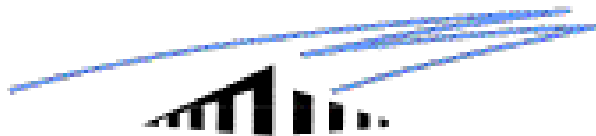


# Workshop de Astronomia e Instrumentação

25 horas

Prof. Doutor Pedro Augusto

GRUPO DE ASTRONOMIA  
UNIVERSIDADE DA MADEIRA



AGÊNCIA NACIONAL  
PARA A CULTURA  
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

## O FORMADOR

- Licenciado em Física/Matemática Aplicada (ramo de Astronomia), Univ. Porto, 1993
- Doutorado em Rádio Astronomia, Univ. Manchester (UK), 1996
- Agregado em Física, Univ. Madeira, 2007
- Prof. Auxiliar com Agregação, Univ. Madeira, desde 1998
- Presidente do Grupo de Astronomia, Univ. Madeira, desde 2000
- Director de Curso da Licenciatura em Eng<sup>a</sup> de Instrumentação e Electrónica (ramo de Astronomia)

## O GRUPO DE ASTRONOMIA ([www.uma.pt/astro](http://www.uma.pt/astro))

- Investigação em Astronomia e Astrofísica (dezenas de artigos publicados)
- Projecto de instalação de dois observatórios na RAM: óptico e rádio
- Divulgação da Astronomia na RAM: palestras, cursos de formação, sessões de observação, etc.
- Iniciativa anual “Semana da Astronomia”

## PROGRAMA GERAL

### Introdução à Astronomia (8 horas)

- 0 – Noções gerais
- 1 – O Sistema Solar
- 2 – Estrelas
- 3 – Enxames de estrelas
- 4 – A Nossa Galáxia
- 5 – Astronomia Extragaláctica
- 6 – Cosmologia

### Telescópios e Instrumentação (4 + 4 horas) prática

- 1 – Óptica geométrica
- 2 – Telescópios
- 3 – Montagens
- 4 – Detectores
- 5 – Ópticas activa e adaptativa
- 6 – Medidores de espectro

### Galileo Teacher Training Programme (8 horas) prática

Avaliação  
(1 hora)

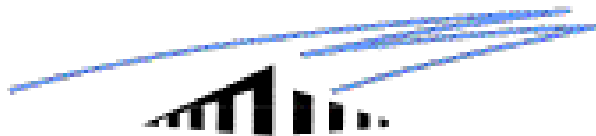
# Introdução à Astronomia

**Workshop de Astronomia e Instrumentação**

**Parte I**

Prof. Doutor Pedro Augusto

GRUPO DE ASTRONOMIA  
UNIVERSIDADE DA MADEIRA



AGÊNCIA NACIONAL  
PARA A CULTURA  
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

## PROGRAMA

0 – Noções gerais

1 – O Sistema Solar

2 – Estrelas

2.1 O Sol

2.2 Espectros, luminosidades e massas

2.3 Origem, evolução e morte

3 – Exames de estrelas

4 – A Nossa Galáxia

4.1 O meio interestelar

4.2 Estrutura geral

5 – Astronomia Extragaláctica

5.1 Galáxias: classificação e estrutura

5.2 Associações de galáxias

5.3 Galáxias activas

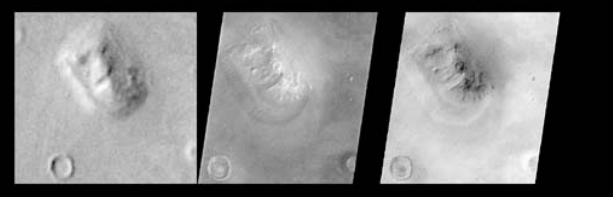
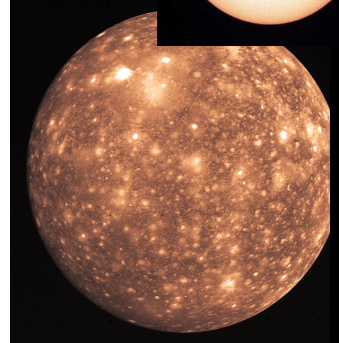
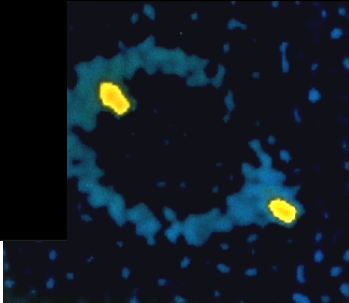
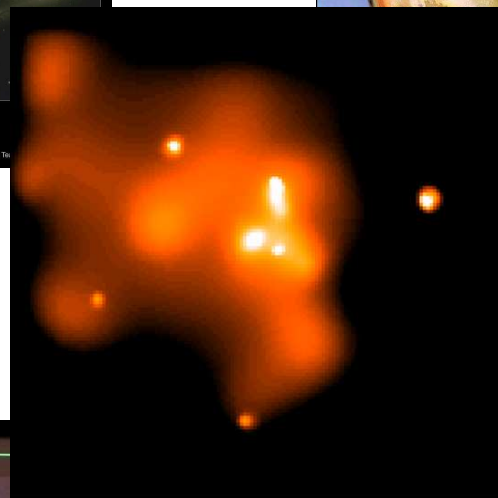
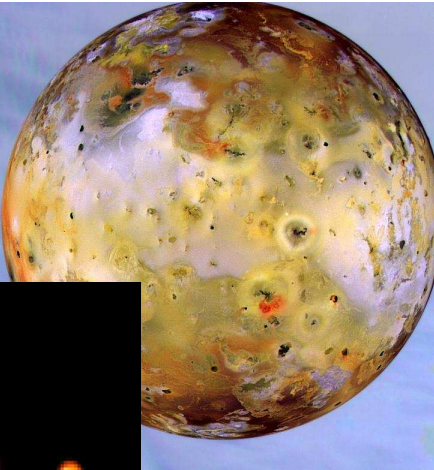
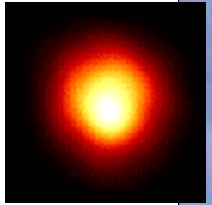
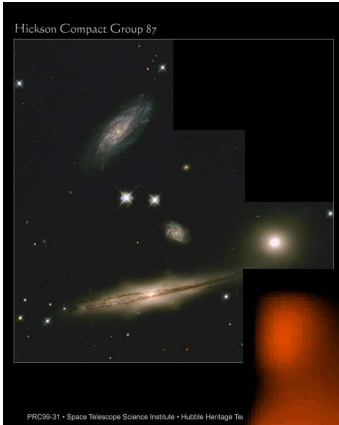
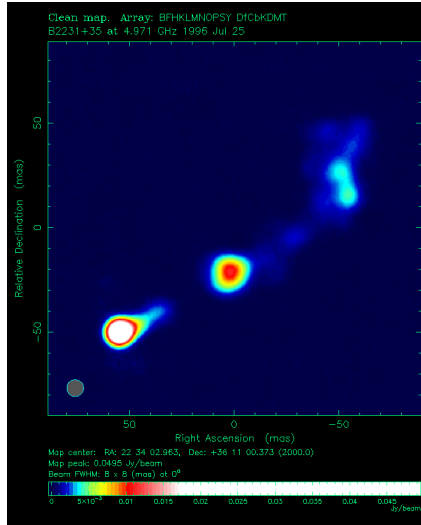
5.4 Distâncias e constante de Hubble

5.5 Evolução

6 – Cosmologia

## BIBLIOGRAFIA

- “Astronomy – a physical perspective” (2003), 2nd ed; Kutner, M.L.; Cambridge University Press
- “The New Cosmos” (2002), Unsold, A., Baschek, B.; Springer
- “Astronomy – the evolving Universe” (2002), Zeilik, M.; Cambridge University Press
- “Astrophysics I” + “Astrophysics II” (1984), Bowers, R., Deeming, T.; Jones & Bartlett
- “The Physical Universe” (1982), Shu, F.H.; Un. Science Books
  
- “Astronomia Extragaláctica” (1998), Augusto, P.; UMa
- “Instrumentação em Astronomia” (2007), Augusto, P.; UMa



**“...all observation must be for or against  
some view if it is to be of any service!”**

*Charles Darwin*



## Unidades

1 pc  $\approx$  3.3 anos-luz  $\approx$   $3.1 \times 10^{16}$  m

1 U.A.  $\approx$   $1.50 \times 10^{11}$  m (unidade astronómica)

$c \approx$  300 000 km/s (velocidade da luz)

1  $M_{\odot} \approx$   $2.0 \times 10^{30}$  Kg (massa solar)

1  $R_{\odot} \approx$   $7.0 \times 10^8$  m (raio solar)

## Sistema de grandezas

$m \equiv$  grandeza aparente

(gregos) estrela  $m=1 \rightarrow$  100 vezes **mais** brilhante  
(mais distante? mais **lumino**)

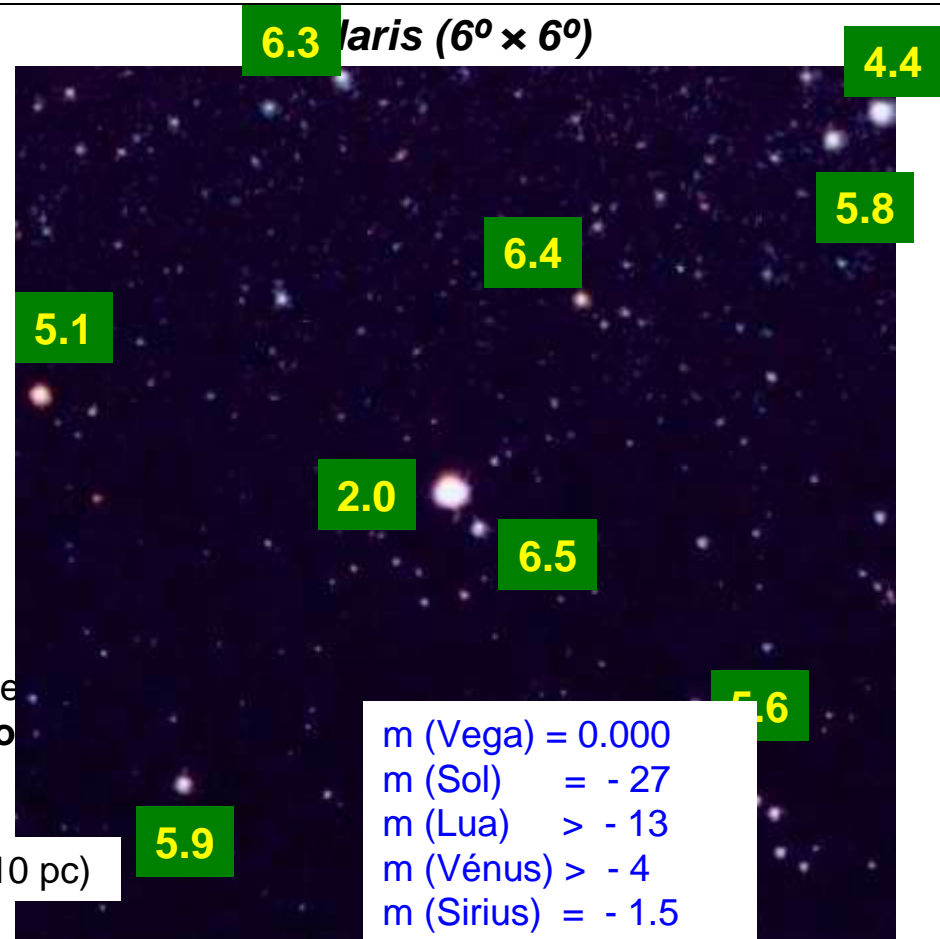
$$m_1 - m_2 = -2.5 \log (b_1/b_2)$$

$M \equiv$  grandeza absoluta (=  $m$  à distância padrão de 10 pc)

