

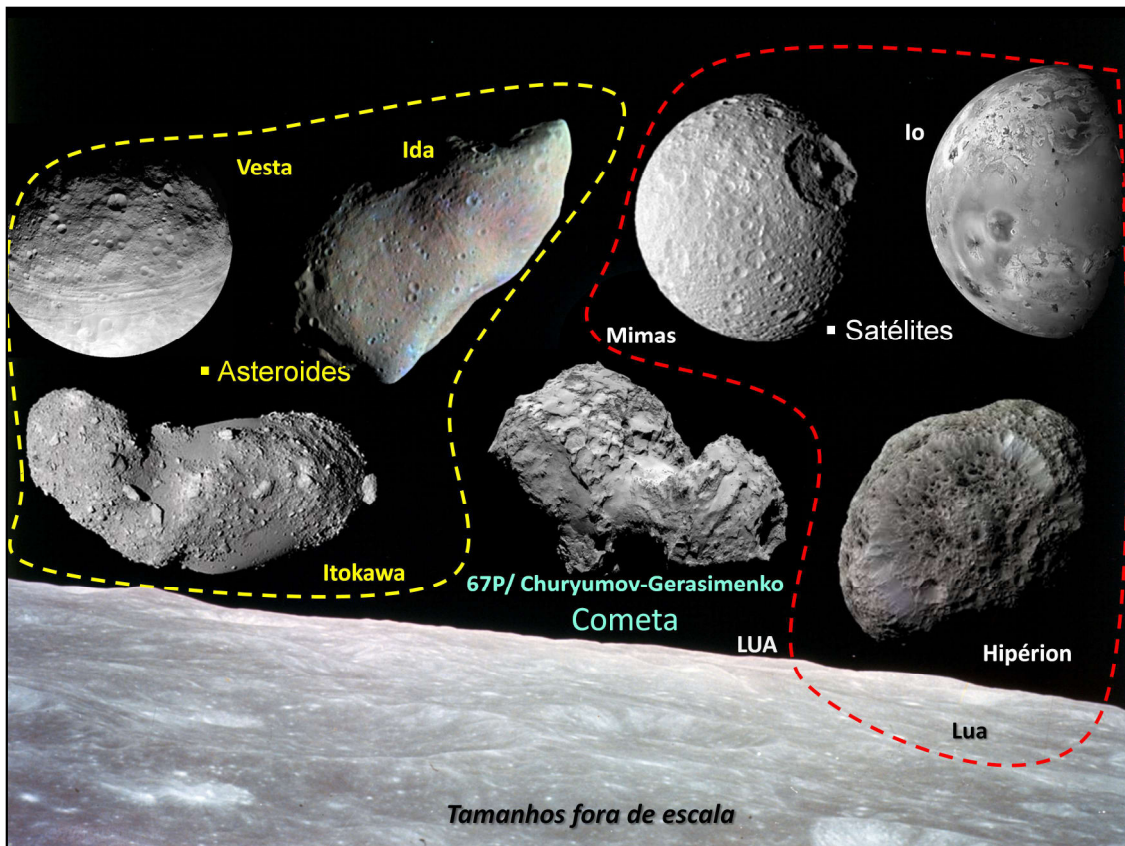
Conceitos Fundamentais da Física do Sistema Solar (MPA5004)
Enos Picazzio (IAGUSP)



Nesta imagem (fora de escala) vemos vários objetos rochosos de formatos e tamanhos distintos.

O que são e onde estão? A que classe pertencem?

A inspeção visual rápida não é suficiente para distinguí-los



Os objetos são de classes distintas e estão em locais diferentes, assim com também suas dimensões são bem diversificadas.

O grupo da esquerda (dentro do contorno amarelo) são asteroides. O grupo da direita (dentro do contorno vermelho) são satélites, Io é o maior deles. No centro um cometa, que, assim como os demais, não tem formato e tamanho padrão dentre os cometas.

Nesta e nas próximas aulas vamos discutir cada classe objetos que, embora seja muito diferentes, guardam algumas semelhanças entre eles e também com os planetas rochosos.

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

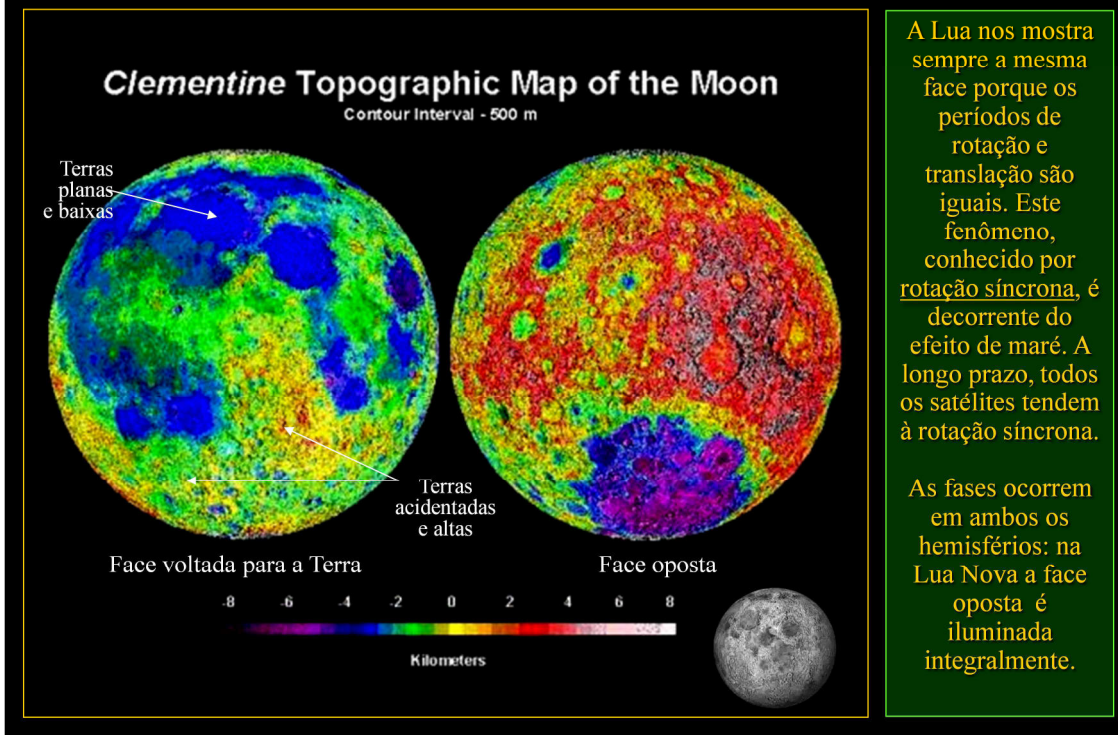
	raio (km)	massa (10^{22} kg)	
Lua	1.738	7,4	3,34 g/cm³
Io	1.821	8,9	3,53 g/cm ³
Europa	1.565	4,8	3,03 g/cm ³
Tritão	1.353	2,2	2,05 g/cm ³

Vemos aqui dois grupos de satélites: o grupo superior, Ganimedes, Calisto, ambos satélites de Júpiter, e Titã, satélite da Saturno. Eles têm tamanhos comparáveis ao planeta Mercúrio, Na realidade, Ganimedes e Titã são maiores que Mercúrio. Eles têm dimensões de planetas.

O grupo inferior têm três satélites com tamanhos comparáveis ao da Lua: Io e Europa, satélites de Júpiter, e Tritão, satélite de Netuno. Io, o maior, é o objetos com maior atividade vulcânica do Sistema Solar. Europa é recoberto por um mar, com superfície congelada. Tritão é parecido com Plutão.

Se olhamos as densidades verificamos que as diferenças se acentuam. Embora não sendo o maior, Mercúrio é de longe o mais denso. É feito de rocha e ferro. Os dois maiores, Ganimedes e Titã, têm densidades baixas, o que significa que eles têm quantidade considerável de matéria leve em suas constituições. O grupo inferior têm densidades intermediárias entre a mais alta e a mais baixa. Lua, Io e Europa têm densidade muito parecidas, o que significa que na composição química geral eles têm semelhanças. Tritão, o mais distante dentre eles, tem densidade compatível com constituição mista de rochas e materiais leves (água e gases congelados).

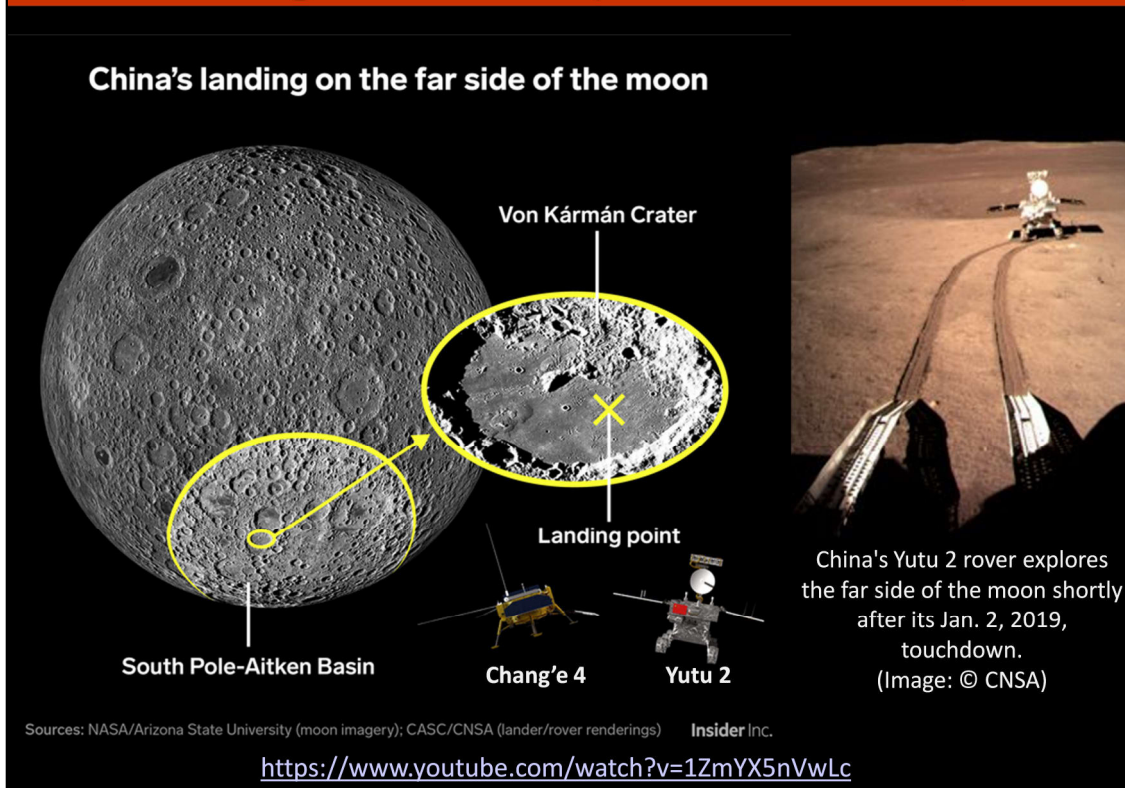
LUA: topografia pela sonda Clementina



Estas imagens mostram um mapa topográfico das superfícies dos dois hemisférios da Lua: à esquerda o hemisfério voltado para a Terra, nosso conhecido; à direita o hemisfério oposto, invisível da Terra. As cores são falsas, mas as cores escuras são as regiões mais baixas e as cores claras são as regiões mais elevadas. Reparem que as regiões em azul, níveis mais baixos, têm contornos arredondados. São as regiões dos mares do hemisfério voltado para a Terra. Isso sugere origem colisional, ou seja, grandes corpos que caíram na superfície em passado remoto abrindo grandes crateras.

No hemisfério oposto há uma região enorme de origem colisional, próxima ao polo sul lunar. Essa pode ser considerada a maior cratera do Sistema Solar. Foi uma colisão muito violenta. Outra característica desse hemisfério é a inexistência de crateras menores e a elevação do terreno (cor vermelha). A crosta lunar é mais espessa no hemisfério oposto.

LUA: Chang'e 4 & Yutu 2 pousam no lado oposto

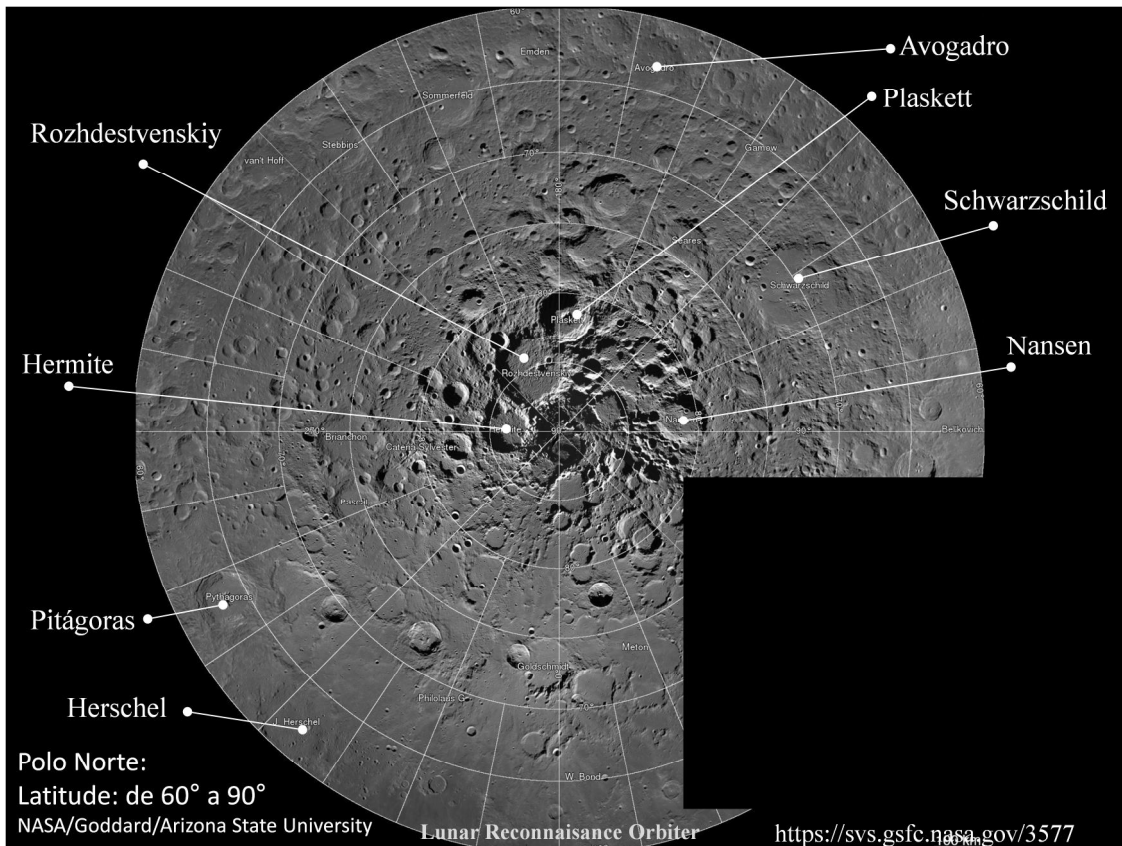


O primeiro veículo espacial a visitar o outro lado da Lua descobriu uma camada de poeira lunar pode chegar até 15 metros de profundidade. O veículo mediu a poeira da superfície da Lua com radar pela primeira vez. A poeira lunar, também chamada regolito, é uma substância semelhante a talco de rocha pulverizada e poeira que se assentou após asteroides terem bombardeado a superfície da lunar bilhões de anos atrás. As descobertas de Chang'e 4 confirmam que essa poeira também reveste o lado mais distante da Lua. Esse entendimento será fundamental para futuras missões na Lua.

A poeira lunar pode obscurecer os instrumentos de uma espaçonave ao se aproximar da superfície da Lua, aumentando o risco de falha. As missões da Apollo tiveram muitos problemas com poeira.

Abaixo dos 12 metros de poeira fina, a sonda Chang'e 4 também encontrou uma camada de material grosso cheio de rochas, seguido por camadas alternadas de substâncias grossas e finas com até 40 metros de profundidade.

Fonte: <https://www.businessinsider.com/china-lunar-rover-found-thick-dust-on-moon-far-side-2020-2>



Sombras permanentes na Lua

Enquanto a Terra e a Lua orbitam em torno do Sol, existem lugares na Lua que nunca recebem luz solar direta. A maioria dessas regiões permanentemente sombreadas está nos polos lunares, onde a incidência dos raios é bem inclinada, próxima ao horizonte lunar (menos de 2° acima do horizonte).

A animação da videoaula correspondente mostra as regiões permanentemente sombreadas do polo sul da Lua, mantendo um ângulo máximo do Sol na superfície de 1,5 graus em relação ao horizonte local. Essas áreas permanentemente sombreadas são de interesse porque podem conter gelo de água. Nada se sabe ainda sobre a origem dessa água.

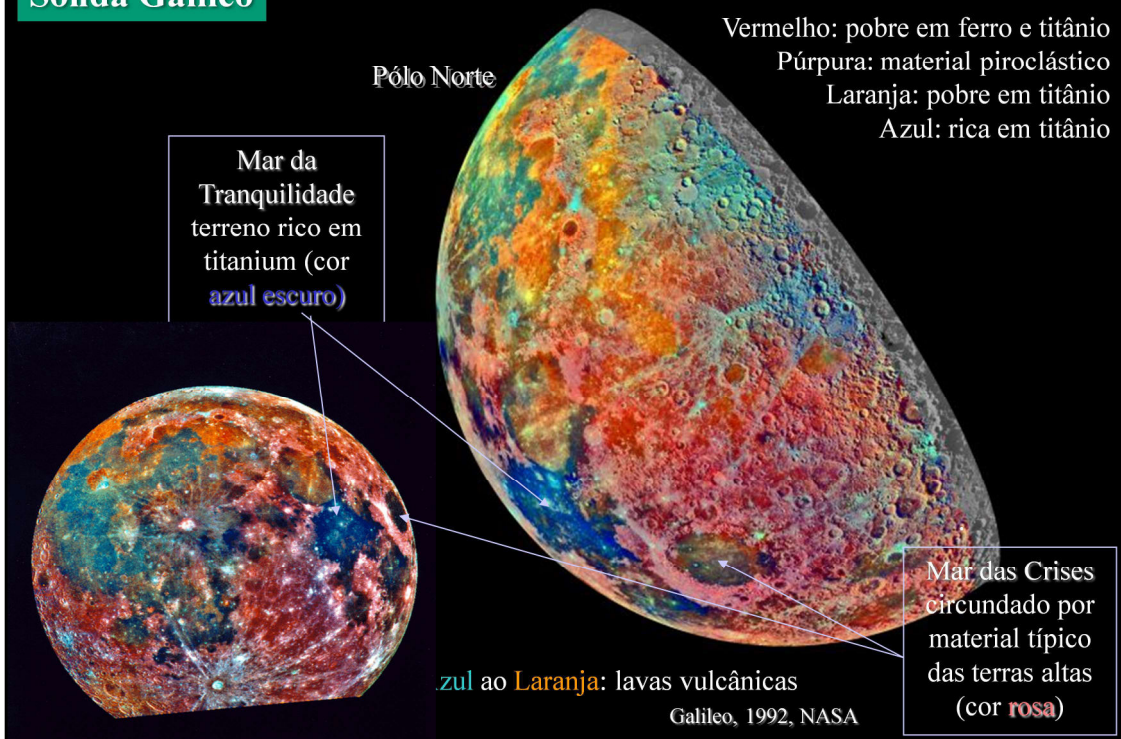
Fonte: <https://svs.gsfc.nasa.gov/3577>

LUA: Topografia

Sonda Galileo

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

Vermelho: pobre em ferro e titânio
Púrpura: material piroclástico
Laranja: pobre em titânio
Azul: rica em titânio



Esse mosaico de 53 imagens foi gravado pela sonda Galileo, (que orbitou Júpiter por muito tempo), quando passou perto de nosso grande satélite natural em 1992. As imagens foram gravadas através de três filtros espectrais e combinadas em um esquema exagerado de cores falsas para explorar a composição da superfície lunar à medida que as mudanças no conteúdo mineral produzem sutis diferenças de cor na luz refletida.

