



PLANETAS E SISTEMAS PLANETÁRIOS (AGA0502)

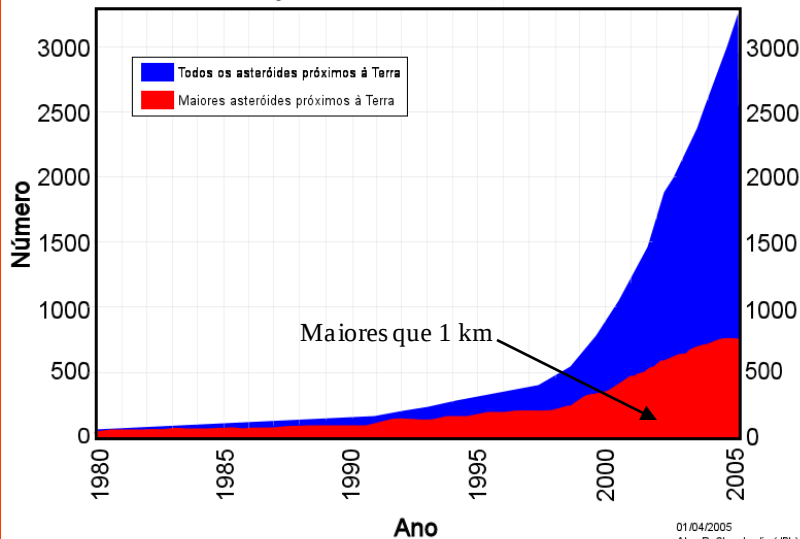
Enos Picazzio

METEORÓIDES (Rochas espaciais)

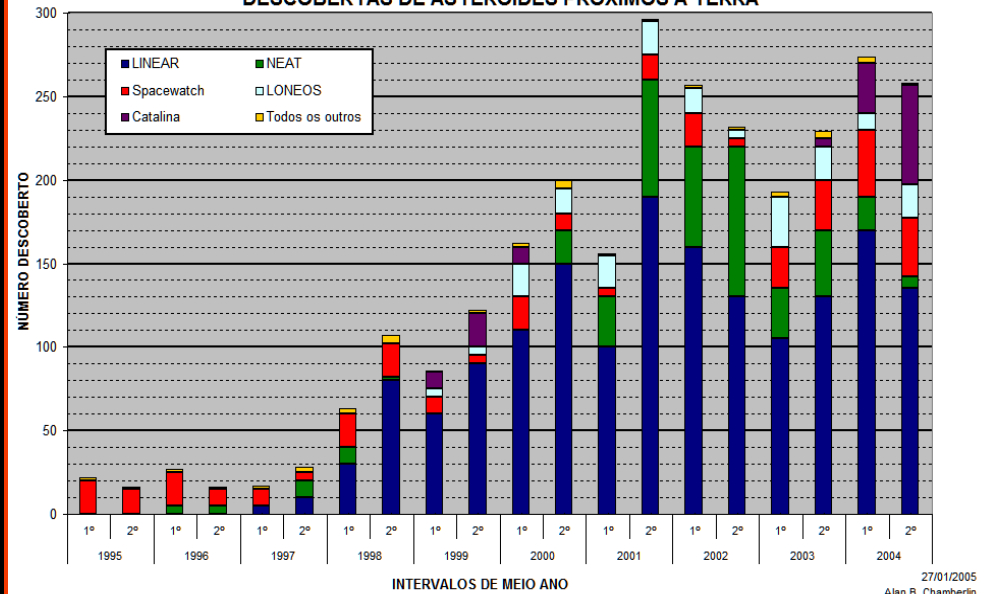


O que nos cerca?

ASTERÓIDES CONHECIDOS PRÓXIMOS À TERRA
janeiro/1980 a março/2005



DESCOBERTAS DE ASTERÓIDES PRÓXIMOS À TERRA

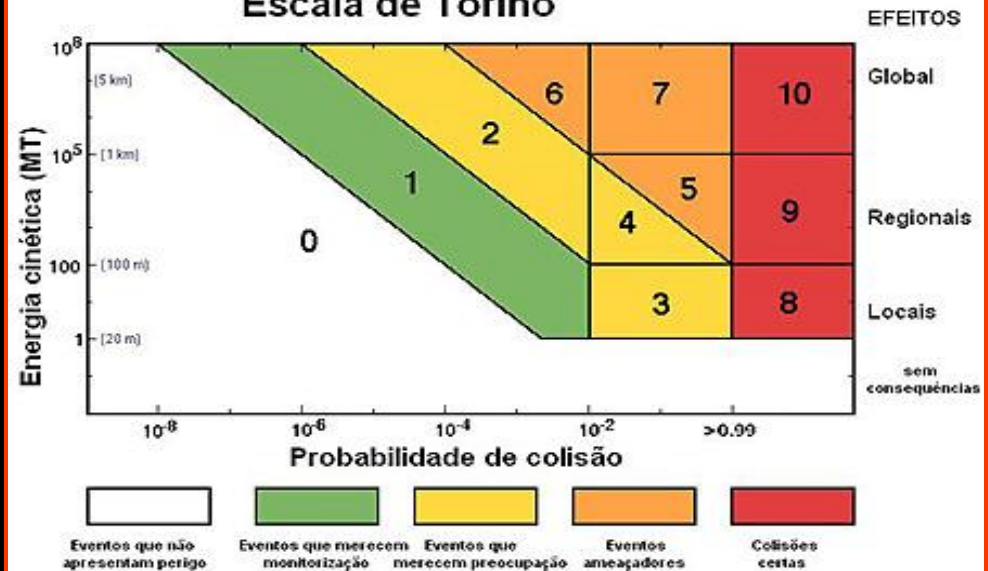


o espacial

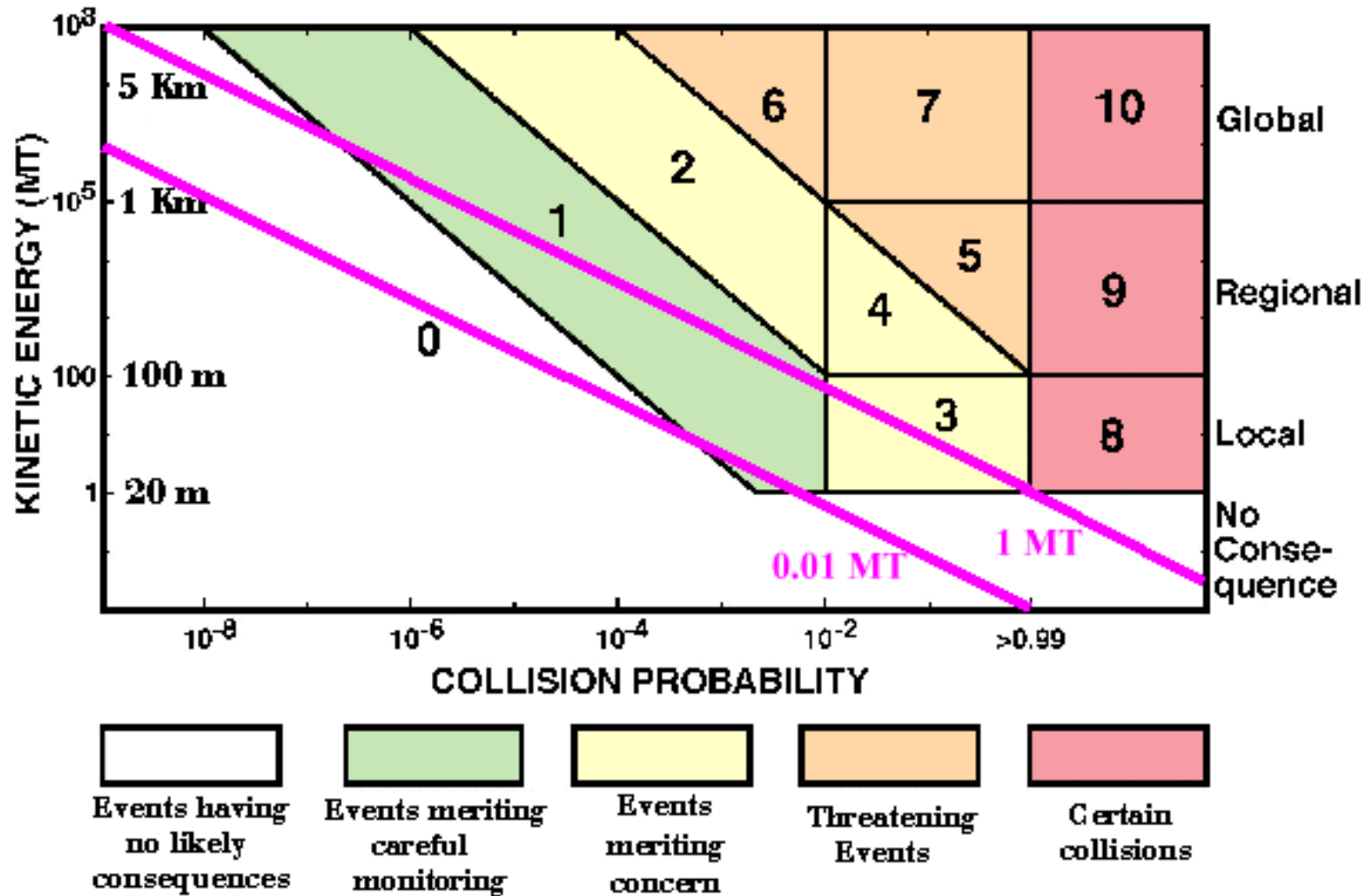
Tanque de combustível de foguete



Escala de Torino



O que nos cerca?



Definições oficiais

www.vialattea.net/libri/meteore.htm



Investigando a queda do meteorito L'Aigle, J.-B. Biot demonstrou em 1803 que essas rochas caíam de fato do céu!

Meteoróide

Fragmento rochoso vagando pelo espaço interplanetário.

Meteoro

Fenômeno luminoso efêmero, resultante da passagem de um meteoróide pela atmosfera terrestre (30.000 a 250.000 km/h). **Bola de Fogo:** meteoro muito brilhante, produzido por corpo bem maior.

Meteorito

Meteoróide que sobreviveu à passagem pela atmosfera e atingiu o solo.

