

John Rowe
Animation

ASTRONOMIA DO SISTEMA SOLAR

(AGA-292)

Enos Picazzio

SATÉLTES PLANETÁRIOS

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

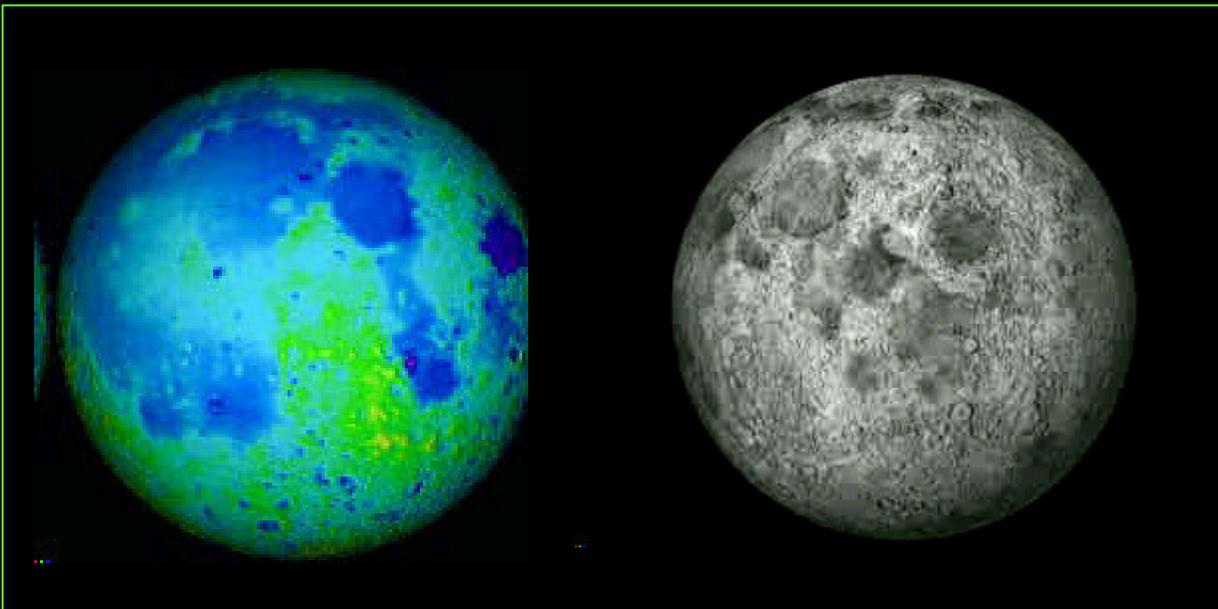
Satélites comparáveis à Mercúrio

	raio (km)	massa (10^{23} kg)
Mercúrio	2.440	3,3
Ganimedes	2.634	1,5
Calisto	2.403	1,2
Titã	2.575	1,3

Satélites comparáveis à Lua

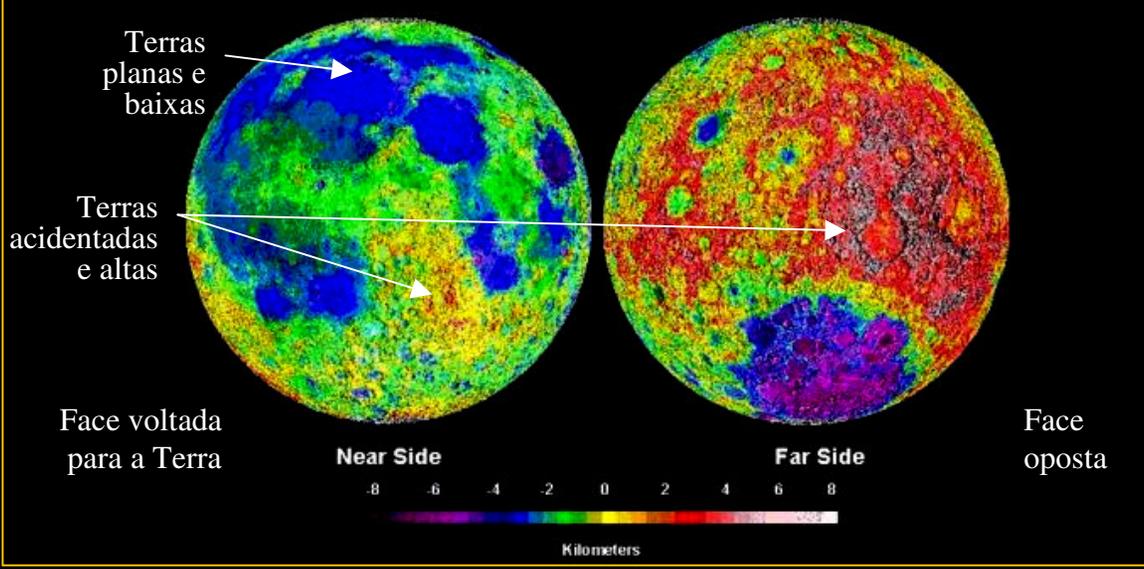
	raio (km)	massa (10^{22} kg)
Lua	1.738	7,4
Io	1.821	8,9
Europa	1.565	4,8
Tritão	1.353	2,2

LUA: Satélite da Terra



Durante um ciclo o aspecto da Lua muda em decorrência das librações e da excentricidade da sua órbita

Topografia da Lua, de acordo com a sonda Clementina



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 o hemisfério oposto é iluminado integralmente, e vice-versa.

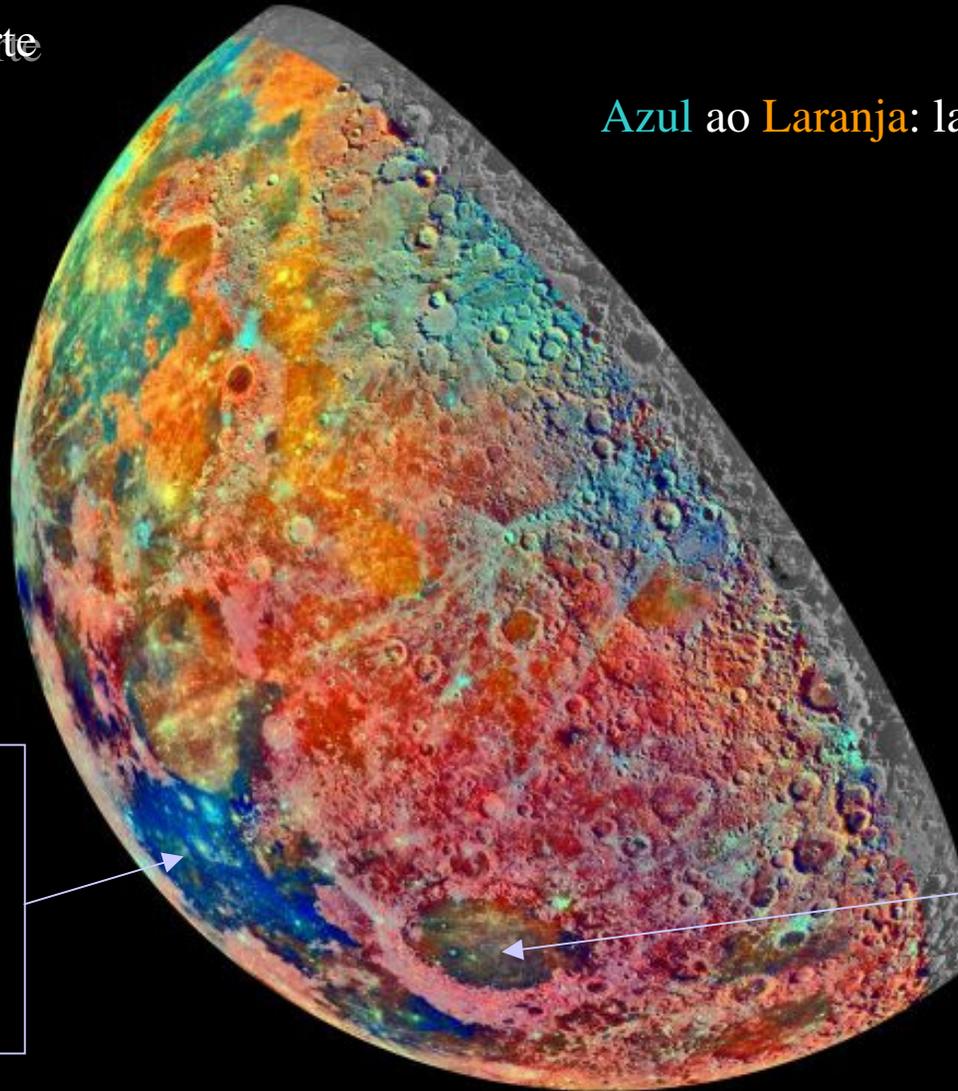
LUA: Topografia

(sonda Galileo)

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

Pólo Norte

Azul ao Laranja: lavas vulcânicas

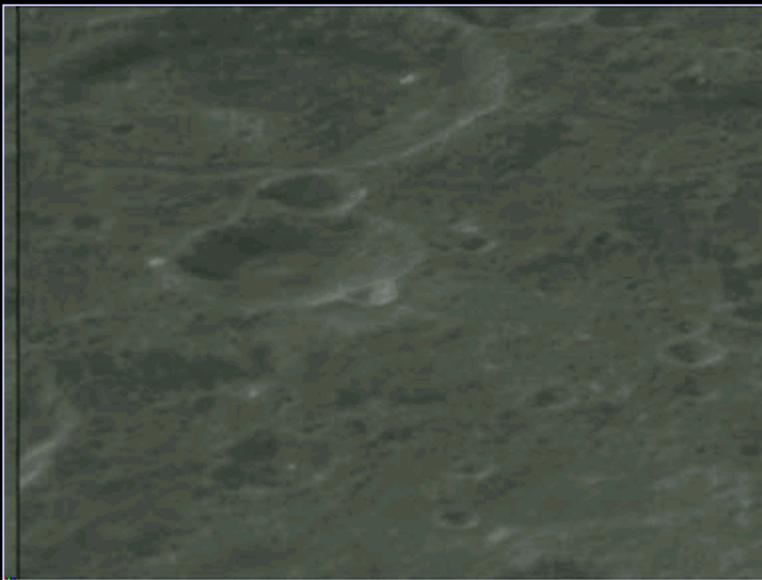
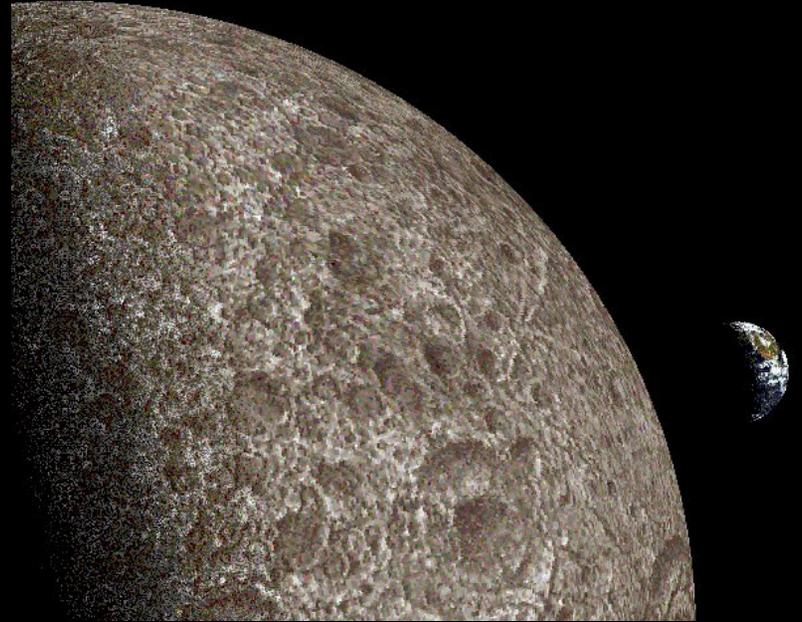


Mar da
Tranquilidade
terreno rico em
titanium (cor
azul escuro)

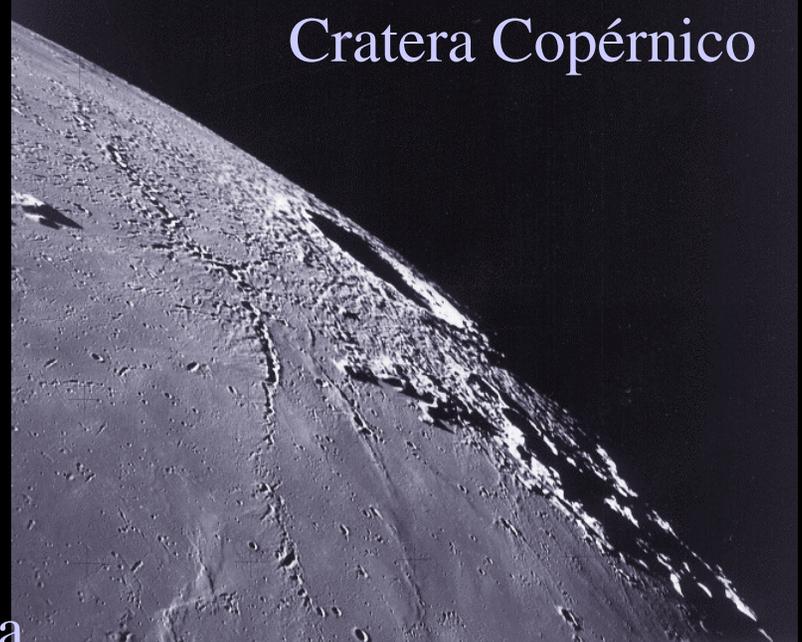
Mar das Crises
circundado por
material típico
das terras altas
(cor rosa)

LUA: Topografia

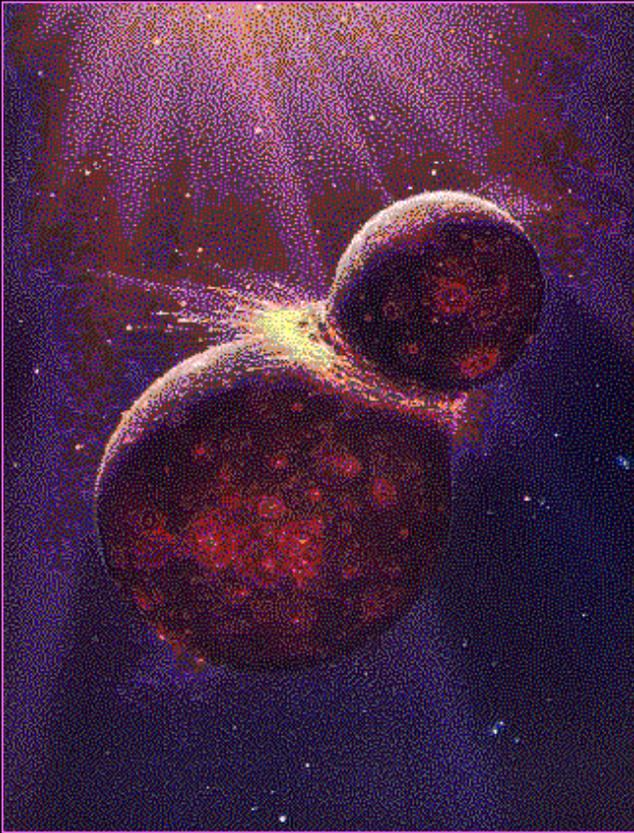
Mar da tranquilidade



Cratera Copérnico



LUA: Origem



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

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

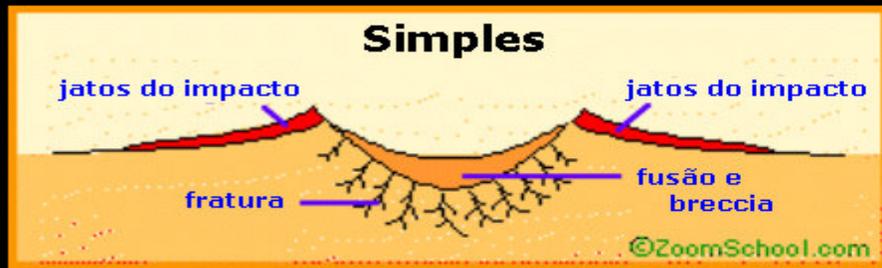
LUA: superfície

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

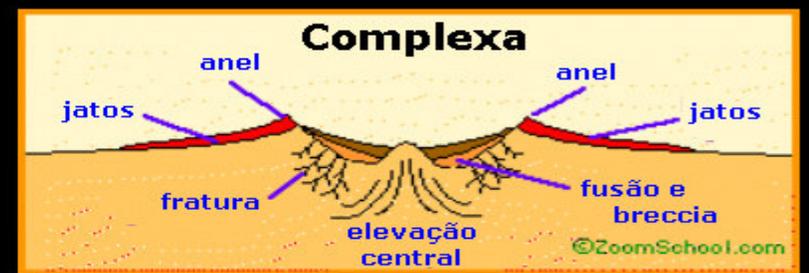
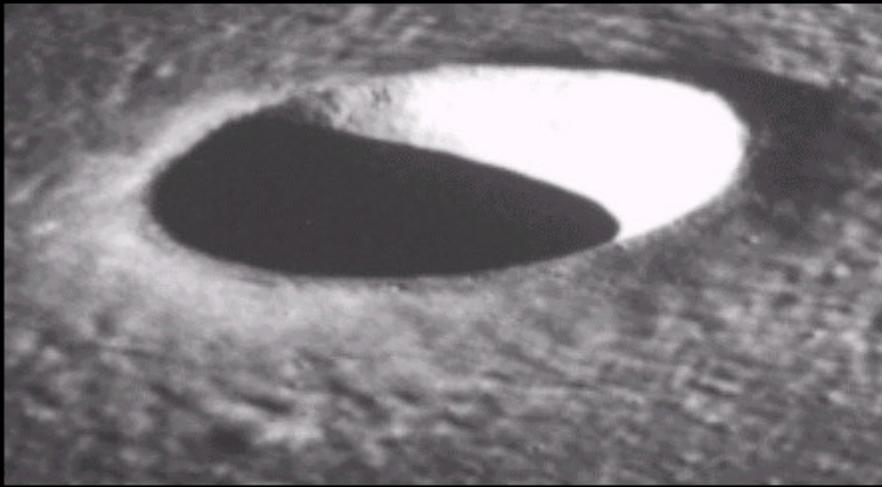
Essa poeira é formada de minúsculas partículas rochosas originadas da pulverização das rochas pelas sucessivas colisões com meteoróides.



LUA: superfície (cratera de impacto)



até 20 km



de 20 a 200 km



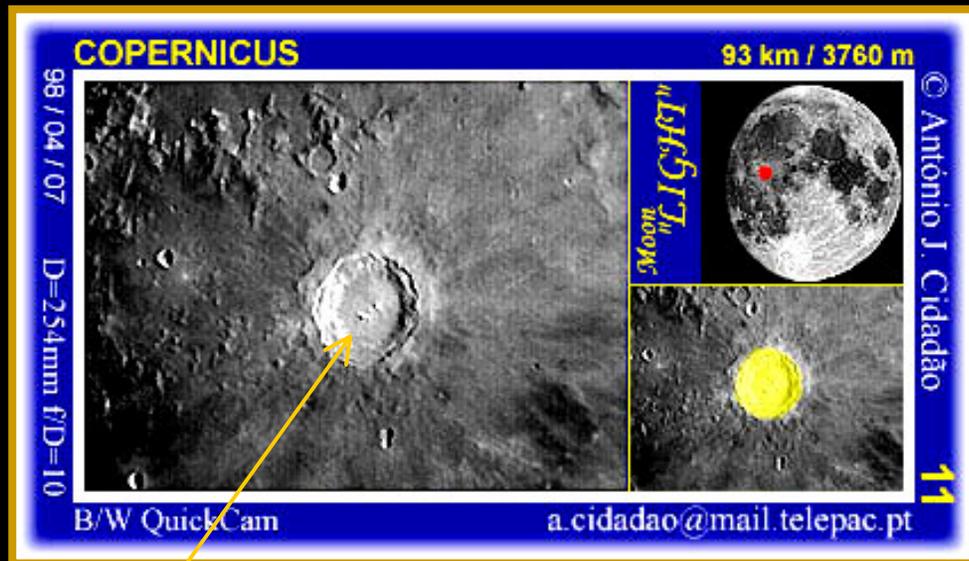
Bacias de impacto: acima de 200 km

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.

