



ASTRONOMIA DO SISTEMA SOLAR
(AGA292)

Enos Picazzio

METEORÓIDES
(Rochas espaciais)

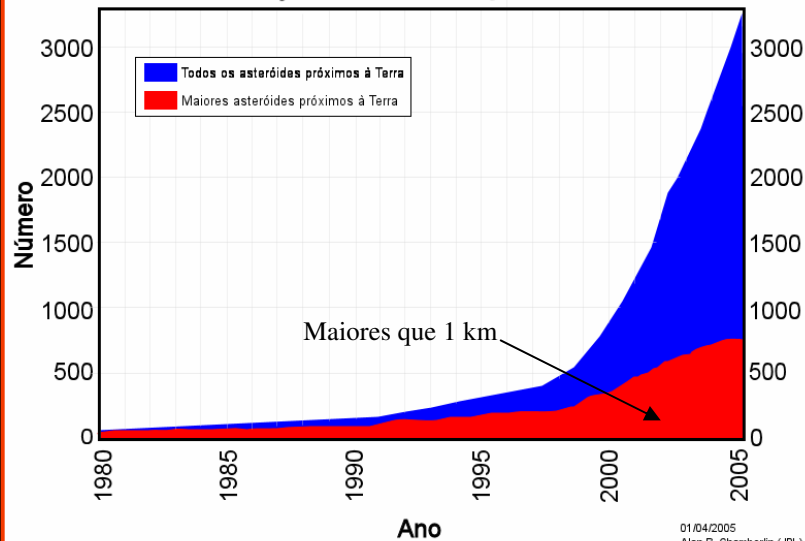
NOTAS DE AULA

**NÃO HÁ PERMISSÃO DE USO PARCIAL OU TOTAL
DESTE MATERIAL PARA OUTRAS FINALIDADES.**

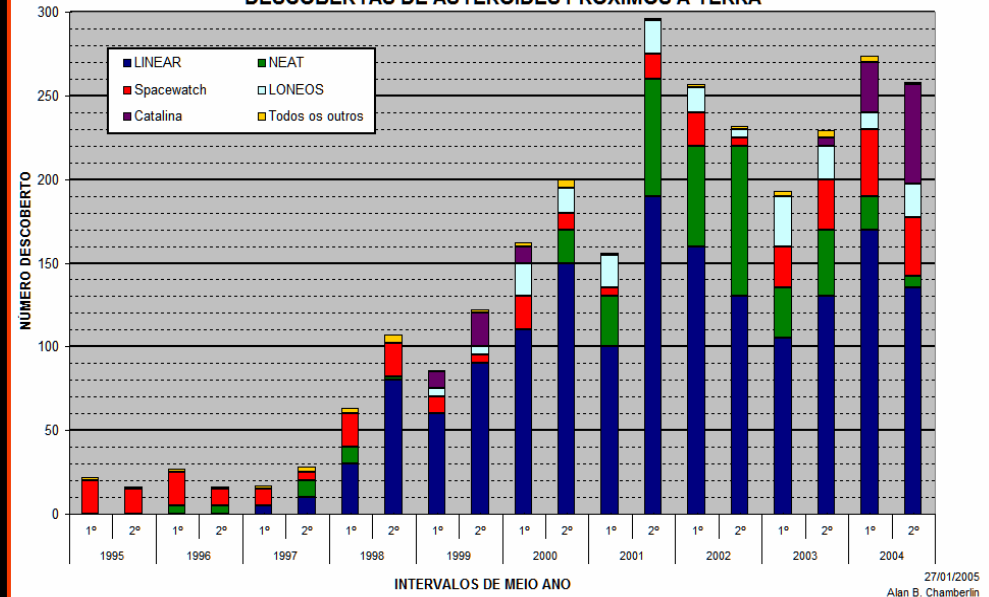
O que nos cerca?

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

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



DESCOBERTAS DE ASTERÓIDES PRÓXIMOS À TERRA

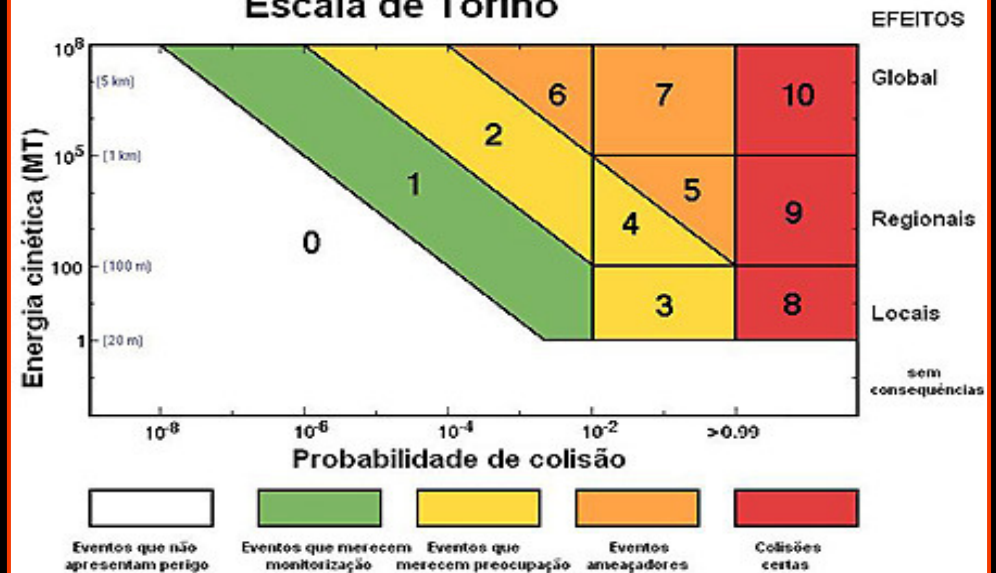


o espacial

Tanque de combustível de foguete



Escala de Torino



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 vaguando 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.



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

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

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

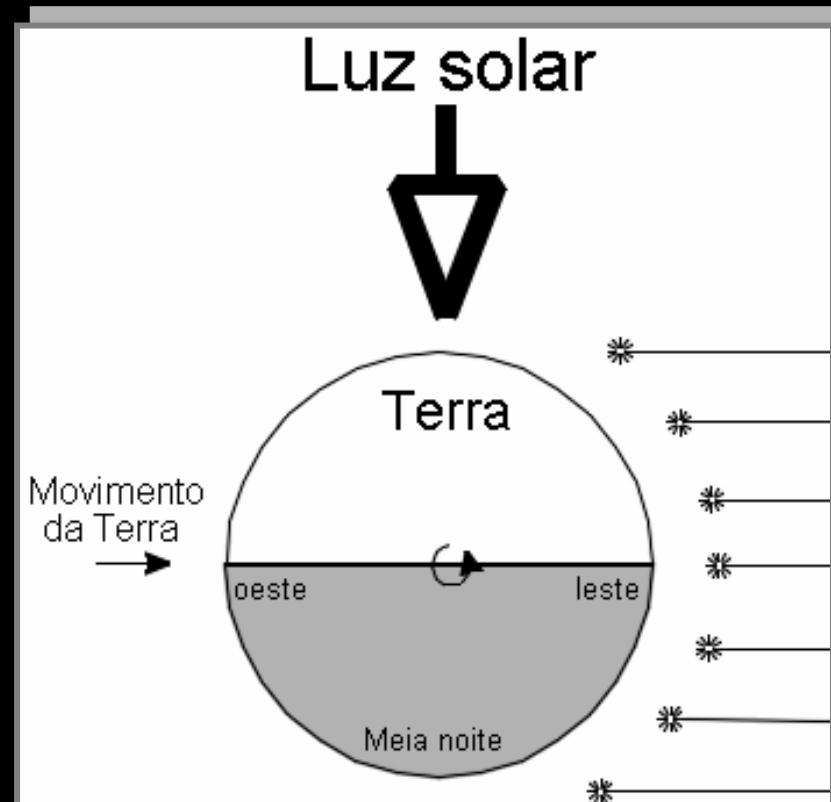
Leonídeos (2001)

Chuva (ou Chuveiro) de Meteoros

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



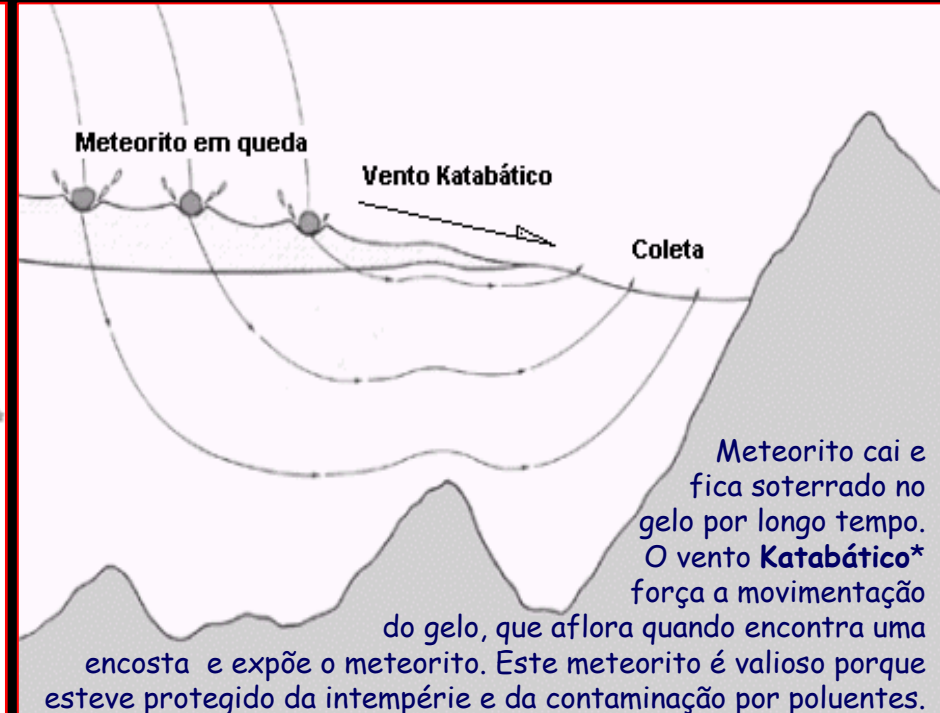
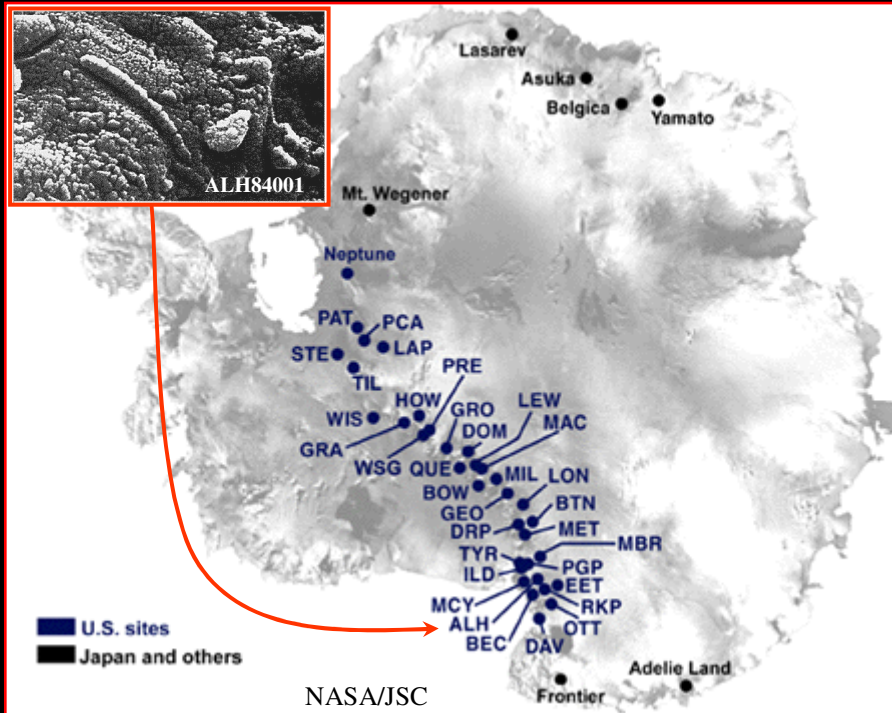
Leonídeos, retratado em
13 de novembro de 1833



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?

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



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

Em regiões áridas



Terra



Marte

Opportunity, 6/1/2005



Onde e como são encontrados os meteoritos?