Poeira Zodiacal

diminutos fragmentos rochosos concentrados no plano da eclíptica

Definition of terms by the IAU Commission 22, 1961. (International Astronomical Union)

- A. **Meteor:** in particular, the light phenomenon which results from the entry into the Earth's atmosphere of a solid particle from space; more generally, as a noun or an adjective, any physical object or phenomenon associated with such an event.
→ E o efeito luminoso, o que é?
- B. **Meteoroid:** a solid object moving in interplanetary space, of a size considerably smaller than an asteroid and considerably larger than an atom or molecule.
- C. **Meteorite:** any object defined under B which has reached the surface of the Earth without being completely vaporized.
- D. **Meteoric:** the adjectival form pertaining to definitions A and B.
- E. **Meteoritic:** the adjectival form pertaining to definition C.
- F. **Fireball:** a bright meteor with luminosity which equals or exceeds that of the brightest planets.
- G. **Micrometeorite:** a very small meteorite or meteoritic particle with a diameter in general less than a millimeter.
- H. **Dust:** when used with D or E---finely divided solid matter, with particle sizes in general smaller than micrometeorites.

Meteoros e Meteoritos



Peekskill, New York, 9/10/1992

Location:
Olmsted Falls
(suburb of Cleveland, OH)
©Craig P. Contofalsky
6619 Josephine Dr.,
Independence, OH
USA
44131



Velocidade de penetração: de 11 a 72 km/s



Park Forest, Illinois

Meteoro na Russia: 15/02/2013



Meteoro na Russia: 15/02/2013



Mergulhadores russos tiraram do fundo de um lago um fragmento rochoso de cerca de 570 quilos, que seria parte do meteorito que caiu perto da cidade de Chelyabinsk, nos Urais.



Chuva (ou Chuveiro) de Meteoros



Leonídeos, retratado em
13 de novembro de 1833

Usualmente os meteoros são vistos esporadicamente, vindos de qualquer direção. A quantidade aumenta na madrugada, pouco antes do Sol nascer.

Mas também ocorrem épocas determinadas, em quantidade bem mais elevada: são as chuvas ou chuveiros de meteoros.

Eles parecem vir de uma mesma região do céu, denominada Radiante. O chuveiro é identificado pelo nome da constelação onde localiza-se o radiante: Leônidas (chuva) ou Leonídeos (chuveiro) possui o radiante na constelação do Leão.

Chuva (ou Chuveiro) de Meteoros

Radiante: ponto de onde parecem vir os meteoros. Tem o nome da constelação em que se encontra. É simplesmente um efeito de perspectiva.



Leonídeos, retratado em
13 de novembro de 1833



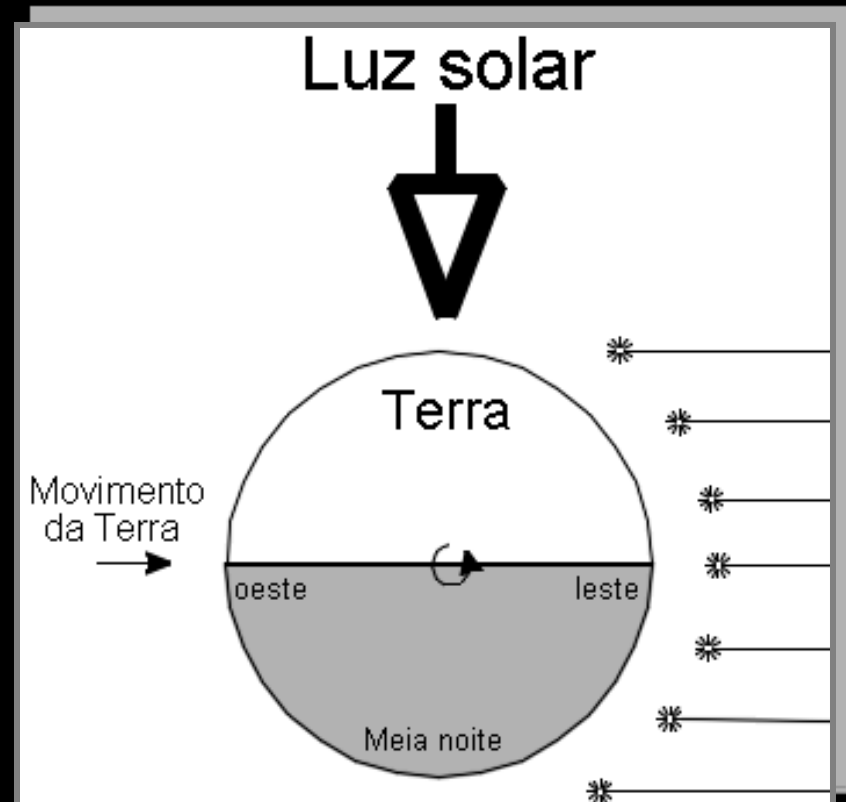
<u>Nome</u>	<u>Radiante</u>	<u>Cometa</u>	<u>Época</u>
Aquáridas	Aquário	Halley	02-06/05 25-31/06
Perseidas	Perseu	Swift-Tuttle	10-14/08
Dracônidas	Dragão	Giacobini_Zinner	09-19/10
Leônidas	Leão	Temple-Tuttle	14-19/10

Leonídeos (2001)

Chuva (ou Chuveiro) de Meteoros

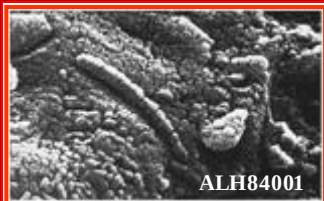


Leonídeos, retratado em
13 de novembro de 1833

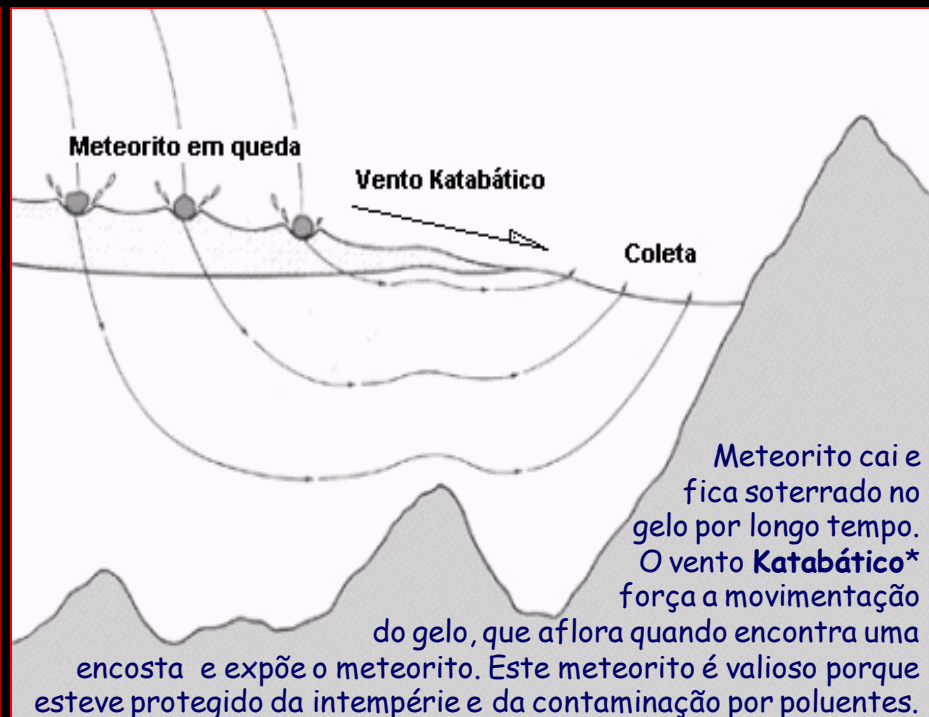
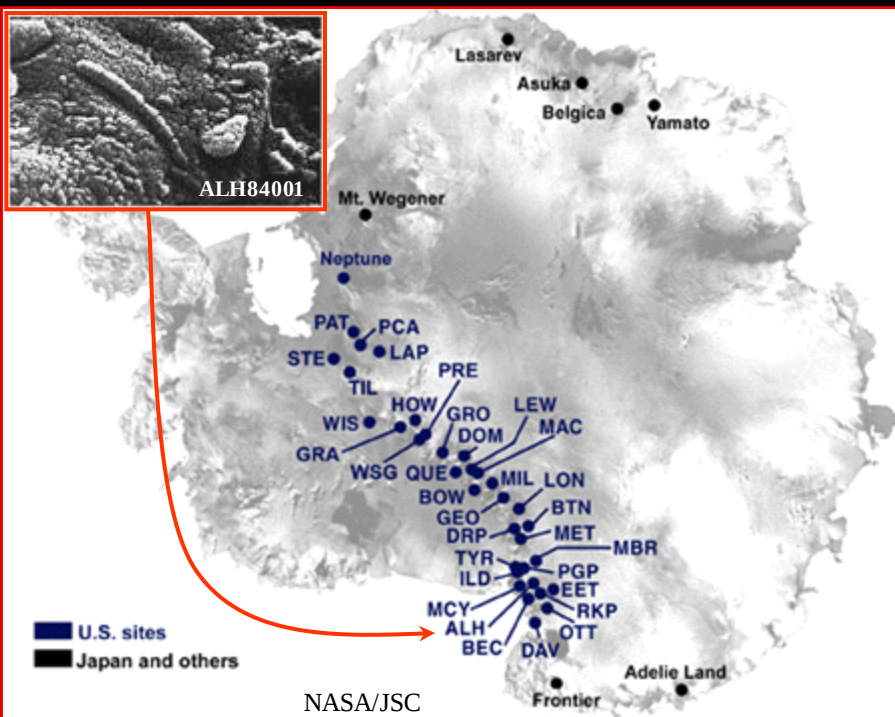


Melhor horário para se observar é a madrugada: nesse momento a face leste está voltada para a direção do movimento orbital da Terra e o fluxo de meteoros é máximo.

Onde e como são encontrados os meteoritos?



ALH84001



Vento Katabático ou Vento das Geleiras:
causado pelo ar que se resfria nas geleiras,
torna-se mais pesado que o ar das
vizinhanças e flui para o vale.

Meteoritos da Antártica

Onde e como são encontrados os meteoritos?