Imagem composta de cores falsas da Lua a partir de 425.000 km

Imagem composta Galileo de cores falsas da Lua. A imagem foi criada usando 3 exposições através de filtros diferentes. A cor exagerada ajuda a determinar a composição da superfície:

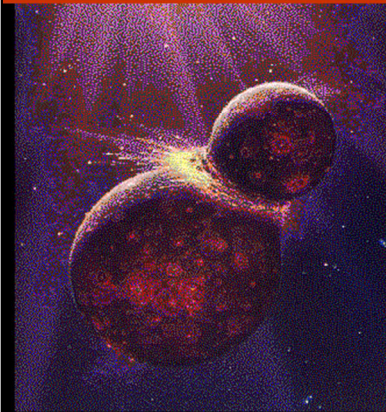
Azul..... região rica em titânio;
laranja região pobre em titânio,
púrpura região de material piroclástico (origem vulcânica),
vermelho ... região pobre em ferro e titânio.

o Mar da Tranquilidade é a área azul à direita,
o Oceano Procellarum é a área azul e laranja à esquerda,
a cratera Tycho de 85 km de diâmetro está no centro inferior
a cratera Copérnico está logo acima e à esquerda do centro da imagem.

A lua tem 3.476 km de diâmetro e o norte está acima. (Galileo, P-41491)

Fontes: NASA / JPL;
https://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/gal_p41491.html

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 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.

A origem da Lua tem sido debatida há muito tempo. Esse debate deve ser pautado em evidências e as hipóteses devem ser factíveis e passíveis de verificação, portanto de críticas.

Teoria da Captura:

Ela admite que a Lua pode ter se formado originalmente em outro lugar antes de ser capturada pela força gravitacional da Terra. Parece ser um processo comum. Por exemplo, Fobos e Deimos, os dois pequenos satélites de Marte, devem ter sido capturados do cinturão de asteroides. Essa proposta esbarra em alguns problemas importantes, sendo o mais grave a semelhança geoquímica da Terra e da Lua. Os dois corpos têm proporções isotópicas de oxigênio quase idênticas, sugerindo que se formaram a partir do mesmo pool de matéria-prima.

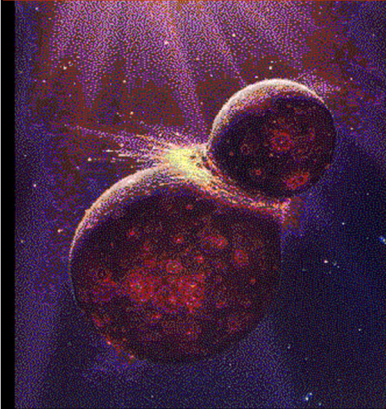
Teoria da Fissão

Aparentemente pensada pelo filho de Charles Darwin, George, no século 19, postula que o material que formou a Lua foi ejetado ao espaço por uma Terra derretida e girando rapidamente nos primeiros momentos de sua formação. A crítica maior é que a Terra não poderia estar girando rápido o suficiente para expelir uma enorme bolha de rocha. Mas um estudo de 2010 sugeriu que uma explosão nuclear natural, criada pela superconcentração de elementos radioativos, pode ter proporcionado o pontapé para desalojar um pedaço do tamanho da lua da Terra primitiva em órbita.

Teoria da Co-Formação

Admite que a Lua tenha se formado ao lado da Terra, há 4,5 bilhões de anos atrás, coalescendo de gás e poeira na mesma parte do disco protoplanetário. Embora essa hipótese possa explicar as semelhanças isotópicas entre a Terra e a Lua, ela não pode explicar o alto momento angular do sistema Terra-Lua, por exemplo, ou por que a Lua tem um núcleo de ferro tão pequeno em comparação com o do nosso planeta.

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 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° em relação à eclíptica.

Coletando Planetesimais

Neste caso a hipótese de trabalho é que a Lua se condensou dos detritos produzidos quando os planetesimais se chocaram logo após a formação do Sistema Solar. Poucas evidências sustentam esta teoria, que também não pode explicar as semelhanças geoquímicas entre a Terra e seu satélite natural.

Impacto Gigante

Esta teoria postula que a Lua foi formada do material explodido no espaço quando um corpo (chamado Téia) bateu na recém-formada Terra há cerca de 4,4 bilhões de anos atrás. Uma variante desta ideia sustenta que o tal planeta era do tamanho de Marte. Outra versão, introduzida em 2012, sugere que tanto Téia quanto a proto-Terra tinham cerca de 50% do tamanho da Terra atual. Este modelo de impacto gigante continua sendo aprimorado e refinado, e ele explica melhor a composição e a órbita da Lua. Por exemplo, a teoria prevê um pequeno núcleo de ferro para a Lua, uma vez que teria se formado principalmente a partir dos mantos de Téia e da Terra primitiva (ambos os quais careciam de ferro, que já estavam concentrados profundamente no núcleo).

LUA: Origem colisional

Outro cenário possível :

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

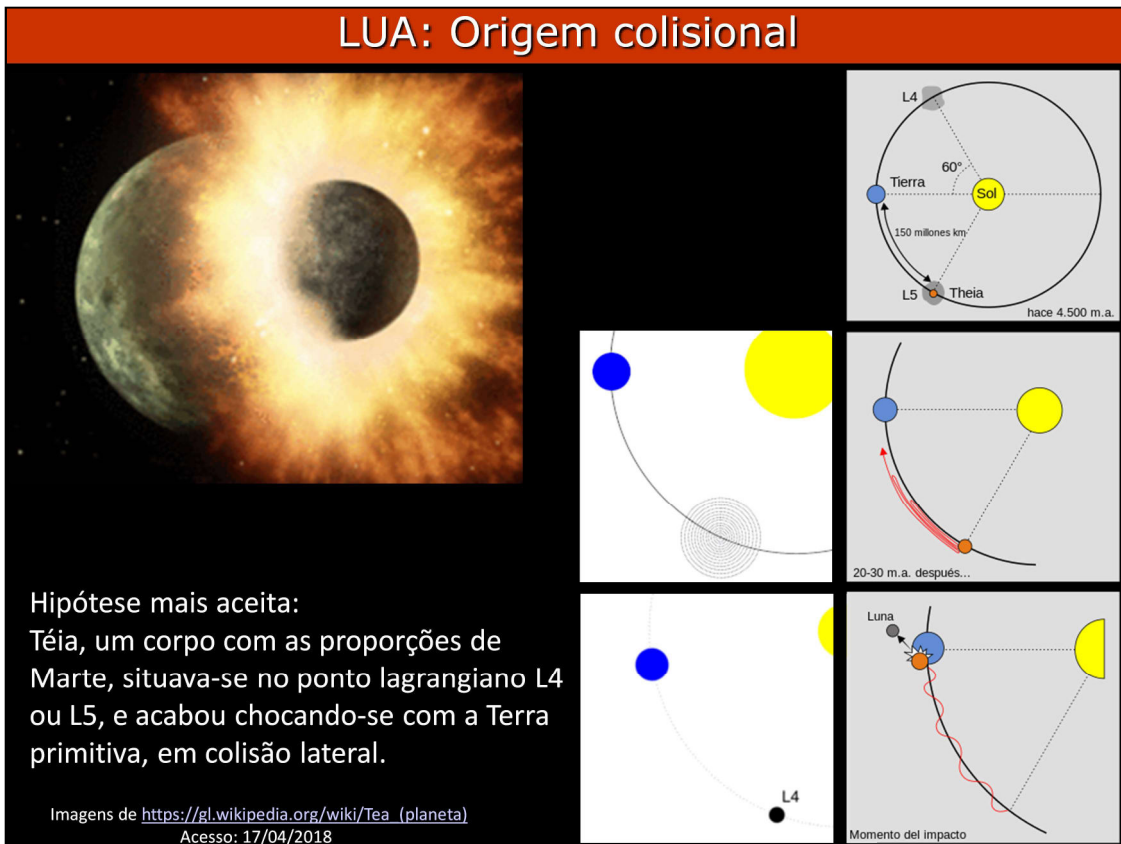
- (a) Terra com uma grande velocidade de rotação (período médio de 2h30m)
- (b) uma nuvem de destroços em torno da Terra se aglomerou formando a Lua.
- (c) A configuração do sistema Terra-Lua teria desacelerado a rotação do planeta.

Nakajima, M. e Stevenson DJ/ Caltech / <http://arxiv.org/abs/1401.3036>

Esta é uma simulação numérica baseada no modelo de impacto gigante padrão (Hartmann e Davis 1975; Cameron e Ward 1976). Um impactador (Téia) do tamanho de Marte atingiu a Terra, o que criou um disco de detritos ao redor do planeta. A Lua se formou a partir do disco. Escalas de cores com a entropia da forsterita em J / K / kg.

Fonte: Trabalho realizado por Nakajima, M. e Stevenson DJ na Caltech (publicação relacionada; <http://arxiv.org/abs/1401.3036>)

LUA: Origem colisional



Hipótese mais aceita:
Téia, um corpo com as proporções de Marte, situava-se no ponto lagrangiano L4 ou L5, e acabou chocando-se com a Terra primitiva, em colisão lateral.

Imagens de [https://gl.wikipedia.org/wiki/Tea_\(planeta\)](https://gl.wikipedia.org/wiki/Tea_(planeta))
Acesso: 17/04/2018

Onde estaria Téia antes do impacto com a Terra?

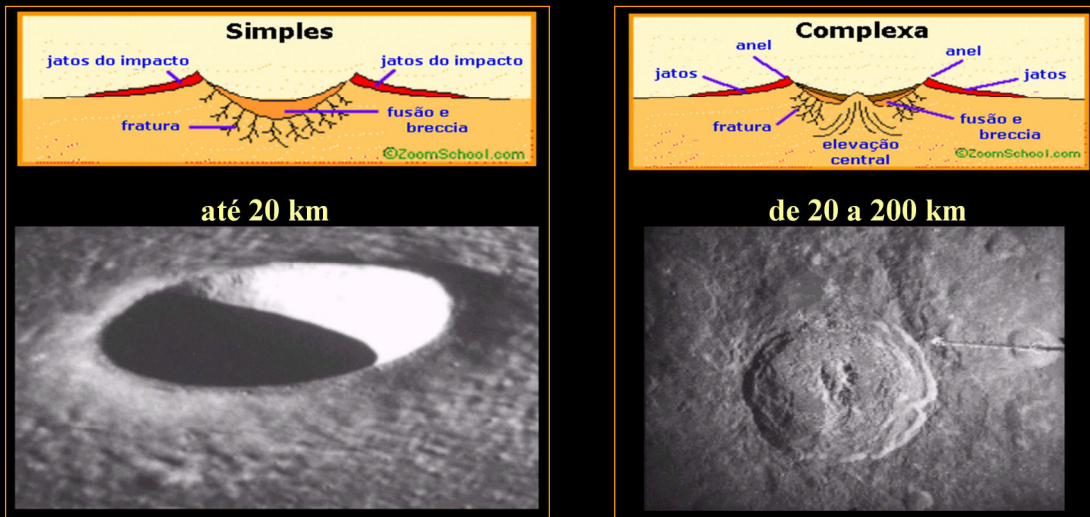
Uma hipótese plausível seria no ponto Lagrangiano, aproximadamente na mesma órbita, mas 60° à frente (L4) ou atrás (L5). Estudando o problema genérico de 3 corpos (no caso específico, Sol, Terra e Téia) Joseph-Louis de Lagrange obteve cinco soluções (pontos na órbita da Terra) onde os efeitos da gravidade (Terra e Sol) se anulam. Duas das soluções (pontos L4 e L5) são estáveis e localizam-se, neste caso, a 150 milhões de quilômetros da Terra. Estes pontos são áreas com potencial para permitir o acúmulo de massa. Pensa-se que Teia tenha se formado no ponto L4, a 60° à frente da Terra.

Quando Téia atingiu um tamanho comparável ao de Marte ele tornou-se massivo demais para permanecer estável naquela posição e acabou chocando-se com a Terra primitiva. A trajetória de Téia até o momento do impacto é complexa, mas, como prevê a solução matemática, o impacto acaba ocorrendo.

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: 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.

Vistas de cima, depressões circulares podem parecer de mesma origem. A boca de um vulcão e uma cratera de origem colisional podem apresentar similaridades. Vulcões têm paredes mais íngremes e elevadas, decorrentes de um processo de liberação e acúmulo de lavas. Já as crateras de impacto têm paredes mais baixas e suaves.

Vemos acima o esboço de dois tipos de crateras de impactos de grandes dimensões. A maiores, decorrentes de impactos mais violentos, apresentam um pico central, por vezes bordos duplos ou triplos concêntricos. Essa característica provém das ondas sísmicas que são geradas pelo impacto. As ondas se propagam de forma radial (o centro o ponto do impacto) pela superfície e para baixo do solo. As camadas mais profundas são constituídas de rochas mais duras, mas compactadas, que acabam desviando a direção da onda de choque. Assim, as ondas de choque são refletidas de volta a superfície e acabam formando o pico central.

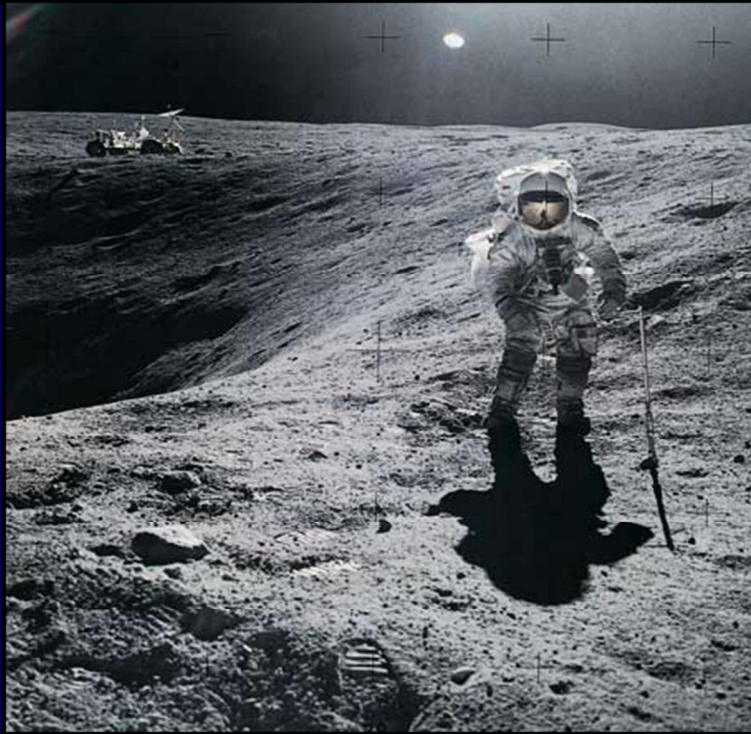
LUA: superfície

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.

O que é o Regolito Lunar?

Regolito é uma coleção de partículas de poeira, solo, rochas fragmentadas e outros materiais encontrados na Terra, mas que recobre toda a superfície lunar, a marciana e até em asteroides. Genericamente, o termo regolito refere-se a qualquer camada de material que cubra rocha sólida, que pode vir na forma de poeira, solo ou rocha quebrada. A palavra deriva da combinação de duas palavras gregas - rhexos (que significa "manta") e lithos (que significa "rocha").

A superfície da Lua é coberta com um fino material em pó, denominado regolito lunar. Esse regolito foi formado ao longo de bilhões de anos por constantes impactos de meteoritos na superfície da Lua. Acredita-se que o regolito lunar se estende por até 15 metros nas áreas mais altas das montanhas lunares.

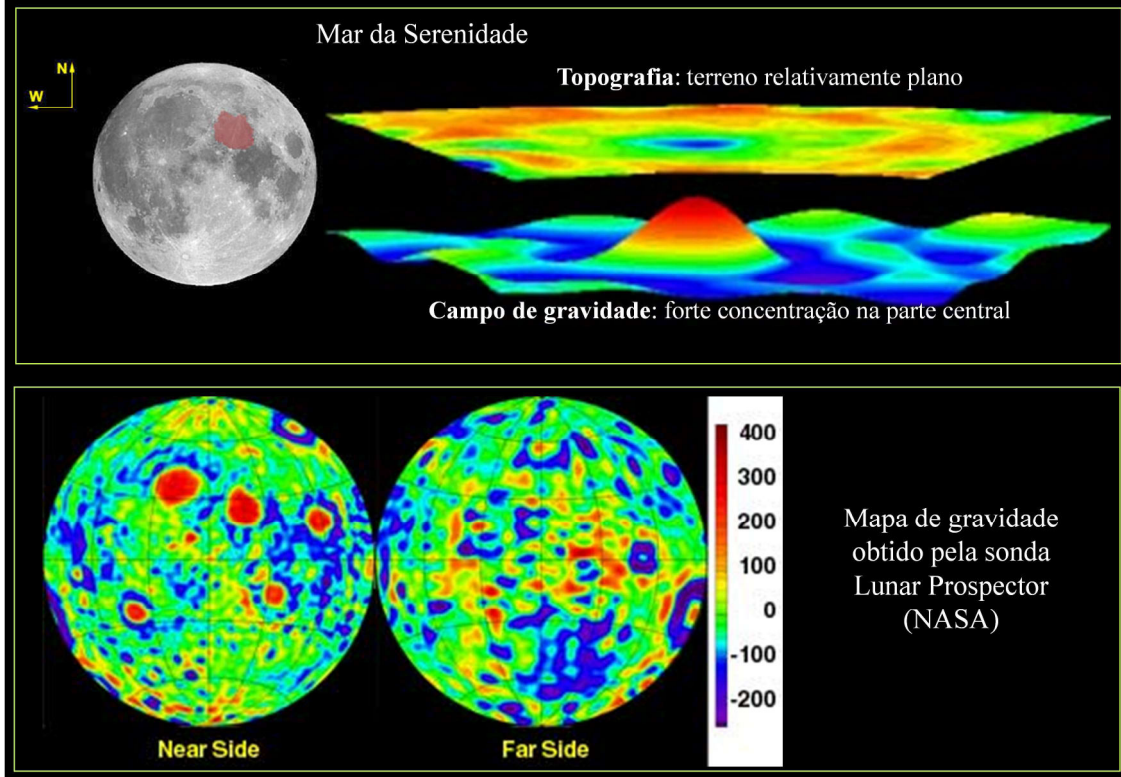
Astronautas que chegaram à superfície relataram que a fina poeira grudava em seus trajes espacial, espalhava pelo interior do módulo lunar, entrava em seus olhos e até nos pulmões, causando tosse. A poeira lunar é muito abrasiva e tem sido notada por sua capacidade de desgastar trajes espaciais e eletrônicos.

O regolito lunar é nitidamente irregular. Isso se deve ao fato de a Lua não ter atmosfera ou água corrente e, portanto, nenhum processo natural de intemperismo. Quando os micrometeoroides bateram na superfície e criaram todas as partículas, não houve processo para desgastar suas arestas afiadas. Alguns adjetivos da poeira dito por astronautas: "Macia como a neve, embora estranhamente abrasiva" (Gene Cernan, Apollo 17).

“(gosto) "Nada mal" (John Young, Apollo 16).

“Cheira a pólvora queimada" (Gene Cernan, Apollo 17).

LUA: concentração de massa (mascons)



A imagem superior mostra um mapa da topografia (em **cima**) e da gravidade da superfície (em **baixo**) para a região do Mare Serenitatis (Mar da Serenidade). A gravidade mostra um platô e, portanto, uma contribuição substancial da superfície próxima ao mascon (palavra derivada de mass concentration).

As concentrações de massa parece terem sido acusadas por impactos massivos de asteroides bilhões de anos atrás, quando a Lua era mais quente a crosta mais fina.