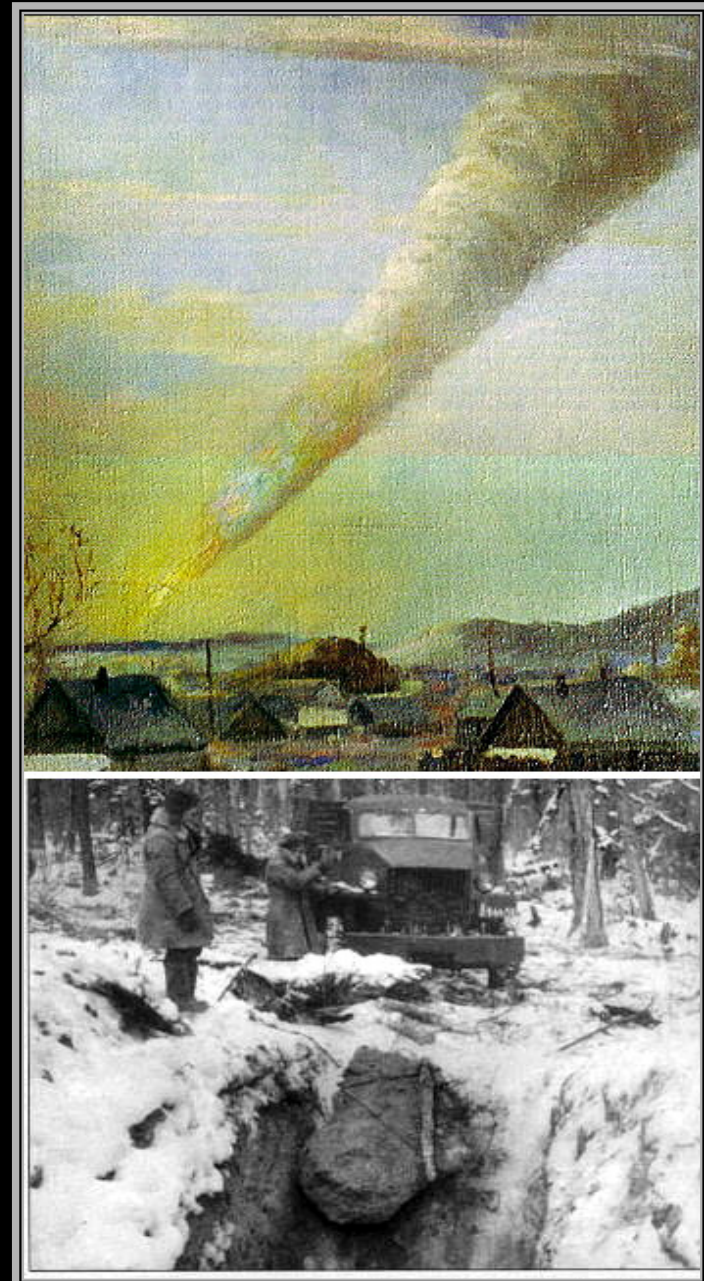
Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

Sibéria Sikhote-Alin

Ocorrência:
manhã de 12 / 02 / 1947.



Parte do meteorito metálico (180 g)



metálicos (sideritos):
4%

ferropétreos (siderólitos):
1%

rochosos

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

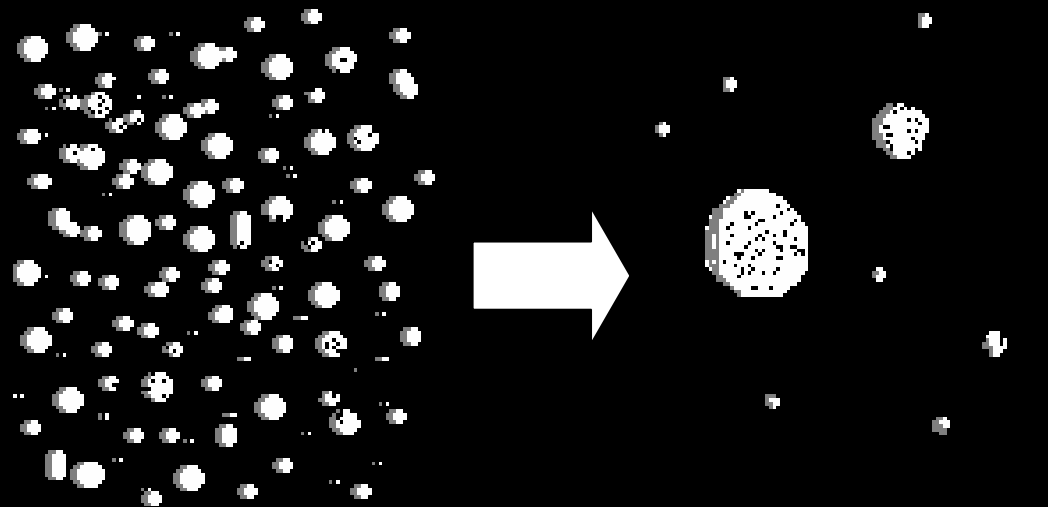
rochas com côndrulos (fragmentos
aproximadamente esféricos compostos
principalmente por olivinas e piroxênios)
 $(Mg,Fe)SiO_4$ $(Mg,Fe)SiO_3$

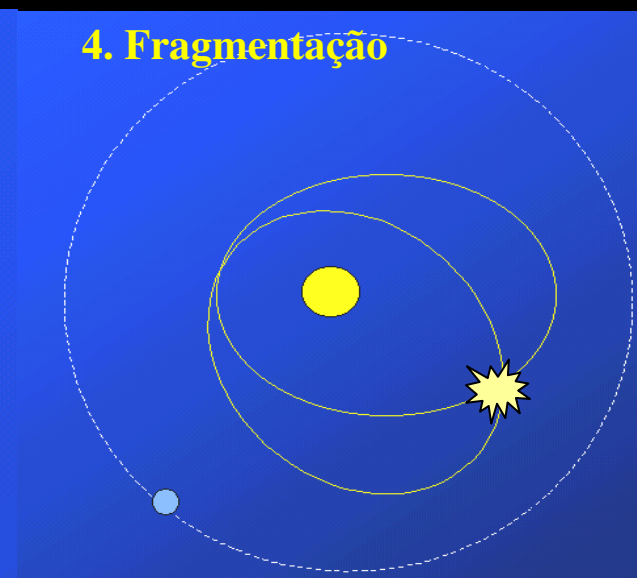
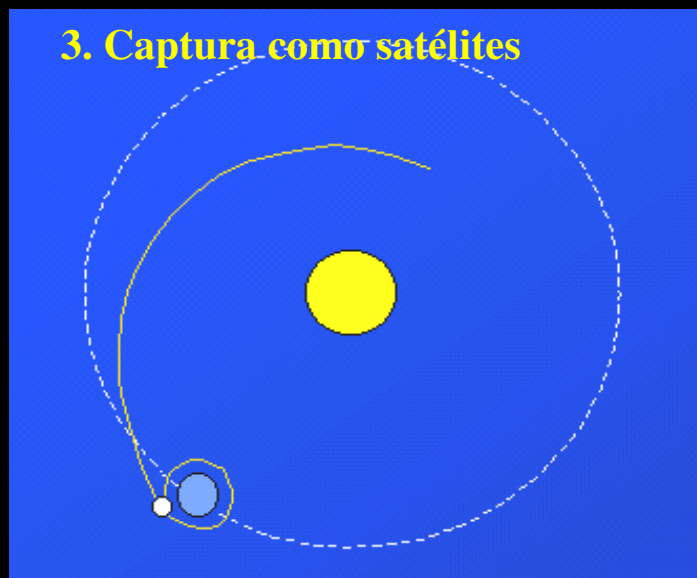
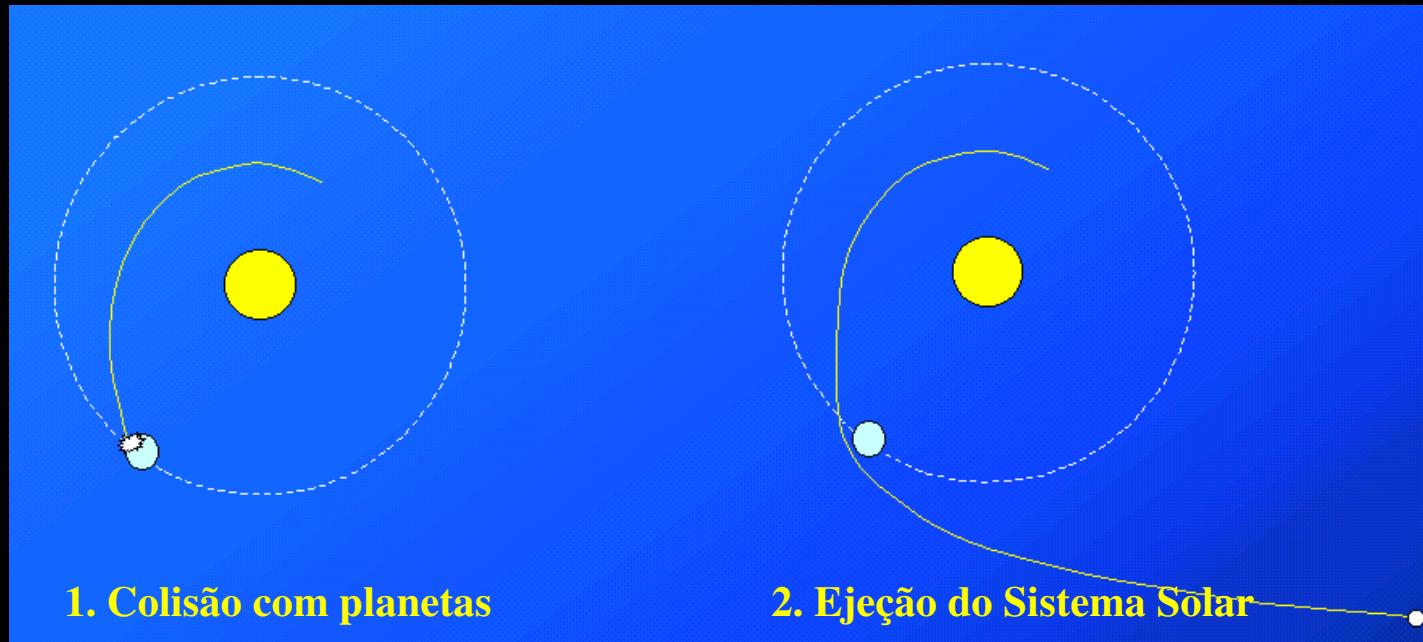
rochas sem côndrulos

grupo SNC

Iron Meteorite	Stony Meteorite	Earth's Crust	Lunar Crust
Iron 91% Nickel 8.5% Cobalt 0.6% Sources: Encyclopaedia Britannica, space.com , and the Space Studies Institute .	Oxygen 36% Iron 26% Silicon 18% Magnesium 14% Aluminum 1.5% Nickel 1.4% Calcium 1.3%	Oxygen 49% Silicon 26% Aluminum 7.5% Iron 4.7% Calcium 3.4% Sodium 2.6% Potassium 2.4% Magnesium 1.9%	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?



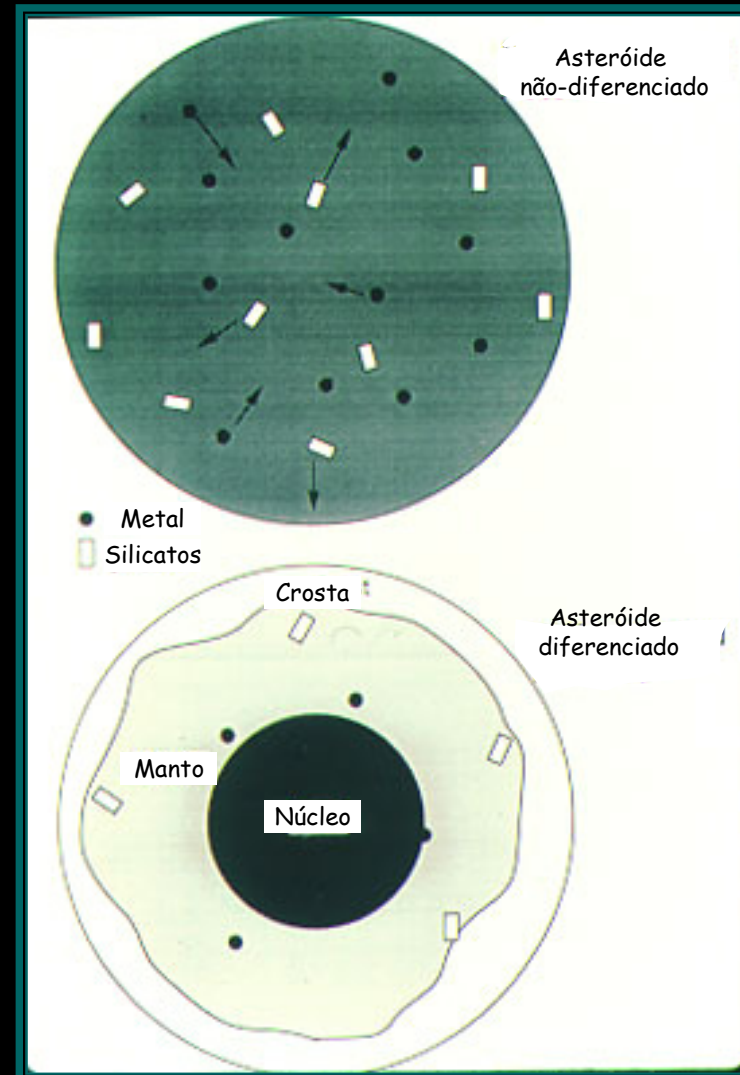


5. Permanência
como resíduos

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.