Em regiões áridas

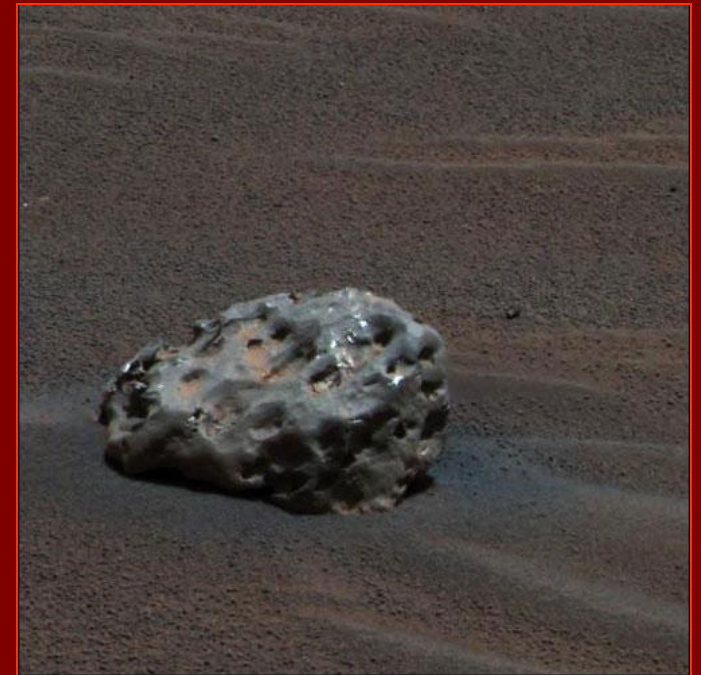


Terra



Marte

Opportunity, 6/1/2005



Onde e como são encontrados os meteoritos?

Sibéria
Sikhote-Alin

Ocorrência:
manhã de 12 / 02 / 1947.



Parte do meteorito metálico (180 g)



Tipos e composição química básica

metálicos (sideritos):
4%

ferropétreos (siderólitos):
1%

condritos:
ordinários - 81%
carbonáceos - 5%

acondritos:
9%

meteoritos de Marte:
meteoritos da Lua:

essencialmente Fe e Ni
(90 a 95% de Fe + 5 a 10% de Ni)

rocha e liga metálica de Fe e Ni

rochas com côndrulos (fragmentos
aproximadamente esféricos compostos
principalmente por olivinas e piroxênios)
 $(Mg,Fe)SiO_4$ $(Mg,Fe)SiO_3$

rochas sem côndrulos

grupo SNC

Iron Meteorite

Iron 91%
Nickel 8.5%
Cobalt 0.6%

Sources: Encyclopaedia
Britannica, space.com, and the
[Space Studies Institute](http://SpaceStudiesInstitute).

Stony Meteorite

Oxygen 36%
Iron 26%
Silicon 18%
Magnesium 14%
Aluminum 1.5%
Nickel 1.4%
Calcium 1.3%

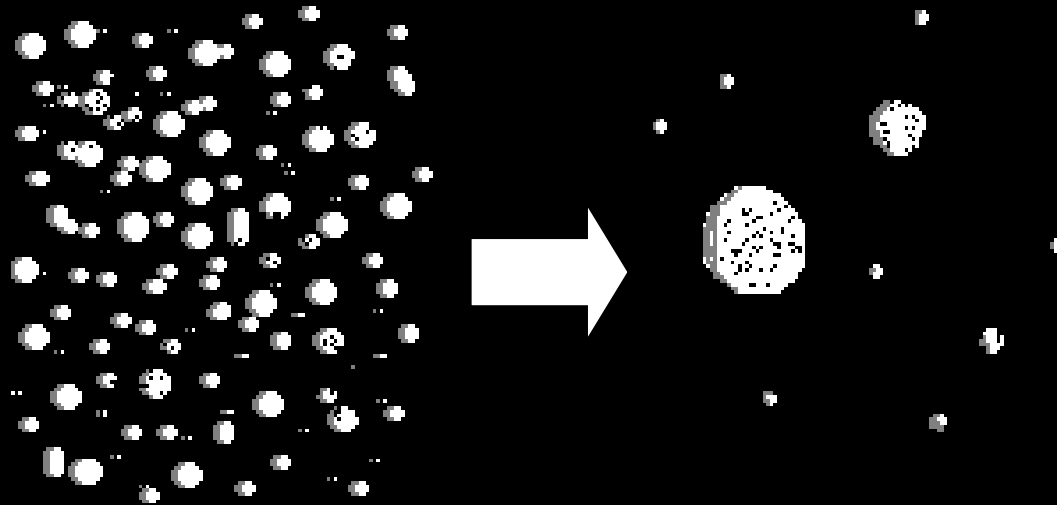
Earth's Crust

Oxygen 49%
Silicon 26%
Aluminum 7.5%
Iron 4.7%
Calcium 3.4%
Sodium 2.6%
Potassium 2.4%
Magnesium 1.9%

Lunar Crust

Oxygen 42%
Silicon 21%
Iron 13%
Calcium 8%
Aluminum 7%
Magnesium 6%
Other 3%

Depois de formados os planetas,
o que aconteceu com os resíduos?



Destino dos resíduos

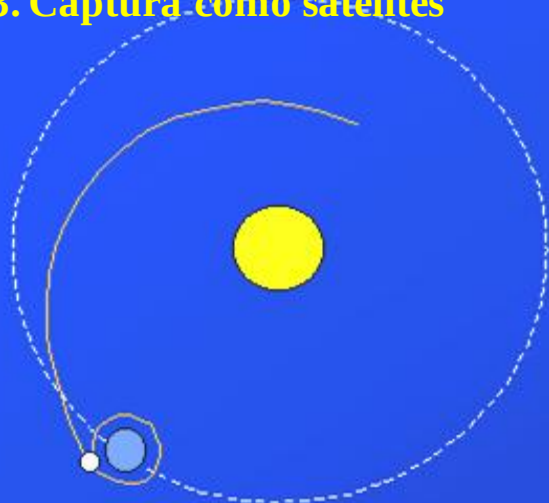


1. Colisão com planetas



2. Ejeção do Sistema Solar

3. Captura como satélites



4. Fragmentação



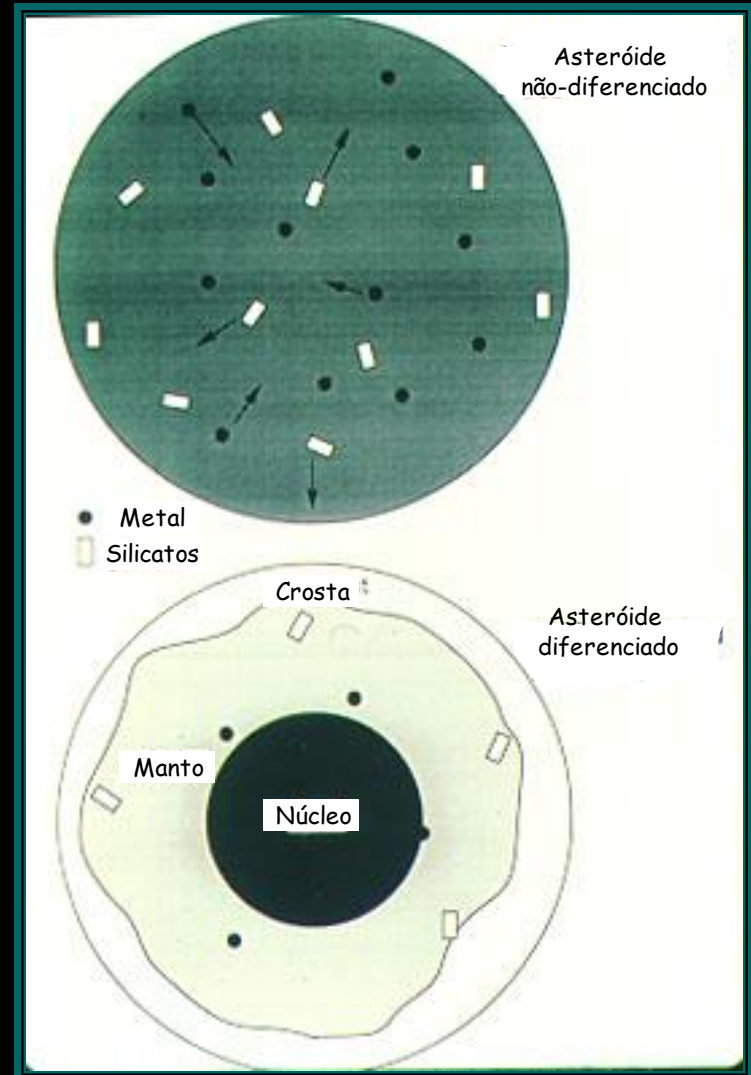
5. Permanência
como resíduos

A diferenciação e os tipos de meteoritos

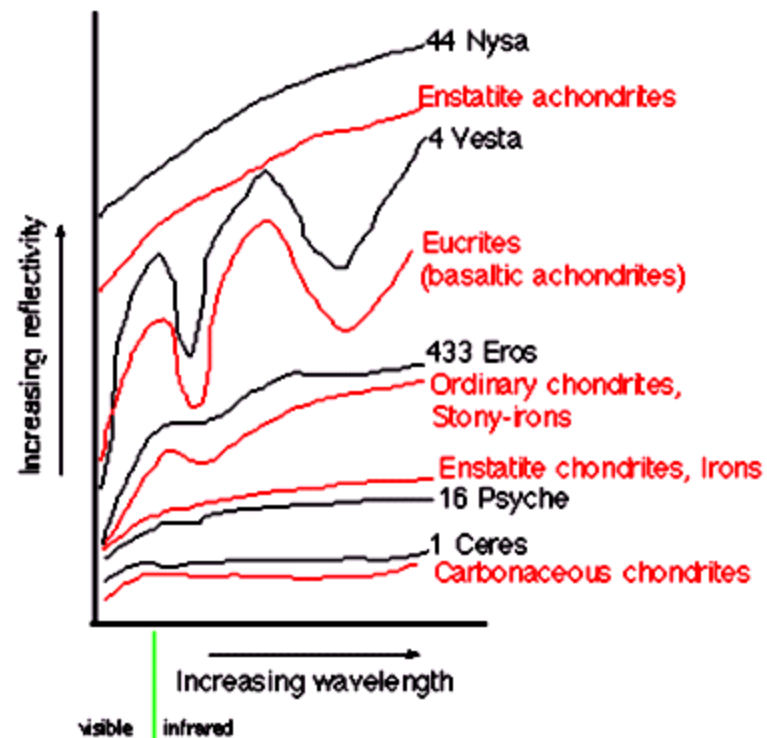
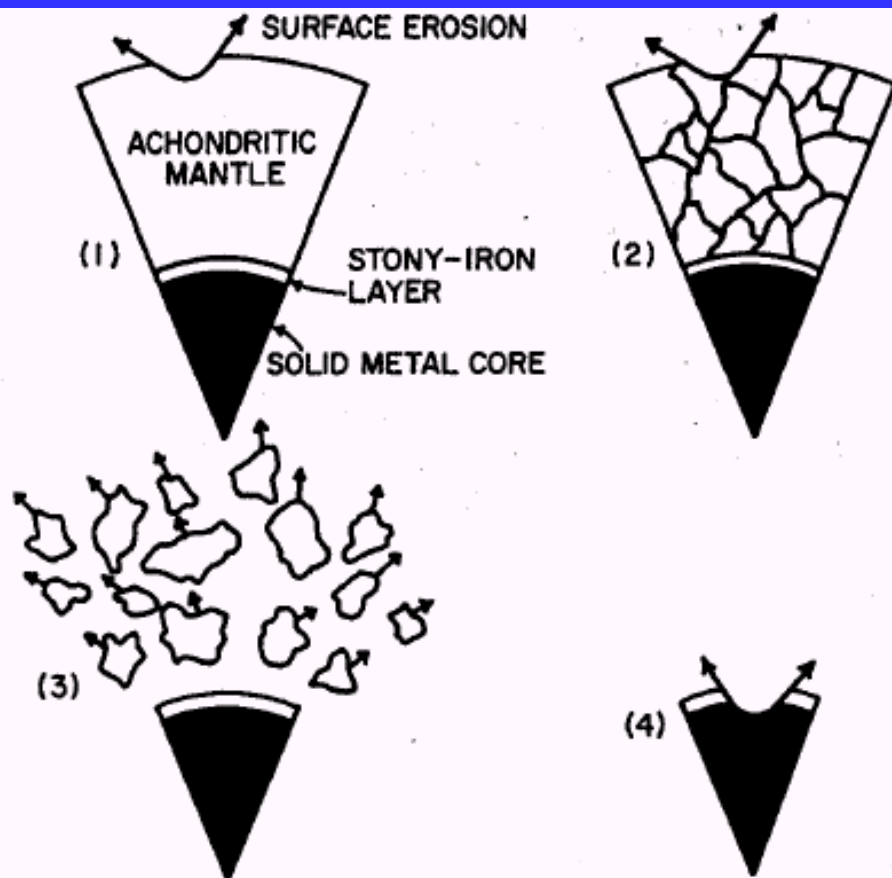
Pela análise comparativa da composição química.

