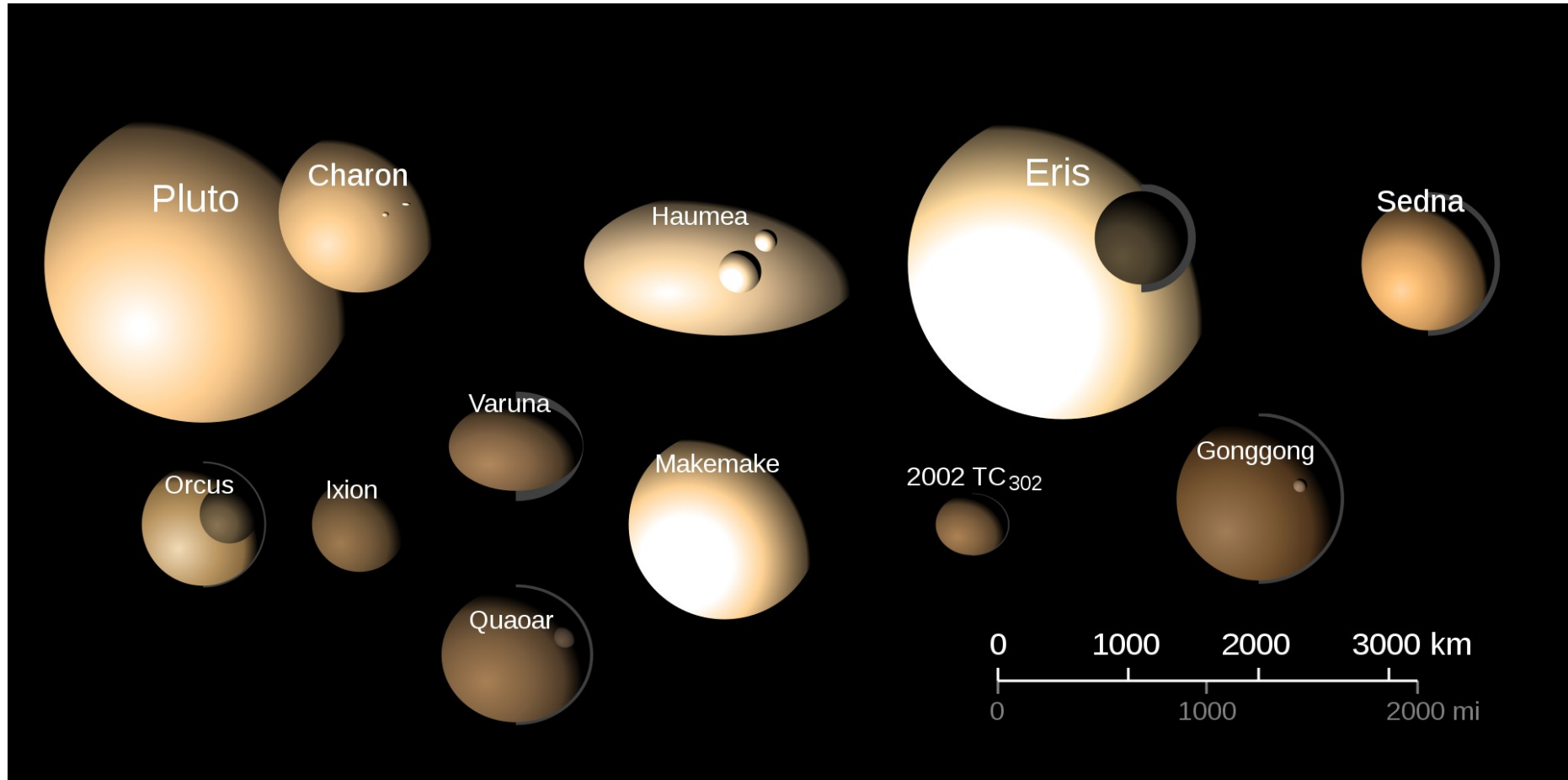
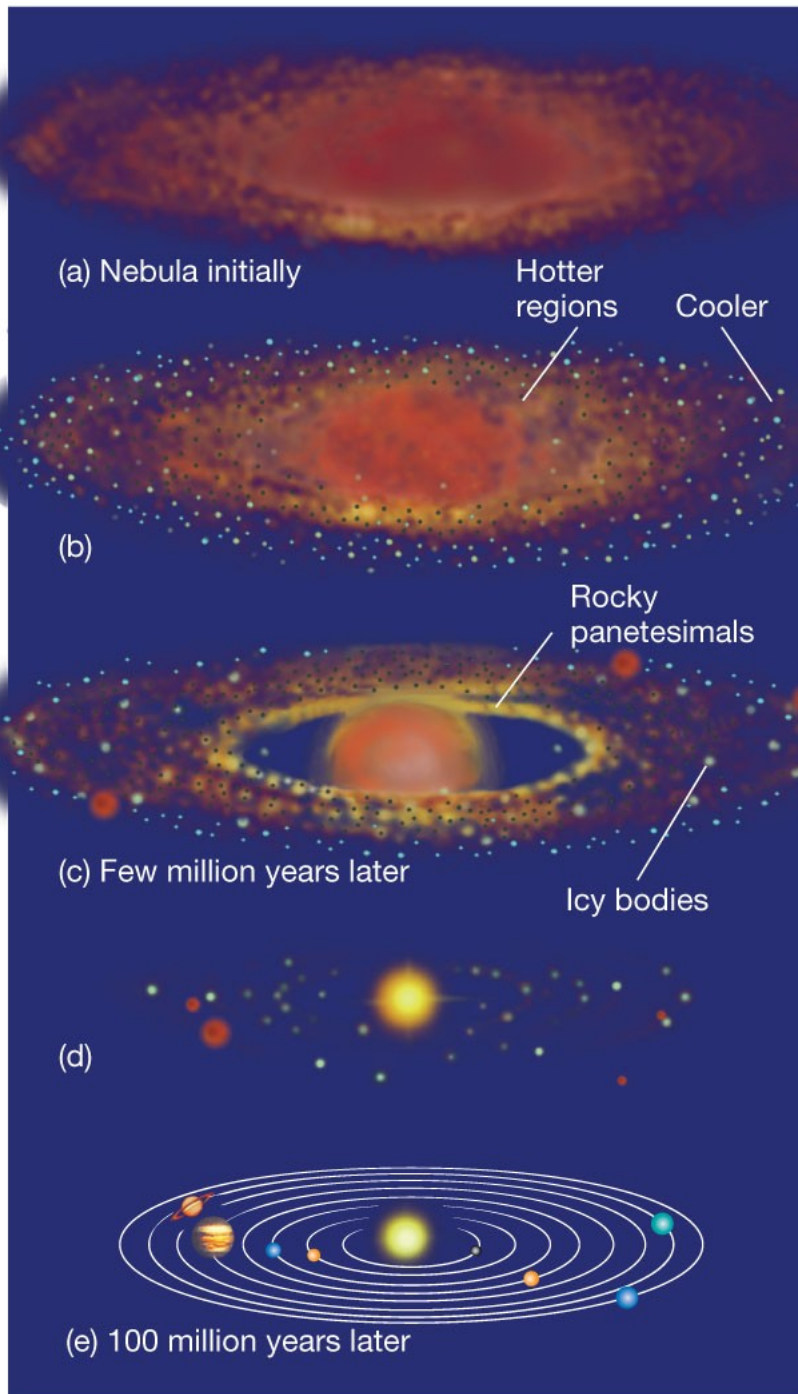


# 12. Objetos TransNetunianos



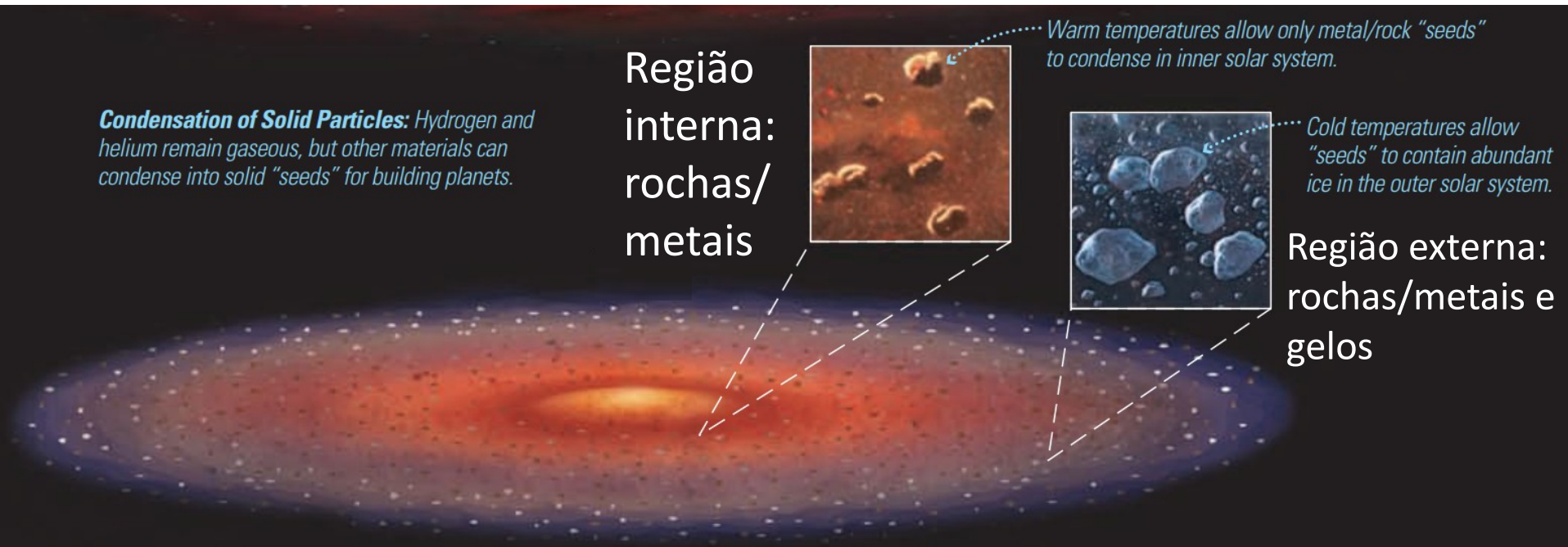
[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_trans-Neptunian\\_objects#/media/File:TheTransneptunians\\_Size\\_Albedo\\_Color.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_trans-Neptunian_objects#/media/File:TheTransneptunians_Size_Albedo_Color.svg)



- Colapso da nebulosa e formação de disco
- Condensação em grãos de poeira. Região interna é mais quente (metal + rocha). Região externa é fria (rocha + gelo).
- Colisões  $\Rightarrow$  corpos maiores. Interna: planetesimais rochosos. Externa: rochosos + gelos.
- Interna: protoplanetas rochosos (planetas rochosos formados em  $\sim 100$  Myr). Externa: Núcleo rocha+gelo  $\rightarrow$  acreção de envelope gasoso, formando planetas gigantes em  $< 10$  Myr
- Final: 8 planetas + pequenos corpos do sistema solar

# Pequenos corpos (resíduos) da formação do sistema solar:

- rochosos na região interna
- rochosos + gelos na região externa

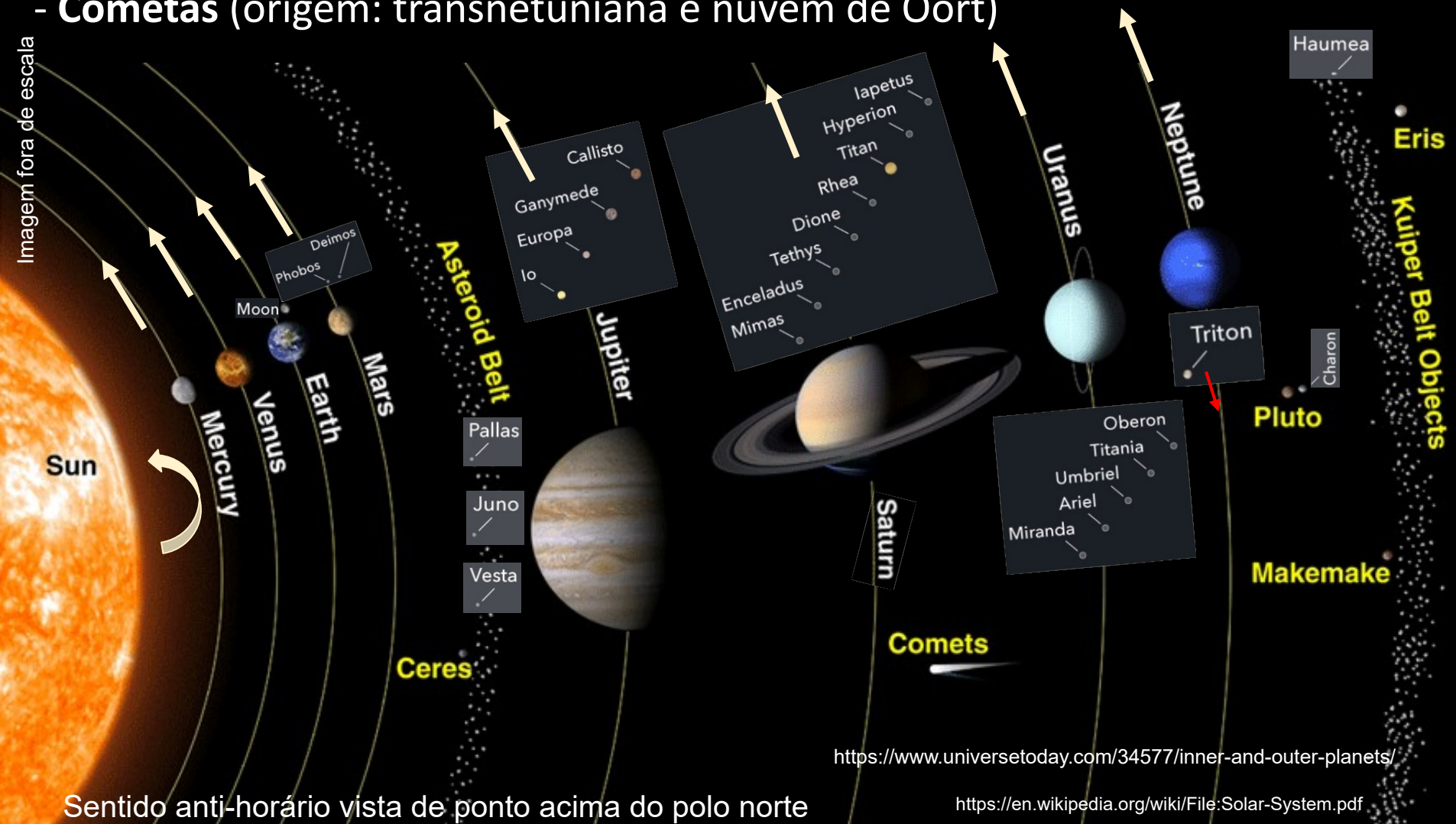


- luas e anéis (corpos fragmentados)
- asteroides na região interna (~2,7 UA [2,1 - 3,3 UA])
- objetos transnetunianos (30 - 100 UA)
- cometas (origem na região transnetuniana e nuvem de Oort)



# Pequenos corpos do sistema solar:

- **Luas** (formadas *in situ* ou capturadas [p.ex. Tritão]) e **anéis** (limite de Roche)
- **Asteroides** (e.g. Ceres) na região interna (cinturão de asteroides 2,1 - 3,3 UA)
- **Objetos transnetunianos** (30 - 100 UA): cinturão de Kuiper + disco disperso
- **Cometas** (origem: transnetuniana e nuvem de Oort)

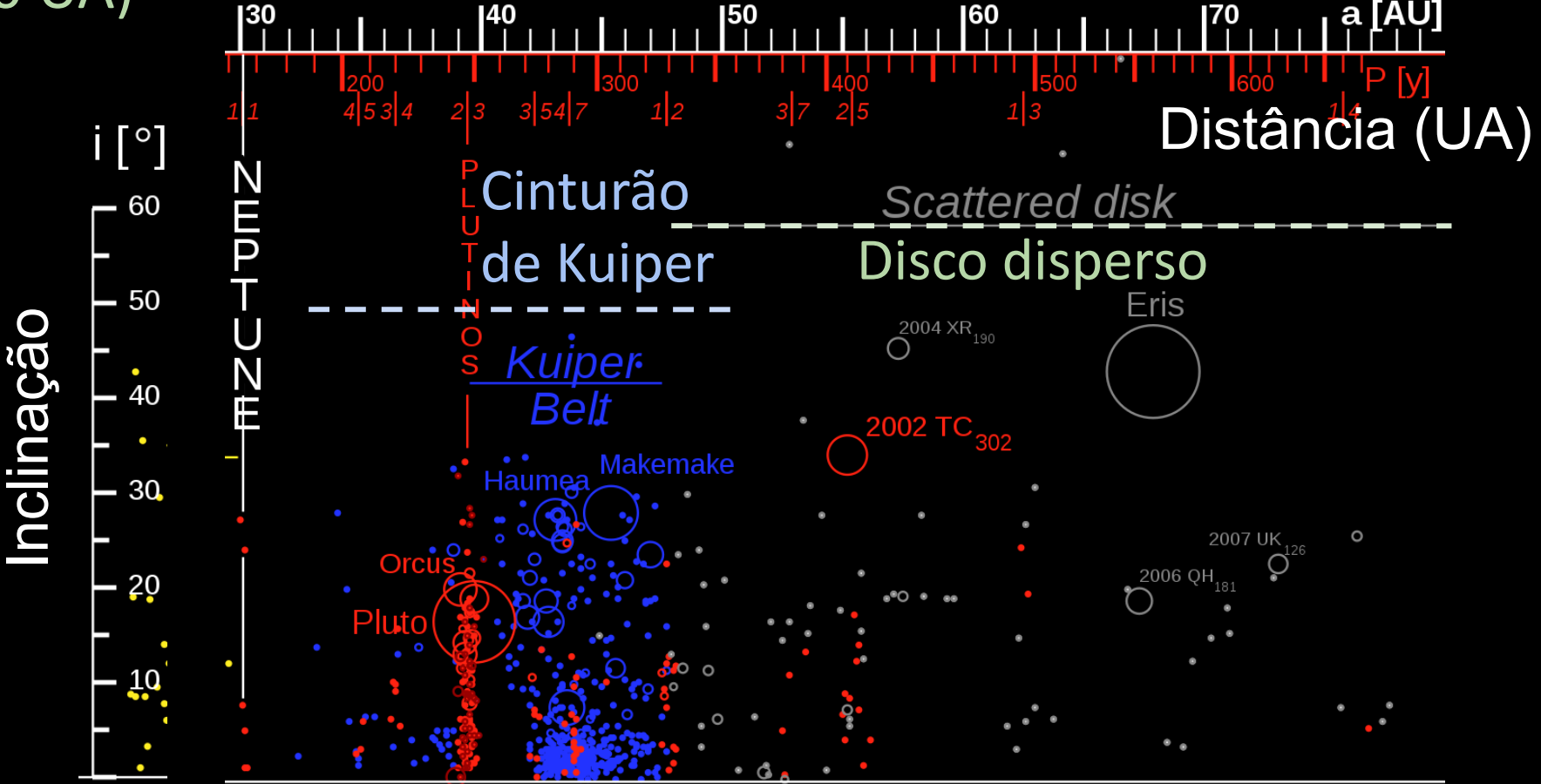


<https://www.universetoday.com/34577/inner-and-outer-planets/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar-System.pdf>



Além de Netuno (> 30 UA): **Objetos Transnetunianos**, e são do Cinturão de Kuiper (30 - 50 UA) ou do Disco disperso (até ~ 100 UA)



*Trans-Neptunian objects*

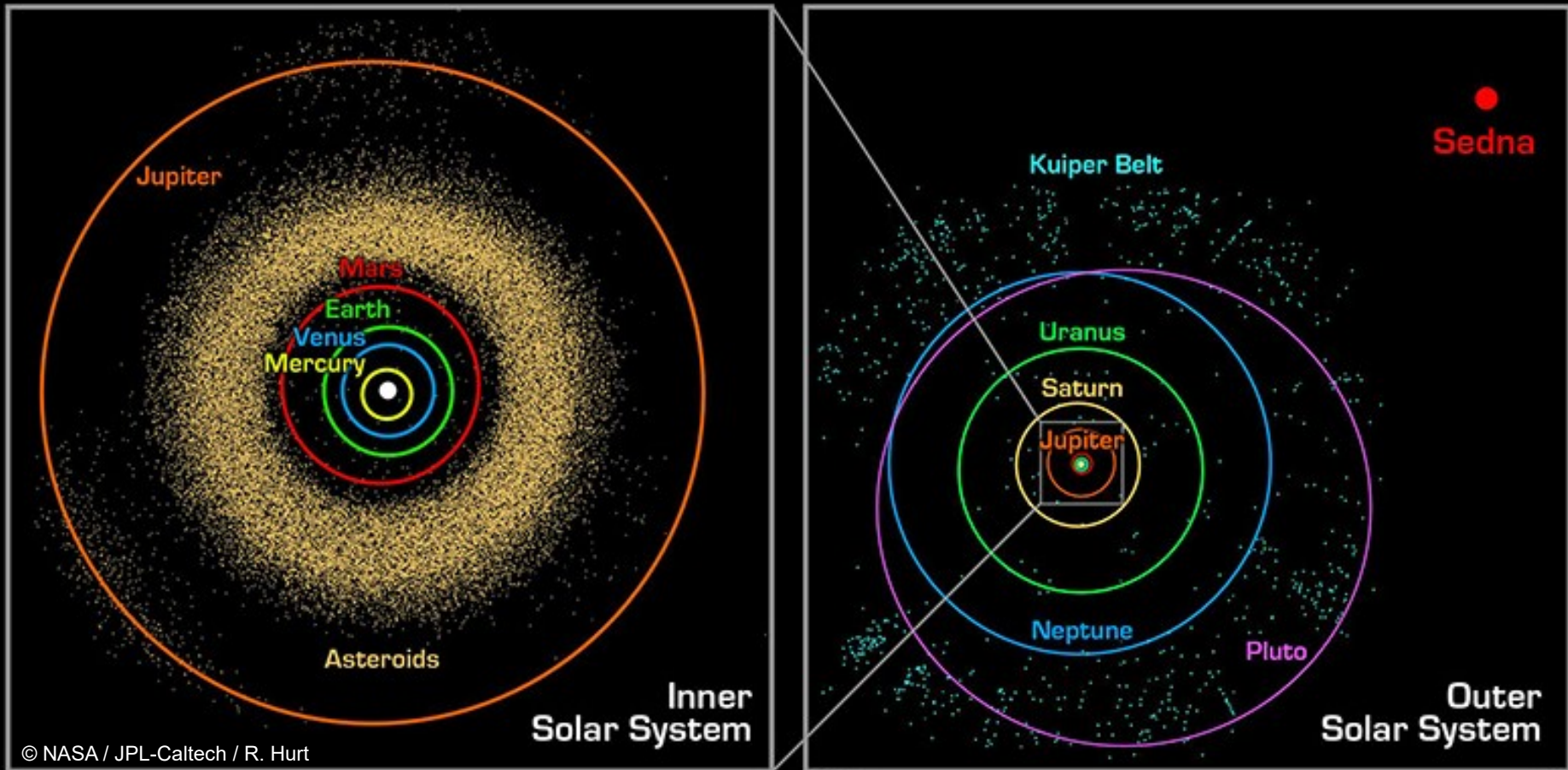
**Transnetunianos**



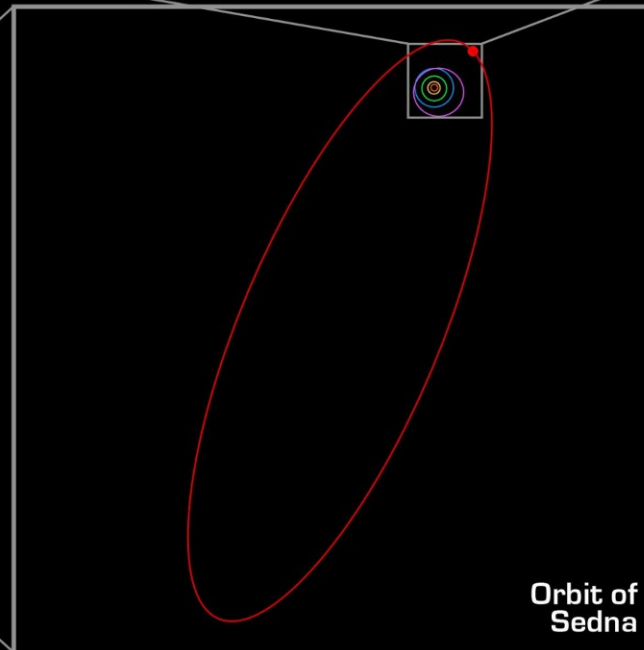
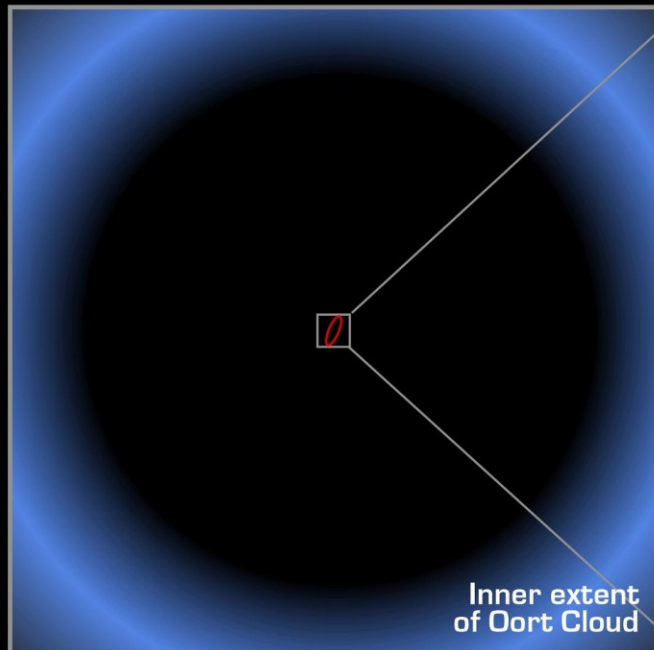
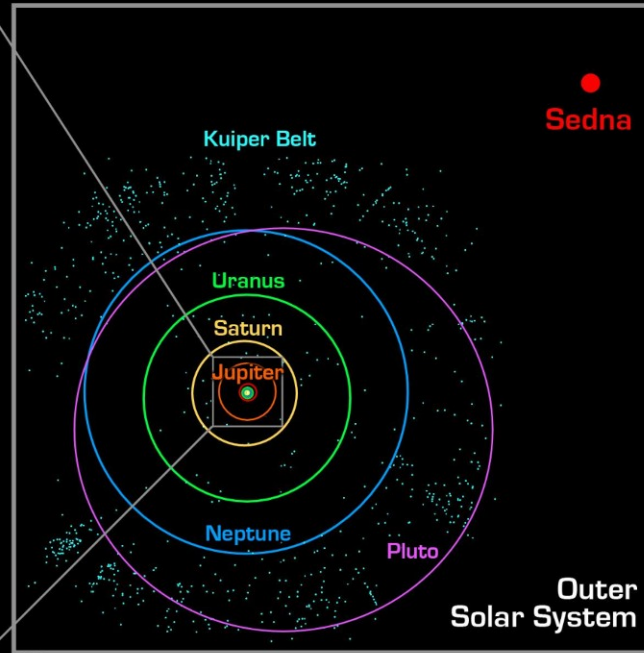
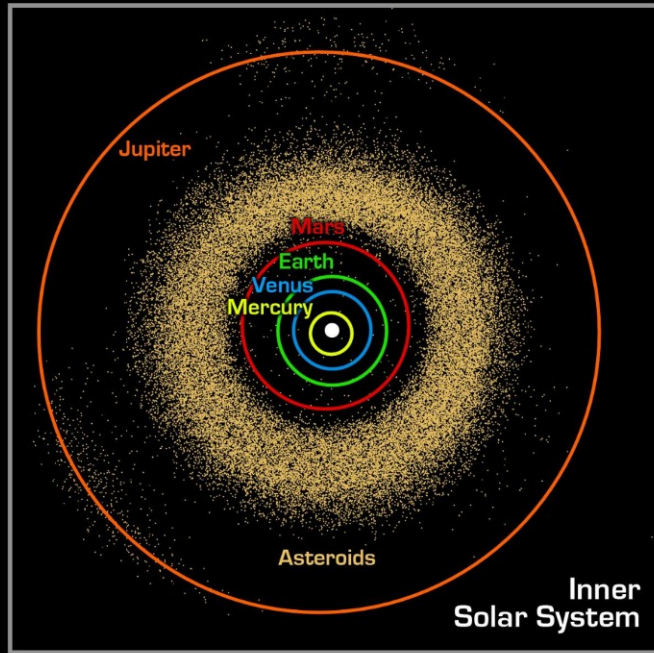
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TheTransneptunians\\_73AU.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TheTransneptunians_73AU.svg)