LUA: superfície (rochas lunares)

- **Mares**

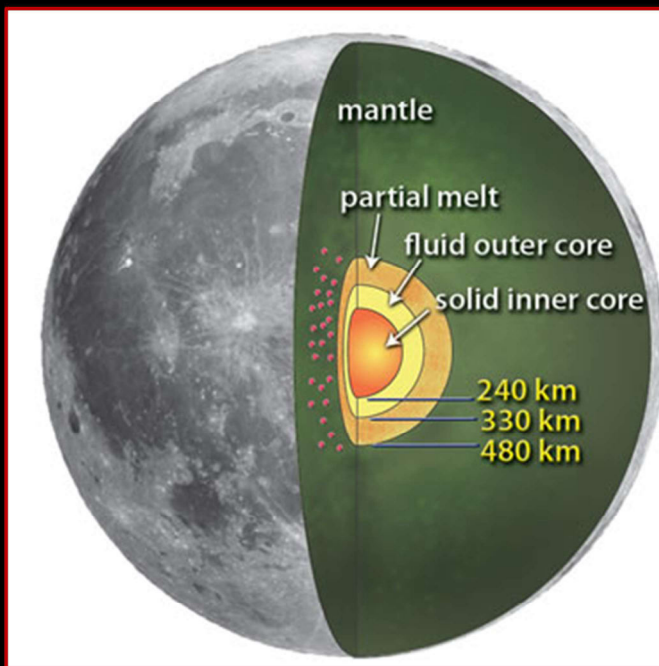
- Regiões mais escuras, e
- Mais jovens (3 a 4 bilhões de anos).
- Regiões de lavas solidificadas (rochas basálticas).
- Terras baixas e superfície plana (primeiro pouso: Mar da Tranquilidade)



- **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

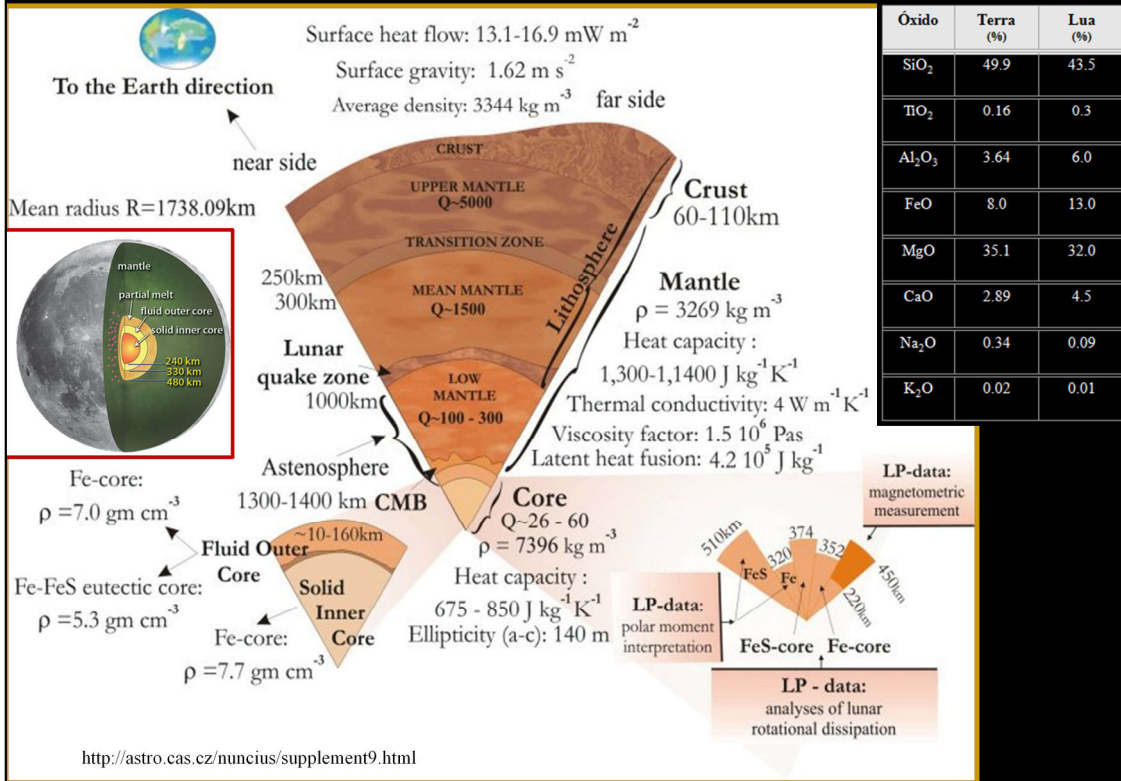


A representação de um artista do núcleo lunar, conforme identificado em novas descobertas por uma equipe de pesquisa liderada pela NASA. (NASA / MSFC / Renee Weber)

Modelos baseados em dados de sismômetros da missão Apollo sugerem que a Lua possui um núcleo interno sólido e rico em ferro, com um raio de quase 240 km e um núcleo externo fluido, principalmente de ferro líquido, com um raio de aproximadamente 330 km. Há uma camada parcialmente fundida em torno do núcleo. O núcleo contém uma pequena porcentagem de elementos leves, como o enxofre.

Fonte: <https://geology.com/nasa/moon-internal-structure/>

LUA: interior e composição química




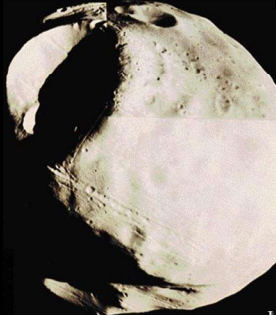

Este é o resultado de um modelo bem mais detalhado do interior lunar

LUA: interior e composição química



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.

<p>FOBOS: ~27x21x19 km, move-se de O para L, em ~7h39m, a 9378 km de Marte; Dens: ~2g/cm³</p>   <p>MARTE</p>	<p>MARTE: ~24h37m Dens: ~4g/cm³</p>	<p>DEIMOS: ~15x12x11 km, move-se de L para O, em ~30h18m, a 23459 km de Marte; Dens: ~2g/cm³</p> <p> rotações sincronizadas. Devido à maré, Fobos está se aproximando de Marte</p>  <p>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.</p> <p>Imagens: NASA</p>
--	---	--

Há duas teorias sobre a origem de Fobos e Deimos:

Captura de asteroides.

Uma pista sobre as origens de Fobos e Deimos está em sua composição. Ambos têm muitas características em comum com dois tipos de asteroides comuns no cinturão principal: asteroides do tipo C e D. Estes são carbonáceos, isto é, são ricos no elemento carbono, que se liga facilmente a outros elementos). Além disso, a julgar pela aparência de Fobos, é fácil presumir que ele e Deimos sejam objetos capturados do cinturão. É um cenário provável, afinal perturbações gravitacionais e outras interações aleatórias afetam a órbita de um asteroide e o enviam para uma nova direção. Asteroides do grupo Amor passam muito próximo de Marte.

Grande Impacto

Isso traz à tona a ideia de que Marte sofreu uma grande colisão muito cedo em sua história, a exemplo do que, acredita-se, ocorreu no surgimento do Lua. O impacto fez com que uma grande quantidade de material fosse ejetada para o espaço, em uma órbita concêntrica sobre o planeta primitivo. Talvez a melhor evidência para uma origem asteroidal seja a presença de um mineral chamado *filossilicatos*, comum nas superfícies de Fobos e Marte; uma indicação de que Fobos se formou a partir do substrato marciano. Outro argumento forte é a questão de suas órbitas, que são quase circulares. As órbitas muito próximas do equador de Marte. Os asteroides capturados provavelmente não se estabeleceriam em órbitas tão precisas, mas o material respingado durante um impacto e depois acumulado ao longo do tempo poderia explicar as órbitas dos dois satélites.

Fonte de consulta: <https://www.thoughtco.com/mars-moon-mystery-3073184>

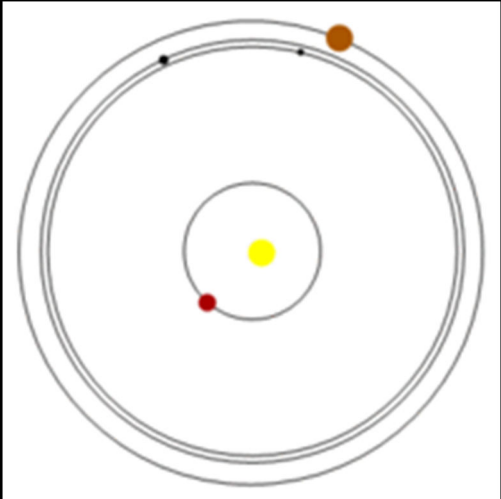
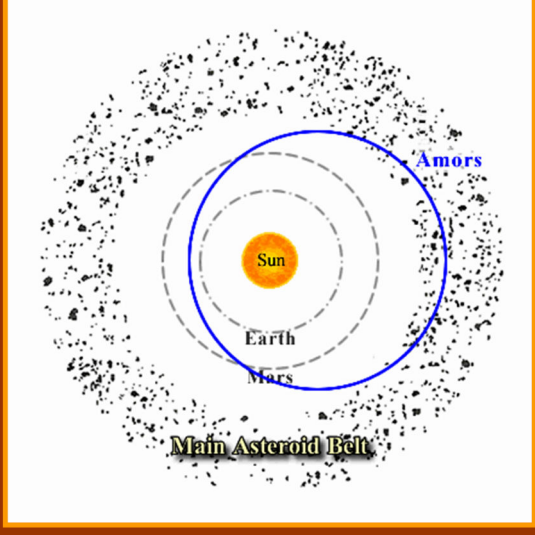
<p>FOBOS: ~27x21x19 km, move-se de O para L, em ~7h39m, a 9378 km de Marte; Dens: ~2g/cm³</p>	<p>MARTE: ~24h37m Dens: ~4g/cm³</p>	<p>DEIMOS: ~15x12x11 km, move-se de L para O, em ~30h18m, a 23459 km de Marte; Dens: ~2g/cm³</p>
<p>Origem: provavelmente captura. Melhores candidatos: asteróides do grupo Amor</p>		
		<p>https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/79/MoonsOfMarsImproved3.gif/200px-MoonsOfMarsImproved3.gif</p>

Ilustração da teoria da captura por Marte de asteroides do grupo Amor

JÚPITER: satélites

79 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)...

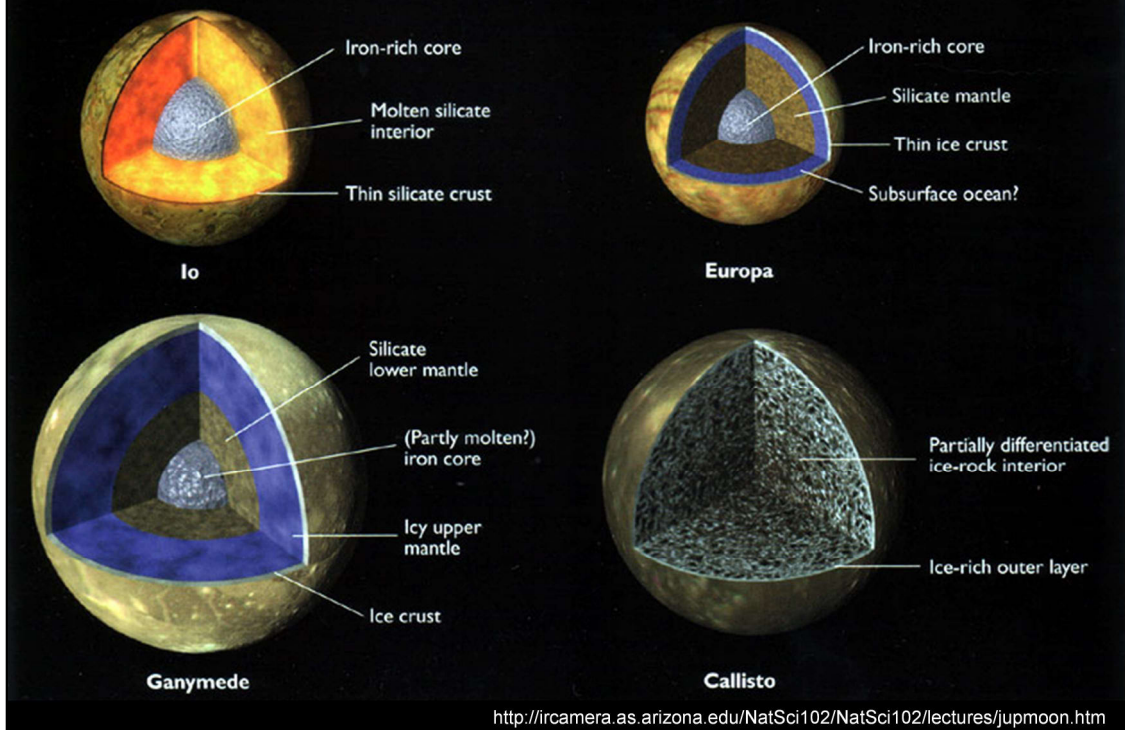
https://en.wikipedia.org/wiki/Moons_of_Jupiter

Por conta de sua massa enorme, Júpiter acumula uma quantidade grande de satélites. Os quatro maiores, Io, Europa, Ganimedes e Calisto foram descobertos por Galileu, por isso são conhecidos como “satélites galileanos”.

Acima vê-se os nomes e, entre parênteses, o diâmetro em quilômetros. Muitos não têm nomes, mas sigla e ano da descoberta.

A seguir, vamos abordar as características apenas dos satélites principais.

Quadro Comparativo



Satélites Galileanos

Em janeiro de 1610, o astrônomo italiano Galileo Galilei descobriu quatro objetos circulando em torno de Júpiter. Ele originalmente se referia aos objetos individuais numericamente como I, II, III e IV. O sistema numérico para nomear os satélites durou alguns séculos até que se resolveu dar nomes, já o uso de números como um dispositivo de identificação confuso e impraticável à medida que mais satélites fossem descobertos.

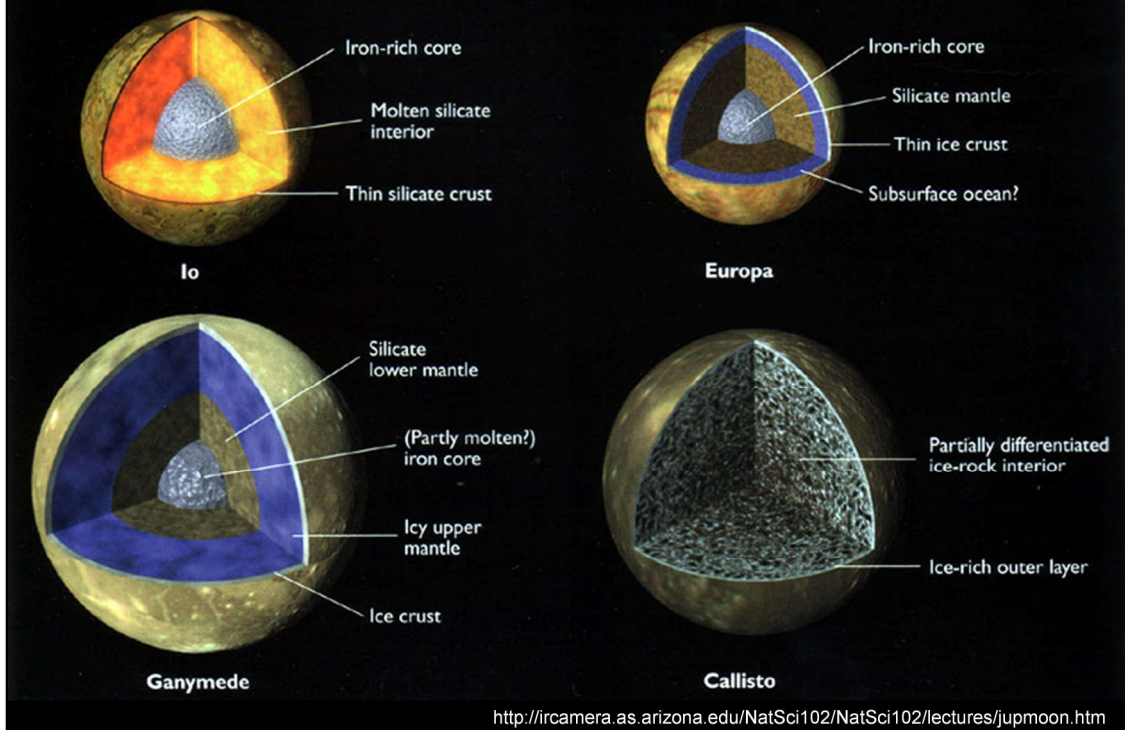
A descoberta de Galileu foi um ponto crucial na história da astronomia, pois sua observação revelou que nem todos os corpos celestes giravam em torno da Terra. Até aquele momento, pensava-se que a Terra era o centro do universo. Oito satélites - os quatro galileanos e outros quatro menores - estão mais próximos do planeta e fornecem a poeira que compõe os anéis de Júpiter.

O mais próximo de Júpiter, Io, foi o primeiro descoberto por Galileu. A característica mais marcante deste satélite são seus vulcões, tornando-o o único corpo celeste no Sistema Solar além da Terra a ter atividade vulcânica, e muito intensa. Ele também possui campos de dióxido de enxofre congelado. Io tem um núcleo de ferro ou sulfeto de ferro e uma camada externa de silicato marrom, o que lhe confere uma aparência manchada de laranja, amarelo, preto, vermelho e branco.

Europa, o menor dentre os galileanos, apresenta rachaduras e estrias em toda a superfície gelada, marcada com poucas crateras. Europa tem um alto grau de refletividade (albedo elevado), por isso é um dos satélites mais brilhantes do Sistema Solar. Com 20 a 180 milhões de anos, a superfície é bastante jovem. Essas características indicam a presença de um extenso oceano sob a superfície, e que pode abrigar vida.

Fonte: <https://www.space.com/16452-jupiters-moons.html>

Quadro Comparativo



Ganimedes é o terceiro mais distante de Júpiter, e o maior dos quatro. É maior que Mercúrio. Sua característica marcante é que é o único a ter seu próprio campo magnético. O núcleo de ferro do satélite é circundado por uma crosta espessa composta principalmente de gelo. Quarenta por cento da superfície de Ganimedes é coberta por regiões escuras altamente marcada por crateras, e os restantes sessenta por cento são cobertos por um terreno com sulcos leves, que forma padrões intrincados em toda a superfície.

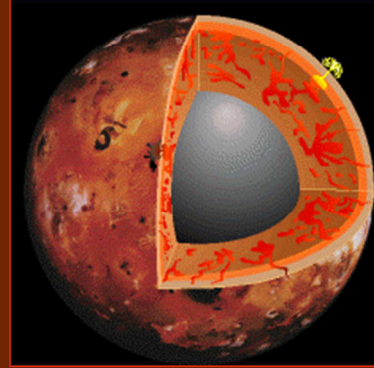
Calisto, o mais distante dos galileanos, é o objeto com mais crateras do Sistema Solar. Essa paisagem parece ter permanecido essencialmente inalterada desde a sua formação. É praticamente do tamanho de Mercúrio, mas com uma densidade muito baixa. Também apresenta a menor interação com o campo magnético de Júpiter, pois sua órbita é está além do cinturão de radiação primária de Júpiter.

