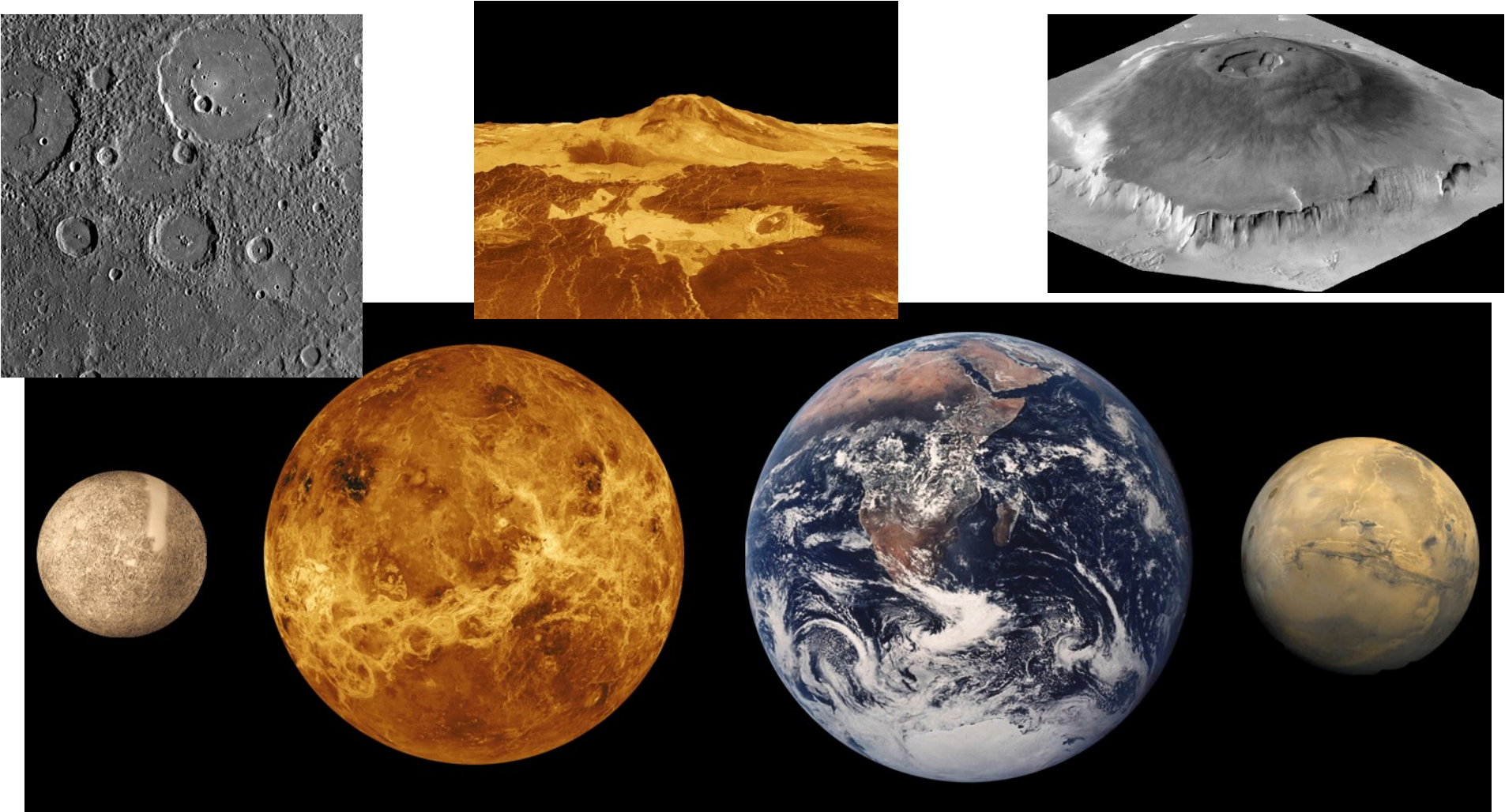


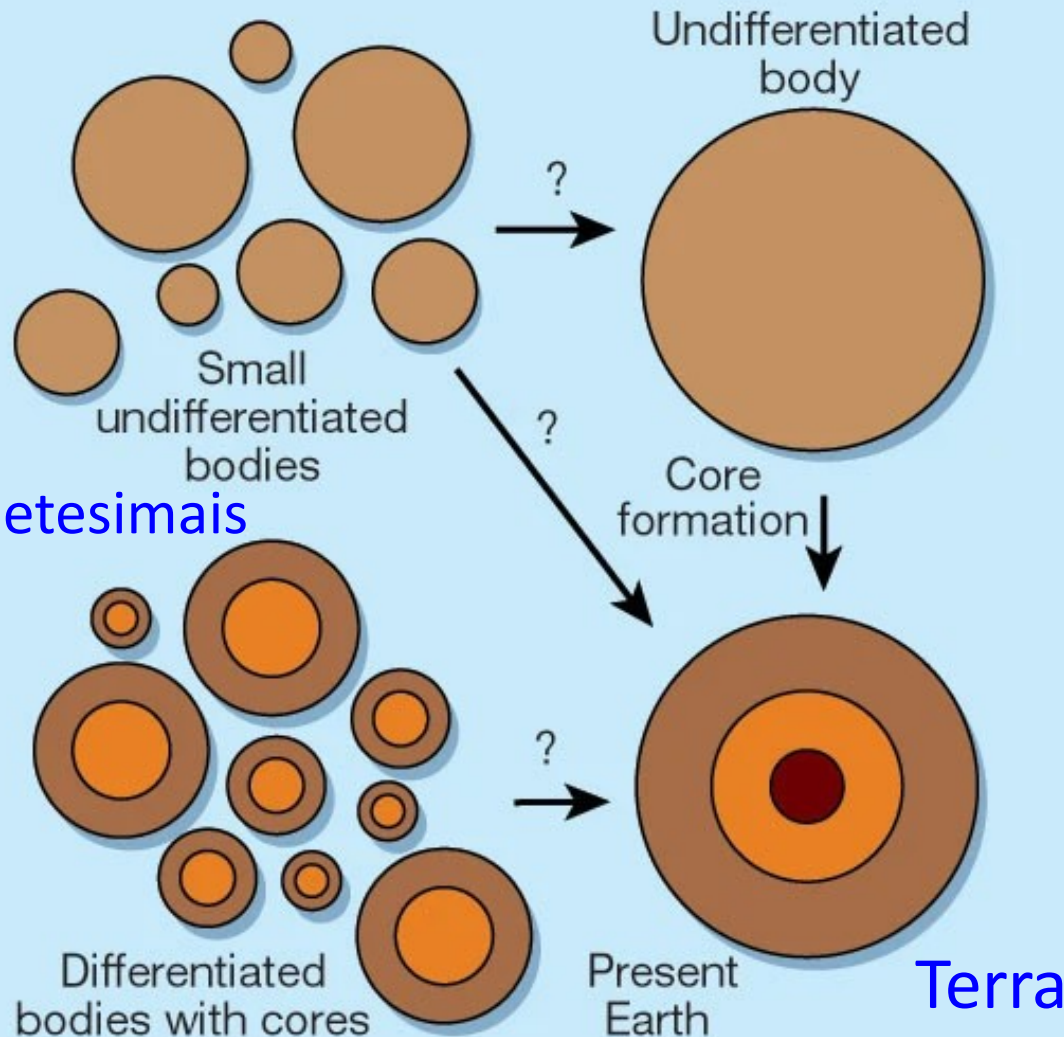
# 6. A superfície dos planetas rochosos



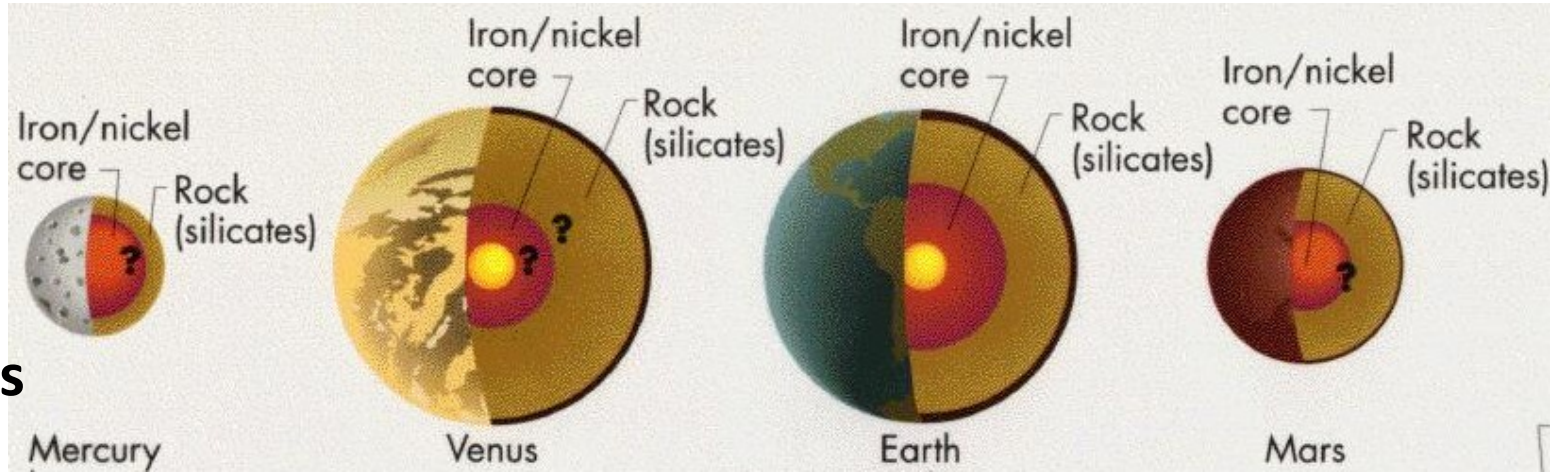
<https://solarsystem.nasa.gov/resources/687/terrestrial-planet-sizes/>

Diferenciação: elementos mais pesados precipitam → núcleo de ferro

A Terra se formou por acreção, por colisões de planetesimais não diferenciados (acima) ou diferenciados (abaixo). Em ambos os casos, o resultado é uma Terra diferenciada, com **metais pesados como o ferro no núcleo, compostos menos densos no manto, e uma crosta de baixa densidade**



Terra, Vênus: 5  
Marte: início de 6  
Mercúrio: fim de 6  
Lua: 7

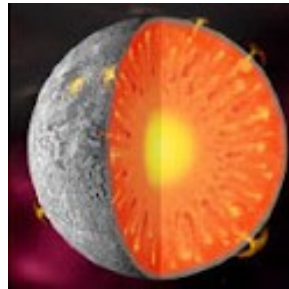


## Evolução dos planetas rochosos

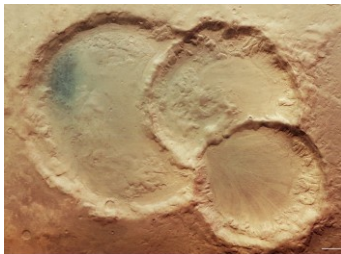
1. Acreção de planetesimais (há 4,6 Gyr)



2. Diferenciação interna e formação de crosta



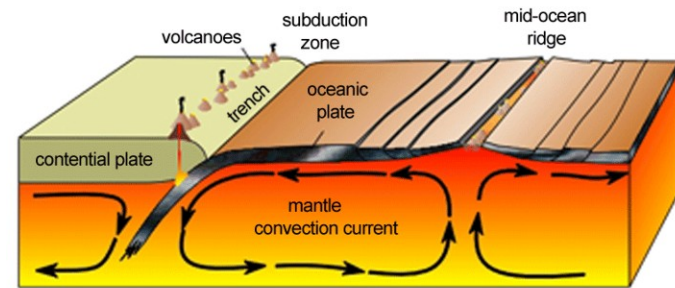
3. Intenso bombardeio tardio  
IBT, 4,1 a 3,8 Gyr



4. Lava fluindo ainda no IBT, pelas fraturas na crosta

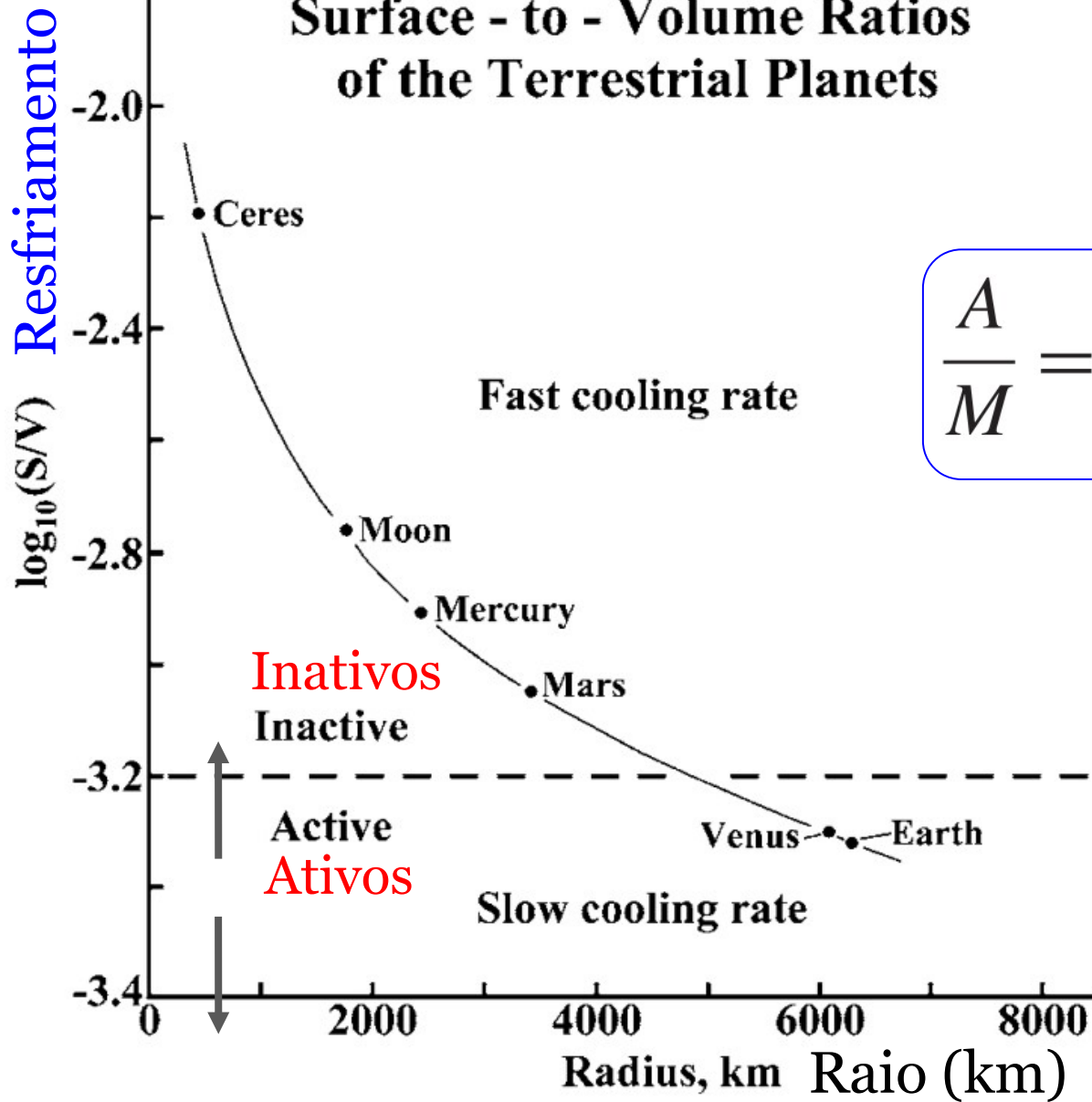


5. Tectónica de placas, começou há 3,5 Gyr?



6. Manto solidifica, Atividade tectônica acaba na superfície

7. Interior esfria. Atividade cessa



Tópico 5: resfriamento é proporcional à área/massa:

$$\frac{A}{M} = \frac{4\pi R^2}{4\pi R^3 \rho_m / 3} = \frac{3}{R\rho_m}$$

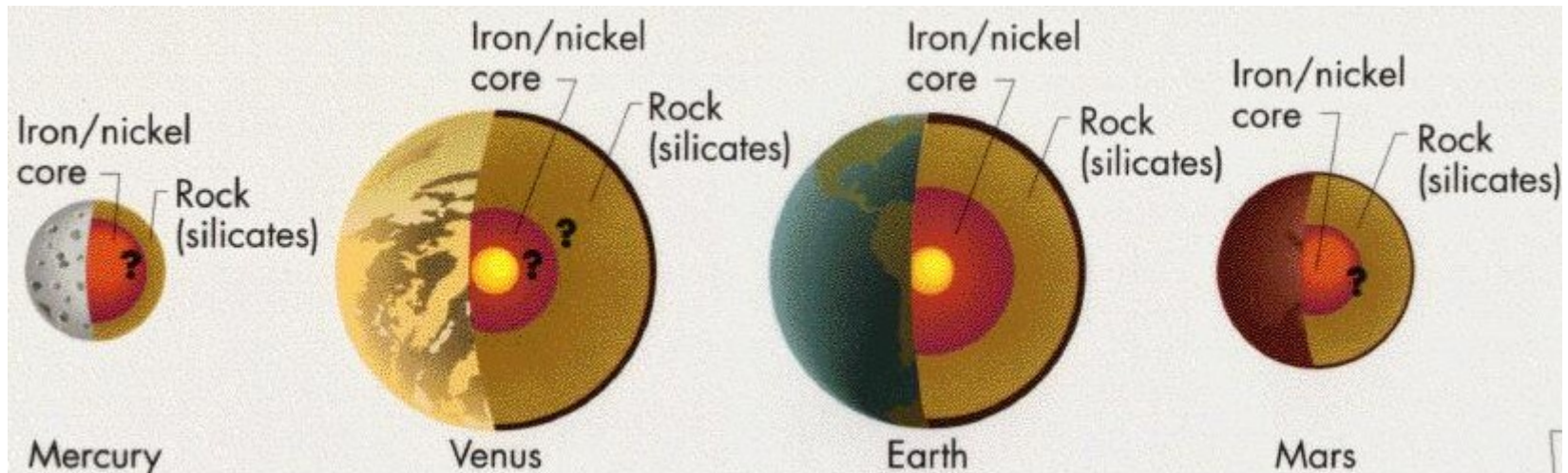
Mais simples, ignorando a densidade  
→ **resfriamento = 3/R**

# Propriedades dos planetas terrestres

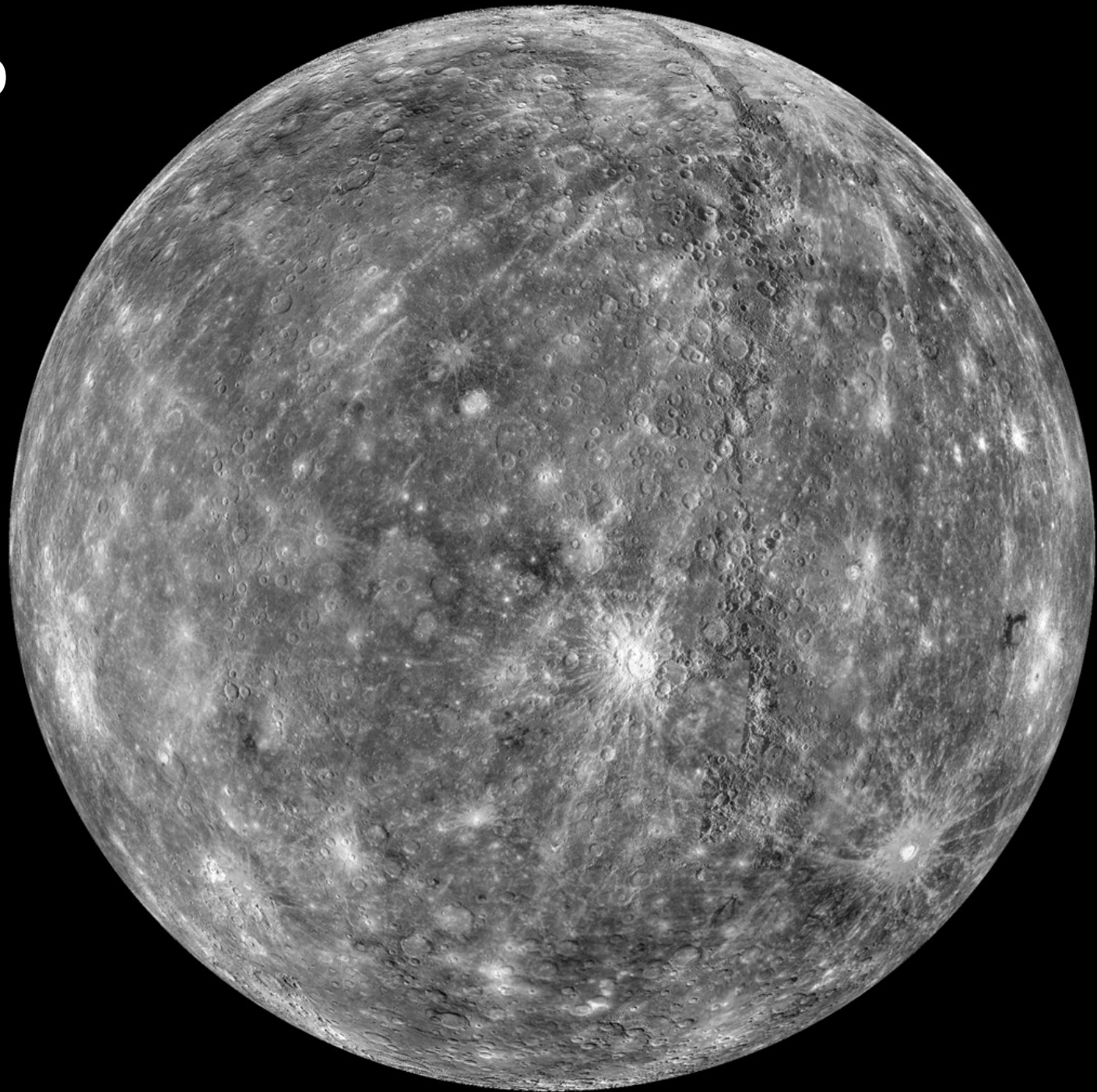
	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte
Radius ( $R_E$ )	0.38	0.95	1.00	0.53
Mass ( $M_E$ )	0.06	0.81	1.00	0.14
Period (days) [orbital]	59	225	365	687
Semi-Major Axis (AU)	0.39	0.72	1.00	1.52
Stellar Flux ( $S_S$ )	6.82	1.91	1.00	0.43
Equilibrium Temp. (K)	440	184	254	210
Surface Temp. (K)	440	737	288	210

Equilibrium temperature was estimated assuming an albedo of 0.3.

<http://phl.upr.edu/press-releases/nasakeplerdiscoversnewpotentiallyhabitableexoplanets>



# Mercúrio

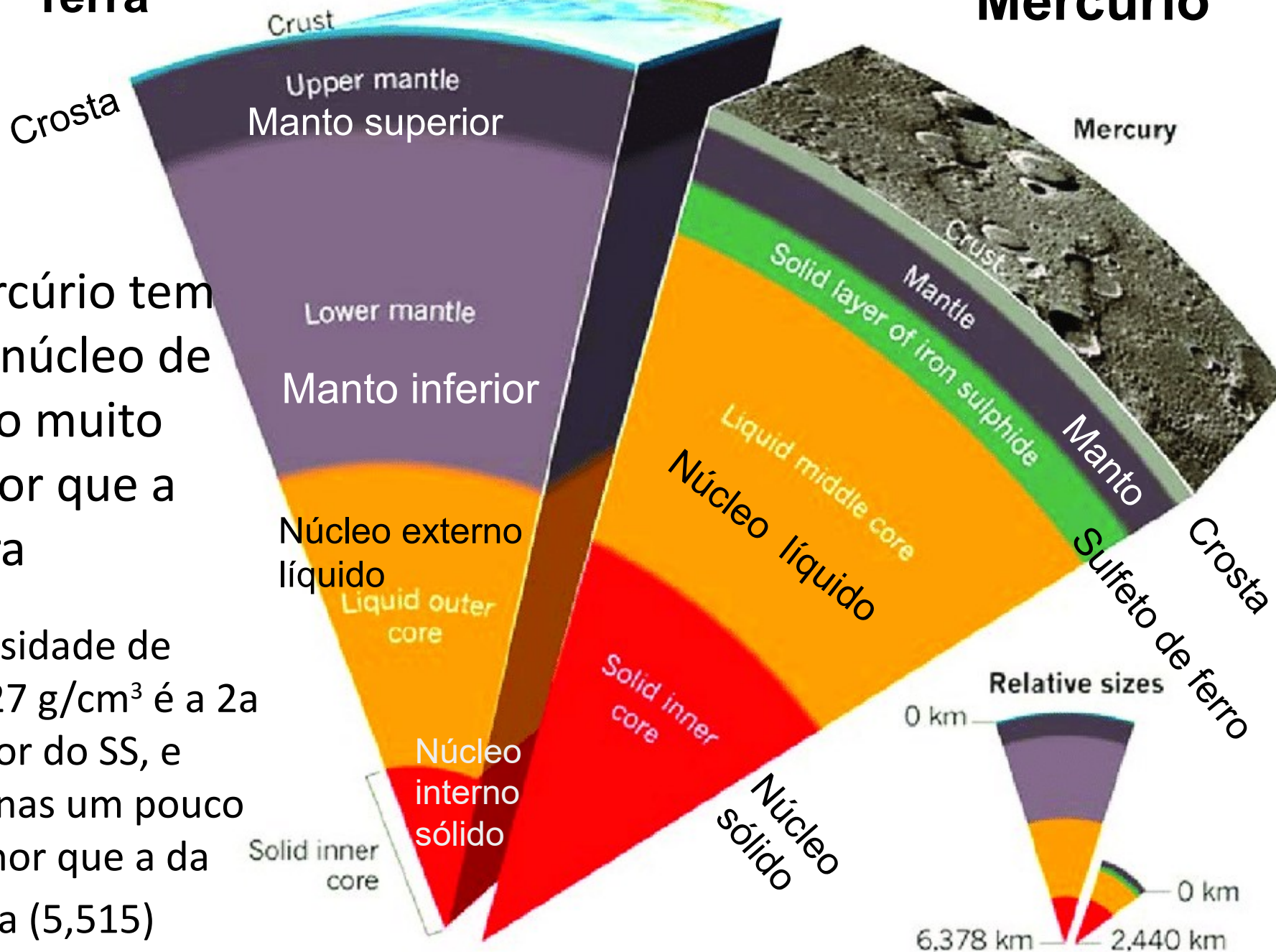


# Terra

# Earth

# Mercúrio

# Mercury



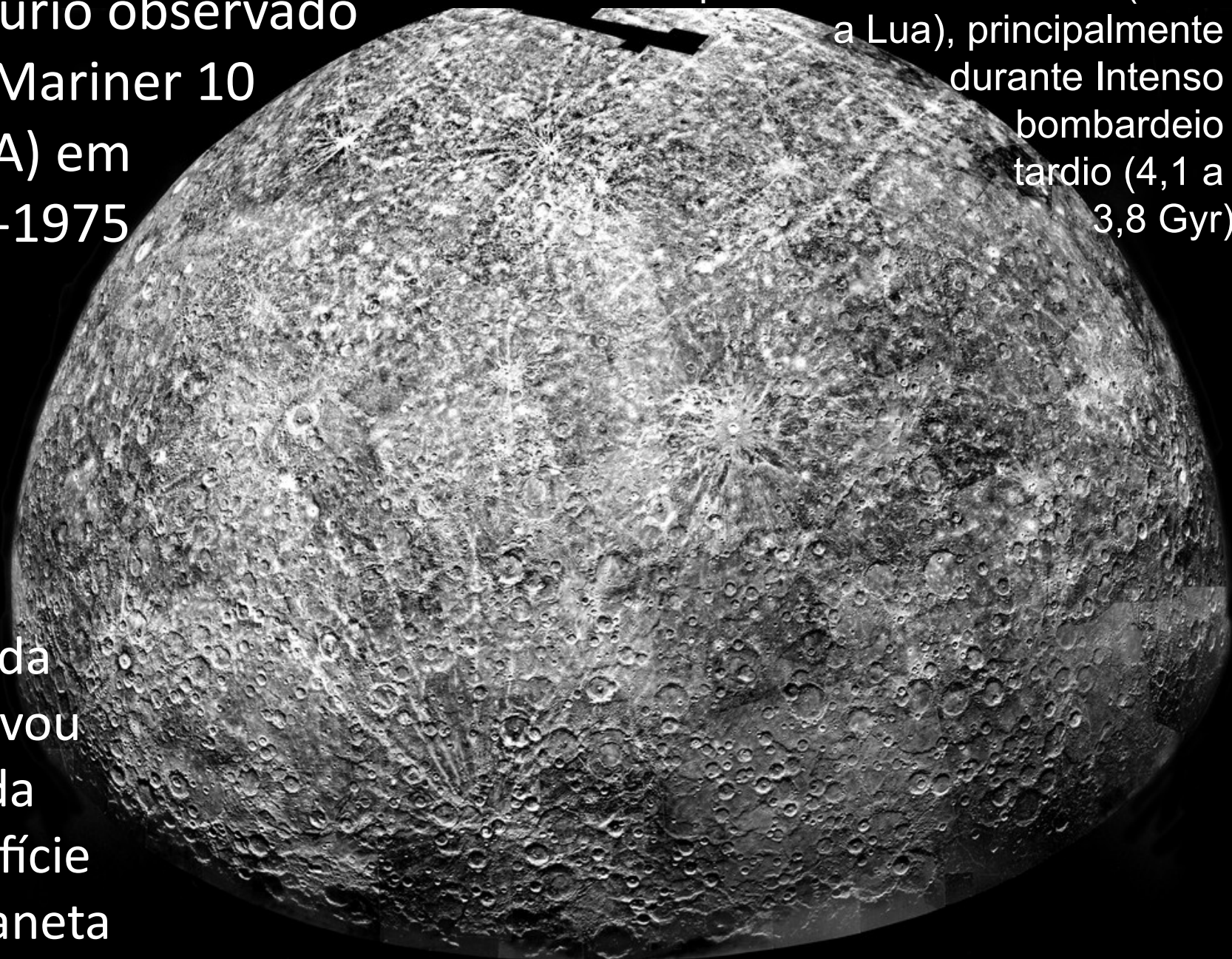
Mercúrio tem um núcleo de ferro muito maior que a Terra

Densidade de 5,427 g/cm<sup>3</sup> é a 2ª maior do SS, e apenas um pouco menor que a da Terra (5,515)

Mercúrio observado  
pela Mariner 10  
(NASA) em  
1974-1975

Superfície muito craterada (como  
a Lua), principalmente  
durante Intenso  
bombardeio  
tardio (4,1 a  
3,8 Gyr)

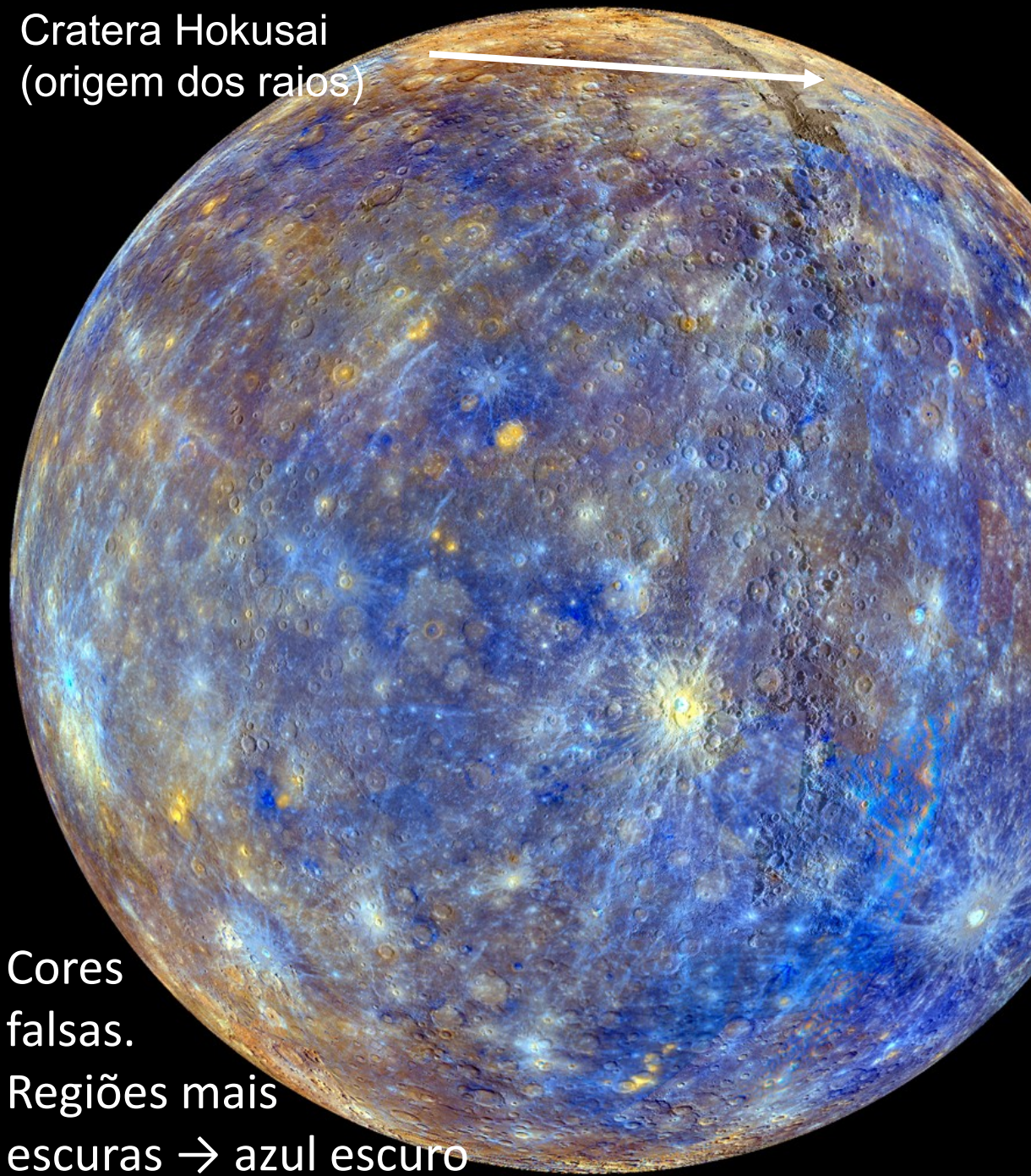
A sonda  
observou  
45% da  
superfície  
do planeta







Cratera Hokusai  
(origem dos raios)

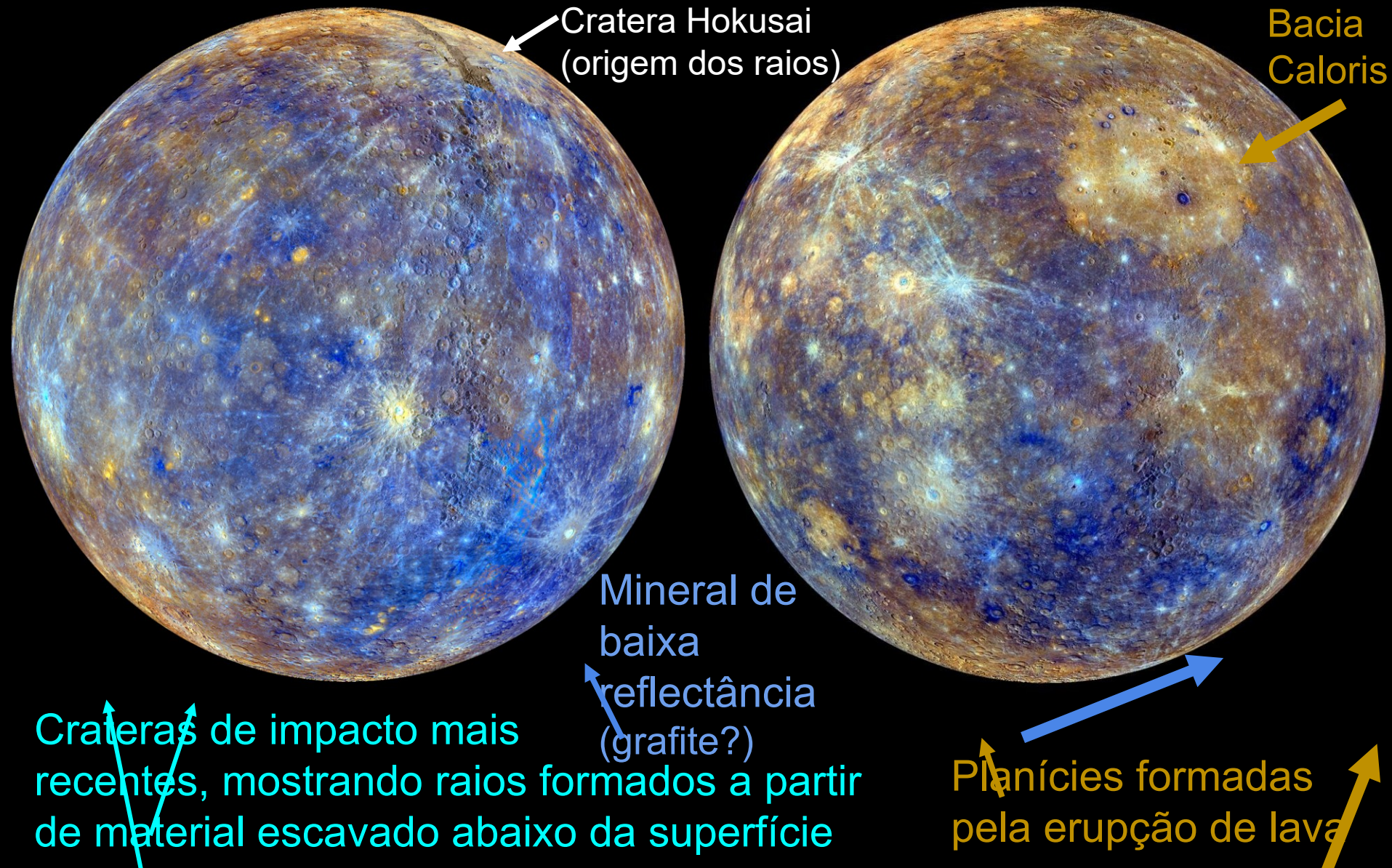


Cores falsas.  
Regiões mais  
escuras → azul escuro

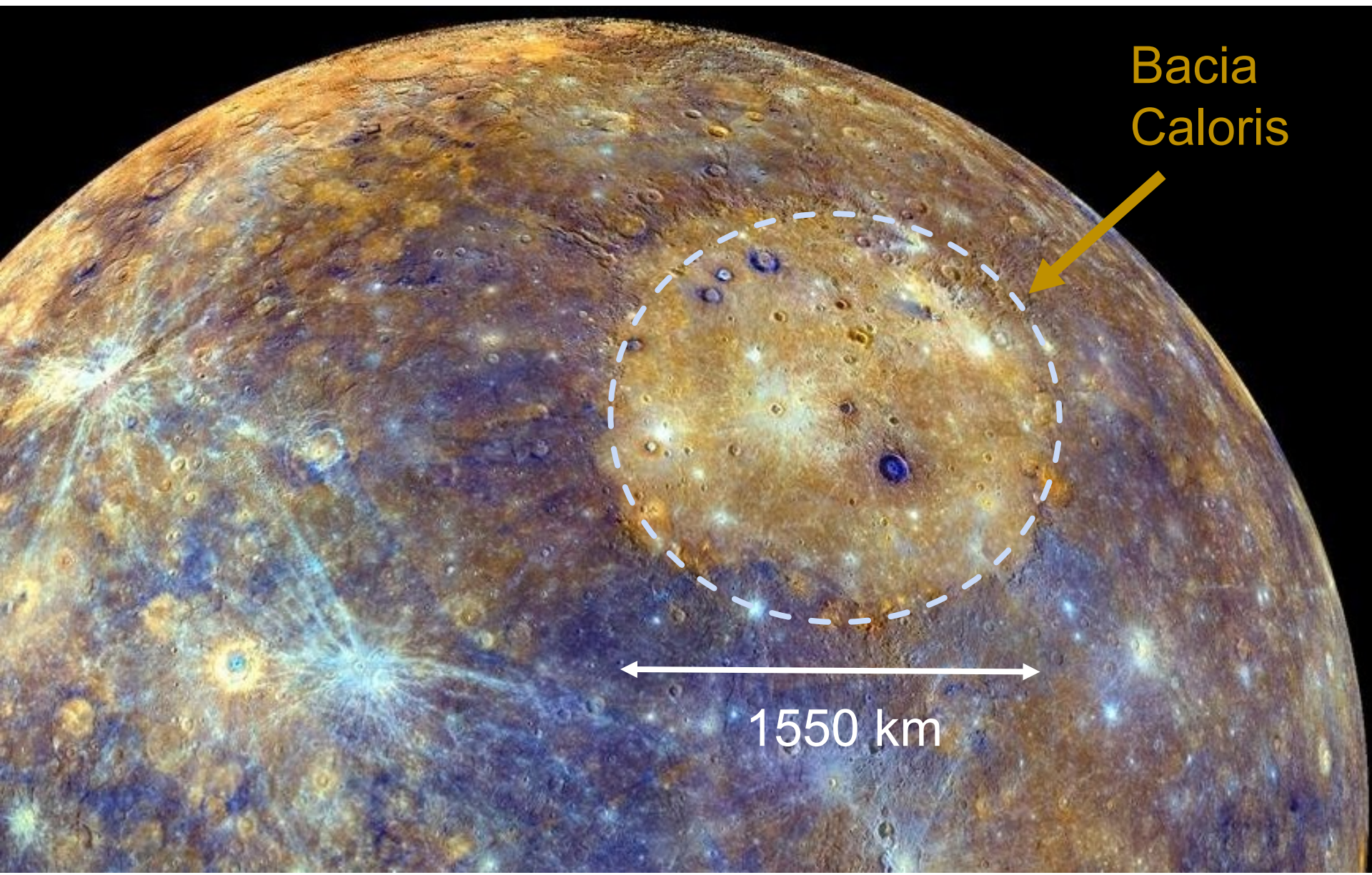
Mercúrio.  
© Messenger  
(NASA, 2011-2015)

