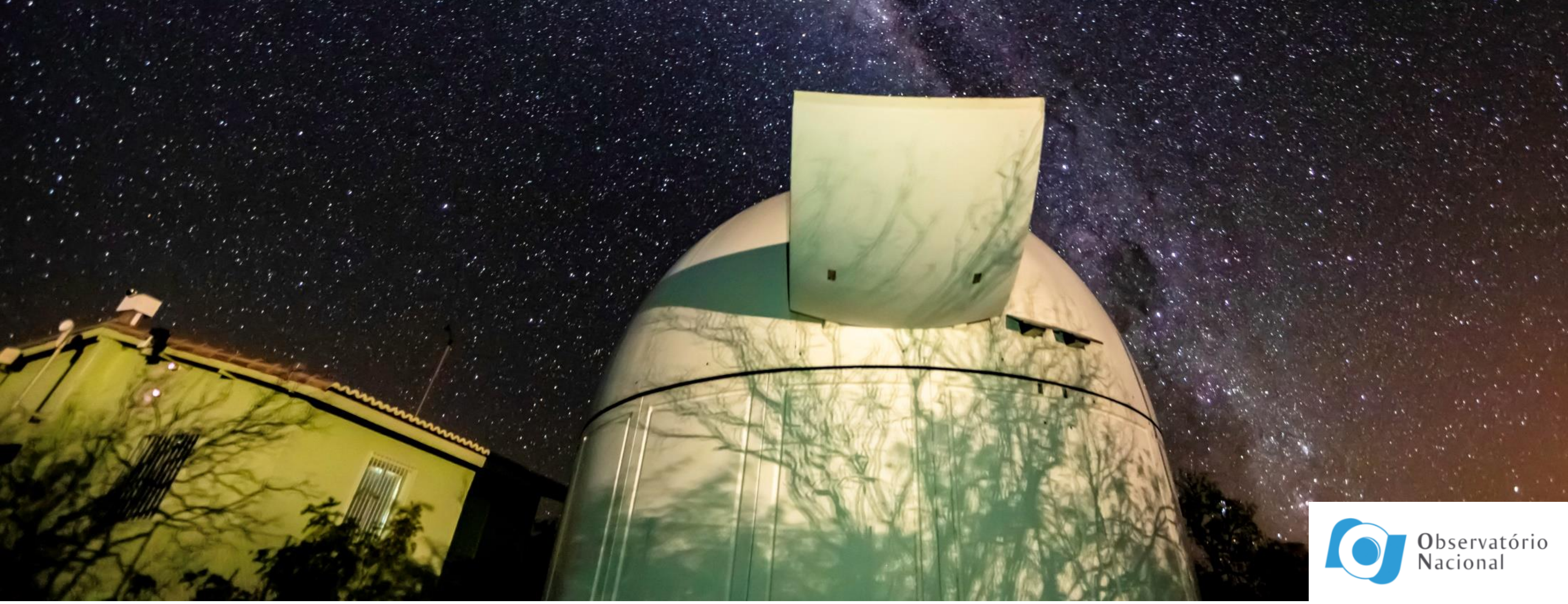
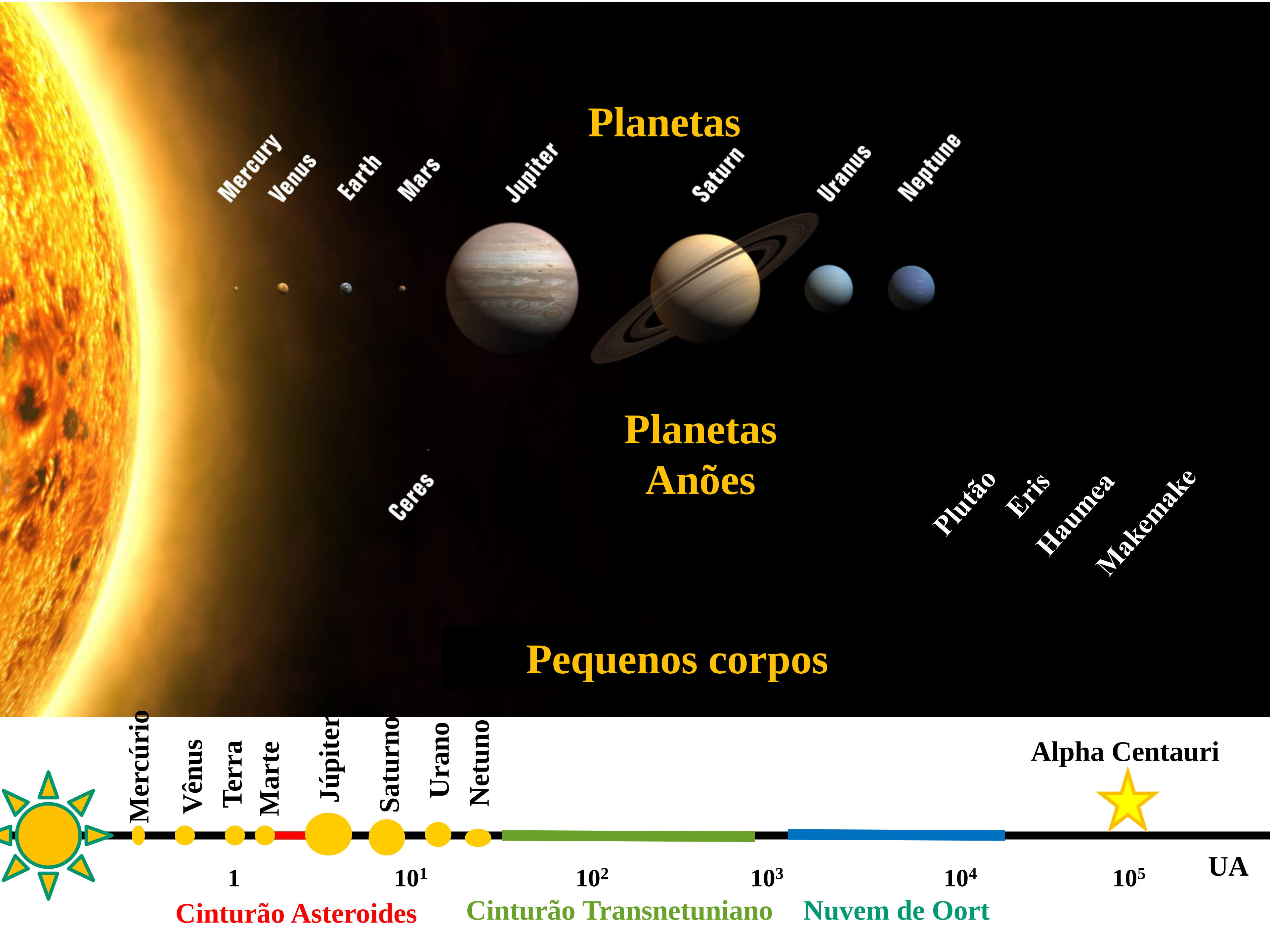
Propriedades físicas de pequenos corpos do Sistema Solar

Daniela Lazzaro

Observatório Nacional - Coordenação de Astronomia e Astrofísica

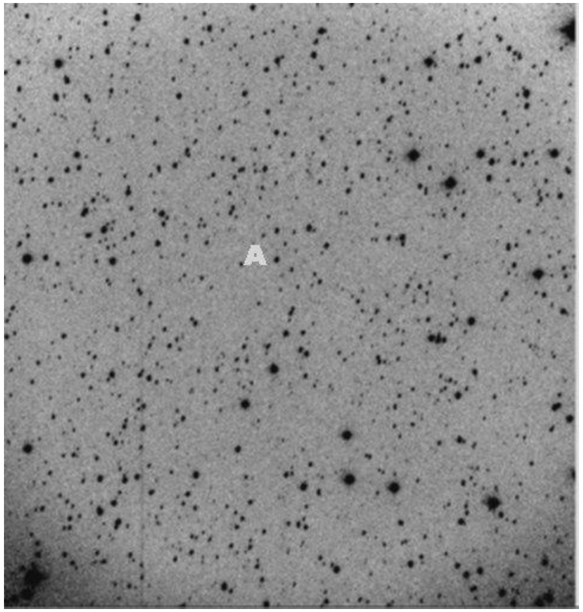


Observatório Nacional



Planetas
Mercury
Venus
Earth
Mars
Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
Planetas Anões
Ceres
Plutão
Eris
Haumea
Makemake
Pequenos corpos
Mercúrio
Vênus
Terra
Marte
Júpiter
Saturno
Urano
Netuno
Alpha Centauri
1
10^1
10^2
10^3
10^4
10^5
UA
Cinturão Asteroides
Cinturão Transnetuniano
Nuvem de Oort

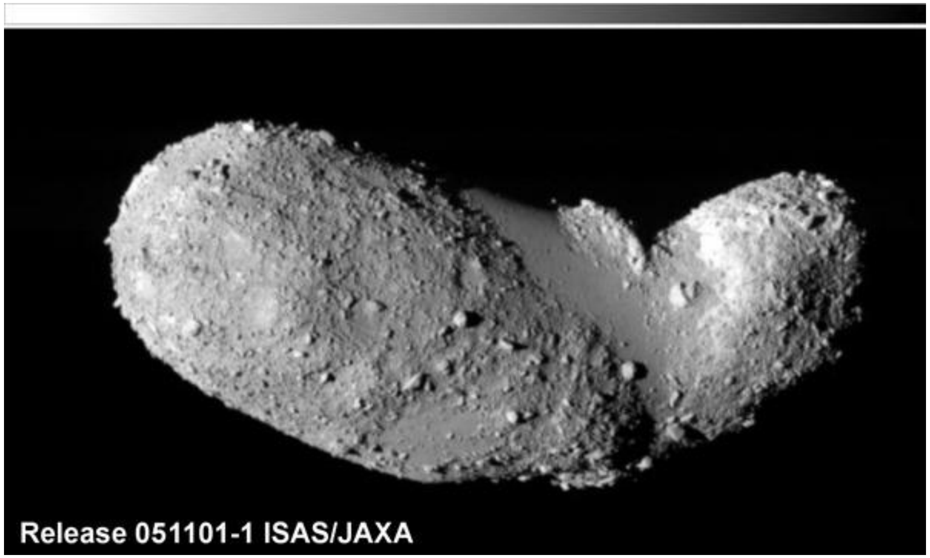
Pequenos corpos do Sistema Solar



Asteroides

Cometas

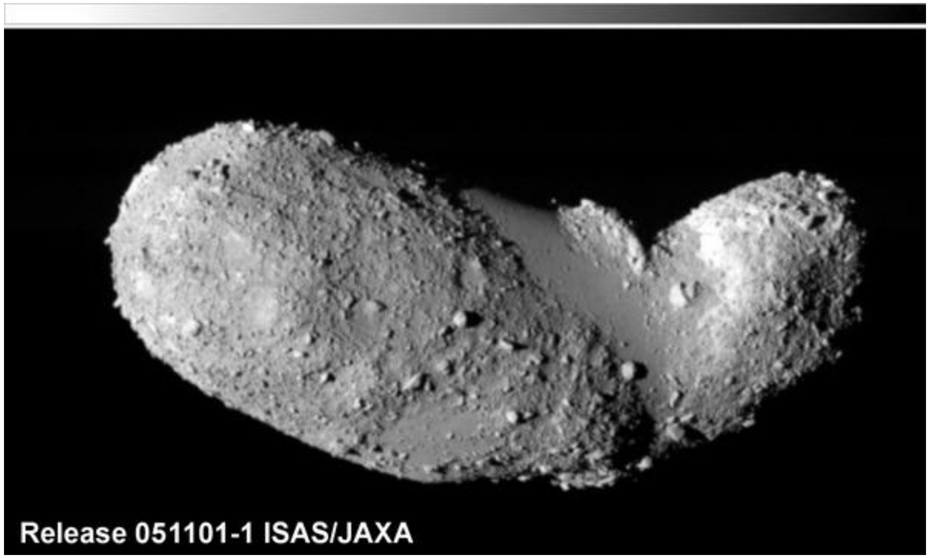
Pequenos corpos do Sistema Solar



Asteroides

Cometas

Pequenos corpos do Sistema Solar



Asteroides

Cometas

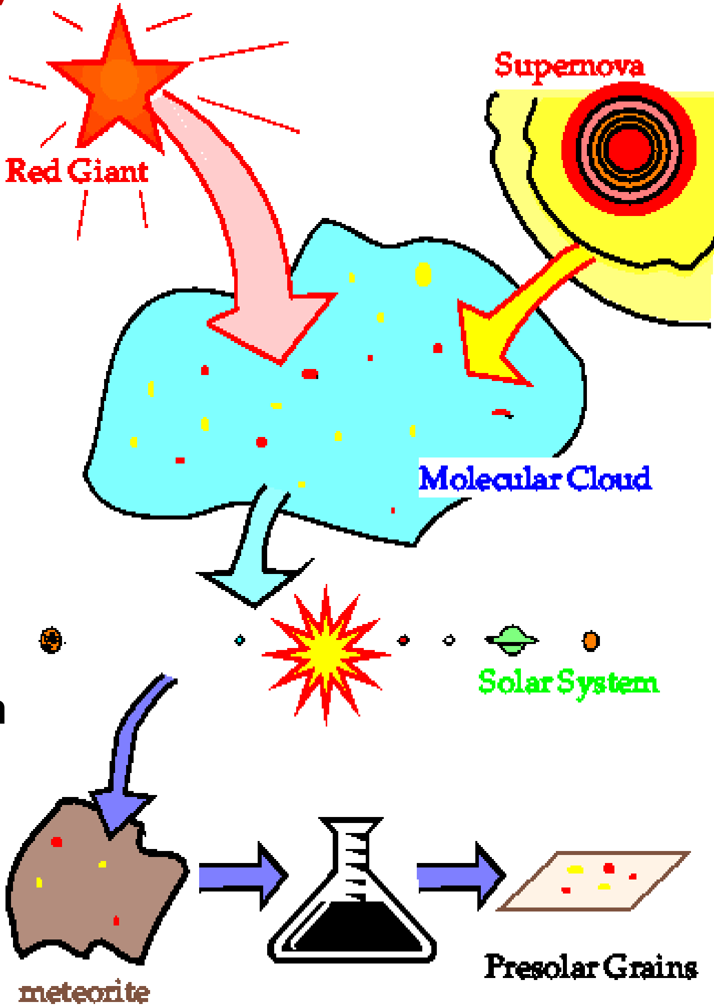
MBC - Main Belt Comets
ACOs – Asteroides em órbitas cometárias
Centauros
TNOs – Objetos Trans-neptunianos
Pequenos satélites
Meteoros
Meteoritos

Porque são interessantes?

1. São as únicas amostras formadas nos estágios finais da nebulosa solar e iniciais do Sistema Solar;
2. São os sobreviventes da população de corpos que accretaram para formar os planetas;

Porque são interessantes?

1. São as únicas amostras formadas nos estágios finais da nebulosa solar e iniciais do Sistema Solar;
2. São os sobreviventes da população de corpos que accretaram para formar os planetas;



- Elementos são sintetizado no interior das estrelas
- Depois de ejetados no espaço interestelar nos estágios finais de estrelas, alguns elementos condensam em grãos de poeira nas atmosferas estelares e no espaço interestelar
- Gás e poeira se aglomeram em nuvens moleculares gigantes
- Partes mais densas colapsam em estrelas
- No disco se formam pequenos corpos e planetas
- Fragmentos de pequenos corpos chegam à Terra como meteoritos ➔ estudando os meteoritos estudamos os grãos pré-solares!

Porque são interessantes?

1. **São as únicas amostras formadas nos estágios finais da nebulosa solar e iniciais do Sistema Solar;**
2. **São os sobreviventes da população de corpos que accretaram para formar os planetas;**
3. **Os meteoritos fornecem a idade dos diversos processos;**
4. **A associação de pequenos corpos específicos com meteoritos permite ter um mapa da composição nas diferentes regiões do disco proto-planetário;**

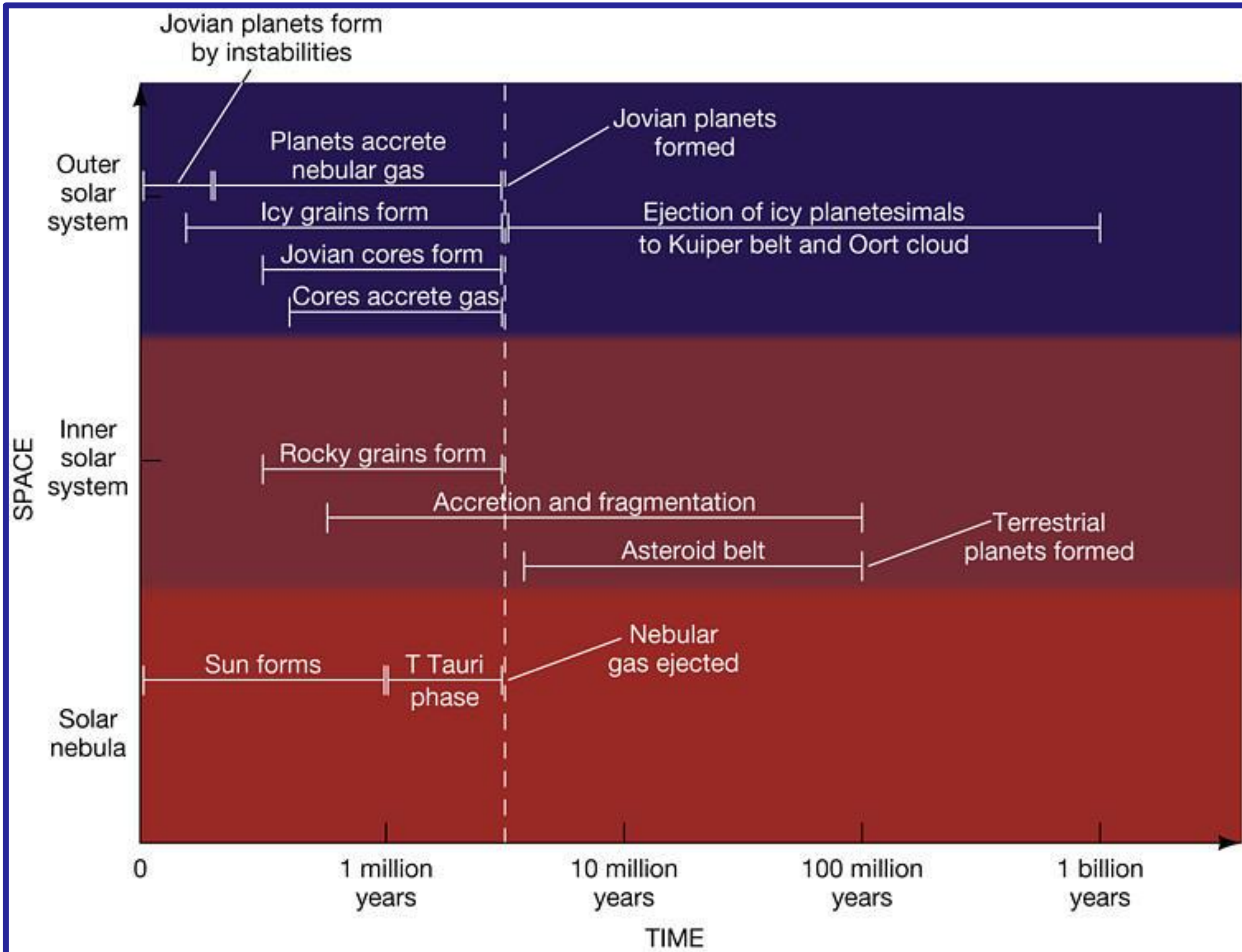
Porque são interessantes?