Fonte: <https://www.space.com/16452-jupiters-moons.html>

JÚPITER: satélites galileanos - IO



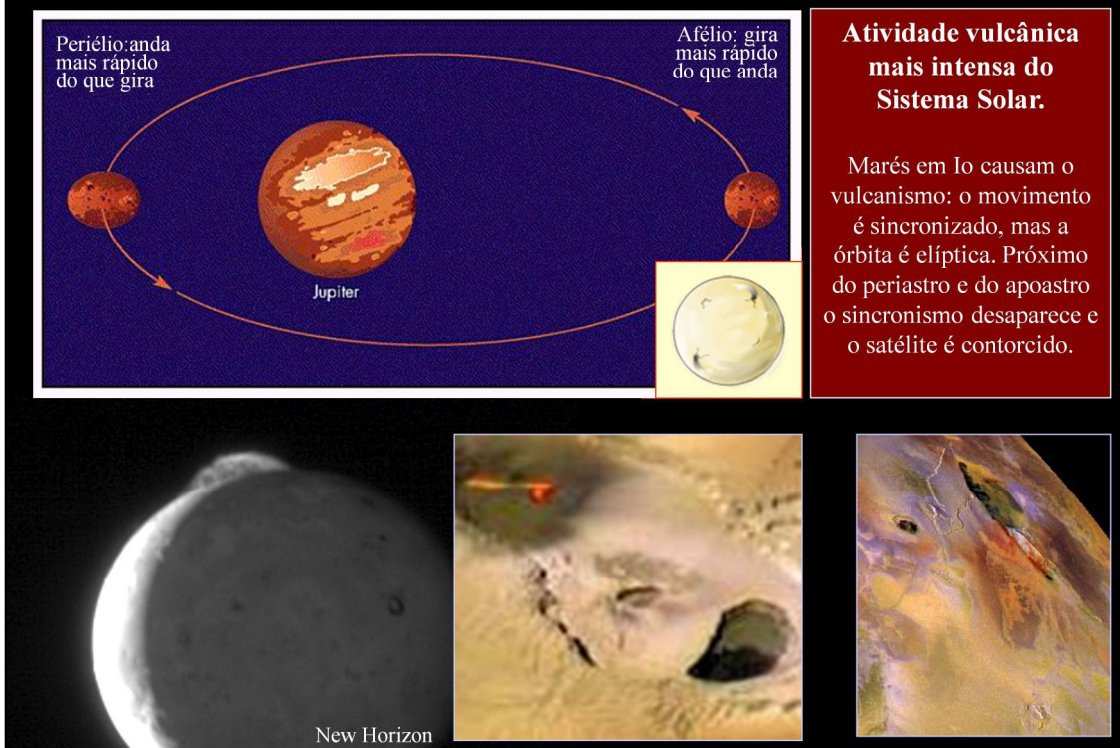
Raio: 1815 km
Densidade média: 3,53 g/cm³,
(o mais denso dos 4)
Órbita: 6 R_J (71540 km)
Temp.: -145 a -223 (°C)



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

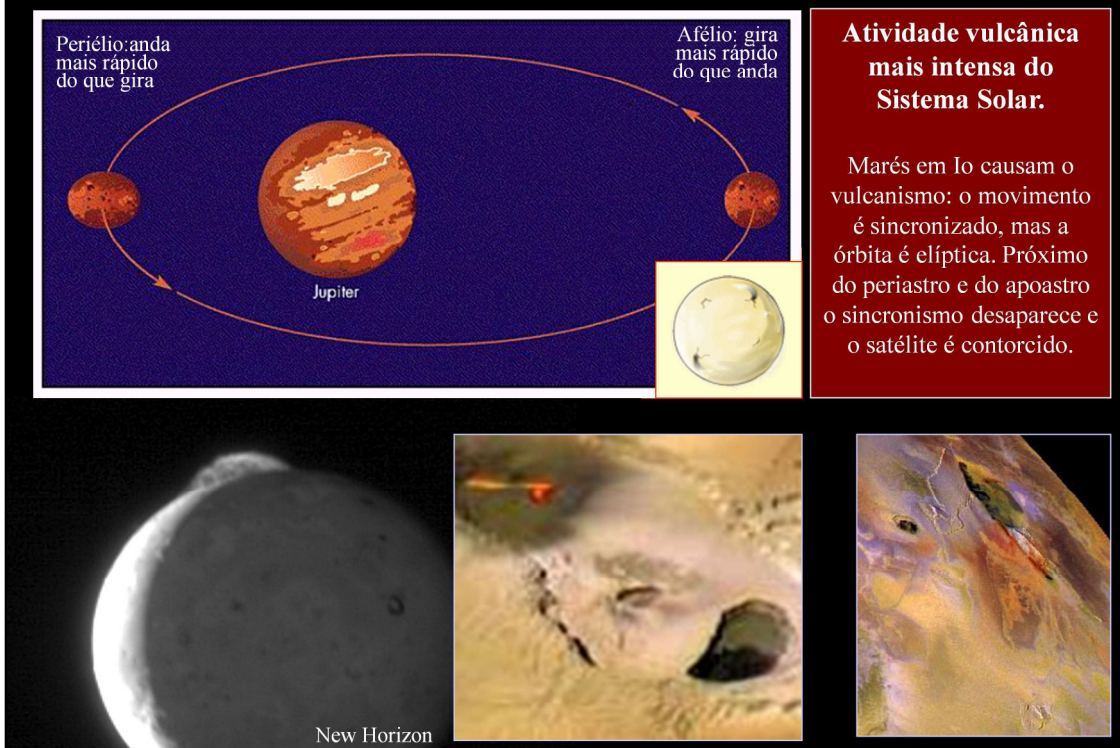


Io, sob a superfície, é um mundo muito diferente da Terra. Nosso planeta é o único corpo conhecido que possui placas tectônicas, mas Io é aquecido pelo aquecimento das marés - causado pelo impulso e atração gravitacionais entre Júpiter e as outras grandes luas. Portanto, as entranhas dos vulcões de Io podem ser bem diferentes daquelas da Terra.

Felizmente, vulcões - o processo pelo qual planetas e satélites perdem calor - podem ajudar a lançar luz no interior de Io. Existem vários modelos diferentes, por exemplo, de como esse impulso e tração gravitacional aquece o interior de Io. Dos dois modelos extremos, um deles sugere que o aquecimento das marés é dissipado principalmente no manto profundo, formando grandes células de convecção que se elevam em direção aos polos onde os vulcões finalmente se formam. Mas o outro modelo extremo sugere que o aquecimento das marés é dissipado principalmente na astenosfera rasa [a região superior do manto], formando células de convecção que se elevam em direção ao equador, levando a mais vulcões por lá. Então, é claro, existem alguns modelos entre os dois extremos.

Fonte: Rosaly M. C. Lopes-Gautier, brasileira, geóloga planetária e vulcanóloga, Jet Propulsion Laboratory, NASA.

JÚPITER: satélites galileanos - IO



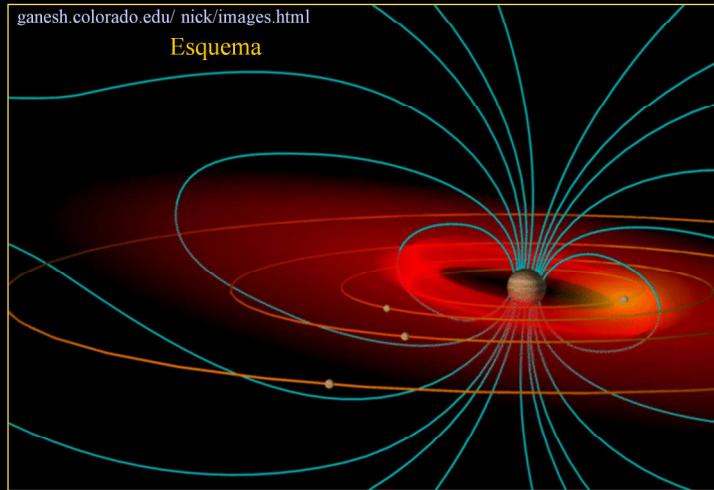
“Em 1999, escrevi um artigo que analisava o número e a distribuição de vulcões ativos - apenas para descobrir que mais vulcões estão localizados nas regiões equatoriais. Dito isto, nem todos os vulcões são criados iguais. Além disso, usamos dados da missão Galileo, que não tinham uma boa visão dos polos de Io.

Então, alguns colegas e eu decidimos dar uma segunda olhada. Atualmente, estamos trabalhando em um segundo estudo - liderado por Julie Rathbun no Planetary Science Institute - que não apenas analisa a distribuição dos vulcões, mas também o fluxo relativo de calor usando três conjuntos de dados diferentes das missões espaciais. Esse artigo ainda não foi publicado, mas nele argumentamos que o modelo correto não é um dos modelos extremos - onde o calor se dissipa no manto ou na astenosfera -, mas em alguma combinação dos dois.”

Fonte: Rosaly M. C. Lopes-Gautier, brasileira, geóloga planetária e vulcanóloga, Jet Propulsion Laboratory, NASA.

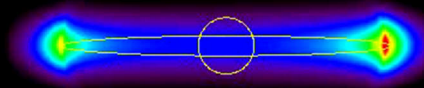
JÚPITER: satélites galileanos - IO

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.



Io Plasma Torus OII 3729

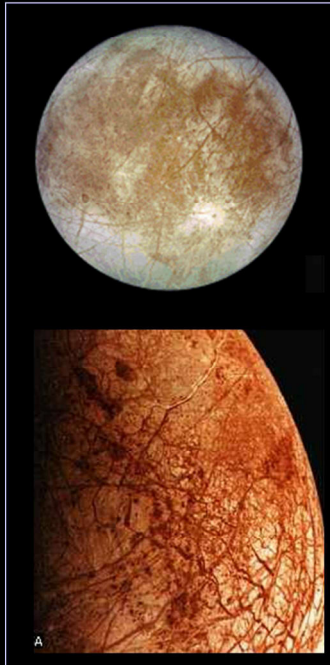
lasp.colorado.edu/.../present/ cassini/images/torus4.gif



N.Thomas MPAE / R.Lieu CEA

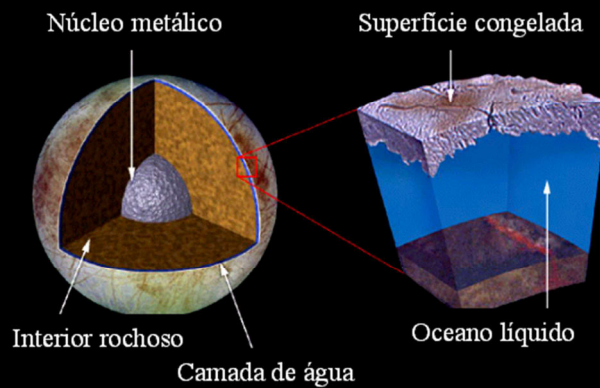
$\lambda_c = 200.0$ SEP - -3.40

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



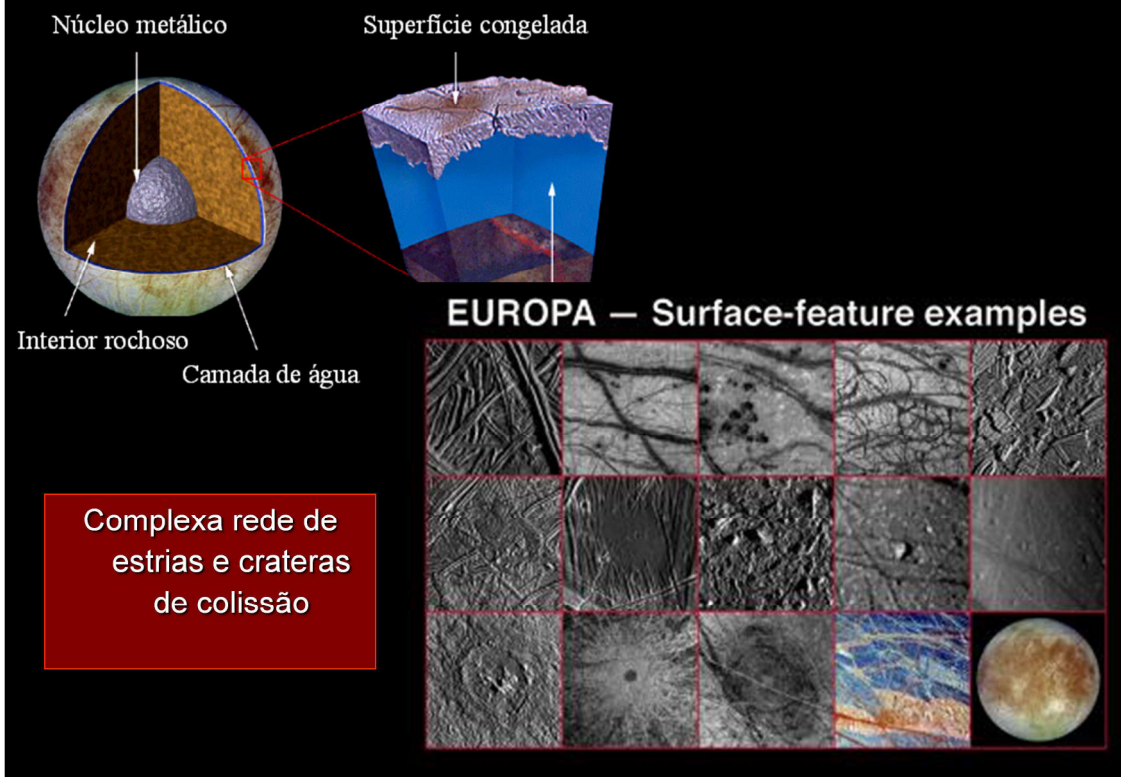
- Superfície marcada por intrincada rede de estrias, com dezenas de km de largura. Provavelmente sejam fraturas na crosta de gelo que recobre a superfície, provocadas por distorção de maré.
- Não há atmosfera. Possivelmente seja devido ao fato de que elementos voláteis expostos à baixíssima temperatura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

Características de Europa

Uma característica proeminente de Europa é sua alta refletividade. A crosta gelada de Europa é a responsável pelo elevado albedo (reflete 64% da luz incidente).

Estima-se que sua superfície tenha entre 20 e 180 milhões de anos, o que a torna bastante jovem. Imagens e dados da sonda Galileo sugerem que Europa é feita de rocha silicatada (rica em silício), possui um núcleo de ferro e manto rochoso, assim como a Terra. Ao contrário do interior da Terra, no entanto, o interior rochoso da Europa é cercado por uma camada de água e/ou gelo com 80 a 170 km de espessura.

JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA



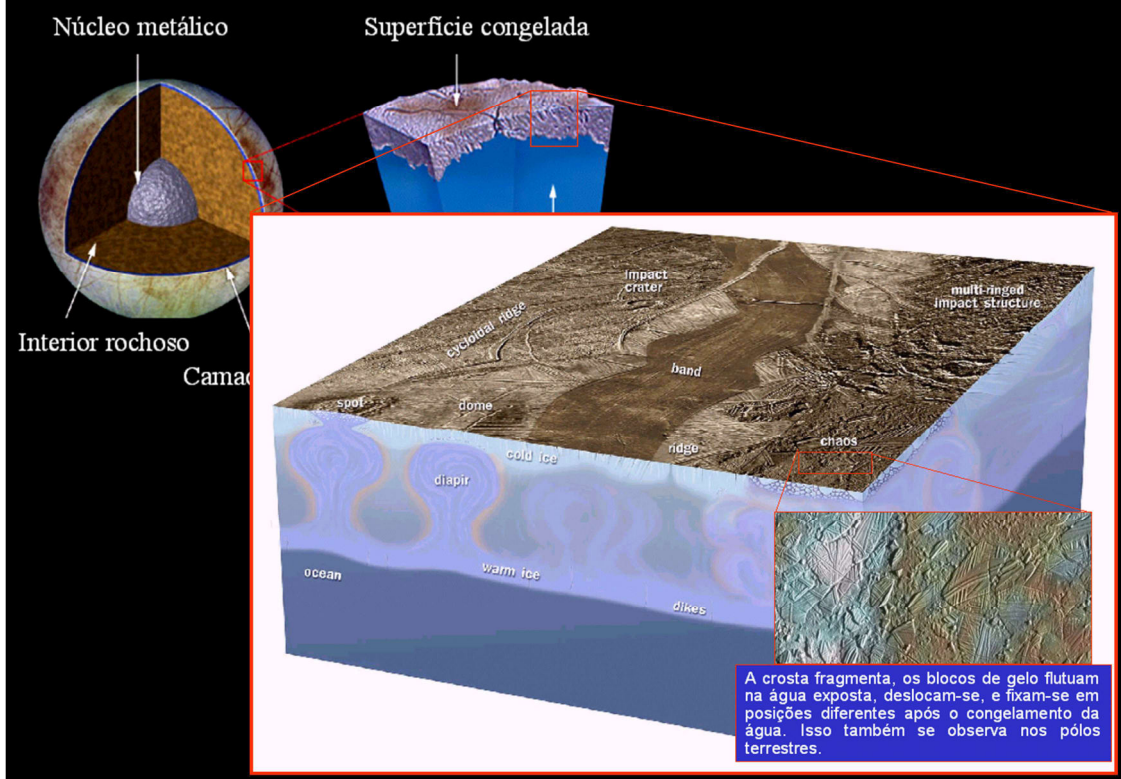
Das flutuações no campo magnético de Europa, que sugerem a presença de algum tipo de material condutor, deduz-se que haja um oceano nas profundezas.

A superfície de Europa está coberta de rachaduras. Muitos acreditam que essas rachaduras são o resultado de forças das marés no oceano abaixo da superfície. Como sua órbita não é circular, é possível que ao se aproximar mais de Júpiter, a maré do mar sob o gelo suba mais do que o normal. Nesse caso, o constante aumento e abaixamento do mar causaram muitas das rachaduras da superfície.

A obtenção de amostras do oceano pode não exigir a perfuração da crosta gelada, pois as observações sugerem a existência de plumas (jatos) de água. Observações de 2014 indicam que Europa pode hospedar uma forma de placa tectônica (ou movimento de placas, no caso, congeladas). Anteriormente, a Terra era o único corpo conhecido no Sistema Solar com uma crosta dinâmica, considerada útil na evolução da vida no planeta.

Fonte: <https://www.space.com/15498-europa-sdcmp.html>

JÚPITER: satélites galileanos - EUROPA



Europa: Onde a vida pode evoluir?

A presença de água sob a crosta congelada torna Europa um fortíssimo candidato com potencial de vida.

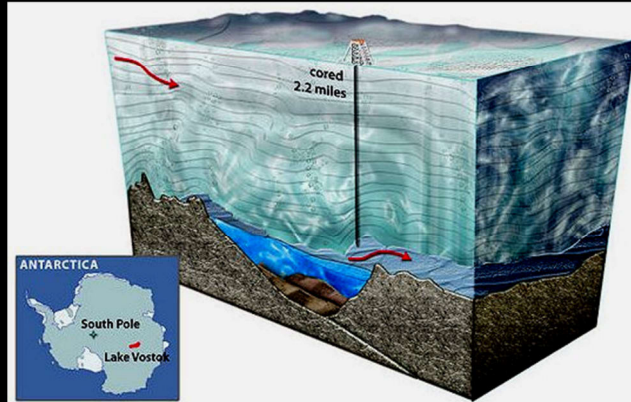
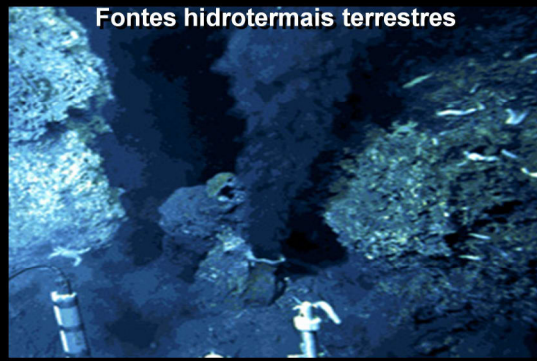
Pensa-se que as profundezas geladas das luas contêm aberturas para o manto, assim como os oceanos da Terra. Esses respiradouros podem fornecer o ambiente térmico necessário para ajudar a vida a evoluir. Em 2016, um estudo sugeriu que Europa produz 10 vezes mais oxigênio que hidrogênio, semelhante à Terra. Isso poderia tornar seu provável oceano mais propício à vida.

Futura exploração da Europa

Desde 2013, a NASA está trabalhando em uma missão de exploração de Europa. De acordo com a NASA, prevê-se a realização de 40 a 45 sobrevoos da Europa com uma espaçonave orbitando Júpiter. Haverá nove instrumentos científicos a bordo, incluindo câmeras, radar para espiar sob o gelo e tentar descobrir sua espessura, um magnetômetro para medir o campo magnético (e, por extensão, quão salgado o oceano é) e um instrumento térmico para pesquisar para sinais de erupções. Uma das prioridades será o acompanhamento das observações de plumas (jatos) observados através do telescópio espacial do Hubble. O estudo da composição química das plumas produzirá informações sobre o aquático.

Fonte: <https://www.space.com/15498-europa-sdcmp.html>

Europa: um mundo de água



Europa: Onde a vida pode evoluir?

A presença de água sob a crosta congelada torna Europa um fortíssimo candidato com potencial de vida.

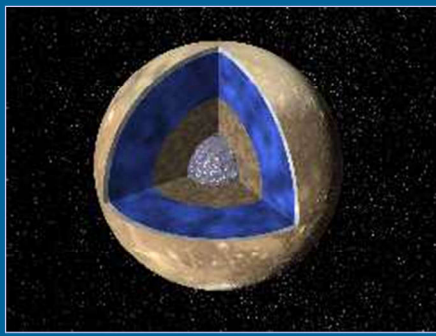
Pensa-se que as profundezas geladas das luas contêm aberturas para o manto, assim como os oceanos da Terra. Esses respiradouros podem fornecer o ambiente térmico necessário para ajudar a vida a evoluir. Em 2016, um estudo sugeriu que Europa produz 10 vezes mais oxigênio que hidrogênio, semelhante à Terra. Isso poderia tornar seu provável oceano mais propício à vida.