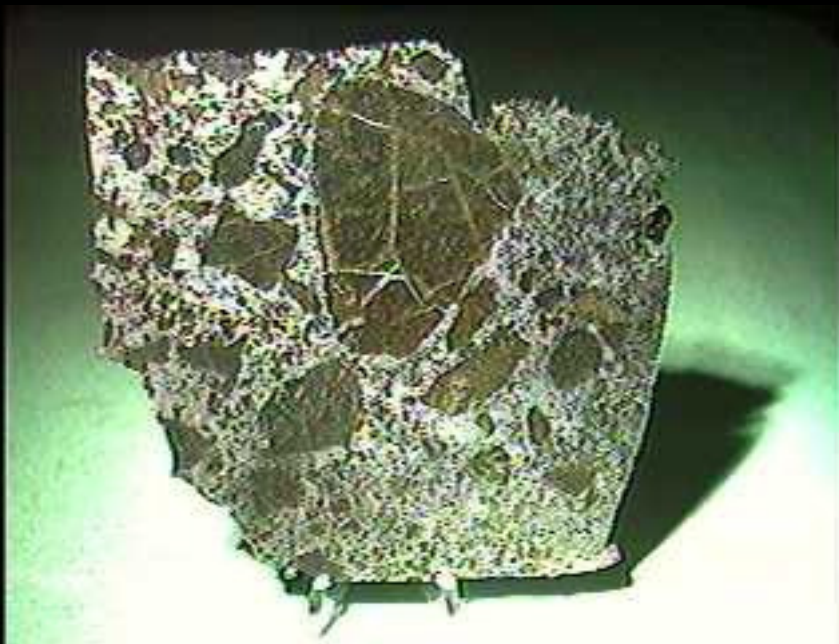


(Griffith Observatory, Ronald A. Oriti Collection)

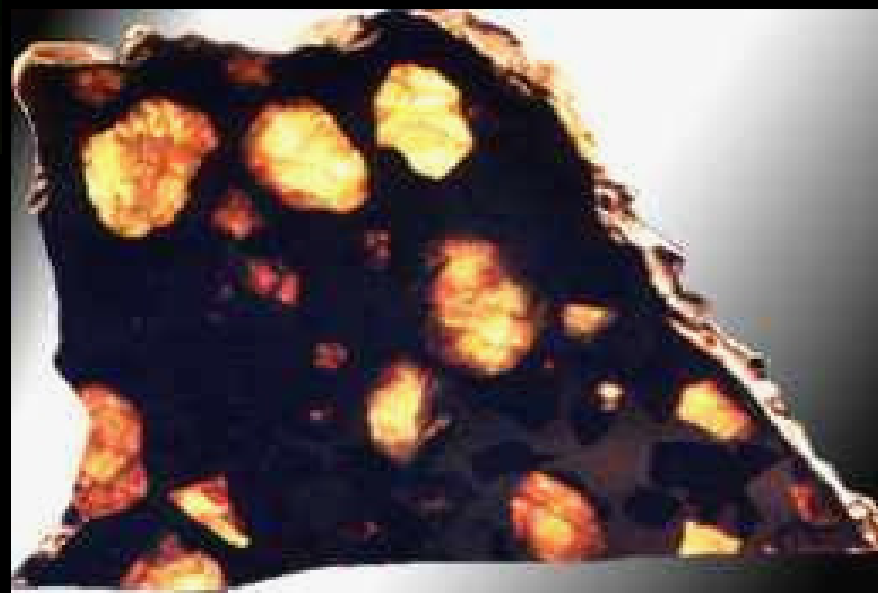
A estrutura cristalina característica mostra estruturas (de Widmanstätten) originadas de um processo de resfriamento lentíssimo de material fundido. Isto ocorre no interior de corpos diferenciados.

Os ferropétreos (ou siderólitos)

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



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



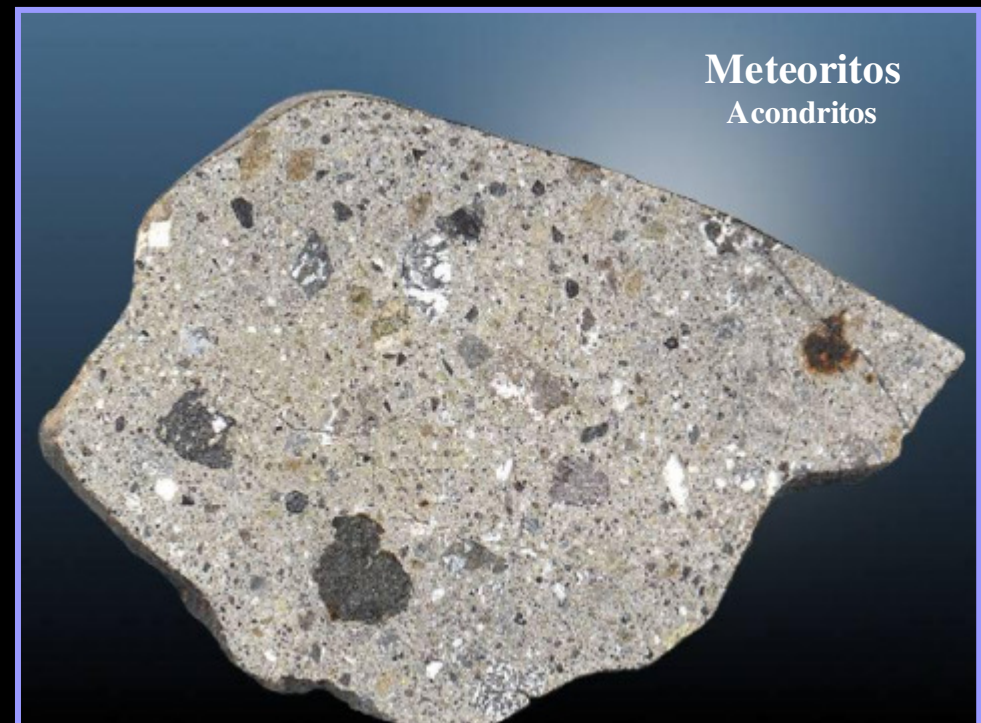
Os rochosos acondritos

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



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

Formados por
resfriamento rápido

Aqueles que apresentam
côndrulos – esferóides
milimétricos de olivina
 $[(Mg,Fe)SiO_4]$, e
piroxênio $[(Mg,Fe)SiO_3]$

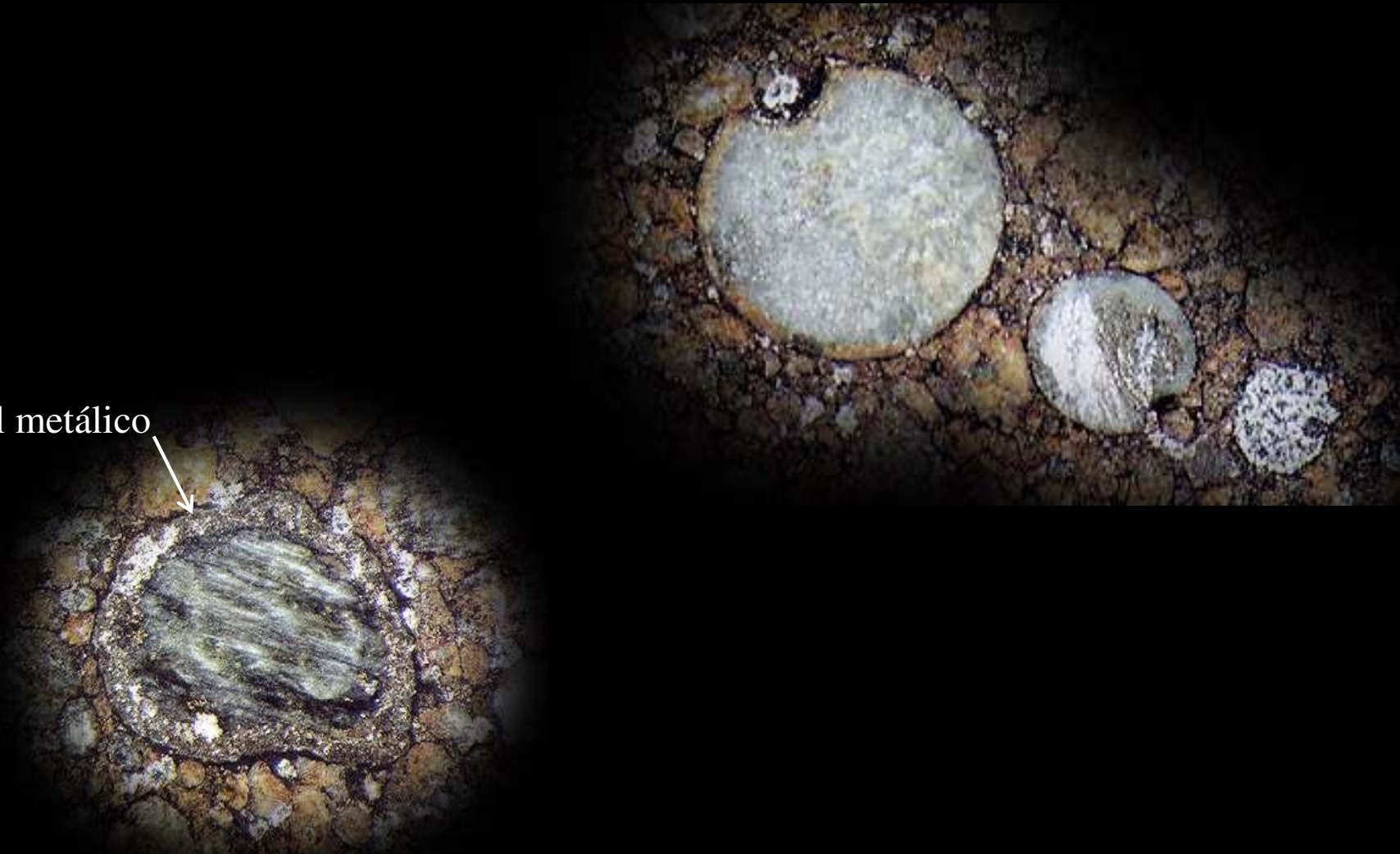


As rochas dos planetas
terrestres têm a mesma
proporção de
elementos que esses
meteoritos

Os rochosos condritos ordinários

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

Anél metálico



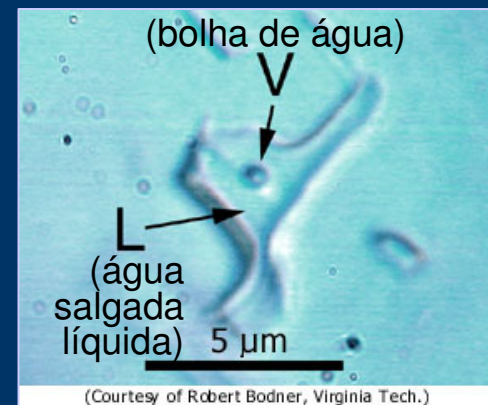
Água em pedra?



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

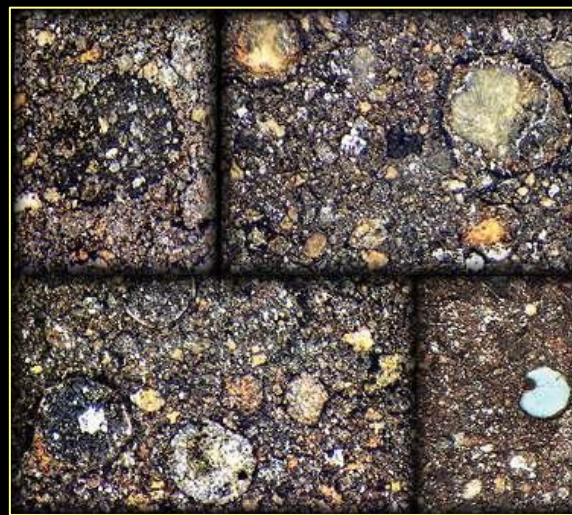
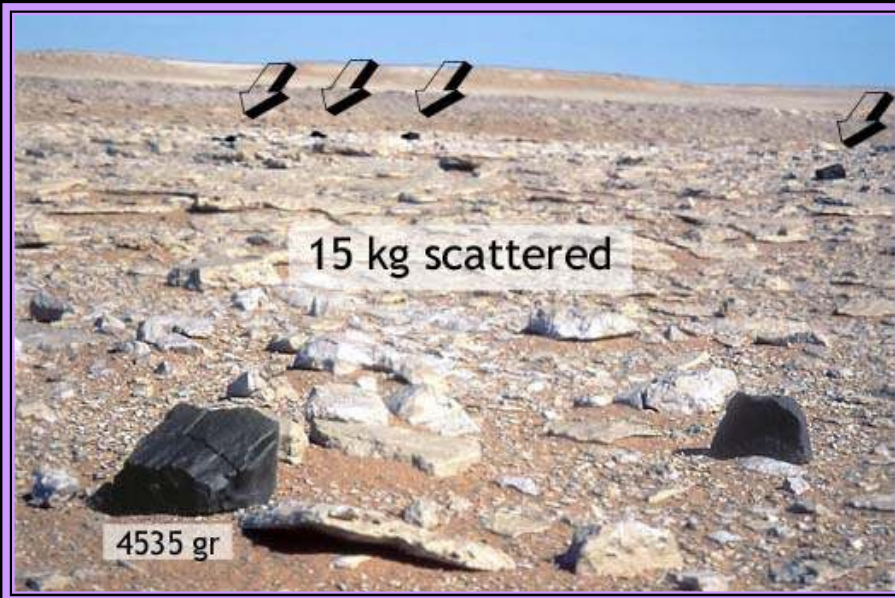


Estudos microscópicos revelaram a presença de cloreto de sódio (sal de cozinha), contendo minúsculas bolhas de vapor de água. Essa água pode ser tão antiga quanto o Sistema Solar.