A **diferenciação**
(fracionamento)
produz corpos com
separação de materiais.

A fragmentação de um
corpo diferenciado produz
restos com composição
química diferenciada,
proveniente de diferentes
partes do corpo.



A diferenciação e os tipos de meteoritos



Piroxênios: $XY(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$,

X = Cálcio, Sódio, Ferro⁺², Magnésio ou, mais raramente, Zinco, Manganês e Lítio;

Y = íons de Cromo, Alumínio, Ferro⁺³, Magnésio, Manganês, Escândio, Titânio, Vanádio ou, raramente, Ferro⁺².

E – enstatite (Mg-rich pyroxene)

S – silicate – related to stony meteorites

M – metallic – related to iron meteorites

C – related to carbonaceous chondrites

P & D – very dark

V – Vesta

Os metálicos



A estrutura cristalina característica mostra estruturas (de Widmanstätten) originadas de um processo de resfriamento lentíssimo de material fundido. Isto ocorre no interior de corpos diferenciados.

Os metálicos



Estatueta milenar de um buda, descoberta por uma expedição nazi ao Tibete em 1938, foi esculpida num meteorito.

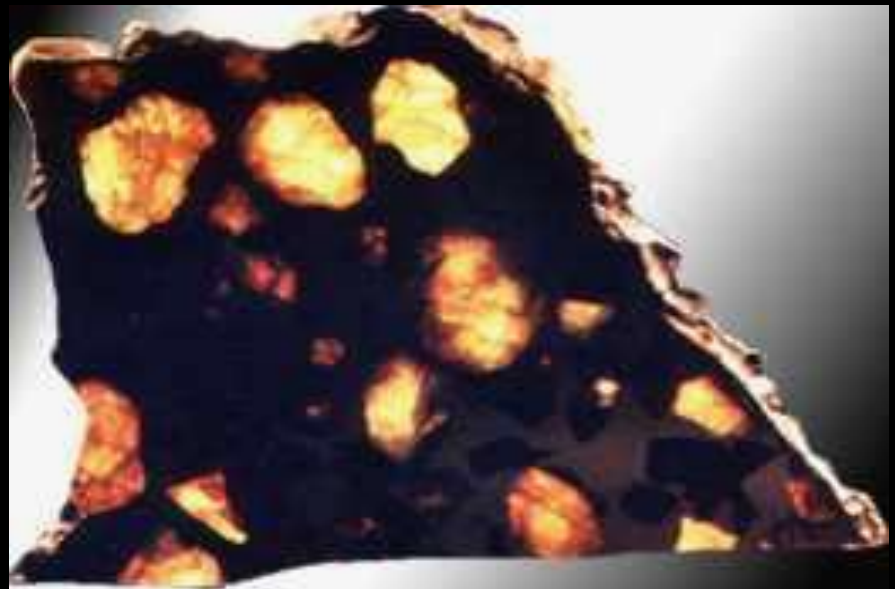
A estátua, designada "Homem de Ferro", pesa mais de dez quilos, mas não tem mais de 24 centímetros de altura.

É possível que represente o deus Vaisravana, o rei búdico do Norte, também chamado Jambhala no Tibete.

Os ferropétreos (ou siderólitos)



Material da matriz tem ponto de fusão mais baixo que as incrustações



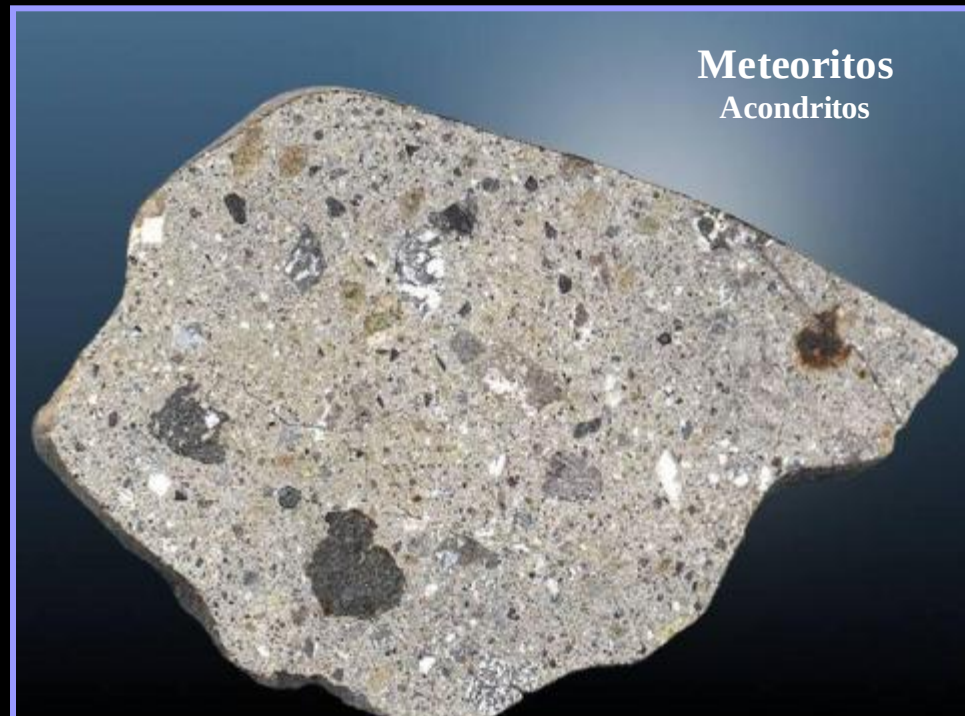
Forma-se quando o material da matriz é fundido por aquecimento (pode ser de impacto) e resfria-se com as incrustações



Os rochosos acondritos



A cor escura provém do aquecimento devido ao atrito com a atmosfera terrestre durante a queda. Abaixo da crosta escura está o material claro do meteorito.
(NASA)

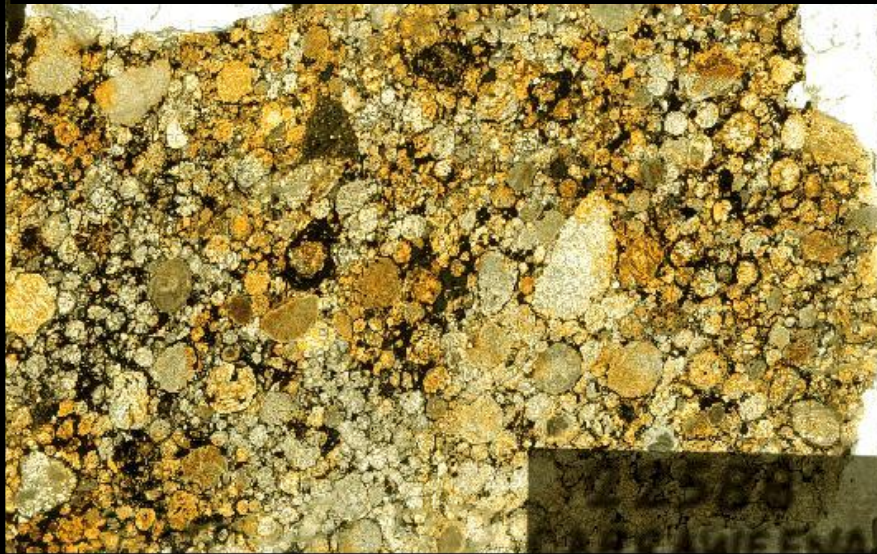


Meteoritos
Acondritos

Os rochosos condritos ordinários

Formados por
resfriamento rápido

Aqueles que apresentam
côndrulos – esferóides
milimétricos de olivina
 $[(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_4]$, e
piroxênio $[(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_3]$



As rochas dos planetas
terrestres têm a mesma
proporção de
elementos que esses
meteoritos

Os rochosos condritos ordinários

Anél metálico



Água em pedra?

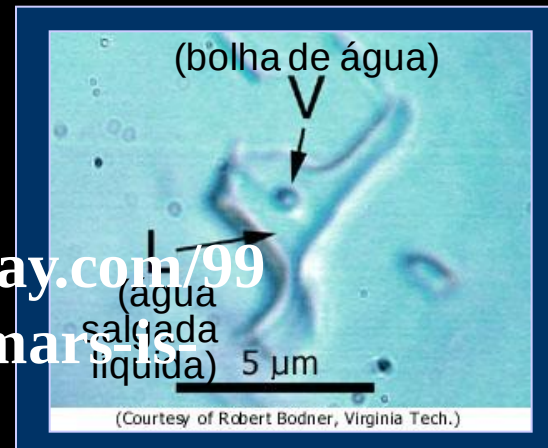


O meteorito rochoso **Monahans** (cidade do Texas) é do tipo condrito ordinário, isto é, apresenta inclusões rochosas ricas em gases.