Futura exploração da Europa

Desde 2013, a NASA está trabalhando em uma missão de exploração de Europa. De acordo com a NASA, prevê-se a realização de 40 a 45 sobrevôos da Europa com uma espaçonave orbitando Júpiter. Haverá nove instrumentos científicos a bordo, incluindo câmeras, radar para espiar sob o gelo e tentar descobrir sua espessura, um magnetômetro para medir o campo magnético (e, por extensão, quão salgado o oceano é) e um instrumento térmico para pesquisar sinais de erupções. Uma das prioridades será o acompanhamento das observações de plumas (jatos) observados através do telescópio espacial do Hubble. O estudo da composição química das plumas produzirá informações sobre o aquático.

Fonte: <https://www.space.com/15498-europa-sdcmp.html>

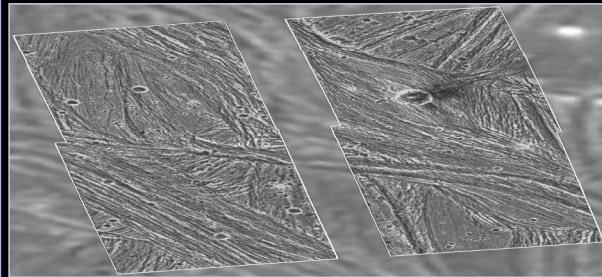
JÚPITER: satélites galileanos - GANIMEDES



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.



Galileu chamou esse satélite de Júpiter III. Só em meados do século XIX, ele recebeu o nome de Ganimedes, um príncipe troiano na mitologia grega.

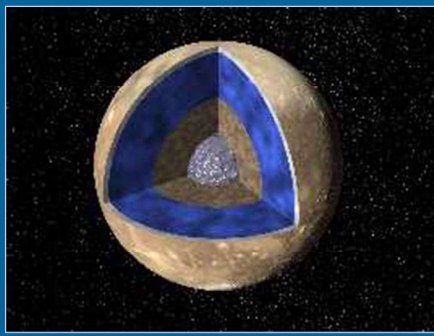
Várias sondas espaciais voaram por Júpiter e seus satélites, como Pioneers 10 e 11, Voyagers 1 e 2 e Galileo, que produziram fotos impressionantes durante seus voos. A sonda Galileo chegou muito perto, a apenas 261 km da superfície. Atualmente, a sonda Juno está explorando Júpiter e produzindo dados excelentes.

Ganimedes possui um núcleo metálico de ferro, circundado por uma camada de rocha e uma crosta espessa de gelo. Há também uma série de figuras na superfície de Ganimedes, que podem ser formações rochosas.

A superfície de Ganimedes é composta basicamente de dois tipos de terreno: cerca de 40% é escuro com inúmeras crateras e 60% é mais claro em cores com sulcos que formam padrões intrincados para dar ao satélite sua aparência distinta. Os sulcos, que provavelmente foram formados como resultado da atividade tectônica ou da água sendo liberada por baixo da superfície, têm quase 1 km de profundidade e se estendem por milhares de quilômetros.

Fonte: <https://www.space.com/16440-ganymede-facts-about-jupiters-largest-moon.html>

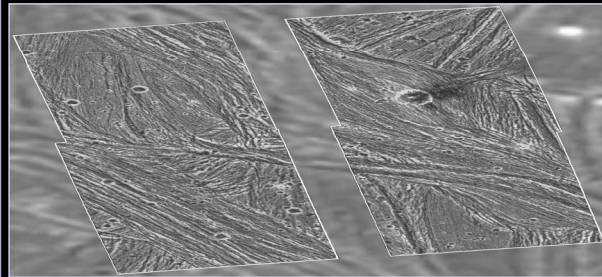
JÚPITER: satélites galileanos - GANIMEDES



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.

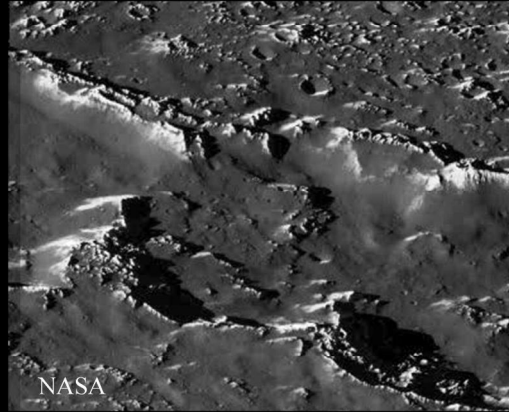


Acredita-se que Ganimedes tenha um oceano de água salgada abaixo de sua superfície. Em 2015, um estudo realizado pelo Telescópio Espacial Hubble analisou as auroras de Ganimedes e como elas mudam entre os campos magnéticos de Ganimedes e Júpiter. O movimento das auroras evidencia que o provável oceano por baixo é salgado, mais salgado que os oceanos da Terra.

Devido à sua estrutura interna, acredita-se que a pressão na base do oceano seja tão alta que qualquer água lá embaixo se tornaria gelo. Isso tornaria difícil para qualquer fonte de água quente trazer nutrientes para o oceano para sustentar vida.

Fonte: <https://www.space.com/16440-ganymede-facts-about-jupiters-largest-moon.html>

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.

Calisto, ou Júpiter IV como designou Galileu, possui uma superfície antiga e com crateras, indicando que os processos geológicos podem estar mortos. No entanto, também pode conter um oceano subterrâneo.

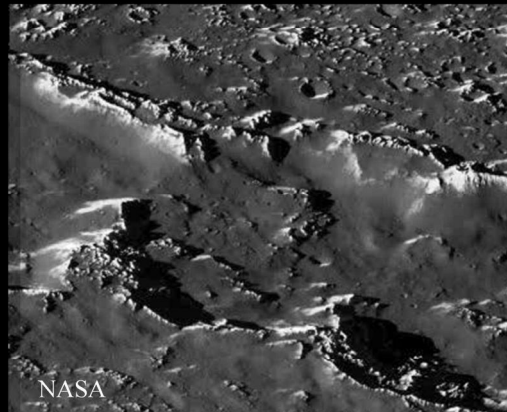
Estima-se que Calisto tenha cerca de 4,5 bilhões de anos, aproximadamente a mesma idade de Júpiter. É o objeto com mais crateras do sistema solar, de acordo com a NASA. Quase não há atividade geológica em sua superfície. A superfície não mudou muito desde que os impactos iniciais a moldaram há 4 bilhões de anos.

Calisto tem aproximadamente o mesmo tamanho de Mercúrio. A temperatura média da sua superfície é $-139,2$ °C.

Imagens produzidas pela sonda Galileo (1996) revelaram uma superfície com grandes depósitos de deslizamentos de terra em duas grandes crateras de impacto. Os dois deslizamentos de terra têm cerca de 3 a 3,5 km de comprimento. As missões Voyager do final dos anos 70 que realmente nos mostraram uma imagem diferente de Calisto. A densidade e a temperatura de Calisto foram refinadas e as imagens da superfície mostraram características tão pequenas quanto 1 km. Uma fina atmosfera de dióxido de carbono foi descoberta assim como evidências de um oceano subterrâneo. São basicamente duas evidências: (a) as flutuações regulares do campo magnético de Calisto enquanto ele circulava Júpiter, implicavam que havia correntes elétricas no satélite estimuladas pelo campo magnético do planeta. Essa corrente teve que ser conduzida de algum lugar, o que levou à segunda evidências: (b) devido à superfície rochosa e à fina atmosfera, uma explicação provável seria um oceano salgado sob a superfície da lua.

Fonte: <https://www.space.com/16448-callisto-facts-about-jupiters-dead-moon.html>

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.

Calisto, ou Júpiter IV como designou Galileu, possui uma superfície antiga e com crateras, indicando que os processos geológicos podem estar mortos. No entanto, também pode conter um oceano subterrâneo.

Estima-se que Calisto tenha cerca de 4,5 bilhões de anos, aproximadamente a mesma idade de Júpiter. É o objeto com mais crateras do sistema solar, de acordo com a NASA. Quase não há atividade geológica em sua superfície. A superfície não mudou muito desde que os impactos iniciais a moldaram há 4 bilhões de anos.

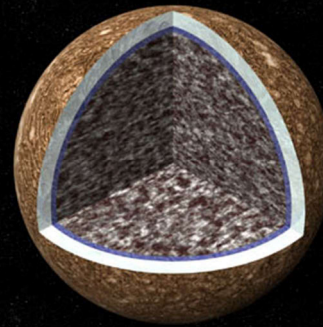
Calisto tem aproximadamente o mesmo tamanho de Mercúrio. A temperatura média da SUA superfície -139,2 °C.

Imagens produzidas pela sonda Galileu (1996) revelaram uma superfície com grandes depósitos de deslizamentos de terra em duas grandes crateras de impacto. Os dois deslizamentos de terra têm cerca de 3 a 3,5 km de comprimento. As missões Voyager do final dos anos 70 que realmente nos mostraram uma imagem diferente de Calisto. A densidade e a temperatura de Calisto foram refinadas e as imagens da superfície mostraram características tão pequenas quanto 1 km. Uma fina atmosfera de dióxido de carbono foi descoberta assim como evidências de um oceano subterrâneo. São basicamente duas evidências: (a) as flutuações regulares do campo magnético de Calisto enquanto ele circulava Júpiter, implicavam que havia correntes elétricas no satélite estimuladas pelo campo magnético do planeta. Essa corrente teve que ser conduzida de algum lugar, o que levou à segunda evidências: (b) devido à superfície rochosa e à fina atmosfera, uma explicação provável seria um oceano salgado sob a superfície da lua.

Em 2018, exames de imagens de arquivo realizadas pelo Telescópio Espacial Hubble em 2007 mostraram o efeito de Calisto nas explosões aurorais na atmosfera de Júpiter. Júpiter gera auroras por si só, mas alguns dos fenômenos ocorrem através de interações com seus quatro maiores satélites.

Assim como os outros 3 satélites galileanos, Calisto pode ter se formado com a

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.

Em 2018, exames de imagens de arquivo realizadas pelo Telescópio Espacial Hubble em 2007 mostraram o efeito de Calisto nas explosões aurorais na atmosfera de Júpiter. Júpiter gera auroras por si só, mas alguns dos fenômenos ocorrem através de interações com seus quatro maiores satélites.

Assim como os outros 3 satélites galileanos, Calisto pode ter se formado com a assistência de Saturno. Um modelo computacional lançado em 2018 sugeriu que, à medida que o núcleo de Saturno crescia, sua influência gravitacional movia planetesimais em direção ao Sistema Solar interno. Esse processo pode ter fornecido material suficiente para formar os galileanos.

Fonte: <https://www.space.com/16448-callisto-facts-about-jupiters-dead-moon.html>

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)...

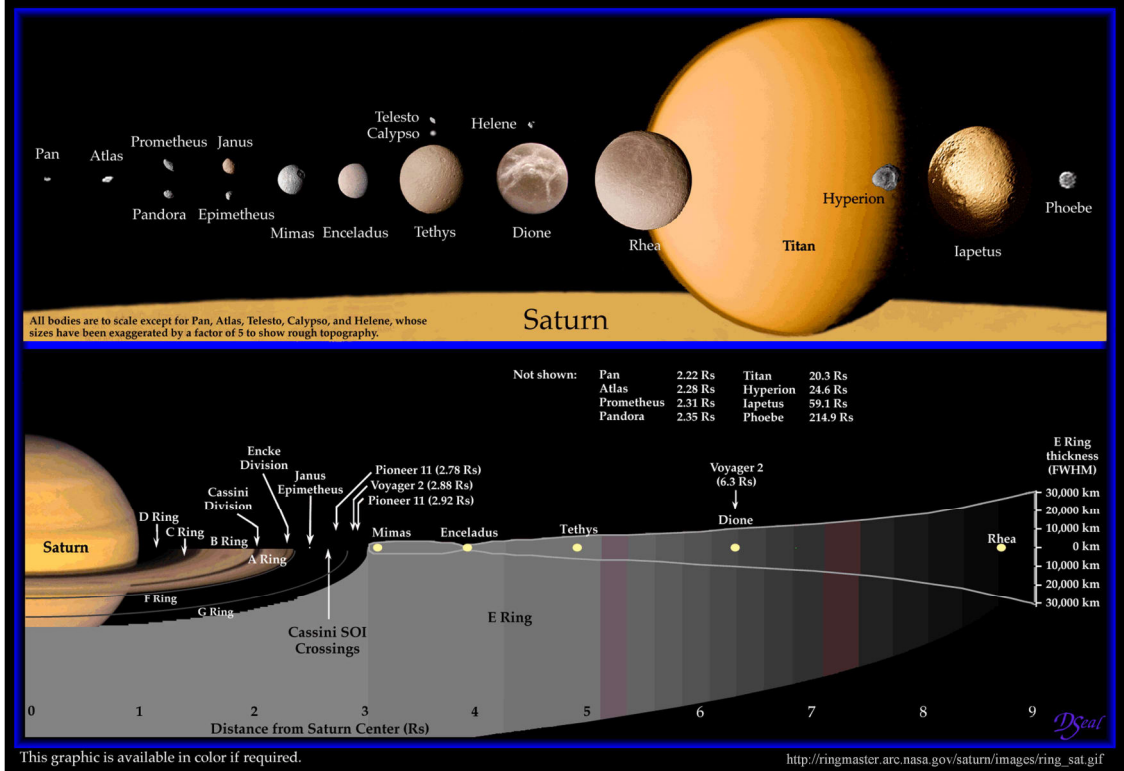
http://en.wikipedia.org/wiki/Moons_of_Saturn

Por conta de sua massa enorme, embora , menor que a de Júpiter, Saturno acumula uma quantidade grande de satélites. O maior deles, de proporções planetárias, é o enigmático Titã, Ele é o único objeto além da Terra a ter nitrogênio como gás predominante da sua densa atmosfera.

Acima vê-se os nomes e, entre parênteses, o diâmetro em quilômetros. Muitos não têm nomes, mas sigla e ano da descoberta.

A seguir, vamos abordar as características apenas dos satélites principais.

SATURNO – satélites principais



Este esquema ilustra Saturno e parte dos seus satélites e anéis. O Maior satélite é Titã, de dimensões planetárias, porém ele é diminuto se comparado ao seu planeta.

O sistema de anéis de Saturno é, de longe, o mais complexo dentre os planetas gigantes. Alguns de seus satélites estão entre os anéis. Na realidade, eles atuam de forma manter os anéis nas posições em que se encontram. Encélado é o responsável pela existência do anel E.

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

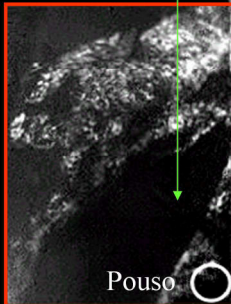
Huygens: pousou em 14/01/2005

RAIO = 2575 km

Canais de erosão produzidos por metano líquido

Lago: lama de hidrocarbonetos
Temperatura próxima a de congelamento?

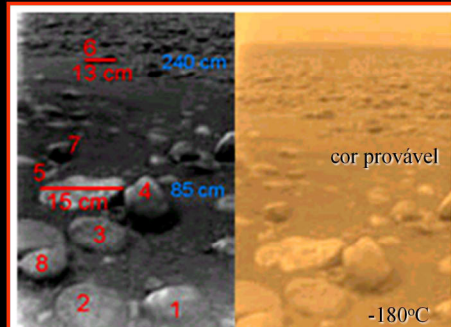
Ilhas congelada



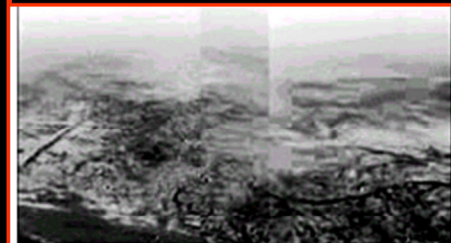
Pouso

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.

Foi o astrônomo holandês Christiaan Huygens o descobridor de Titã, em 25 de março de 1655. Quase três séculos depois, em 1944, que o astrônomo holandês-americano Gerard Kuiper descobriu uma das características mais marcantes: Titã tem uma atmosfera espessa, composta de metano. Observações posteriores mostraram que a atmosfera de Titã era densa e nebulosa.

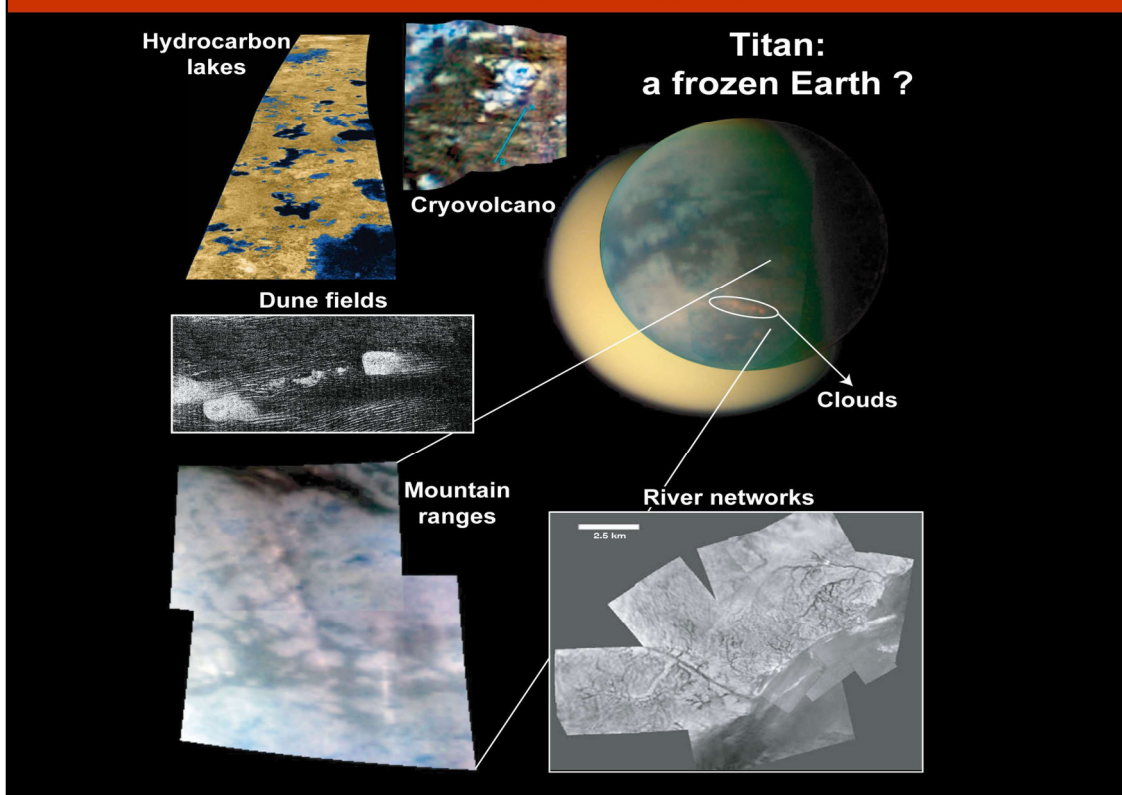
A primeira espaçonave a explorar Titã, a Pioneer 11, em setembro de 1979, e confirmou os valores conhecidos da temperatura e da massa de Titã. As sondas Voyagers mediram a temperatura, pressão atmosférica e o raio do satélite, além de revelarem as presenças de acetileno, etano and propano, além de outras moléculas orgânicas, mas o elemento dominante e o nitrogênio.

A sonda Huygens, carregada pela sonda Cassini, pousou com sucesso em Titã em 14 de janeiro de 2005. A sonda sobreviveu 72 minutos na superfície de Titã. Centenas de imagens de Huygens revelaram uma paisagem aparentemente esculpida pela erosão, com canais de drenagem, características do litoral e até objetos em forma de seixos na superfície. A sonda também confirmou que carbono e nitrogênio são seus principais constituintes.