# Mercúrio observado pela Messenger (NASA, 2011-2015)

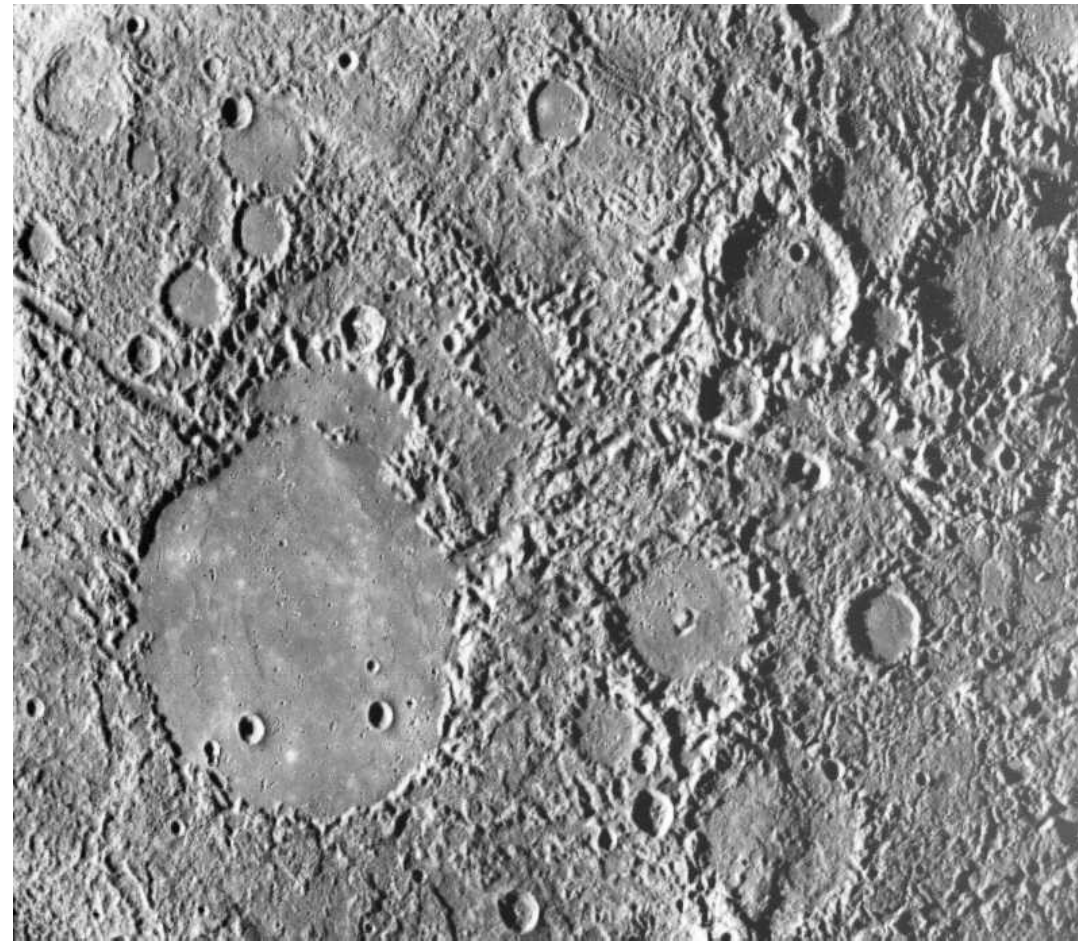
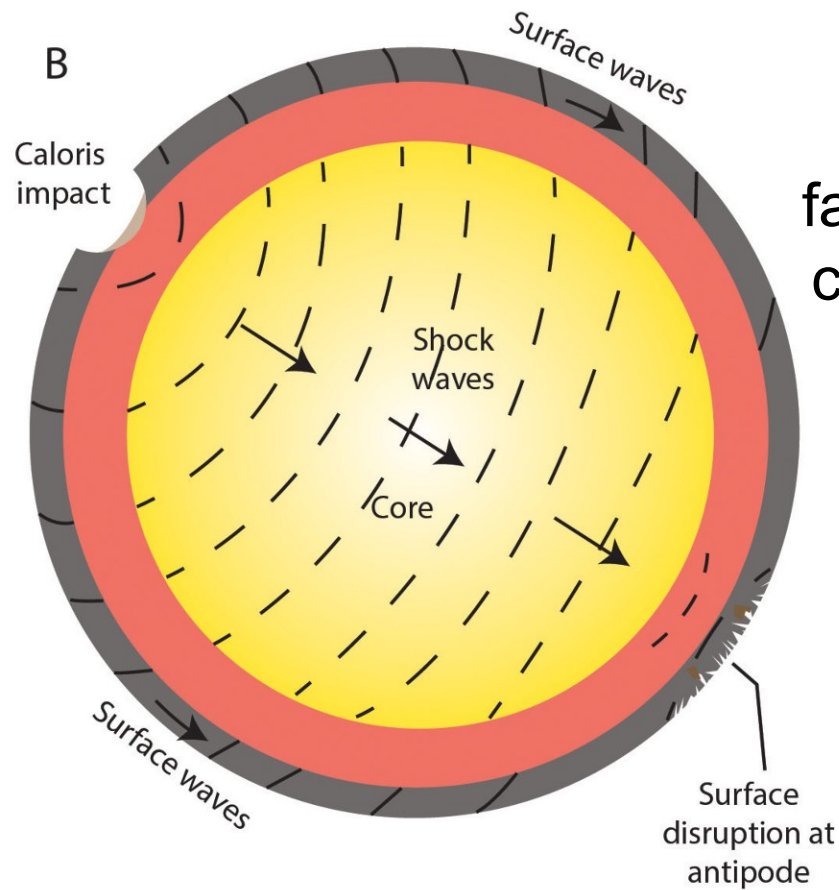
Cores falsas, representando diferenças na composição química



A Bacia Caloris é uma das mais extensas crateras de impacto do Sistema Solar. Bacias são crateras com diâmetros  $> 200\text{-}300\text{ km}$

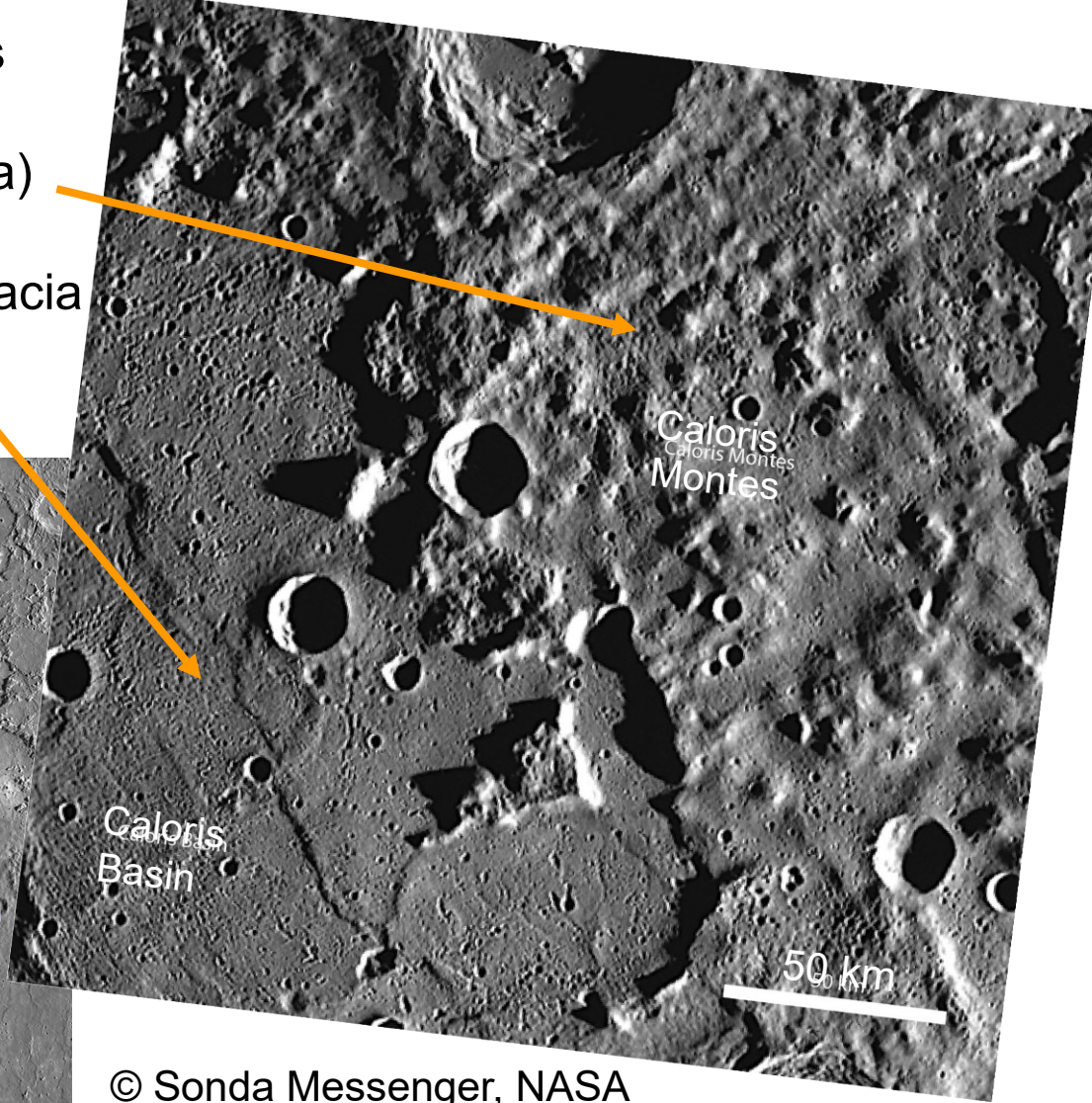
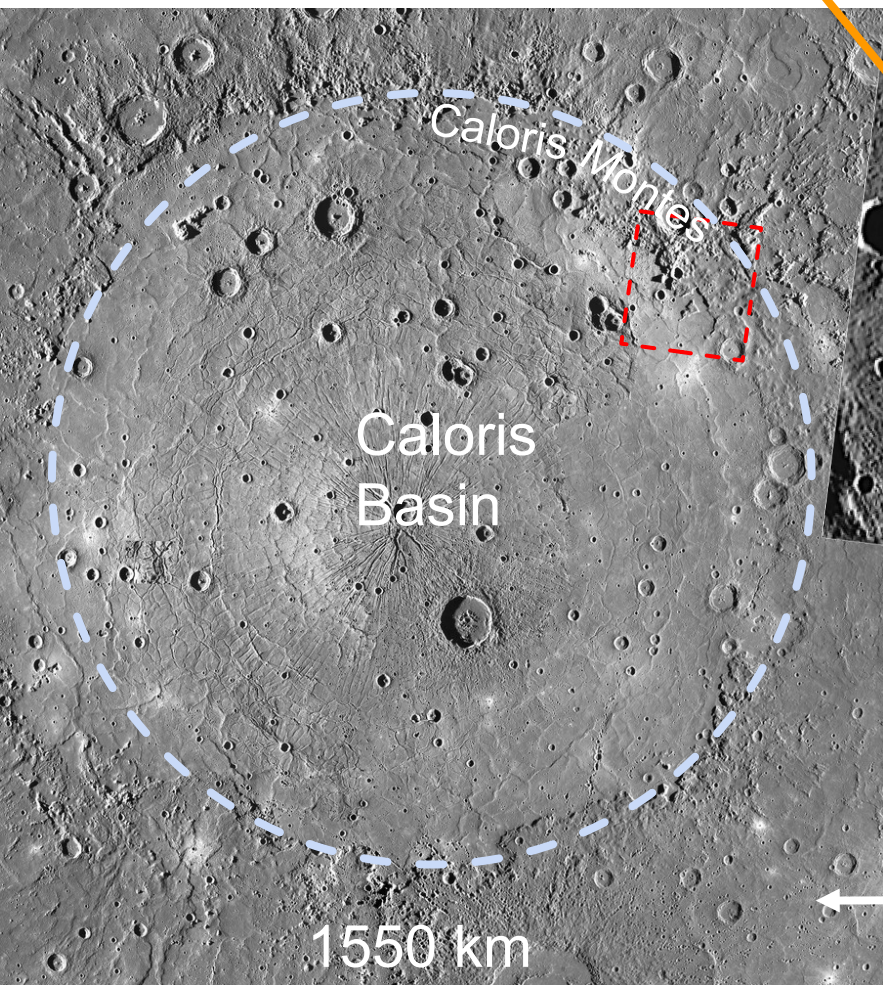


O "terreno estranho" na antípoda da cratera Caloris é uma das áreas mais peculiares de Mercúrio, mostrando falhas, colinas e vales. Talvez ondas de choque do impacto que formou a Bacia Caloris, causaram a ruptura da crosta



Bacia caloris: Impacto de corpo de ~100 km há ~3,8-3,9 bilhões de anos

**Caloris Montes** é um anel de picos montanhosos que circunda a Bacia Caloris. Os Caloris Montes (à direita) foram formados a partir do material ejetado pelo impacto. O fundo da bacia (à esquerda) é preenchido com planícies vulcânicas,

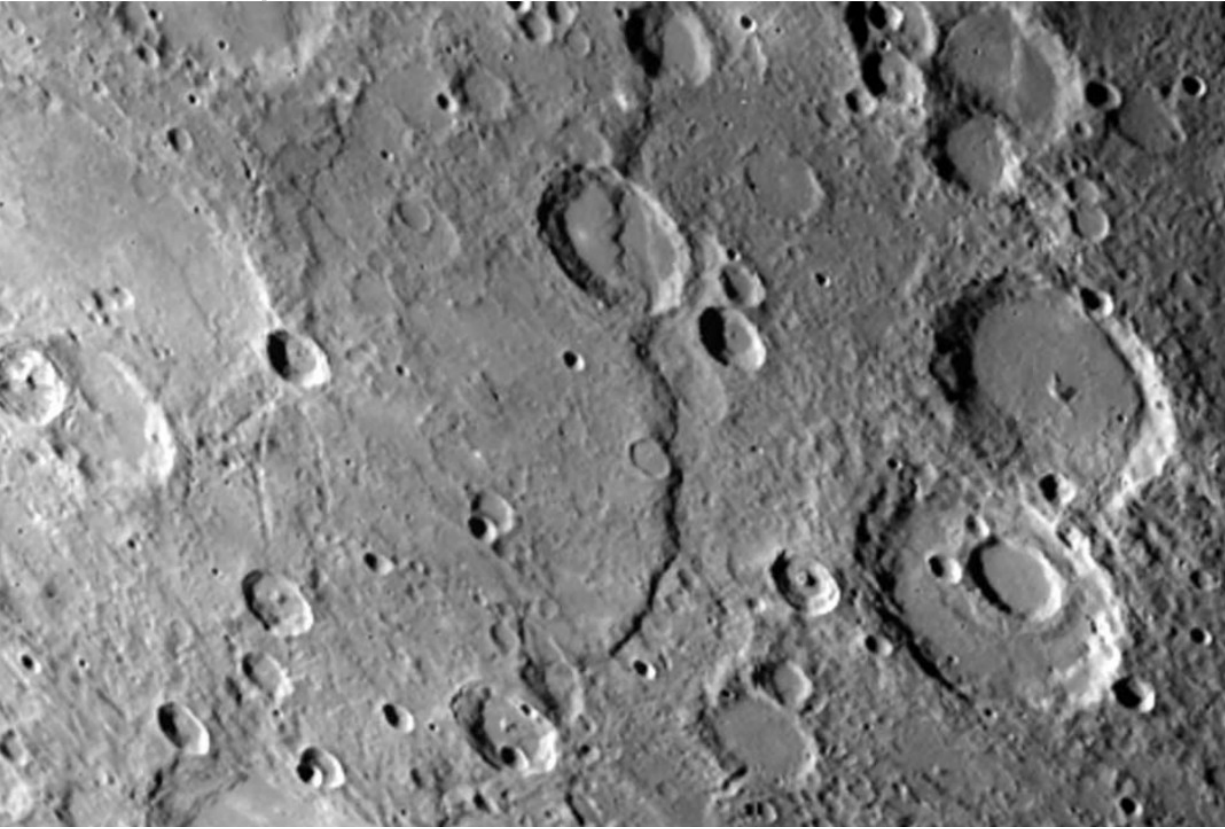


© Sonda Messenger, NASA  
<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA15065>

Os picos são maciços retilíneos de 1 a 3 km de altura e ~10 a 50 km de comprimento, a maioria alongados radialmente a partir do centro da bacia

# “Enrugamento” da crosta pelo contração do núcleo durante seu resfriamento

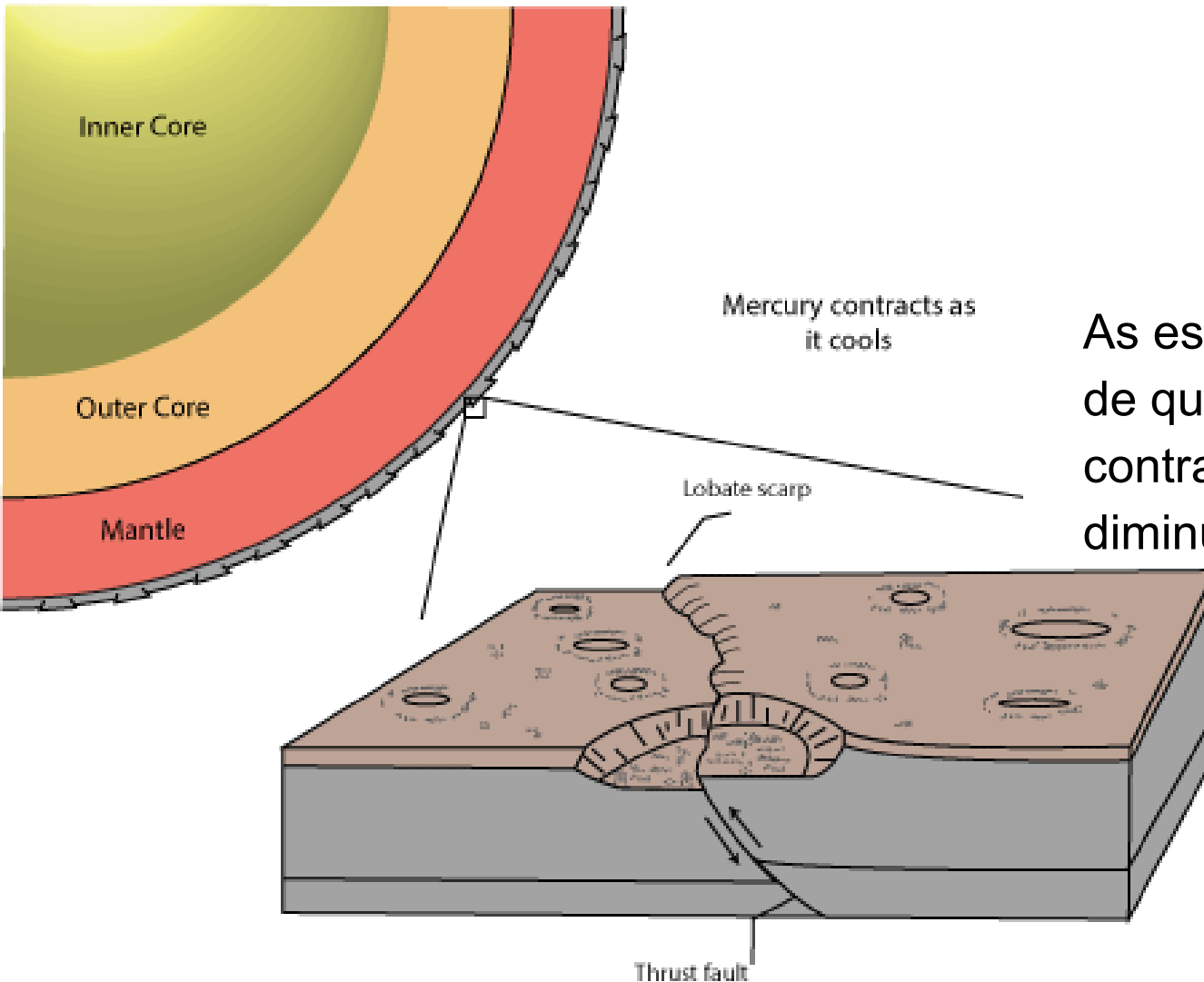
Um episódio posterior à formação de crateras são escarpas, que são relevos que cortam crateras e planícies de lava entre as crateras. A escarpa ‘Discovery’ se estende por ~350 km e tem até 3 km de altura. A ‘Discovery’ atravessa 2 crateras de 35 e 55 km de diâmetro. As “dobras” são formadas pela compressão da crosta, talvez pelo encolhimento do núcleo de ferro à medida que esfriava.



Essas fraturas da crosta foram preservadas em Mercúrio por 3 bilhões de anos, pela ausência de uma atmosfera, o que evitou a erosão

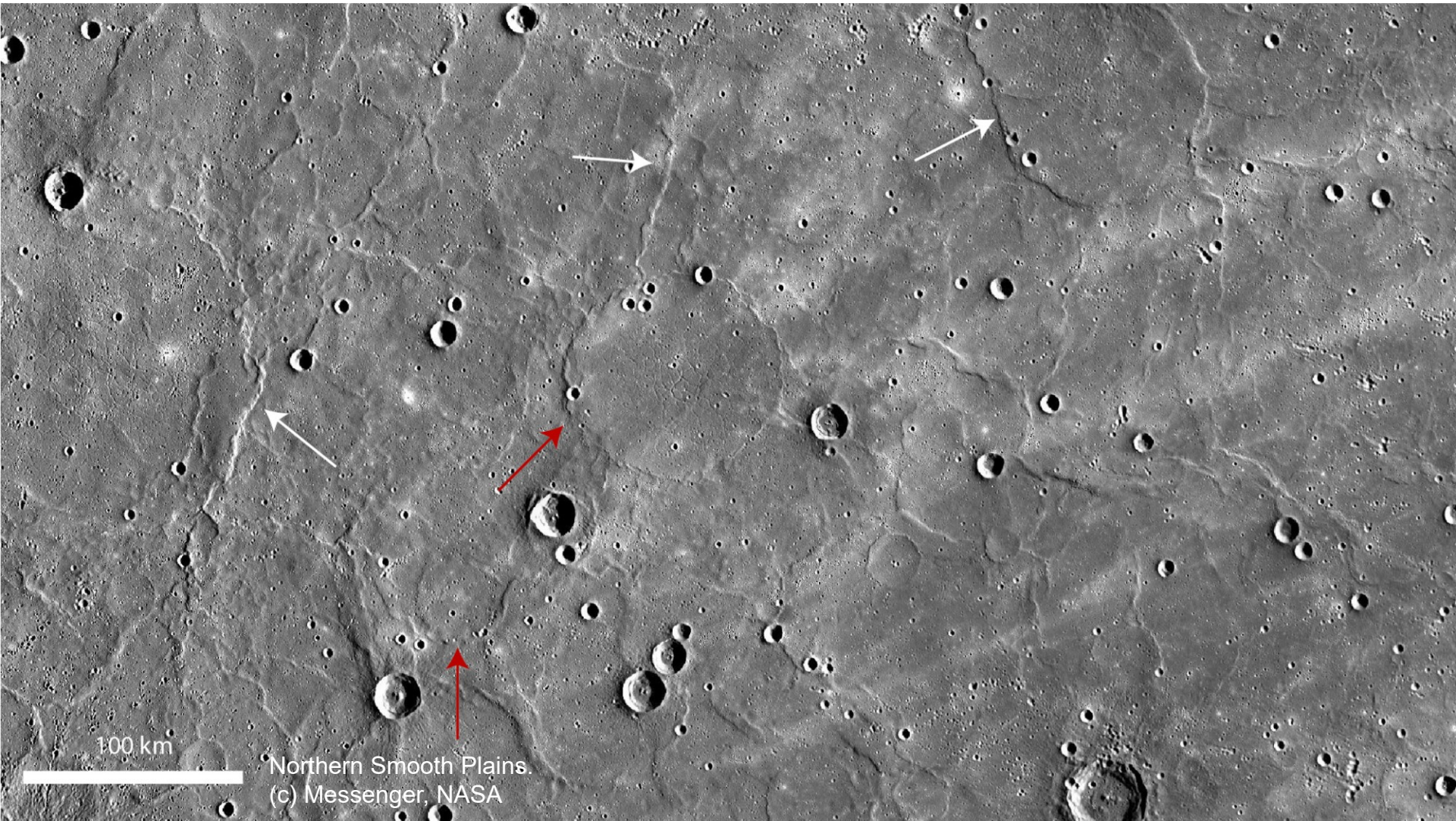
Escarpa ‘Discovery’.  
© Mariner 10, 1974

Ilustração da fratura da crosta pela contração do núcleo durante seu resfriamento.



As escarpas são evidências de que Mercúrio esfriou e contraiu, com seu diâmetro diminuindo em ~7 km.

**Planícies.** Planícies são áreas planas suaves que preenchem ~27% da superfície de Mercúrio, e são similares às mares da Lua. Essas planícies lisas foram formadas bem depois da bacia Caloris, provavelmente por erupção de lava de origem vulcânica, inundando a superfície e enterrando crateras e falhas mais antigas, produzindo uma superfície “jovem” (menos craterada), com apenas poucas crateras esparsas. As setas brancas indicam deformações na superfície, algumas delas desenvolvidas sobre bordas de crateras enterradas (setas vermelhas).



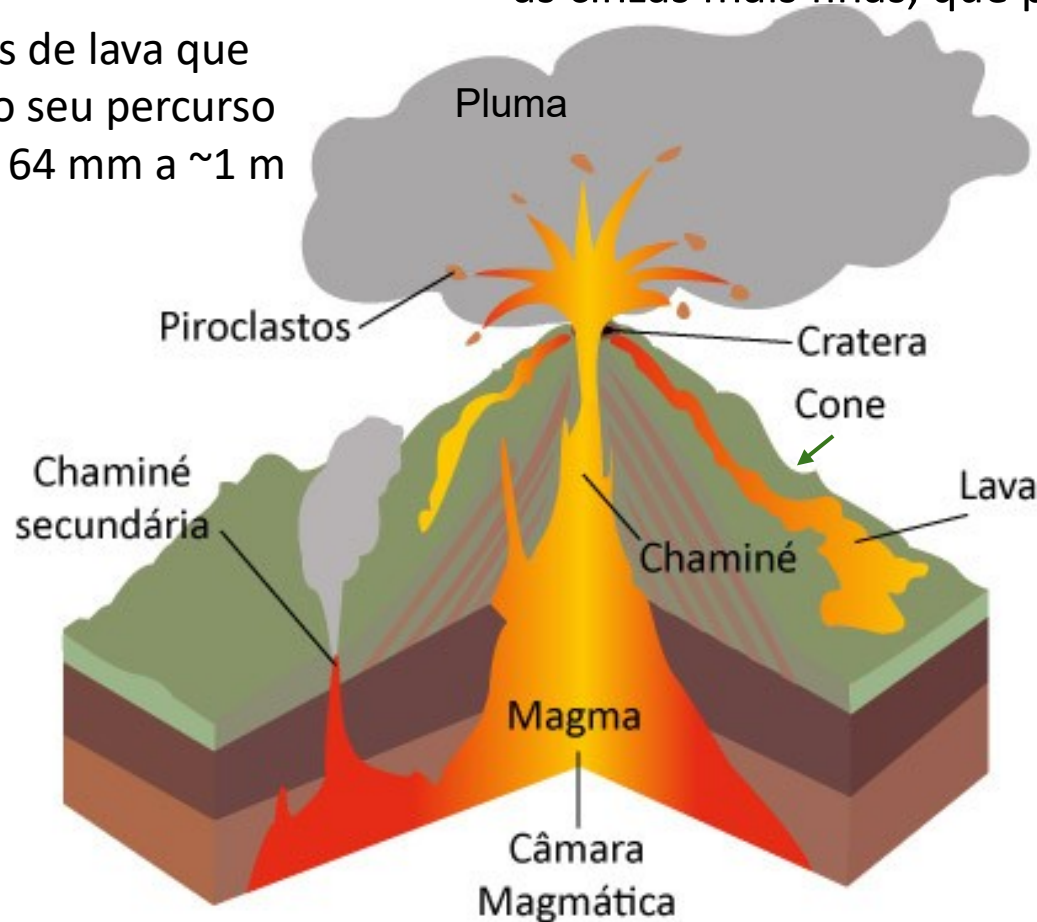


# Estrutura geral de uma erupção vulcânica

Piroclastos. Material sólido:

- Cinza: partículas com menos de 2 mm
- Lapilli: cascalhos com dimensão de 2 mm a 64 mm
- Bomba: fragmentos de lava que solidificam durante o seu percurso aéreo. Dimensão de 64 mm a ~1 m

A pluma vulcânica acontece em erupções explosivas. É formada por gases e as cinzas mais finas, que podem ascender até a estratosfera e ser transportadas a grandes distâncias



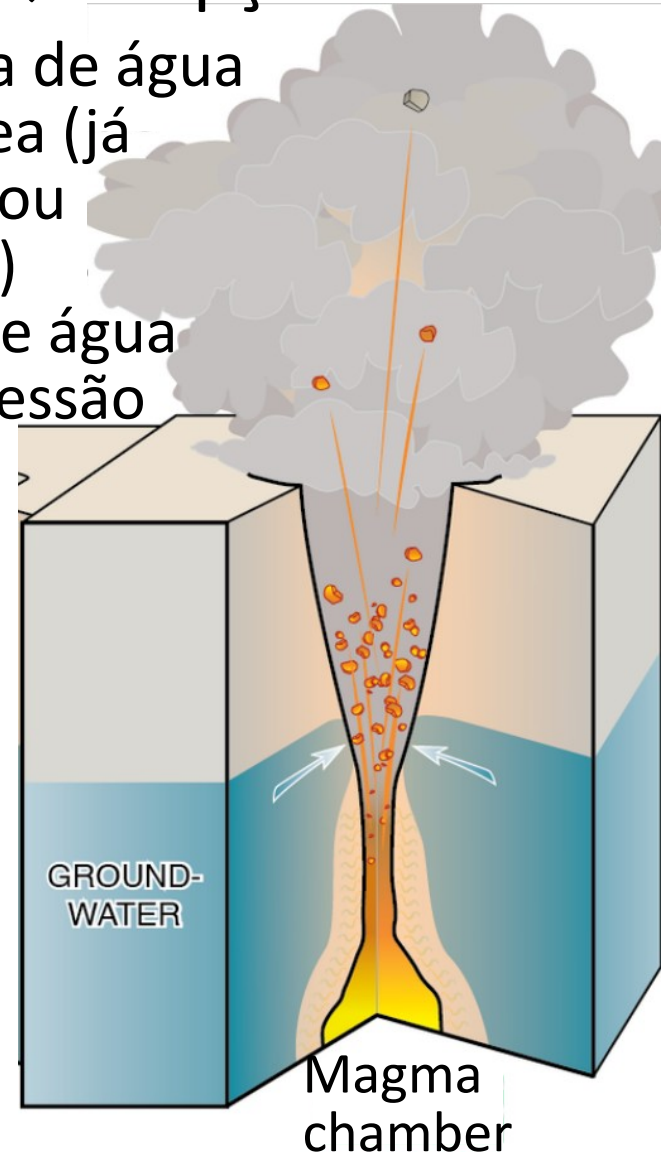
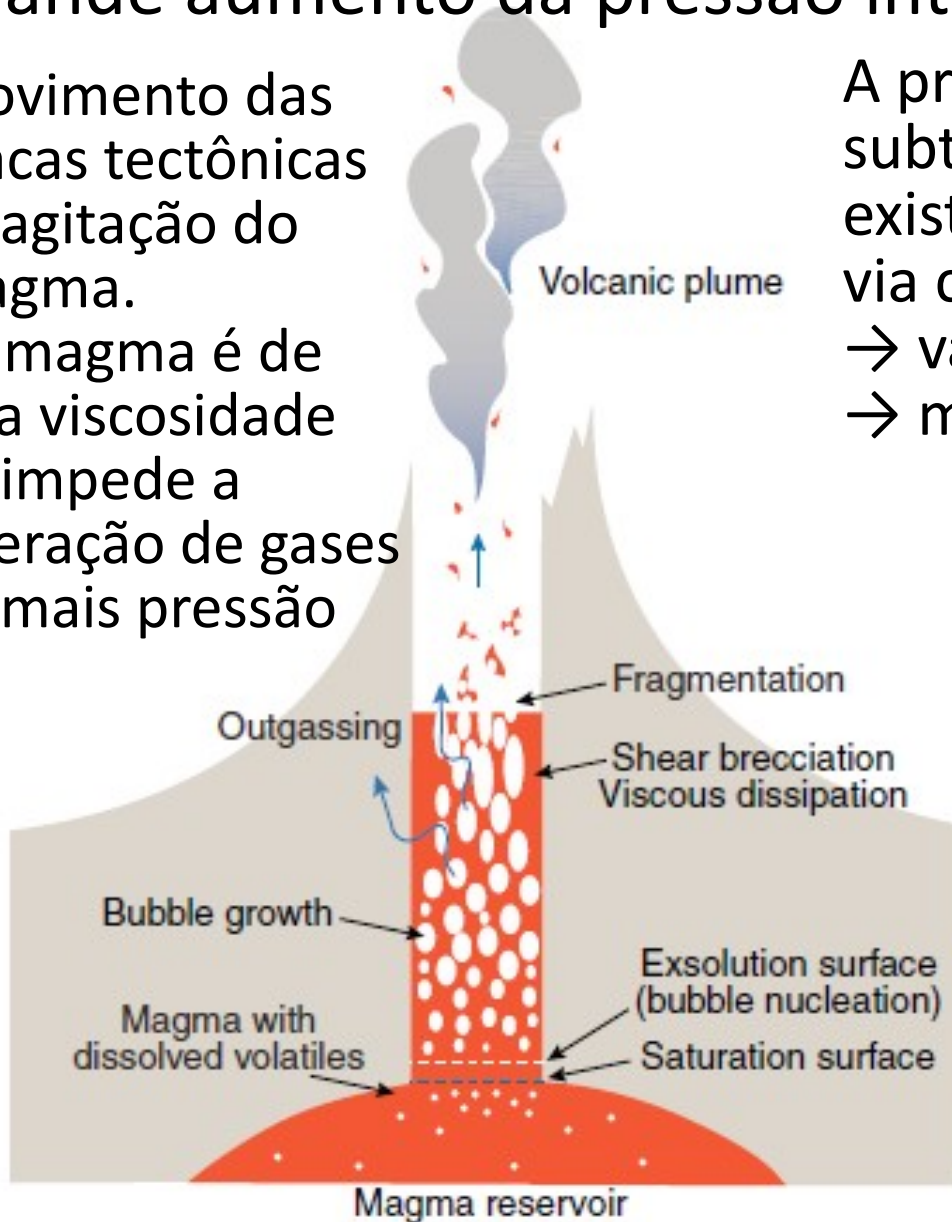
# Grande aumento da pressão interna → erupção

Movimento das placas tectônicas → agitação do magma.

Se magma é de alta viscosidade → impede a liberação de gases → mais pressão

A presença de água subterrânea (já existente, ou via chuvas)

→ vapor de água  
→ mais pressão



## **Erupção Efusiva**

Magma de baixa viscosidade  
→ liberação de gases  
→ erupção calma



**Erupção Efusiva**

Liberação de gases e erupção calma (pouco violenta), com derramamento de abundante lava de baixa viscosidade, que se desliza rapidamente, alcançando grandes distâncias. Em terrenos planos, constituem mantos de lava.

**Erupção Explosiva.** Magma de alta viscosidade → impede a liberação de gases → explosão violenta



**Erupção Explosiva**

Lava muito viscosa, que flui com dificuldade e impede a liberação de gases → explosão violenta. Pela alta viscosidade, às vezes não escoam muito, constituindo estruturas arredondadas chamadas de domos ou cúpulas.

## **Erupção Mista.**

Intermediária entre efusiva e explosiva. Pode ter entrada de água na câmara de magma → vapor de água → aumento de pressão



**Erupção Mista**

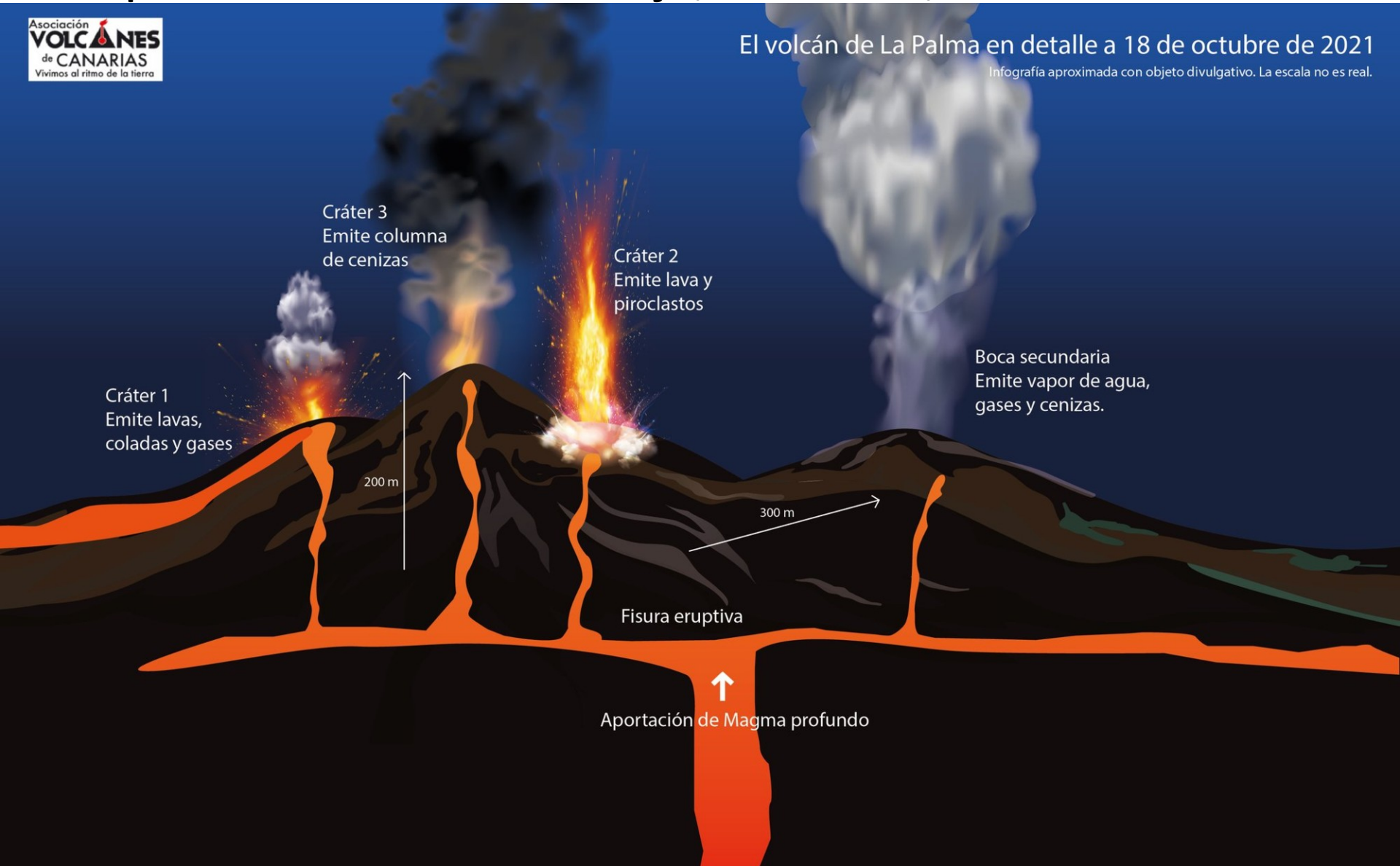
Intermediárias entre efusiva e explosiva, com fases alternantes. As explosões ocorrem pela entrada de água na chaminé ou na câmara magmática, que, pelas altas temperaturas, se evapora, originando uma grande quantidade de vapor de água → aumento da pressão interior, tornando a erupção periodicamente explosiva.

# Na prática, erupções vulcânicas podem ser mais complexas. Ex.: Cumbre Vieja, La Palma, 19/9 -13/12/2021



El volcán de La Palma en detalle a 18 de octubre de 2021

Infografía aproximada con objeto divulgativo. La escala no es real.





La erupción del volcán en la madrugada del 20 de septiembre de 2021

[https://es.wikipedia.org/wiki/Erupci%C3%B3n\\_volc%C3%A1nica\\_de\\_La\\_Palma\\_de\\_2021](https://es.wikipedia.org/wiki/Erupci%C3%B3n_volc%C3%A1nica_de_La_Palma_de_2021)



Pocas cosas se comparan al rugido constante de un volcán. Cada día nos damos cuenta de lo pequeños que somos ante la naturaleza.

7 de out de 2021




**Abián San Gil**  
@abiansangil



**Imanol Zuaznabar**  
@Imanolzuaznabar

5 de nov de 2021

La aterradora imagen del volcán de La Palma durante esta mañana.

 **Corey S. Powell** @coreyspowell · 9 de out de 2021

A river of lava from the Cumbre Vieja volcano on #LaPalma, pouring across the island and into the sea.  
Amazing shot from the ESA's Sentinel-2 satellite.





Astronomia USP Brasil @AstroUSP · 21 de out de 2021

Dióxido de enxofre do vulcão Cumbre Vieja chega até a Ásia!

@PlatformAdam

As forecasted by @CopernicusECMWF CAMS the #LaPalmaeruption SO2 emissions reached today Oct. 21 #Asia. The long plume traveled for more than 5000 km, crossing also #Italy, as shown by the #Copernicus #Sentinel5p SO2 Total Column image. ...