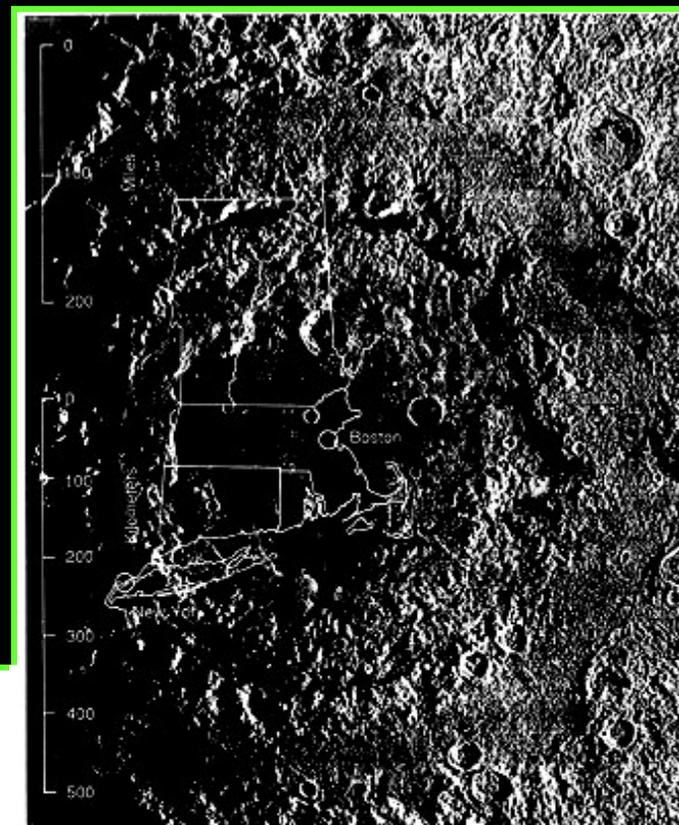
LUA: superfície (cratera de impacto)

Cratera de Impacto

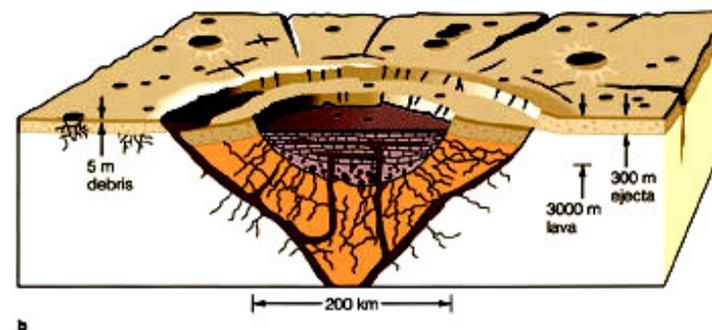


Pico central
é uma
característica
das crateras
de impacto
complexas

- Base Oriental é uma cratera de impacto, multi-anelada.
- Lava foi liberada pela colisão, formando depósitos de material escuro ao longo das fraturas.
- Crateras como essa surgem de processo composto de impacto-e-vulcanismo.



Base Oriental



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)



- **Continentes**

- 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

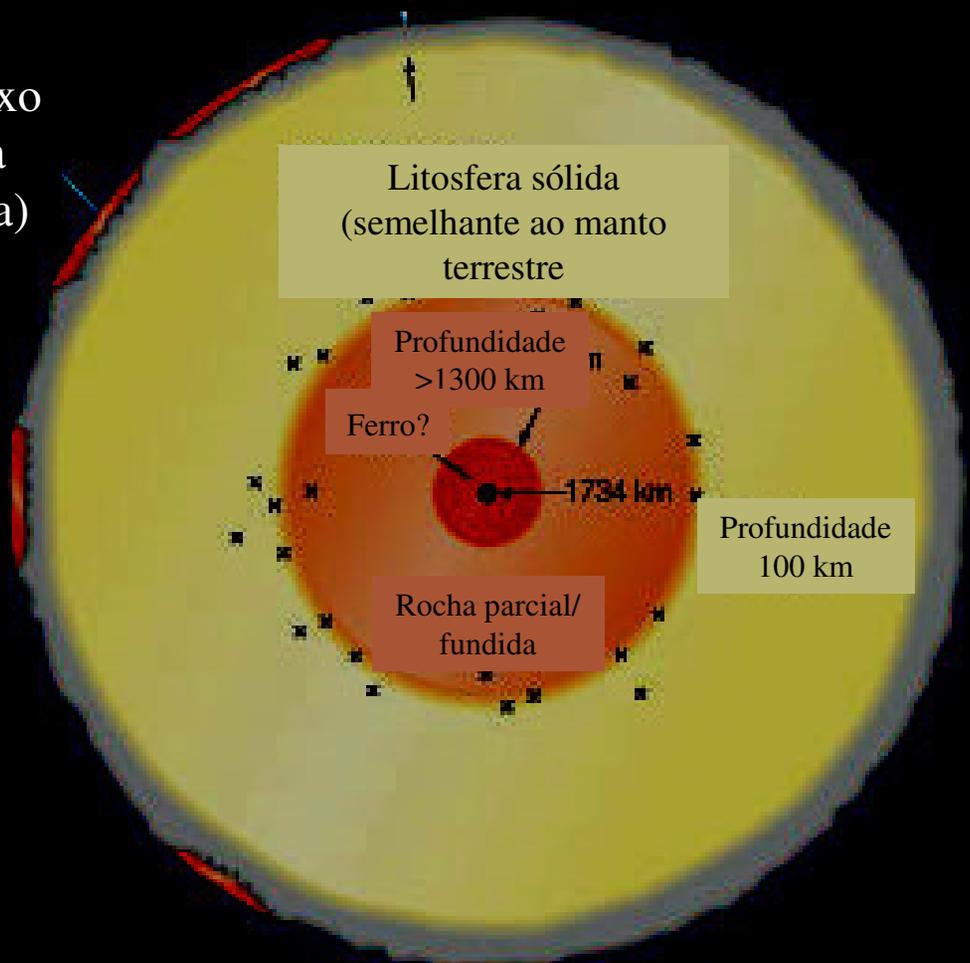
Óxido	Terra (%)	Lua (%)
SiO ₂	49.9	43.5
TiO ₂	0.16	0.3
Al ₂ O ₃	3.64	6.0
FeO	8.0	13.0
MgO	35.1	32.0
CaO	2.89	4.5
Na ₂ O	0.34	0.09
K ₂ O	0.02	0.01

Mar (fluxo de lava basáltica)

TERRA

TERRA

Crosta 60 km
(anortosito basáltico)



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

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



Embora suas órbitas sejam quase circulares e estejam próximas ao plano equatorial marciano, há muita diferença entre as densidades médias deles e de Marte. Provavelmente sejam asteróides capturados.

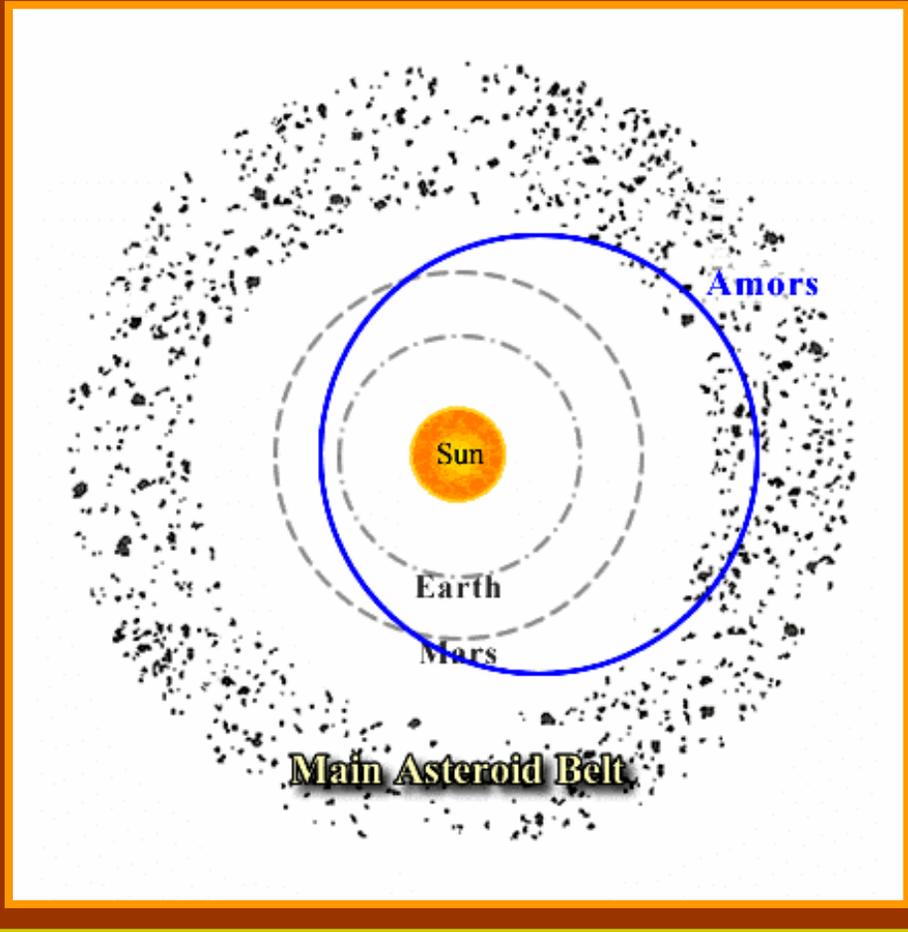
FOBOS: ~27x21x19 km,
move-se de O para L
em ~7h39m
de Marte; D

MARTE:

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

das. Devido à maré,
mando de Marte



e circulares e estejam
marciano, há muita
lias deles e de Marte.
pturados.

JÚPITER: satélites

63 satélites

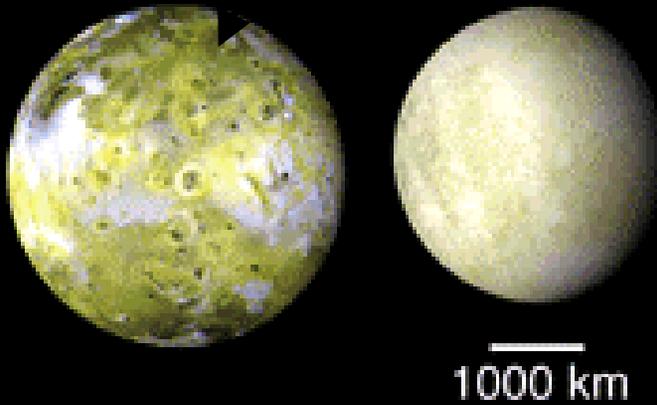
Nome(tamanho em km)

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), S/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)...

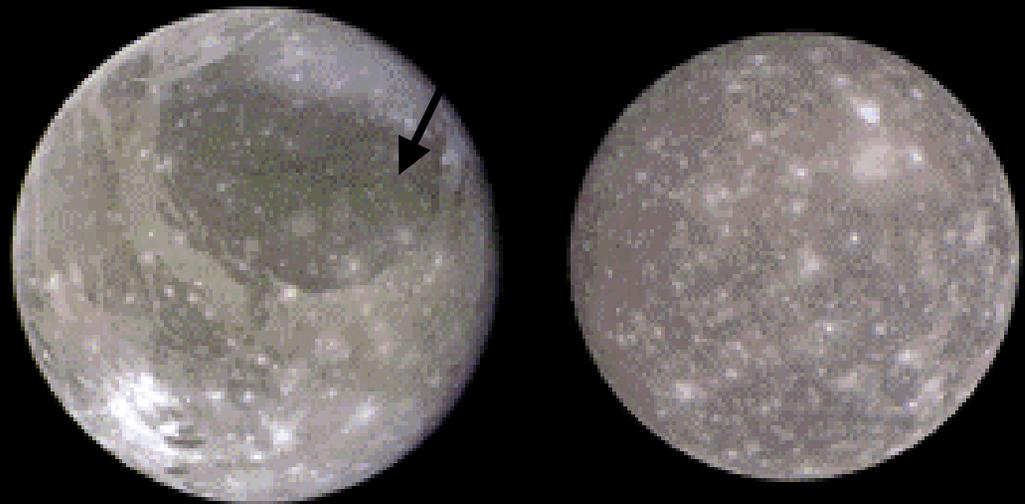
JÚPITER: satélites galileanos

Io	Europa	Ganimedes	Calisto
85,22 hr	171,71 hr	400,54 hr	período
----- 2:1 -----			ressonância
----- 4:1 -----			

comparáveis à Lua



comparáveis à Mercúrio



JÚPITER: satélites galileanos - IO

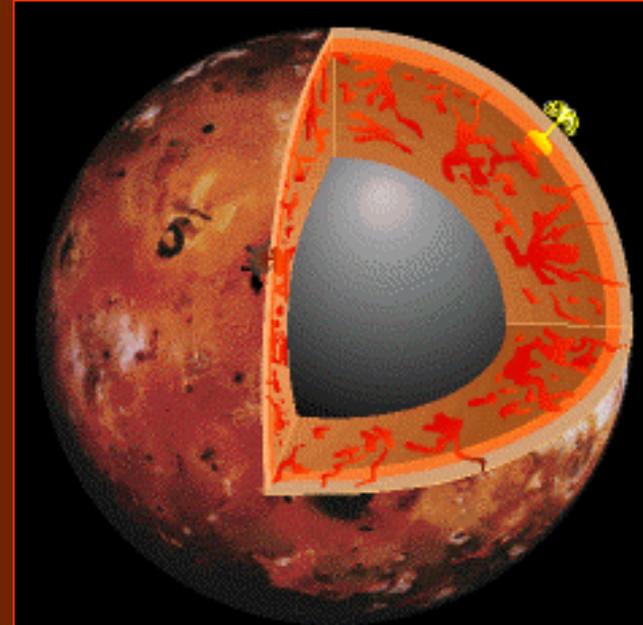


Raio: 1815 km

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

Órbita: 6 R_J (71540 km)

Temp.: -145 a -223 (°C)

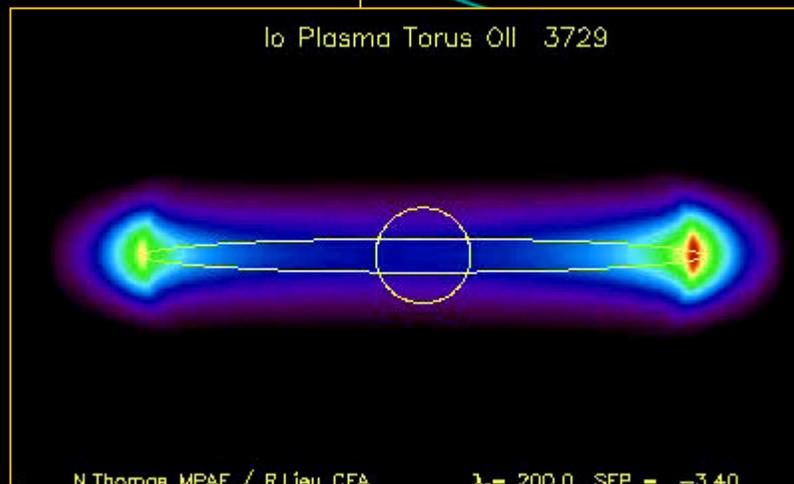
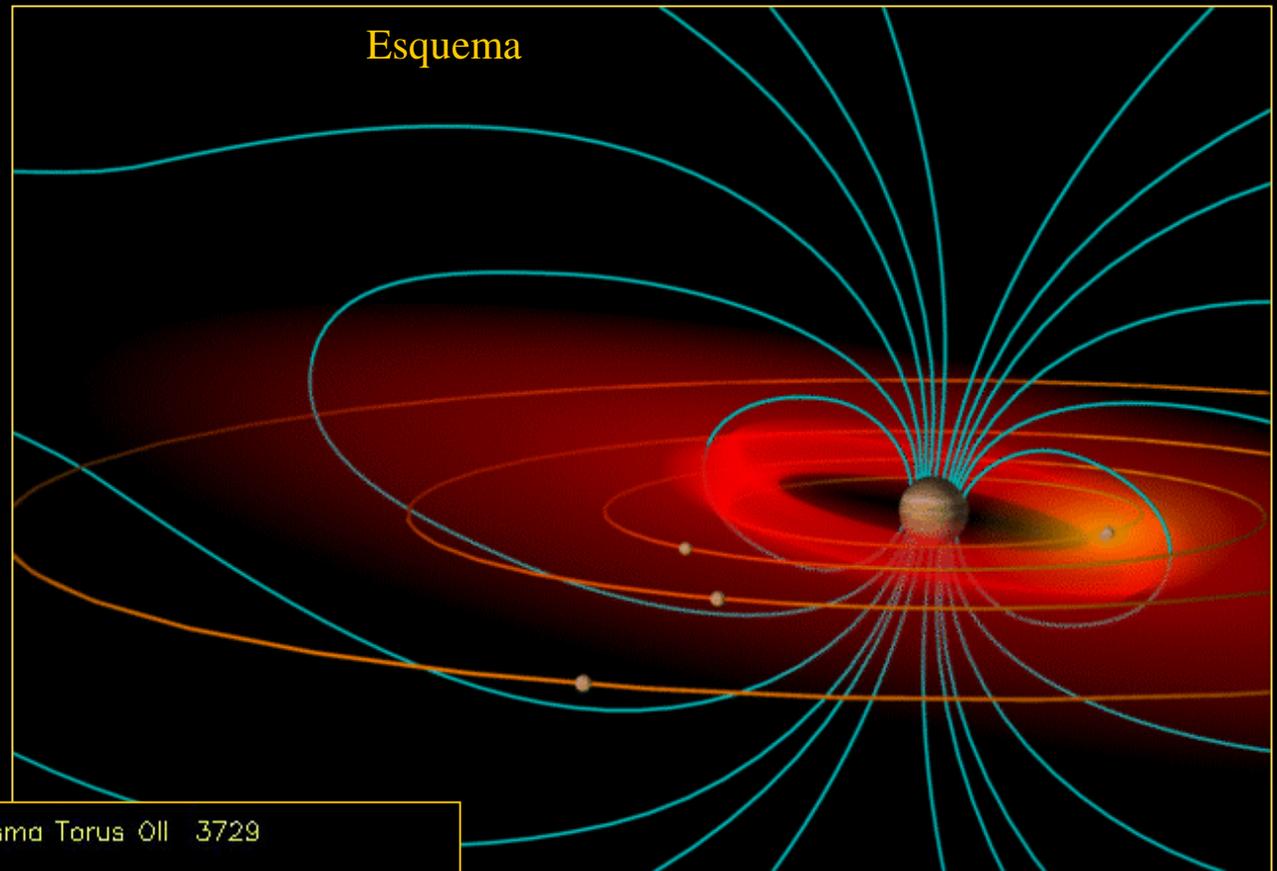


Características do interior são inferidas pela gravidade e campo magnético: núcleo metálico (ferro e níquel) circundado por camada rochosa que se estende até a superfície. (NASA – Galileo)

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

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.



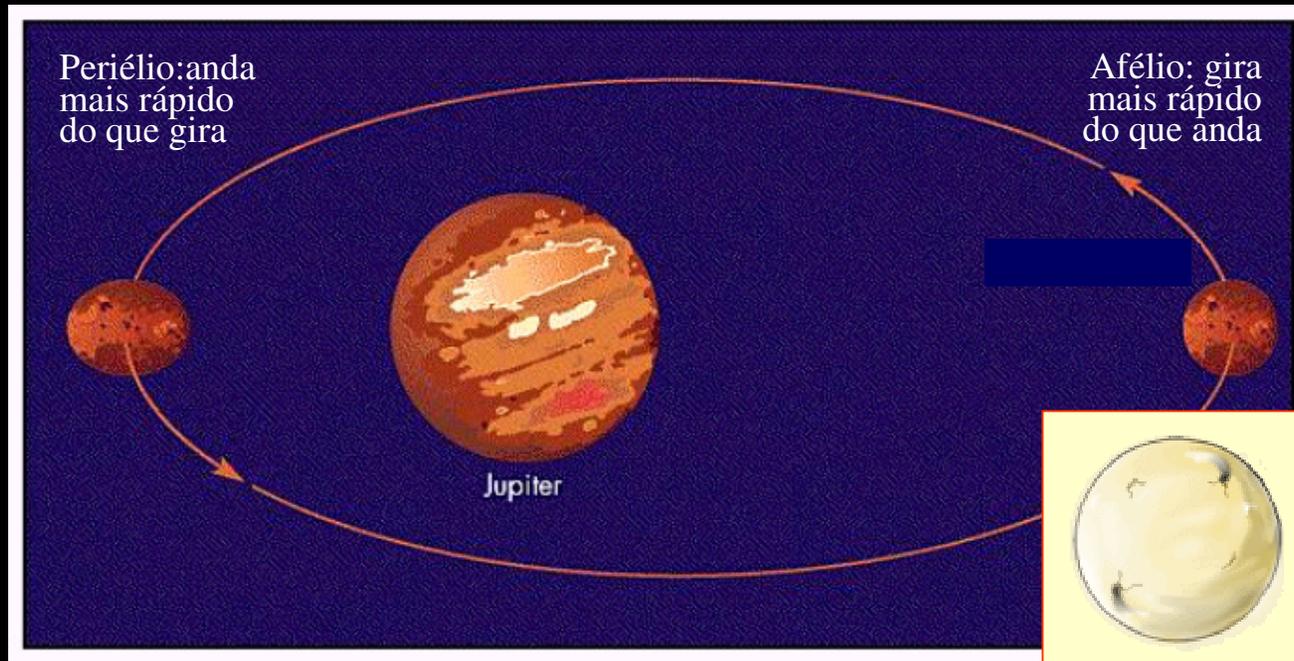
ganesh.colorado.edu/nick/images.html

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

JÚPITER

N.Thomas_MPAE / R.Lieu_CEA $\lambda = 200.0$ SEP - -3.40

JÚPITER: satélites galileanos - IO

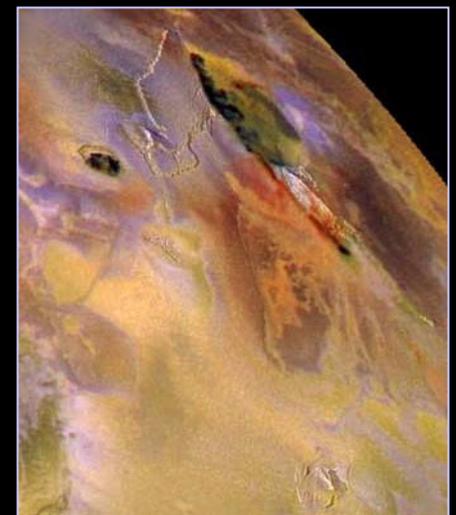


Atividade vulcânica mais intensa do Sistema Solar.