Agora sabemos que Titã é um mundo com lagos e mares compostos por metano líquido e etano perto de seus polos, com vastas regiões áridas de dunas ricas em hidrocarbonetos que cercam seu equador. E bem abaixo da superfície, Titã abriga um grande oceano interno.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/titan/>

SATURNO – TITÃ



Titã é o único outro lugar no Sistema Solar conhecido por ter um ciclo de líquidos semelhante à Terra fluindo por sua superfície, à medida que o planeta percorre suas estações. Cada temporada de Titã dura cerca de 7,5 anos terrestres. O tempo em Titã apresenta tempestades de metano no polo norte.

Dunas de areia ondulantes, como as do deserto árabe da Terra, podem ser vistas nas regiões equatoriais escuras de Titã. Acredita-se que essa areia não é feita de silicatos como na Terra, mas de gelo de água sólida revestido com hidrocarbonetos que caem da atmosfera. As imagens mostram que as dunas geladas de Titã são gigantescas, atingindo, em média, de 1 a 2 quilômetros de largura, centenas de quilômetros de comprimento e 100 metros de altura.

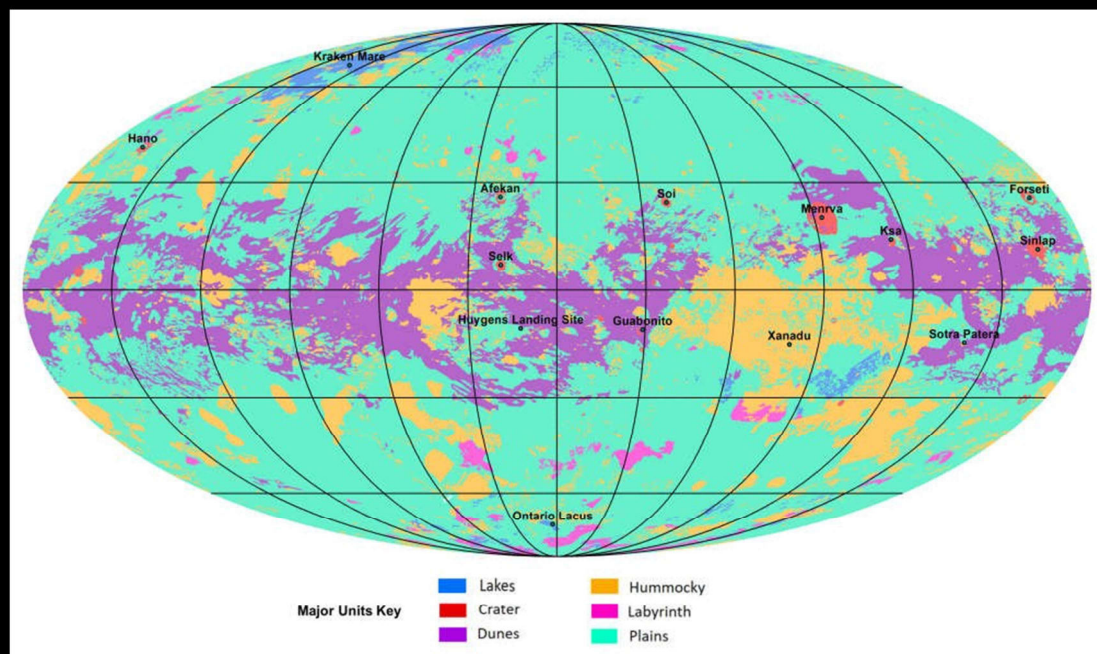
A sonda Huygens fez as primeiras medições diretas da atmosfera mais baixa de Titã, incluindo perfis de altitude dos constituintes gasosos, proporções isotópicas e gases traços (incluindo compostos orgânicos), aerossóis na atmosfera e confirmou que carbono e nitrogênio são seus principais constituintes.

A variedade de produtos químicos observados indica uma química rica e complexa, originária do metano e do nitrogênio e evoluindo para moléculas complexas, formando eventualmente a fumaça que envolve todo o satélite. Acredita-se que a chuva de metano e etano caia das nuvens na atmosfera de Titã, mas a fonte final do metano ainda não está clara.

As numerosas medidas de gravidade das sondas Cassini e Huygens revelaram a existência de um oceano interno de água líquida e amônia sob sua superfície, a cerca de 55 a 80 quilômetros abaixo da superfície. A descoberta de um oceano global de água líquida adiciona Titã aos poucos mundos em nosso Sistema Solar que podem potencialmente conter ambientes habitáveis.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/titan/>

SATURNO – TITÃ



Mapa global geológico de Titã. (Foto: NASA/JPL-Caltech/ASU)

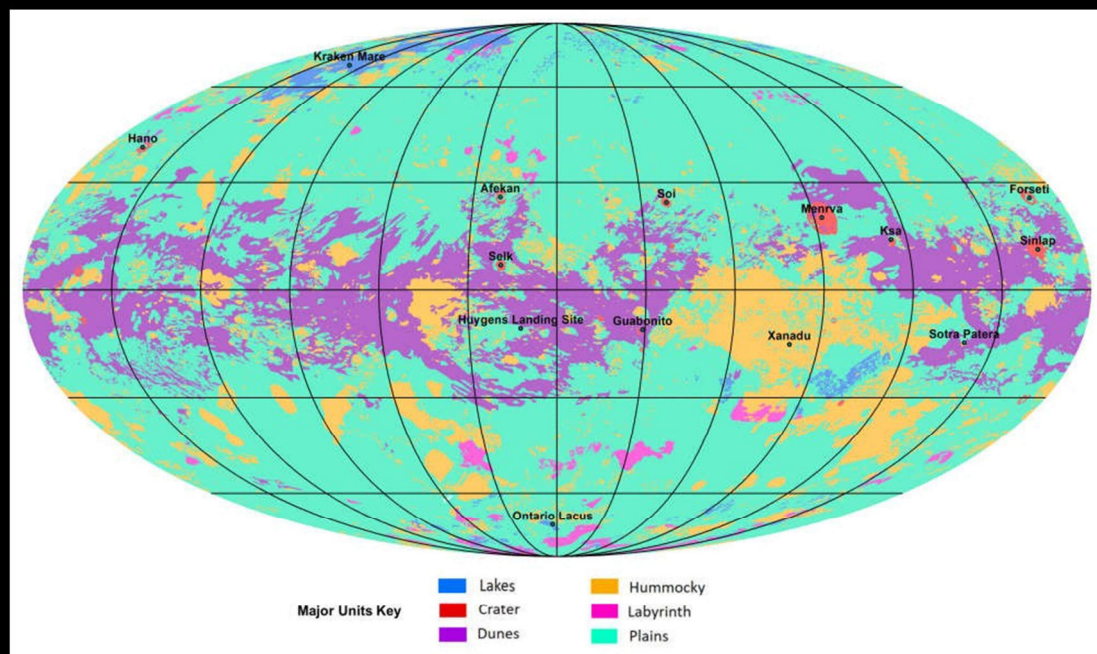
A Figura acima mostra a projeção Mollweide do primeiro mapa geológico global de Titã, baseada em radar e imagens visíveis e infravermelhas da missão Cassini da NASA, que orbitou Saturno de 2004 a 2017. *NASA / JPL-Caltech / ASU*

Esse mapa mostra as características geológicas únicas e como elas evoluíram ao longo do tempo. O mapa é ainda mais fascinante porque mostra que os mesmos processos geológicos que funcionam na Terra também funcionam em Titã. Somente em Titã, a temperatura é tão fria (98 K ou -290 ° F) que qualquer líquido que esculpe sua superfície não é água, mas *hidrocarbonetos*, principalmente metano e etano.

As dunas dominam as latitudes equatoriais de Titã e ocupam cerca de um quinto da superfície total. Medidas anteriores mostraram que essas dunas são muito parecidas com as que serpenteiam pelos desertos da Terra, exceto que a “areia” é feita de hidrocarbonetos sólidos. Eles têm cerca de 1 a 2 km de largura, 1 a 4 km de distância e 80 a 130 metros de altura, atingindo ou superando a altura da Estátua da Liberdade. Dunas parecem estar entre as características mais jovens de Titã.

Lagos, como as dunas, são características mais recentes do Titã que tendem a se agrupar nos polos. Os lagos podem estar secos ou úmidos, mas a maioria deles é encontrada ao redor do polo norte - as mudanças climáticas globais podem ser responsáveis pela dicotomia. Grandes lagos parecem ter inundado, enquanto lagos menores têm lados íngremes que ainda carecem de explicação. Ligiea Mare é um lago grande e cheio de metano.

SATURNO – TITÃ



Mapa global geológico de Titã. (Foto: NASA/JPL-Caltech/ASU)

As planícies são regiões planas e sem características que representam quase dois terços (65%) da superfície de Titã. Elas aparecem escuras nas imagens de radar, mas os espectros mostram que elas tendem a reter material varrido pelo vento de regiões próximas.

Os labirintos são estruturas fascinantes que parecem um terreno cárstico (tipo de relevo geológico caracterizado pela dissolução química (corrosão) das rochas, que leva ao aparecimento de uma série de características físicas, tais como cavernas, dolinas (depressão no solo característica de relevos cársticos), vale seco vale cegos, rios subterrâneos, paredões rochosos expostos e outras figuras. Esses terrenos cobrem cerca de 2% da superfície de Titã.

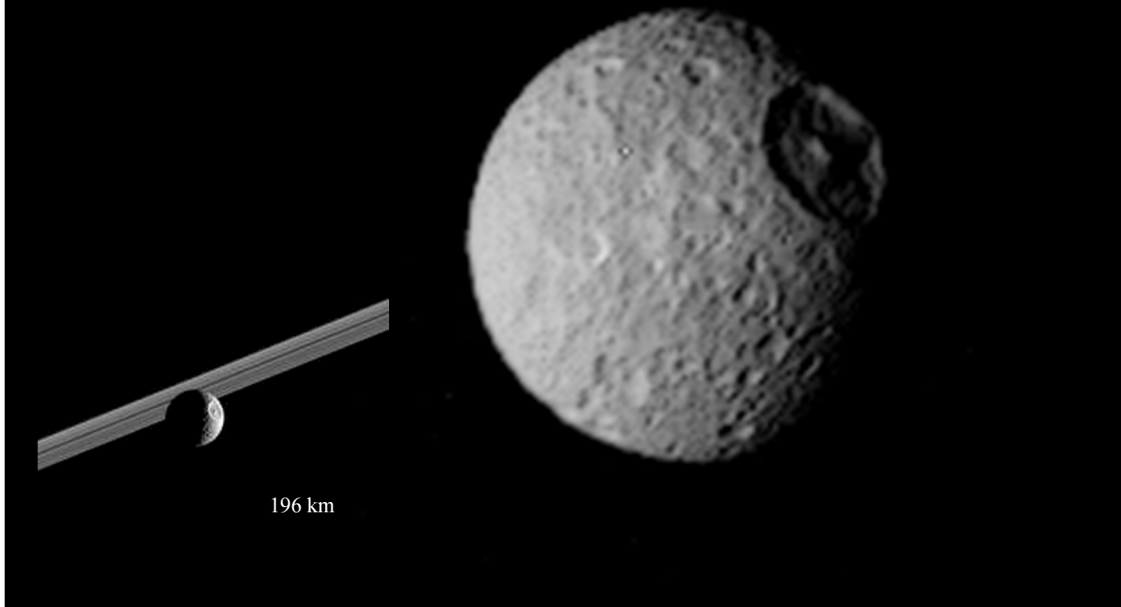
Crateras representam menos de 1% da superfície de Titã. Os espectros mostram que os impactos escavaram um pouco de gelo aquático. Os que estão lá podem ter várias centenas de milhões de anos, mas vários processos que corroem a superfície de Titã acabaram com os mais antigos.

As regiões designadas como *hummocky* (estrutura sedimentar ondulada truncada, formada por uma combinação de um fluxo unidirecional com outro oscilatório) consistem em colinas e montanhas, tipicamente de alguns a dezenas de quilômetros de comprimento e alguns quilômetros de altura. Estes estão entre os recursos mais antigos do Titã. Como nas crateras, os espectros das regiões *hummocky* revelam água-gelo, apoiando a ideia de que o terreno irregular, juntamente com as crateras escavadas, poderia representar restos expostos de uma crosta gelada coberta de hidrocarbonetos.

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.



Mimas

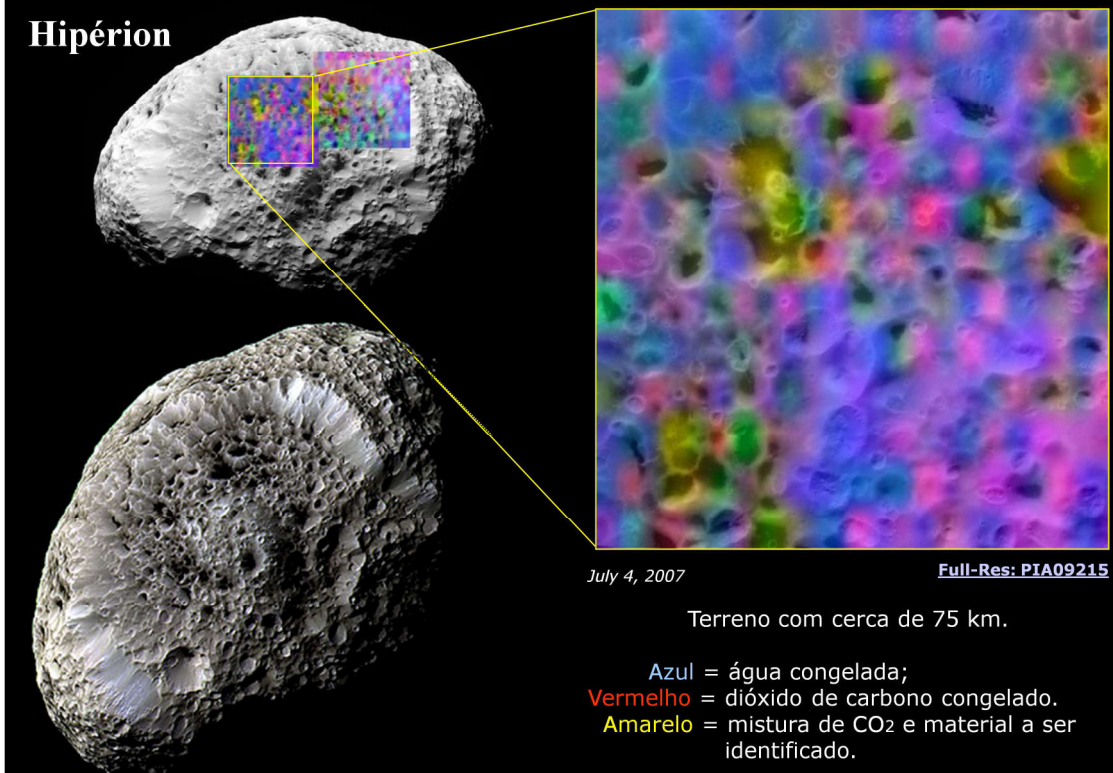
Foi descoberto em 17 de setembro de 1789 pelo astrônomo inglês William Herschel. Até a missão Voyager, ele não passava de um ponto brilhante no céu. A sonda Cassini fez várias aproximações e forneceu imagens detalhadas de Mimas.

Com menos 198 quilômetros de raio médio (médio porque ele é um ovóide com 207 x 197 x 191 quilômetros), Mimas é coberto por crateras. é o menor e o mais próximo e Saturno. Sua baixa densidade sugere que ele consiste quase inteiramente em gelo de água, que é a única substância já detectada em Mimas. A maior parte da superfície de Mimas está saturada com crateras de impacto que variam em tamanho até mais de 40 quilômetros de diâmetro. Sua característica mais marcante é uma gigantesca cratera de impacto - chamada Herschel, em homenagem ao seu descobridor – que mede 130 quilômetros de diâmetro - um terço do diâmetro dele - com paredes externas de cerca de 5 quilômetros de altura e um pico central de 6 quilômetros de altura. O impacto que explodiu esta cratera em Mimas provavelmente chegou perto de quebrar o satélite. As ondas de choque do impacto de Herschel podem ter causado as fraturas, também chamadas “chasmata”, no lado oposto de Mimas.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/hyperion/in-depth/>

SATURNO – outros satélites

Hipérion



Hipérion

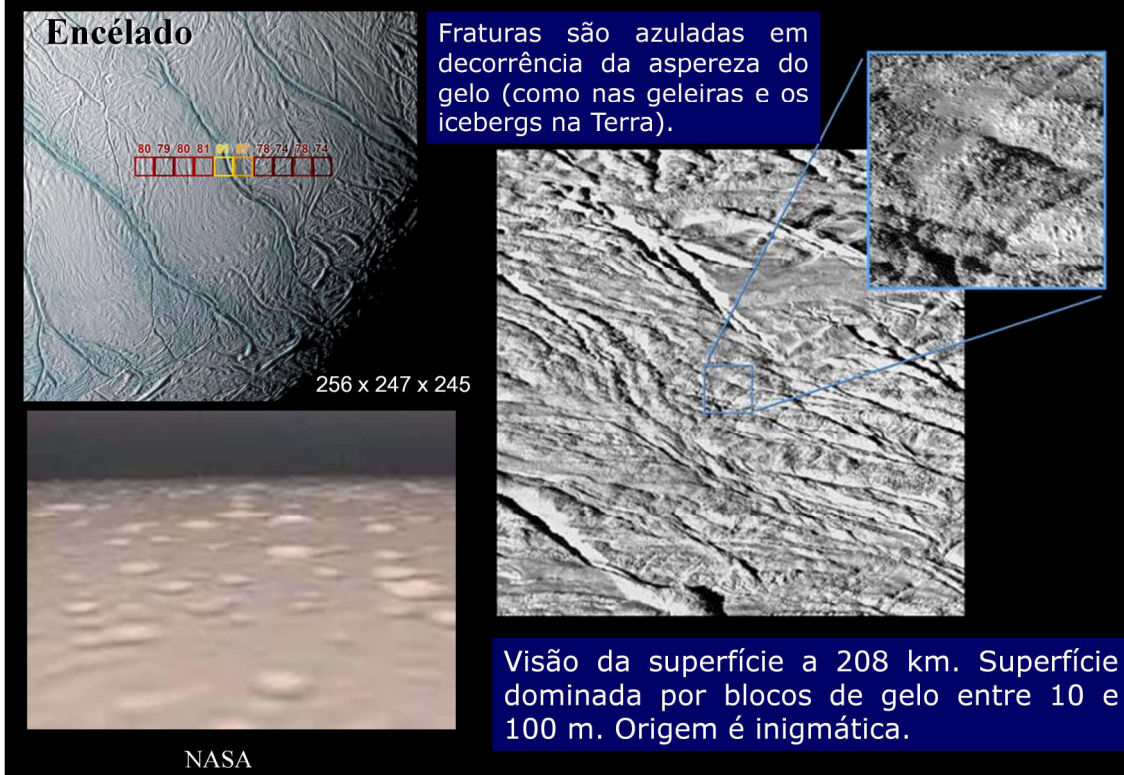
William Lassell descobriu Hyperion em 1848. Nesse mesmo ano, William Cranch Bond, com seu filho George Phillips Bond, descobriu o satélite independentemente. Todos os três homens são creditados em conjunto com a descoberta.

Hipérion é o maior satélite irregular e não esférico de Saturno. Seu tamanho é 410 x 260 x 220 quilômetros. Considerando sua forma estranha, ele é provavelmente um remanescente de um corpo maior que foi destruído por um grande impacto. A densidade de Hipérion é um pouco mais de 0,5 g/cc, compatível com um corpo feito de gelo de água com lacunas (porosidade) de mais de 40%. Além disso, materiais mais leves, como metano congelado ou dióxido de carbono, podem fazer parte do satélite. Isso é consistente com o conceito de Hipérion ter sido formado pelo acúmulo de vários corpos menores de gelo e rocha, mas não tendo gravidade suficiente para compactá-los.

