa, na Terra é ~30%

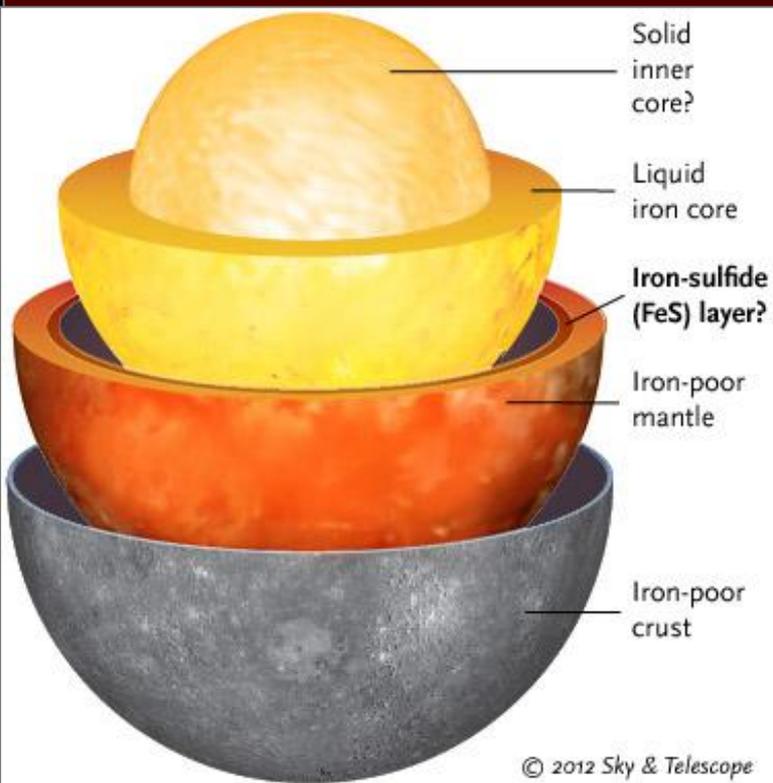
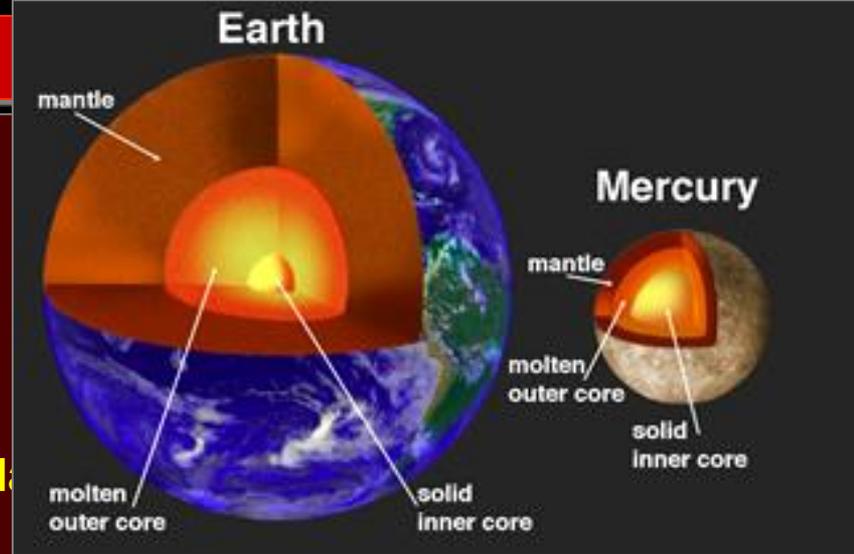
História geológica?

Apenas 45% de sua superfície é conhecida.

Natureza do campo magnético pouco conhecida.

Estrutura do núcleo?

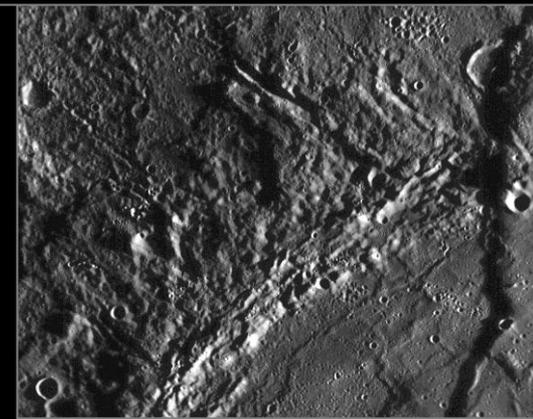
O que é o material brilhante nos polos?



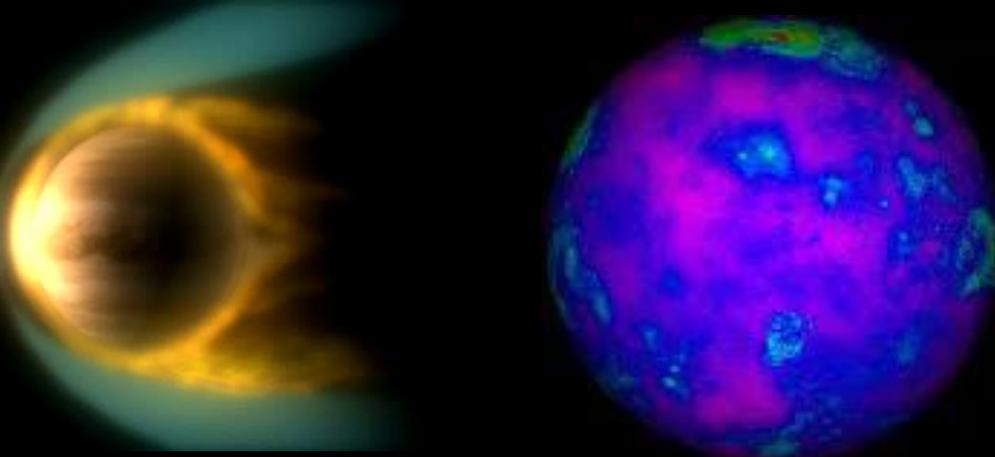
Que voláteis são importantes ?

H e He provém do Sol, mas e O, Na, K, Ca, Mg?

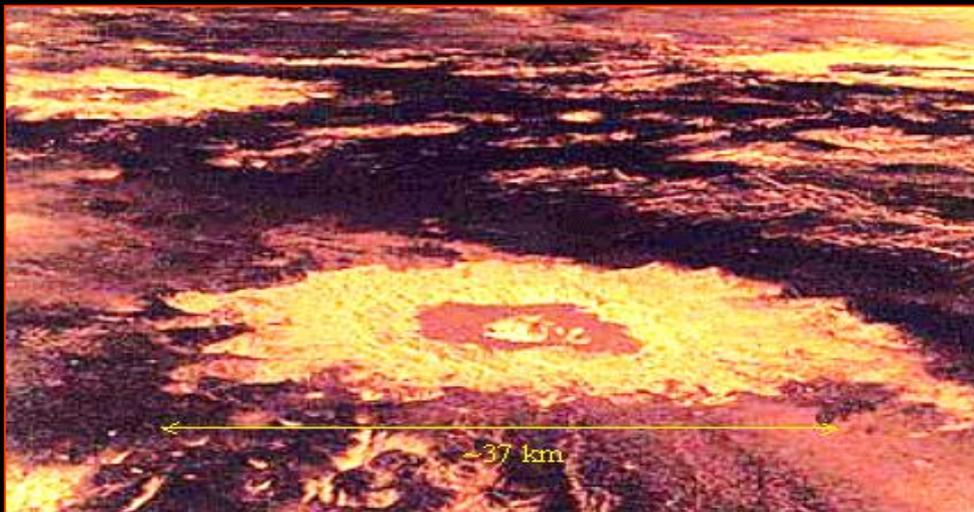
Excesso de Na na superfície: como surgiu?



Vênus – o vizinho inóspito

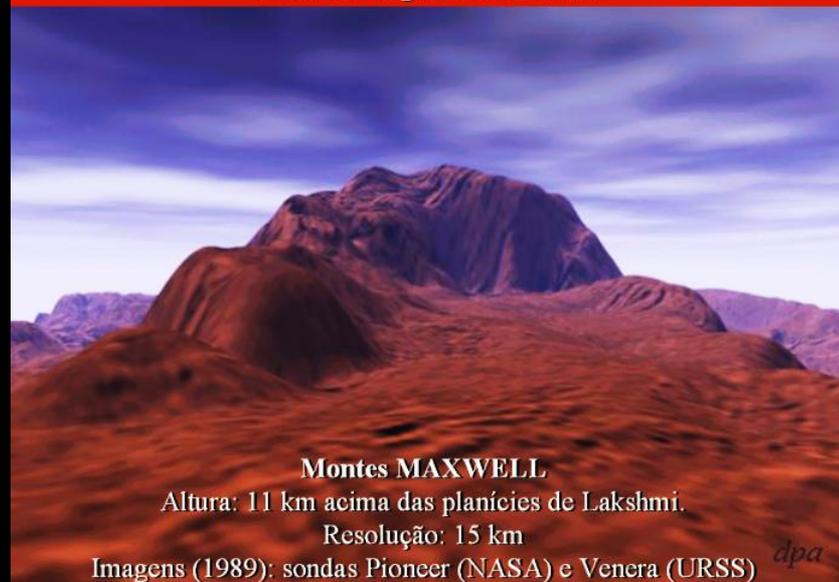


Vento solar arranca a atmosfera



Temperatura da superfície = 460°C
80% do terreno é basáltico
Não há indícios de vulcanismo superficial
Idade ~ 500 milhões de anos

Vênus: região de Ishtar



Montes MAXWELL

Altura: 11 km acima das planícies de Lakshmi.

Resolução: 15 km

Imagens (1989): sondas Pioneer (NASA) e Venera (URSS)

Vênus: região de Afrodite



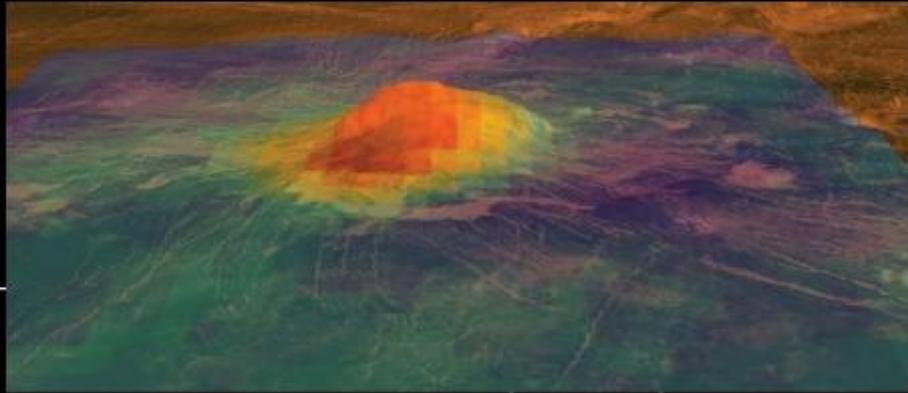
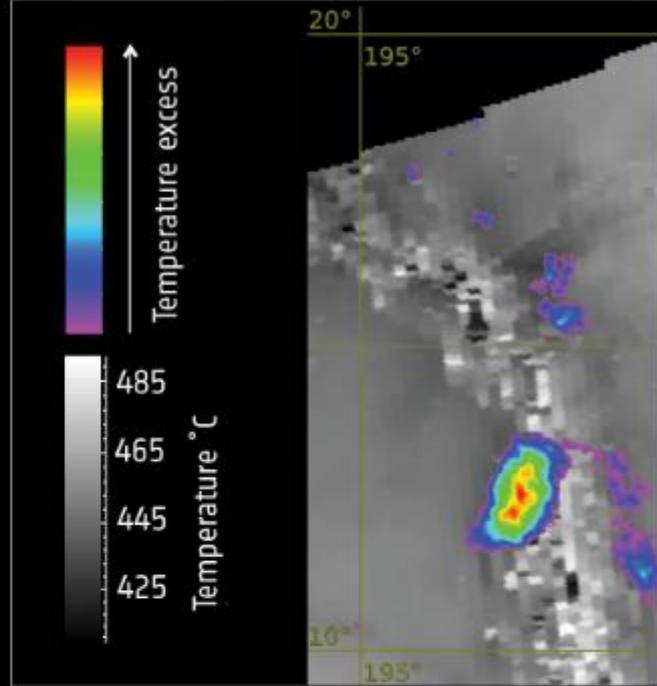
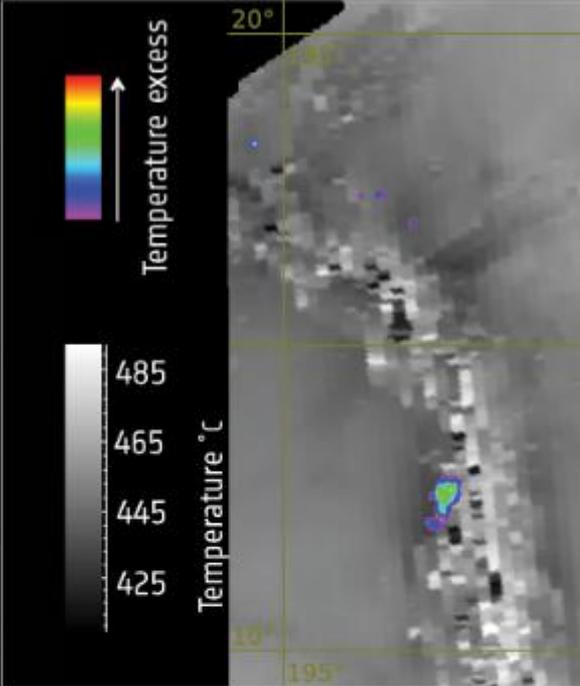
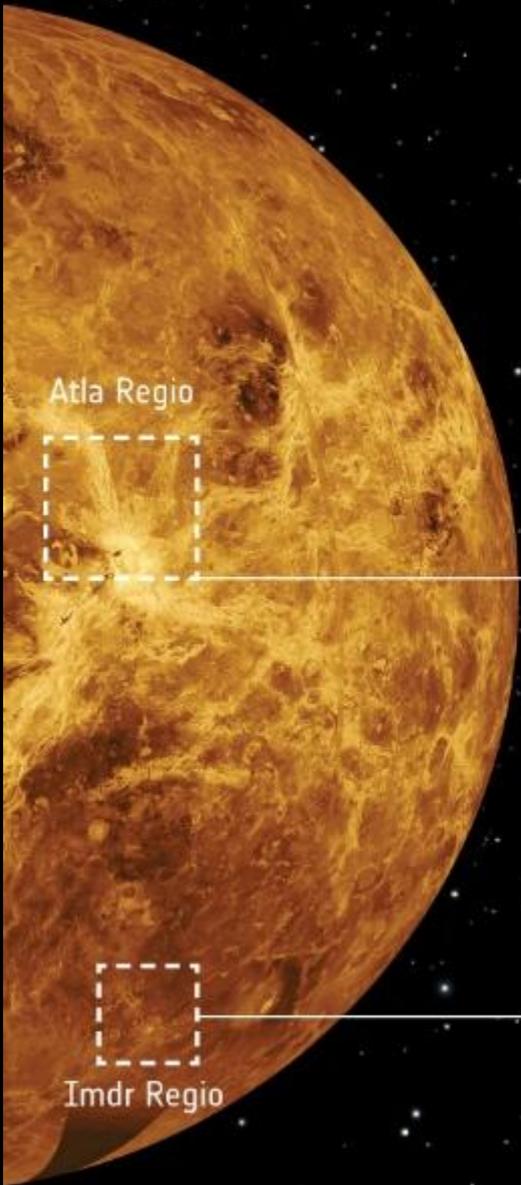
Monte MAAT

Maior vulcão (ativo?) local.

Altura: ~ 8 km acima do raio médio de Vênus.

Resolução: 75 metros!

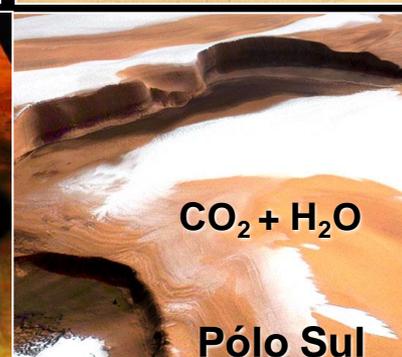
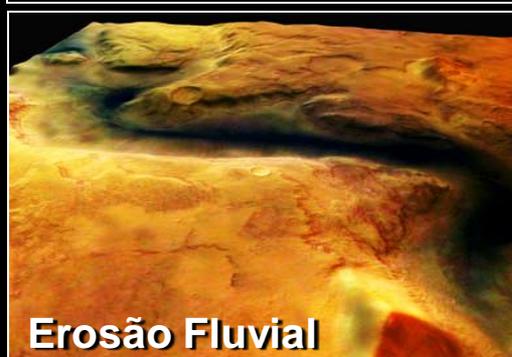
Vulcanismo ?



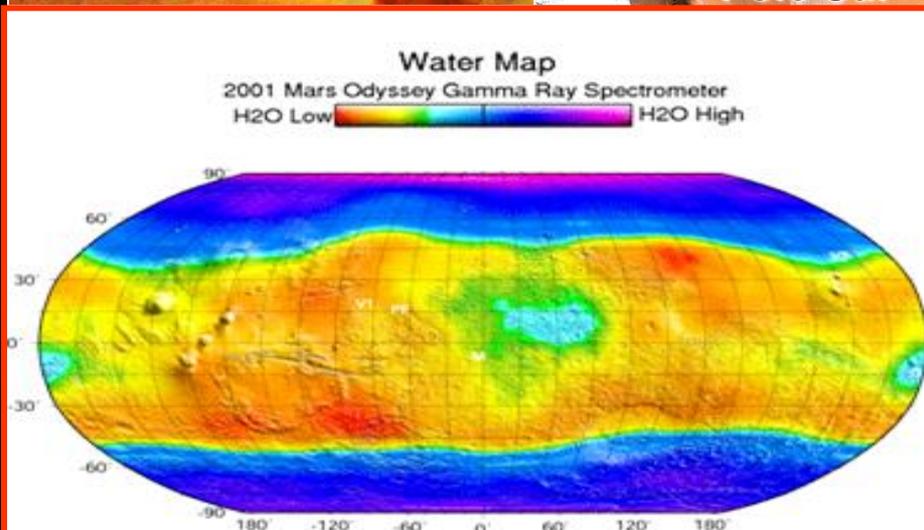
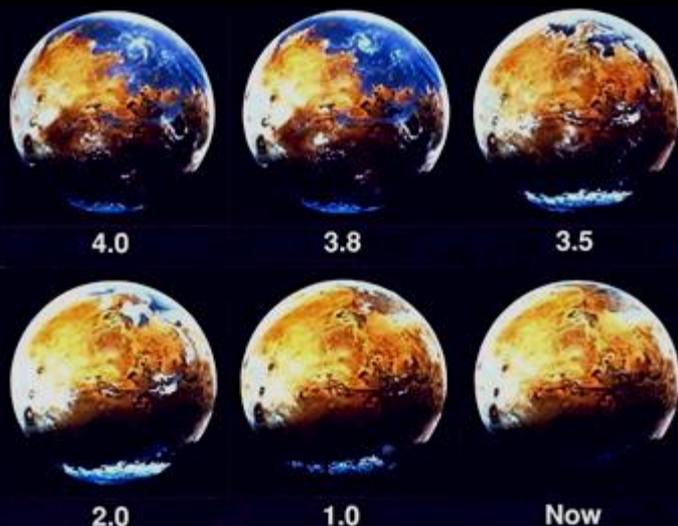
Marte: nem sempre foi frio e inóspito



Phoenix



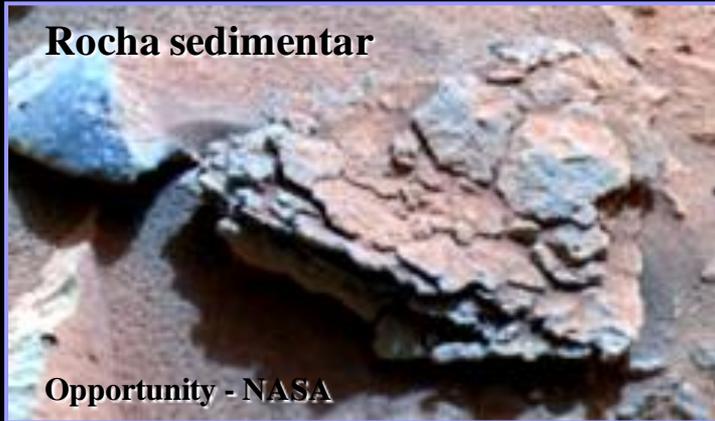
Possível história da água marciana em bilhões de anos.



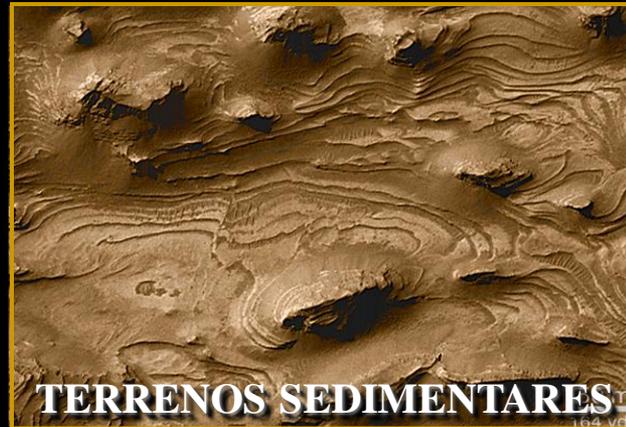
Vestígios passados de água

Já houve clima favorável à existência de água líquida na superfície.