<http://www.universetoday.com/99265/meteorite-from-mars-is-water-rich/>



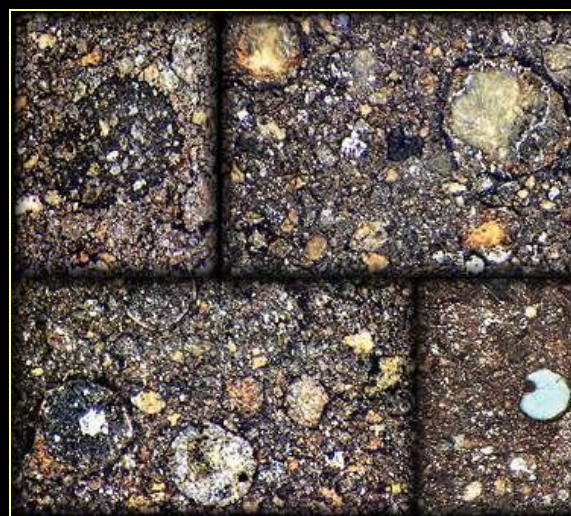
Estudos microscópicos revelaram a presença de cloreto de sódio (sal de cozinha), contendo minúsculas bolhas de vapor de água. Essa água pode ser tão antiga quanto o Sistema Solar.



(Courtesy of Robert Bodner, Virginia Tech.)

Os rochosos condritos carbonáceos

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



Esses meteoritos
são ricos em
carbono e
**inclusões de
cálcio (CaO) e
alumínio* (Al₂O₃)**

***CAI (em inglês).**

**Alguns apresentam compostos orgânicos e aminoácidos.
Isto indica que eles jamais foram expostos à temperaturas elevadas.**

Rochas marcianas (SNC) (Meteoritos de Marte)

- Denominação provém das cidades onde foram inicialmente encontrados:
Shergotty (Índia, 1865), **N**akhla (Egito, 1911),
Chassigny (França, 1815),
- Os SNC são incomuns por várias razões:
 - **idade radioisotópica típica**: 1,3 bilhão de anos
 - **idade de exposição a raios cósmicos típica**: alguns milhões de anos
 - os SNC mostram evidência mineralógica de choque de impacto



Shergottitas



Nakhlitas

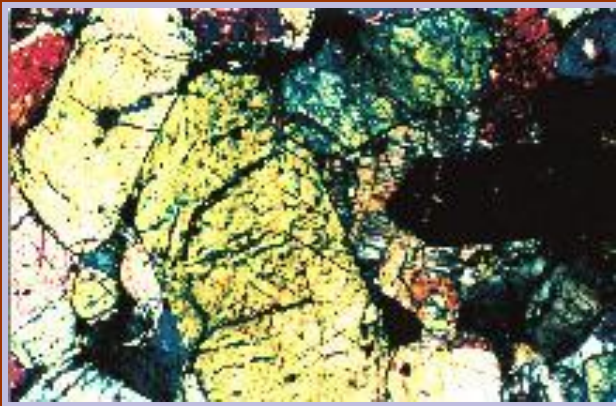


Chassignitas

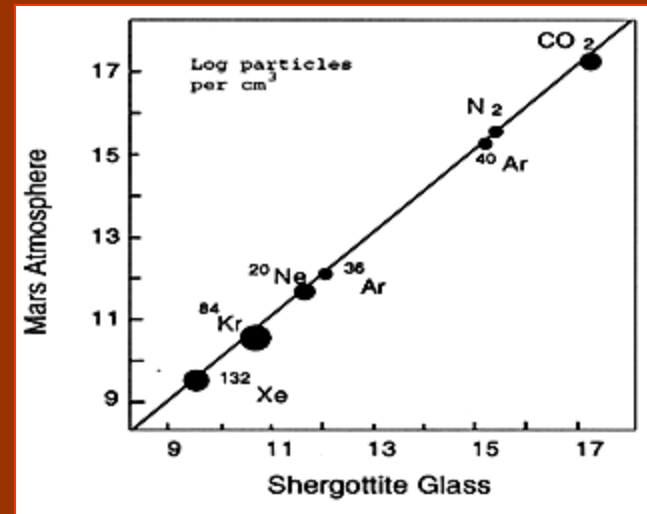
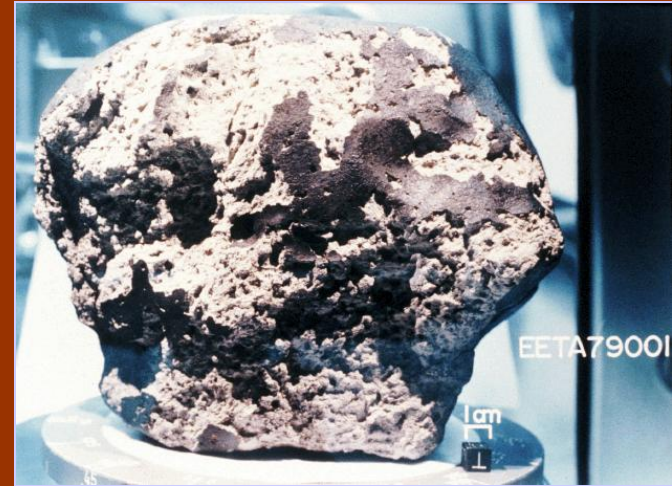
Os meteoritos marcianos (acondritos)

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

Composição química lembra a de Marte



Chassigny
Haute-Marne,
França



EETA 79001 contém bolhas microscópicas de gases. Esses gases aprisionados ajustam-se muito bem às condições atmosféricas de Marte (medidas das sonda Viking)!

Os meteoritos marcianos (acondritos)

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

Assinatura contundente: origem
biológica ou mineralógica?
(100 x mais fino que fio de cabelo)



Grãos de *magnetita* (óxido de ferro cúbico) incrustados nos glóbulos de carbonatos. Podem ser formados por processo orgânico ou inorgânico, mas as propriedades são diferentes para cada caso.

Magnetita orgânica: (a) cristais têm tamanhos bem definidos, (b) são quimicamente puros; (c) têm estrutura e morfologia típicas; (d) agrupam-se em longas cadeias.

1/4 da magnetita encontrada no ALH84001 tem essas propriedades, e são semelhantes às produzidas por cadeia de bactérias conhecida por MV-1.

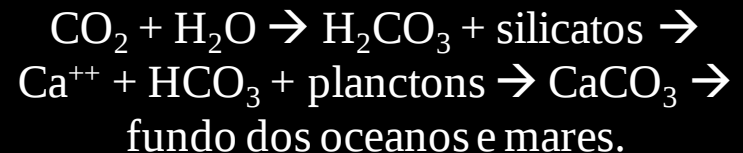
Cristais de Magnetita em
uma Bactéria Magnetotática
Nature 343, page 213 (1990)

Esferas (0,15mm) de carbonato

Carbonatos: rochas e minerais que contém "CO₃" (Ca CO₃, Mg CO₃...).

Na Terra são formados por processos puramente químicos, ou através de organismos vivos. **Ambos os casos exigem a presença da água líquida.** Organismos multicelulares produzem conchas com os carbonatos.

Uma cadeia possível:



**Conclusão: as evidências sugerem
origem mineralógica**

Rochas lunares (Meteoritos da Lua)



Composição
química
tipicamente
lunar



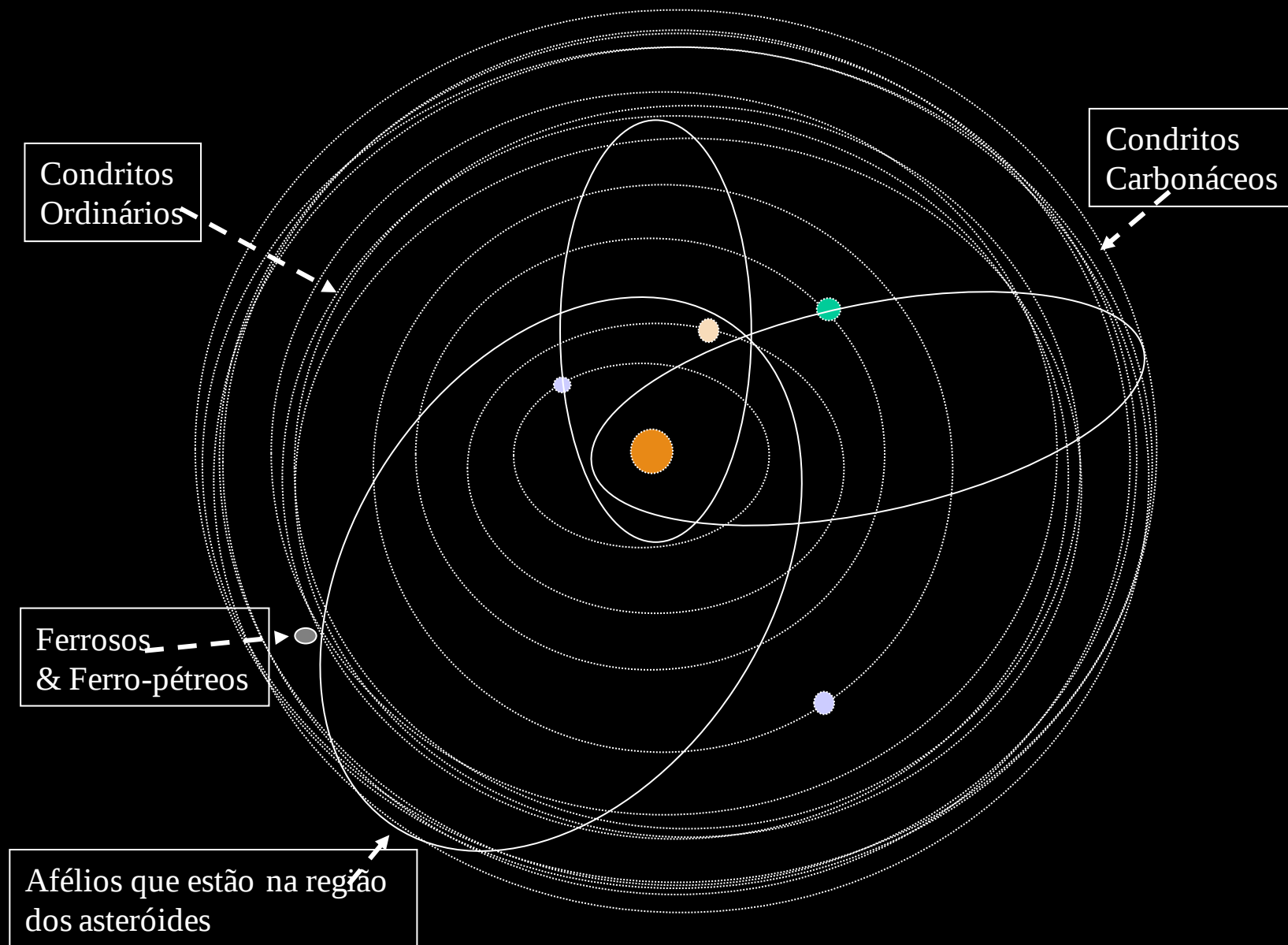
Meteoritos de Vesta

- Composição semelhante ao do asteróide 4 Vesta
- Queda de fragmentos de Vesta na Terra é dinamicamente possível, devido à ressonância com Júpiter



De onde vêm os meteoritos?