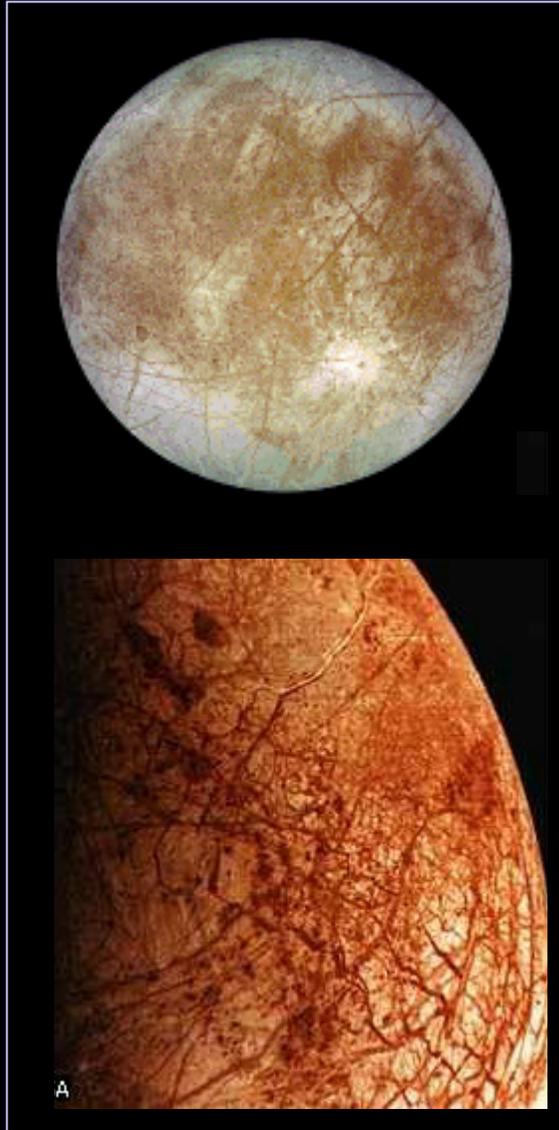
Marés em Io causam o vulcanismo: o movimento é sincronizado, mas a órbita é elíptica. Próximo do periastro e do apoastro o sincronismo desaparece e o satélite é contorcido.



JÚPITER

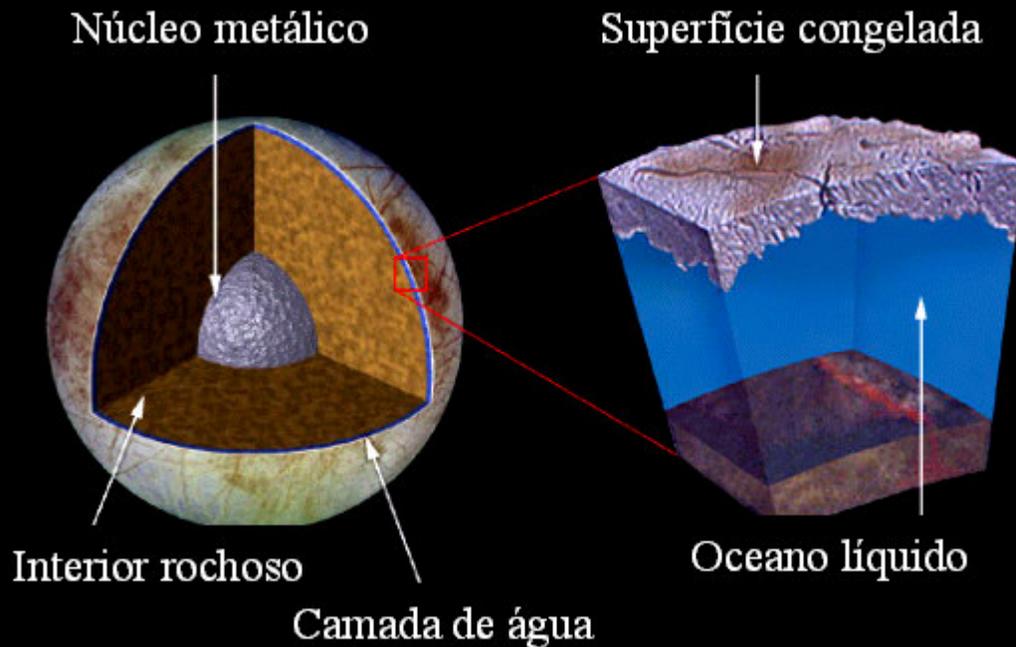


JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA



- 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

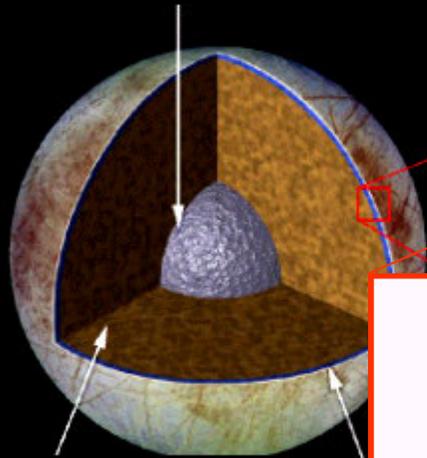


- Superfície marcada por intrincada rede de estrias, com dezenas de km de largura. Provavelmente sejam fraturas na crosta de gelo que recobre a superfície, provocadas por distorção de maré.
- Não há atmosfera. Possivelmente seja devido ao fato de que elementos voláteis expostos à baixíssima temperatura superficial se condensam imediatamente. Observa-se presença de O_2 nas vizinhanças.

JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA

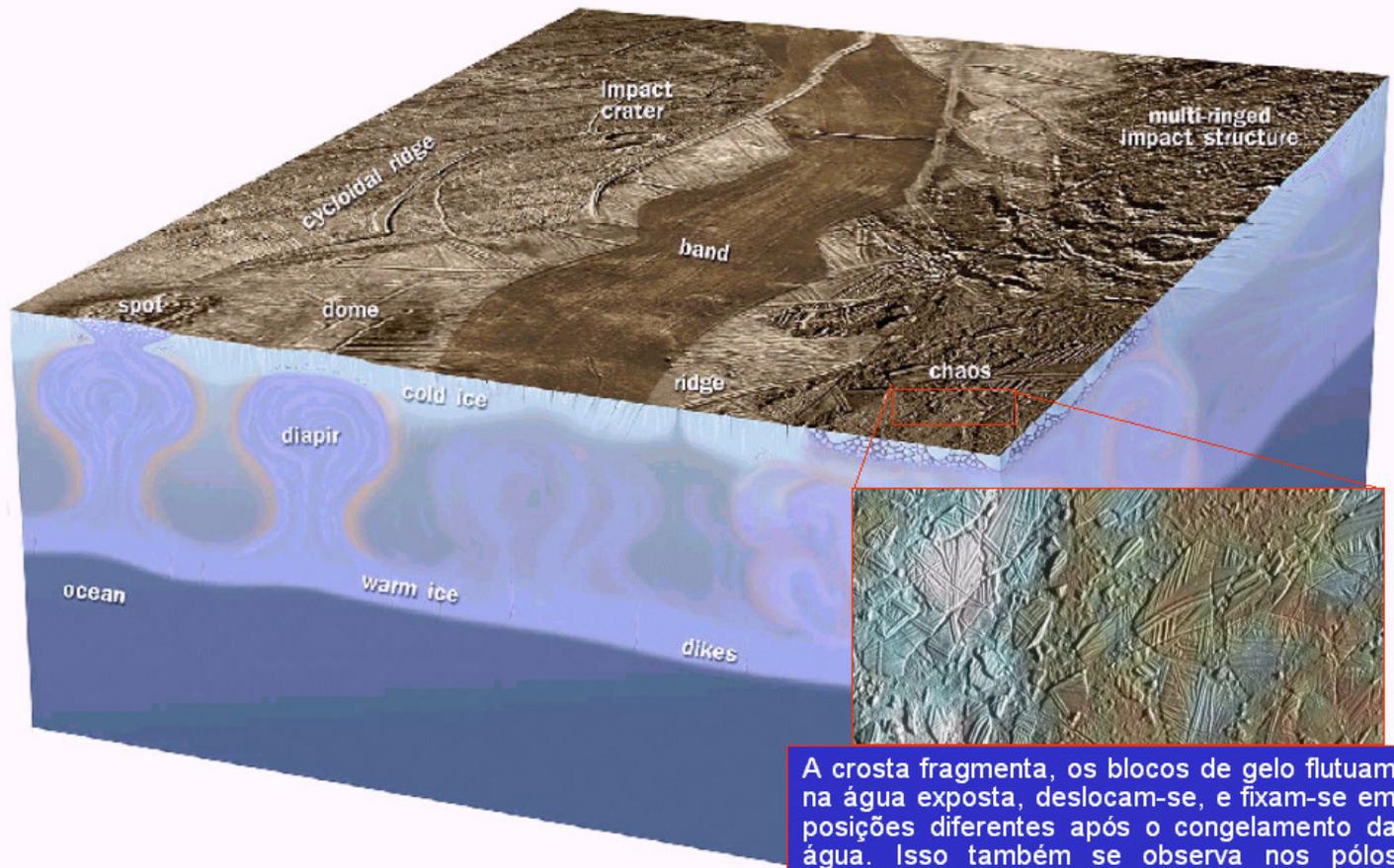
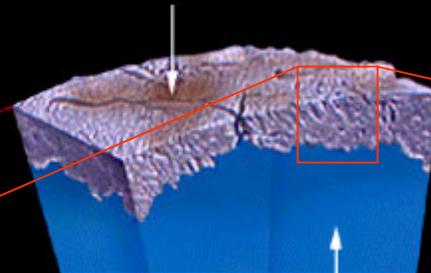
Núcleo metálico

Superfície congelada



Interior rochoso

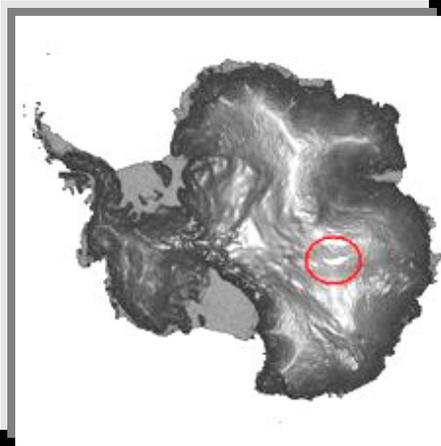
Camada



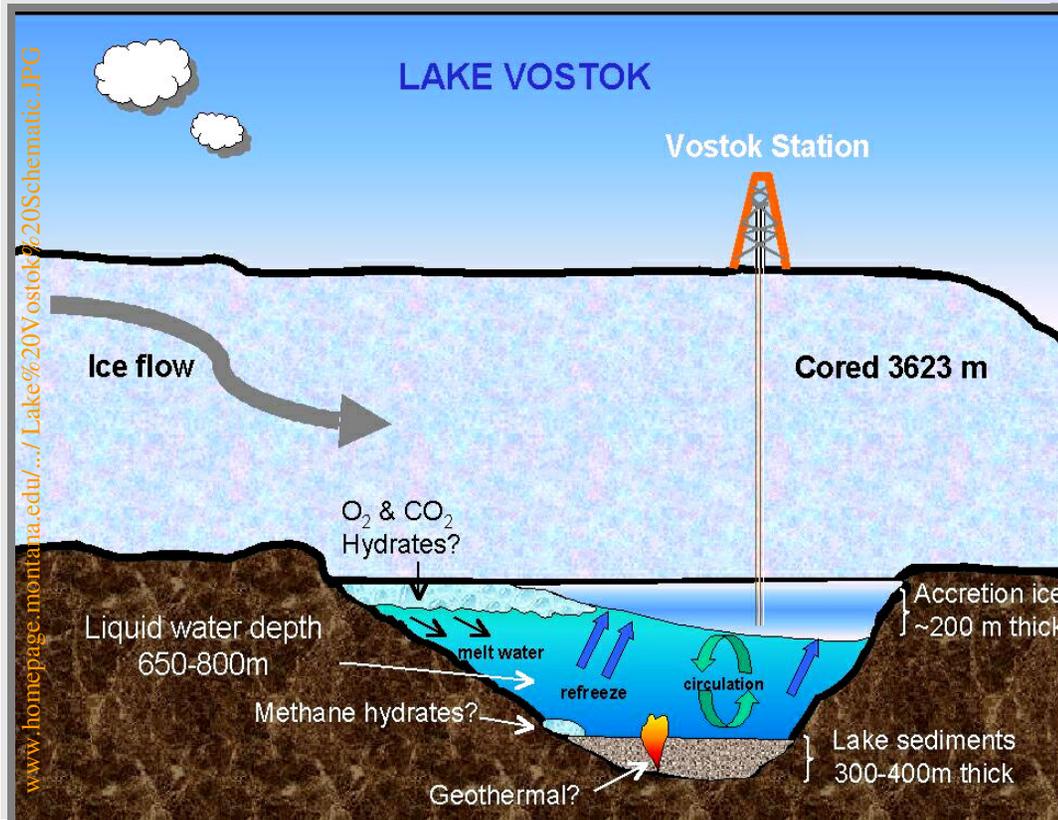
- Superfície de km de gelo que sofre maré.
- Não há elementos que se condensam nas vizinhanças.

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.

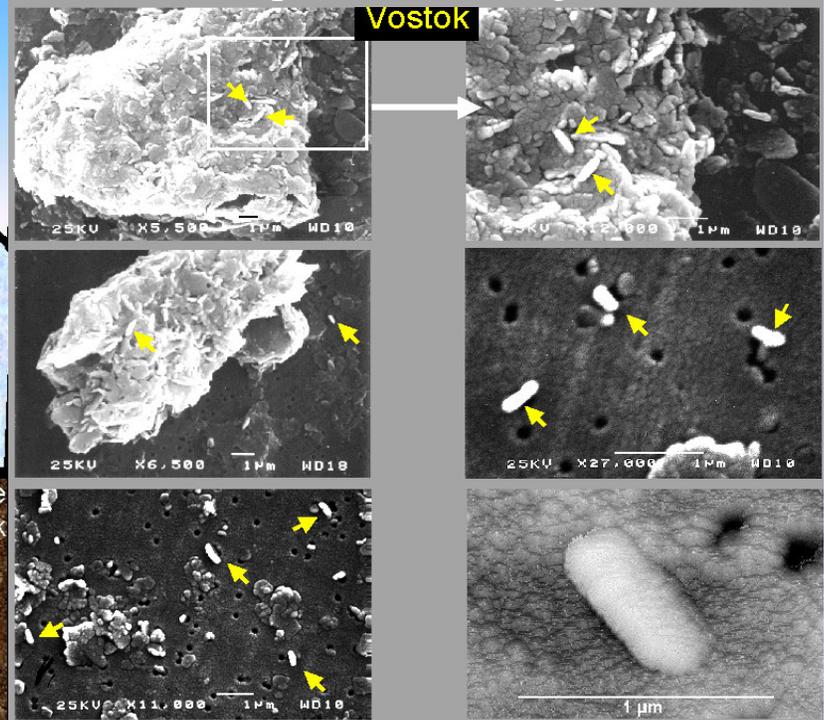
LAGO VOSTOK (Antártica)



- Lago Vostok, localizado na Antártica, a aproximadamente 4 km abaixo da superfície congelada.
- Desperta grande interesse à geofísica e à biologia: será que contém vida microscópica?
- Como explorar o lago sem contaminá-lo?
- Ele é o principal laboratório para planejarmos uma eventual exploração do presumível oceano de Europa.



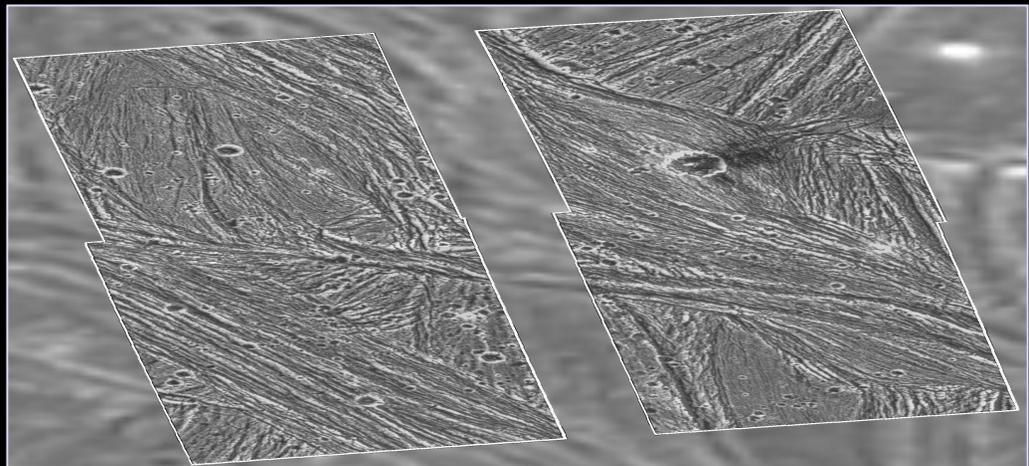
Encontrados na capa congelada que recobre o lago.



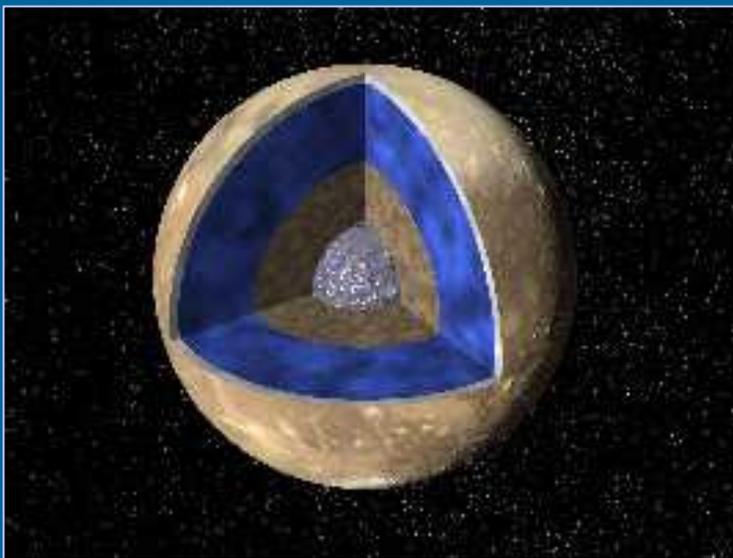
JÚPITER: satélites galileanos - GANIMEDES



- $R_{Gn} = 2630$ 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 $\gg 15 R_J$ ($R_J = 71.540$ km)
- Baixa densidade
 - Talvez seja composto primordialmente por gelos, e 50% por água.