Rocha sedimentar



Opportunity - NASA



TERRENOS SEDIMENTARES

Ilhas formadas por erosão fluvial



Erosão Fluvial

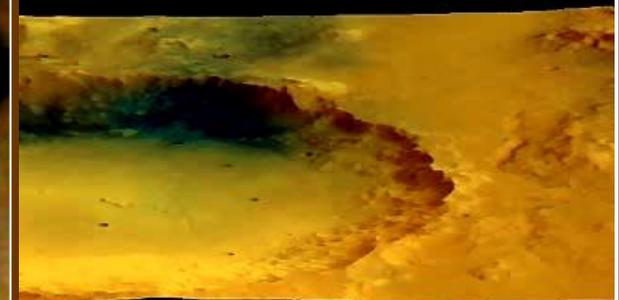
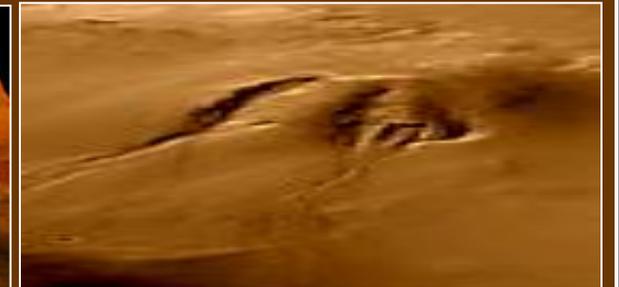
Vale Reull
(41° S, 101° L),
visto de 273 km
acima do solo.
Canal formado
no passado por
água corrente

15/01/2004 - Mars
Express
ESA/DLR/FU Berlin
(G. Neukum)



Terra

Evidência de escoamento

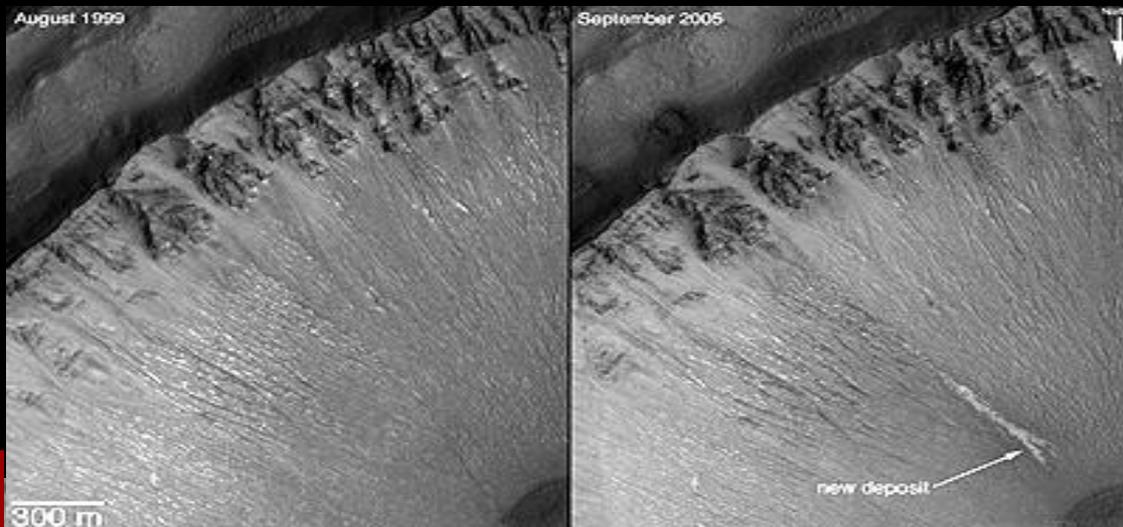


Mars Express - ESA

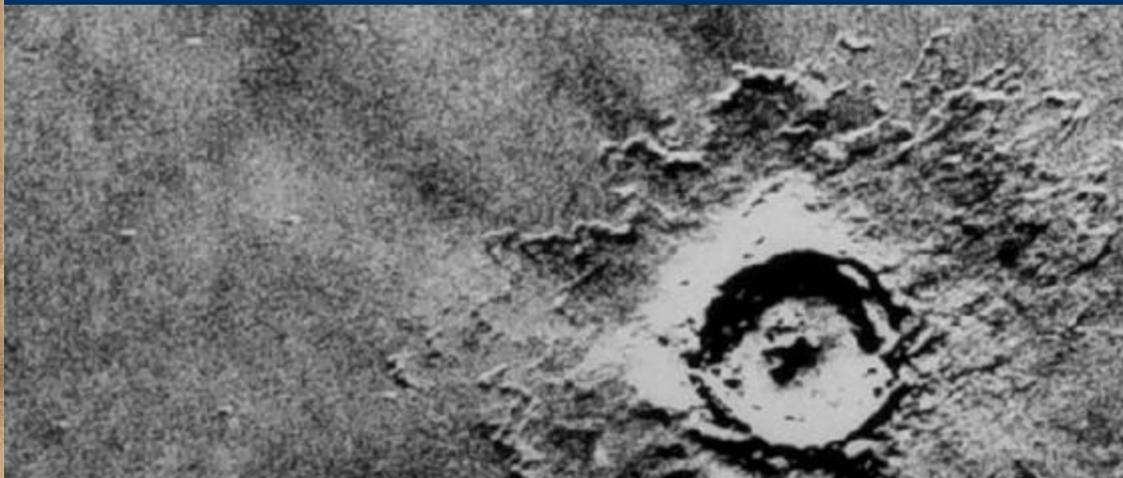
Vestígios de água



Newton Basin on Mars. Malin Space Science Systems, MGS, JPL, NASA



Cratera jovem



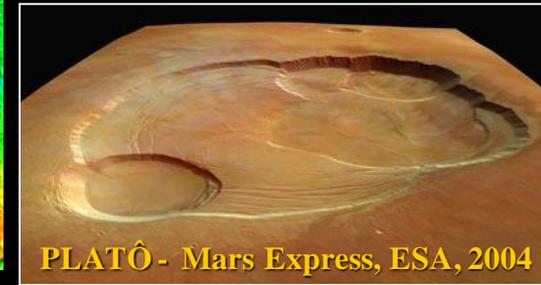
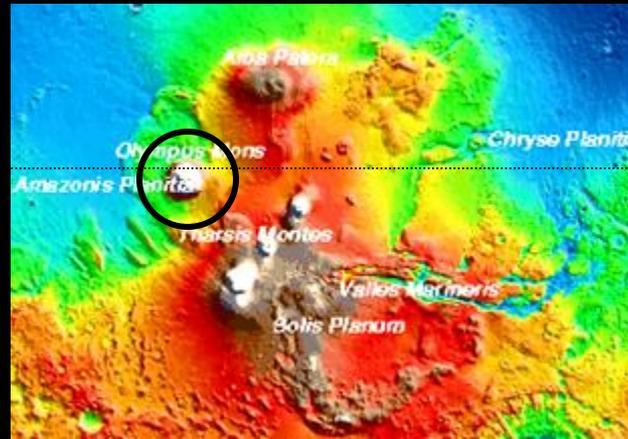
Derretido pelo calor do impacto e arremessado como lama, o material do solo resfria e adquire forma típica.

Água brota do sub-solo, escorre para a base e vaporiza?

Vulcanismo intenso, no passado

Monte Olimpo: o maior vulcão (extinto) do Sistema Solar

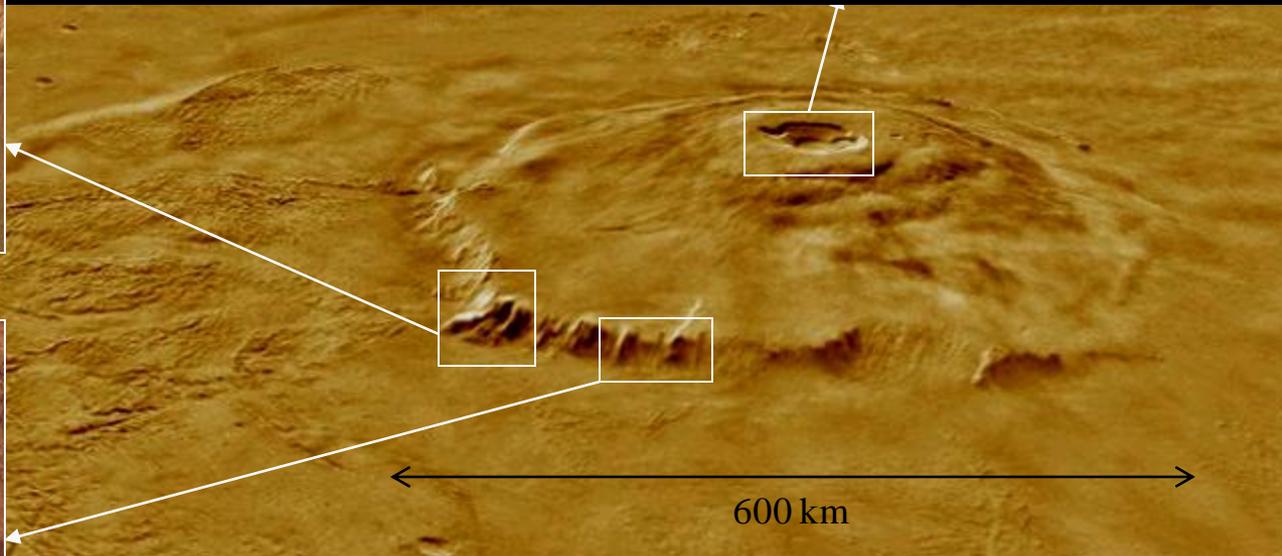
- base: 600 km
- altura: 27 km



PLATÔ - Mars Express, ESA, 2004

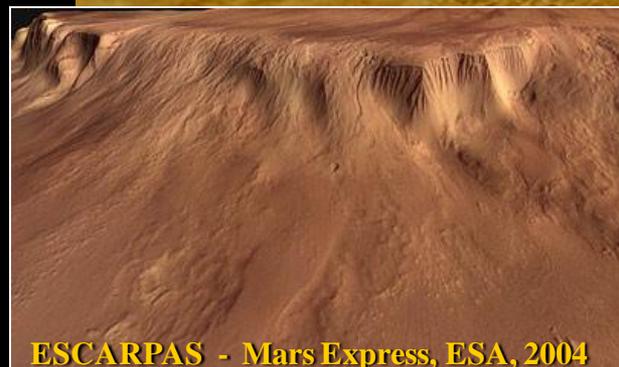


ESCARPAS - Mars Express, ESA, 2004



600 km

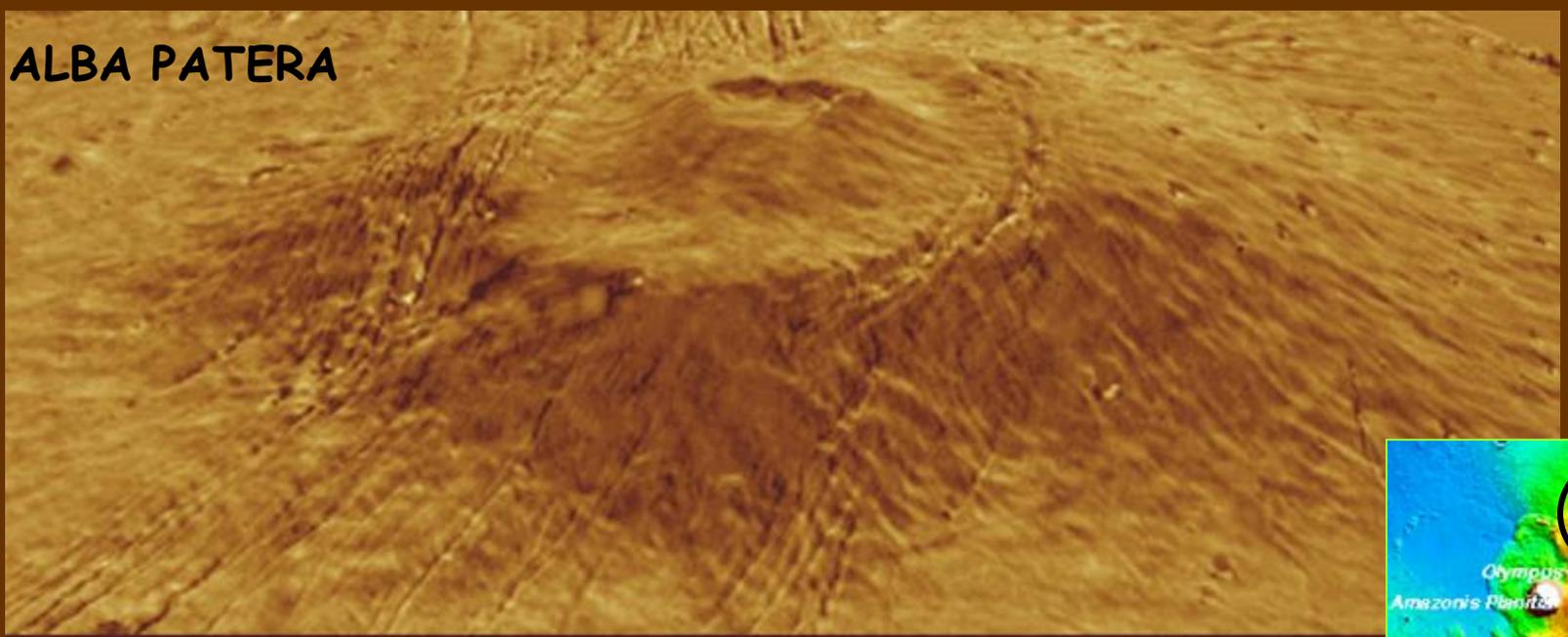
Fluxos de lavas de diferentes idades, mostram que as erupções ocorreram por longo período (centenas de milhões de anos).



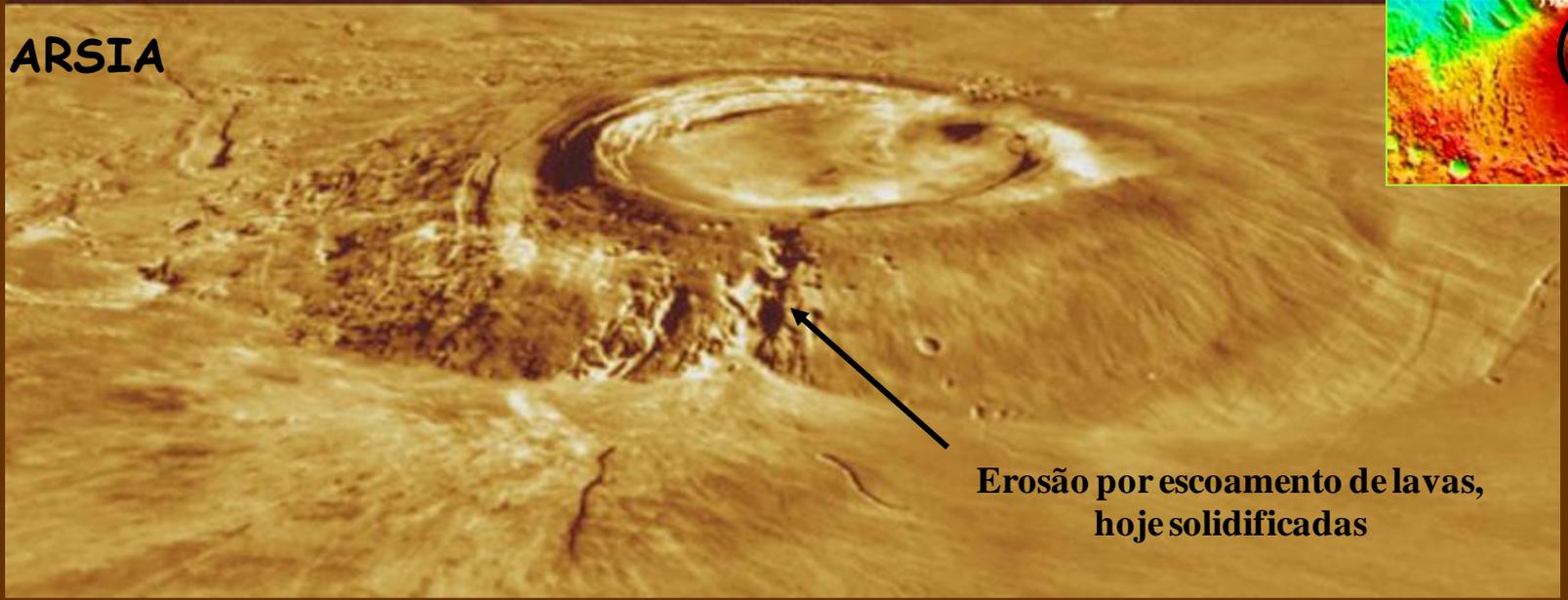
ESCARPAS - Mars Express, ESA, 2004

Vulcanismo intenso, no passado

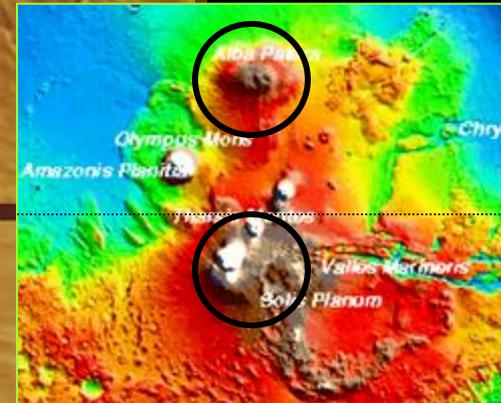
ALBA PATERA



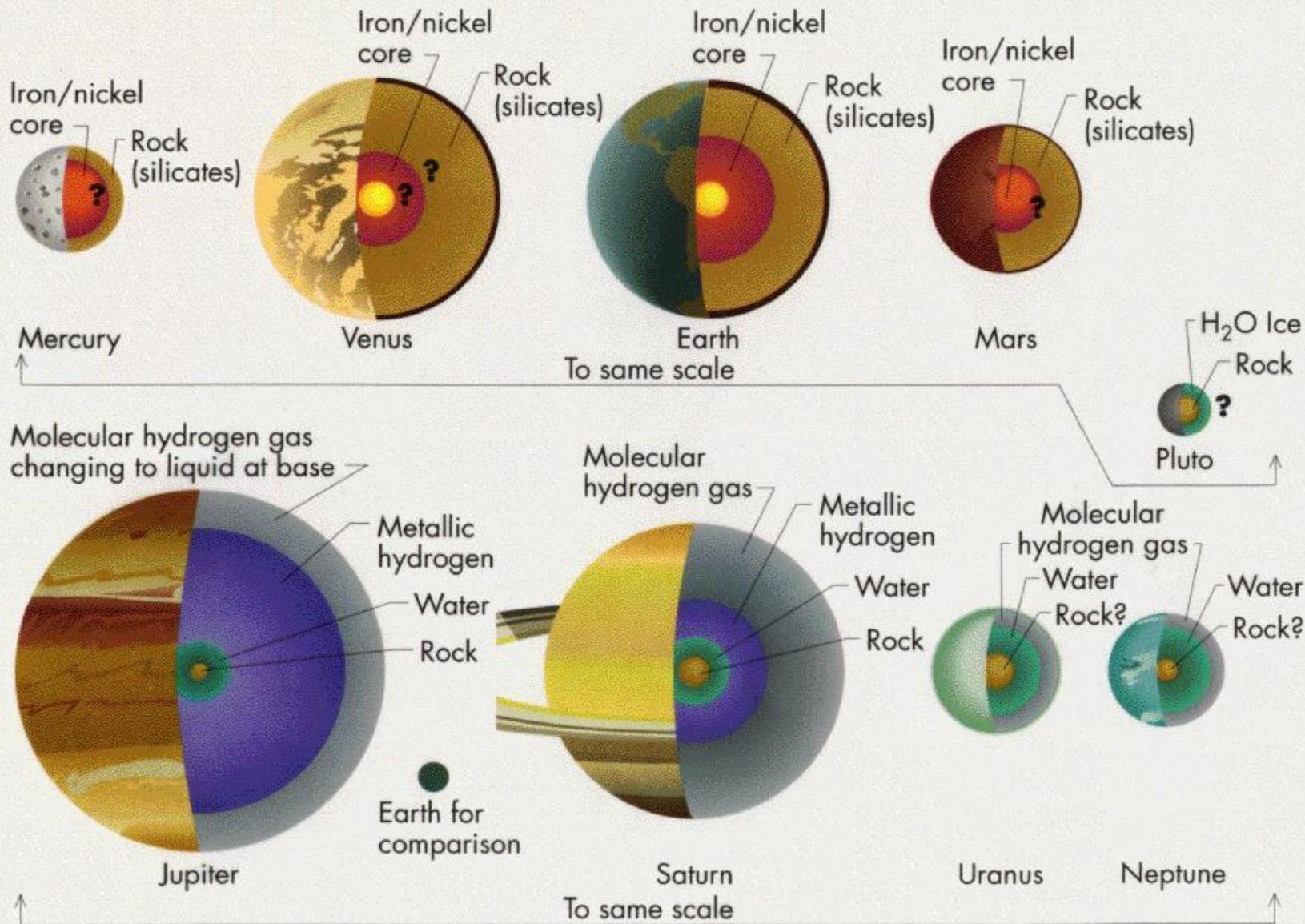
ARSIA



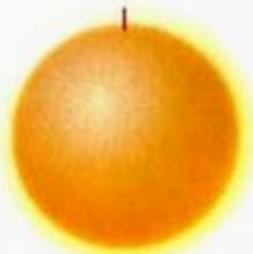
Erosão por escoamento de lavas,
hoje solidificadas