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



A análise comparativa da composição química revela:

metálicos	asteróides tipo M
ferropétreos	asteróides tipo S
condritos ordinários	manto e crosta de planetas
condritos carbonáceos	asteróides tipo C
acondritos	Lua e Marte
poeria zodiacal	asteróides e cometas

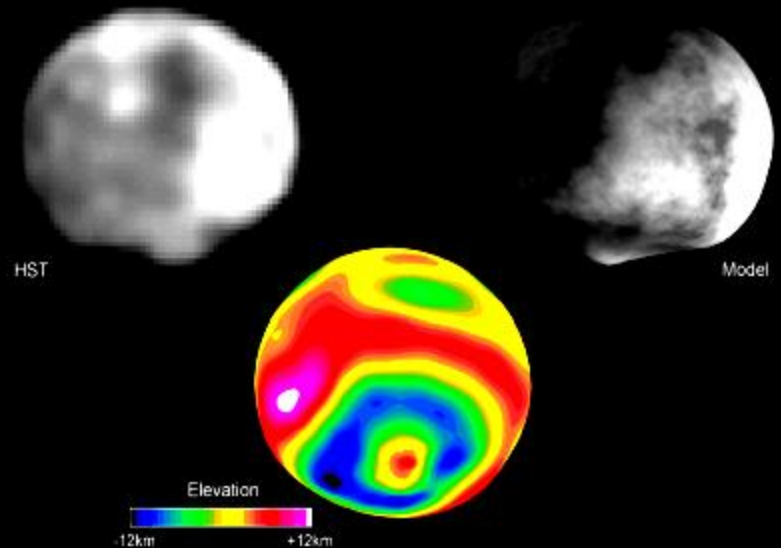
Meteoritos de Vesta

- Pertencem a um grupo de meteoritos descobertos na Austrália
- Composição parece ser semelhante ao do asteróide 4 Vesta
- Queda de frgamentos de Vesta na Terra é dinamicamente possível, devido à ressonância com Júpiter
- Telescópio Espacial Hubble mostra enorme impacto na superfície de Vesta



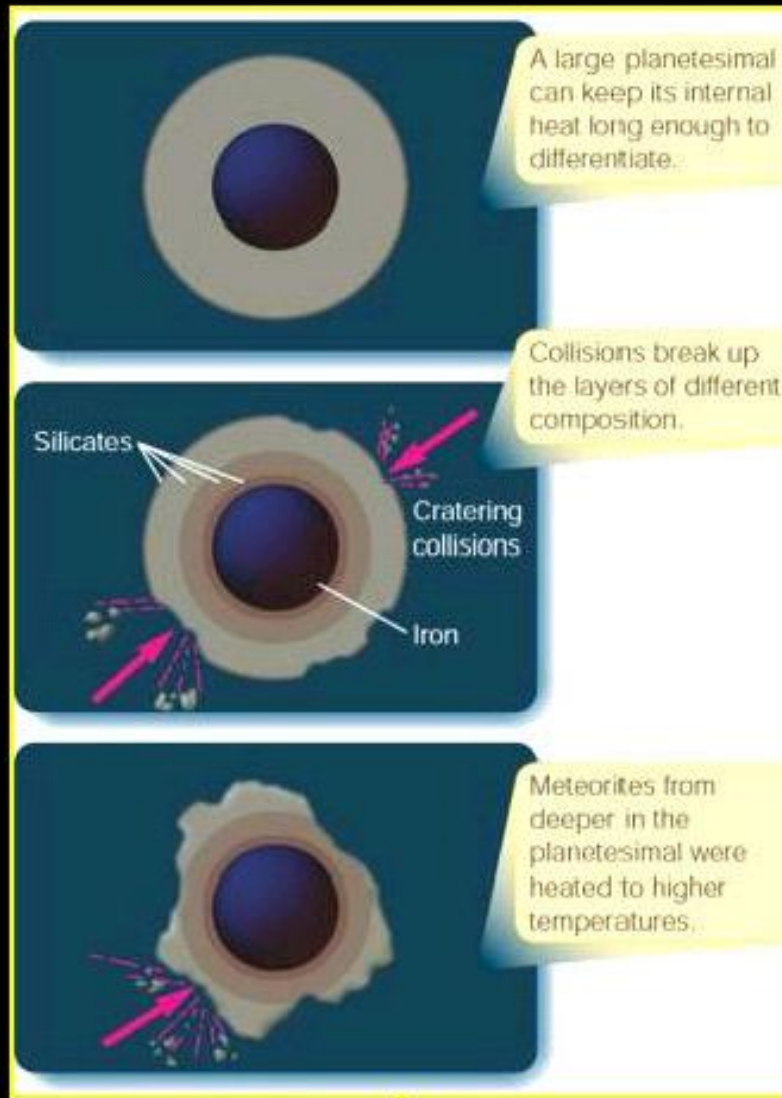
Meteorite - Fragment of Vesta

Lab Photograph - Russel Kempton, New England Meteoritical Services
PRC95-20B - ST Sci OPO - April 19, 1995 - B. Zellner (GA Southern Univ.), NASA

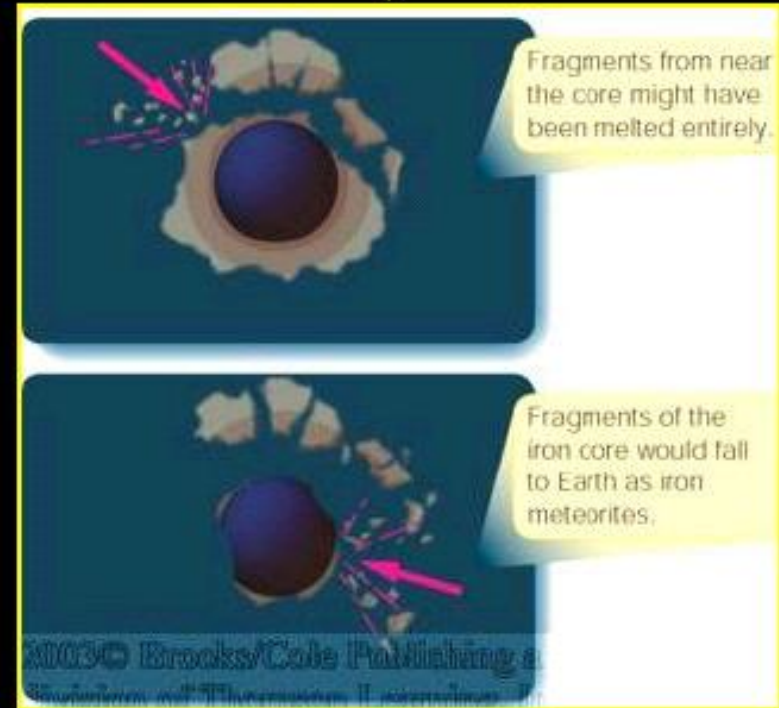


De onde vêm os meteoritos?

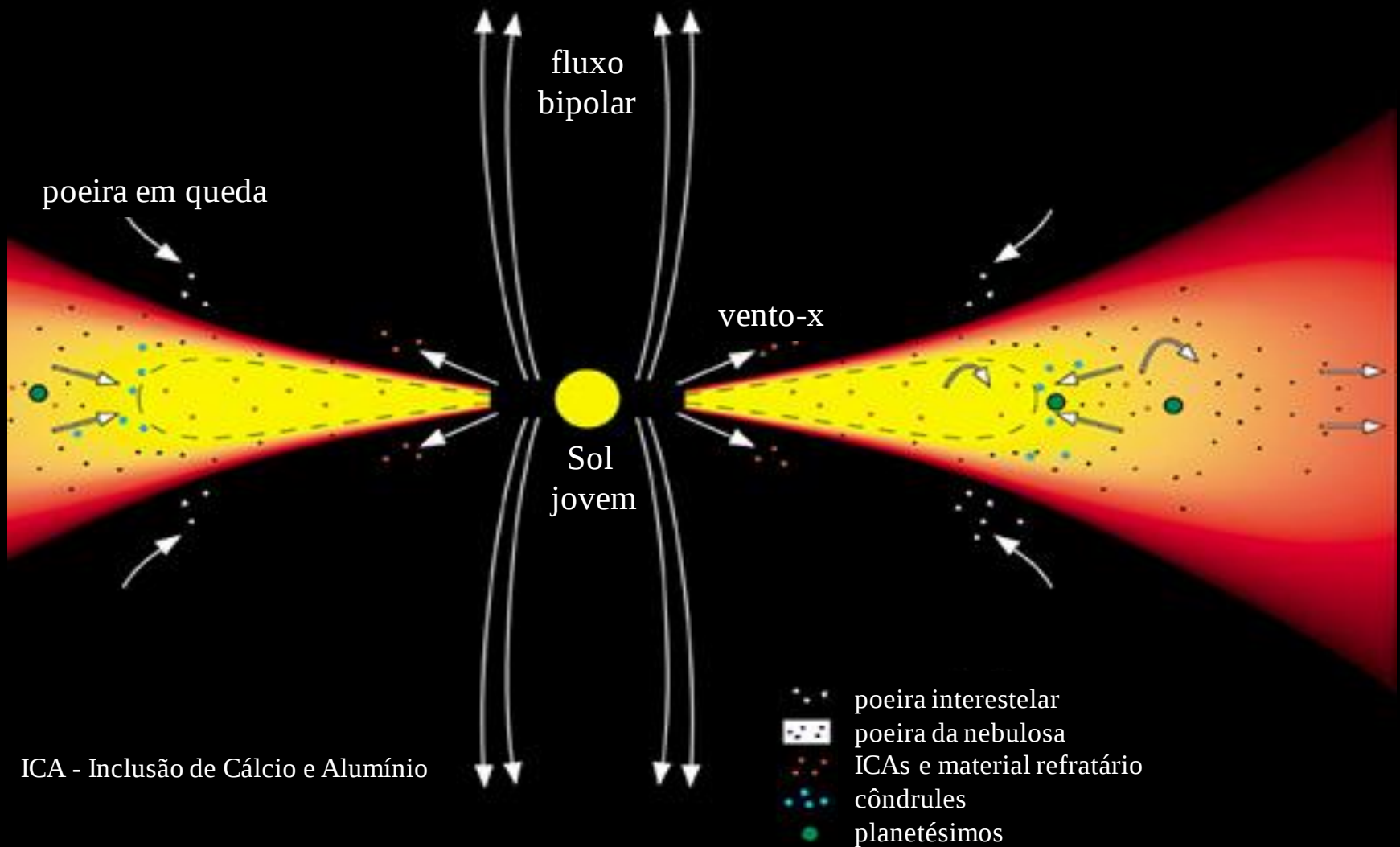
Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



asteróides



cometas



Nas partes mais internas do disco, próximo ao Sol recém formado.
Posteriormente foram expelidos para as regiões frias pelo *vento-x*