1.

2.

3.

4.

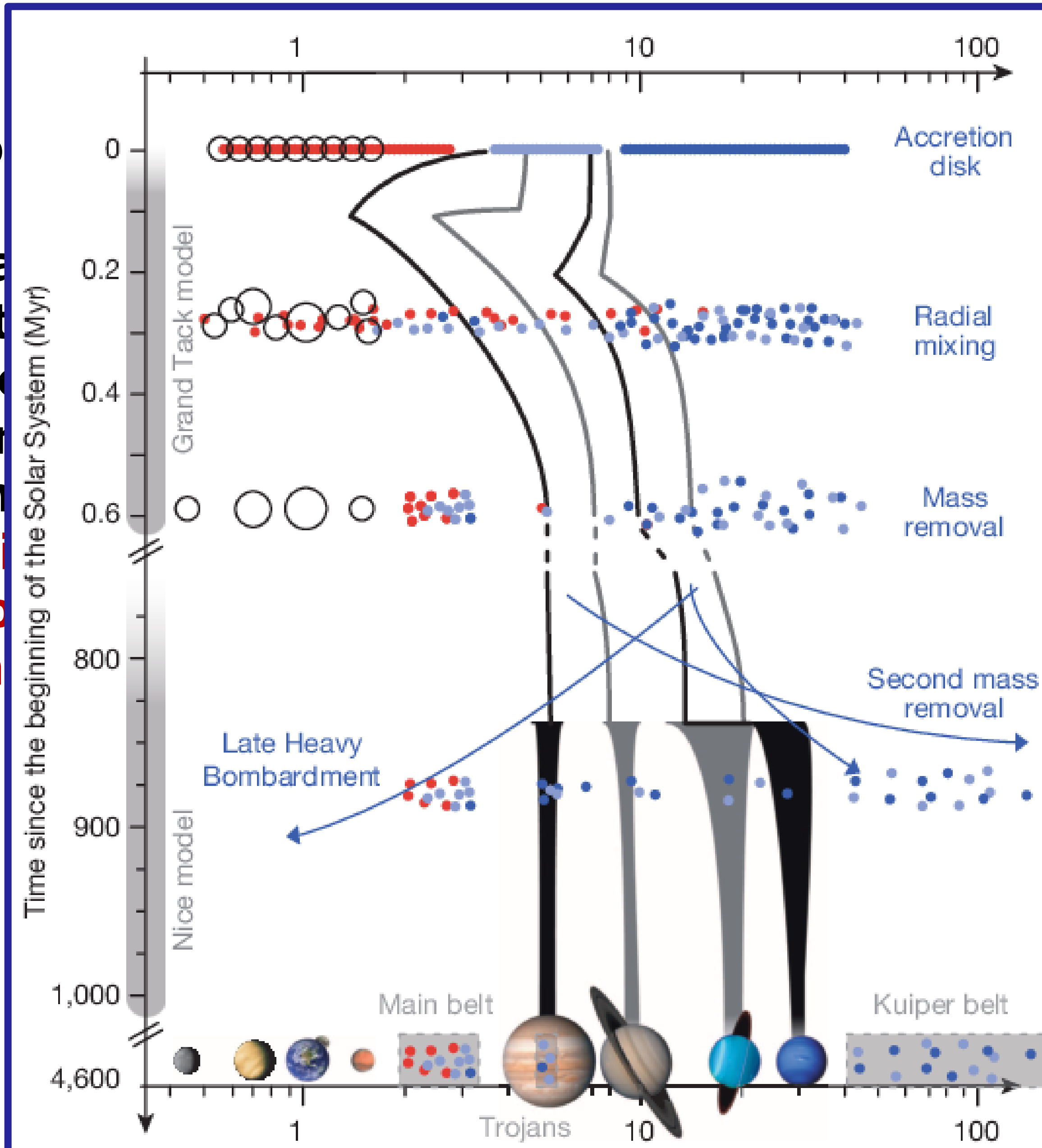


Porque são interessantes?

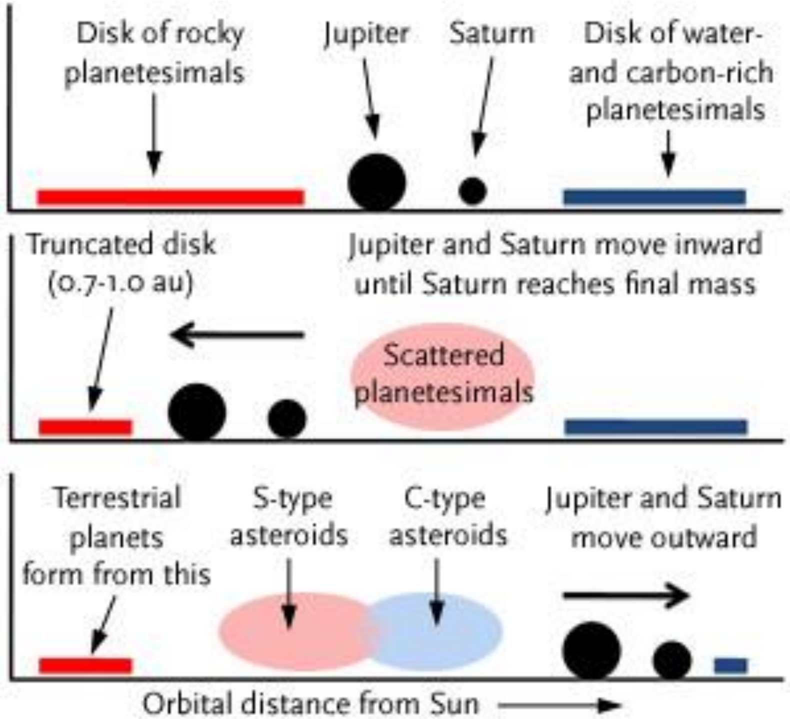
1. **São as únicas amostras formadas nos estágios finais da nebulosa solar e iniciais do Sistema Solar;**
2. **São os sobreviventes da população de corpos que accretaram para formar os planetas;**
3. **Os meteoritos fornecem a idade dos diversos processos;**
4. **A associação de pequenos corpos específicos com meteoritos permite ter um mapa da composição nas diferentes regiões do disco proto-planetário;**
5. **A distribuição atual dos pequenos corpos permite impor vínculos aos modelos de formação e evolução do Sistema Solar;**

Porque são interessantes?

1. São as … s finais da nebulo…
2. São os … que accreta…
3. Os met… processos;
4. A assoc… com meteor… ão nas diferen…
5. A distri… mite impor vínculo… do Sistem…



DeMeo & Carry, 2014

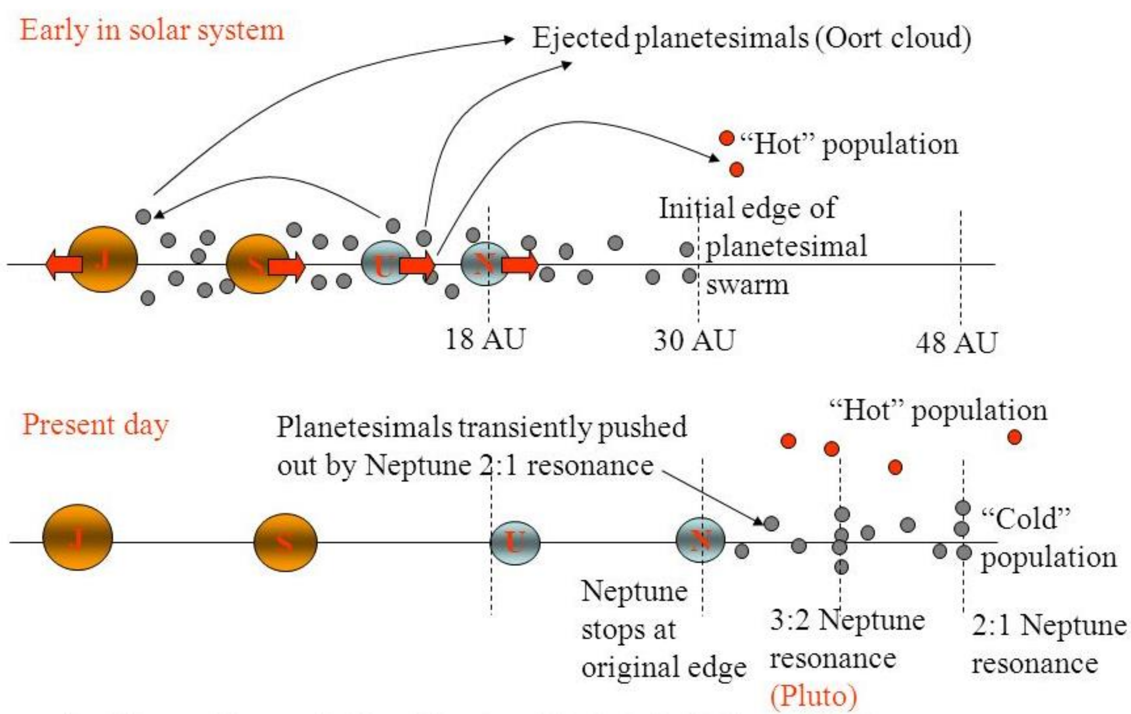


Grand Tack

Jupiter & Saturn (ainda em formação) migram devido à inteação com o gás no disco

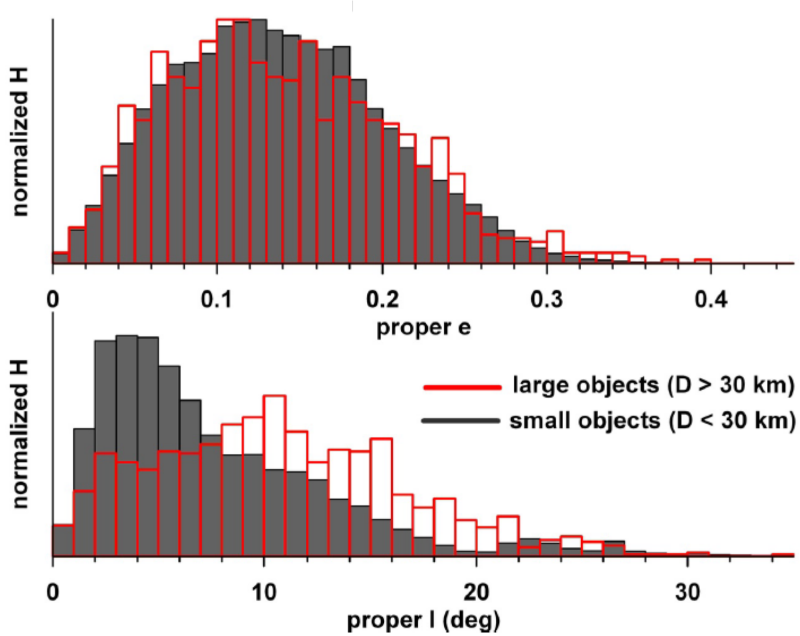
Walsh et al. 2011

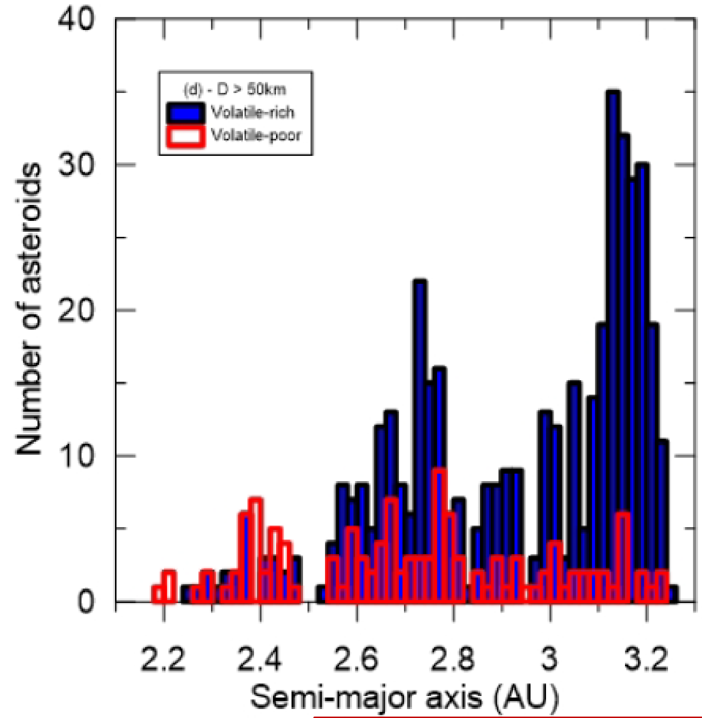
migração dos 4 planetas gigantes até J&S chegar à ressonância 2:1 ➔ grande instabilidade limpando o disco



Tsiganis et al. 2005
Nesvorny & Morbidelli et al. 2012

Excitação orbital
Ausência de massa
Mistura de composições

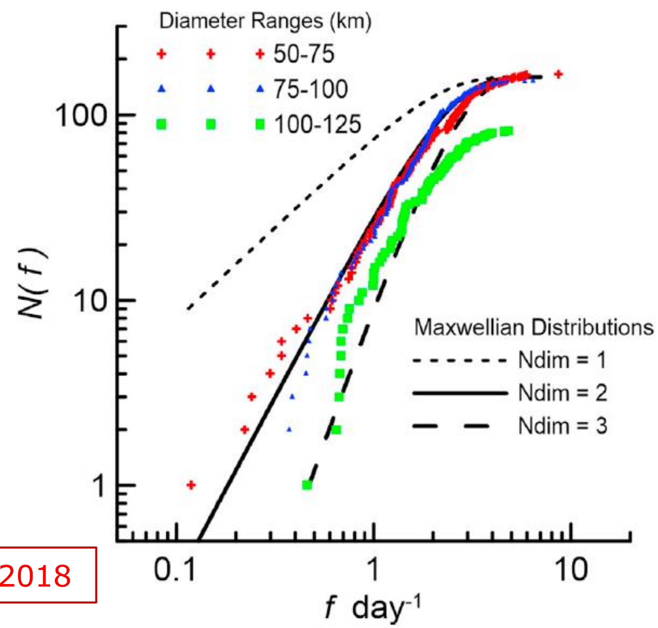




Michtchenko, Lazzaro, Carvano 2016

Evolução colisional

Se a origem da distribuição de frequências tem origem em processos colisionais em equilíbrio estatístico então a troca de energia se da num espaço bi- e não tri-dimensional isotropico

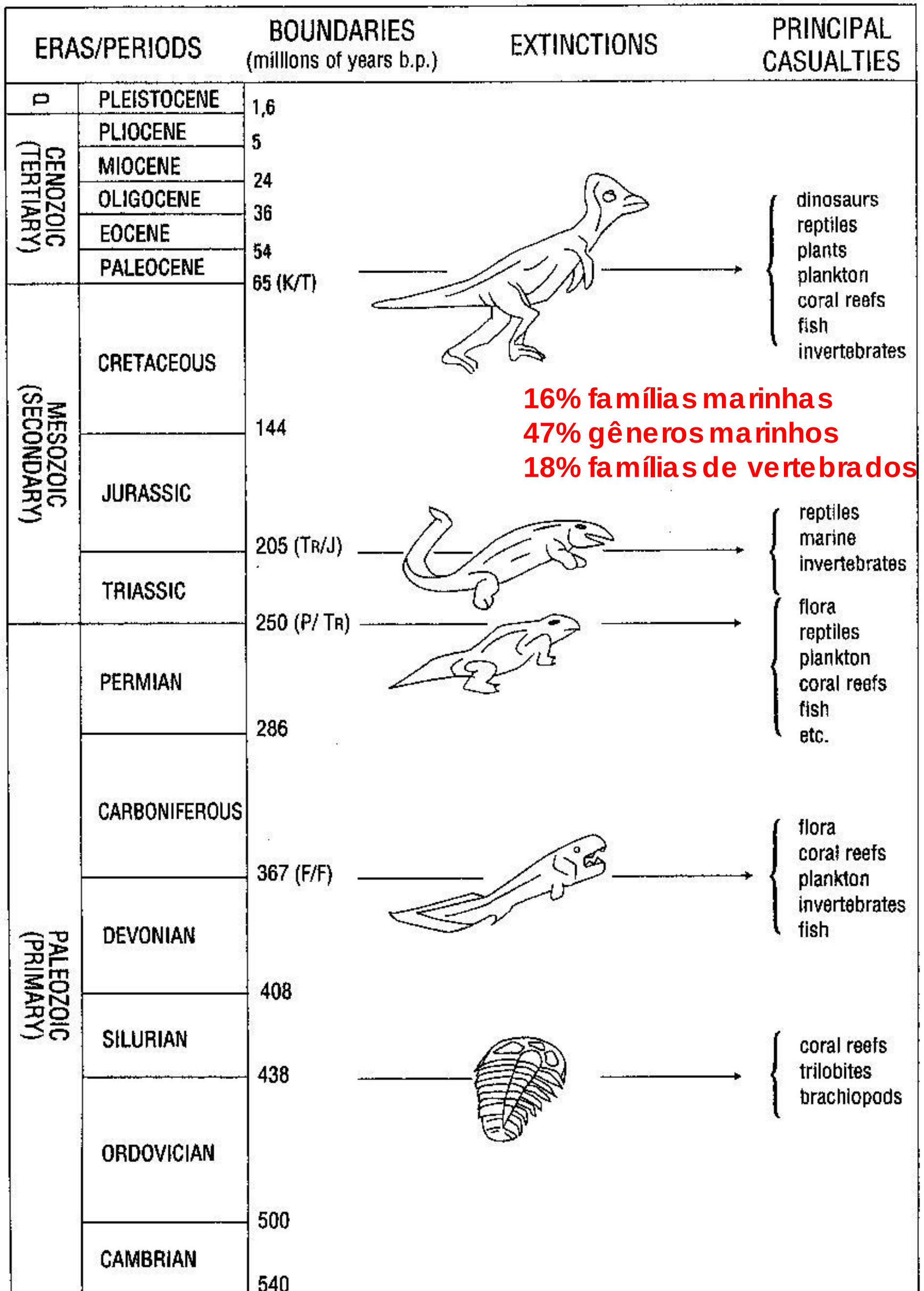


Medeiros, Lazzaro, Kodama 2018

Porque são interessantes?