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

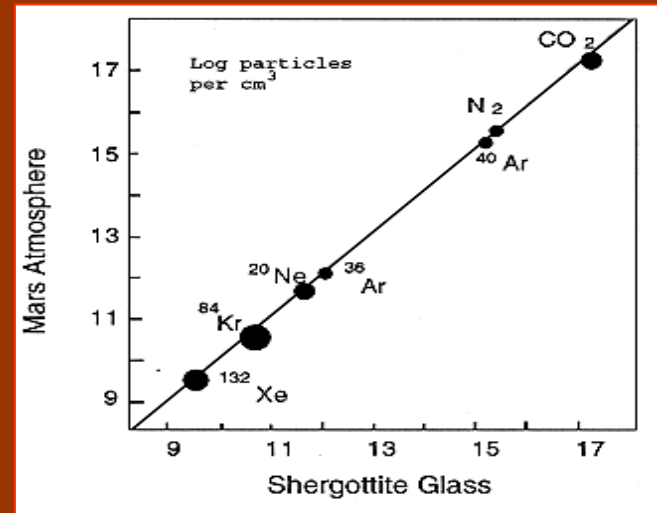
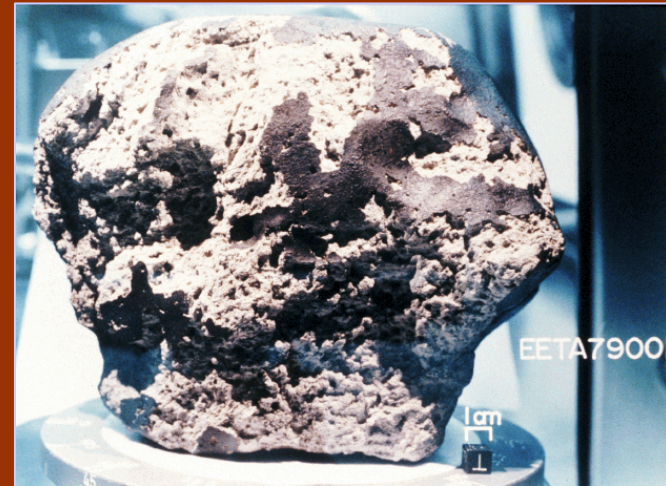
Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

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

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

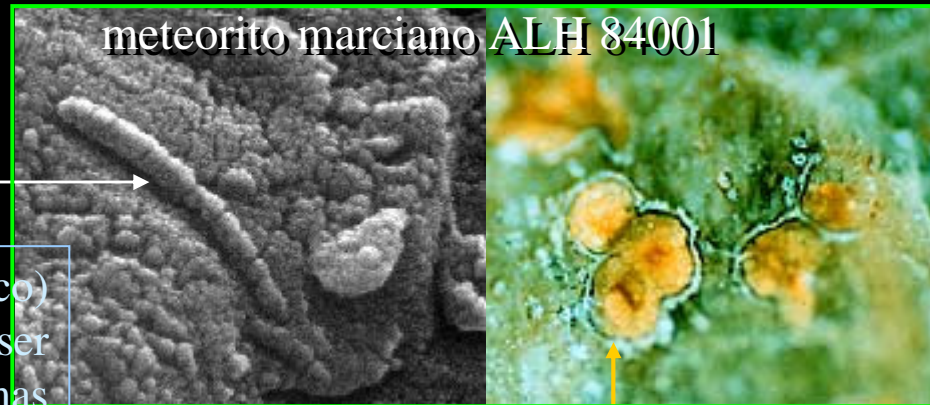
Assinatura contundente: origem
biológica ou mineralógica?
(100 x mais fino que fio de cabelo)

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)



meteorito marciano ALH 84001

Esferas (0,15mm) de carbonato

Carbonatos: rochas e minerais que contêm "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:

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{silicatos} \rightarrow \text{Ca}^{++} + \text{HCO}_3 + \text{planctons} \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{fundo dos oceanos e mares.}$$

**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

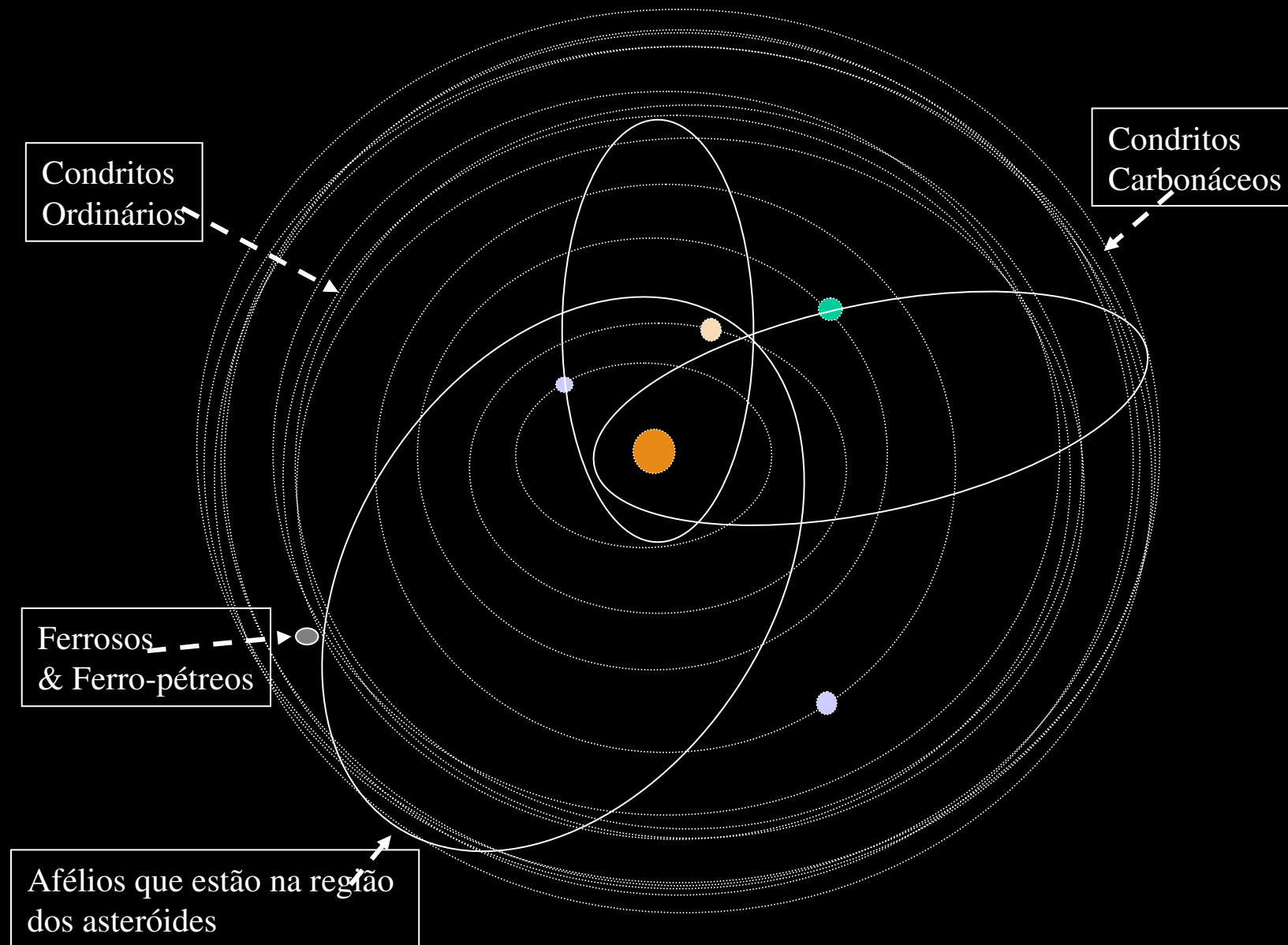


Meteroite · Fragment of Vesta

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



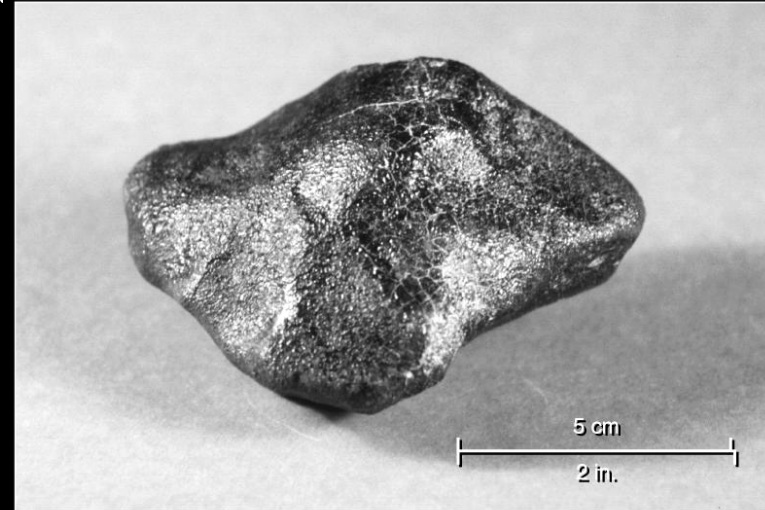
A análise comparativa da composição química revela:

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

Objetos que estão na região
dos asteróides

Meteoritos de Vesta

- Pertencem a um grupo de meteoritos descobertos na Austrália
- Composição parece ser semelhante ao do asteroide 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

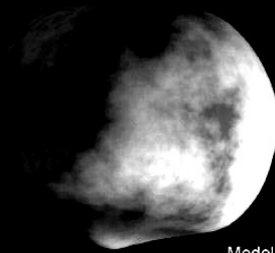


Meteroite · Fragment of Vesta

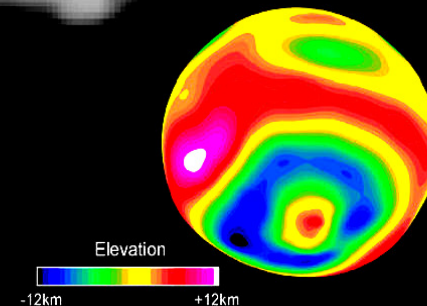
Lab Photograph · Russel Kempton, New England Meteoritical Services
PRC95-20B · ST Sci OPO · April 19, 1995 · B. Zellner (GA Southern Univ.), NASA



HST

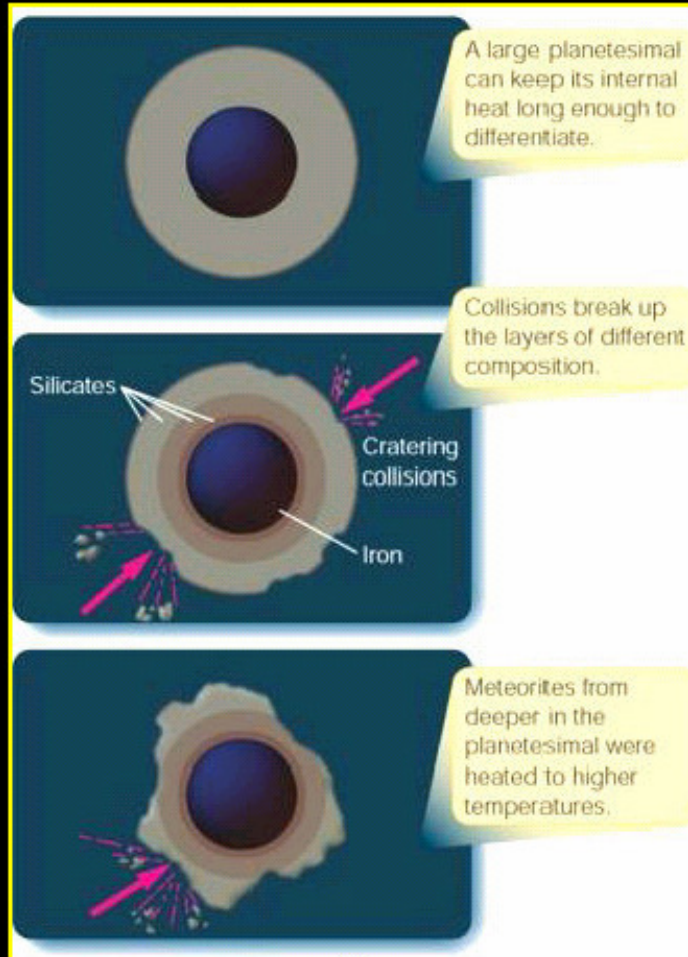


Model

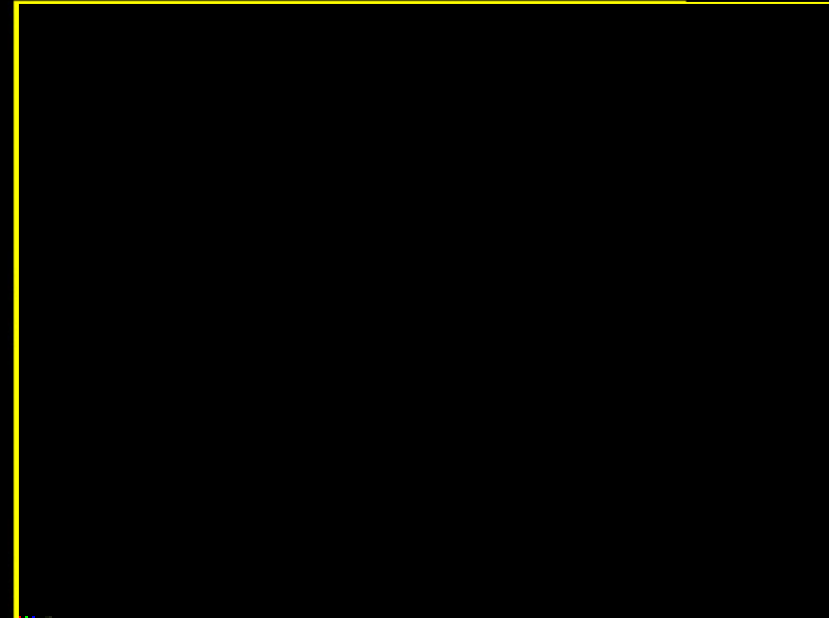


De onde vêm os meteoritos?