## Casa queimando pela lava do vulcão de La Palma, 21/9/2021

<https://brasil.elpais.com/ciencia/2021-09-21/os-sete-perigos-da-erupcao-do-vulcao-de-la-palma.html>



Casa coberta de cinzas em La Palma. Emilio Morenatti (AP), 30/10/2021

# Morfologia

## Vulcão cone de escória.

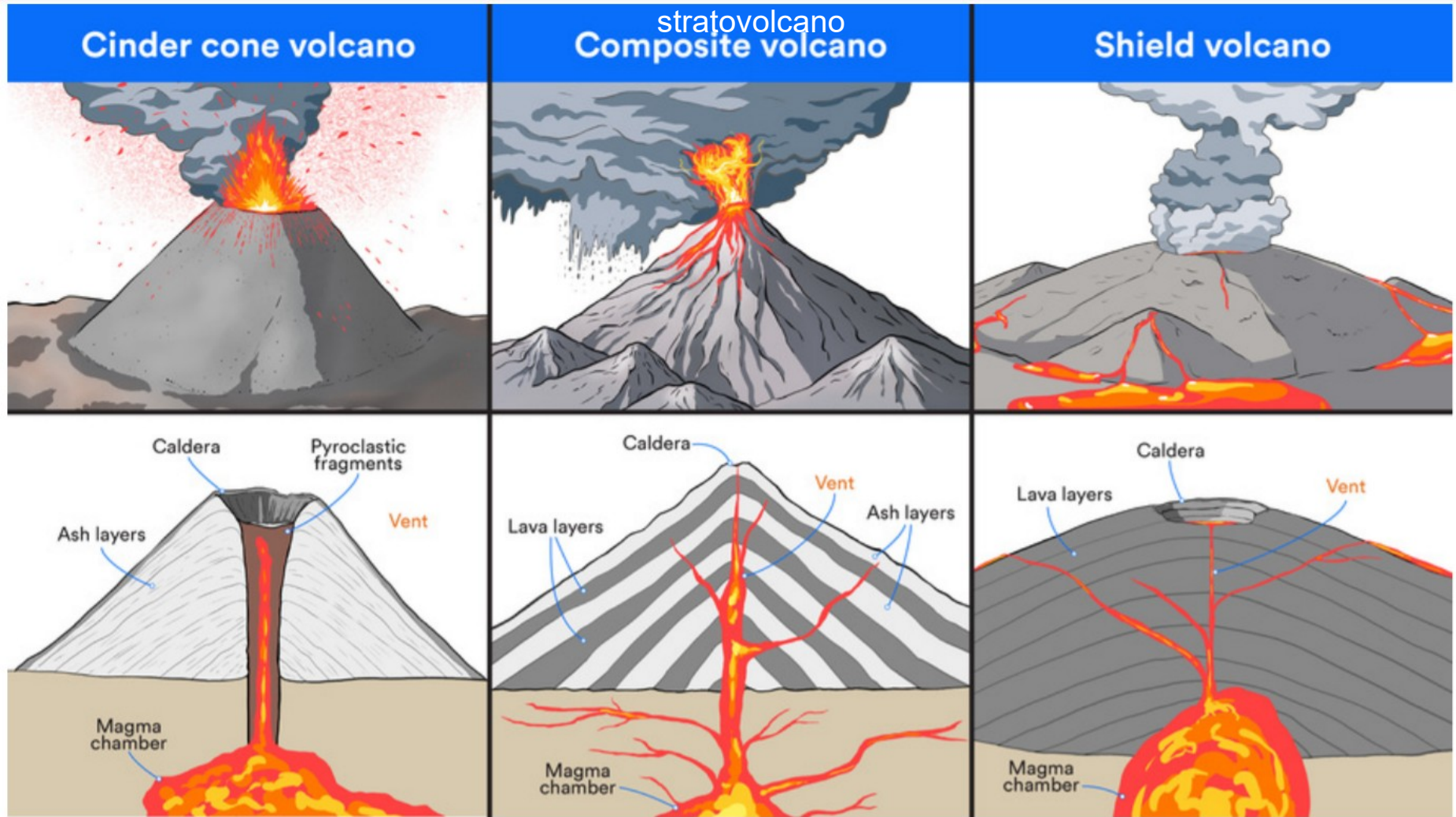
Pequenos. Altura: 50 - 350 m  
Diâmetro: 250 - 2500 m

## Vulcão composto ou estratovulcão.

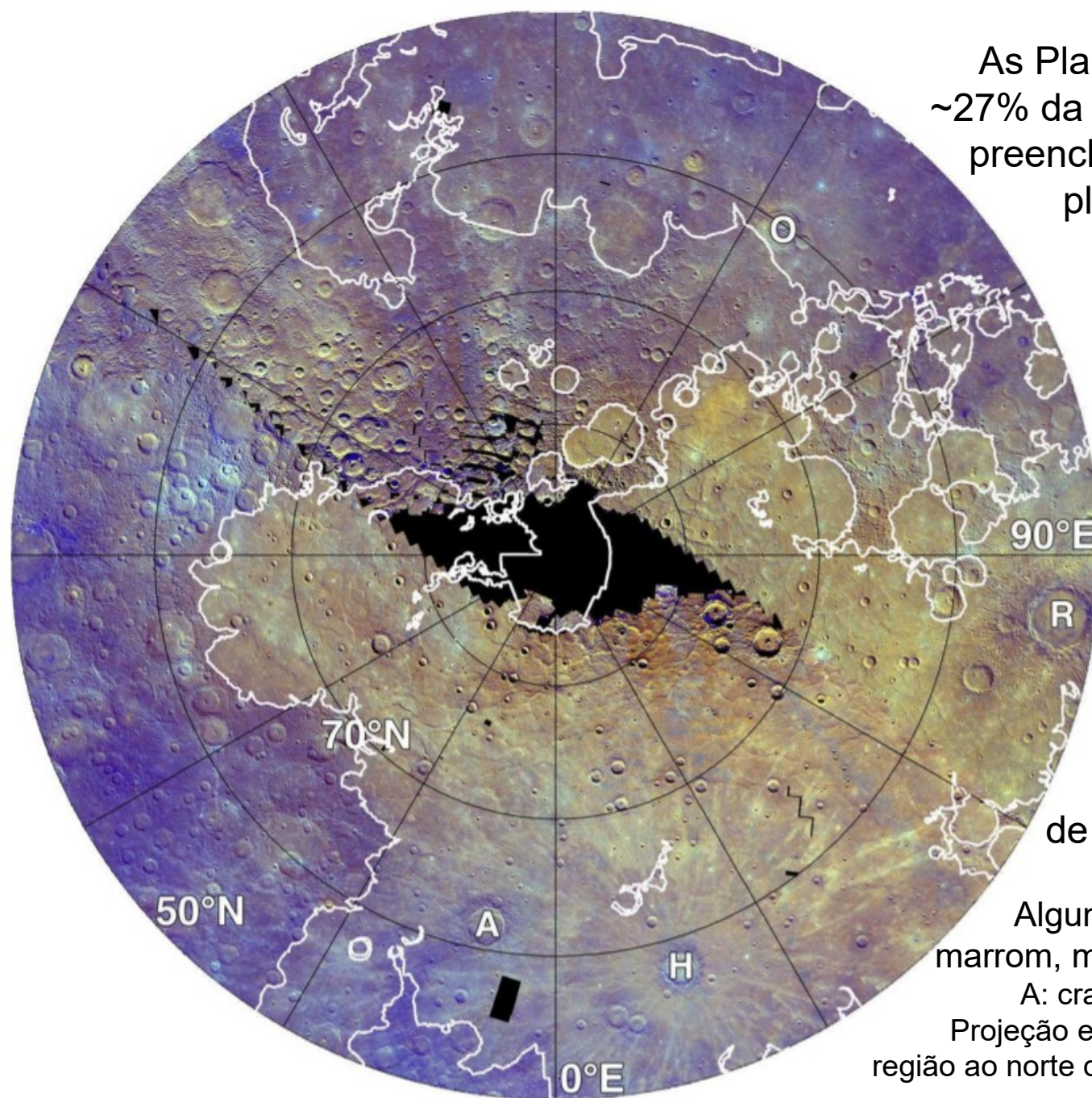
Formados de camadas alternadas de material piroclástico com derrames de lava. A lava solidificada forma "vigas", reforçando a sustentação do cone

## Vulcão escudo.

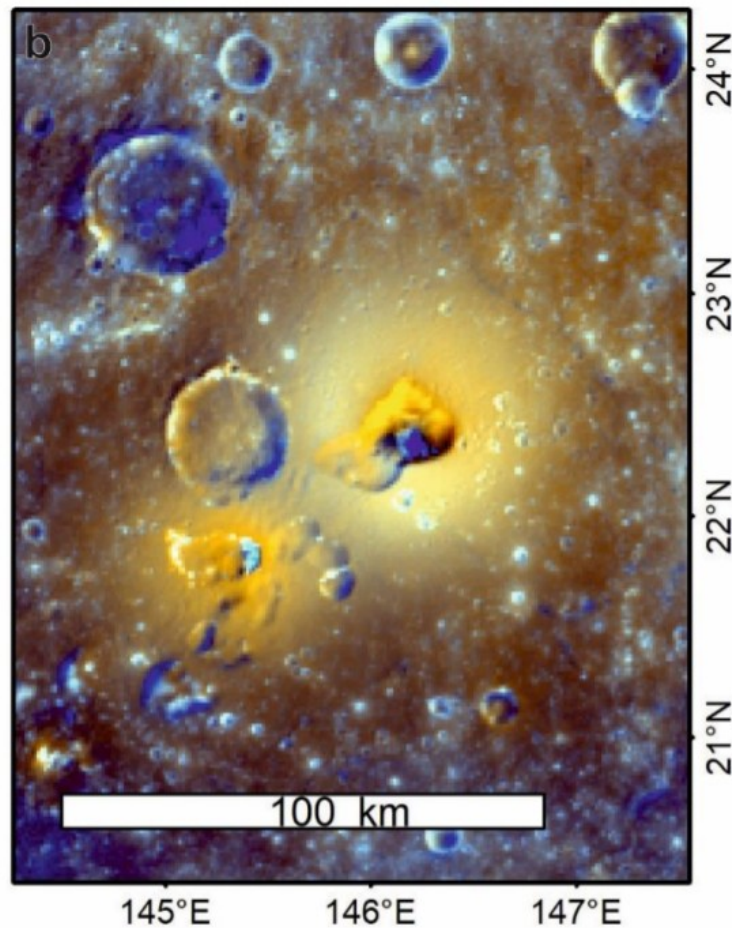
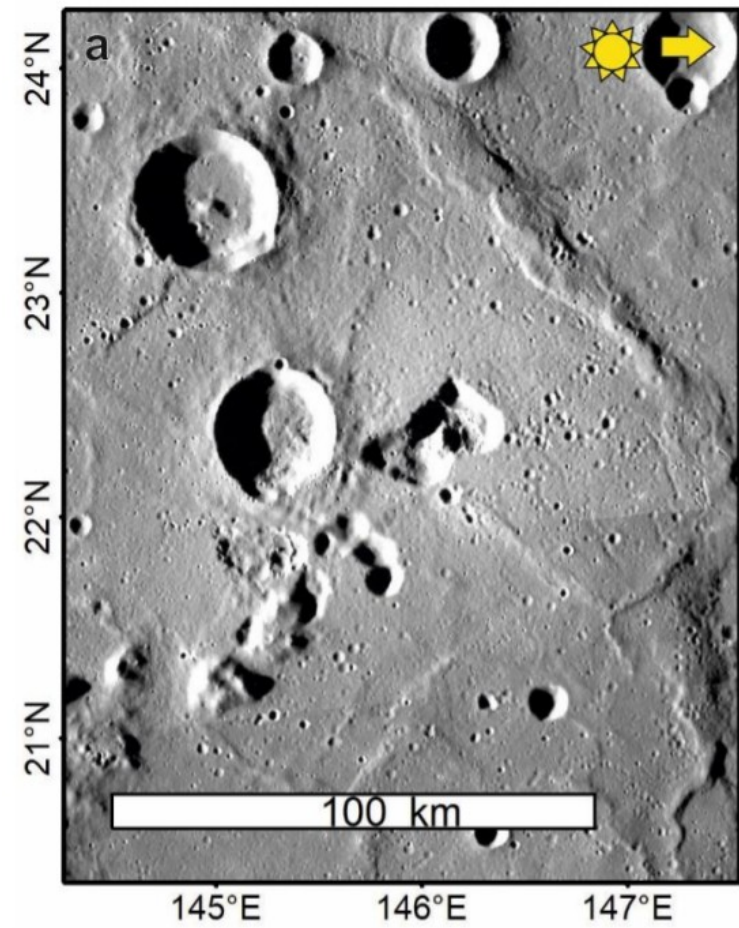
Forma de escudo invertido. Lava de baixa viscosidade → grandes distâncias. Atividade contínua por tempo longo ⇒ grandes dimensões



As Planícies suaves preenchem ~27% da superfície de Mercúrio. O preenchimento generalizado das planícies lisas terminou há ~3,5 Gyr, com poucos eventos mais recentes.



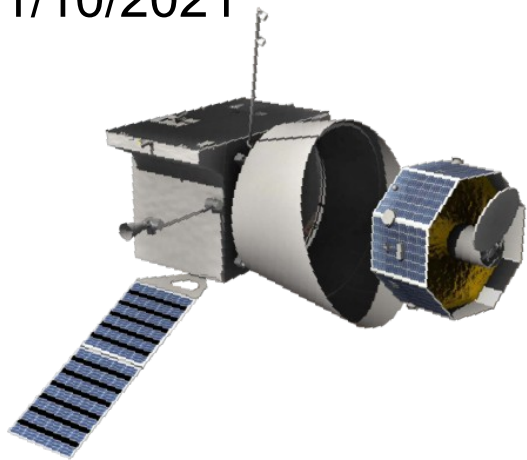
Planícies lisas do norte de Mercúrio (Borealis Planitia) delimitadas em branco. Algumas das planícies são de cor marrom, mas outras são azul-púrpura. A: cratera Abedin, H: cratera Hokusai. Projeção estereográfica polar, mostrando a região ao norte de 50°. Imagem de Ostrach et al. (2015).



Mancha difusa em Mercúrio, interpretada como de origem piroclástica, associada a erupção explosiva

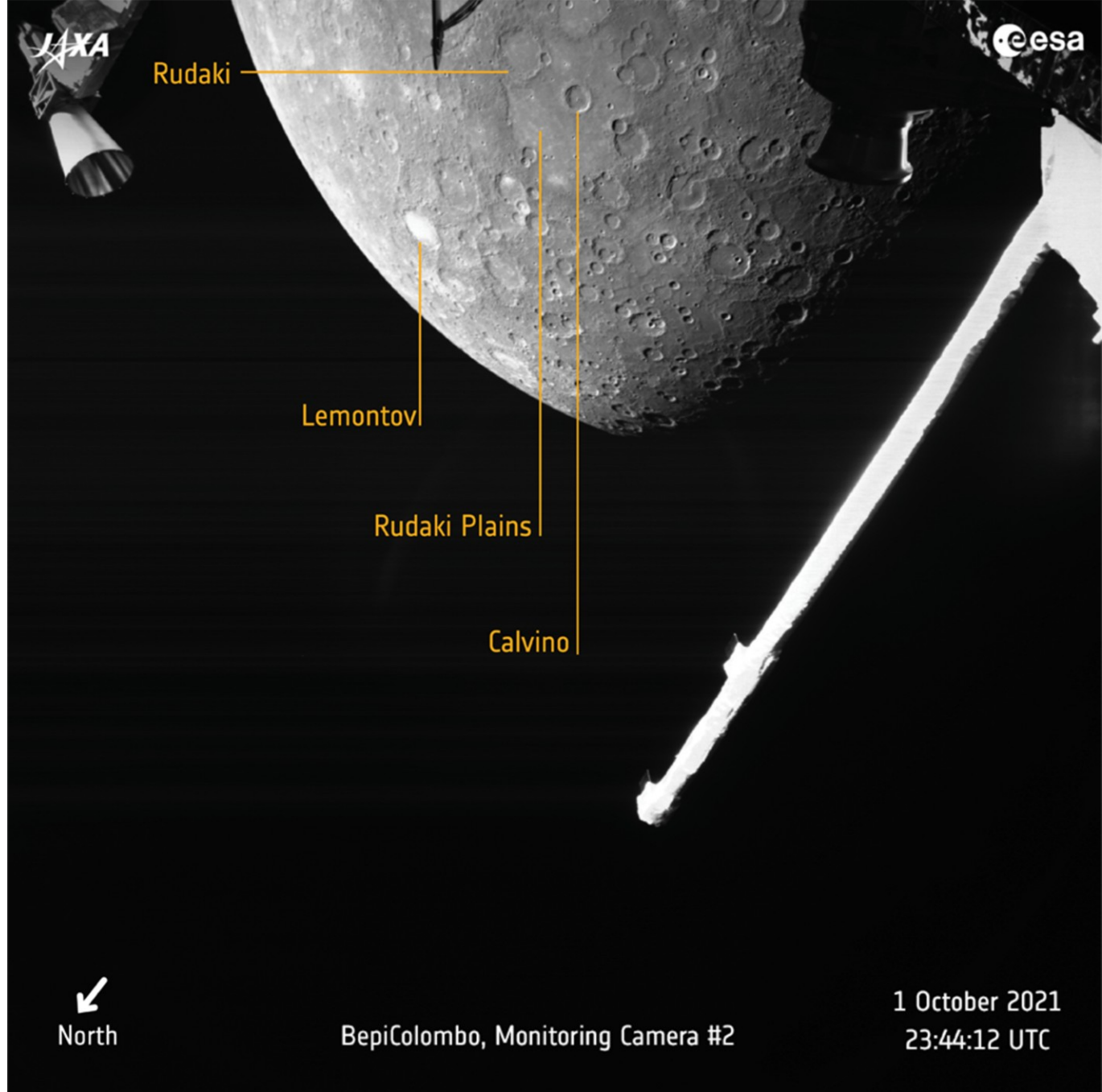
O vulcanismo explosivo em Mercúrio aconteceu até há  $\sim 0,3$  Gyr. Conforme a litosfera de Mercúrio esfriou, ela se tornou mais espessa, impedindo a ascensão do magma.

Uma das imagens de Mercúrio da BepiColombo (ESA/JAXA) durante o primeiro sobrevoo em Mercúrio no 1/10/2021



Lançamento: 19/10/2018  
2 flyby 23/6/2022  
3 flyby 20/6/2023  
4 flyby 5/9/2024  
5 flyby 2/12/2024  
6 flyby 9/1/2025

inserção na órbita 5/12/2025. Fim da missão 1/5/2027. Estendida 1/5/2028



BepiColombo, Monitoring Camera #2

1 October 2021  
23:44:12 UTC

# Vênus



# Comparação de Vênus e a Terra

## Propriedades físicas

Property	Venus	Earth
Radius, km	6,052	6,378
Mass, kg	$4.869 \times 10^{24}$	$5.974 \times 10^{24}$
Bulk density g/cm <sup>3</sup>	5.243	5.515
Volume; km <sup>3</sup>	$9.28 \times 10^{11}$	$10.86 \times 10^{11}$
Albedo, %	59	39
Atmosphere	carbon dioxide, nitrogen	nitrogen, oxygen
Surface gravity (Earth = 1.0)	0.91	1.0
Average surface temperature, °C	460	9
Surface material	volcanic rocks, no water	Igneous, sedimentary, and metamorphic rocks. Soil derived from these rocks. Oceans

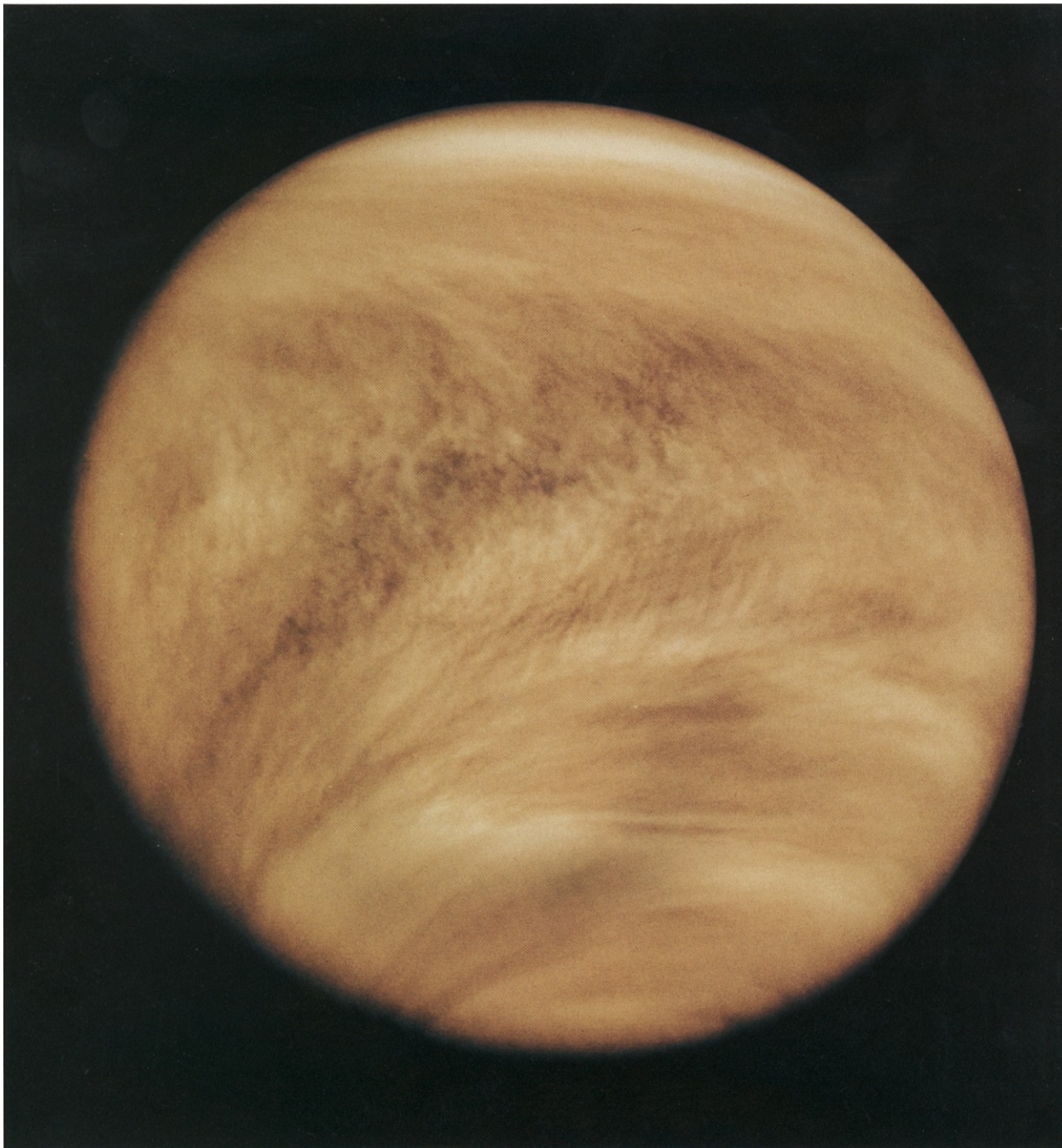
## Propriedades orbitais

Property	Venus	Earth
Average distance from the Sun, AU	0.723	1.00
Average orbital speed, km/s	35.0	29.79
Eccentricity of the orbit	0.0068	0.017
Sidereal period of revolution, days	224.70	365.256
Synodic period of revolution, days	584	—
Period or rotation, days *R = retrograde	243.01 R*	1.0
Inclination of the orbit to the ecliptic	3.39°	—
Axial obliquity	177.4°	23.45°
Escape velocity, km/s	10.4	11.2

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{E} + \frac{1}{S}$$

Período sinódico = tempo entre sucessivas  
conjunções inferiores de Vênus  
where P = sidereal period of Venus, E = sidereal  
period of the Earth, S = synodic period of Venus,

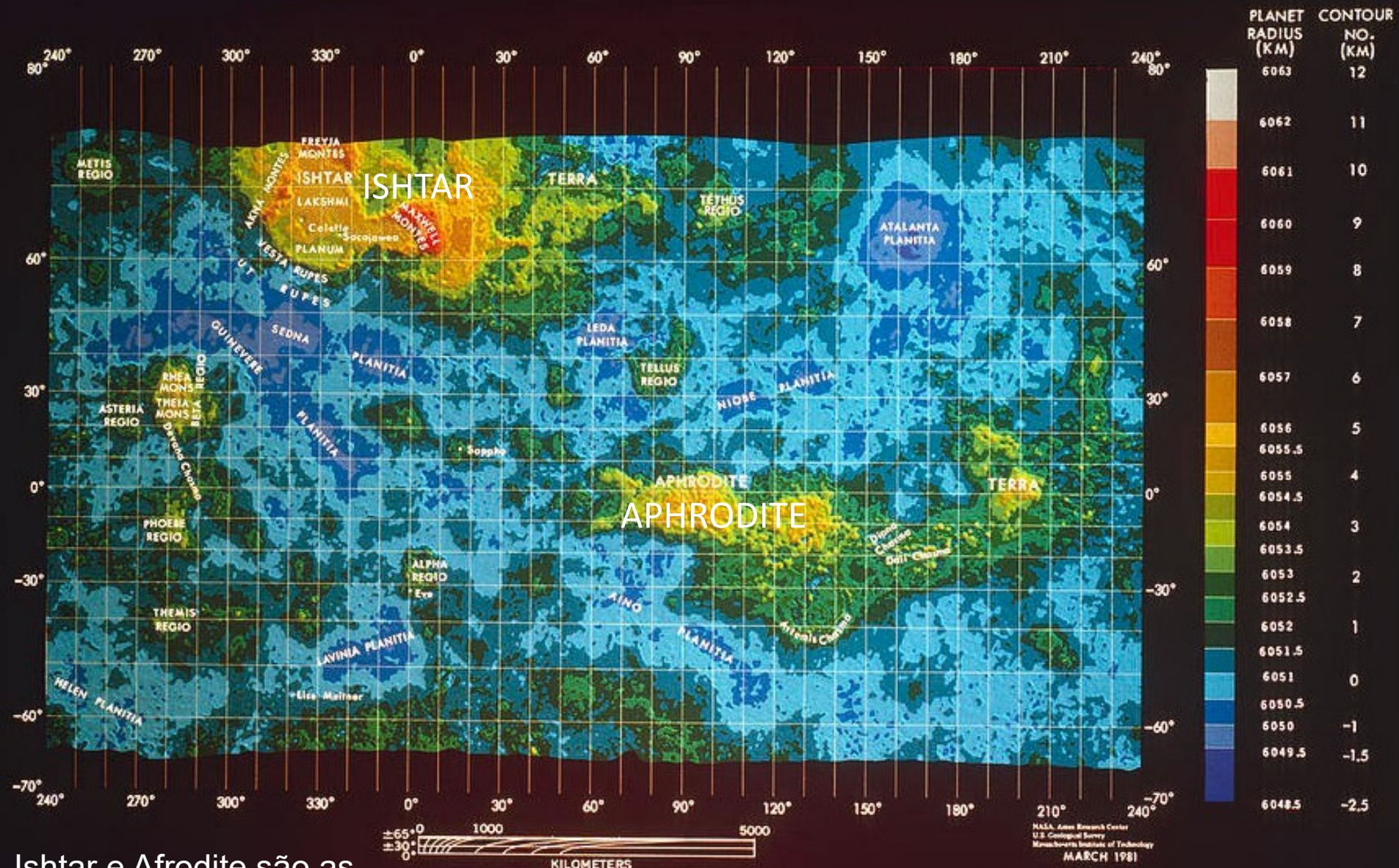




Vênus é  
permanentemente  
coberto de nuvens  
de ácido sulfúrico  
( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Nuvens na atmosfera de  
Vênus em 1979.  
Observações em  
ultravioleta pela sonda  
Pioneer Venus Orbiter.

<https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/venus-temp20110926.html>



Ishtar e Afrodite são as regiões mais elevadas

**ALTIMETRY OF VENUS**

Resolução superficial de ~10 km

Mapa de Vênus obtido via radar pela sonda Pioneer Venus Orbiter. NASA, 1978 - ...  
Azul: menos elevado. Verde-amarelo: intermediário. Vermelho: regiões mais elevadas

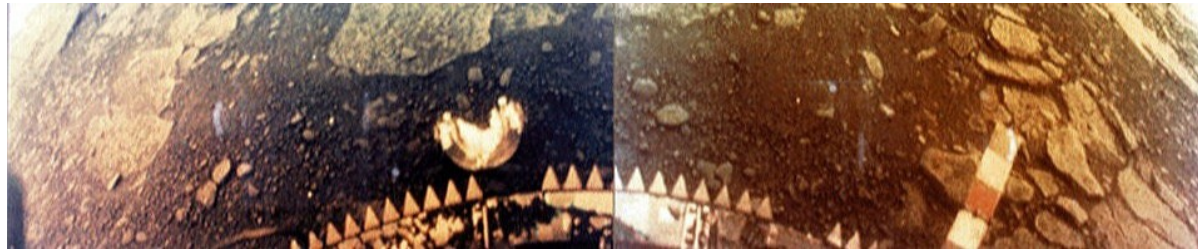
# Primeiras imagens tiradas da superfície de Vênus



Venera 9, 1975



Venera 10, 1975



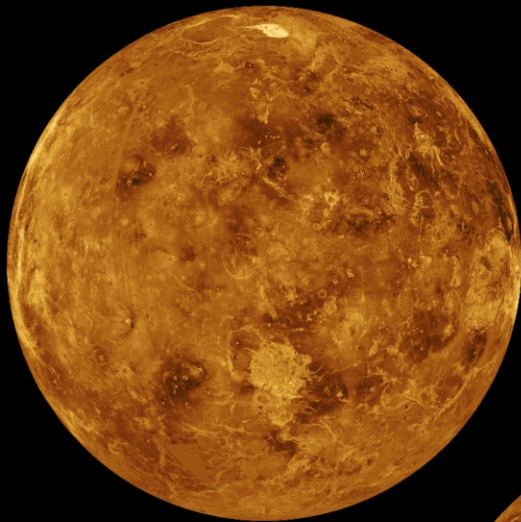
Venera 13, 1982



Venera 14, 1982



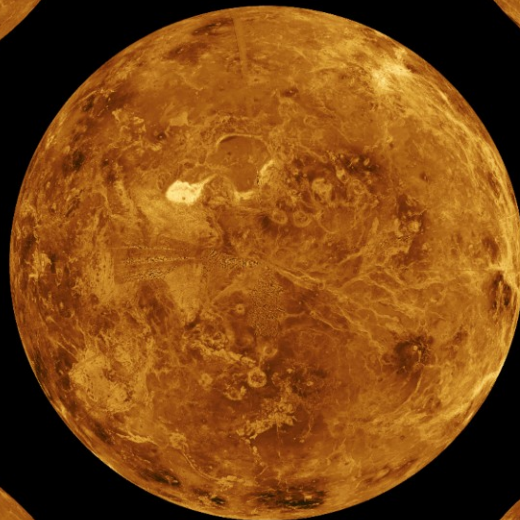
O projeto de sondas Venera foi desenvolvido pelo programa espacial soviético



A: centrada no polo Norte



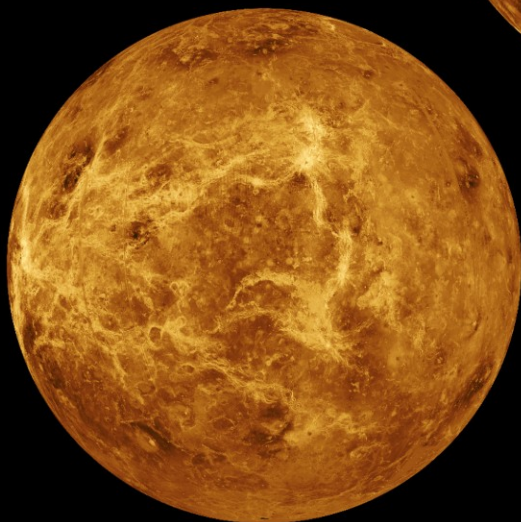
C: longitude 90° leste



D: longitude 180° leste

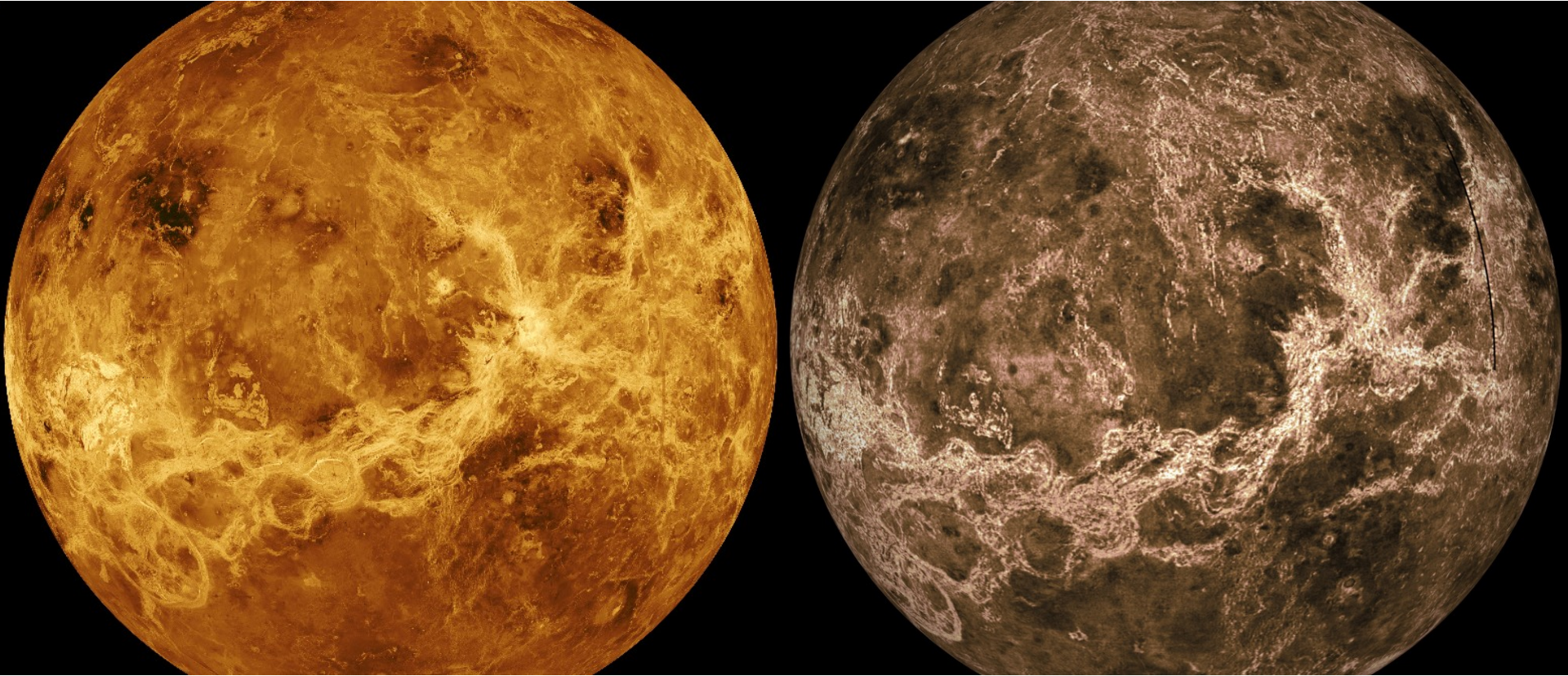
B: longitude 0°

E: longitude 270° leste



A sonda Magellan (NASA) fez imageamento via radar da superfície de Vênus de 1990 a 1994, com resolução ~100 a 250 m

A imagem central (A) está centrada no pólo norte de Vênus. As outras estão centradas em torno do equador em (B) 0° graus de longitude, (C) 90° leste, (D) 180° leste, (E) 270° leste



Expectativa (esquerda) versus realidade (direita).

As imagens via radar de Vênus divulgadas pela NASA têm uma cor dourada, mas na verdade o planeta é mais escuro, como na simulação (à direita) da possível cor de Vênus. Planícies relativamente planas, algumas cobertas por antigas inundações de lava, são mais escuras nesta vista.

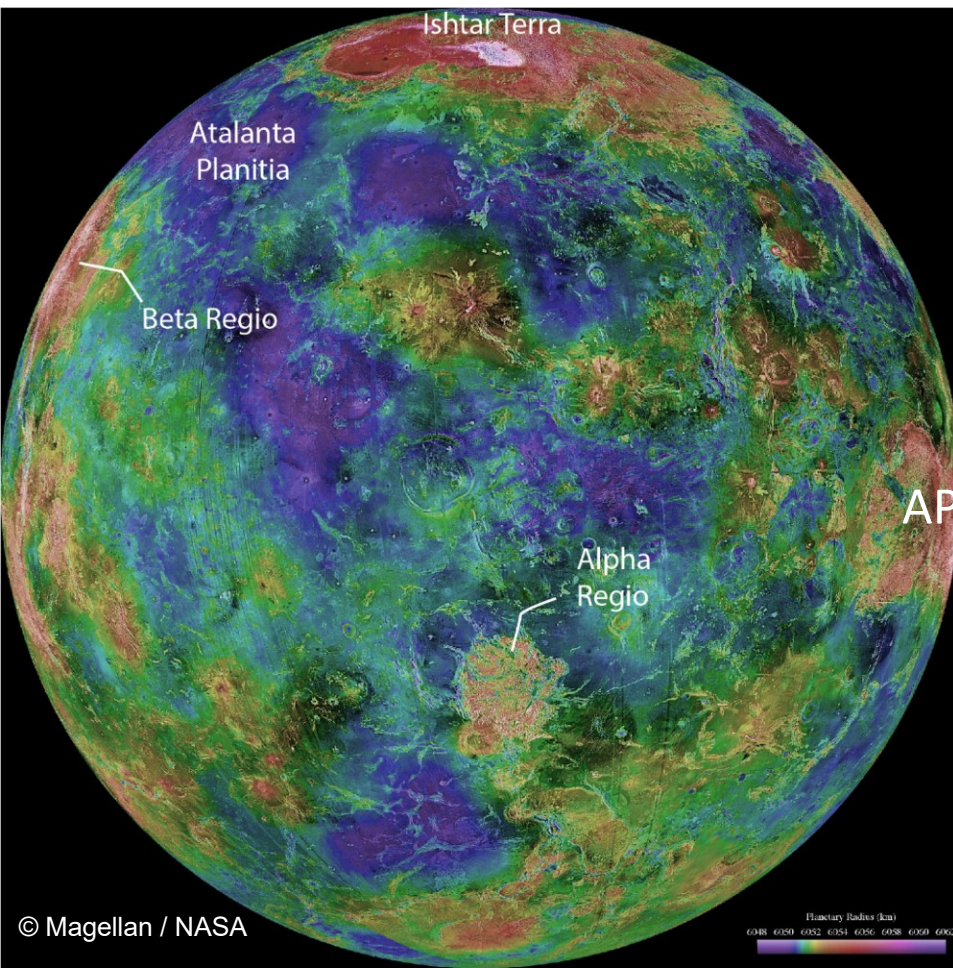
Do ponto mais baixo ao mais alto: 13 km (na Terra, 20 km das fossas oceânicas ao Himalaia)



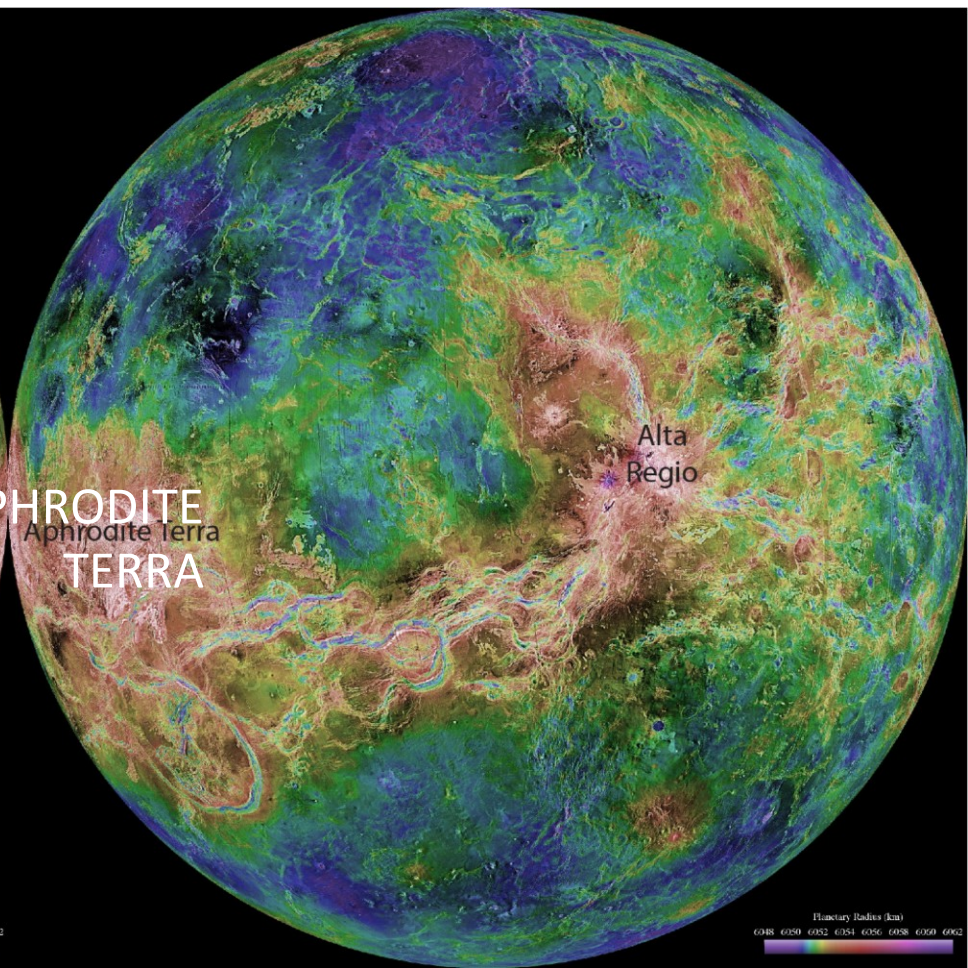
Terras altas

Terras baixas

### ISHTAR TERRA



### APHRODITE TERRA



Norte

North

### Topographic Map of Venus

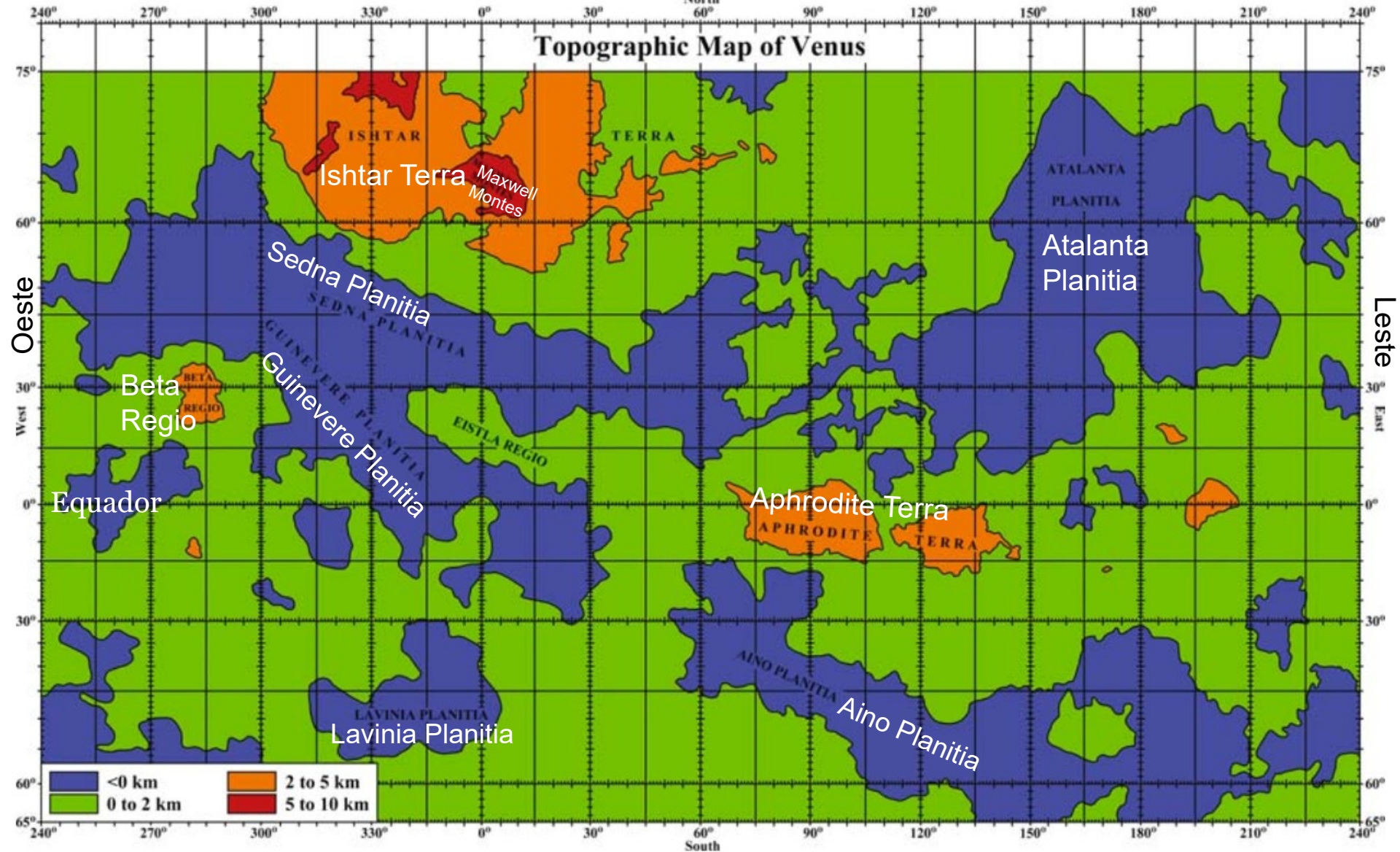


Figure 11.3. Shaded relief map of Venus color coded with respect to elevation of the surface. Adapted from the contour map prepared by the U.S. Geological Survey

# ISHTAR TERRA (~tamanho da Austrália).

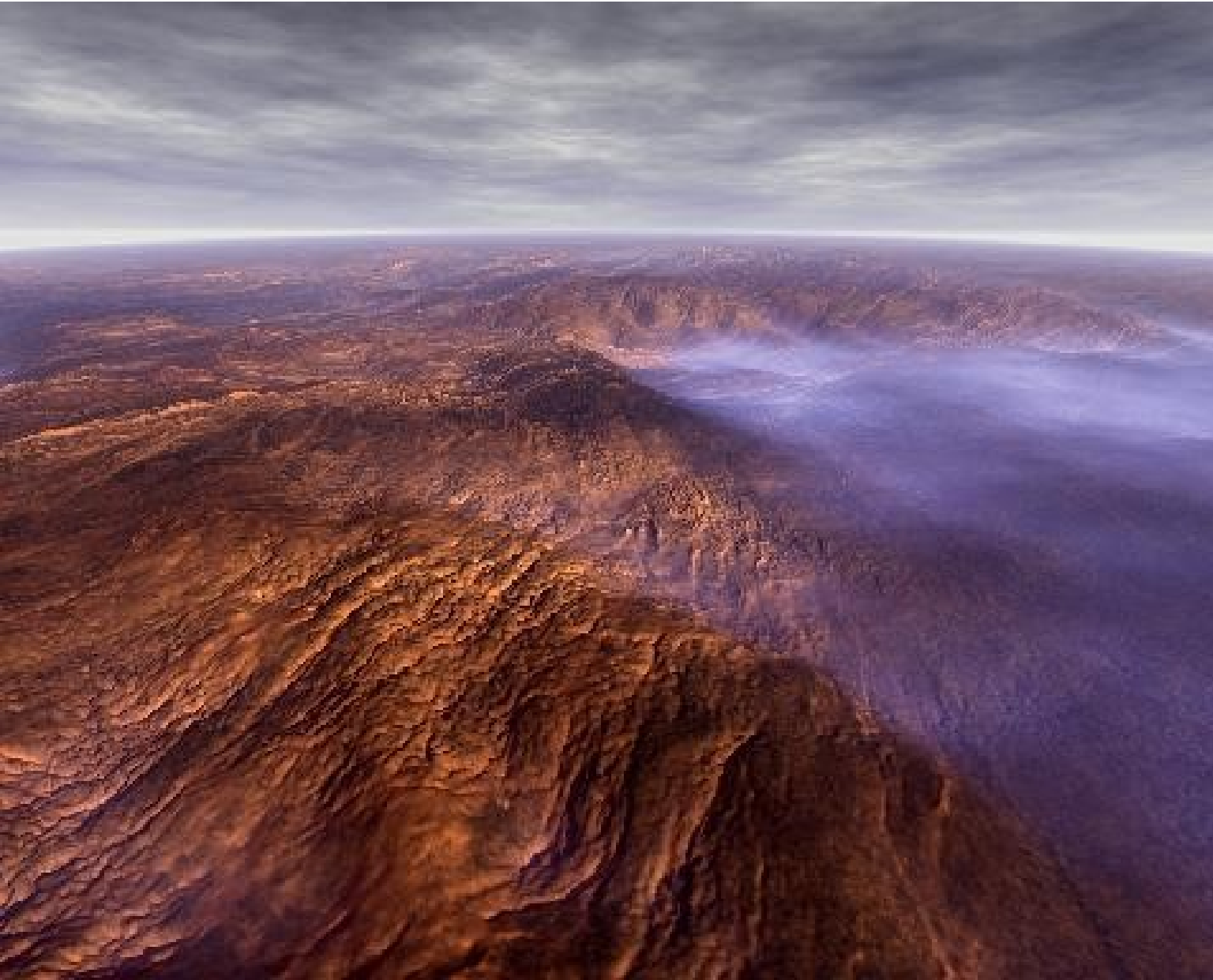
Têm cinturões montanhosos, atividade vulcânica e crateras. O número de crateras sugere uma idade da superfície de 0,5 bilhão de anos





# Montanhas Maxwell Montes têm ~11 km de altura

Visualização usando dados da sonda Magellan. Não é usado exagero vertical



Monte Matt (na região de Afrodite) é o maior vulcão em Vênus, talvez ainda ativo.