# Arquitetura do Sistema Solar

- Planetas rochosos (0,4 - 1,5 UA) e Cinturão de asteroides (~2,7 UA)
- Planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), 5 - 30 UA
- Transnetunianos [Kuiper + Disco Disperso] (30 a ~100 UA). Plutão, Sedna, etc
- Nuvem de Oort (2000 a ~ 100.000 UA)



# Sistema Solar

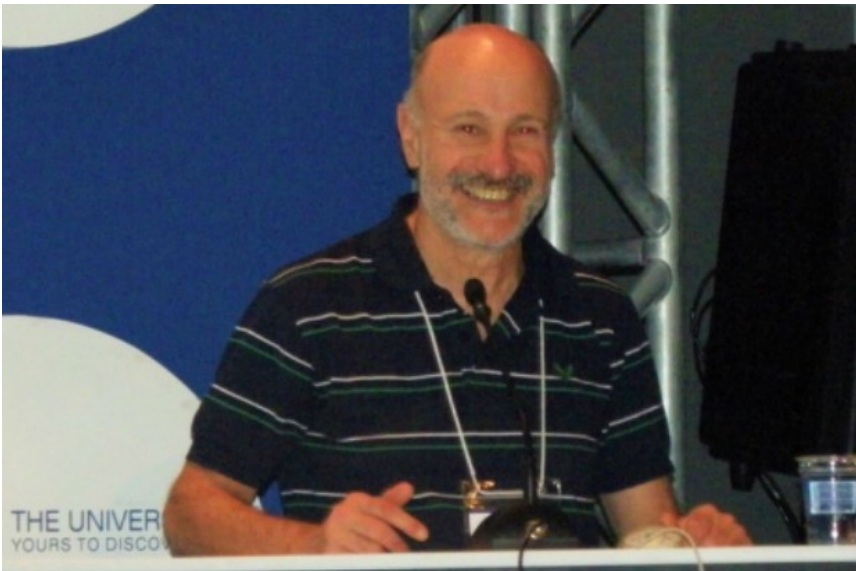


- Planetas rochosos Mercúrio, Vênus, Terra e Marte (0,4 - 1,5 UA)
- Cinturão de asteroides (~2,7UA)
- Planetas gigantes Júpiter, Saturno, Urano e Netuno (5 - 30 UA)
- Objetos transnetunianos (30 - 100 UA). Por ex., Plutão e Sedna
- Nuvem de Oort (2000 - 100 mil UA)



# Cinturão de Kuiper, **Cinturão de Kuiper-Fernandez?** ou Cinturão de Kuiper-Edgeworth-Fernandez?

Julio Ángel Fernández (1946 - ...), astrônomo uruguaio que fez previsões específicas sobre um cinturão além de Netuno



**Summary.** The possible existence of a comet belt in connection with the origin of the short-period comets is analysed. It is noted that the current theory – that these comets originate as near-parabolic comets captured by Jupiter and the other giant planets – implies an excessive wastage of comets lost in hyperbolic orbits, which is avoided in the present model.

The following picture is predicted. Solid conglomerates up to  $\sim 10^{18}$  g were formed by gravitational instabilities in the belt region (about 35–50 AU). A further fragmentation–accretion process led to a power-law mass distribution similar to that observed in the asteroids. Since then, close encounters between members of the belt have provoked the diffusion of some of them with the effect that they have become subject to the strong perturbations of Neptune. Of these a small number pass from one planet to the next inside and end as short-period comets.

By means of a Monte Carlo method, the influence of close encounters between belt comets is then studied in relation to the diffusion of their orbits. It is concluded that if such a belt contains members with masses equal to or greater than that of Ceres, the orbital diffusion could proceed fast enough to maintain the number of observed short-period comets in a steady state.

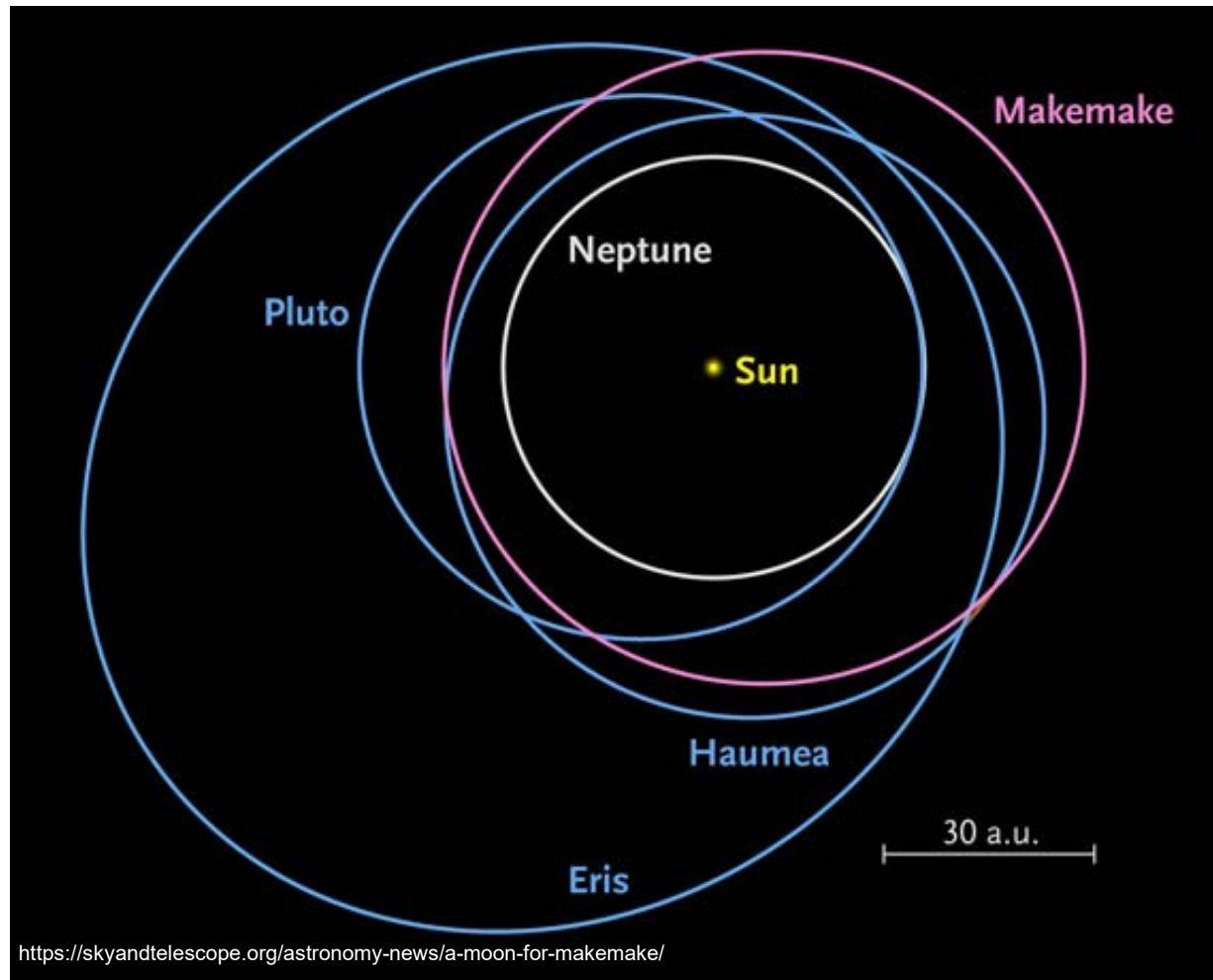
*Mon. Not. R. astr. Soc.* (1980) 192, 481–491

## **On the existence of a comet belt beyond Neptune**

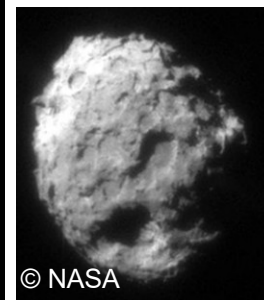
**Julio A. Fernández**★ *Observatorio Astronómico Nacional, Alfonso XII, 3,  
Madrid-7, Spain*

TransNetunianos: objetos além de Netuno,  $\sim 30 - 100$  UA.

População composta de corpos rochosos-gelados, da ordem de 1 km a 1000 km. Existem  $\sim 10^5$  objetos  $> 100$  km. Primeiro objeto descoberto: Plutão (1930).



Plutão,  $d = 2376,6$  km



Núcleo do cometa  
81P/Wild:  
 $5 \times 4 \times 3$  km

- Percival Lowell (1855–1916) previu que aparentes anomalias nas órbitas de Urano e Netuno eram devidas a um planeta desconhecido (planeta X)

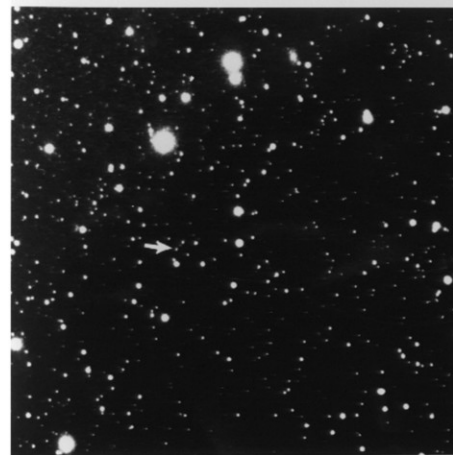
- Procura sem sucesso entre 1905 a 1911

- Plutão foi descoberto em 8/2/1930 por Clyde Tombaugh → novo planeta?

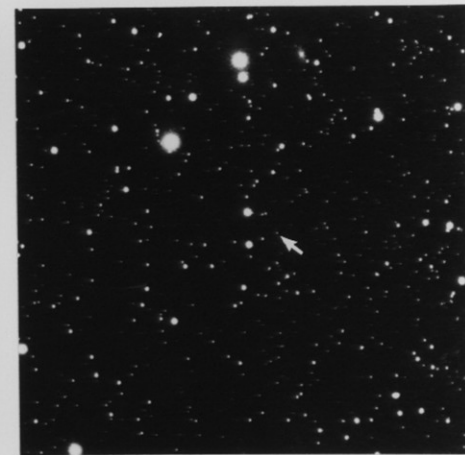


- Em 1978 foi descoberta Caronte, Lua de Plutão

- A massa Plutão + Caronte é muito pequena p/planeta X



January 23, 1930



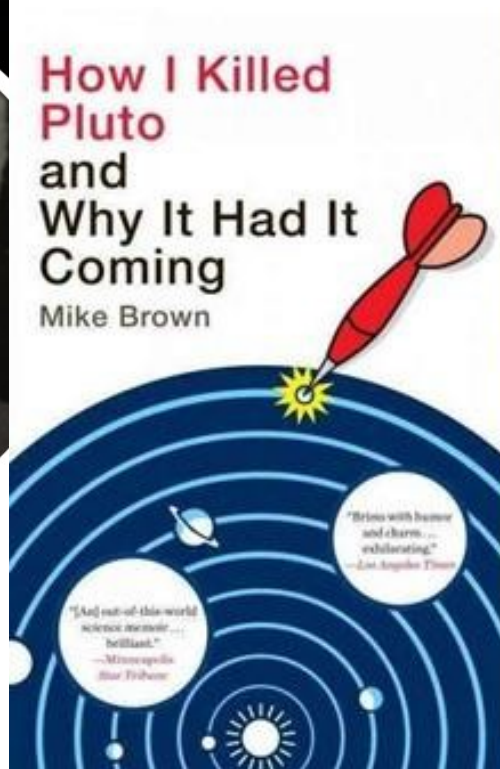
January 29, 1930

- 1993: nunca existiram anomalias em Urano/Netuno

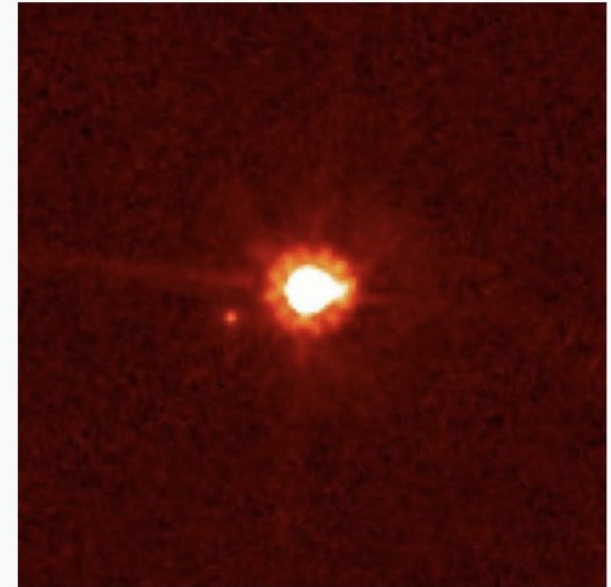




**Mike Brown**  
@plutokiller



## 136199 Eris



Eris (center) and [Dysnomia](#) (left of center);  
image taken by the [Hubble Space Telescope](#)

- Em 8/1/2005 foi descoberto o transnetuniano Eris usando o Observatório Palomar em California.
- Inicialmente se pensava que era maior que Plutão → planeta?
- 9/2005 descoberta lua (Dysnomia) ao redor de Eris

# Estimativa de diâmetros de TNO (a.k.a. **EKO**)

## 21.5.4 Calculation of the Radius of EKOs

The radius (R) of an EKO can be estimated from the equation (Levison and Weissman, 1999):

$$R^2 = \frac{4.53 \times 10^5 r^2 \Delta^2}{10^{0.4V} \times p} \quad (21.1)$$

where R = radius in km,

r = heliocentric distance in AU,

$\Delta$  = distance from the Earth in AU,

p = geometric albedo expressed as a decimal fraction,

V = visual magnitude of the EKO.

**EKO**: *Edgeworth-Kuiper belt* (Stern, 2000).

TNOs são chamados também de EKOs, EKBOs, KBOs

# Estimativa de diâmetros de TNO (a.k.a. EKO)

## 21.5.4 Calculation of the Radius of EKOs

The radius (R) of an EKO can be estimated from the equation (Levison and Weissman, 1999):

$$R^2 = \frac{4.53 \times 10^5 r^2 \Delta^2}{10^{0.4V} \times p} \quad (21.1)$$

where R = radius in km,

r = heliocentric distance in AU,

$\Delta$  = distance from the Earth in AU,

p = geometric albedo expressed as a fraction,

V = visual magnitude of the EKO.

Ex.: calcular diâmetro de **1996 TL66** adotando albedo = 0,04 e dados:

(Trujillo & Brown 2004)

$$r = 35.03 \text{ AU},$$

$$\Delta = 34.09 \text{ AU},$$

$$V = 20.76.$$

$$R^2 = \frac{4.53 \times 10^5 \times (35.03)^2 (34.09)^2}{10^{0.4 \times 20.76} \times 0.04}$$

$$R^2 = \frac{4.53 \times 10^5 \times 1227.1 \times 1162.1}{2.013 \times 10^8 \times 0.04}$$

$$R^2 = 80.226 \times 10^3 = 8.0226 \times 10^4$$

$$R = 2.83 \times 10^2 = 283 \text{ km, or } \sim 300 \text{ km.}$$

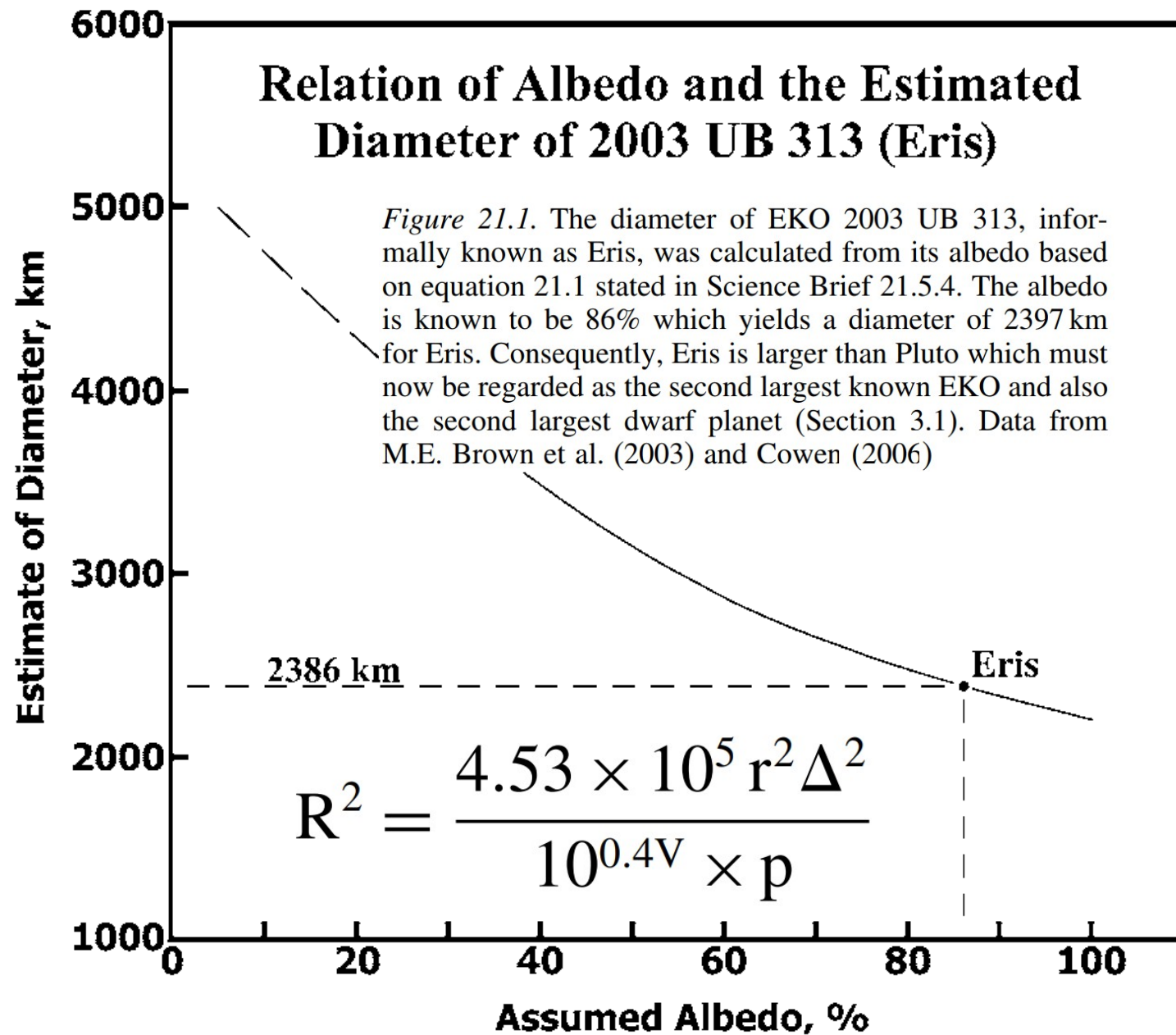


Determinação do diâmetro de Eris.

Adotando

albedo = 0,86

→ d = 2397km



# Diâmetros e outras propriedades de TNOs (EKO)

*Table 21.1.* Physical and orbital properties of the largest known objects in the Edgeworth-Kuiper belt (EKO). Data from Hartmann (2005) and Trujillo and Brown (2004) for Quaoar and Ixion (c) Introduction to Planetary Science, 2007

Property	Pluto	Eris <sup>1</sup>	Sedna	Quaoar	Ixion	Varuna <sup>2</sup>
Diameter, km	<b>2300</b>	<b>2397</b>	~ 1600	~ 1145	~ 1020	~ 1060
Semi-major axis, AU	39.5	67.7	278	43.249	39.387	43.125
Period of rev., y	247.7	556	4,600	284	247	283.20
Period of rot., d	6.3	44.2°	20?	?	?	0.26432
Eccentricity	0.248	0.44	0.73	0.035	0.243	0.051
Inclination r.t. ecliptic	17°	44.2°	?	8.0°	19.7°	17.2°
Albedo, %	60	86	?	12	9	3.8
Spectral class	?	?	D?	D?	D?	D?
Dist. at perih., AU	29.7	37.8	~ 76	41.7	29.8	40.915
Dist. at aph., AU	49.3	97.6	~ 480	44.7	49.0	45.335
Discovery date	2/18 /30	9/21/03	3/15/04	2002	5/22/01	11/ 28/00

Atual: Plutão,  $d = 2377 \pm 2$  km,  $m = 1,303 \pm 0,003 \times 10^{22}$  kg

Eris,  $d = 2326 \pm 12$  km,  $m = 1,65 \pm 0,01 \times 10^{22}$  kg

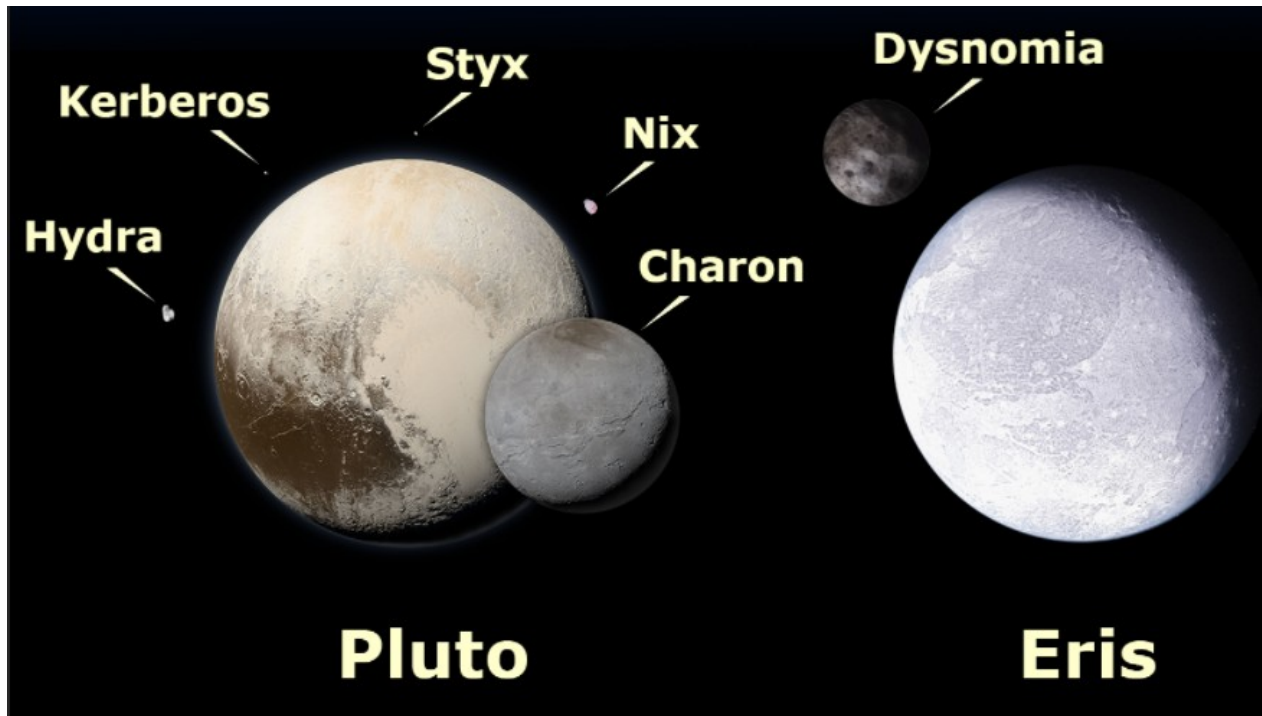
Massa de Eris = 0,3% da massa da Terra

## 2005: Eris é similar a Plutão → novo planeta?

Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (8/2006), **definição de planeta:**

(a) está em órbita ao redor do Sol

(b) tem massa suficiente para sua gravidade superar forças rígidas do corpo → equilíbrio hidrostático (quase esférico)



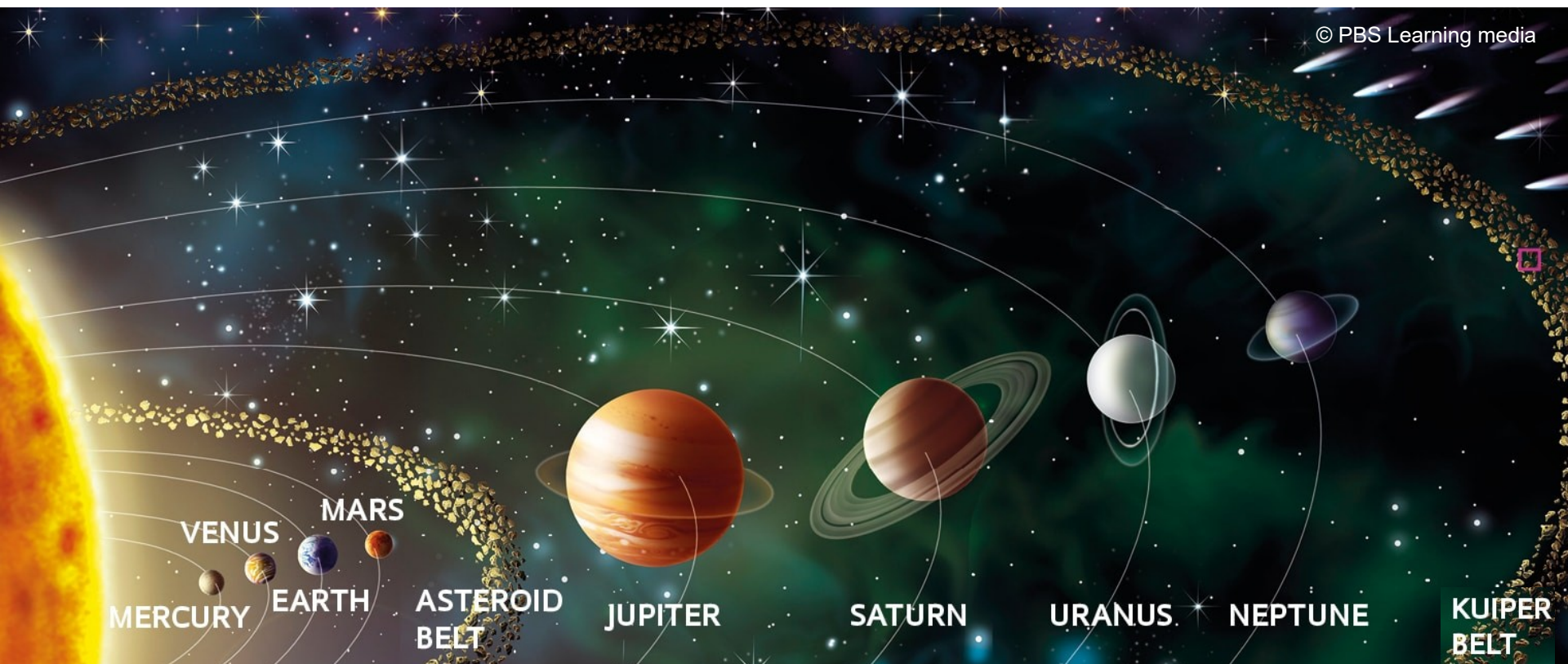


Com nova definição (UAI, 2006), Plutão deixou de ser planeta, pois existem outros objetos na vizinhança de Plutão.