Interior dos planetas



Atmosferas dos planetas



Sun

ROCHOSOS

0° 177.4° 23.5° 25.2°



Mercury Venus Earth Mars

3.1°



Jupiter

26.7°



Saturn

97.9°



Uranus

28.3°



Neptune

122.5°



Pluto

$V_{\text{escape}} = 11,2 \text{ km/h}$

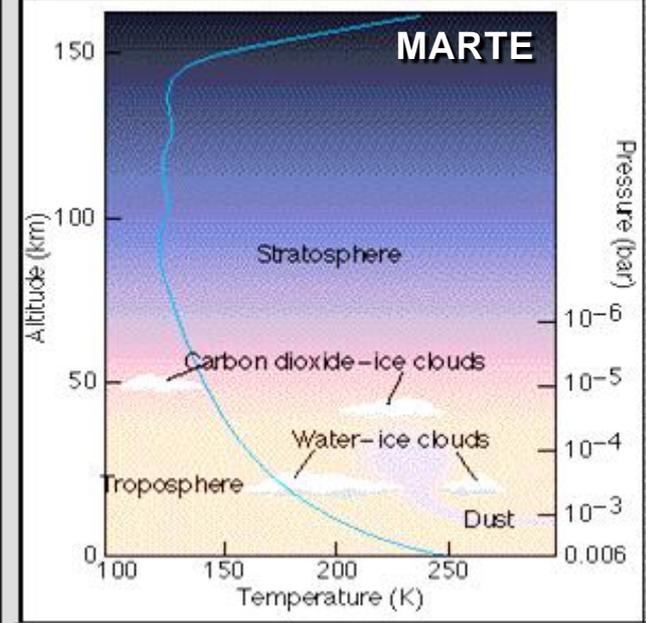
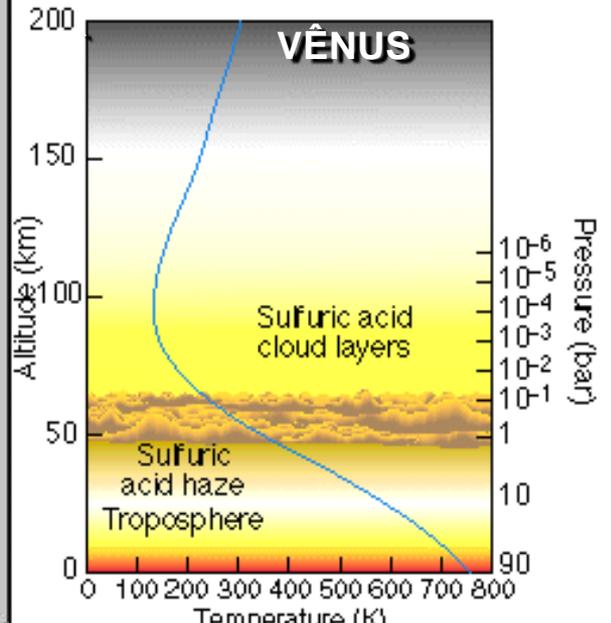
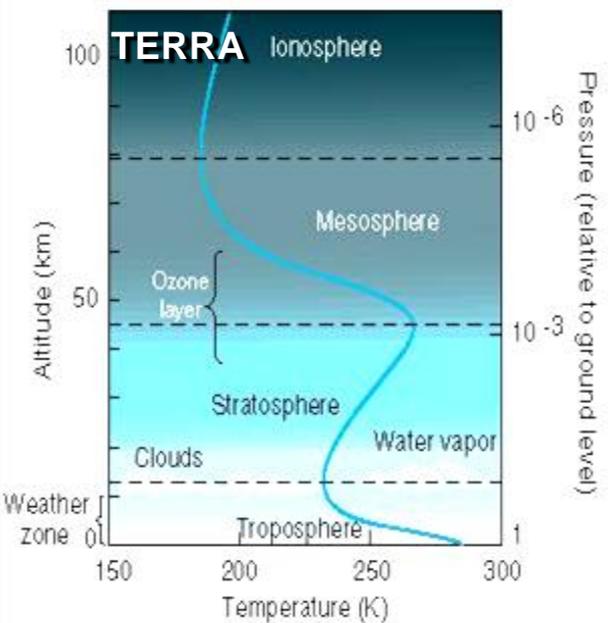
N (78%), O (21%),
 Ar (0,9%) CO_2 (0,03%)

$V_{\text{escape}} = 10,4 \text{ km/h}$

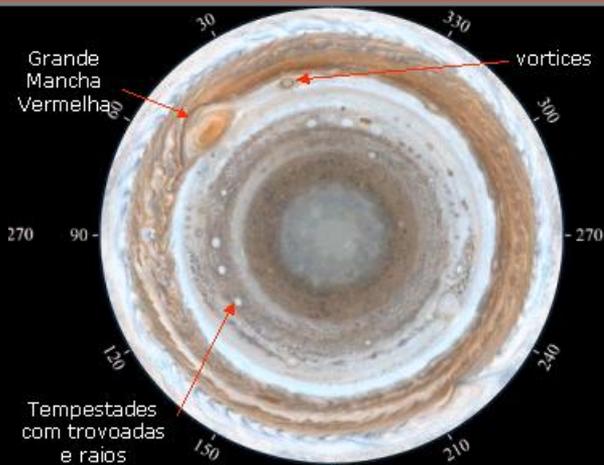
CO_2 (~96%), N (~3,5%), traços
de H_2O (vapor), CO , SO_2 , Ar .

$V_{\text{escape}} = 5 \text{ km/h}$

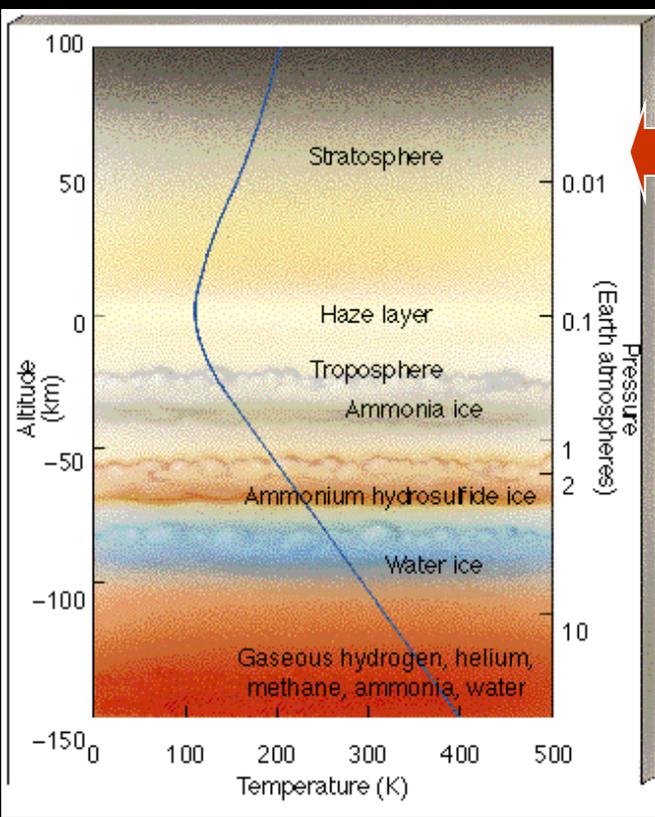
CO_2 (~95%), N (~2,7%),
traços de Ar , O , CO , H_2O .



Os planetas gasosos



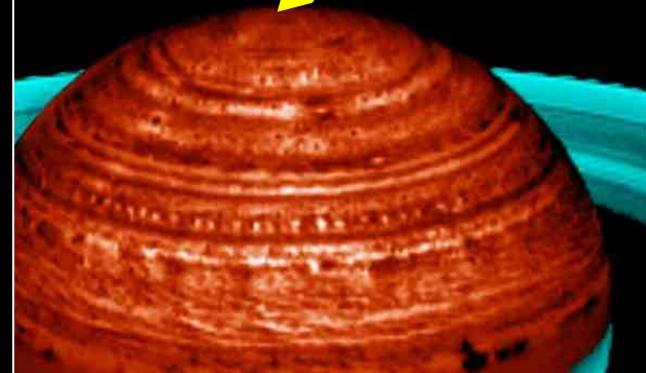
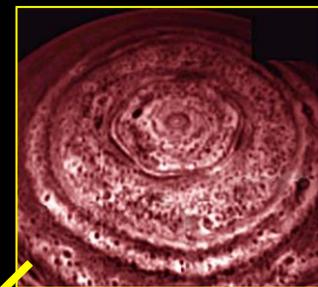
Grande Mancha Vermelha



JÚPITER
 $V_{\text{escape}} = 59,5 \text{ km/s}$
 H (~86,1), H_e (~13,8), traços de CH_4 , NH_3 e vapor de H_2O

SATURNO
 $V_{\text{escape}} = 35,5 \text{ km/s}$
 H (~92,4), H_e (~7,4), traços de CH_4 (~0,2), NH_3 (~0,02).

URANO E NETUNO
 H (~84), He (~14) e CH_4 (Urano: ~2%
 Netuno ~3%)
 Traços de NH_3 .



A região polar de Júpiter

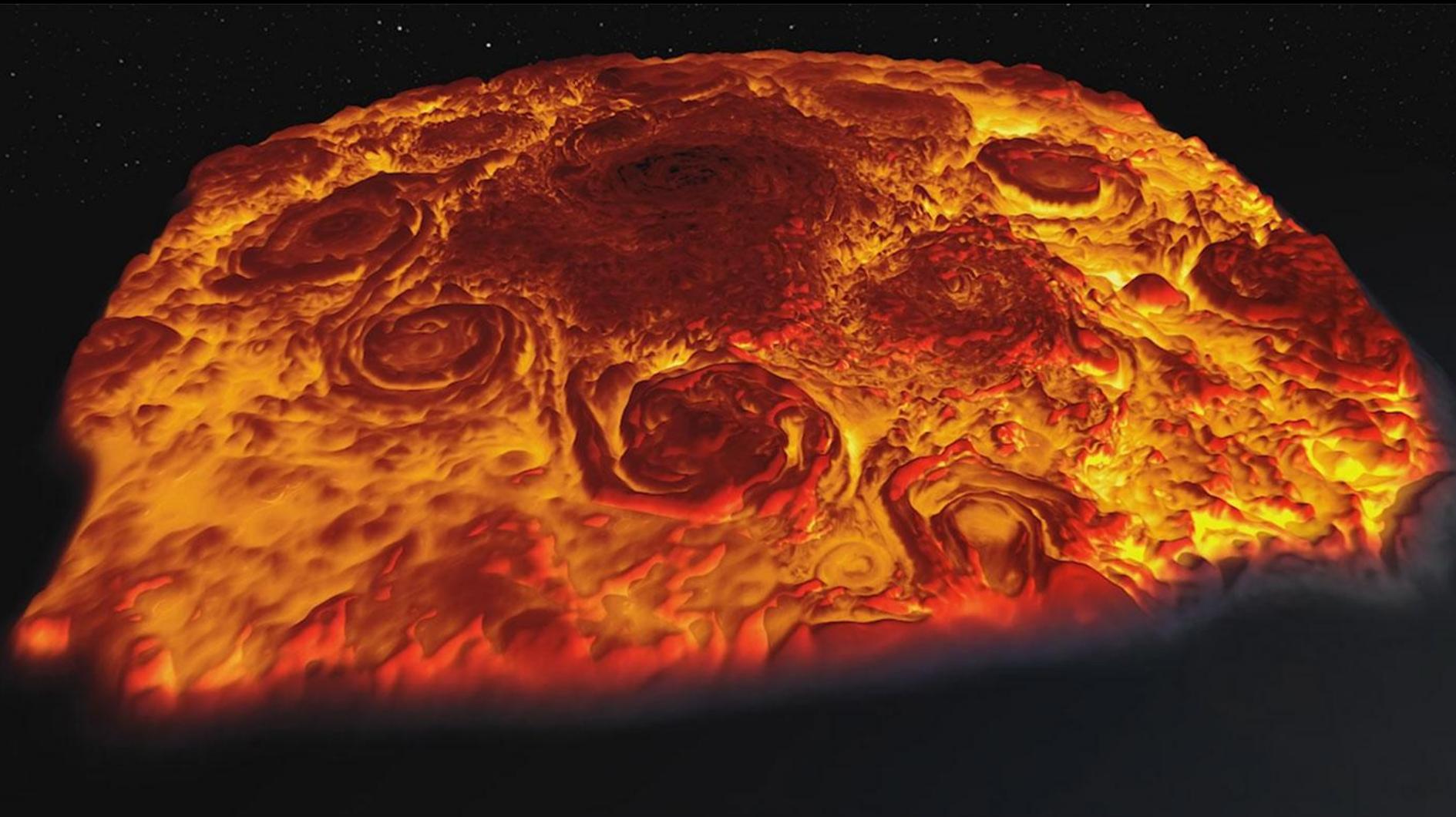
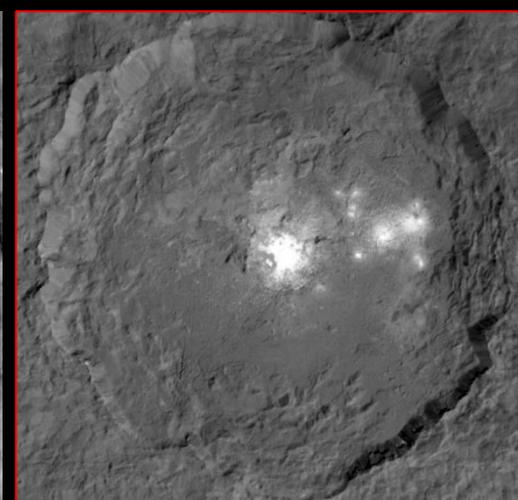
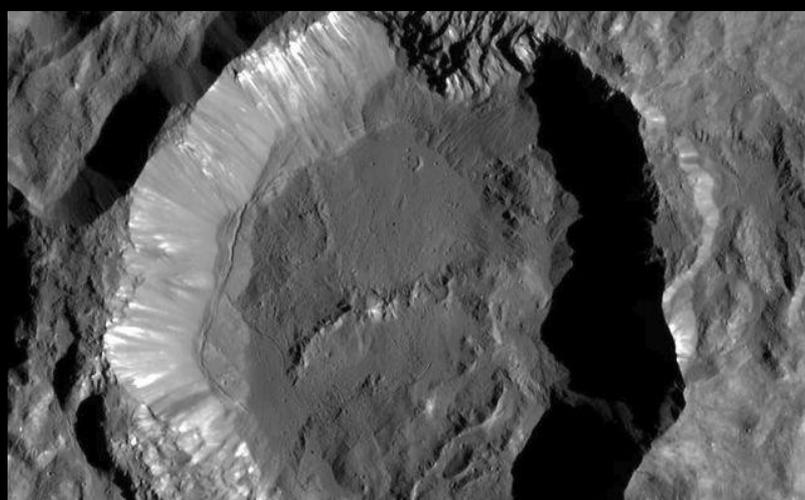
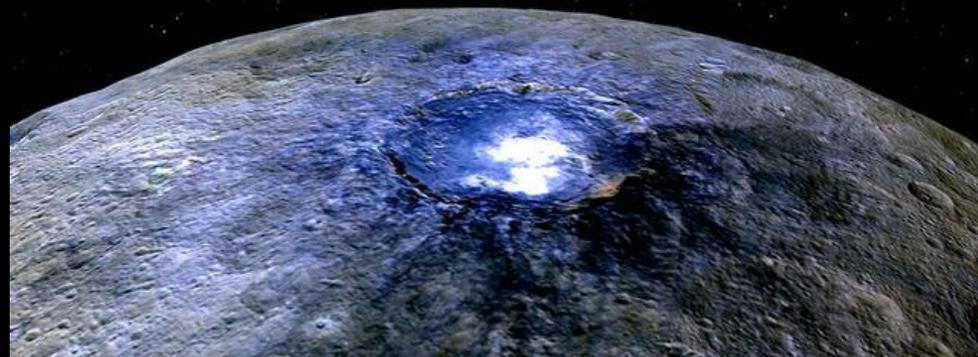
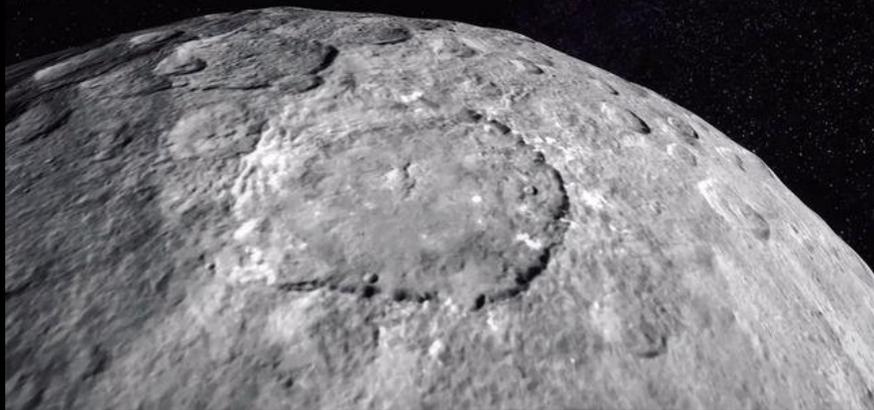


Imagem 3D em infravermelho mostrando ciclones e anticiclones densamente compactados que permeiam as regiões polares do planeta. Uma visão detalhada de um dínamo, ou motor, alimentando o campo magnético. NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM

<https://youtu.be/By6sZ6RGCEQ>

O planeta-anão Ceres



Características orbitais

Semieixo maior	2,7663 UA
Perélio	2,5468 UA
Afélio	2,9858 UA
Excentricidade	0,07934
Período orbital	4,599 anos

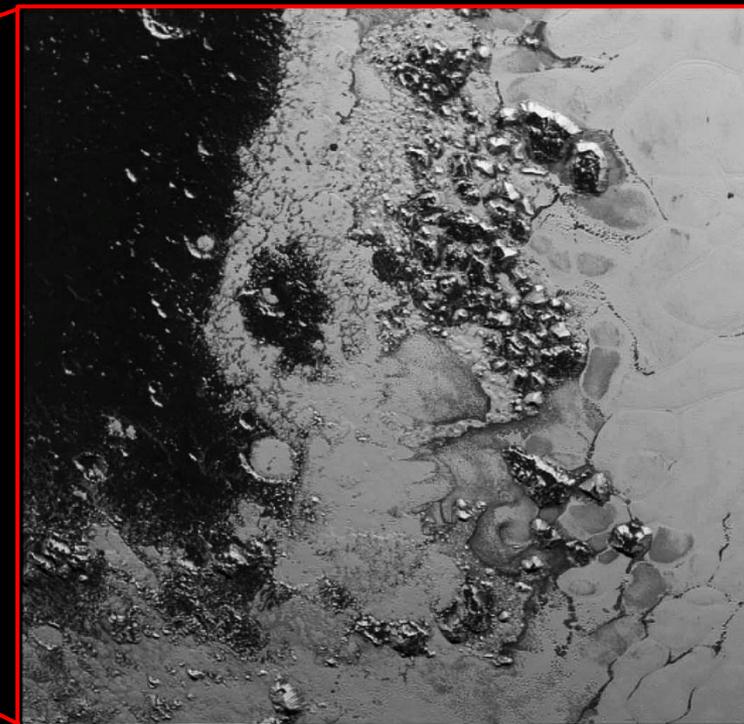
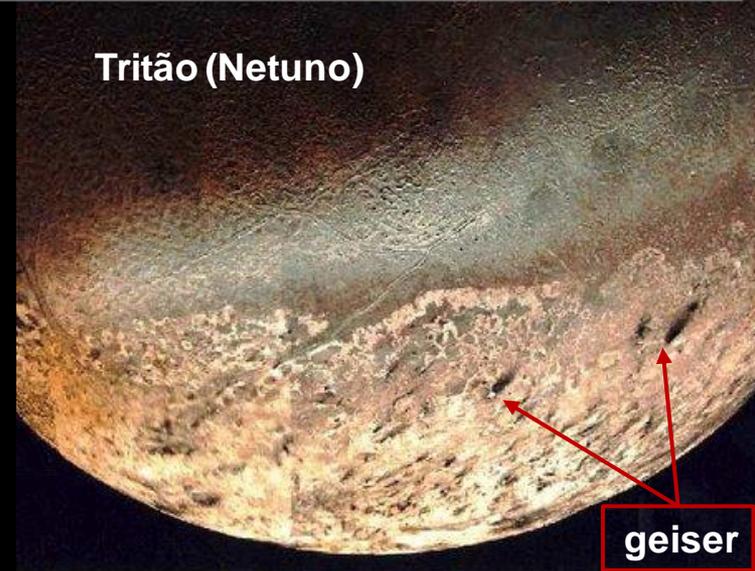
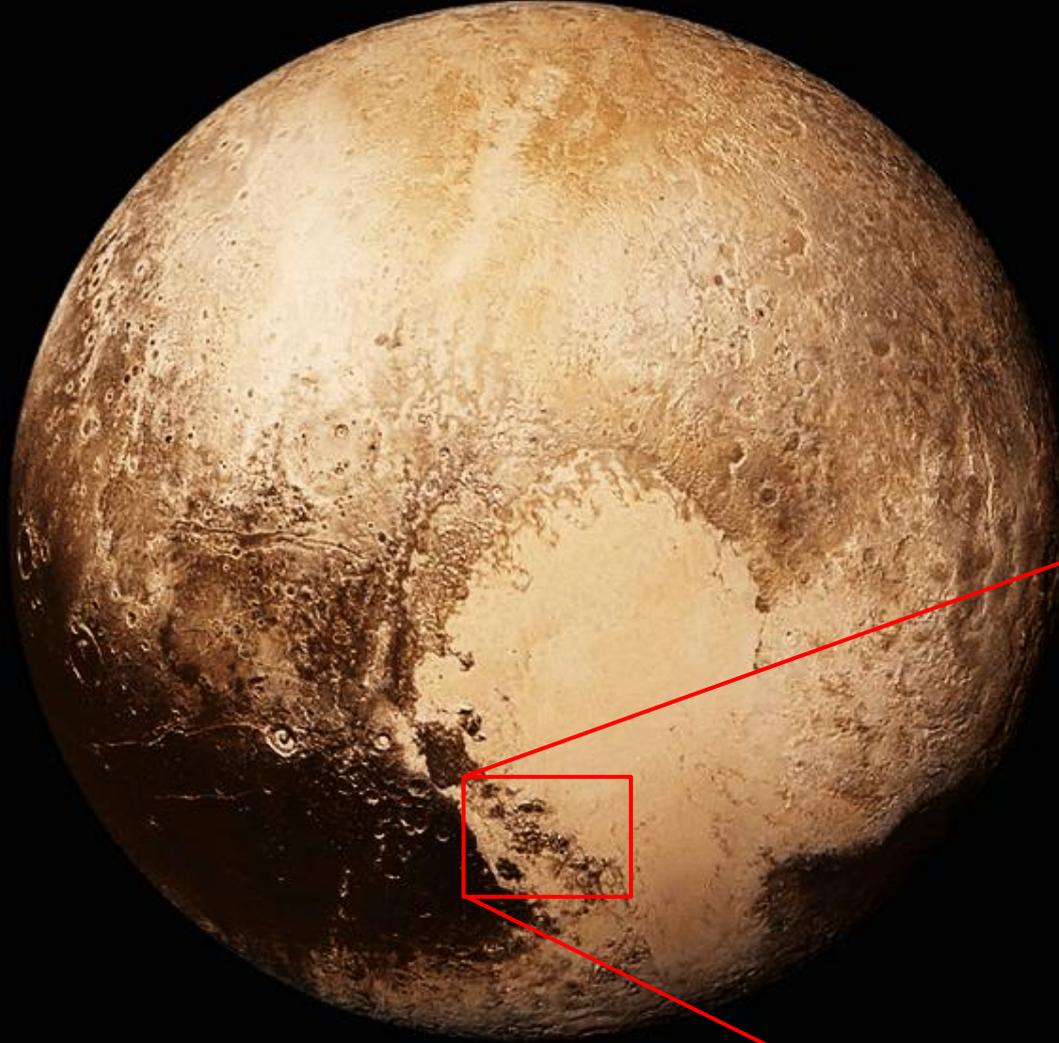