1. São as únicas amostras formadas nos estágios finais da nebulosa solar e iniciais do Sistema Solar;
2. São os sobreviventes da população de corpos que accretaram para formar os planetas;
3. Os meteoritos fornecem a idade dos diversos processos;
4. A associação de pequenos corpos específicos com meteoritos permite ter um mapa da composição nas diferentes regiões do disco proto-planetário;
5. A distribuição atual dos pequenos corpos permite impor vínculos aos modelos de formação e evolução do Sistema Solar;
6. O cinturão de asteroides é a maior fonte de corpos que colidem com a Terra;
7. Responsáveis pela maioria das extinções em massa (K/T: 75% das espécies extintas, o que permitiu a proliferação dos mamíferos);
8. Impactos são um risco para a sociedade (1908 Tunguska, 2013 Chelyabink,...).

Grandes extinções em massa



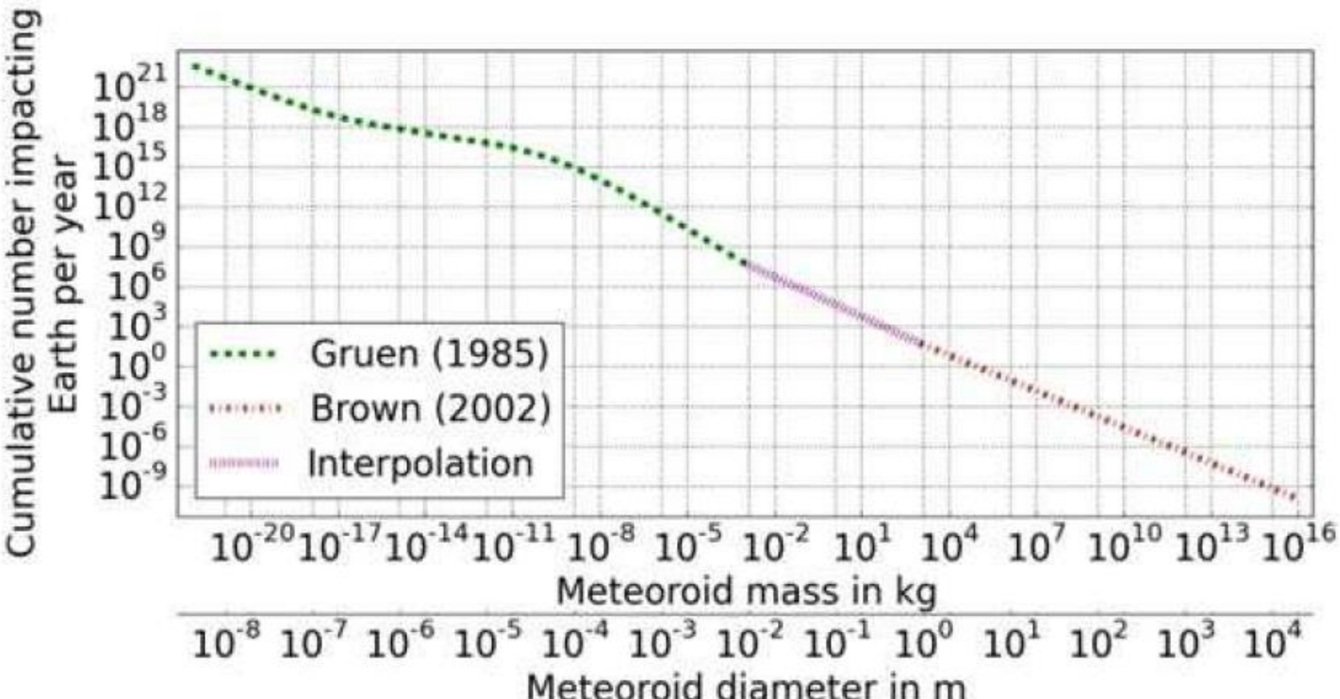
16% famílias marinhas
47% gêneros marinhos
18% famílias de vertebrados

15 fev. 2013 - Chelyabinsk

15 fev. 2013 - Chelyabinsk

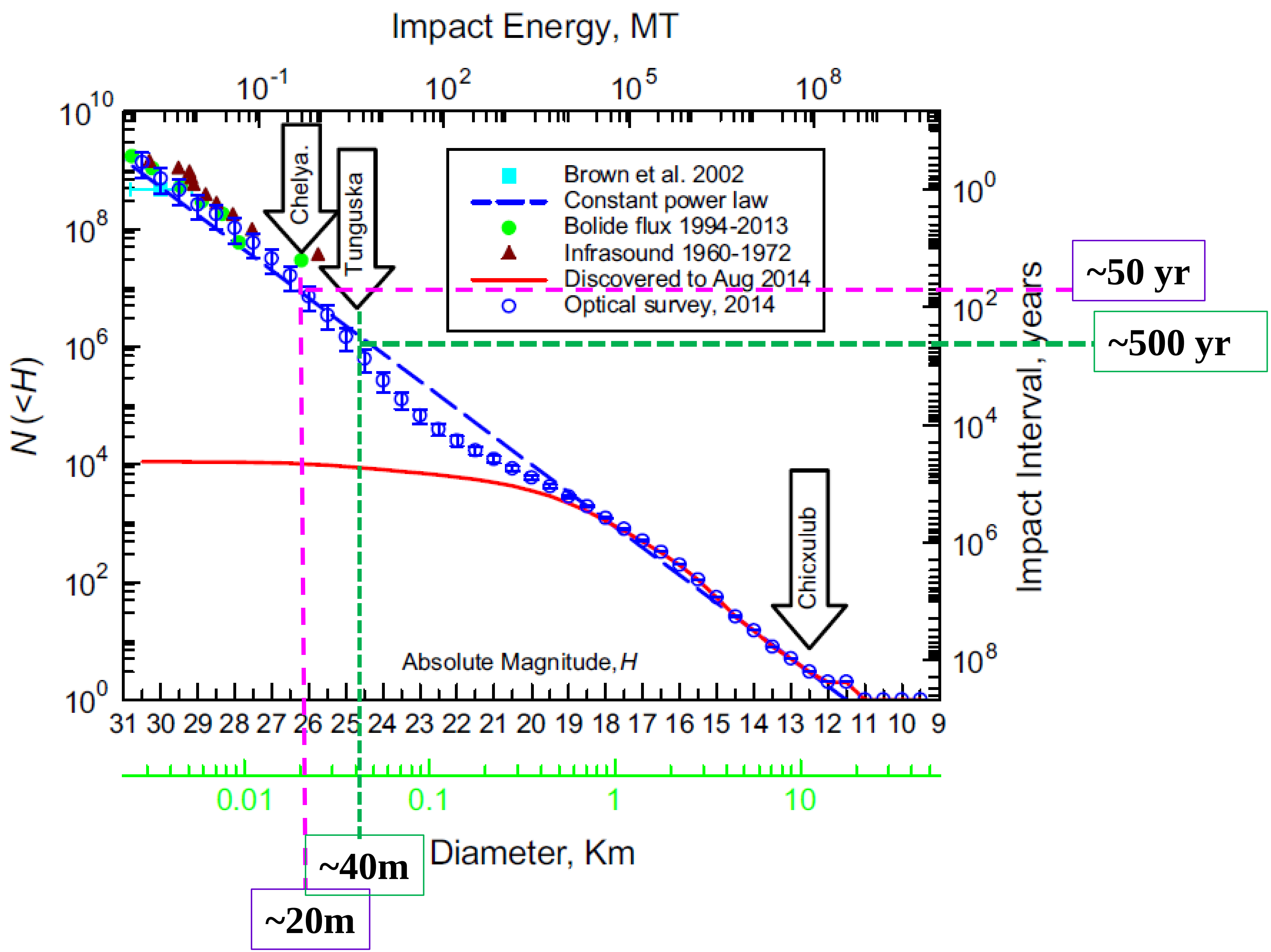
Tamanho do bólide: 17-20 m
Velocidade de entrada: 18.6 km/s
Altura da explosão: 23.3 km
Energia do impacto: 440 kt

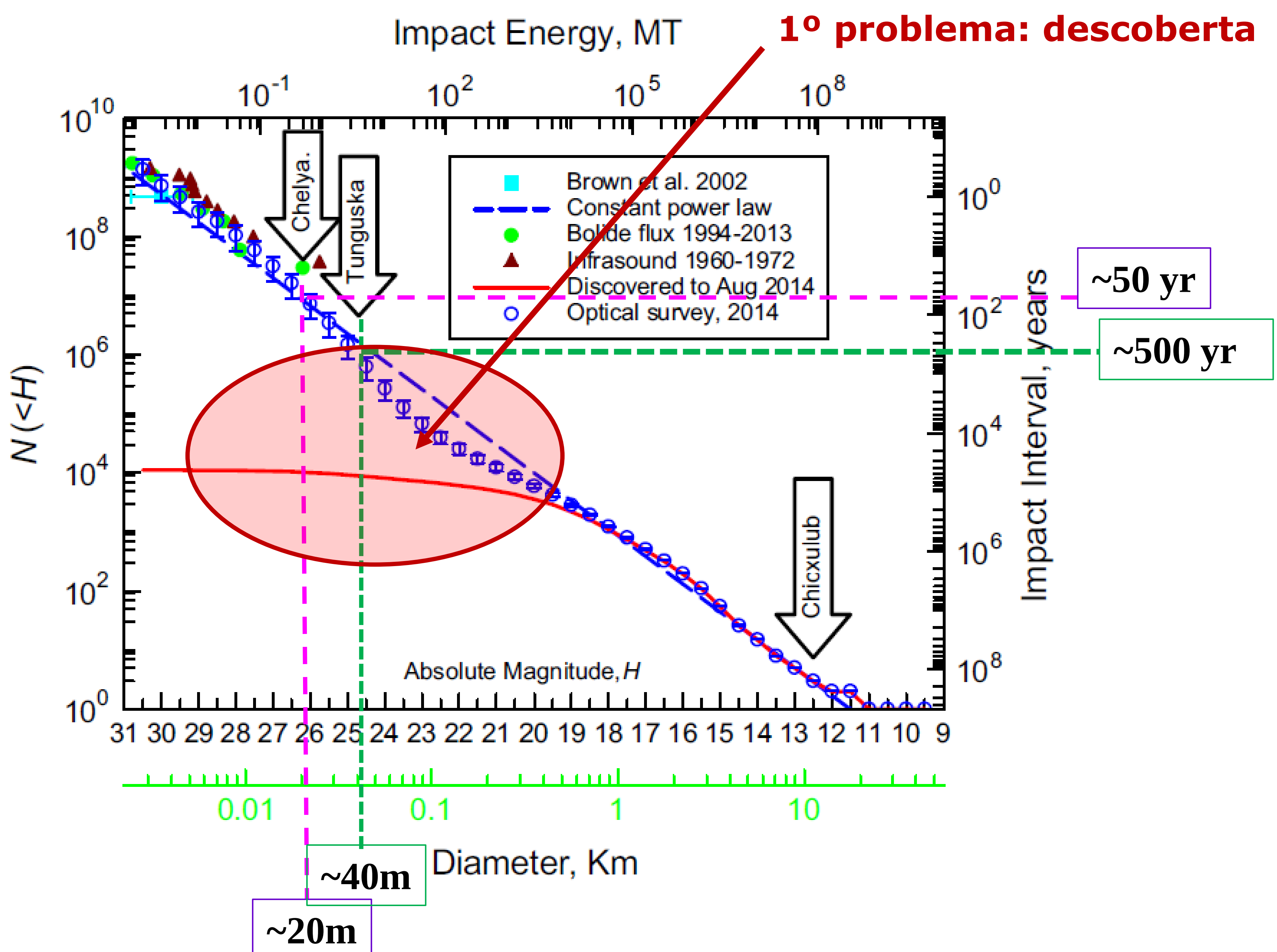
Meteoros - Bólidos



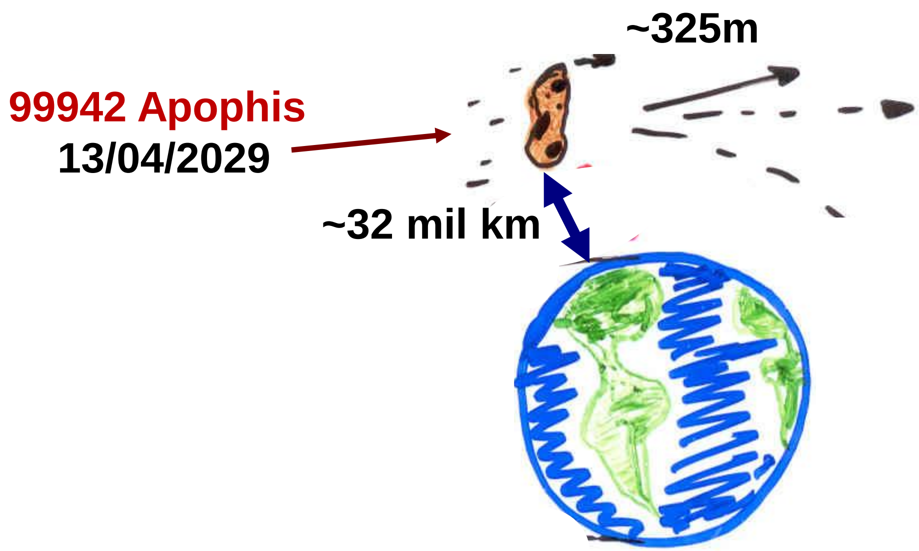
Drolshagen et al. 2015

~60 toneladas/dia

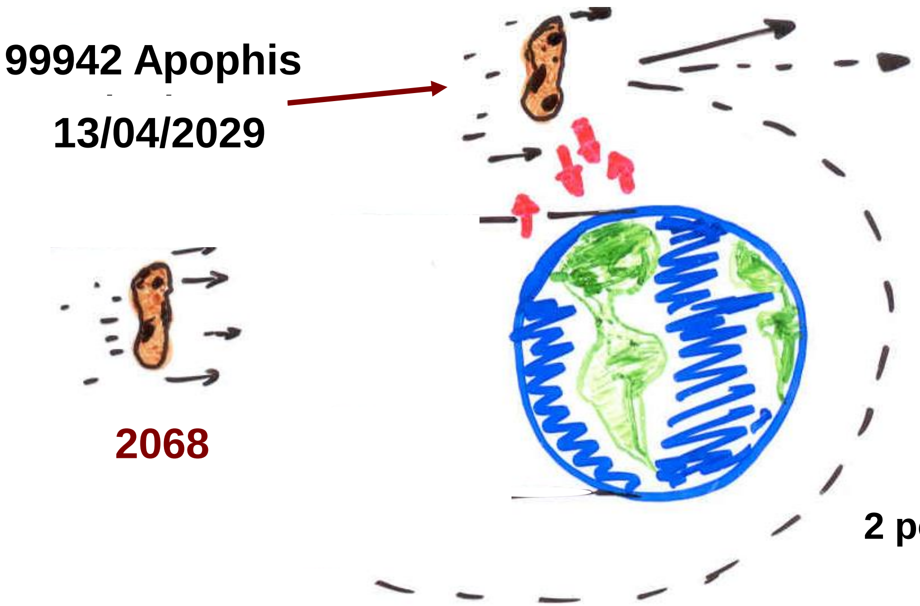

Impact Energy, MT
10^{-1}
10^{2}
10^{5}
10^{8}
Chelya.
Tunguska
Brown et al. 2002
Constant power law
Bolide flux 1994-2013
Infrasound 1960-1972
Discovered to Aug 2014
Optical survey, 2014
~50 yr
~500 yr
$N(<H)$
10^{10}
10^{8}
10^{6}
10^{4}
10^{2}
10^{0}
Impact Interval, years
10^{0}
10^{2}
10^{4}
10^{6}
10^{8}
Chicxulub
Absolute Magnitude, *H*
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9
0.01
0.1
1
10
Diameter, Km
~40m
~20m