(a) está em órbita ao redor do Sol

(b) tem massa suficiente para sua gravidade superar forças rígidas do corpo → equilíbrio hidrostático (quase redondo) e

(c) limpou a vizinhança em torno de sua órbita.



Arte com os maiores objetos transnetunianos (e luas) entre ~2000 conhecidos. A maioria foi descoberta a partir dos anos 2000.

# Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



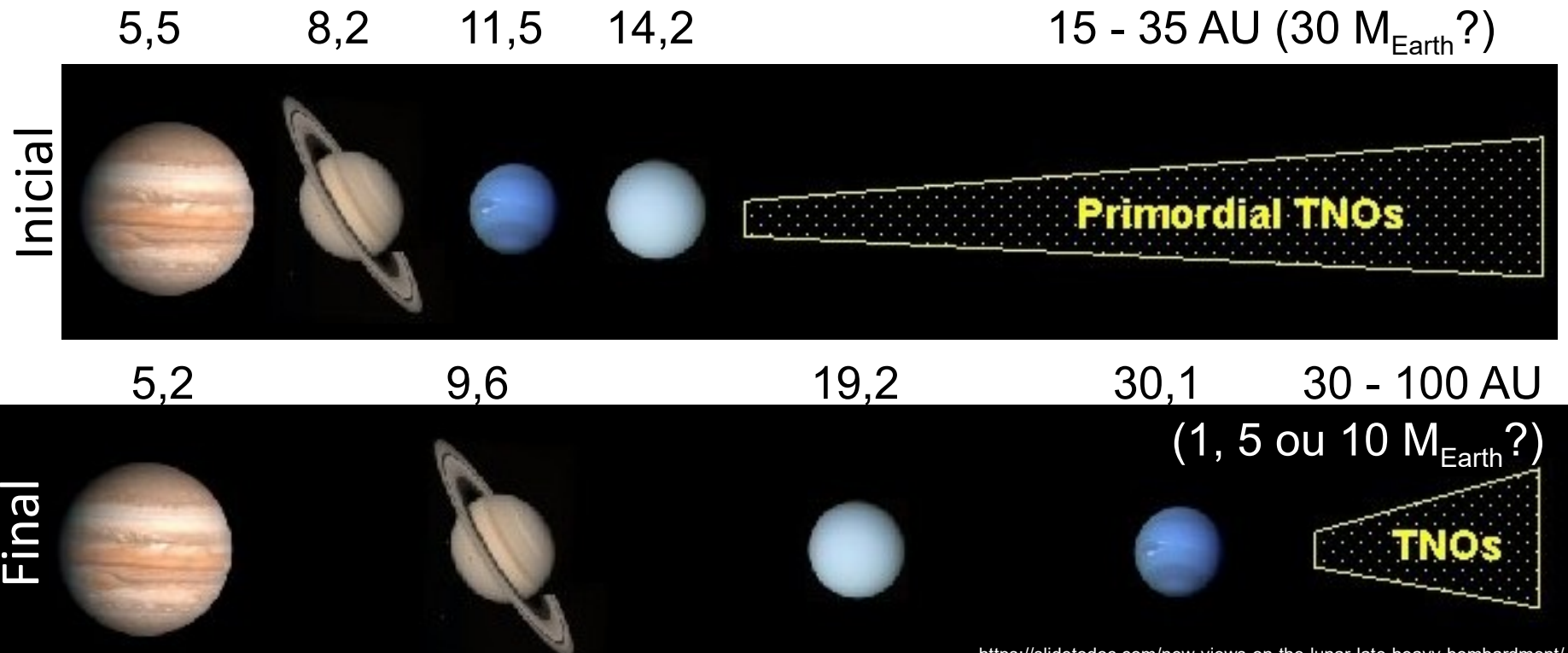
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:EightTNOs.png>



2000 km

# Possível origem da configuração final do sistema solar externo.

- Urano e Netuno espalharam planetesimais para fora e predominantemente para dentro → ganharam momento angular e moveram-se para fora.
- Saturno espalha para dentro → se move para fora, mas pouco, devido à grande massa.
- Júpiter é um dispersor externo líquido, então se move um pouco para dentro. Muitos dos planetesimais espalhados para fora escapam para o espaço interestelar ou contribuem para a Nuvem de Oort.



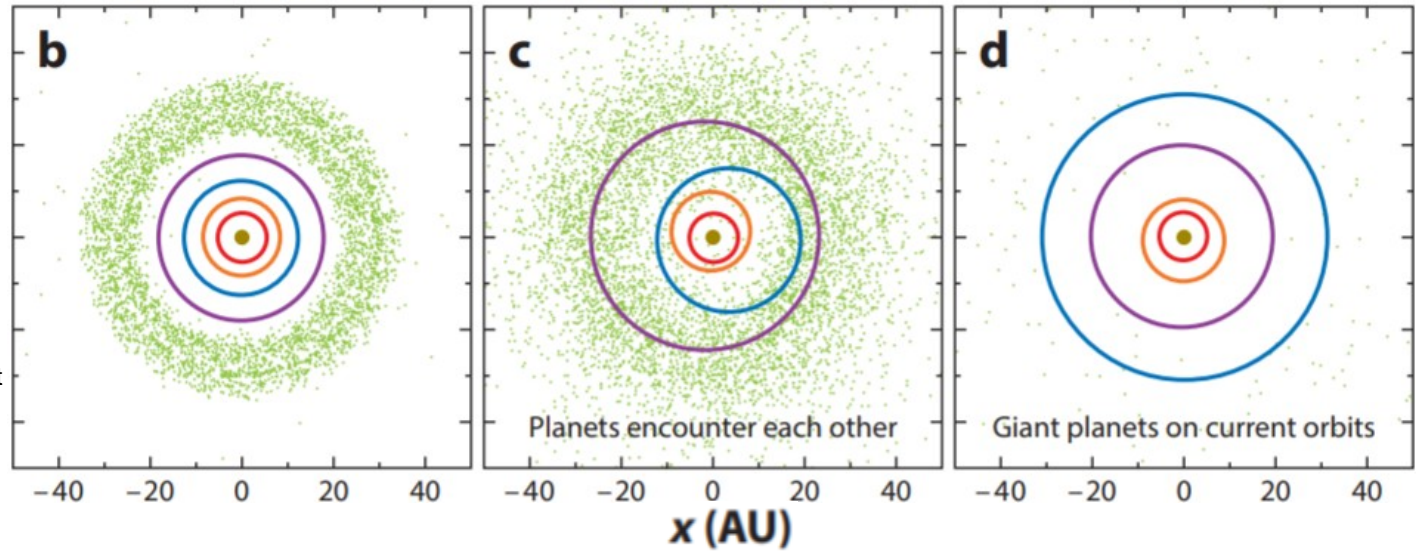


# Migração dos planetas externos.

Just before start of scattering

Just after start of scattering

200 Ma later



Bottke & Norman 2017  
Annual Review of Earth and Planetary Sciences. The Late Heavy Bombardment

[https://www.boulder.swri.edu/~bottke/Reprints/Bottke\\_Norman\\_2017\\_AnnuRev-Earth-Planet\\_45\\_619\\_Late\\_Heavy\\_Bombardment.pdf](https://www.boulder.swri.edu/~bottke/Reprints/Bottke_Norman_2017_AnnuRev-Earth-Planet_45_619_Late_Heavy_Bombardment.pdf)

5,5

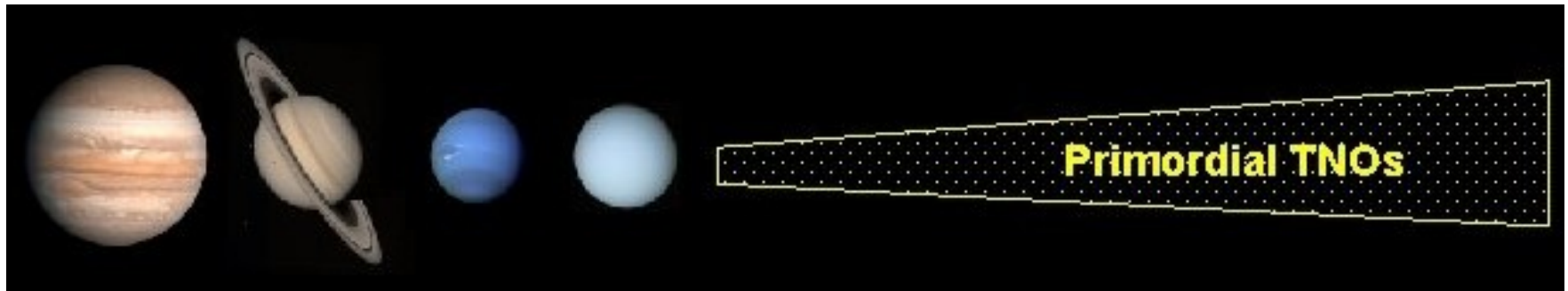
8,2

11,5

14,2

15 - 35 AU (35  $M_{\text{Earth}}$ ?)

Inicial



5,2

9,6

19,2

30.1

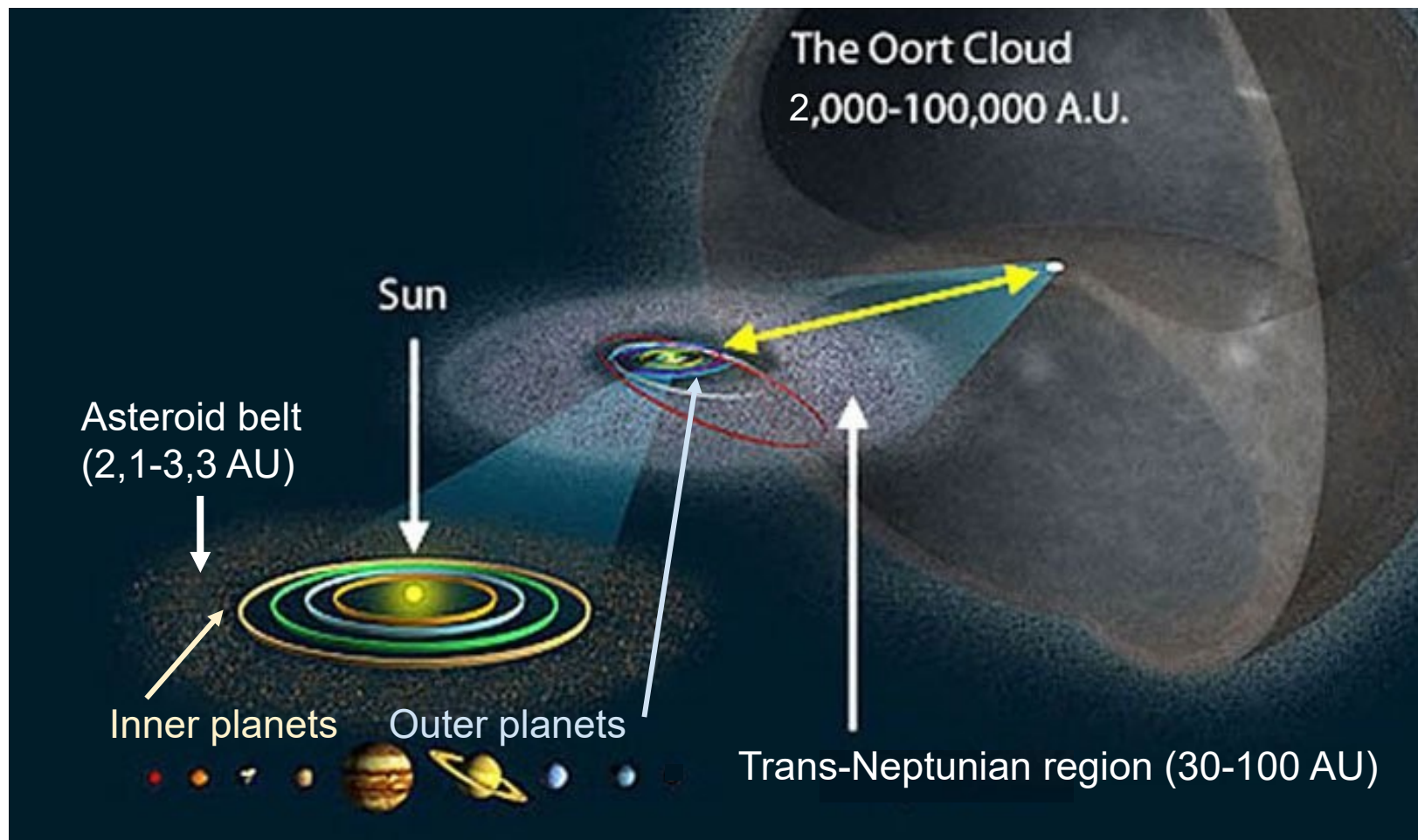
30 - 100 AU

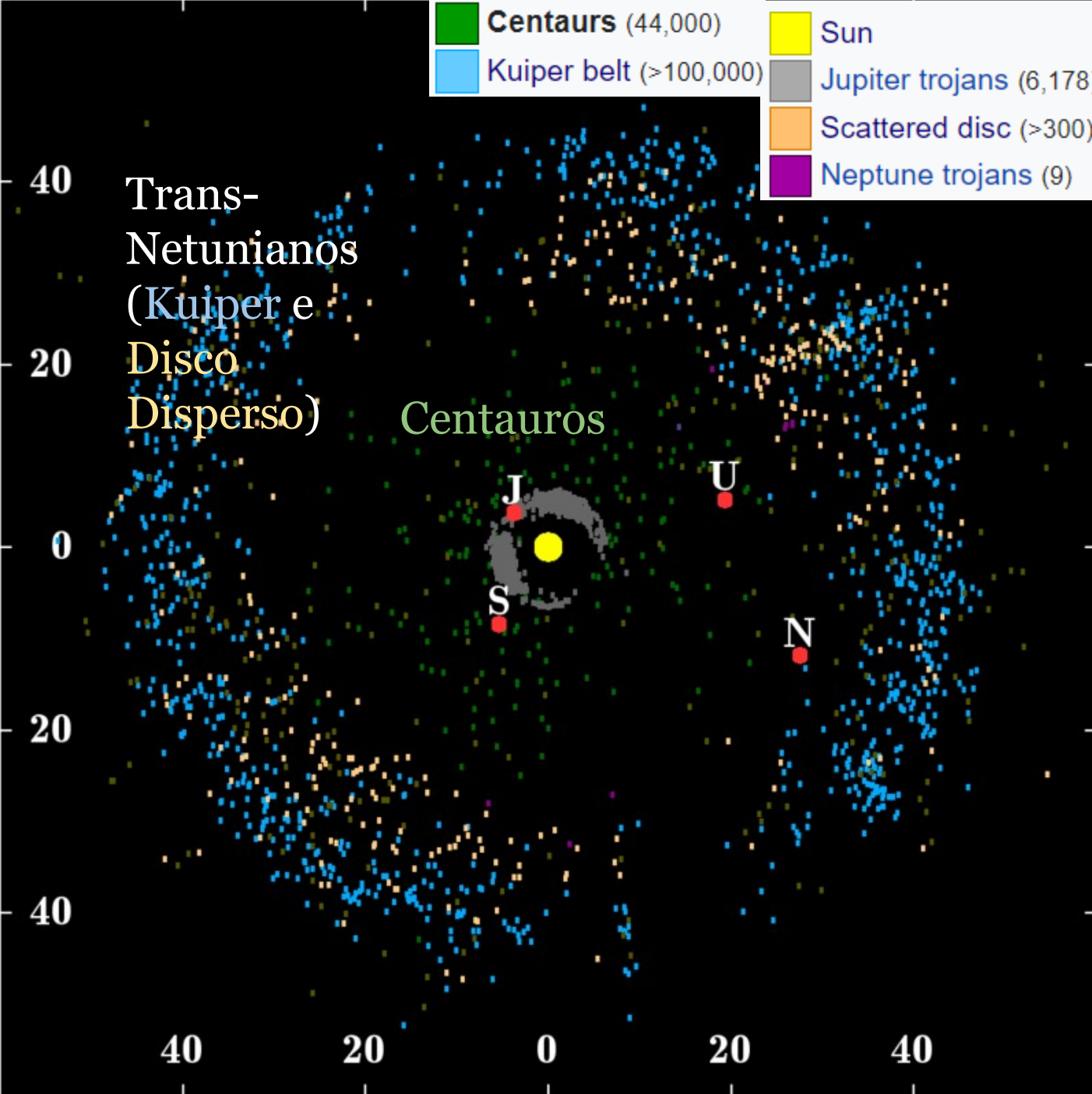
(1, 5 ou 10  $M_{\text{Earth}}$ ?)

Final



**A nuvem de Oort** consiste em planetesimais ( $\sim 10^{12}$  corpos  $> 1\text{km}$ ) rochosos e gelados lançados para fora pelos planetas gigantes (sobretudo Urano e Netuno, e em menor número por Júpiter), mas não rápido o suficiente para escapar do Sistema Solar. As órbitas foram randomizadas pela força de maré da Galáxia e a força gravitacional das estrelas e matéria interestelar.

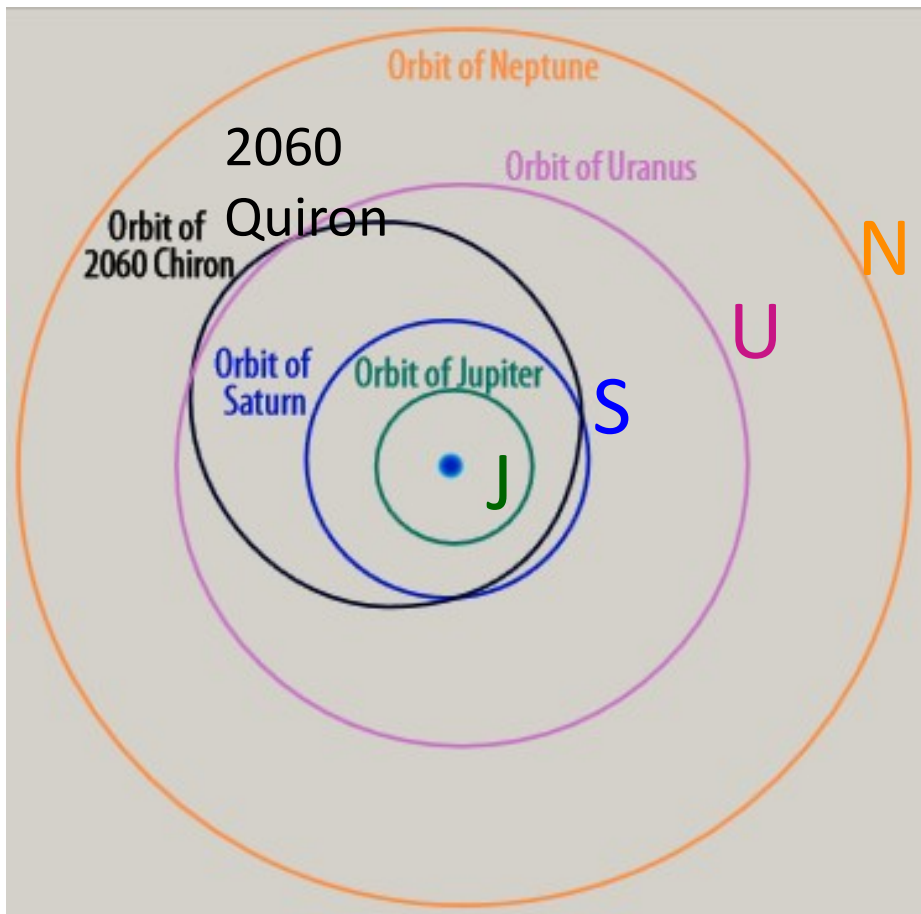




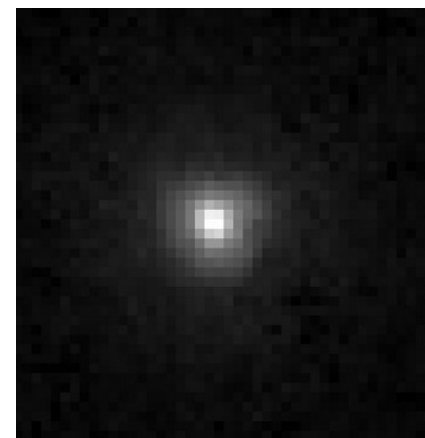
**Os Centauros** são corpos rochosos-gelados originalmente da região trans-netuniana (30-100 UA), mas que foram dispersados para a região dos planetas gigantes, entre Júpiter (5 UA) e Netuno (30 UA)



# 2060 Quiron (Chiron) foi o primeiro Centauro identificado




Quando descoberto (1977) foi classificado como asteroide, mas em 1989 apresentou características de cometa:  
**95 P / Chiron**



Período orbital  $P = 50,7$  anos  
Semi-eixo maior  $a = 13,7$  UA,  $e = 0,377$   
Mean radius: 109 km  
Rotation period = 5,918 h

Imagem mostrando a coma de Chiron em 1996 pelo Hubble

# A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo

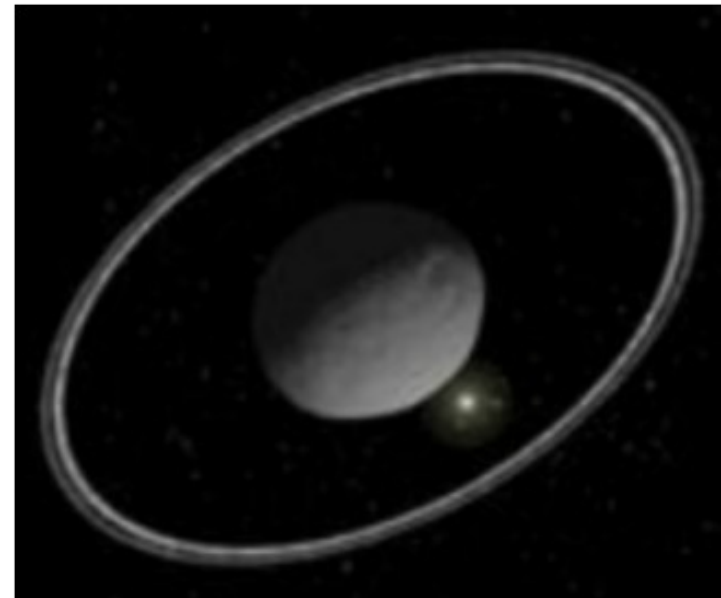
F. Braga-Ribas, B. Sicardy, J. L. Ortiz, C. Snodgrass, F. Roques, R. Vieira-Martins, J. I. B. Camargo, M. Assafin, R. Duffard, E. Jehin, [J. Pollock](#), R. Leiva, M. Emilio, D. I. Machado, C. Colazo, E. Lellouch, J. Skottfelt, M. Gillon, N. Ligier, L. Maquet, G. Benedetti-Rossi, A. Ramos Gomes, P. Kervella, H. Monteiro, R. Sfair  *et al.*