Altura ~8 km acima do raio médio de Vênus.

Resolução ~75 metros

Perspectiva vertical aumentada



Outra visão 3D do  
Matt Mons, o maior  
vulcão em Vênus

A perspectiva vertical foi  
aumentada 22,5 vezes

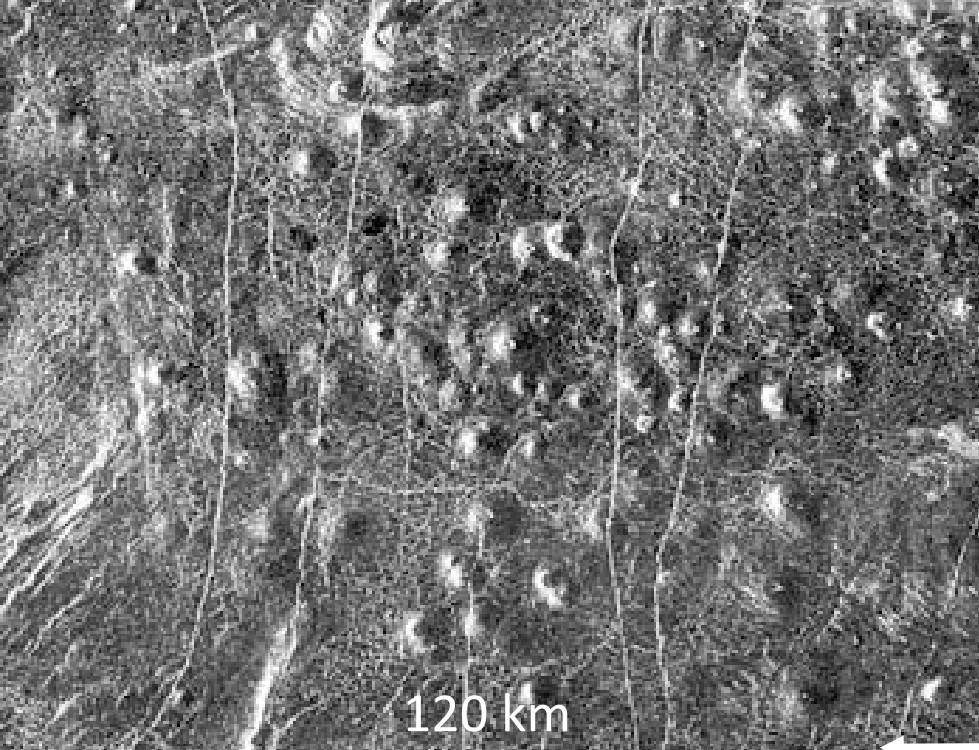
Os fluxos de lava se estendem por centenas de km  
desde o cume do vulcão até a planície fraturada.

Vênus não tem muitas crateras, pois a superfície foi coberta por fluxos de lava nos últimos bilhões de anos. Na imagem, fluxos de lava se estendem por centenas de km a partir da cratera no cume do monte Sapas.

Maat Mons

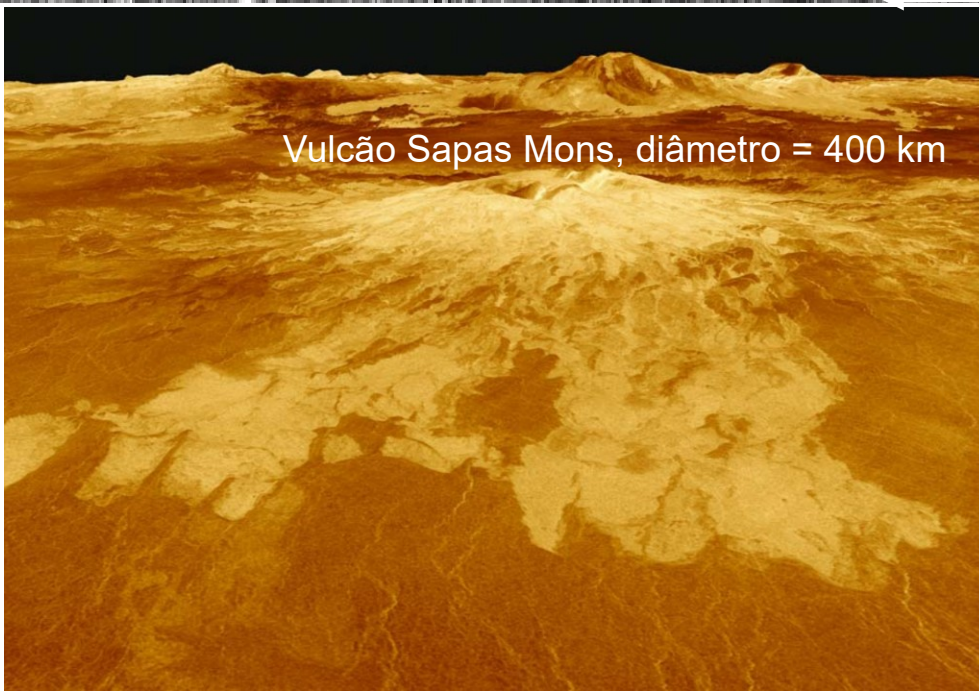
O vulcão Sapas Mons tem diâmetro = 400 km e seu cume se eleva a 4500 m acima da elevação média de Vênus.

Escala vertical exagerada em 10 vezes.



Vênus tem da ordem de 10 mil pequenos vulcões escudo, com diâmetros  $< 20$  km

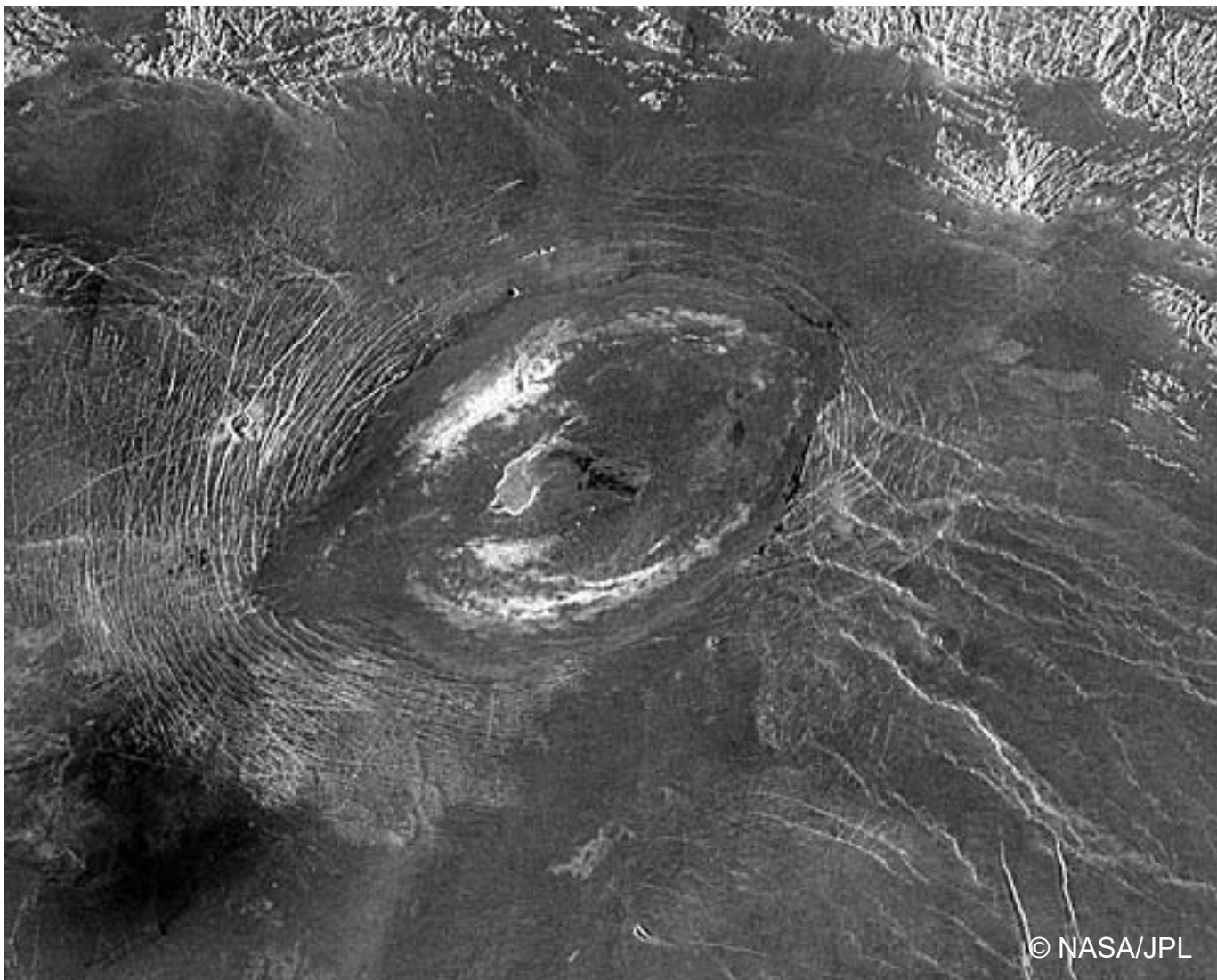
© NASA/JPL



Vulcão Sapas Mons, diâmetro = 400 km

Existem  $\sim 500$  grandes vulcões escudo, com diâmetros  $> 20$  km

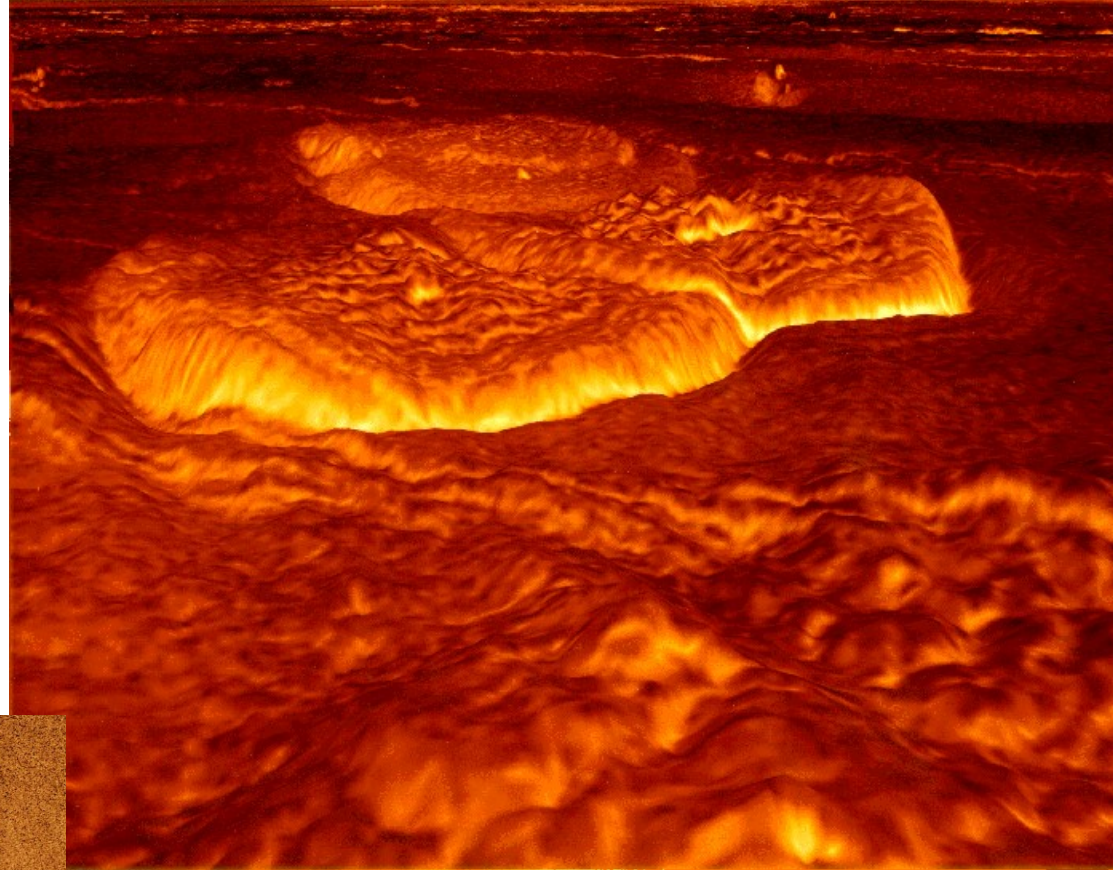
**Caldeira Sacajawea Patera.** É uma depressão de ~1-2 km e de 120 x 215 km de diâmetro, localizada em Western Ishtar Terra. Largura na base = 420 km.



Os grandes vulcões escudos em Vênus apresentam grandes caldeiras.

Caldeiras são formadas quando o chão cai pelo esvaziamento de magma de uma grande câmara magmática, por drenagem ou erupção.

Domos de lava  
(topo de erupções em  
formato de panquecas).  
Estruturas formadas por lava  
muito viscosa, que aflora  
lentamente e depois retrai,  
deixando uma fina crosta  
que depois racha e afunda.



3D perspective of pancake volcanoes on  
the eastern edge of Alpha Regio, Venus.

[https://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object\\_page/mgn\\_p38870.html](https://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/mgn_p38870.html)



Cluster of 4 overlapping domes on the eastern edge of  
Alpha Regio. The domes average ~25 km in diameter with  
maximum heights of 750 m. These features can be viscous  
or thick eruptions of lava from a vent on relatively level  
ground allowing the lava to flow in an even lateral pattern

<https://solarviews.com/cap/venus/pancake.htm>

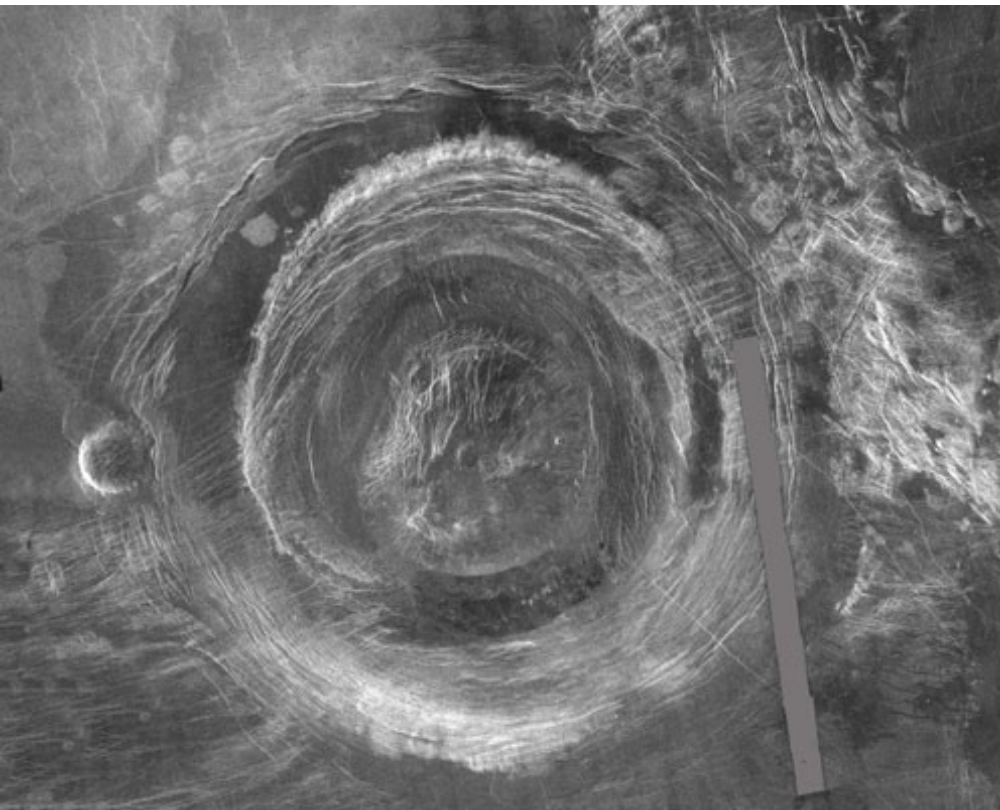
## Accidentes de origem parcialmente vulcânica

**Aracnóides** têm fraturas que se irradiam de uma corona central. São menores que as coronas.

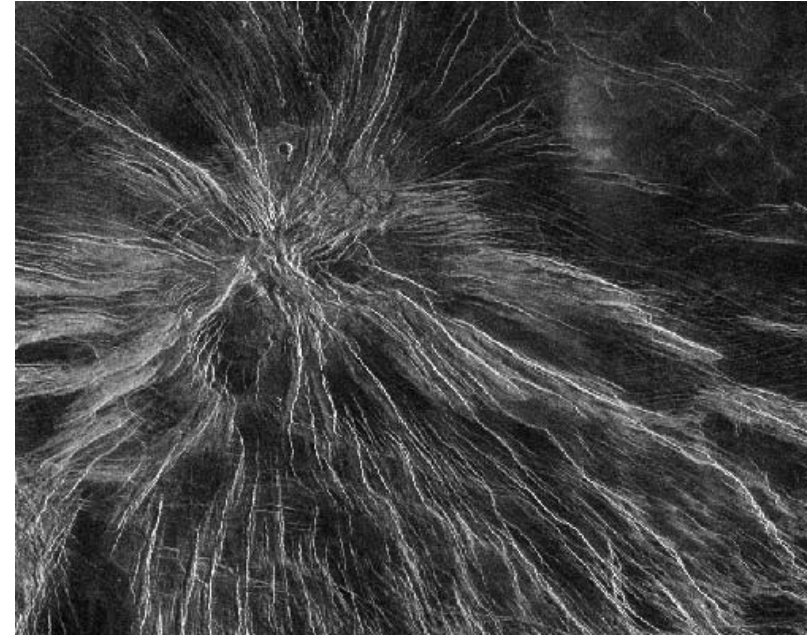
Aracnóide em Atla Regio  
tem  $d \sim 100$  km

## Corona

Corona Aramaiti é uma depressão circular de 400 km de diâmetro



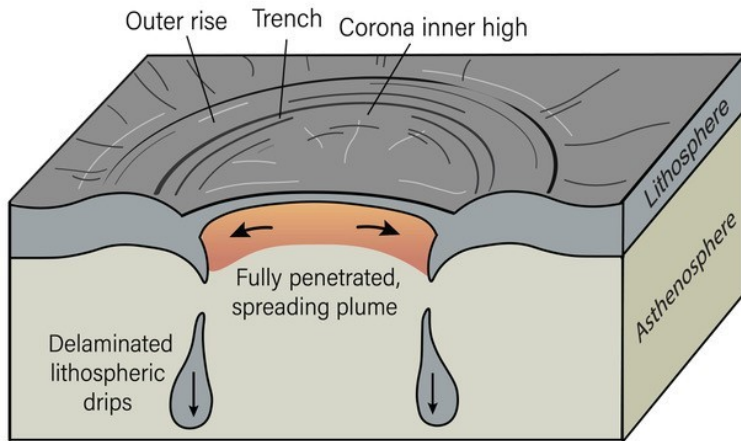
**Novas.** Fratura radial mas sem corona



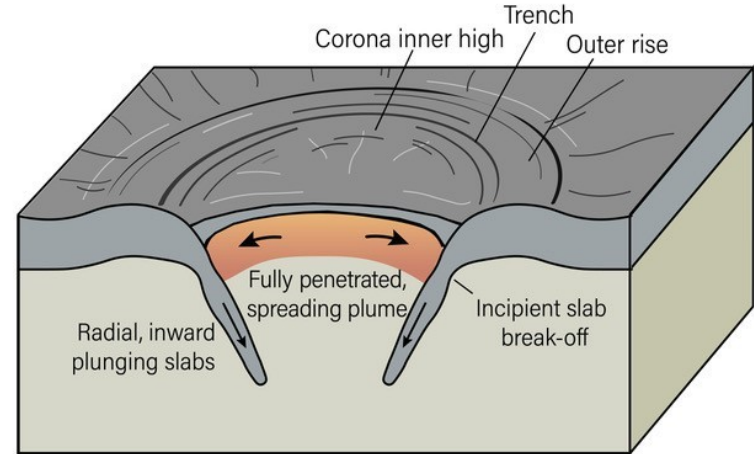


Possível mecanismo de formação de corona. Uma pluma de manto perfura a crosta, formando uma cúpula, enquanto a crosta ao redor cai no manto (a, b). Se a pluma não é forte, se dissipa e a cúpula começa a esvaziar à medida que a pressão sob ela diminui (c). Conforme a pluma morre, a cúpula pode desabar, formando uma depressão (d).

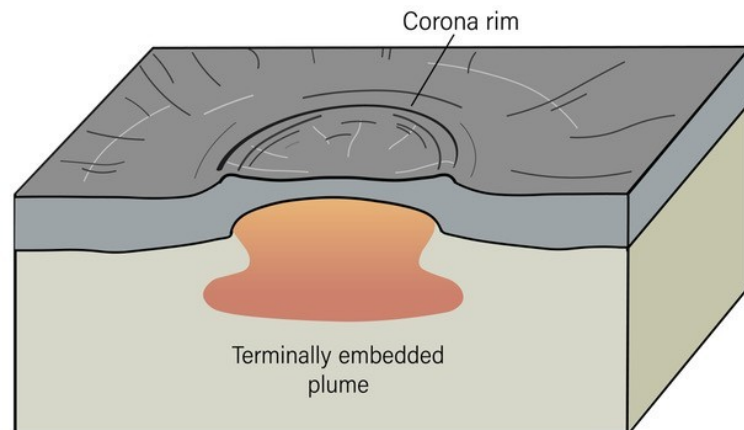
**a** Lithospheric dripping



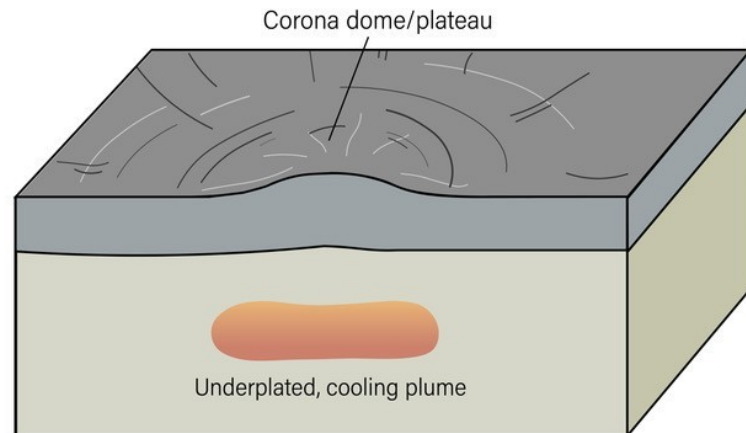
**b** Ephemeral subduction



**c** Embedded plume



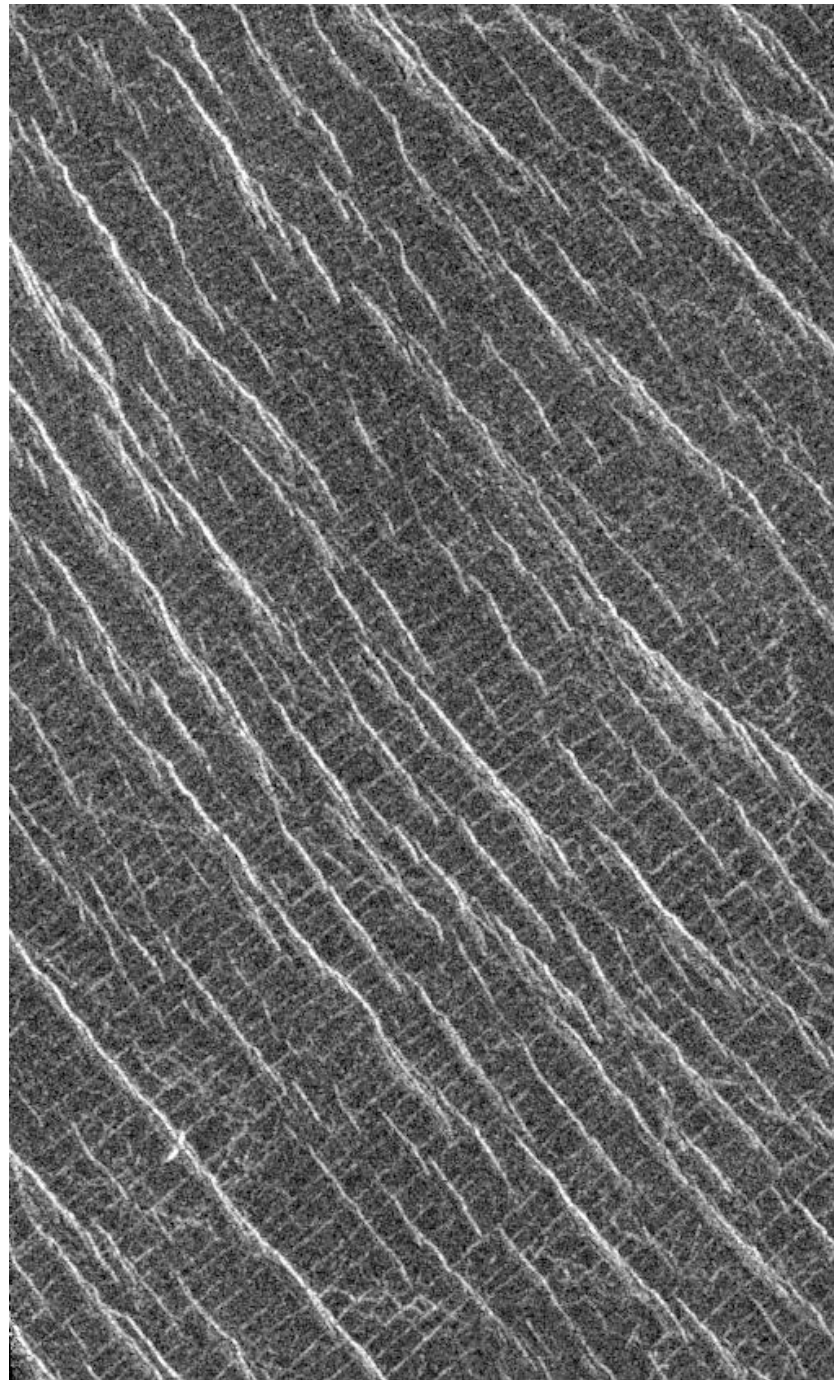
**d** Plume underplating



# Tectonismo.

Vênus não apresenta evidências de tectônica de placas, talvez devido a que a crosta é muito forte. Não entanto, existem acidentes geográficos devidos a movimentos no interior do planeta, o que causa a compressão e extensão da superfície

Deformações pela extensão e compressão da crosta em Guinevere Planitia.



# Terra

"Quando eu me  
encontrava preso, na  
cela de uma cadeia

Foi que eu vi pela  
primeira vez, as tais  
fotografias

Em que apareces inteira,  
porém lá não estava nua  
E sim coberta de nuvens

Terra, Terra"

Caetano Veloso

Primeira foto da Terra inteira,  
22/12/1968, Apollo 8, NASA





# AS TAIS FOTOGRAFIAS

Frank Borman, Jim Lovell e William Anders, os astronautas do histórico voo espacial Apollo 8, talvez não saibam, mas são responsáveis diretos por uma das mais belas composições da música brasileira. Em 21 de dezembro de 1968, com a ajuda do foguete Saturno V SA-503, eles realizaram a primeira viagem em torno da Lua, que durou seis dias e não levou o homem a pisar lá, mas atingiu a órbita do satélite. Nunca antes uma nave tripulada havia ido tão longe e retornado.

Enquanto o trio fazia a alegria do Natal dos norte-americanos e dava voltas e voltas em torno do astro (foram dez no total), por aqui Gilberto Gil e Caetano Veloso eram presos. No amanhecer do dia 27 de dezembro, 14 dias depois que entrou em vigor o AI-5, o mais violento instrumento de repressão da ditadura militar, eles foram levados pela via Dutra num camburão. Logo depois, às 12h51 (em Brasília), a cápsula pousava no oceano Pacífico.

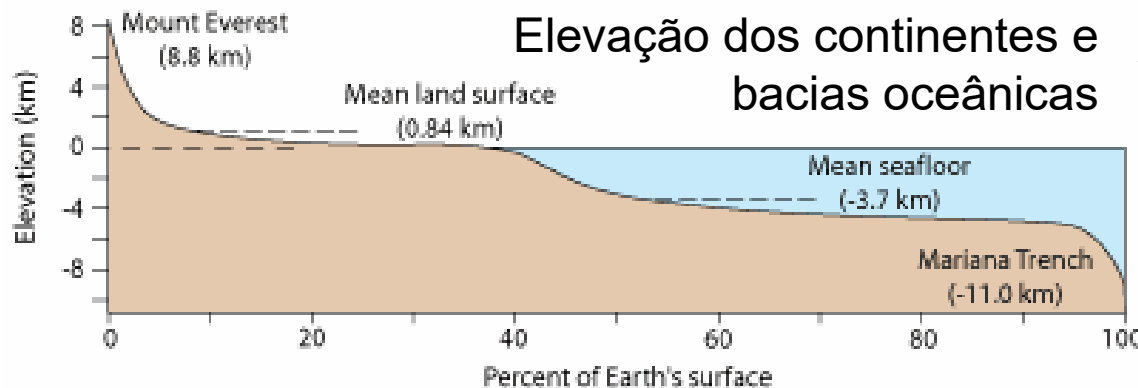
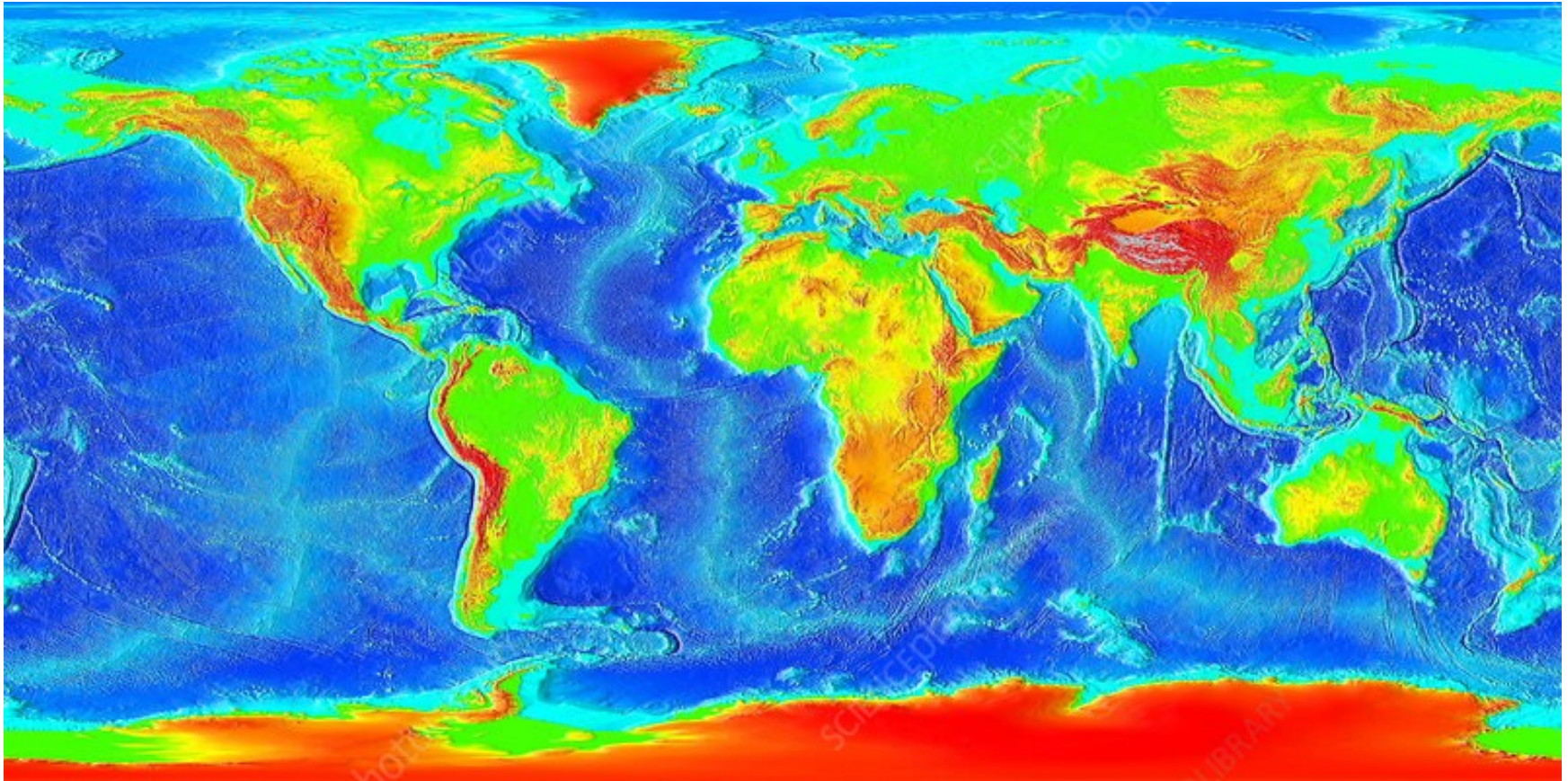
## Preso pela ditadura numa pequena cela, Caetano admirava a 1a imagem do planeta inteiro, livre no espaço

Então, Caetano, quando se encontrava preso na cela de uma cadeia, via as tais fotografias tiradas a distância pelos errantes navegantes. "Lá não estavas nua, e sim, coberta de nuvens". Assim começa a música "Terra".

<https://www.uol.com.br/tilt/reportagens-especiais/a-conquista-do-espaco-marcou-caetano-veloso-e-virou-um-classico-da-mpb/>

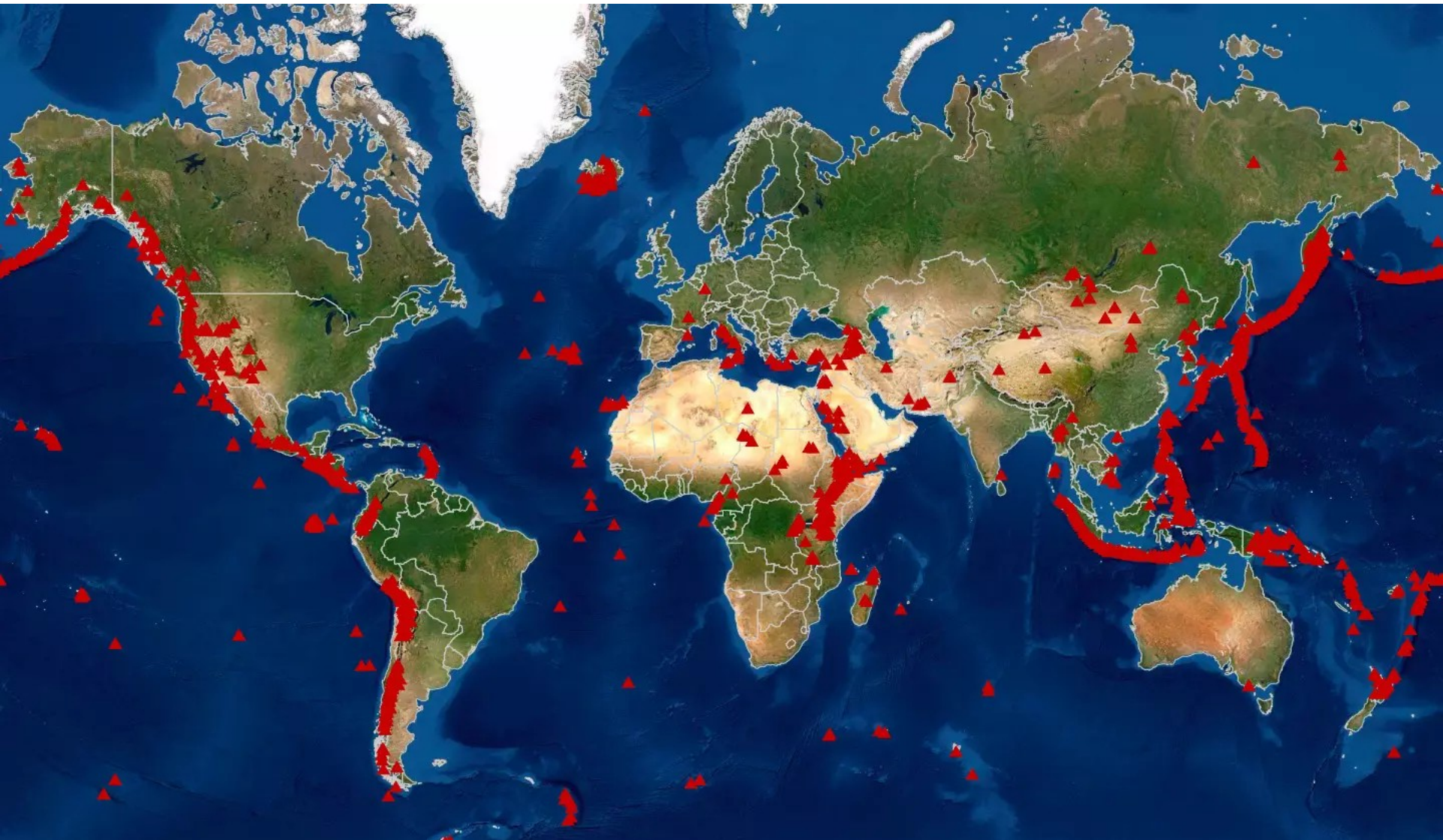
# Terra: Mapa topográfico

Azul: menos elevado. Verde-amarelo: intermediário.  
Vermelho: regiões mais elevadas

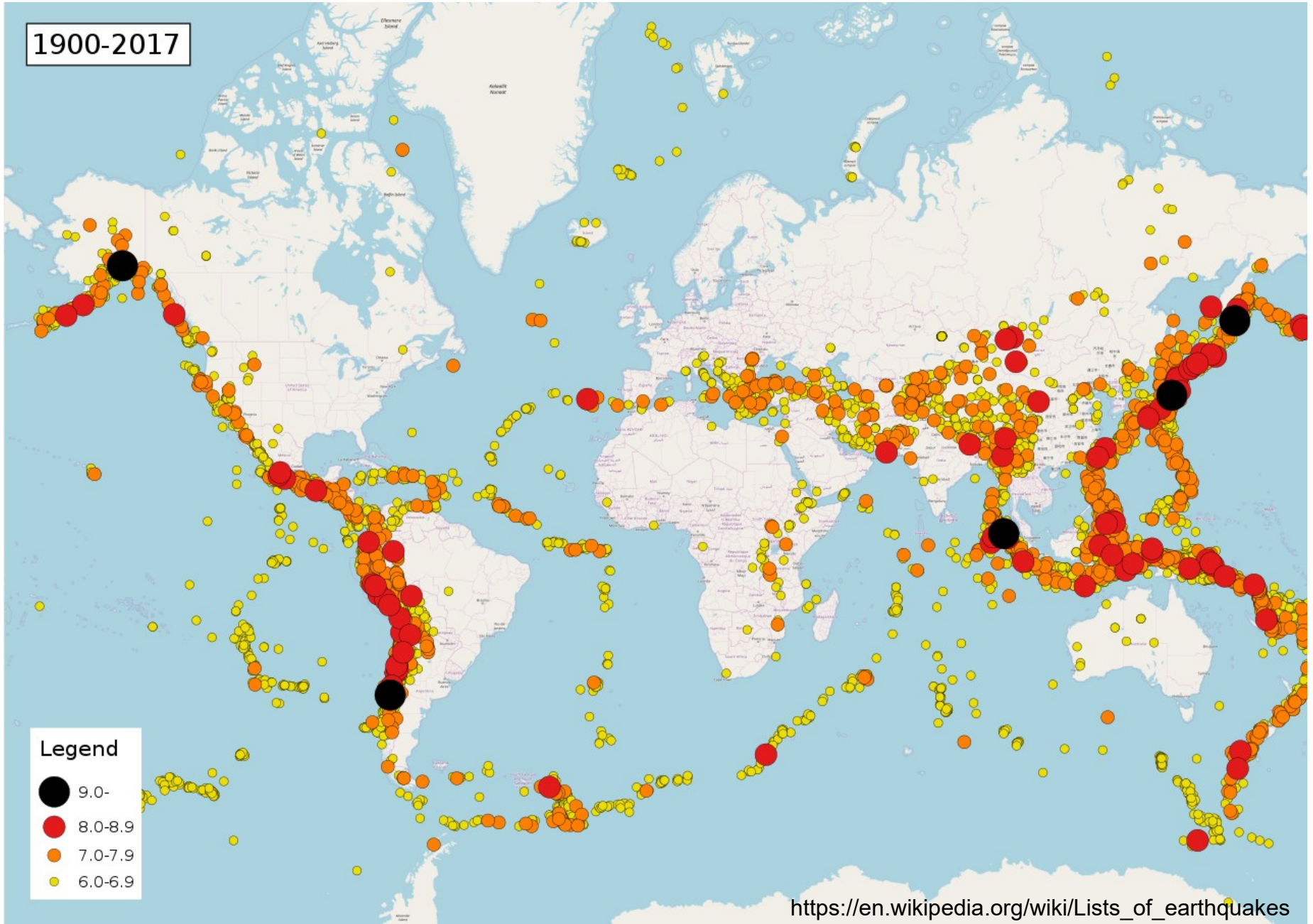


A altura média dos continentes é de 840 m acima do nível do mar e a profundidade média do fundo oceânico é de 3700 m abaixo do nível do mar. Apenas uma pequena fração da superfície da Terra se eleva acima da elevação média dos continentes ou cai abaixo da elevação média do fundo do oceano.