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

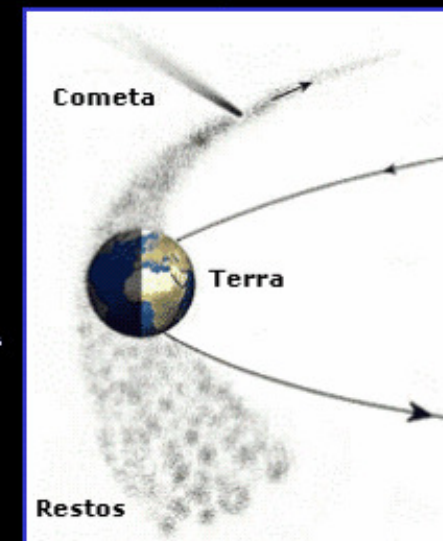


asteróides



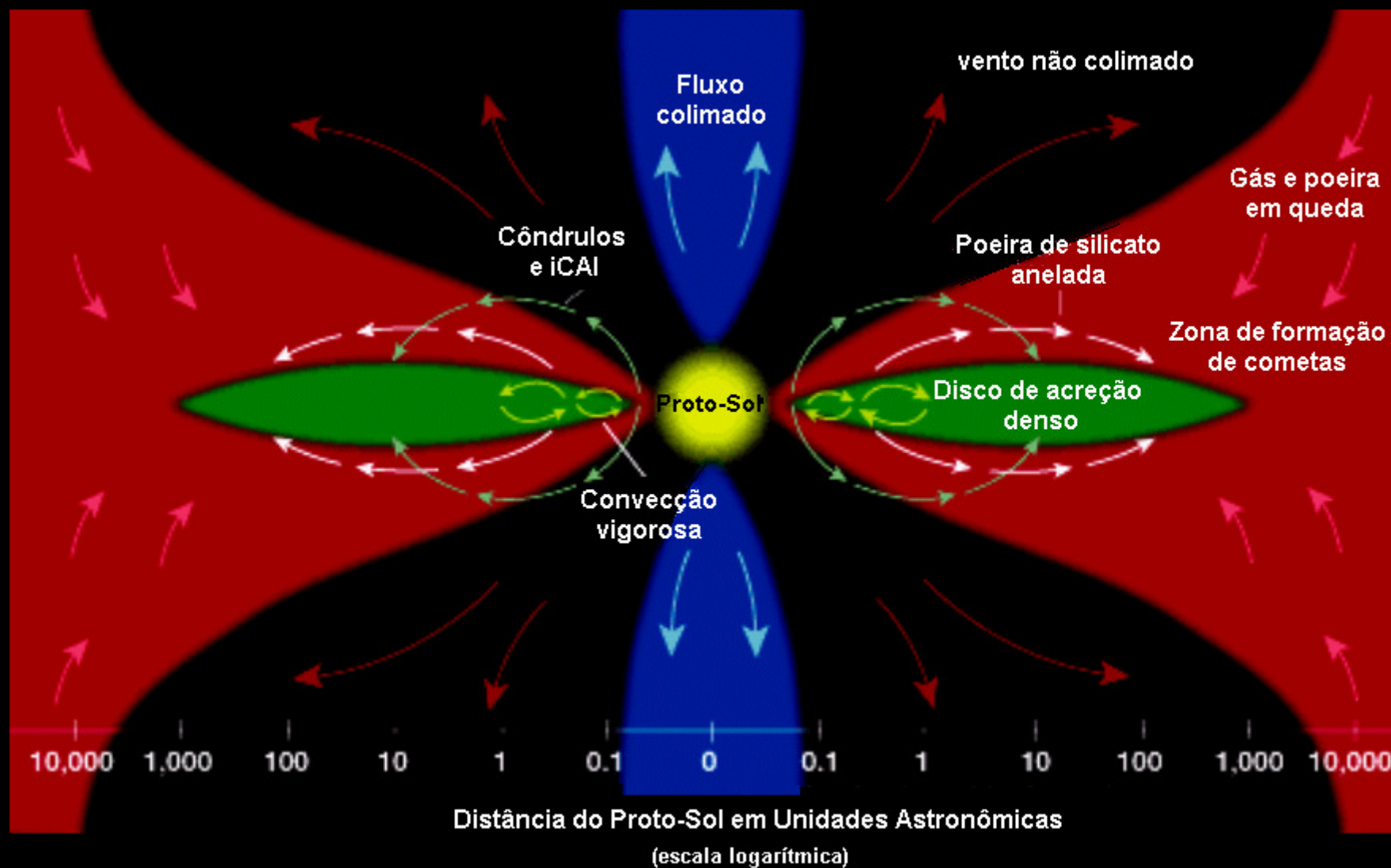
cometas

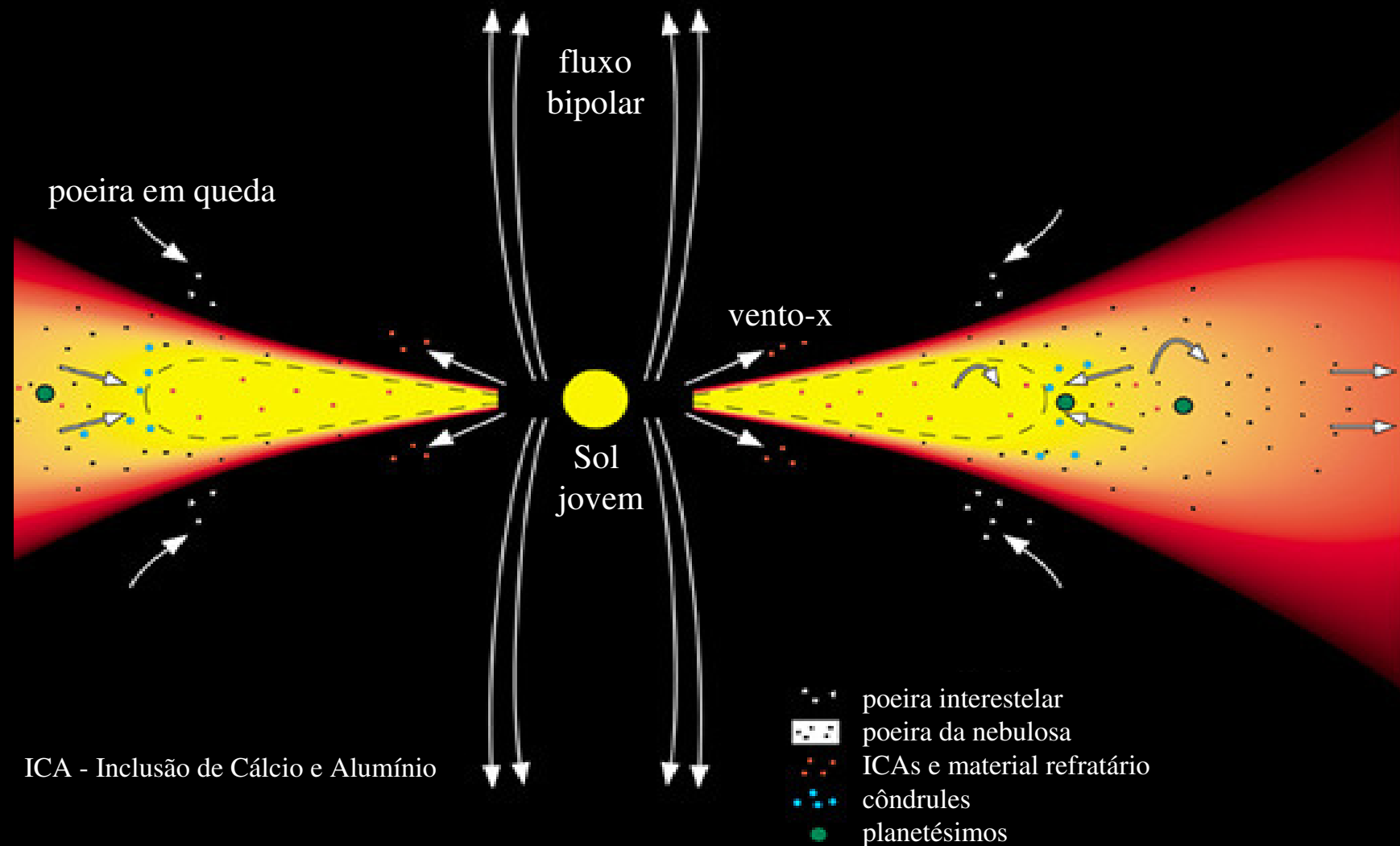
Animação:
Chaisson & McMillan



Acreção e reprocessamento da matéria

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006





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

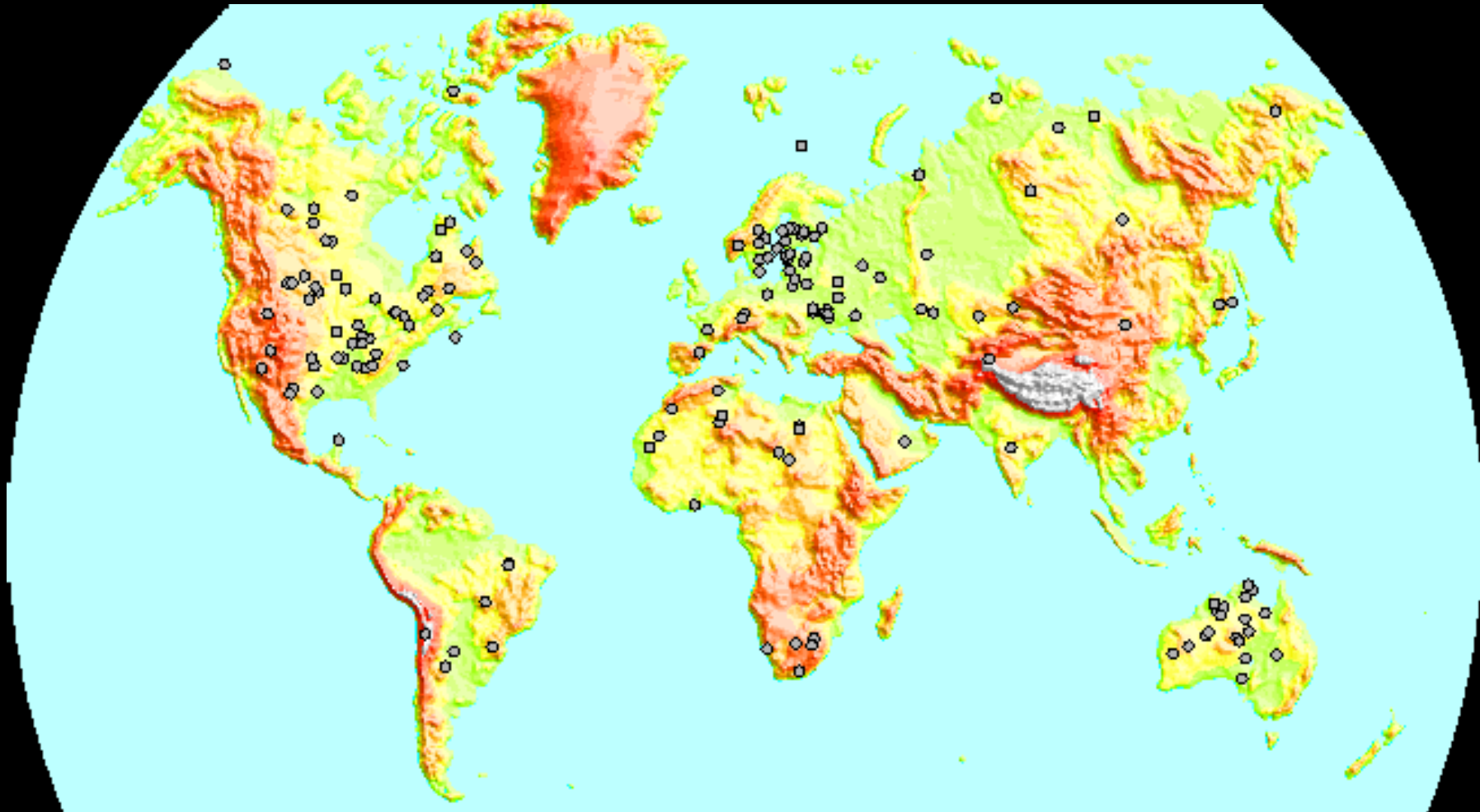
(<http://www.psrd.hawaii.edu>)

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

Crateras de impacto terrestres

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



Estados Unidos da América do Norte

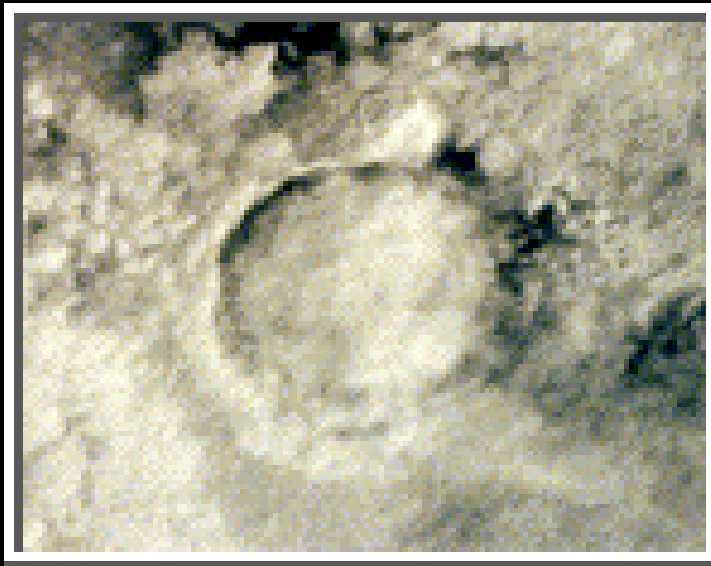
Cratera do Meteoro Arizona

Posição: 35°02' N (lat)
111°01' O (long)
Tamanho: 1,186 km
Idade: 50.000 anos



África

Bosumtwi Ghana (África)



Posição: 06°32' N (lat)
01°25' O (long)
Tamanho: 10,5 km
Idade: 1,3 milhão de anos