1º problema: descoberta
Impact Energy, MT
10^{-1}
10^2
10^5
10^8
10^{10}
10^8
10^6
10^4
10^2
10^0
$N(<H)$
Chelya.
Tunguska
Brown et al. 2002
Constant power law
Bolide flux 1994-2013
Infrasound 1960-1972
Discovered to Aug 2014
Optical survey, 2014
~50 yr
~500 yr
10^0
10^2
10^4
10^6
10^8
Impact Interval, years
Chicxulub
Absolute Magnitude, H
31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9
0.01
0.1
1
10
Diameter, Km
~40m
~20m

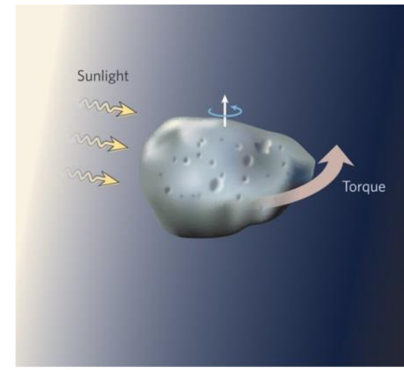


~325m
99942 Apophis
13/04/2029
~32 mil km


~325m
99942 Apophis
13/04/2029
2068
2 possibilidades em 1 milhão

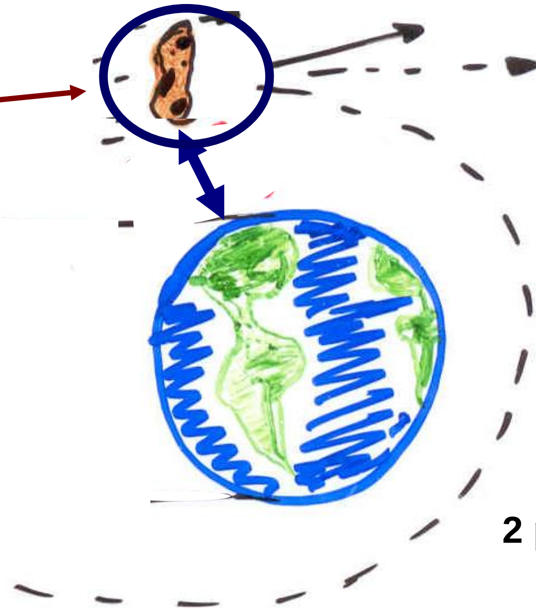
Tamanho
Massa
Propriedades térmicas
Orientação do eixo de rotação

Posição precisa em 2029 **efeito Yarkovsky**



99942 Apophis

13/04/2029



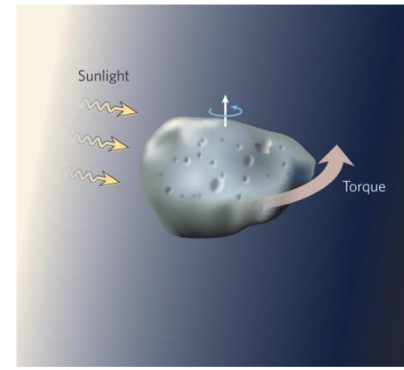
2068

2 possibilidades em 1 milhão

2º problema: propriedades físicas

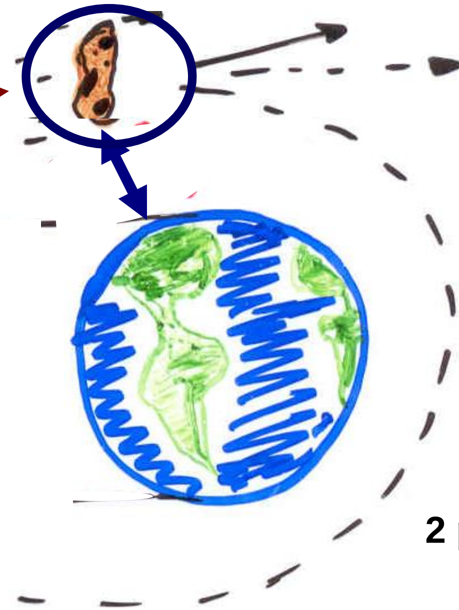
Tamanho
Massa
Propriedades térmicas
Orientação do eixo de rotação

Posição precisa em 2029 ⟺ **efeito Yarkovsky**



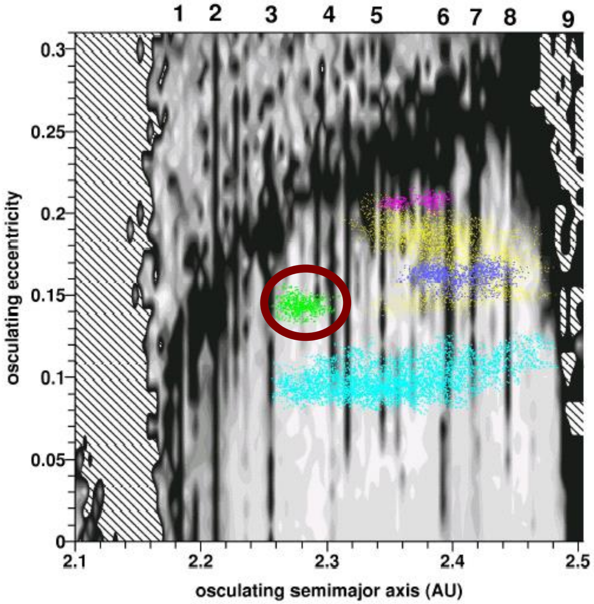
99942 Apophis

13/04/2029



2068

2 possibilidades em 1 milhão

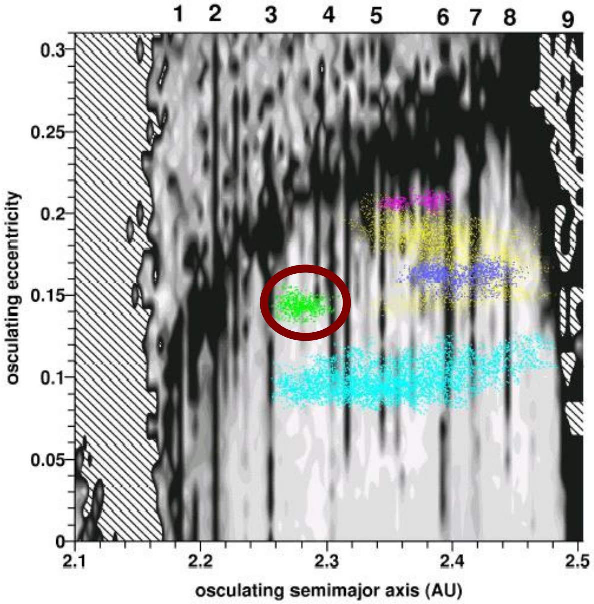


An asteroid breakup 160 Myr ago as the probable source of the K/T impactor

William F. Bottke[1], David Vokrouhlický[1,2] & David Nesvorný[1]

The terrestrial and lunar cratering rate is often assumed to have been nearly constant over the past 3 Gyr. Different lines of evidence, however, suggest that the impact flux from kilometre-sized bodies increased by at least a factor of two over the long-term average during the past ~100 Myr. Here we argue that this apparent surge was triggered by the catastrophic disruption of the parent body of the asteroid Baptistina, which we infer was a ~170-km-diameter body (carbonaceous-chondrite-like) that broke up 160^{+30}_{-20} Myr ago in the inner main asteroid belt. Fragments produced by the collision were slowly delivered by dynamical processes to orbits where they could strike the terrestrial planets. We find that this asteroid shower is the most likely source (>90 per cent probability) of the Chicxulub impactor that produced the Cretaceous/Tertiary (K/T) mass extinction event 65 Myr ago.

Nature 2007



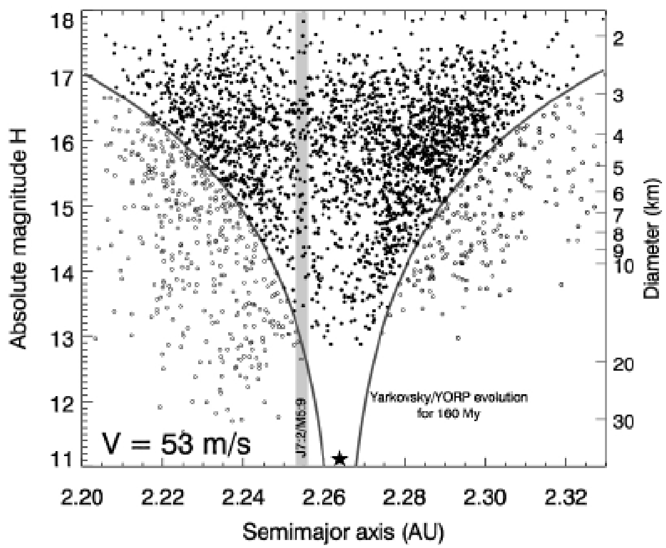
An asteroid breakup 160 Myr ago as the probable source of the K/T impactor

William F. Bottke[1], David Vokrouhlický[1,2] & David Nesvorný[1]

The terrestrial and lunar cratering rate is often assumed to have been nearly constant over the past 3 Gyr. Different lines of evidence, however, suggest that the impact flux from kilometre-sized bodies increased by at least a factor of two over the long-term average during the past ~100 Myr. Here we argue that this apparent surge was triggered by the catastrophic disruption of the parent body of the asteroid Baptistina, which we infer was a ~170-km-diameter body (carbonaceous-chondrite-like) that broke up 160^{+30}_{-20} Myr ago in the inner main asteroid belt. Fragments produced by the collision were slowly delivered by dynamical processes to orbits where they could strike the terrestrial planets. We find that this asteroid shower is the most likely source (>90 per cent probability) of the Chicxulub impactor that produced the Cretaceous/Tertiary (K/T) mass extinction event 65 Myr ago.

Nature 2007

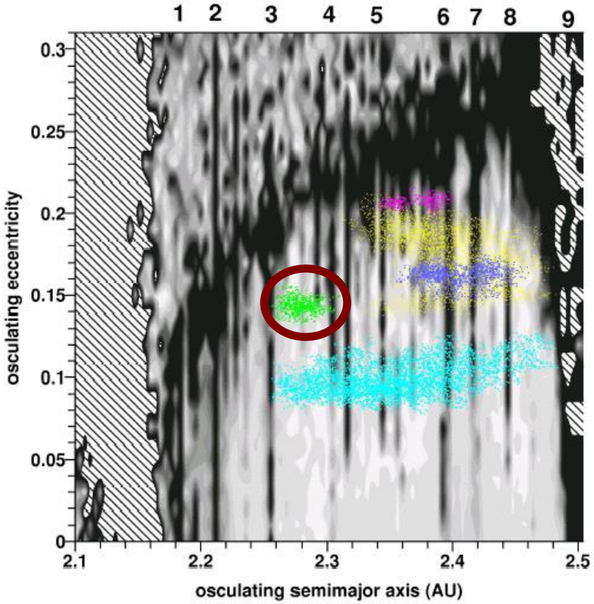
$$\boxed{D_{km} = \frac{1329}{\sqrt{p_v}} 10^{-0.2 H_V}}$$



$$p_v = 0.03 \Rightarrow D \cong 40 km$$

$$T = 160^{+30}_{-20}\, Myr$$

Carvano & Lazzaro 2010



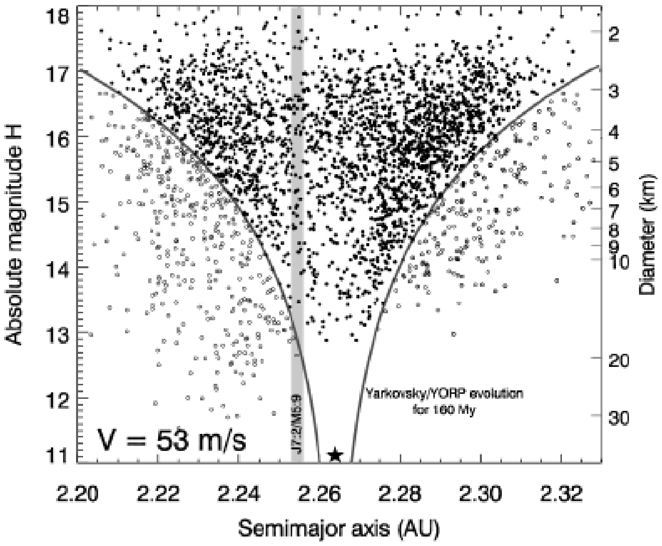
An asteroid breakup 160 Myr ago as the probable source of the K/T impactor

William F. Bottke[1], David Vokrouhlický[1,2] & David Nesvorný[1]

The terrestrial and lunar cratering rate is often assumed to have been nearly constant over the past 3 Gyr. Different lines of evidence, however, suggest that the impact flux from kilometre-sized bodies increased by at least a factor of two over the long-term average during the past ~100 Myr. Here we argue that this apparent surge was triggered by the catastrophic disruption of the parent body of the asteroid Baptistina, which we infer was a ~170-km-diameter body (carbonaceous-chondrite-like) that broke up 160^{+30}_{-20} Myr ago in the inner main asteroid belt. Fragments produced by the collision were slowly delivered by dynamical processes to orbits where they could strike the terrestrial planets. We find that this asteroid shower is the most likely source (>90 per cent probability) of the Chicxulub impactor that produced the Cretaceous/Tertiary (K/T) mass extinction event 65 Myr ago.

Nature 2007

$$\boxed{D_{km} = \frac{1329}{\sqrt{p_v}} 10^{-0.2 H_V}}$$



$$p_v = 0.03 \Rightarrow D \cong 40km$$

$$T = 160^{+30}_{-20}\, Myr$$

$$p_v = 0.347^{+0.109}_{-0.076} \Rightarrow D = 12.4km$$

T ~65 Myr

8.1m Gemini Sul

Carvano & Lazzaro 2010

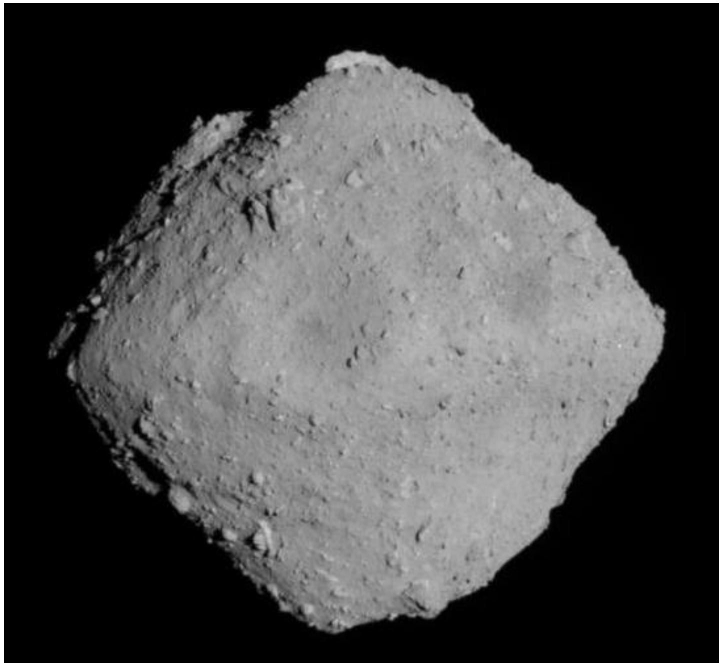
Estudo das propriedades físicas

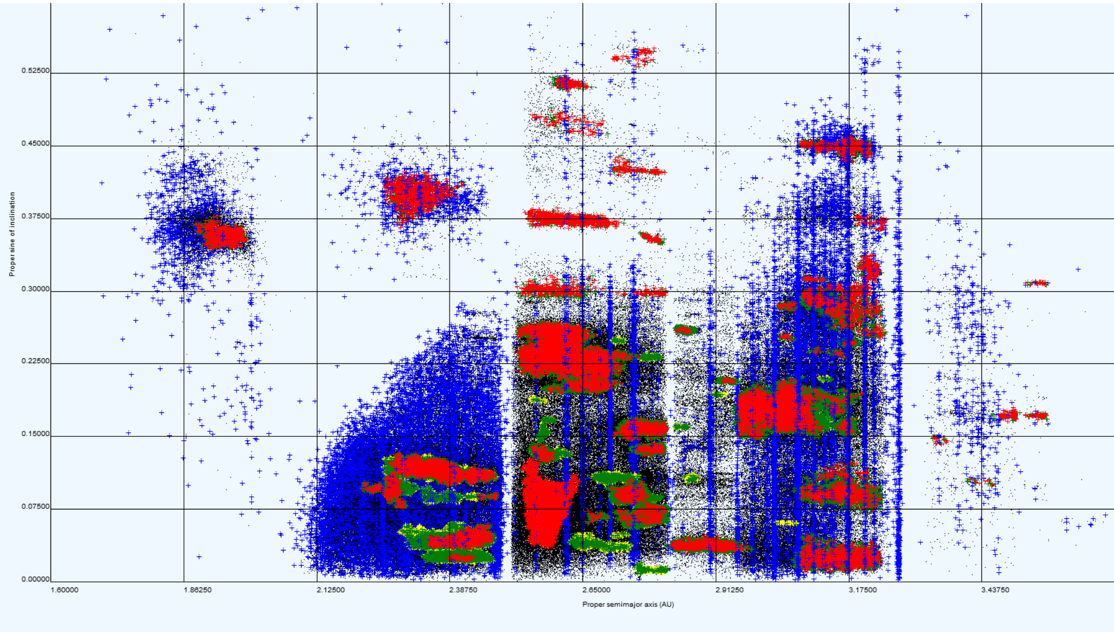
Individuais

tamanho, forma, rotação, composição, densidade, etc.