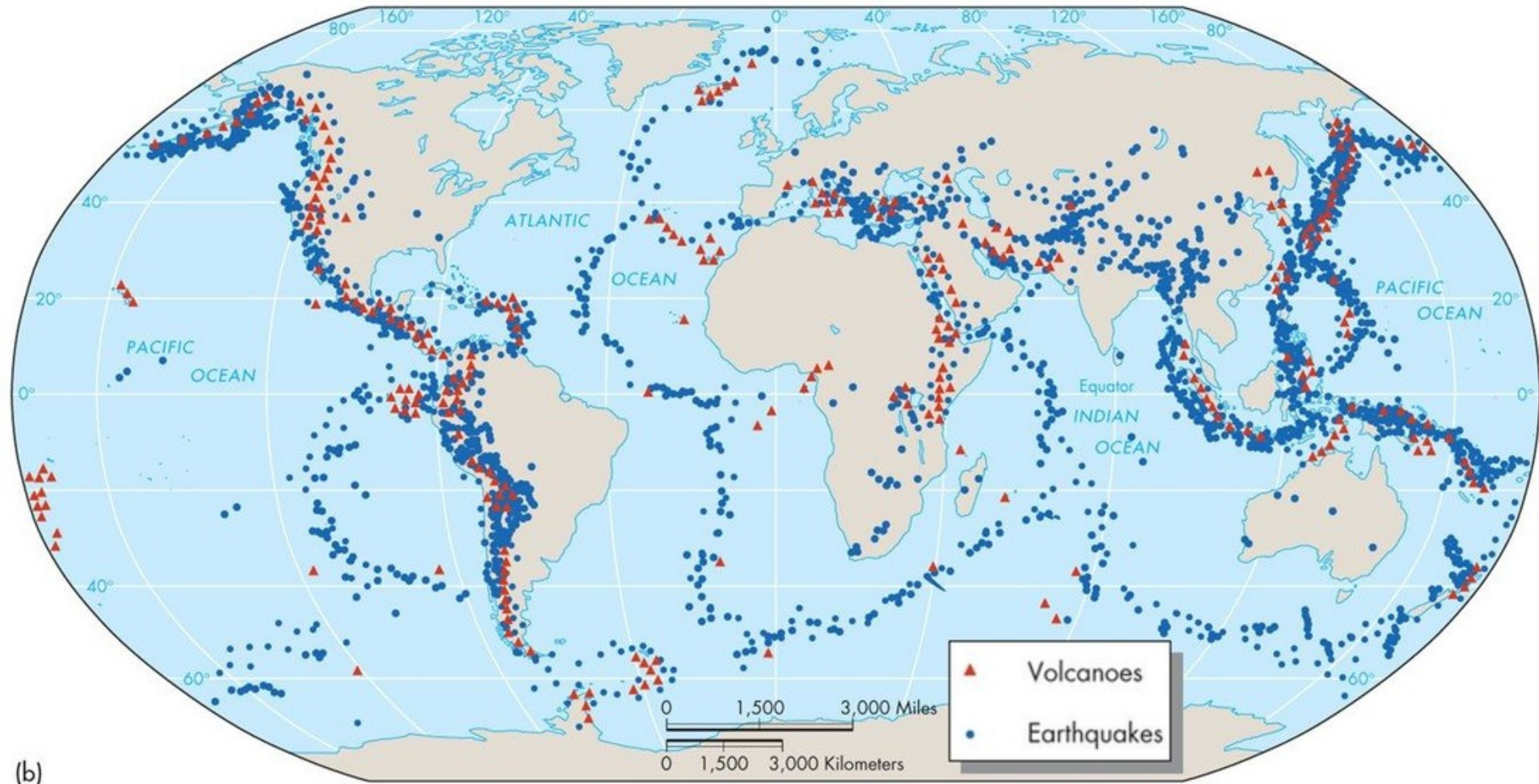
# Localização de vulcões



# Localização de terremotos (1900-2017)



# Localização de vulcões e terremotos

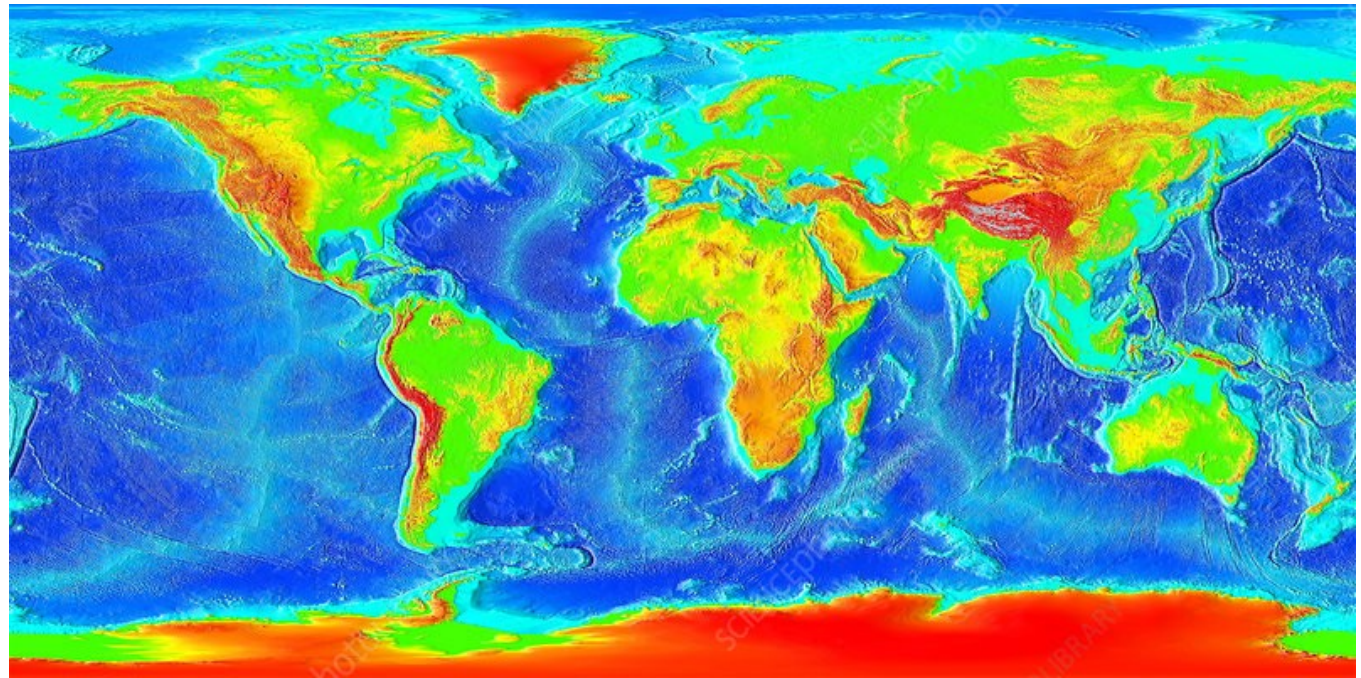
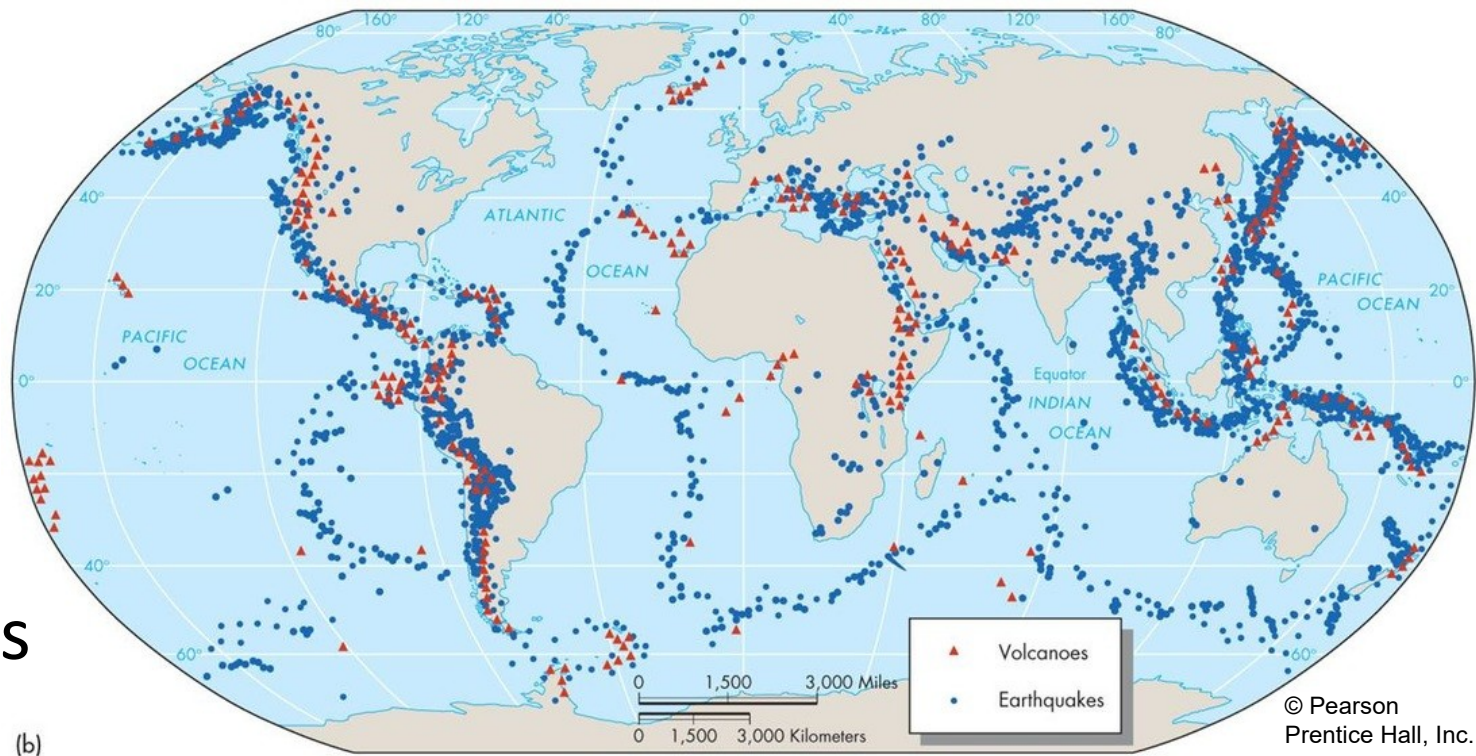


(b)

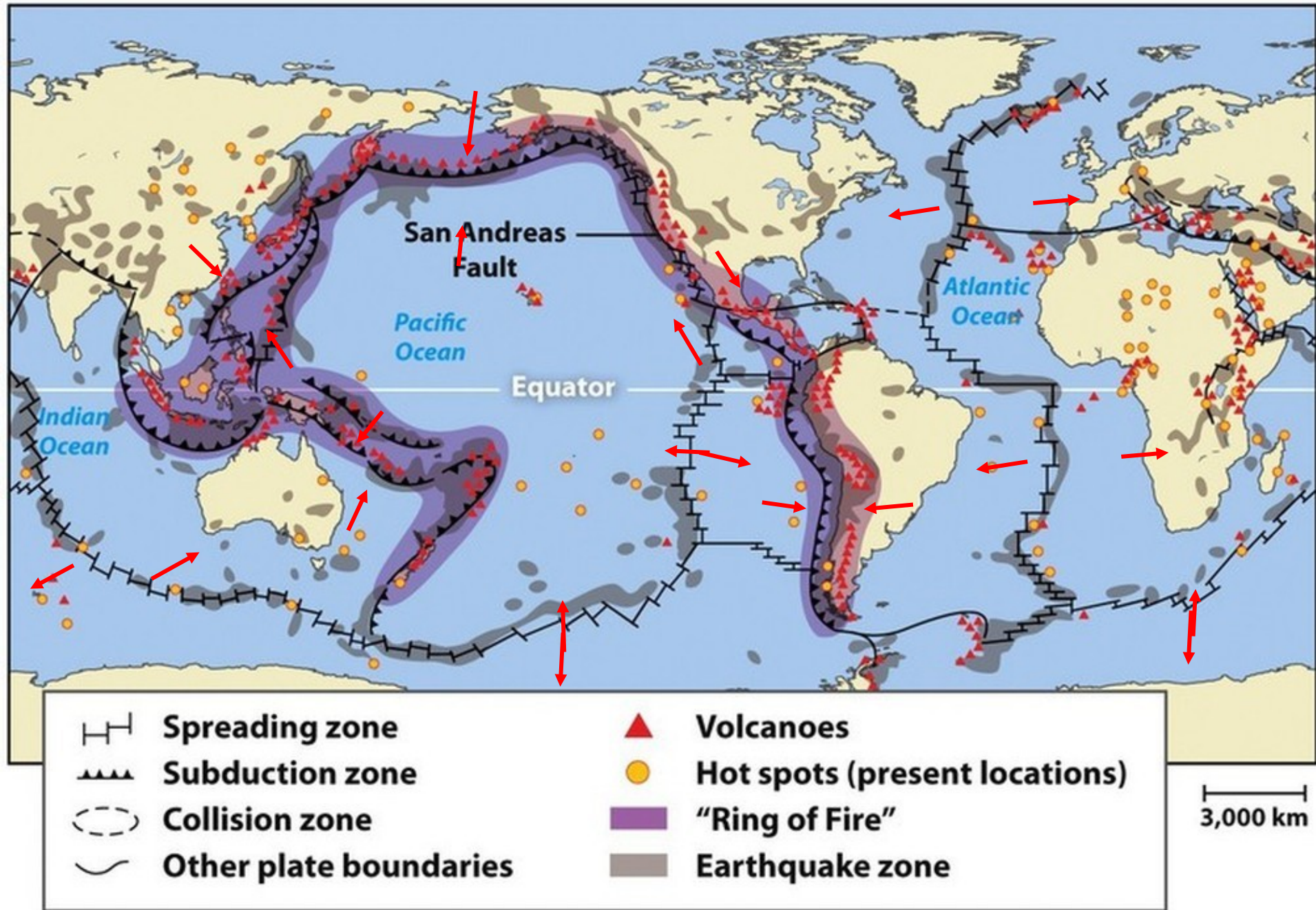
Copyright © 2008 Pearson Prentice Hall, Inc.



Diversos observáveis de processos dinâmicos no interior da Terra



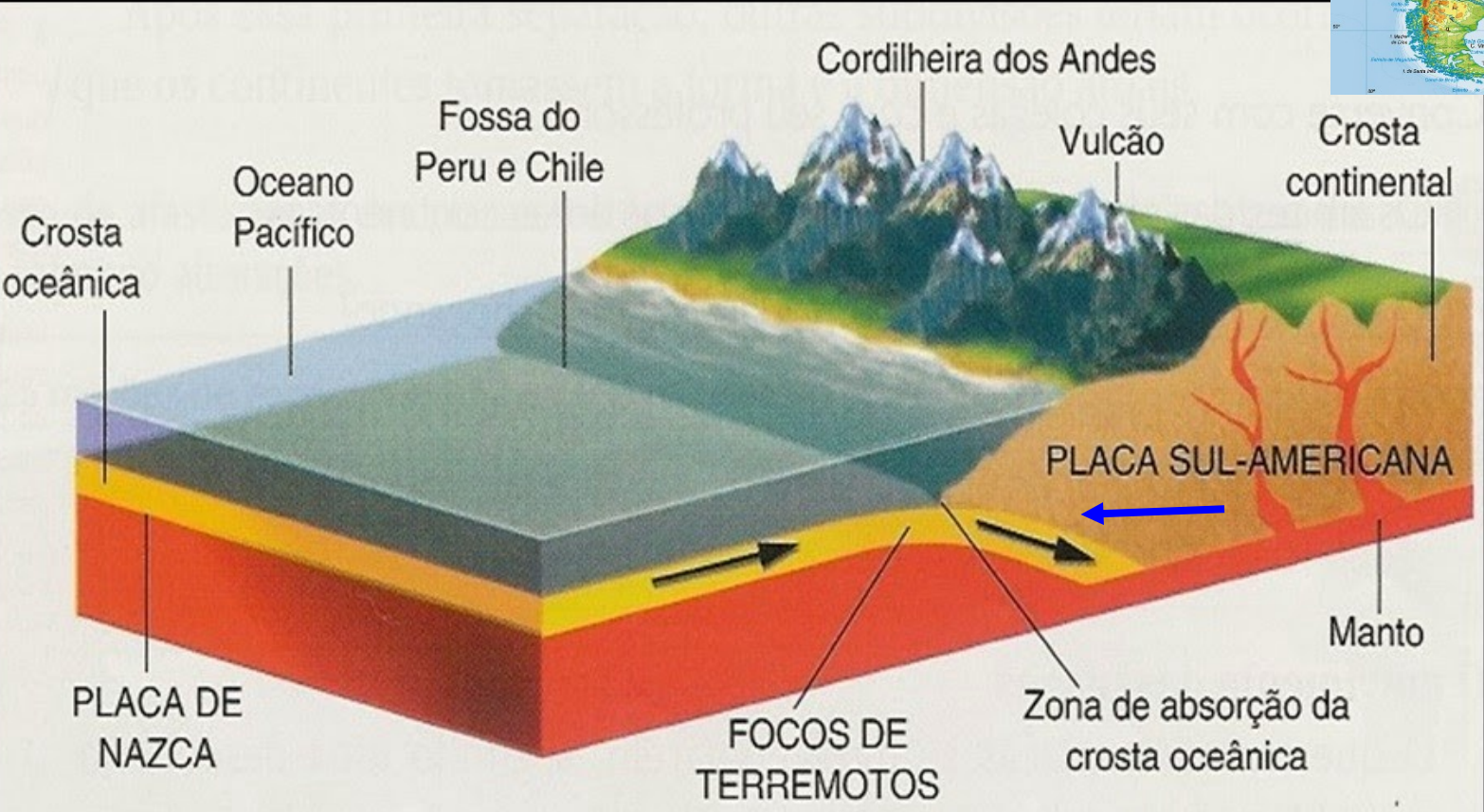
# A litosfera está dividida em placas (convergentes e divergentes)



No Peru observamos as montanhas da Cordilheira dos Andes, vulcões e terremotos.



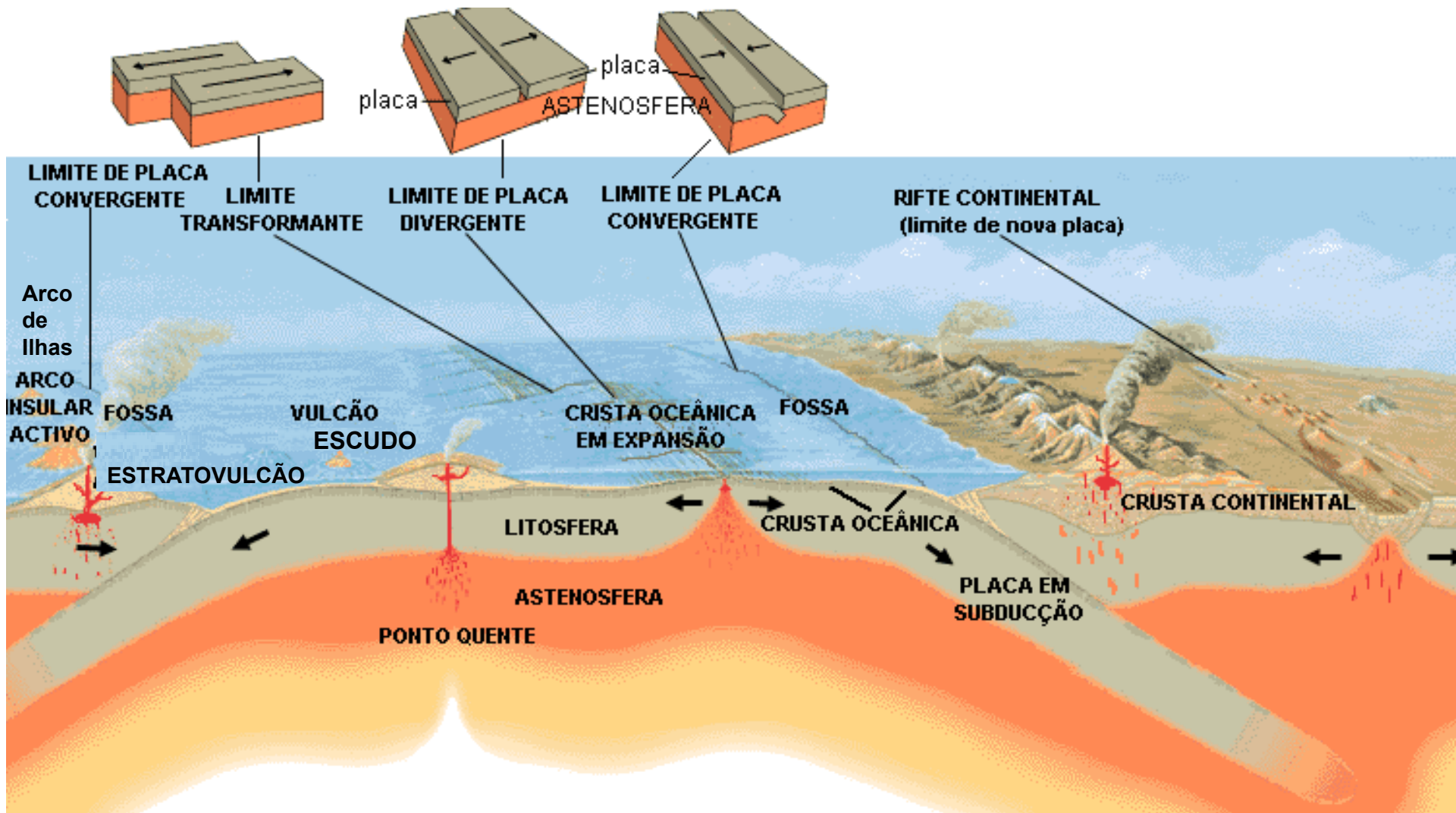
Placa de Nazca é mais densa que a Sul-Americana, penetrando e causando a elevação do terreno na região de choque



# Movimento das placas tectônicas: tipos de borda

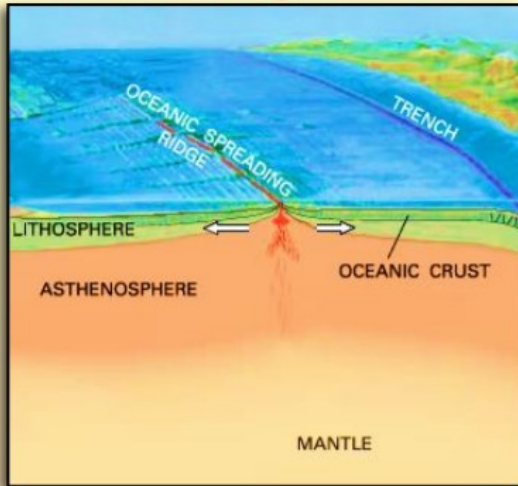


# Movimento das placas tectônicas: tipos de borda

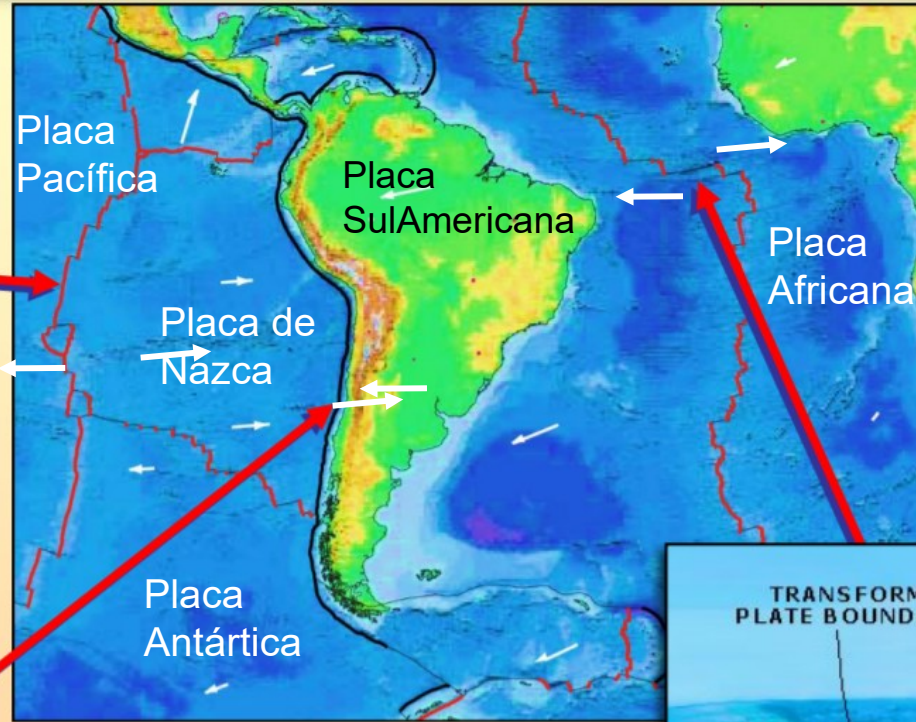


# Movimento das placas tectônicas: tipos de borda

## a) Divergentes



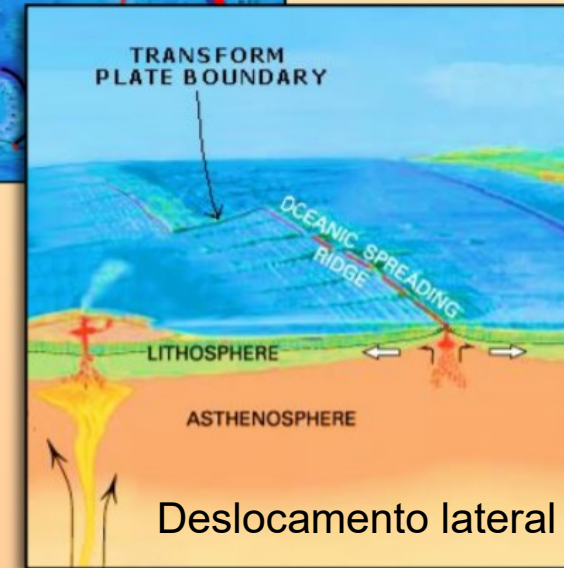
Separação entre placas



## b) Convergentes



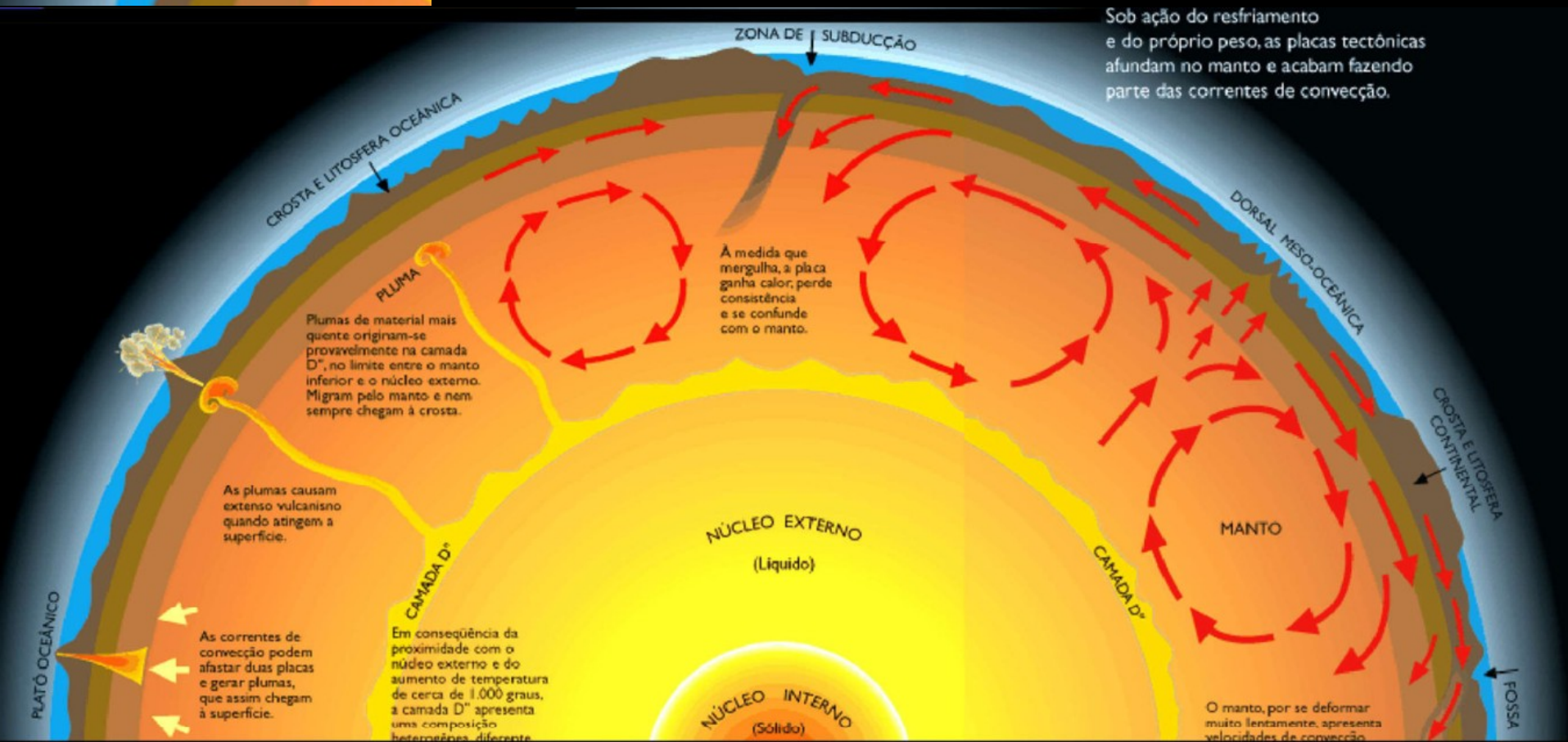
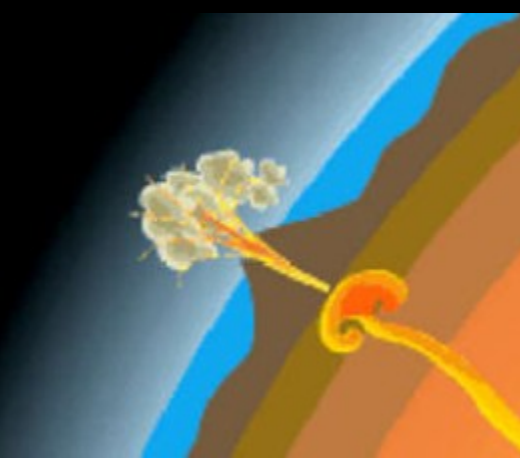
Colisão entre placas



Deslocamento lateral

## c) Transformantes

# Convecção no manto → vulcanismo e movimento das placas tectônicas



Sob ação do resfriamento e do próprio peso, as placas tectônicas afundam no manto e acabam fazendo parte das correntes de convecção.

CROSTA E LITOSFERA OCEÂNICA

DORSAL MESIOCEÂNICA

CROSTA E LITOSFERA CONTINENTAL

ZONA DE SUBDUÇÃO

PLATÔ OCEÂNICO

FOSSA

PLUMA  
Plumas de material mais quente originam-se provavelmente na camada D<sup>''</sup>, no limite entre o manto inferior e o núcleo externo. Migram pelo manto e nem sempre chegam à crosta.

As plumas causam extenso vulcanismo quando atingem a superfície.

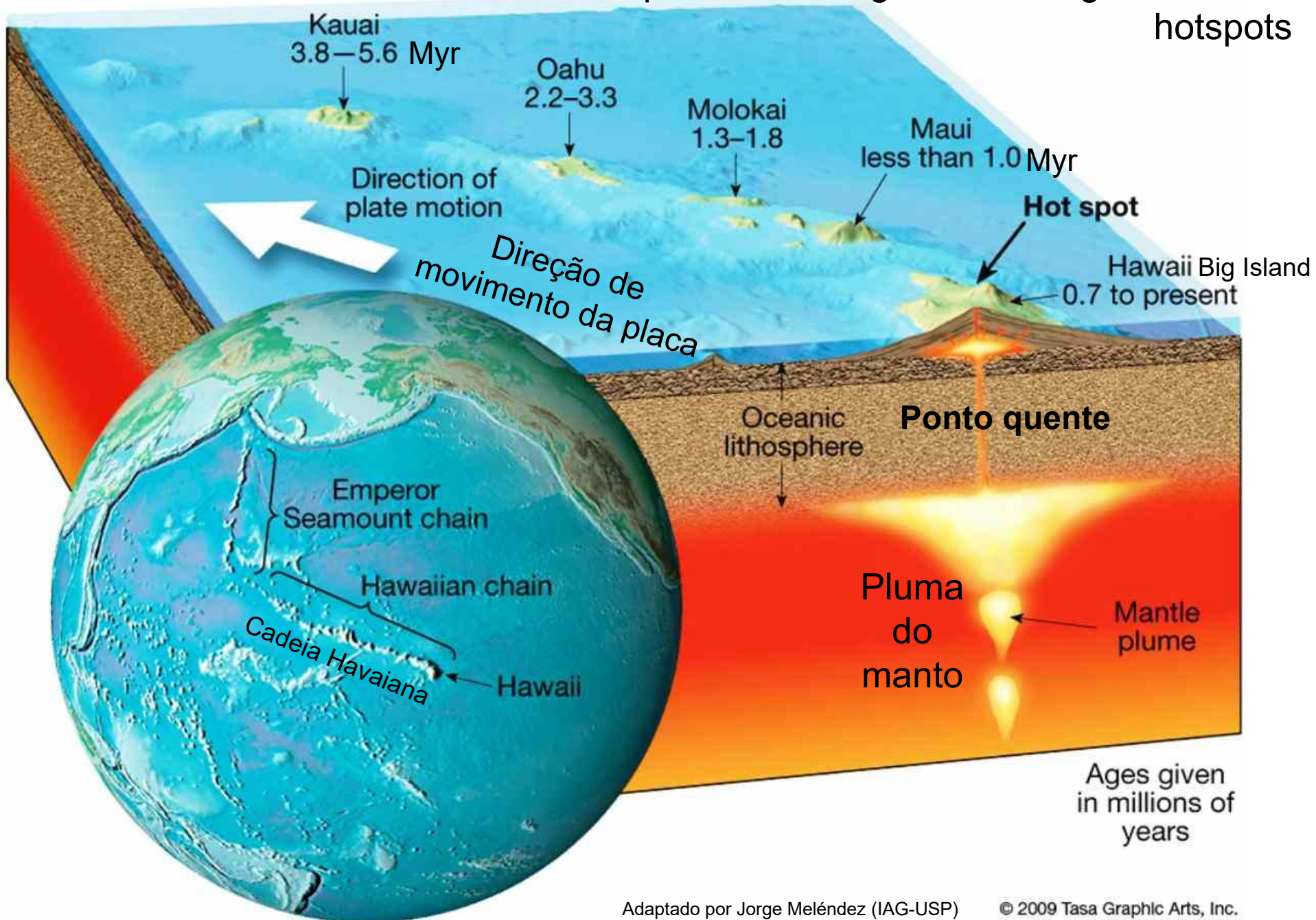
As correntes de convecção podem afastar duas placas e gerar plumas, que assim chegam à superfície.

À medida que mergulha, a placa ganha calor, perde consistência e se confunde com o manto.

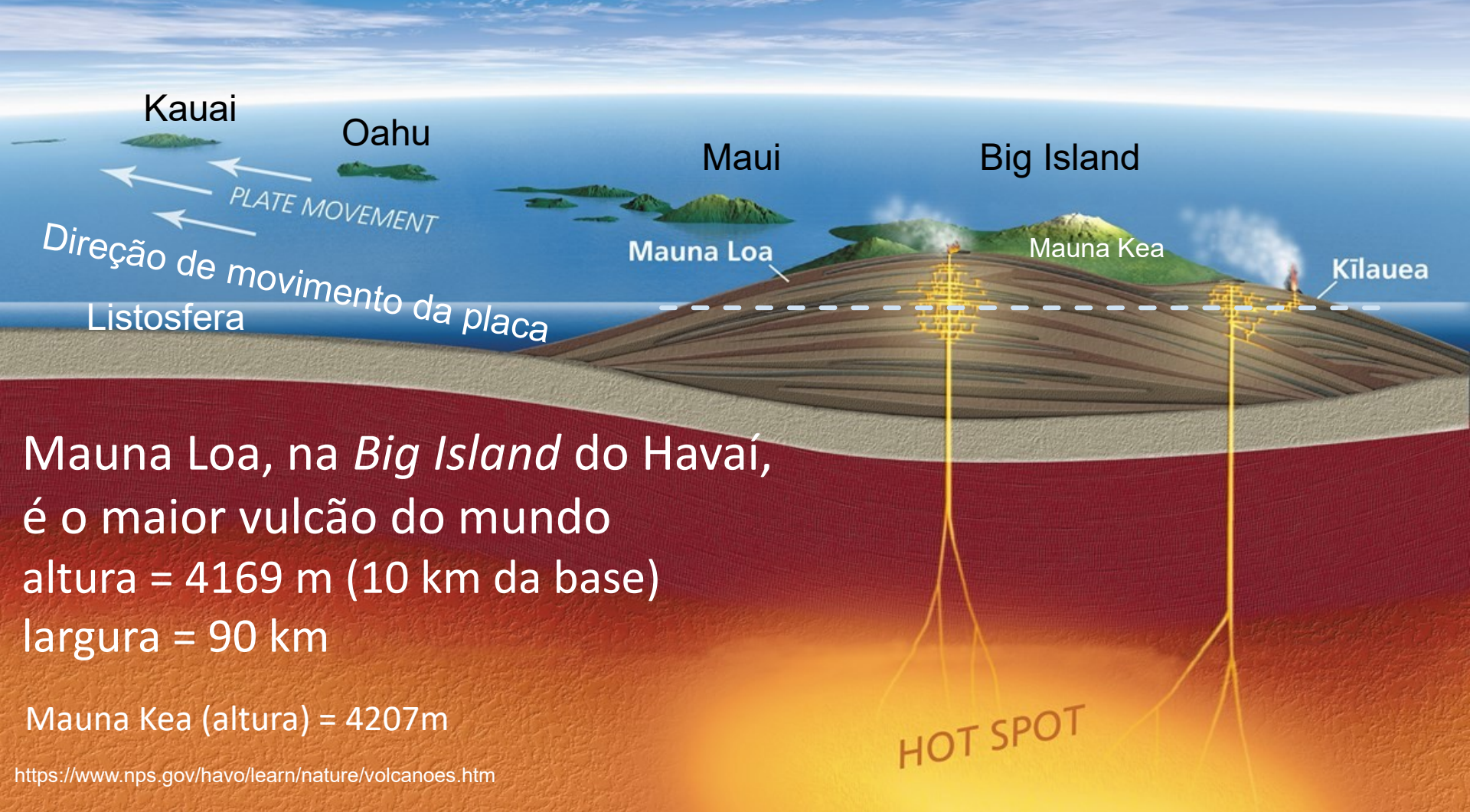
Em consequência da proximidade com o núcleo externo e do aumento de temperatura de cerca de 1.000 graus, a camada D<sup>''</sup> apresenta uma composição heterogênea, diferente

O manto, por se deformar muito lentamente, apresenta velocidades de convecção

Vulcões se formam no limite de placas convergentes, divergentes e em hotspots





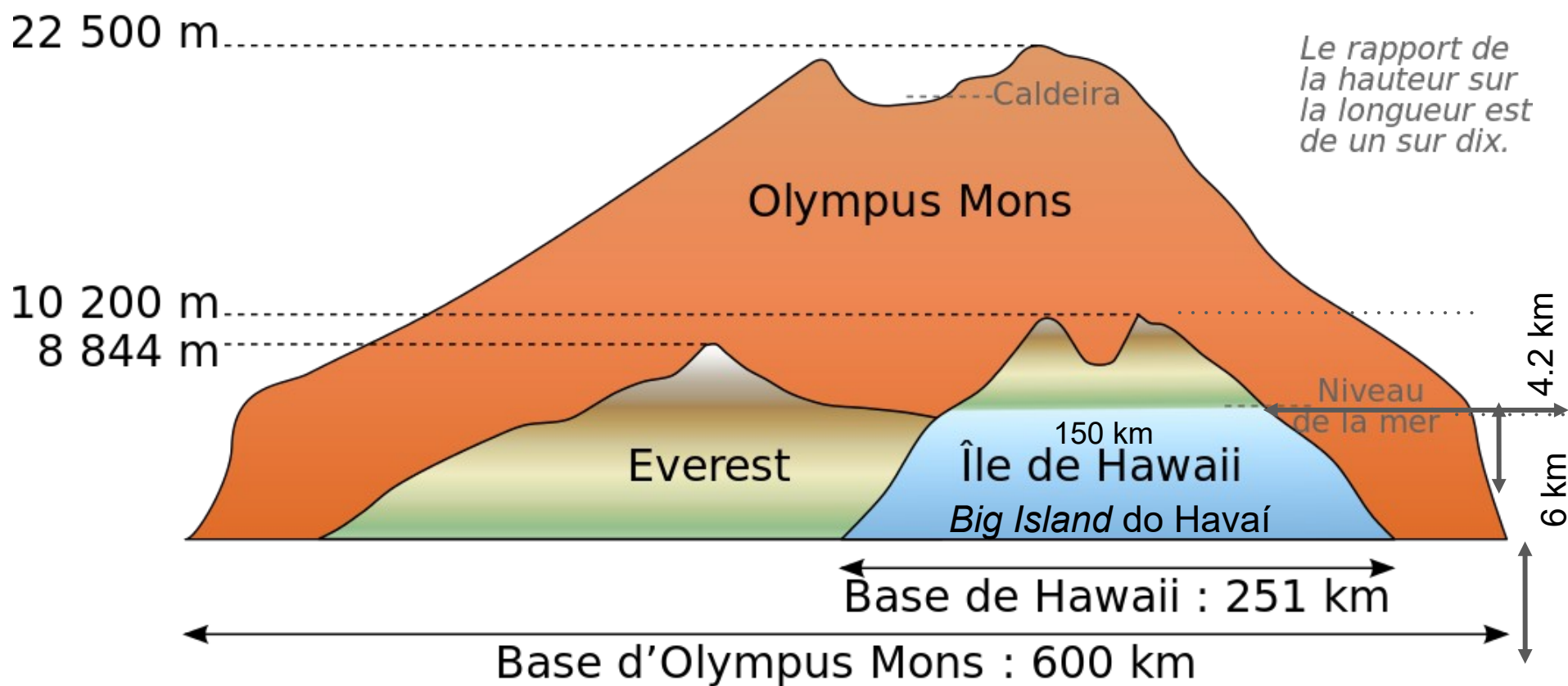


Mauna Loa é um vulcão do tipo escudo (*shield*)



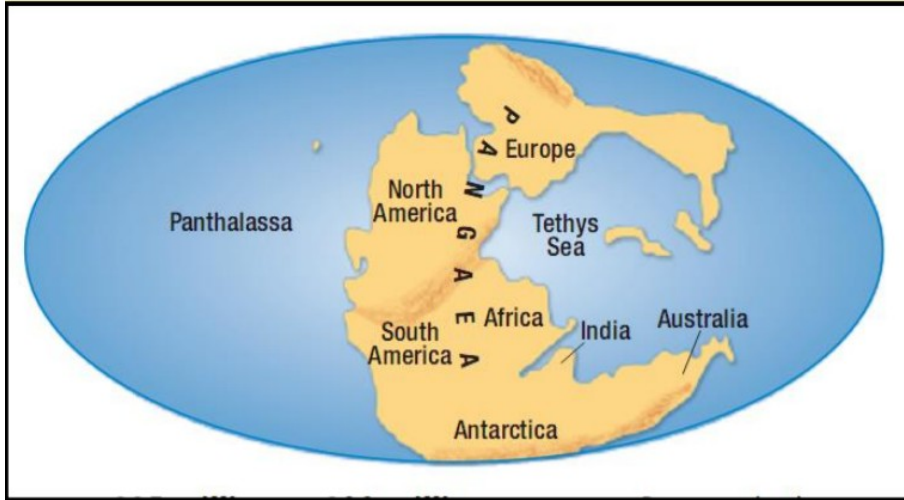
Da base, Mauna Kea e Mauna Loa (ambos ~10 km) no Havai são mais altos que o Everest (8,8 km)!