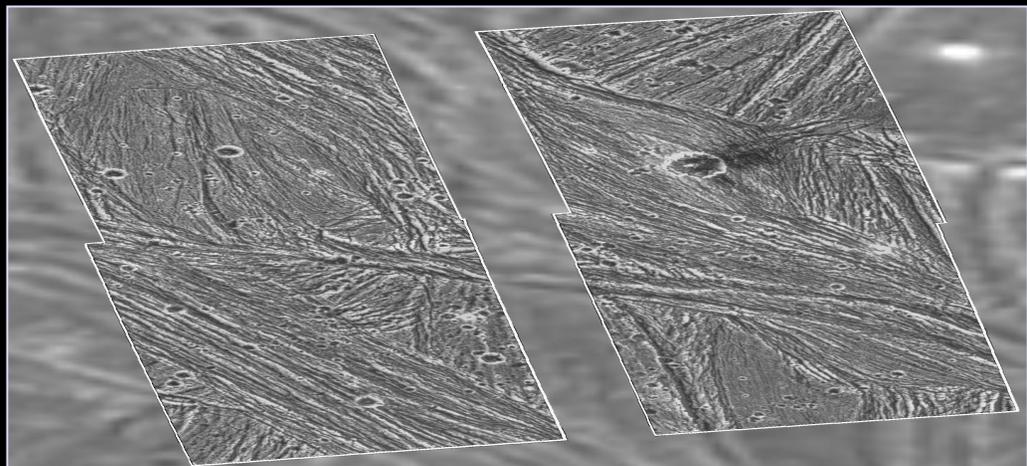
JÚPITER: satélites galileanos - GANIMEDES



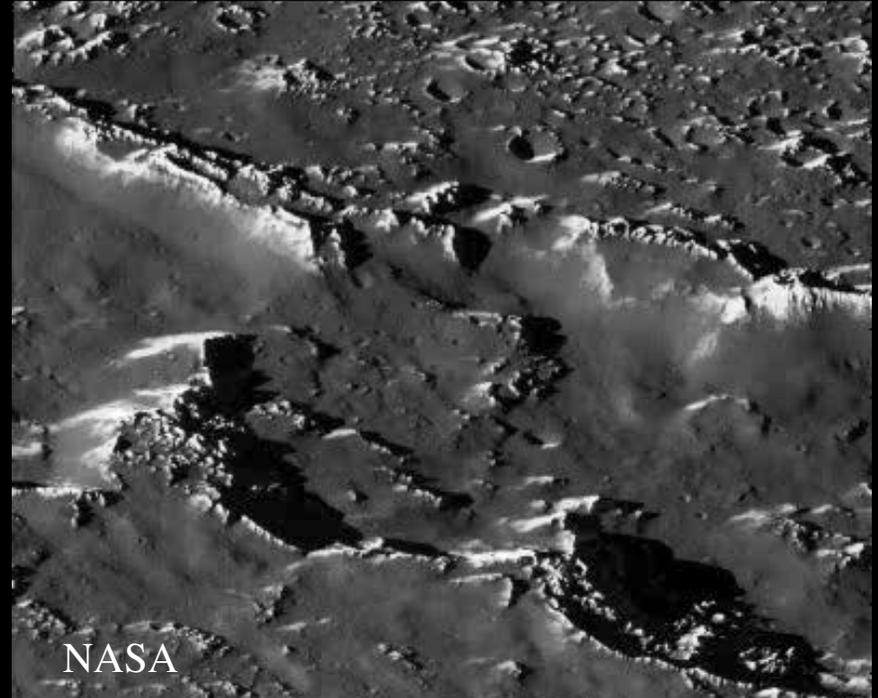
Interior formado por pequeno núcleo metálico, manto rochoso, superfície congelada (rica em água), recoberta por fina camada rica em sais eletricamente condutora.

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.

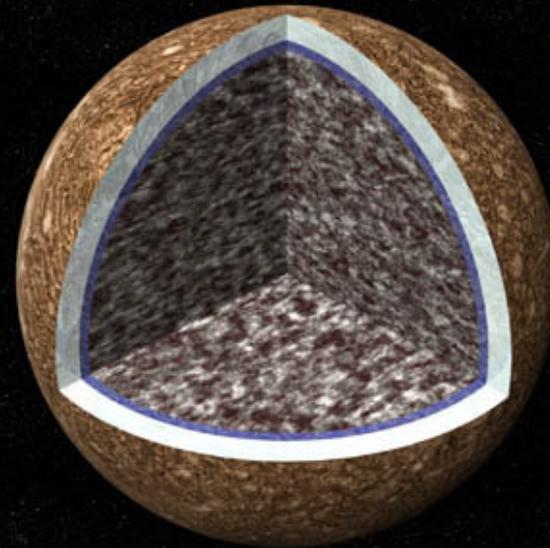


JÚPITER: satélites galileanos - CALISTO



- Raio = 2450 km (muito maior que a Lua, comparável a Mercúrio (2440 km))
- Raio orbital \gg 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



NASA

Amalthea

P.J. Stooke
1993



Leading Side
(longitude 90)



Trailing Side
(longitude
270)

Morphographic Conformal Projection

SATURNO

60 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

Saturn's Moons - *Select one of Saturn's moons*



Saturno e seus 34 satélites que têm nomes oficiais (NASA)

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. 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 – satélites principais

Meet the Satellites: Saturn

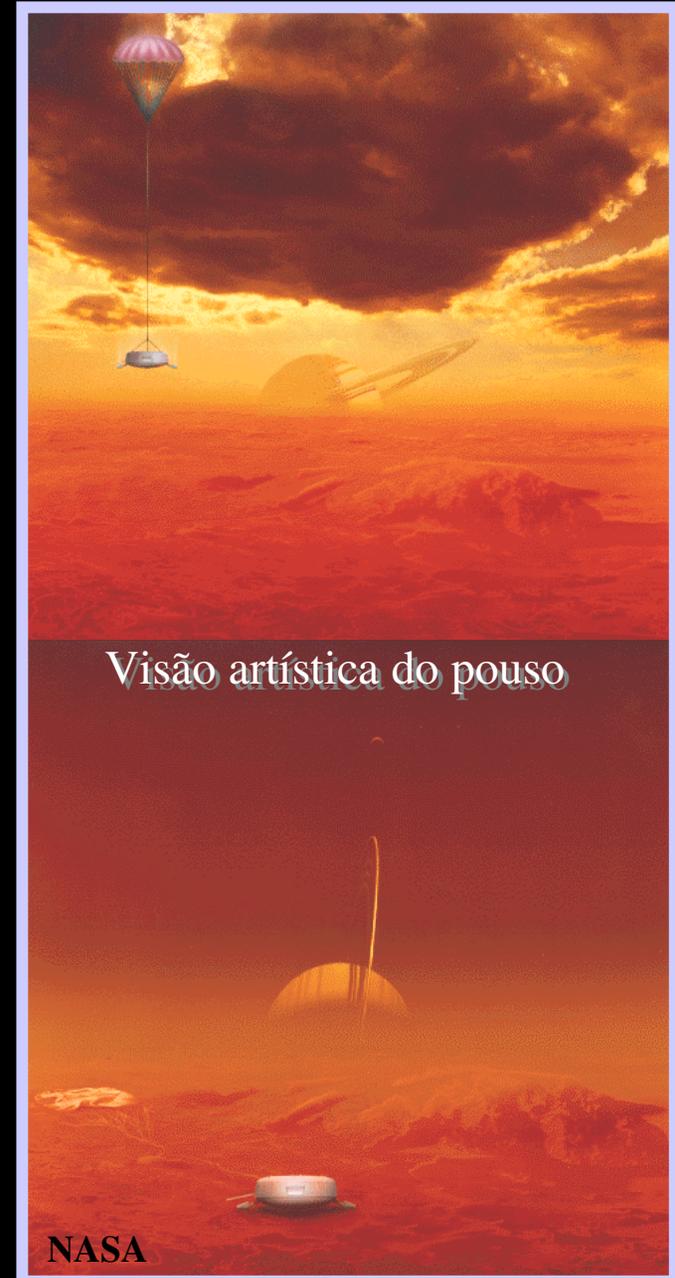
<i>Satellite</i>	<i>Radius (km)</i>	<i>Comments</i>
Saturn		
Atlas	20 × 10	Near A ring
Prometheus	70 × 50 × 50	Inner F ring shepherd satellite
Pandora	55 × 45 × 35	Outer F ring shepherd satellite
Epimetheus	70 × 60 × 50	Twin of Janus
Janus	110 × 100 × 80	Co-orbits with Epimetheus
Mimas	196	Large crater Herschel
Enceladus	250	Very reflective, extensively resurfaced
Tethys	530	Large, long Ithaca Chasma
Calypso	17 × 11 × 11	Co-orbits with Telesto and Tethys
Telesto	17 × 14 × 13	Co-orbits with Calypso and Tethys
Dione	560	Wispy pattern on surface
Helene	18 × 16 × 15	Co-orbits with Dione
Rhea	765	Relatively large, somewhat complex surface
Titan	2575	Large moon with thick nitrogen atmosphere
Hyperion	205 × 130 × 110	Chaotic tumbler
Iapetus	730	Two faces, one icy and one dark
Phoebe	110	Retrograde orbit; captured asteroid?

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**



Visão artística do pouso

NASA

SATURNO – TITÃ

Huygens: pousou em 14/01/2005

Pouso da Huygens

Eco [intervalo e intensidade aumentam com aproximação]

Canais de erosão produzidos por metano líquido

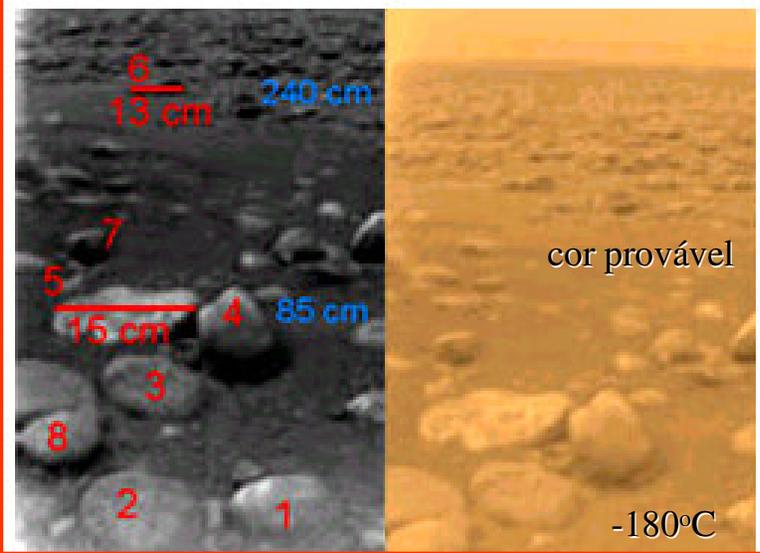
Lago: lama de hidrocarbonetos
Temperatura próxima a de congelamento?

Ilhas de água congelada.

^{40}Ar 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.

Pouso

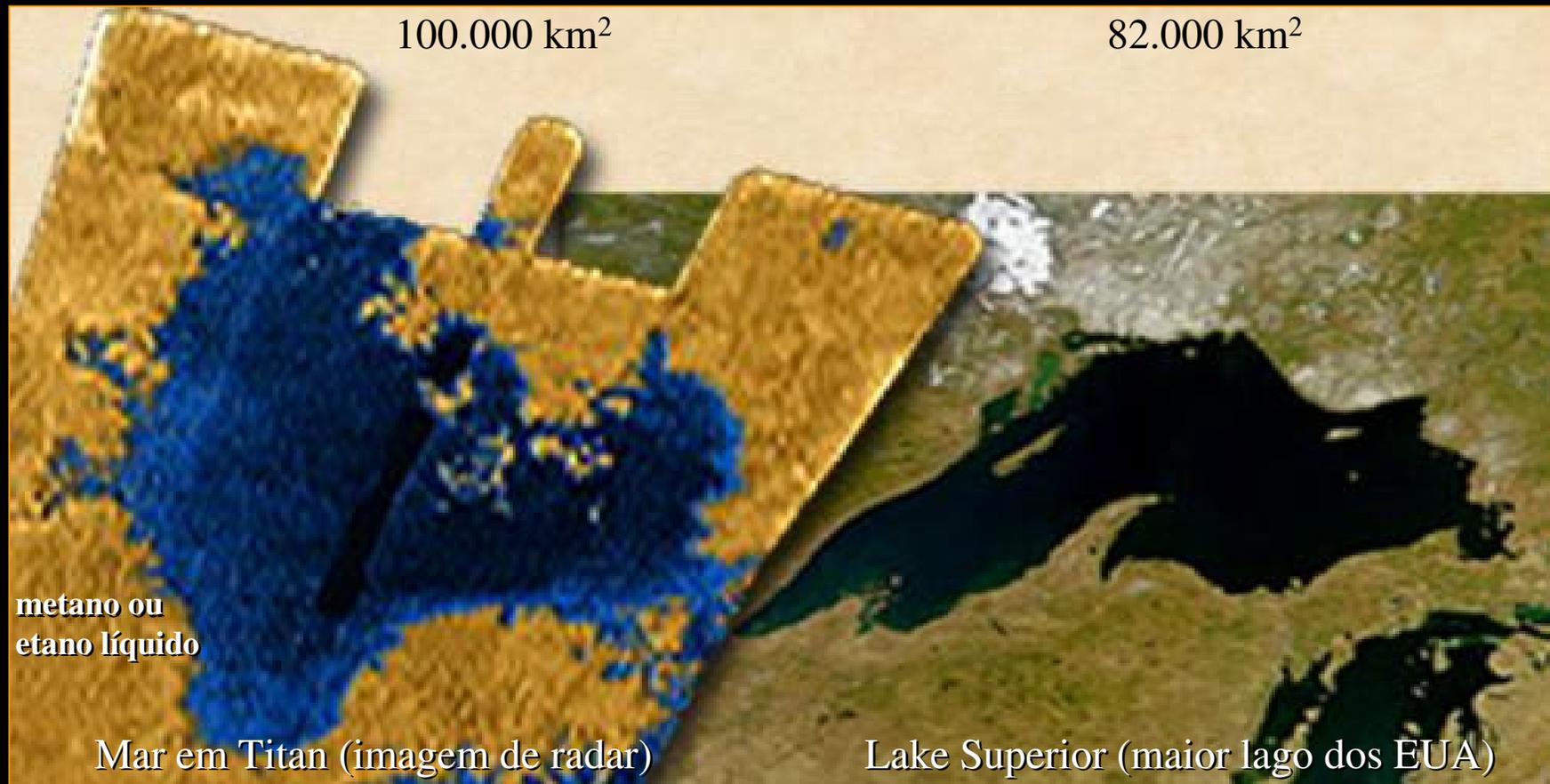


Solo úmido macio & blocos congelados



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

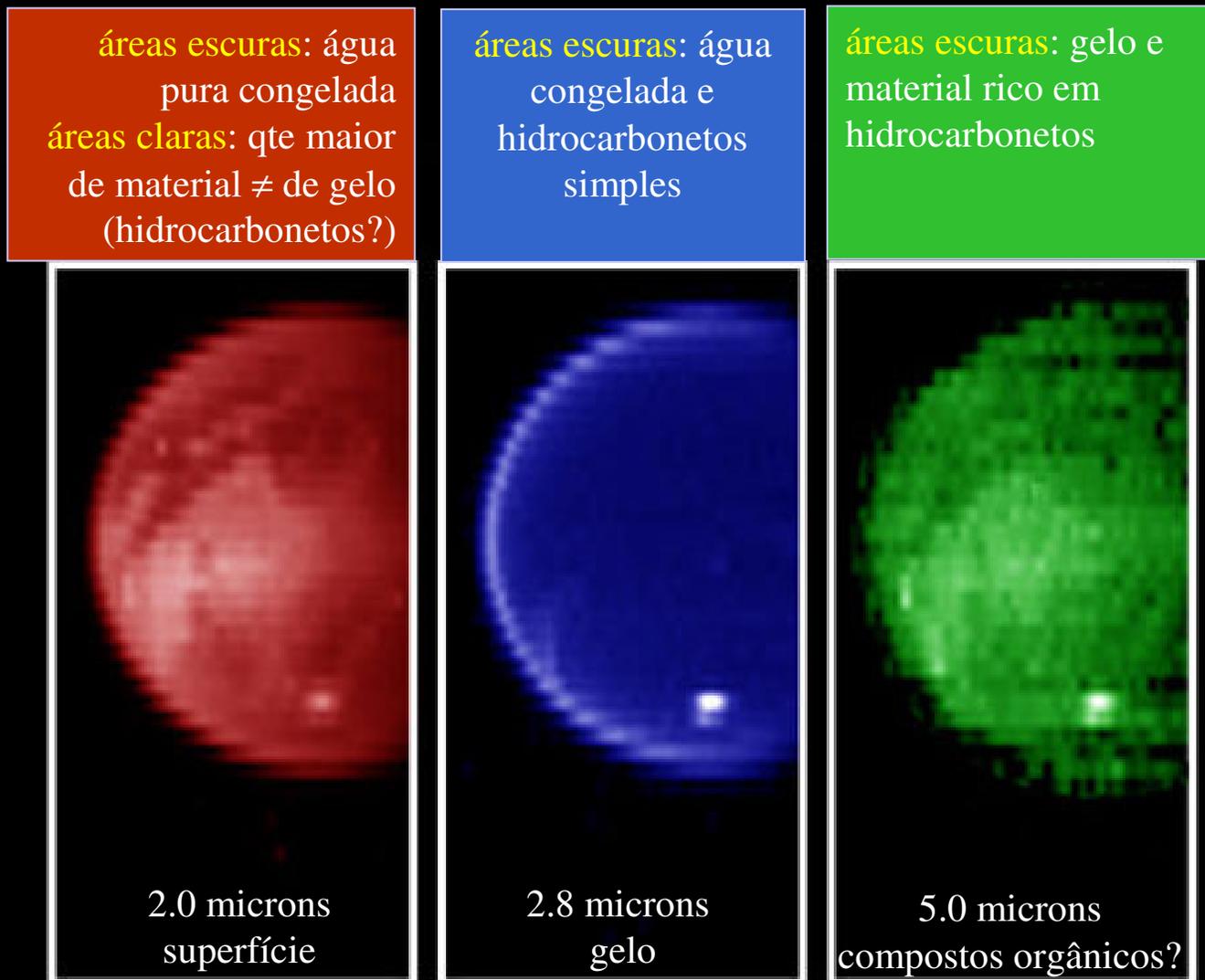


O Mar Negro cobre uma extensão equivalente a 0,085 % da superfície terrestre. Essa estrutura em Titan ocupa cerca de 0,12 % de sua superfície, daí a designação “Mar”.

SATURNO – TITÃ

02 / 07 / 2004 - Cassini

Imagens filtradas revelam composição química básica

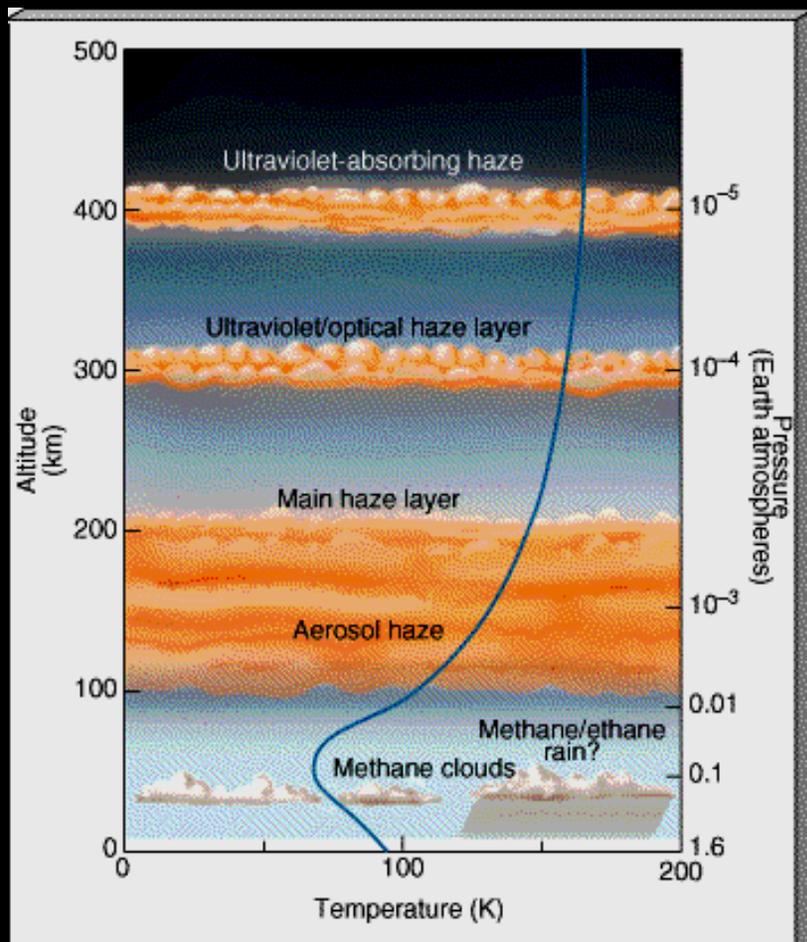


Nuvem brilhante de metano é vista nas 3 bandas

SATURNO – TITÃ

Composição química predominante, em percentual: N (~90), Ar (~10) e traços de CH₄.