Coletivas

distribuição de órbitas, tamanhos, formas, rotações, composições, etc.





Observações astrofísicas

Fotometria de Banda Larga

magnitude → **vínculos sobre tamanho (H_V) e estrutura superficial**

magnitude → **variações de brilho**
- **propriedades rotacionais**
- **forma**
- **atividade cometária**

cores → **vínculos sobre composição superficial**

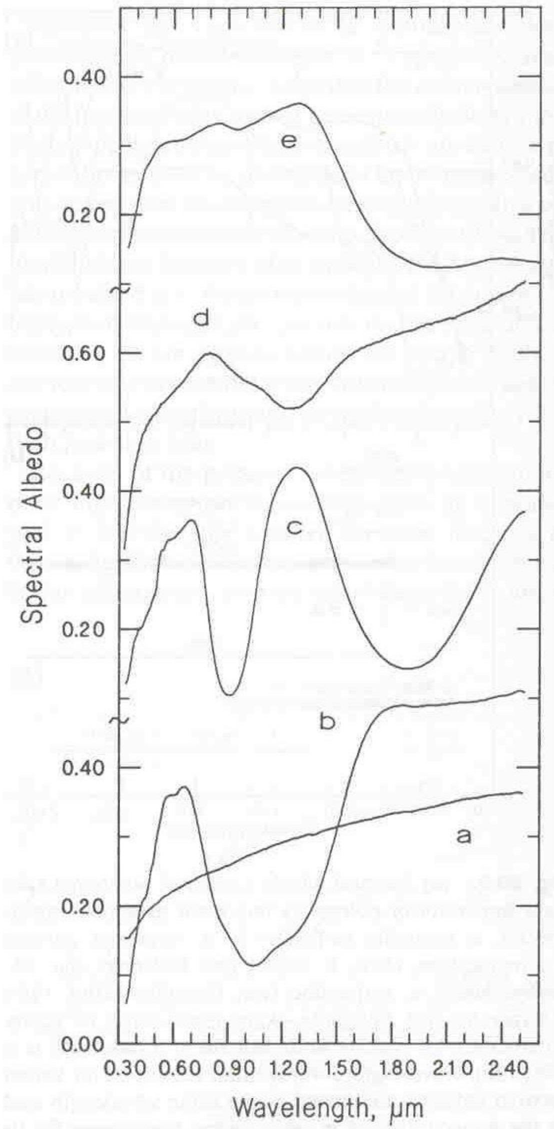
fluxo térmico → **albedo (p_V) → tamanho**

$$\boxed{D_{km} = \frac{1329}{\sqrt{p_v}} 10^{-0.2 H_V}}$$

Observações astrofísicas

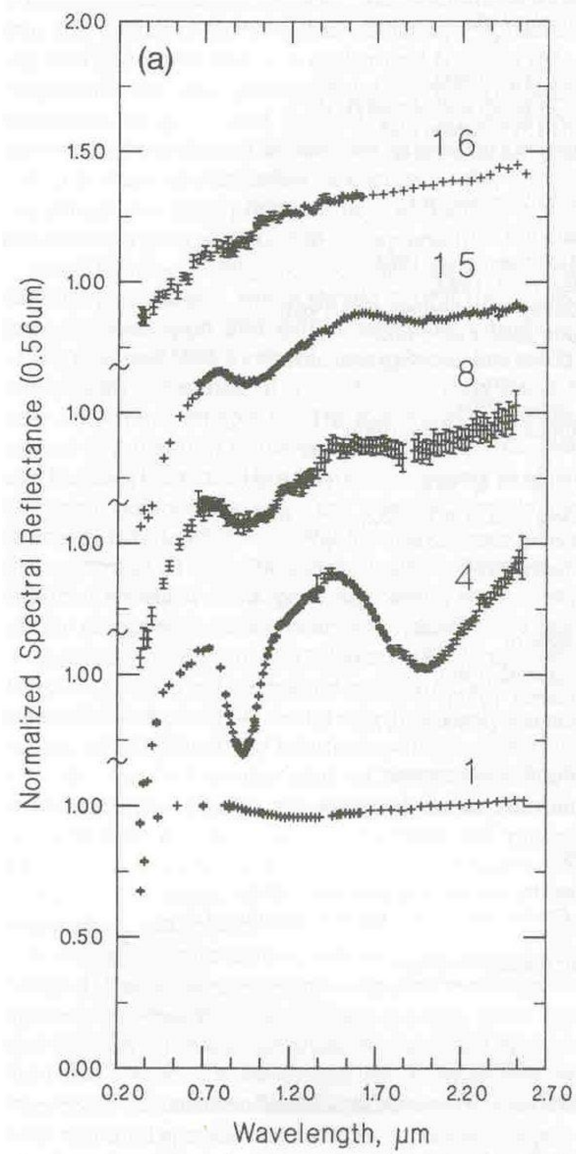
Espectroscopia de Baixa Resolução

composição & mineralogia



Laboratório: minerais & meteoritos

Telescópio: asteroides

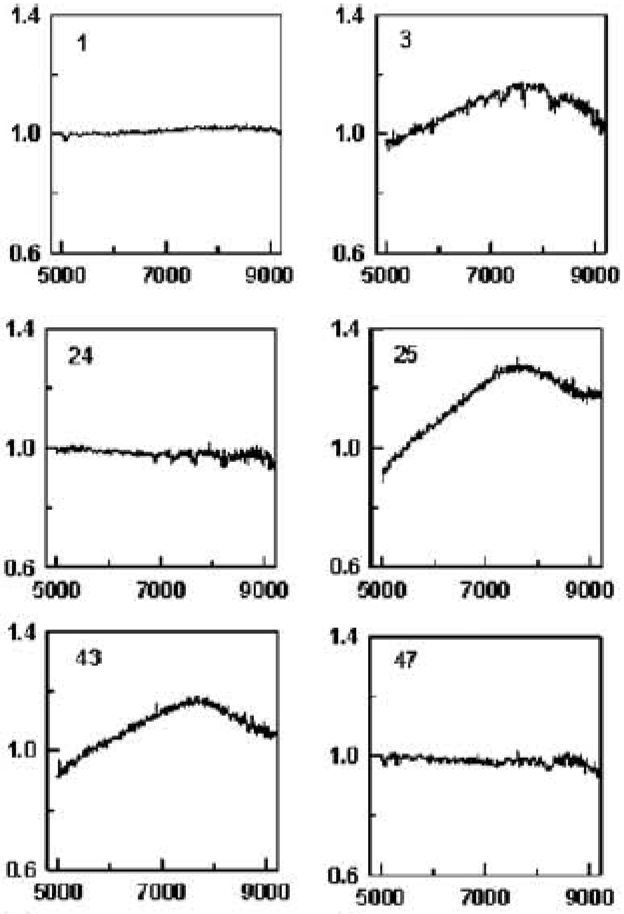


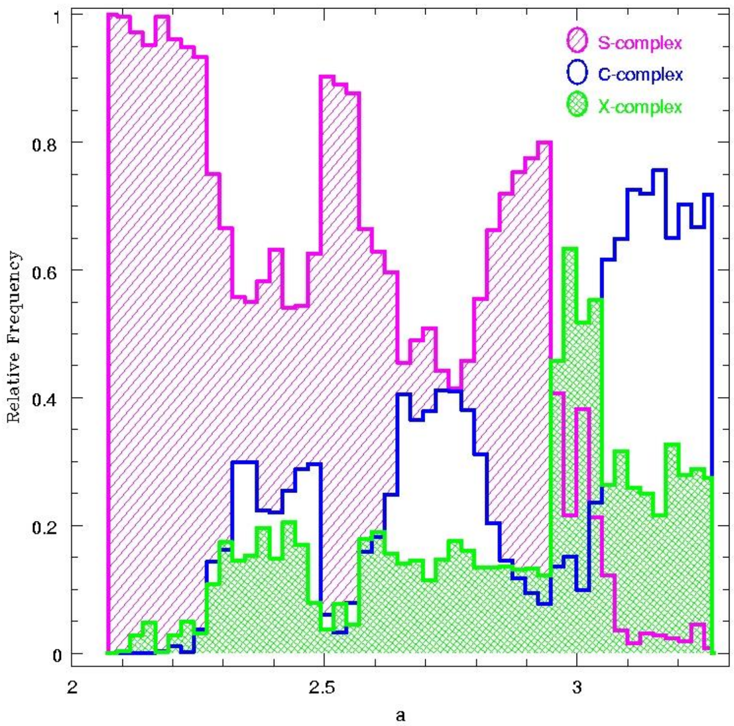
Taxonomia

Grupo de Ciências Planetárias do ON

S^3OS^2 = Small Solar System Objects Spectroscopic Survey

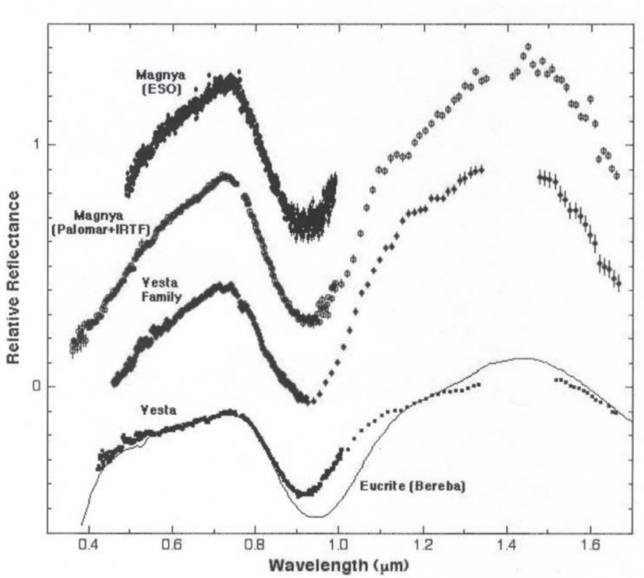
ESO - 1.5m
134 noites (Nov/1996 → Set/2001) ➔ 830 asteroides





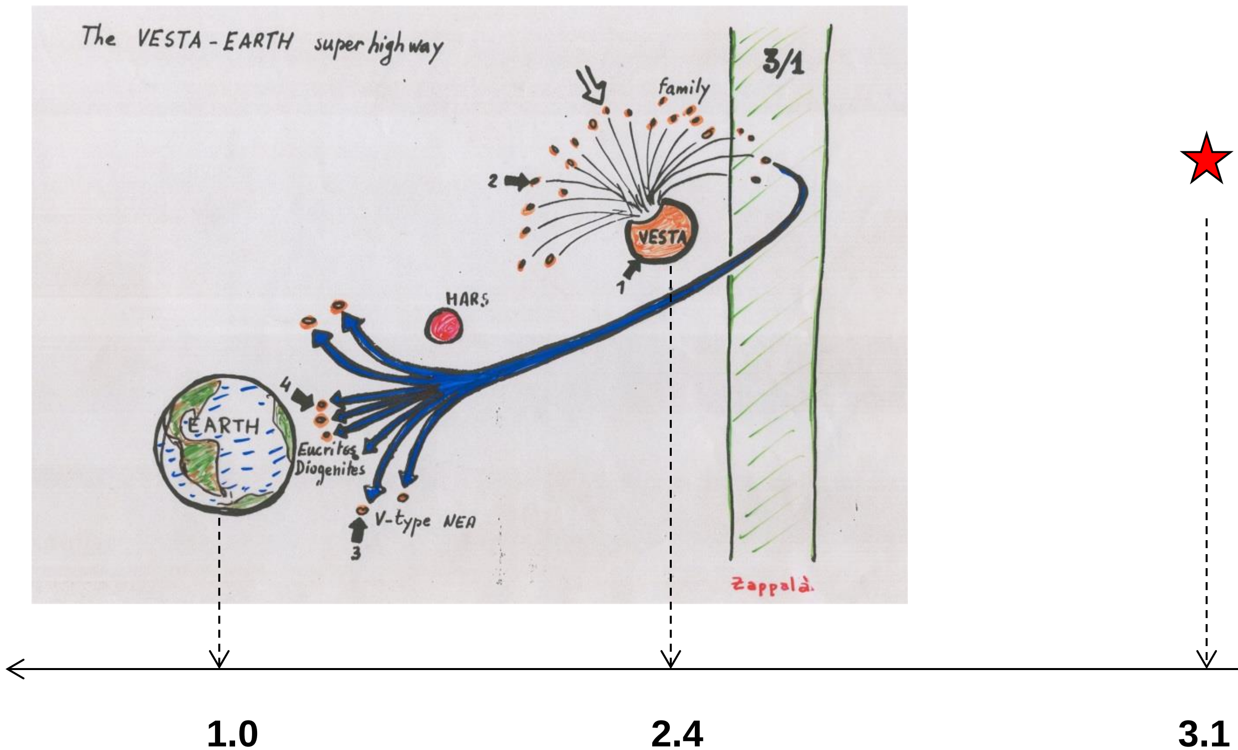
Lazzaro et al. 2004

Descoberta natureza basáltica de 1459 Magnya



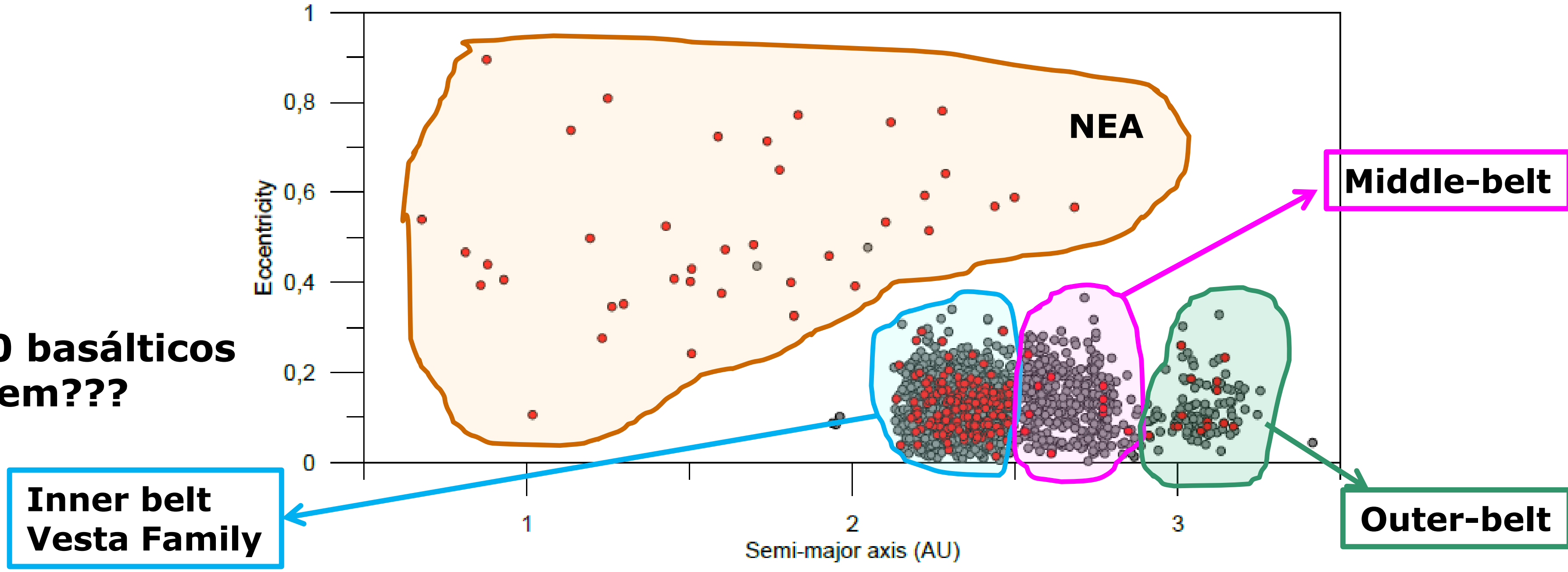
1.5m – ESO (Chile)
2.0m - Mount Palomar (USA)
3.0m – IRTF (Hawaii)