## Asteroids can have rings, too

**Chariklo is the first body after the giant planets found to have a ring system**

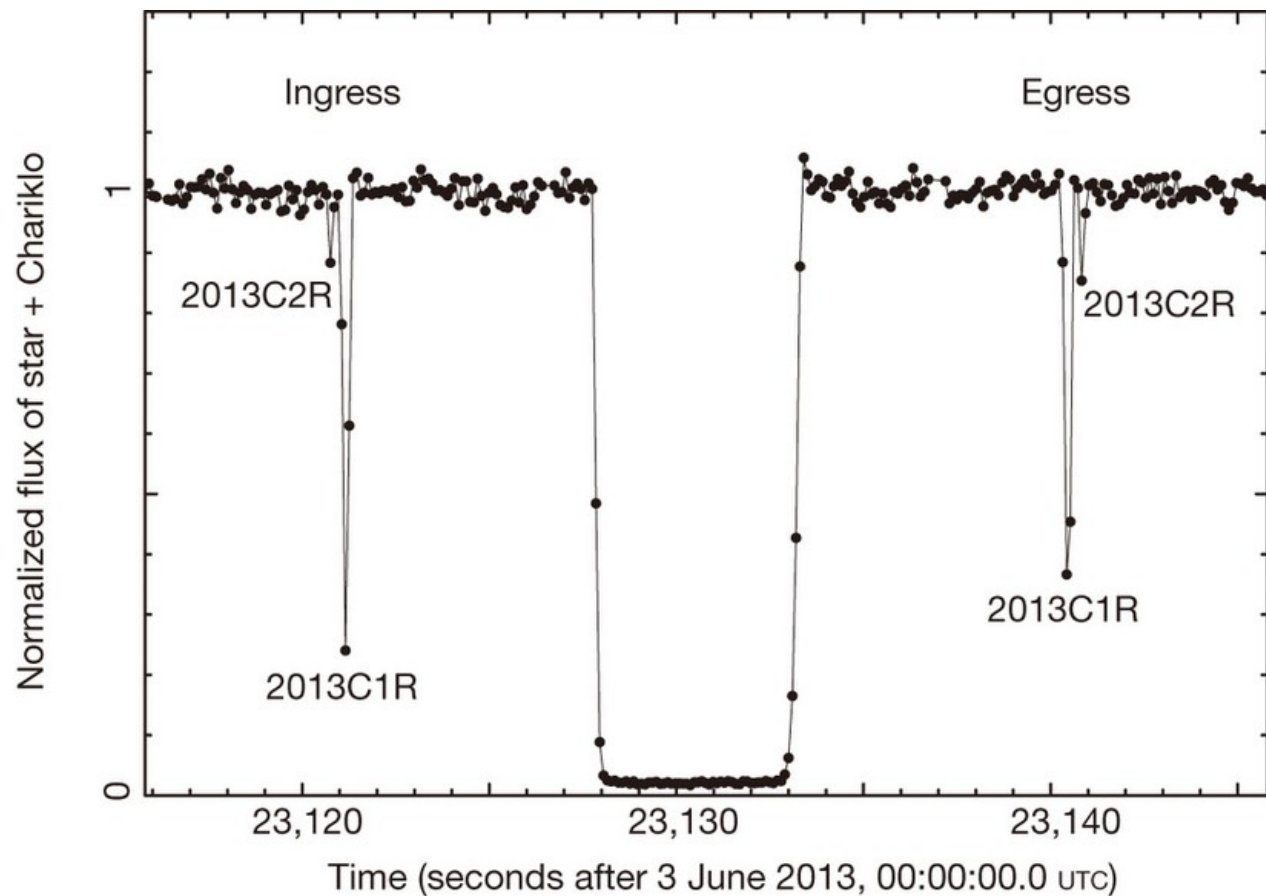
**Elizabeth Gibney**

26 March 2014    Período orbital  $P = 62,9$  anos  
Semi-eixo maior  $a = 15,8$  UA,  $e = 0,17$   
Mean diameter: 225 km  
Rotation period = 7,004 h



# A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo

Martins, J. I. B.  
D. I. Machado, C.  
tti-Rossi, A. Ramos





# veja **Rio** O senhor dos anéis

Astrônomo do Observatório Nacional, Felipe Braga-Ribas inscreve seu nome na história da exploração espacial ao descobrir massas de fragmentos cósmicos que orbitam um pequeno asteroide nos confins do sistema solar

## Felipe Braga-Ribas

Por **Ernesto Neves**

Atualizado em 2 jun 2017, 13h10 - Publicado em 9 abr 2014, 19h25

**2006: Graduação em Física na UFPR**

**2009: Mestrado no OV/ UFRJ**

**2013: Doutorado no ON (Rio de Janeiro)**

**2014-2018: Pósdoc no ON**

**2019-2020: Pósdoc Obs. Paris-Meudon**

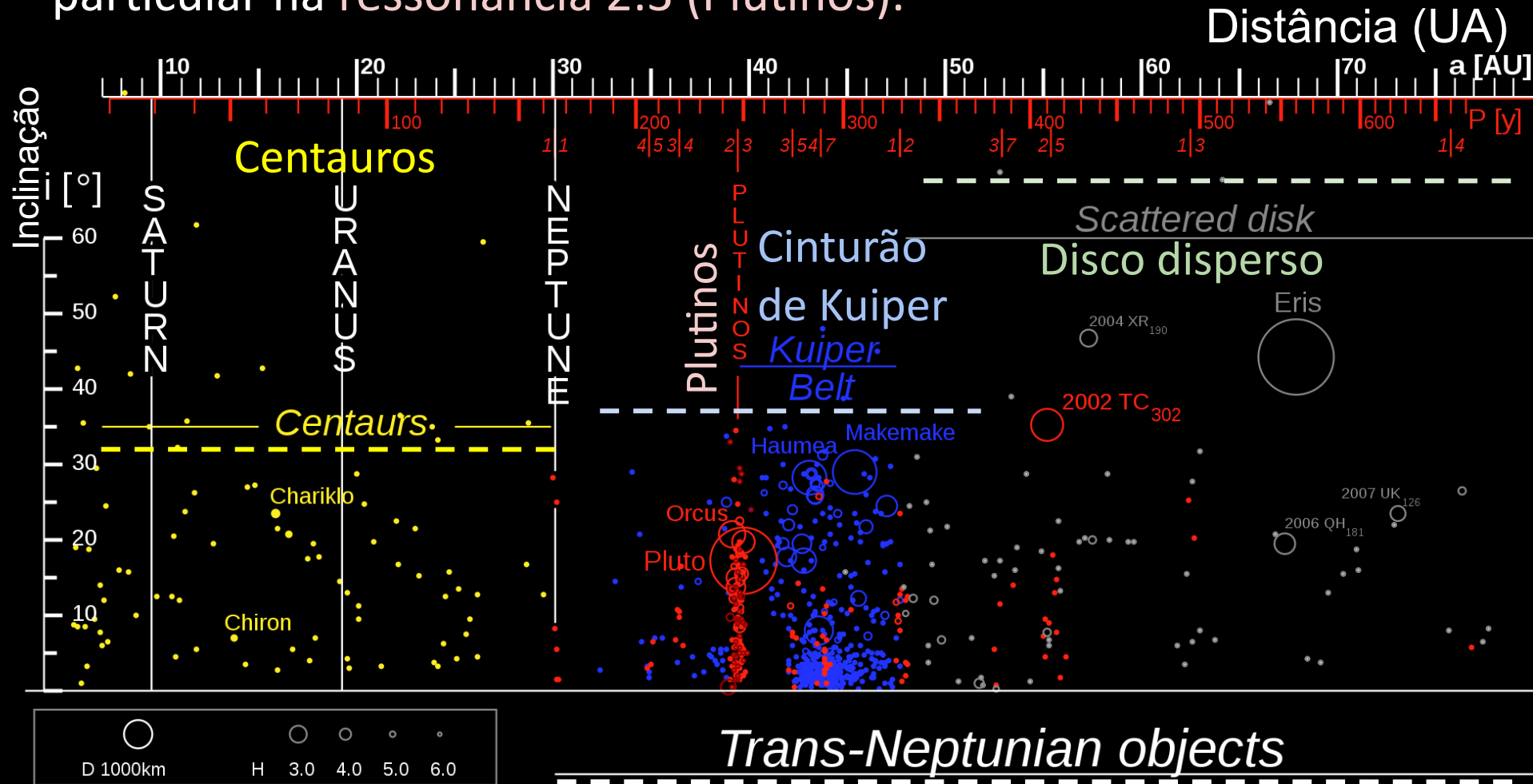
**Atualmente: Professor na UTFPR**

**(Univ. Tecnológica Federal do Paraná)**

A cada dois meses, Felipe Braga-Ribas, de 31 anos, se dirige ao Galeão para embarcar rumo a destinos remotos, como os confins do Deserto do Atacama ou a Ilha da Tasmânia, junto à costa da Austrália. Cada temporada no exterior dura em média quinze dias e costuma envolver altas doses de aventura. Não, o jovem com pinta de surfista não é aventureiro nem esportista radical. Quando chega a esses lugares remotos, ele olha para o céu. Mais especificamente, para um ponto a mais de 2 bilhões de quilômetros da Terra. Braga-Ribas é astrônomo do Observatório Nacional, em São Cristóvão, onde realiza um pós-doutorado em astrofísica planetária. E percorre o mundo em busca dos melhores pontos para observar e desvendar os segredos do espaço. Na quarta (26), a publicação de um estudo coordenado por ele na prestigiada revista Nature causou alvoroço na comunidade científica, sendo noticiado por redes de televisão internacionais como a britânica BBC e a americana CNN. Ao observar um pequeno asteroide batizado de Chariklo, que vaga quase nos limites do sistema solar, o cientista identificou dois anéis de fragmentos cósmicos girando ao seu redor. Com isso, derrubou uma espécie de consenso entre os especialistas de que apenas grandes planetas, como Saturno e Urano, possuem tais estruturas. Graças às suas observações, sabe-se agora que pequenos blocos de rocha, corpos ínfimos dentro da imensidão sideral, também podem ser circundados por esses fenômenos. Para um leigo, a

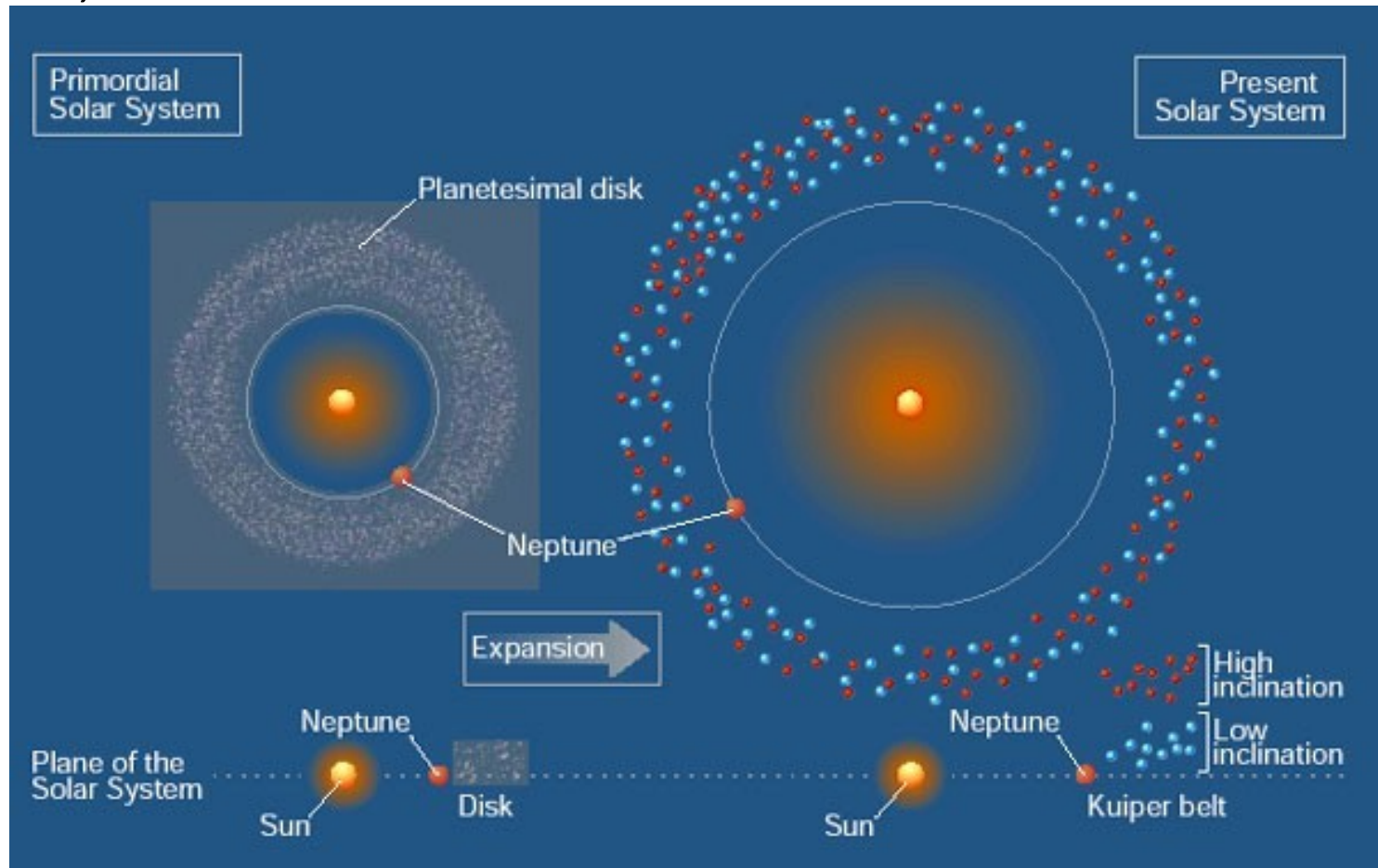


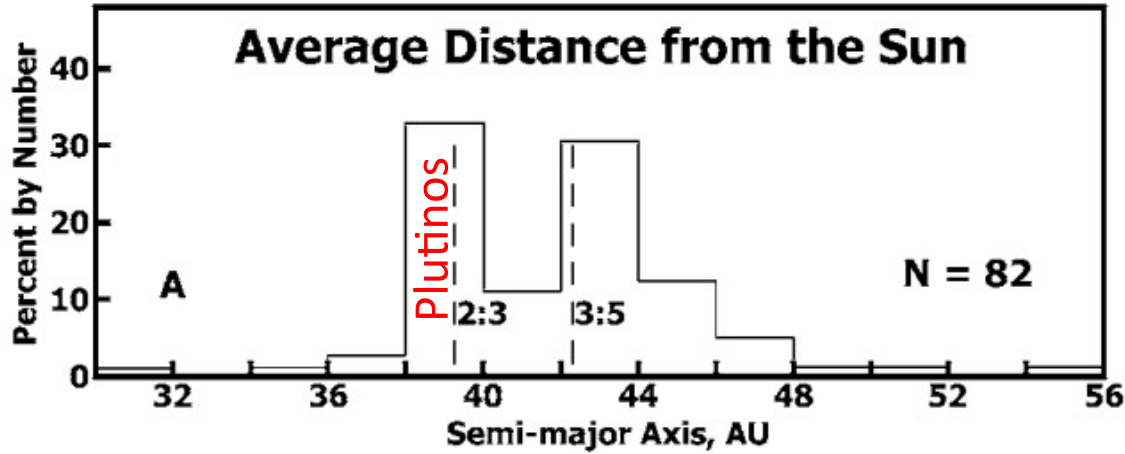
Devido às perturbações gravitacionais, muitos Centauros e Trans-Netunianos apresentam altas inclinações. Observamos também agrupamentos em ressonâncias com o período orbital de Netuno, em particular na ressonância 2:3 (Plutinos).



*Trans-Neptunian objects*  
**Objetos TransNetunianos**

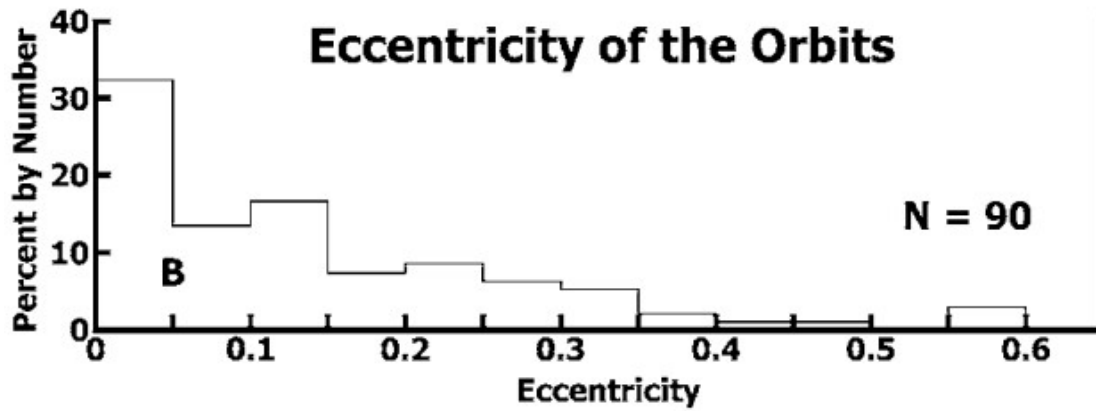
**Netuno** teve um papel fundamental para ‘esculpir’ a distribuição de objetos transnetunianos. Objetos clássicos do Cinturão de Kuiper com **baixa inclinação** podem ter se originado nessa região, enquanto **objetos de alta inclinação** podem ter sido perturbados por Netuno. Também, temos ressonâncias orbitais com Netuno.



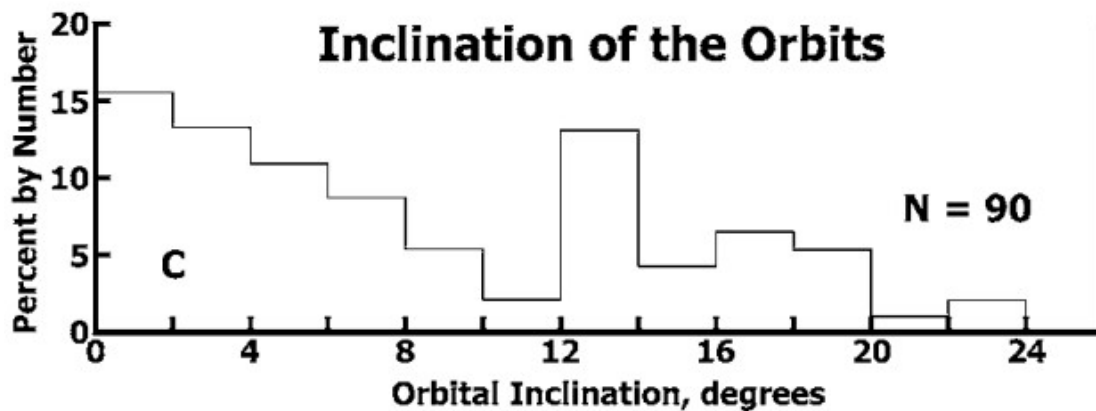


Os 2 principais picos ocorrem na distância heliocêntrica de **39,4 UA** e **42,2 UA**, devido a ressonâncias com Netuno de **2:3** e **3:5**, respectivamente

~ 1/3 tem excentricidade e < 0,05 → órbitas circulares

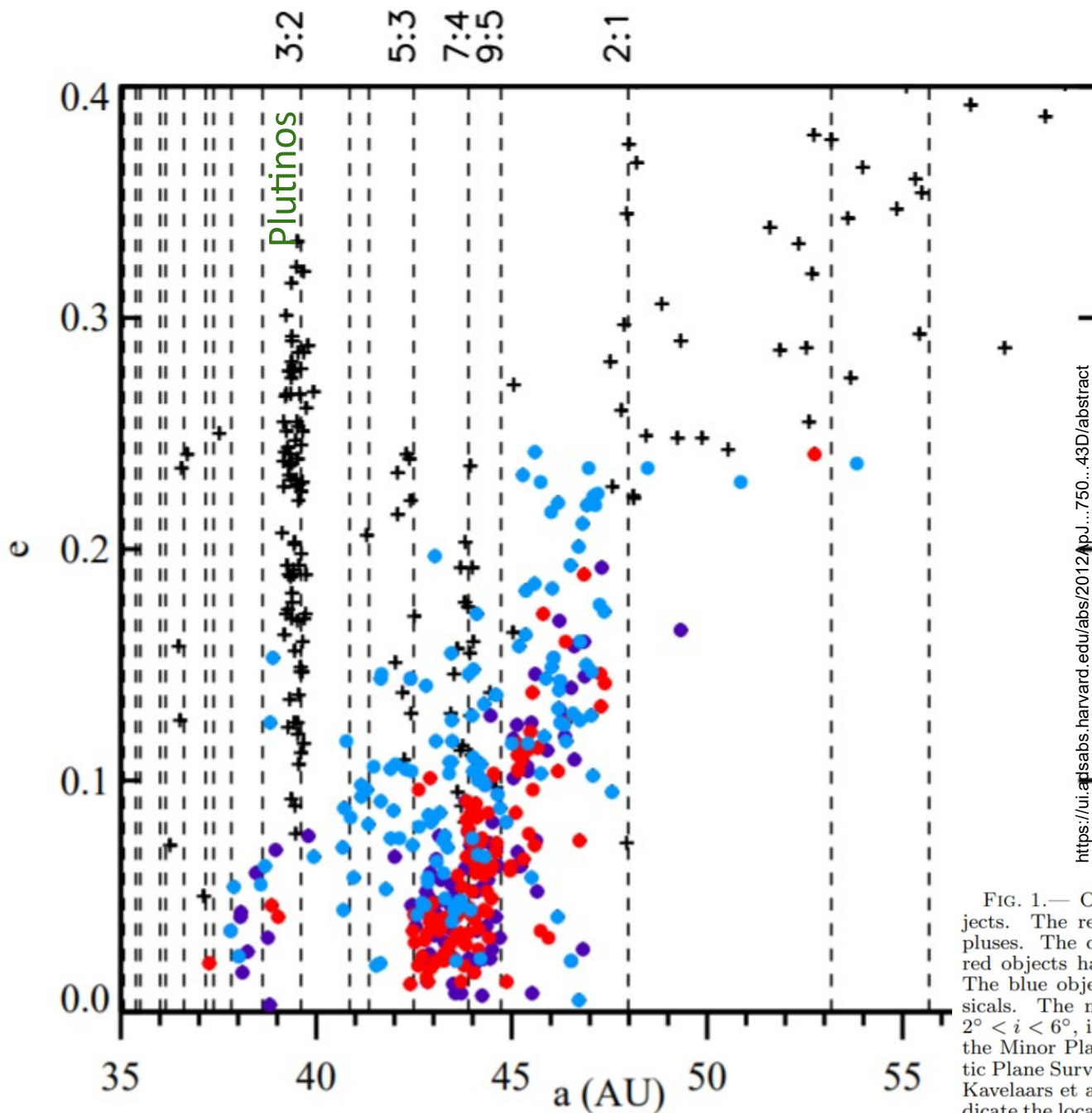


Metade com inclinação < 10° e a outra metade de 10 a 35°



*Figure 21.3.* A. The average distances of EKO from the Sun range primarily from about 30 to 50 AU with a gap at 40 to 42 AU. The two principal abundance peaks occur at heliocentric distance of 39.35 AU and 42.24 AU where EKO are in resonance with Neptune of 3:2 and 5:3, respectively. B. The eccentricities of the orbits of about 62 % of the EKO are less than 0.15 which means that they are nearly circular. However, the orbits of the remaining 38 % of EKO are more elliptical with eccentricities that range up to 0.845 in the case of 2003 FX 128. C. The inclination of the orbits of about 54 % of the EKO range only from 0 to 10° relative to the ecliptic. The orbits of the remaining 46 % of the EKO range widely from 10 to 35°. Data from Trujillo and Brown (2004) and Levison and Weissman (1999)





4 populações:  
 (1 e 2) relacionada a Netuno (cruzes): (1) corpos em ressonância, (2) corpos atualmente espalhados por Netuno.

(3 e 4) Objetos clássicos do Cinturão de Kuiper, atualmente sem relação com Netuno: (3)

população fria em

vermelho ( $i < 2^\circ$ ) e (4)

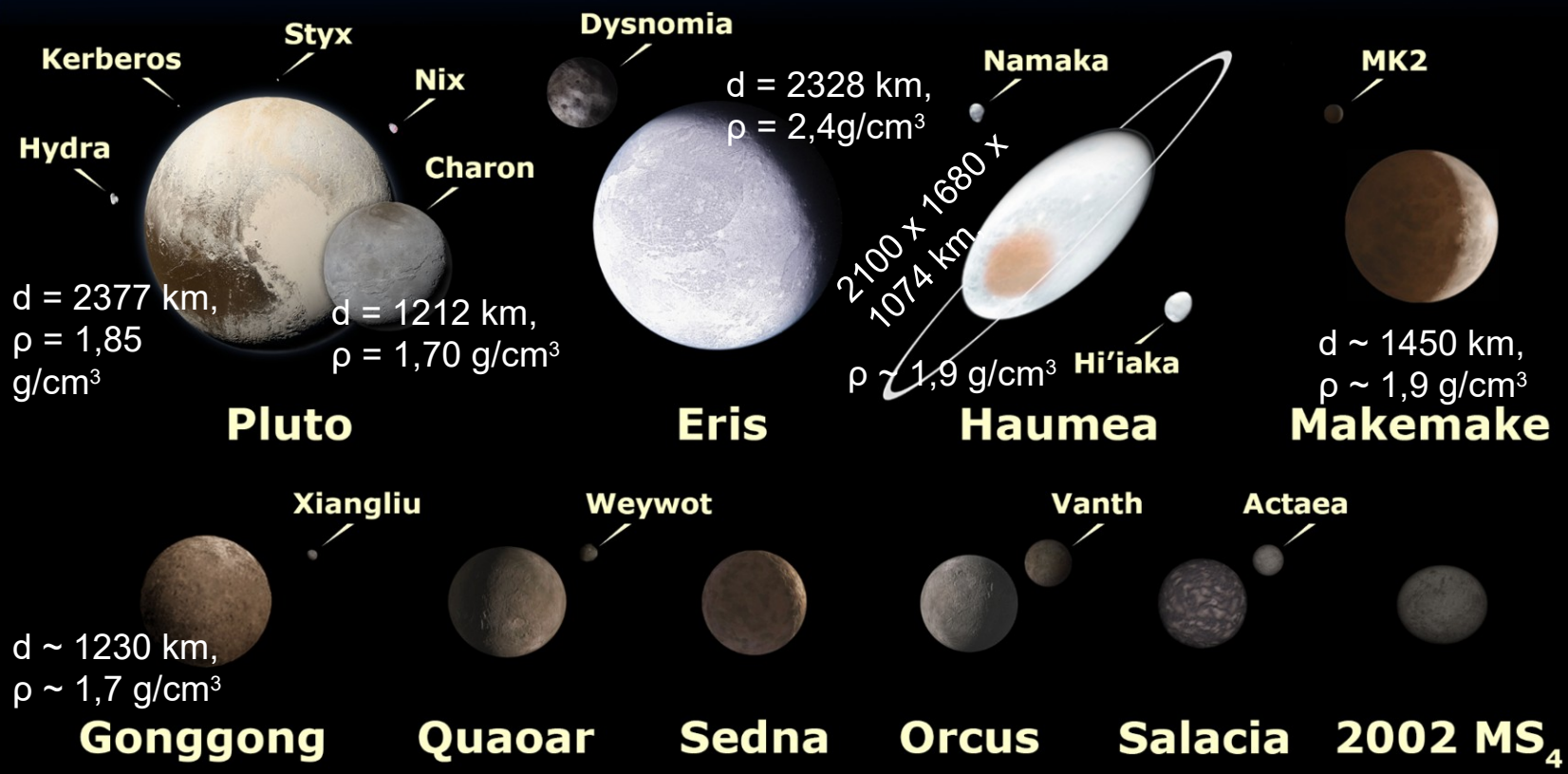
quente em azul ( $i > 6^\circ$ ).