A característica mais notável do Hipérion em close-up é sua superfície com crateras profundas. As crateras de Hipérion são particularmente profundas e não apresentam raios significativos de ejeção (embora pareça ter havido queda ou deslizamento de terra dentro de muitas das maiores crateras). O resultado é uma aparência curiosamente perfurada, semelhante à superfície de uma esponja ou de um ninho de vespas. Muitas das paredes da cratera de Hipérion são brilhantes, o que sugere uma abundância de gelo d'água. Os pisos da cratera são principalmente as áreas do albedo mais baixo e da maior coloração vermelha. Isso pode ocorrer porque a temperatura média de aproximadamente 180 graus centígrados pode estar próxima o suficiente de uma temperatura que faria sublimar os voláteis, deixando os materiais mais escuros acumulados nos pisos da cratera. Esse cenário se encaixa com alguns dos pisos mais recentes da cratera, sendo gelo de água brilhante.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/hyperion/in-depth/>

SATURNO – outros satélites



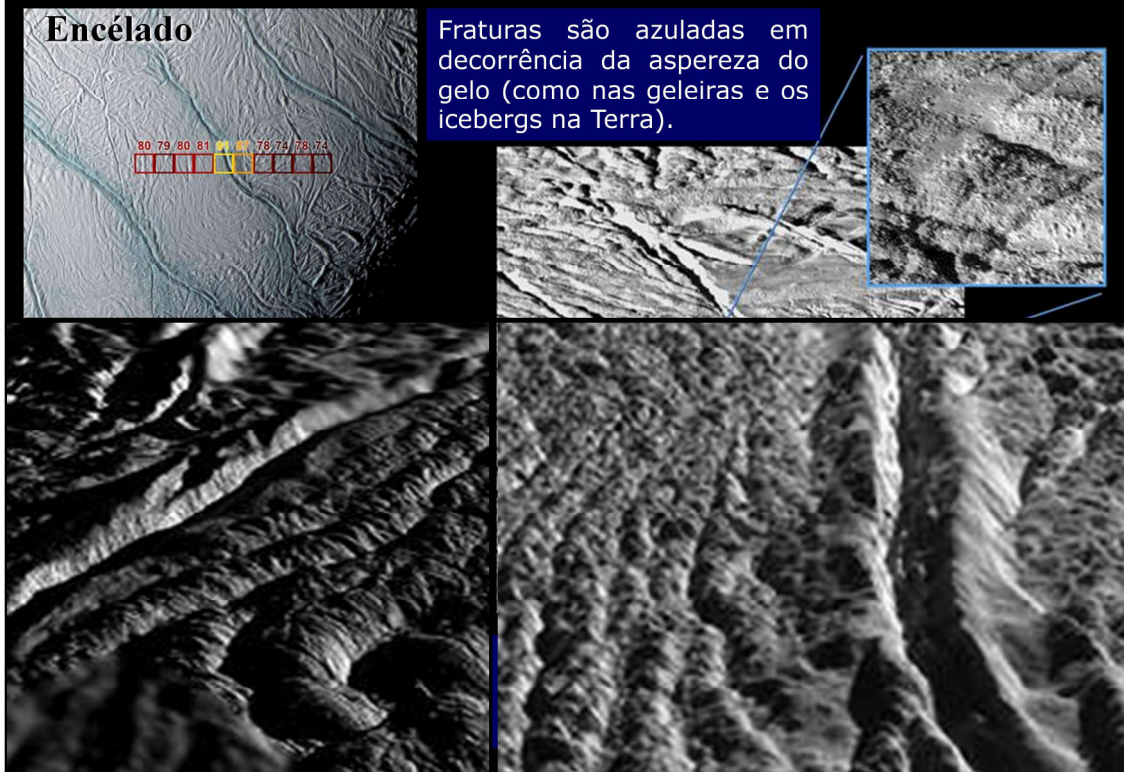
Já discutimos algumas características de Encélado quando abordamos os anéis de Saturno, mais especificamente o anel E. Agora, vamos falar mais das características deste satélite único.

Durante o período que antecedeu a missão Cassini (), não sabíamos que Encélado era o mundo mais brilhante do Sistema Solar ou como ele se relacionava com o anel E de Saturno. A Cassini descobriu que tanto o revestimento fresco em sua superfície quanto o material gelado no anel E se originam de respiradouros conectados a um oceano de água salgada subterrâneo que pode hospedar respiradouros hidrotérmicos no fundo provavelmente rochoso. Por isso, este satélite apresenta-se como um dos destinos científicos mais interessantes do Sistema Solar, já que jatos semelhantes a gêiseres lançam vapor de água e partículas de gelo de um oceano subterrâneo sob a crosta gelada de Encélado.

As descobertas começaram a tomar forma em 2005, quando as câmeras da Cassini obtiveram as primeiras imagens detalhadas da região polar sul de Encélado. As imagens revelavam um terreno surpreendentemente jovem e complexo, quase inteiramente livre de crateras de impacto. A área é repleta de rochas e superfícies do tamanho de uma casa esculpidas por padrões tectônicos exclusivos desta região do satélite. Para surpresa de todos, a Cassini registrou uma enorme nuvem de vapor de água sobre a área e fraturas relativamente quentes na crosta que está fornecendo a nuvem de vapor de água e partículas de gelo que se estendem para o espaço. Há evidências de os jatos se originam perto dos pontos mais quentes das fraturas.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/enceladus/>

SATURNO – outros satélites



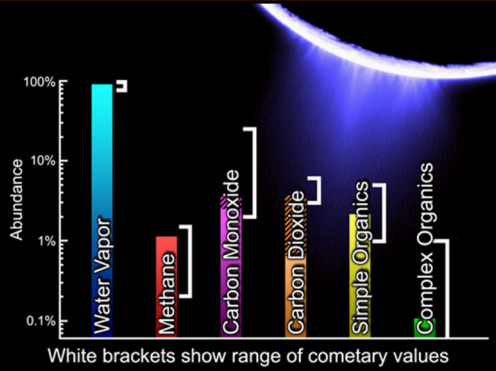
Durante um sobrevôo em 2008, os instrumentos da Cassini coletaram amostras da pluma diretamente e detectaram uma surpreendente mistura de gases voláteis, vapor de água, dióxido de carbono e monóxido de carbono, além de materiais orgânicos. A densidade de materiais orgânicos era cerca de 20 vezes mais densa que o esperado.

O terreno rachado que se estende pelo polo sul está em movimento constante, se estendendo em alguns lugares e se curvando em outros por decorrência dos empuxos das forças gravitacionais exercidas por Saturno. É possível que Encélado seja aquecido por um mecanismo de maré semelhante à lua de Júpiter, Io.

Os dados de gravimetria da Cassini sugerem um grande mar com cerca de 10 quilômetros de profundidade, abaixo da crosta de gelo de 30 a 40 quilômetros de espessura.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/missions/cassini/science/enceladus/>

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



Cassini / NASA

SATURNO – outros satélites

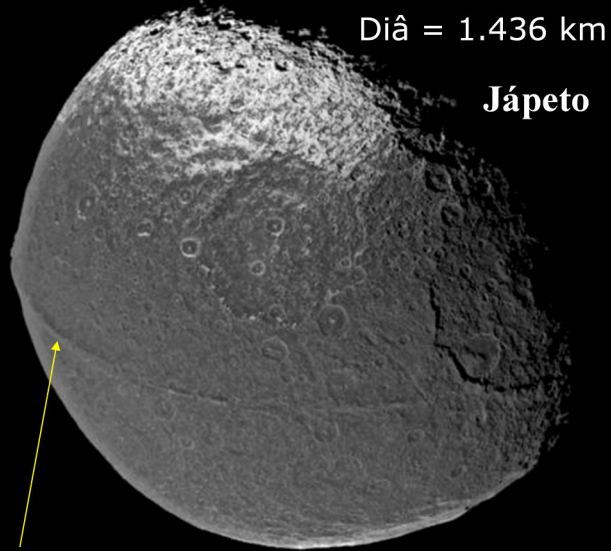
- Cena dominada por região escura, fortemente marcada por crateras (Cassini Regio), que cobre praticamente um hemisfério.

- Movimento sincronizado com Saturno.

- Albedo: ~4% nas partes escuras e ~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?



Iapetus (ou Júpeter) foi chamado o satélite yin e yang (opostos) porque seu hemisfério principal tem albedo tão escuro quanto o carvão (0,03-0,05 com um leve tom avermelhado) e seu hemisfério oposto é muito mais brilhante em (albedo 0,5-0,6). Ele possui um raio médio de 736 quilômetros e uma densidade de apenas 1,2 vezes a da água líquida.

Giovanni Cassini descobriu Júpeter em 25 de outubro de 1671. Ele orbita a 3.561.000 quilômetros) de Saturno. A grande distância das forças de maré de Saturno e da maioria das outros satélites e partículas de anéis provavelmente permitiu que a superfície de Iapetus não fosse afetada por episódios de derretimento que poderiam ter causado algum alisamento ou "ressurgimento", como em algumas dos satélites de Saturno. Ele tem movimento síncrono, como a Lua, e mostra sempre a mesma face em relação a Saturno.

Há muito se pergunta por que um hemisfério de Iapetus é tão escuro em comparação com seu outro hemisfério e em comparação com outras superfícies do sistema de Saturno. Iapetus pode estar varrendo partículas das vizinhanças, sobretudo de Phoebe. Se esse é o mecanismo de escurecimento, ele deve renovar constantemente a superfície escura, porque muito poucas crateras brilhantes e frescas são detectadas no terreno escuro. Uma teoria alternativa é que pode haver vulcanismo no gelo distribuindo material mais escuro na superfície. Erupções de hidrocarbonetos semelhantes a vulcões podem formar superfícies escuras, principalmente após reações químicas causadas pela radiação solar.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/iapetus/in-depth/>

SATURNO – outros satélites

Diâ = 1.436 km

Jápeto

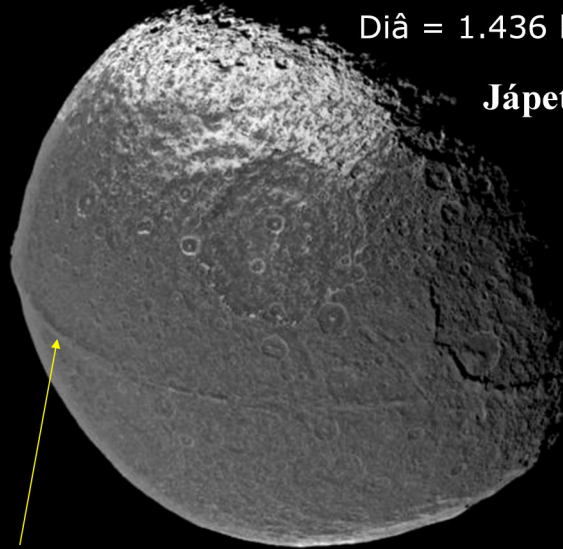
- Cena dominada por região escura, fortemente marcada por crateras (Cassini Regio), que cobre praticamente um hemisfério.

- Movimento sincronizado com Saturno.

- Albedo: ~4% nas partes escuras e ~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?



Em 2007 a sonda Cassini mostrou que um terceiro processo, a segregação térmica, é provavelmente o mais plausível. Jápeto tem uma rotação muito lenta, superior a 79 dias. Uma rotação tão lenta significa que o ciclo diário de temperatura é muito longo, tanto que o material escuro pode absorver o calor do sol e aquecer. O material escuro absorve mais calor do que o material gelado brilhante. Esse aquecimento fará com que qualquer espécie volátil ou gelada dentro do material escuro seja sublimada e se retire para regiões mais frias de Iapetus. Essa sublimação de voláteis faz com que o material escuro fique ainda mais escuro - e faz com que as regiões frias e brilhantes vizinhas se tornem ainda mais brilhantes. Iapetus pode ter sofrido um influxo (possivelmente pequeno) de material escuro de uma fonte externa.

A segunda característica mais notável de Iapetus é sua "cordilheira equatorial", uma cadeia de montanhas de 10 quilômetros de altura que circundam o equador da lua. No lado anti-saturniano de Jápeto (Jápeto tem movimento sincronizado como a Lua), a cordilheira parece se romper e montanhas distintas e parcialmente brilhantes são observadas. Os encontros da Voyager I e da Voyager II forneceram o primeiro conhecimento dessas montanhas e são informalmente denominados Montanhas da Voyager.

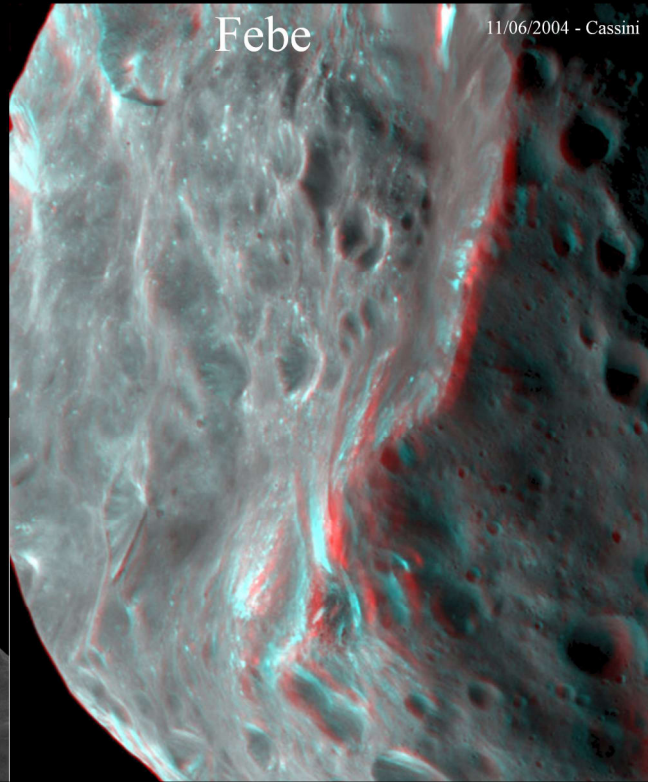
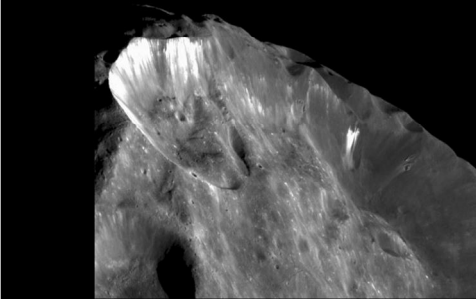
Existem duas teorias sobre como a crista se formou. Há quem pense que a cordilheira foi formada antes quando Jápeto girava muito mais rápido do que hoje; outros acham que a crista é feita de material deixado pelo colapso de um anel.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/iapetus/in-depth/>

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



Febe foi descoberta em agosto de 1898 pelo astrônomo americano William Pickering.

Ele orbitando a uma distância de 12.952.000 quilômetros do planeta, quase quatro vezes a distância de Saturno do que seu vizinho mais próximo Jápeto. Febe e Jápeto são os únicos satélites principais que não orbitam muito perto do plano do equador de Saturno.

Febe é aproximadamente esférico e tem um raio médio de cerca de 106,5 quilômetros, gira em seu eixo a cada nove horas e completa uma órbita completa em torno de Saturno em cerca de 18 meses terrestres. Sua órbita elíptica irregular é inclinada cerca de 175 graus em relação ao equador de Saturno, e o sentido de movimento é retrógrado, ou seja, gira em torno de Saturno na direção oposta à da maioria dos satélites.

Ao contrário da maioria dos principais satélites de Saturno, a superfície de Febe é muito escura e reflete apenas 6% da luz solar que recebe. Sua escuridão e órbita irregular e retrógrada sugerem que Febe é provavelmente um objeto capturado. A escuridão de Phoebe, em particular, sugere que ele veio da região mais externa do Sistema solar, uma área onde há bastante material escuro, por exemplo, do grupo dos objetos centauros. Acredita-se que os centauros sejam corpos do Cinturão de Kuiper que migraram para a região entre o Cinturão Principal de Asteroides e o Cinturão de Kuiper e são considerados uma espécie de tipo intermediário de corpo pequeno, nem um asteroide nem um objeto do Cinturão de Kuiper, muitos comportando-se como cometas (com coma e cauda), e são primordiais; isto é, eles parecem datar da formação do Sistema Solar.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/saturn-moons/phoebe/in-depth/>

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)

http://en.wikipedia.org/wiki/Moons_of_Uranus

Urano é o terceiro planeta mais massivo do Sistema Solar, por isso ele apresenta um conjunto grande de satélite. Os maiores são Titânia e Oberão.

Acima vê-se os nomes e, entre parênteses, o diâmetro em quilômetros. Muitos não têm nomes, mas sigla e ano da descoberta.

A seguir, vamos abordar as características apenas dos satélites principais.

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::

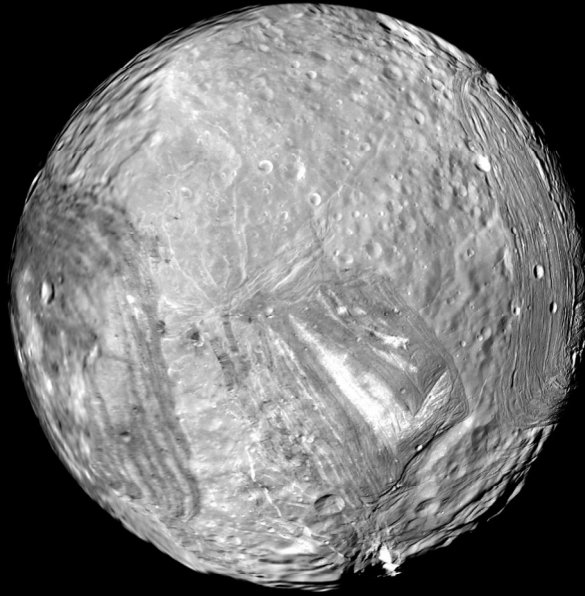
- 11 pequenos, muito escuros, mais internos, descobertos pela Voyager 2,
- 5 grandes
- a maioria tem órbitas circulares no plano equatorial de Urano (portanto bem inclinados relação ao plano da eclíptica);
- os 4 mais externos têm órbitas mais elípticas.

mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

URANO – satélites

- **Miranda**

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



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

Miranda foi descoberto por Gerard P. Kuiper em 16 de fevereiro de 1948 no McDonald Observatory, no oeste do Texas. Foi o último satélite de Urano a ser descoberto antes da visita da Voyager 2 em 1986.

Miranda parece ter sido reunido a partir de partes que não se fundiram corretamente. Com cerca de 500 km de diâmetro, é apenas um sétimo do tamanho da Lua, um tamanho que parece improvável para suportar muita atividade tectônica.

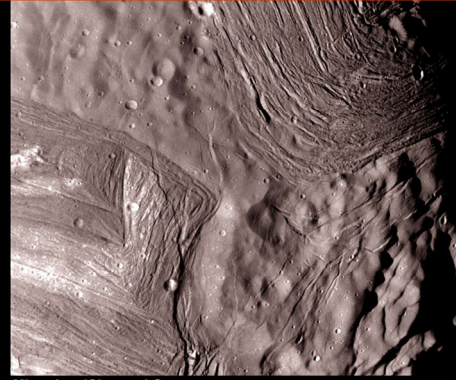
No entanto, Miranda ostenta uma das paisagens mais estranhas e variadas entre os satélites, incluindo três grandes recursos conhecidos como "coronae" (ou coroas), que são únicos conhecidos no Sistema Solar. São coleções de cristas e vales levemente marcados por crateras, separados do terreno com mais crateras (e presumivelmente mais antigo) por limites nítidos. Os desfiladeiros gigantes de Miranda têm até 12 vezes a profundidade do Grand Canyon. Devido à baixa gravidade de Miranda e aos grandes penhascos, uma rocha deixada na beira do penhasco mais alto levaria 10 minutos para chegar ao pé do penhasco.

Há discordâncias sobre quais processos são responsáveis pelas características de Miranda. Uma possibilidade é que ele tenha sido despedaçado em alguma colisão colossal, e os fragmentos então remontados a esmo. Outro cenário, talvez mais provável, é que as coroas são locais de grandes colisões de meteoritos rochosos ou metálicos que derreteram parcialmente a superfície gelada e resultaram em períodos episódicos de água jorrada para a superfície de Miranda e congelando novamente.