$$M - m = 5 - 5 \log d(\text{pc}) \quad (\text{módulo de distância})$$

$L \equiv$  luminosidade, potência ou brilho intrínseco =  $4\pi d^2 b$

$$M_1 - M_2 = -2.5 \log (L_1/L_2)$$



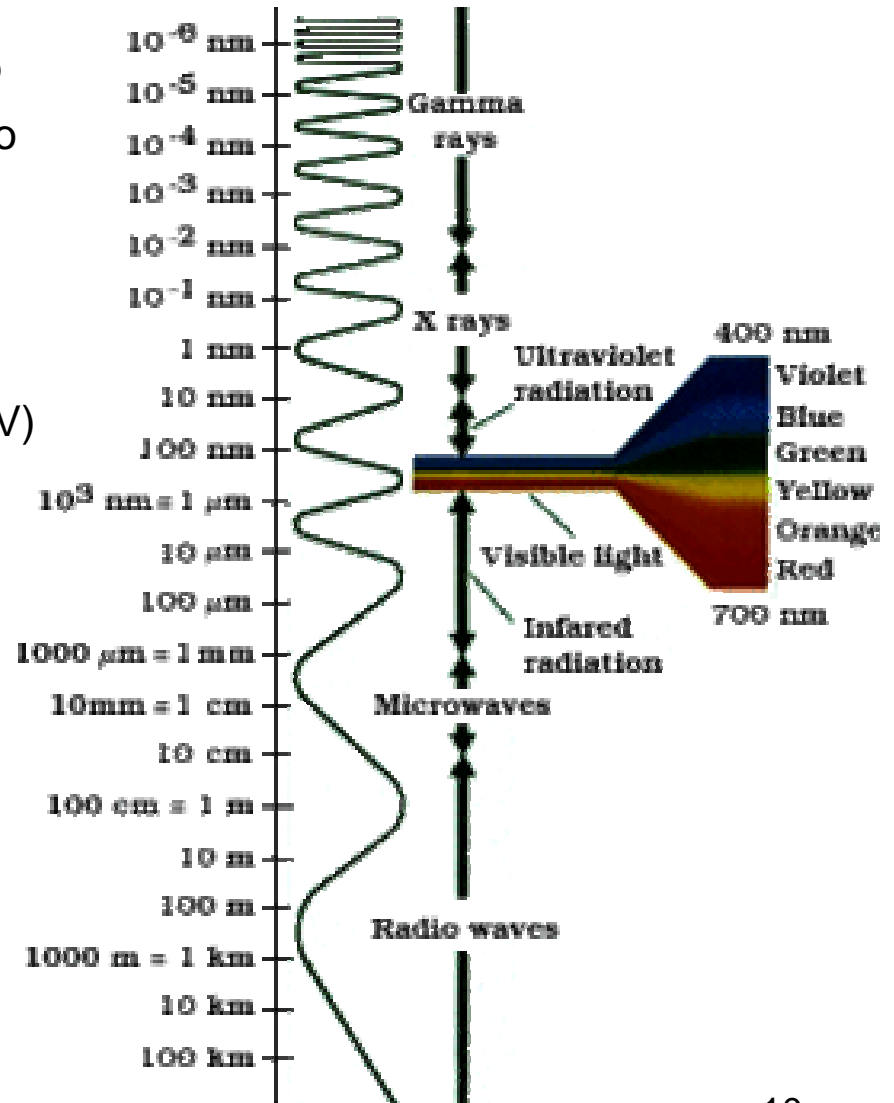
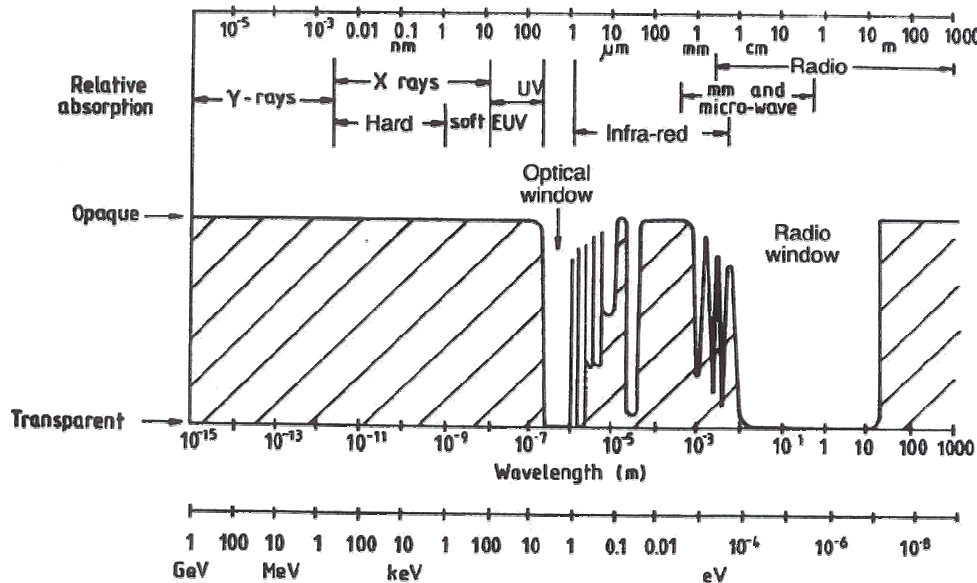
$m$ (Vega) = 0.000
$m$ (Sol) = -27
$m$ (Lua) > -13
$m$ (Vénus) > -4
$m$ (Sirius) = -1.5
$m_{\text{lim}}$ (olho) = +6.5
$m_{\text{lim}}$ (HST) = +31

$M$ (Sol) = +4.7
$M$ (Lua) > +32
$M$ (Vénus) > +30
$M$ (Sirius) = +1.4

## O espectro electromagnético

A luz visível é apenas uma pequena porção do espectro electromagnético. Precisamos de todo o espectro!

A atmosfera da Terra bloqueia a maioria da radiação (excepto óptico, rádio e “janelas” no IV)



## 1 – O SISTEMA SOLAR

Nova(s) definição(ões) de planeta!

### *1 – Equilíbrio hidrostático (forma redonda)*

Dependendo da **densidade**, a “fronteira” entre **planeta/planeta anão** e **pequeno objecto** é:

- rochoso-”terrestre” ( $\sim 4\text{-}5 \text{ g/cm}^3$ ):  $\sim 800\text{km}$  ( **$0.001 M_T$** )
- “rocha com gelo” ( $\sim 1\text{-}2 \text{ g/cm}^3$ ):  $\sim 400\text{km}$

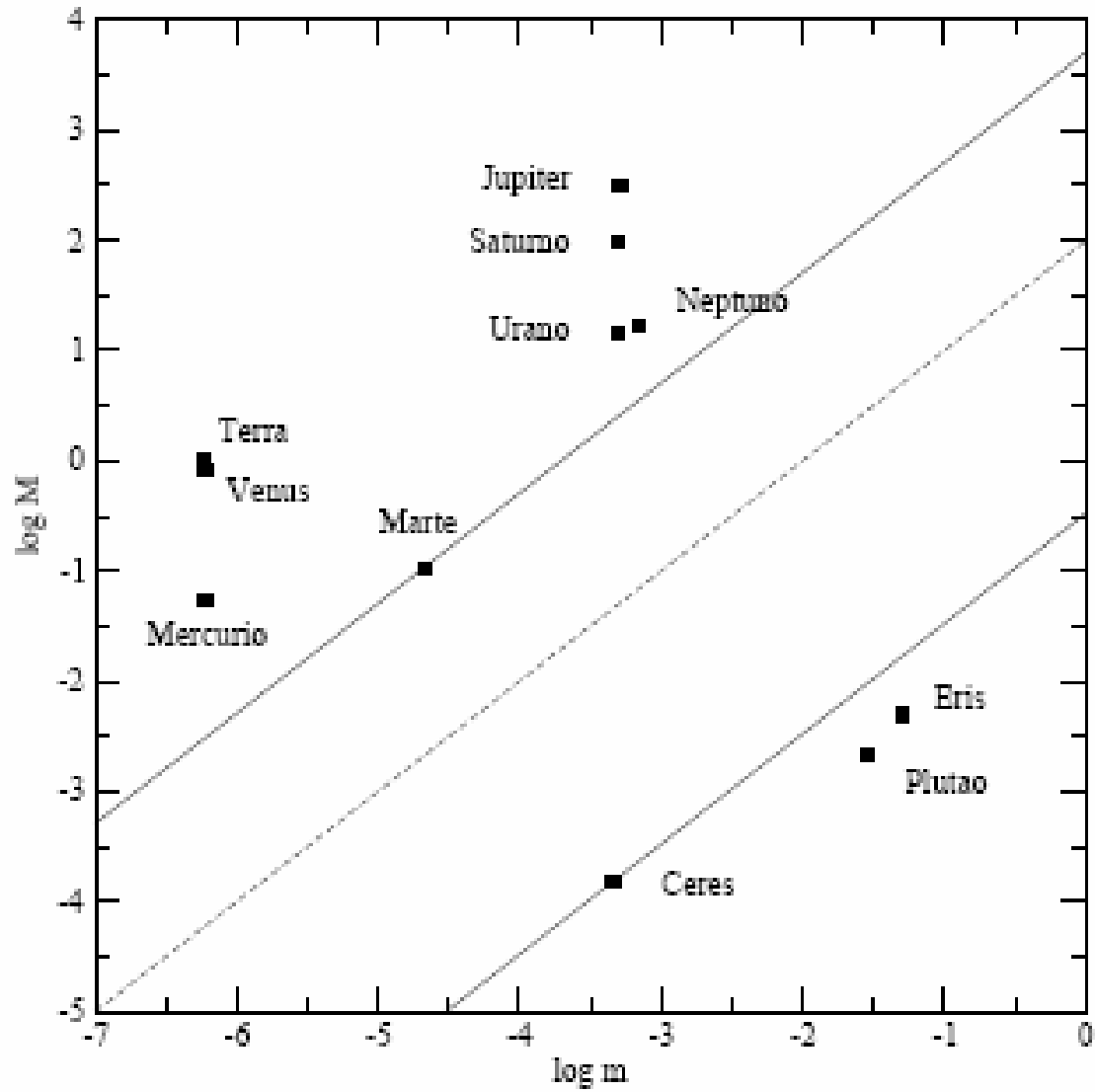
### *2 – Limpeza da “vizinhança” da órbita*

O **único critério** que distingue entre planetas e planetas anões.

Usa-se a **razão** entre a massa total de um planeta/planeta anão ( **$M$** ) e a massa acumulada dos restantes objectos que partilham a mesma região orbital (vizinhança) –  **$m$** .

Um corpo é um **planeta** sempre que  $\mu = M / m \geq 100$

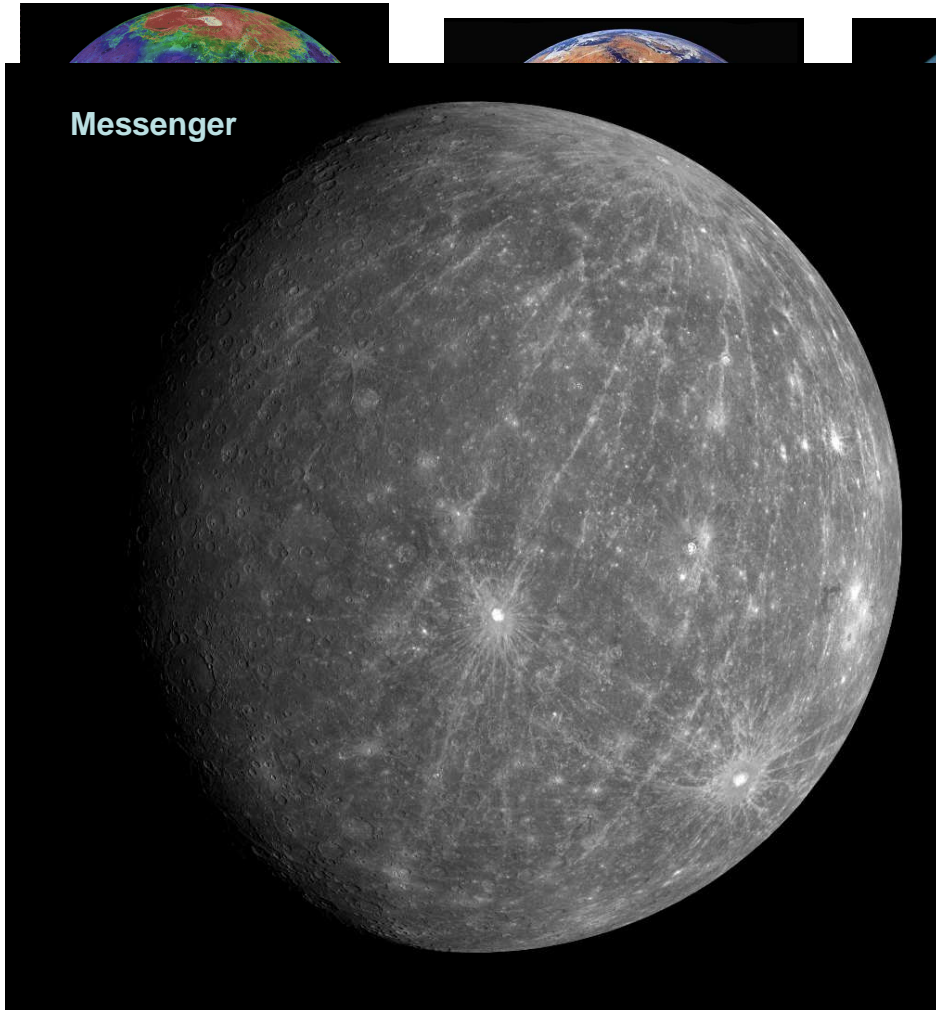
...e é um **planeta anão** quando  $\mu < 1$



## Planetas rochosos

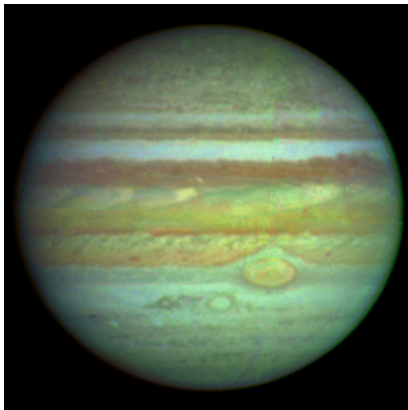


**Mercúrio**



**Marte**  
(2 satélites)

## Planetas gasosos



**Júpiter**  
(>63 satélites)



**Neptuno**  
(>13 satélites)

Dois sites com informações actualizadas sobre planetas (e não só):

[www.nineplanets.org](http://www.nineplanets.org)

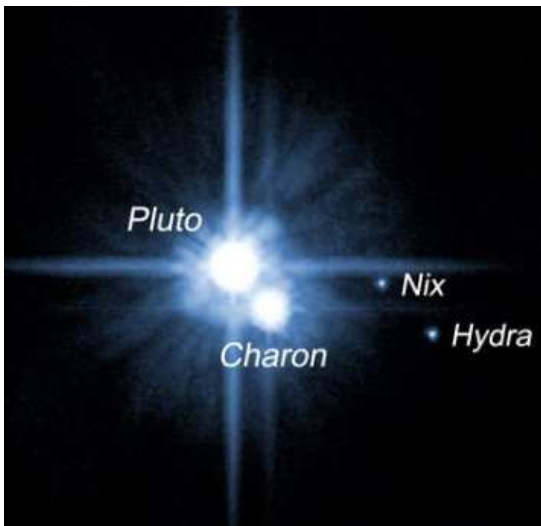
[SkyandTelescope.com/planetsats](http://SkyandTelescope.com/planetsats)

## Planetas anões

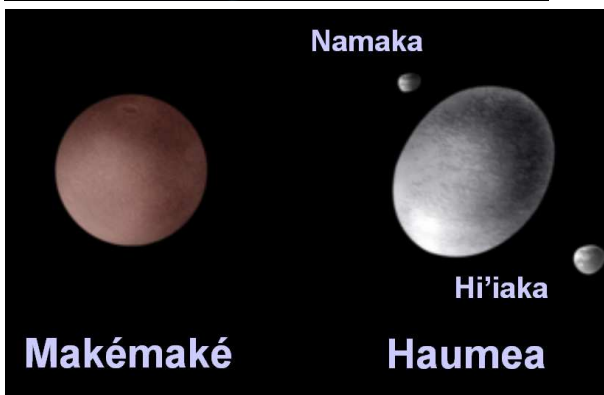
Para já são **cinco** os planetas anões: **Ceres**, **Plutão**, **Éris**, **Makémaké** e **Haumea**.



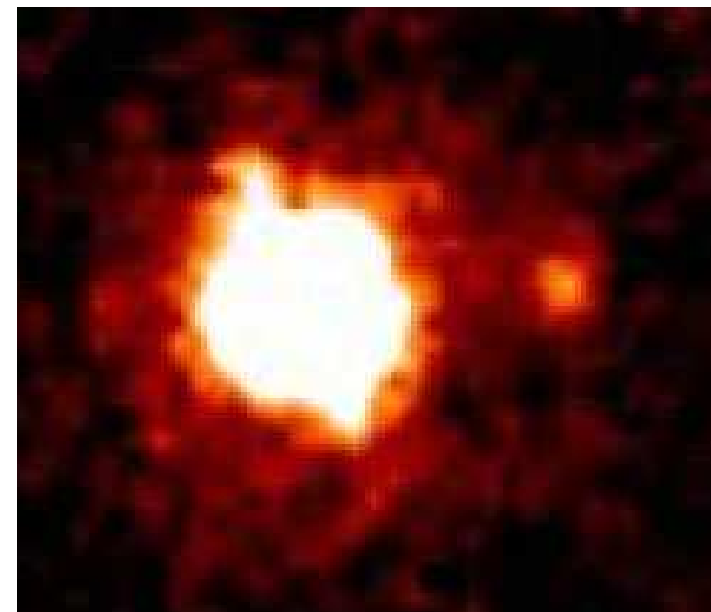
Ceres ( $975 \times 909 \text{ km}^2$ ), o “rei” do Cinturão de Asteróides (Principal).