A população quente talvez foi formada internamente a Netuno e dispersada pelo planeta para essa região

FIG. 1.— Orbital eccentricity distribution of Kuiper Belt Objects. The resonant and scattered objects are plotted as black pluses. The classical objects are plotted as colored circles. The red objects have  $i < 2^\circ$  and are thus very likely cold classical. The blue objects have  $i > 6^\circ$  and are thus very likely hot classical. The membership of any given purple object, which has  $2^\circ < i < 6^\circ$ , is ambiguous (see Figure 2). Objects are taken from the Minor Planet Center Database and the Canada-France Ecliptic Plane Survey (CFEPS) and classified by Gladman et al. (2008); Kavelaars et al. (2009); Volk & Malhotra (2011). Dashed lines indicate the location of mean motion resonances with Neptune, which are included up through fourth order.

Objetos transnetunianos têm baixas densidades ( $\sim 1,9 \text{ g/cm}^3$ ), compatíveis com serem corpos rochosos-gelados.

# Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



<https://en.wikipedia.org/wiki/File:EightTNOs.png>

2000 km

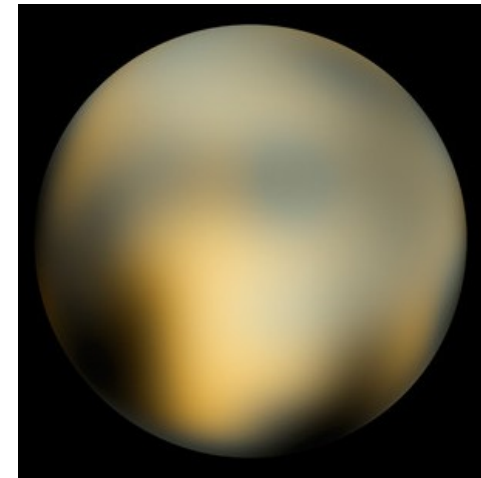




Plutão pela New Horizons, NASA.  
14/7/2015.

Tirada: 450 000 km  
Flyby: 12500 km

Plutão pelo Hubble, 1/2003.  
Tirada:  $4,6 \times 10^9$  km



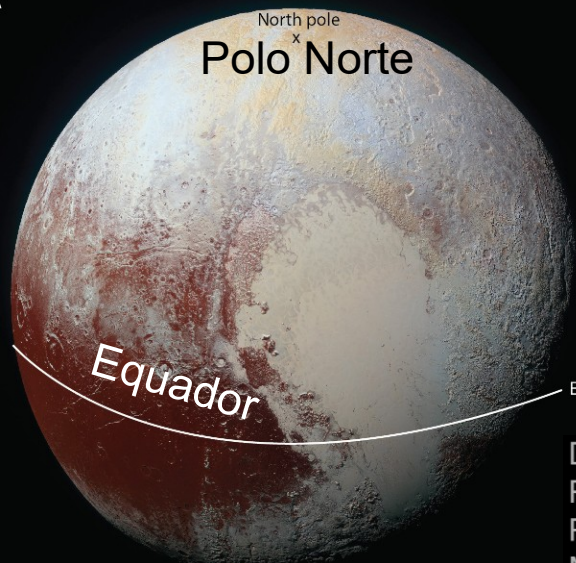
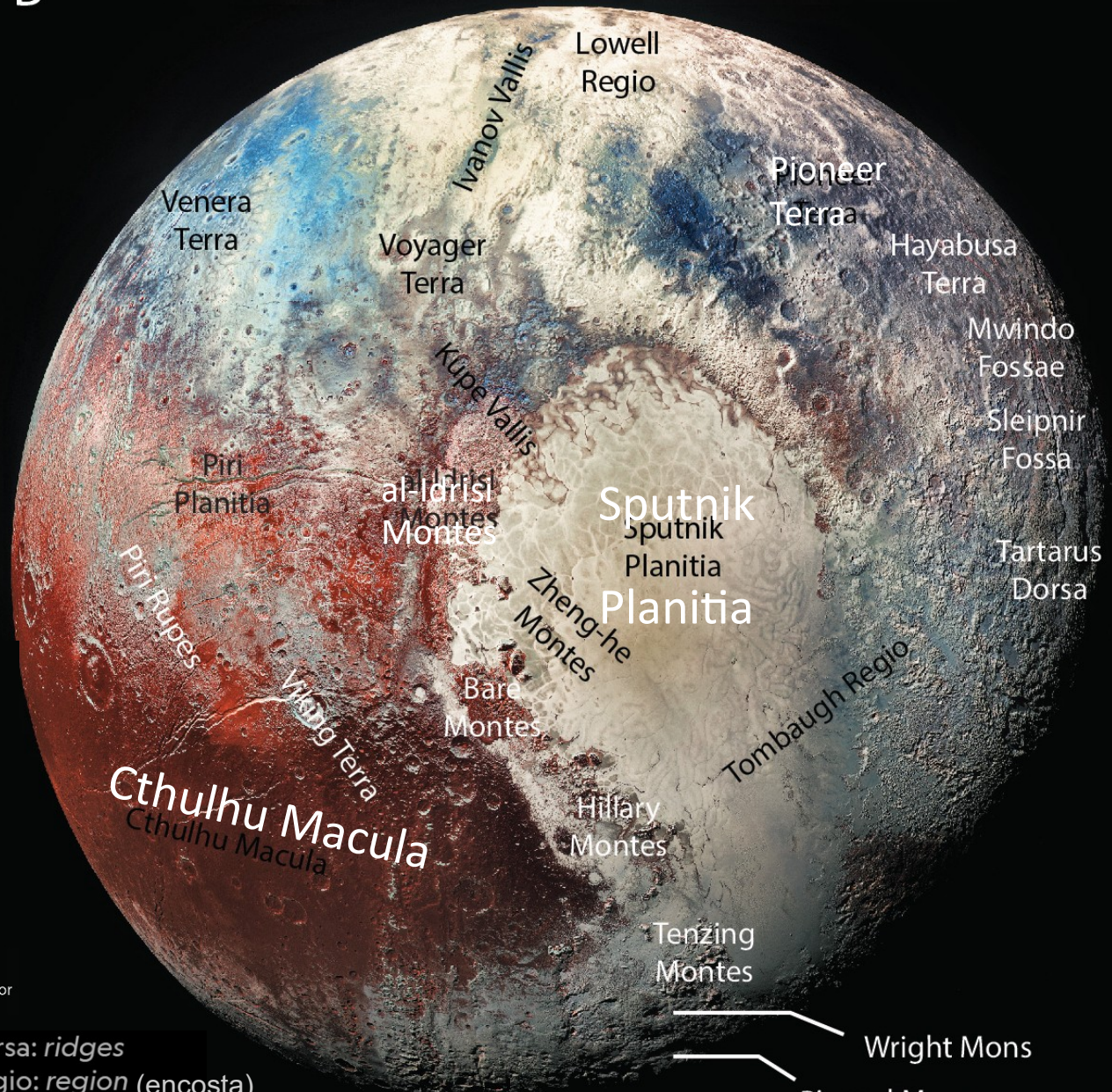
<https://hubblesite.org/contents/media/images/2010/06/2688-Image.html>



B

Imagem em cores falsas, para ressaltar detalhes da superfície de Plutão.

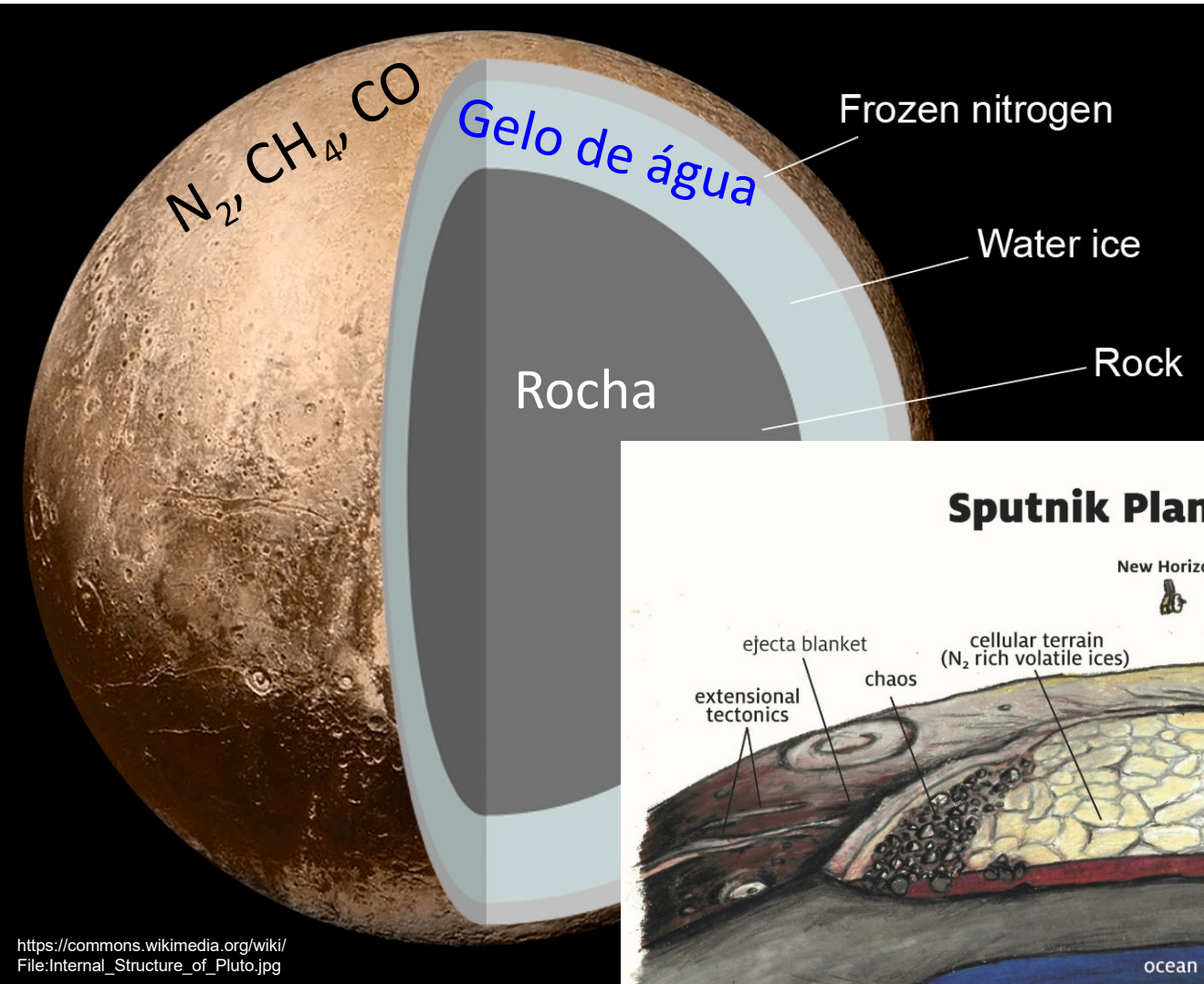
Imagem em cores reais



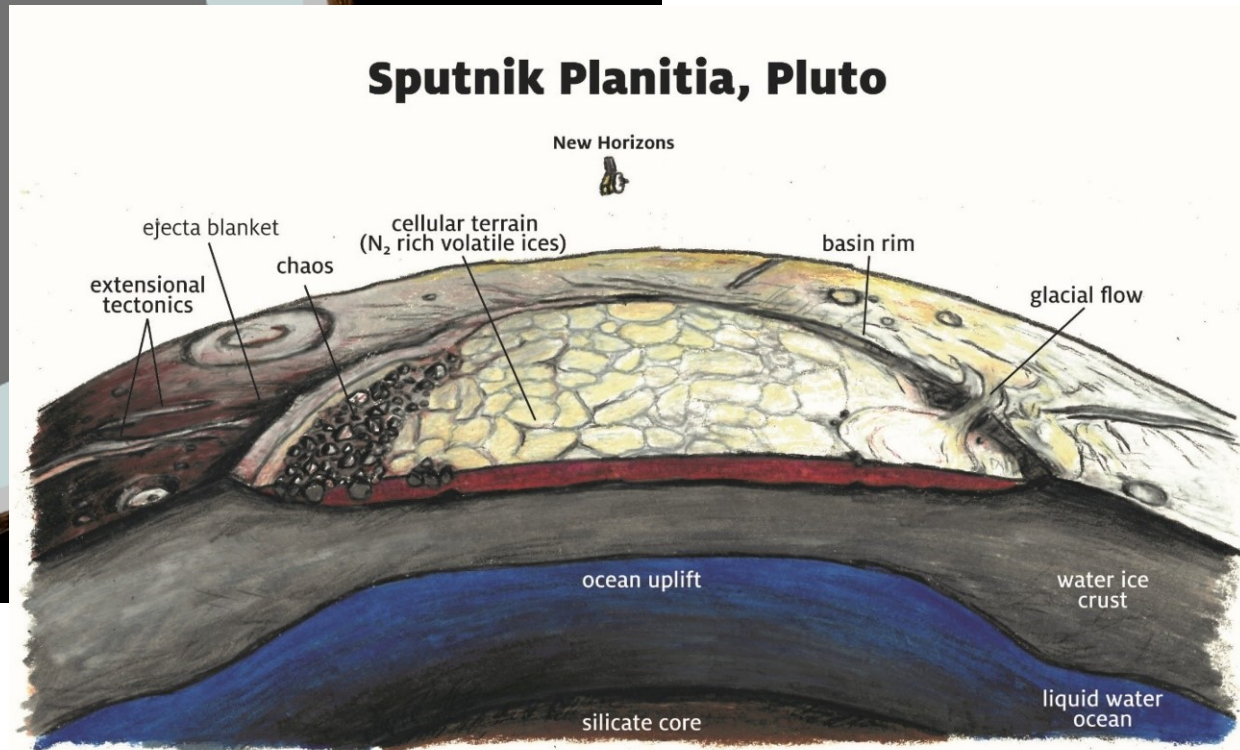
- Dorsa: ridges
- Regio: region (encosta)
- Planitia: low plain
- Montes: mountains
- Terra: large landmass
- Cavus: steep-sided depression
- Fossa, fossae: long, narrow depression(s)
- Macula: mancha
- Rupes: penhasco/escarpa



Interior de Plutão: rocha, gelo de água, e fina camada de material volátil (nitrogênio  $N_2$ , metano  $CH_4$ , ou monóxido de carbono  $CO$ ).



Tem se sugerido um oceano subterrâneo de água líquida, mas não existe confirmação.



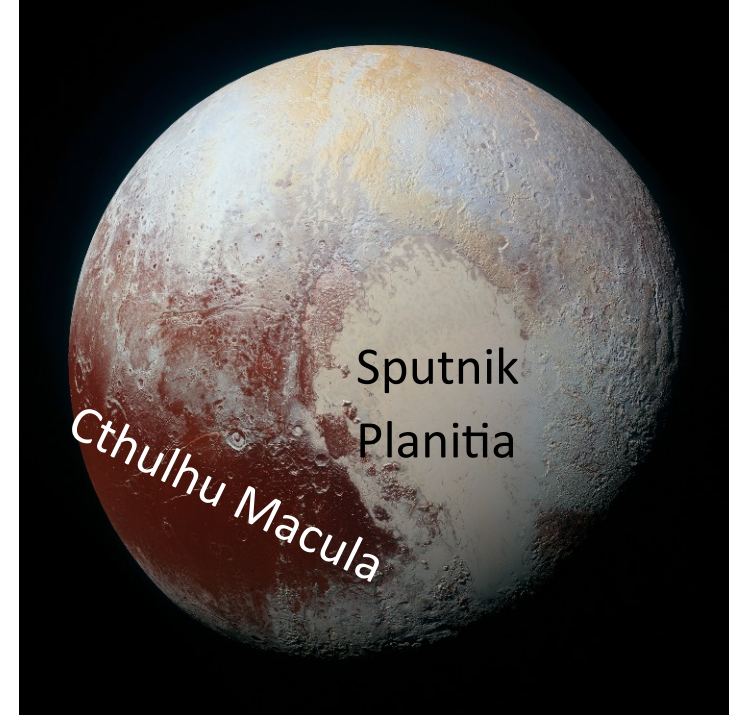
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internal\\_Structure\\_of\\_Pluto.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internal_Structure_of_Pluto.jpg)

<https://www.nasa.gov/feature/five-years-after-new-horizons-historic-flyby-here-are-10-cool-things-we-learned-about-plut-0>

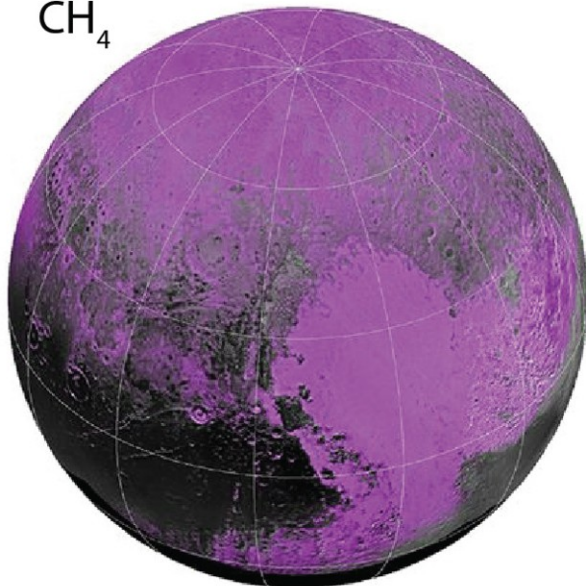
A crosta de Plutão é principalmente gelo de água, coberta por camada de metano e nitrogênio (e em pequena quantidade, monóxido de carbono).

Os 3 gelos estão mais concentrados em Sputnik Planitia e em menor quantidade em Cthulhu Macula.

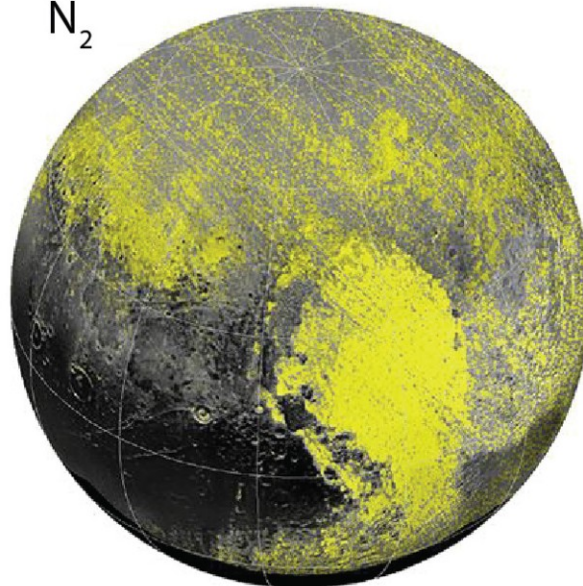
<http://explanet.info/Chapter13.htm>



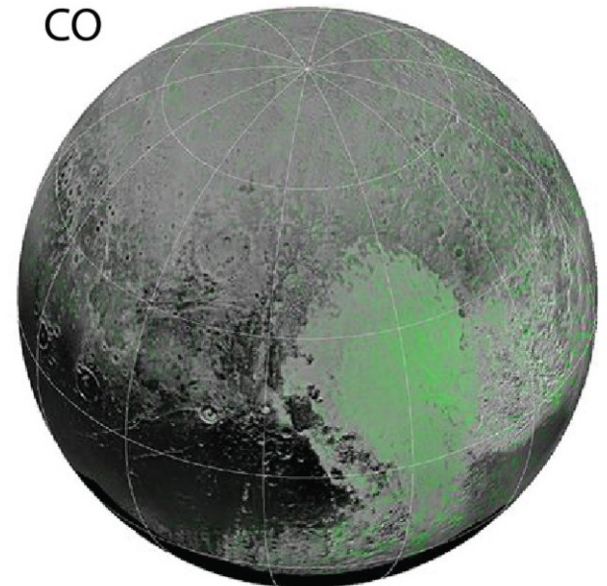
Methane



Nitrogen

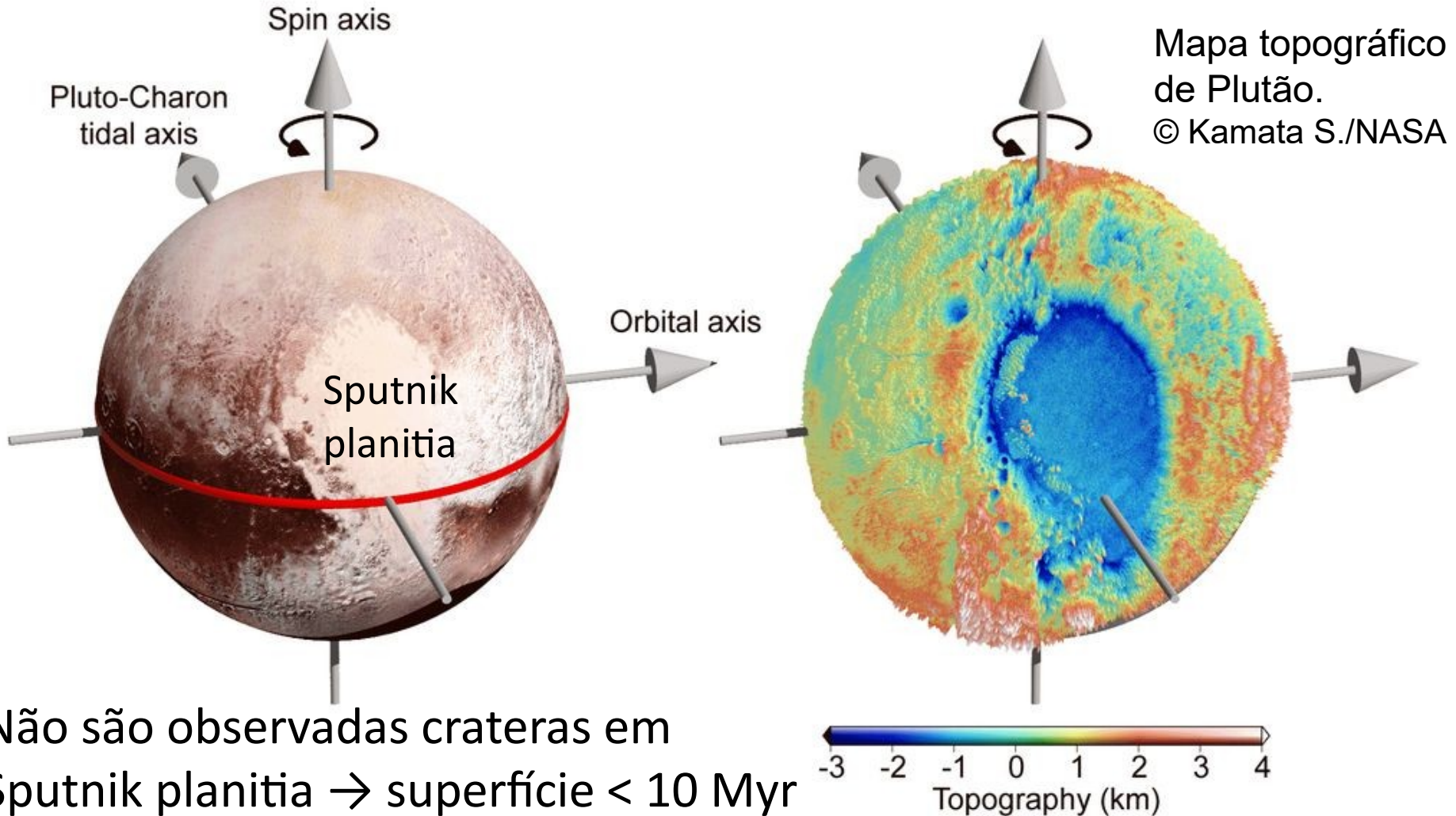


Carbon Monoxide





O lado esquerdo do 'coração' de Plutão, Sputnik planitia, é uma grande bacia (1050 x 800 km) de impacto. **O gelo da bacia é basicamente  $N_2$** , com pequenas frações de  $CO$  e  $CH_4$



Não são observadas crateras em Sputnik planitia → superfície < 10 Myr



A Planície Sputnik apresenta estruturas poligonais no gelo, possivelmente devidas a **células de convecção**. É evidência do calor interno de Plutão.