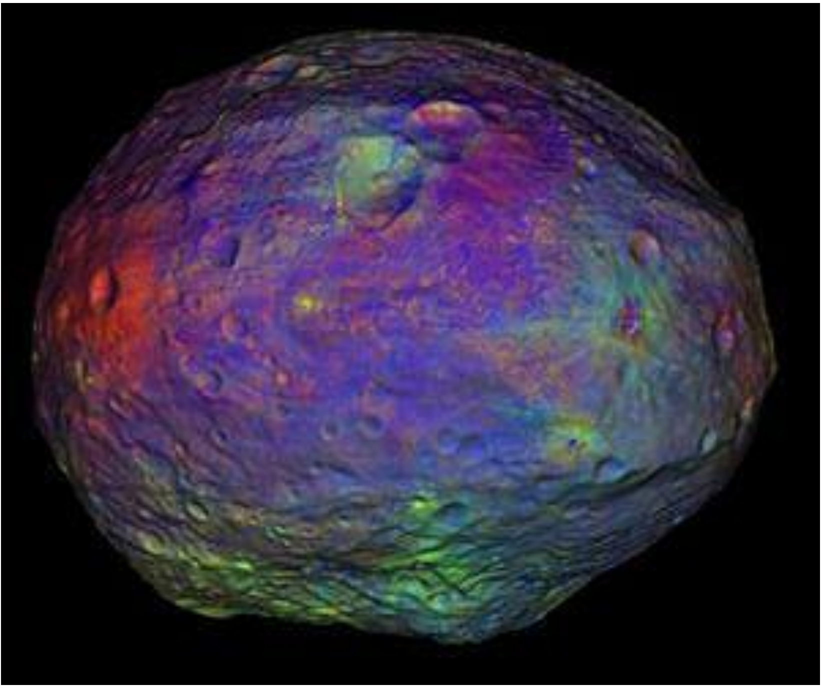
1459 Magnya: 17km
4 Vesta: 530km

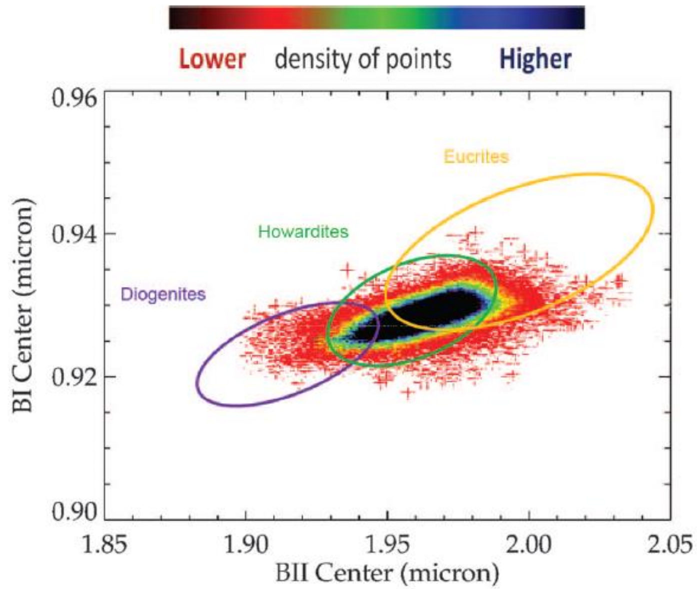


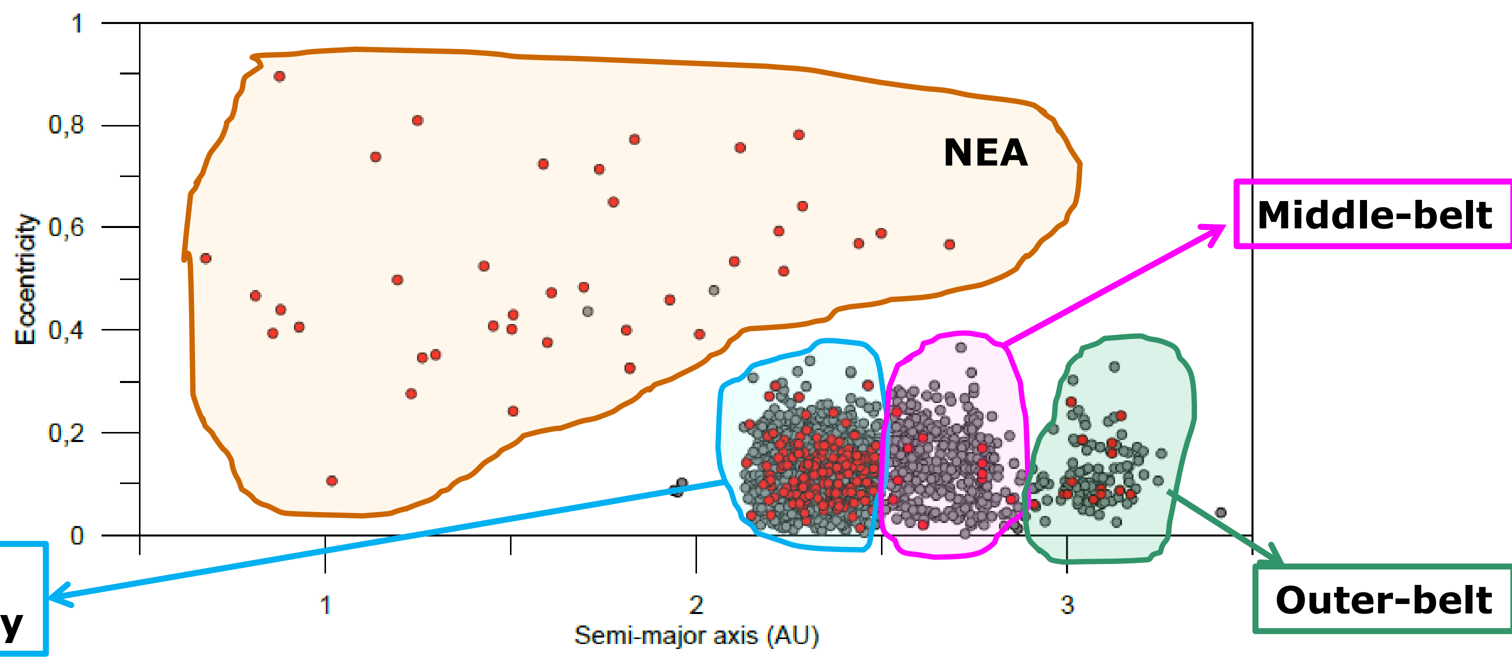
Lazzaro et al. 2000

2000 basálticos
Origem???



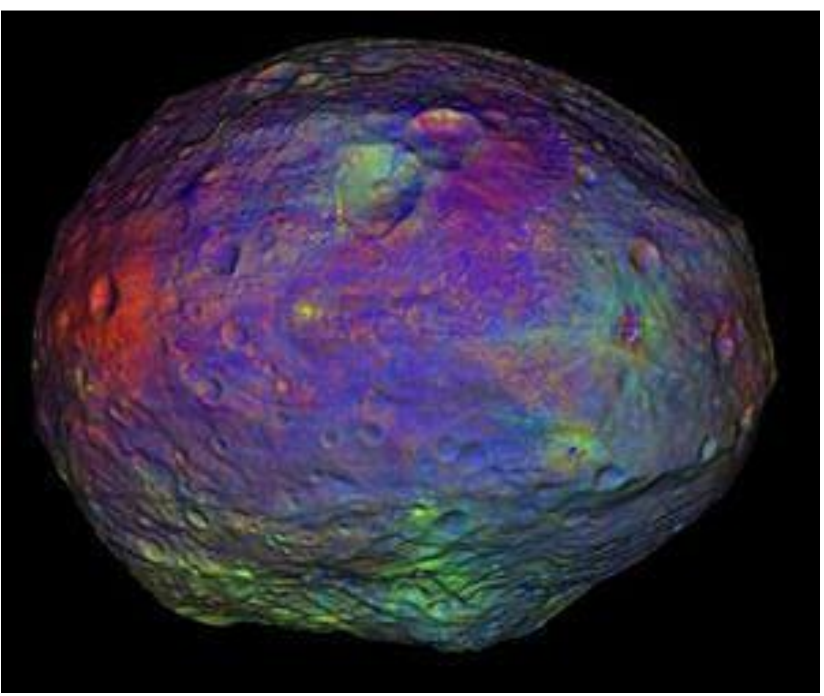


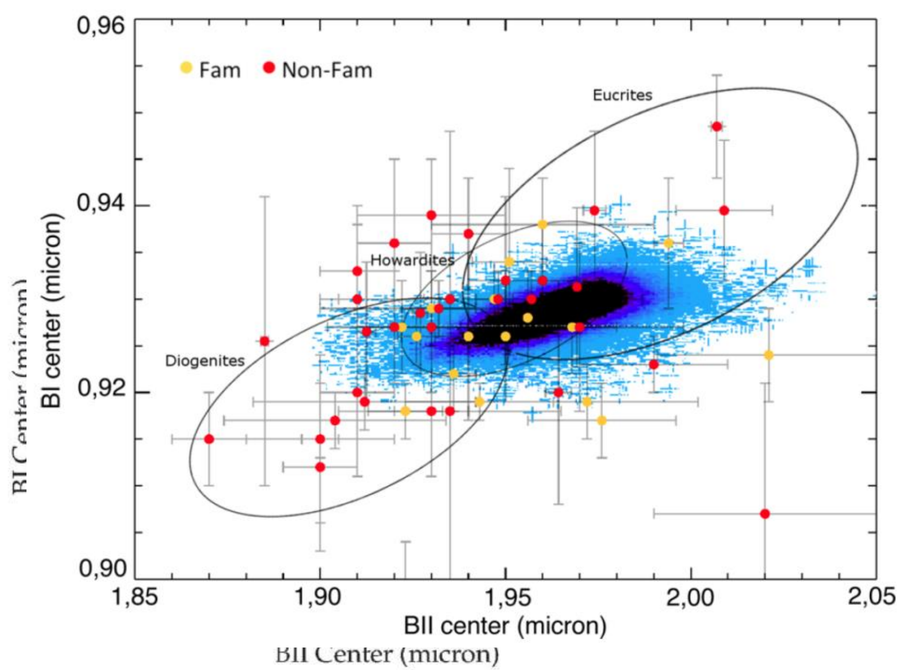


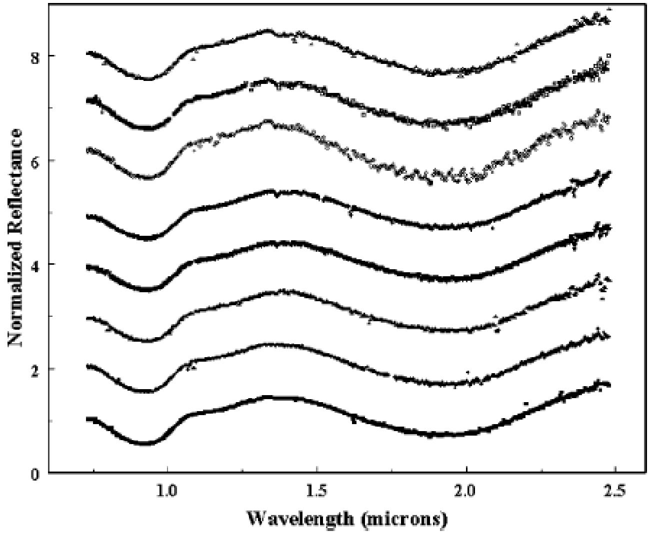


2000 basálticos
Origem???

Inner belt
Vesta Family

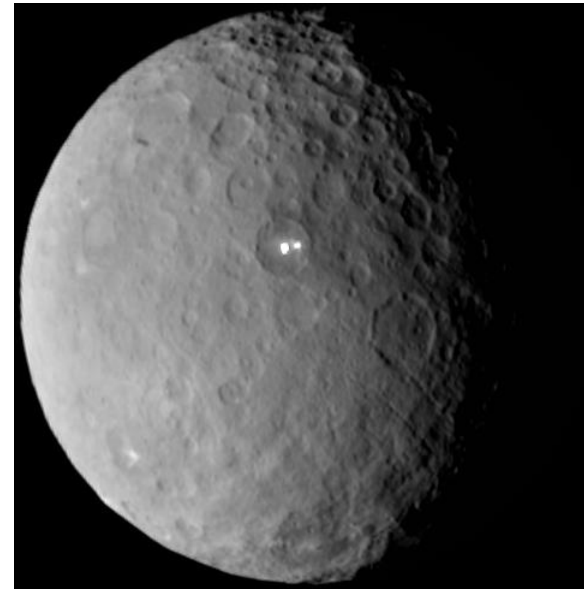




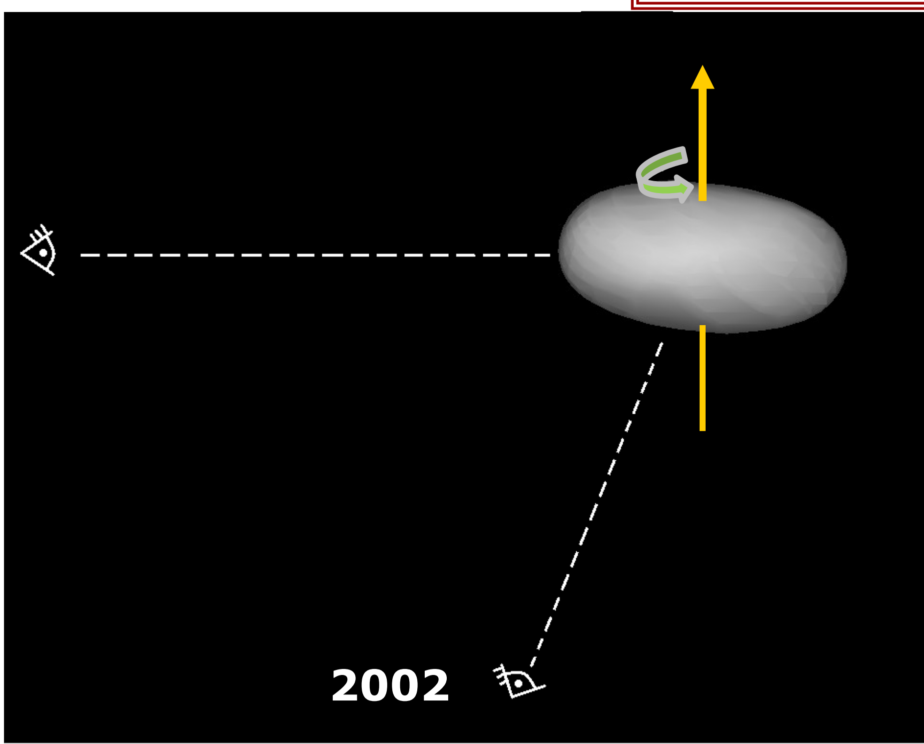


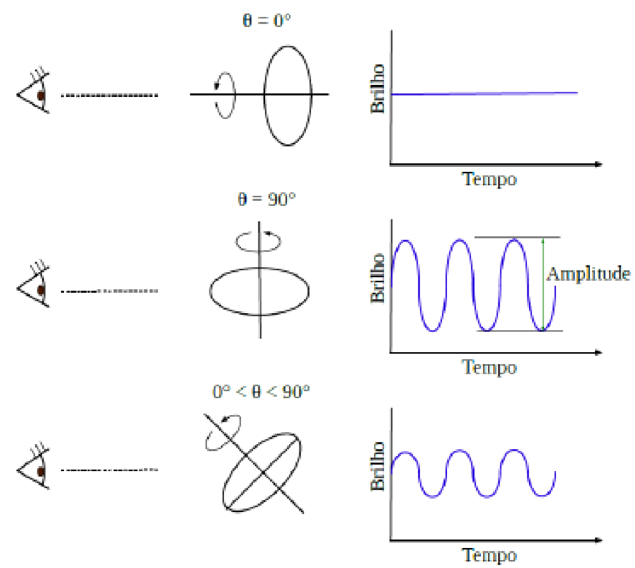
espectros rotacionais Magnya ➔superfície homogênea

Hardensen et al. 2004



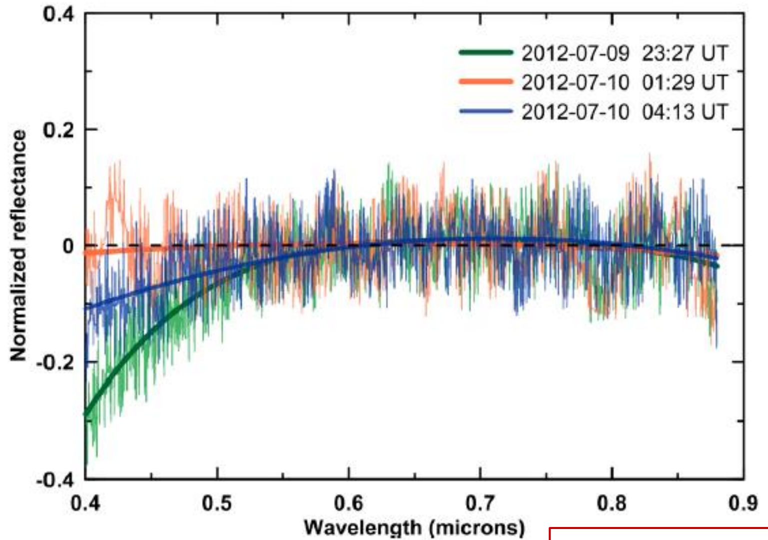
OPD: 1.5m + 0.6m
OASI: 1m
Dados da literatura

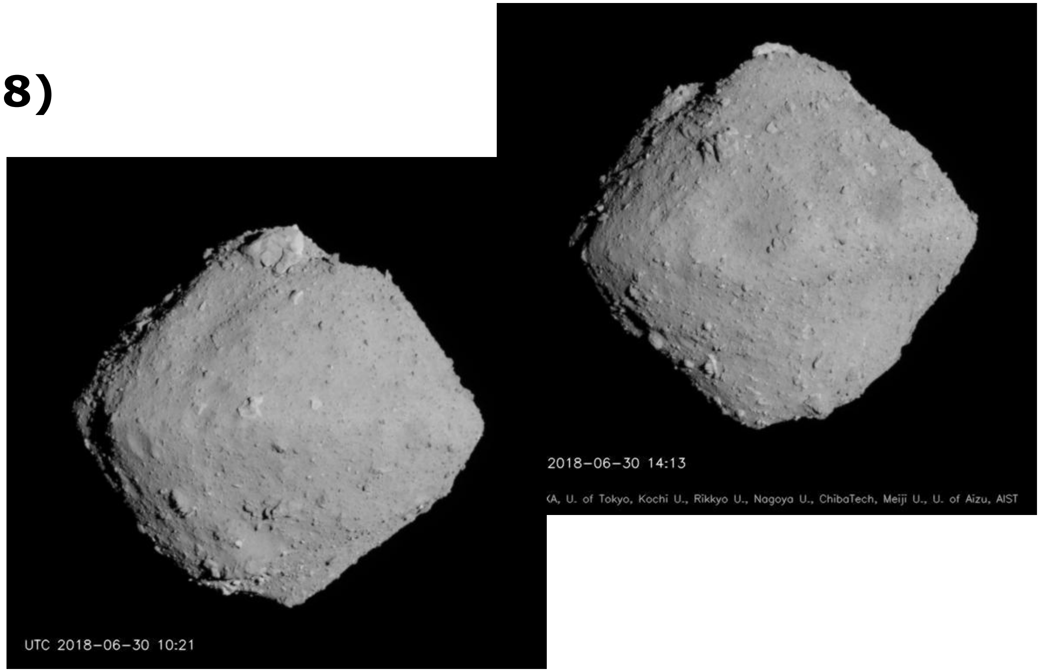




Silva & Lazzaro 2015

(162173) ~~1999 JU3~~ Ryugu → missão Hayabusa-2 (2014, jun/2018)