## Comparaison des dimensions d'Olympus Mons, de l'Everest et de l'île de Hawaï

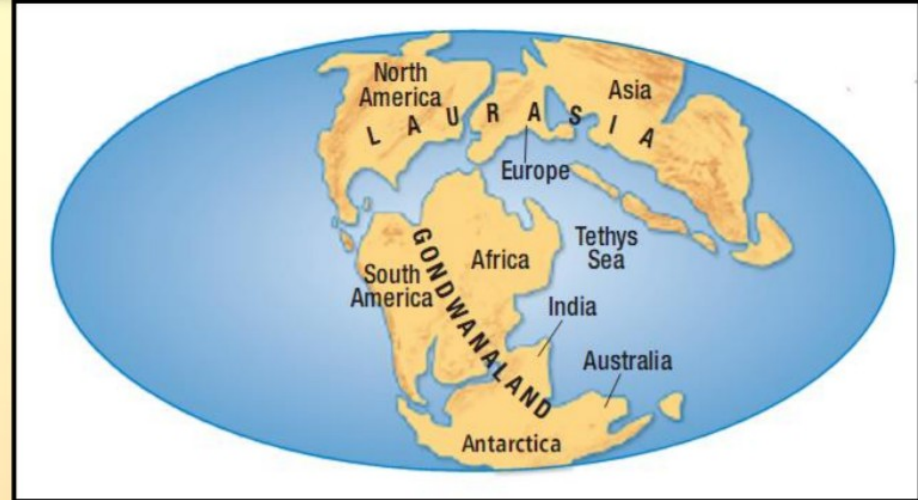


# Movimento das placas tectônicas

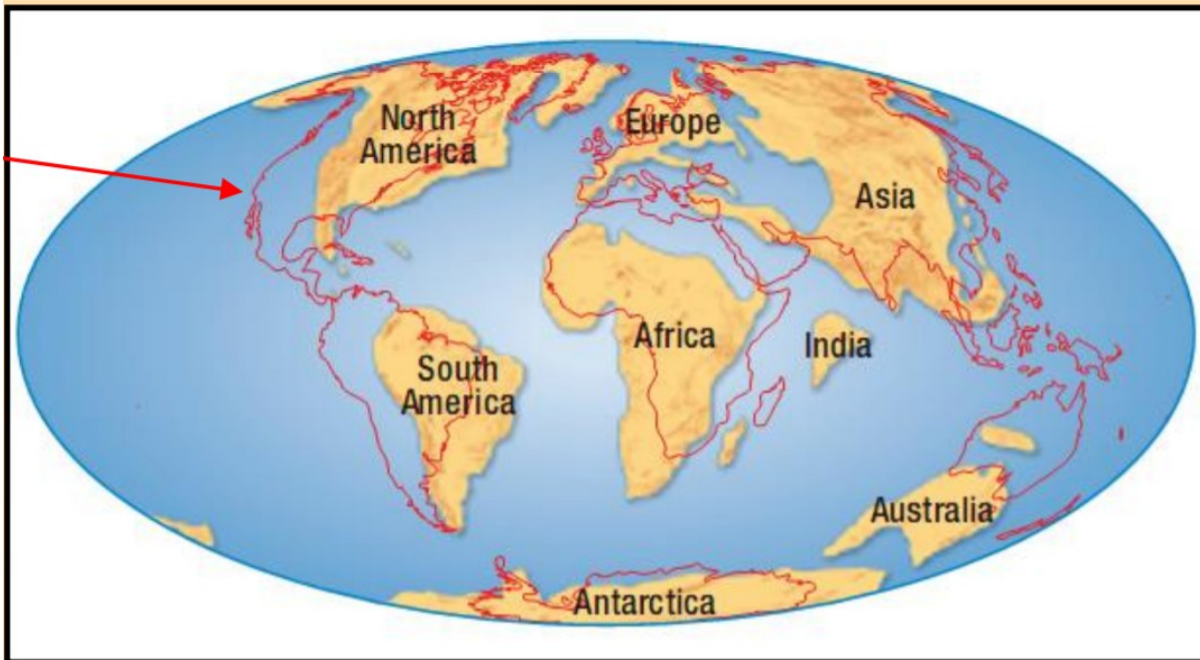
Há 225 milhões de anos



Há 150 milhões de anos



Hoje



Há 60 milhões de anos

Daqui a 250 milhões de anos

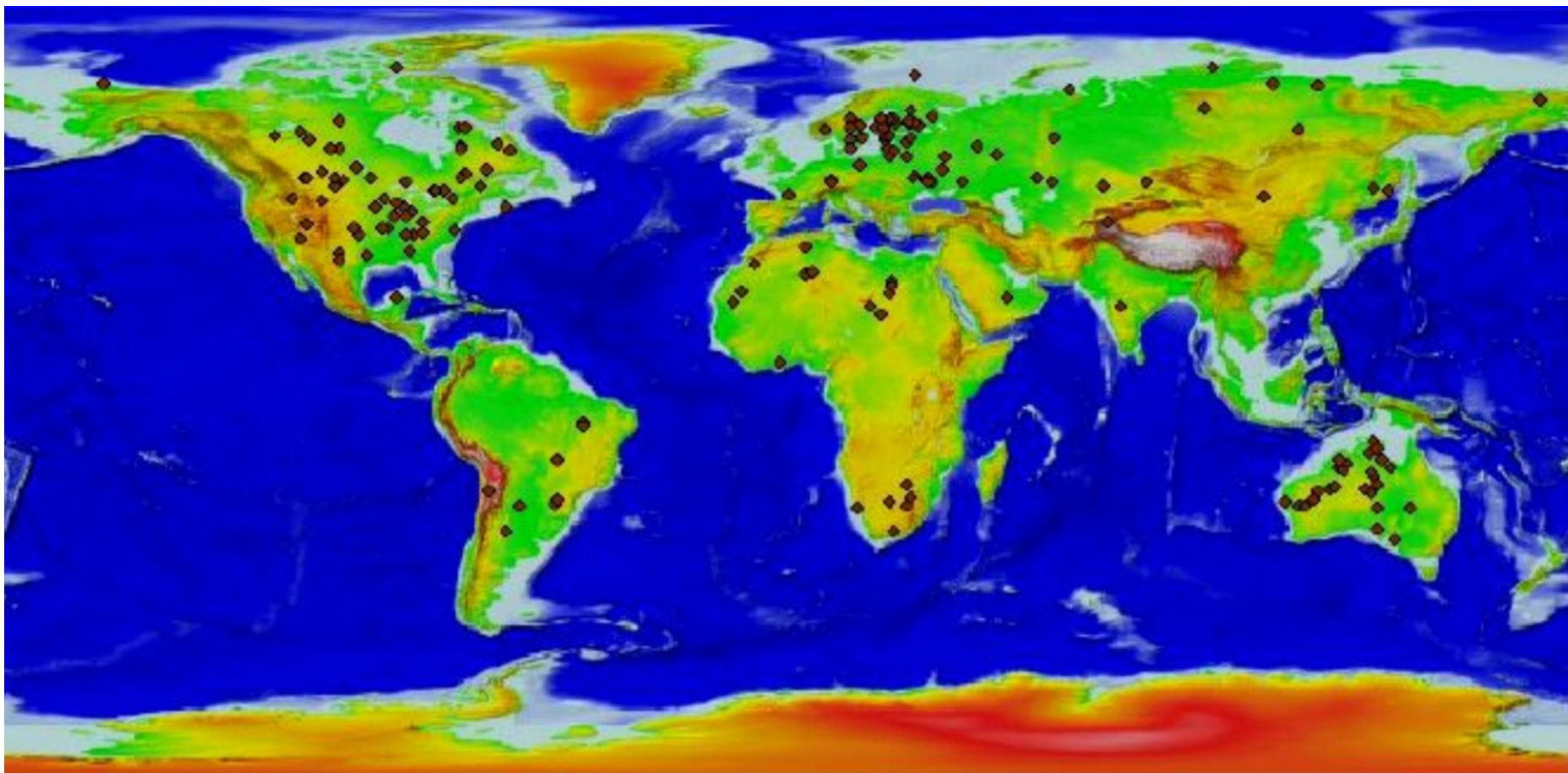


# Vídeo sobre como funciona a tectônica de placas

[https://www.youtube.com/watch?v=7CPv0NSIG2M&ab\\_channel=CrashCourse](https://www.youtube.com/watch?v=7CPv0NSIG2M&ab_channel=CrashCourse)



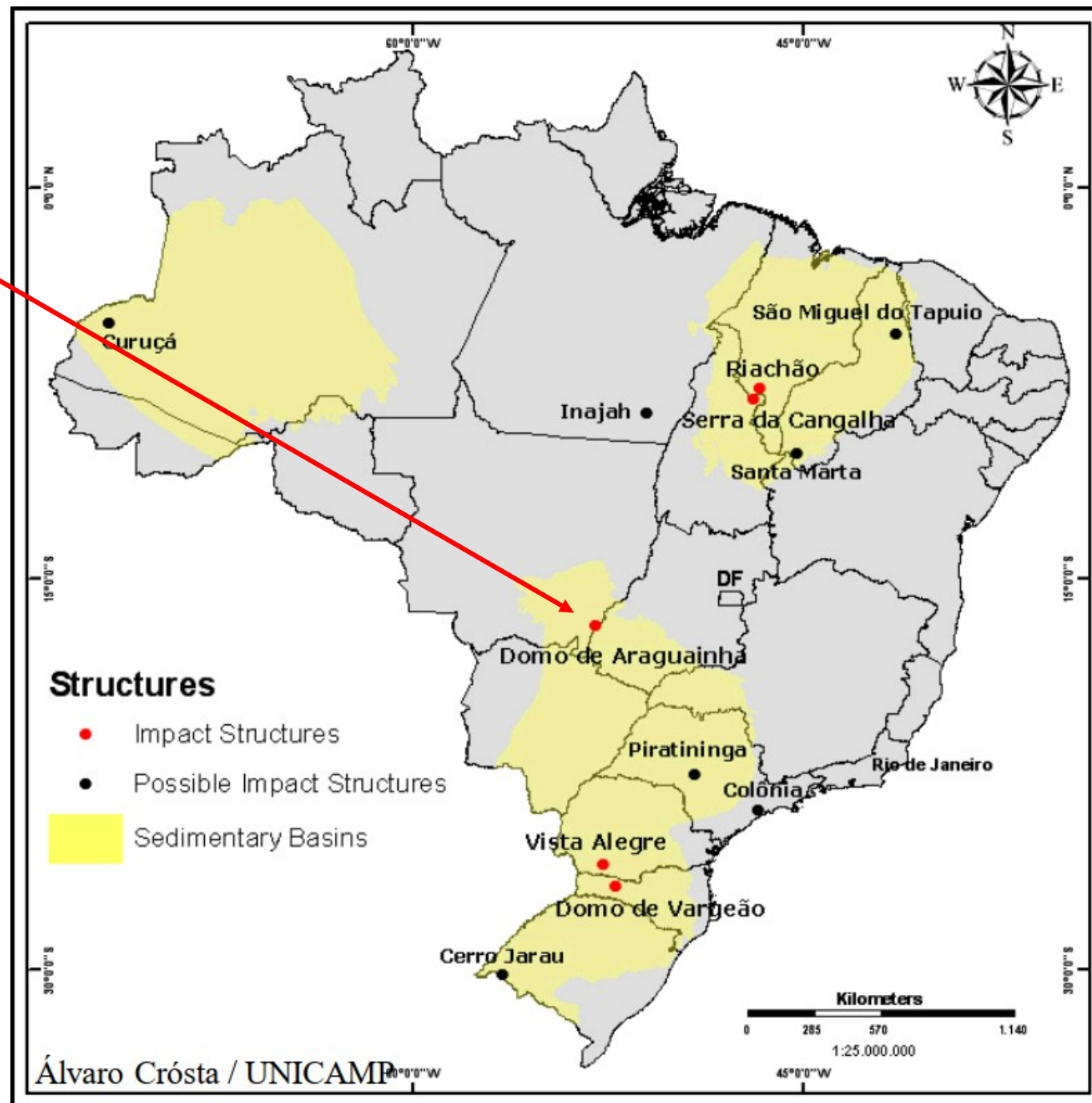
# Maiores crateras de impacto



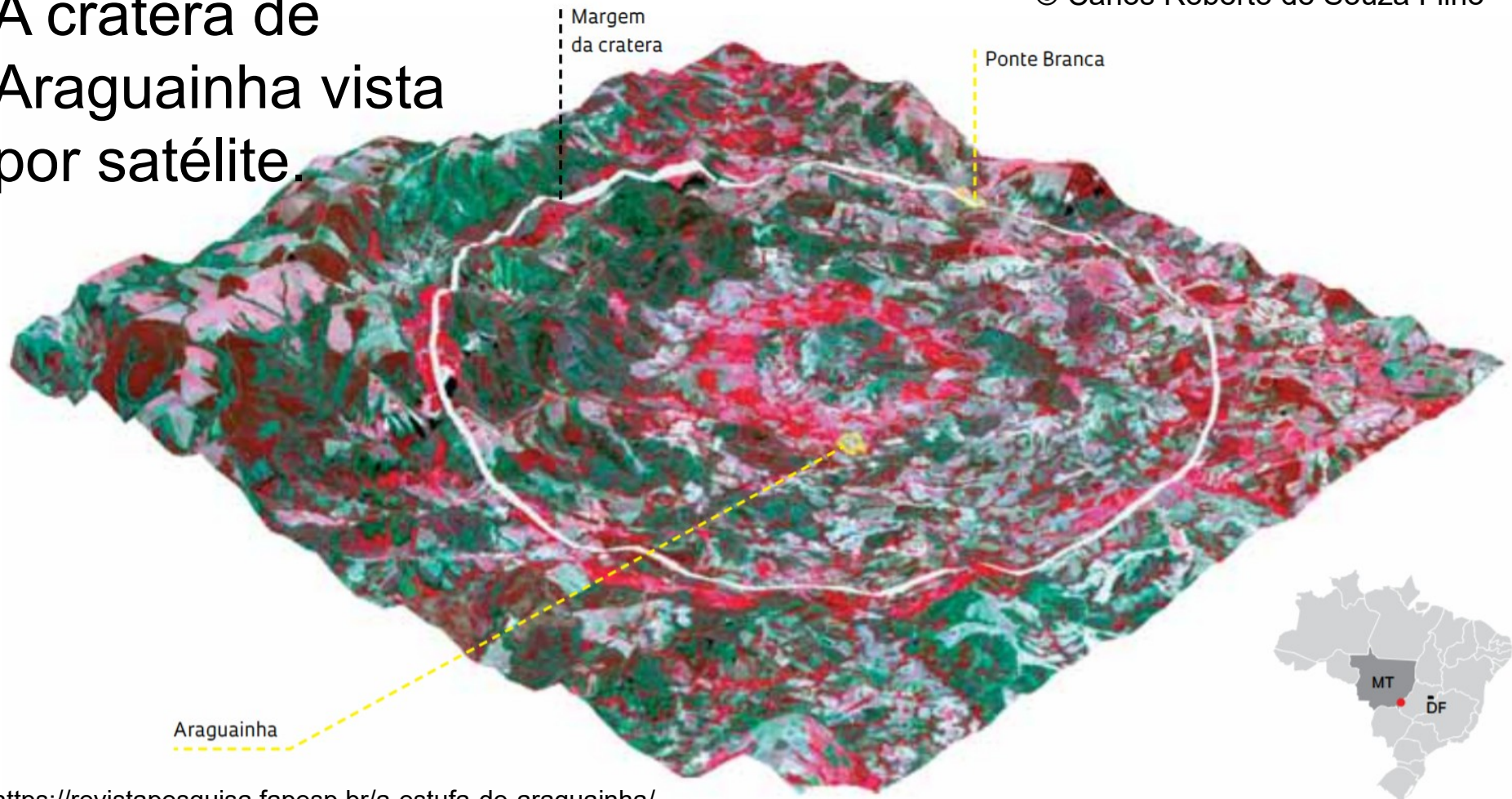
Maior cratera do Brasil: Domo de Araguainha (na divisa entre Mato Grosso e Goiás)

A maior cratera de impacto no Brasil é **Domo de Araguainha** (na divisa entre Mato Grosso e Goiás).

Diâmetro = 40 km  
Idade =  $254,7 \pm 2,5$  milhões de anos.



# A cratera de Araguainha vista por satélite.



<https://revistapesquisa.fapesp.br/a-estufa-de-araguainha/>

Vista da área da cratera: região rica em depósitos de carbono orgânico

© Eric Tohve





# Cratera de Colônia, na zona Sul de São Paulo

Diâmetro = 3,6 km, prof. = 300m

Claudio Riccomini et al., 2009

<http://sigep.cprm.gov.br/sitio116/sitio116.pdf>

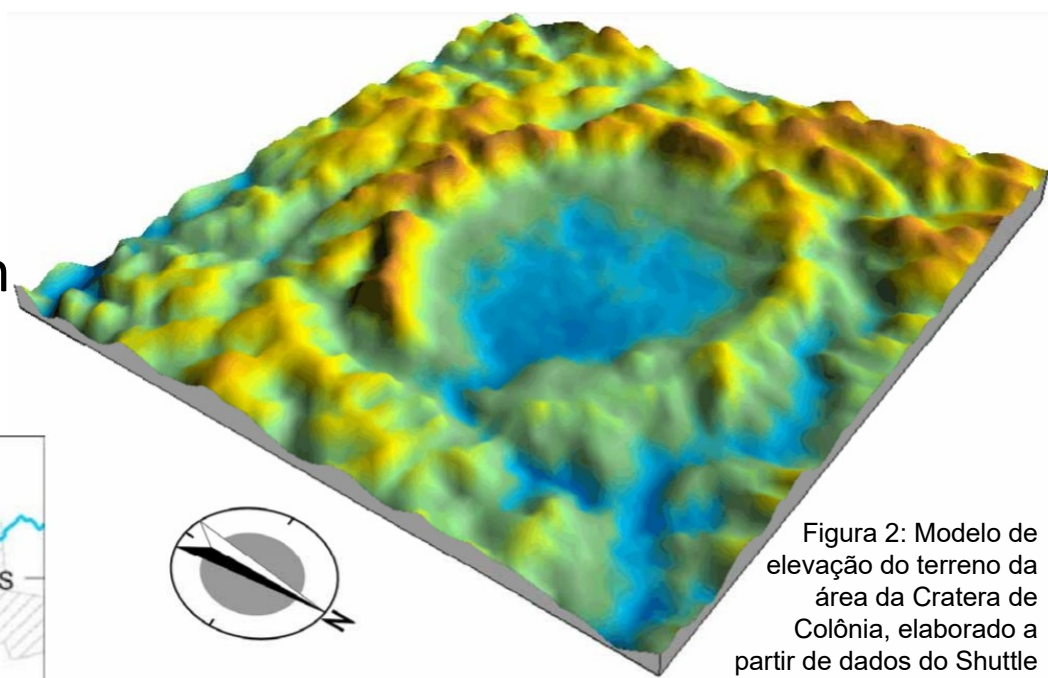
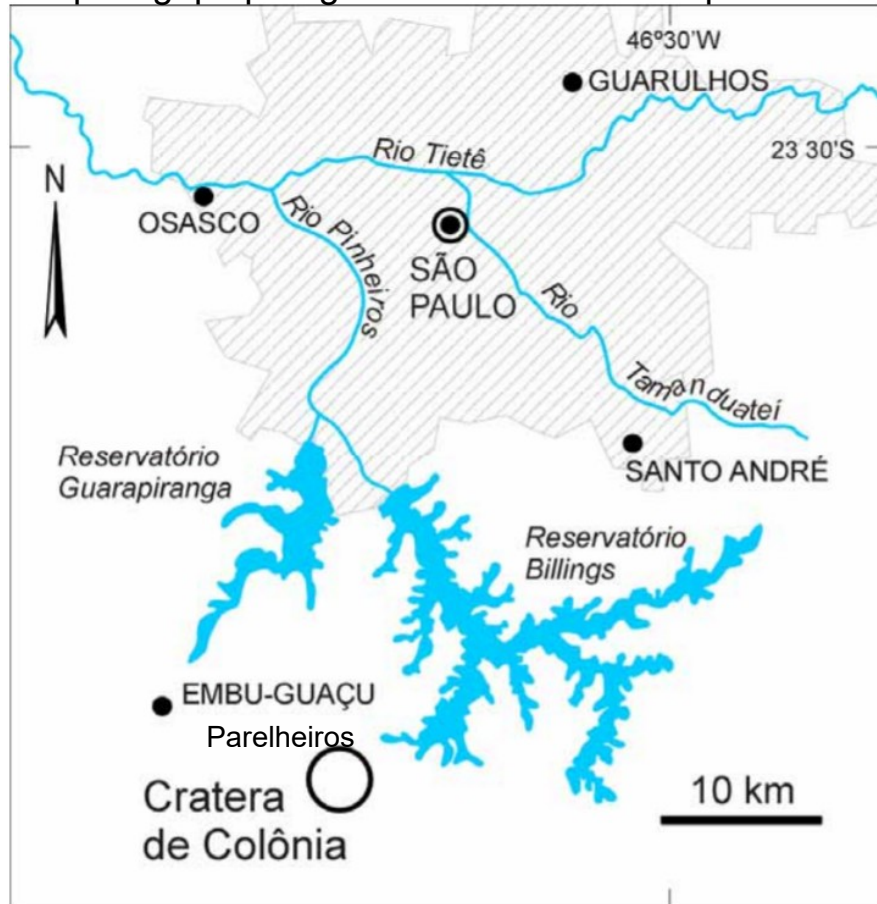


Figura 2: Modelo de elevação do terreno da área da Cratera de Colônia, elaborado a partir de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), United States Geological Survey (USGS), 2002.

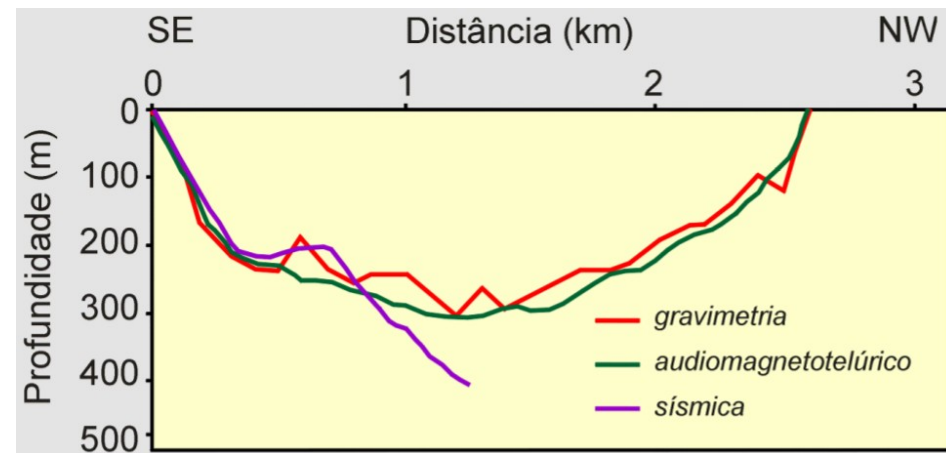
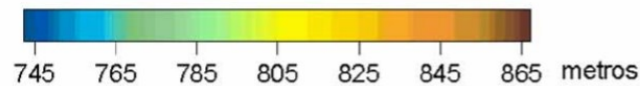
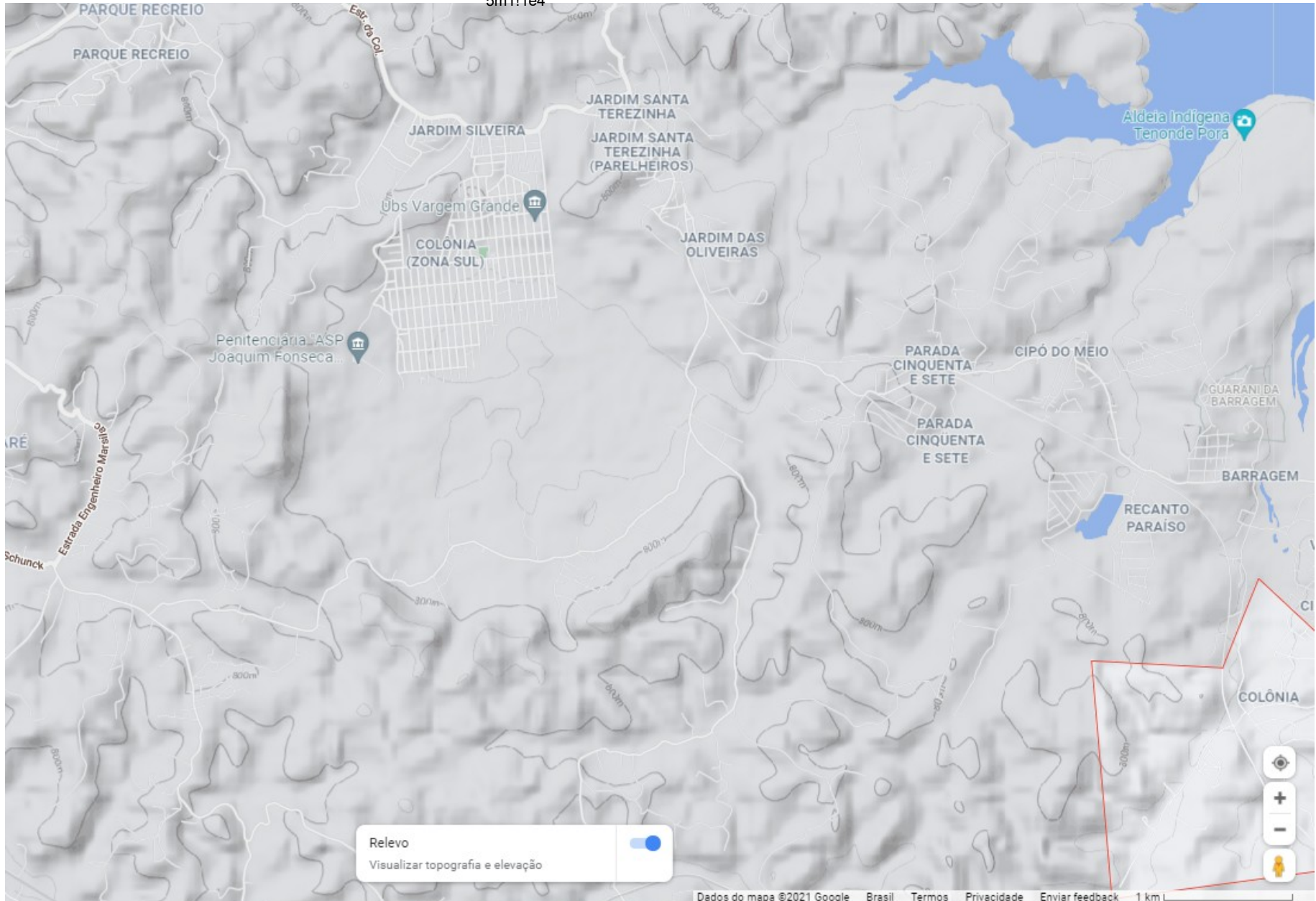


Figura 4: Seção de direção NW-SE da Cratera de Colônia elaboradas a partir de dados geofísicos (Riccomini et al., 1992 e Neves, 1998, modificados)

# Podemos notar a parte mais interna da cratera usando a opção de relevo no Google maps!

<https://www.google.com/maps/place/Parque+Natural+Municipal+da+Cratera+de+Col%C3%B4nia/@-23.875406,-46.729454,14z/data=!4m5!3m4!1s0x94ce37aa860e7c33:0x24d8bcb9a8d4bdcd!8m2!3d-23.8738977!4d-46.7132337!5m1!1e4>



# Cratera de Colônia / Vargem Grande

Região de Parelheiros, Zona Sul de São Paulo

Diâmetro = 3,6 km, prof. = 300m. Idade = 5 a 36 milhões de anos?



Análise microscópica confirmou que a estrutura circular existente na área de Colônia, próxima à represa Billings, foi produzida pelo choque de um asteroide ou cometa ( *imagem: arquivo de Victor Velázquez Fernandez* )



**Cratera de Barringer (a.k.a. Cratera do Meteoro),** em Arizona, EUA. Diâmetro = 1,2km, profund. = 170 m. Idade = 50 mil anos. Produzida por asteroide de ~50 m a 13 km/s



Meteorito de Holsinger. O maior fragmento descoberto do meteorito que causou a Cratera de Barringer. Peso = 639 kg, comprimento = 90 cm



# Cratera de Chicxulub (Yucatán, México)

Diâmetro = 180 km

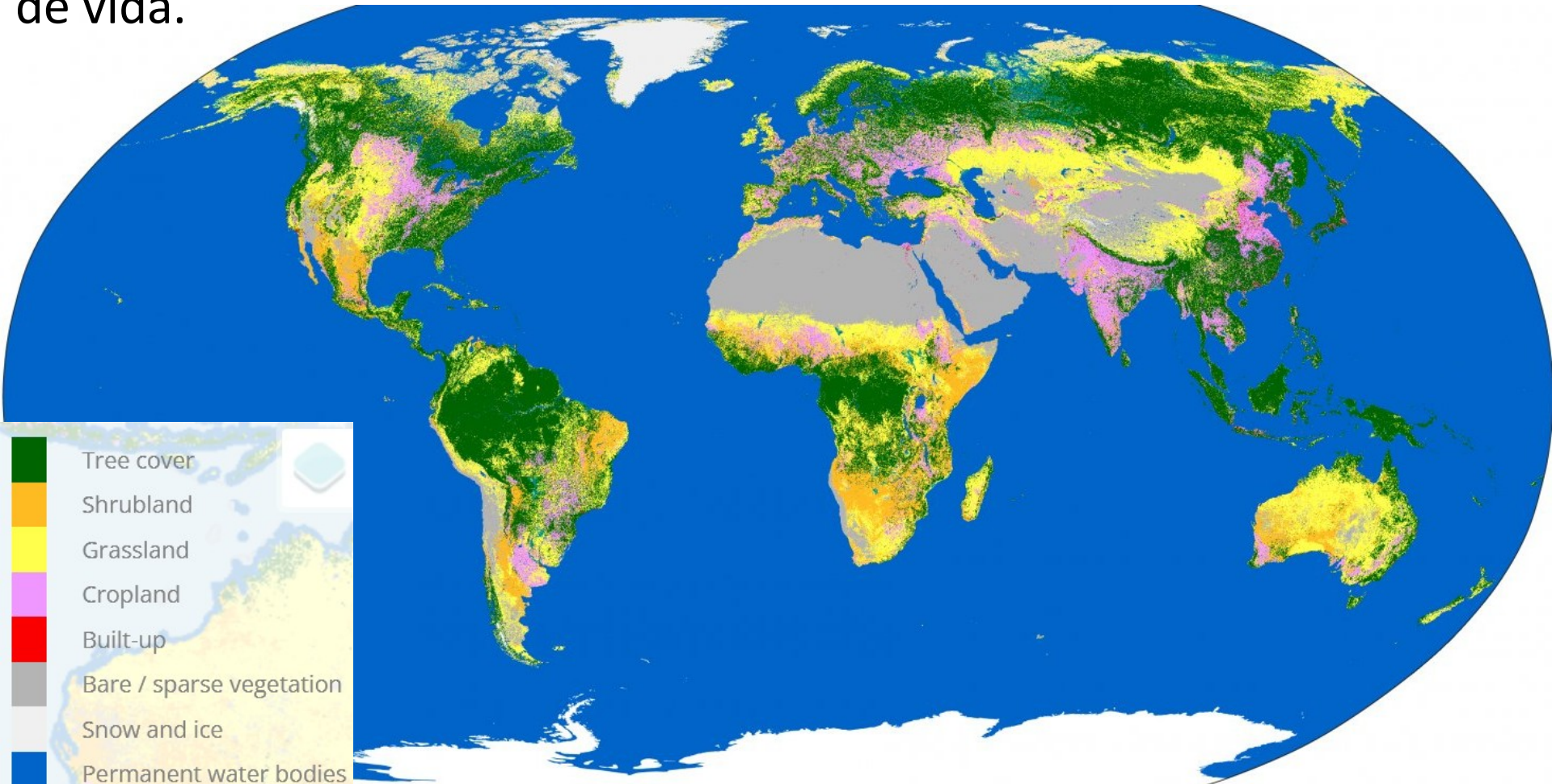
Profundidade = 20 km

Idade = 66 milhões de anos

Causado por asteroide de 10 km



A Terra é um planeta 'vivo', em constante mudança, não apenas pela atividade geológica (atividade tectônica, vulcanismo, erosão por chuvas, rios, oceanos, gelos [glacial], ventos, humana), mas também pela presença de vida.



WorldCover provides a new baseline global land cover product at 10 m resolution for 2020 based on Sentinel-1 and Sentinel-2 data

<https://worldcover2020.esa.int/viewer>

# Recorde de desmatamento em terras indígenas tem a ver com desmonte de órgãos de fiscalização

Ciência

Atualizado em 21 jul 2022,



## Amazônia registra recorde de desmatamento no primeiro semestre

Levantamento do Inpe mostra que é o quarto ano consecutivo com altíssimos índices de derrubada de floresta nesse período, na região

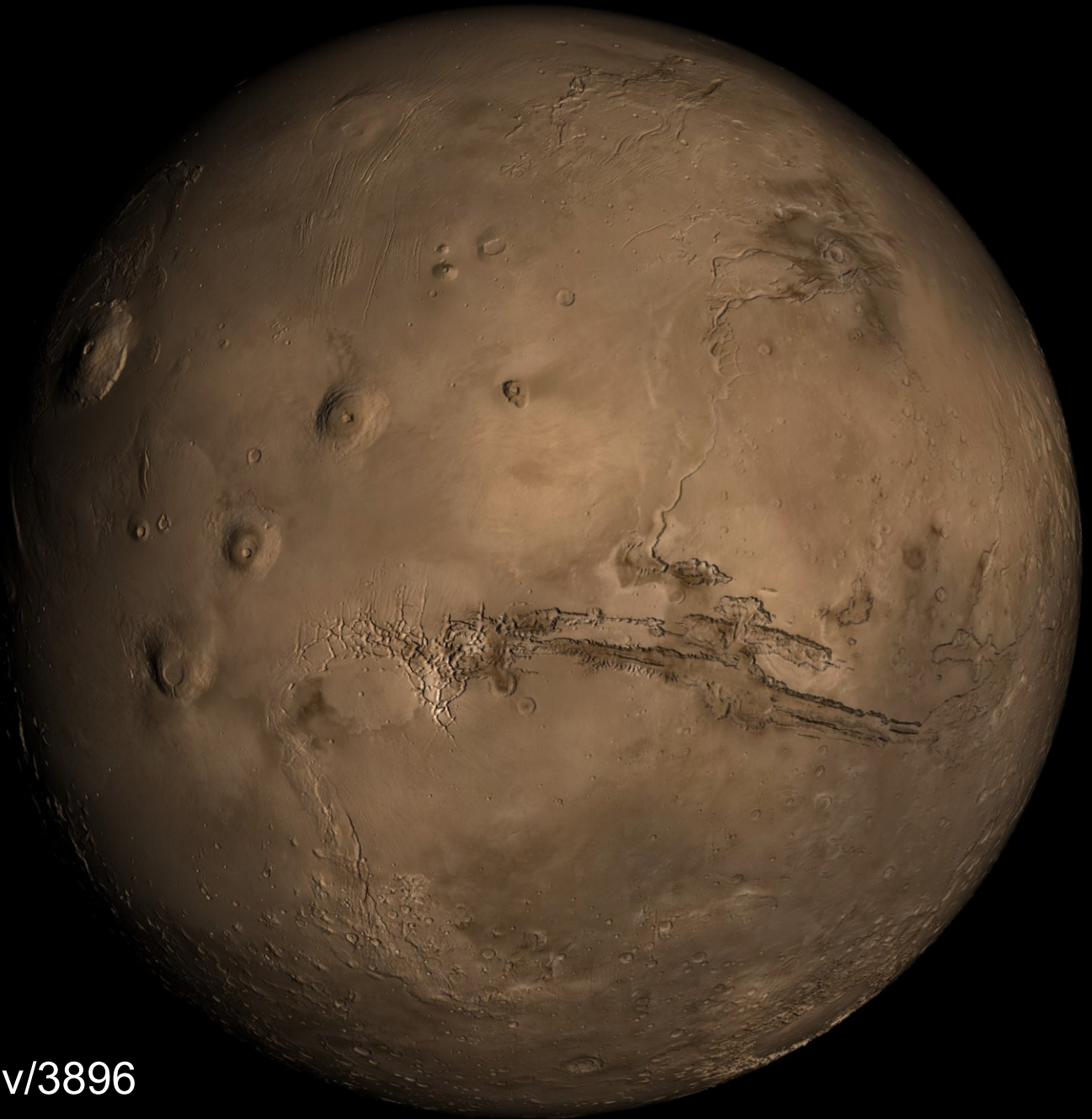
**CORREIO BRAZILIENSE**

atualizado em 08/07/2022

MEIO AMBIENTE

## Amazônia bate novo recorde de desmatamento no primeiro semestre de 2022

# Marte



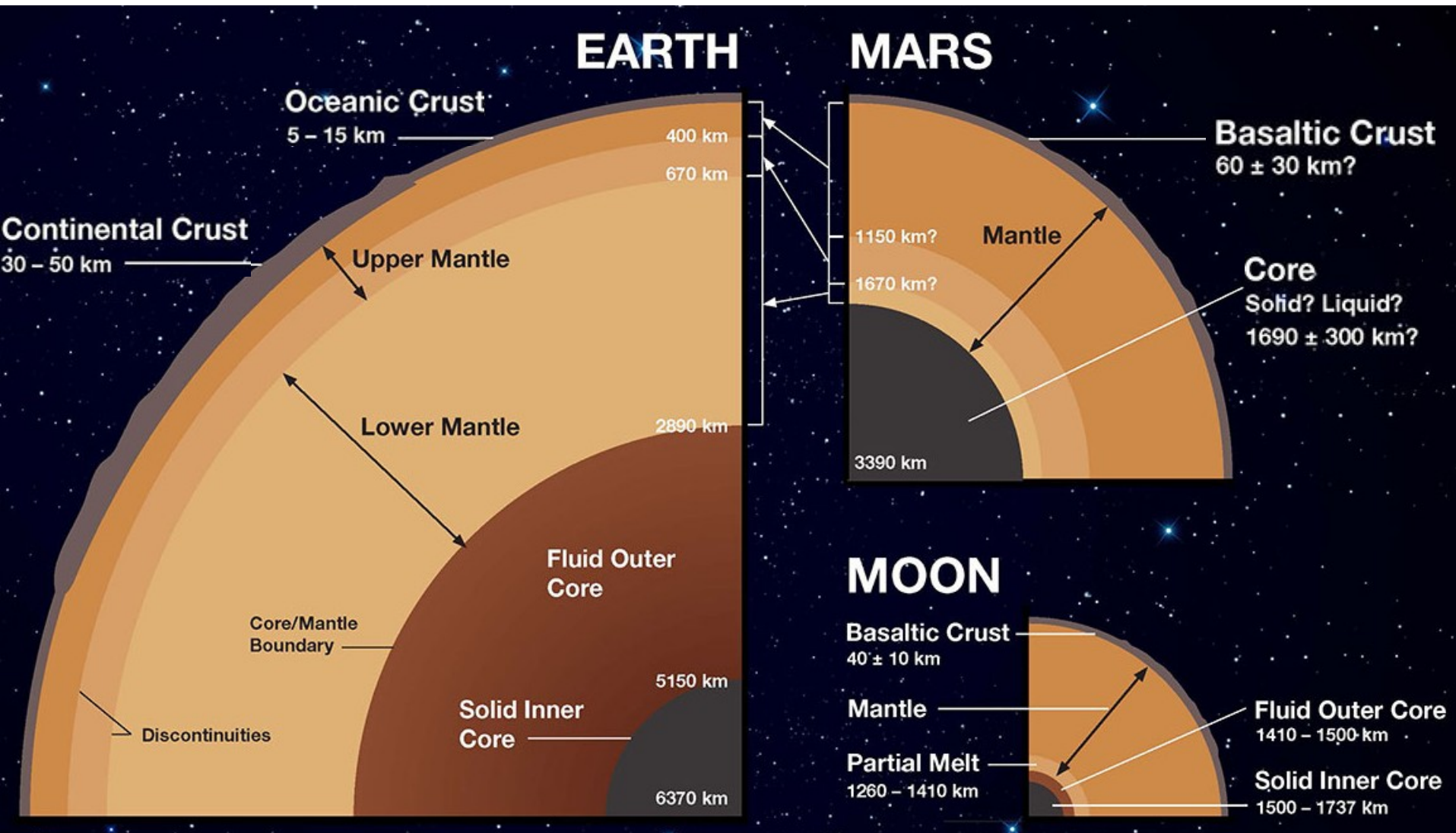
Marte cores ~reais

<https://svs.gsfc.nasa.gov/3896>

© Mars Global Surveyor MGS/MOLA?