Características físicas

Diâmetro equatorial	$974,6 \pm 3,6$ km
Área da superfície	1 800 000 km ²
Massa	$9,5 \times 10^{20}$ kg
Densidade média	2,08 g/cm ³

O planeta-anão Plutão

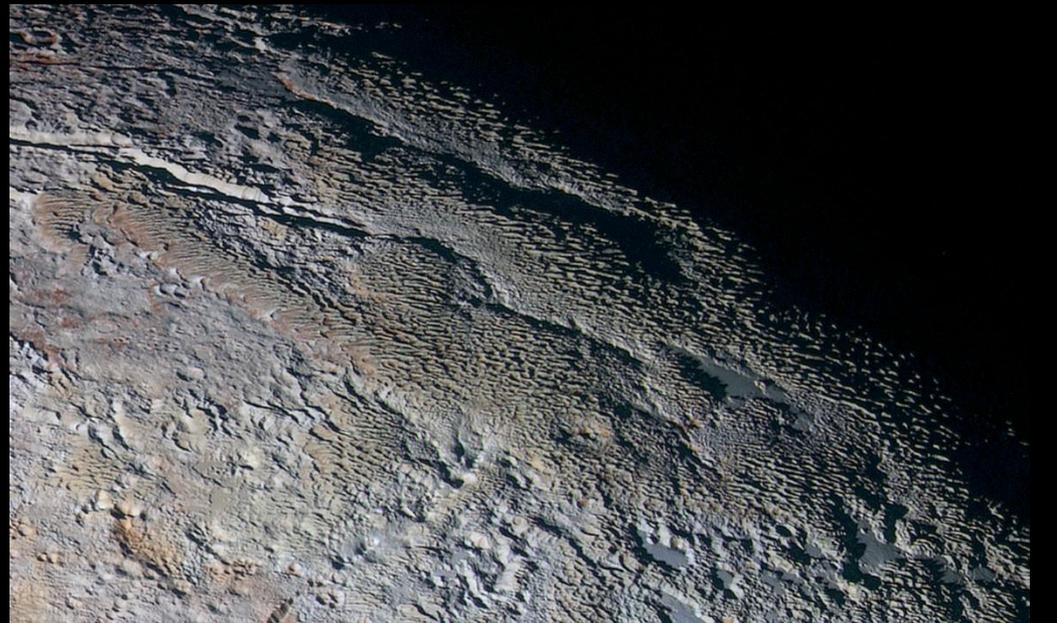
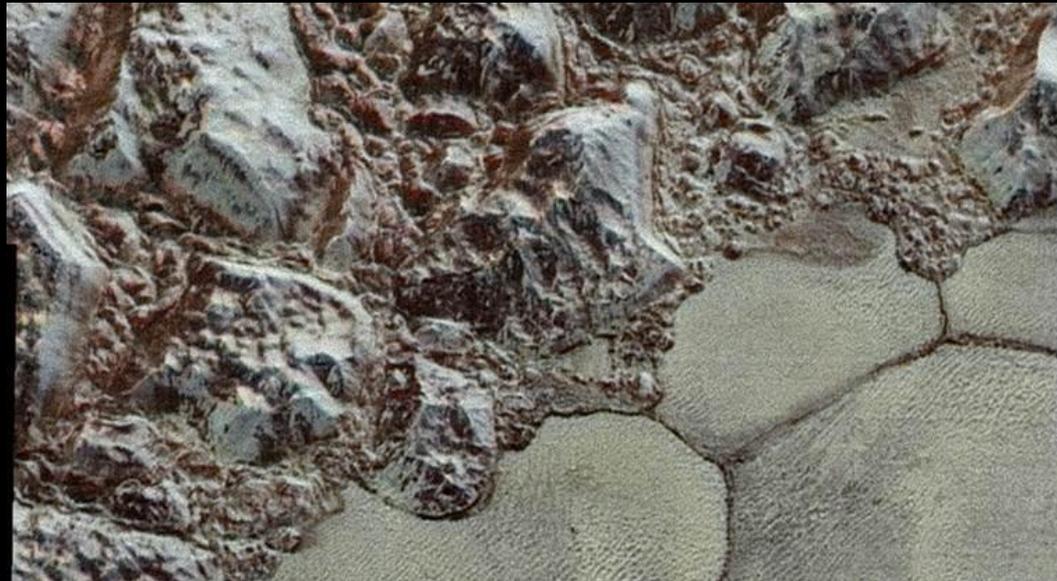
NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute



Data: 14/7/2015,
Distância: 77.000 km
Região com picos congelados, de 1-1,5 km de altura



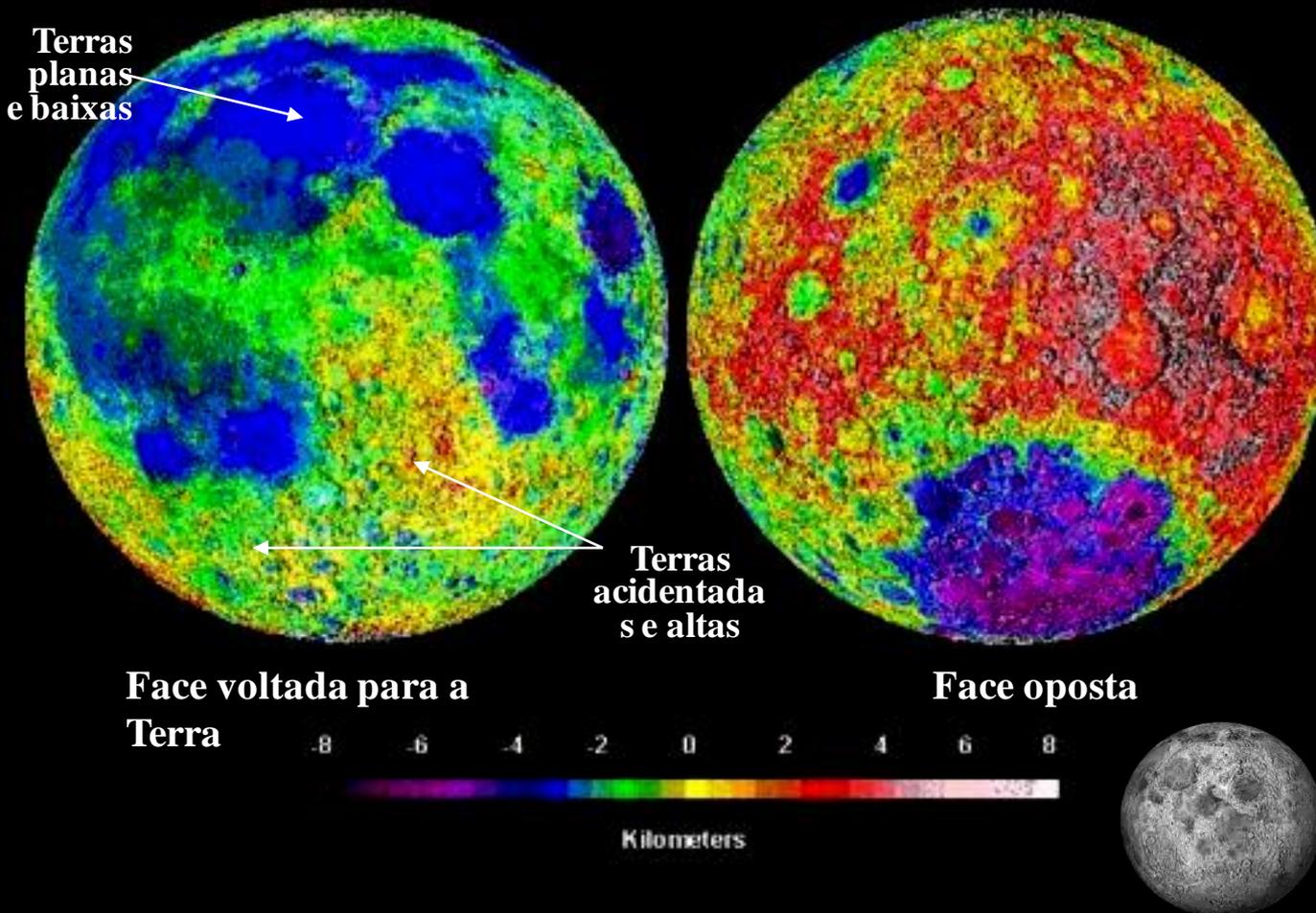
O planeta-anão Plutão



Charonte

Clementine Topographic Map of the Moon

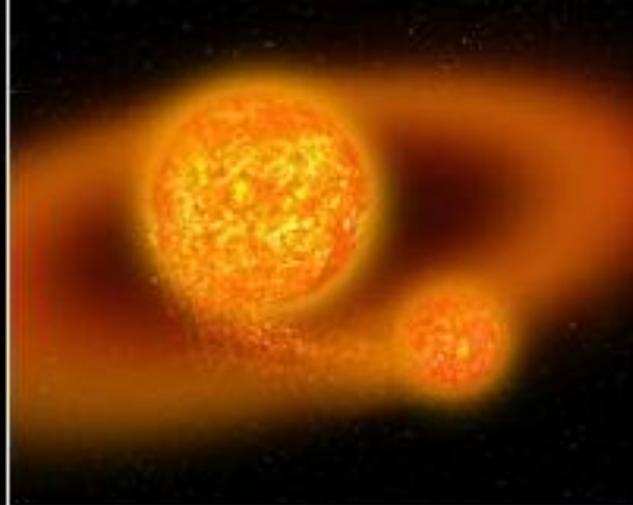
Contour Interval - 500 m



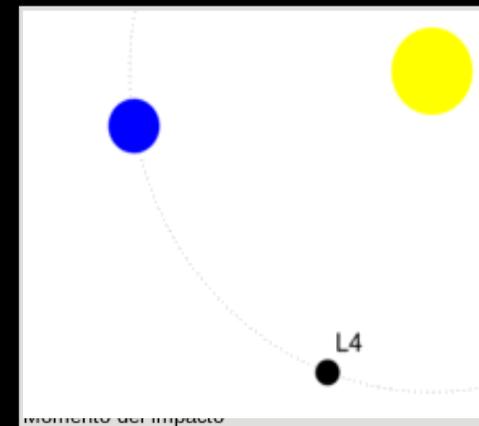
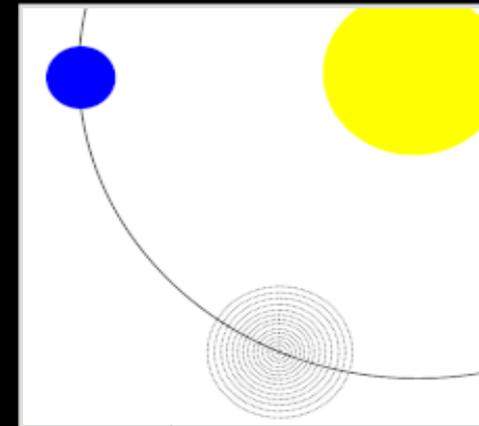
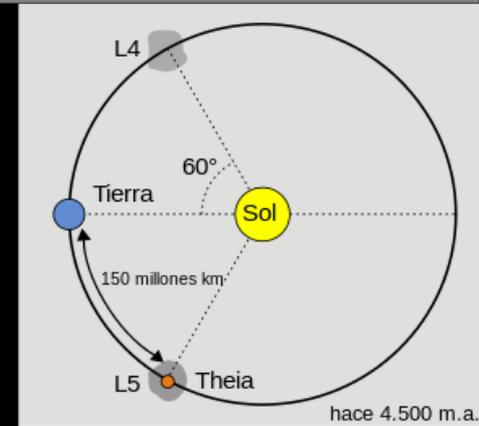
A Lua nos mostra sempre a mesma face porque os períodos de rotação e translação são iguais. Este fenômeno, conhecido por rotação síncrona, é decorrente do efeito de maré. A longo prazo, todos os satélites tendem à rotação síncrona.

As fases ocorrem em ambos os hemisférios: na Lua Nova a face oposta é iluminada integralmente.

A origem da Lua - teoria do Grande Impacto

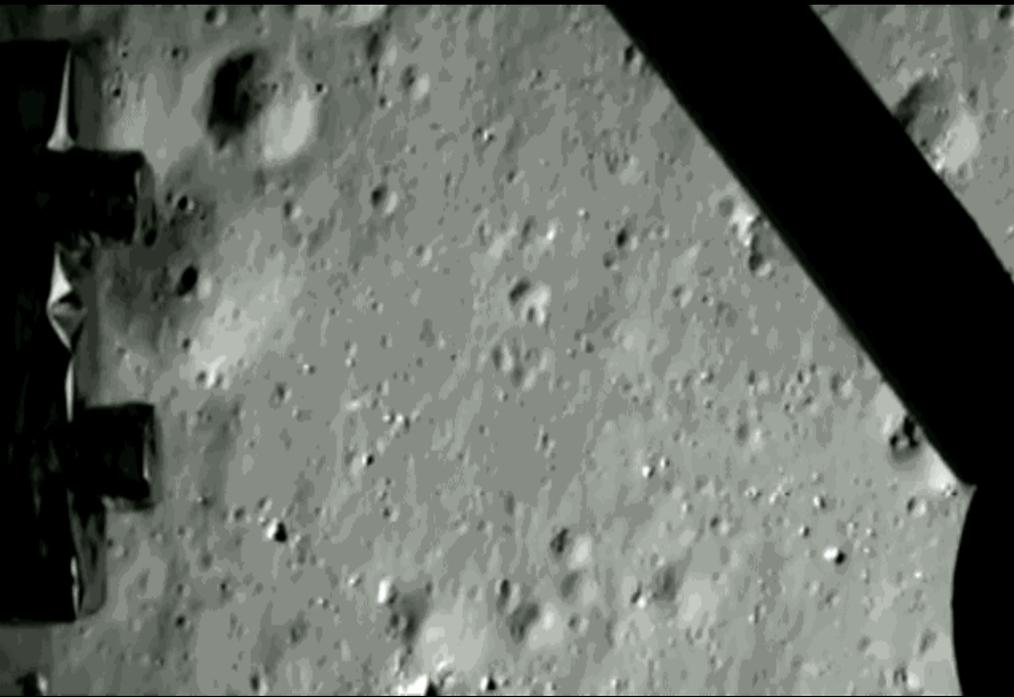


A origem da Lua - teoria do Grande Impacto

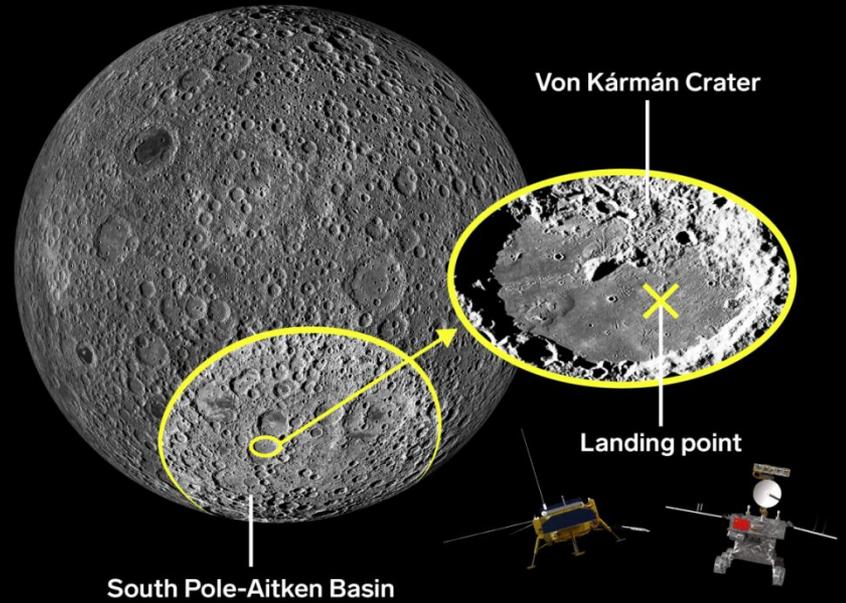


É possível ainda ter havido dois corpos.
O menor colidiu com a Lua na região do
hemisfério não visível da Terra

A sonda chinesa no lado oculto da Lua



China's landing on the far side of the moon



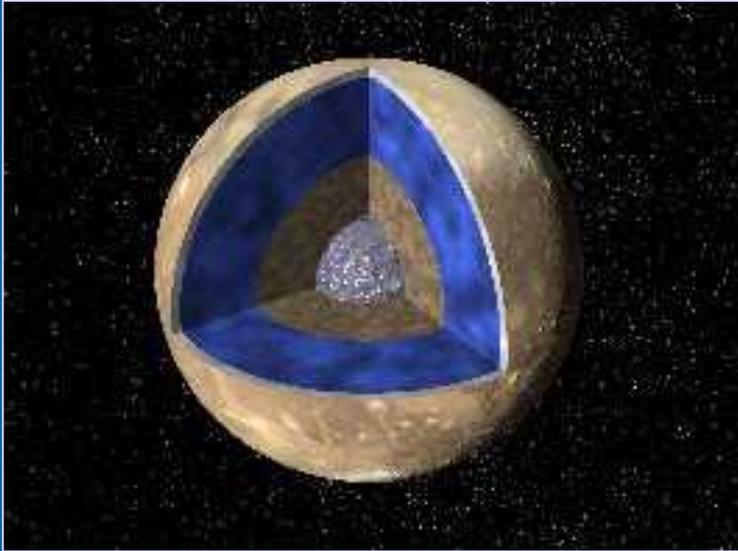
Sources: NASA/Arizona State University (moon imagery); CASC/CNSA (lander/rover renderings) Insider Inc.



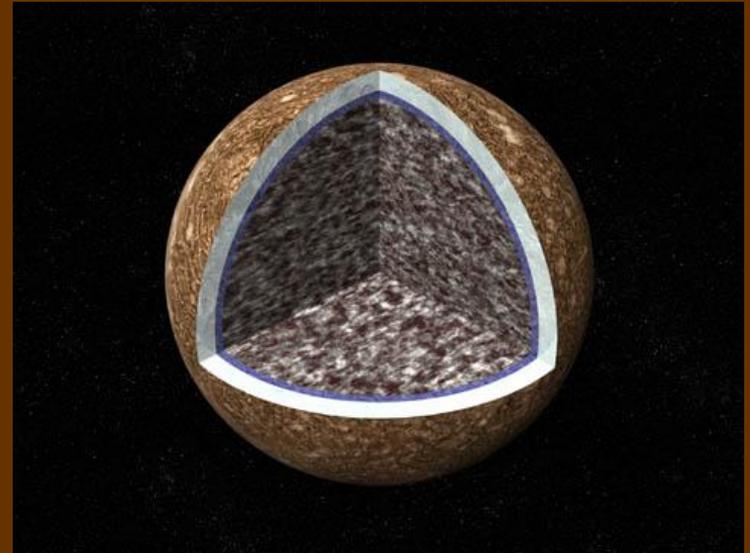
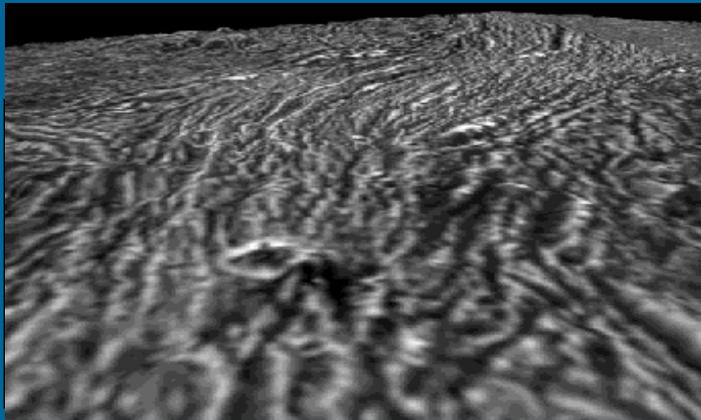
1st Chang'e-3 Color Panorama

Mosaic Credit: CNSA/Chinanews/Ken Kremer/Marco Di Lorenzo

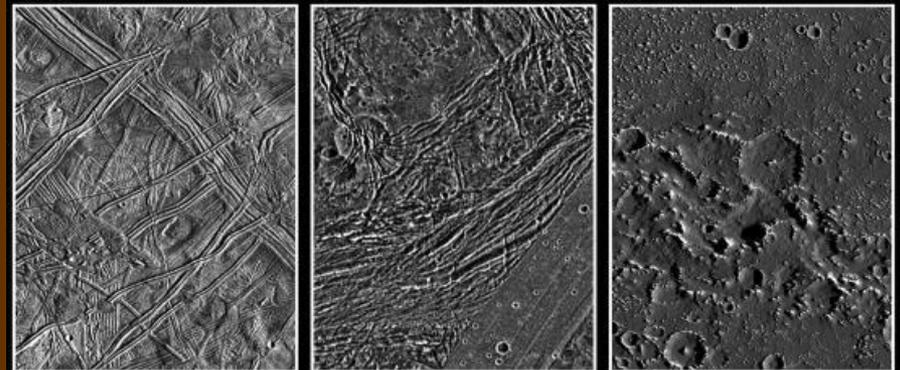
Ganimedes e Calisto – satélites de Júpiter



Interior formado por pequeno núcleo metálico, manto rochoso, superfície congelada (rica em água), recoberta por fina camada rica em sais eletricamente condutora.