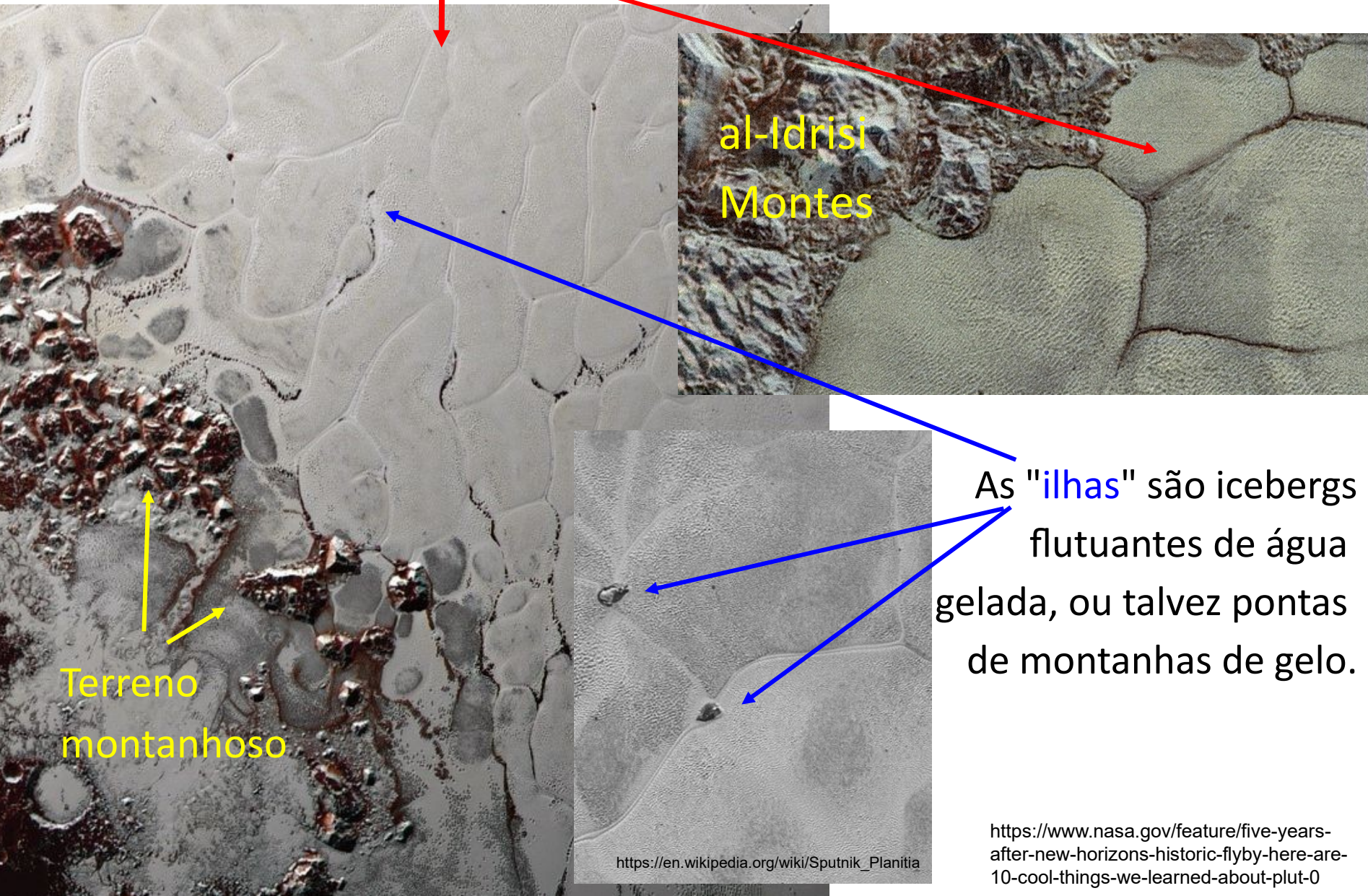




Ilustração do movimento das células de convecção em Sputnik Planitia. À esquerda as montanhas al-Idrisi.

al-Idrisi  
Montes

al-Idrisi  
Montes

Nitrogen  
Nitrogen Ice Sheet  
ice sheet

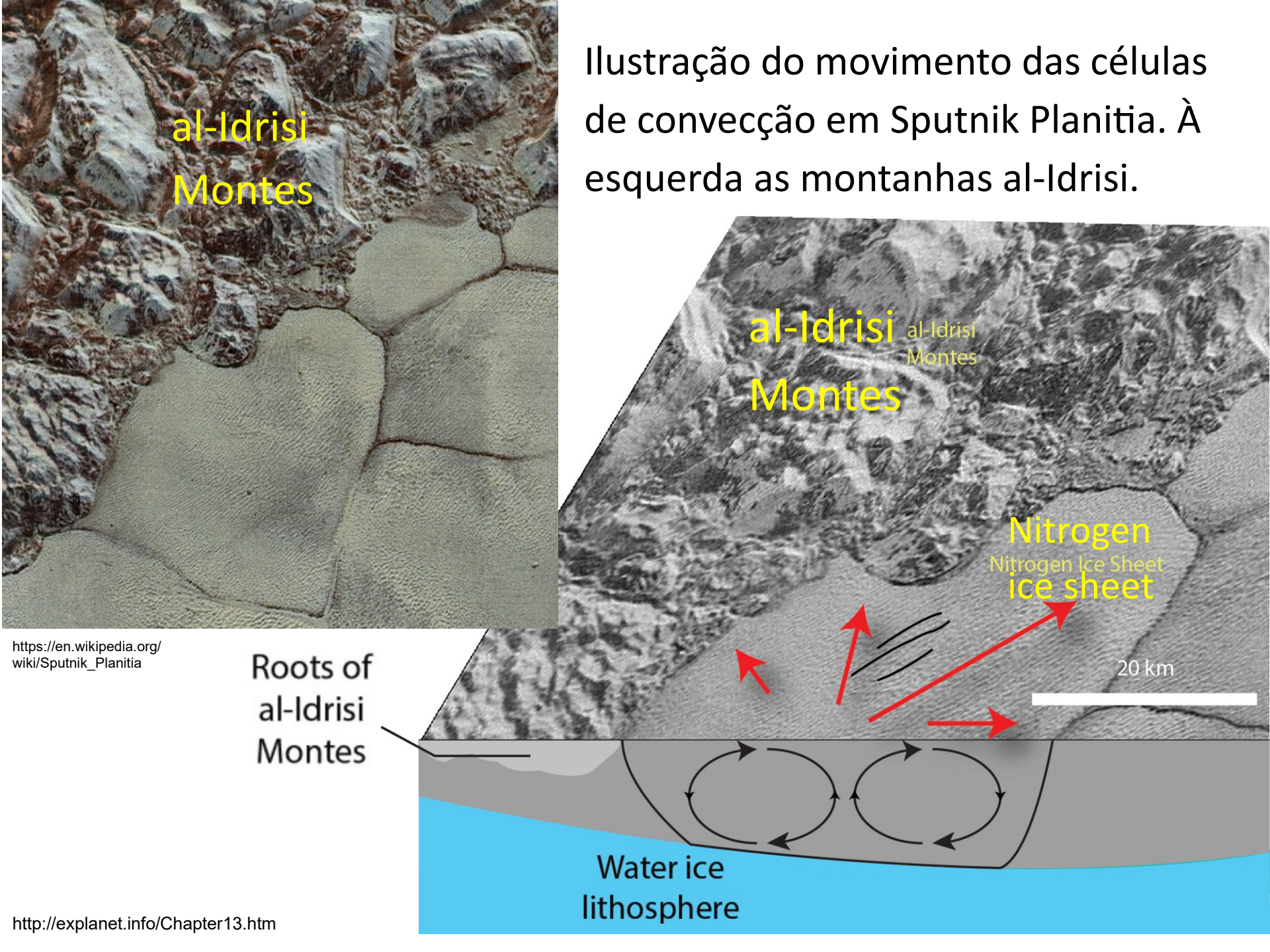
20 km

Roots of  
al-Idrisi  
Montes

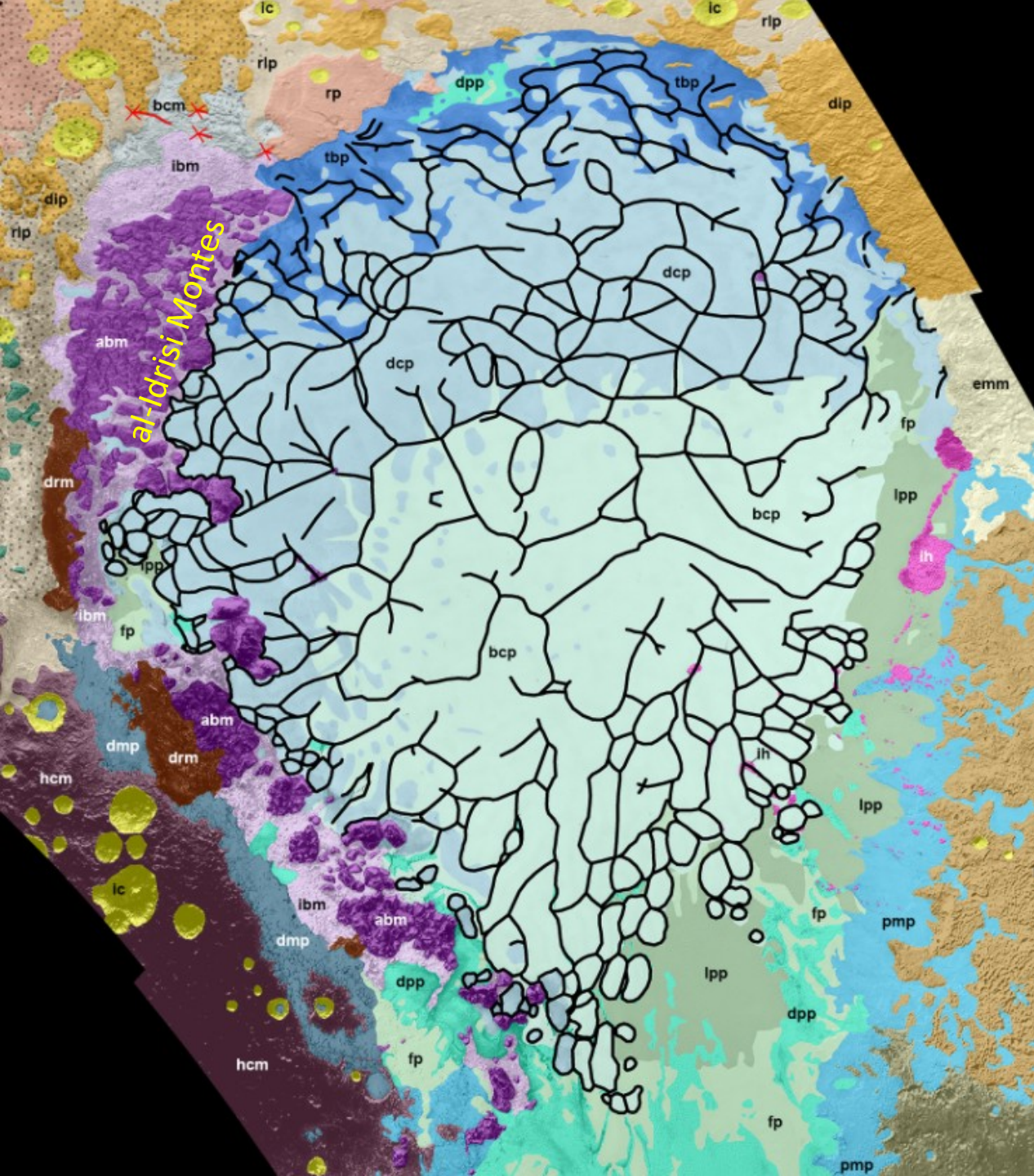
Water ice  
lithosphere

[https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik\\_Planitia](https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik_Planitia)

<http://explanet.info/Chapter13.htm>







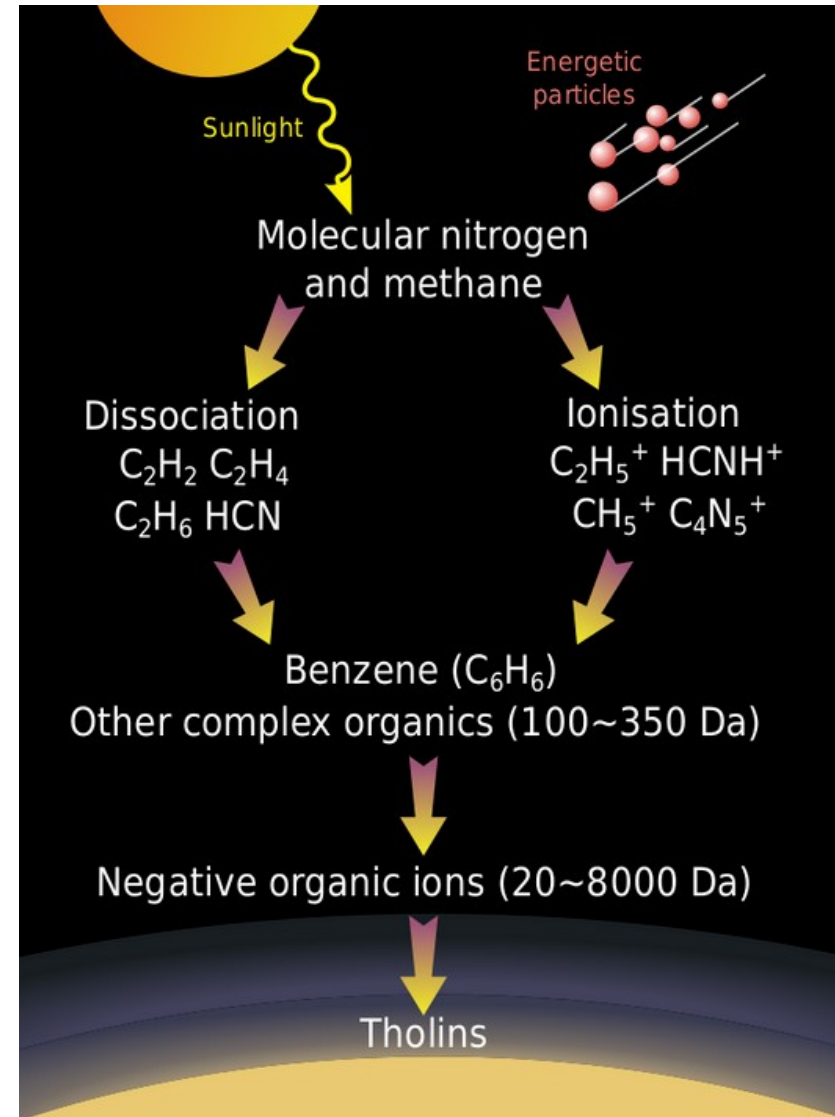
Mapa geológico de  
Sputnik Planitia

As margens das células  
de convecção de  
nitrogênio são  
delineadas em **preto**

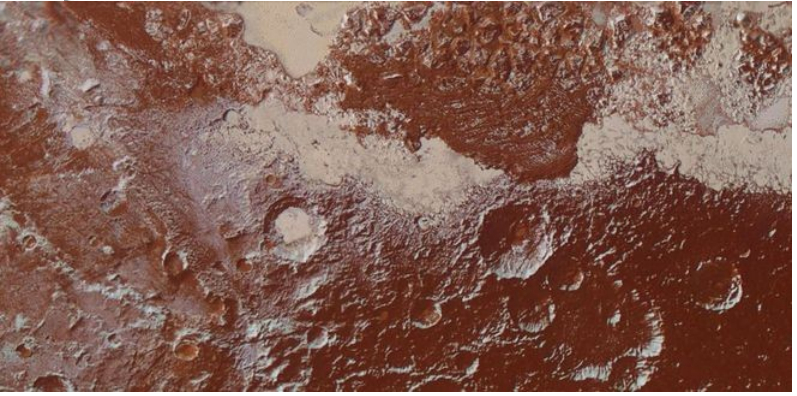
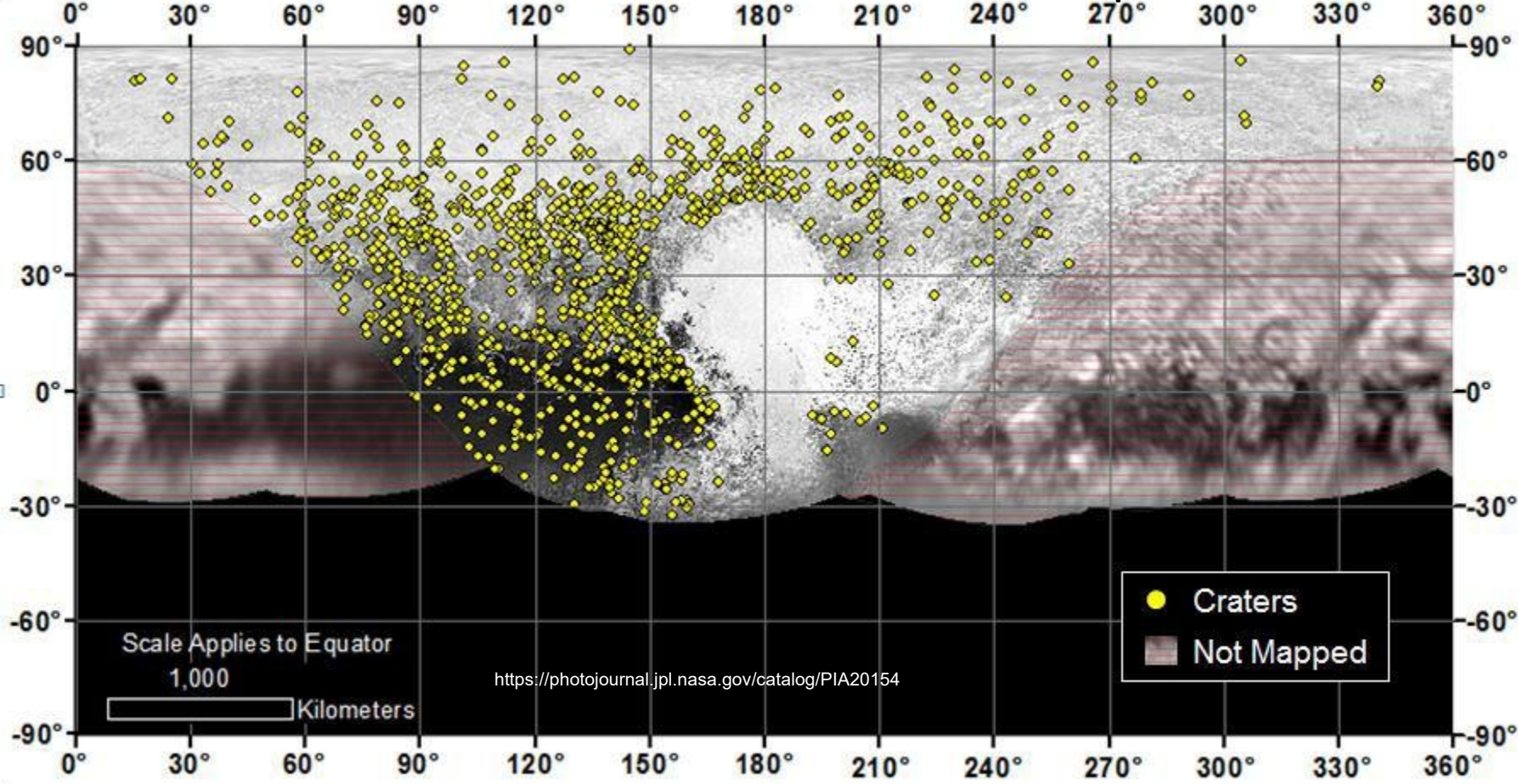
A **cor roxa** representa  
as **cadeias de  
montanhas** caóticas na  
fronteira oeste de  
Sputnik



Cor marrom - vermelho escuro na região de Cthulhu Macula é talvez um depósito fino da deposição de tolinas, moléculas formadas pela ação da luz UV solar em compostos orgânicos. Tolinas precipitam globalmente em Plutão, mas são diluídas pela deposição de nitrogênio, metano e / ou monóxido de carbono em gelo.



# Mais de 1000 crateras têm sido identificadas na superfície de Plutão

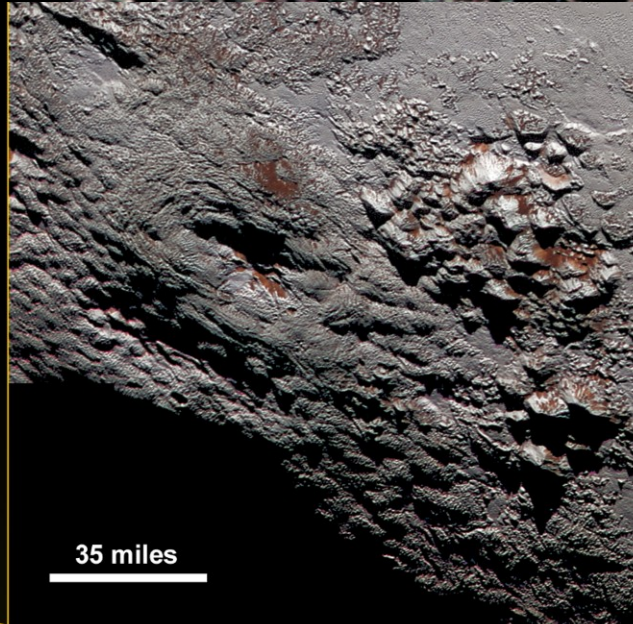
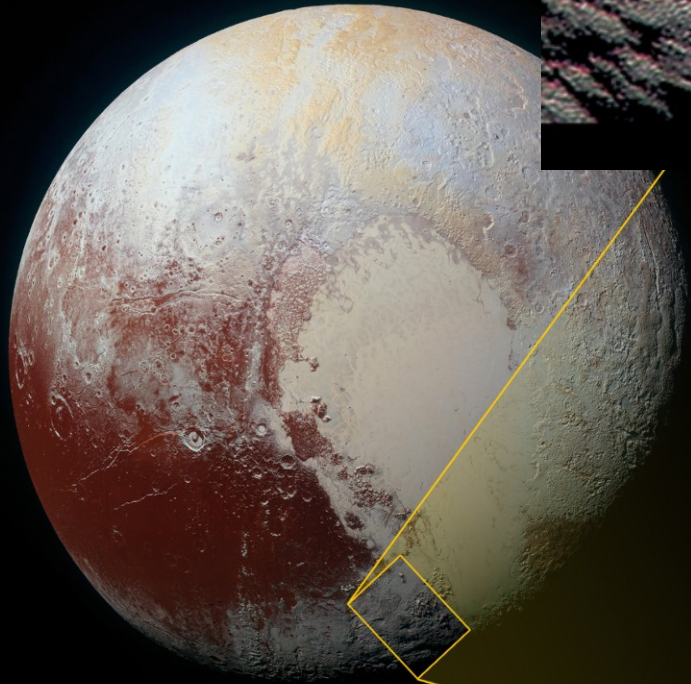
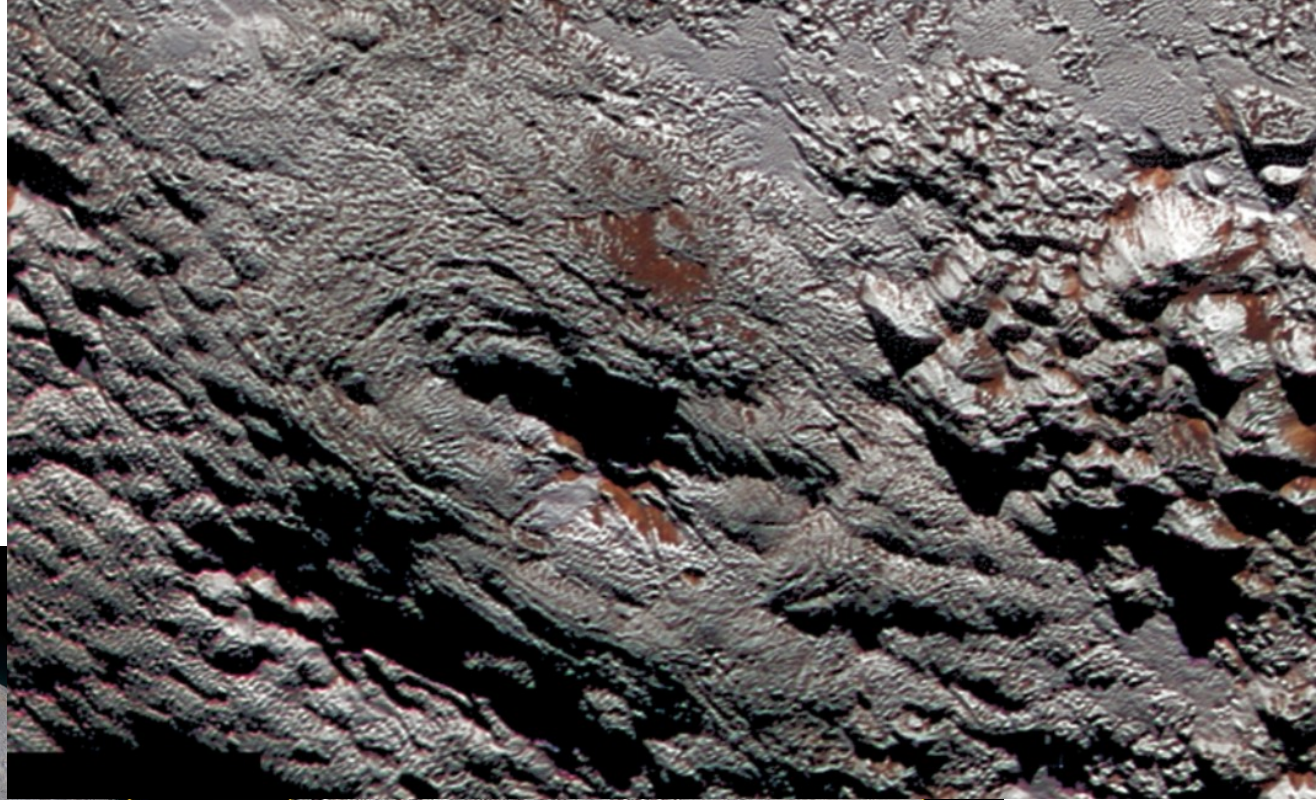


NASA/JPL



# Possível Criovulcão em Plutão

<https://www.nasa.gov/feature/possible-ice-volcano-on-pluto-has-the-wright-stuff>