(<http://www.psrdr.hawaii.edu>)

Cronologia

- ↙ Condensação de metais (Fe-Ni) dentro da nebulosa primitiva que formou o Sistema Solar
- ↙ Solidificação dos côndrules e ICAs (Inclusões de óxidos de Cálcio e Alumínio)
- ↙ Aglomeração de materiais
- ↙ O calor produz metamorfismo, que permite a vaporização dos voláteis
- ↙ Acreção e mistura
- ↙ Fragmentação de certos corpos proto-planetários

Compreendendo os tectitos

1788: descritos pioneiramente como vidro vulcânico.

1900: F.E. Suess: espécie de meteorito vítreo ,
denominou-os de "tektito" (do grego "tektos", que
significa fundido (derretido)).

1917: F. Berwerth: fornece a 1a evidência de origem
terrestre ao descobrir que são quimicamente
semelhantes a certos tipos de rocha sedimentar.

1958: J.S. Rinehart apresenta um artigo científico discutindo
a origem colisional deles.

1960: J.A. O'Keefe: sugere origem lunar.

1963-1972: Programa Apollo retorna com amostras lunares e
comprova desconexão dels com a Lua.

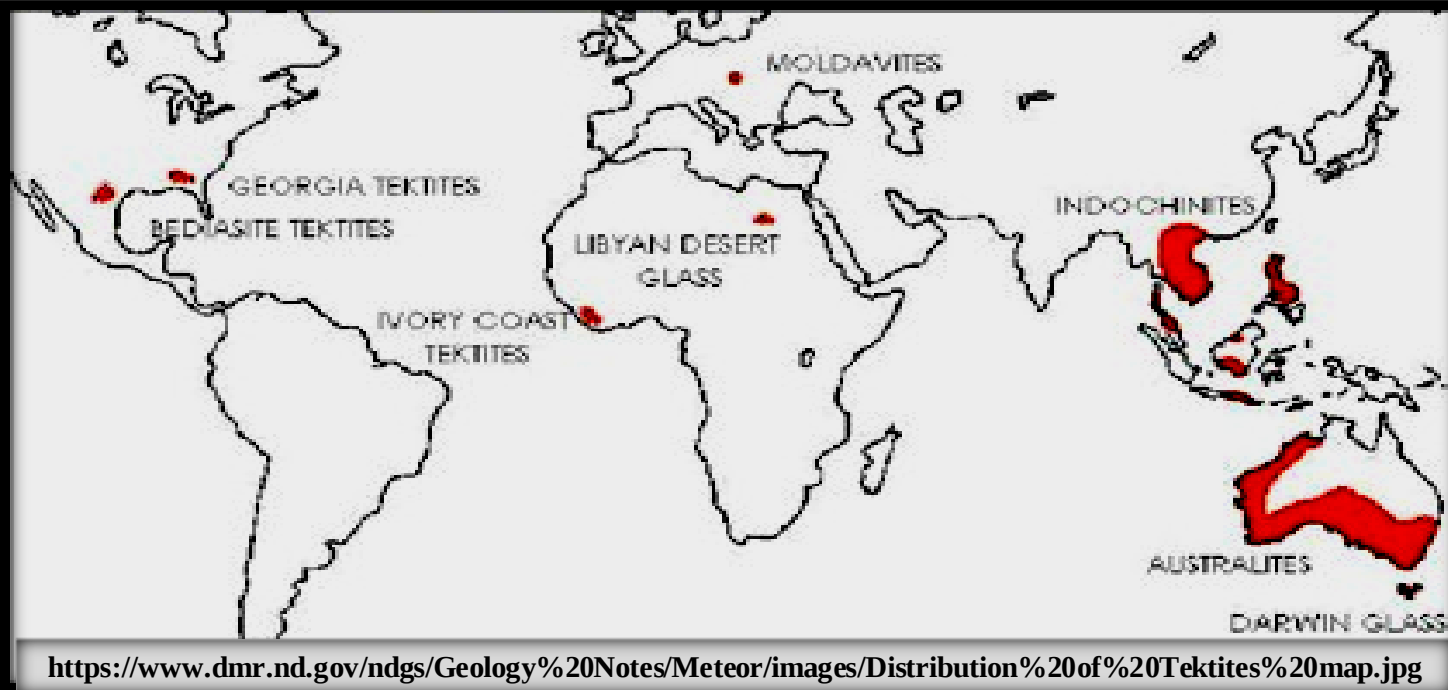
Tectitos ou Impactitos (rochas eólicas)



Tectitos ou Impactitos (rochas eólicas)



Tectitos ou Impactitos (rochas eólicas)



♦ Silicato vítreo formado durante a fusão de sedimentos da superfície terrestre durante impactos de alta velocidade. Lembram obsidiana na aparência e composição química.

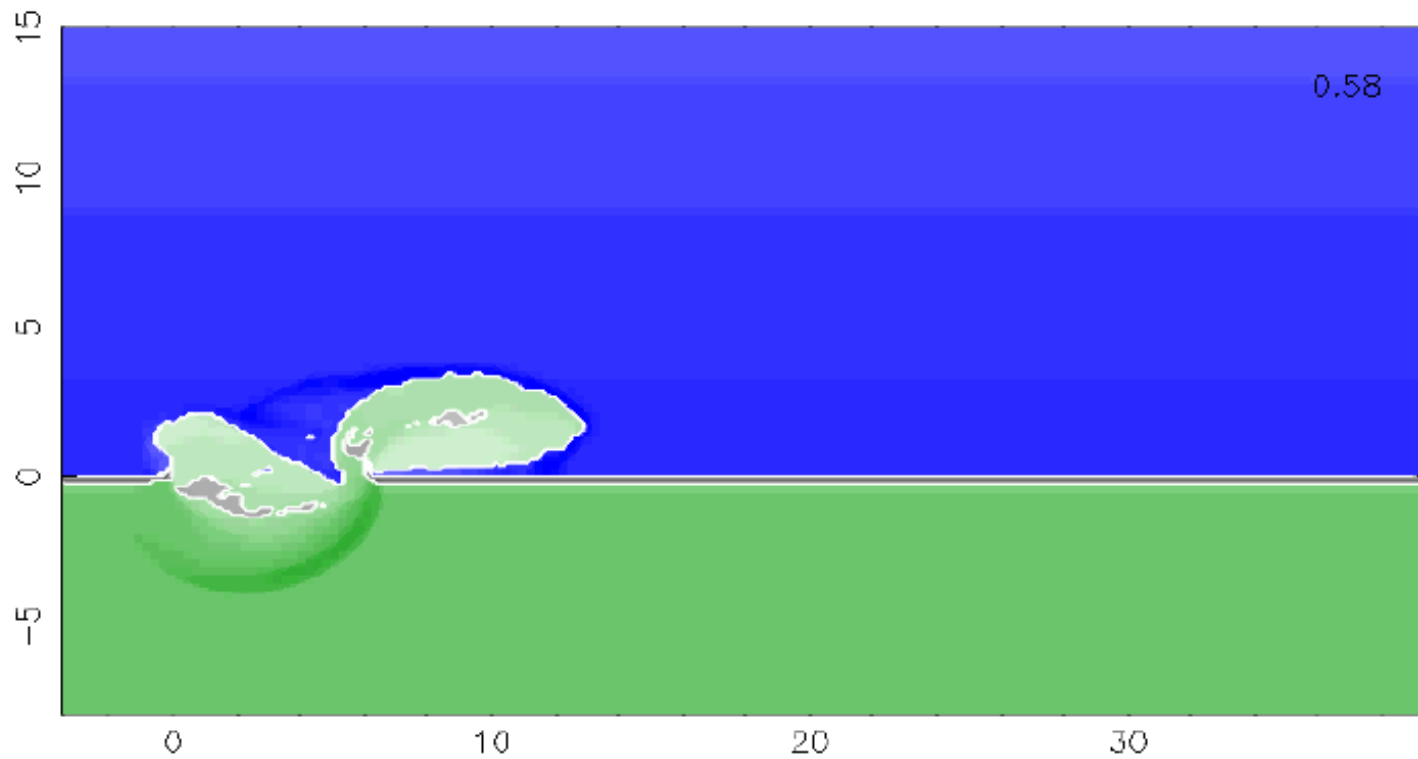
♦ Tamanho: alguns centímetros; Cor: enegrecida ou esverdeada; aerodinâmica (formada pelo atrito com a atmosfera).