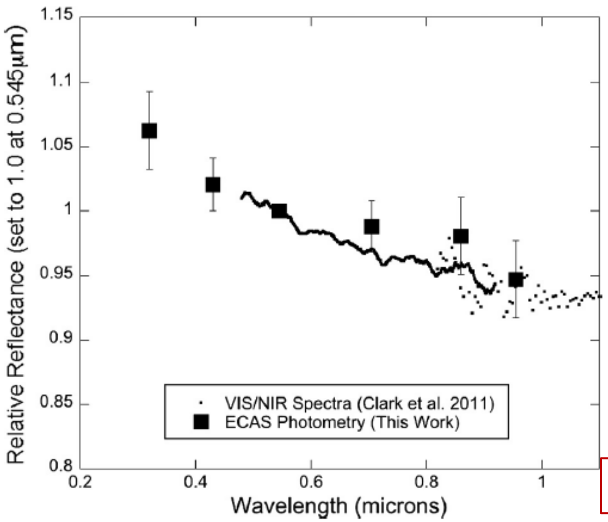




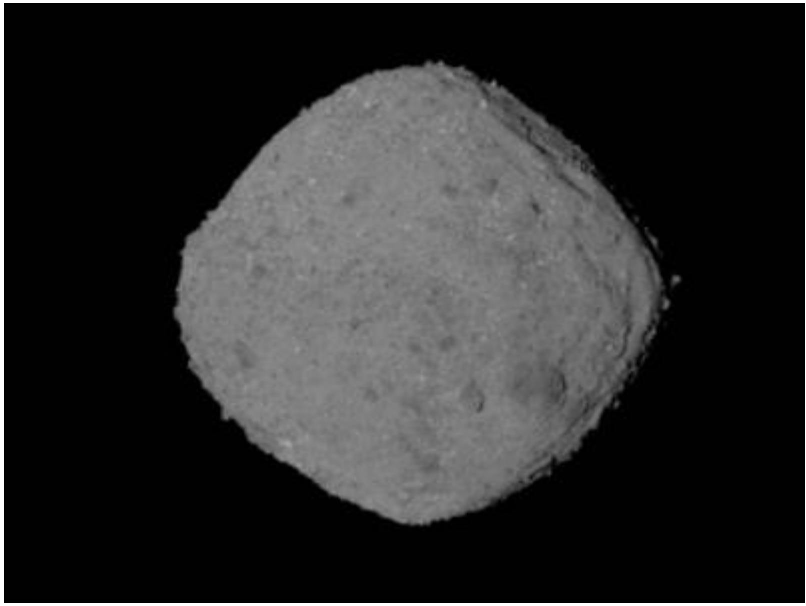
Lazzaro et al. 2012

SOAR: 4.2m

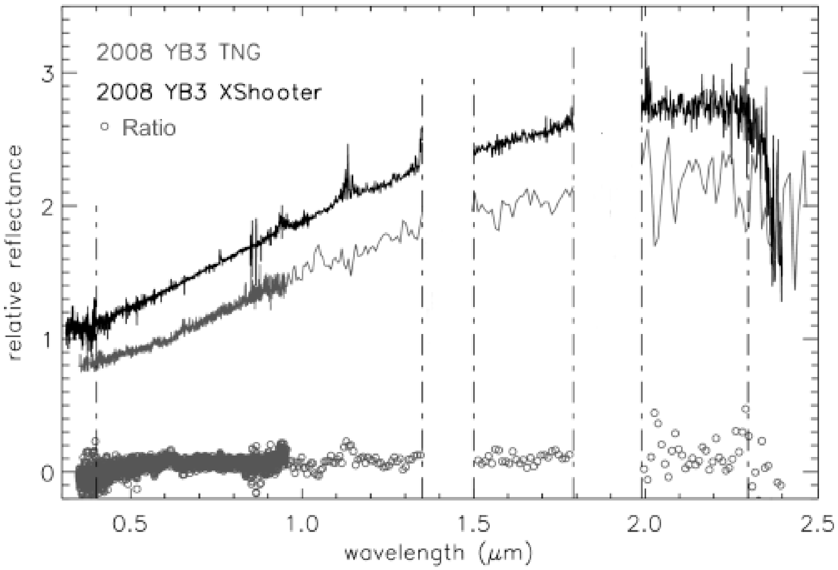
(101955) Bennu → missão OSIRIS-REx (2016, dez/2018)



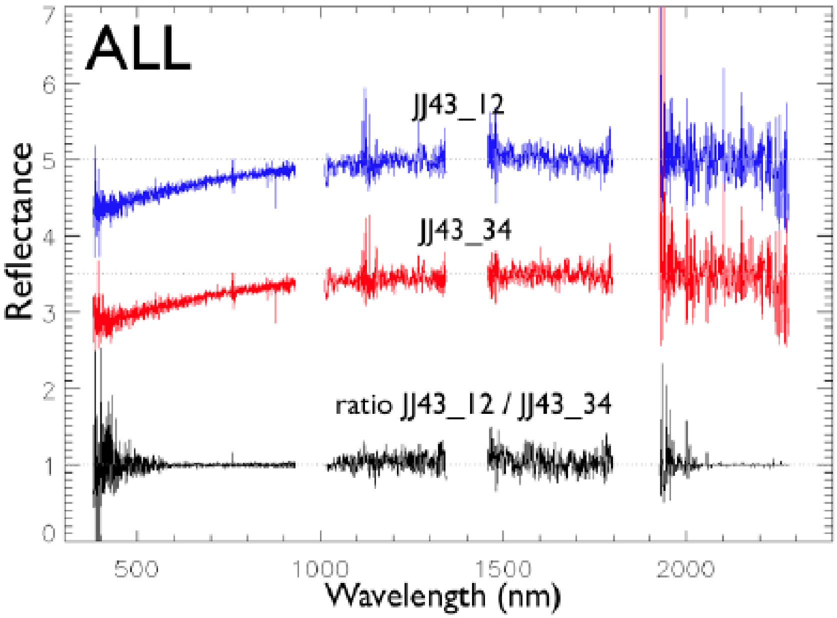
Hergenrother et al. 2013



Composição superficial TNOs e Centauros



V=17.6



V=20.1

8m - VLT-ESO
3.6m - TNG

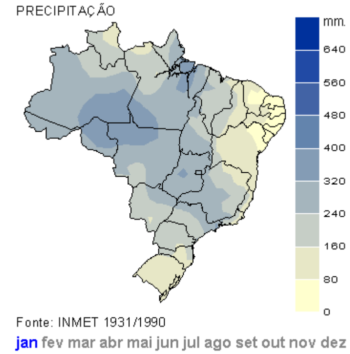
Pinilla-Alonso et al. 2013
Gourgeot et al. 2015

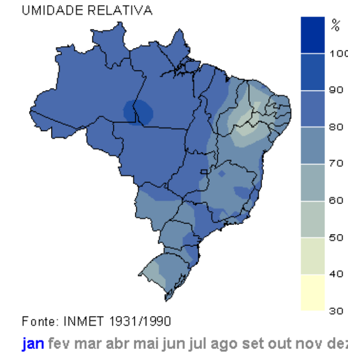
Observatório Astronômico do Sertão de Itaparica – OASI

Projeto IMPACTON

Iniciativa de Mapeamento e Pesquisa de Asteroides nas Cercanias da Terra no Observatório Nacional

Do projeto à realidade: o OASI





Itacuruba – PE

480 km de Recife / 260 km de Petrolina

~ 4.500 habitantes

Caracterização física de NEO

<u>Metodologia</u>:

- Fotometria de objetos selecionados

órbita

propriedades rotacionais e forma

propriedades fotométricas (H-G)

indíces de cor

- Missões observacionais de 15 noites por mes em torno da lua nova

Órbita

Cerca de 70% de todos os objetos descobertos pelos diversos survey são perdidos imediatamente por falta de follow-up...

Permite realizar estudos numéricos e estatísticos robustos sobre a evolução dinâmica passada e futura

Periodo rotação

Direção eixo

Forma

Importantes para impor vínculos sobre a evolução colisional e estrutura interna

Índices de cor

Fornecem inidicação sobre a composição superficial

Propriedades fotométricas

A magnitude absoluta (H) permite determinar o diâmetro do objeto (tendo o albedo!) e os parâmetros fotométricos fornecem indicações sobre a estrutura do regolito superficial.

Orbita → Y28 OASI, Nova Itacuruba

Follow-up de NEOs recém descobertos
Re-descoberta de NEOs perdidos

Em colaboração com:
NeoShield-2 project (UE)

ESA-NEO Coordination Center

~40 MPEC
desde 09/2015

MPEC 2015-T119: 2012 VE46

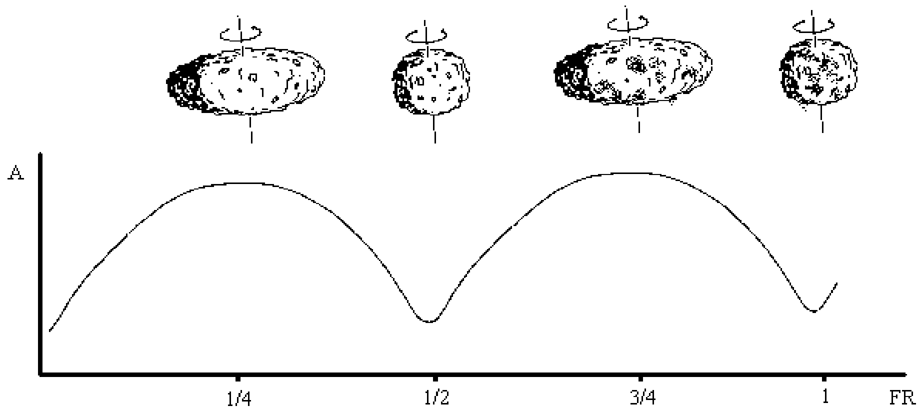
The following *Minor Planet Electronic Circular* may be linked-to from your own Web pages, but must not otherwise be redistributed electronically.

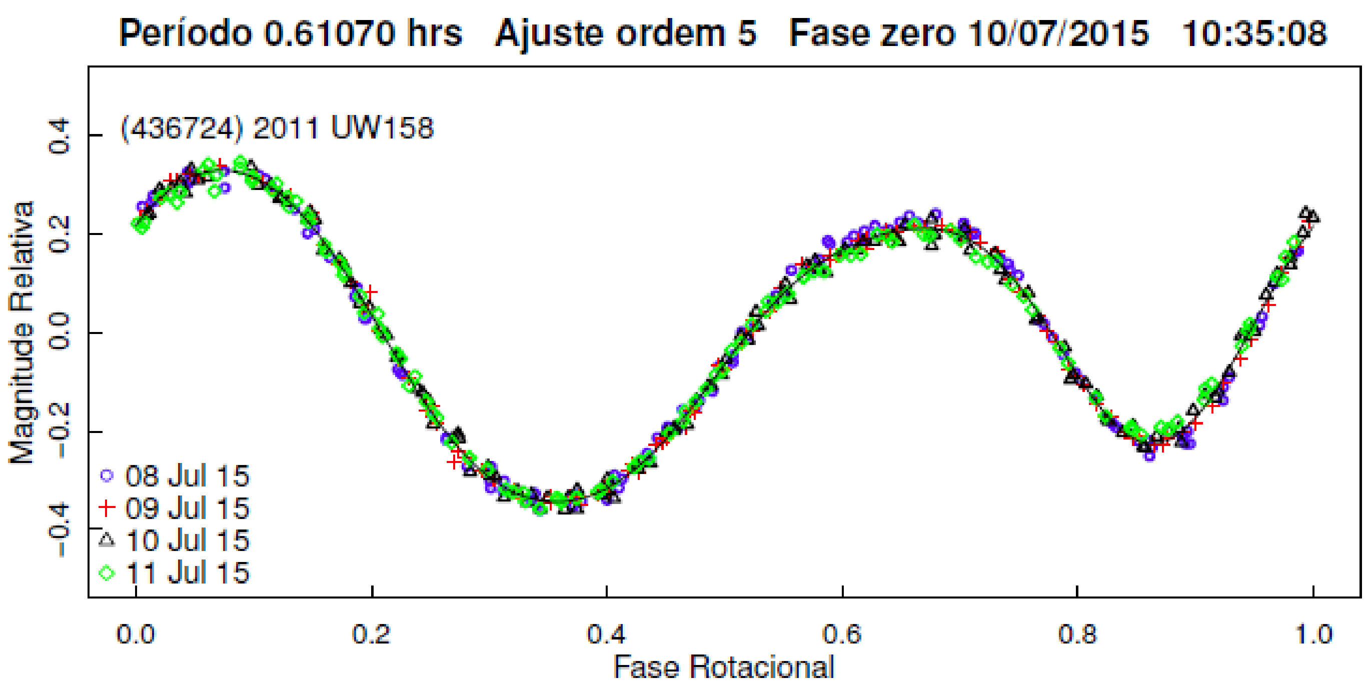
A form allowing access to any *MPEC* is at the bottom of this page.

◀ Read *MPEC* 2015-T118 ▶ Read *MPEC* 2015-T120

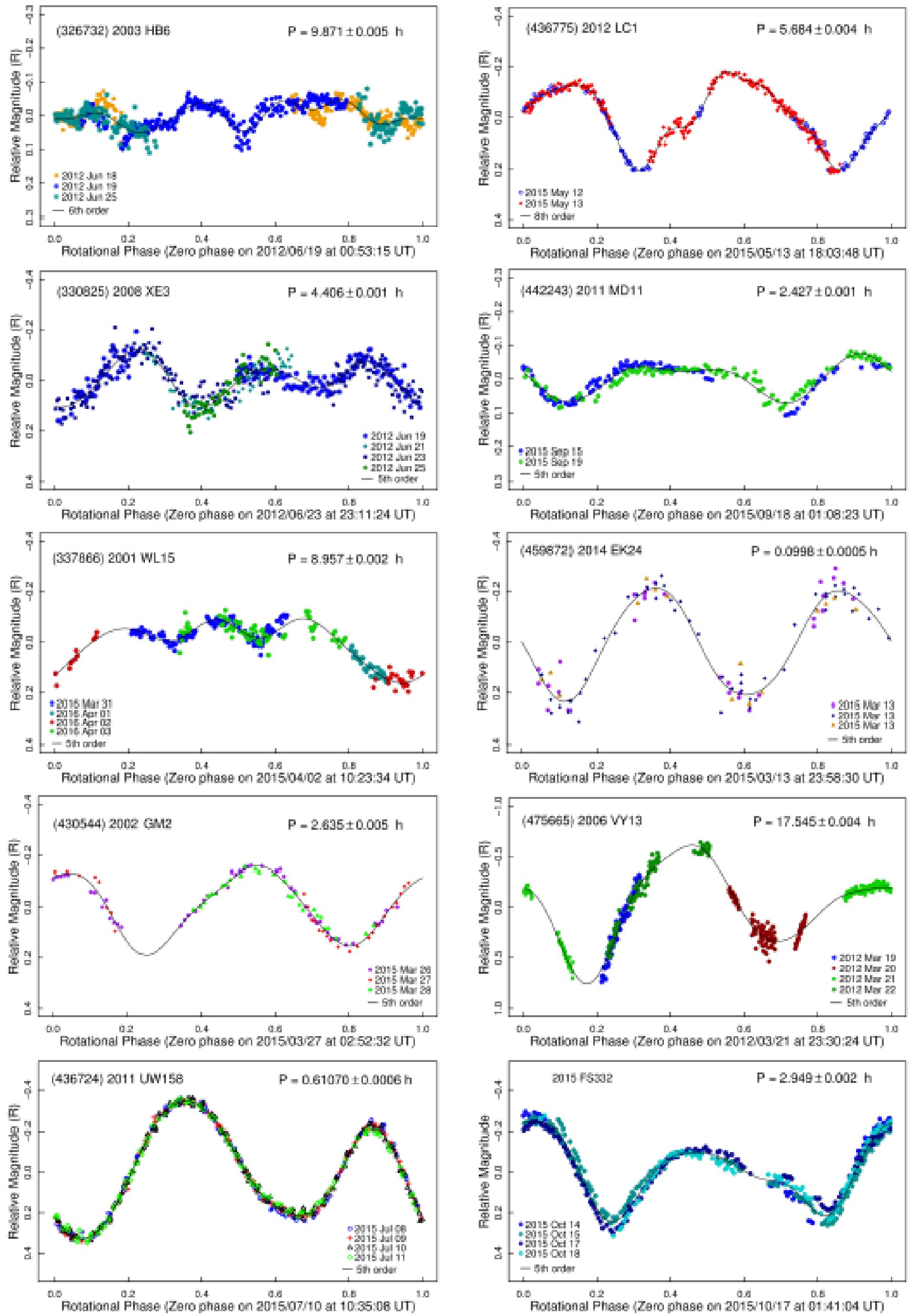
```
M.P.E.C. 2015-T119                               Issued 2015 Oct. 15, 10:23 UT

     The Minor Planet Electronic Circulars contain information on unusual
         minor planets and routine data on comets.  They are published
    on behalf of Division F of the International Astronomical Union by the
          Minor Planet Center, Smithsonian Astrophysical Observatory,
                          Cambridge, MA 02138, U.S.A.

             Prepared using the Tamkin Foundation Computer Network

                              MPC@CFA.HARVARD.EDU
            URL http://www.minorplanetcenter.net/    ISSN 1523-6714

                                   2012 VE46

                          Revision to MPEC 2012-V74

Additional Observations:
     K12V46E KC2015 10 11.83118 18 00 01.64 -25 32 05.4          19.4 RtET119J04
     K12V46E KC2015 10 11.83932 18 00 05.02 -25 31 52.7          19.7 RtET119J04
     K12V46E KC2015 10 11.84338 18 00 06.64 -25 31 46.5          19.6 RtET119J04
     K12V46E KC2015 10 14.91909418 20 54.250-24 10 22.32         19.6 RtET119Y28
     K12V46E KC2015 10 14.92173718 20 55.210-24 10 17.80         20.0 RtET119Y28

Observer details:
J04 ESA Optical Ground Station, Tenerife.  Observer P. Ruiz.  Measurers
    E. Schwab, M. Micheli, D. Koschny, A. Knoefel, M. Busch.  1.0-m f/4.4
    reflector + CCD.
Y28 OASI, Nova Itacuruba.  Observers F. Monteiro, J. S. Silva, D. Lazzaro,
    R. Souza, T. Rodrigues.  Measurers M. Micheli, F. Monteiro.  1.0-m f/7
    reflector + CCD.

First and last observations above in comparison with prediction:
Residuals in seconds of arc, reference and Delta-T
151011 J04  7.6+ 10.0+    151014 Y28  8.5+ 12.7+    MPO248931   -0.011 day
```