Estrutura atmosférica



Astronomy Today, Chaisson & McMillan

Mais densa e espessa que a terrestre, a atmosfera deste satélite de Saturno é única entre os satélites.

Uma química complexa que mantém níveis constantes de hidrogênio, etano, propano e monóxido de carbono.

Especula-se a existência de oceanos de hidrocarbonetos, especialmente etano, e vales congelados contendo produtos petroquímicos.

SATURNO – TITÃ

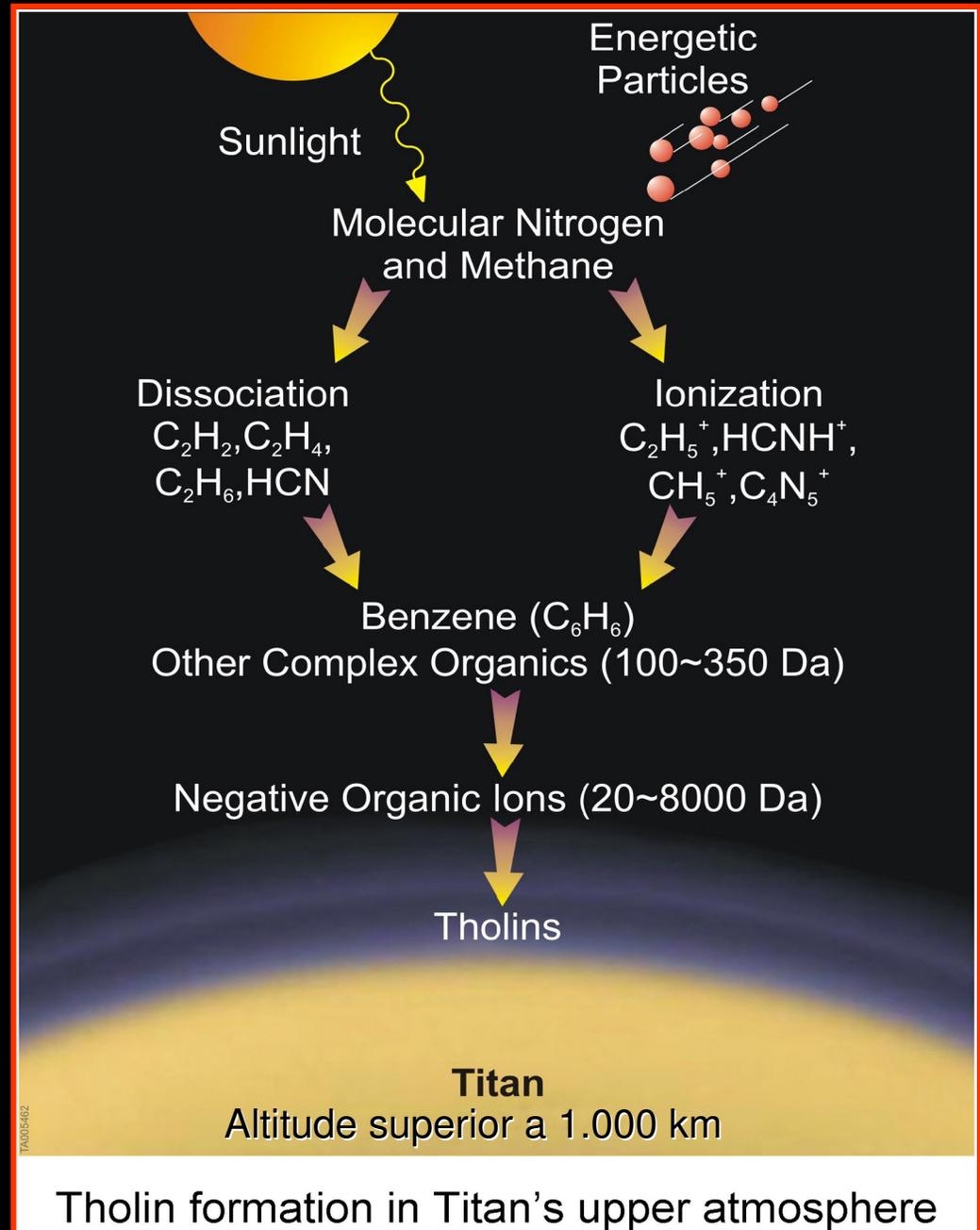
Tholin

(do grego, “barrento”)

Substância orgânica – aminoácidos – formada no experimento de Urey-Miller (mistura de metano, amônia, hidrogênio e vapor d’água sujeita à descarga elétrica)

Heteropolímero (gde complexo de moléculas orgânicas) formado pela exposição de metano e/ou etano à luz ultravioleta.

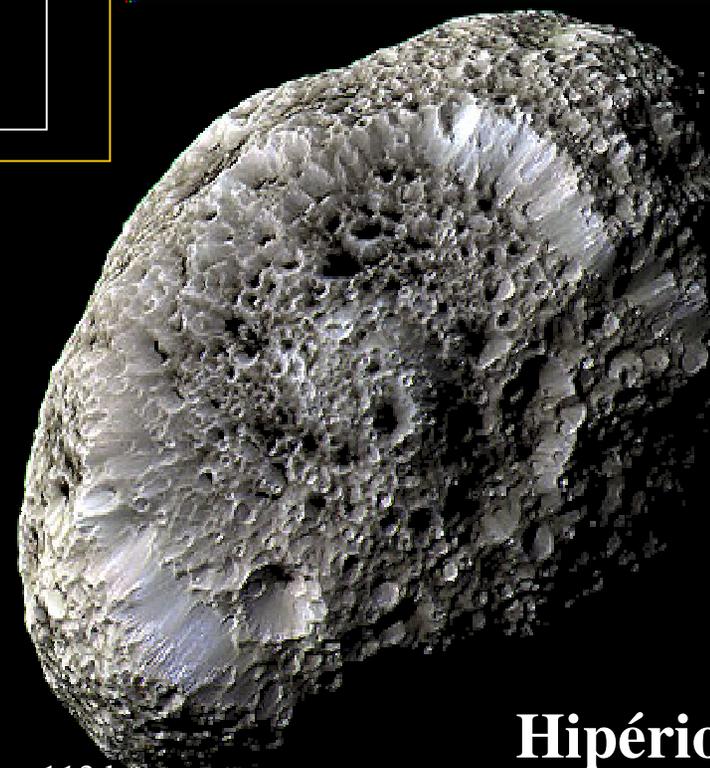
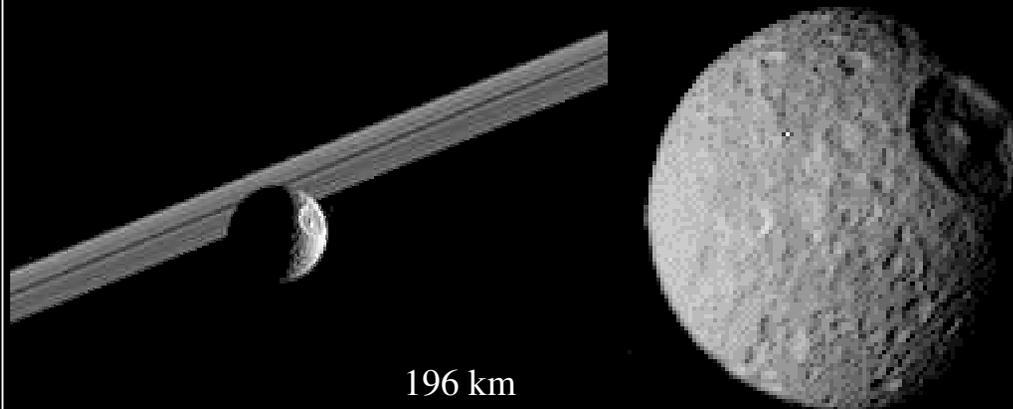
Tholins podem ser os precursores da vida.



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.



SATURNO

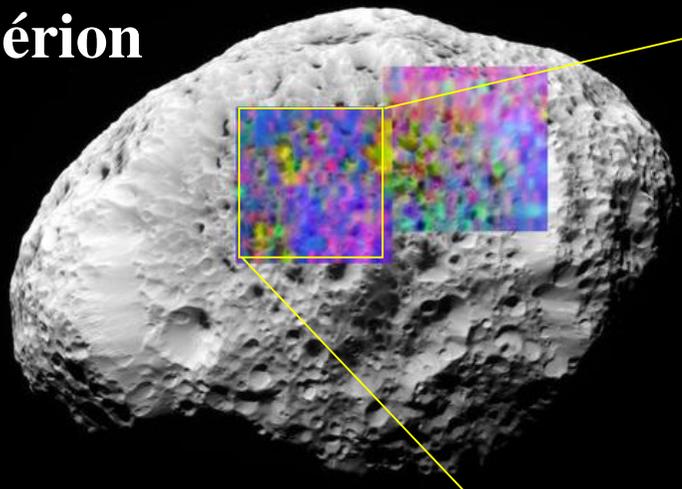
Janus 97 x 95 x 77 km

185 x 140 x 113 km

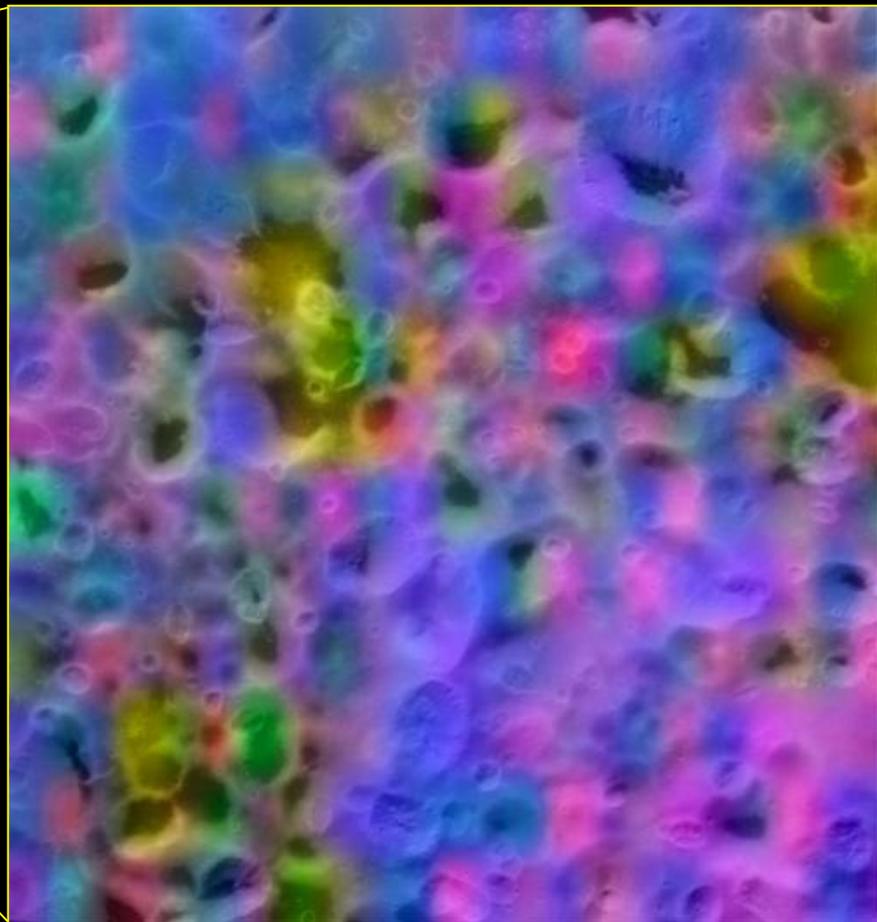
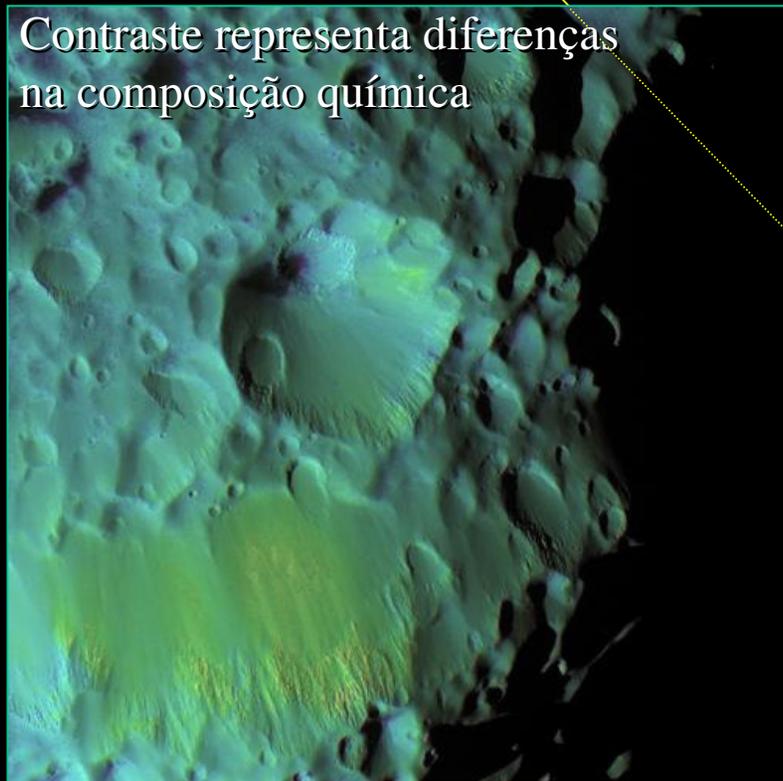
Hiperion

SATURNO – outros satélites

Hipérion



Contraste representa diferenças
na composição química



July 4, 2007

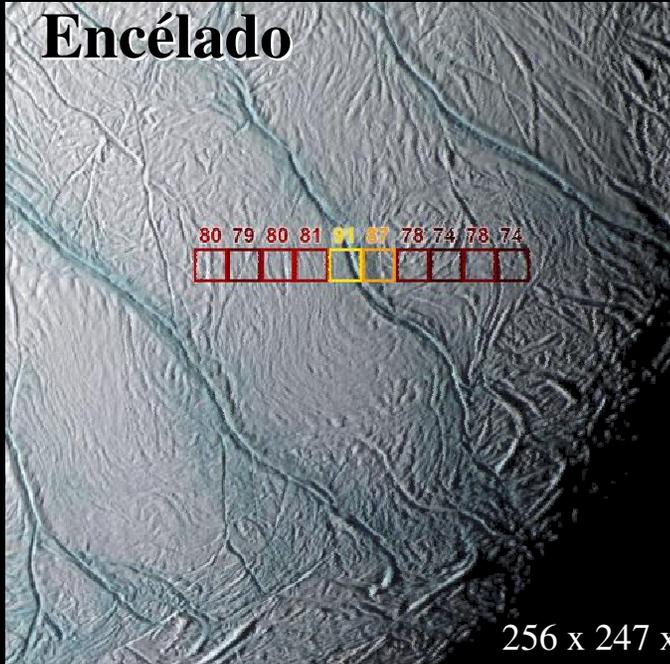
Full-Res: PIA09215

Terreno com cerca de 75 km.

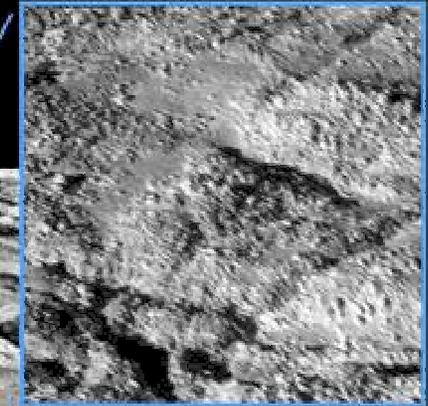
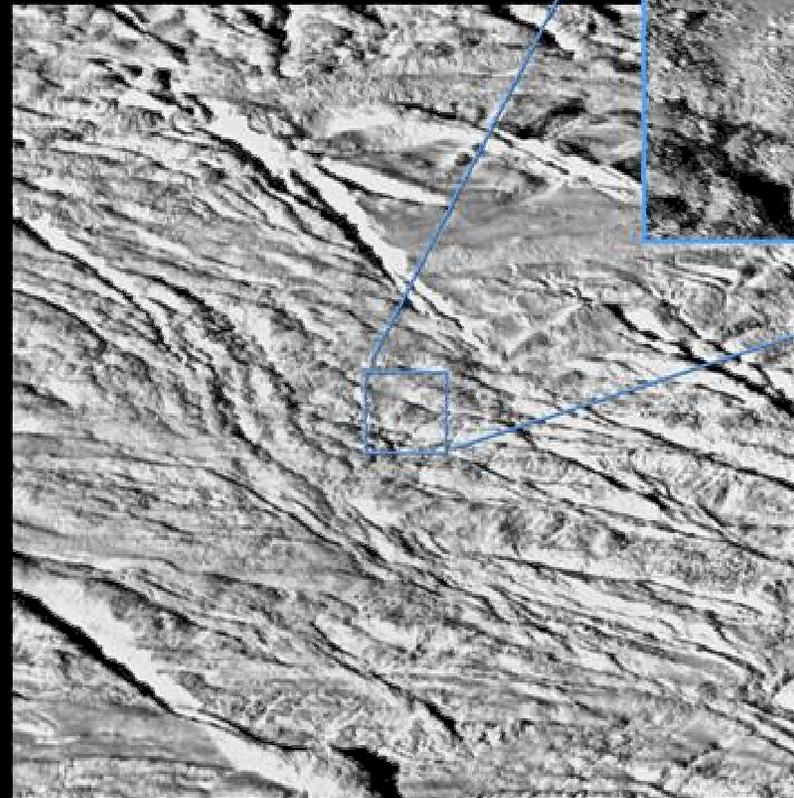
Azul = água congelada;
Vermelho = dióxido de carbono congelado.
Amarelo = mistura de CO₂ e material ainda
não identificado.

SATURNO – outros satélites

Encélado

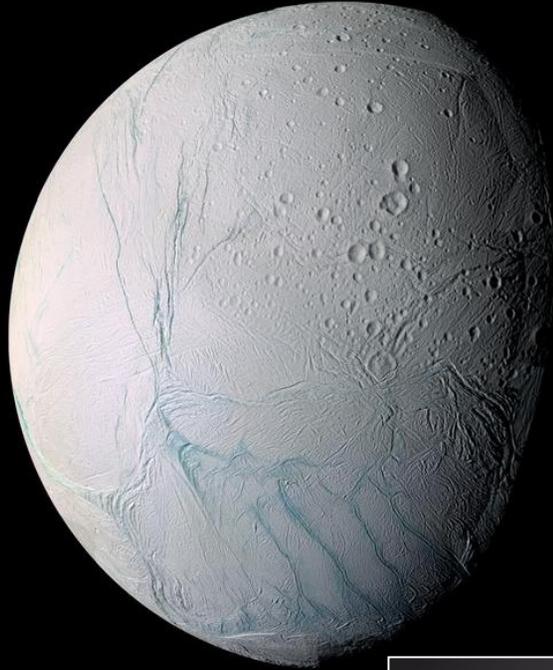


Fraturas são azuladas em decorrência da aspereza do gelo (como nas geleiras e os icebergs na Terra).



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

SATURNO – outros satélites

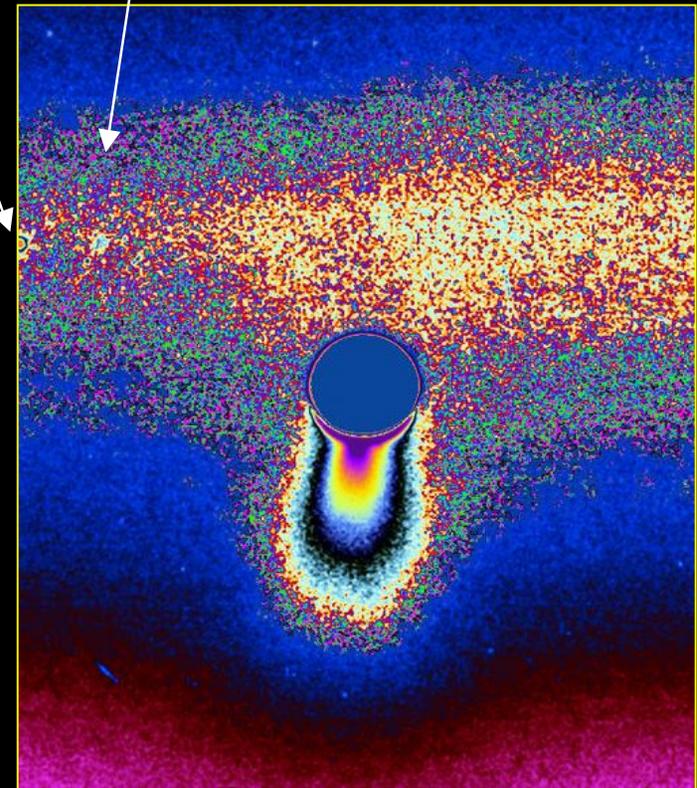


Jatos de gelo lançam poeira a centenas de km acima da superfície no pólo sul. Parte dessa poeira escapa e forma o anél difuso E, por onde ele circula.