Aorounga, Chad

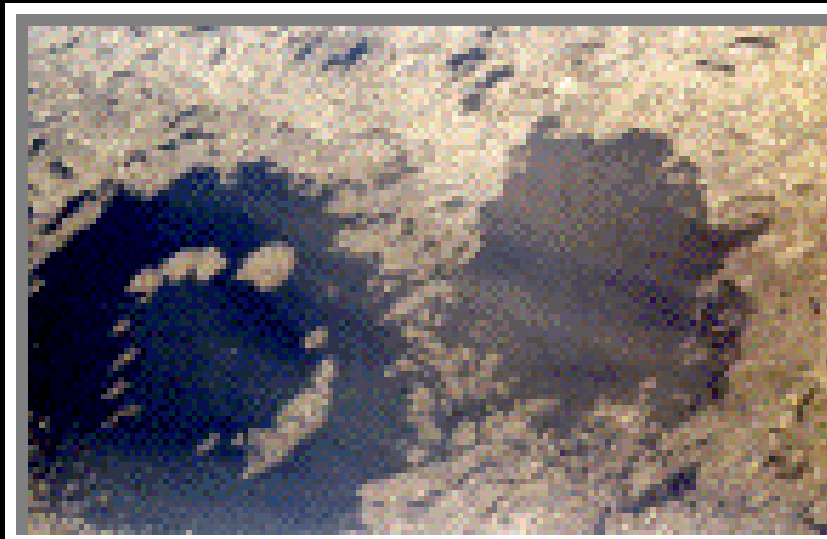


Posição: 19°06' N (lat)
19°15' L (long)
Tamanho: 17 km
Idade: 200.000 anos

Canadá

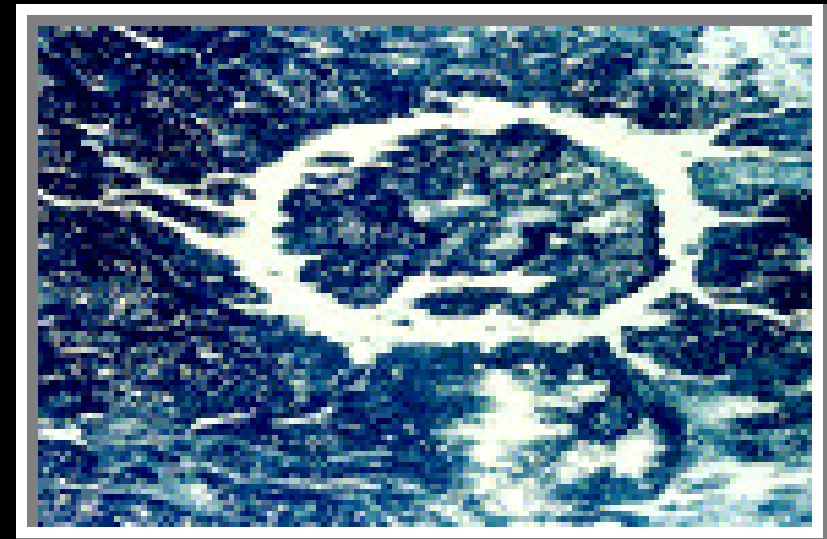
Quebec

Clearwater



Posição: 56°13' N 56°05' N (lat)
 74°30' W 74°07' W (long)
Tamanho: 32 km 22 km
Idade: 290.000 anos

Manicouagan



Posição: 51°23' N (lat)
 68°42' O (long)
Tamanho: 100 km
Idade: 212 milhões de anos



Visão da época

A poeira permaneceu semanas na atmosfera.

A luz solar refletida clareava as noites numa extensão que ia das montanhas do Cáucaso às Ilhas Britânicas.

Nenhum fragmento foi encontrado no solo.



Visão atual

Tunguska
Região da Sibéria
30/Junho/1908, às 7h

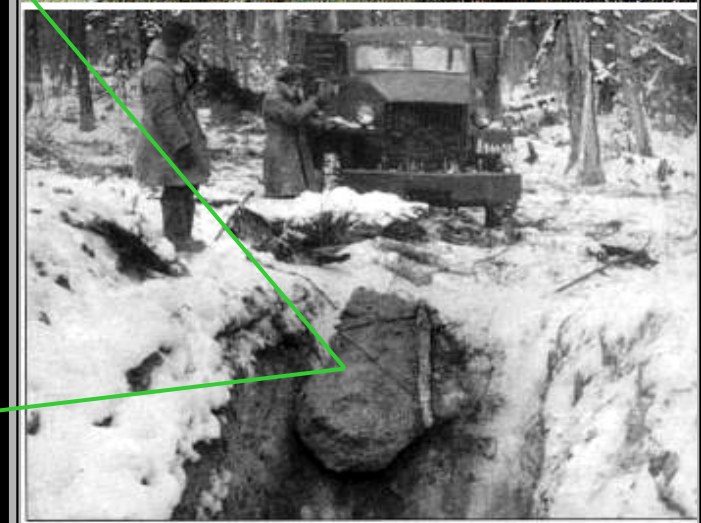
Sibéria Sikhote-Alin

Natureza:
meteorito ferroso

Ocorrência:
manhã de 12 de fevereiro de 1947.



Parte do meteorito (180 g)



Crateras de impacto terrestres

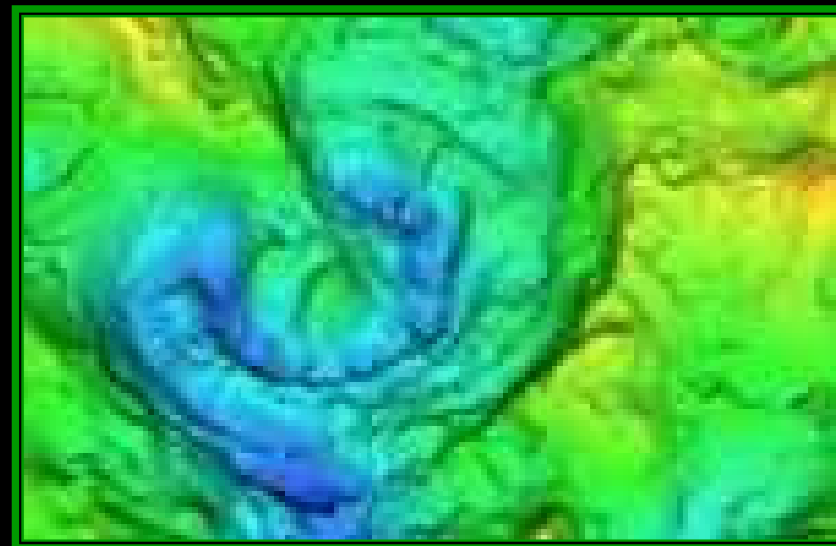
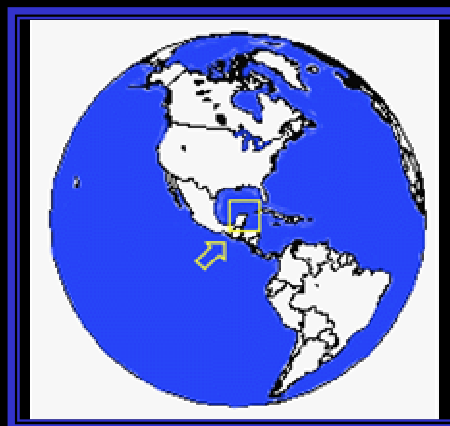
Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

Chicxulub

**Península
de Yukatan**

**65 milhões
de anos**

México



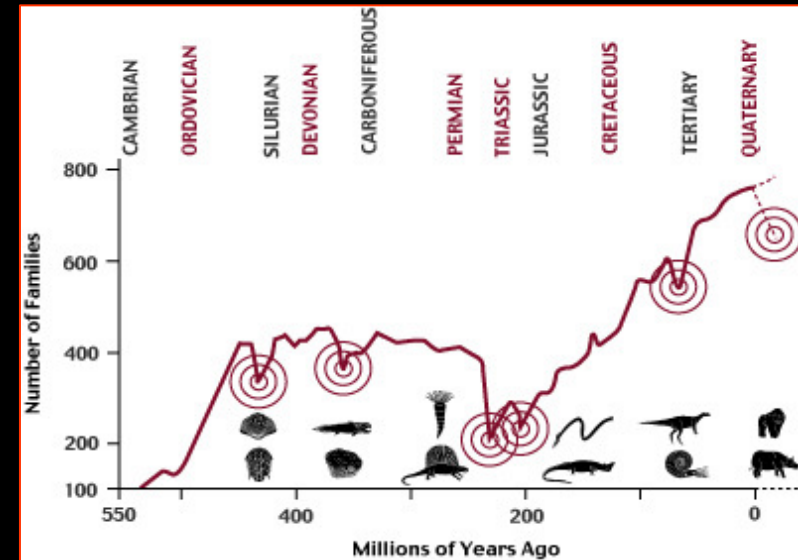
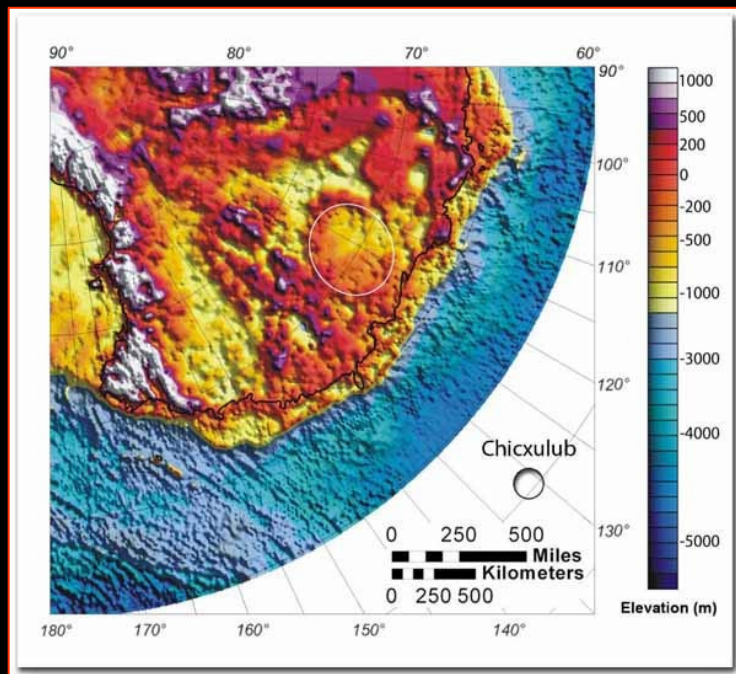
Crateras de impacto terrestres

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006

Wilkes Land

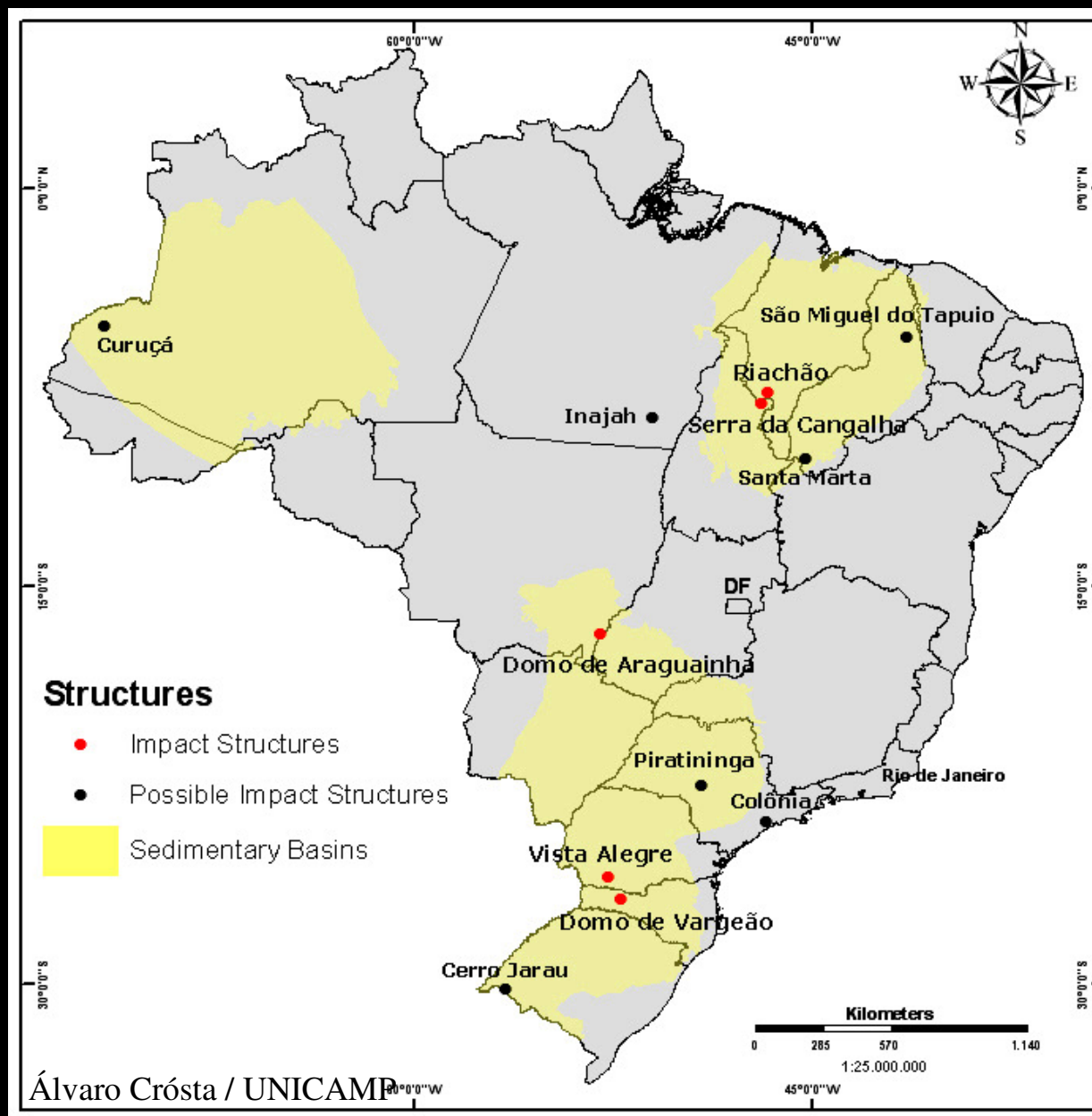
~480km
250 milhões de anos

Esta cratera, recentemente descoberta, foi produzida por um impacto de grandes proporções ocorrido na época da maior extinção em massa registrada.