Plutão (2306km), o seu companheiro (Charon – 1200km) e ainda Nix (88km) e Hydra (72km).



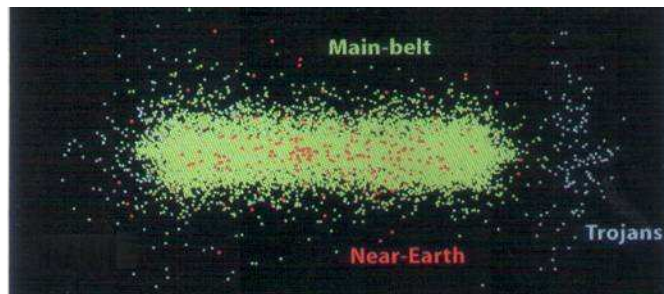
(imagens artísticas)



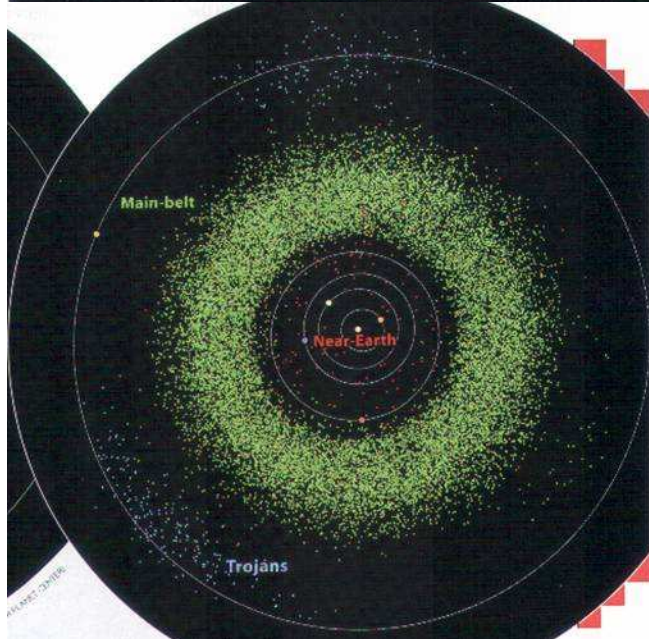
Eris ( $2400 \pm 100\text{km}$ ) e Dysnomia (300km). 14

## Asteróides (Cinturão Principal)

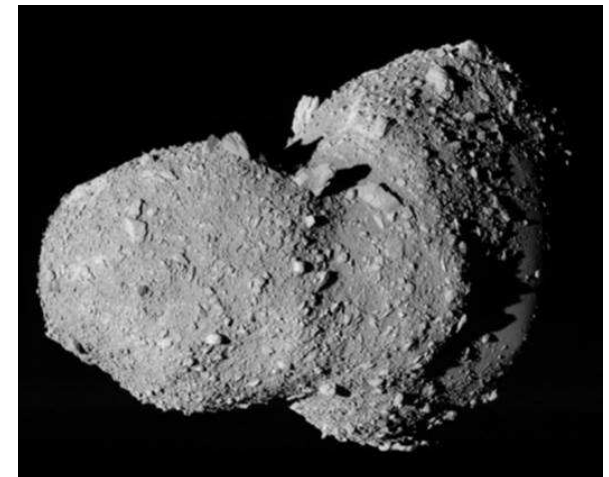
Já com mais de 140 000 “rochas” catalogadas, estima-se o número de asteróides no Cinturão Principal em 1-2 milhões (>1 km).



*Ida e Dactyl (satélite).*



*Itokawa (“monte de detritos”).*







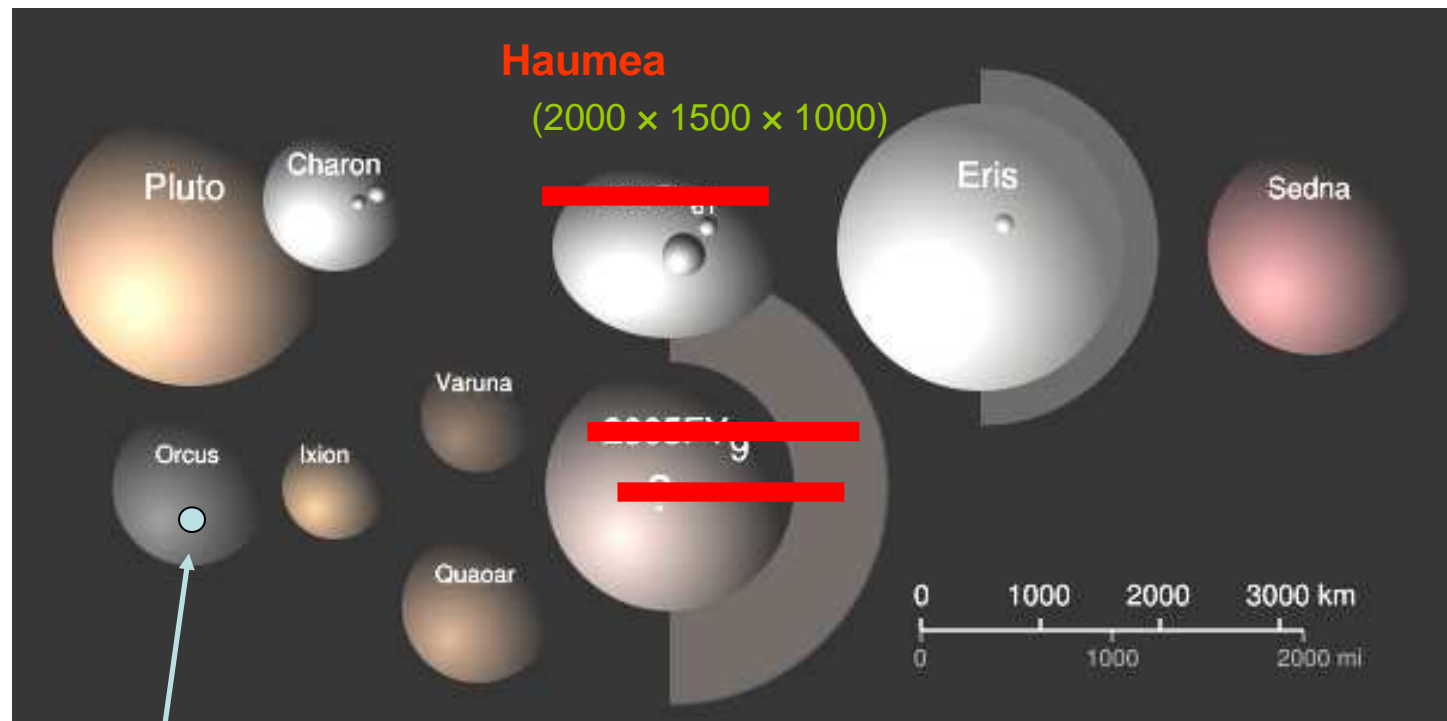
## O Cinturão de Edgeworth-Kuiper

Mais de 1000 asteróides **trans-neptunianos** já foram identificados no Cinturão de Edgeworth-Kuiper. Estimam-se ~100 000 asteróides com >100 km.

Existem **seis** candidatos a planeta-anão (incluindo Charon).

[+Hi'iaka (370km) + Namaka (170km?)]

Os dez maiores objectos do Cinturão de Edgeworth-Kuiper.



Makémaké

Descoberta em  
Março 2009

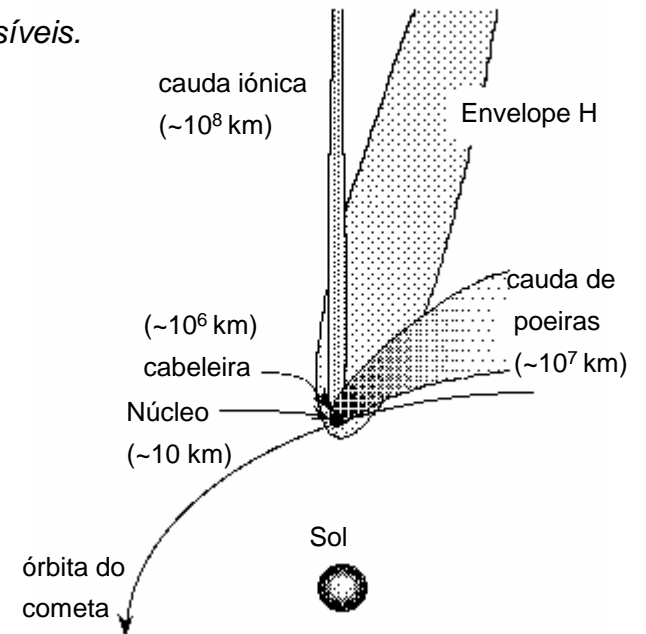
## Cometas

Corpos de rocha e gelo com alguns km de diâmetro.

Com a aproximação ao Sol o material mais volátil evapora, dando origem a duas caudas: uma **iónica** ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e outra de **poeiras**.