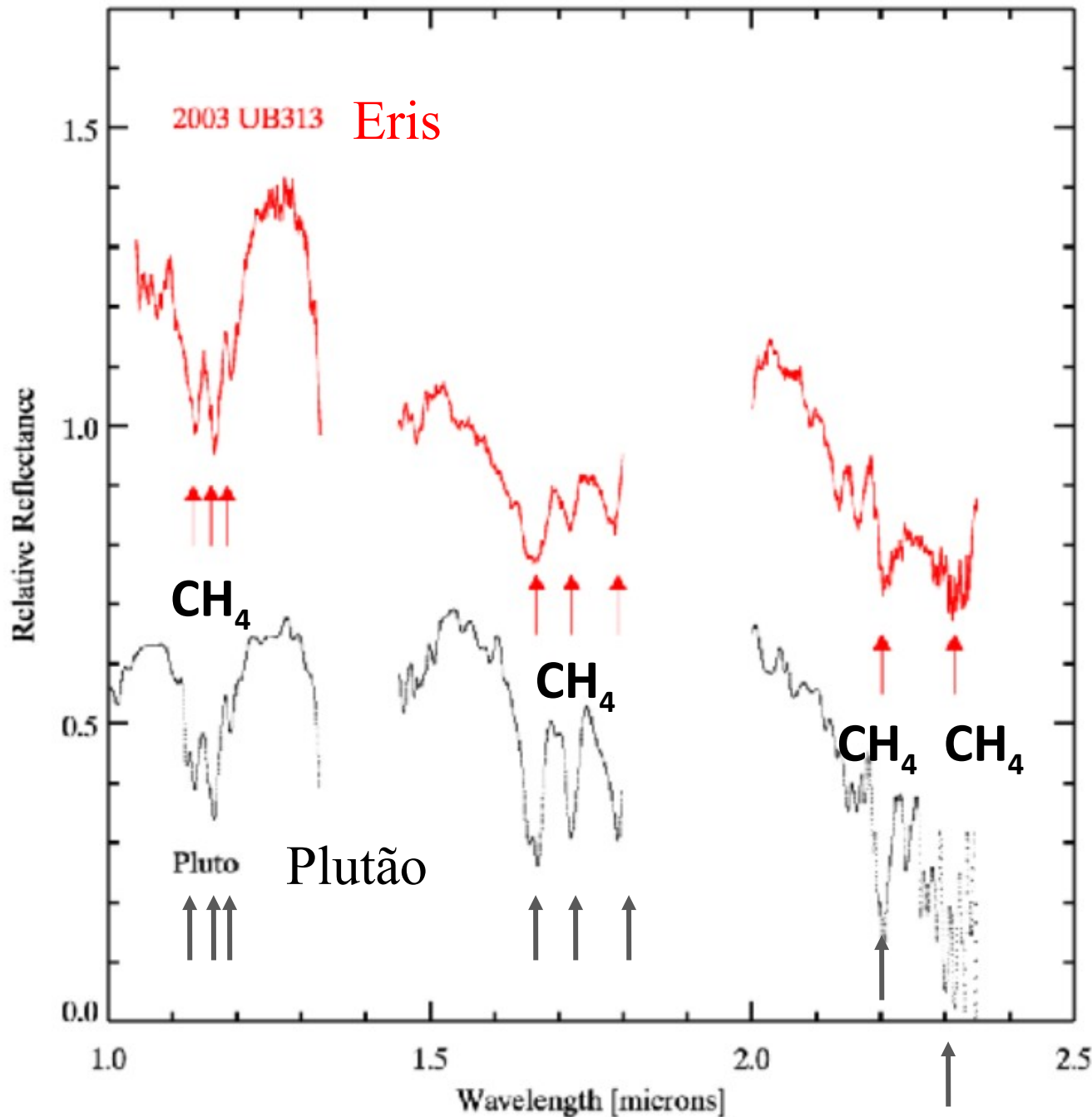






Caronte, lua  
de Plutão,  
também  
apresenta  
uma rica  
superfície

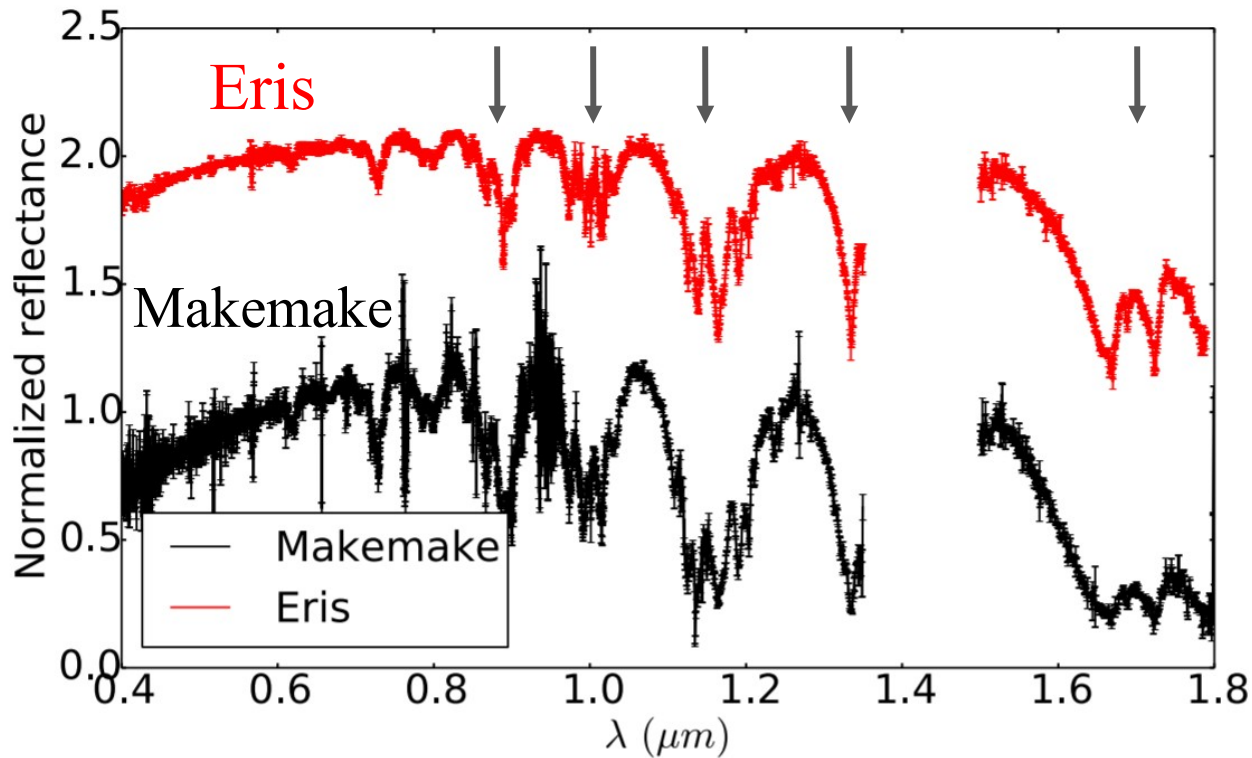
<https://www.nasa.gov/feature/five-years-after-new-horizons-historic-flyby-here-are-10-cool-things-we-learned-about-plut-0>



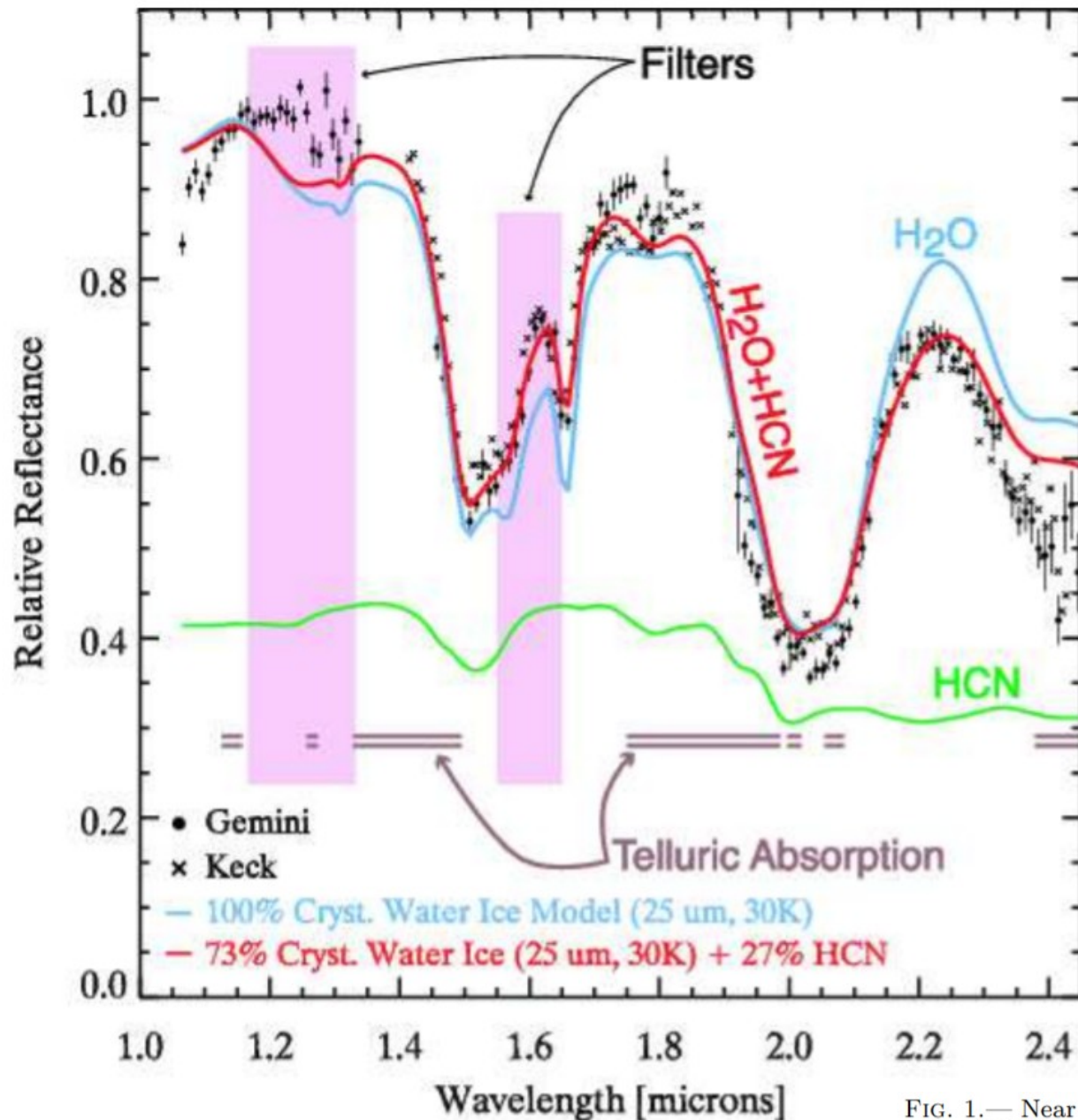
Outros objetos TransNetunianos podem ser algumas similaridades com Plutão.

Espectro no infravermelho mostra assinaturas de metano (CH<sub>4</sub>) congelado (setas) em Plutão e Eris





Espectro de Makemake também é similar ao de **Eris**, dominado pelo metano ( $\text{CH}_4$ )



O espectro de Haumea (2003 EL61) é dominado por água (H<sub>2</sub>O)

HIGH PRECISION PHOTOMETRY OF EXTREME KBO 2003 EL<sub>61</sub>

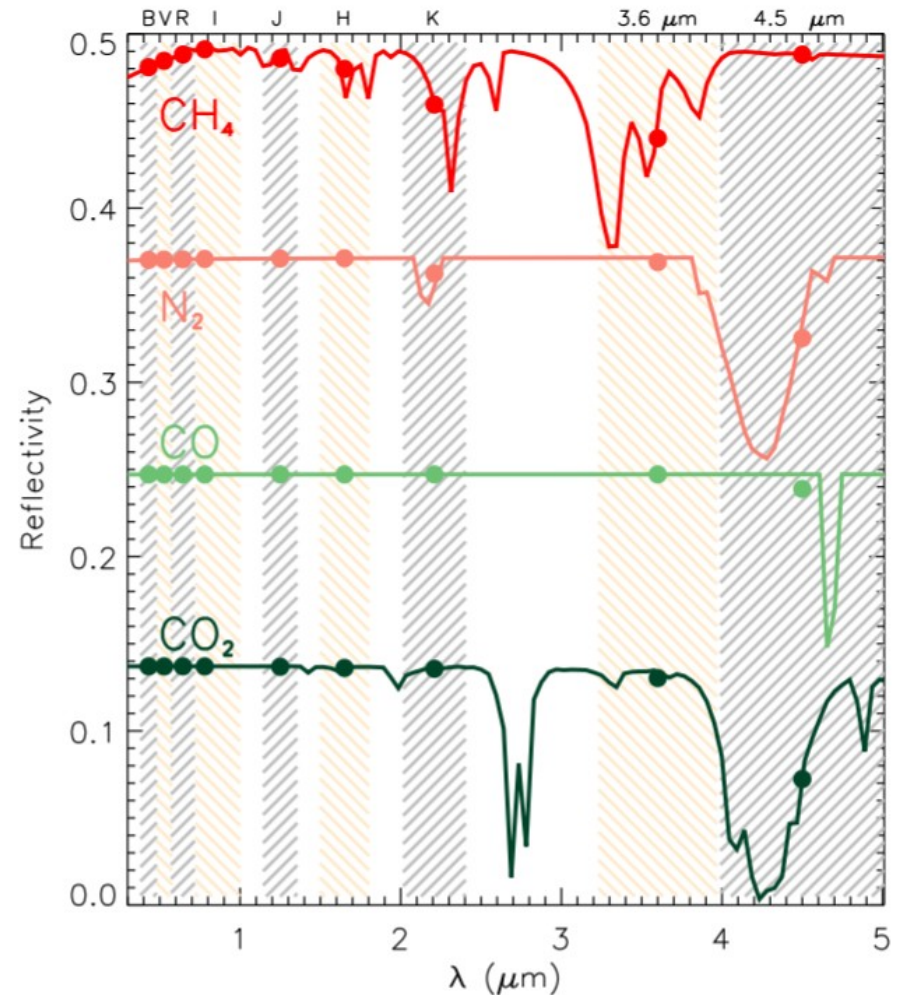
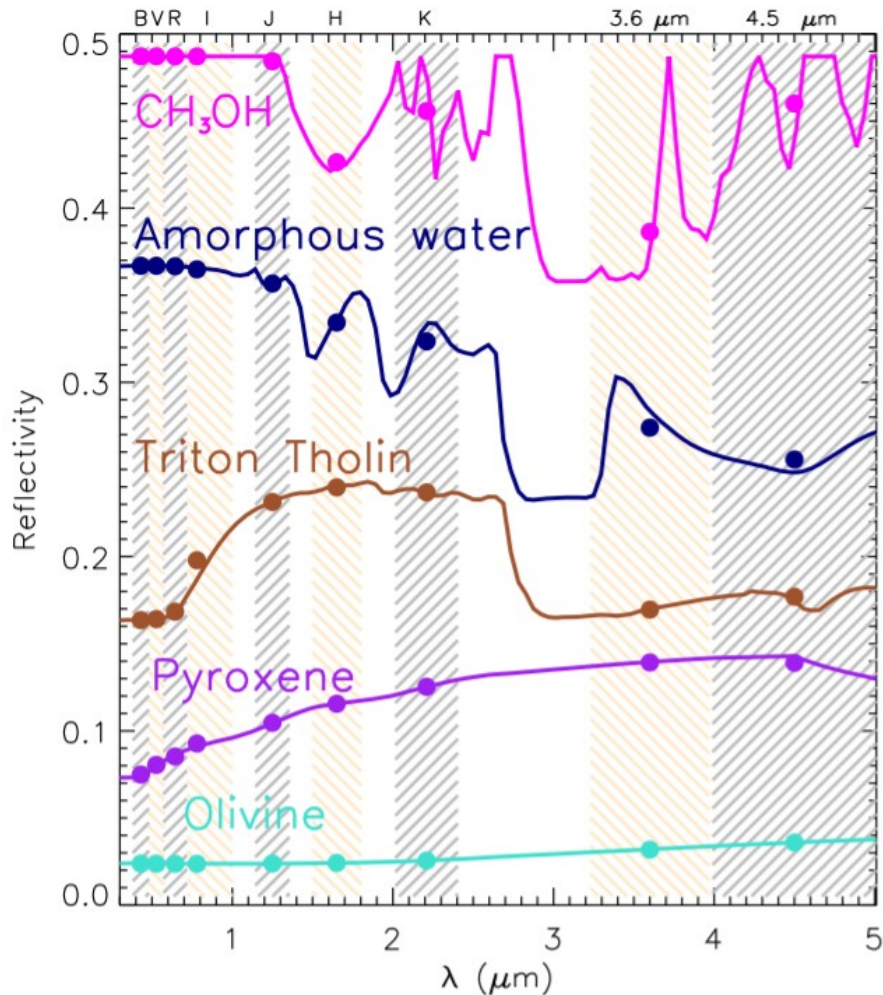
PEDRO LACERDA<sup>1</sup>, DAVID JEWITT<sup>1</sup>, AND NUNO PEIXINHO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Astronomy, University of Hawaii, 2680 Woodlawn Drive, Honolulu, HI 96822 and

<sup>2</sup> Grupo de Astrofísica, Universidade de Coimbra, Portugal

FIG. 1.— Near IR Spectrum of 2003 EL61, adapted from Trujillo et al. (2007). A pure crystalline water-ice model fit and a mix of water ice and HCN ice are overplotted. The locations and approximate widths of the 1.25  $\mu$ m and 1.6  $\mu$ m filters used to monitor the 1.5  $\mu$ m water-ice band depth, as well as the wavelength regions where the Earth's atmosphere is opaque, are also shown.

# Espectros simulados de diferentes substâncias



THE PLANETARY SCIENCE JOURNAL, 2:10 (34pp), 2021 February

© 2021. The Author(s). Published by the American Astronomical Society.

**OPEN ACCESS**

<https://doi.org/10.3847/PSJ/abc34e>



CrossMark

## Compositional Study of Trans-Neptunian Objects at $\lambda > 2.2 \mu\text{m}$






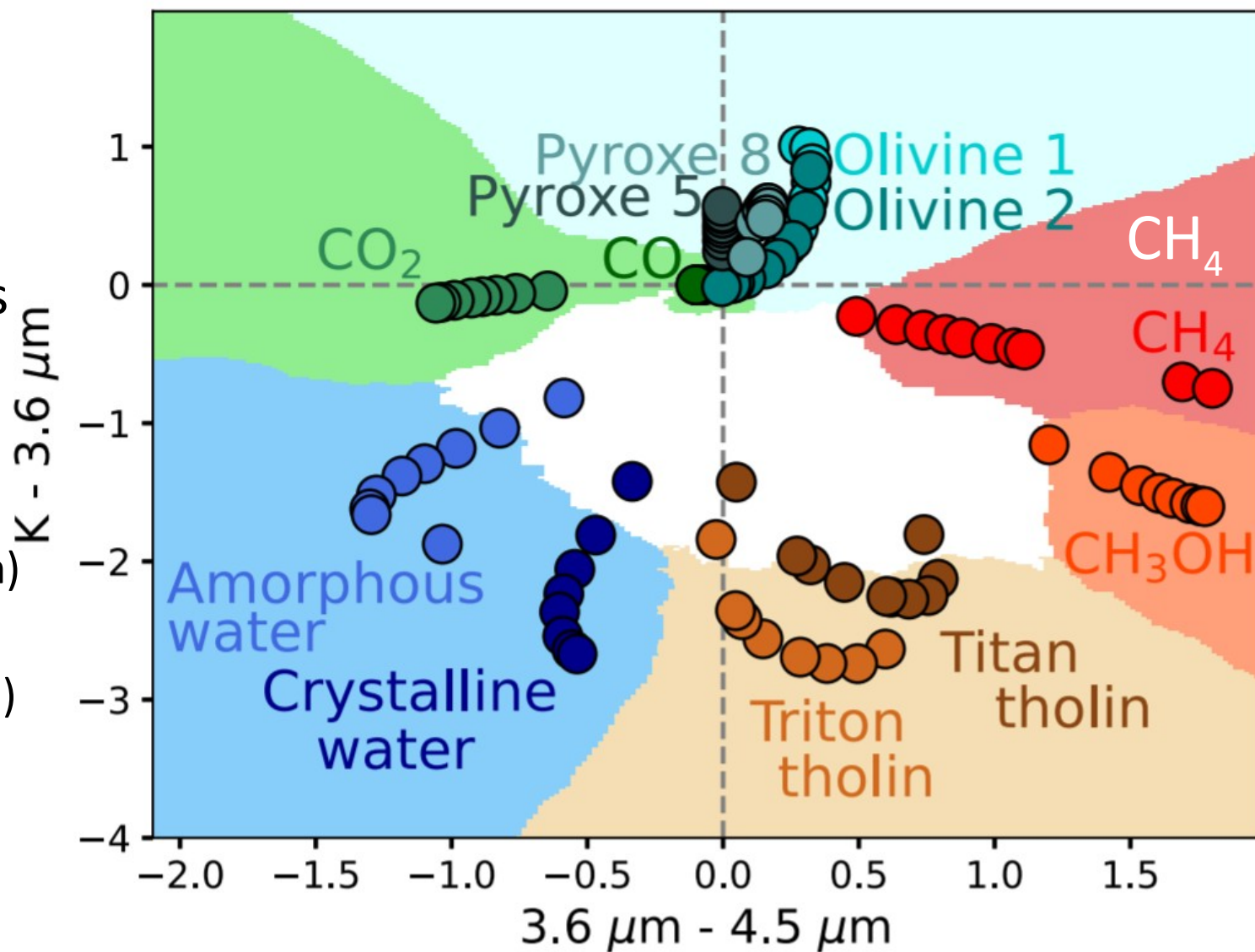
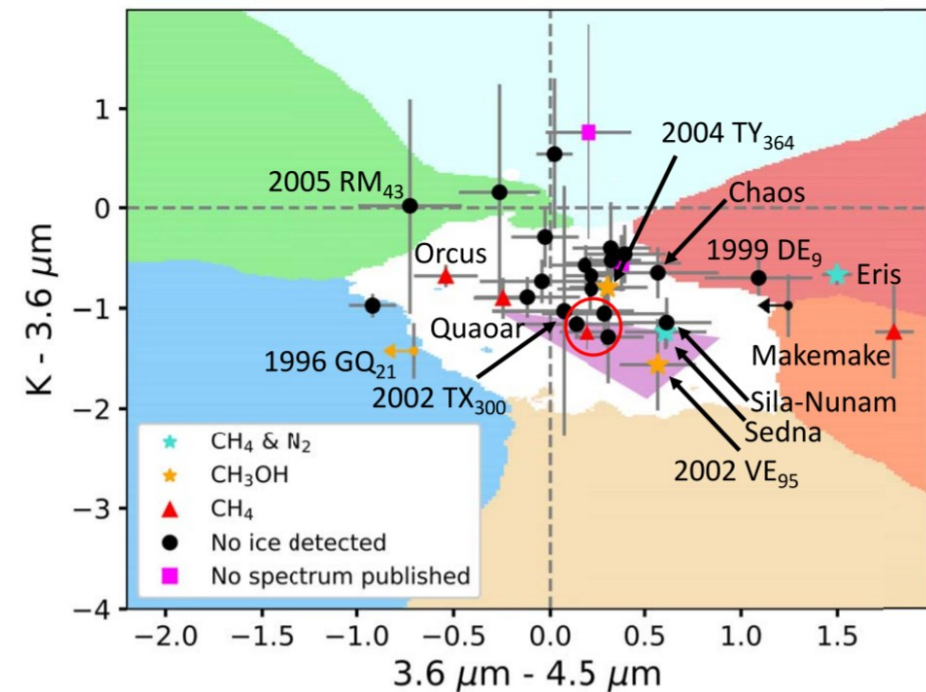
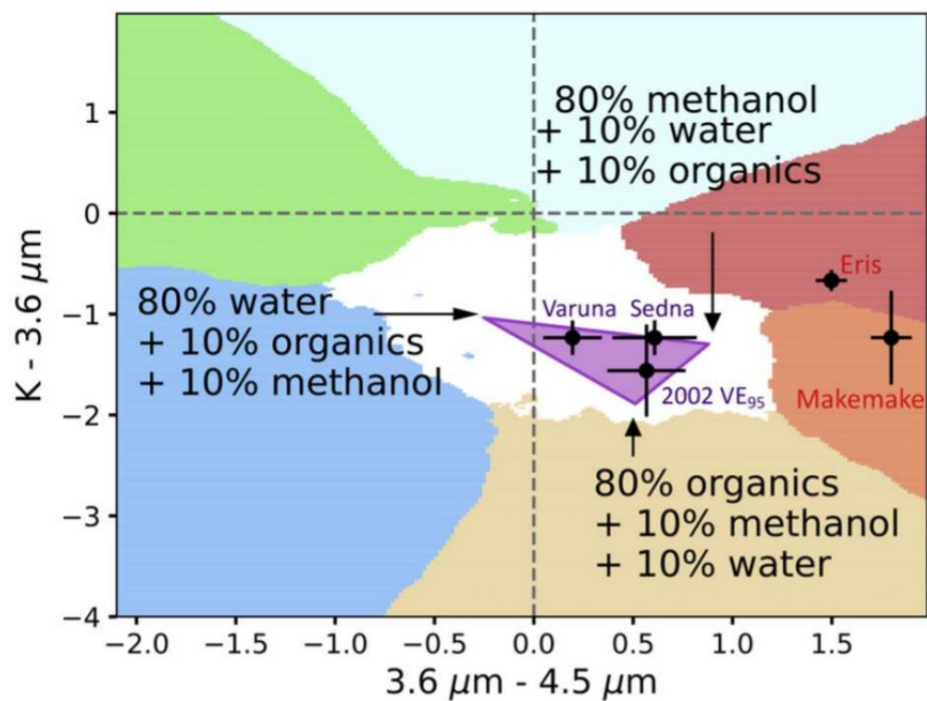
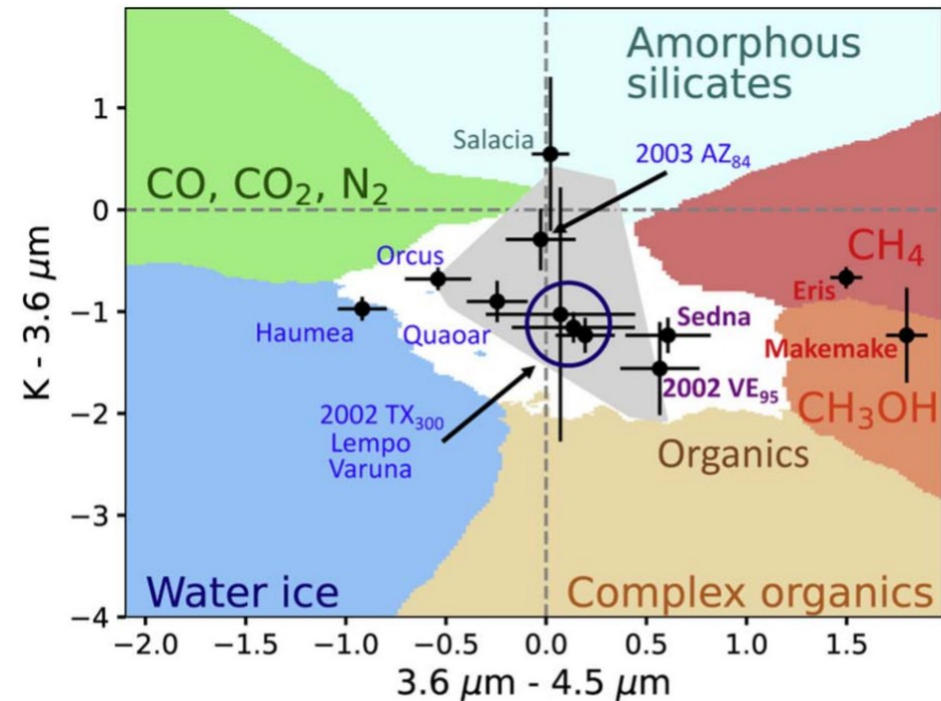
E. Fernández-Valenzuela<sup>1</sup> , N. Pinilla-Alonso<sup>1</sup> , J. Stansberry<sup>2</sup> , J. P. Emery<sup>3</sup> , W. Perkins<sup>4</sup>, C. Van Laerhoven<sup>5</sup> ,



Diagrama teórico da localização de diferentes substâncias no diagrama de cores ( $K - 3,6\mu\text{m}$ ) versus ( $3,6\mu\text{m} - 4,5\mu\text{m}$ )



**Figure 5.** An illustration of the “compositional clock,” a color–color diagram for  $K - 3.6\mu\text{m}$  vs.  $3.6\mu\text{m} - 4.5\mu\text{m}$  synthetic colors for pure materials (each plotted with a different color and symbol, and labeled). Colors were synthesized from spectral models using grain sizes from 10 to 100  $\mu\text{m}$  in 10  $\mu\text{m}$  increments ( $\text{CH}_4$  also included 400 and 500  $\mu\text{m}$ ). The larger the grain, the deeper the absorption band produced, and therefore grains of 10  $\mu\text{m}$  are nearest to the origin of the plot.



