

Conceitos Fundamentais da Física do Sistema Solar (MPA5004)

Enos Picazzio (IAGUSP)



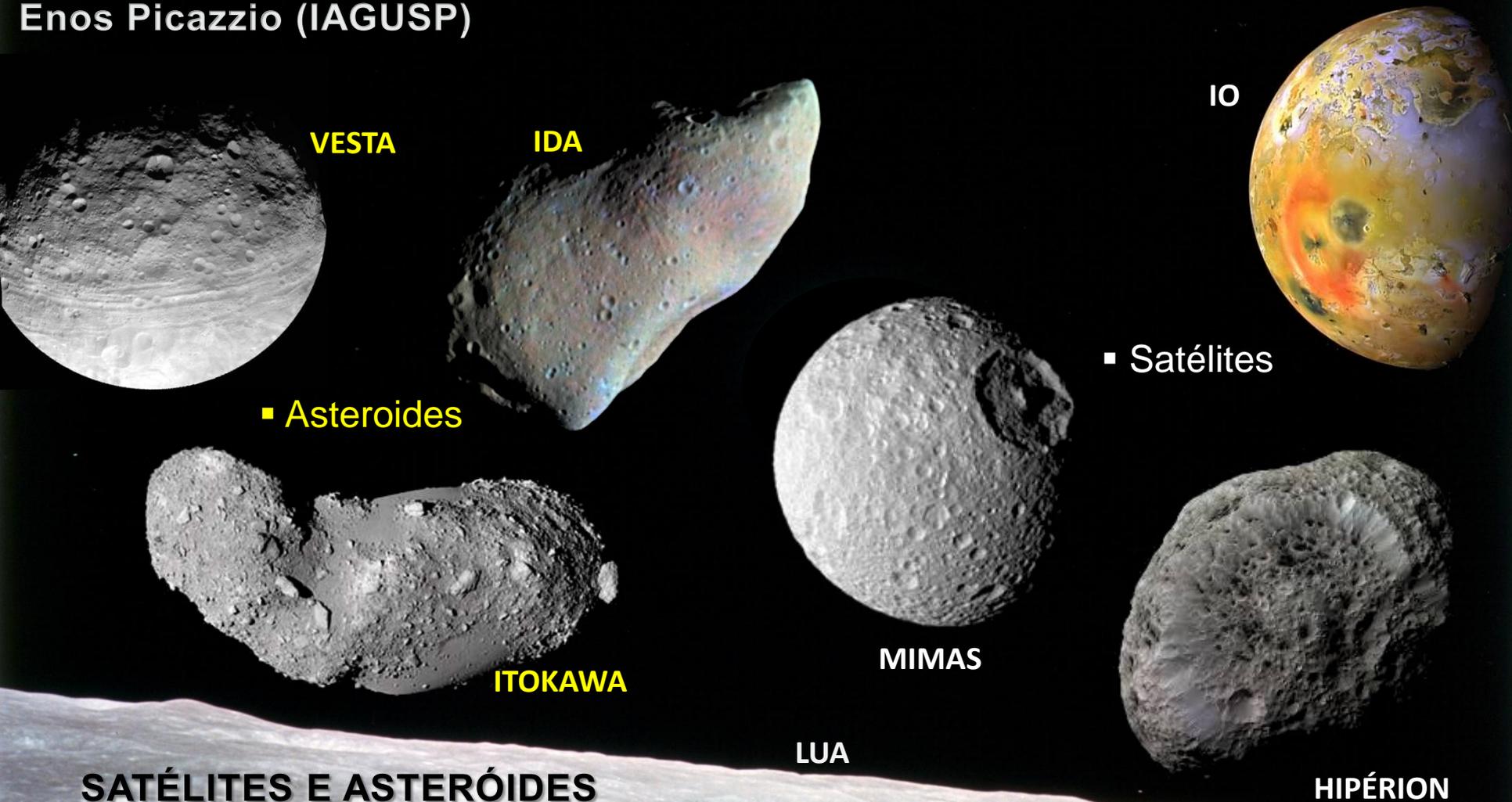
SATÉLITES E ASTERÓIDES

Parte A: Satélites

NÃO HÁ PERMISSÃO DE USO PARCIAL OU TOTAL DESTE MATERIAL PARA OUTRAS FINALIDADES.

Conceitos Fundamentais da Física do Sistema Solar (MPA5004)

Enos Picazzio (IAGUSP)



▪ Asteroides

▪ Satélites

SATÉLITES E ASTERÓIDES

Parte A: Satélites

NÃO HÁ PERMISSÃO DE USO PARCIAL OU TOTAL DESTE MATERIAL PARA OUTRAS FINALIDADES.
Tamanhos fora de escala

Satélites: comparativo

Satélites comparáveis à Mercúrio

	raio (km)	massa (10^{23} kg)	
Mercúrio	2.440	3,3	5,43 g/cm³
Ganimedes	2.634	1,5	1,94 g/cm ³
Calisto	2.403	1,2	1,83 g/cm ³
Titã	2.575	1,3	1,88 g/cm ³

Terra: massa = $5,97 \cdot 10^{24}$ kg , dens = 5,51 g/cm³

Satélites comparáveis à Lua

	raio (km)	massa (10^{22} kg)	
Lua	1.738	7,4	3,34 g/cm³
Io	1.821	8,9	3,53 g/cm ³
Europa	1.565	4,8	3,03 g/cm ³
Tritão	1.353	2,2	2,05 g/cm ³

LUA: Satélite da Terra



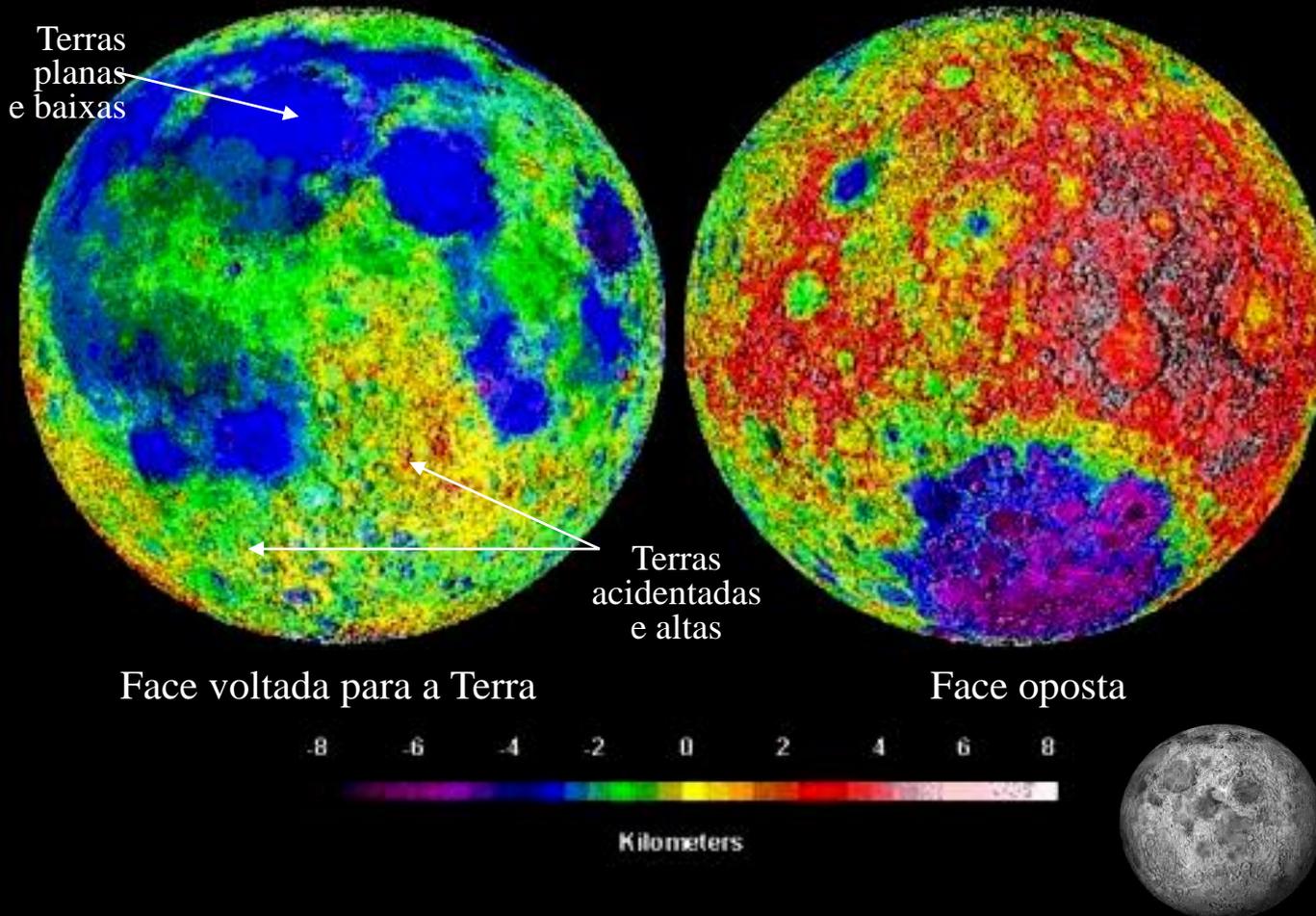
**O vídeo feito com 110 mil fotos
Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)**

NASA's Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

LUA: topografia pela sonda Clementina

Clementine Topographic Map of the Moon

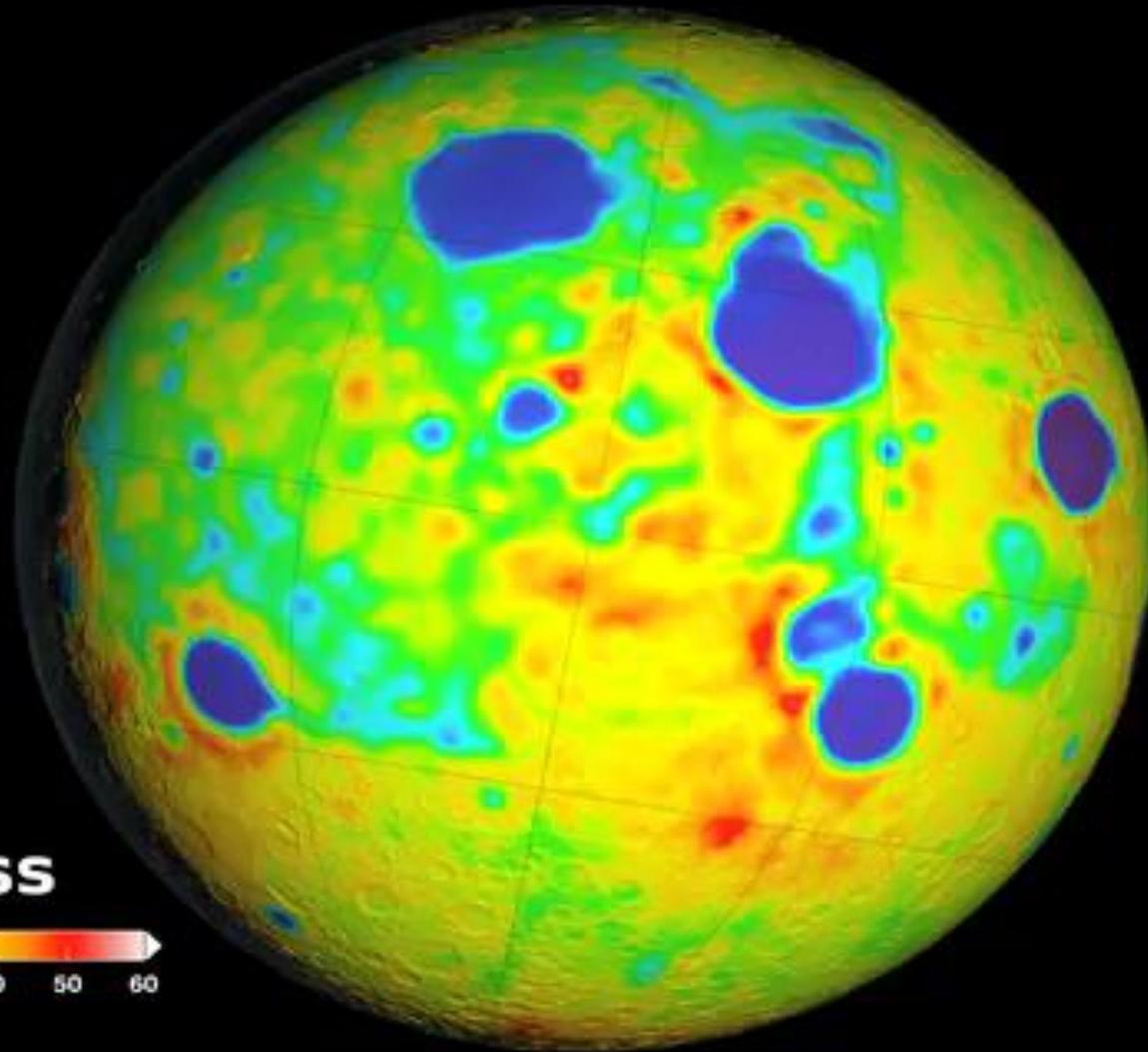
Contour Interval - 500 m



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.

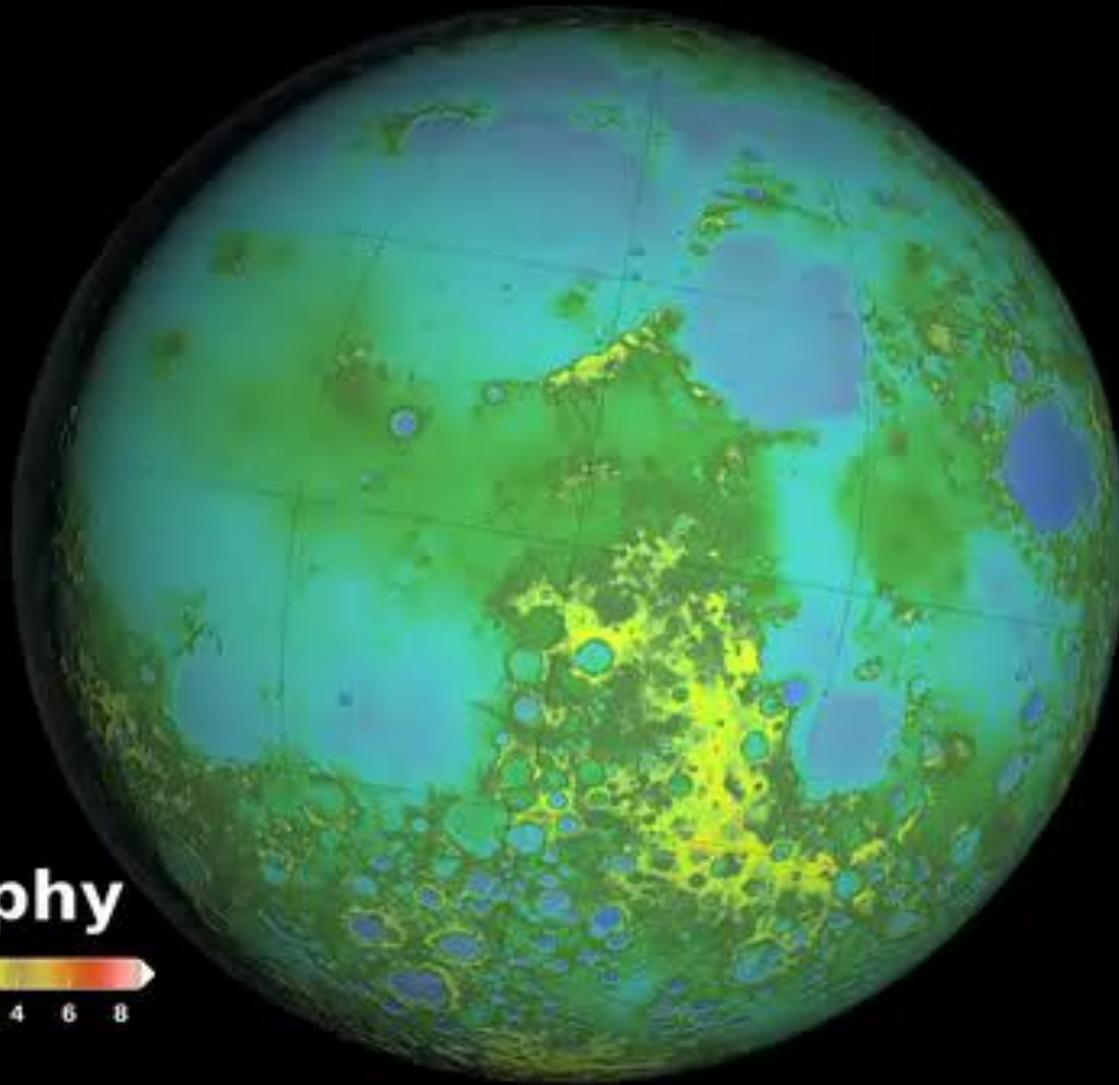
LUA: crosta (Lunar Reconnaissance Orbiter)



**Crustal
Thickness**



LUA: topografia (Lunar Reconnaissance Orbiter)

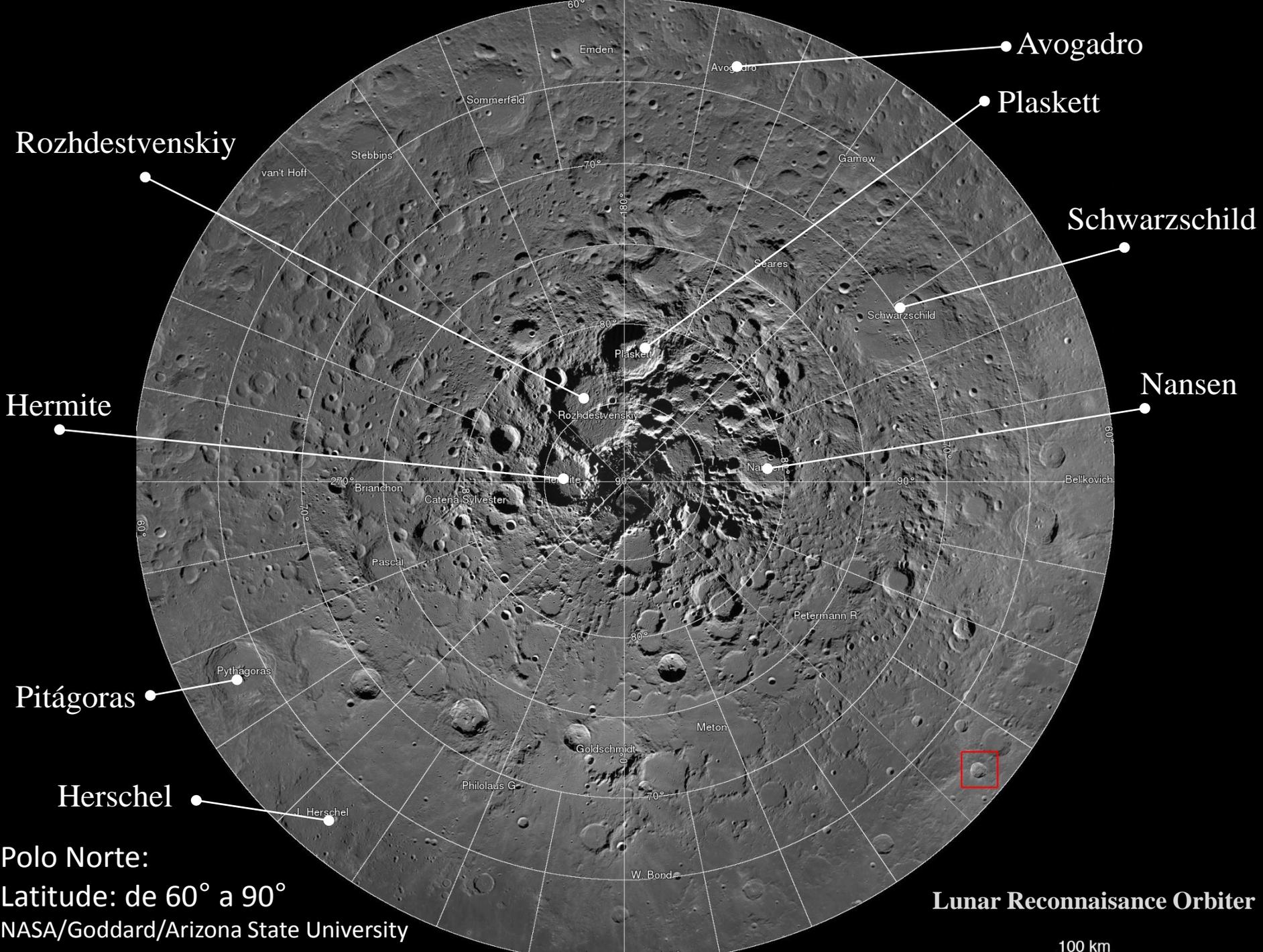


LOLA
Topography



LUA: Crateras em escuridão permanente (LRO)





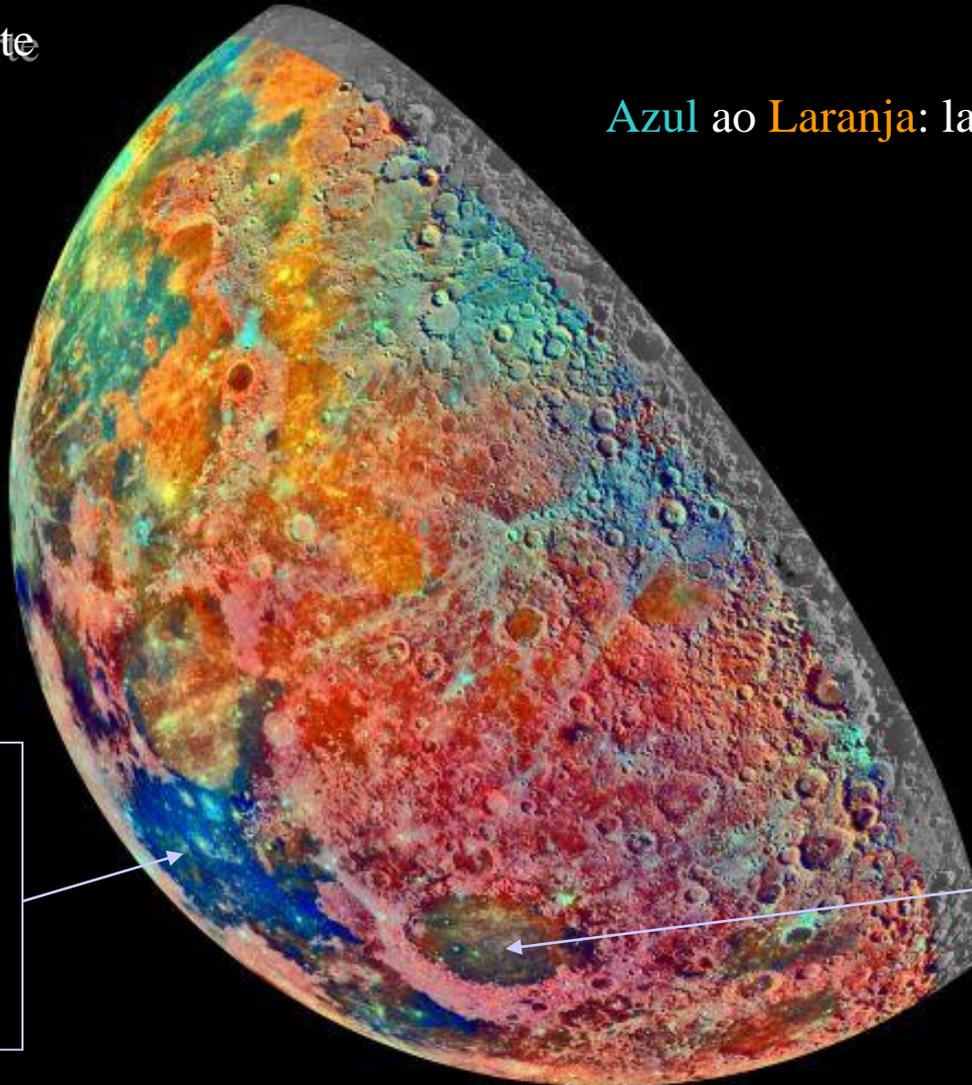
LUA: Topografia

(sonda Galileo)

Mosaico de 53 imagens obtidas com 3 filtros espectrais. Cores falsas.

Pólo Norte

Azul ao Laranja: lavas vulcânicas



Mar da
Tranquilidade
terreno rico em
titanium (cor
azul escuro)

Mar das Crises
circundado por
material típico
das terras altas
(cor rosa)

Galileo, 1992, NASA

LUA: Origen colisional



http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=50gxyyU0V7U#t=0s

LUA: Origem colisional



Resumidamente, por que esta é uma boa hipótese?

* **A Terra tem um grande núcleo de ferro, a Lua não.** Explicação: o ferro terrestre imergiu para o centro. No impacto, apenas o material das crostas dos dois corpos foi ejetado, o ferro do núcleo do corpo colidente fundiu e imergiu para o centro da Terra.

* **A Terra tem densidade média ~ 5,5 g/cc, e a Lua tem ~ 3,3 g/cc.** Isso indica que a Lua é deficiente em ferro.

* **Terra e Lua têm semelhança na composição isotópica, em especial do oxigênio. Marte e os meteoritos, que vêm de outras partes do Sistema Solar, têm composições diferentes.** Isso indica que a Lua é pode ter sido formada do mesmo material que predominava nas vizinhanças da Terra.

* **Forte semelhança de composição química entre planeta e satélite só se encontra nos casos Terra-Lua e Plutão-Caronte, nos demais não.**

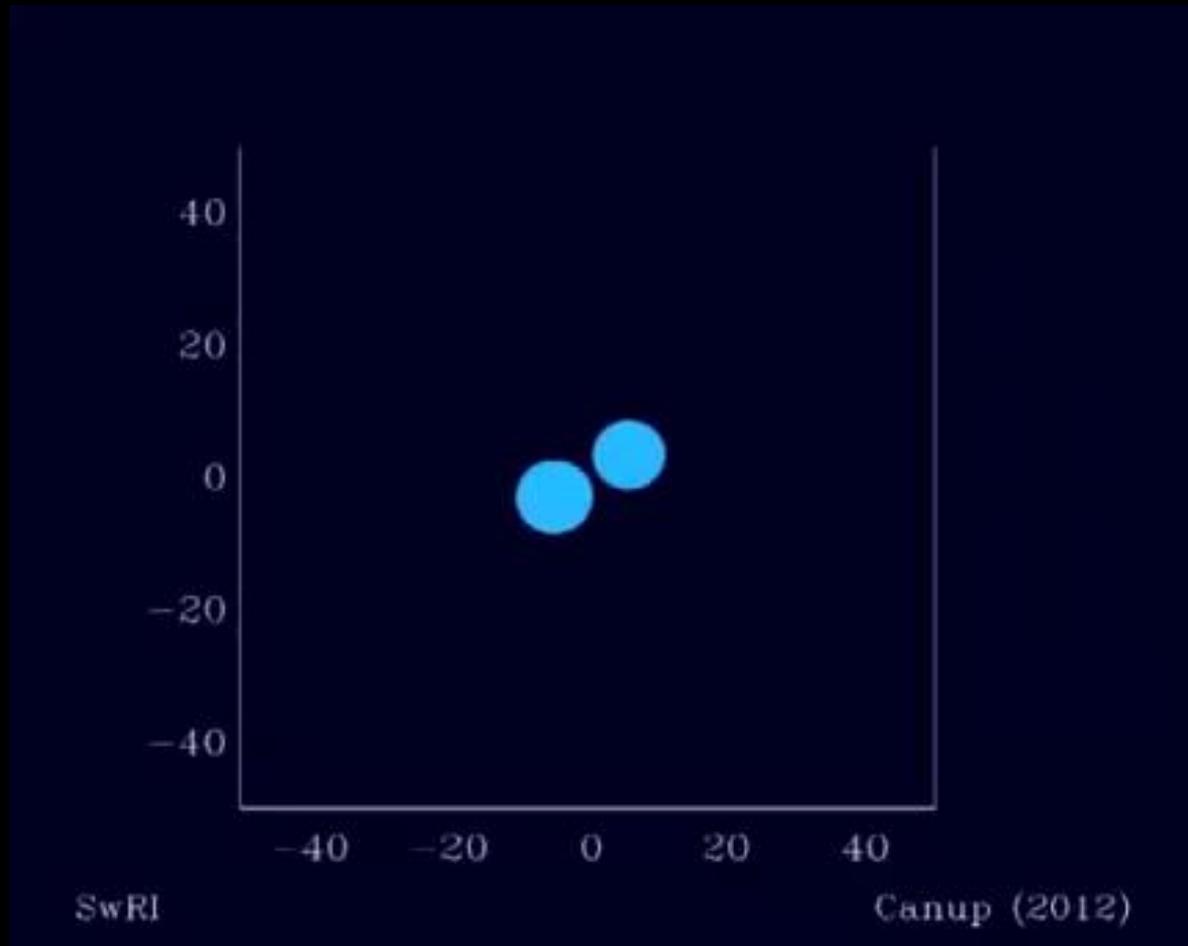
Se Terra e Lua fossem formadas juntas, suas órbitas seriam praticamente coplanares.
Inclinação: $5,9^\circ$ em relação à eclíptica.