*O cometa Hale-Bopp com as duas caudas visíveis.*



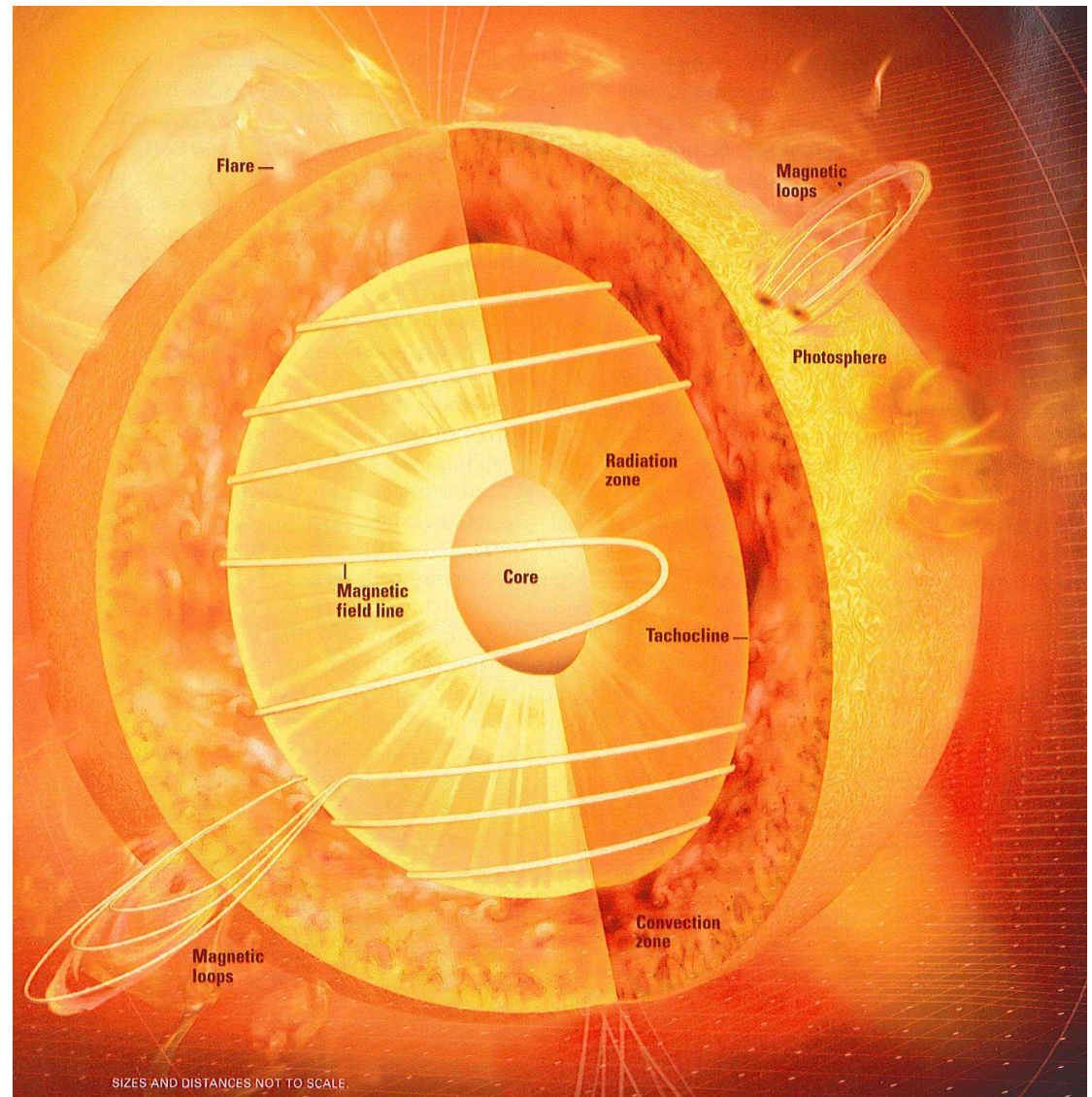
## 2 – ESTRELAS

### 2.1 O Sol

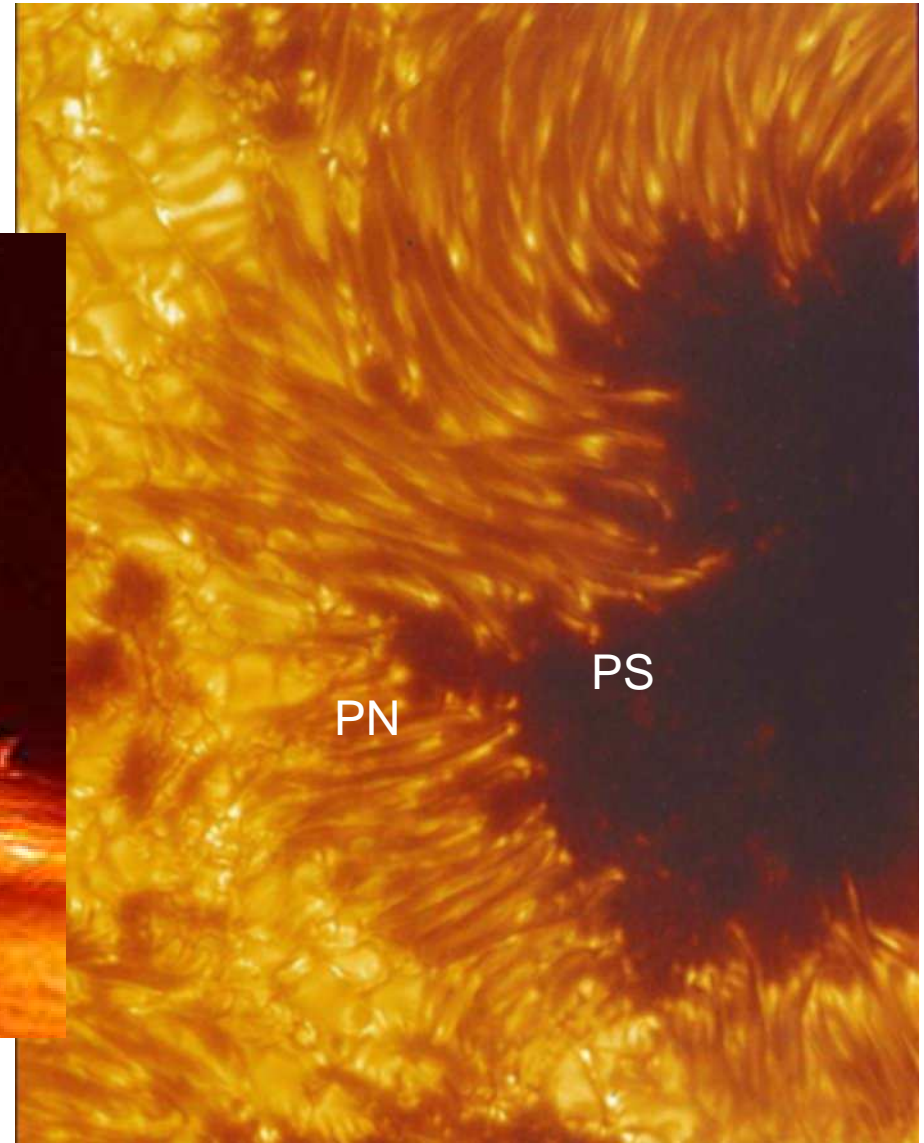
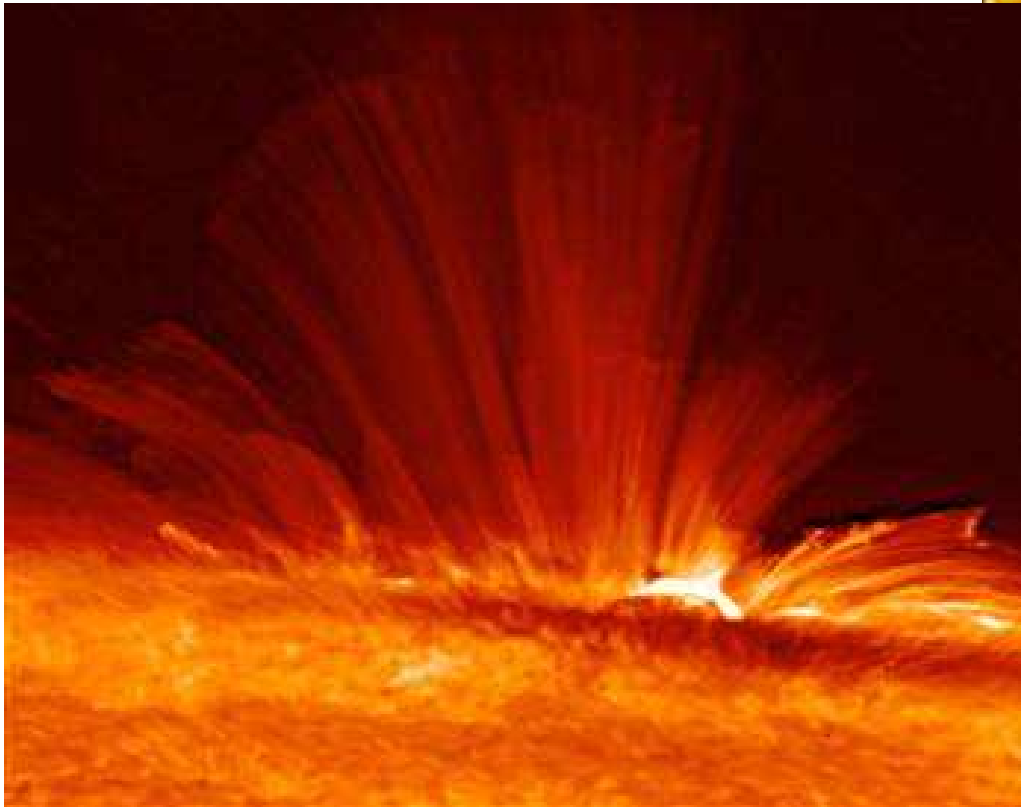
$T_{\text{superfície}} \sim 5500^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{interior}} \sim 15\,000\,000^{\circ}\text{C}$

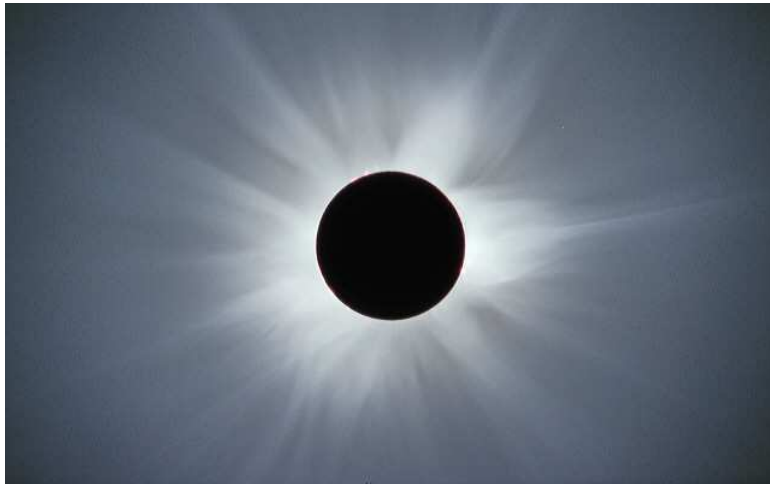
[fusão nuclear:  
 $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{He} + \text{energia}$ ]



O Sol tem regiões de grande concentração magnética.

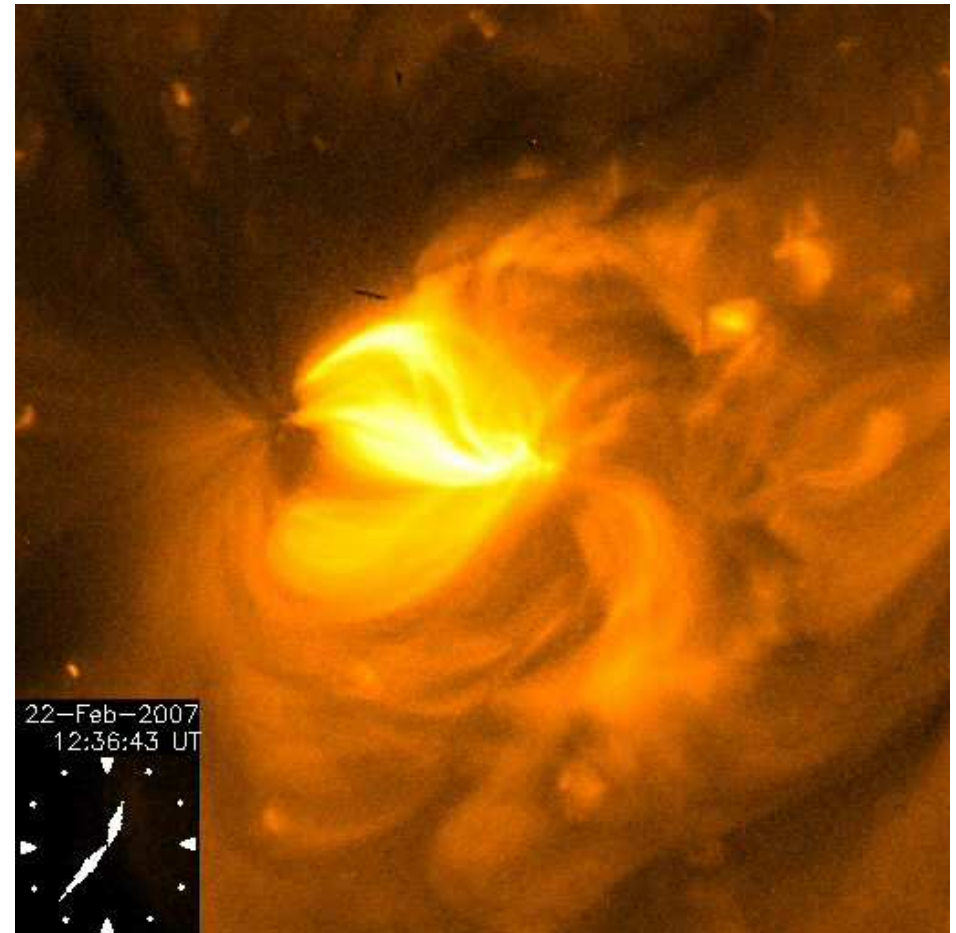


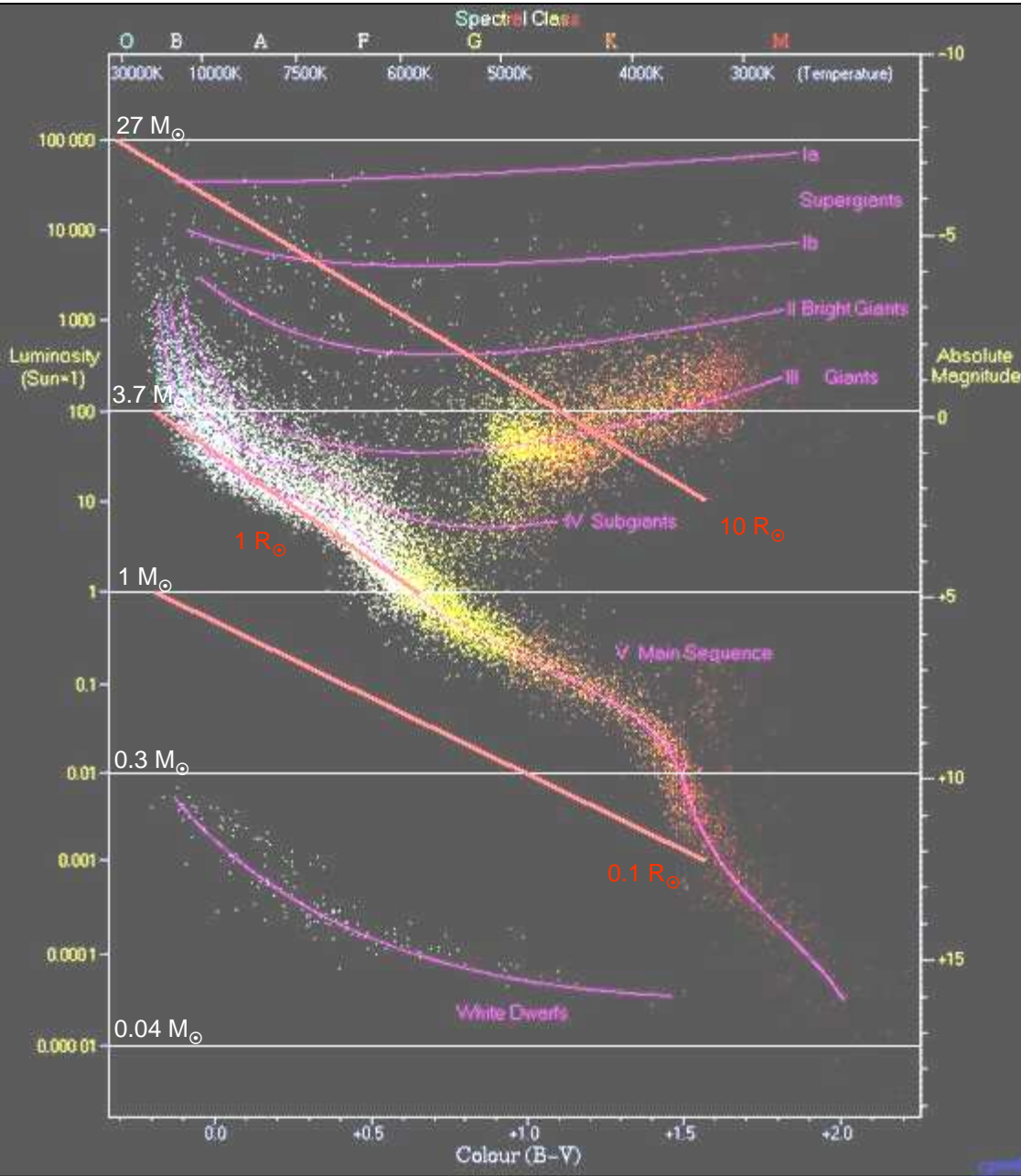
... e um ciclo magnético de 22 anos (de 11 em 11 trocam os pólos).



Chama-se *coroa* às camadas mais exteriores do Sol. É especialmente visível durante eclipses.

O *vento solar* consiste em partículas enviadas da coroa a ~400 km/s.





## 2.2 Espectros, luminosidades e massas

O diagrama H-R (Hertzsprung-Russell).

Construído à custa da luminosidade (L) de milhares de estrelas e da sua cõr (temperatura – T).

O diagrama H-R

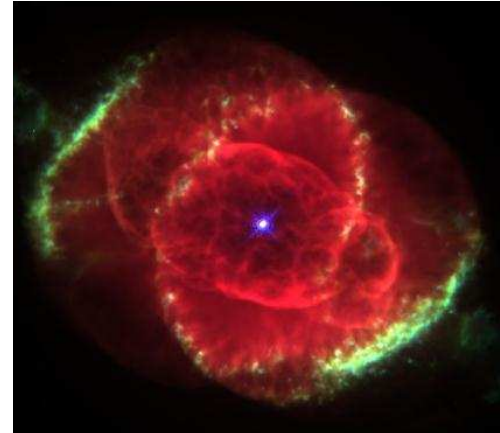
(~22000 estrelas do catálogo do Hipparcus).

A *luminosidade* tem uma relação (empírica) directa com a *massa* de uma estrela.

A *luminosidade* e a *temperatura* de uma estrela relacionam-se com o seu *raio*.