- **Crosta com ~ 200 km.**
- **Oceano de água salgada, até 10 km abaixo da crosta.**
- **Interior de rocha e gelo comprimidos, com abundância de rocha crescendo para o centro.**



Io – o satélite vulcânico de Júpiter

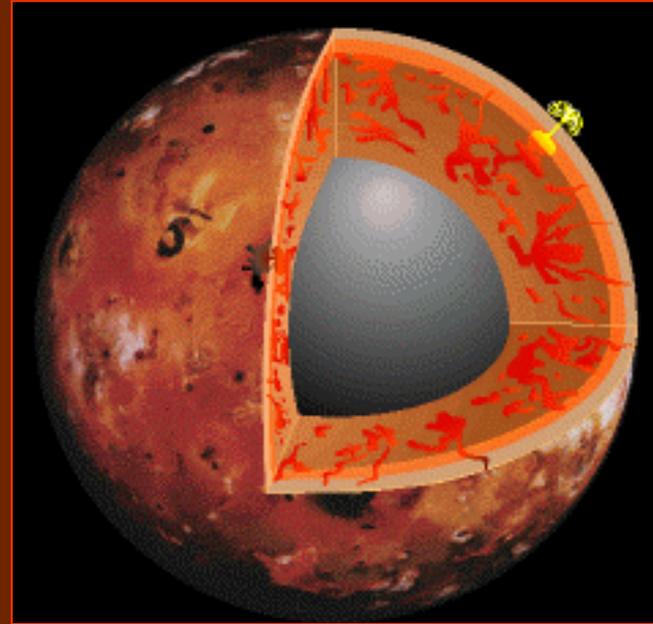


Raio: 1815 km

**Densidade média: 3,53 g/cm³,
(o mais denso dos 4)**

Órbita: 6 R_J (71540 km)

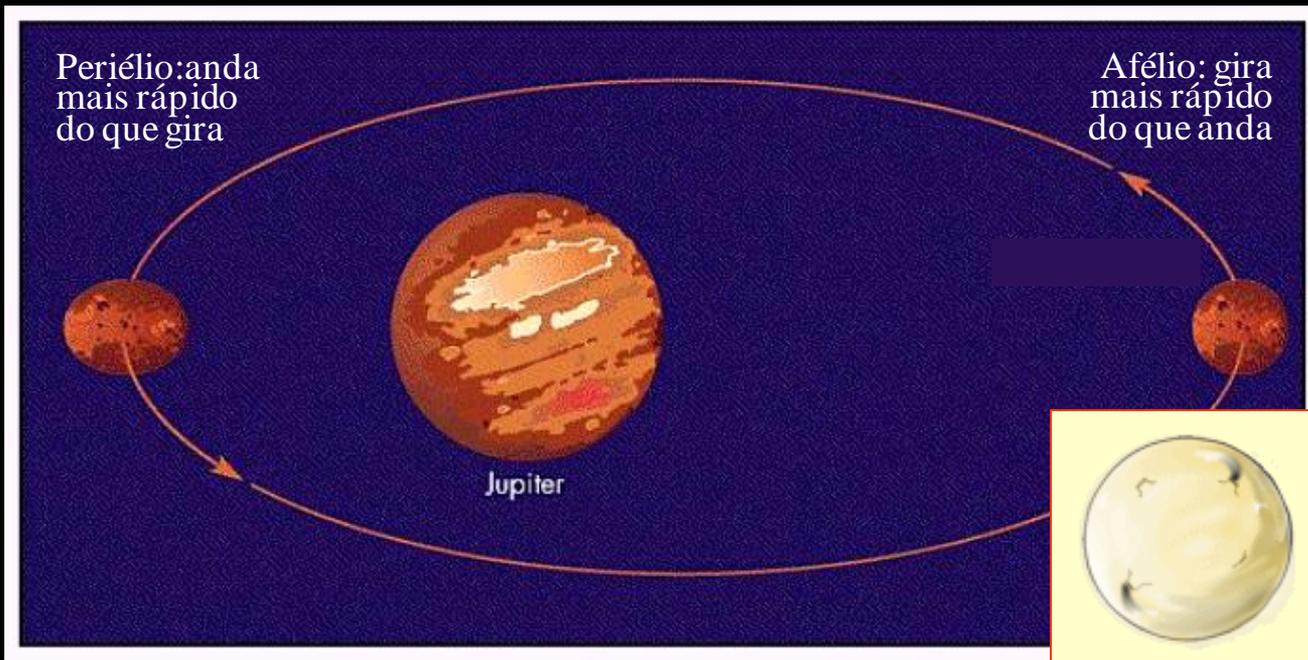
Temp.: -145 a -223 (°C)



Características do interior são inferidas pela gravidade e campo magnético: núcleo metálico (ferro e níquel) circundado por camada rochosa que se estende até a superfície. (NASA – Galileo)

Densidade consistente com rocha, núcleo metálico, e crosta de sais de sódio e potássio, rico em enxofre. O Manto fundido contém enxofre, SO₂ e silicatos.

Io – o satélite vulcânico de Júpiter



Atividade vulcânica mais intensa do Sistema Solar.

Marés em Io causam o vulcanismo: o movimento é sincronizado, mas a órbita é elíptica. Próximo do periastro e do apoastro o sincronismo desaparece e o satélite é contorcido.



JÚPITER



Io – Tvashtar Catena

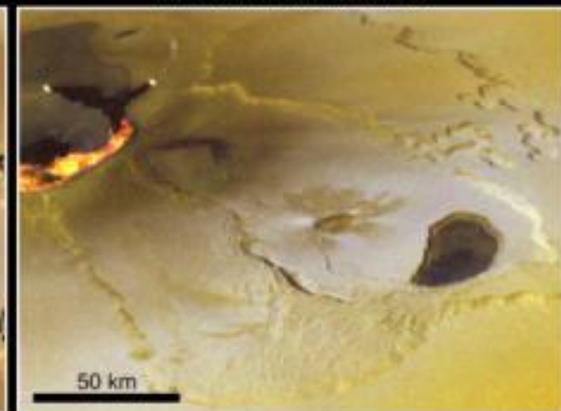
I25 (26 Nov 1999)

+ C21 low-resolution color
+ fire fountain sketch



I27 (22 Feb 2000)

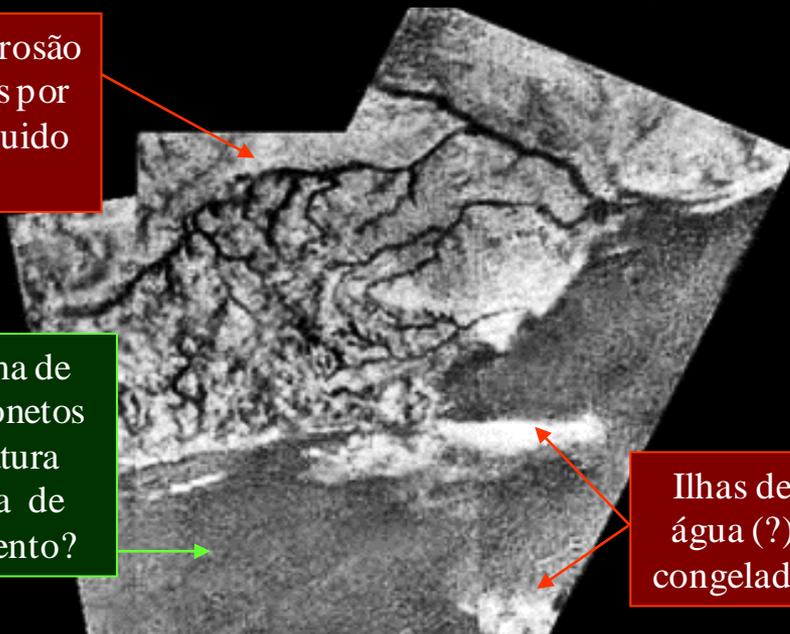
visible wavelength data
+ IR data of active lava flow



Dois satélites especiais: Titã (Saturno)

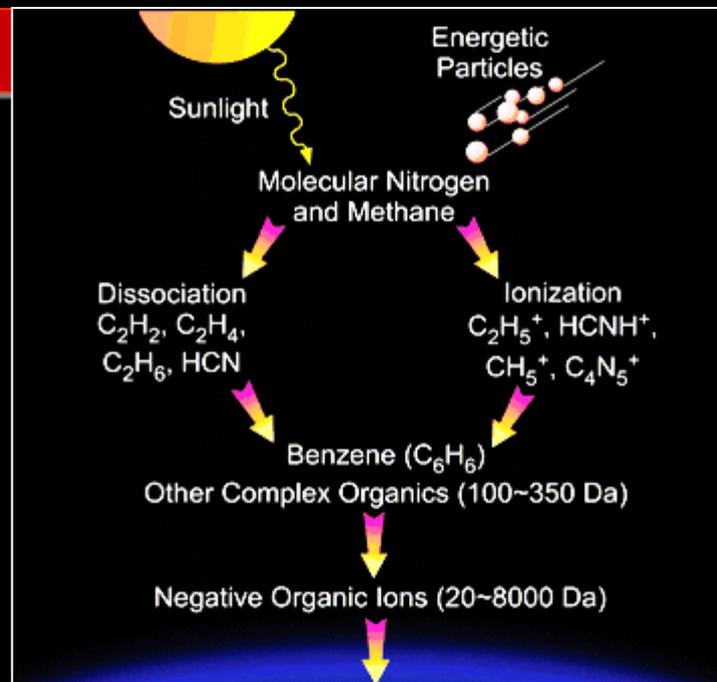
Química predominante: N (~90%), Ar (~10%) e traços de CH₄.

Canais de erosão produzidos por metano líquido



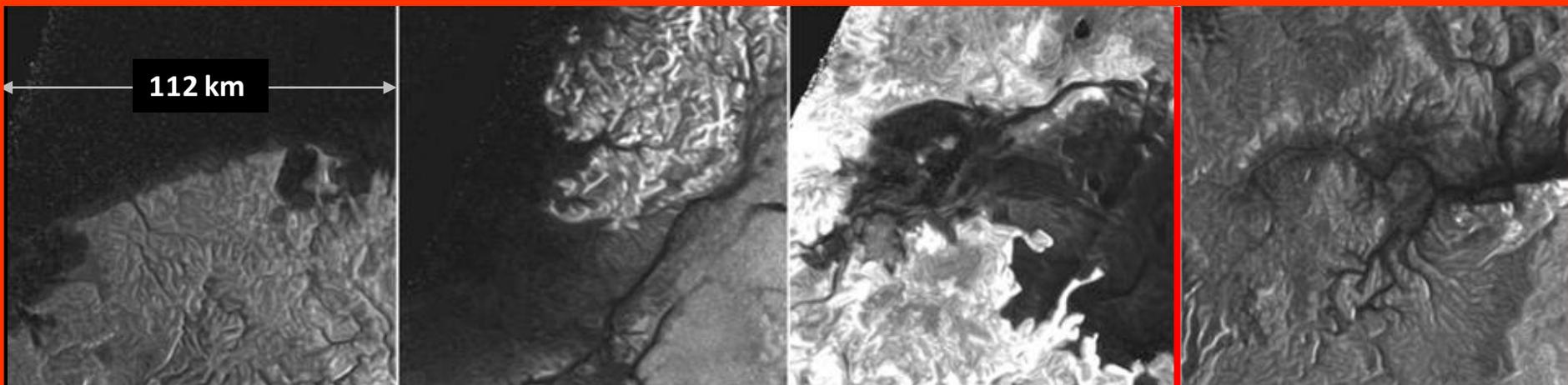
Lago: lama de hidrocarbonetos
Temperatura próxima a de congelamento?

Ilhas de água (?) congelada



Tholins: heteropolímero orgânico formado pela exposição de metano e/ou etano à luz ultravioleta.

112 km



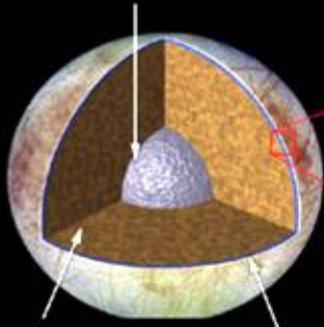
Baías e pontas de terra em Ligea Mare, um dos grandes mares de hidrocarbonetos de Titã.

Rede de vales ao longo de Jingpo Lacus, um dos maiores lagos do norte.

Dois satélites especiais: Europa (Júpiter)

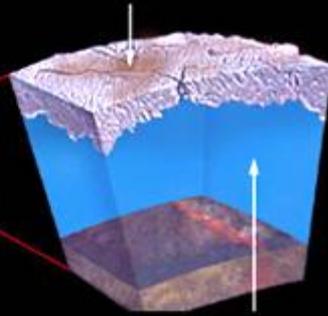
Núcleo metálico

Superfície congelada

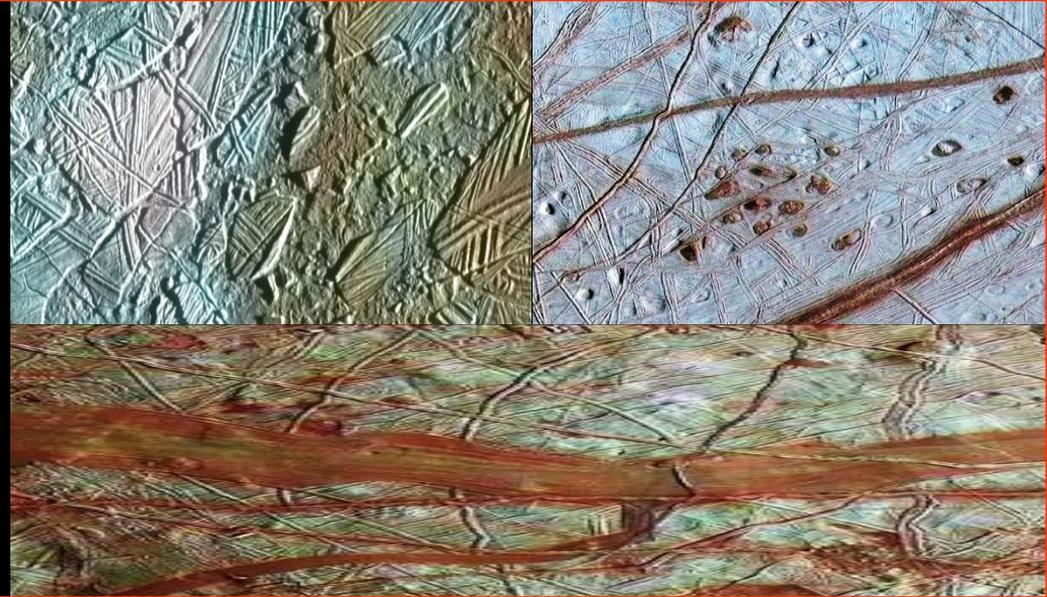


Interior rochoso

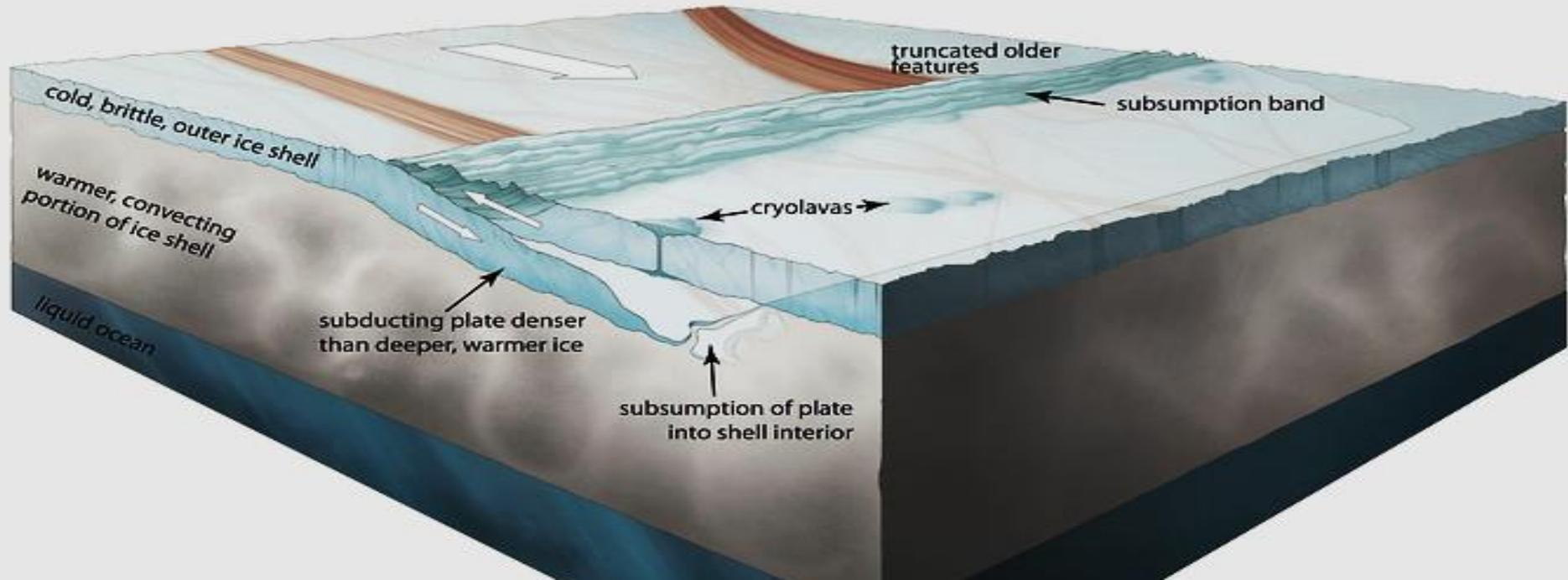
Camada de água



Oceano líquido



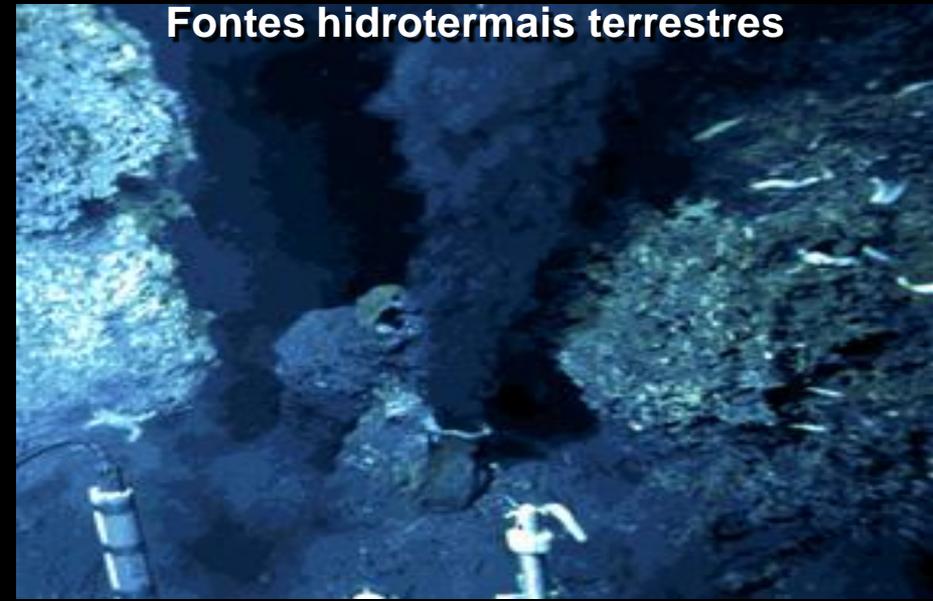
Superfície de água congelada, mas condutora (sais). Sem atmosfera, mas com de O_2 .



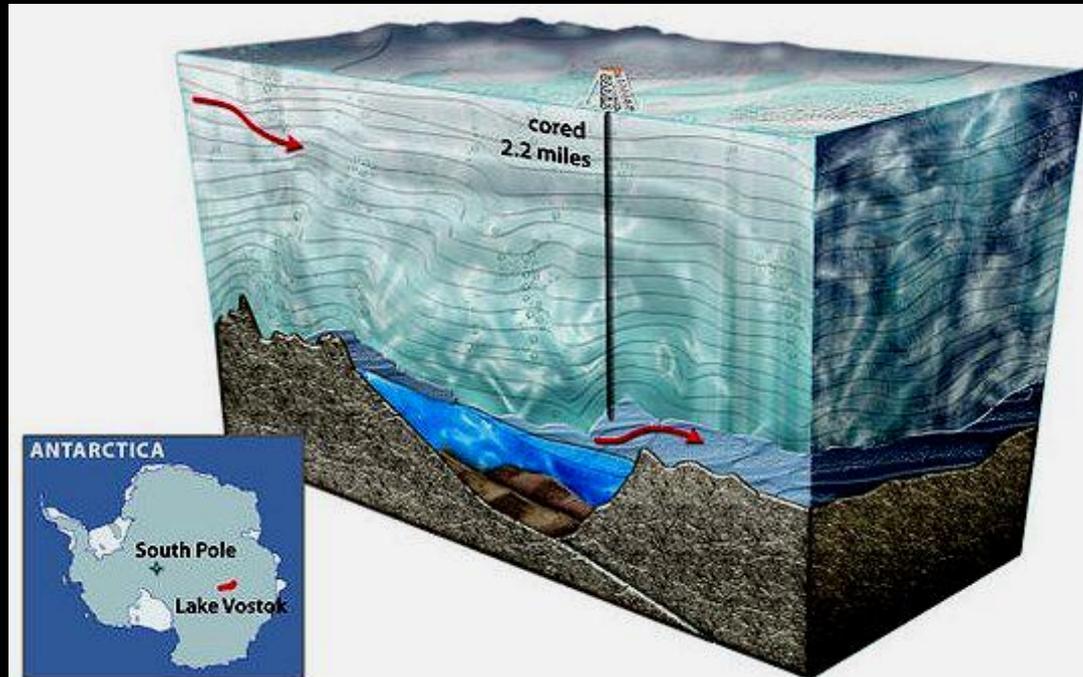
Europa – um mundo de água salgada



Europa seria assim?