Estrela de fundo



Anél E

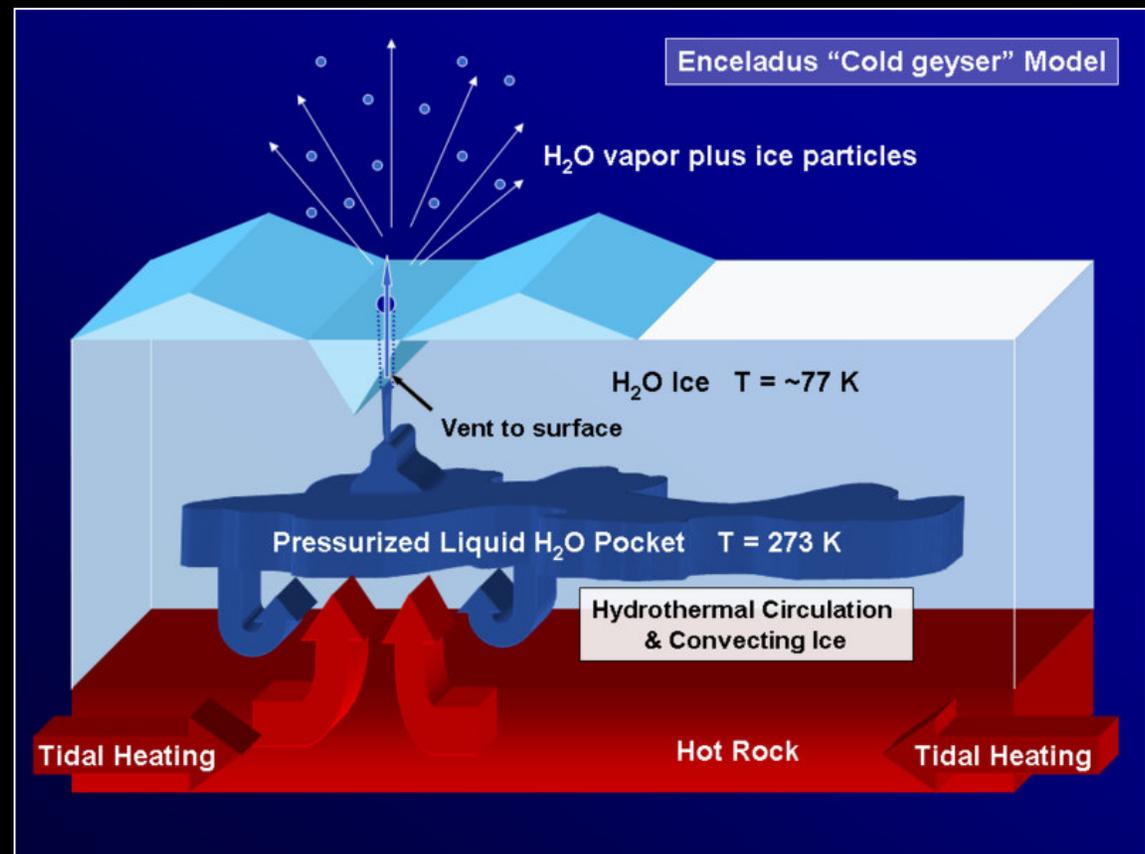
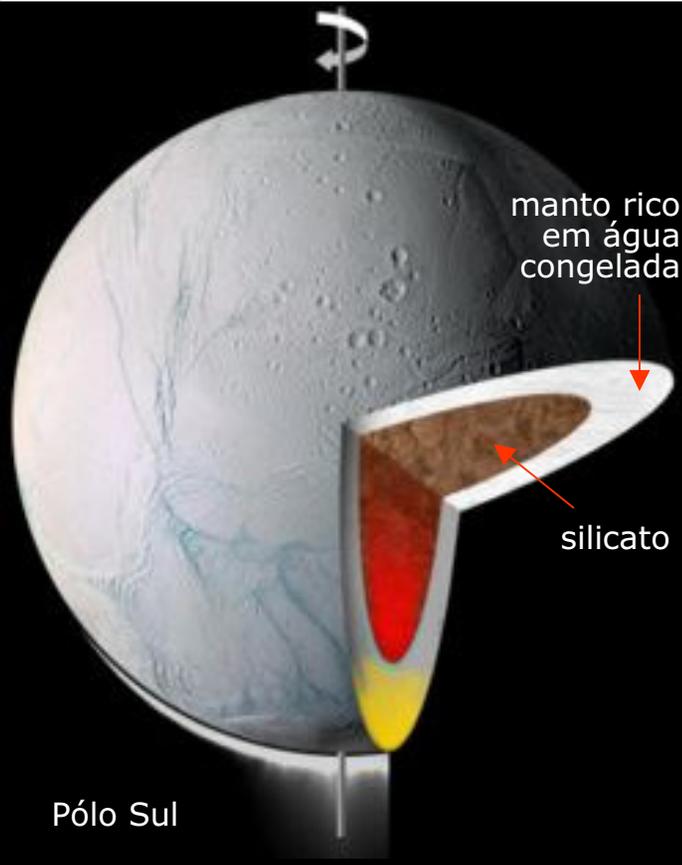


Cassini - 24/3/2006

SATURNO – outros satélites - criovulcanismo em Encélado

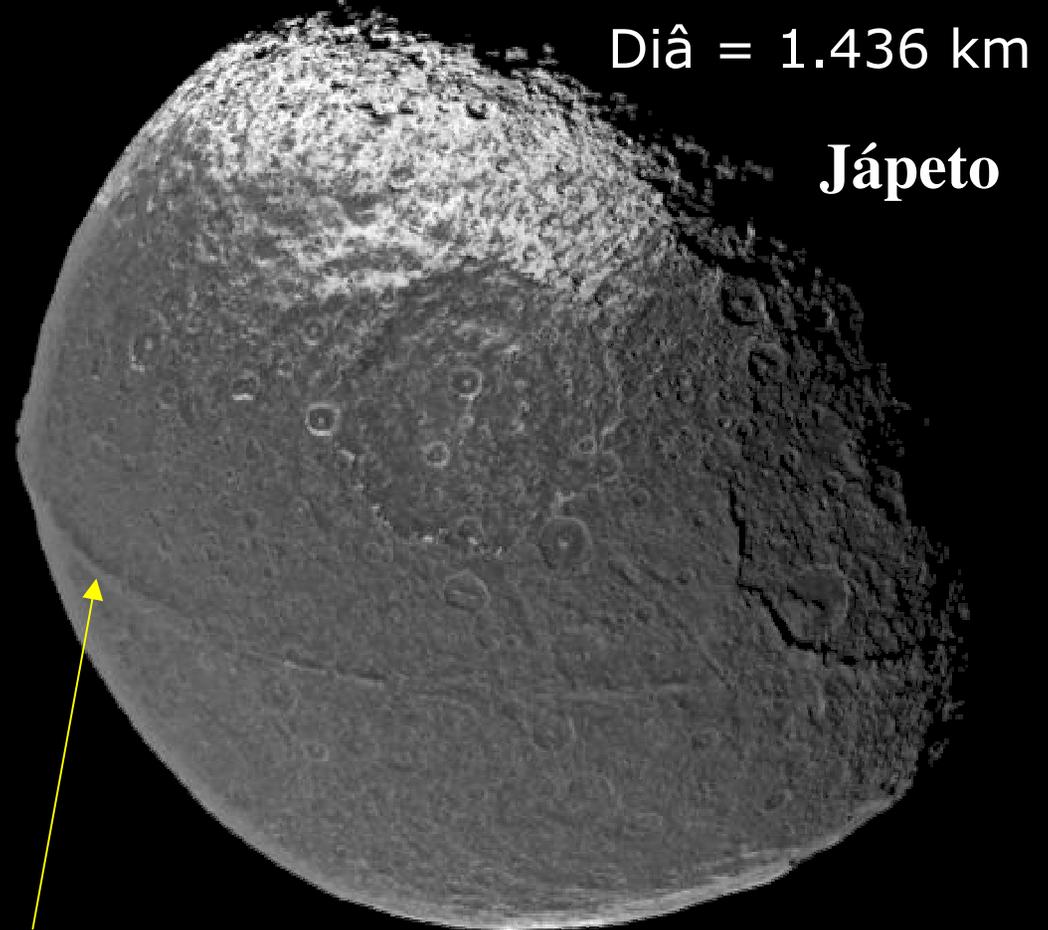
Plumas emanam de câmaras aquecidas e pressurizadas, similares aos geysers na Terra. Como não se encontrou amônia, que agiria como anti-congelador, tais câmaras são compostas de água, provavelmente quase pura e aquecida a pelo menos 270 K.

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

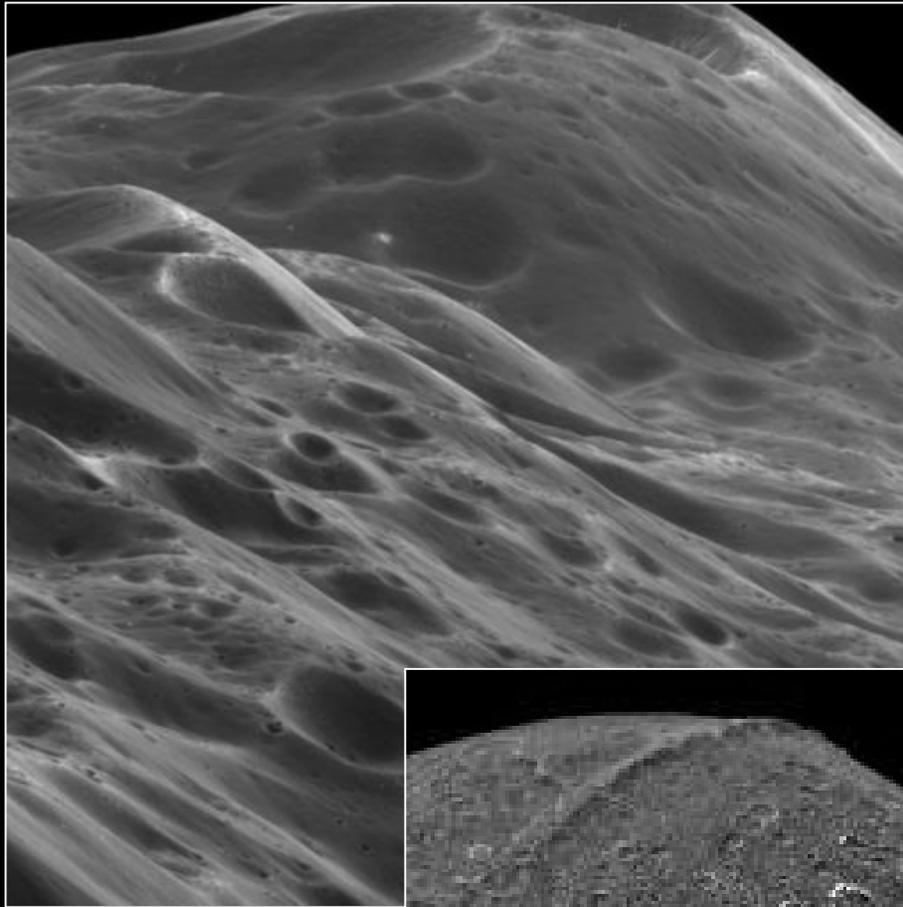
- Cena dominada por região escura, fortemente marcada por crateras (Cassini Regio), que cobre praticamente um hemisfério.
- Movimento sincronizado com Saturno.
- Albedo: $\sim 4\%$ nas partes escuras e $\sim 60\%$ nas claras



- 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

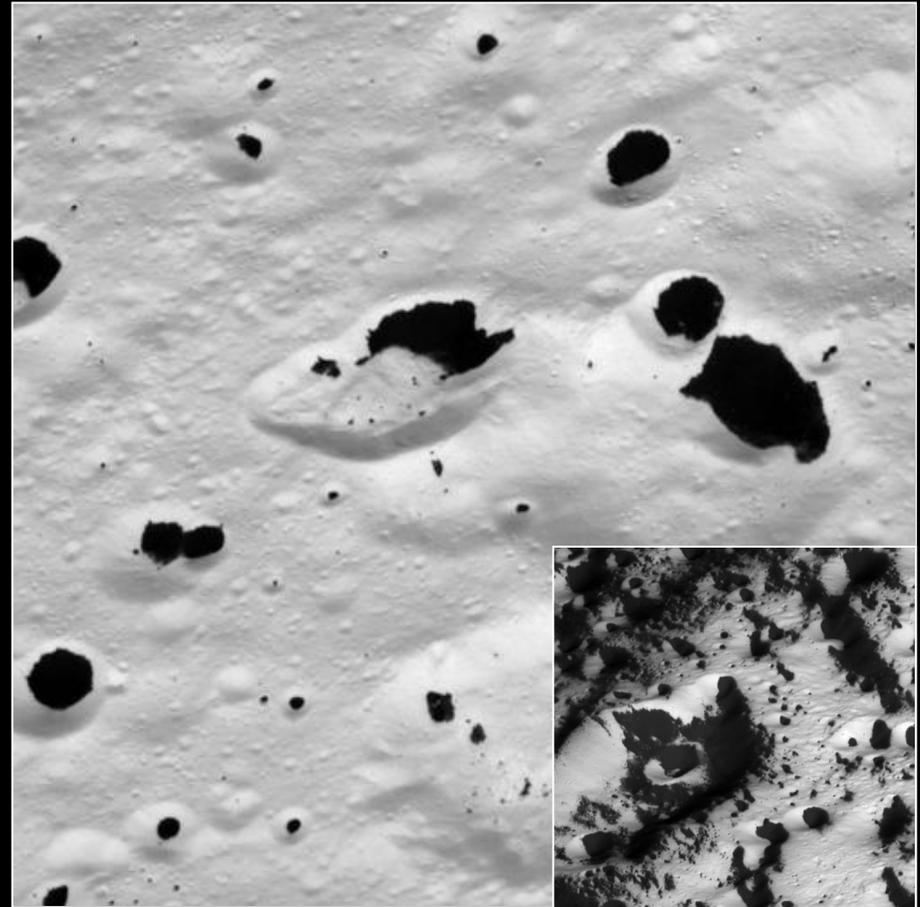


Himalaias de Iapetus

[Full-Res: PIA08372](#)

Set 12, 2007

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



Manchas na superfície congelada

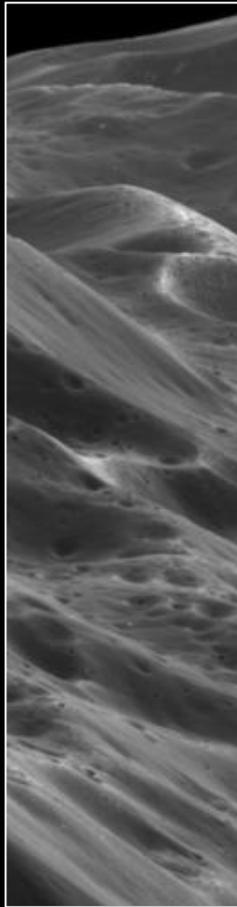
[Full-Res: PIA08374](#)

Set 12, 2007

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

SATURNO – outros satélites

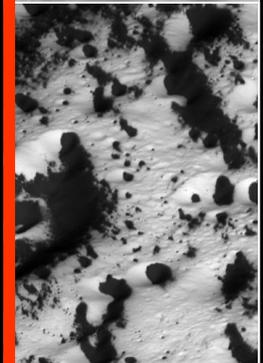
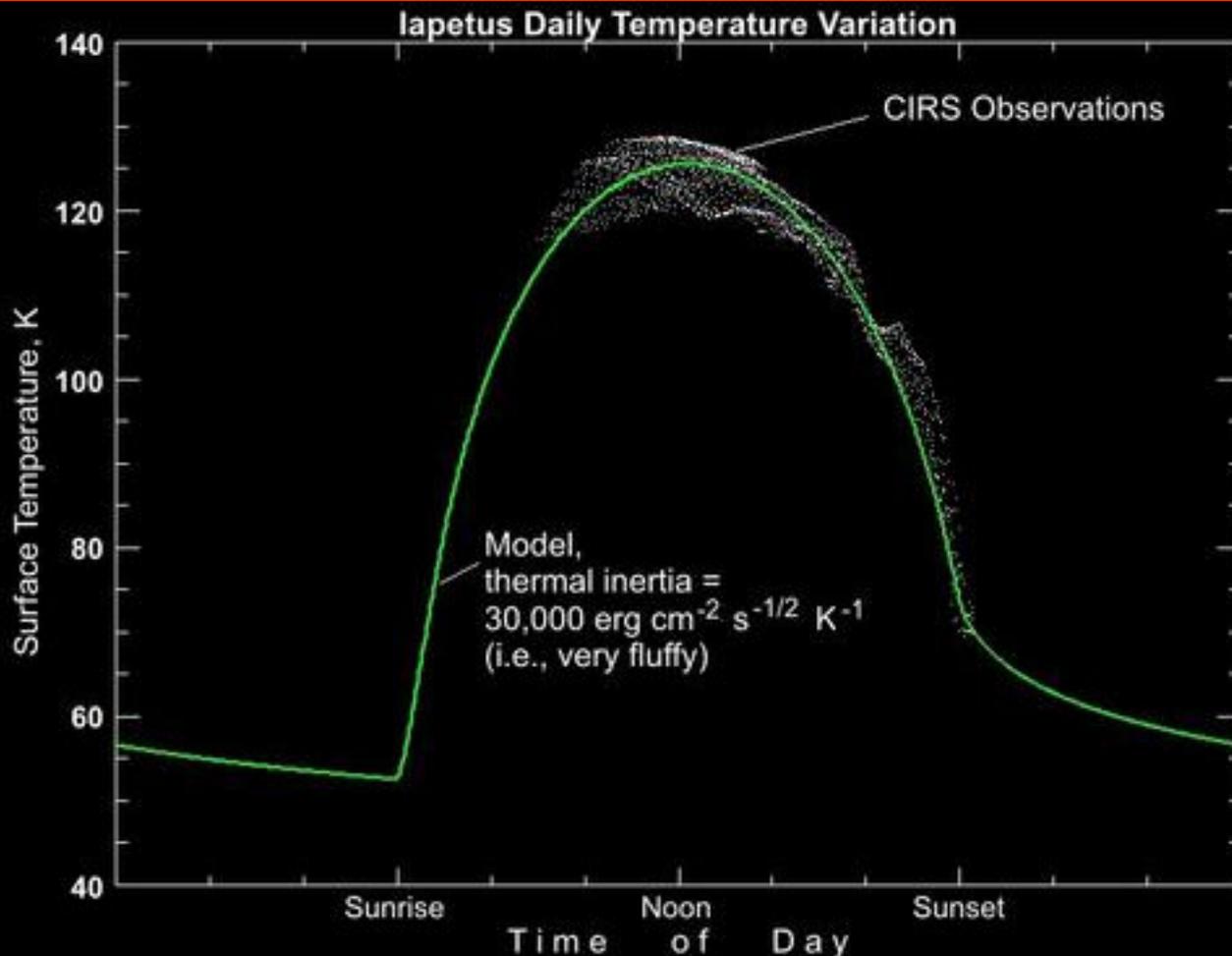
Jápeto