LUA: Origem colisional

Outro cenário possível :

Colisão entre dois protoplanetas de tamanho similares, com massa equivalente à metade da massa atual da Terra, formando:

- (a) Terra com uma grande velocidade de rotação (período médio de 2h30m)
- (b) uma nuvem de destroços em torno da Terra se aglomerou formando a Lua.
- (c) A configuração do sistema Terra-Lua teria desacelerado a rotação do planeta.

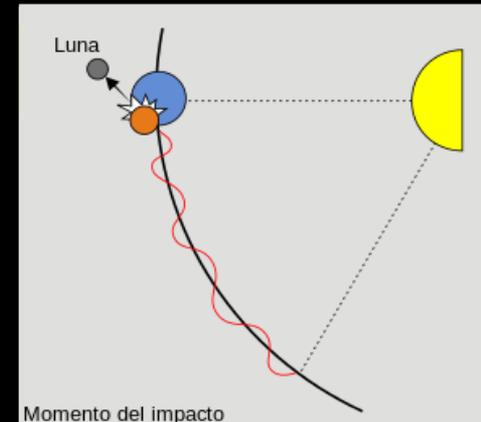
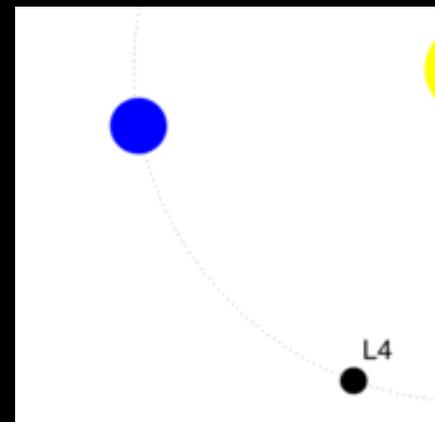
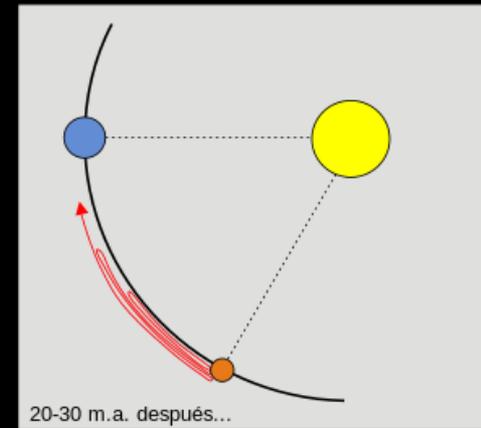
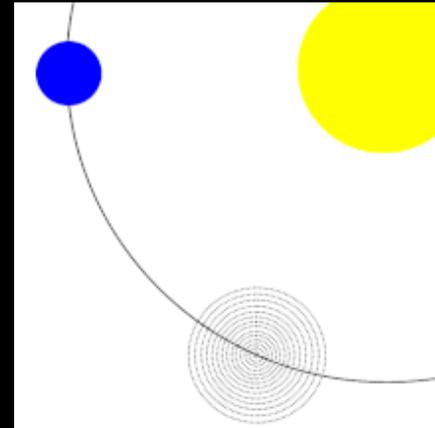
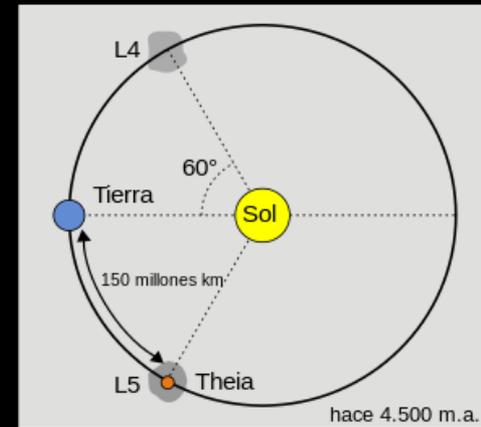


www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=iGaSon7Y_FA#t=12s

Robin Canup, revista Science (outubro /2012).

cienciahoje.uol.com.br/noticias/2012/10/rocha-da-minha-rocha

LUA: Origem colisional



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

LUA: Teoria do Grande Impacto (TGI)

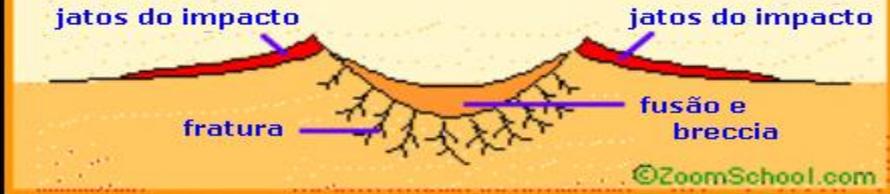
- ✓ **Colisão entre dois proto-planetas:** Terra (em fase final de formação) e Téia (mais ou menos do tamanho de Marte) . Isso explicaria porque a **Lua é tão pobre em substâncias voláteis.**
- ✓ **Lua seria composta de 70% de Téia e 30% de Terra.** A maioria dos planetas tem composições químicas muito específicas e diferem entre si. Essas diferenças deveriam existir também entre a **Lua e a Terra, mas elas são muito semelhantes,** sobretudo na concentração de elementos isotópicos. A **TGI prevê diferenças maiores** que as observadas.
- ✓ Pesquisa recente (*Daniel Herwartz, da Universidade Göttingen, Alemanha*) mostra diferenças nas taxas de concentração do ^{16}O e ^{17}O (que variam muito entre os planetas). Em amostras trazidas da Lua (Apolo 11, 12 e 16), **há mais ^{17}O que ^{16}O .** Isto implicaria em novo percentual: **Lua seria composta de 40% de Téia e 60% de Terra.**
- ✓ Téia seria semelhante aos **meteoritos condritos,** que são muito parecidos com a Terra.

LUA: Origen colisional

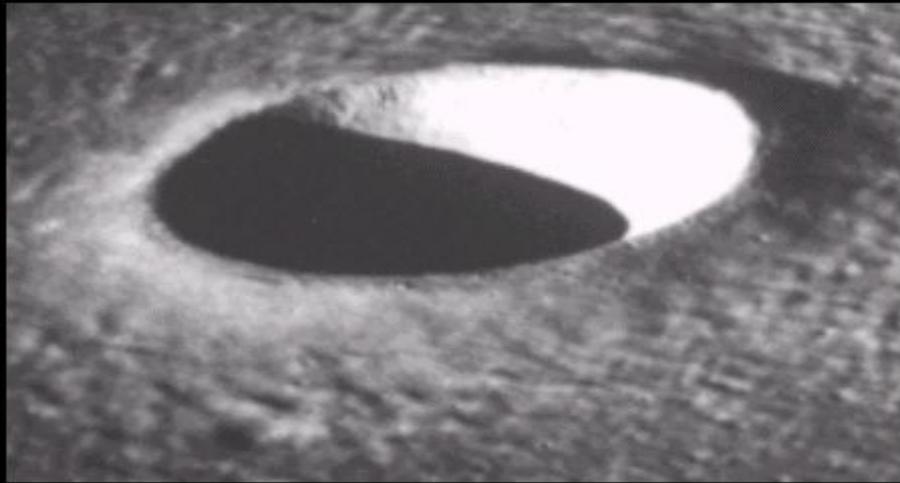
<http://www.youtube.com/watch?v=UIKmSQqp8wY&feature=related>

LUA: superfície (cratera de impacto)

Simple



até 20 km



Complexa



de 20 a 200 km



Bacias de impacto: acima de 200 km

Quanto maior, mais antiga.

- Formato: circular
- Presença de pico central (decorrente da reflexão das ondas de choque) nas grandes.
- Perfil: paredes baixas de pequena inclinação, oposto ao de uma cratera vulcânica.

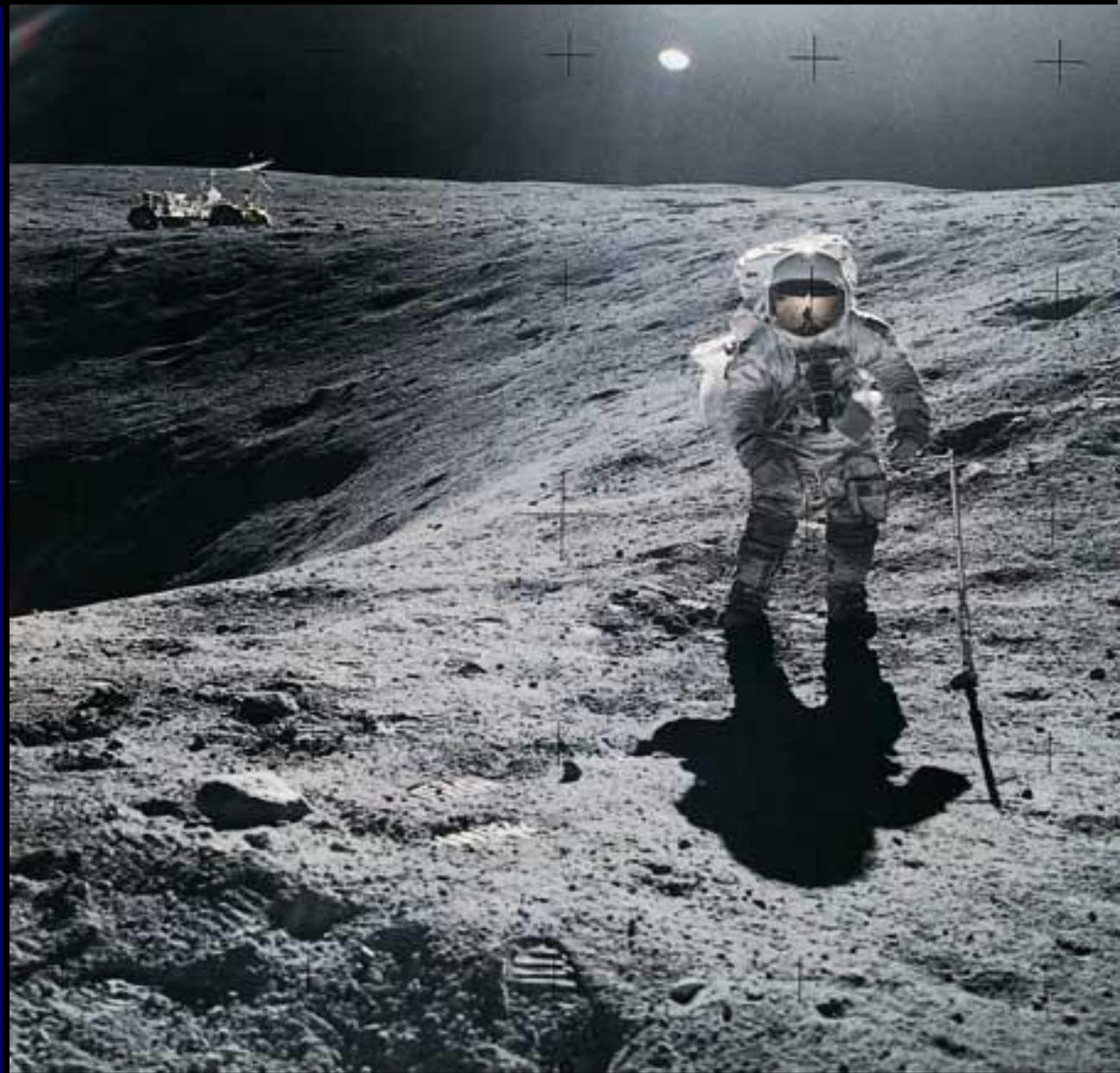
LUA: superfície

Toda a superfície lunar é recoberta por uma camada de poeira, chamada **REGOLITO**.

Essa poeira é formada de minúsculas partículas rochosas originadas da pulverização das rochas pelas sucessivas colisões com meteoróides.

Profundidade média do regolito:

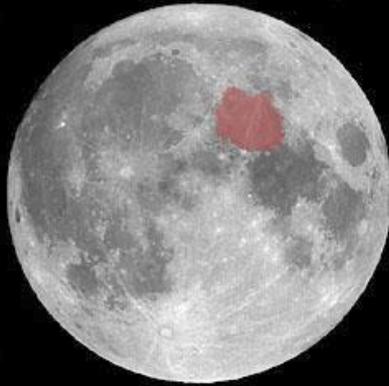
- na zona dos mares pode alcançar de 4 a 5 metros;
- nas regiões montanhosas pode chegar a 10 metros de profundidade.



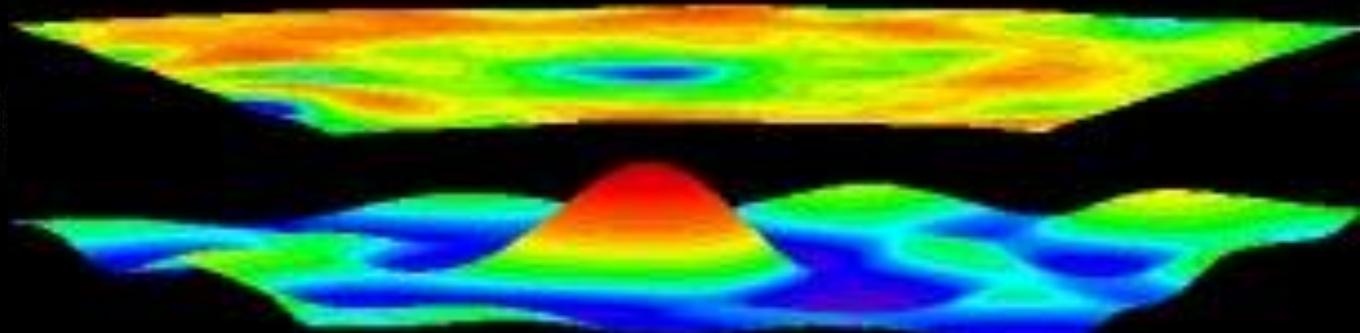
É composto por basalto, feldspato e outros minerais procedente do espaço.

LUA: concentração de massa (mascons)

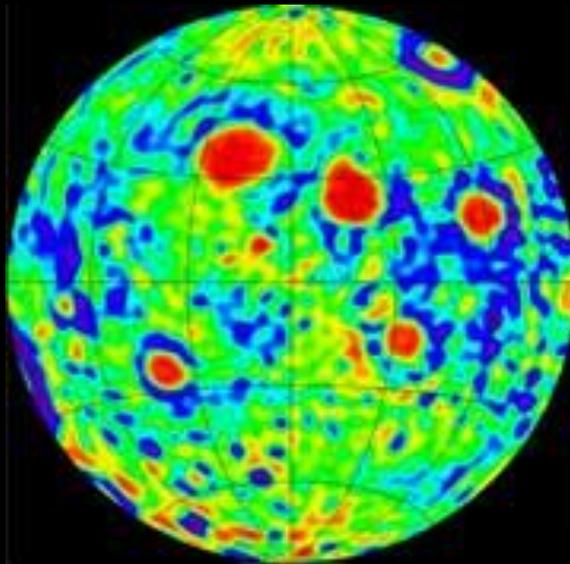
Mar da Serenidade



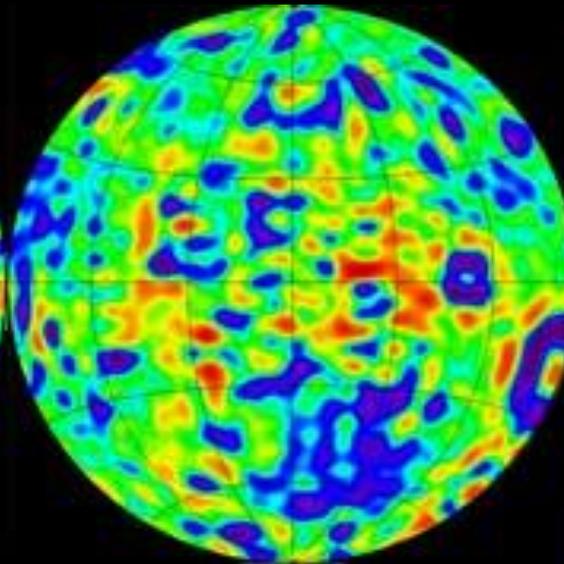
Topografia: terreno relativamente plano



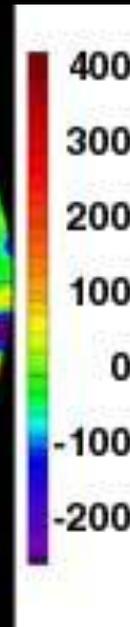
Campo de gravidade: forte concentração na parte central



Near Side



Far Side



Mapa de gravidade
obtido pela sonda
Lunar Prospector
(NASA)

LUA: superfície (rochas lunares)

- **Mares**

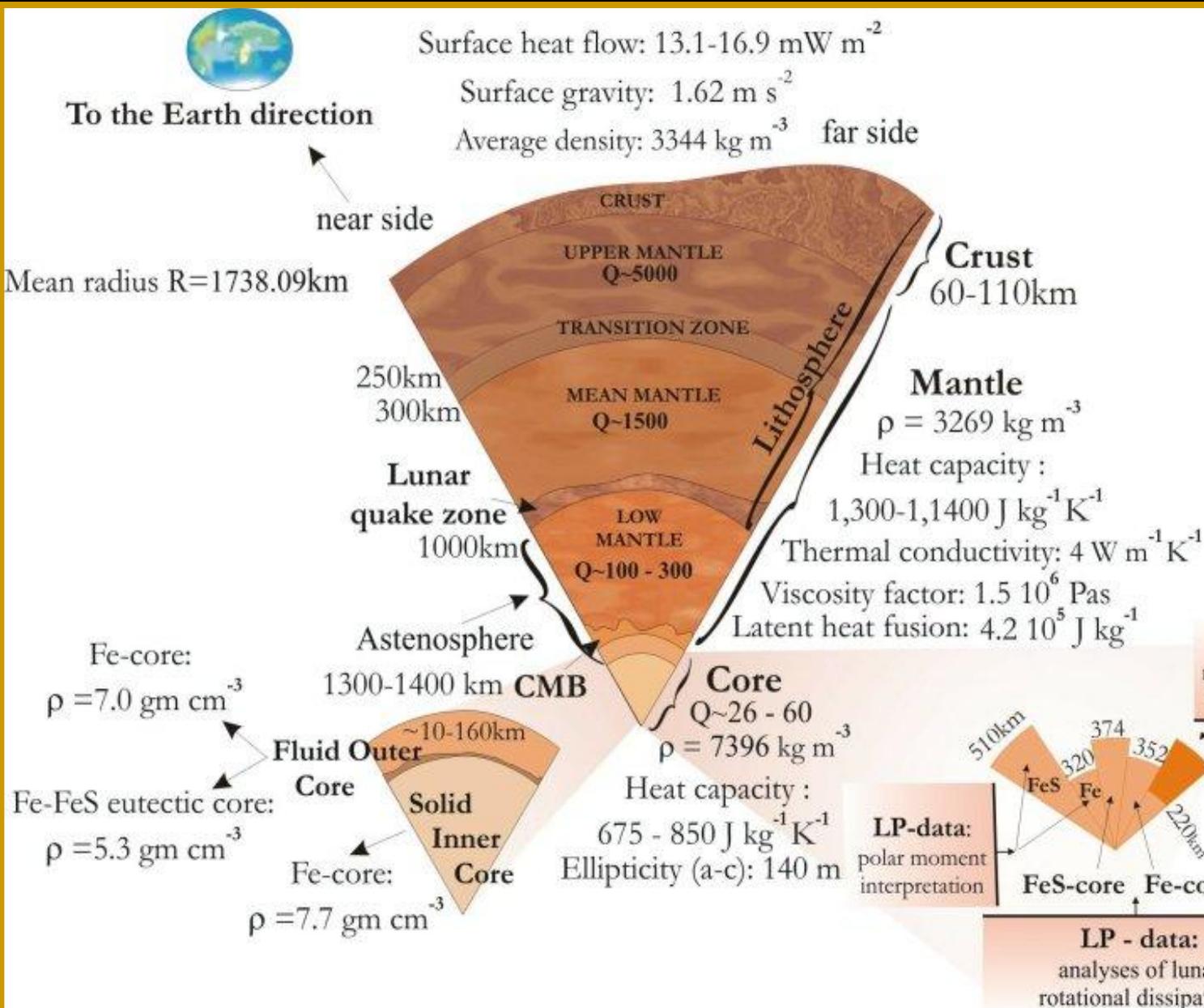
- Regiões mais escuras, e
- Mais jovens (3 a 4 bilhões de anos).
- Regiões de lavas solidificadas (rochas basálticas).
- Terras baixas e superfície plana (primeiro pouso: Mar da Tranquilidade)



- **Continents**

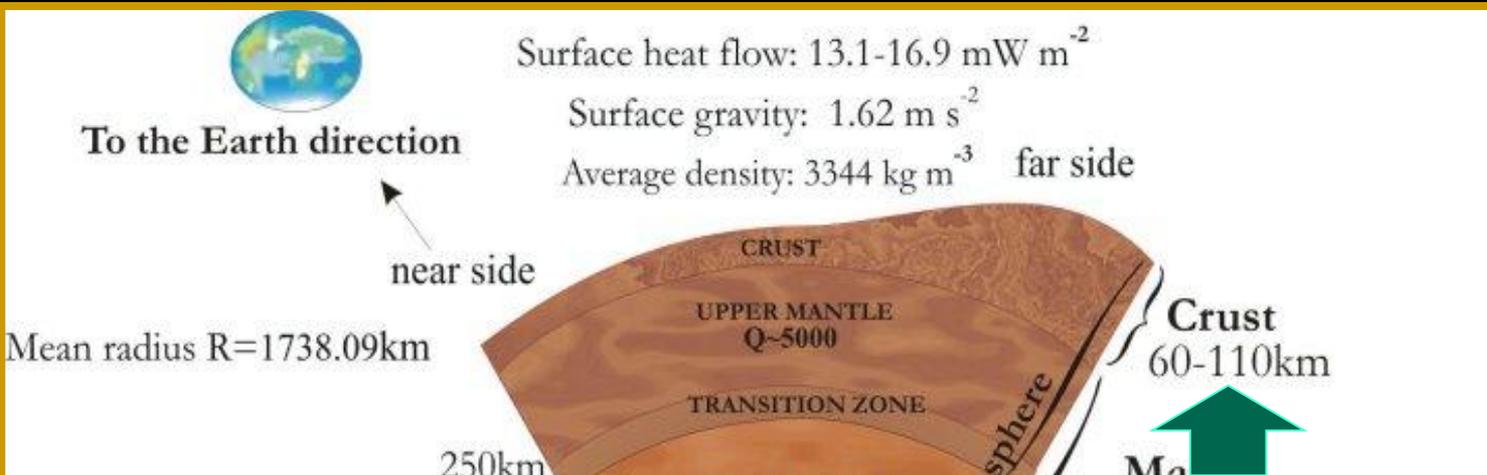
- Regiões mais claras,
- Mais velhas (4 a 4,5 bilhões de anos), e
- Fortemente fragmentado por impactos de meteoróides (breccia: rochas compostas de fragmentos rochosos cimentados)

LUA: interior e composição química



Óxido	Terra (%)	Lua (%)
SiO ₂	49.9	43.5
TiO ₂	0.16	0.3
Al ₂ O ₃	3.64	6.0
FeO	8.0	13.0
MgO	35.1	32.0
CaO	2.89	4.5
Na ₂ O	0.34	0.09
K ₂ O	0.02	0.01

LUA: interior e composição química



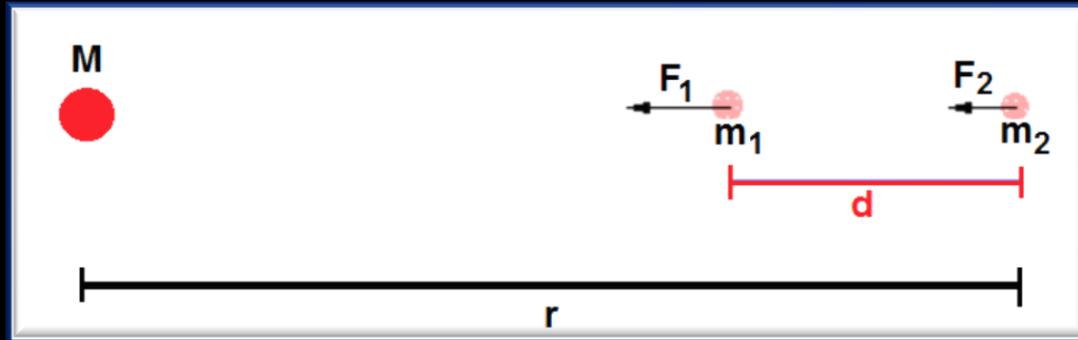
Óxido	Terra (%)	Lua (%)
SiO ₂	49.9	43.5
TiO ₂	0.16	0.3
Al ₂ O ₃	3.64	6.0
FeO	8.0	13.0
MgO	35.1	32.0

POSSÍVEL EXPLICAÇÃO PARA A ESPESSURA DE CROSTA DO HEMISFÉRIO OPOSTO.

- Logo após o impacto gigante, a Terra e a Lua foram muito quentes, com vaporização. Superfície terrestre pode ter atingido $2.500 \text{ }^\circ\text{C}$.
- A Lua estava 10 a 20 vezes mais perto da Terra. A sincronização dos períodos de rotação e translação lunar deve ter sido rápida.
- Sendo muito menor, a Lua esfriou rapidamente. Sua face voltada para a Terra ficou submetida à radiação da superfície terrestre, enquanto a outra não. Isso criou um gradiente de temperatura, que influenciou a formação da crosta lunar.
- Alumínio e cálcio teriam condensado na atmosfera do lado frio da Lua. Com o tempo (milhares e milhões de anos) esses elementos combinaram com silicatos do manto lunar.