Forma:

♦ Concentrados em áreas limitadas:
Exemplos:

América do Norte	@34 Ma	(cratera Chesapeake)
Europa Central (Moldavitos)	@ 14.7 Ma	(cratera Ries)
Costa do Marfim	@ 1 Ma	(cratera Bosumtwi)
Australasia	@ 0.77 Ma	(cratera desconhecida)

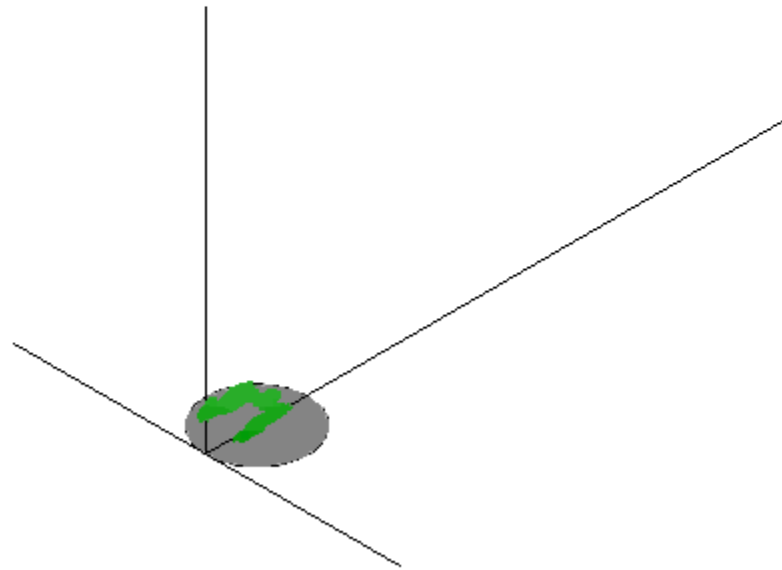
Modelo formação de tectitos



- Potential tectites
- Solid target
- Melted impactor

Simulation from Natalia Artemieva, Russian Academy of Science, Moscow (2003)

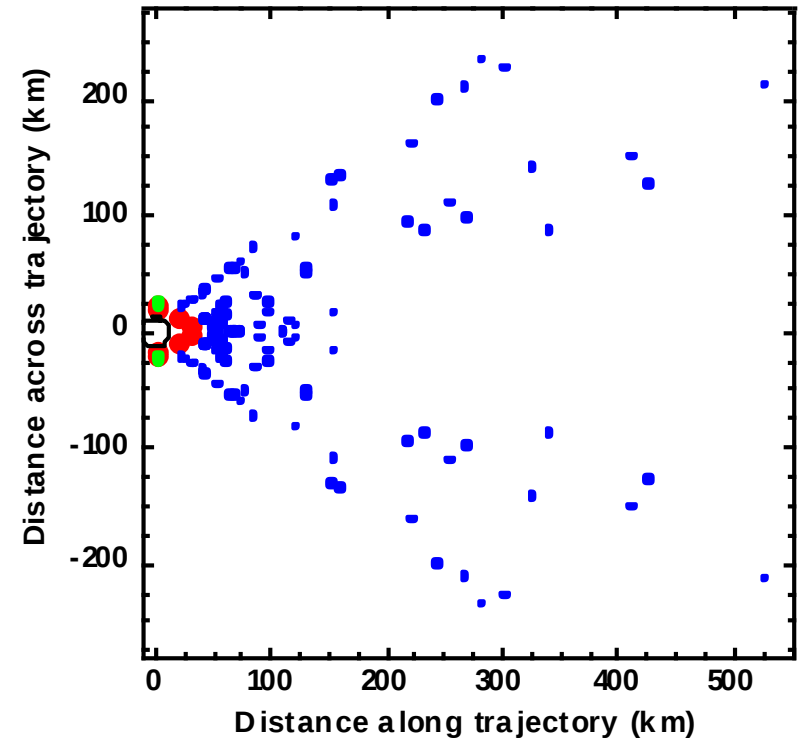
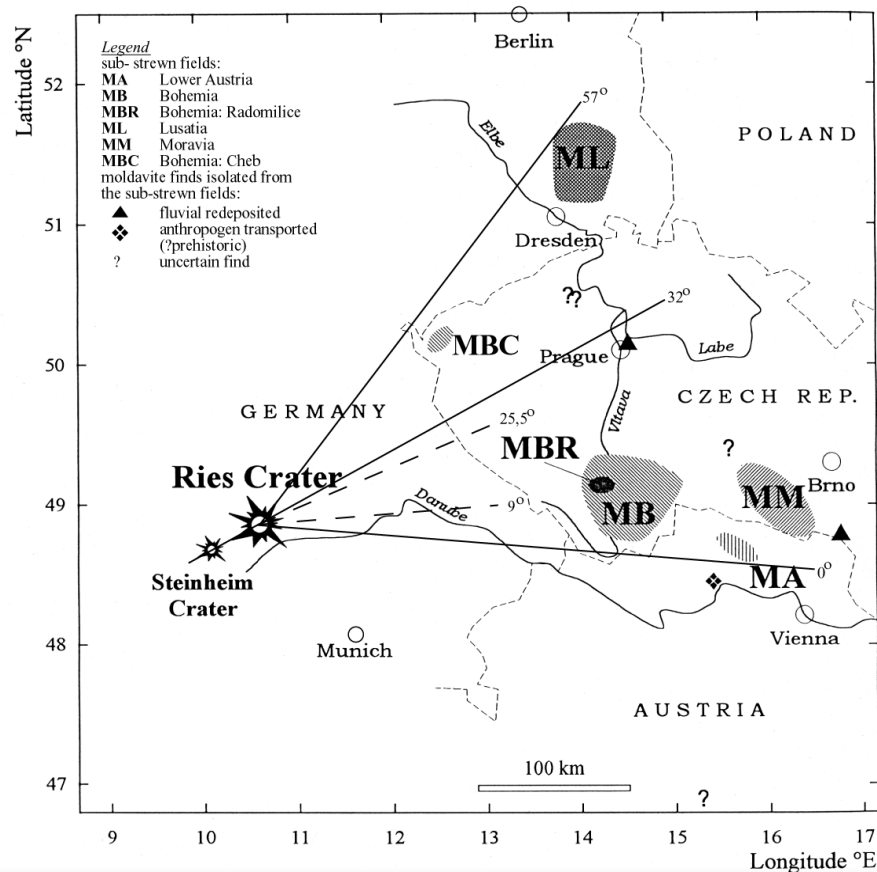
Modelo de ejeção



Simulation from Natalia Artemieva, Russian Academy of Science, Moscow (2003)

Formação de tectitos: Moldavitos

Stöffler, Artemieva, Pierazzo, 2003

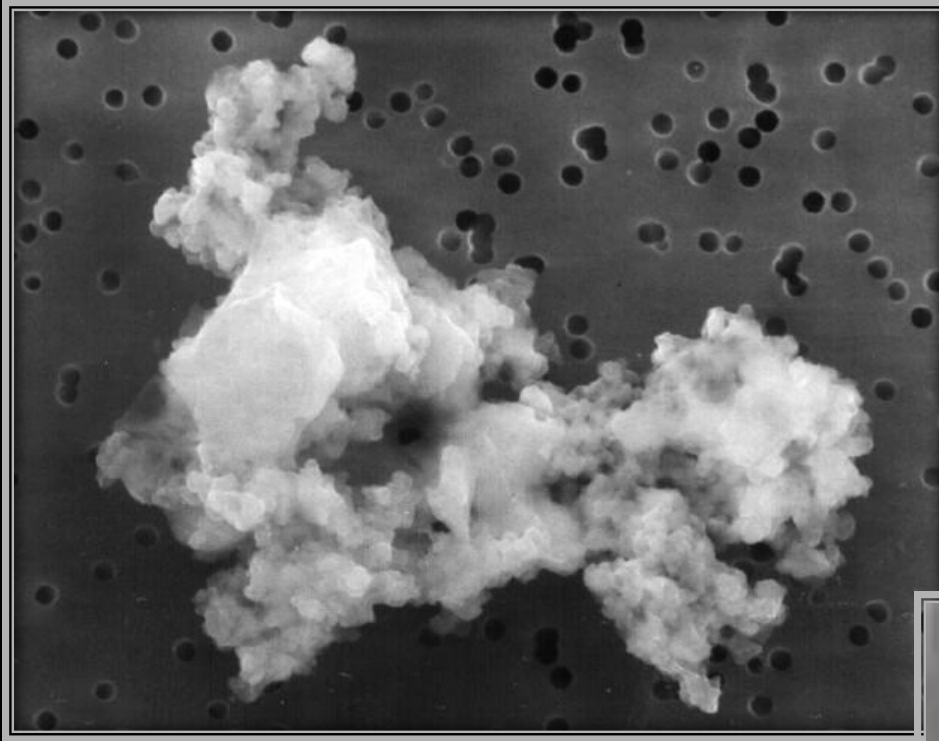


Tectitos formam-se em impactos de média intensidade em áreas ricas em areia.

Distribuem-se pelas áreas vizinhas ao impacto

Baixo conteúdo de água evidencia evolução térmica de gotas fundidas

Poeira Zodiacal

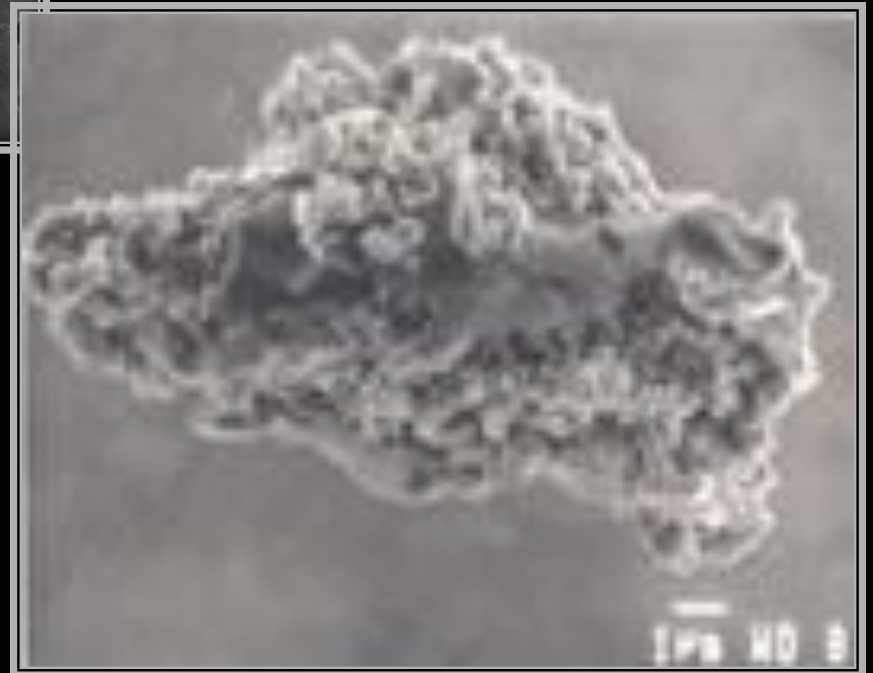


Asteróides e, principalmente, cometas são as fontes de produção de poeira.

Tamanho típico: 1 micra (10^{-6} m)

A pressão exercida pela luz solar (pressão de radiação) empurra essa poeira para longe do Sol; é um mecanismo que, a longo prazo, “limpa” o meio interplanetário da poeira.

A presença de poeira sugere a existência de um mecanismo de realimentação.





Observatório de
Cerro Tololo (Chile)

A luz zodiacal é vista nas
proximidades do Sol poente.

Luz Zodiacal

Luz solar refletida pela poeira
localizada próxima ao plano
da eclíptica