# Possível estrutura interna de Marte



22/7/2021

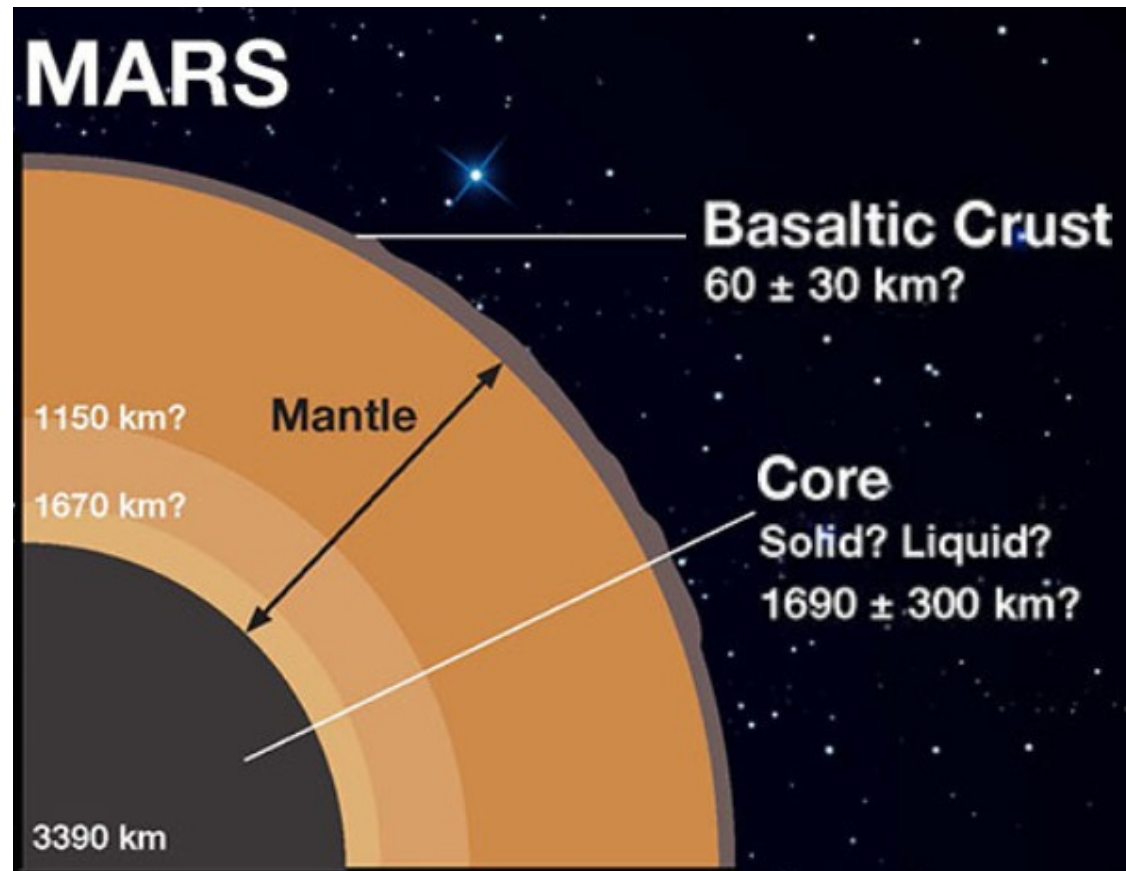
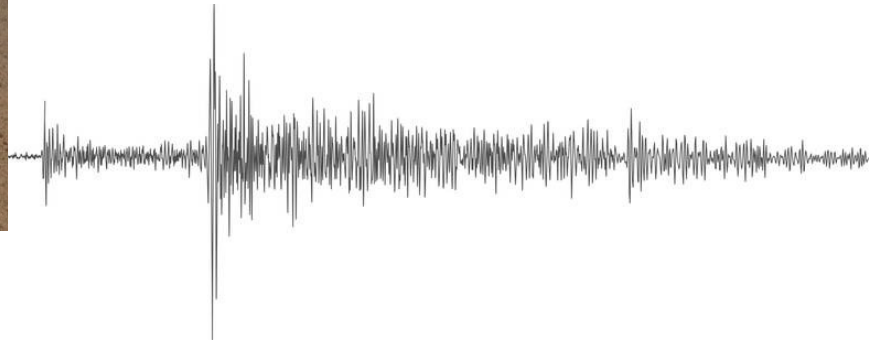
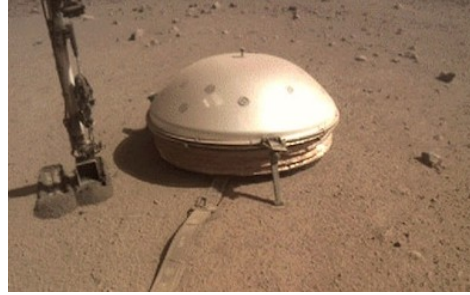
Após 2 anos de observações, sismômetro da sonda Insight começa a revelar o interior de Marte

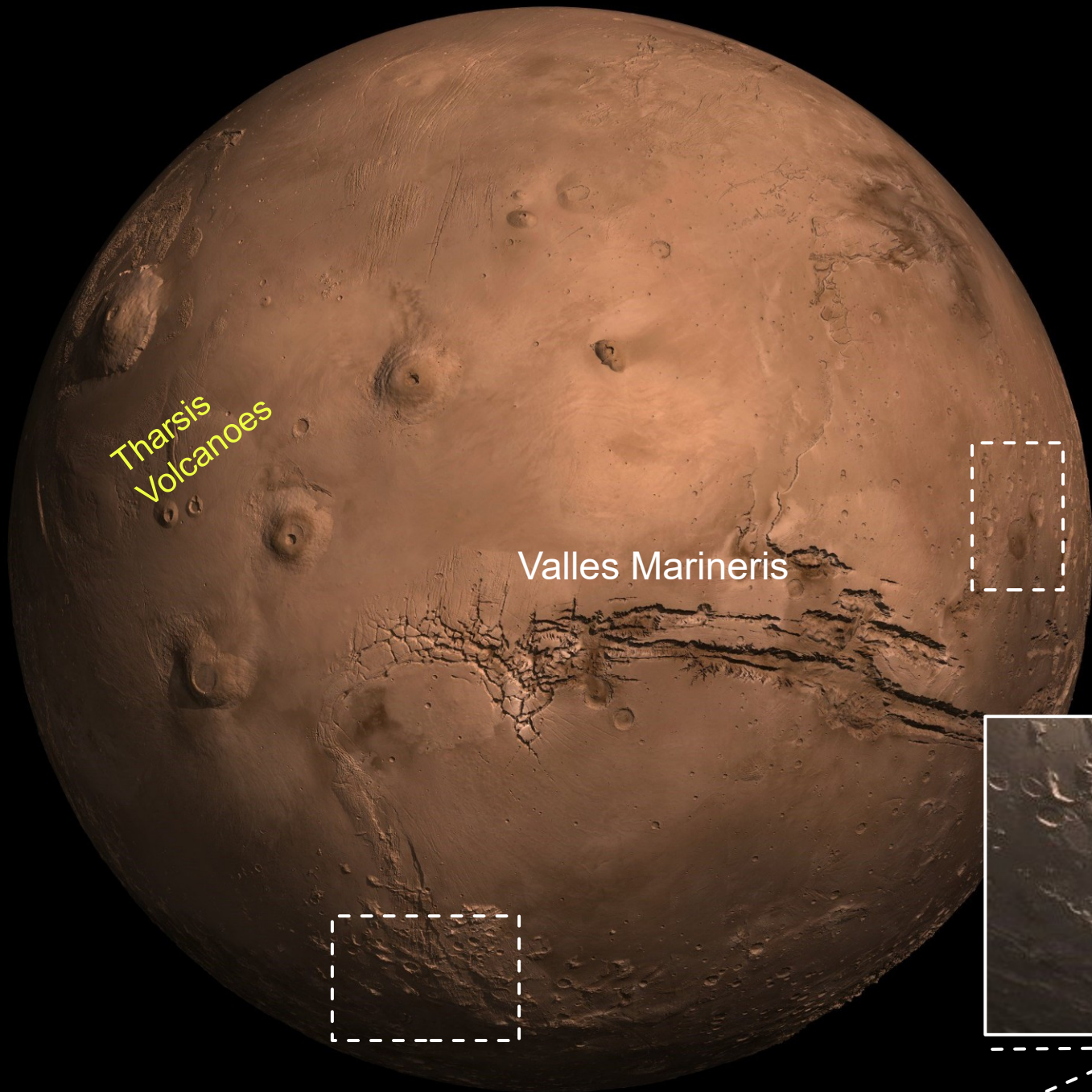
**Crosta:** 20 ou 37 km?

**Manto:** 1560 km  
(camada superior de 500 km?)

**Núcleo líquido:** 1810 a 1860 km

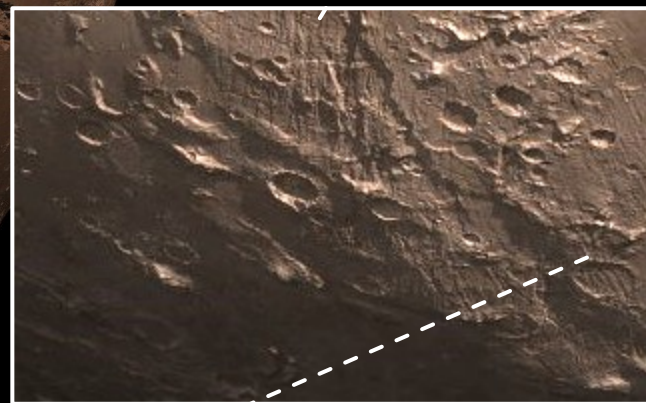
Existe um pequeno núcleo sólido?

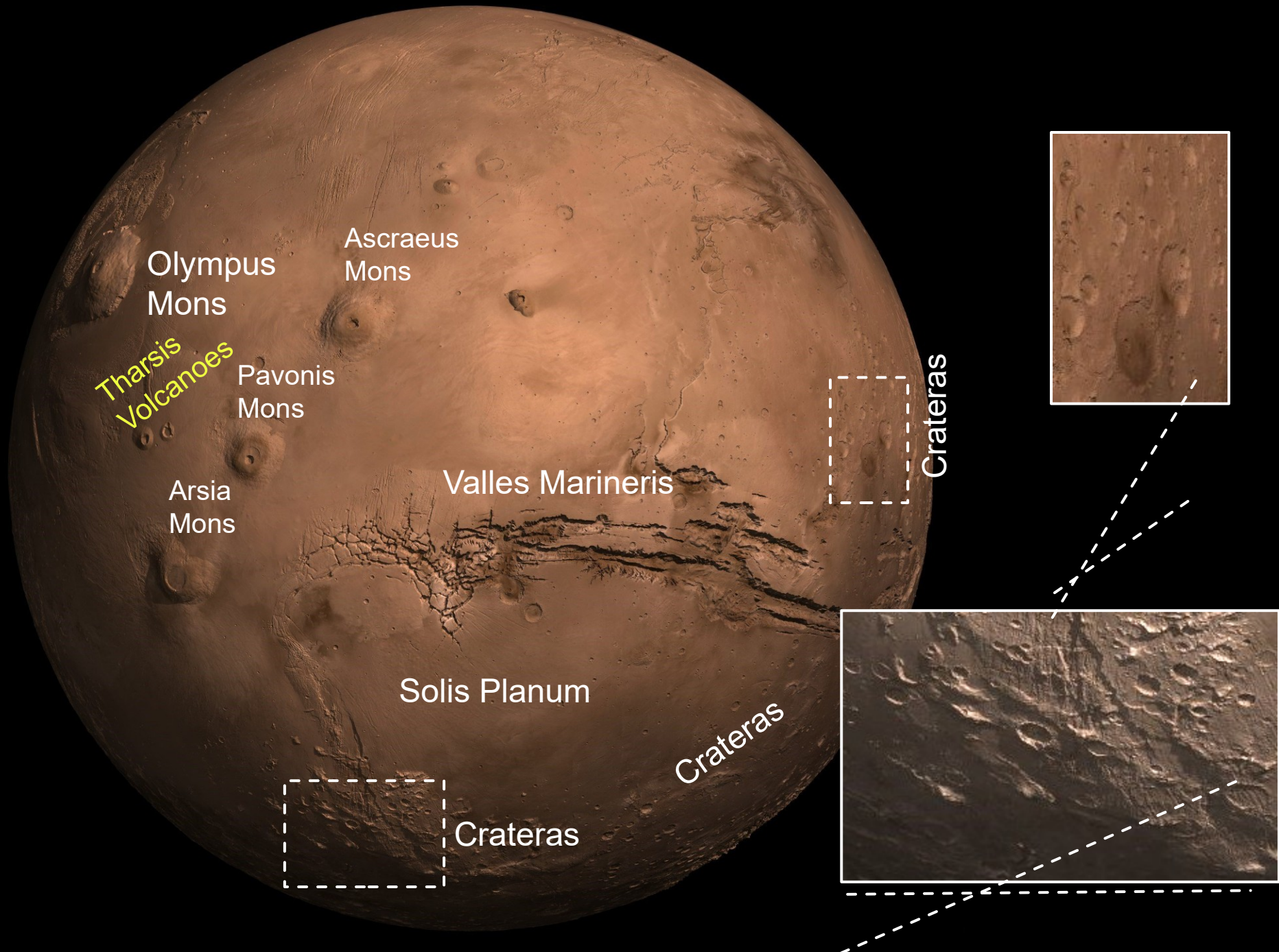




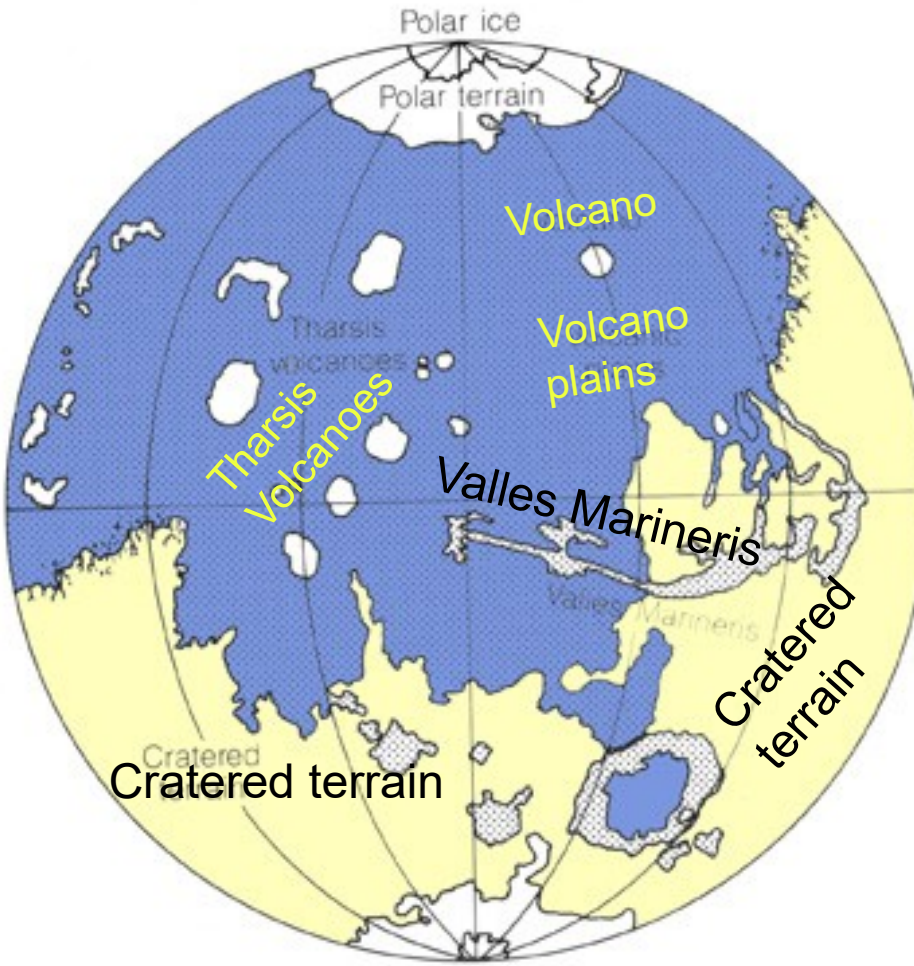
Tharsis  
Volcanoes

Valles Marineris

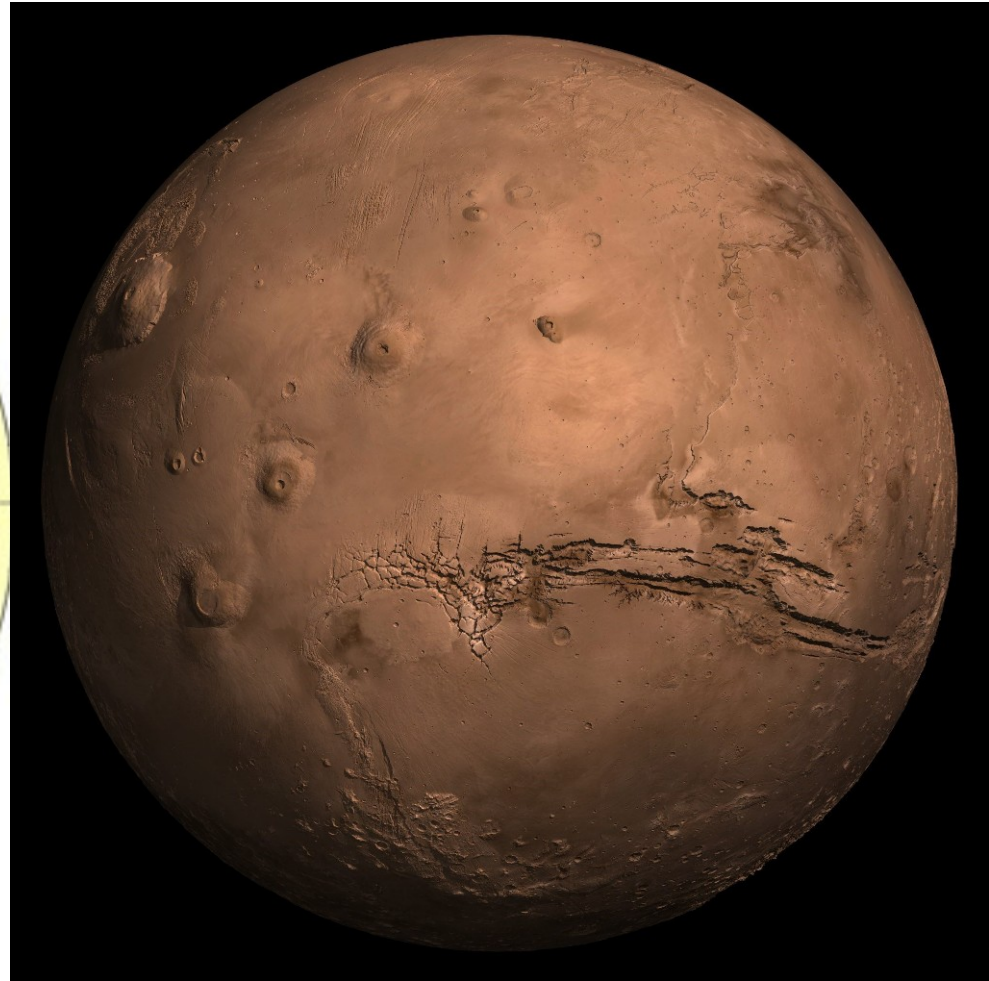




North polar ice

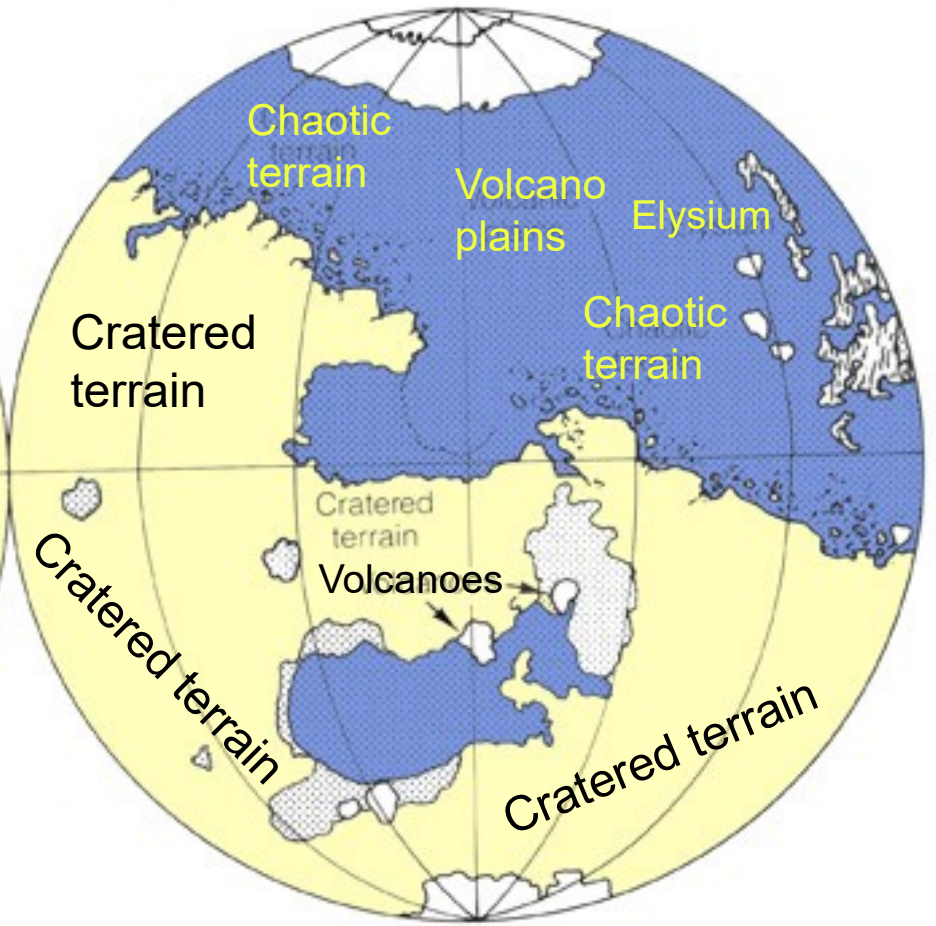
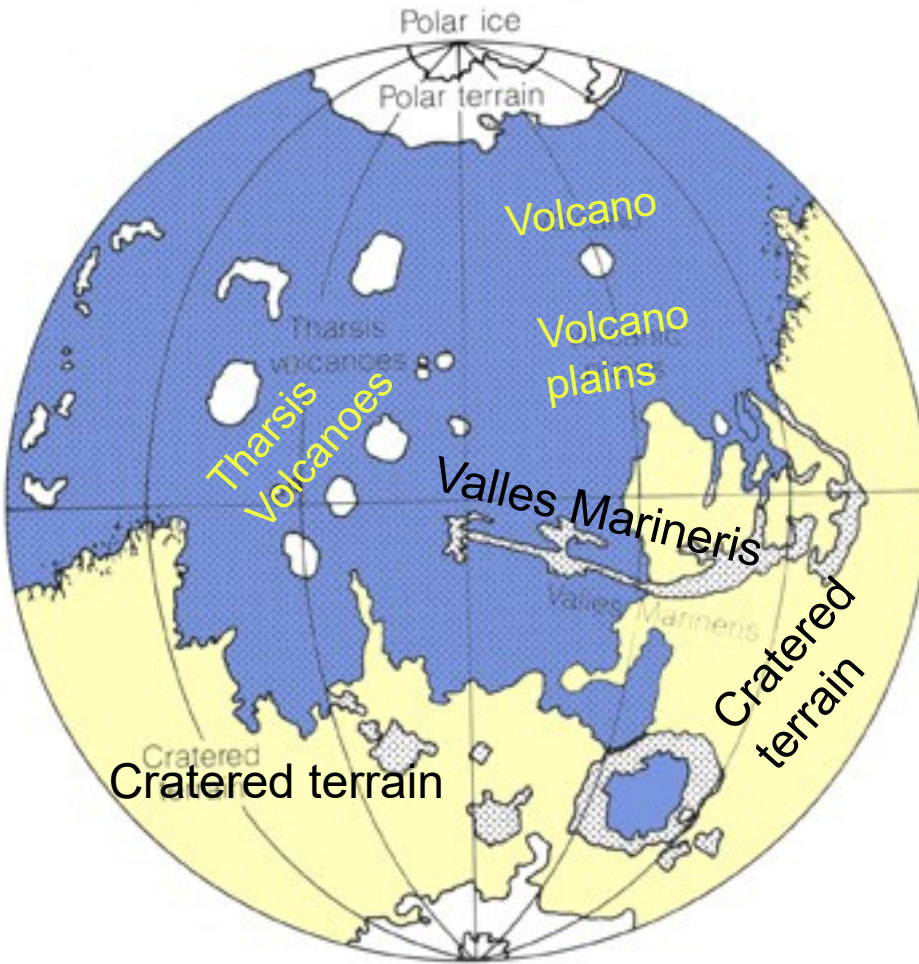


South polar cap



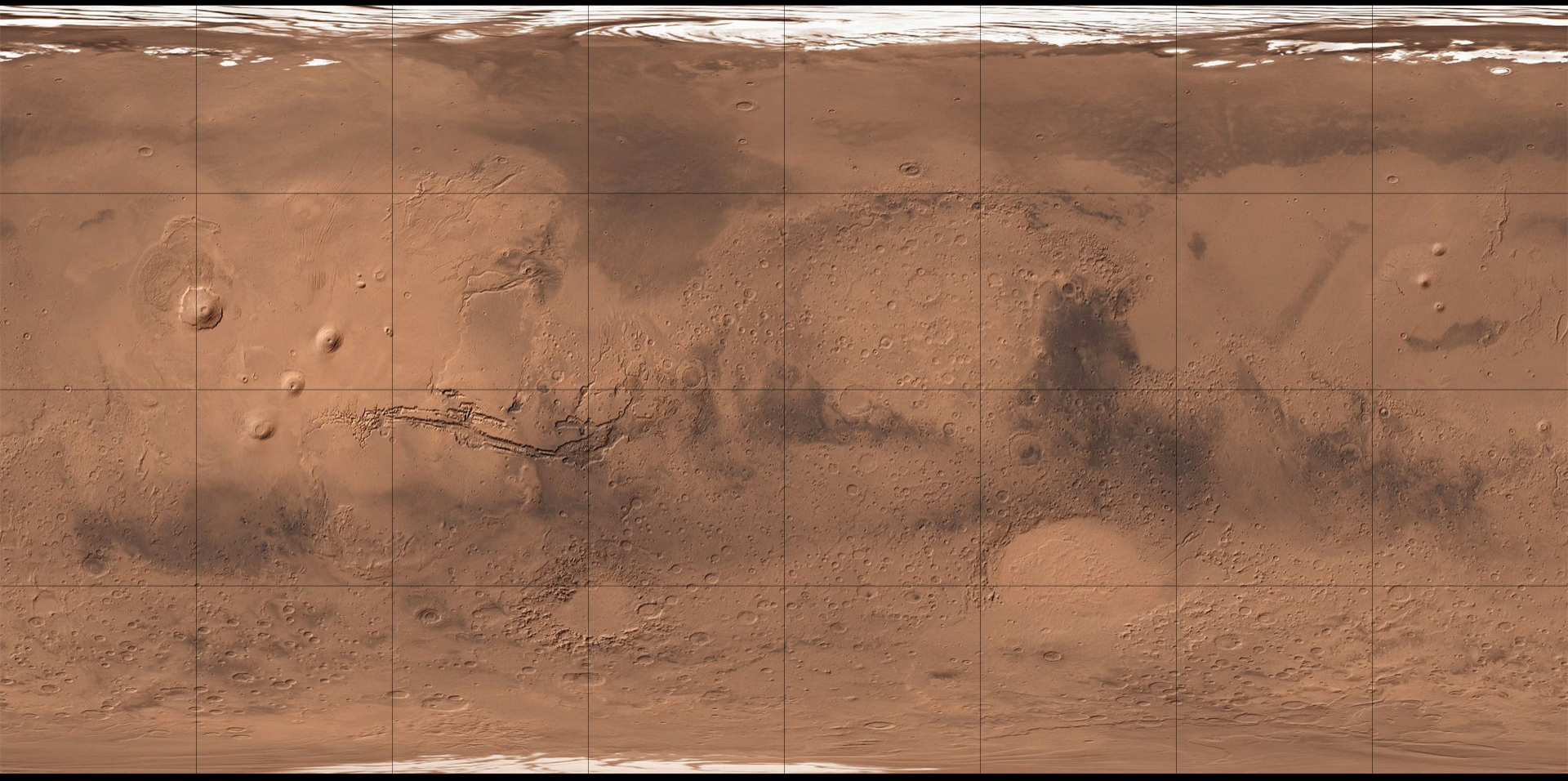
## Mapa geológico de Marte

North polar ice



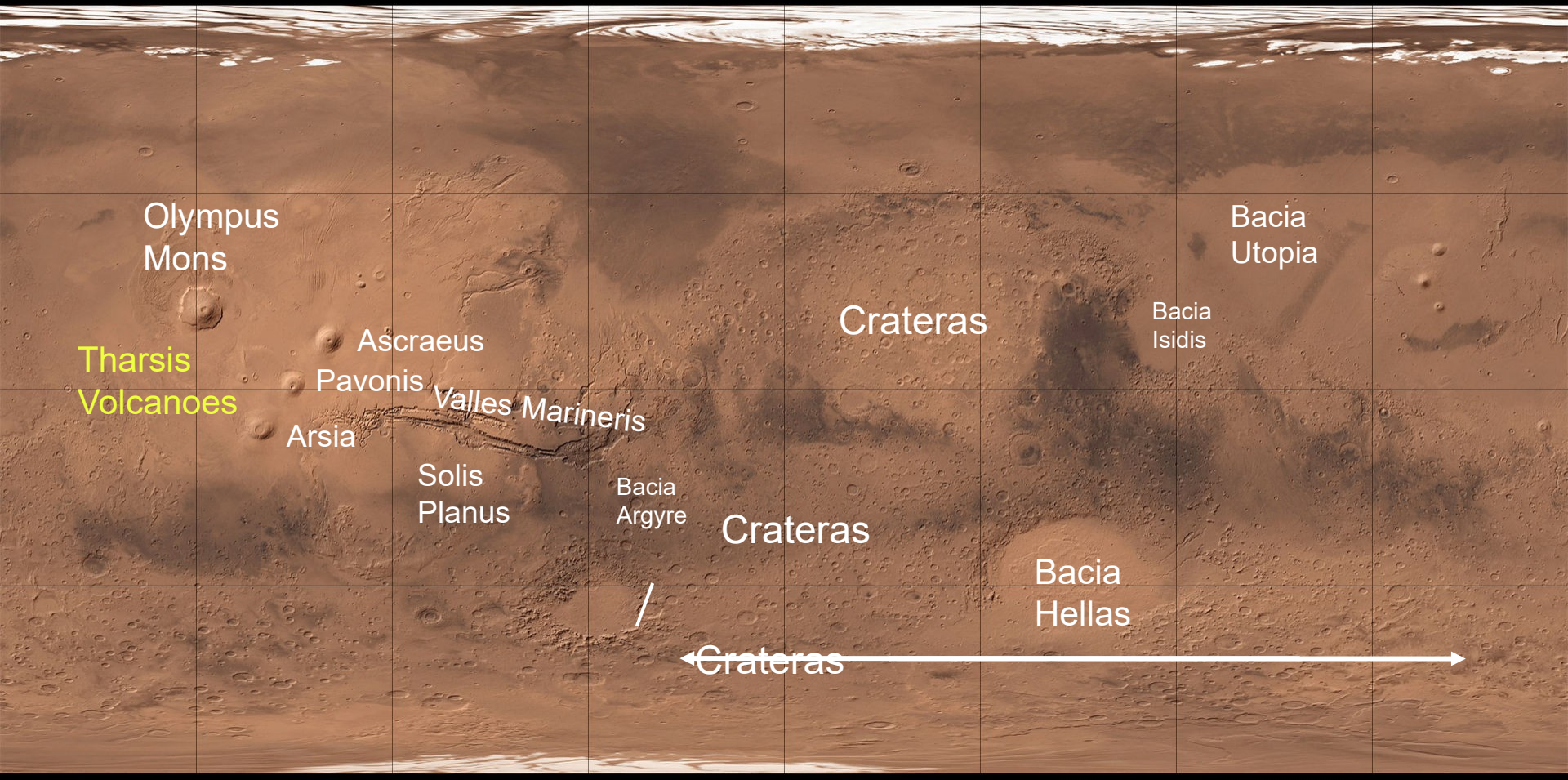
South polar cap

# Mapa geológico de Marte



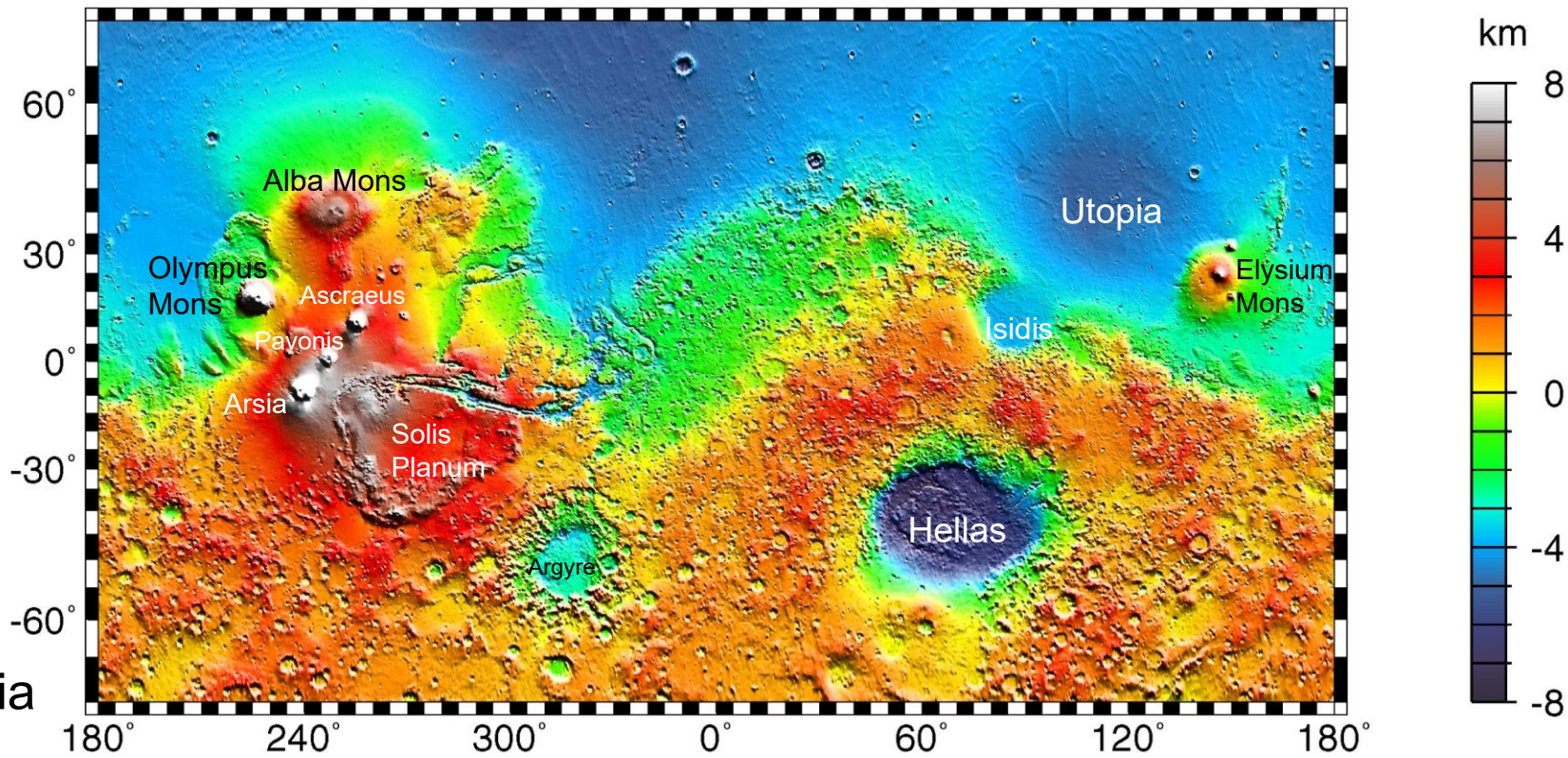
Mapa da superfície de Marte através de medições feitas pela Mars Global Surveyor e de observações realizadas pelas sondas espaciais Viking.

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Marte\\_\(planeta\)/#/media/Ficheiro:Mars\\_G%C3%A9olocalisation.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Marte_(planeta)/#/media/Ficheiro:Mars_G%C3%A9olocalisation.jpg)



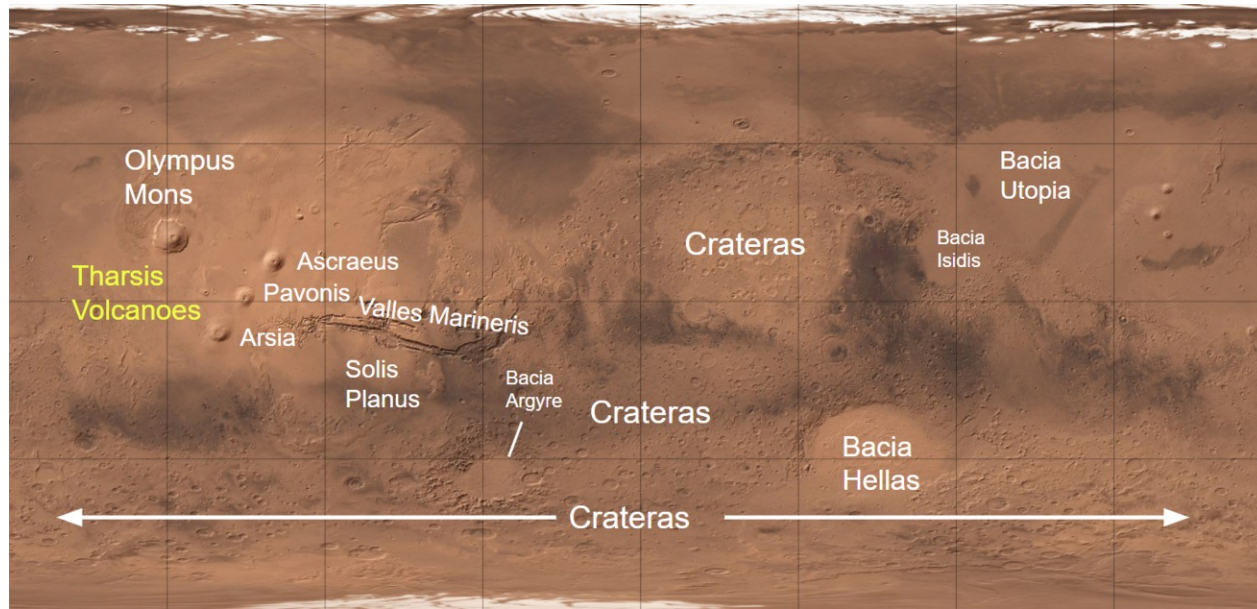
Toda a superfície de Marte composta através de medições feitas pela Mars Global Surveyor e de observações realizadas pelas sondas espaciais Viking.



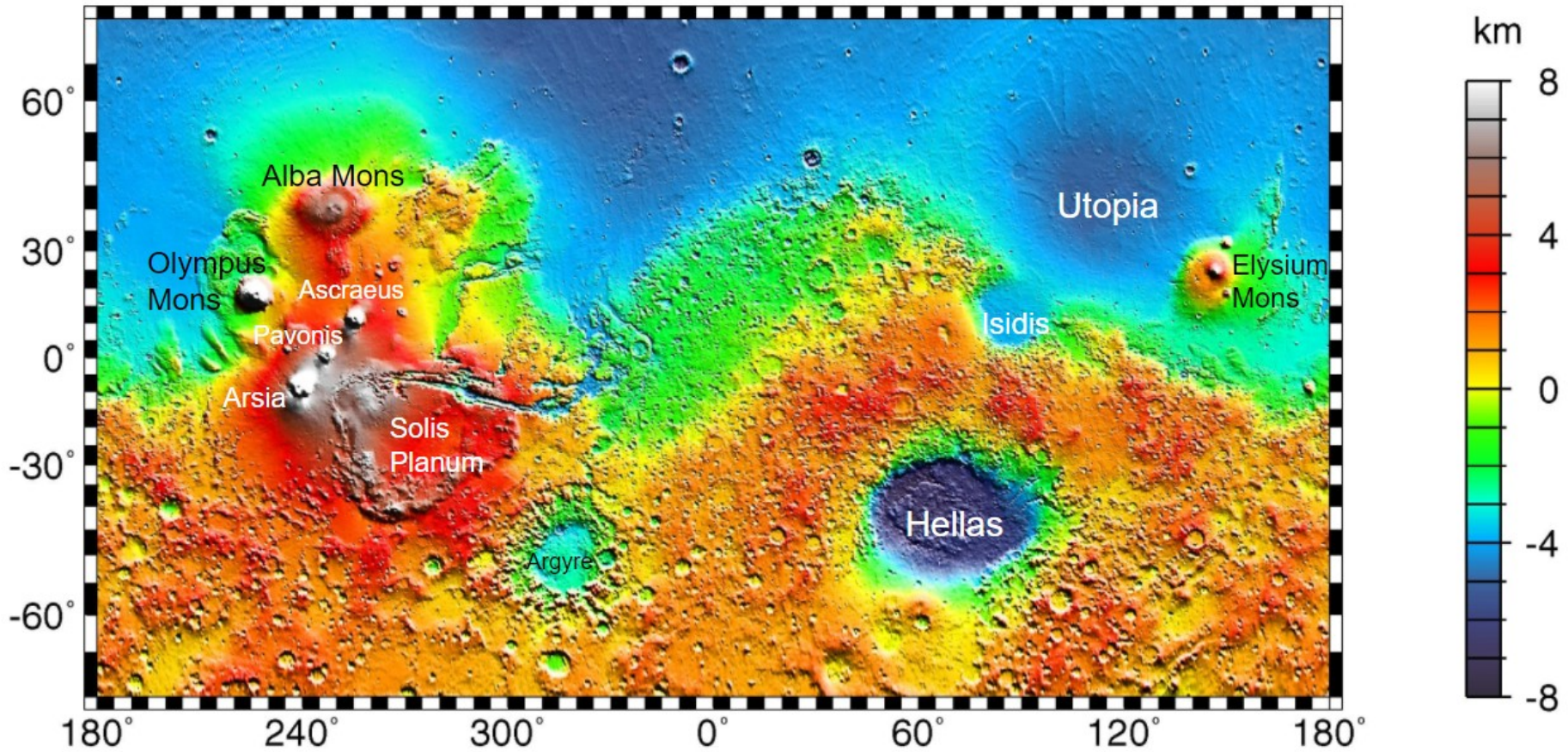


Topografia de Marte.

Em vermelho planícies vulcânicas e em azul bacias de impacto.