MARÉ

Maré é consequência da *força gravitacional diferencial* (a diferença entre as forças gravitacionais exercidas em duas partículas vizinhas por um terceiro corpo).



$$F = -\frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

G = constante gravitacional
 m_1 = massa do 1º corpo
 m_2 = massa do 2º corpo
 r = distância entre os corpos

$$F = -\frac{GMm}{r^2} \Rightarrow \frac{dF}{dr} = \frac{2GMm}{r^3} \Rightarrow dF = \frac{2GMm}{r^3} dr \quad \text{ou} \quad \Delta F = \frac{2GMm}{r^3} dr$$

Considerando os efeitos gravitacionais da Lua e do Sol, temos:

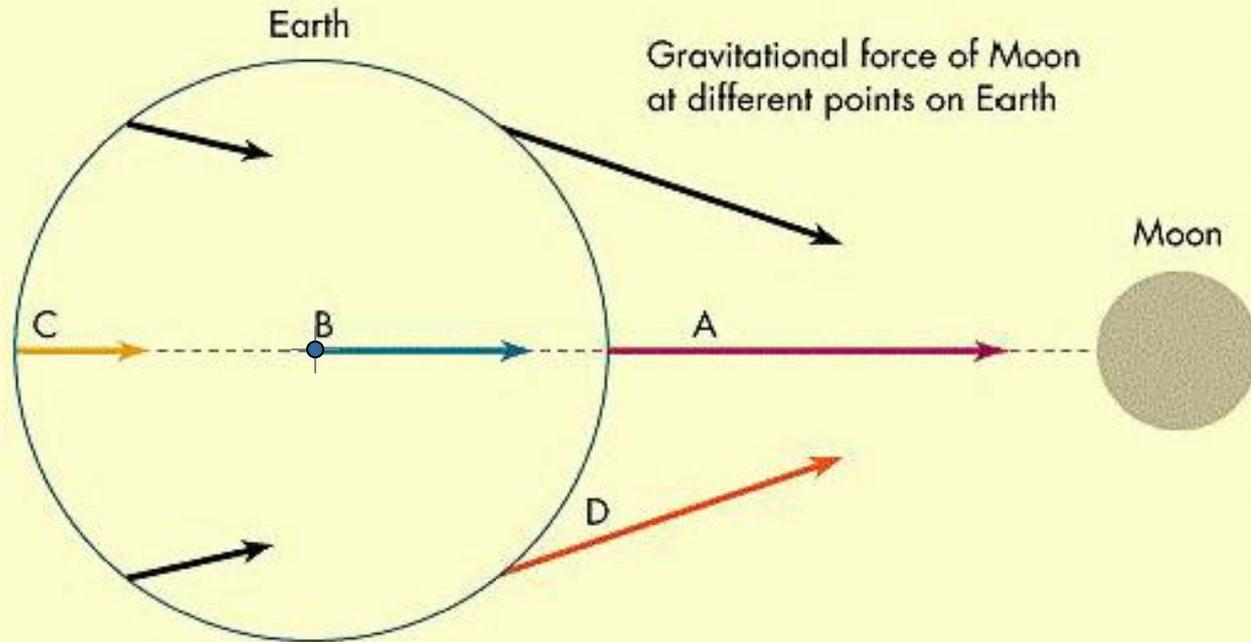
Lua massa distância

$$\frac{dF_L}{dF_S} = \frac{M_L}{M_S} \left(\frac{d_S}{d_L} \right)^3 = \frac{7,35 \times 10^{22} \text{ kg}}{2 \times 10^{30} \text{ kg}} \times \left(\frac{149.600.000 \text{ km}}{384.000 \text{ km}} \right)^3 = 2,17$$

Sol Sol é massivo, mas está distante. Maré lunar é mais intensa

MARÉ

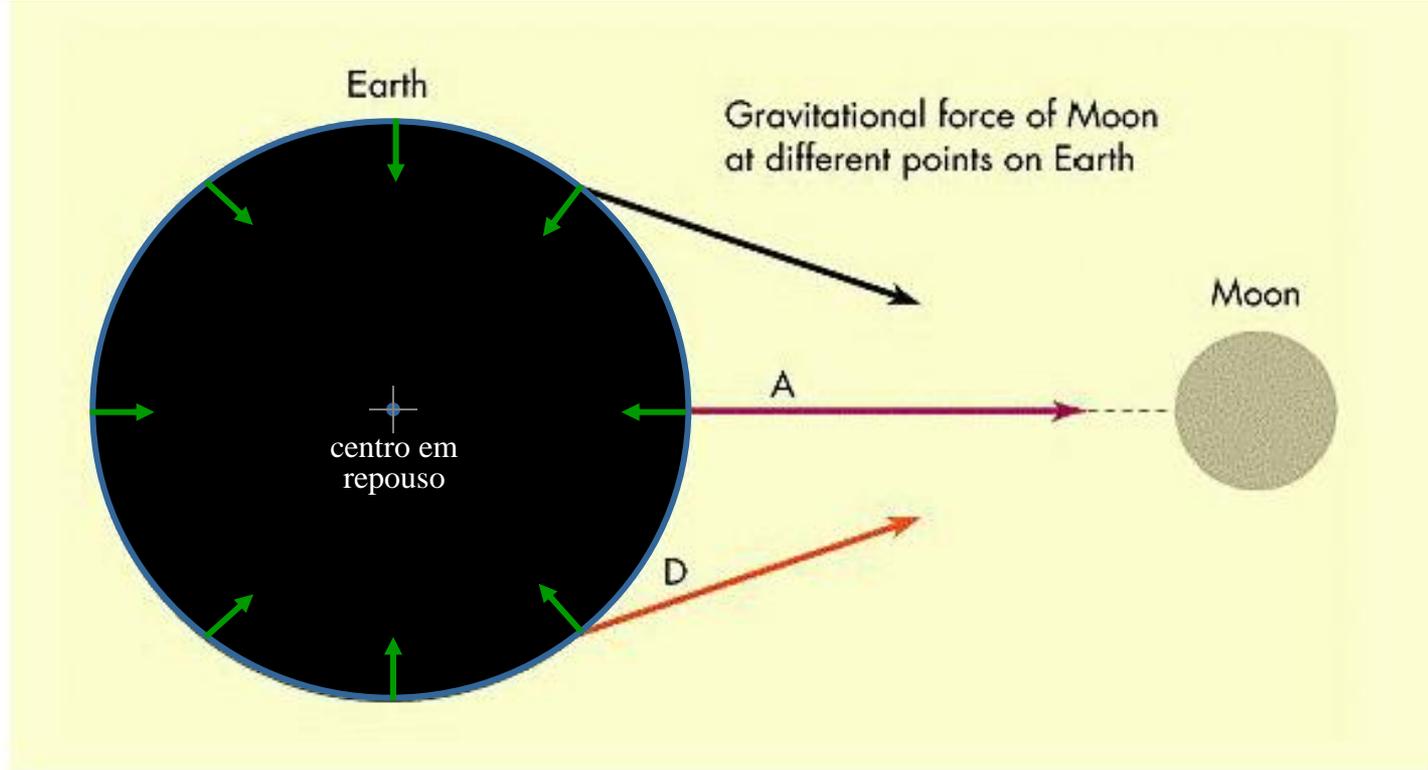
Esquema de forças de atração da Lua



A força líquida atuando em cada ponto origina a maré, ou seja, a deformação causada pela força diferencial. A representação acima mostra as forças provocadas pela Lua em diferentes pontos da Terra. No referencial localizado fora da Terra, o centro (B) não está em repouso.

MARÉ

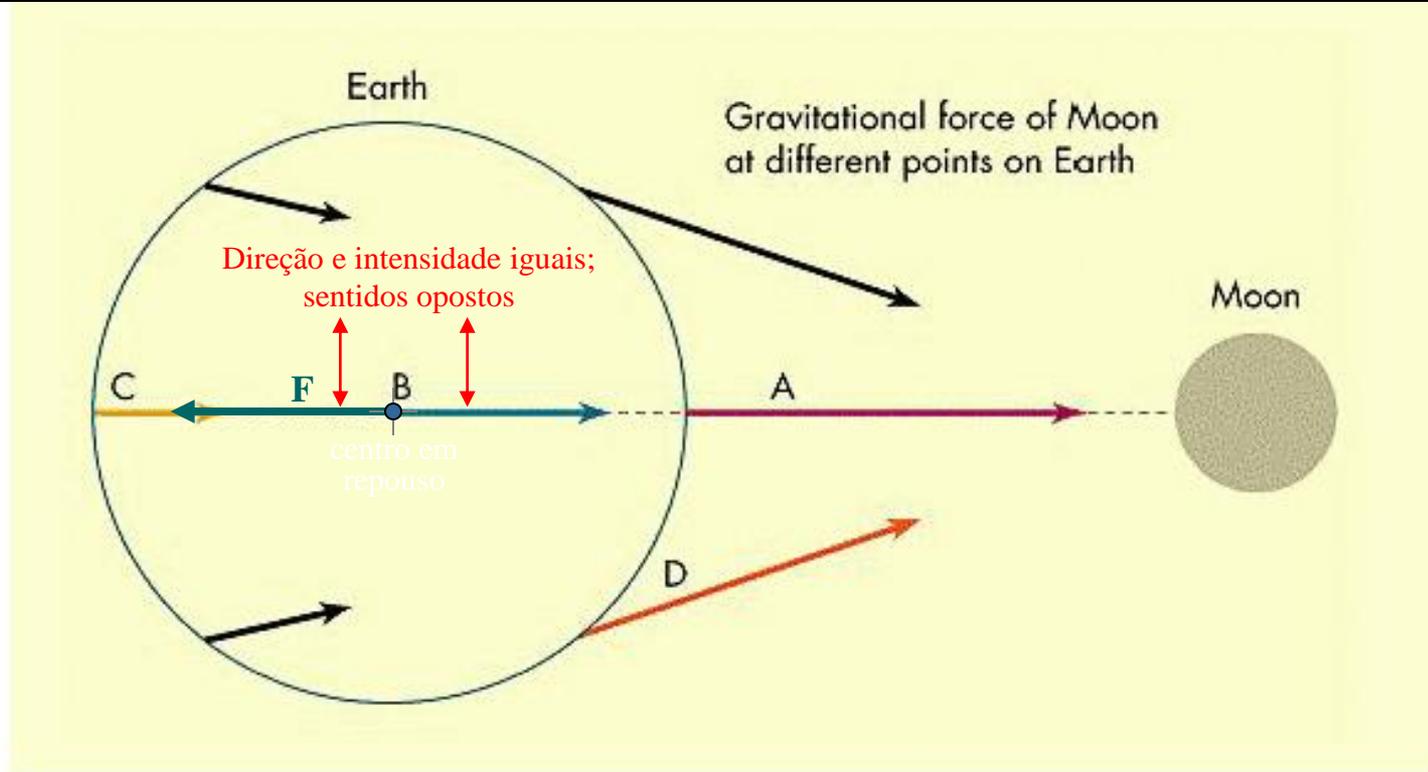
Esquema de forças de atração da Lua



Centrando o referencial na Terra, o centro fica em repouso e as forças de atração têm a mesma intensidade, são dirigidas ao centro e estão distribuídas ao longo da circunferência considerada (claro, admitindo a Terra esférica com distribuição de massa homogênea).

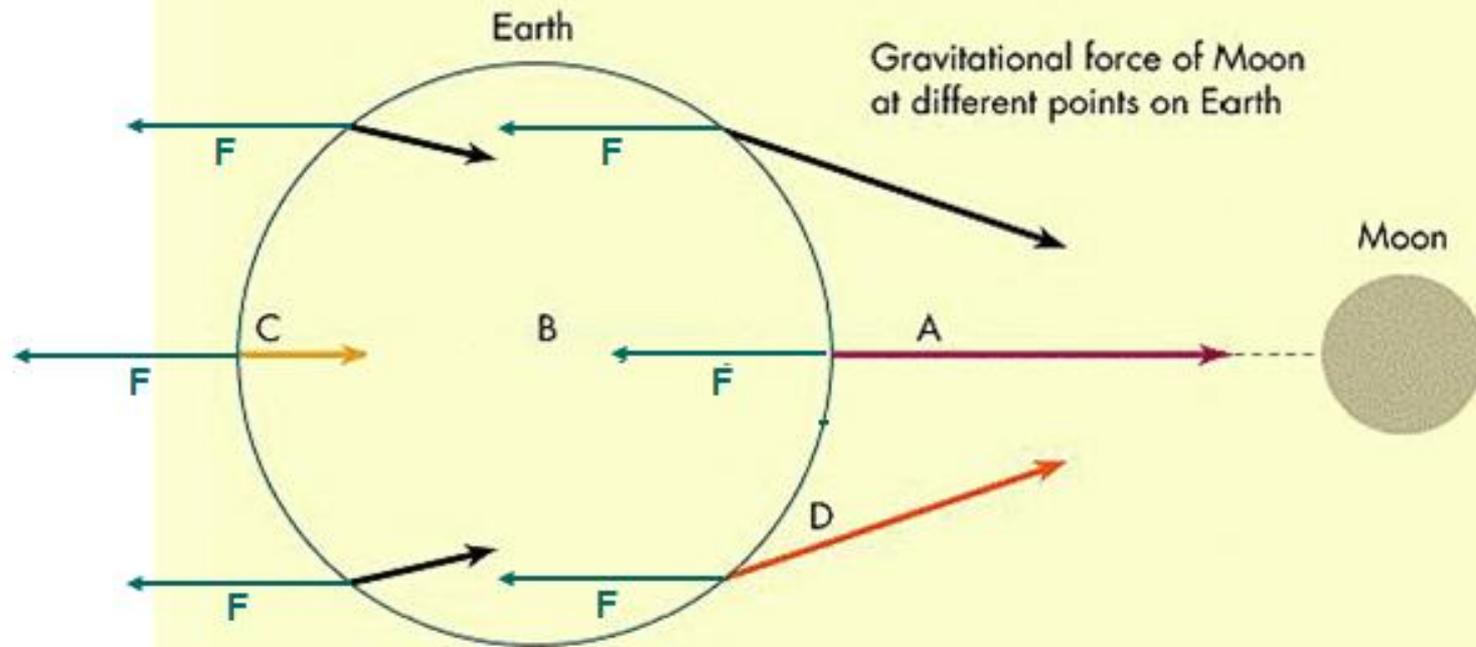
MARÉ

Esquema de forças de atração da Lua



Para que o centro fique em repouso, devemos subtrair uma força de mesma intensidade daquela atuando no centro por influência lunar, porém na direção oposta .

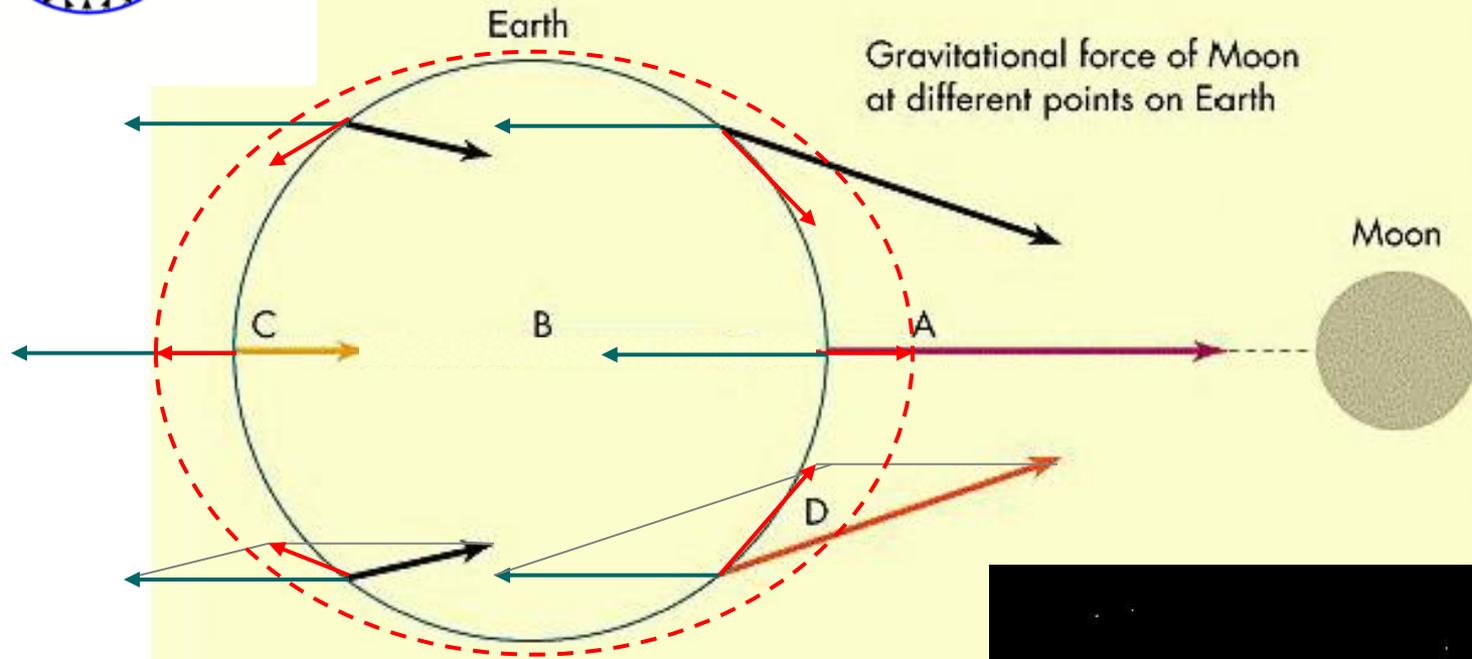
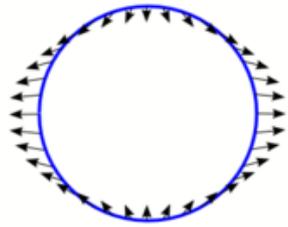
MARÉ



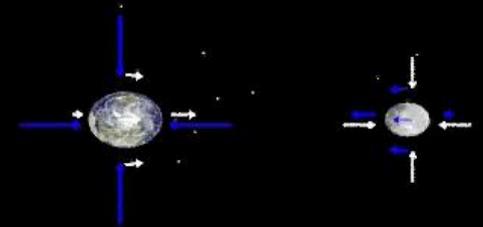
Mas, devemos aplicar essa força a todos os pontos

Para tanto, basta subtrairmos vetorialmente uma força igual e oposta àquela aplicada em B,

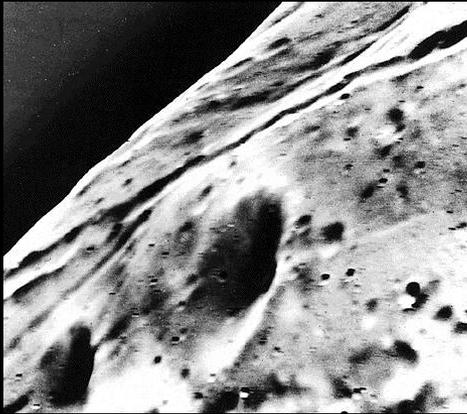
MARÉ



A soma vetorial mostra a distribuição das forças líquidas em cada ponto e a direção da deformação. Forma-se um alongado, na direção da Lua e na direção oposta. A deformação da parte sólida é cerca de 30 cm.



FOBOS: ~27x21x19 km,
move-se de O para L,
em ~7h39m, a 9378 km
de Marte; Dens: ~2g/cm³



MARTE

Imagens: NASA

MARTE:
~24h37m
Dens: ~4g/cm³



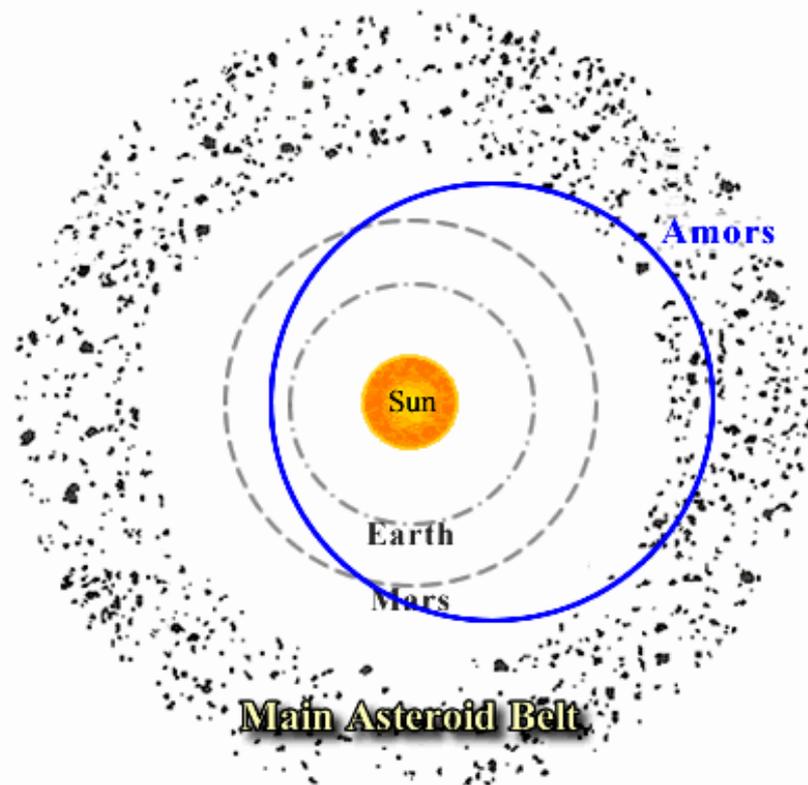
https://giphy.com/gifs/18kYYfkjuReec?utm_source=iframe&utm_medium=embed&utm_campaign=tag_click

FOBOS: ~27x21x19 km,
move-se de O para L,
em ~7h39m, a 9378 km
de Marte; Dens: ~2g/cm³

MARTE:
~24h37m
Dens: ~4g/cm³

DEIMOS: ~15x12x11 km,
move-se de L para O,
em ~30h18m, a 23459 km
de Marte; Dens: ~2g/cm³

Origem: provavelmente captura.
Melhores candidatos:
asteróides do grupo Amor



Rotações sincronizadas. Devido à maré,
Fobos está se aproximando de Marte



As órbitas sejam quase circulares e estejam
no plano equatorial marciano, há muita
variação entre as densidades médias deles e de Marte.
Portanto, provavelmente sejam asteroides capturados.

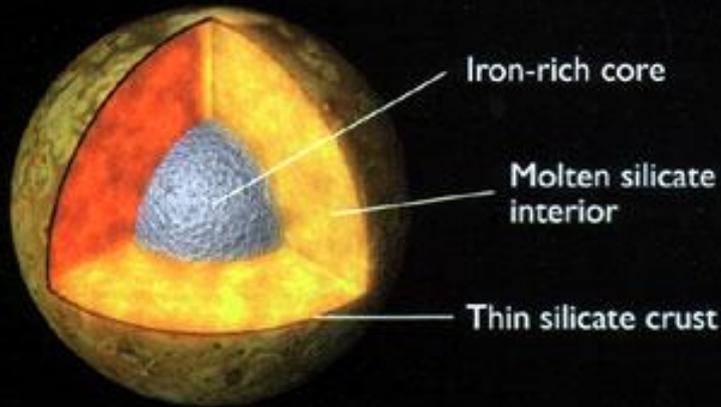
JÚPITER: satélites

67 satélites

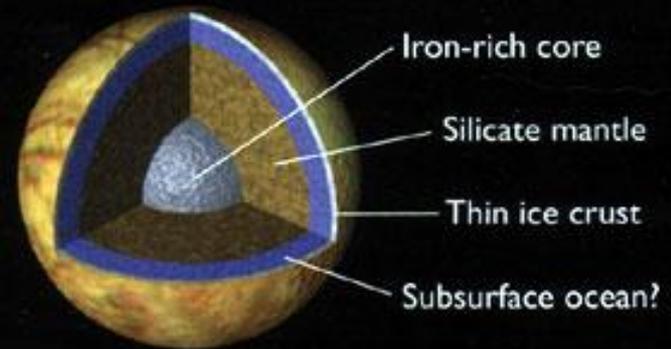
Nome(tamanho em km)

Io(1821.6), Europa(1560.8), Ganymede(1481.9), Callisto(2410.3),
Metis(20), Andrastea(13x10x8), Amalthea(131x73x67), Thebe(55x45),
Themisto(4), Leda(5), Himalia(85), Lysithea(12), Elara(40), S/2000 J11(2.0),
Harpalyke(2.2), Praxidike(3.4), Iocaste(2.6), Ananke(10), Chaldene(1.9),
Isonoe(1.9), Erinome(1.6), Taygete(2.5), Carme(15), Kalyke(2.6), Pasiphae(18),
Megaclite(2.7), Sinope(14), Callirrhoe(4), Autonoe(2), Thyone(2), Hermippe(2),
Eurydome(1.5), Sponde(1), Pasithee(1), Euanthe(1.5), Kale(11), Orthosie(1),
Euporie(1) Aitne(1.5), S/2002 J1(1.5), S/2003 J1(4), S/2003 J2(2), S/2003 J3(2),
S/2003 J4(2), S/2003 J5(4), /2003 J6(4), S/2003 J7(4), S/2003 J8(3), S/2003
J9(1), S/2003 J10(2), S/2003 J11(2), S/2003 J12(1), S/2003 J13(2), S/2003 J14
(2), S/2003 J15 (2), S/2003 J16(2), S/2003 J17(2), S/2003 J18(2), S/2003 J19(2),
S/2003 J20(3), S/2003 J21(2)...

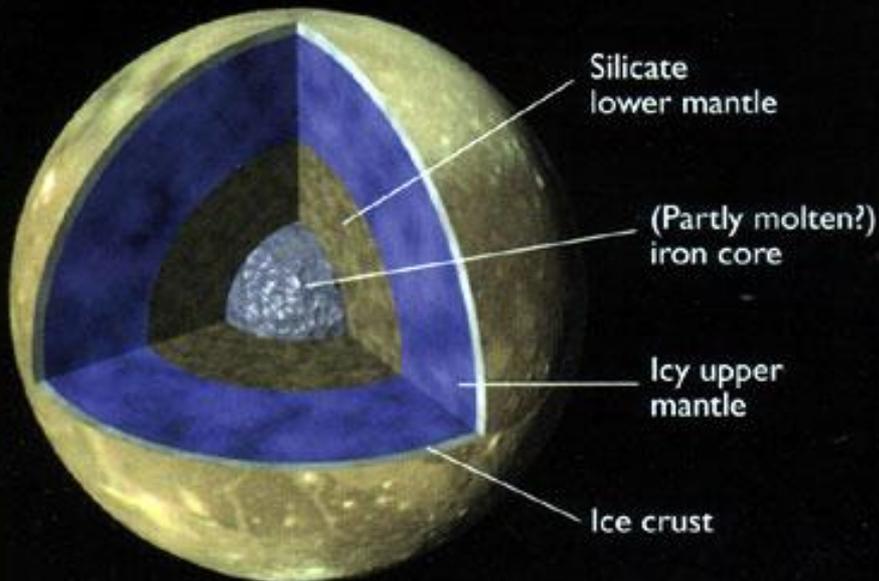
Quadro Comparativo



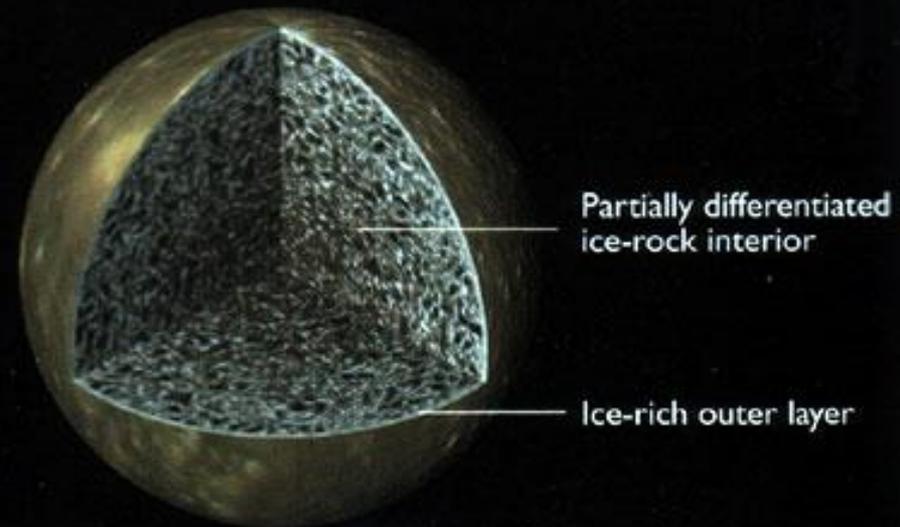
Io



Europa



Ganymede



Callisto

JÚPITER: satélites galileanos - IO

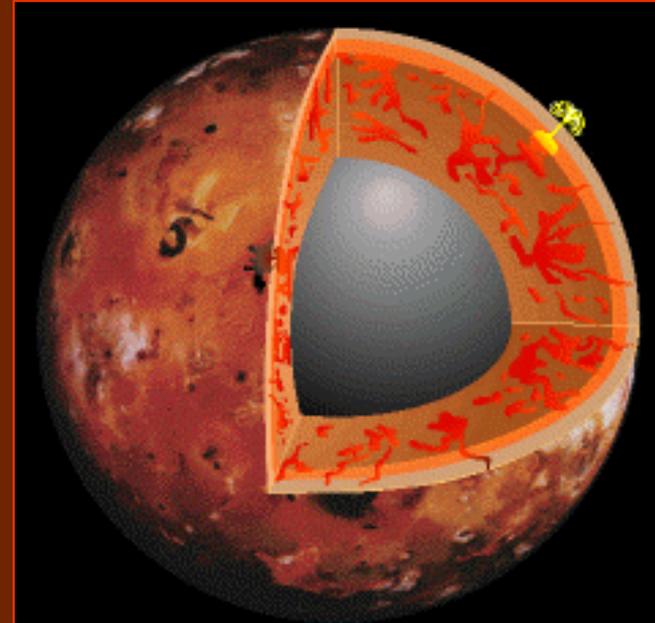


Raio: 1815 km

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

Órbita: 6 R_J (71540 km)

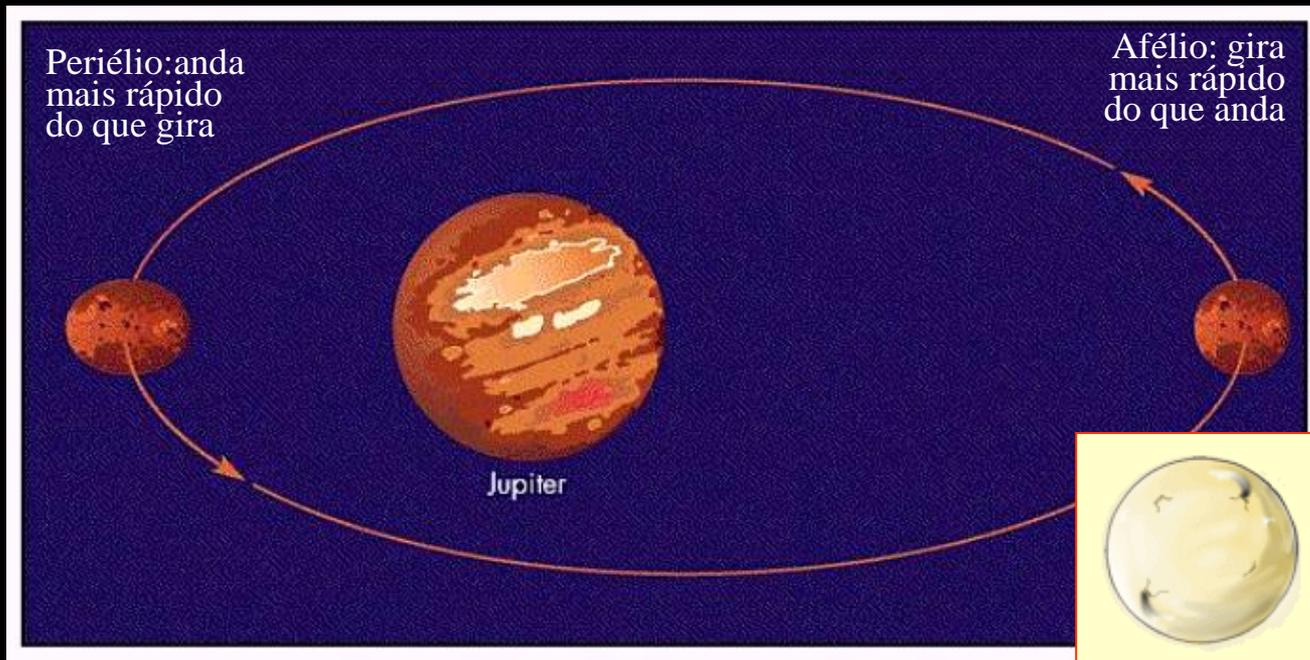
Temp.: -145 a -223 (°C)



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)

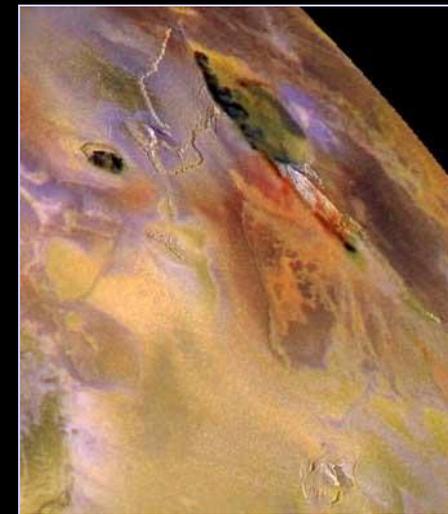
Densidade consistente com rocha, núcleo metálico, e crosta de sais de sódio e potássio, rico em enxofre. O Manto fundido contém enxofre, SO₂ e silicatos.