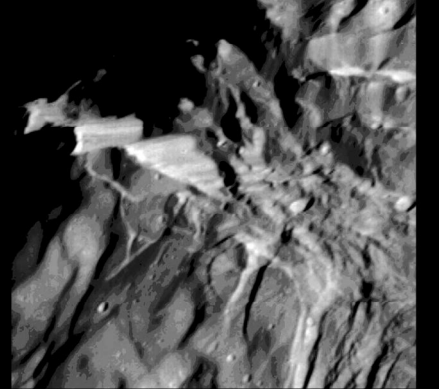
Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/uranus-moons/miranda/in-depth/>

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



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

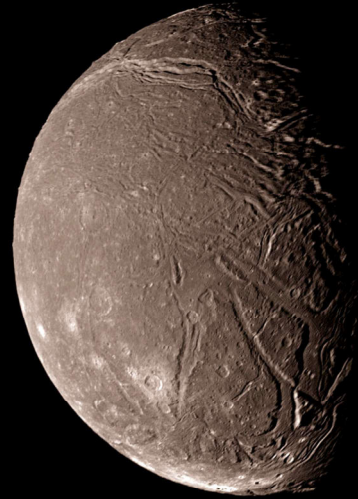
A superfície de Miranda é quase tão brilhante quanto a de Ariel, o mais brilhante dos maiores satélites uranianos, mas nenhum deles reflete mais do que um terço da luz solar incidente. Isso sugere que suas superfícies foram escurecidas por material carbonáceo (rico em carbono). O brilho de Miranda aumenta dramaticamente quando está em oposição - isto é, quando o observador está diretamente entre ele e o Sol. Isso indica que sua superfície é porosa, projetando sombras que diminuem a refletividade quando iluminadas em outros ângulos. Essa textura pode ser o resultado de eras de queda de micrometeoritos no solo.

Pensa-se que todos os satélites de Urano, incluindo Miranda, consistem principalmente em quantidades aproximadamente iguais de gelo de água e rocha silicatada. Ao contrário dos outros quatro principais satélites uranianos, a órbita de Miranda é levemente inclinada.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/uranus-moons/miranda/in-depth/>

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

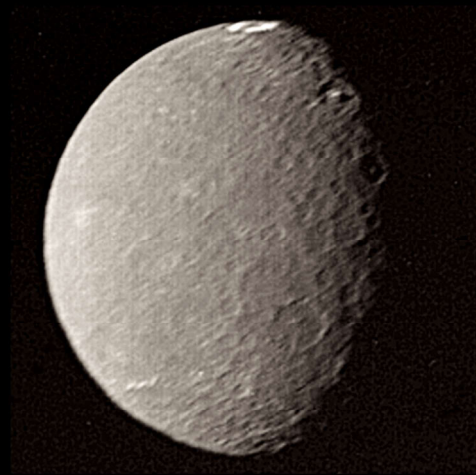
© Copyright Calvin J. Hamilton

mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

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.



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

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.



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

Titânia foi descoberto em 11 de janeiro de 1787 pelo astrônomo britânico William Herschel.

Ele é o maior (1.600 km de diâmetro) satélite de Urano. Imagens tiradas pela Voyager 2 revelaram sinais de que o satélite é geologicamente ativa.

Um sistema proeminente de vales de falha, com cerca de 1.609 quilômetros de comprimento, é visível perto do terminador (linha que separa a parte iluminada da parte escura, ou linha da sombra). As cavidades quebram a crosta em duas direções, uma indicação de alguma extensão tectônica da crosta de Titânia. Depósitos de material altamente refletivo, que podem representar geada, podem ser vistos ao longo das paredes do vale voltadas para o Sol.

Acredita-se que Titânia seja composto de partes iguais de rocha (que podem incluir materiais carbonáceos e compostos orgânicos) e gelo, pois sua densidade é incomumente alta para um satélite uraniano (1,71 g / cm³). A presença de gelo na água é decorre das observações espectroscópicas no infravermelho feitas em 2001-2005, que revelaram gelo na água cristalina na superfície do satélite.

Acredita-se também que Titânia é diferenciado em um núcleo rochoso cercado por um manto gelado. Se verdadeiro, isso significaria que o raio do núcleo é de aprox. 520 km, o que significaria que o núcleo representa 66% do raio do satélite e 58% de sua massa.

Como nos outros satélites de Urano, o estado atual do manto gelado é desconhecido. No entanto, se o gelo contiver amônia suficiente ou outro anticongelante, Titânia pode ter uma camada oceânica líquida no limite do núcleo do manto. A espessura deste oceano, se existir, é de até 50 km e sua temperatura é de cerca de 190 K.

Fontes: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/uranus-moons/titania/in-depth/>
<https://www.universetoday.com/56048/titania/>

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 Titânia.
- Parte das 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.



© Copyright Calvin J. Hamilton

mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Uranus.ppt

Oberão foi descoberto em 11 de janeiro de 1787 por William Herschel.

Ele é o segundo maior satélite de Urano. Oberão é fortemente marcado por crateras de impacto - semelhante a Umbriel - especialmente quando comparado aos outros três satélites de Urano: Ariel, Titânia e Miranda. Como todos os grandes satélites de Urano, Oberão é composto por aproximadamente metade de gelo e metade de rocha. Oberão tem pelo menos uma grande montanha que se eleva a cerca de 6 km da superfície.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/uranus-moons/oberon/in-depth/>

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)

http://en.wikipedia.org/wiki/Moons_of_Neptune

Finalmente Netuno, o mais distante planeta gasoso. O maior satélite de Netuno é Tritão, com características muito parecidas com as de Plutão. Acredita-se que ele tenha sido capturado do Cinturão Kuiper e, pelas características orbitas, ele prevê-se que em futuro distante ele vai cair em Netuno.

Acima vê-se os nomes e, entre parênteses, o diâmetro em quilômetros. Muitos não têm nomes, mas sigla e ano da descoberta.

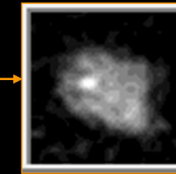
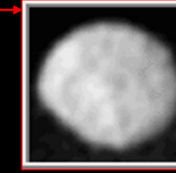
A seguir, vamos abordar as características apenas dos satélites principais.

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° .

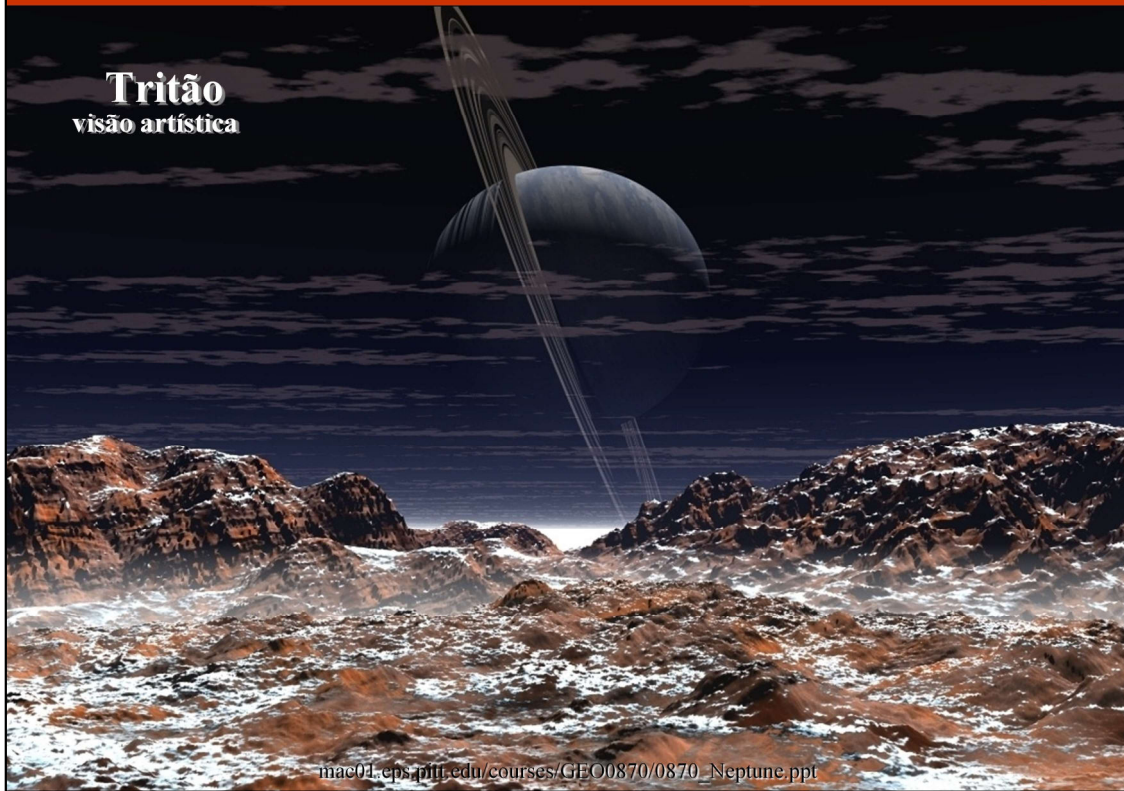
NETUNO – satélites

- **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
- **Galatea:** diâmetro: 158 km .
- **Larissa:** diâmetro: 193 km (208 x 178) .
- **Proteus:** diâmetro: 418 km (436 x 416 x 402).
 - 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.
- **Nereida:** diâmetro: 340 km



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Neptune.ppt

NETUNO – satélites

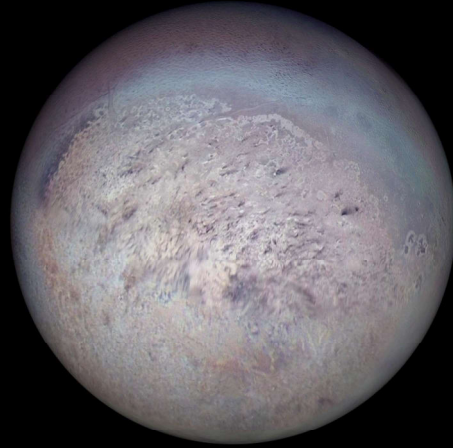


Esta é uma ilustração artística do que seria a superfície de Tritão, tendo ao fundo a visão de Netuno próximo ao horizonte local.

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.



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Neptune.ppt

Tritão foi descoberto em 10 de outubro de 1846 pelo astrônomo britânico William Lassell, apenas 17 dias após a descoberta do próprio Netuno.

Tritão é o maior satélite de Netuno e orbita na direção oposta à rotação de seu planeta - uma órbita retrógrada. Acredita-se que Tritão seja um objeto do Cinturão de Kuiper, capturado pela gravidade de Netuno há milhões de anos. Ele compartilha muitas semelhanças com Plutão, o objeto mais conhecido do Cinturão de Kuiper.

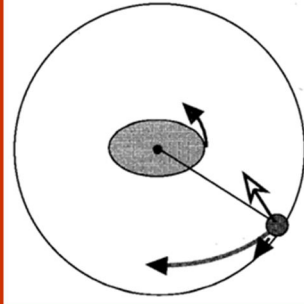
Seu movimento é síncrono, como o da Lua, ou seja, um lado fica sempre de frente para o planeta. Mas por causa de sua inclinação orbital incomum, ambas as regiões polares se revezam de frente para o Sol.

Tritão tem um diâmetro de 2.700 quilômetros. Sua superfície apresenta poucas crateras de impacto, planícies vulcânicas suaves, montes e depressões circulares formadas por fluxos de lava gelada. Tritão consiste em uma crosta de nitrogênio congelado sobre um manto gelado que se acredita cobrir um núcleo de rocha e metal. O satélite tem uma densidade aproximadamente igual o dobro da da água. Essa é uma densidade mais alta que a medida para quase qualquer outro satélite de um planeta externo. Europa e Io (satélites de Júpiter) têm densidades mais altas. Isso implica que Tritão contém mais rocha em seu interior do que os satélites gelados de Saturno e Urano.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/neptune-moons/triton/in-depth/>

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.



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

mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Neptune.ppt

A atmosfera fina de Tritão é composta principalmente de nitrogênio com pequenas quantidades de metano. Essa atmosfera provavelmente se origina da atividade vulcânica de Tritão, que é impulsionada pelo aquecimento sazonal pelo Sol. Tritão, Io e Vênus são os únicos corpos no sistema solar além da Terra que são conhecidos por serem vulcanicamente ativos no momento.

Tritão é tão frio que a maior parte do nitrogênio é condensada como geada, dando à superfície um brilho gelado que reflete 70% da luz solar que a atinge. Dados da Voyager 2 revelam temperaturas de superfície de -235°C ., além de registrar gêiseres ativos, tornando-o um dos poucos satélites geologicamente ativos do Sistema Solar.

Fonte: <https://solarsystem.nasa.gov/moons/neptune-moons/triton/in-depth/>

NETUNO – satélites



Tritão

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.

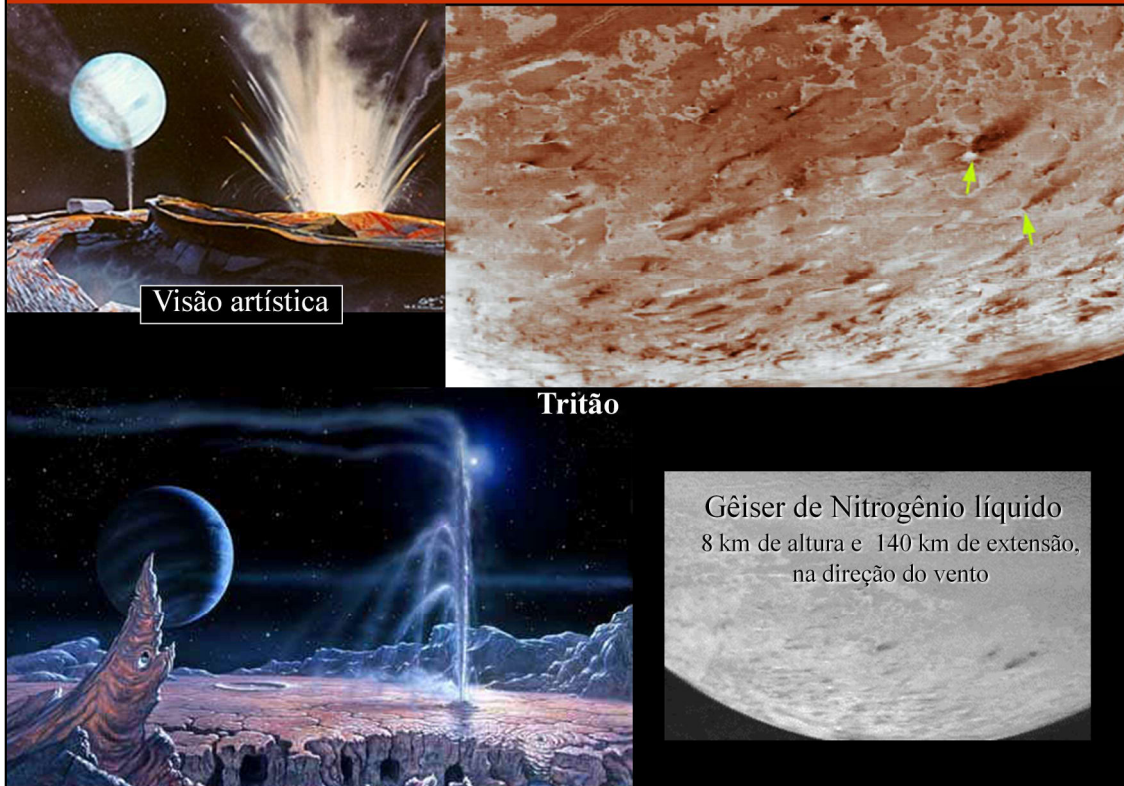


Lago congelado



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

NETUNO – satélites



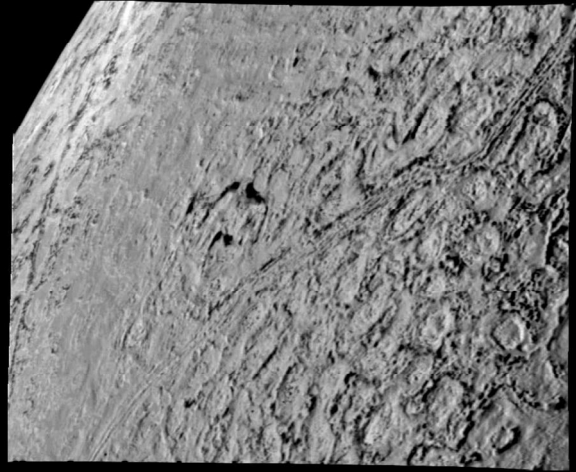
Os jatos de geisers de nitrogênio líquido foram registrados em imagens, como a do canto inferior direito. Mas isso ocorreu por conta do arrastamento dos jatos por ventos locais, que aparecem como longas manchas escuras.

A interpretação é que na superfície, praticamente não há o vento, mas acima de certa altura a atmosfera move-se com velocidade elevada. Como Tritão é pequeno, a gravidade local é baixa e os jatos atingem alturas elevadas, quando, então, são arrastados.

NETUNO – satélites

Tritão (cont.)

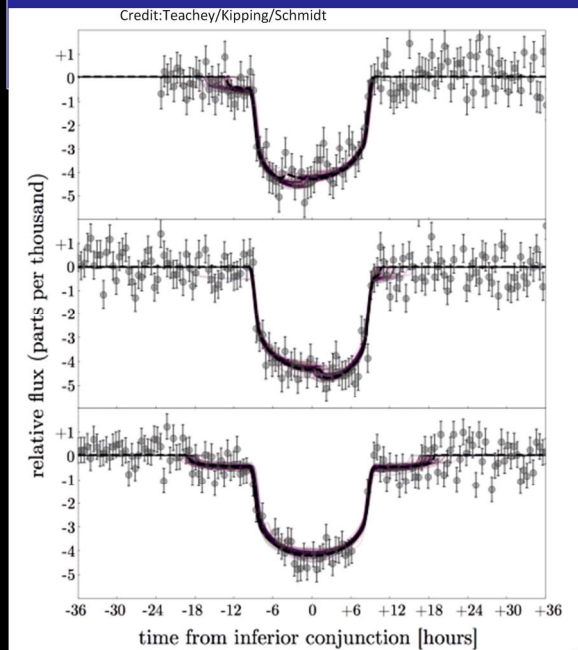
- há poucas **crateras**
- hemisfério sul é coberto por capa de gelo de nitrogênio e metano.
- toda a superfície de Tritão é marcada por um complexo padrão de estrias e vales extensos.
- **Atividade vulcânica**
 - o material ejetado deve ser nitrogênio líquido, poeira e/ou compostos de metano.



mac01.eps.pitt.edu/courses/GEO0870/0870_Neptune.ppt

EXOSATÉLITE

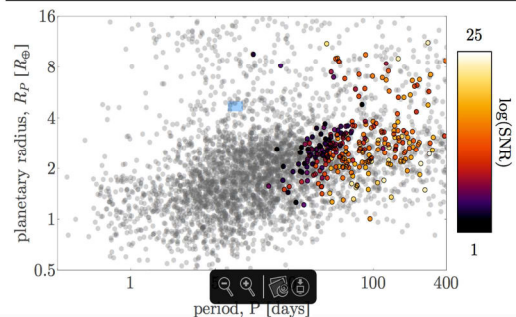
Estrela: Kepler-1625, semelhante ao Sol mas 1,8 Msolar; 4.000 a.l. da Terra,
Exoplaneta: Kepler-1625b;
Massa: de $0,4 M_{\text{Jup}}$ até $75 M_{\text{Jup}}$ (anã marron) ou, ainda, $\approx 0.11 M_{\odot}$ (estrela de massa mínima)
Satélite : de satélite gasoso de massa terrestre e altamente inflado, até rocha-água livre de atmosfera.



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



Por tudo o que conhecemos sobre a formação de sistemas planetários, incluindo a do próprio Sistema Solar, é de se admitir que existam satélites nos exoplanetas. Na realidade é de se esperar que a quantidade de exossatélites seja maior que a dos exoplanetas. As limitações técnicas atuais mantêm esse assunto ainda sob expectativa.

O exemplo acima pode ser uma comprovação de um exossatélite. Sem a presença do satélite (por exemplo, quando está atrás ou na frente do planeta no momento da observação, a curva de luz esperada é a da base. Porém fora desse alinhamento, o satélite aparecer a a curva de luz fica deformada. O grau de deformação depende do tamanho do satélite. Satélites pequenos provocam decaimento quase insignificante de luz.