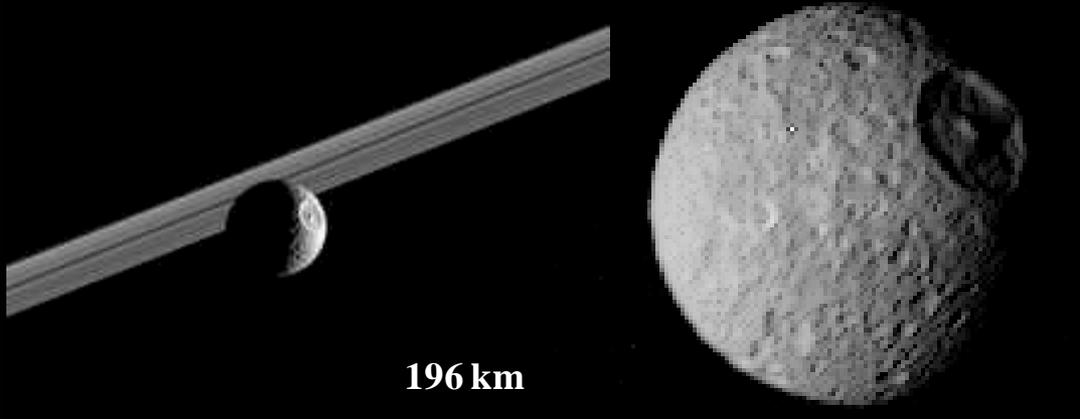
Fontes hidrotermais terrestres



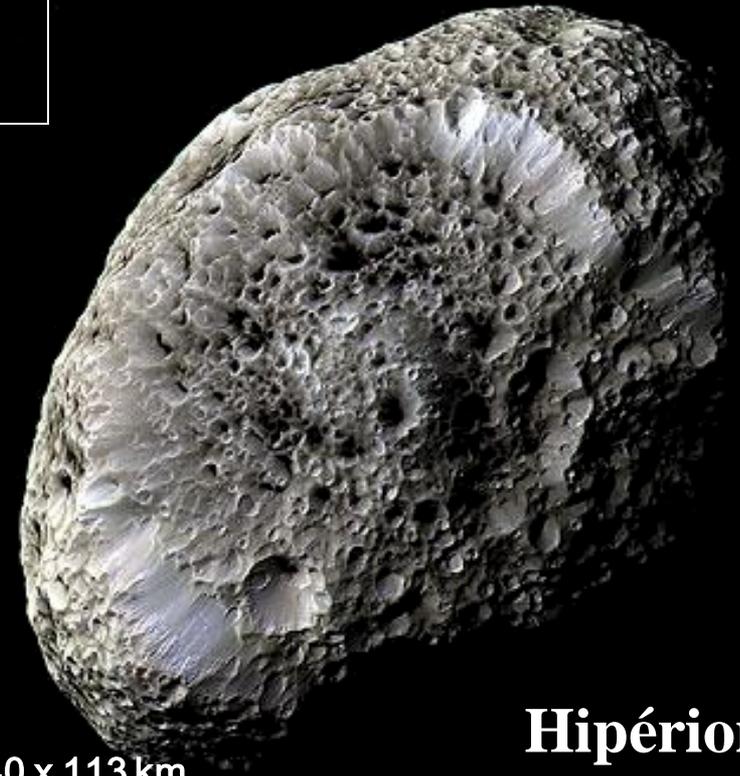
Mimas e o estranho Hipérion – satélites de Saturno

NASA

Mimas visto pela Cassini (13/10/05) a 711.000 km .
Nessa distância a cratera Herschel (130 km)
ainda se destaca.



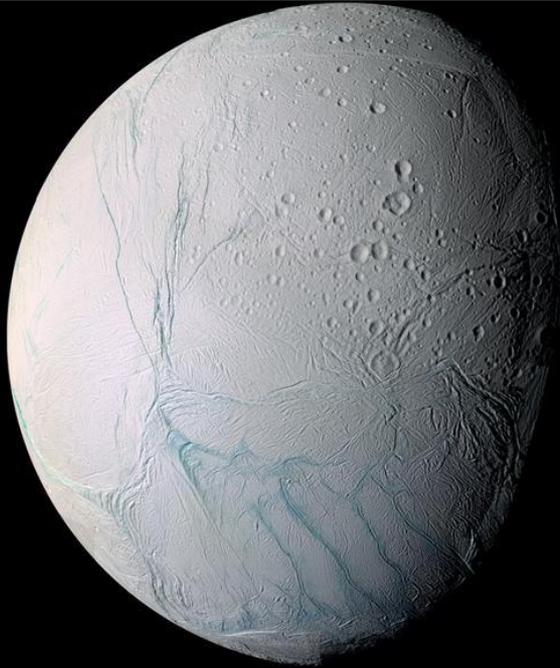
196 km



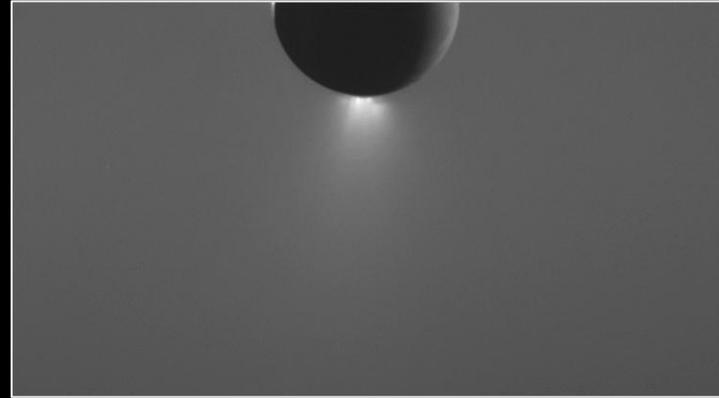
185 x 140 x 113 km

Hyperion

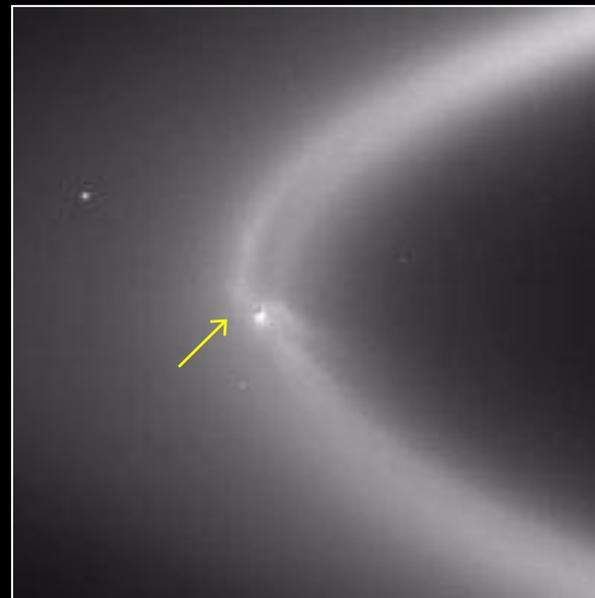
Encélado – o satélite de Saturno que jorra água



Sonda Cassini revelou que composição química da matéria dos jatos é semelhante a dos cometas (vapor d'água, dióxido e monóxido de carbono, e material orgânico)



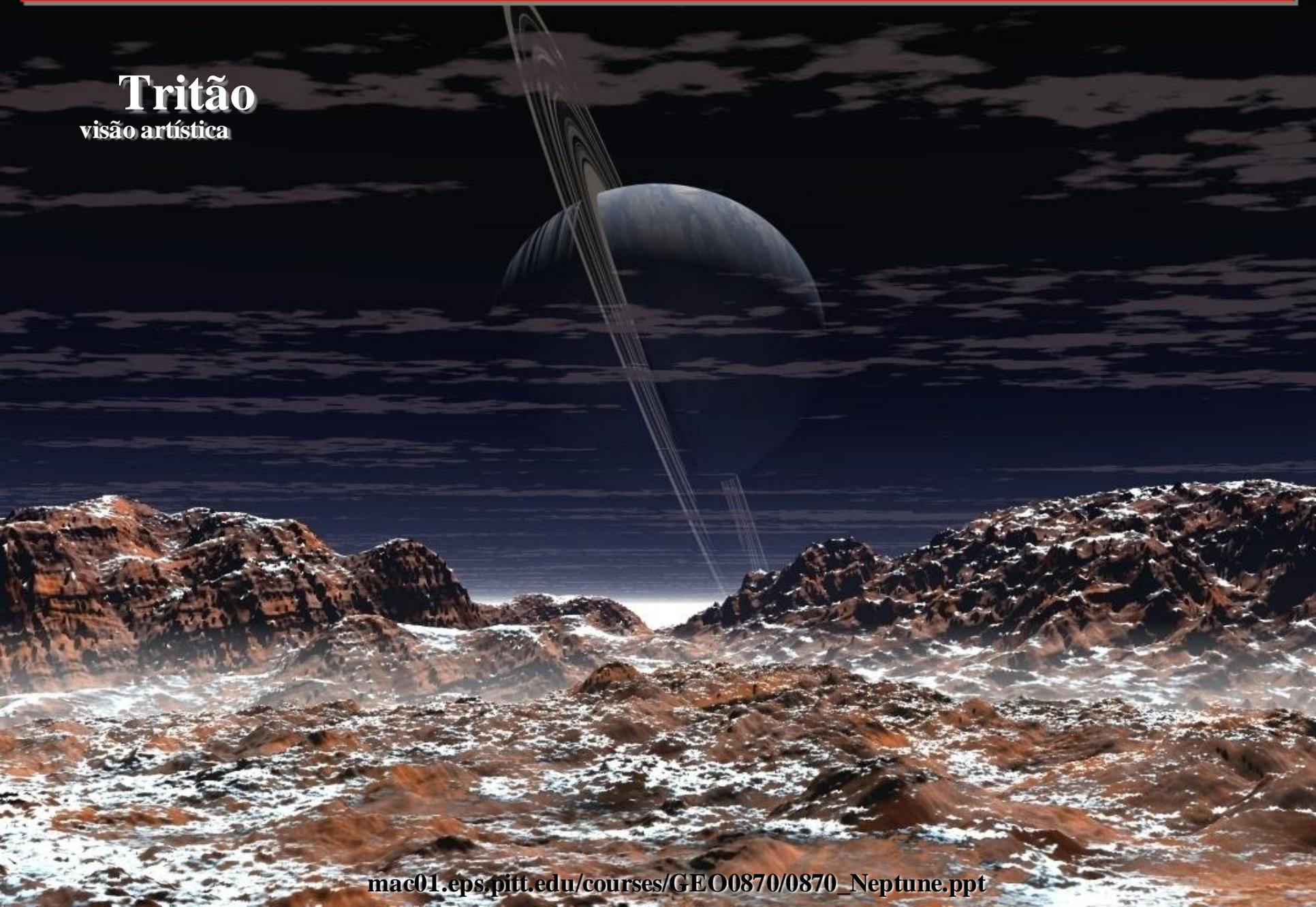
Jatos de gelo lançam poeira a centenas de km acima da superfície no polo sul. Parte dessa poeira escapa e forma o anel E difuso, por onde ele circula.



Tritão – o satélite de Netuno

Tritão

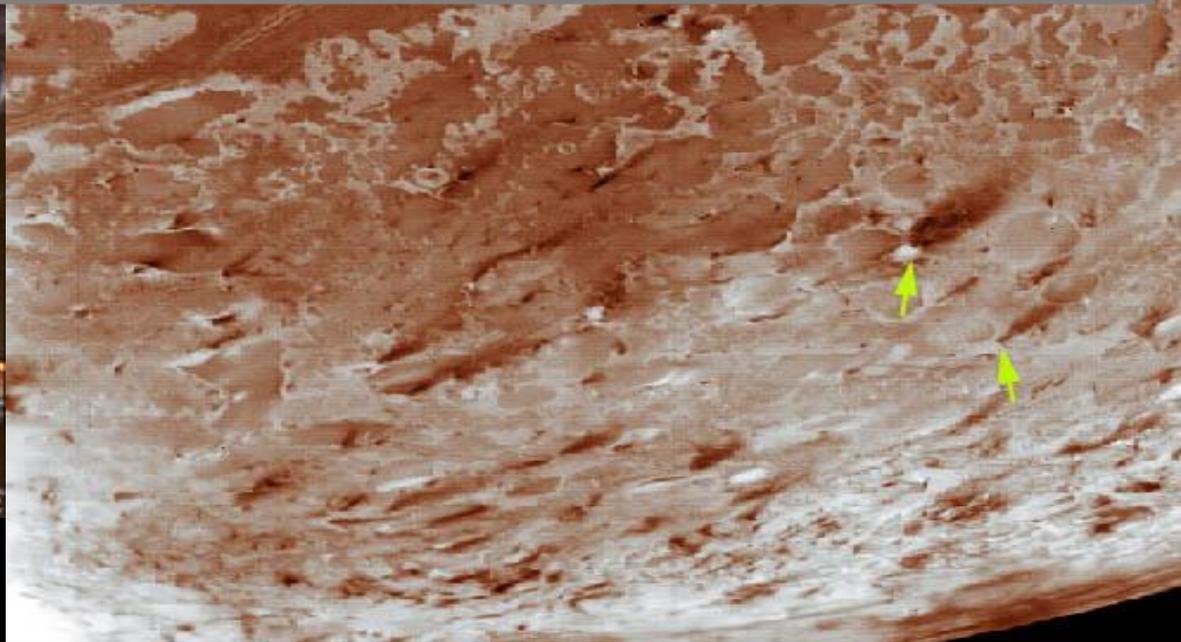
visão artística



Tritão – o satélite de Netuno



Visão artística

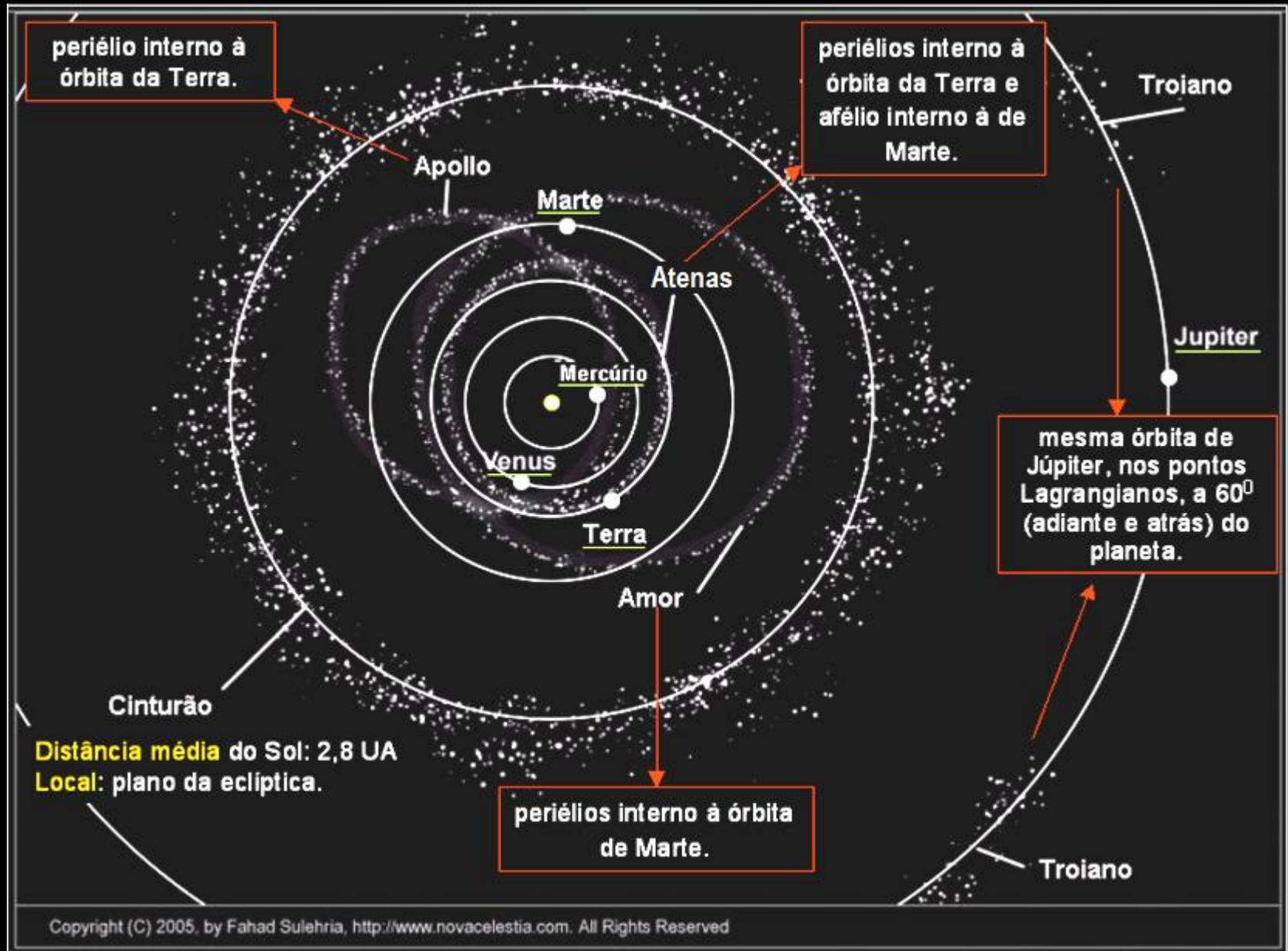


Tritão



Gêiser de Nitrogênio líquido
8 km de altura e 140 km de extensão,
na direção do vento

Asteroides



Asteroides

Itokawa

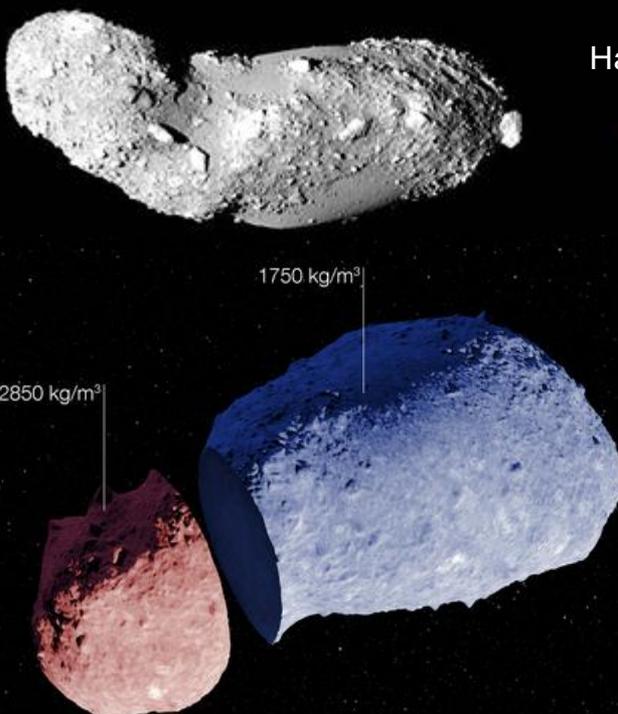
0,5 × 0,3 × 0,2 km

Hayabusa



1750 kg/m³

2850 kg/m³



Toutatis

4,6 × 2,4 × 1,9 km



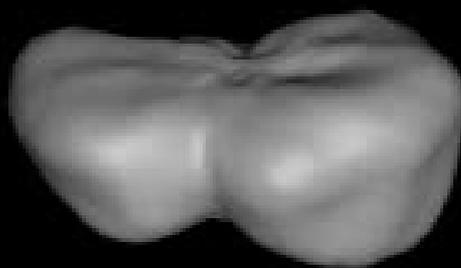
Eros

33 × 13 × 13 km



4769 Castália (NEA)

1,8 × 0,8 km

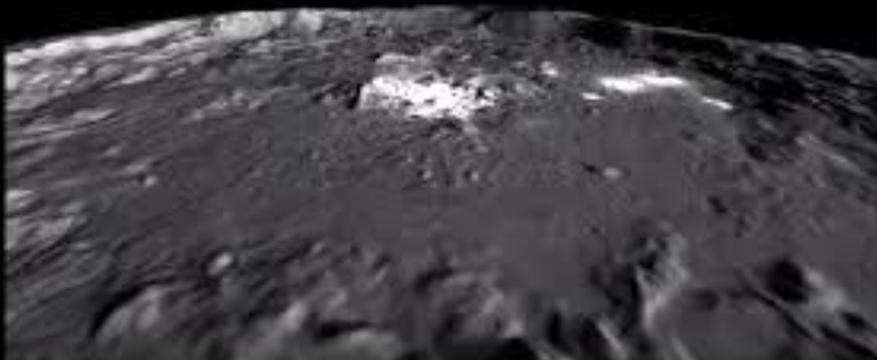
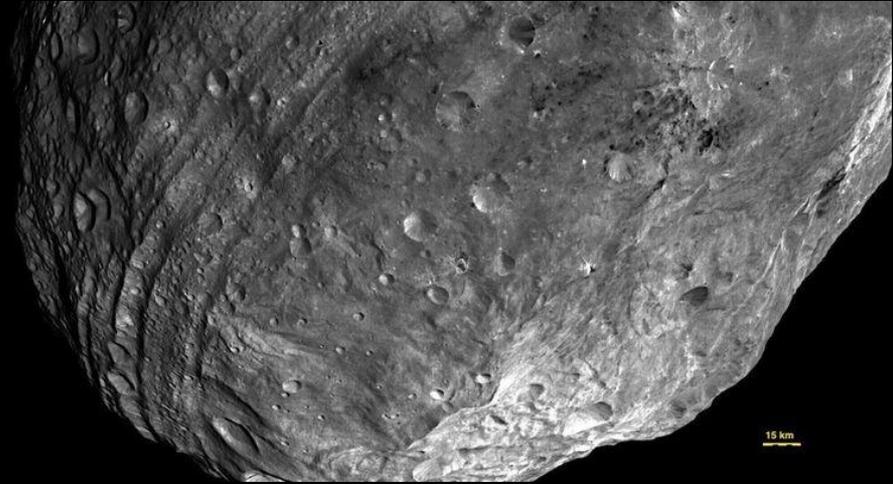
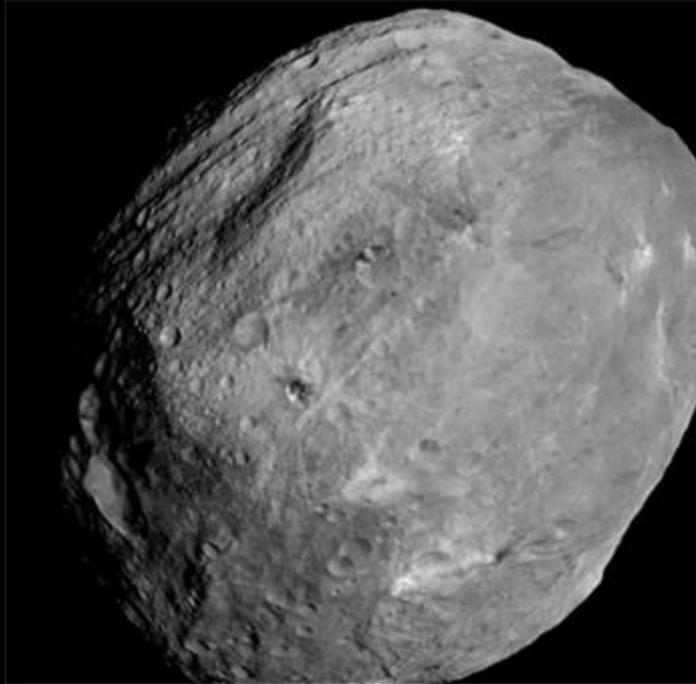


Tipo	C	M	S
Abundância	60%	≤ 10%	≈ 30%
Composição predominante	C + Fe ₃ O ₄	metais	silicatos
Albedo	< 5%	≈ 10%	≈ 15%
Cor	escuros	intermediário	claros
Posição	cinturão externo (próximo de Júpiter)	cinturão intermediário	cinturão interno (próximo de Marte)

Material primitivo que não formou planeta?
Material originado de desintegração?