JÚPITER: satélites galileanos - IO



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.

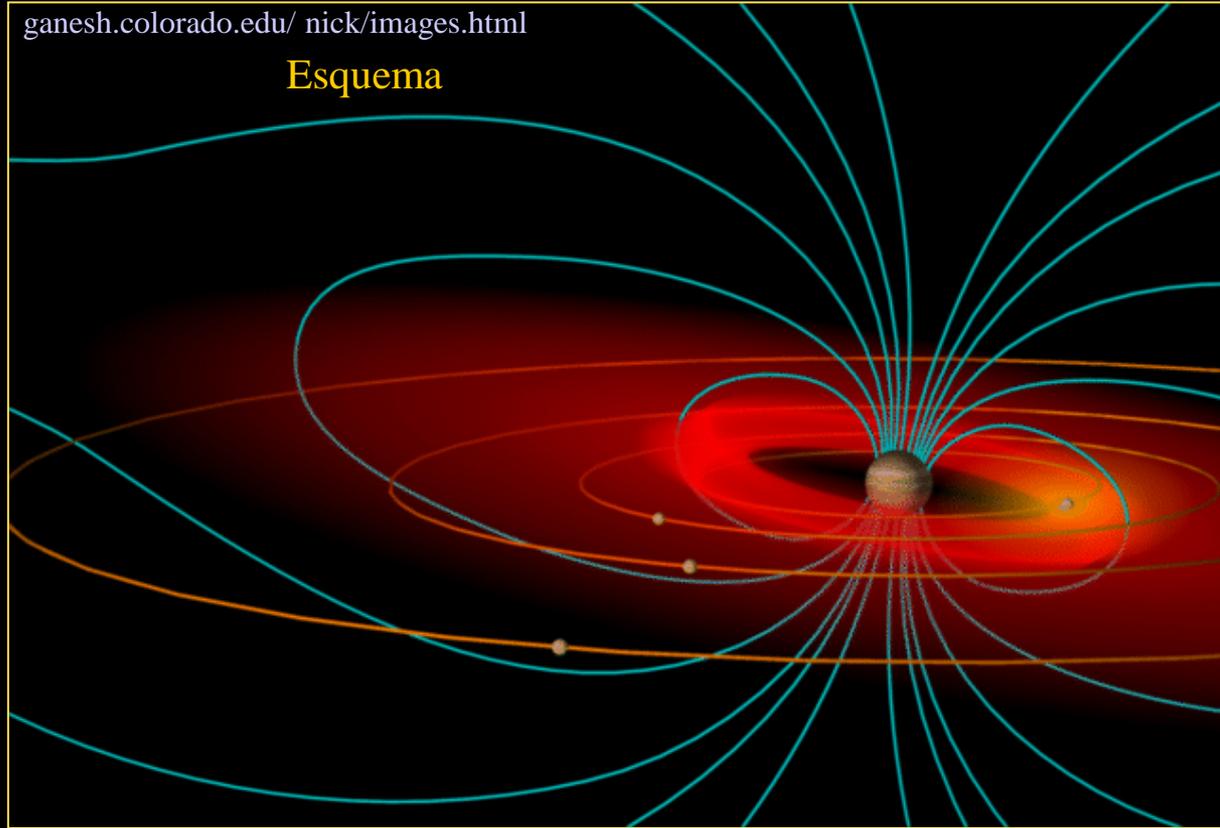


JÚPITER: satélites galileanos - IO

Partículas energéticas eletricamente carregadas da magnetosfera chocam-se com átomos neutros liberados da atmosfera de Io e os ioniza. Isso produz um toróide de plasma contendo íons pesados como O^+ e S^+ , por onde Io orbita Júpiter.

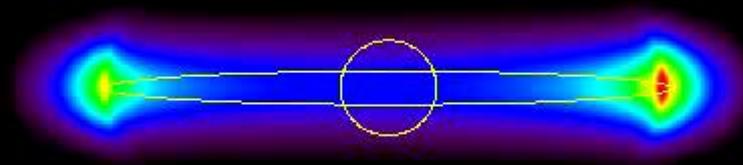
ganesh.colorado.edu/nick/images.html

Esquema

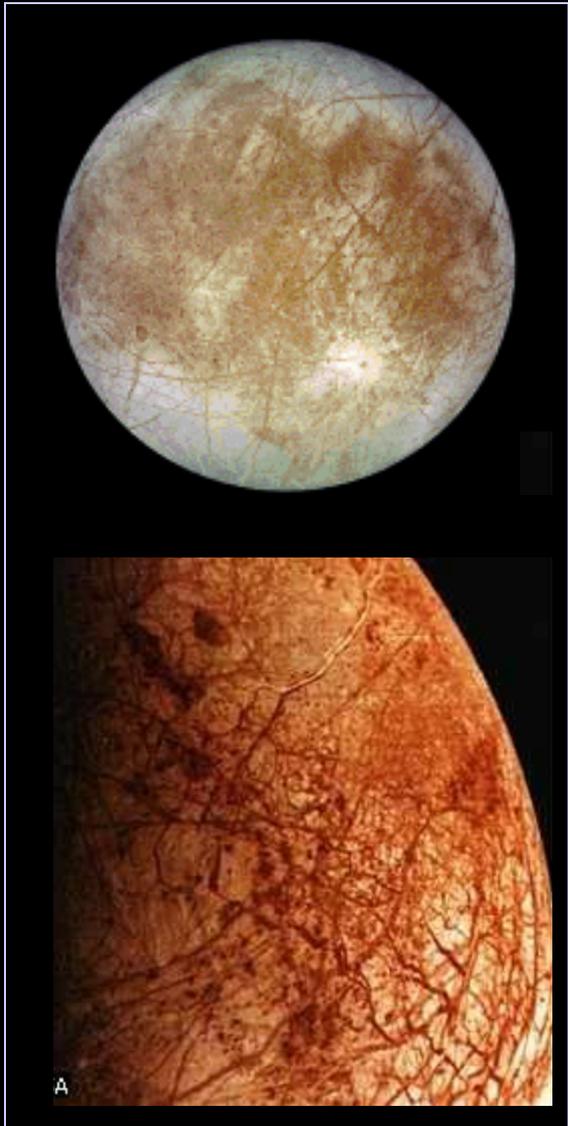


Io Plasma Torus OII 3729

lasp.colorado.edu/.../present/cassini/images/torus4.gif



JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA

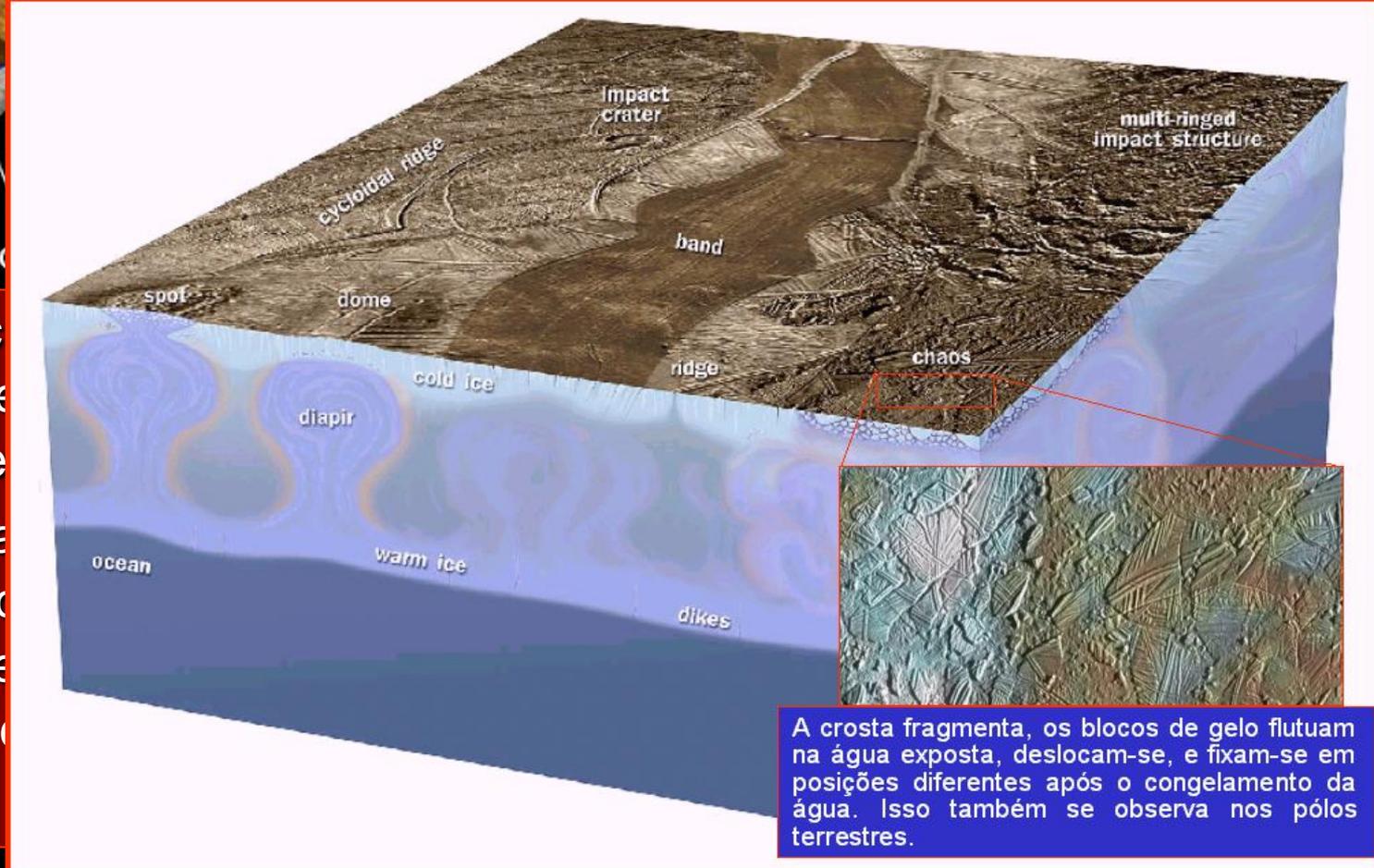
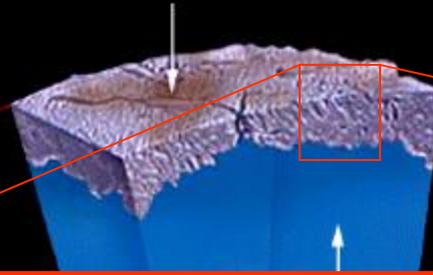
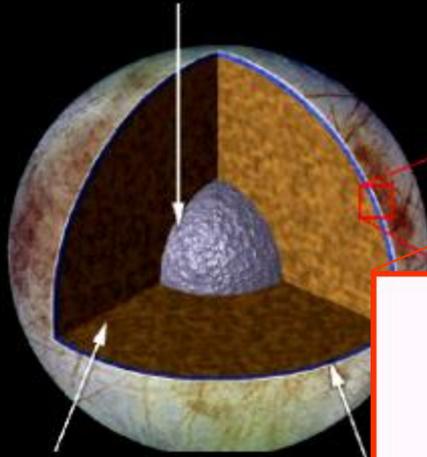


- Raio: 1565 km (pouco maior que a Lua)
- Densidade média: 3,03 g/cm³.
- Raio Orbital: 9 R_J (R_J = 71.540 km).
- Refletividade da Superfície: 70%.
- Relêvo da superfície: alturas < 1 km.
- Temperatura da Superfície (°C): < -180 (meio dia local)

JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA

Núcleo metálico

Superfície congelada



A crosta fragmenta, os blocos de gelo flutuam na água exposta, deslocam-se, e fixam-se em posições diferentes após o congelamento da água. Isso também se observa nos pólos terrestres.

Interior rochoso

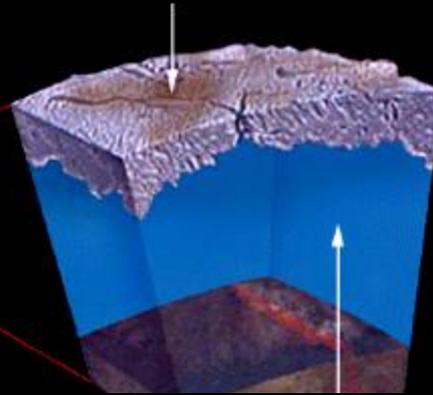
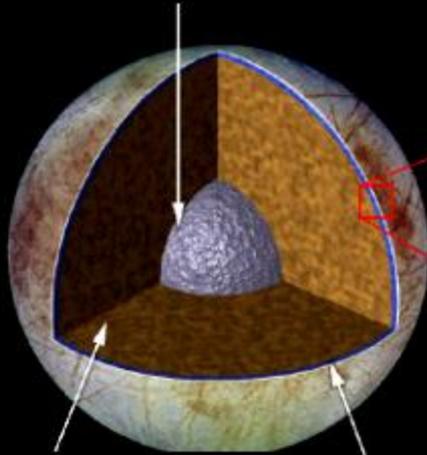
Camada

- Superfície de km de gelo que
- Não há a elementos se conde vizinhanc

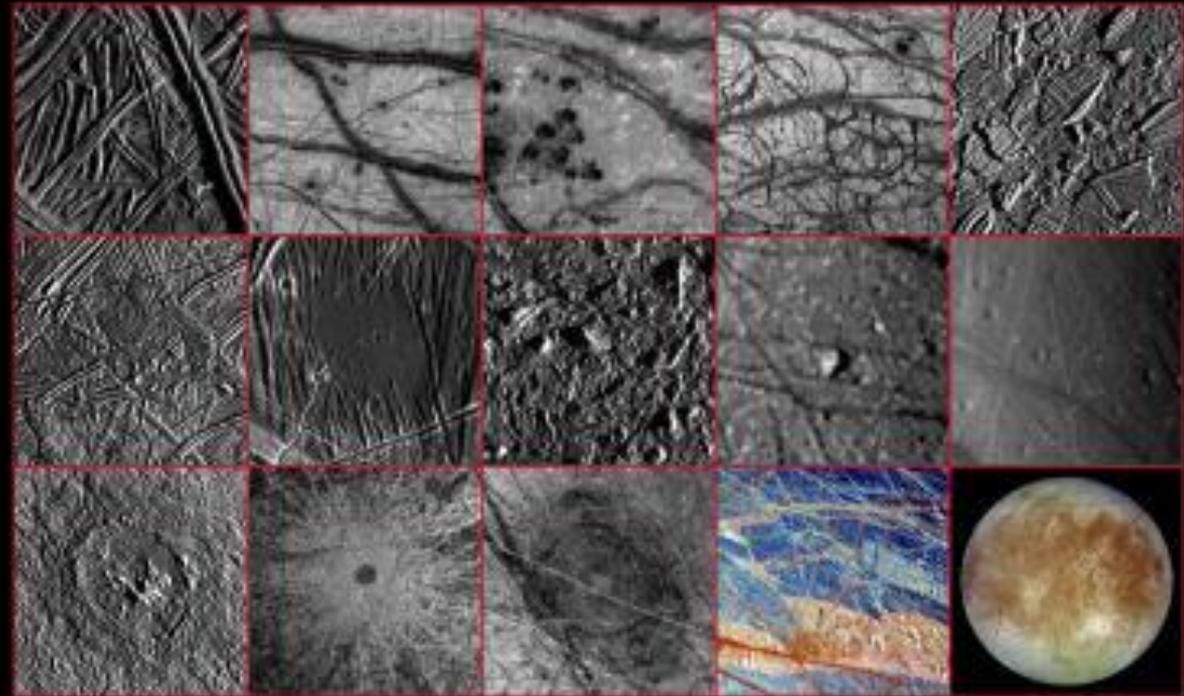
JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA

Núcleo metálico

Superfície congelada



EUROPA – Surface-feature examples



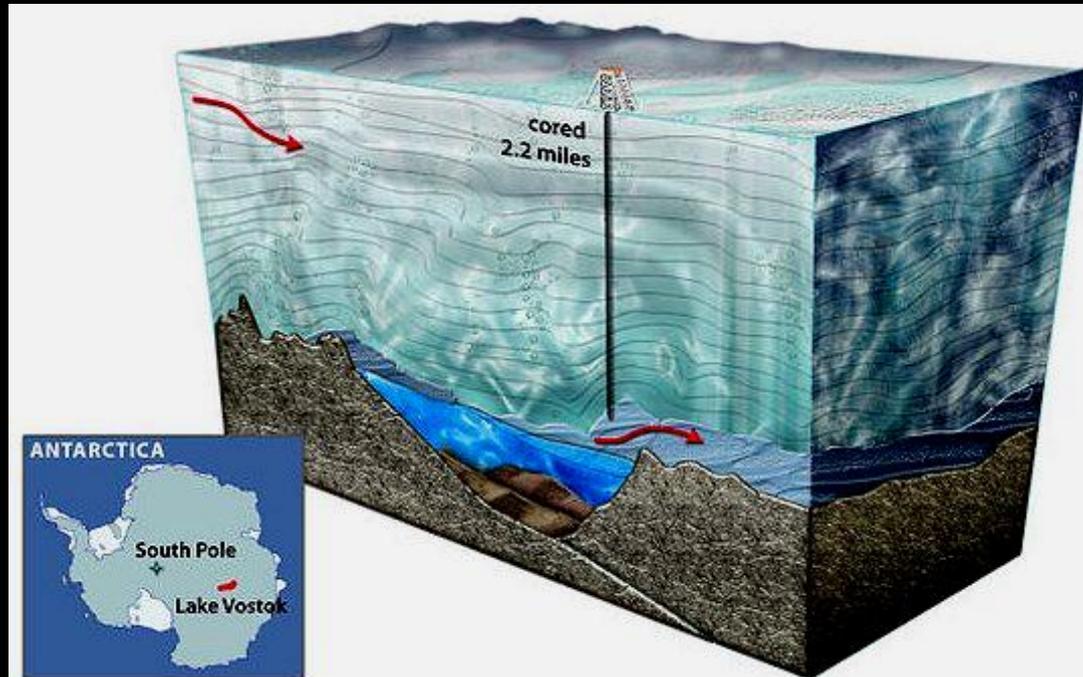
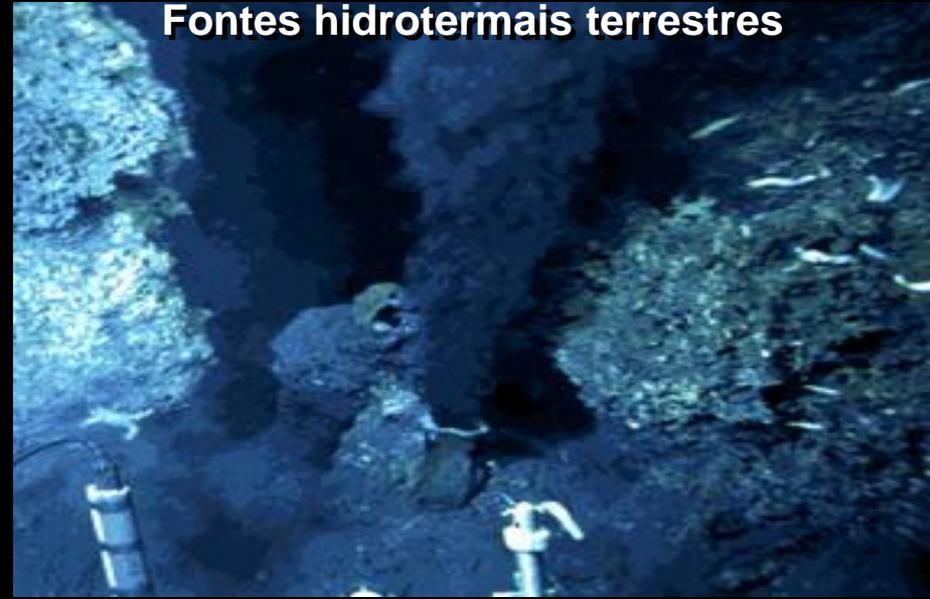
Complexa rede de estrias e crateras de colisão

Europa: um mundo de água



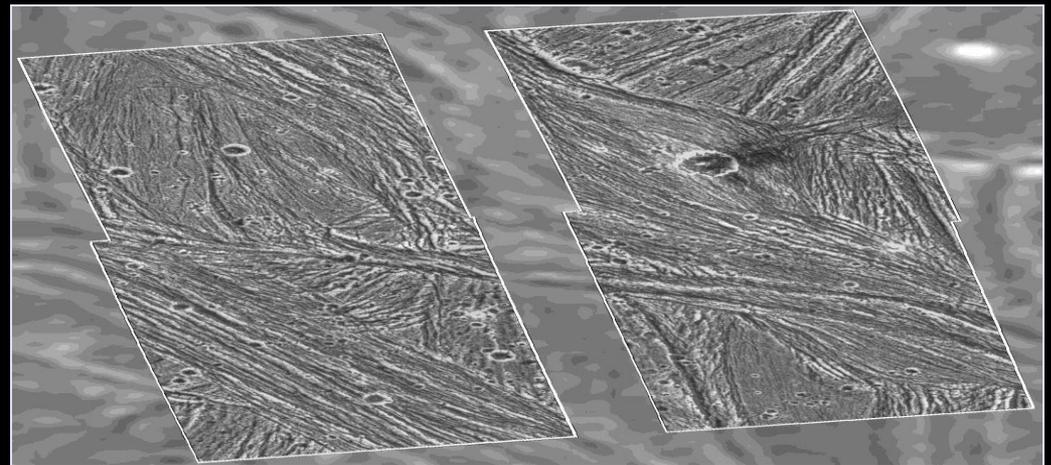
Europa seria assim?

Fontes hidrotermais terrestres

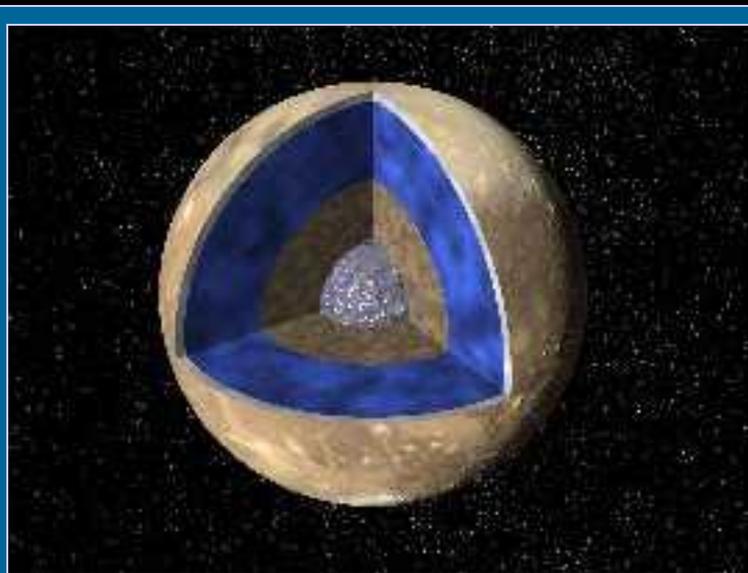


JÚPITER: satélites galileanos - GANIMEDES

- $R_{Gn} = 2630$ km (bem maior que a Lua; maior que Mercúrio (2440 km))
- $r_{Gn} = 1,93$ g/cm³, o terceiro satélite mais denso entre os Galileanos.
- Raio orbital » 15 R_J ($R_J = 71.540$ km)
- Baixa densidade
 - Talvez seja composto primordialmente por gelos, e 50% por água.



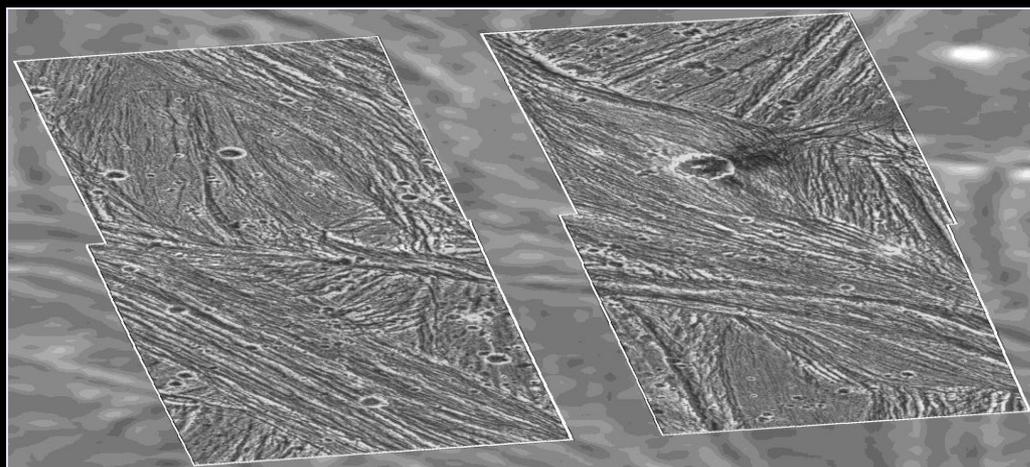
JÚPITER: satélites galileanos - GANIMEDES



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

Sonda Galileo detectou forte campo magnético, possivelmente um indicativo de que seu núcleo metálico não seja congelado, mas aquecido.