**Figure 7.** Color-color diagram, similar to Figure 5, including the shaded regions for pure materials, and with measured colors of 12 TNOs with relatively well-characterized compositions from VNIR spectroscopic observations. Left: Target names are given in colors indicating whether the spectrum has previously been characterized as having H<sub>2</sub>O (blue), CH<sub>4</sub> (red), or CH<sub>3</sub>OH (purple). Silicates (turquoise) have not been detected in Salacia. However, its flat spectrum and low albedo are consistent with our results, shown in this diagram, indicating a surface composition dominated by silicates. Gray polygon is bounding the regions shown in Figure 6 for binary and ternary models of H<sub>2</sub>O, Olivine 1, and Triton tholin (i.e., H<sub>2</sub>O, silicates, and organics). Right: colors for Varuna, Sedna, and 2002 VE<sub>95</sub> are compared to ternary mixing models of amorphous H<sub>2</sub>O, Triton tholin, and CH<sub>3</sub>OH with grain sizes of 10 μm.

Objetos transnetunianos têm superfícies dominadas por diferentes gelos, como água, metano e outras substâncias.

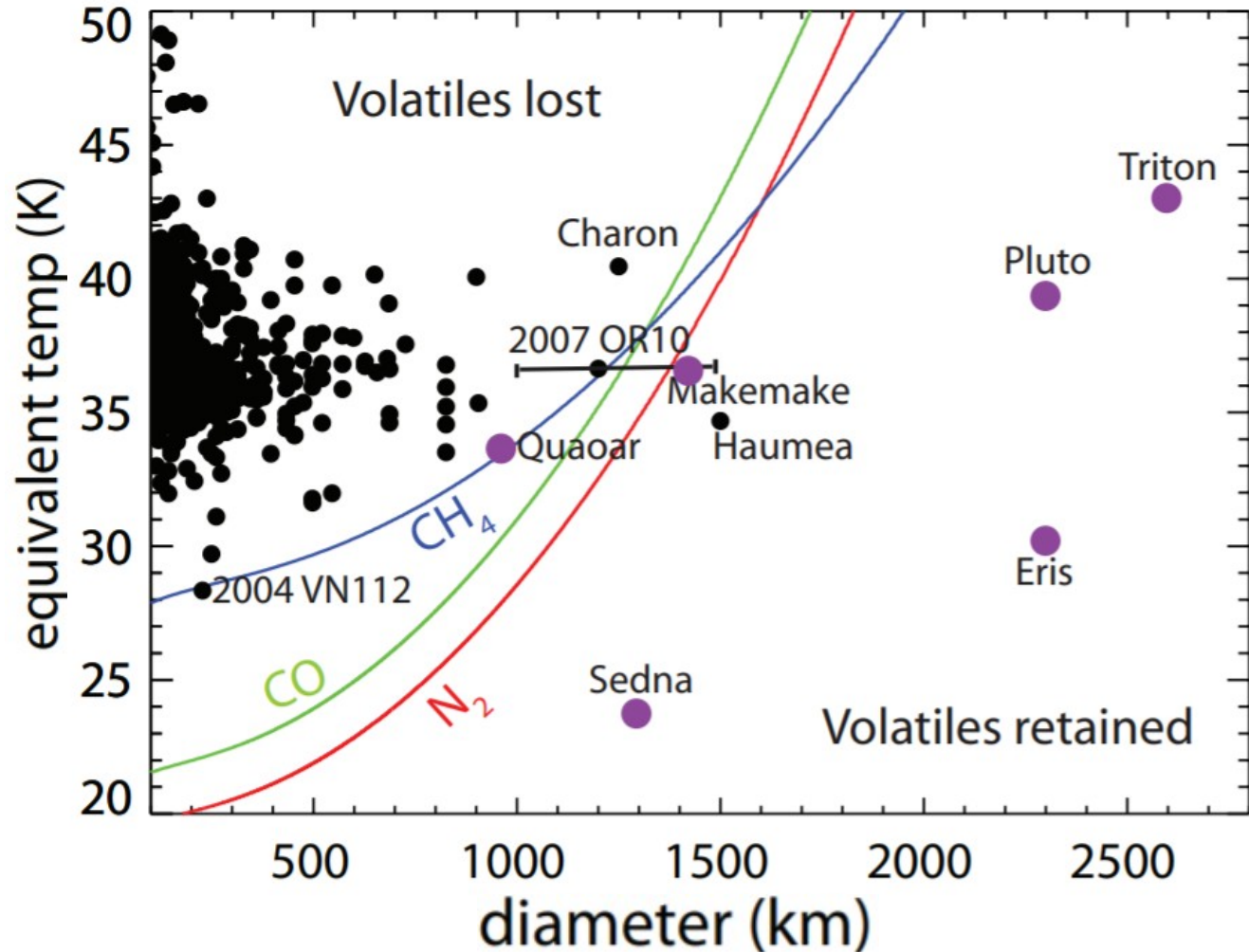
# The Compositions of Kuiper Belt Objects

Michael E. Brown

Annual Review of Earth and Planetary Sciences

Vol. 40:467-494 (Volume publication date May 2012)

Os menores objetos TransNetunianos podem ter perdido parte do seu material volátil.





Os menores TransNetunianos podem ter perdido voláteis. Objetos formados < 20 UA teriam apenas H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> em suas superfícies, e aqueles >20 UA reteriam metanol (CH<sub>3</sub>OH).

A irradiação das superfícies livres de metanol pode levar a objetos escuros, enquanto a irradiação de superfícies contendo metanol pode levar a objetos vermelhos mais brilhantes. Fora de ~30 UA, objetos também podem reter NH<sub>3</sub>, o que talvez pode explicar algumas características de superfície dos objetos de Kuiper clássicos ‘frios’ (dinamicamente).

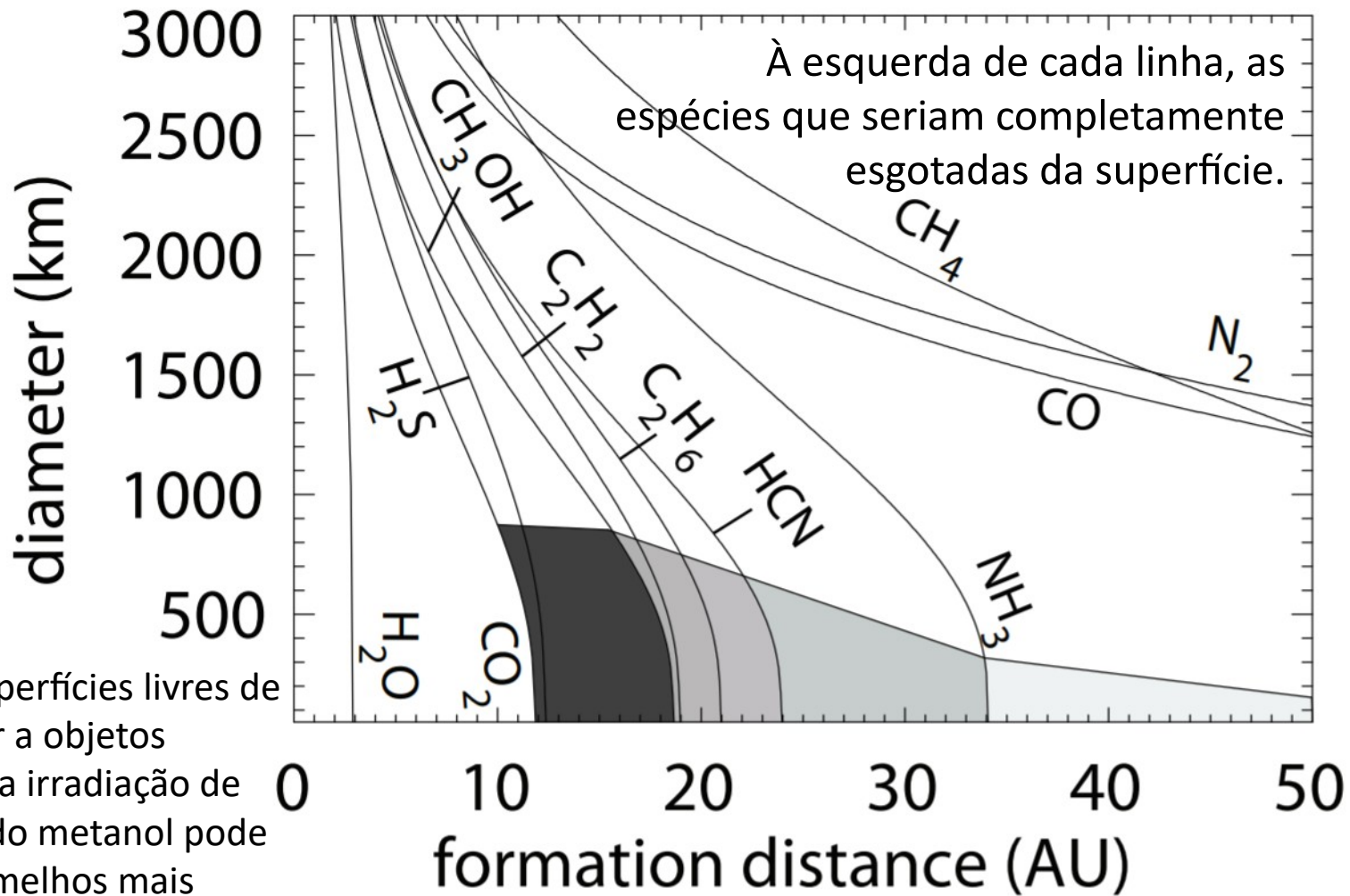


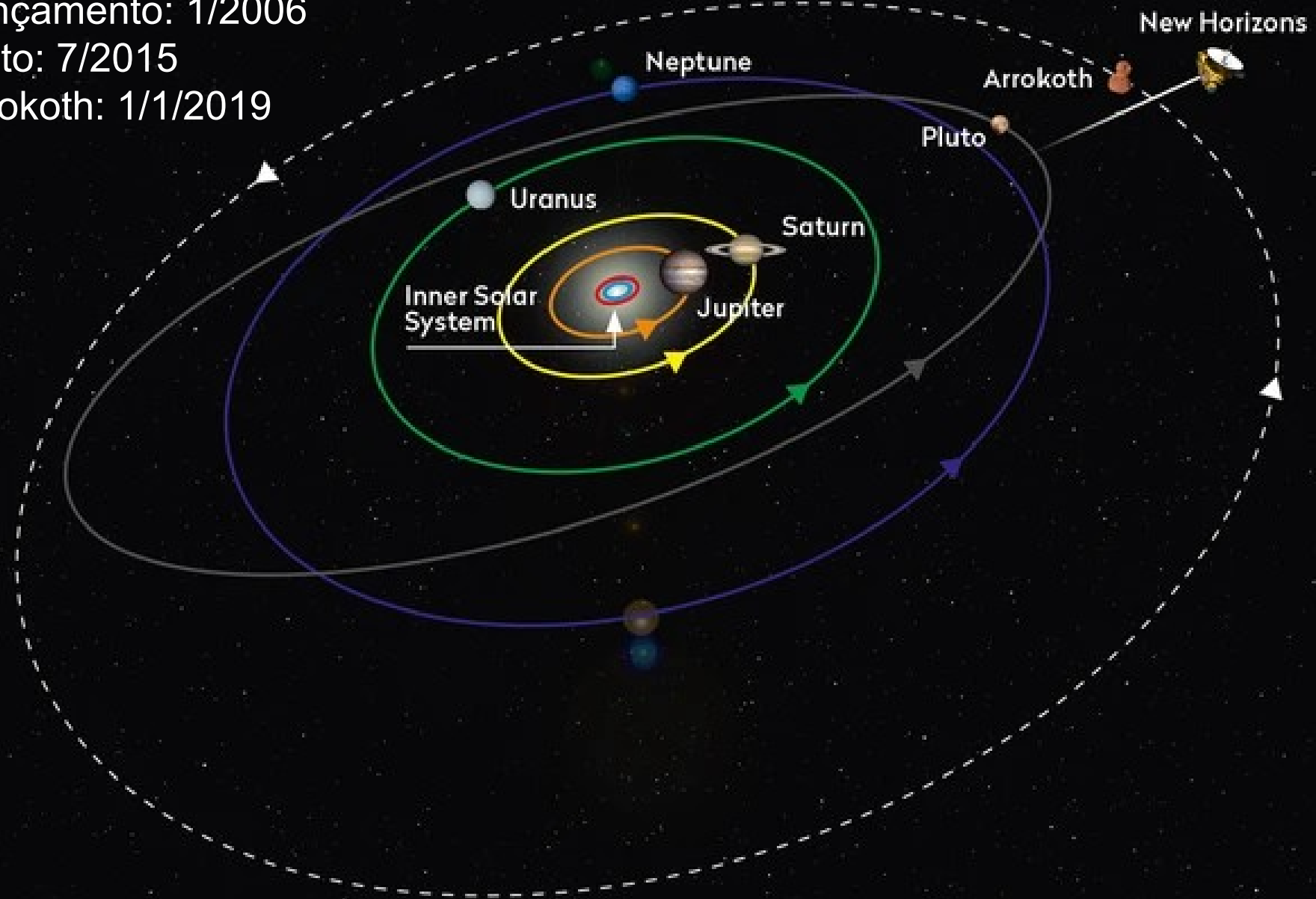
Fig. 9.— A hypothesis for the surface colors of small KBOs. In the early solar system KBOs form with a variety of composition, but as the nebula disappears and the sun begins to heat their surfaces, strong gradients in their surface compositions form. Leftward of each labeled line, each species would be fully depleted from the surface. KBOs formed interior to about 20 AU would only have H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> on their surfaces, while KBOs which formed outside of ~20 AU would retain methanol on their surfaces. Irradiation of the methanol-free surfaces could lead to the dark neutral objects, while irradiation of methanol-containing surfaces could lead to the brighter red objects. Outside of ~30 AU objects can also retain NH<sub>3</sub>, which could perhaps explain some of the unique surface characteristics of the cold classical KBOs if they formed *in situ*.

# New Horizons

Lançamento: 1/2006

Pluto: 7/2015

Arrokoth: 1/1/2019





Arrokoth é um objeto transnetuniano clássico “frio”. A superfície é uma mistura de metanol, gelo de água e tolinas.



<https://rps.nasa.gov/resources/135/enhanced-color-composite-image-of-kuiper-belt-object-arrokoth-2014-mu69/>

36 × 20 × 10 km

Corpo maior:

20.6 × 19.9 × 9.4 km

Corpo menor:

15.4 × 13.8 × 9.8 km.

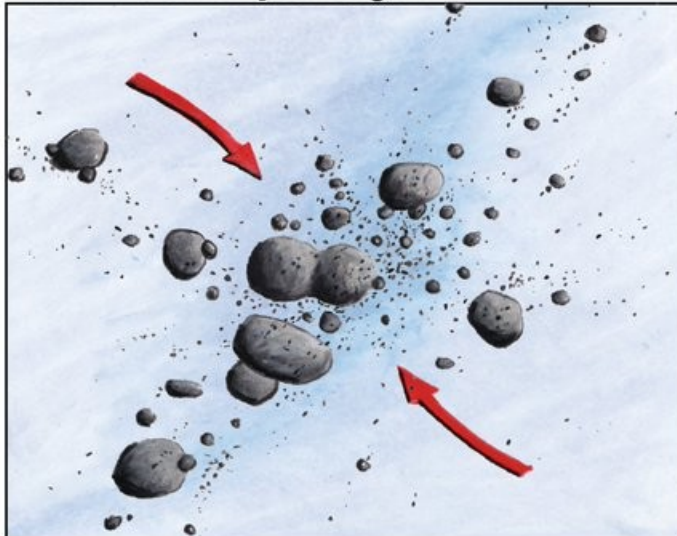
$\rho \leq 1 \text{ g/cm}^3$ ?

Arrokoth é um binário de contato, formado por 2 planetesimais que gravitaram até se fundir

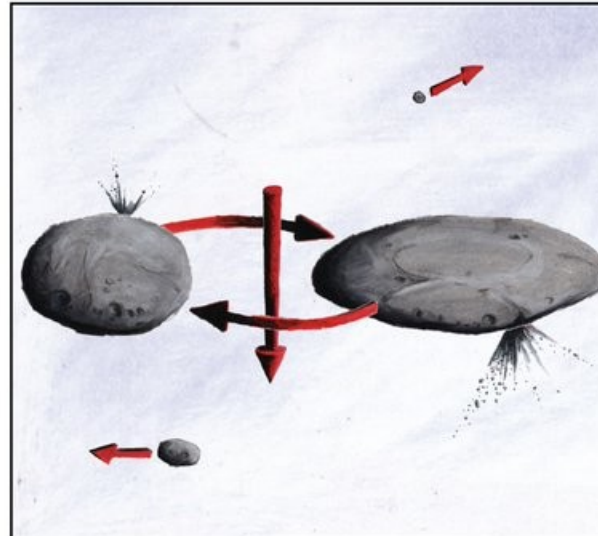
Semieixo maior: 44,5 UA  
Excentricidade: 0,055  
Período orbital: 298 anos

## The Formation of 2014 MU69

About 4.5 billion years ago...

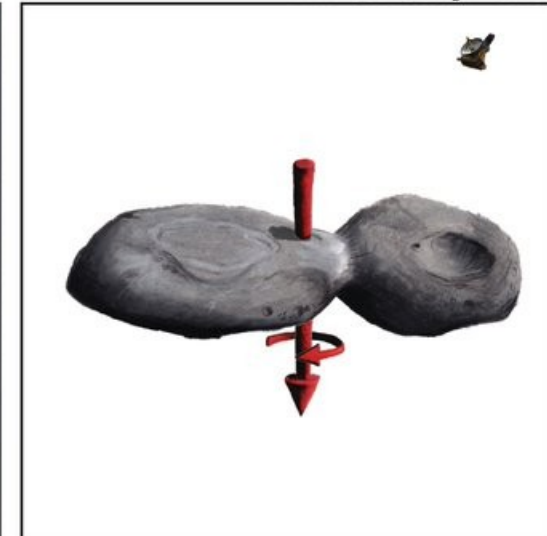


A rotating cloud of small, icy bodies starts to coalesce in the outer solar system.



Eventually two larger bodies remain.

...1 January 2019.



The two bodies slowly spiral closer until they touch, forming the bi-lobed object we see today.

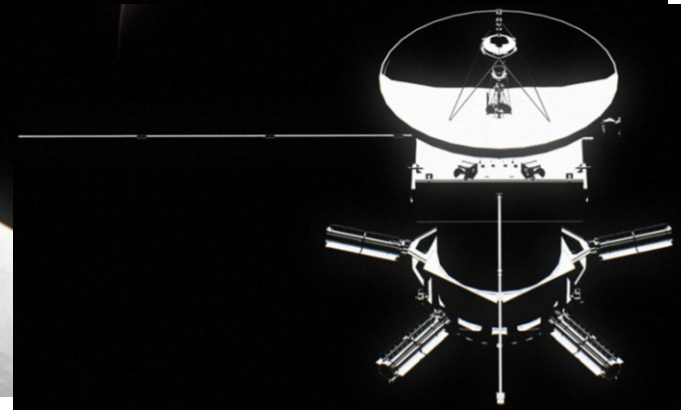
National Aeronautics and Space Administration



PLANETARY MISSION CONCEPT STUDY

# PERSEPHONE:

## A Pluto-System Orbiter & Kuiper Belt Explorer

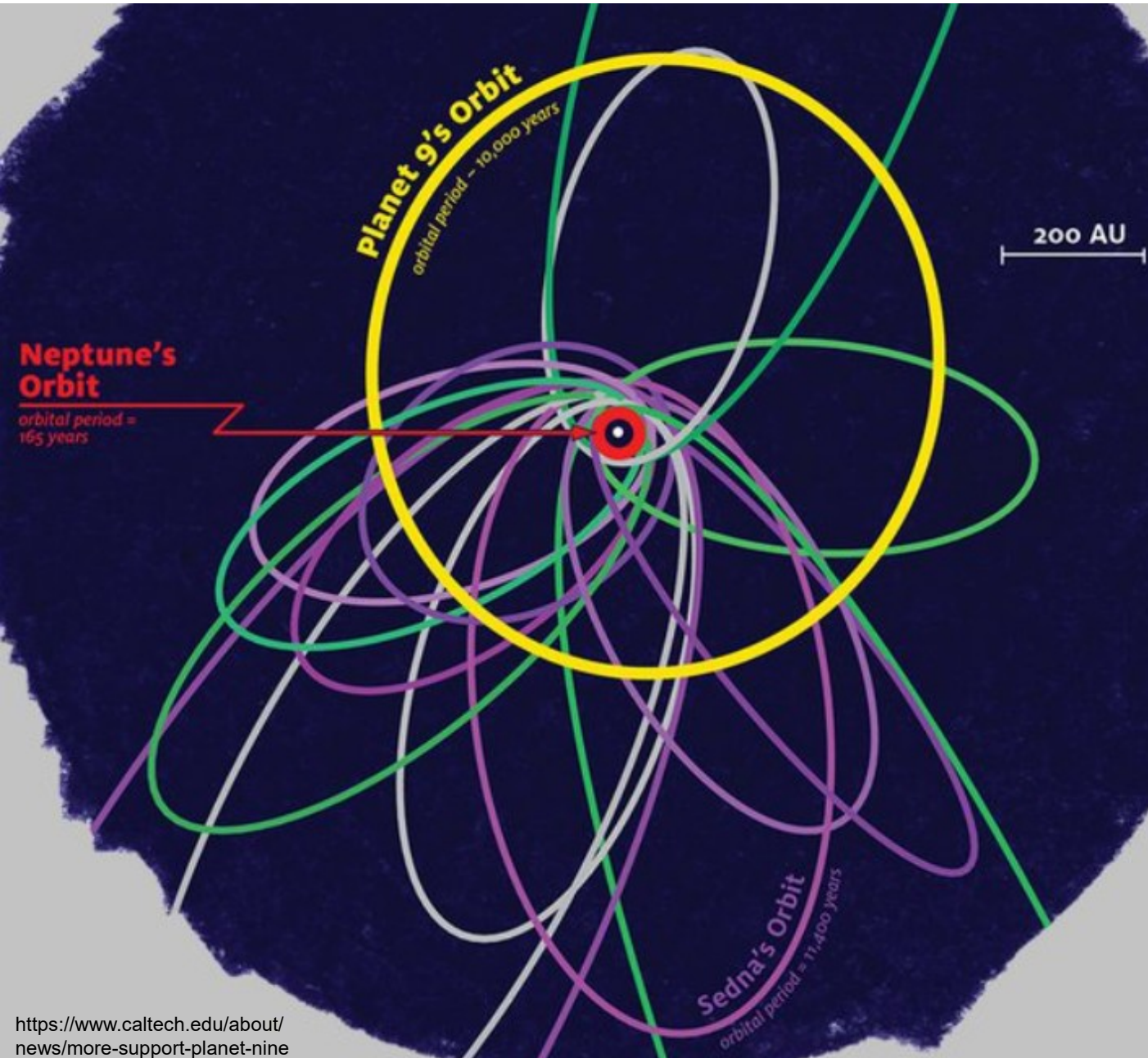


**Launch:** Feb 2031  
**Jupiter flyby:** May 2032  
**KBO flyby:** Feb 2050

**Pluto arrival:** Oct 2058  
**Pluto-system tour:** 2058–2061  
**Extended mission KBO encounter:** 2069



Planeta 9? Foi proposto em 2016 por Batygin e Brown, para explicar uma



aparente agrupação das órbitas de alguns transnetunianos, pela influência de um planeta de ~5 massas terrestres.

No entanto, um estudo recente (<https://www.nature.com/articles/d41586-021-00456-7>) sugere que o planeta 9 não existe e que o resultado anterior é devido a algum viés da amostra.