Crateras de impacto no Brasil

Enos Picazzio
IAGUSP - Out. 2006



No Brasil, as crateras do
Domo de Araguainha (MT/GO), 40 km de diâmetro,
Serra da Cangalha (TO), 12 km,
Riachão (MA), 4 km,
são astroblemas confirmados.
Cinco outras suspeitas no país ainda precisam ser analisadas
pelos pesquisadores.
No mundo, foram detectados cerca de 160 astroblemas,
muitos ainda não investigados.

As crateras de impacto da Terra:
www.solarviews.com/enq/crater.htm

Crateras de impacto no Brasil

Araguainha Dome Mato Grosso

Localização

Idade

249 ± 19 milhões de anos.

Cratera

40 km de diâmetro e

Foto mostrando toda cratera, ela abrange os estados de Mato Grosso (centro do impacto) e Goiás (embaixo e à direita).



© <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

Crateras de impacto no Brasil

Estrutura de São Miguel do Tapuio - PI

Localização

Lat.: 5°38'S; Long.: 41°24'W

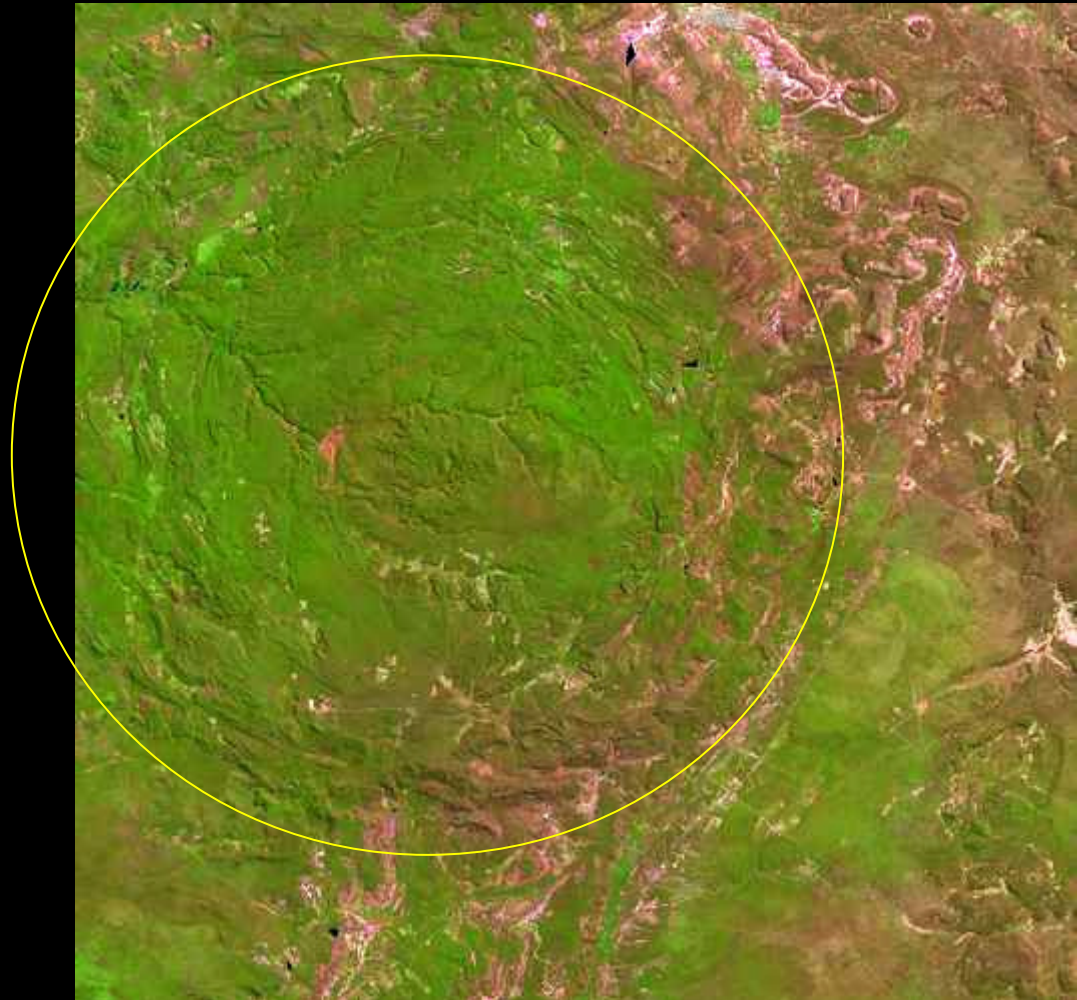
Idade

pré-abertura do Oceano Atlântico

Cratera

~ 20 km de diâmetro.

© EMBRAPA



Crateras de impacto no Brasil

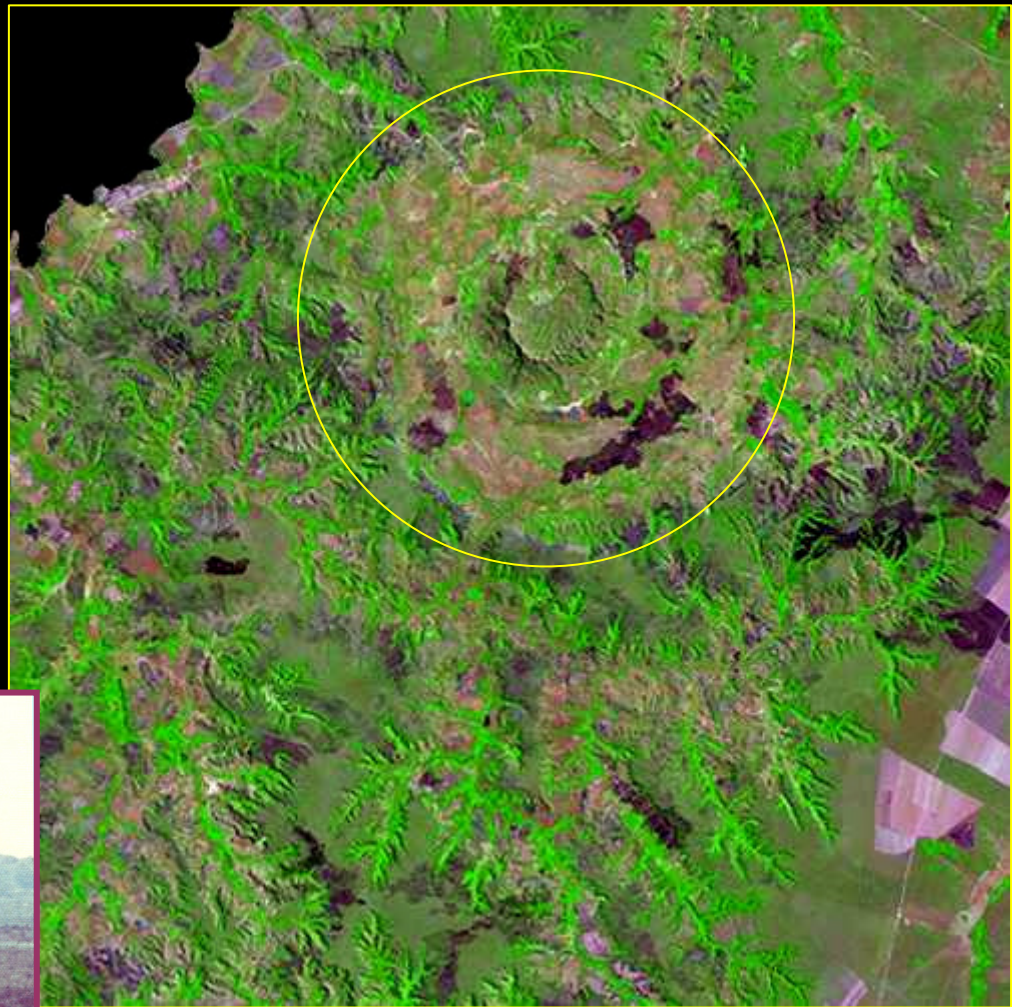
Serra da Cangalha
Tocantins

Localização:

Idade
300 milhões de anos

Cratera
tem 12 km de diâmetro

© EMBRAPA



Crateras de impacto no Brasil

Cratera do Vargeão - SC

Localização:

Lat.: 26° 48.5'S ; Long.: 52° 09.9'W

Idade:

entre 70 e 110 milhões de anos

Objeto impactante:

asteróide entre 700 e 1000 metros de diâmetro

Cratera:

cerca de 12 km de diâmetro.



Crateras de impacto no Brasil

Cerro do Jarau - RS

Localização

Lat.: 30°12'S; Long.: 56° 33'W

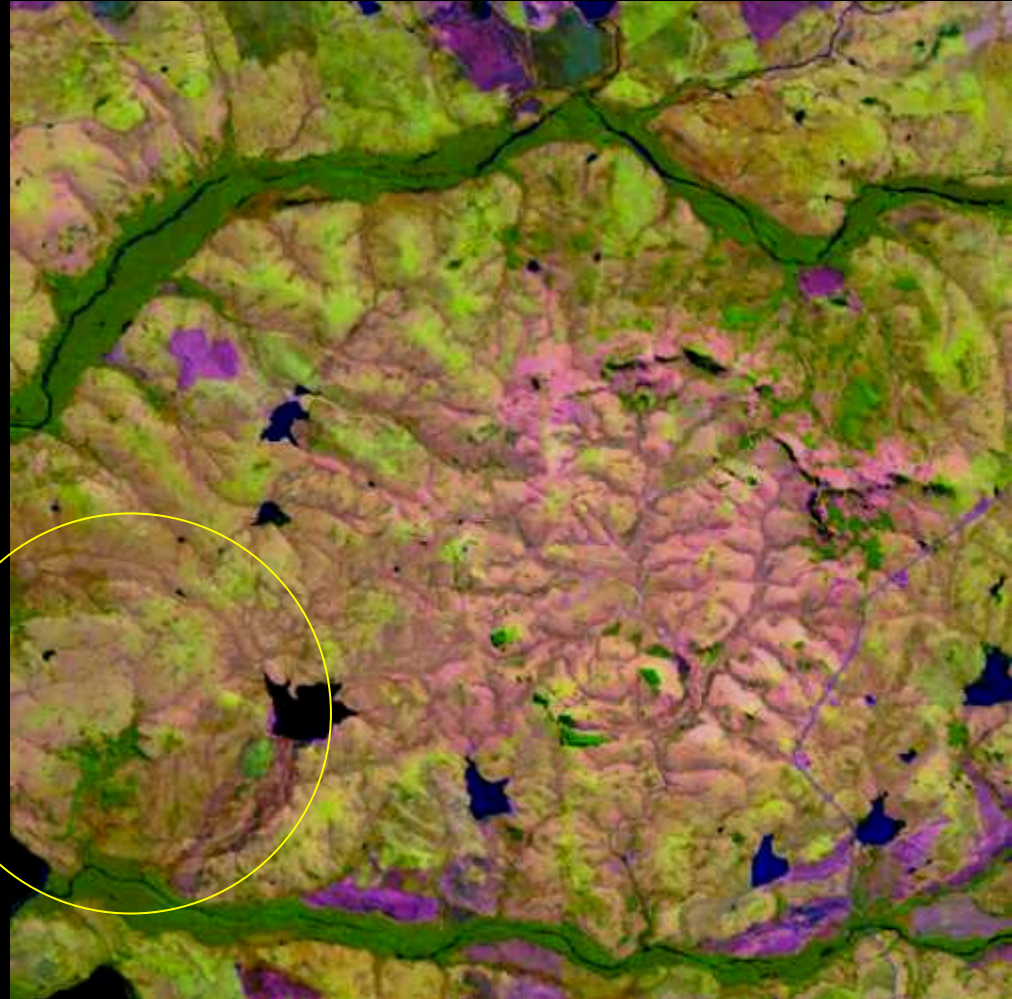
Idade

117 ± 17 milhões de anos

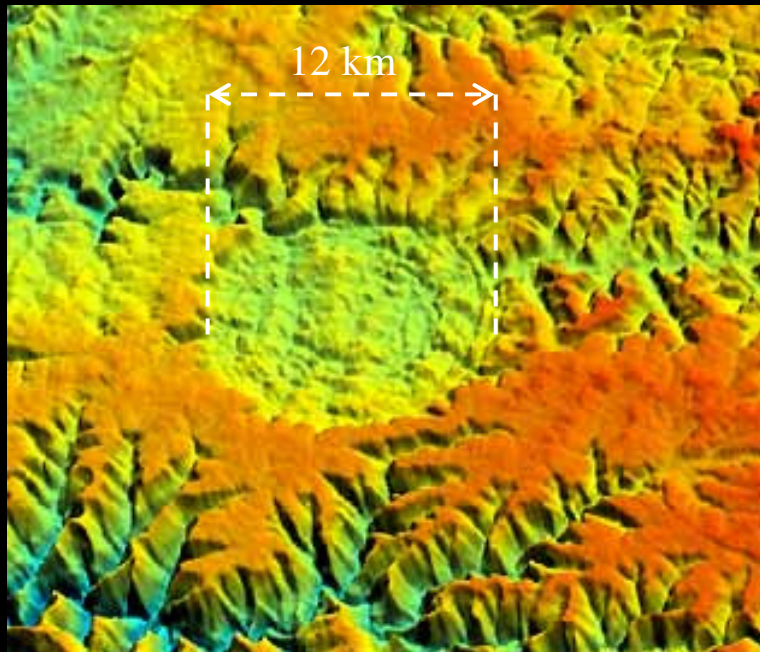
Cratera

5,5 km de diâmetro.