- $R_{Gn} = 2630$ km (bem maior que a Lua; maior que Mercúrio (2440 km))
- $r_{Gn} = 1,93$ g/cm³, o terceiro satélite mais denso entre os Galileanos.
- Raio orbital $\gg 15 R_J$ ($R_J = 71.540$ km)
- Baixa densidade
 - Talvez seja composto primordialmente por gelos, e 50% por água.

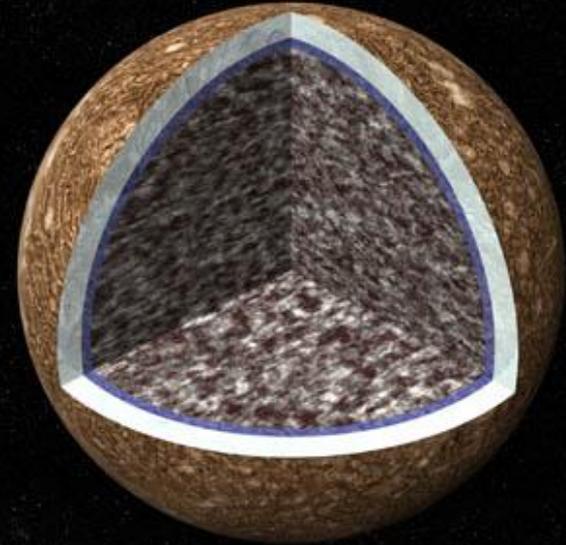


JÚPITER: satélites galileanos - CALISTO



- Raio = 2450 km (muito maior que a Lua, comparável a Mercúrio - 2440 km)
 - Raio orbital » 25 R_J ($R_J = 71.540$ km), o mais distante dentre os Galileanos.
- ↓
- Densidade = 1,79 g/cm³, o menos denso dos satélites Galileanos.

JÚPITER: satélites galileanos - CALISTO



NASA

- 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.
- Composição: ~ 40% de gelo e 60% de rocha e ferro.

JÚPITER: satélites galileanos - AMALTÉIA

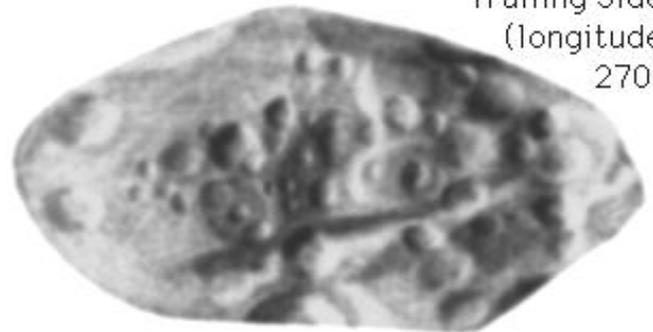


Amalthea

P.J. Stooke
1993



Leading Side
(longitude 90)



Trailing Side
(longitude
270)

Morphographic Conformal Projection

NASA

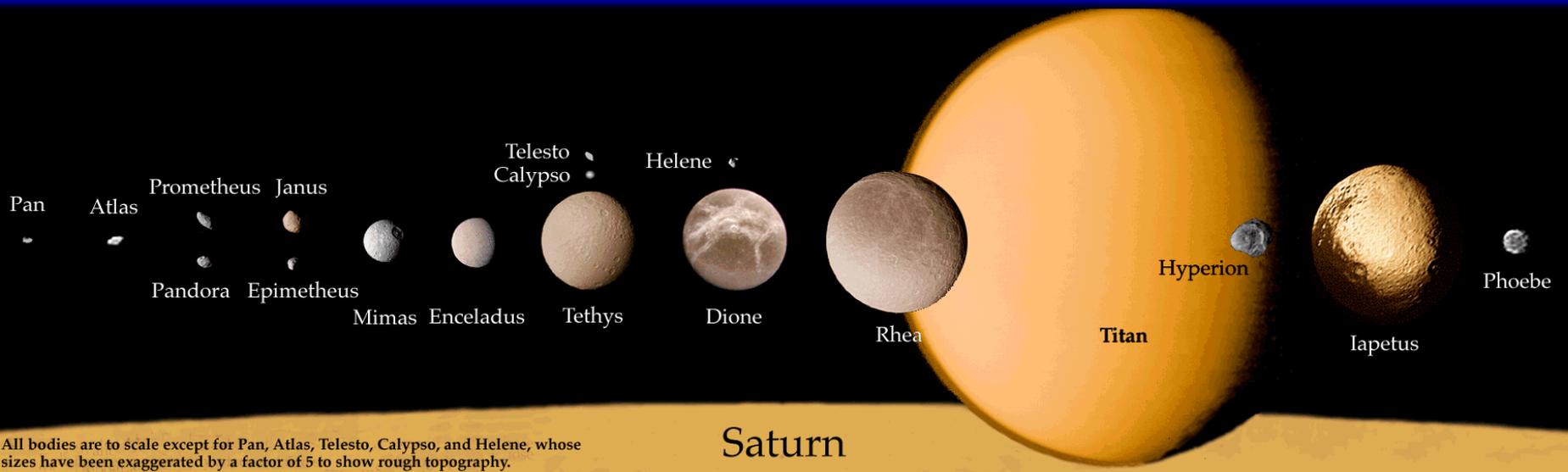
SATURNO

62 satélites

Nome(tamanho em km)

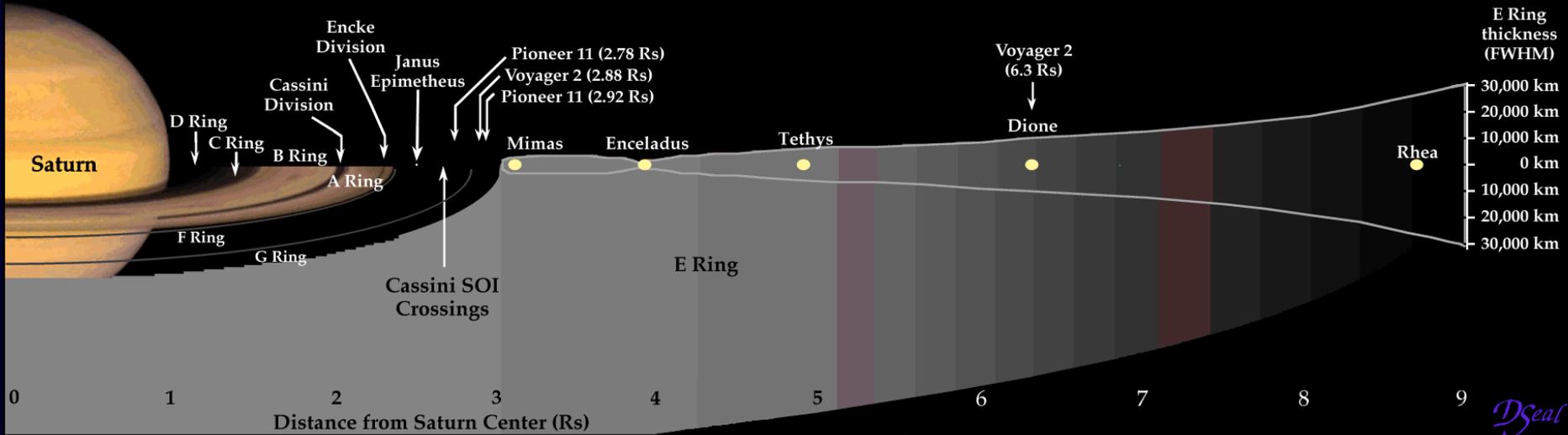
Mimas(209x196x191), Enceladus(256x247x245), Tethys(536x528x526),
Dione(560), Rhea(764), **Titã(2.575)**, Hyperion(185x140x113),
Iapetus(718), Pan(10), Atlas(18.5x17.2x13.5), Prometheus(74x50x34),
Pandora(55x44x31), Epimetheus(69x55x55), Janus(97x95x77),
Calypso(15x8x8), Telesto(15x12.5x7.5), Helene(18x16x15),
Phoebe(115x110x105), Ymir(~8), Paaliaq(~10), Siarnaq(~16),
Tarvos(~7), Kiviuq(~7), Ijiraq(~5), Thrym(~3), Skadi(~3), Mundilfari(~3),
Erriapo(~4), Albiorix(~13), Suttung(~3), S/2003 S1(~3), S/2004 S1(~3),
S/2004 S2(~4)...

SATURNO – satélites principais



All bodies are to scale except for Pan, Atlas, Telesto, Calypso, and Helene, whose sizes have been exaggerated by a factor of 5 to show rough topography.

Not shown:			
Pan	2.22 Rs	Titan	20.3 Rs
Atlas	2.28 Rs	Hyperion	24.6 Rs
Prometheus	2.31 Rs	Iapetus	59.1 Rs
Pandora	2.35 Rs	Phoebe	214.9 Rs



This graphic is available in color if required.



SATURNO – satélites principais

Apenas Titã tem atmosfera apreciável, com espessura suficiente para esconder detalhes de sua superfície. Muitos dos satélites têm rotação síncrona (mostram sempre a mesma face para o planeta). Isto só ocorre quando os períodos de rotação e translação são iguais.

As órbitas dos satélites são quase circulares e localizam-se praticamente no plano equatorial de Saturno. Indicativo de que foram formados no local. As duas exceções são Japeto e Febe.

Todos os satélites têm densidade menor que 2 g/cm^3 (o dobro da densidade da água). Isto pode ser um indicativo de que eles sejam compostos por 30 a 40% de rochas e 60 a 70% de água gelada.

A maioria dos satélites reflectem 60 a 90% da luz incidente. Os quatro satélites exteriores refletem menos do que isto e Febe reflete apenas 2% da luz incidente.

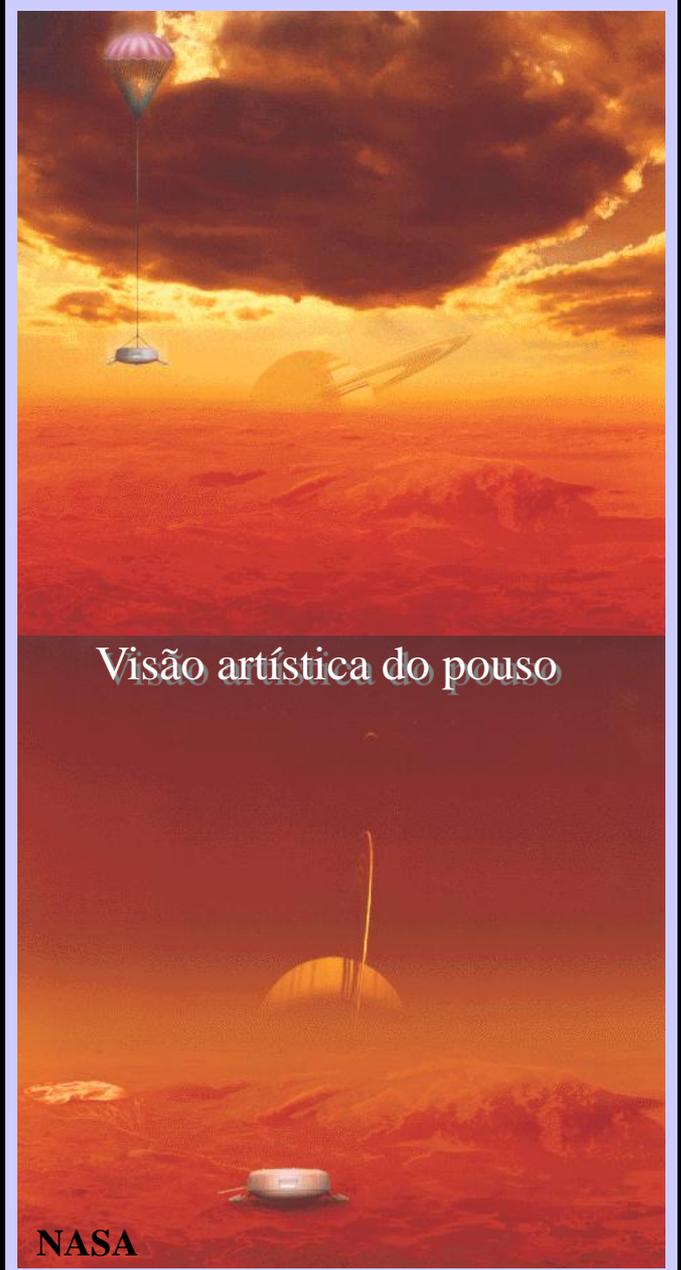
SATURNO – TITÃ



**Atmosfera mais espessa dentre os satélites,
impede a observação da superfície**

**À bordo da sonda Cassini, a sonda de prova
Huygens foi lançada sobre Titan em 2004**

2575 km



Visão artística do pouso

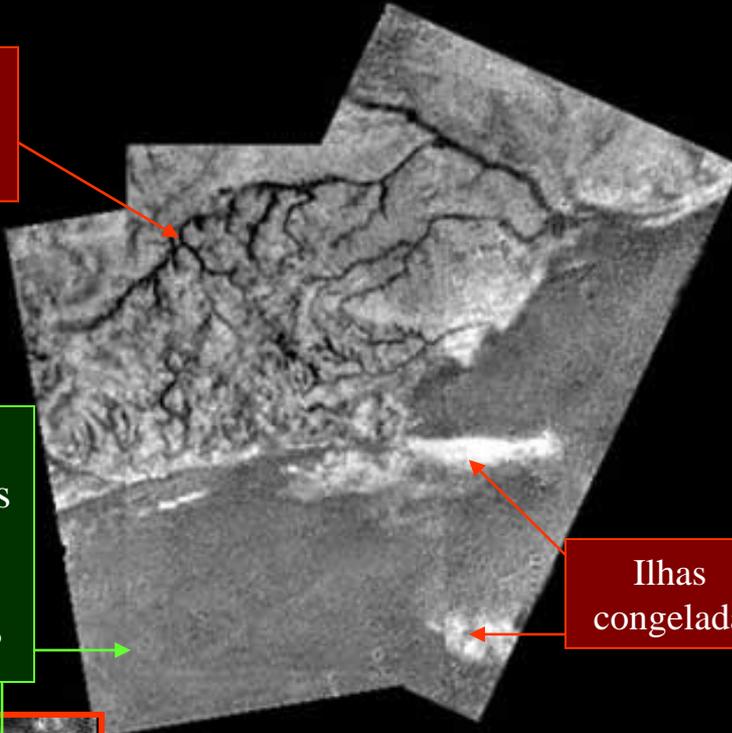
NASA

SATURNO – TITÃ

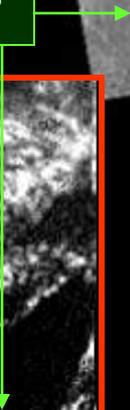
Huygens: pousou em 14/01/2005

RAIO = 2575 km

Canais de erosão produzidos por metano líquido



Lago: lama de hidrocarbonetos
Temperatura próxima a de congelamento?



Pouso

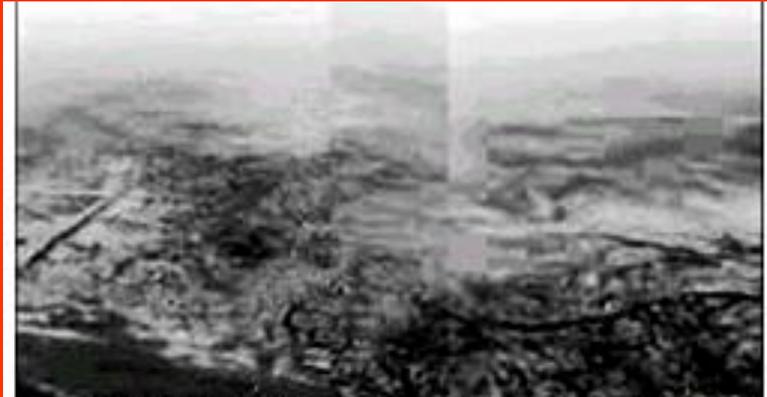
Ilhas congelada

⁴⁰Ar da atmosfera pode ter originado de atividade vulcânica, não de lava mas de água e amônia.

Solo não contém silicato, mas gelo sujo de água. Aquecido pela sonda liberou bolhas de gás metano.



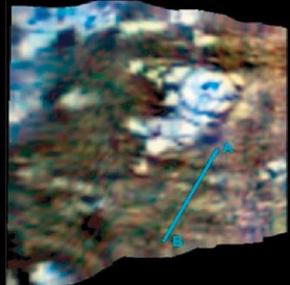
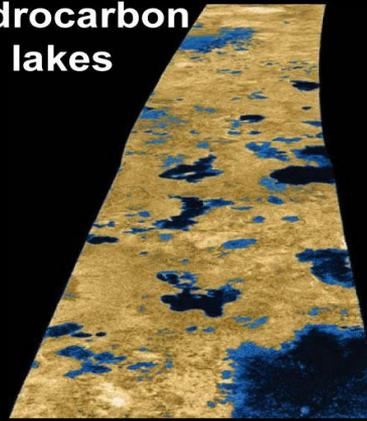
Solo úmido macio & blocos congelados



No alto, a primeira imagem do solo de Titã, com dados sobre o tamanho dos objetos e com a provável cor predominante na atmosfera; abaixo, imagem tomada a 8km de altitude.

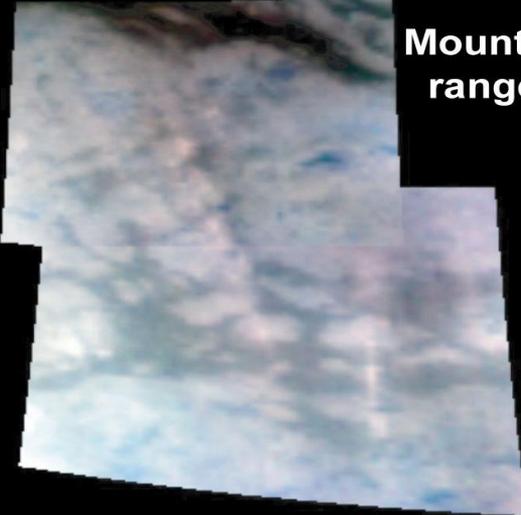
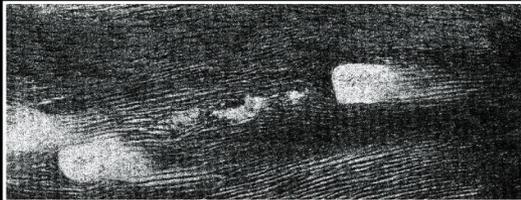
SATURNO - TITÃ

Hydrocarbon lakes



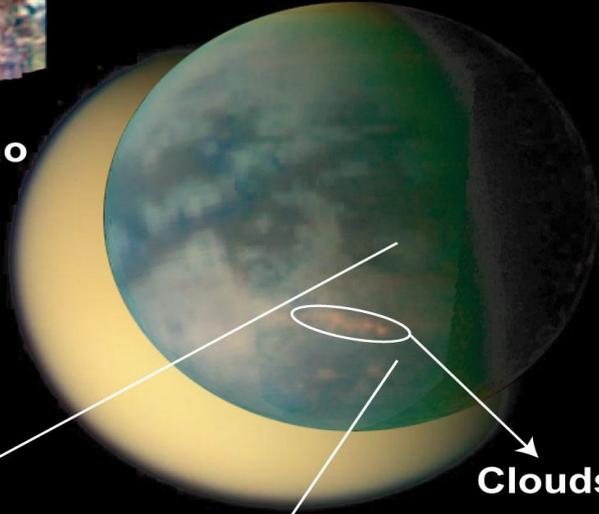
Cryovolcano

Dune fields



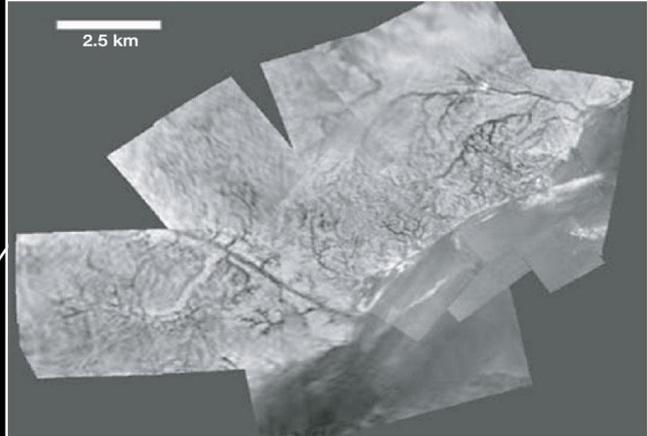
Mountain ranges

Titan: a frozen Earth ?



Clouds

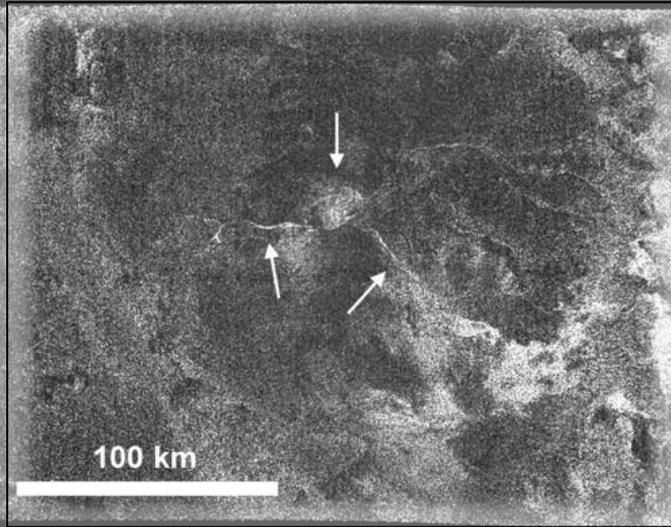
River networks



SATURNO - TITÃ



SATURNO – TITÃ



Visão artística de Mácula Ganesa

Pode ser um vulcão de gelo ativo, cuja lava pode conter água líquida.

A água pode reagir com compostos orgânicos e criar moléculas

complexas semelhantes às terrestres.

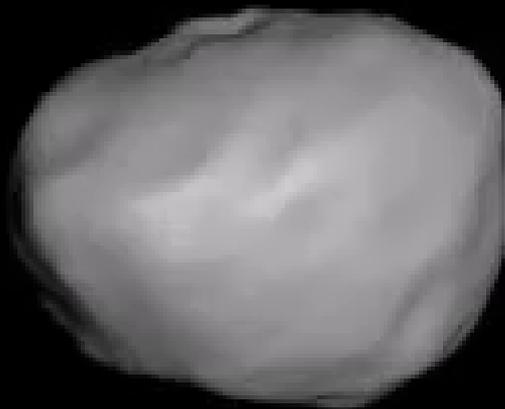
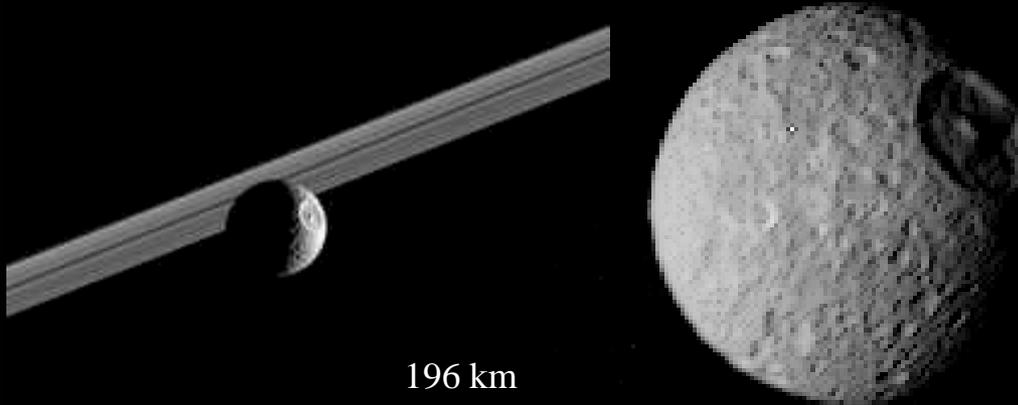
Crédito: [Michael Carroll](#)



SATURNO – outros satélites

NASA

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



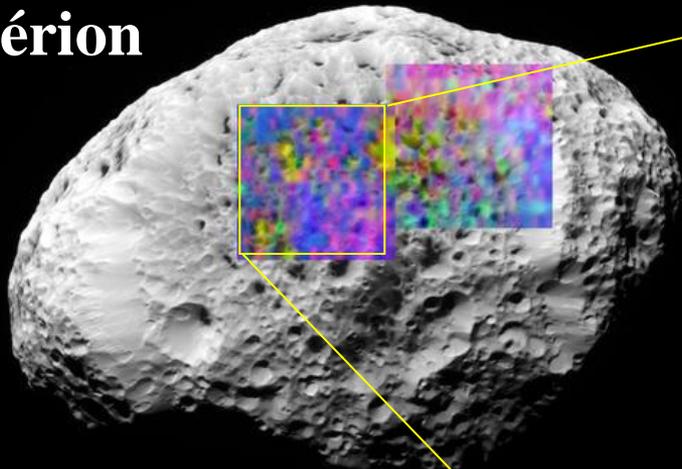
Janus 97 x 95 x 77 km



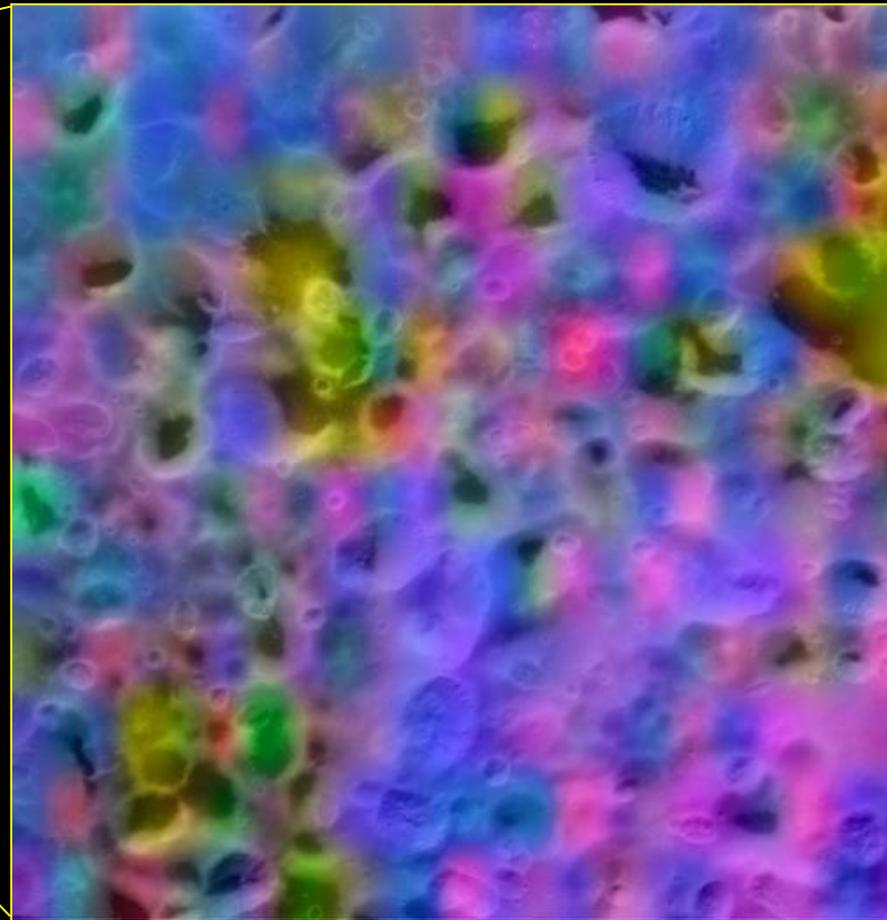
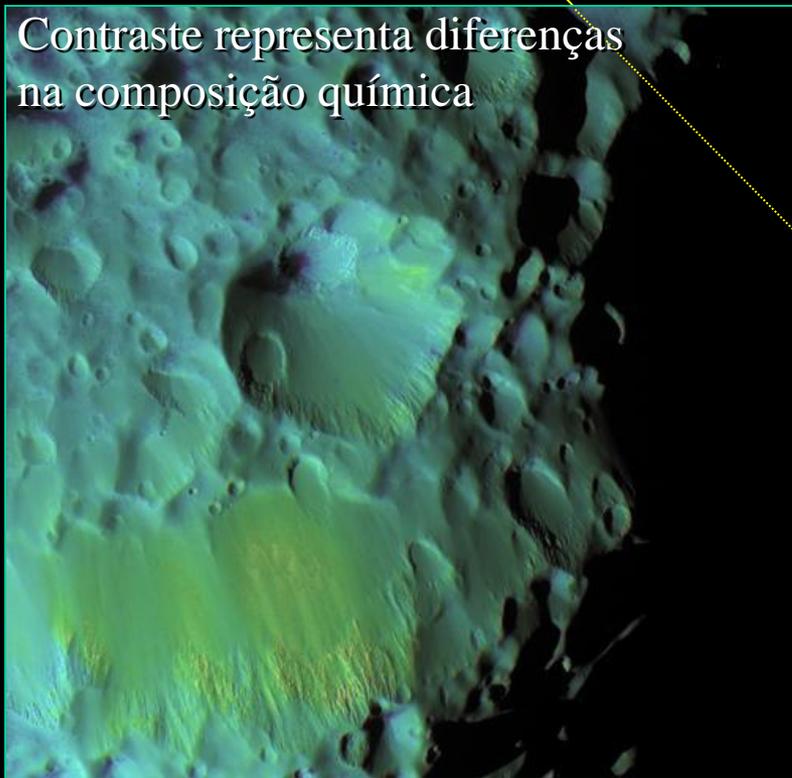
185 x 140 x 113 km **Hipérion ou Hiperião**

SATURNO – outros satélites

Hipérion



Contraste representa diferenças
na composição química



July 4, 2007

Full-Res: PIA09215

Terreno com cerca de 75 km.