$M < 8 M_{\odot}$



*Duas nebulosas planetárias: Anel e Olho de Gato.*

$M > 8 M_{\odot}$



*Dois Restos de Supernova: Caranguejo e Vela.*

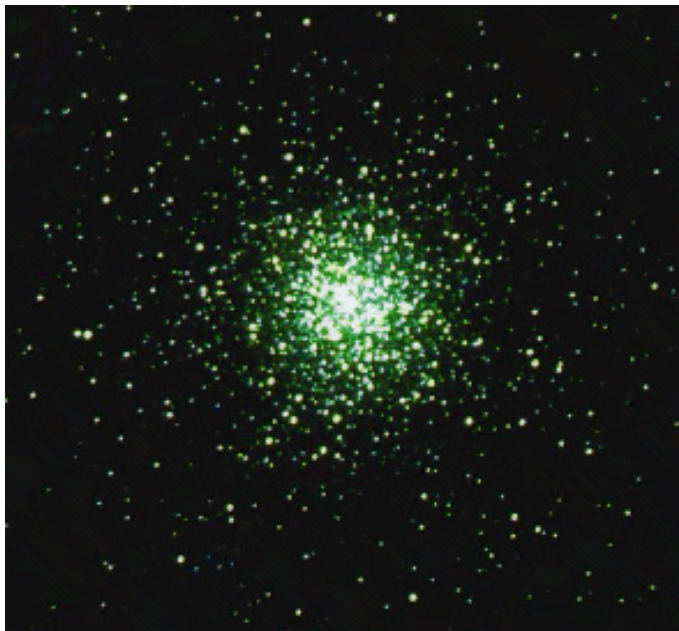


### 3 – ENXAMES DE ESTRELAS

Um enxame de estrelas **aberto** tem centenas a milhares de estrelas.



O enxame aberto das *Pléíades*.



Um enxame de estrelas **globular** tem  $10^5$ - $10^6$  estrelas (forma simétrica).

O enxame globular M3.

## 4 – A NOSSA GALÁXIA

### 4.1 O meio interestelar

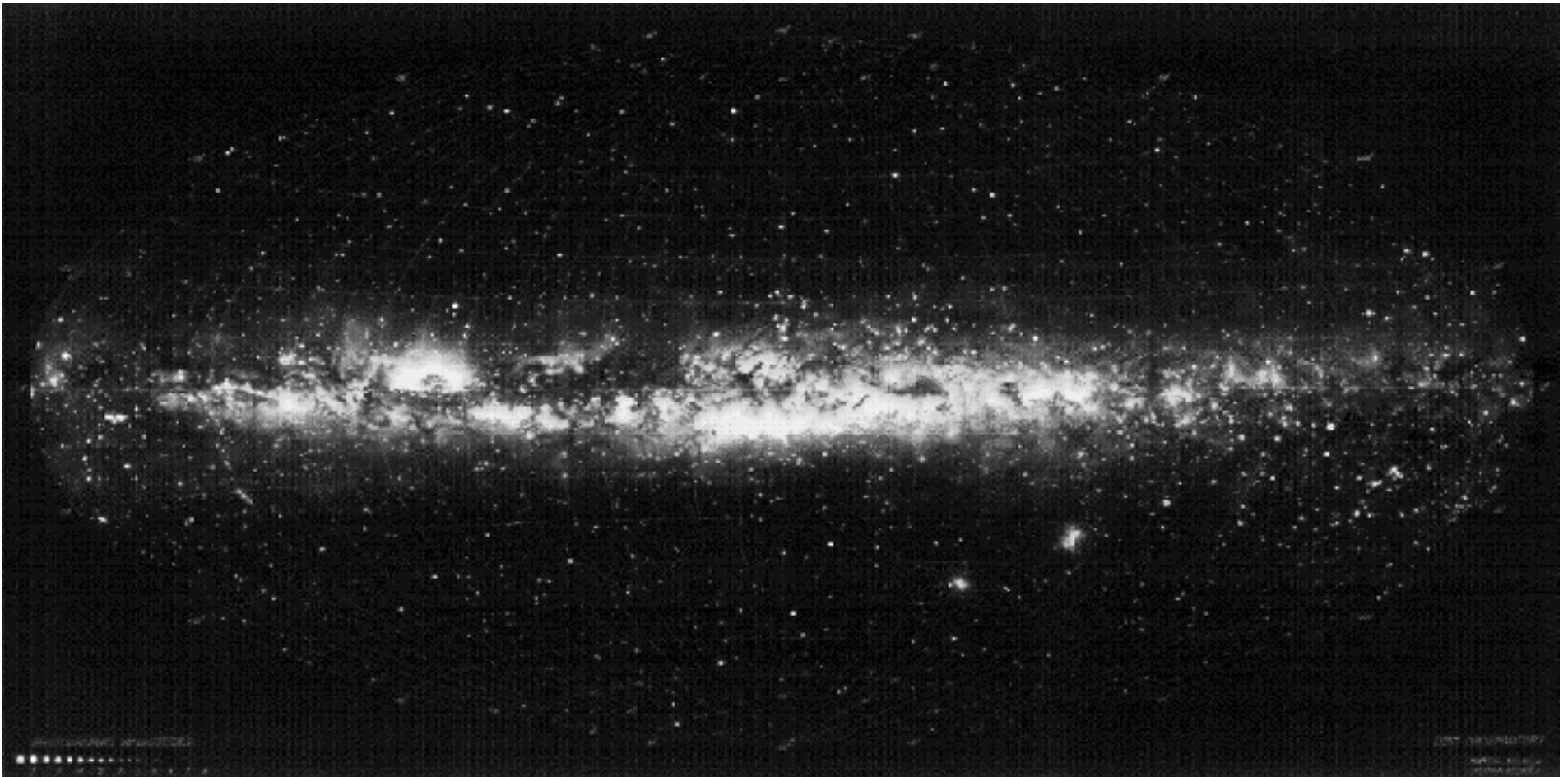
O meio interestelar é “abundante” em gases e poeiras.

Diatomic	Triatomic	4 atoms	5 atoms	6 atoms	7 atoms	8 atoms	9 atoms	10 atoms	11 atoms	13 atoms
H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	c-C <sub>3</sub> H	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub> H	C <sub>6</sub> H	CH <sub>3</sub> C <sub>3</sub> N	CH <sub>3</sub> C <sub>4</sub> H	CH <sub>3</sub> C <sub>5</sub> N	HC <sub>9</sub> N	HC <sub>11</sub> N
AlF	C <sub>2</sub> H	I-C <sub>3</sub> H	C <sub>4</sub> H	I-H <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub> CHCN	HCOOCH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO		
AlCl	C <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> N	C <sub>4</sub> Si	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H	CH <sub>3</sub> COOH	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH		
C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> O	I-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> CN	HC <sub>5</sub> N	C <sub>7</sub> H	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH			
CH	CH <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	c-C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> NC	HCOCH <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> OHCHO	HC <sub>7</sub> N			
CH <sup>+</sup>	HCN	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> CN	CH <sub>3</sub> OH	NH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>		C <sub>8</sub> H			
CN	HCO	CH <sub>2</sub> D <sup>+</sup>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> SH	c-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O					
CO	HCO <sup>+</sup>	HCCN	HC <sub>3</sub> N	HC <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	CH <sub>2</sub> CHOH					
CO <sup>+</sup>	HCS <sup>+</sup>	HCNH <sup>+</sup>	HC <sub>2</sub> NC	HC <sub>2</sub> CHO						
CP	HOC <sup>+</sup>	HNCO	HCOOH	NH <sub>2</sub> CHO						
CSi	H <sub>2</sub> O	HNCS	H <sub>2</sub> CHN	C <sub>5</sub> N						
HCl	H <sub>2</sub> S	HOCO <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O							
KCl	HNC	H <sub>2</sub> CO	H <sub>2</sub> NCN							
NH	HNO	H <sub>2</sub> CN	HNC <sub>3</sub>							
NO	MgCN	H <sub>2</sub> CS	SiH <sub>4</sub>							
NS	MgNC	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> COH <sup>+</sup>							
NaCl	N <sub>2</sub> H <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>								
OH	N <sub>2</sub> O	SiC <sub>3</sub>								
PN	NaCN									
SO	OCS									
SO <sup>+</sup>	SO <sub>2</sub>									
SiN	c-SiC <sub>2</sub>									
SiO	CO <sub>2</sub>									
SiS	NH <sub>2</sub>									
CS	H <sub>3</sub> <sup>+</sup>									
HF	SiCN									
SH										

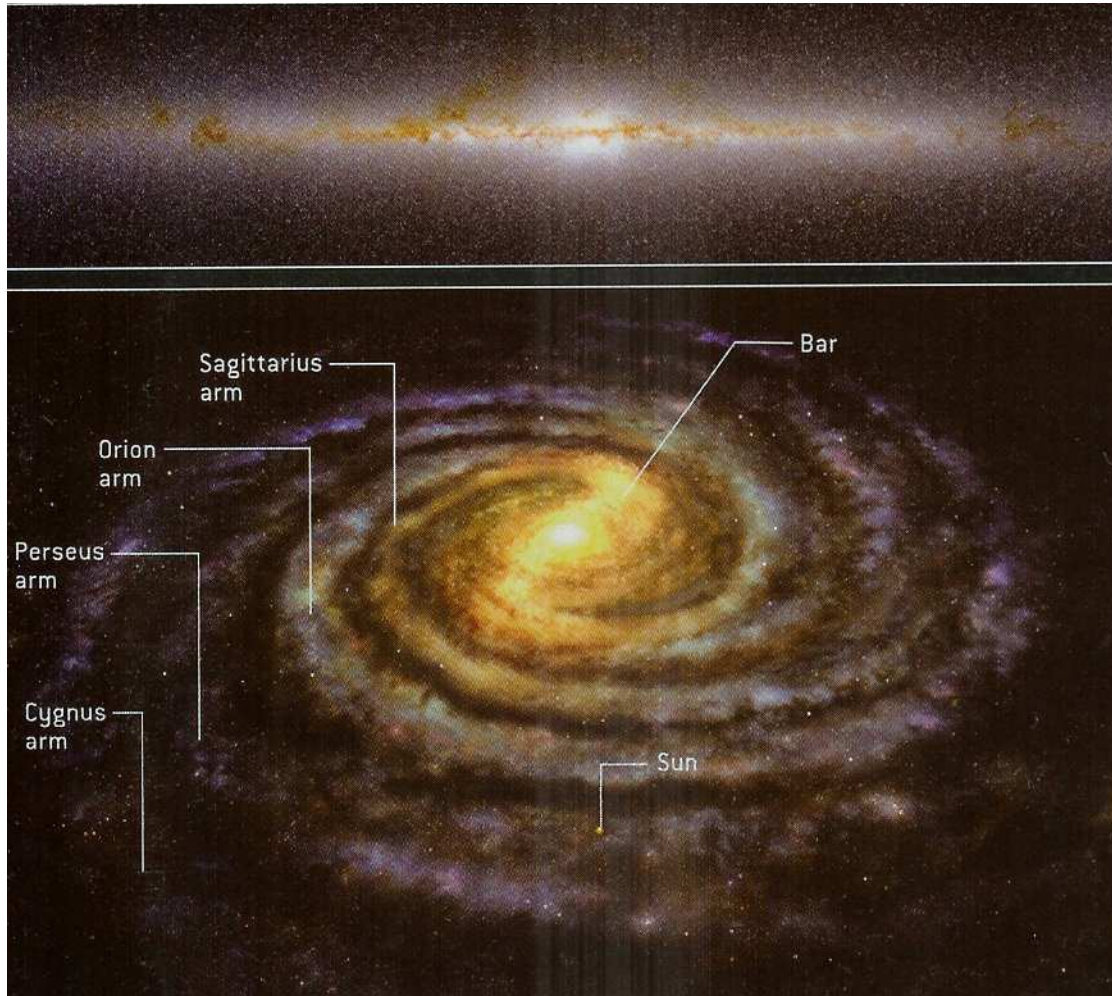
*A lista de moléculas já detectadas no meio interestelar. Não se incluem as dezenas de espécies “deuteradas” (H→D).*

## 4.2 Estrutura geral

A nossa galáxia é visível à noite. Qual o seu aspecto?

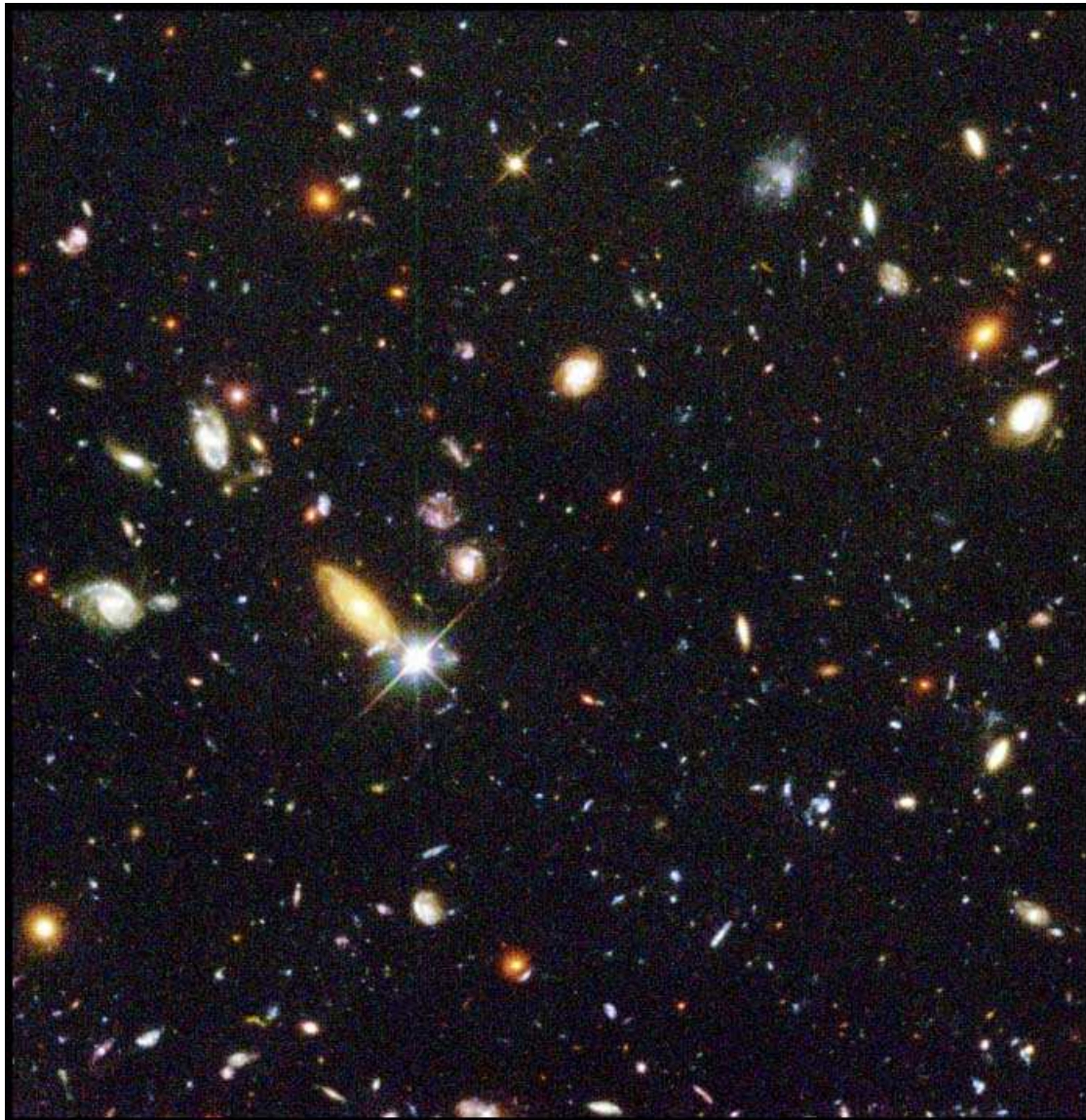


Foi confirmada (pelo Spitzer) a existência de uma proeminente **barra** na nossa galáxia espiral.