A estrutura central está um pouco à direita do centro na área rosada onde se vê alguns picos num alinhamento semicircular. A borda da cratera apresenta lagos(escuros) que se vê ao oeste e sudeste.



Crateras de impacto no Brasil



Topografia da cratera de Vargeão (SC) com base nos dados do radar interferométrico do ônibus espacial Endeavour (imagens: A.P. Crósta e C. Kazzuo)

Há mais de 70 milhões de anos, a queda de um asteroide de cerca de 600 metros de diâmetro causou destruição num raio de centenas de quilômetros e afetou toda a América Latina. Isso ocorreu aqui mesmo no sul do Brasil, como recentemente comprovaram cientistas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

O impacto do asteroide, cuja força foi semelhante à de 550 mil bombas atômicas iguais à de Hiroshima, gerou uma cratera de 12 km de diâmetro no atual município de Vargeão (SC).



As estrias encontradas em amostras de arenito (esq.) e basalto (dir.) foram provocadas pelo choque de um asteroide no período Cretáceo

Crateras de impacto no Brasil

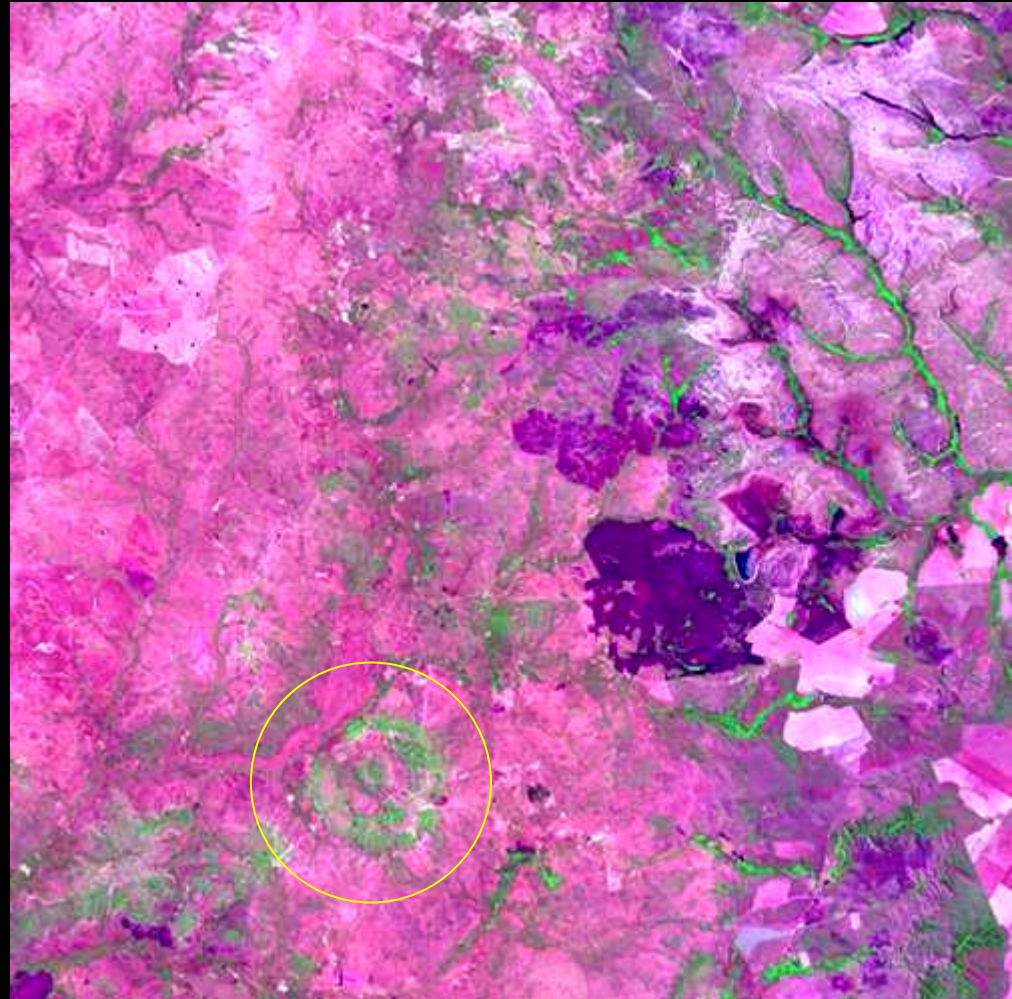
Riachão Ring, Maranhão

Localização

Idade
200 milhões de anos

Cratera
4,5 km de diâmetro e, em baixo um
pouco à esquerda do centro.

© EMBRAPA



Crateras de impacto no Brasil

Cratera de Vargem Grande



Panorâmica



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; Forma: aerodinâmica (formada pelo atrito com a atmosfera).

♦ 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)

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.

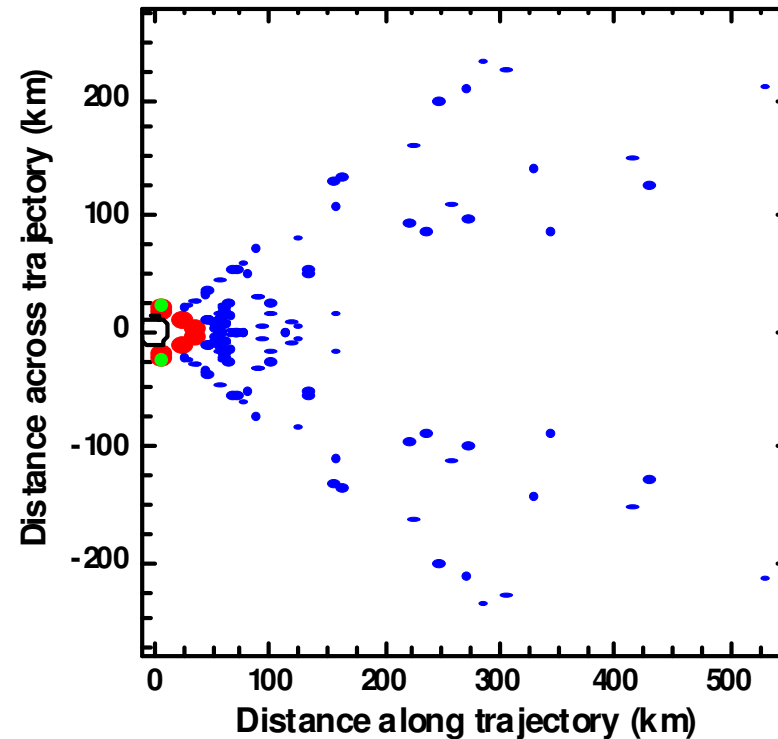
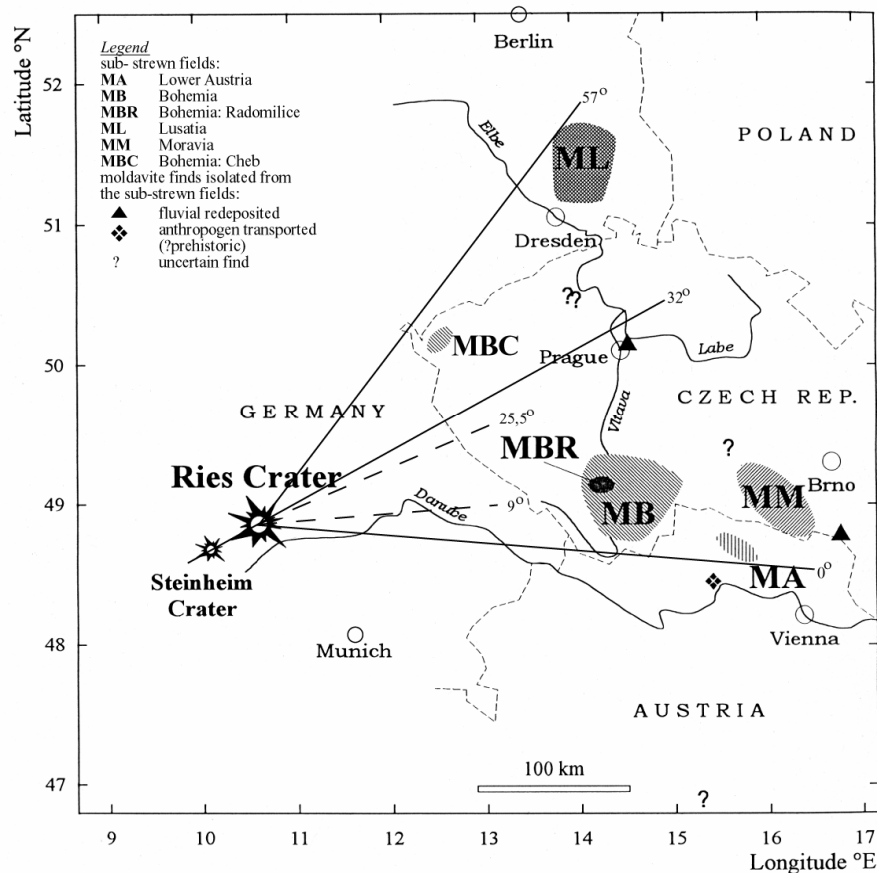
1958: J.S. Rinehart apresenta um artigo científico discutindo
a origem colisional deles.

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

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

Formação de tectitos: Moldavitos

Stöffler, Artemieva, Pierazzo, 2003

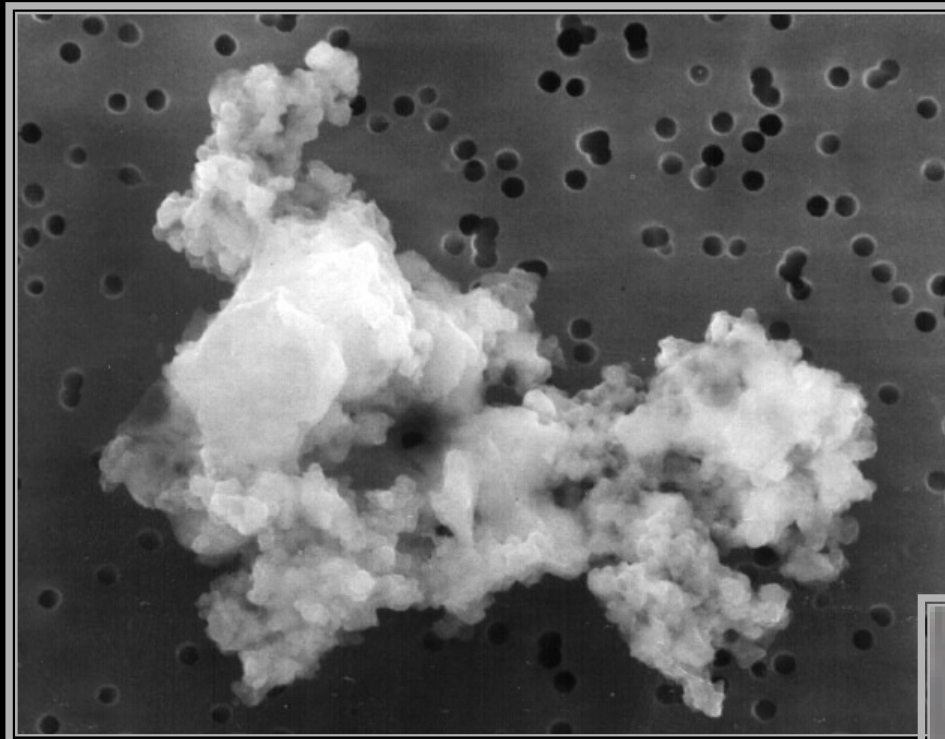


Tectitos formam-se em impactos de média intensidade em áreas ricas em areia.

Distribuem-se pelas áreas vizinhas ao impacto

Baixo conteúdo de água evidencia evolução térmica de gotas fundidas

Poeira Zodiacal

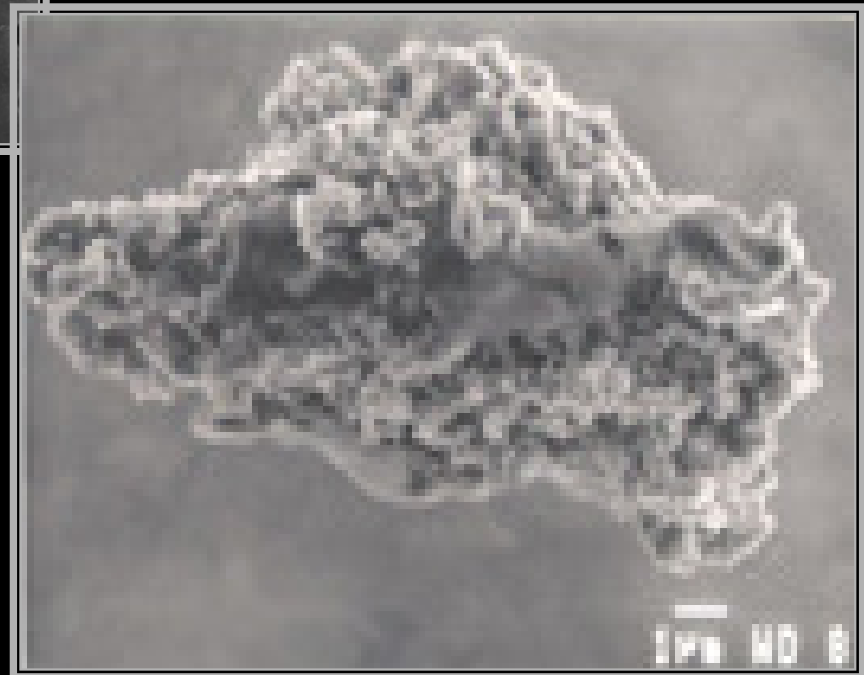


Asteróides e, principalmente, cometas são as fontes de produção de poeira.

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.



Poeira Zodiacal



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