Propriedades rotacionais e forma





2012 → 2017
54 periodos



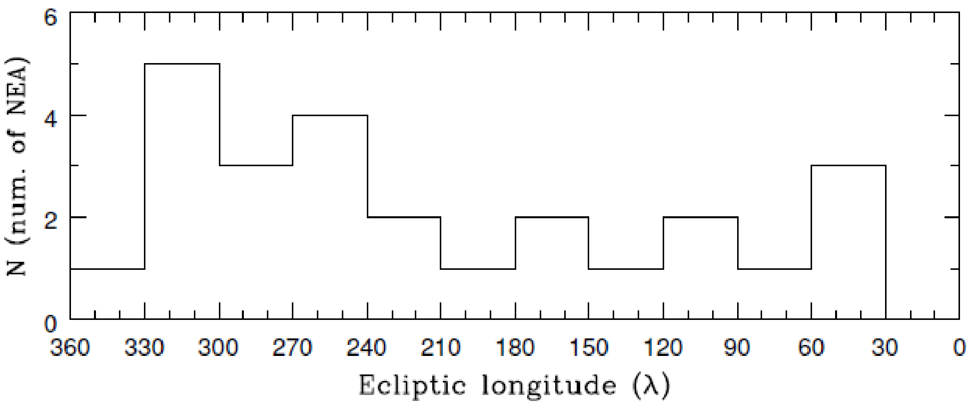
~6 min

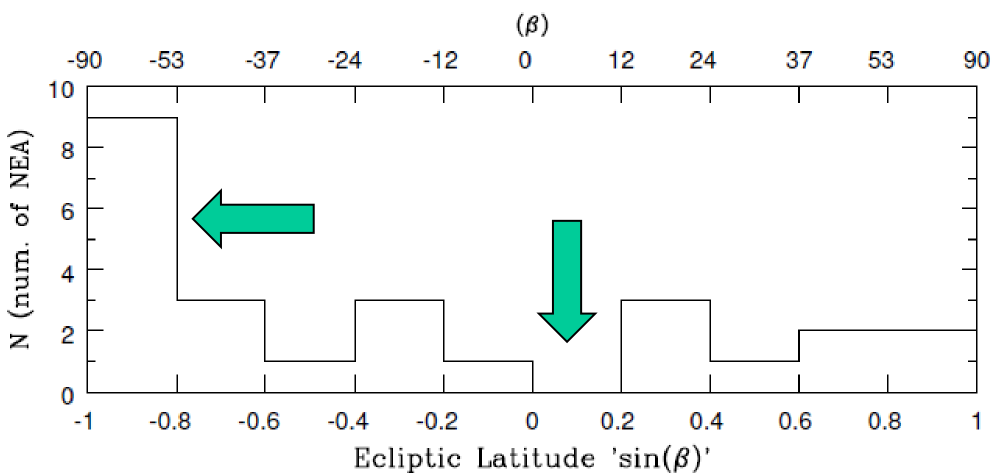
17,5 h

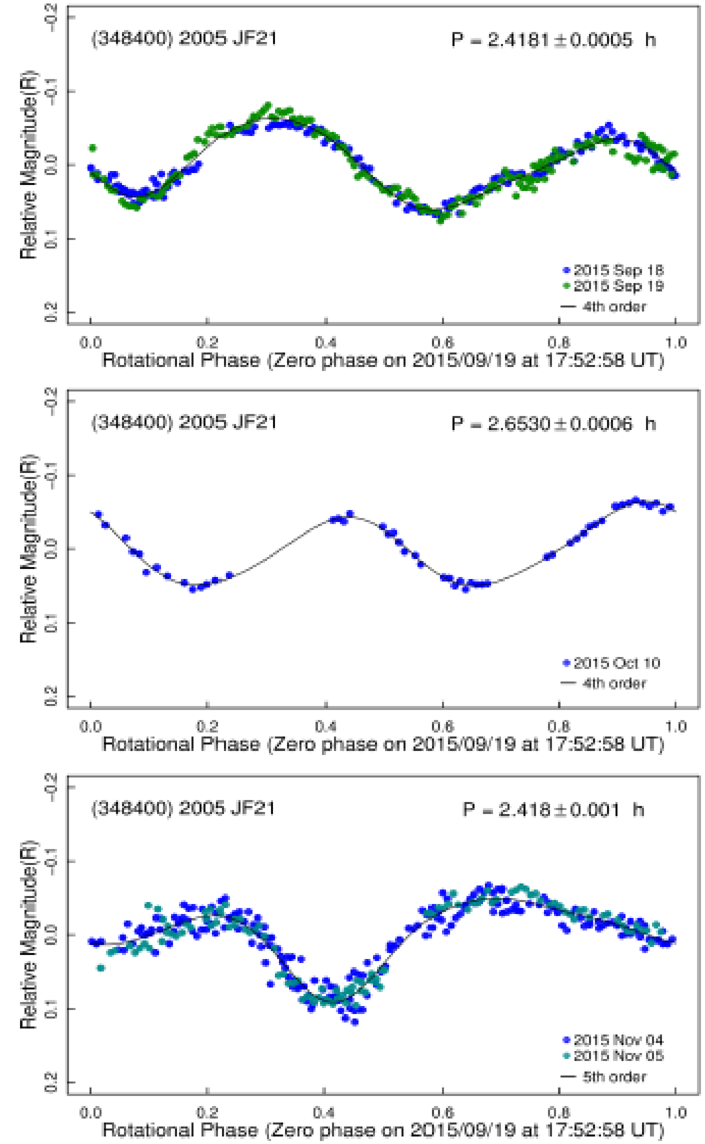
36,6 min

Monteiro et al. 2017
Monteiro et al. 2018a
Monteiro et al. 2018b

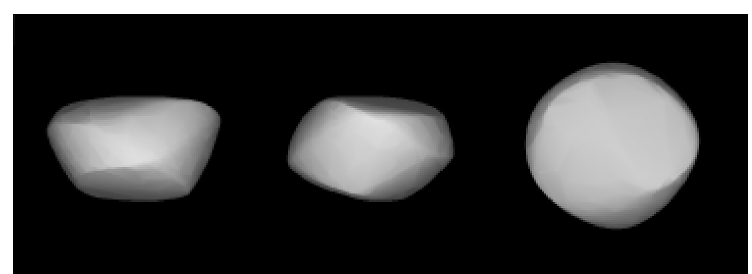
25 NEO: 10 OASI
15 literatura







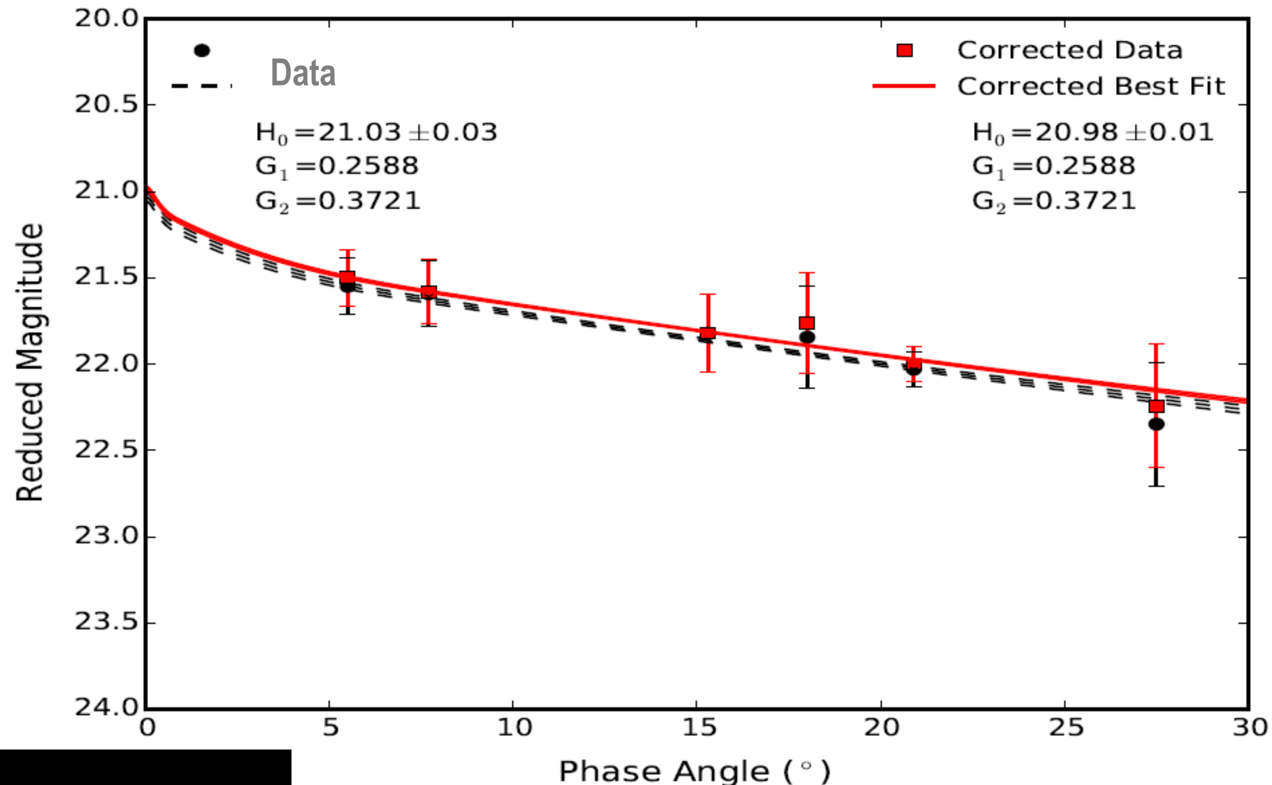
excesso rotação retrograda
ausência na direção da ecliptica



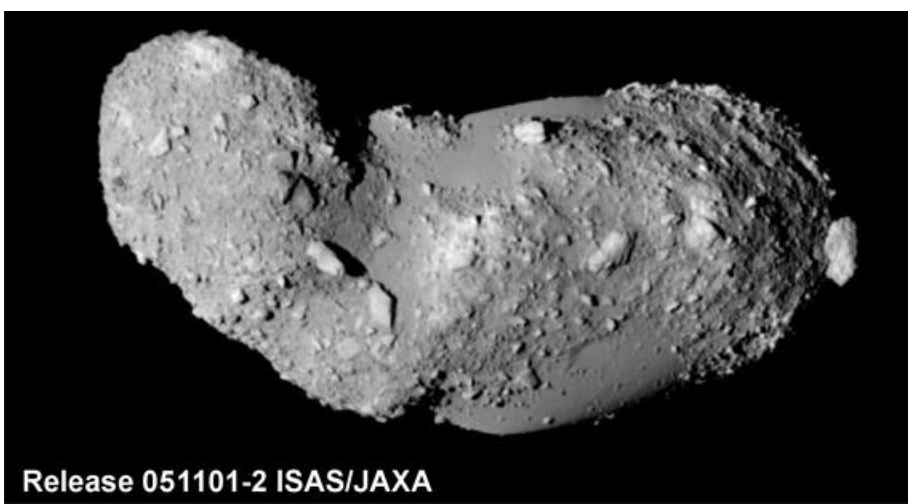
Silva et al. 2016
Monteiro et al. 2018b

Propriedades fotométricas

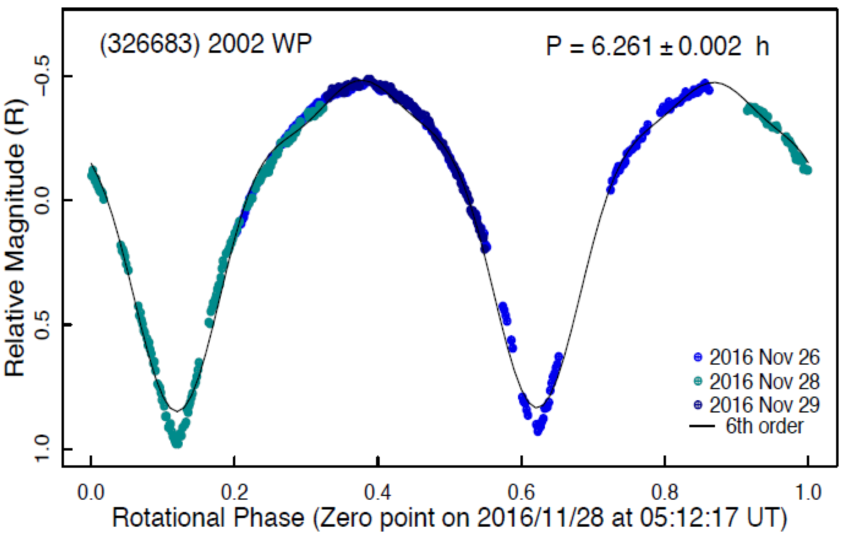
H = Magnitude absoluta asteroidal = magnitude reduzida em ângulo de fase 0º

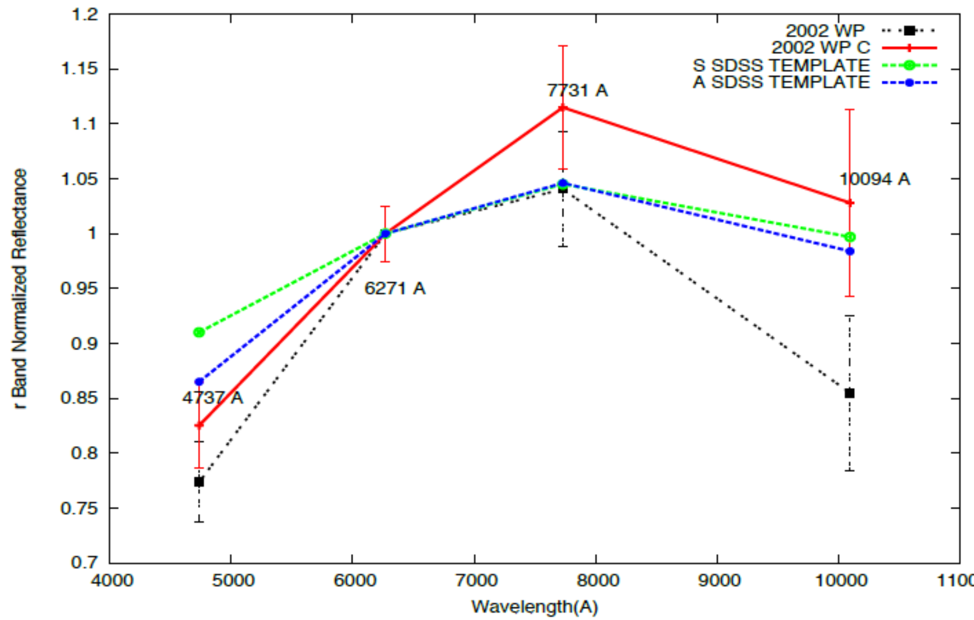


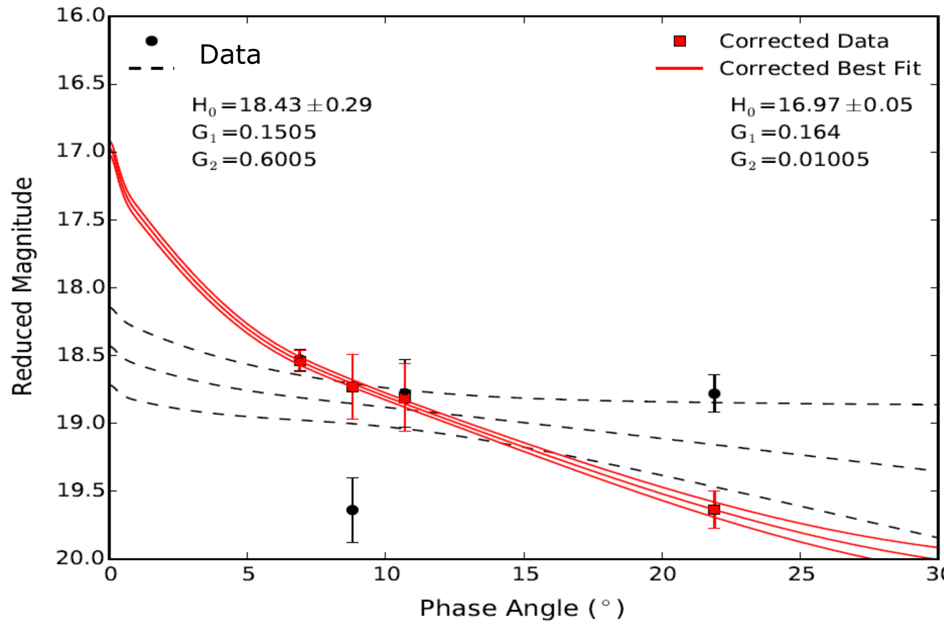
$G_1 - G_2$ =
Relacionados
à estrutura do
regolito superficial



Caracterização fotométrica completa







Rondón et al. 2019


Obrigado!