Azul = água congelada;

Vermelho = dióxido de carbono congelado.

Amarelo = mistura de CO₂ e material a ser
identificado.

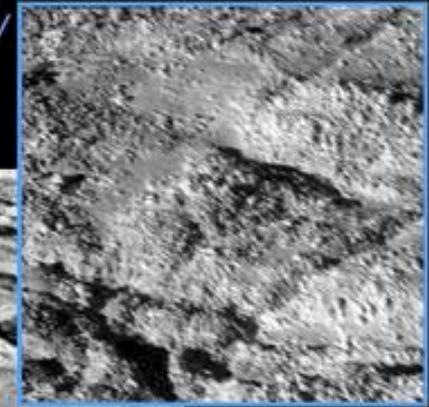
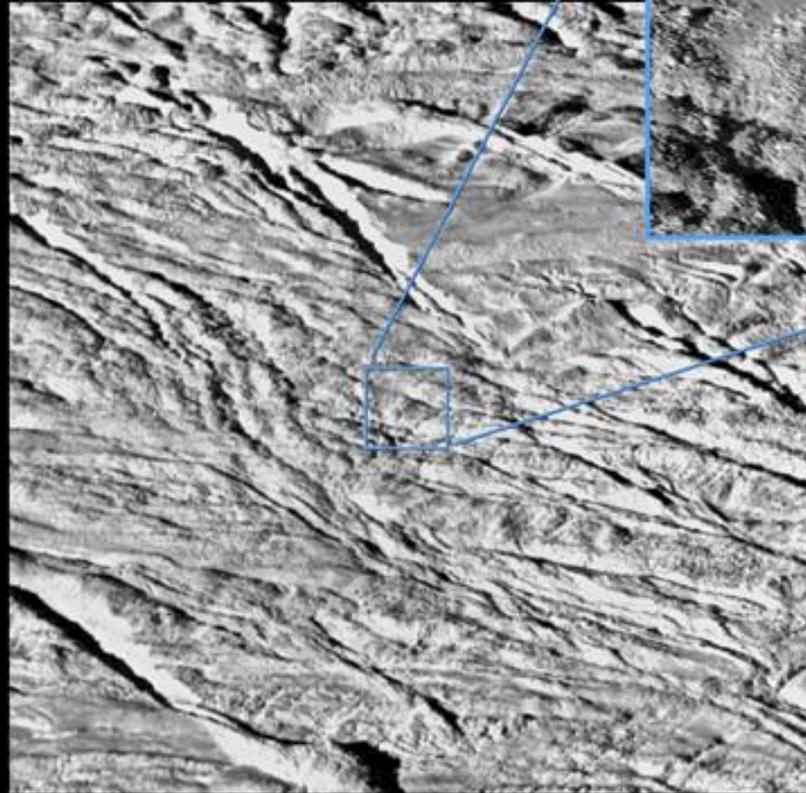
SATURNO – outros satélites

Encélado

80 79 80 81 81 82 83 84 85 86

256 x 247 x 245

Fraturas são azuladas em decorrência da aspereza do gelo (como nas geleiras e os icebergs na Terra).



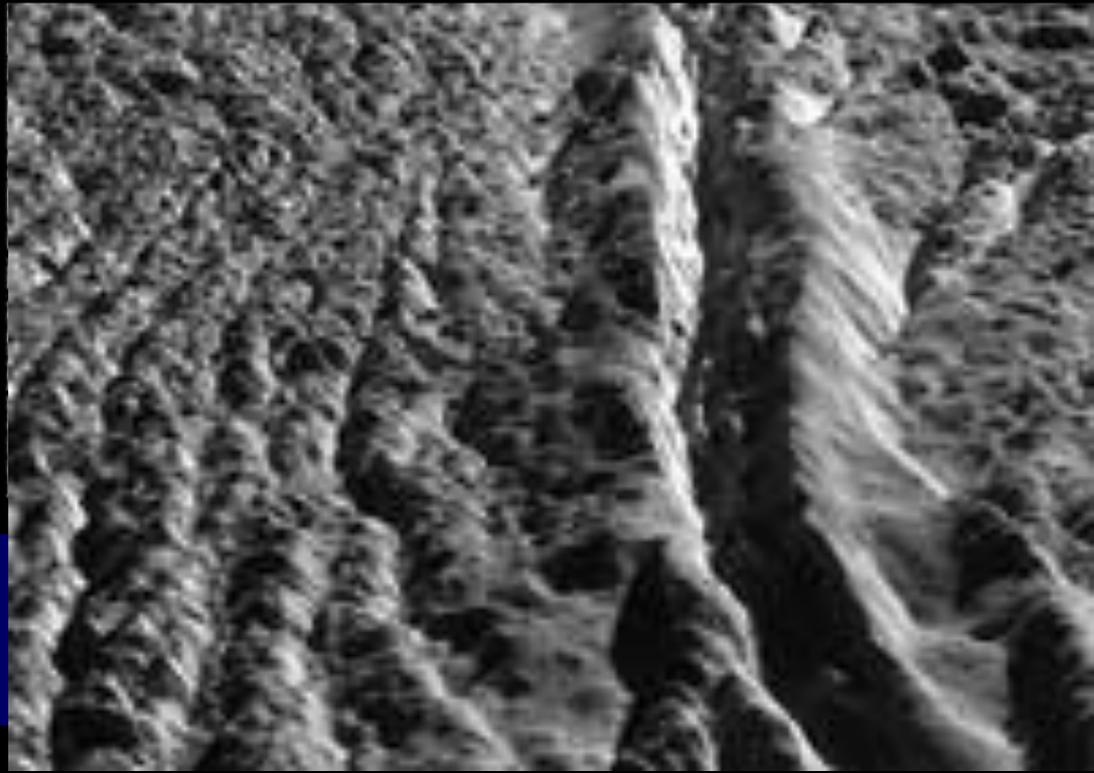
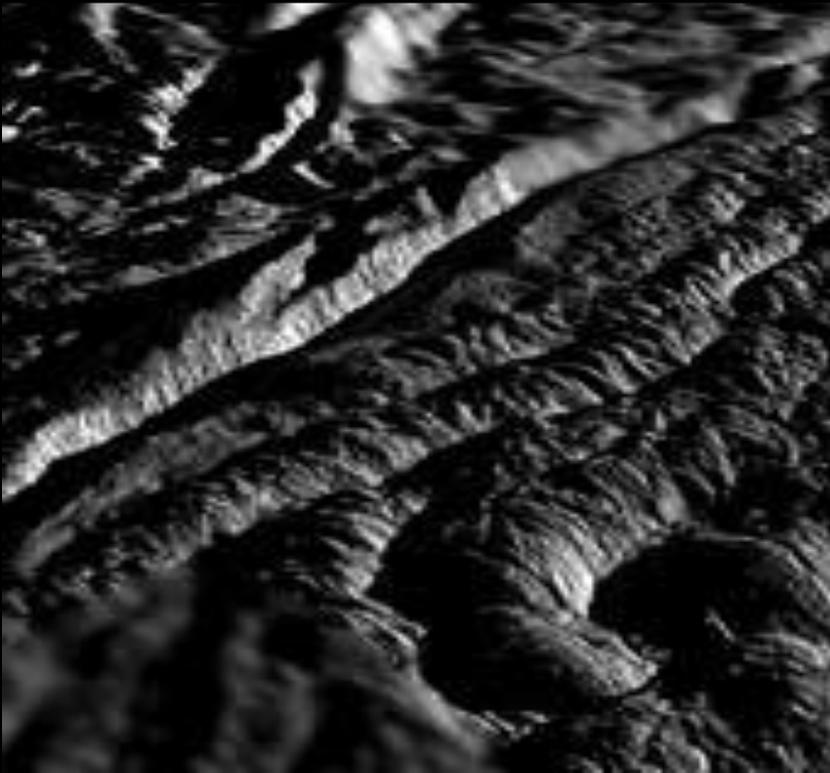
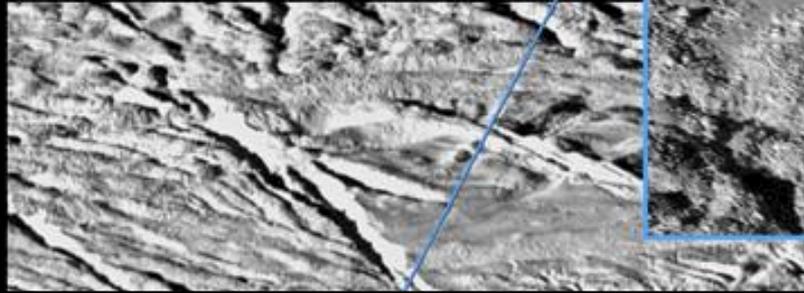
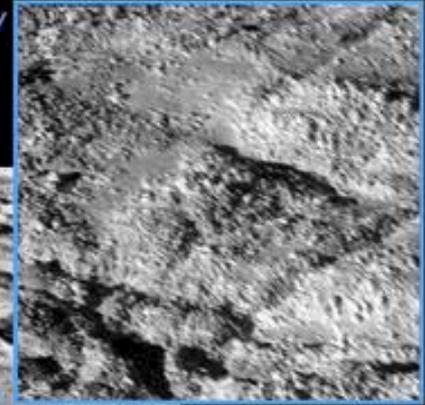
Visão da superfície a 208 km. Superfície dominada por blocos de gelo entre 10 e 100 m. Origem é inigmática.

SATURNO – outros satélites

Encélado



Fraturas são azuladas em decorrência da aspereza do gelo (como nas geleiras e os icebergs na Terra).

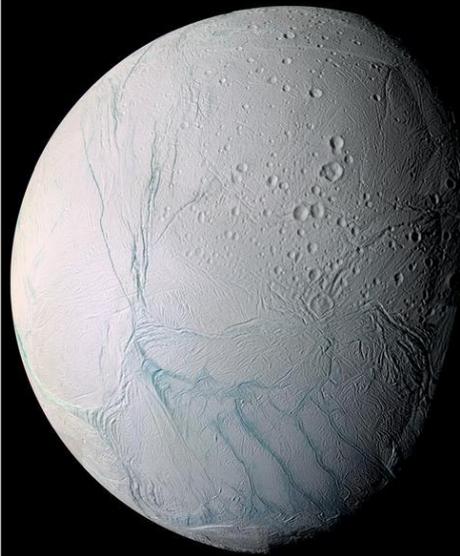


SATURNO – outros satélites

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.

Sonda Cassini passa por jato vulcânico e revela que composição química é semelhante a dos cometas.

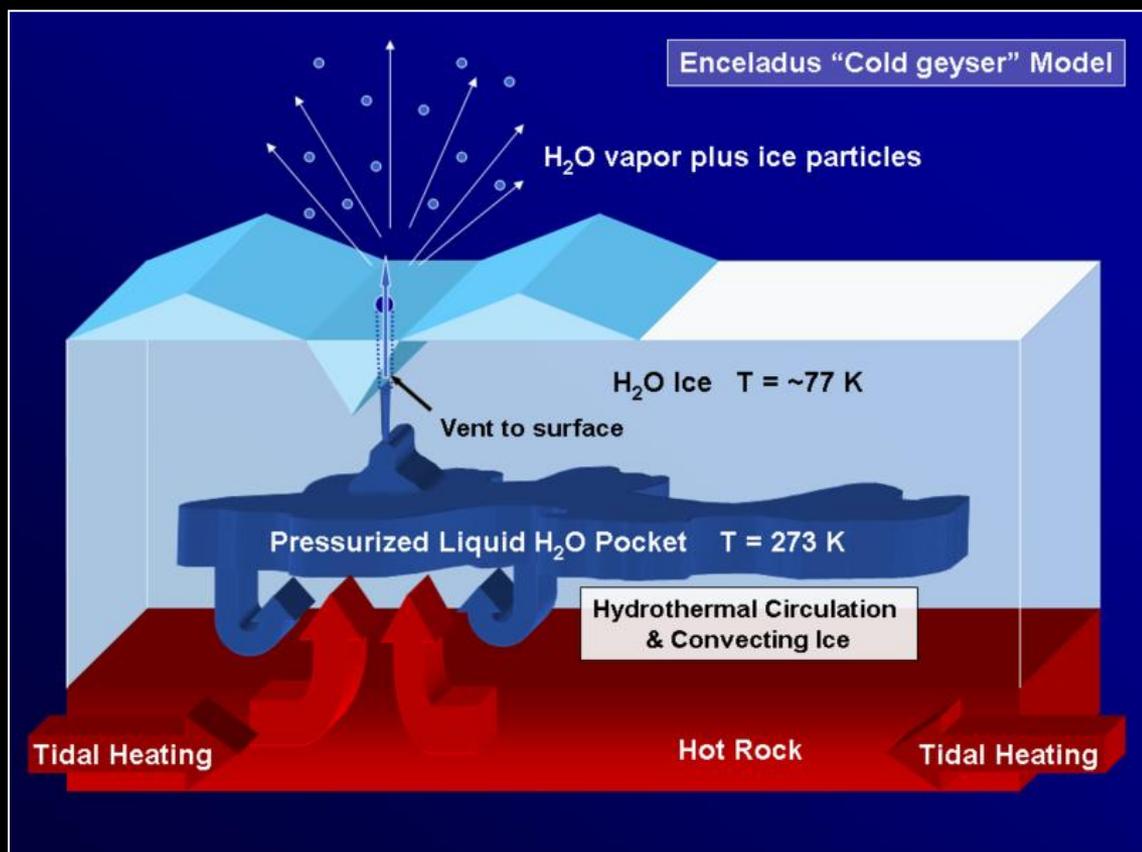
Medidas espectrométricas indicam densidade bem mais elevada que esperada de gases voláteis, vapor d'água, dióxido e monóxido de carbono, e material orgânico



SATURNO – outros satélites - Criovulcanismo em Encélado

Plumas emanam de câmaras aquecidas e pressurizadas, similares aos geysers na Terra. Como não se encontrou amônia, que agiria como anticongelante, tais câmaras são compostas de água, provavelmente quase pura e aquecida a pelo menos 270 K.

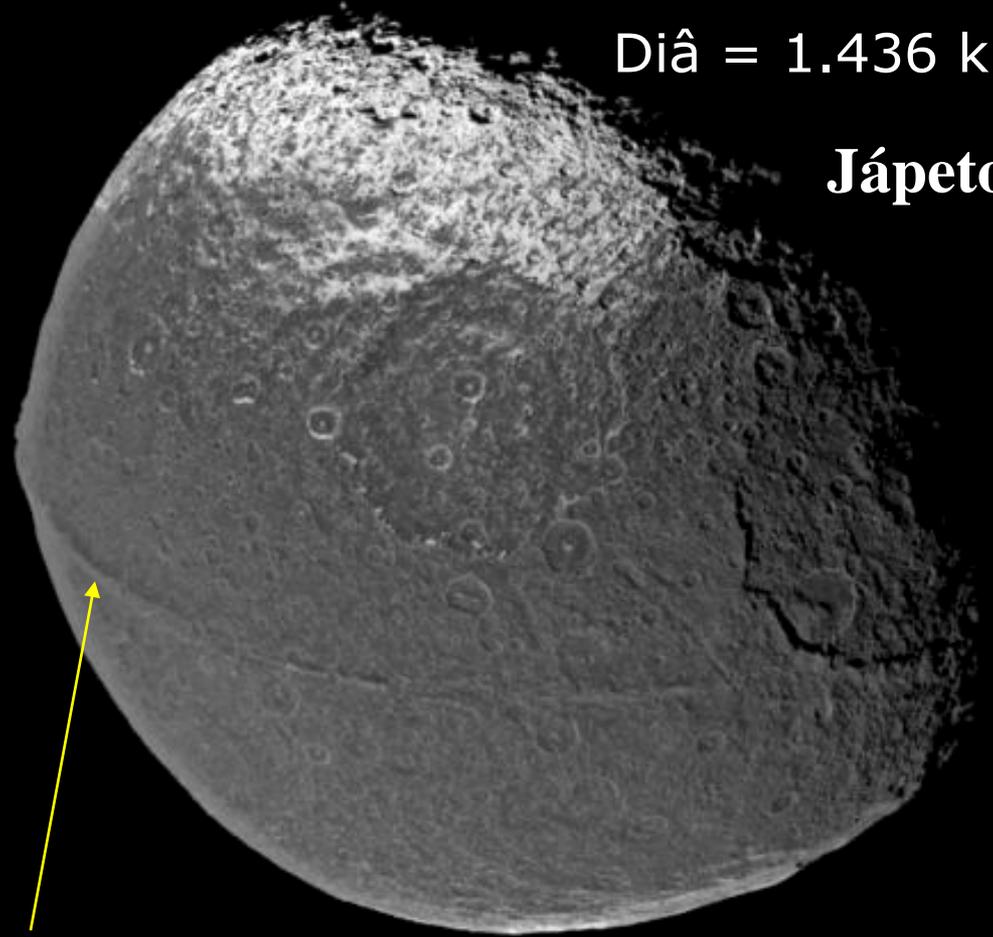
Outra possibilidade: sublimação de gelo superficial. Temperaturas variam entre 85 K e 157 K; são elevadas demais para serem decorrentes de aquecimento solar. Isto pode ser indicativo de existência de processo interno de aquecimento. Esta situação favorece a hipótese de que o material abaixo da superfície pode ser composto de mistura de amônia e água a 170K, que não necessita de muita energia para produzir plumas.



SATURNO – outros satélites

Diâ = 1.436 km

Jápeto



- Cena dominada por região escura, fortemente marcada por crateras (Cassini Regio), que cobre praticamente um hemisfério.

- Movimento sincronizado com Saturno.

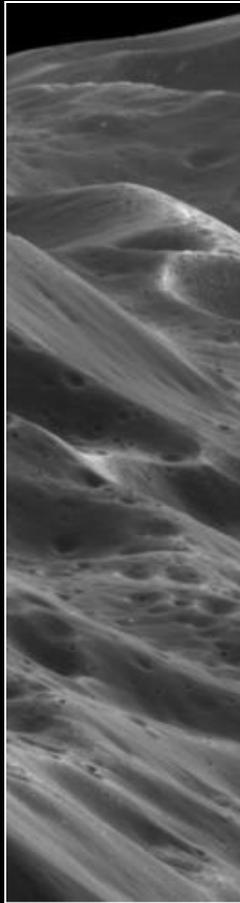
- Albedo: $\sim 4\%$ nas partes escuras e $\sim 60\%$ nas claras

- Cordilheira praticamente sobre o equador (largura: ~ 20 km; altura: ~ 10 km; comprimento: ~ 1.300 km).

- Origem ainda desconhecida: cinturão de montanhas que aflorou? rachadura seguida de erupção de material do subsolo?

SATURNO – outros satélites

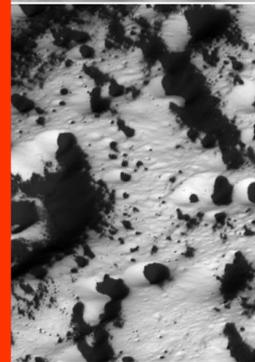
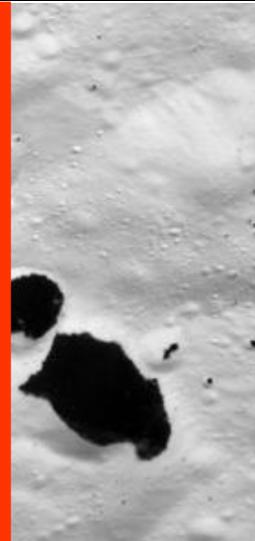
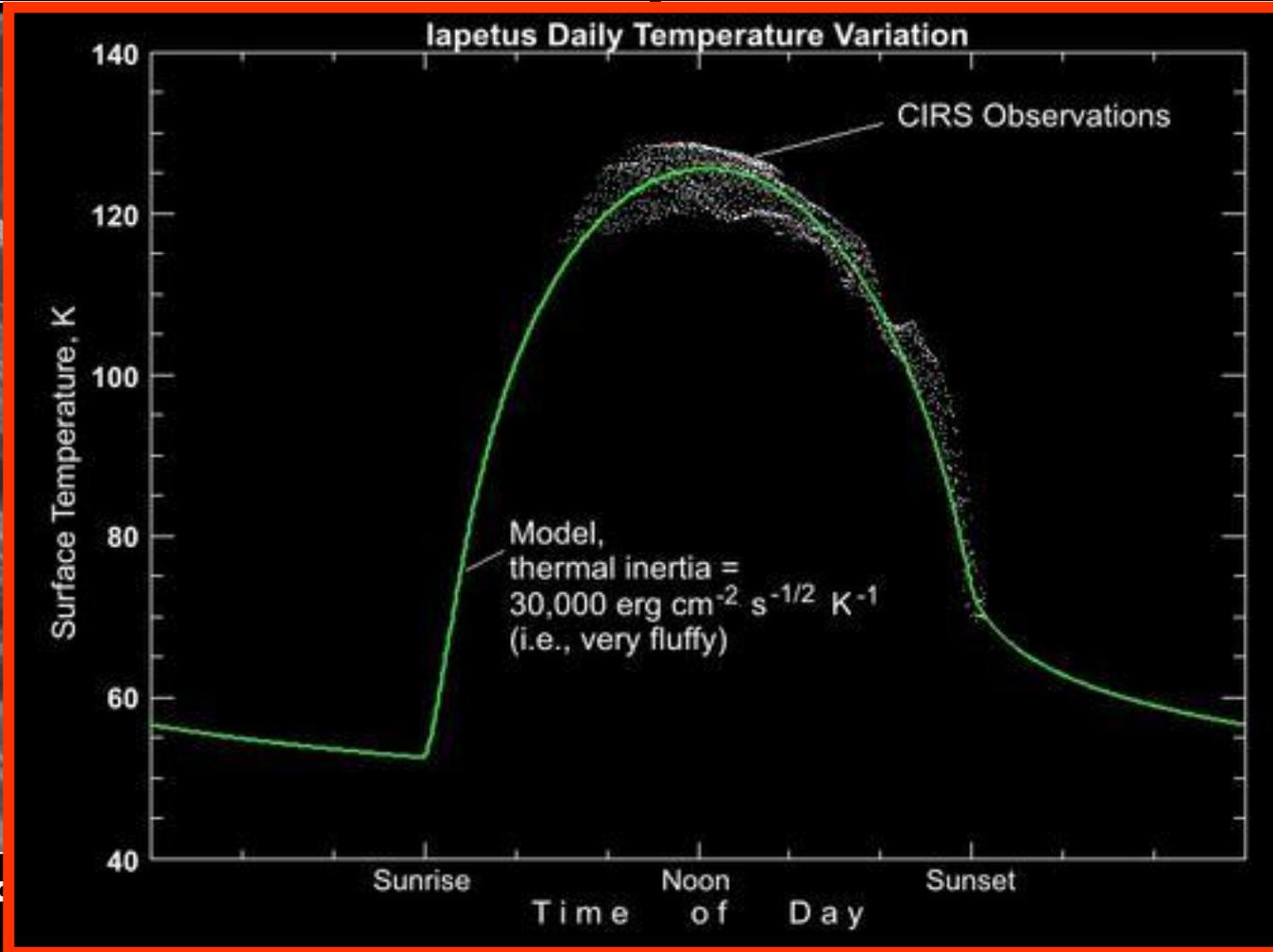
Jápeto



Himalaias

Set 12, 2007

Terreno montanhoso com até 10 km de altura, ao longo do espinhaço equatorial



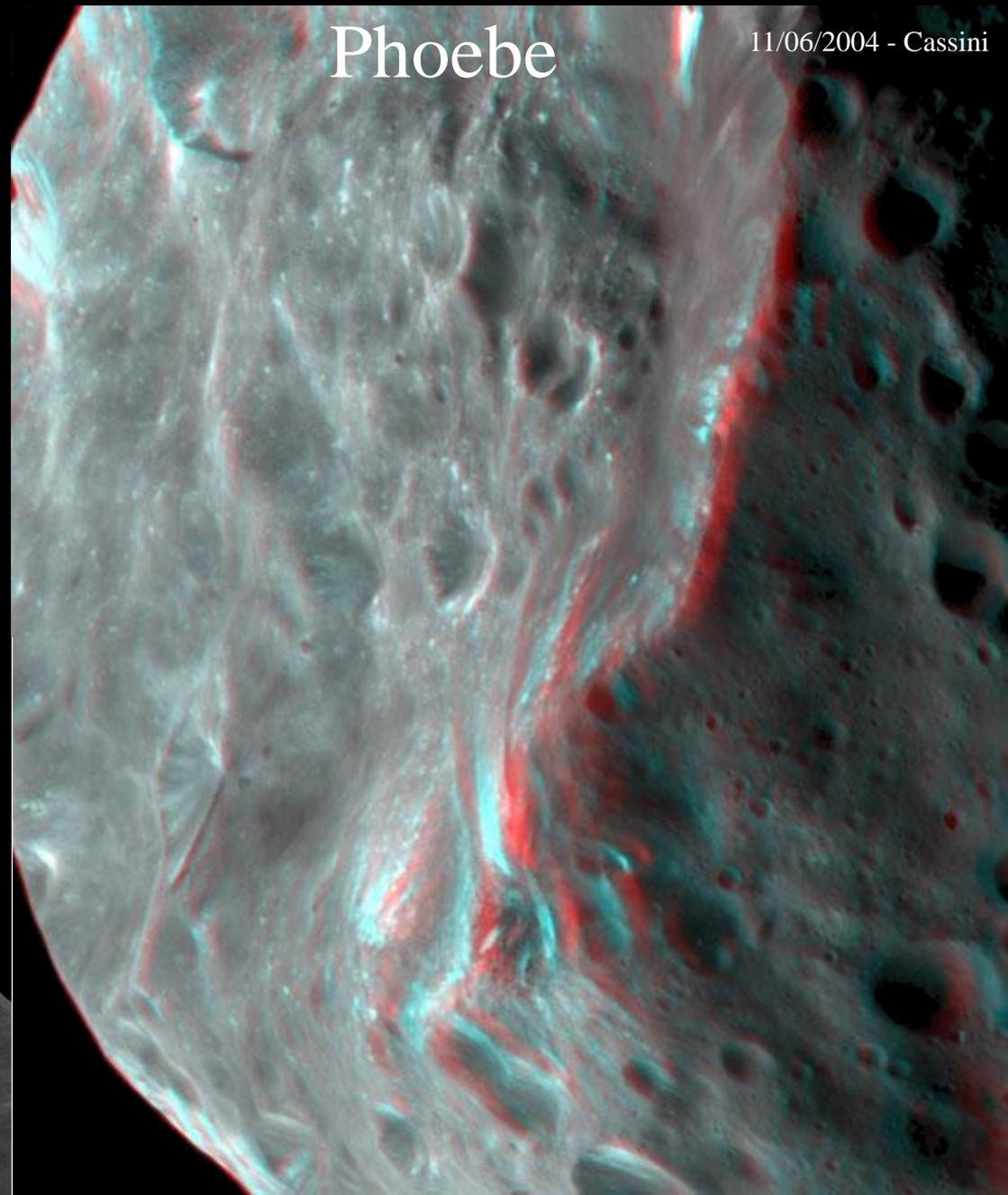
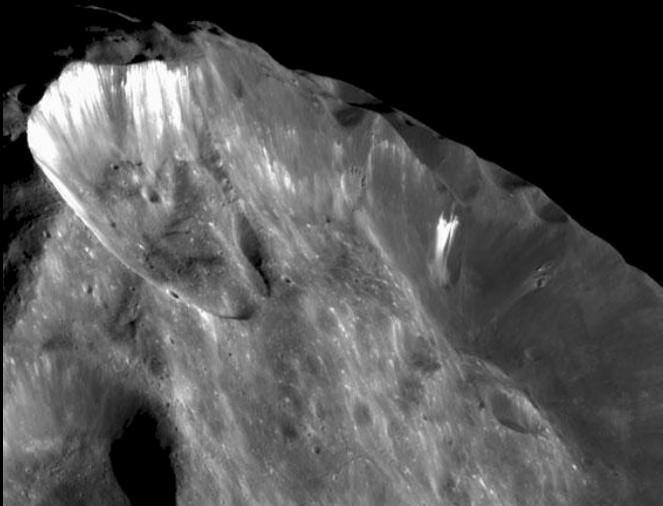
-Res: PIA08374

Material escuro espalha-se pelas paredes e fundos de crateras. Imagem da região de transição entre hemisférios escuro e claro.