*Uma representação realista da Nossa Galáxia a partir de dados do Spitzer (em cima). A **barra** tem um comprimento total de 9 kpc. Isto deve ser comparado com a distância do Sol ao centro da Galáxia (8 kpc). A região central tem um **bolbo**.*

## 5 – ASTRONOMIA EXTRAGALÁCTICA



### 5.1 Galáxias: classificação e estrutura

**Galáxia:** conjunto de muitos milhões de estrelas, gás e poeiras.

Massas em  $10^7$ - $10^{12} M_{\odot}$ .

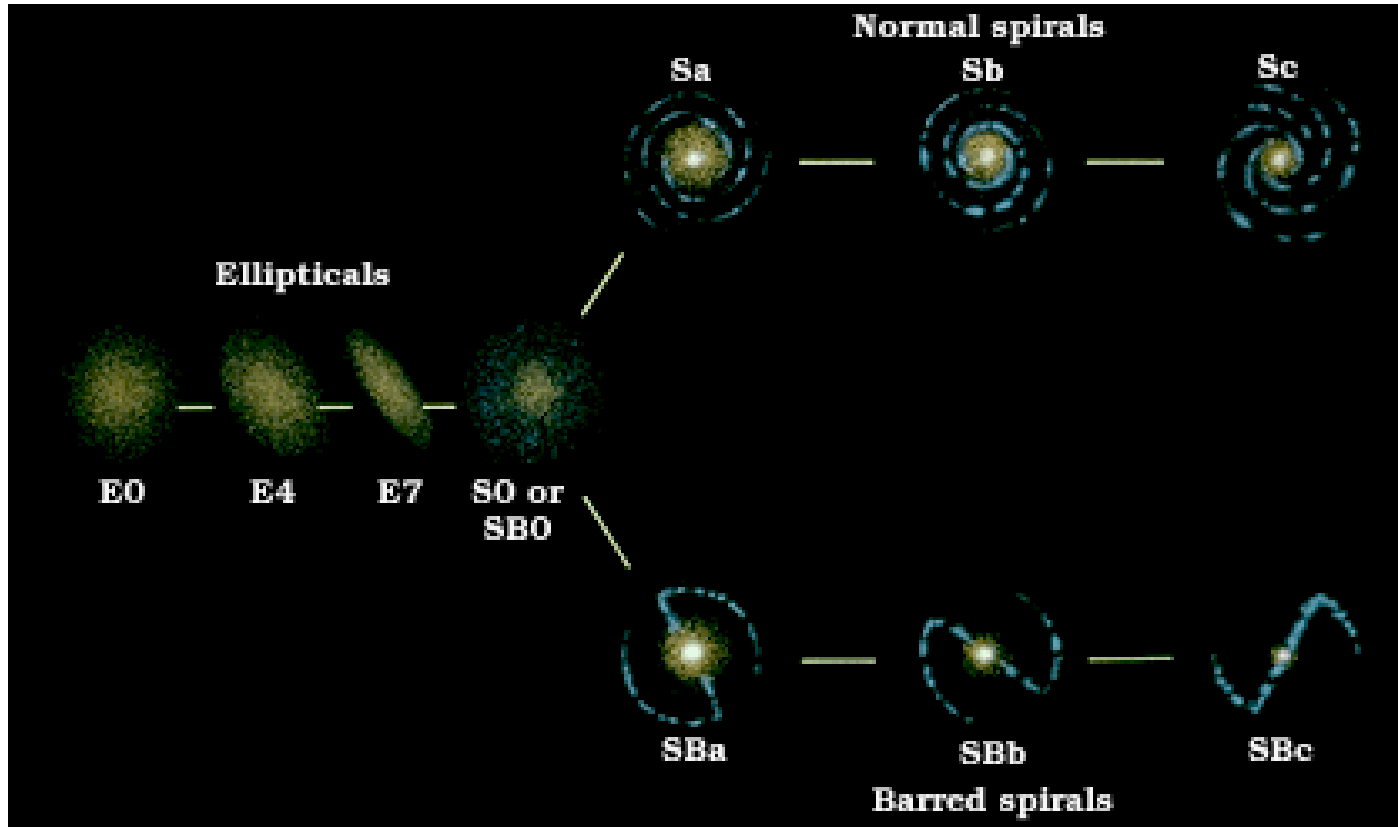
Tamanho em 1-50 kpc

(**anãs** e normais).

Estimamos o número total de galáxias do Universo em mais de  $10^{11}$ .

*Uma parte do Hubble Deep Field-North (HDF-N).*

Diagrama em Diapasão de Hubble:



No diagrama em diapasão de Hubble, a classificação das galáxias elípticas como  $E_n$  usa  $n = 10(1 - b/a)$  com  $a$  e  $b$  os semi-eixos das respectivas elipses (formas projectadas no céu). Não há elípticas com  $b/a < 0.3$ .

**Galáxia espiral** (S/SB): constituída por estrelas, muito gás e poeiras; forma de disco; muita formação estelar. Em rotação diferencial, o que gera braços em espiral.

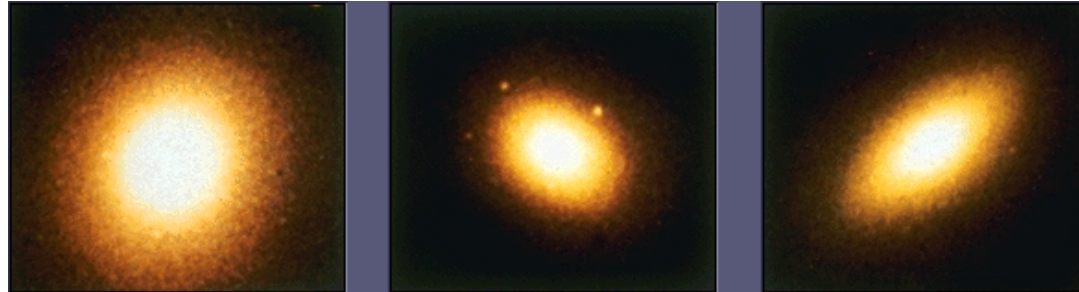
**Galáxia elíptica** (E): apenas estrelas velhas; não há formação estelar. Não há movimento conjunto (as estrelas movimentam-se como num enxame estelar).

**Galáxia esferóide** (S0/SB0): estrelas velhas e pouco gás; tem plano principal. Não tem rotação nem braços em espiral.

Temos (abundância):

- espirais (60%)
- esferóides (20%)
- elípticas (15%)
- irregulares (Irr) – 4%
- peculiares (Pec) – 1%

Elípticas:

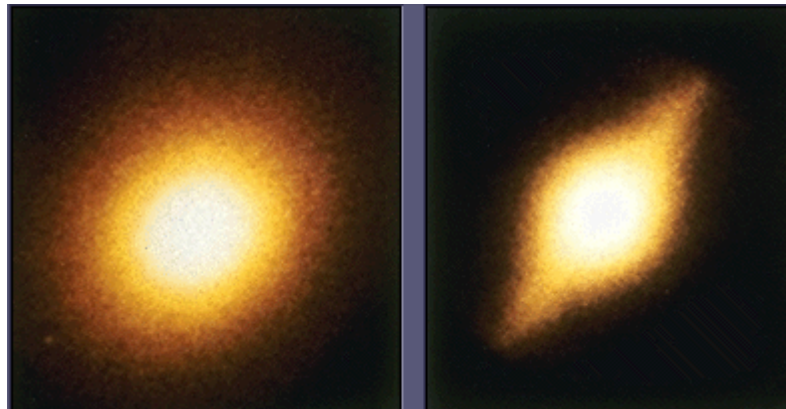


E0

E3

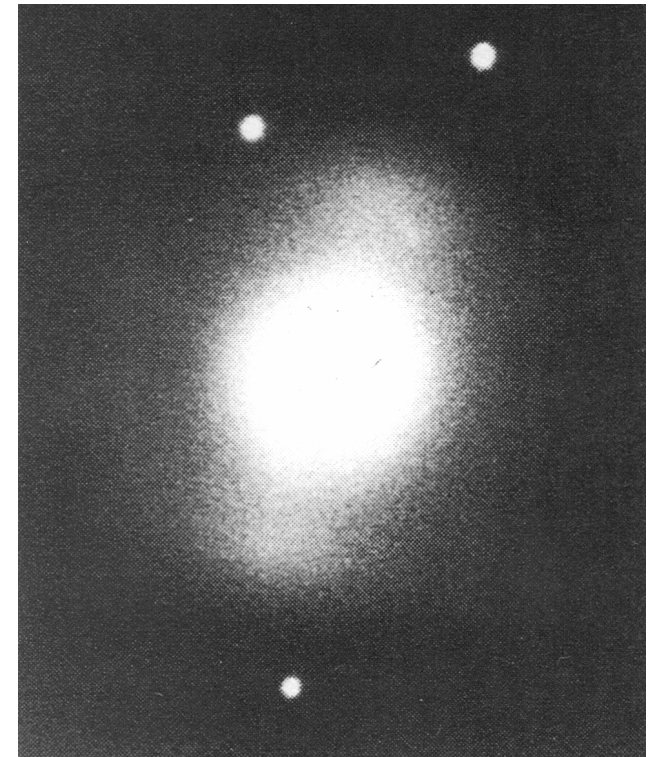
E6

Esferóides:



S0

SB0

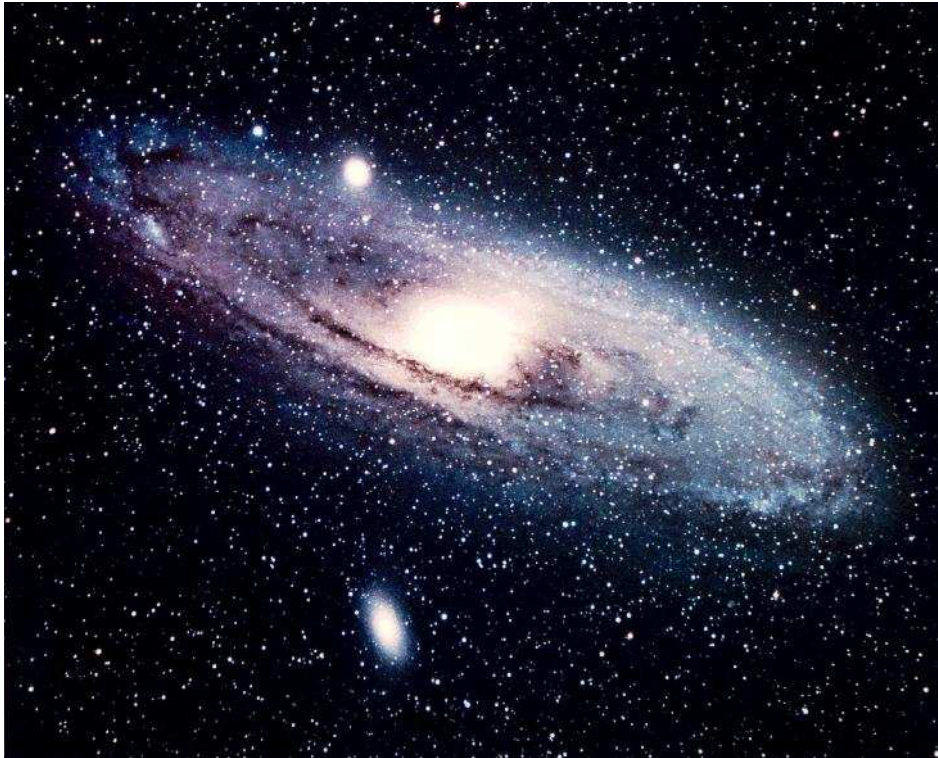


NGC2859



Espirais normais:

Sa/Sb



**M31 (Andrómeda)**

**M104 (“Sombrero”)**



**Espirais barradas:**

SBa

NGC4650



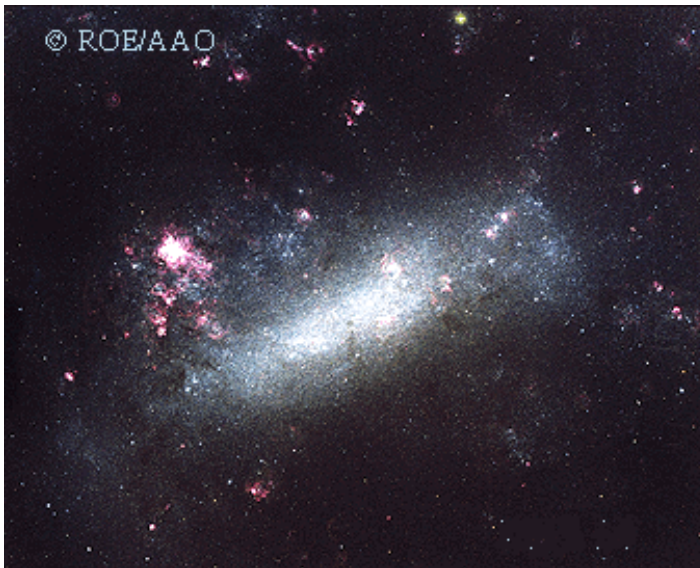
SBb

NGC1530



**Irregulares:**

Grande  
Nuvem de  
Magalhães

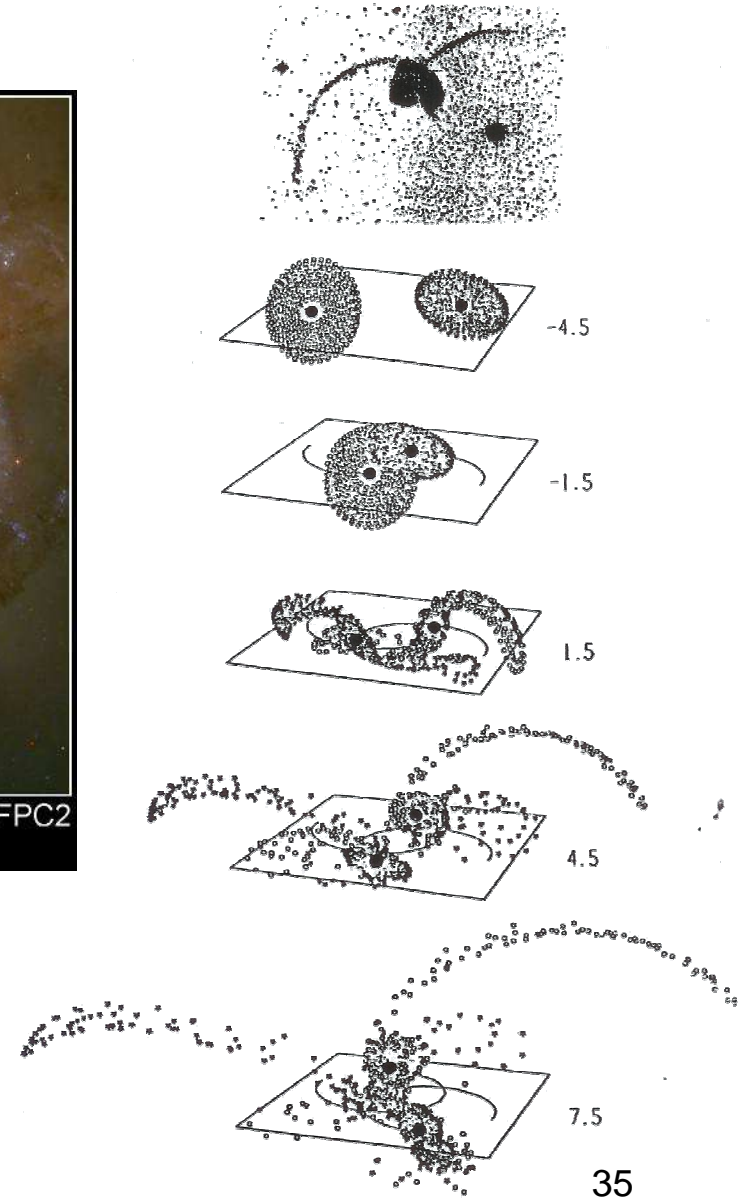
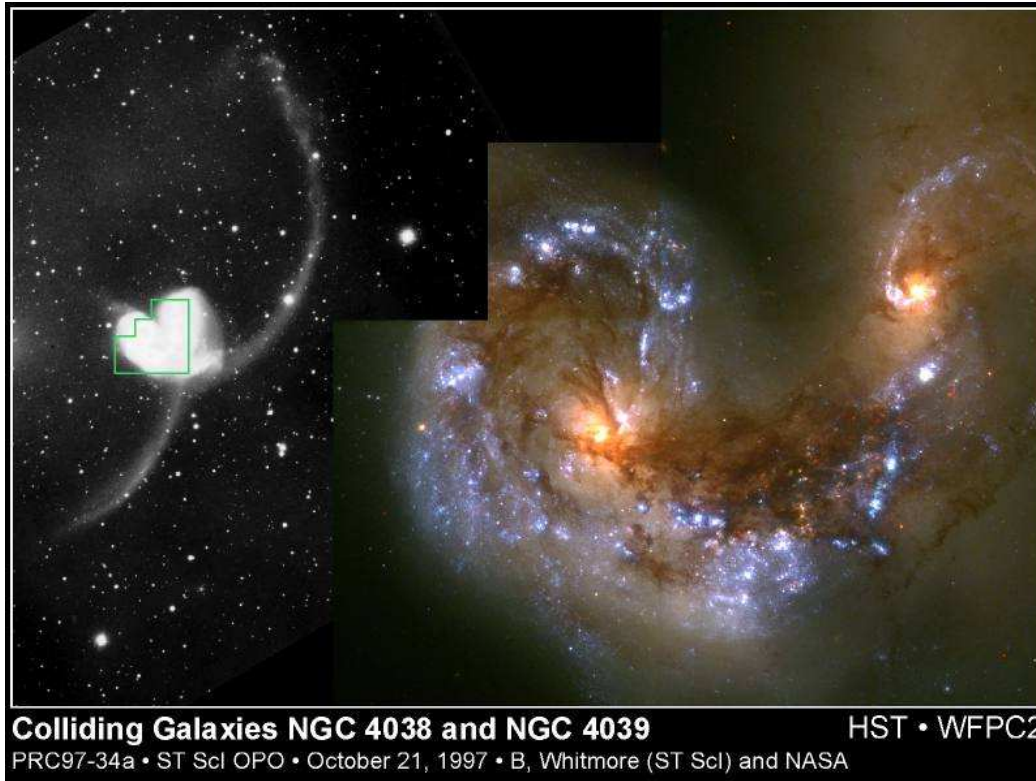


Pequena  
Nuvem de  
Magalhães



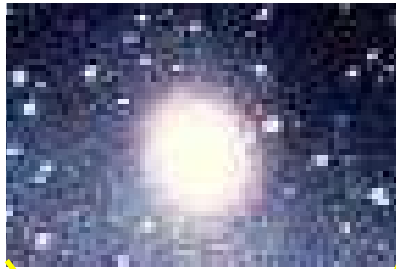
Peculiares:

“Antenas”



Anãs:

cE

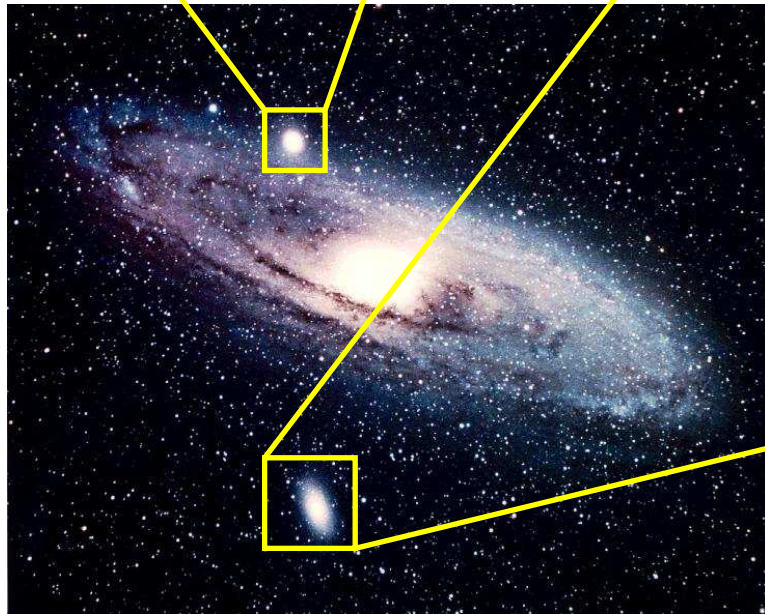


M32

dE5



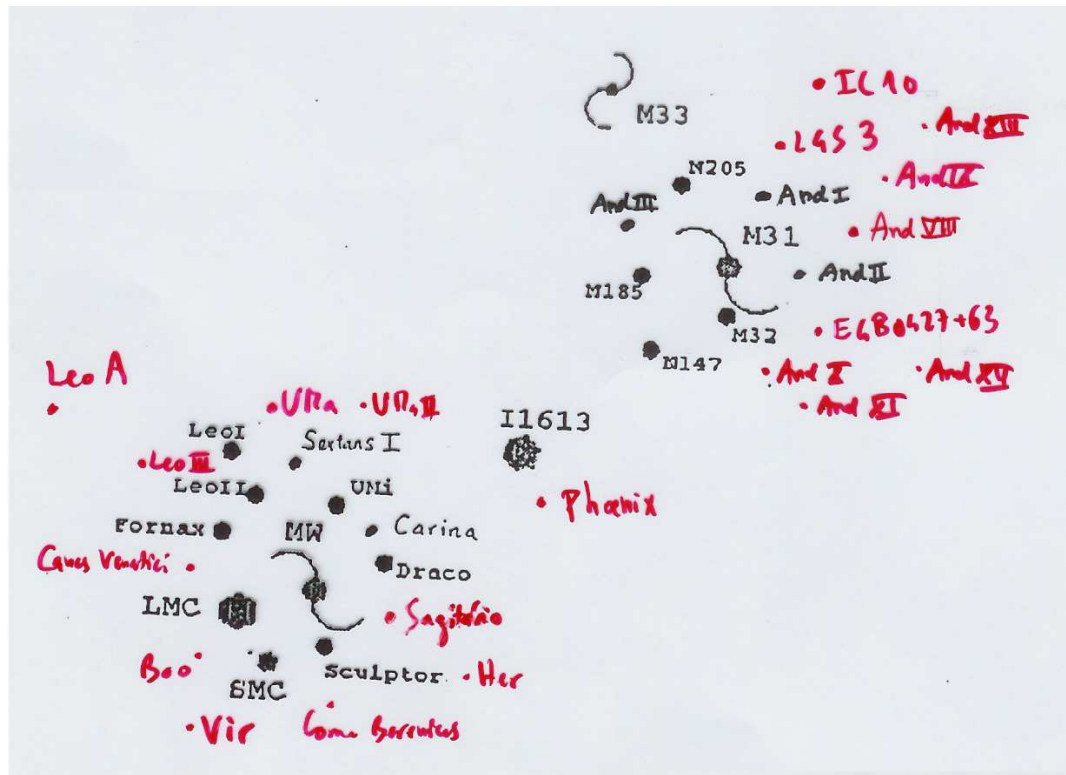
M110



## 5.2 Associações de galáxias

Um Grupo de galáxias contém entre três e cerca de cem membros.

O seu tamanho típico é de 1 a 3 Mpc.

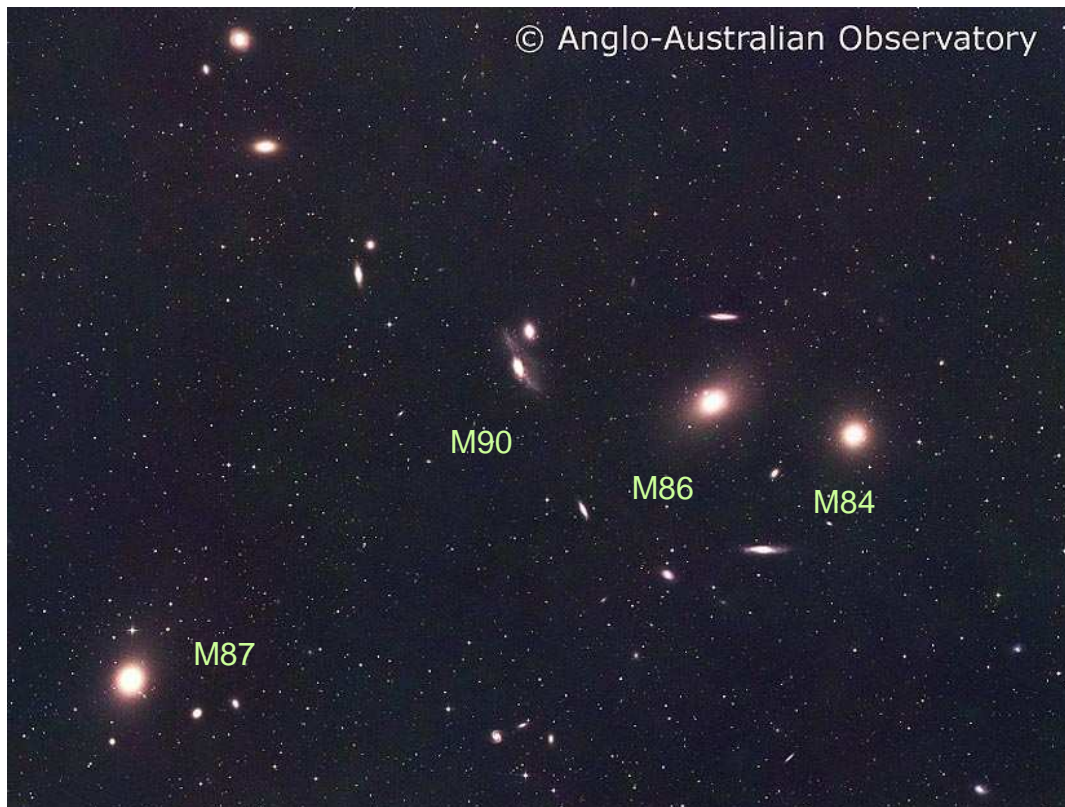


O Grupo Local, com um tamanho de 1 Mpc, é dominado pela Nossa Galáxia e pela de Andrómeda ( $3 \times 10^{12} M_{\odot}$ ; 75% da massa total). As respectivas satélites preenchem-no quase totalmente. São já quase 100 membros...

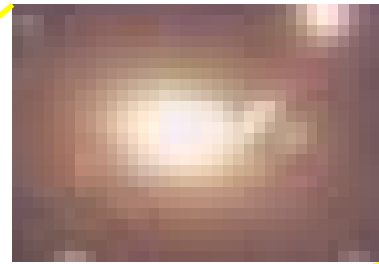
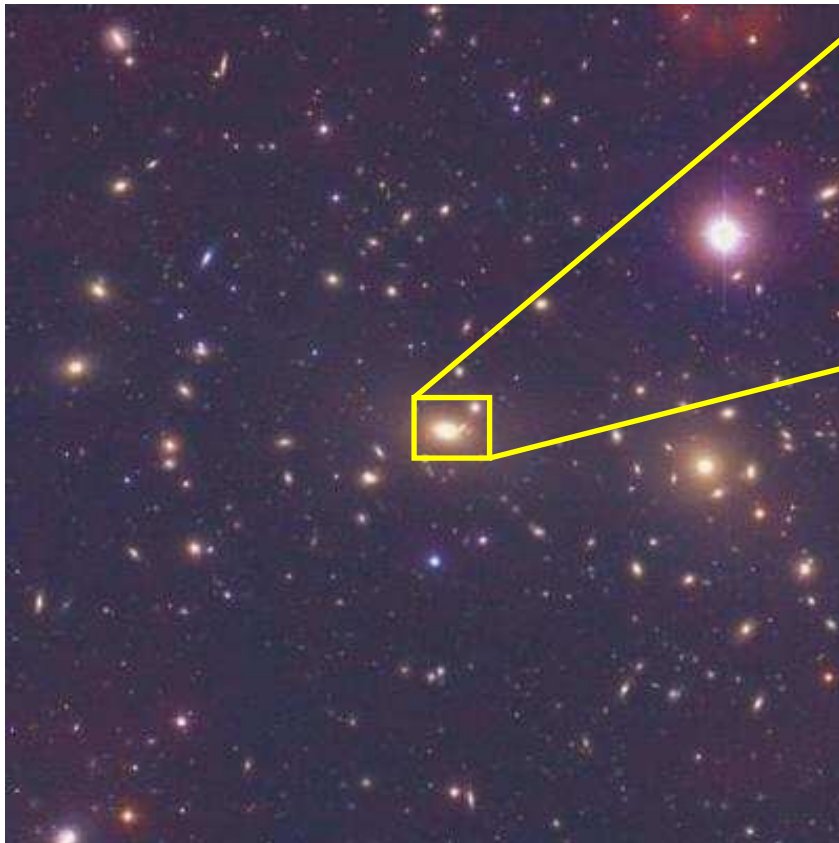
Um **Enxame** de galáxias contém entre **cem** e cerca de  $10^4$  membros.