Himalaias

Set 12, 2007

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



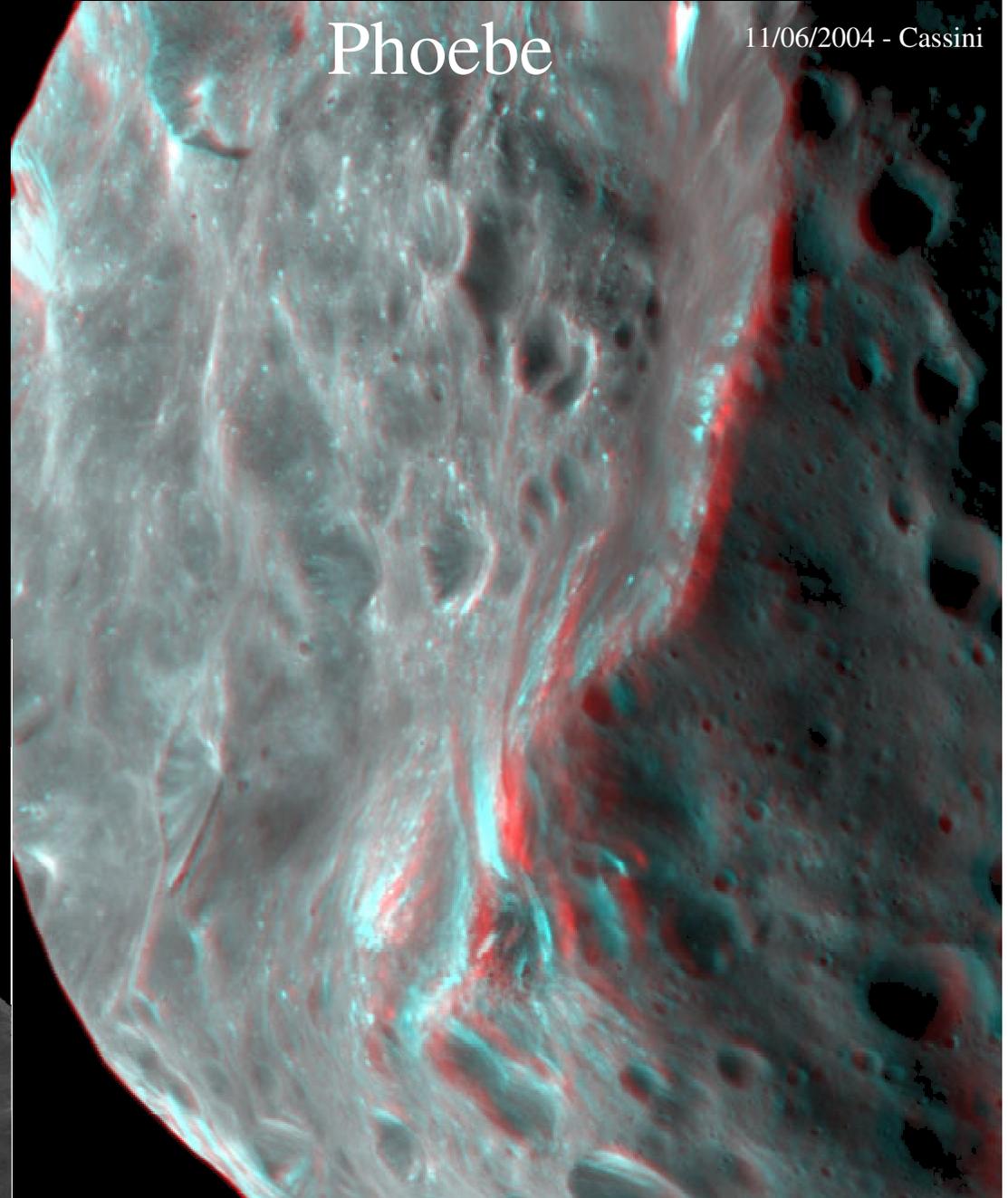
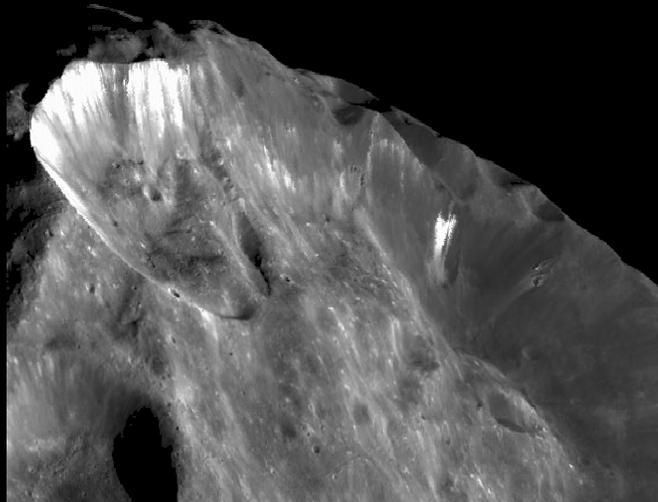
Res: PIA08374

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



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

NAME	DISTANCE FROM URANUS		ORBIT PERIOD (days)	SIZE (longest diameter, km)	MASS** (Earth/Moon masses)	DENSITY	
	(km)	(planet radii)				(kg/m ³)	(g/cm ³)
Cordelia	49,800	1.95	0.34	26			
Ophelia	53,800	2.10	0.38	32			
Bianca	59,200	2.31	0.43	44			
Cressida	61,800	2.42	0.46	66			
Desdemona	62,700	2.45	0.47	58			
Juliet	64,400	2.52	0.49	84			
Portia	66,100	2.59	0.51	110			
Rosalind	69,900	2.74	0.56	58			
Belinda	75,300	2.94	0.62	68			
Puck	86,000	3.36	0.76	150			
Miranda	130,000	5.08	1.41	480	0.00090	1100	1.1
Ariel	191,000	7.48	2.52	1160	0.018	1600	1.6
Umbriel	266,000	10.4	4.14	1170	0.016	1400	1.4
Titania	436,000	17.1	8.71	1580	0.048	1700	1.7
Oberon	583,000	22.8	13.5	1520	0.041	1600	1.6
Caliban† (S/1997U1)	5,700,000	223	400	80			
Sycorax† (S/1997U2)	5,750,000	225	-415‡	160			

*Does not include the four recently discovered small moons described in the text.
 **Mass of Earth's Moon = 7.4×10^{22} kg = 8.5×10^{-4} Uranus masses.
 †Orbital parameters not well determined.
 ‡Indicates a retrograde orbit.

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::

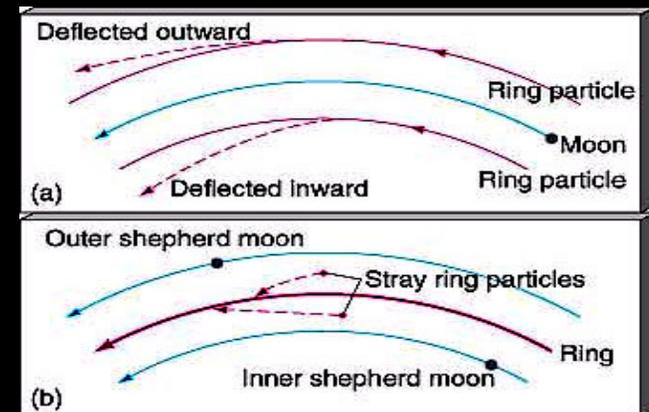
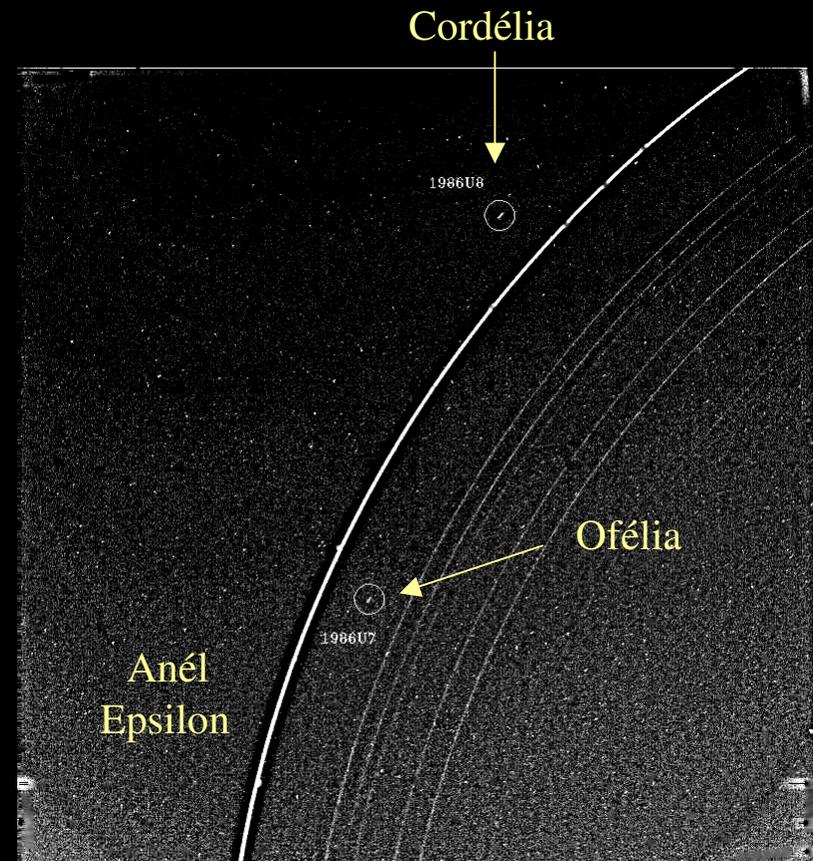
- 11 pequenos, muito escuros, mais internos, descobertos pela Voyager 2,
- 5 grandes
- a maioria tem órbitas circulares no plano equatorial de Urano (portanto bem inclinados relação ao plano da eclíptica);
- os 4 mais externos têm órbitas mais elípticas.

Satélites de Urano

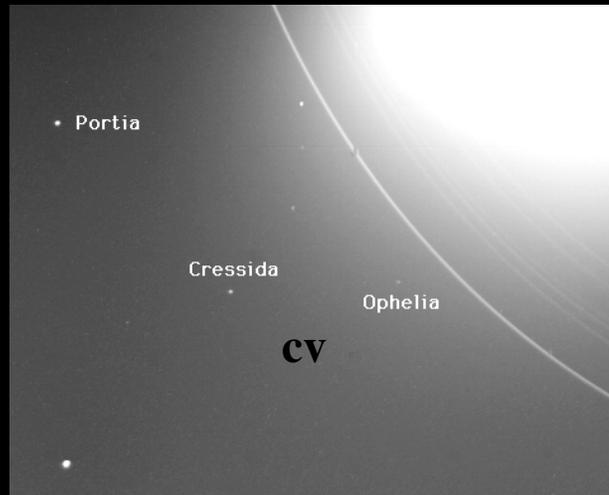
- Cordélia
 - o mais interno,
 - diâmetro: 26 km
- Ofélia
 - 2o. Mais próximo.
 - Diâmetro: 32 km

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

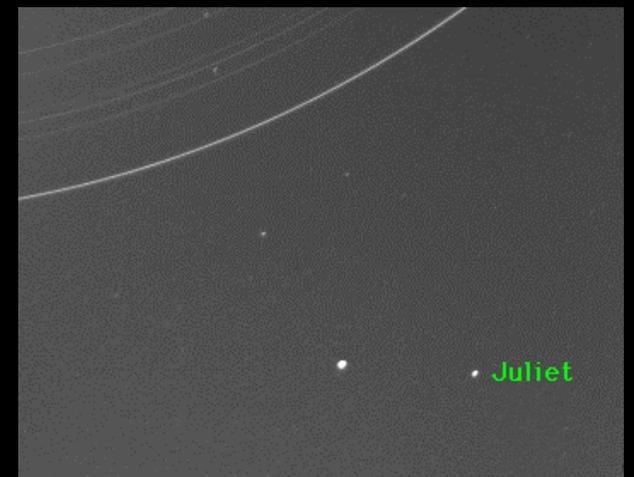
Desdemona
5o. satélite
diâmetro: 58 km



Bianca
3o. satélite,
diâmetro: 44 km

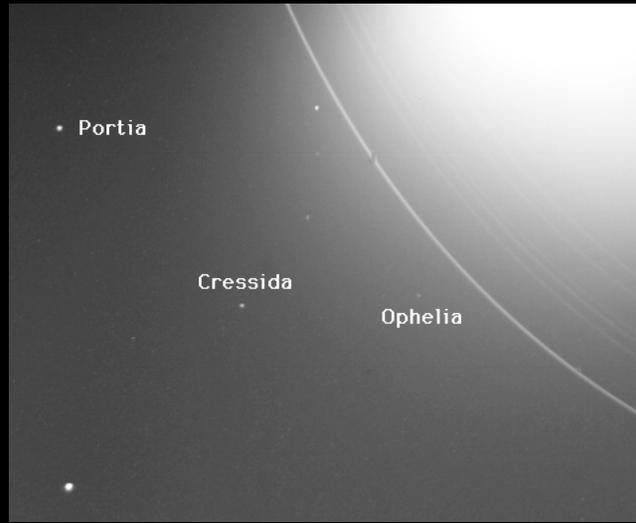


Julieta
6o. satélite
diâmetro: 84 km

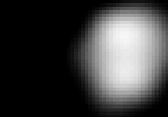


URANO – satélites

Portia
7o. satélite
diâmetro: 110 km



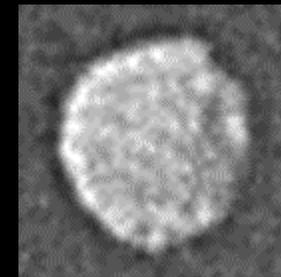
Belinda
9o. satélite
diâmetro: 68 km



Rosalinda
8o. satélite
diâmetro: 54 km



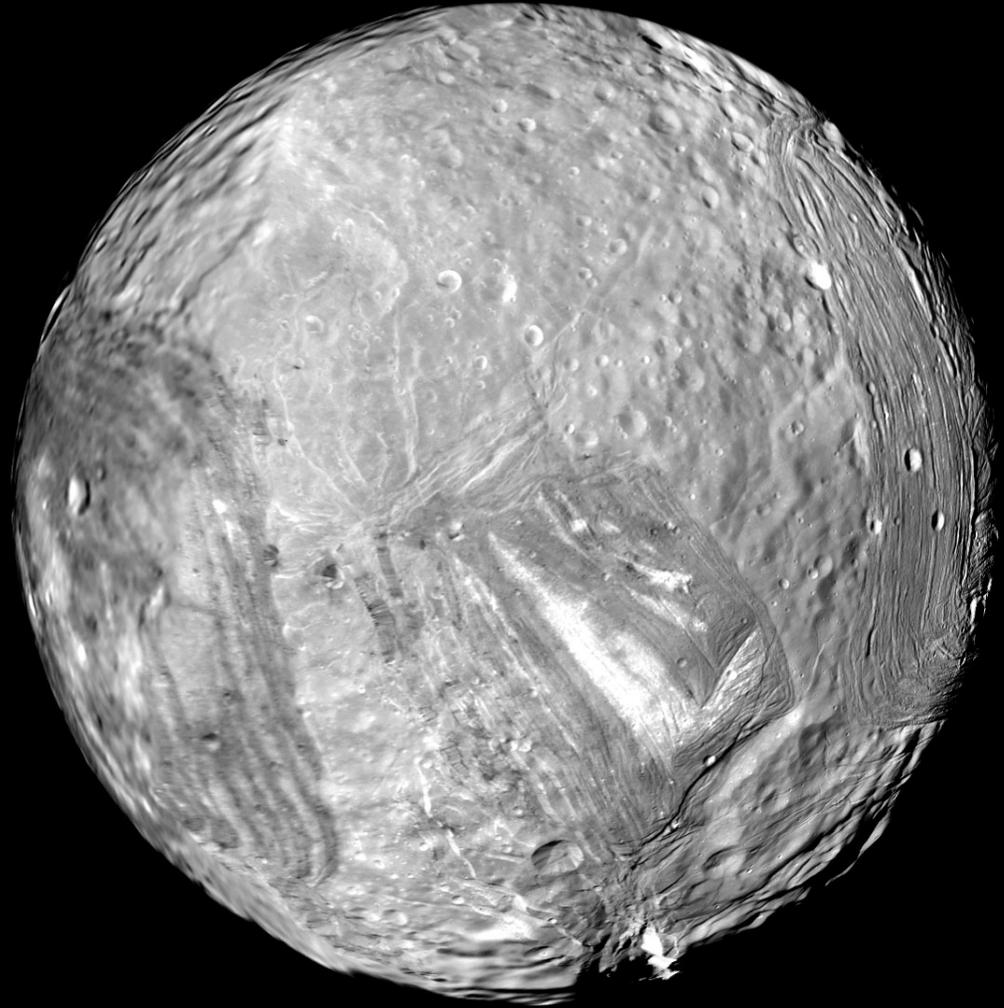
Puck
10o. satélite
diâmetro: 154 km



URANO – satélites

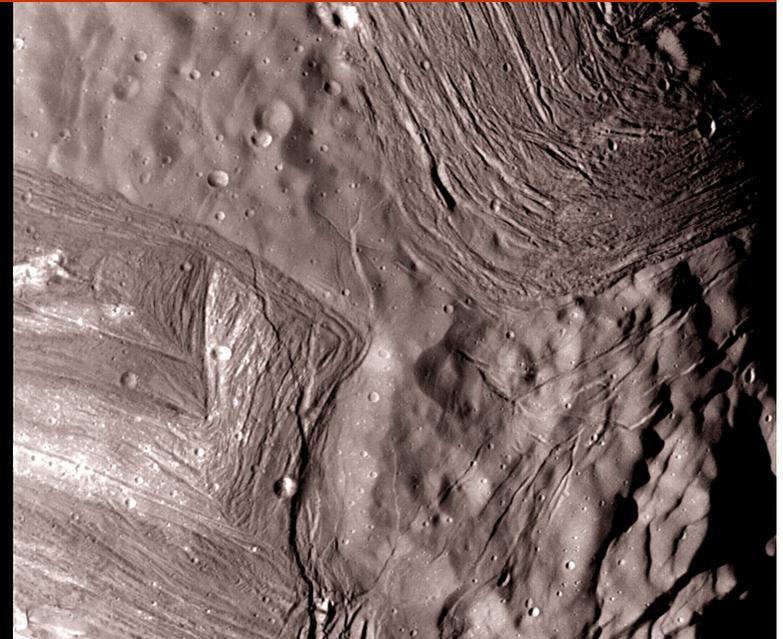
- **Miranda**

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



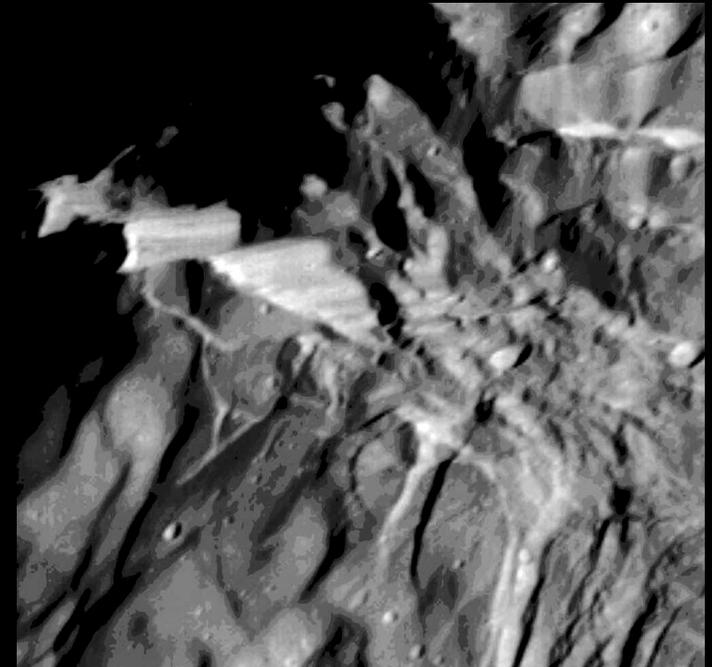
URANO – satélites

- 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.