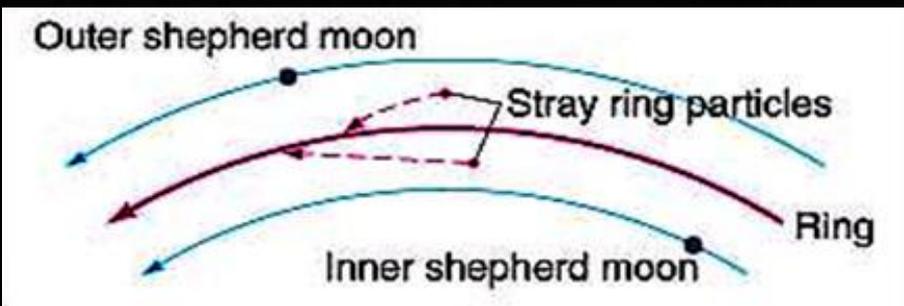
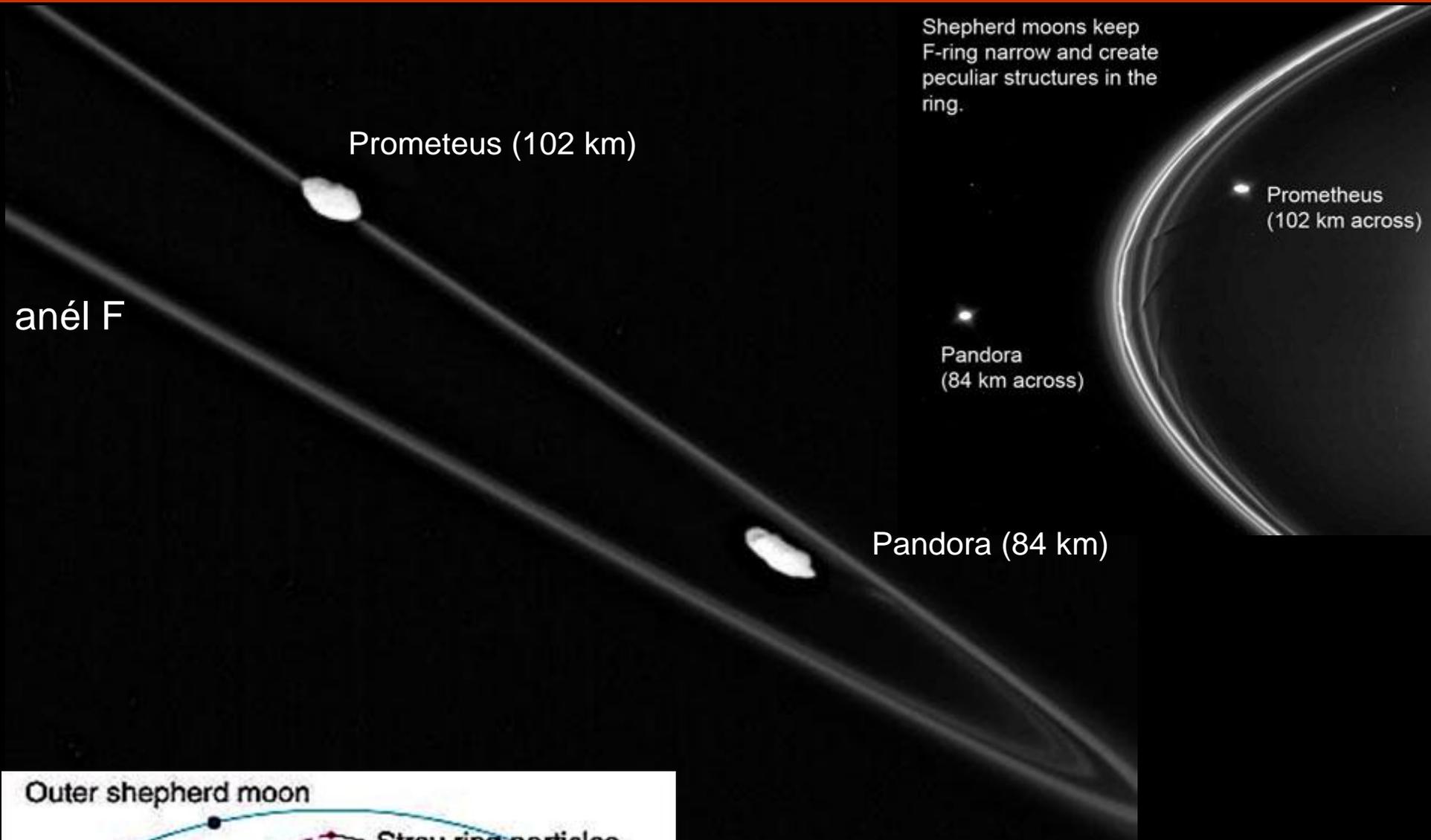
SATURNO – outros satélites

Mosaico 3-D

- Sol à esquerda
- Dist: de 15.000 a 20.000 km
- Material brilhante: talvez gelo
- Crateras de impacto presentes
- Estrias brilhantes ao longo de declives acentuados pode ser material precipitado (deslizamento) decorrente do choque dos impactos



SATURNO – outros satélites



URANO – satélites

27 satélites

Nome(tamanho em km)

Miranda(240x234.2x232.9), Ariel(581.1x577.9x577.7),
Umbriel(584.7), Titania(788.9), Oberon(761.4), Cordelia(20),
Ophelia(21), Bianca(27), Cressida(40), Desdemona(32), Juliet(47),
Portia(68), Rosalind(36), Belinda(40), Puck(81), Caliban(48),
Stephano(10), Sycorax(95), Prospero(15), Setebos(15), Trinculo(5),
S2001/U2(6), S2001/U3(6), S2003/U1(16), S2003/U2(12),
S2003/U3(6)

URANO – satélites

Propriedades

Satélite	Raio (km)	Período (h)	Densidade (g/cm ³)
Miranda	242	33.9	1.26
Ariel	580	60.5	1.65
Umbriel	595	99.5	1.44
Titania	805	208.9	1.59
Oberão	775	323.1	1.50

Miranda mostra sinais de atividade tectônica, uma grande surpresa dado seu tamanho pequeno e baixa temperatura ($86_{\pm 1}^{\circ}$). Deve haver uma fonte de calor (maré?)

URANO – satélites



Pode-se dividir seus satélites em 3 classes distintas::

- 11 pequenos, muito escuros, mais internos, descobertos pela Voyager 2,
- 5 grandes
- a maioria tem órbitas circulares no plano equatorial de Urano (portanto bem inclinados relação ao plano da eclíptica);
- os 4 mais externos têm órbitas mais elípticas.

Satélites de Urano

- Cordélia

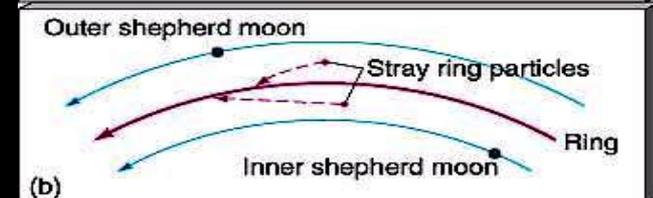
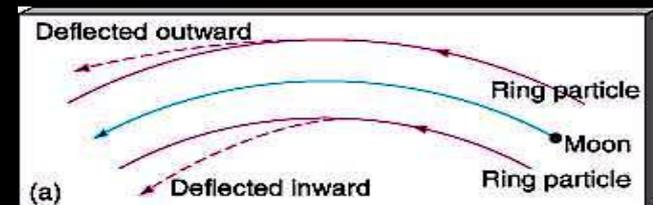
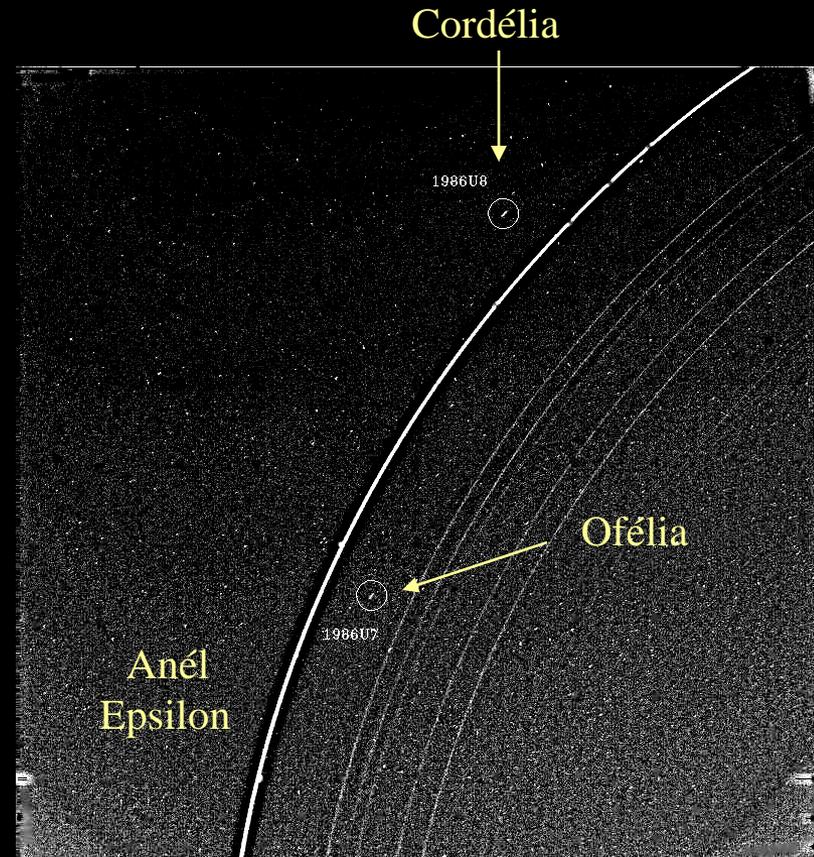
- o mais interno,
- diâmetro: 26 km

- Ofélia

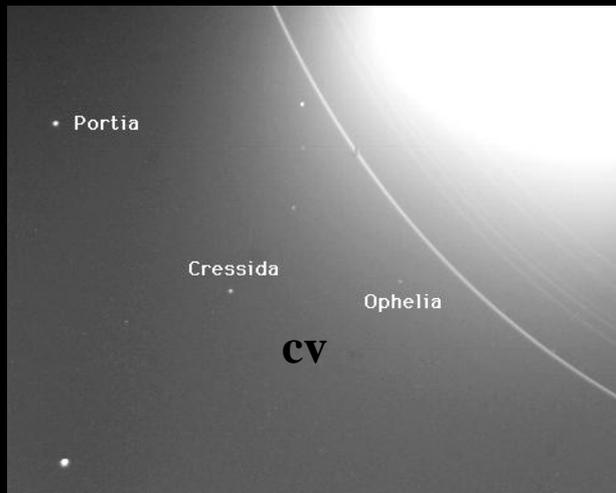
- 2o. Mais próximo.
- Diâmetro: 32 km

Ambos estão possuem movimento orbital sincronizado.

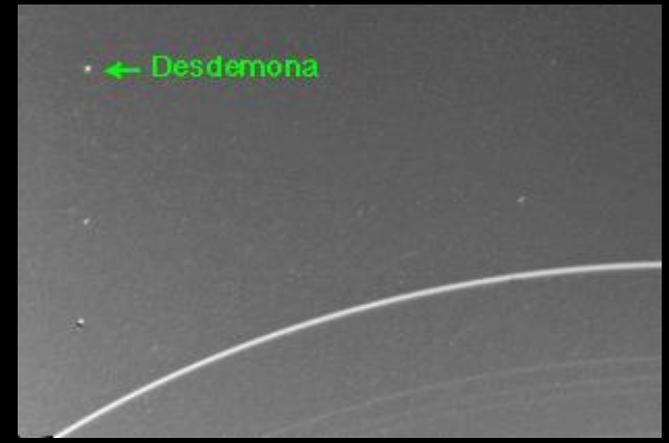
Juntos atuam como “satélites pastores” do anél Epsilon, como Prometeu e Pandora em relação ao anél F de Saturno.



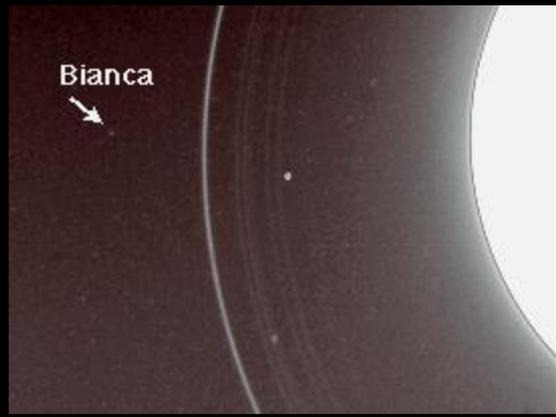
URANO – satélites



Créssida
4o. satélite
diâmetro: 66 km



Desdemona
5o. satélite
diâmetro: 58 km



Bianca
3o. satélite,
diâmetro: 44 km

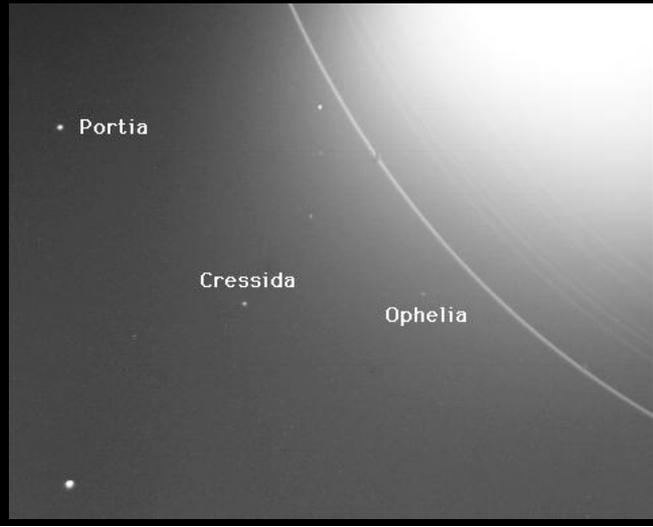


Julieta
6o. satélite
diâmetro: 84 km

URANO – satélites

Portia

7o. satélite
diâmetro: 110 km



Belinda

9o. satélite
diâmetro: 68 km



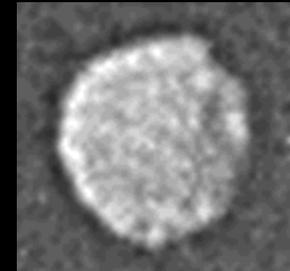
Rosalinda

8o. satélite
diâmetro: 54 km



Puck

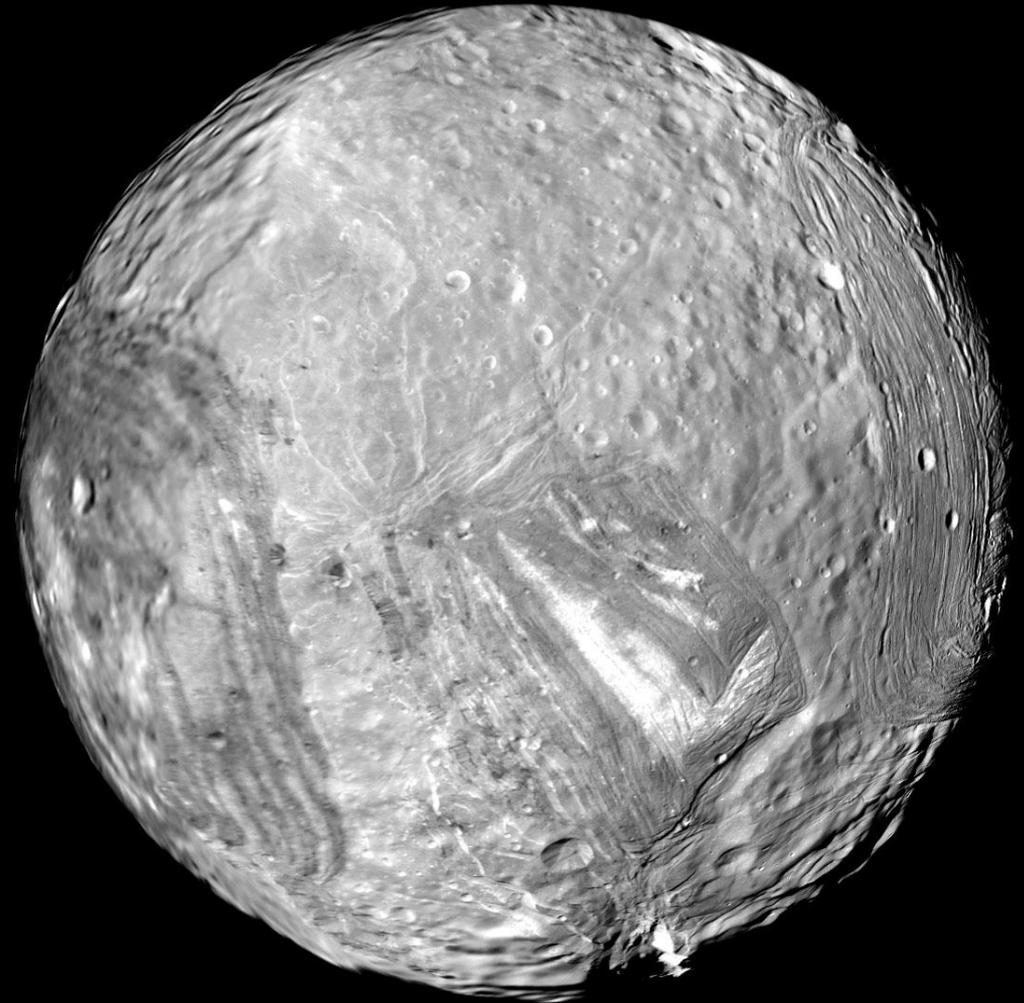
10o. satélite
diâmetro: 154 km



URANO – satélites

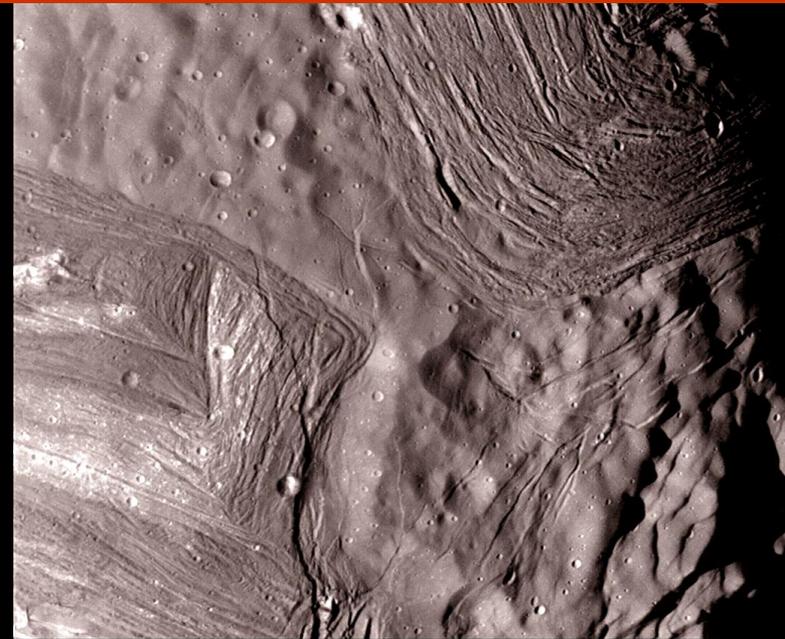
- **Miranda**

- 11o. Satélite.
- o mais interno dentre os maiores satélites.
- diâmetro: 472 km
- composição provável: 50% de água, 50 % de material rochoso.



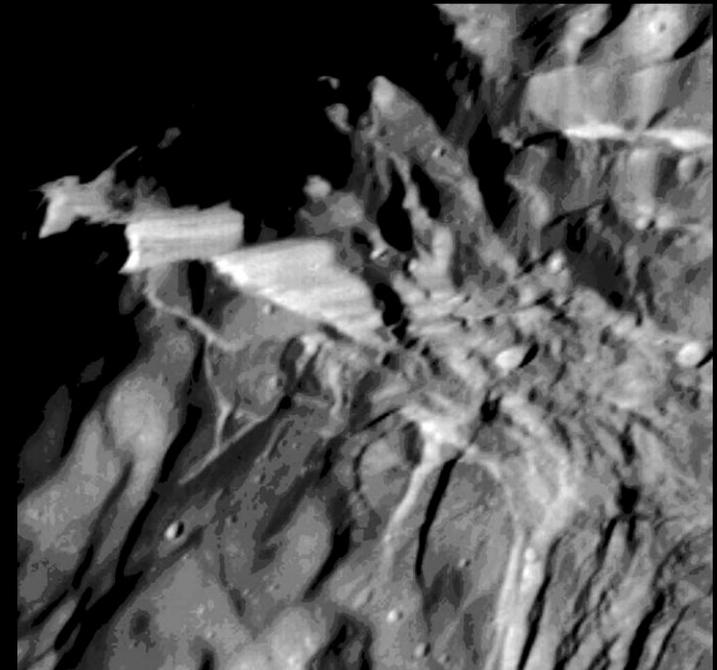
URANO – satélites

- Superfície composta de terrenos diferentes, como fortemente marcados por crateras de colisão, ranhuras, vales e penhascos (com até 5 km de altura).
- Inicialmente pensou-se que Miranda tivesse sofrido vários processos de fragmentação e reagrupamento durante sua vida, cada vez destruindo parte de sua superfície original e expondo parte de seu interior.
- atualmente, acredita-se que o processo predominante seja o afloramento de gelos parcialmente derretidos.



Miranda • 'Chevron' Grooves

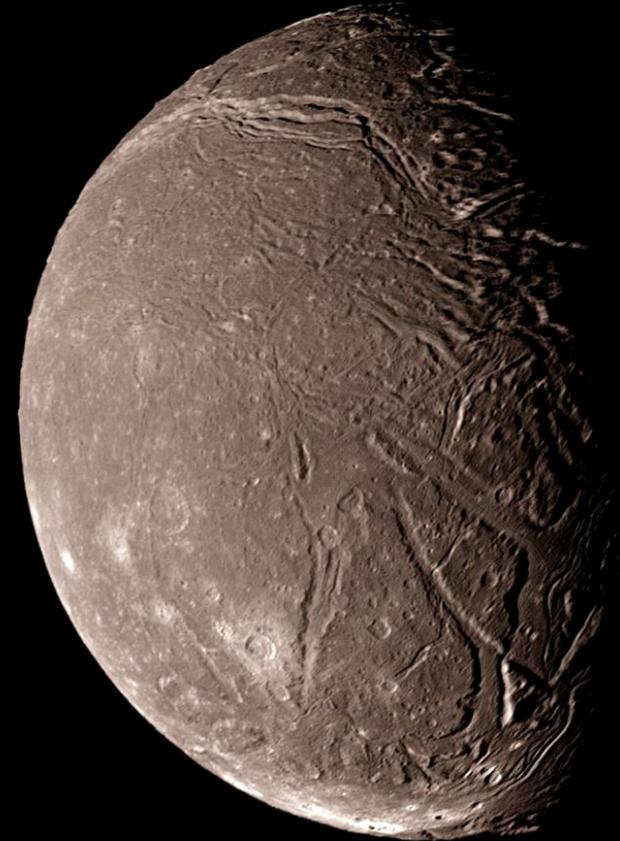
© Copyright Calvin J. Hamilton



URANO – satélites

• Ariel

- 12º satélite
- diâmetro: 1158 km
- composição provável: 40-50% de gelo de água e o restante de rochas
- superfície é uma mistura de terrenos marcados por crateras e sistemas de vales interconectados com centenas de km de extensão e 10 km de profundidade.
- Algumas crateras parecem ser parcialmente submersas.
- Superfície jovem (porém mais velha que de Encélado).
- Reprocessamento da superfície ainda atuante.
- Cordilheiras são interpretadas por material de afloramento.



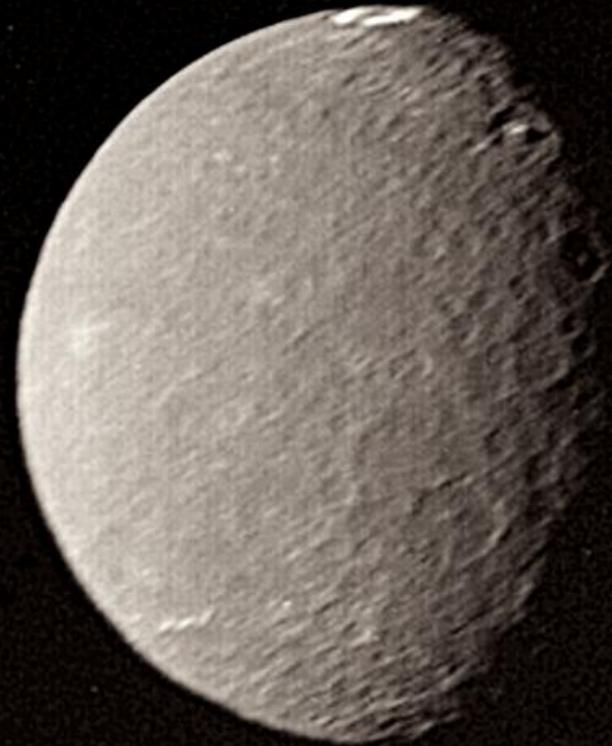
Ariel • A Moon of Uranus

© Copyright Calvin J. Hamilton

URANO – satélites

- **Umbriel**

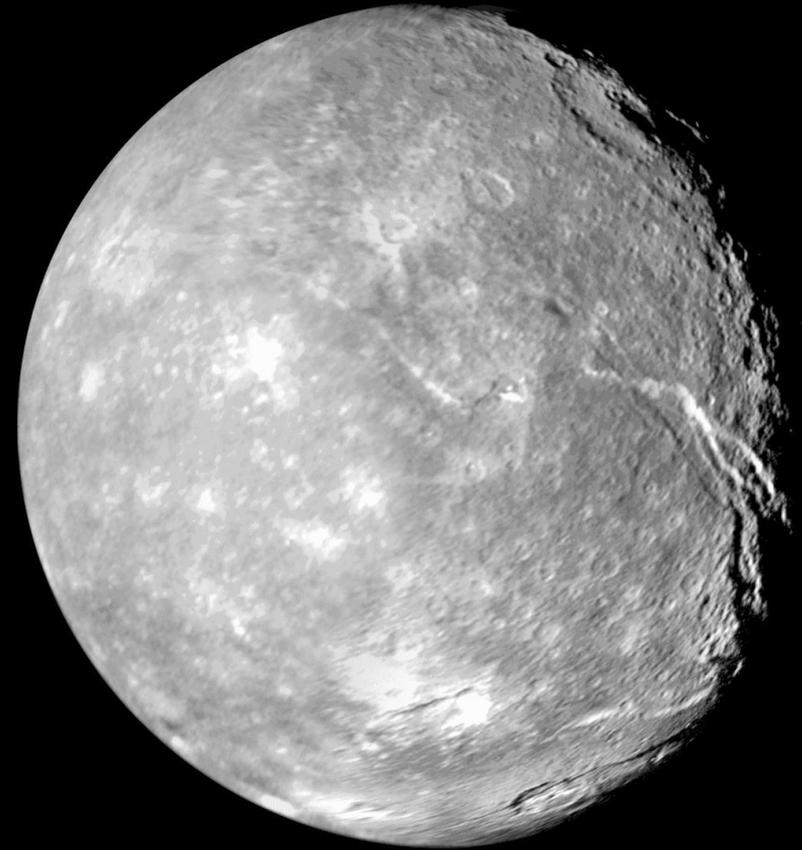
- Diâmetro: 1.170 km
- Umbriel e Oberão são parecidos, mas Oberão é 35% maior.
- Assim como os demais satélites de Urano, é composto de uma mistura de cerca de 40-50% de gelo de água e material rochoso.
- Sua superfície é fortemente marcada por crateras, e muito antiga (provavelmente a mesma desde sua formação).
- Umbriel é muito escuro; cerca de 50% mais escuro que Ariel, que é o satélite mais brilhante de Urano.