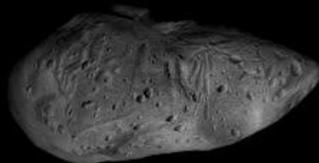
Asteroide Vesta

Missão DAWN (Ceres e Vesta) - NASA/JPL



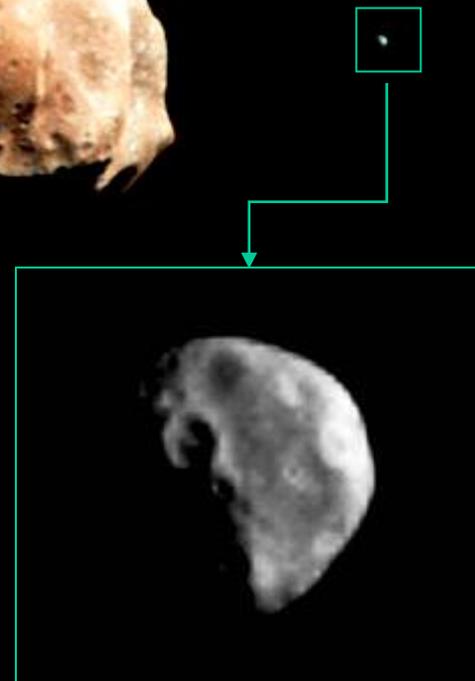
Meteorito de Vesta

Asteroides Gaspra e Ida



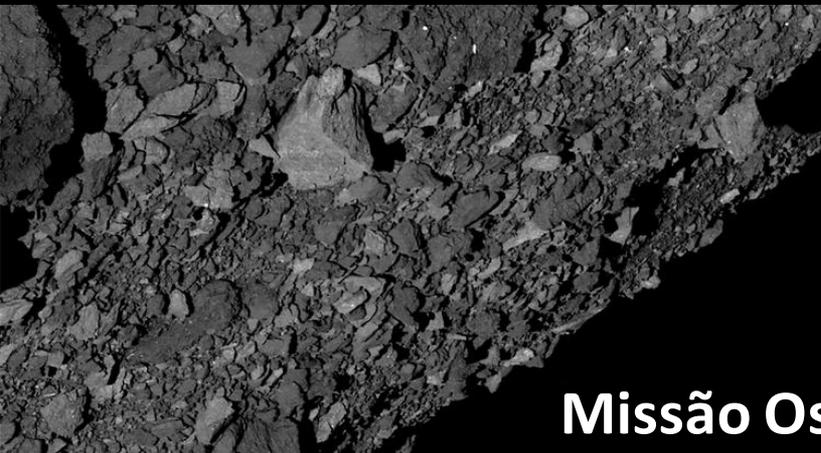
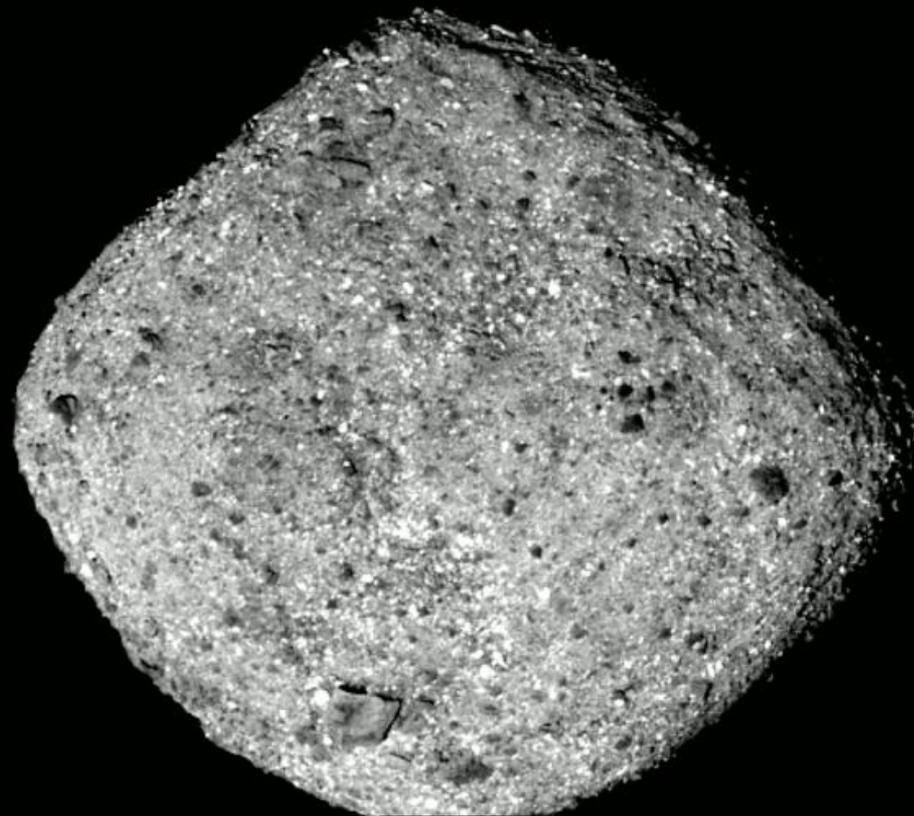
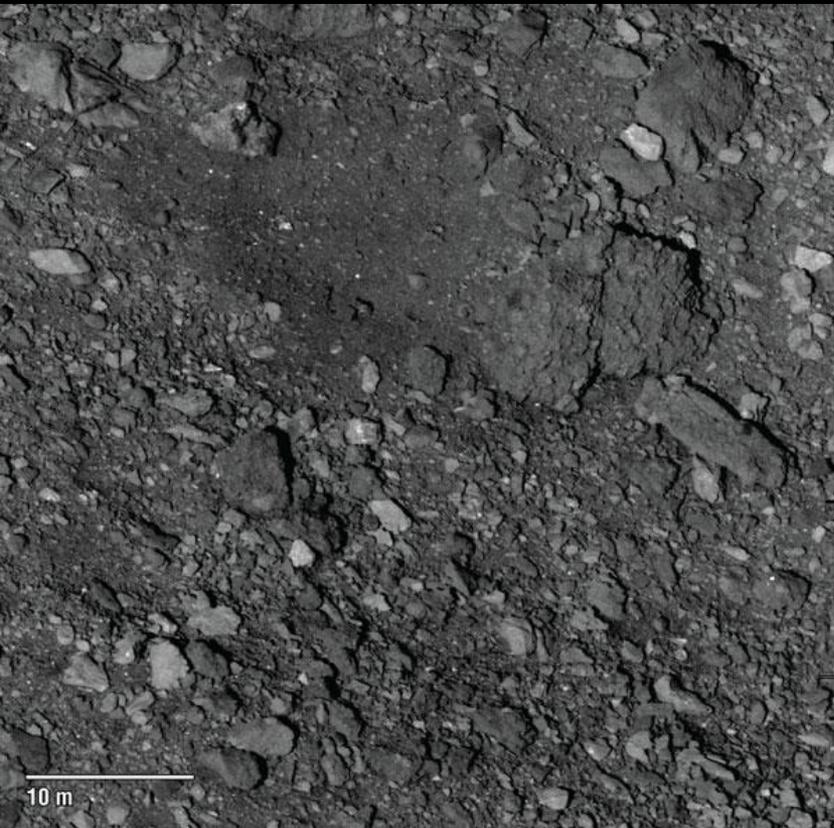
Tipo S,
Tamanho: ~ 58 x 23 km²
Idade: 1 bilhão de anos

- Sua órbita está próxima do bordo interno do cinturão asteroidal
 - distância média do Sol: 205.000.000 km
 - tamanho: 19x12x11 km
- Tipo S: talvez composto de uma mistura de rocha e minerais metálicos.



Tamanho: 1,6 x 1,2 km²
Distância: 90-km

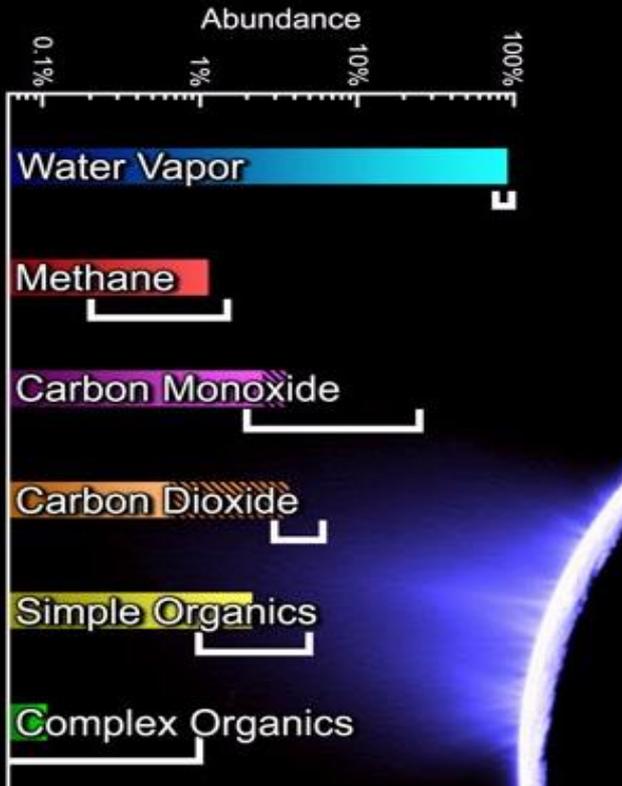
Asteroide Bennu



Missão Osiris-Rex / NASA



Cometas



Como deve ser de fato um cometa?

Tempel 1

Hartley 2



9P/ Tempel 1

7,6 km × 4,9 km;

albedo = 0,04

Missão Deep Impact -
04/07/2005

103/P Hartley 2

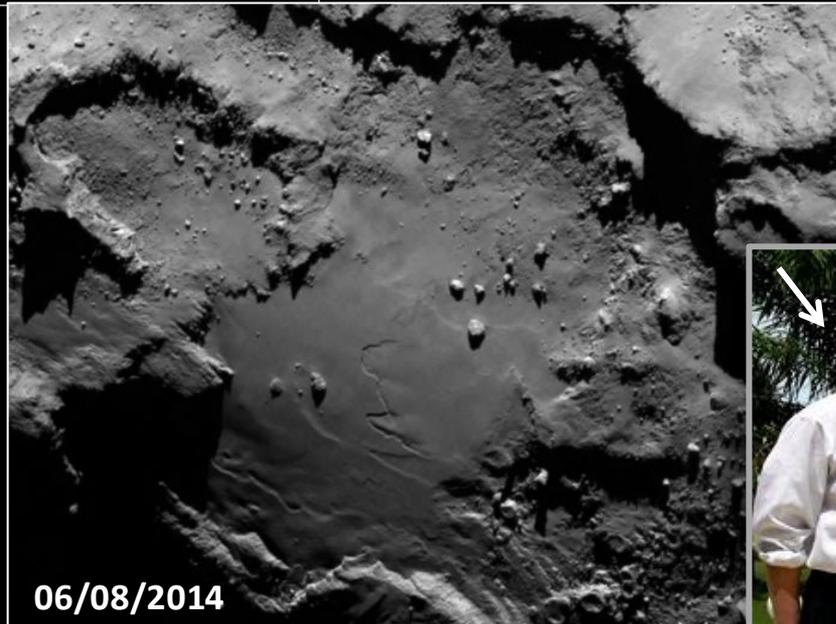
0,57 km;

albedo = 0,028

Missão EPOXI - 13/12/2007

67P/Churyumov-Gerasimenko

23/08/2014

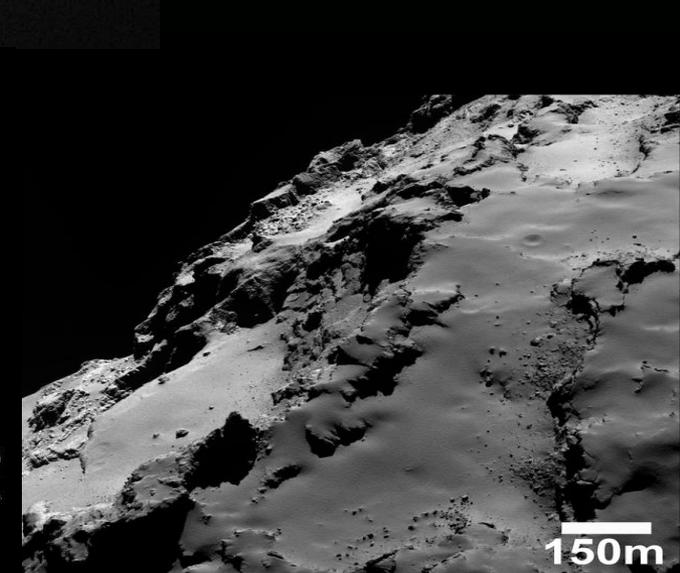
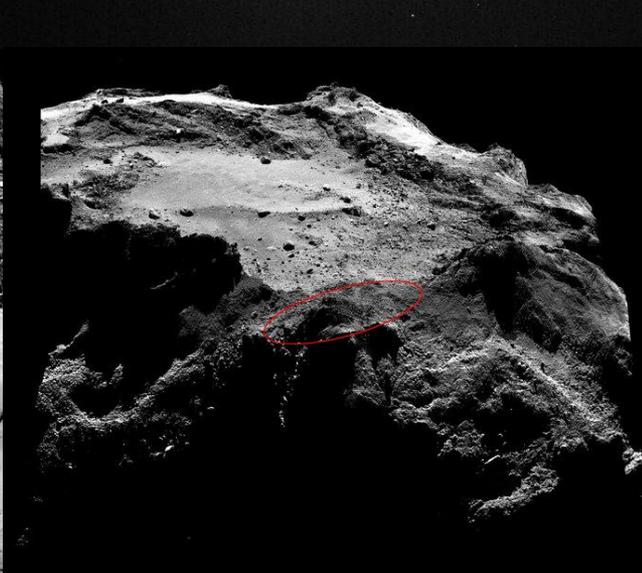
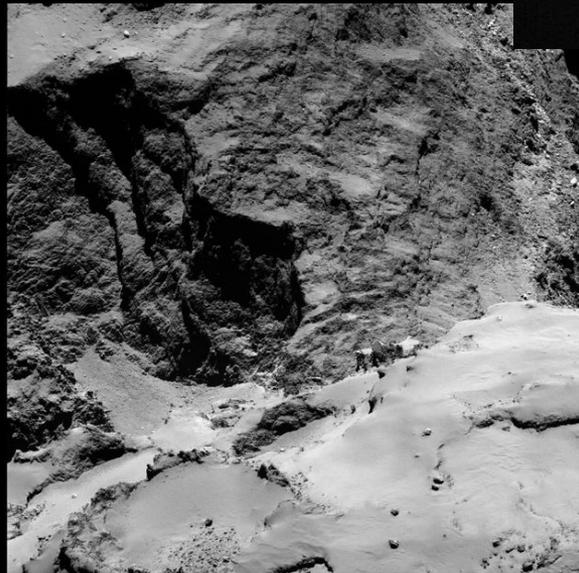
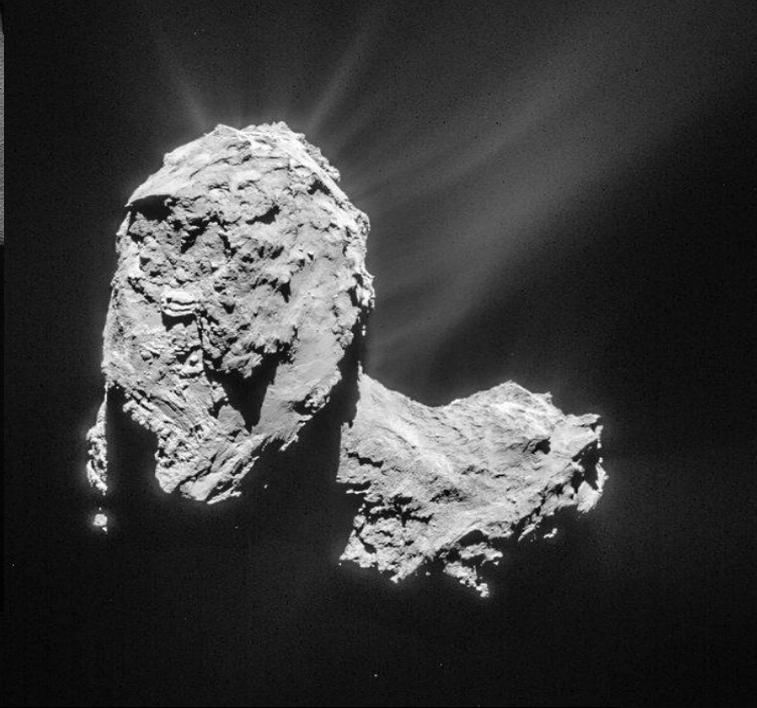


06/08/2014

3 km x 5 km;
Missão Rosetta



O cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko



O cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko

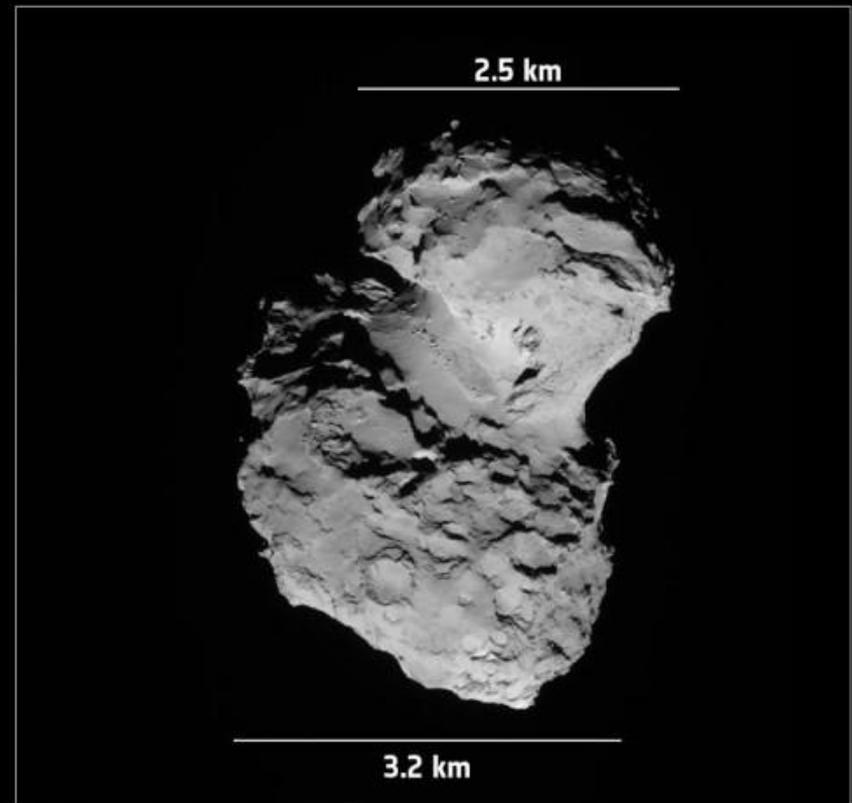
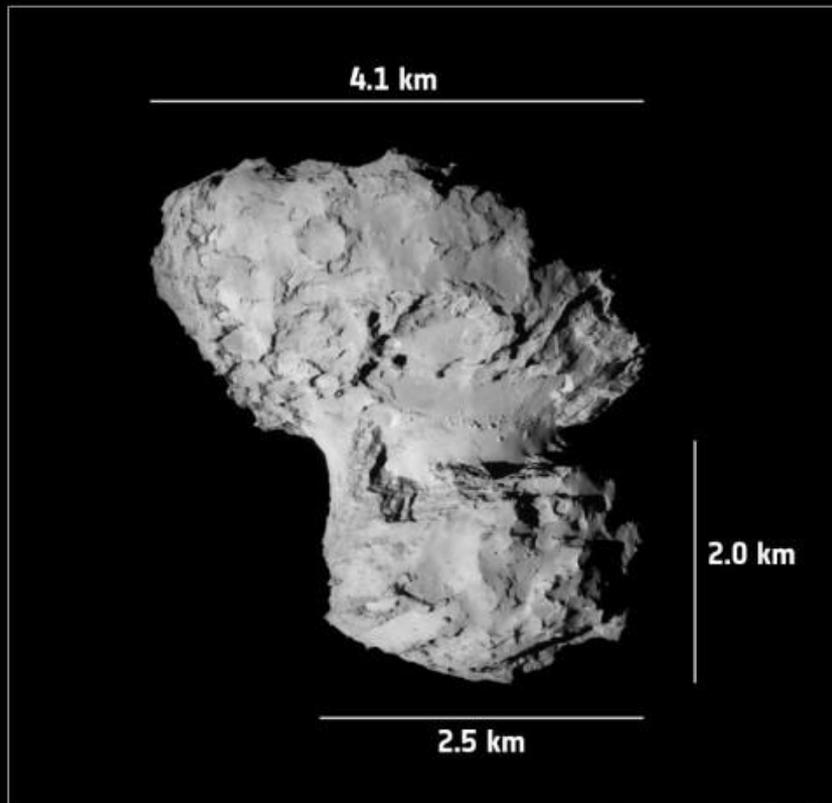