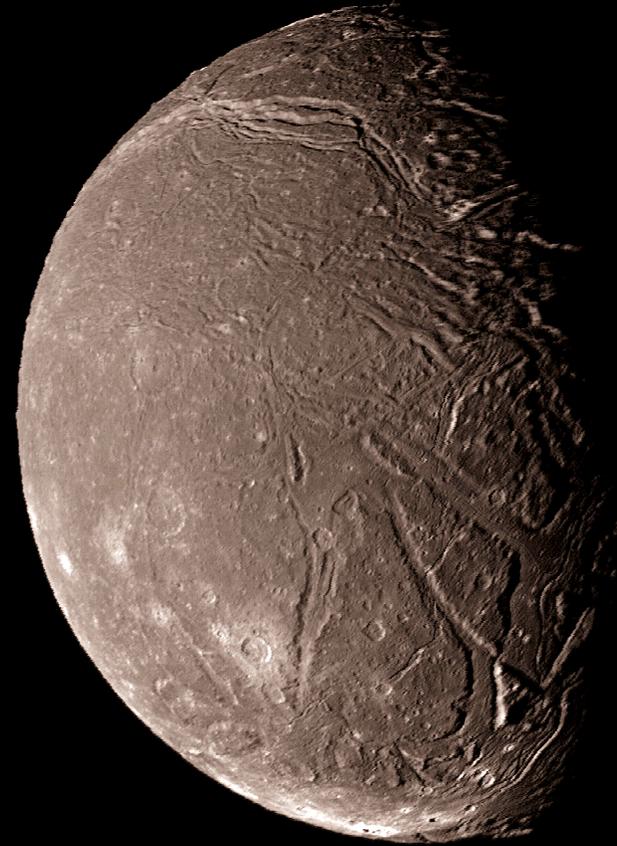
Miranda • 'Chevron' Grooves

© 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**

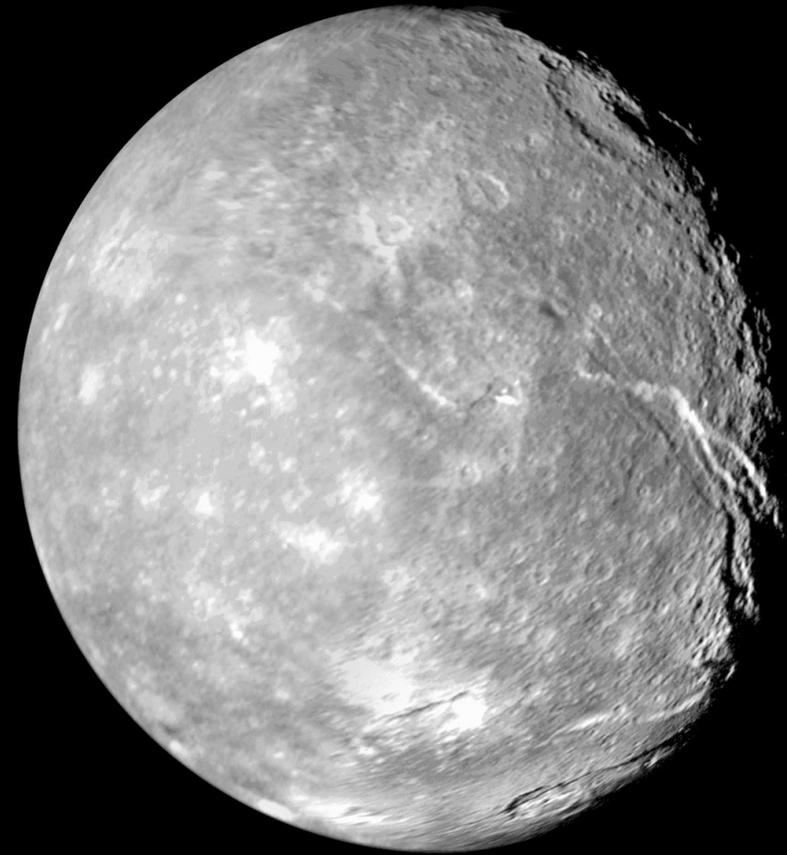
- Diâmetro: 1.170 km
- Umbriel e Oberão são parecidos, mas Oberão é 35% maior.
- Assim como os demais satélites de Urano, é composto de uma mistura de cerca de 40-50% de gelo de água e material rochoso.
- Sua superfície é fortemente marcada por crateras, e muito antiga (provavelmente a mesma desde sua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

13 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

NAME	DISTANCE FROM NEPTUNE		ORBIT PERIOD	SIZE	MASS*	DENSITY	
	(km)	(planet radii)	(days)	(largest diameter km)	(Earth/Moon masses)	(kg/m ³)	(g/cm ³)
Naiad	48,200	1.95	0.29	58			
Thalassa	50,100	2.02	0.31	80			
Despina	52,500	2.12	0.33	150			
Galatea	62,000	2.50	0.43	160			
Larissa	73,500	2.97	0.55	210			
Proteus	118,000	4.75	1.12	440			
Triton	355,000	14.3	-5.88 [†]	2710	0.292	2100	2.1
Nereid	5,510,000	223	360	340	0.0000034	1200	1.2

*Mass of Earth's Moon = 7.4×10^{22} kg = 7.3×10^{-4} Neptune masses.
[†]Indicates a retrograde orbit.

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

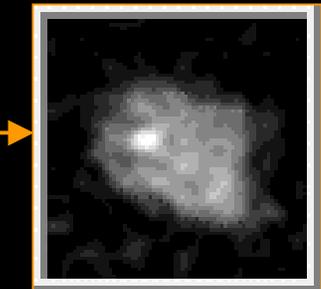
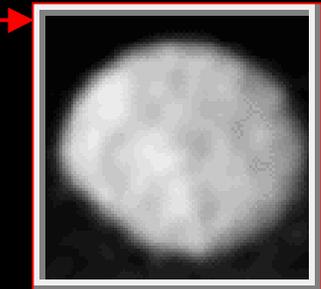
- **Galatea**: diâmetro: 158 km .

- **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

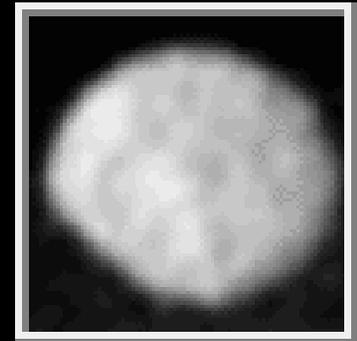
- **Galatea**

- 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.

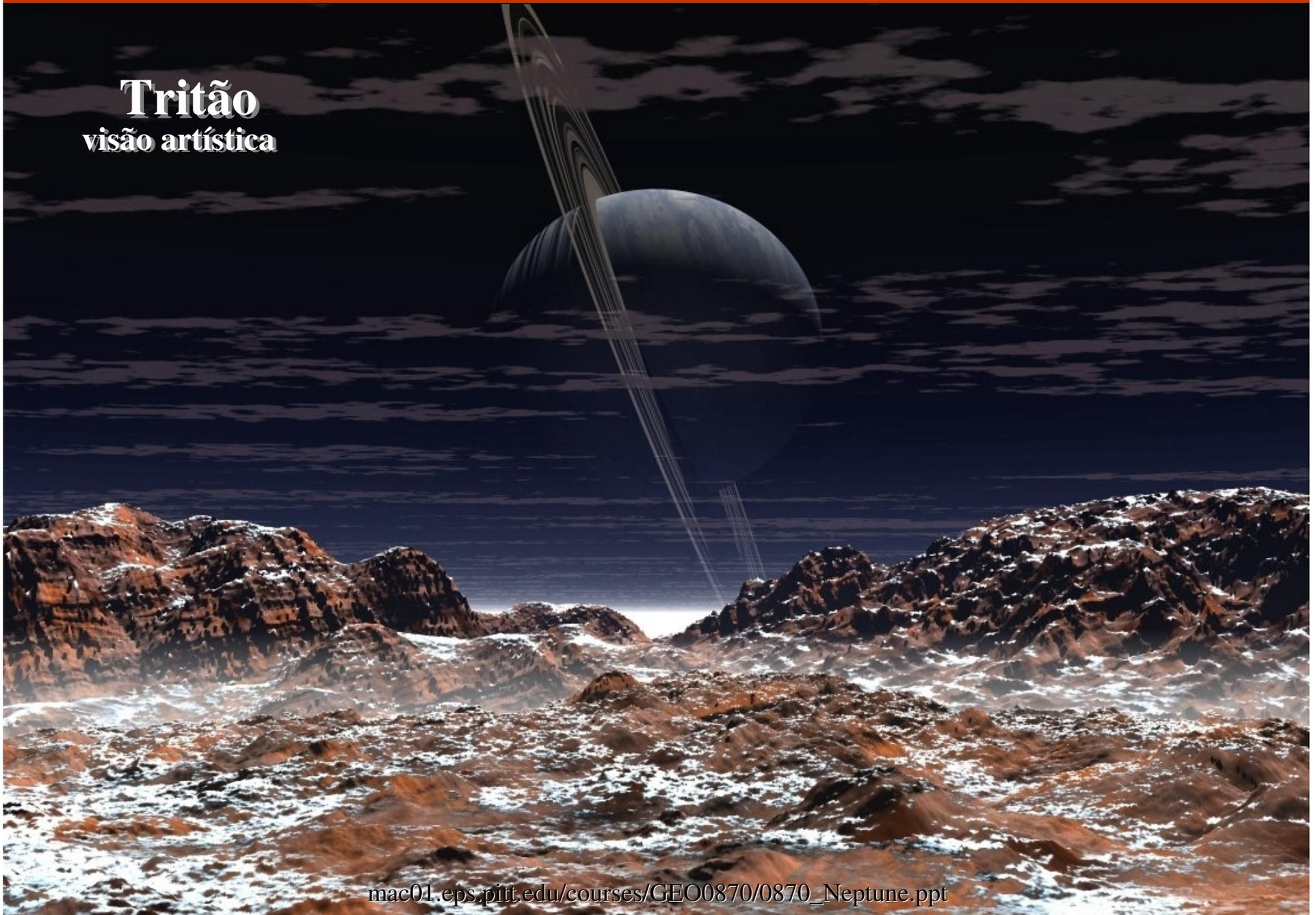


Proteus

© Calvin J. Hamilton

NETUNO – satélites

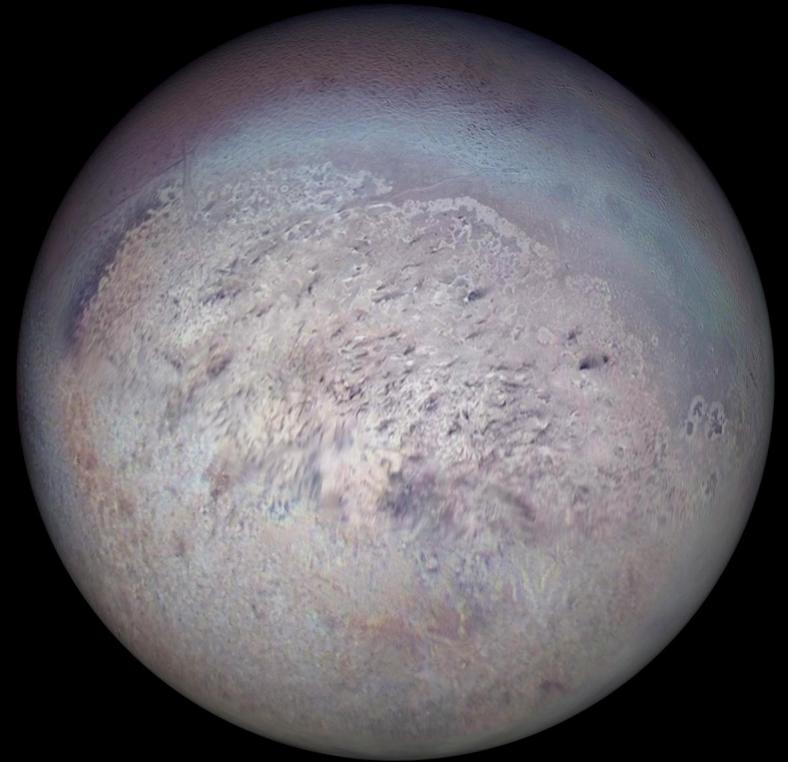
Tritão
visão artística



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.



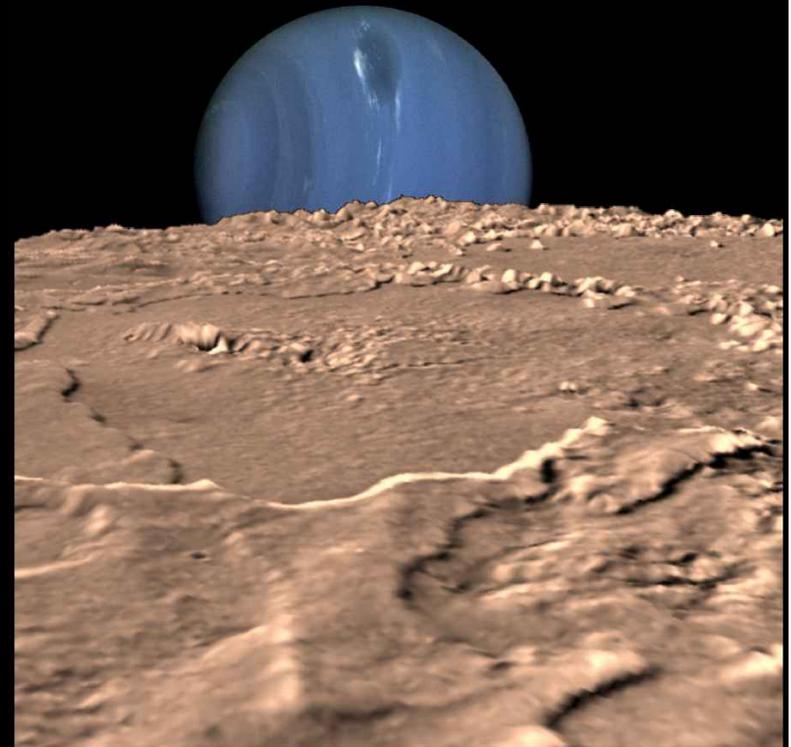
NETUNO – satélites

- 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.

- 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:

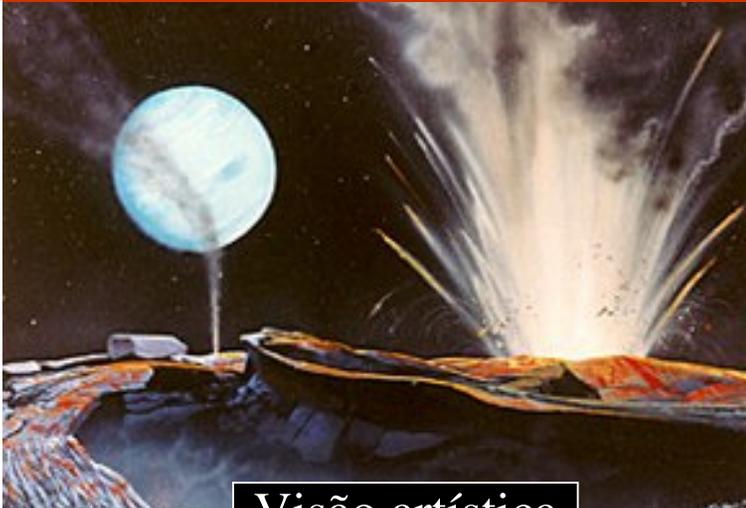
- pressão: 0,01 millibar
- praticamente nitrogênio com pequena quantidade de metano.
- fina camada de névoa estende-se por 5-10 km acima da superfície.
- temperatura da superfície: 34,5 K (-235 C); . nessa temperatura metano, nitrogênio e dióxido de carbono permanecem congelados.

Gêiser de Nitrogênio líquido

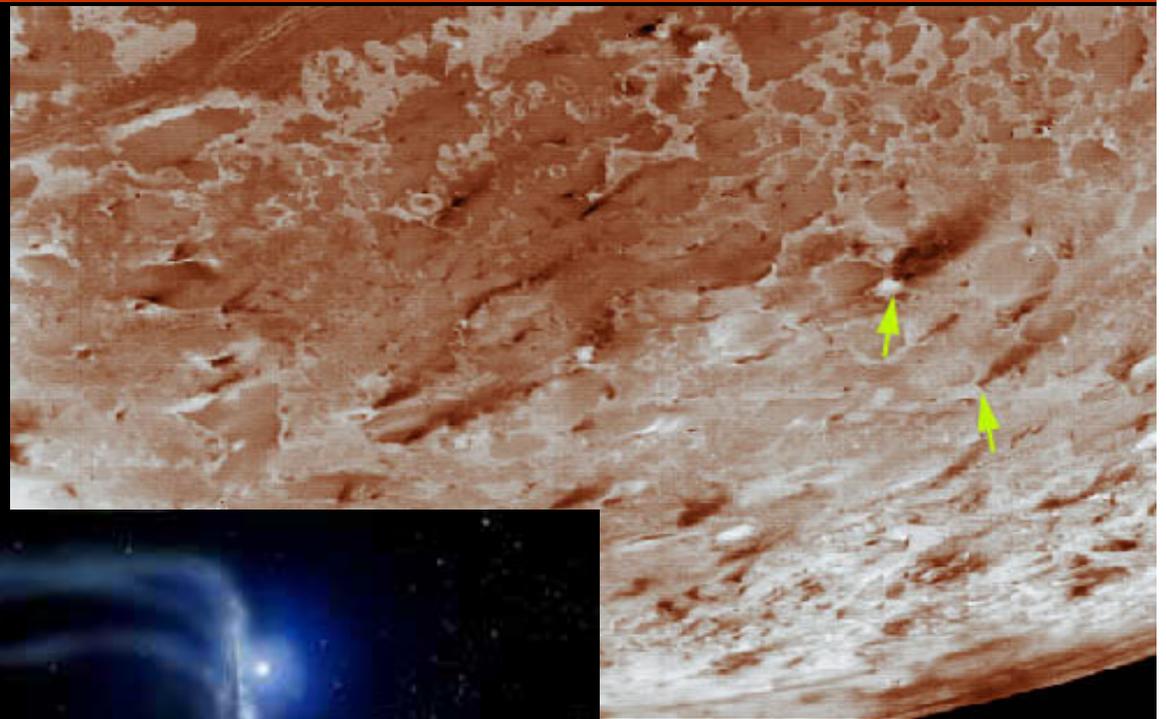
8 km de altura e 140 km de extensão,
na direção do vento



NETUNO – satélites



Visão artística



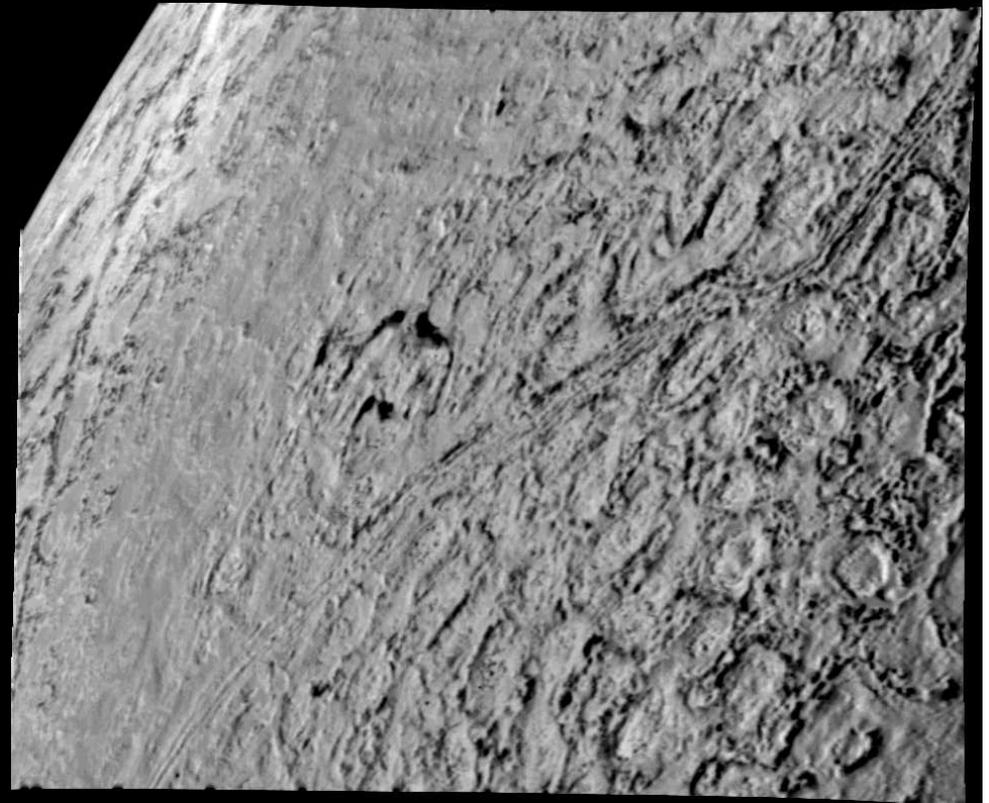
Tritão



NETUNO – satélites

Tritão (cont.)

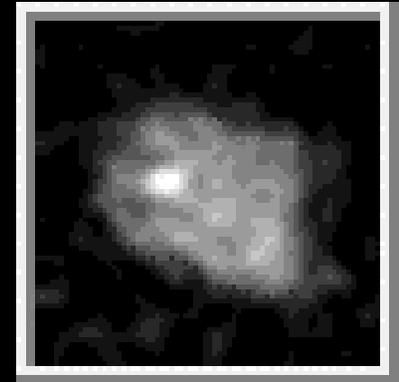
- há poucas **crateras**
- hemisfério sul é coberto por capa de gelo de nitrogênio e metano.
- toda a superfície de Tritão é marcada por um complexo padrão de estrias e vales extensos.
- **Atividade vulcânica**
 - o material ejetado deve ser nitrogênio líquido, poeira e/ou compostos de metano.



NETUNO – satélites

- Nereida

- Nereida é o satélite mais externo, e o 3o. maior;
- diâmetro: 340 km
- Sua órbita é altamente excêntrica, a mais excêntrica do Sistema Solar:
 - sua distância de Netuno varia entre 1.353.600 e 9.623.700 quilômetros.
 - deve ter sido capturado (cinturão de Kuiper?)
- Essa proximidade de Netuno provoca efeito de maré significativo, podendo agir como uma fonte de aquecimento interno.



CARONTE – satélite de Plutão (planeta-anão)



- Caronte é comparável em tamanho com a maioria dos satélites de Urano.
- Plutão é apenas 7 vezes maior (em volume) que Caronte.
 - neste sentido formam um sistema planetário binário (a Terra é 49 vezes maior que a Lua).
 - Essa é a maior relação de tamanhos entre planeta e satélite, é um caso único no Sistema Solar.

PLUTÃO