URANO – satélites

- **Titania**

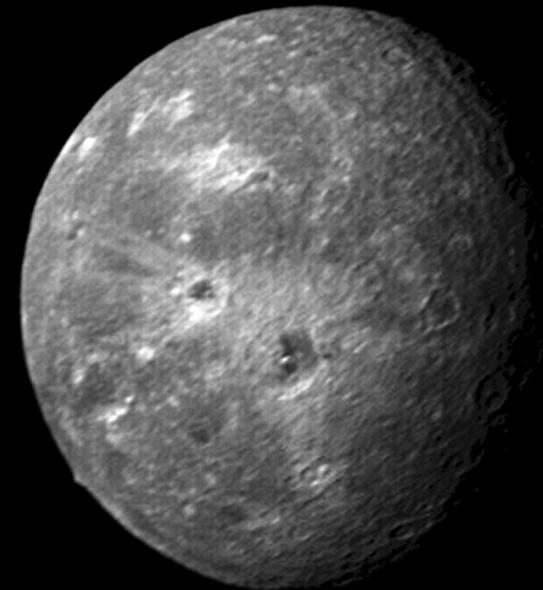
- Titania é o maior satélite de Urano.
- diâmetro: 1578 km
- sua superfície é uma mistura de terrenos marcados por crateras e sistemas de vales interconectados, com centenas de quilômetros de extensão.
- possivelmente, isso seja decorrência de processos sucessivos de reconstrução superficial.



URANO – satélites

- **Oberão**

- É o mais externo e o segundo maior
- diâmetro: 1523 km
- Superfície fortemente marcada por crateras, provavelmente estável desde sua formação.
- Muito mais marcado por crateras, e de maior tamanho que em Ariel e Titania.
- Parte da crateras têm raios formados de matéria ejetada semelhante àquelas vistas em Calisto.
- Algumas das crateras têm fundos escuros, provavelmente porque são cobertos com material escuro (água suja?) que emergiu do fundo da cratera.
- Grandes falhas são vistas através de todo o hemisfério sul.
- Isso pode indicar existência de atividade geológica nos primórdios de sua história.



Oberon

© Copyright Calvin J. Hamilton

NETUNO – satélites

14 satélites

Nome(tamanho em km)

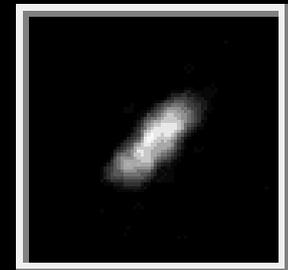
Naiad(48x30x26), Thalassa(54x50x26), Despina(90x74x64),
Galatea(102x92x72), Larissa(108x102x84), Proteus(220x208x202),
Triton(1,353.4), Nereid(170), S/2002 N1(24), S/2002 N2(24), S/2002
N3(24), S/2002 N4 (30), S/2003 N1(14)

NETUNO – satélites

- **Netuno** tem 2 grandes satélites, **Tritão** e **Nereida**.
- 6 pequenos foram descobertos pela sonda Voyager 2. Todos possuem movimento orbital prógrado, e órbitas circulares de baixa inclinação.
 - Órbita de **Tritão** é inclinada em 157° , portanto seu movimento é basicamente retrógrado.
 - Órbita de **Nereida** é altamente elíptica e inclinada em 29° .

NETUNO – satélites

- **Naiade**
 - O satélite mais interno.
 - diâmetro: 58 km
 - Assim como Talassa, Despina e Galatea, tem forma irregular
- **Talassa**
 - diâmetro: 80 km
- **Despina**
 - diâmetro: 148 km



NETUNO – satélites

- **Naiade**: o satélite mais interno.
diâmetro: 58 km

Assim como Talassa, Despina e Galatea, tem forma irregular

- **Talassa**: diâmetro: 80 km

- **Despina**: diâmetro: 148 km

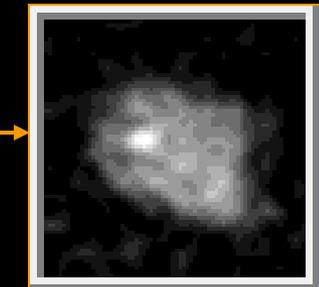
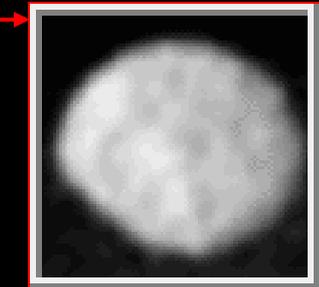
- **Galatea**: diâmetro: 158 km .

- **Larissa**: diâmetro: 193 km (208 x 178) .

- **Proteus**: diâmetro: 418 km (436 x 416 x 402).

- **Nereida**: diâmetro: 340 km

- a órbita mais excêntrica do Sistema Solar:
- sua distância de Netuno varia entre 1.353.600 e 9.623.700 km (capturado do cinturão de Kuiper?)
- essa proximidade provoca efeito de maré, que atua como uma fonte de aquecimento interno.



NETUNO – satélites

- **Galatea**

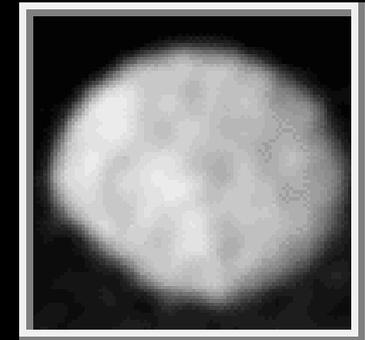
- Galatea é o 4o. Satélite.
- diâmetro: 158 km .

- **Larissa**

- Larissa é o 5o. satélite .
- diâmetro: 193 km (208 x 178) .

- **Proteus**

- Proteus, 6o. Satélite, o 2o. maior .
- diâmetro: 418 km (436 x 416 x 402).
- Proteus tem forma irregular, provavelmente seu tamanho está próximo ao limite necessário para ser esférico.
- Tem superfície fortemente marcada por crateras, sem indícios de atividade geológica.

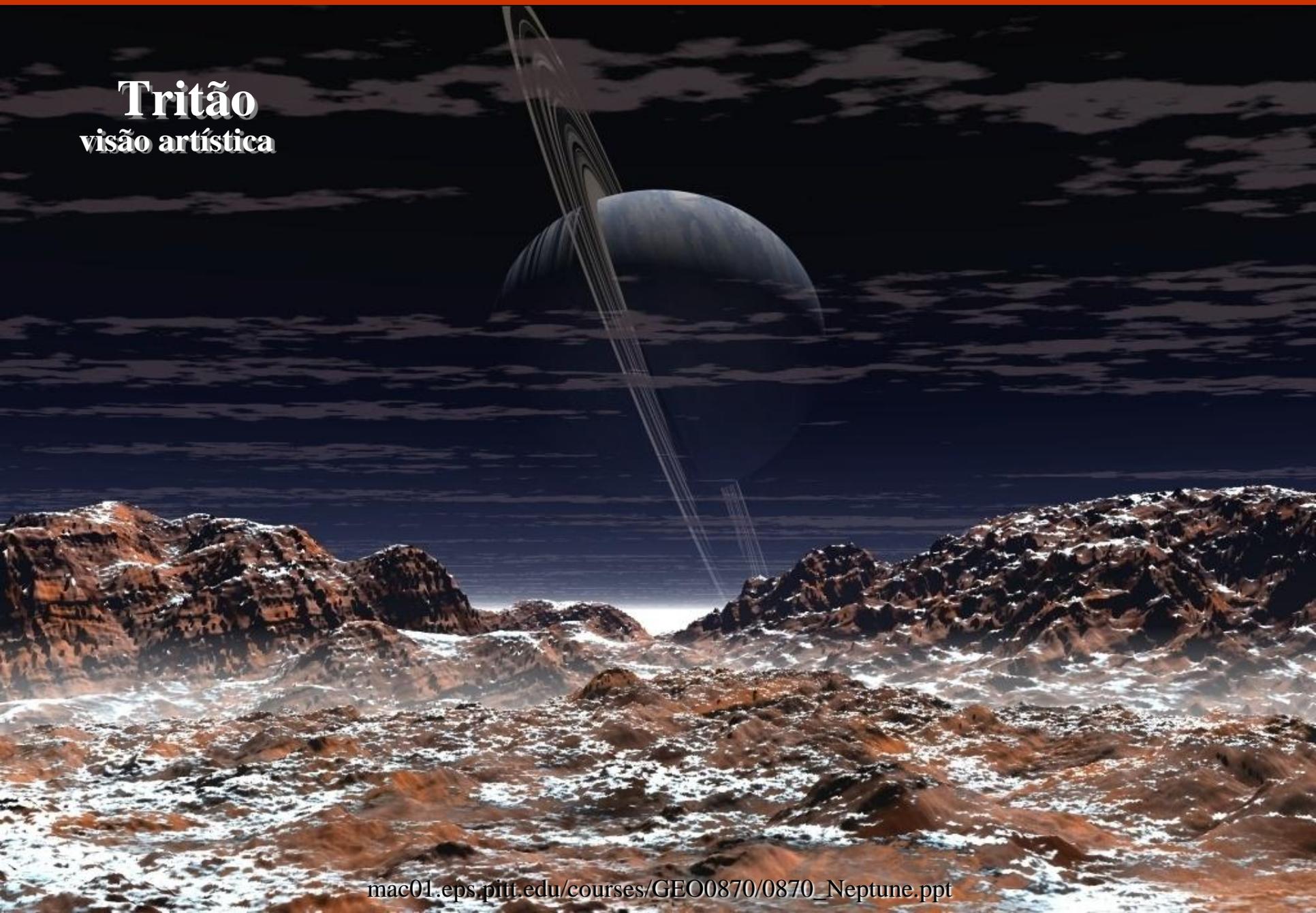


Proteus

© Calvin J. Hamilton

NETUNO – satélites

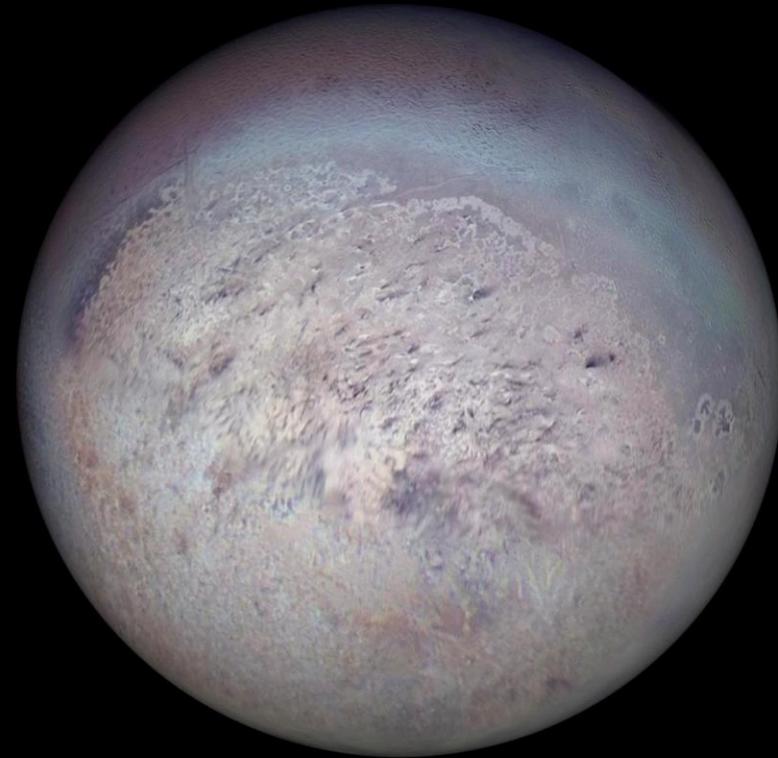
Tritão visão artística



NETUNO – satélites

• Tritão

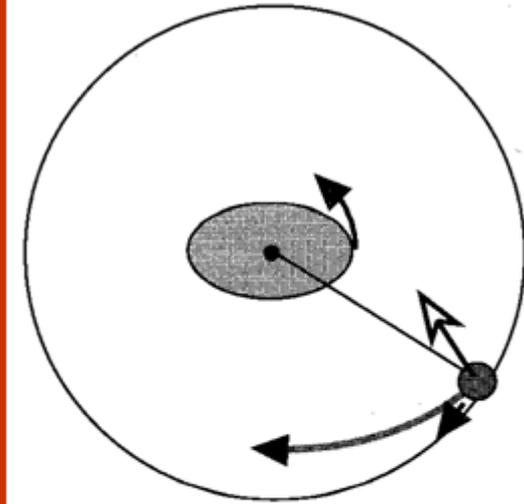
- Tritão o maior satélite de Netuno:
- diâmetro: ~2700 km
- Na mitologia grega é o deus do mar, filho de Netuno.
- Sua órbita está **inclinada 20°** em relação ao plano equatorial de Netuno, e seu movimento é **retrógrado**, o único dentre os grandes satélites.
- Ele deve ter sido formado em outro lugar, talvez no cinturão de Kuiper, e capturado por Netuno.
- Essa captura parece explicar também a alta excentricidade da órbita de Nereida, cuja distância de Netuno varia entre 1,4 e 9,7 milhões de km.
- Plutão tem quase o mesmo tamanho e sua órbita cruza a de Netuno.



NETUNO – satélites

- Tritão (cont.)

- As forças de maré entre Tritão e Netuno e o sentido retrógrado de seu movimento orbital implicam em perda de energia de Tritão, aproximando-o de Netuno.
- Em algum momento no futuro ele ultrapassará o limite de roche e poderá se fragmentar, talvez formando anéis ou até mesmo caindo em Netuno.
- Seu eixo de rotação está inclinado 157° em relação ao eixo de rotação de Netuno (que por sua vez está inclinado 30° da vertical ao plano orbital).
 - esta situação provavelmente resulta em mudanças sazonais radicais.



Lentamente o satélite aproxima-se do planeta como consequência da perda de energia orbital.

- Densidade: 2 g/cm^3

provavelmente tenha apenas 25% de gelo de água e o restante é material rochoso.

NETUNO – satélites



Tritão



Lago congelado

Atmosfera:

- pressão: 0,01 millibar
- praticamente nitrogênio com pequena quantidade de metano.
- fina camada de névoa estende-se por 5-10 km acima da superfície.
- temperatura da superfície: 34,5 K (-235 C); . nessa temperatura metano, nitrogênio e dióxido de carbono permanecem congelados.

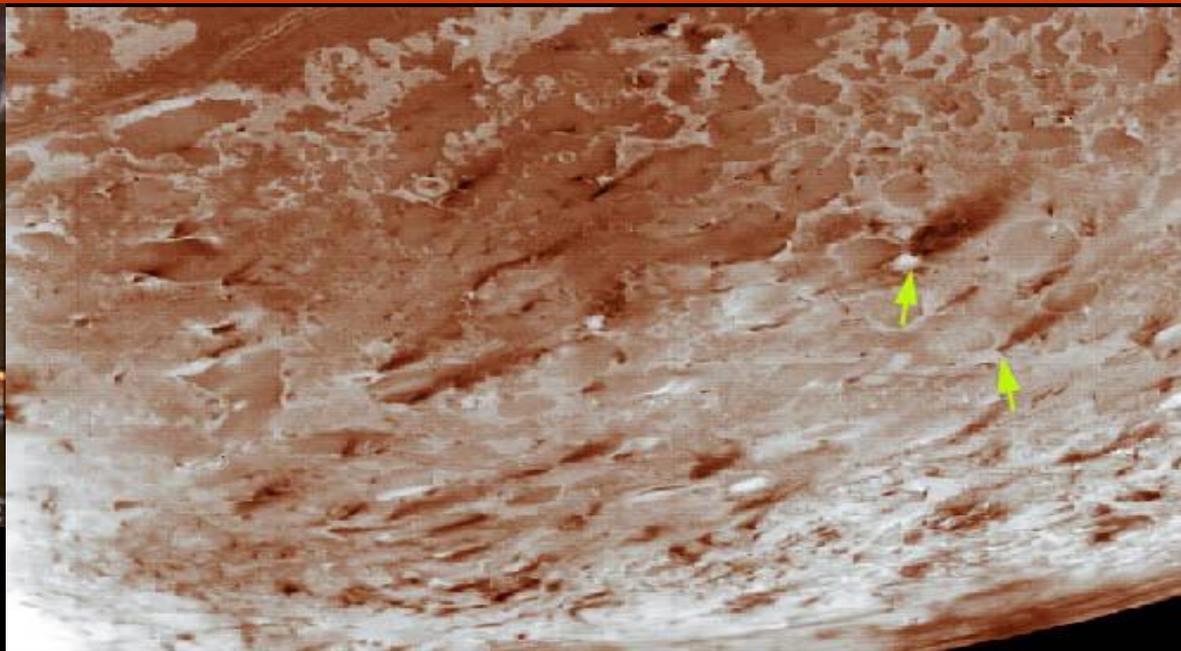


Gêiser de Nitrogênio líquido
8 km de altura e 140 km de extensão,
na direção do vento

NETUNO – satélites



Visão artística



Tritão

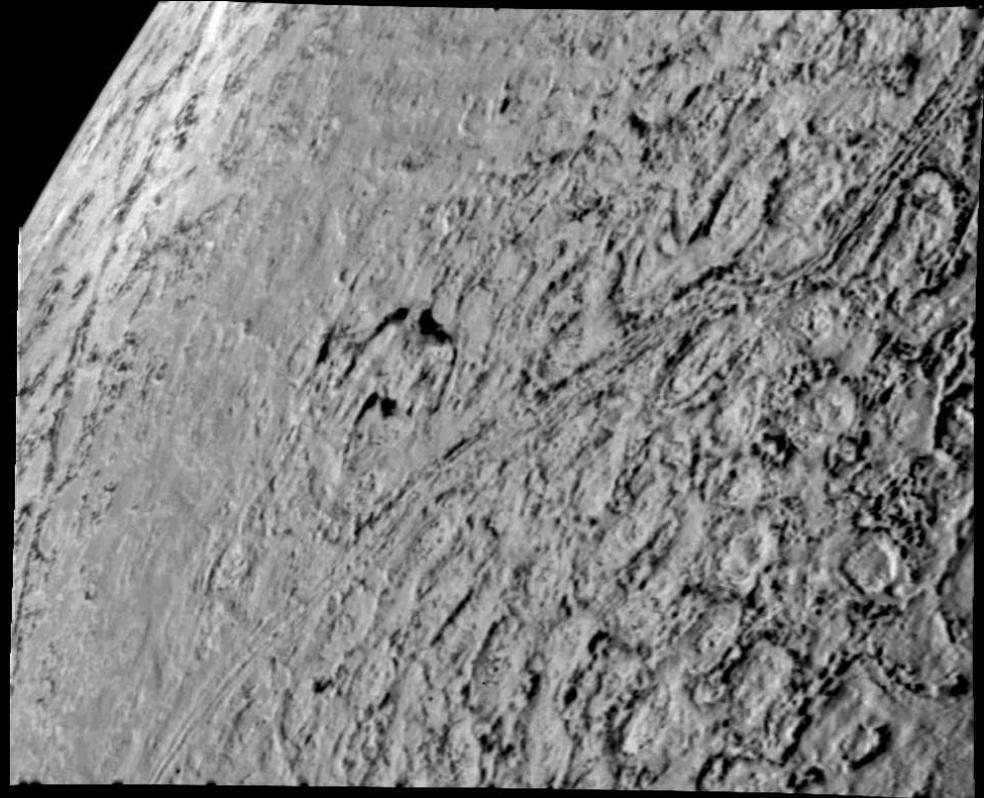


Gêiser de Nitrogênio líquido
8 km de altura e 140 km de extensão,
na direção do vento

NETUNO – satélites

Tritão (cont.)

- há poucas **crateras**
- hemisfério sul é coberto por capa de gelo de nitrogênio e metano.
- toda a superfície de Tritão é marcada por um complexo padrão de estrias e vales extensos.
- **Atividade vulcânica**
 - o material ejetado deve ser nitrogênio líquido, poeira e/ou compostos de metano.



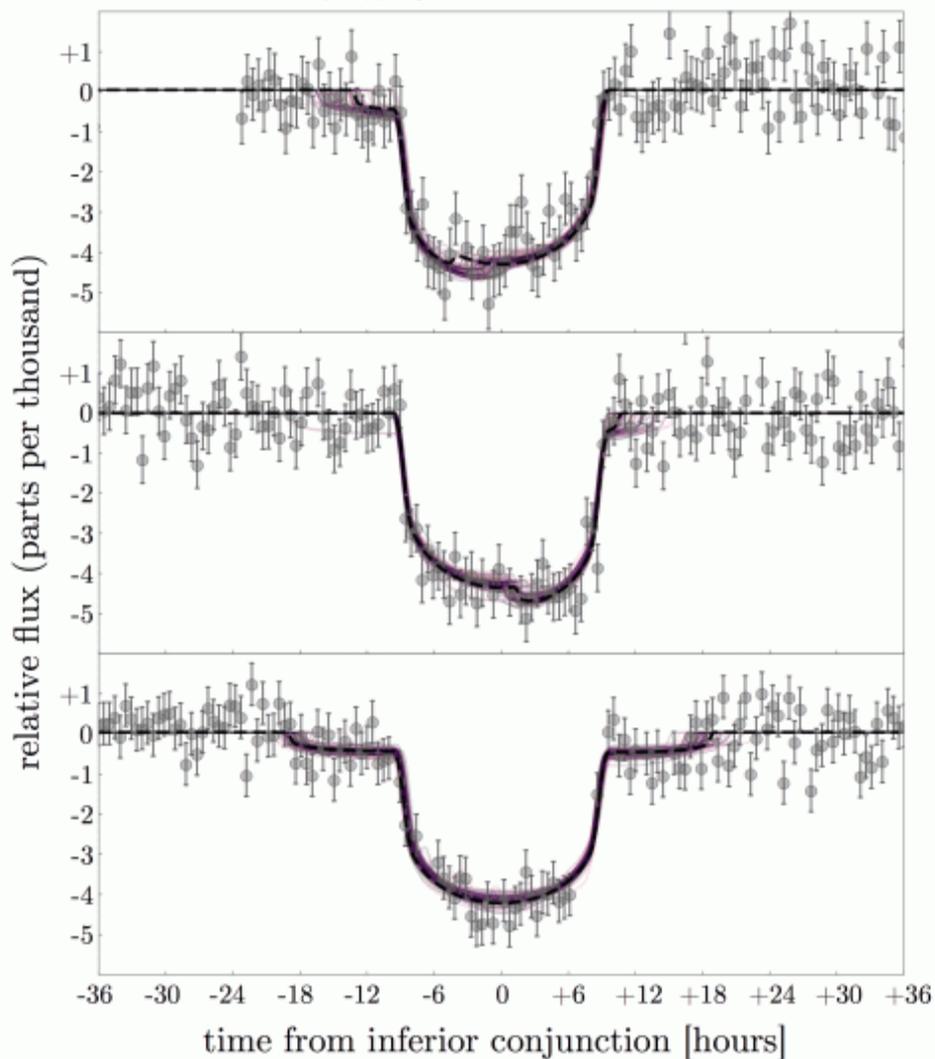
EXOSATÉLITE

Estrela: Kepler-1625, semelhante ao Sol mas 1,8 Msolar; 4.000 a.l. da Terra,

Exoplaneta: Kepler-1625b; **Massa:** de 0,4 M_{Jup} até 75 M_{Jup} (anã marron) ou, ainda, $\approx 0.11 M_{\odot}$ (estrela de massa mínima)

Satélite : de satélite gasoso de massa terrestre e altamente inflado, até rocha-água livre de atmosfera.

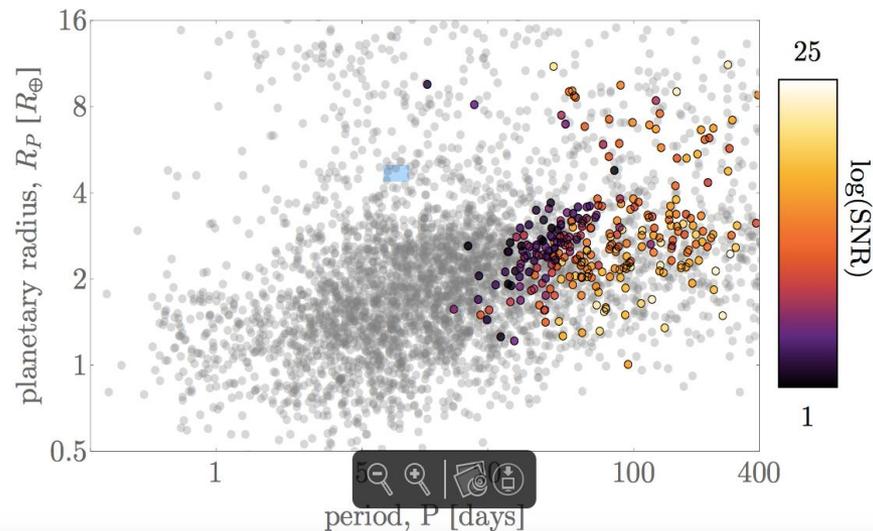
Credit: Teachey/Kipping/Schmidt



The nature of giant exomoon candidate Kepler-1625 b-I, Astronomy & Astrophysics, Volume 610, id.A39, 6 pp., 2018

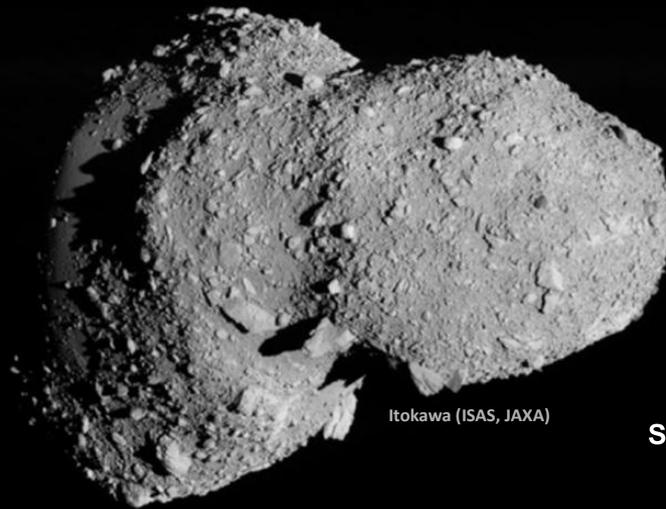
Trânsitos do Kepler-1625b. Assimetria observada é atribuída a um satélite gigante.

Locais dos Objetos Kepler de Interesse (KOI); pontos indicam exoplanetas mais prováveis a terem satélites Credit: Teachey/Kipping/Schmidt



Conceitos Fundamentais da Física do Sistema Solar (MPA5004)

Enos Picazzio (IAGUSP)



Itokawa (ISAS, JAXA)

SATÉLITES E ASTERÓIDES

Parte B: Asteróides

NÃO HÁ PERMISSÃO DE USO PARCIAL OU TOTAL DESTE MATERIAL PARA OUTRAS FINALIDADES.