Image: ESA/Rosetta/NAVCAM; Dimensions: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

Dimensão (menor)	2.5 x 2.5 x 2.0 km	Densidade	0.4 g/cm ³
Dimensão (maior)	4.1 x 3.2 x 1.3 km	Produção de vapor de água	300 ml/seg (Jun 2014); 1–5 l/seg (Jul-Ago 2014)
Rotação	12.4043 horas	Temperatura da superfície	205–230K (Jul-Ago 2014)
Eixo de rotação	Ascensão reta: 69 graus; Declinação: 64 graus	Temperatura abaixo da superfície	30–160K (Ago 2014)
Massa	10 ¹³ kg	Gases identificados	Água, monóxido e dióxido de carbono, amônia, metano, metanol
Volume	25 km ³	Grãos (rochosos)	Entre dezenas e centenas de microns

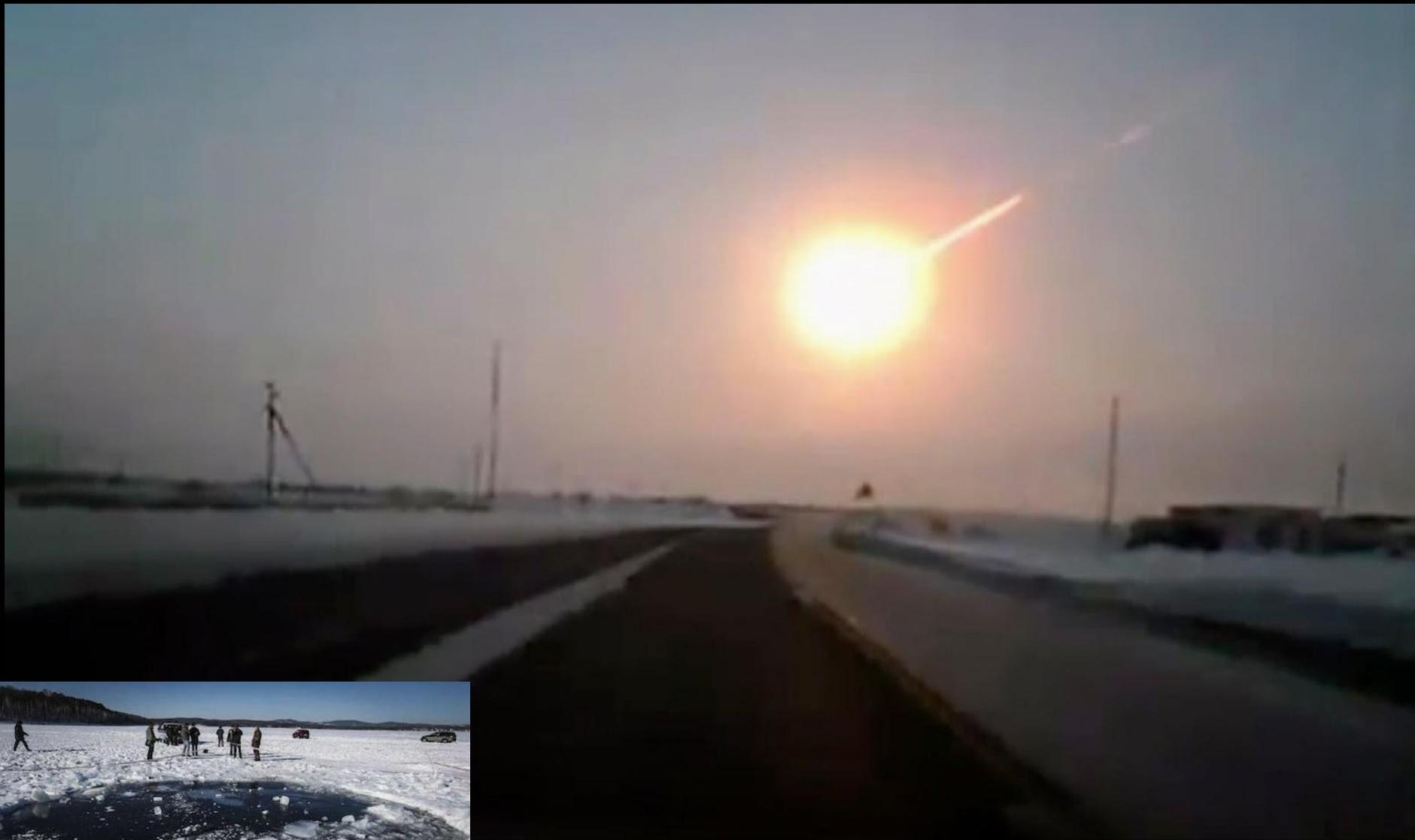
Tamanho relativo do cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko



O Burj Khalifa



Corpos que caem do céu



Efeitos dos corpos que caem do céu

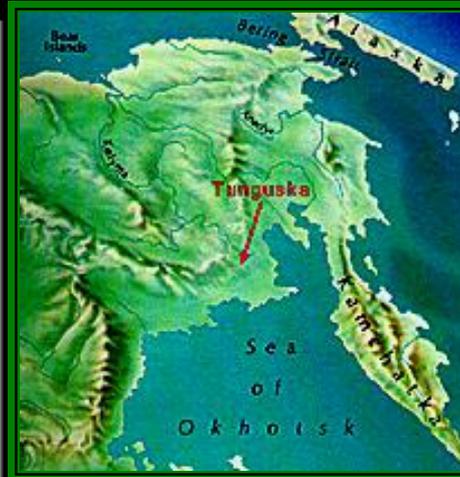


Visão da época

A poeira permaneceu semanas na atmosfera.

A luz solar refletida clareava as noites numa extensão que ia das montanhas do Cáucaso às Ilhas Britânicas.

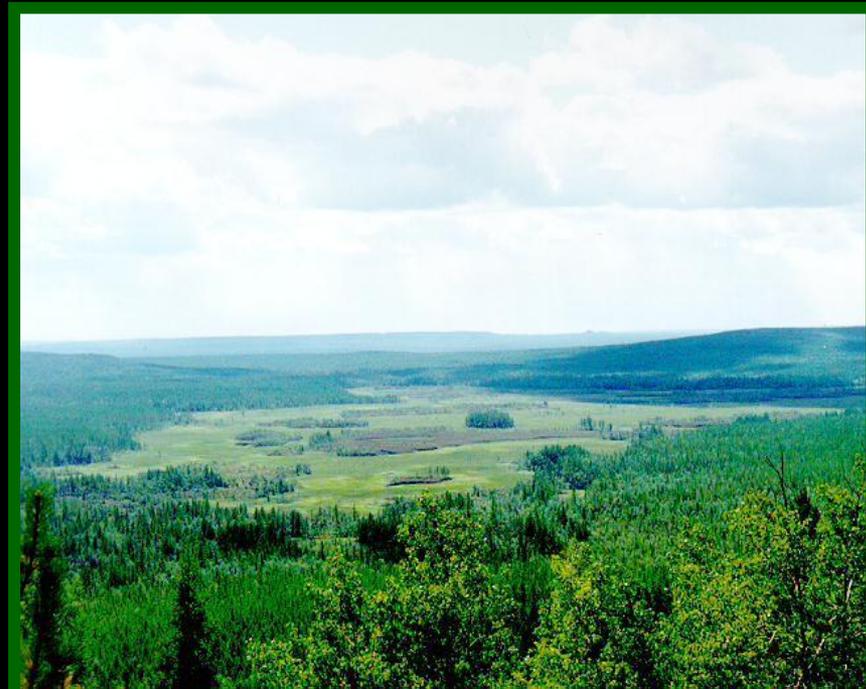
Nenhum fragmento foi encontrado no solo.



Tunguska

Região da Sibéria

30/Junho/1908, às 7h

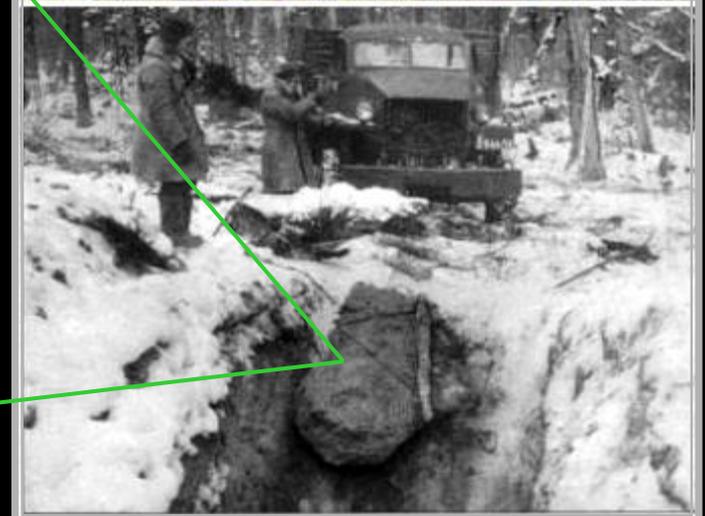


Visão atual

Sibéria Sikhote-Alin

Natureza:
meteorito ferroso

Ocorrência:
manhã de 12 de fevereiro de 1947.



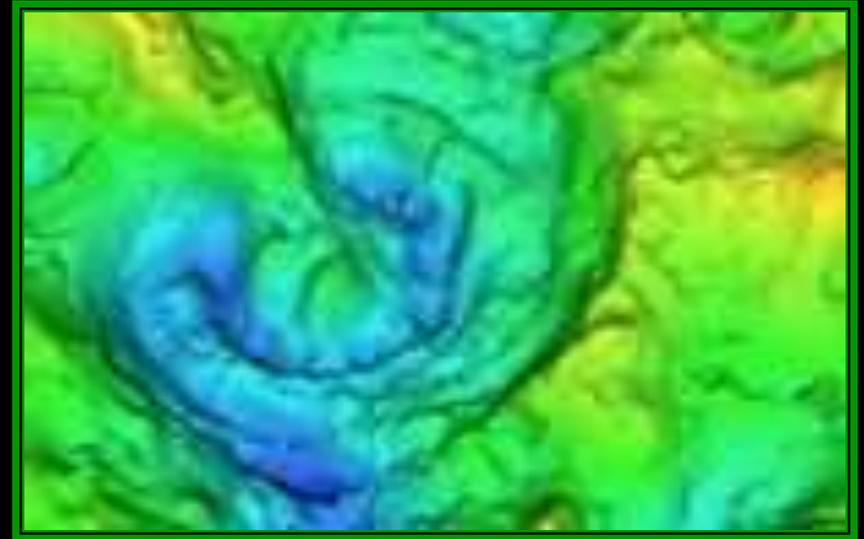
Parte do meteorito (180 g)

Efeitos dos corpos que caem do céu

Chicxulub

**Península
de Yukatan**

**65 milhões
de anos**



México



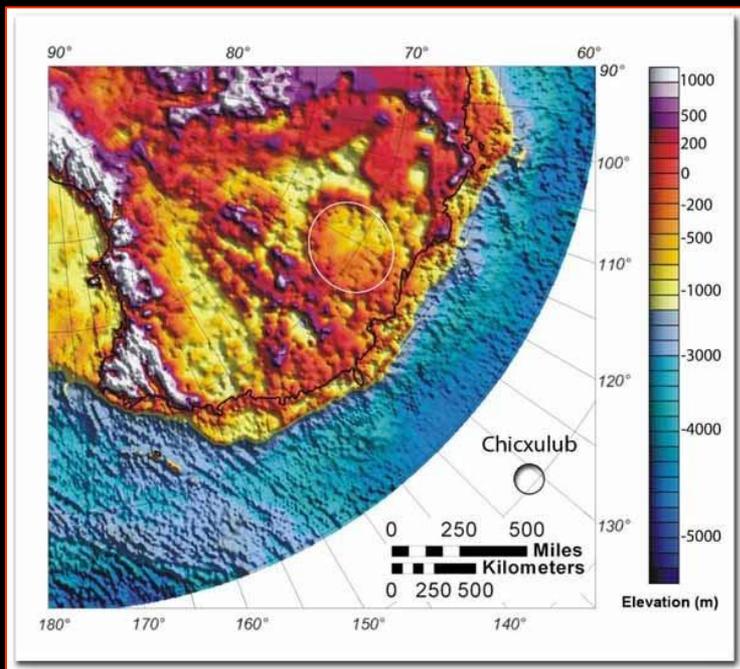
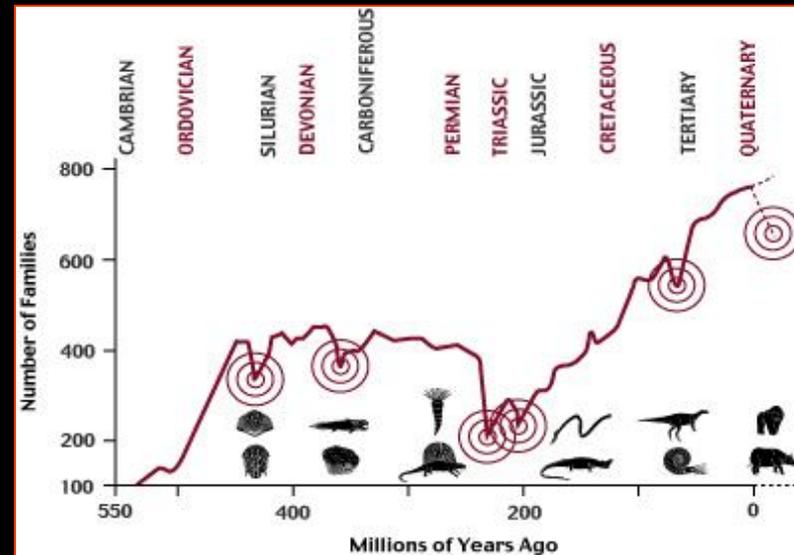
space.com
Artwork by Joe Bergeron

Efeitos dos corpos que caem do céu

Wilkes Land

~480km
250 milhões de anos

Esta cratera, recentemente descoberta, foi produzida por um impacto de grandes proporções ocorrido na época da maior extinção em massa registrada.



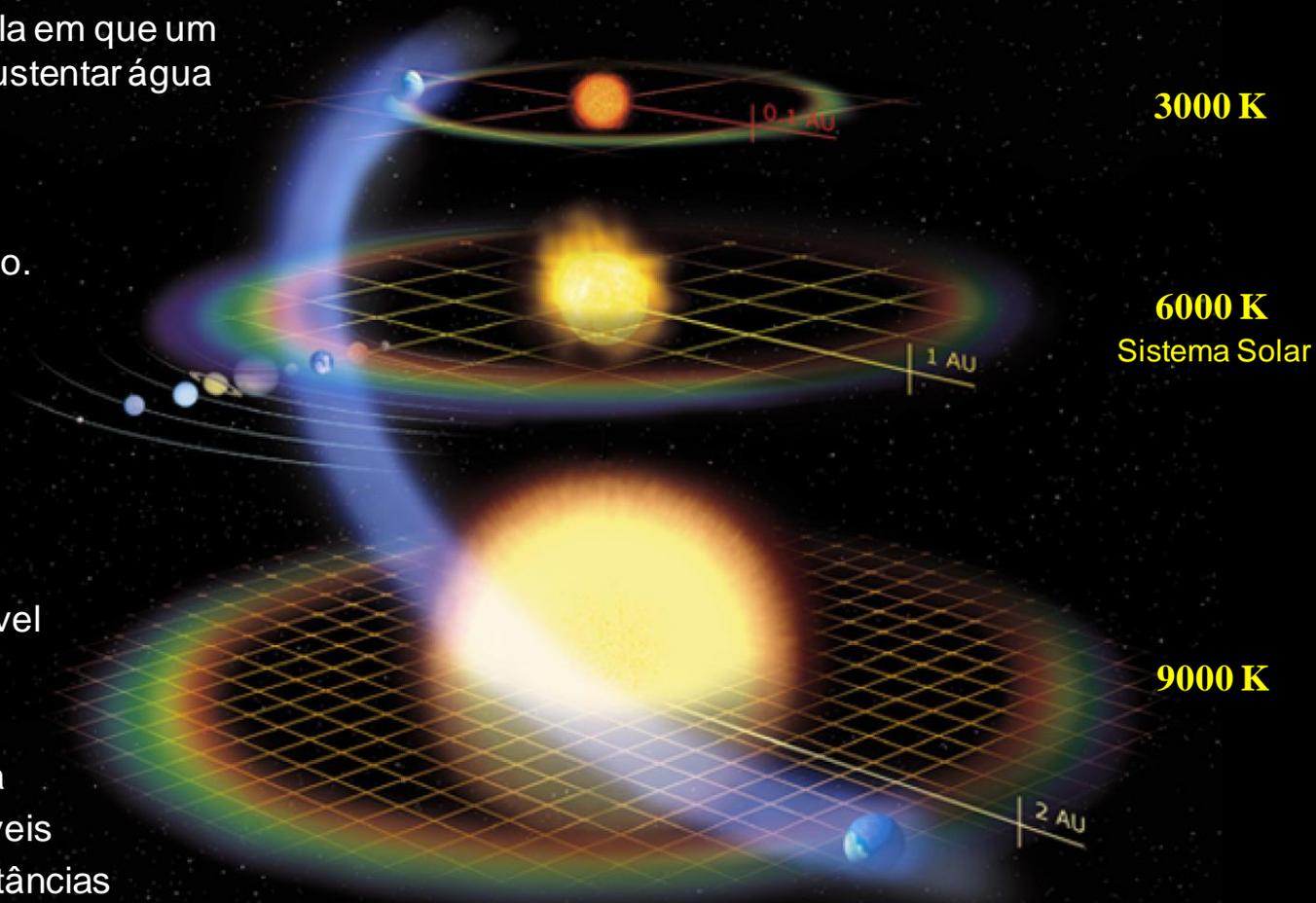
Zona habitável em torno de estrelas

Região em torno de uma estrela em que um planeta com atmosfera pode sustentar água líquida em sua superfície.

Vênus está próximo do limite interno e Marte, do limite externo.

Atualmente o Sol brilha 30% que no passado. Portanto, sua zona habitável já esteve mais próxima dele e estará mais distante no futuro.

O limite externo da zona habitável pode se estender devido à presença de CO_2 na atmosfera pois ele favorece o efeito estufa e mantém a temperatura em níveis elevados mesmo a grandes distâncias da estrela.

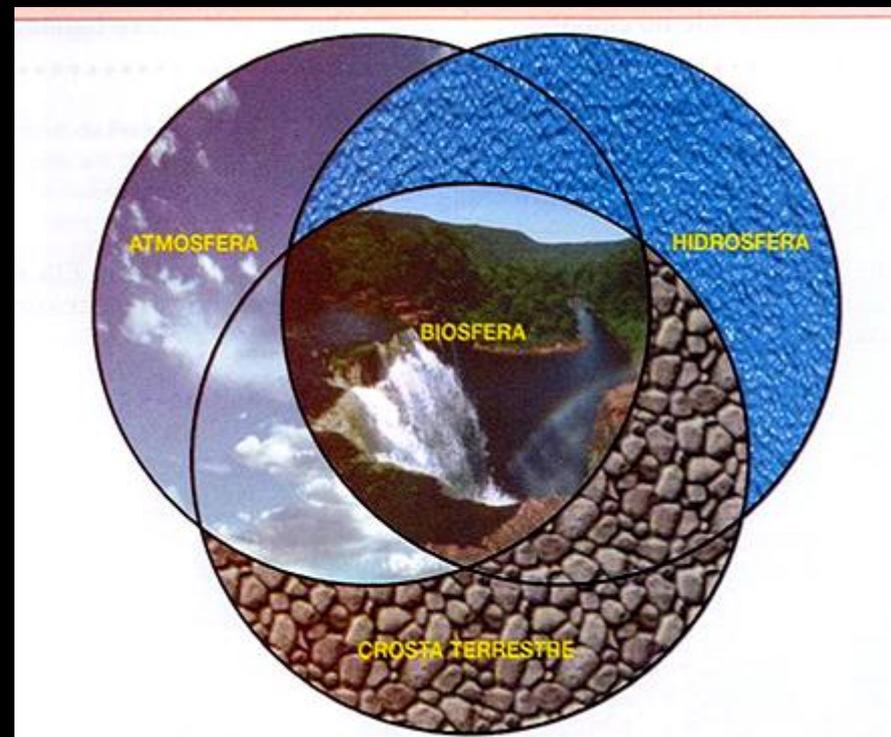


Água líquida pode ainda existir fora da zona habitável, desde que haja mecanismo de aquecimento. Decaimento radioativo no núcleo e dissipação de energia por maré em Europa (satélite de Júpiter) liquefazem a água da superfície e sua capa congelada dificulta a perda de calor.

Terra – um planeta atípico

Condições para desenvolvimento e sustentabilidade de vida em um planeta:

- Deve possuir composição química favorável.
- Deve ter fonte interna de calor.
- Deve possuir atmosfera, que propicie efeito estufa e o proteja de radiação maléfica à vida (UV, raios X).
- Deve possuir magnetosfera, para protegê-lo de radiação corpuscular da estrela – vento estelar).
- Sua órbita não pode ter excentricidade elevada, senão sofrerá variação acentuada de temperatura.
- A rotação e a translação não podem ser sincronizadas senão ele terá sempre a mesma face voltada para sua estrela.
- A orientação do eixo de rotação deve ser estável para evitar glaciação.
- Manter estas condições por tempo prolongado.



Por ora, o nosso é o único planeta que apresenta estas características.