## Norte: terrenos jovens e baixos

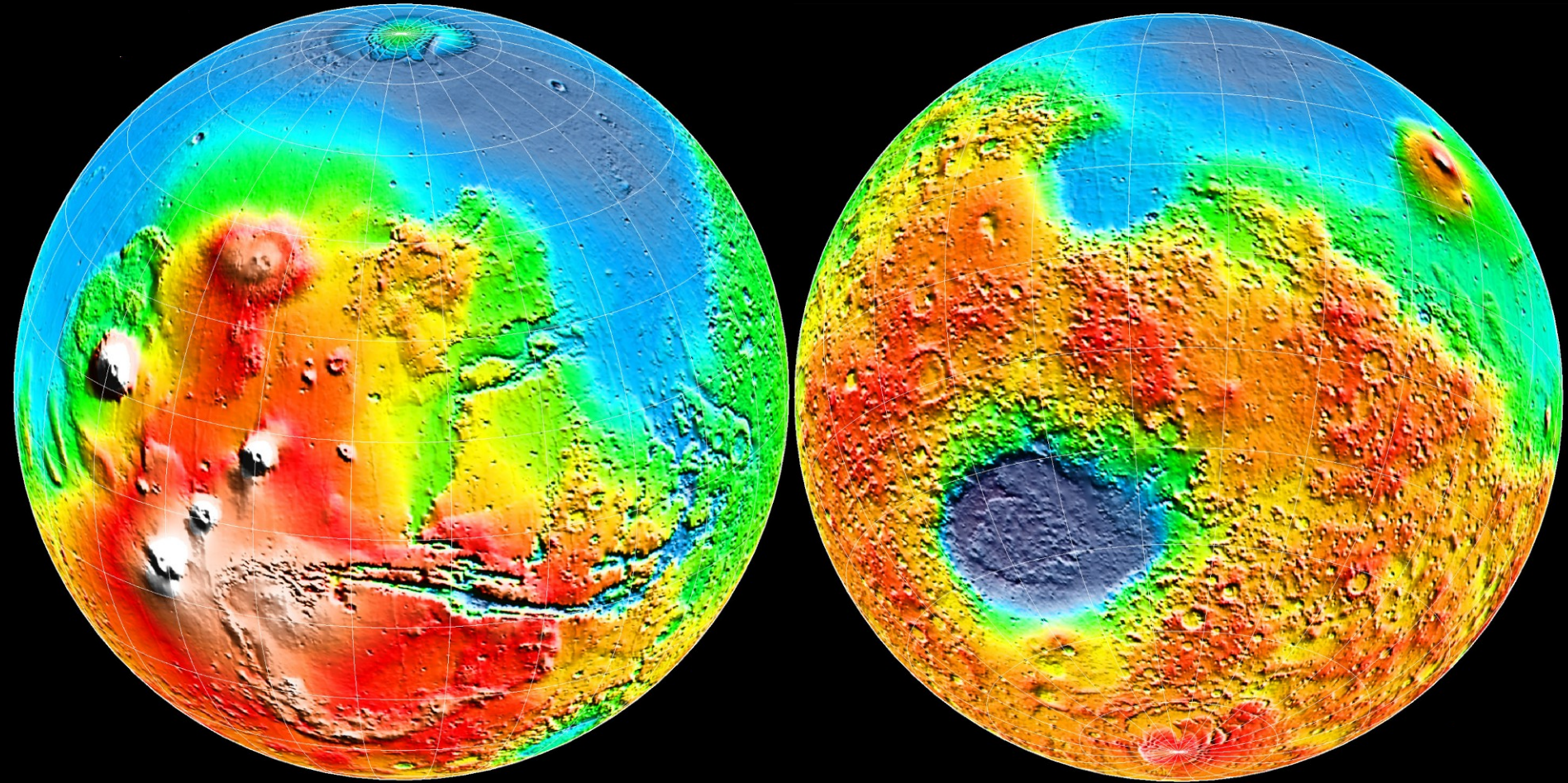
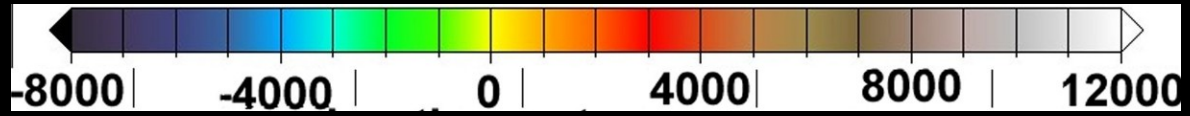


Sul: terrenos antigos e craterados

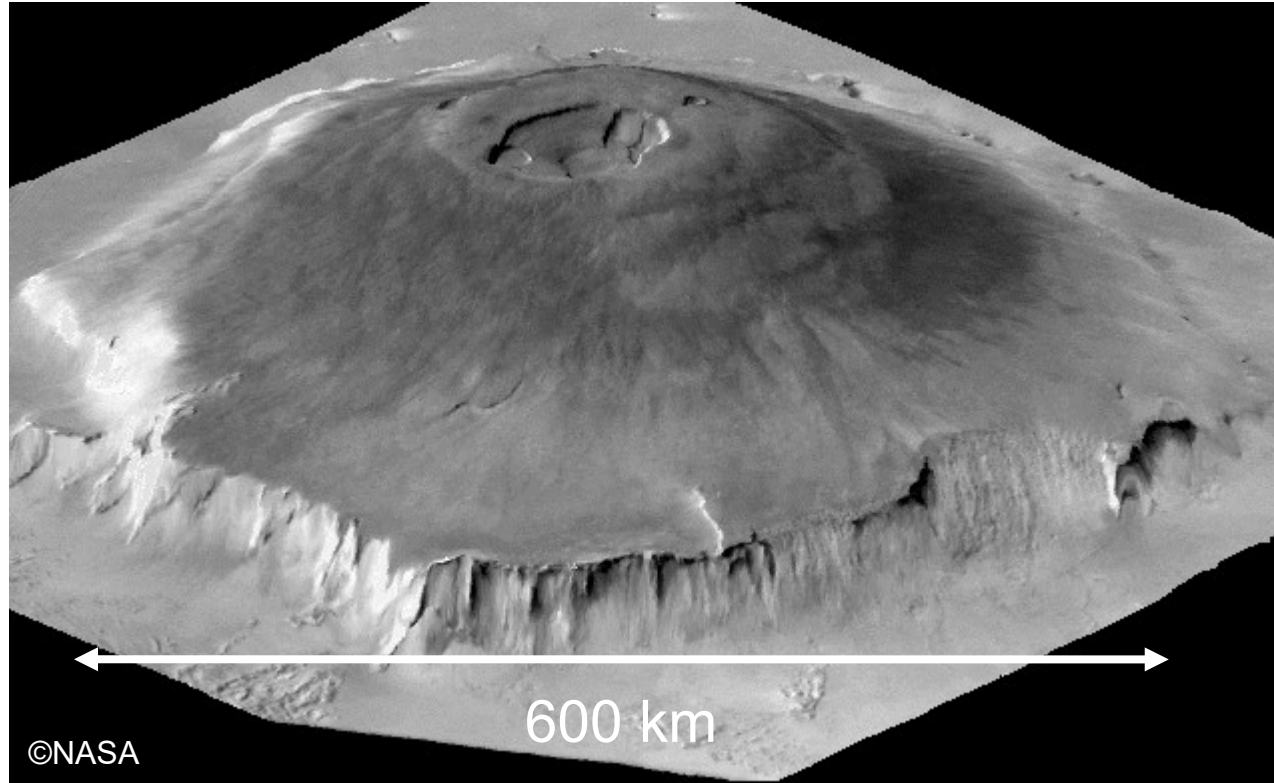
Topografia de Marte.

Em vermelho planícies vulcânicas e em azul bacias de impacto.

# Elevation meters

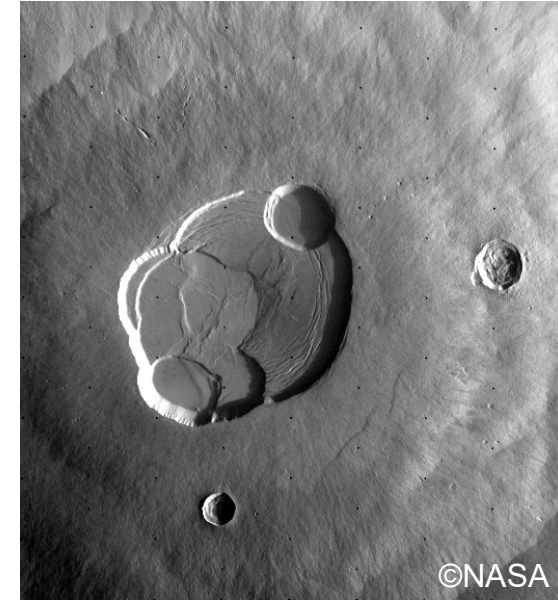


# Olympus Mons, o maior vulcão (altura = 27km) do Sistema Solar



Caldeira

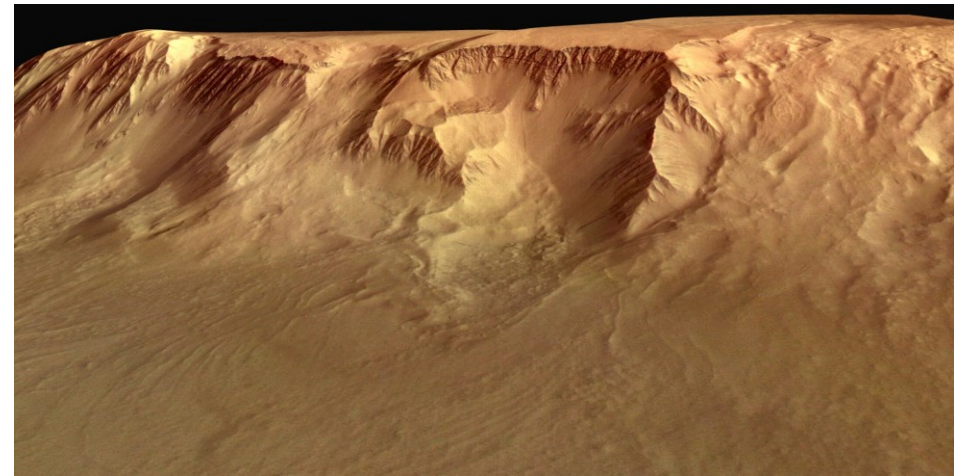
d = 70km, prof. = 3km

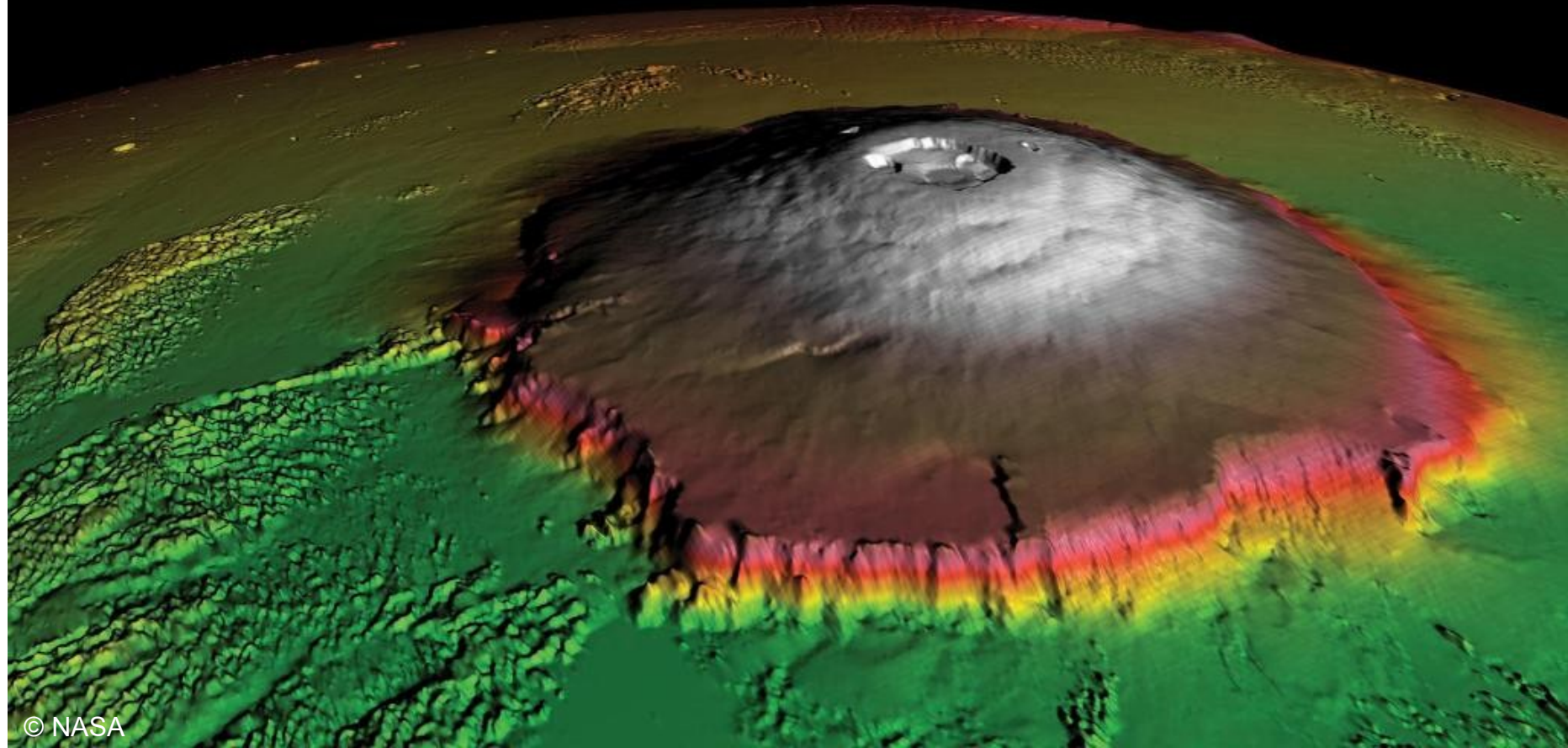


As encostas da montanha são cobertas por fluxos de lava sobrepostos. A superfície quase não contém crateras de impacto → deve ser jovem (< 10 milhões de anos). Talvez Olympus Mons esteja dormente.

Escarpas

© ESA





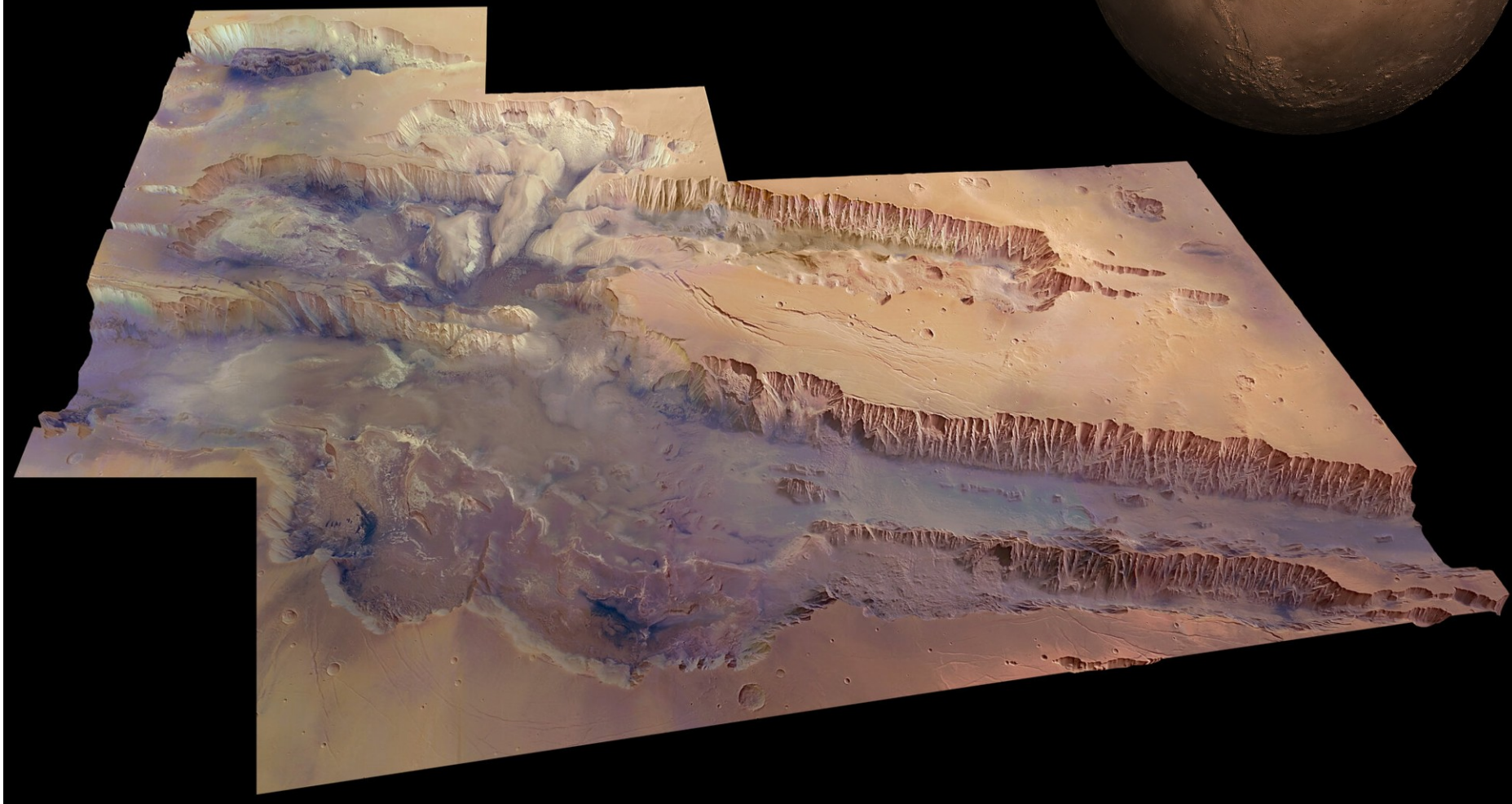
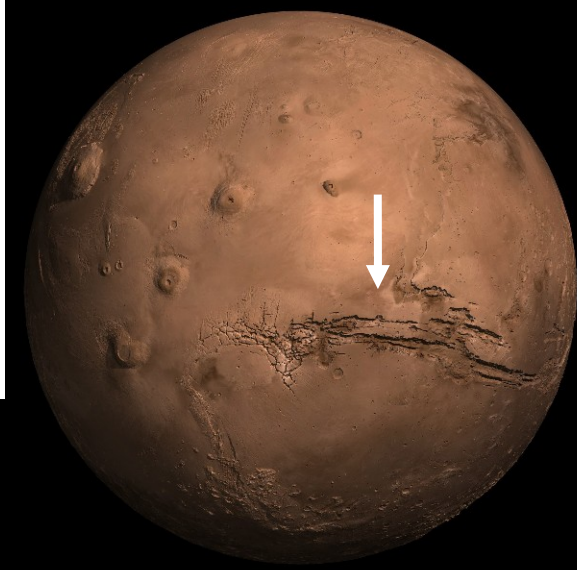
© NASA

## Visualização 3D do Olympus Mons

Olympus foi ativo até recentemente ( $< 10$  milhões de anos) e deve ter sido ativo por  $\sim 1$  a 2 bilhões de anos, permitindo atingir uma grande dimensão, porque em Marte não existem placas tectônicas  $\rightarrow$  menos chances de interromper a erupção.

# Valles Marineris em Marte, o maior canyon do Sistema Solar

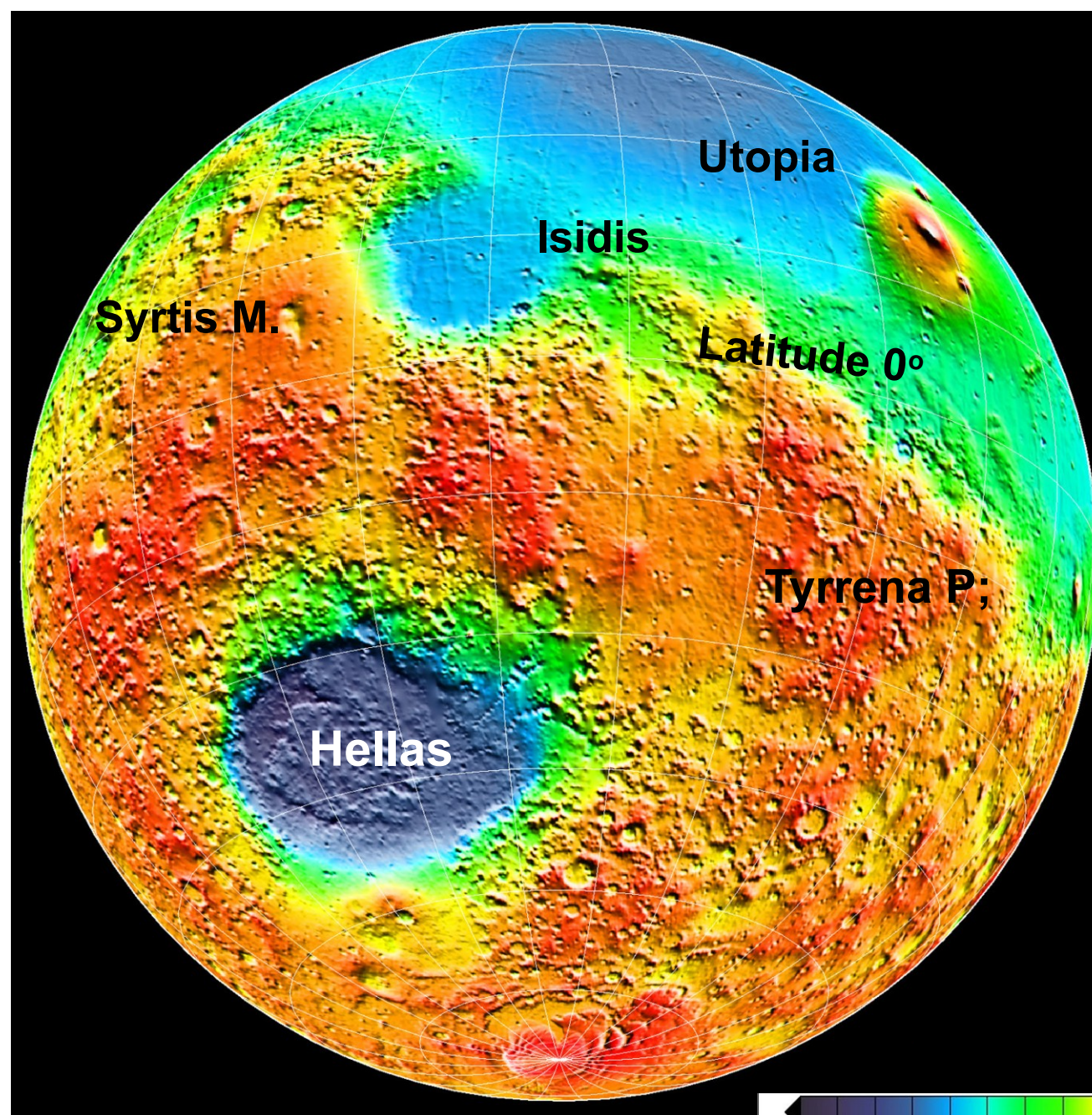
Comprimento = 4000 km, largura = 200 km,  
profundidade = 10 km



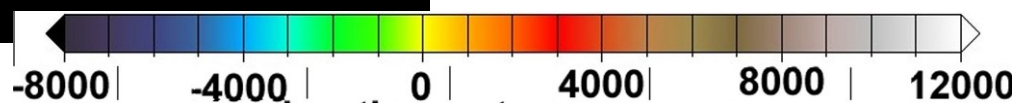
# Hellas, gigantesca bacia de impacto

- Diâmetro ~ 2300 km
- Profundidade ~ 7 km
- Diferença entre borda e o fundo ~ 9 km

Causado há 4,1 Gyr por  
asteroide de ~100 km?



Elevation meters

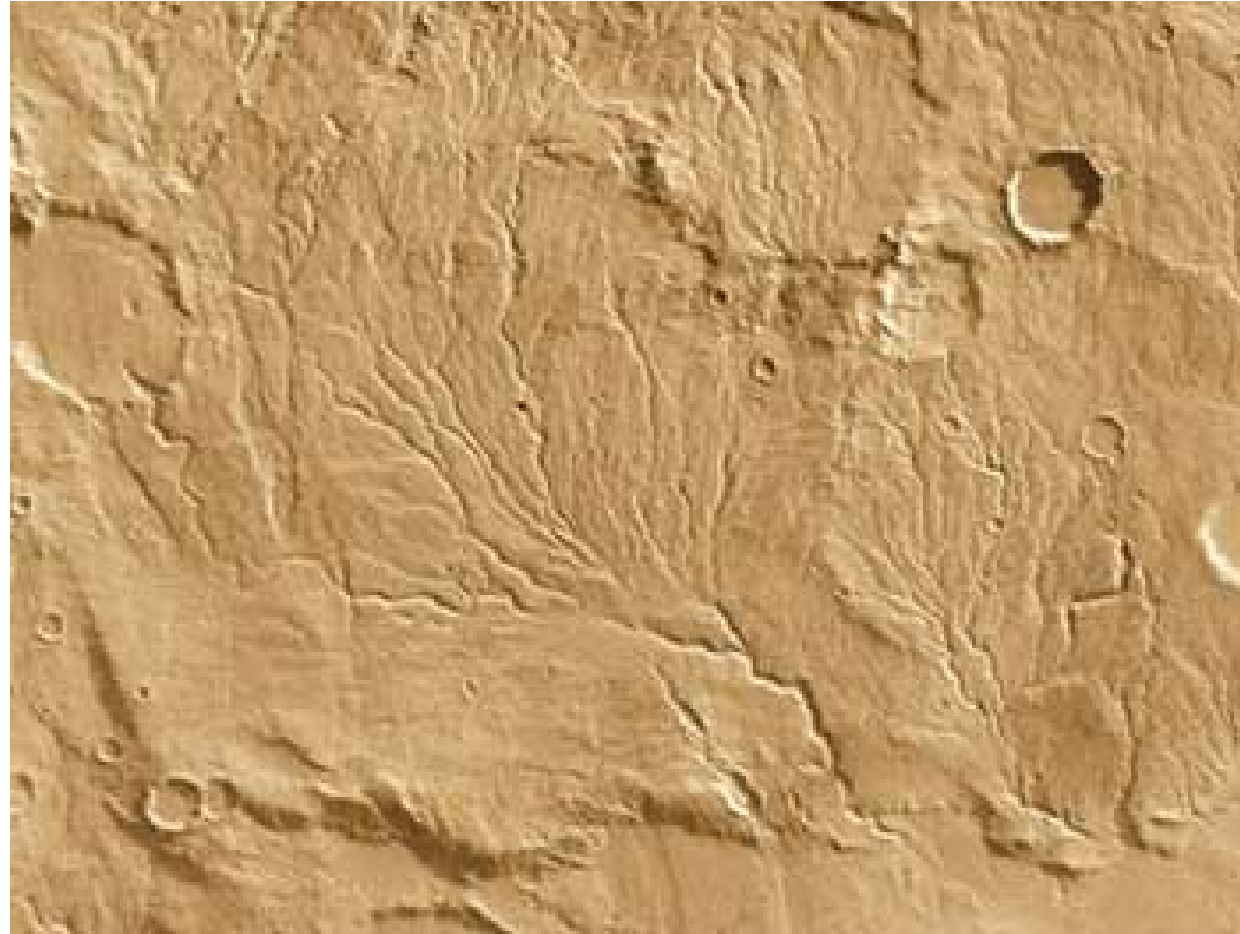


# Evidências da prévia existência de água na superfície de Marte



Nanedi vallis

© Mars Express, ESA

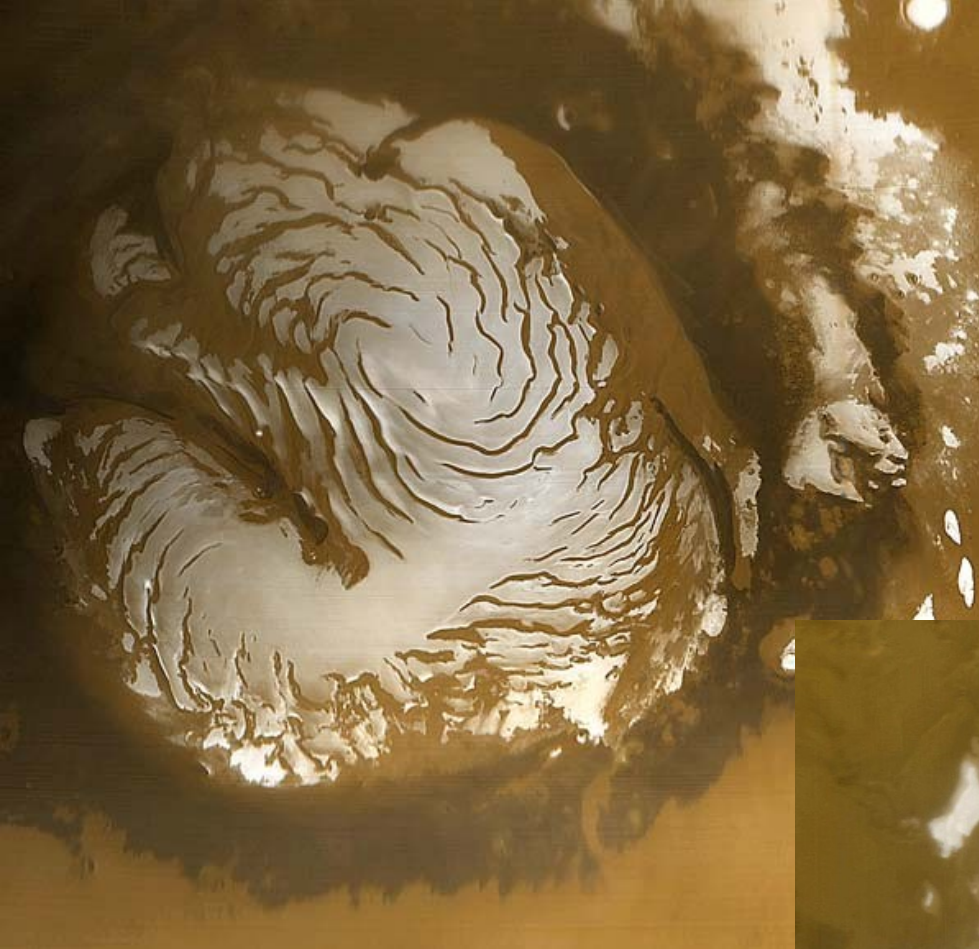


Rede hidrográfica?

Imagem tem extensão de 250 km

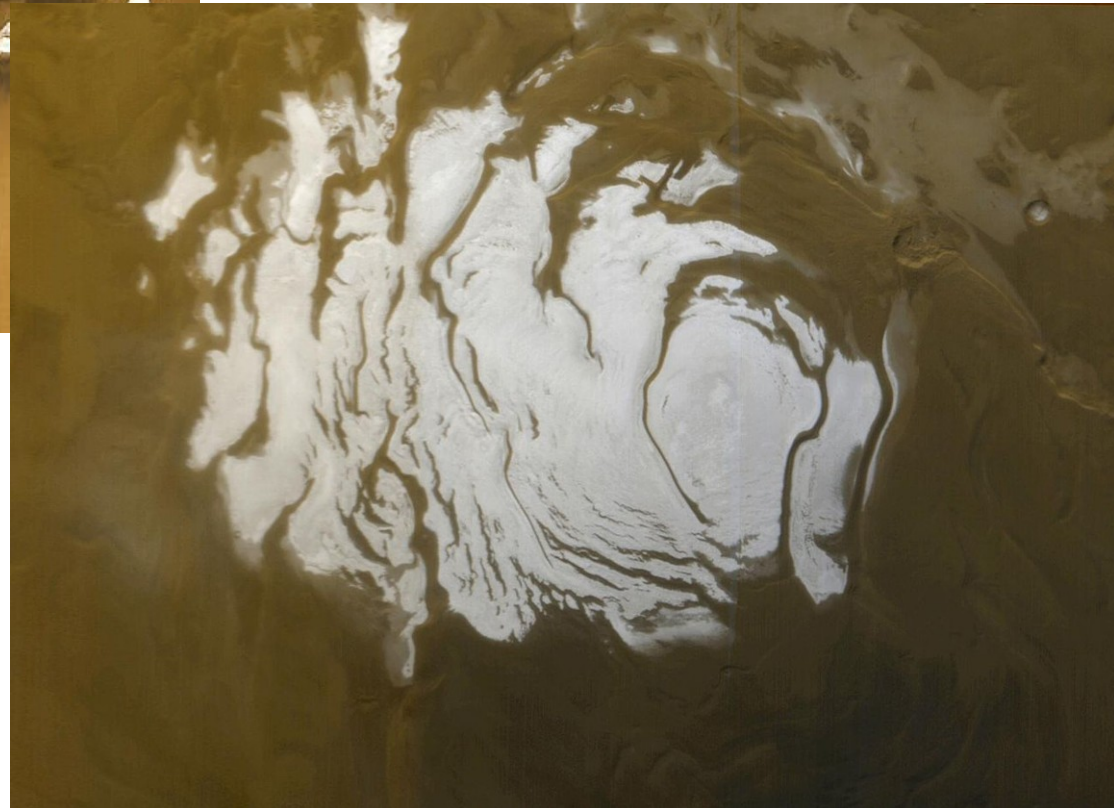
© NASA





Calota polar norte em 1999

© NASA



Calota polar sul em 2000

© NASA

Provavelmente existem grandes quantidades de

água líquida no  
subsolo de Marte

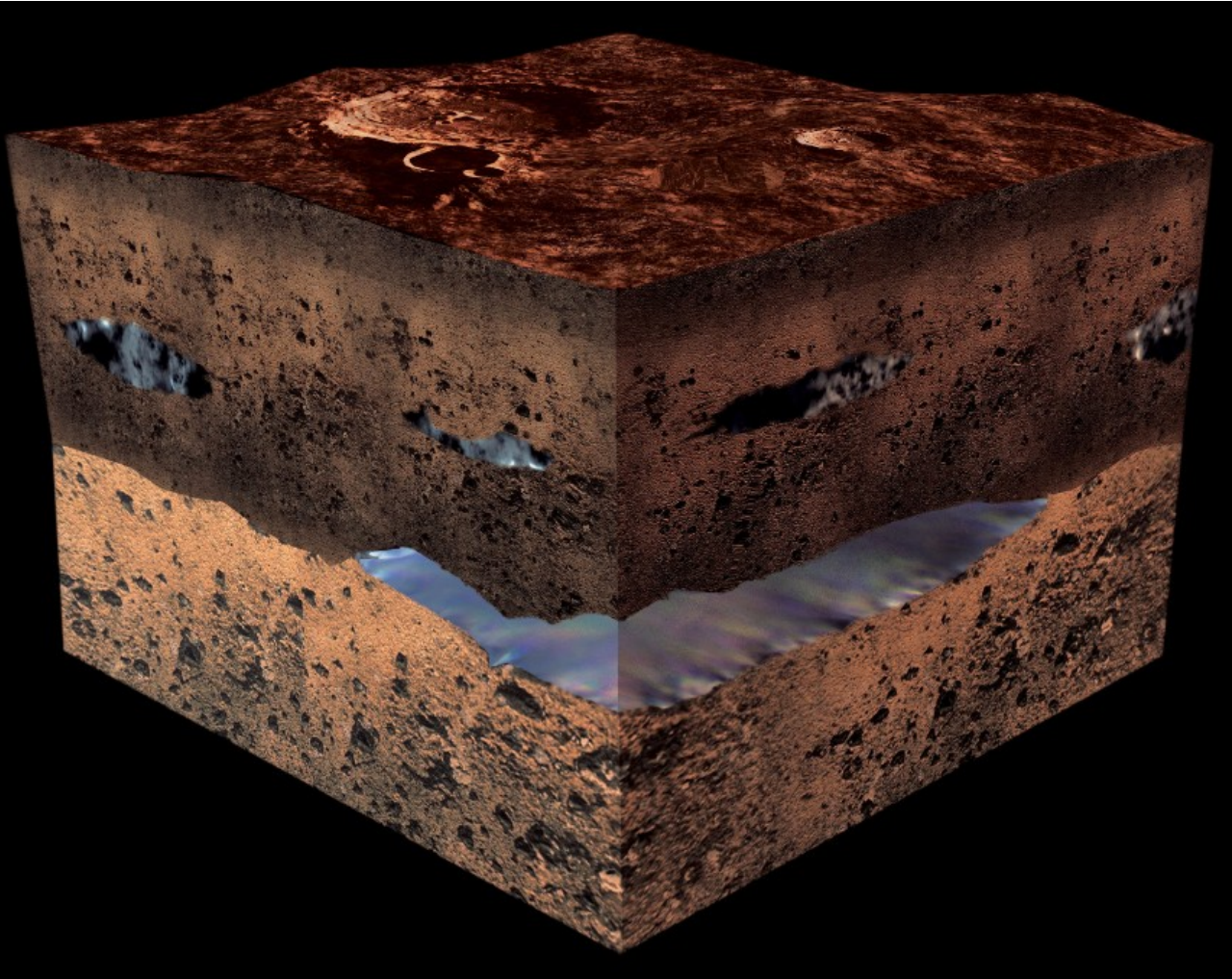


Imagem artística

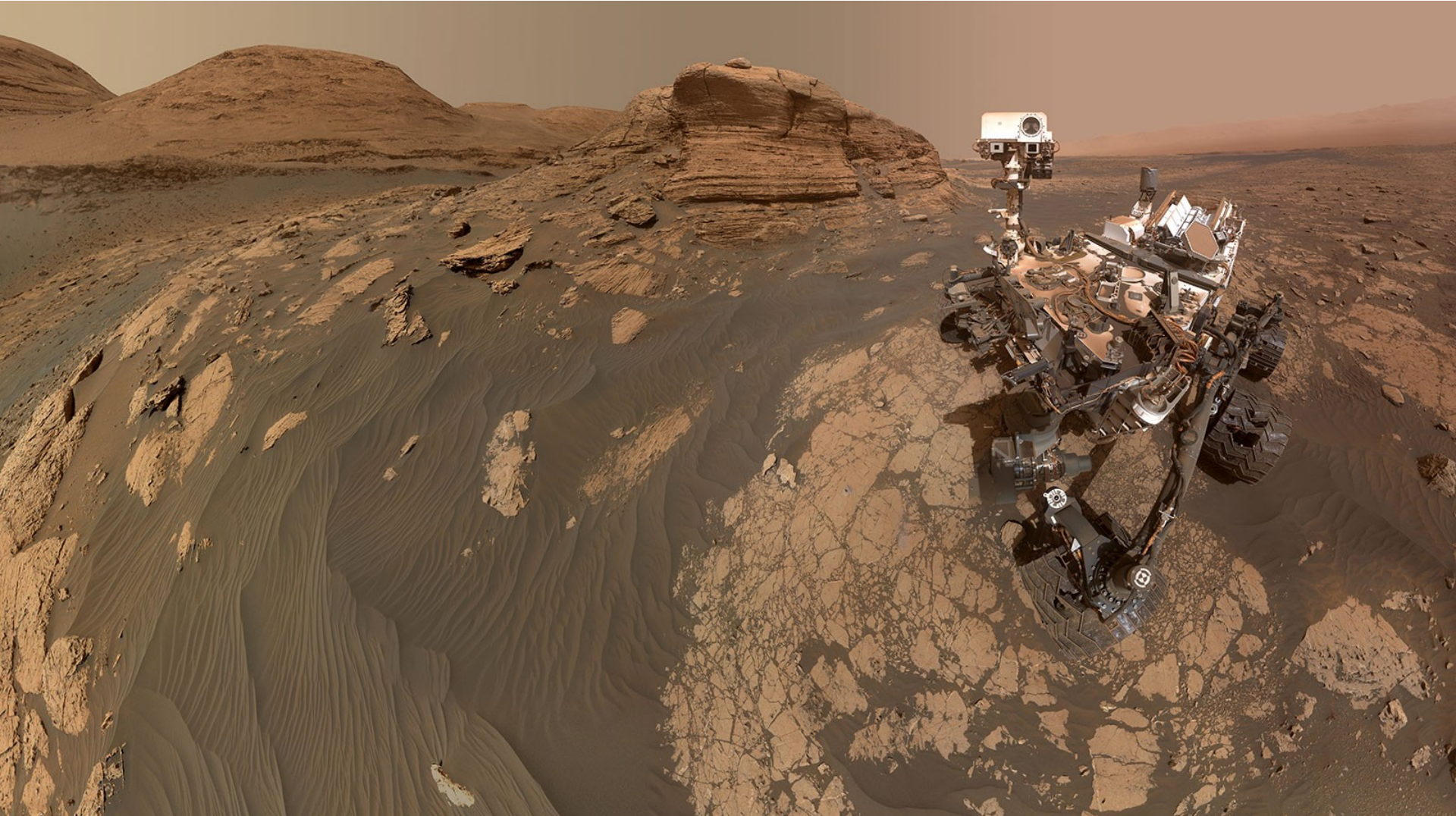
© Medialab, ESA 2001

Mars Curiosity

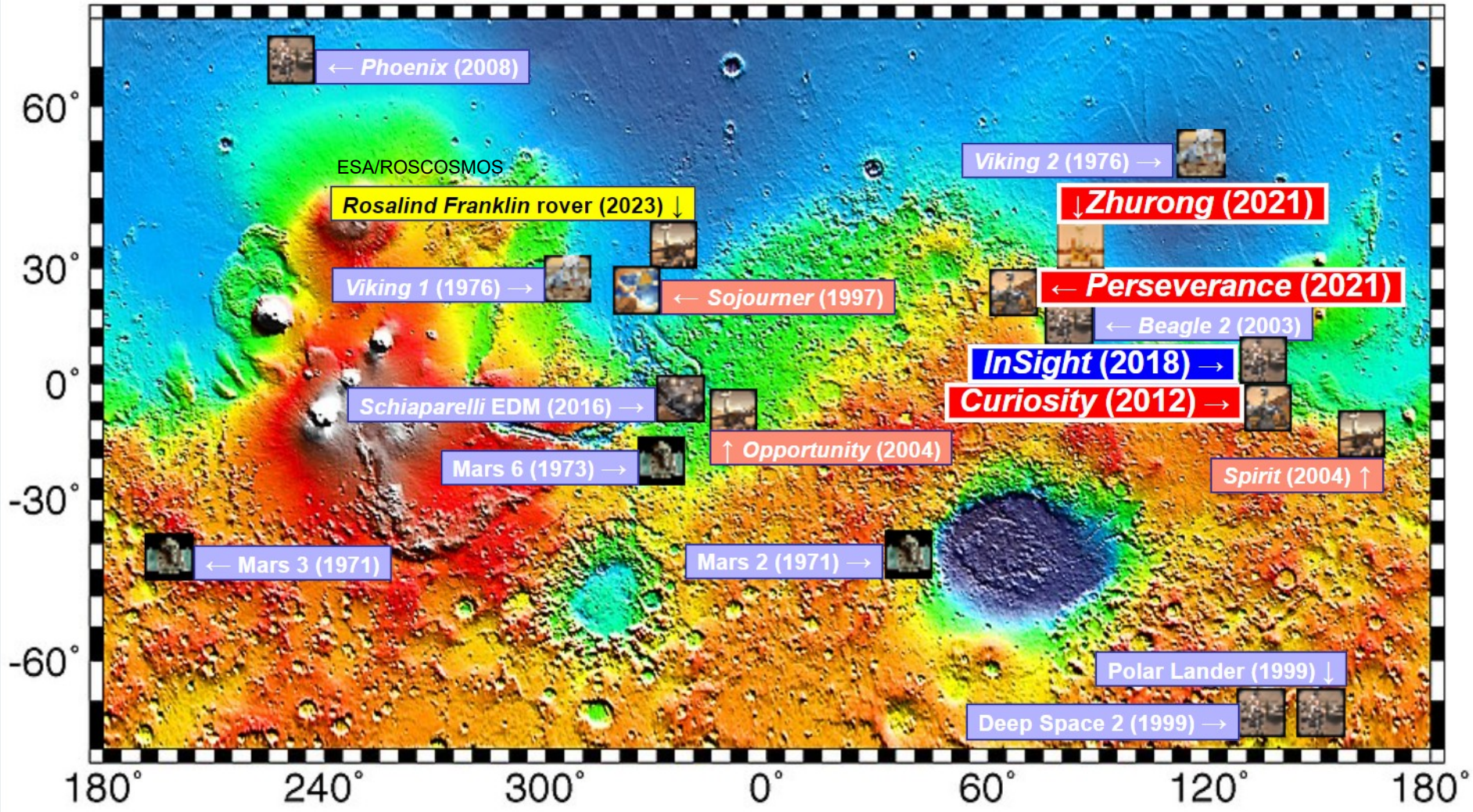
<https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-s-curiosity-mars-rover-takes-selfie-with-mont-mercou>

Mar 30, 2021

## **NASA's Curiosity Mars Rover Takes Selfie With 'Mont Mercou'**



# Rovers e aterrissadores estacionários sobre Marte



■ Active ROVER • 
 ■ Inactive • 
 ■ Active LANDER • 
 ■ Inativo • 
 ■ Futuro

ROVER ativo    ROVER inativo    ATERRISSADOR ativo    Inativo    Futuro

# A Terra é nosso lar no Universo. Não existe planeta B

Why is there no Planet B? Arwen Nicholson & Raphaëlle Haywood (U.Exeter)

<https://news.mongabay.com/2022/09/why-is-there-no-planet-b-commentary/>

## MARTE

- Temperatura 35 a -143 °C
- Temp. média = -63 °C
- g = 0,38 g(Terra)
- Sem atmosfera (1% Terra)
- Sem oxigênio. Sem água
- Menos luz Sol (0,6 Terra)
- Sem campo magnético protetor. Sem camada O<sub>3</sub>
- Tempestades de poeira
- Solo tóxico e esteril
- Apollo (Lua) ~ US\$280 bi
- Não fatível: \$, tempo