O seu tamanho típico é de 1 a 10 Mpc. Dois tipos:

- **Enxame irregular**: 100-1000 galáxias ( $M \sim 10^{12}$ - $10^{14} M_{\odot}$ ) sem simetria.
- **Enxame regular**:  $10^3$ - $10^4$  galáxias ( $M \sim 10^{15} M_{\odot}$ ); compacto, com simetria esférica.



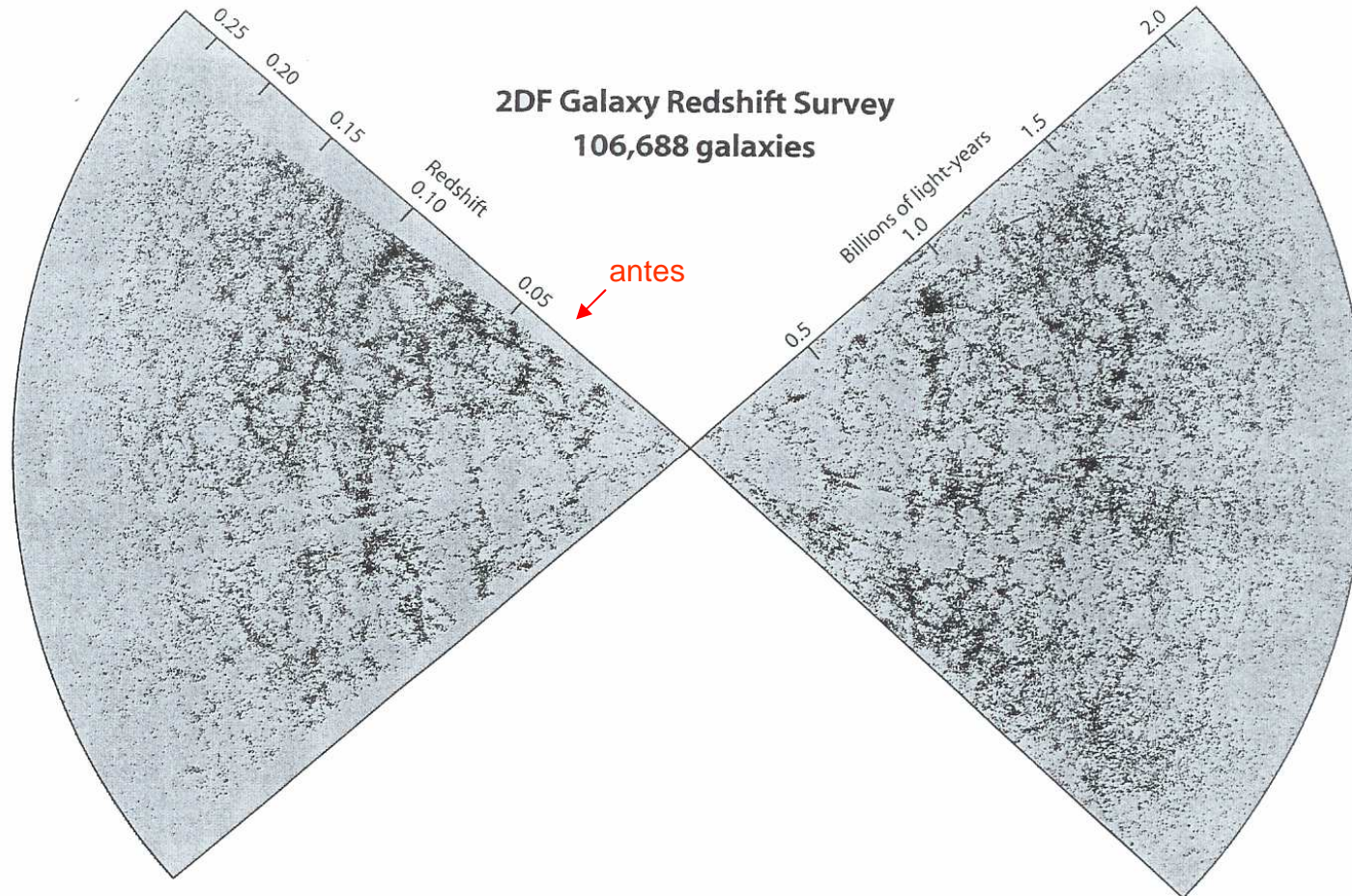
*O Enxame da Virgem (irregular). A maioria dos objectos que se vê são estrelas da nossa Galáxia. Notem-se as assinaladas galáxias, dominantes do enxame e não muito longe do seu “centro”.*



*O Enxame de Coma (regular). Virtualmente todos os “pontos de luz” visíveis são galáxias.*

*Os enxames regulares têm (pelo menos) uma supergaláxia central (cD de “cluster dominant”) que resulta da agregação (“canibalismo”) de muitas galáxias circundantes. São as galáxias mais massivas do Universo, chegando a  $10^{13} M_{\odot}$ .*

Os **super-enxames** de galáxias contêm entre **cem** e **mil** enxames de galáxias (até  $10^7$  galáxias!). O seu tamanho é de 10 a 500 Mpc e a massa  $10^{15}$ - $10^{20} M_{\odot}$ .



*Os super-enxames de galáxias distribuem-se em “filamentos” que delimitam grandes regiões “vazias”.*



### 5.3 Galáxias activas

Emitem mais de **mil vezes** o total de radiação proveniente de estrelas (gás e poeiras).

Constituem 10% de todas as galáxias conhecidas.

O “modelo standard” de **núcleos galácticos activos** (AGN) unifica:

- Seyferts (Sy1, Sy2), incluindo LINERs (Sy3)
- Blazares
- Quasares
- Rádio Galáxias

**Seyferts**: o primeiro tipo descoberto.

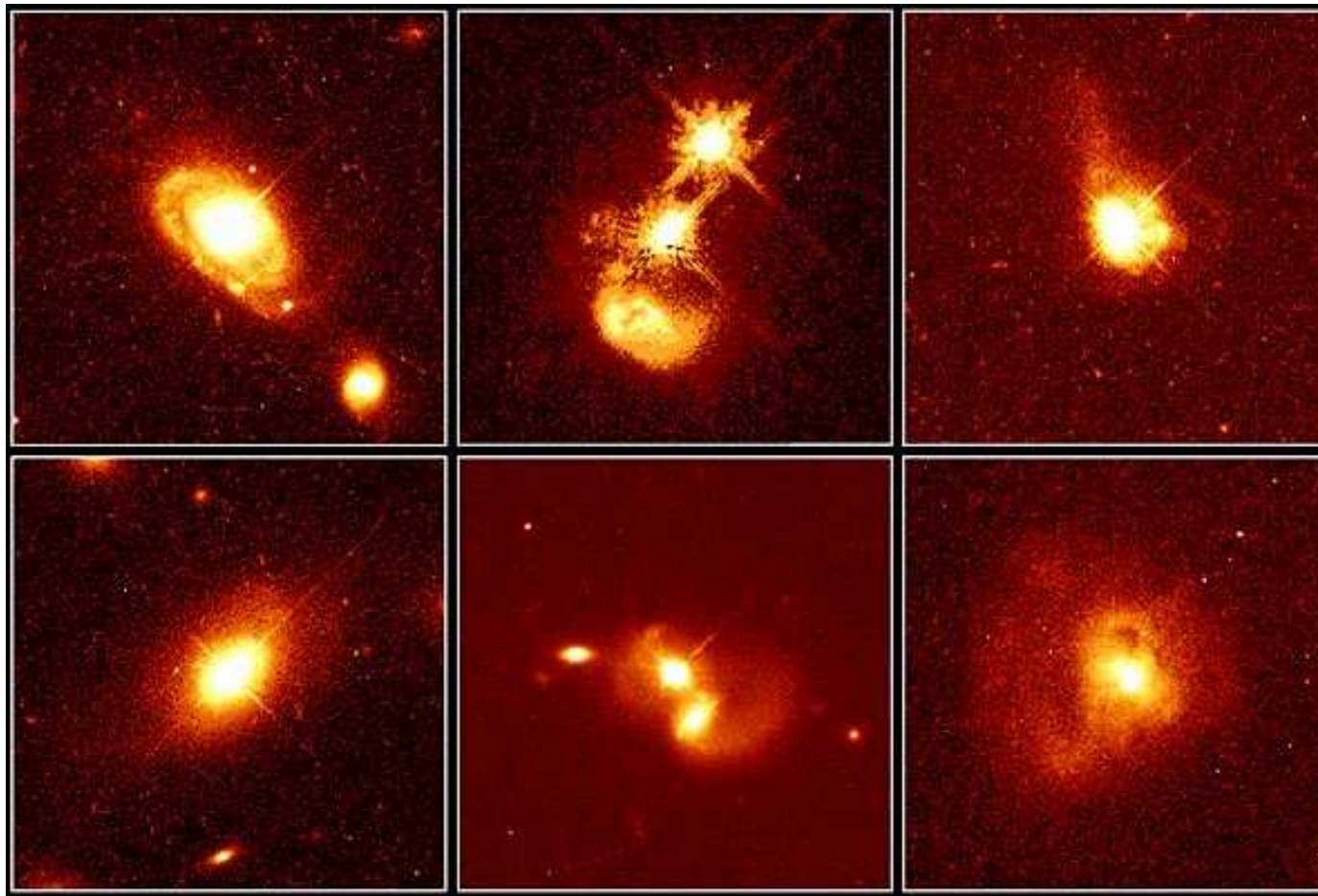
Há >14 mil catalogadas (90% Ss + 10% Es).

*Uma Seyfert (como a NGC7742) tem por característica principal, além do espectro, um ponto brilhante de luz central, que pode ser comparável em brilho total ao resto da galáxia.*



**Blazares:** já >1200; têm emissão muito variável (minutos a dias).  
Ainda, movimentos **superluminais** (recorde: 40c).

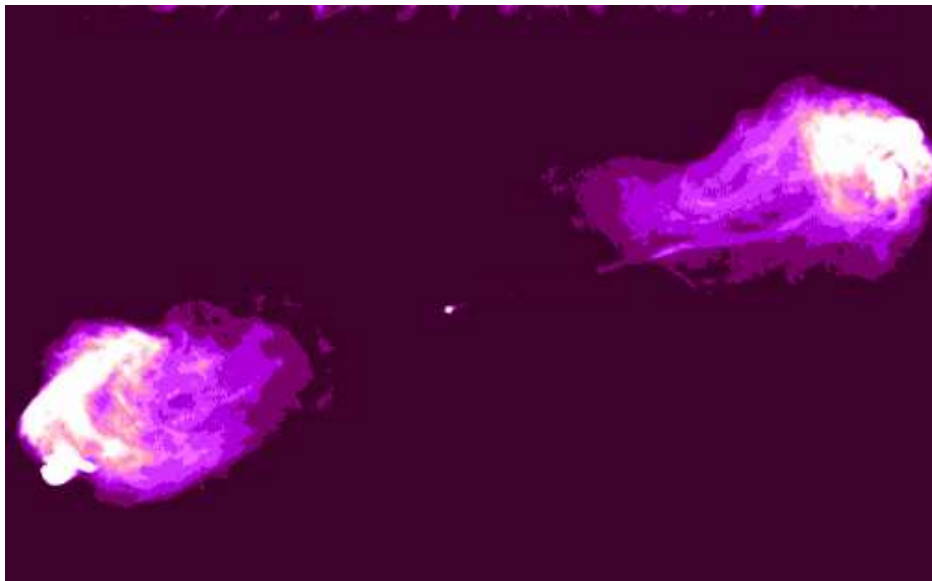
**Quasares:** o tipo mais famoso e abundante (>84 000).



*O HST confirmou os quasares como residentes em galáxias. A surpresa veio de quase sempre estas serem peculiares (estão em interacção).*

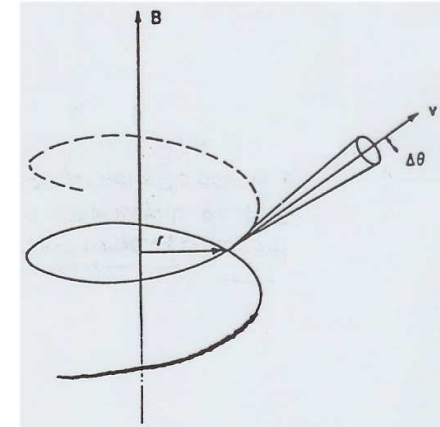
## Rádio Galáxias: emissão sincrotrónica.

Conhecem-se milhares (em Es).

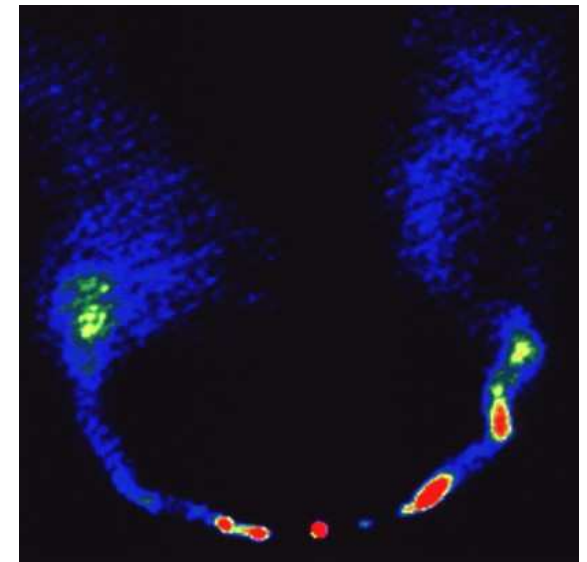


*Cygnus A, o protótipo de uma rádio galáxia Fanaroff-Riley tipo II (FR II). Os jactos opostos são supersónicos e, por isso, não se vêem. Há choques violentos nos lobos. Os jactos chegam a distâncias de 1 Mpc, bem maiores que o tamanho da galáxia hospedeira.*

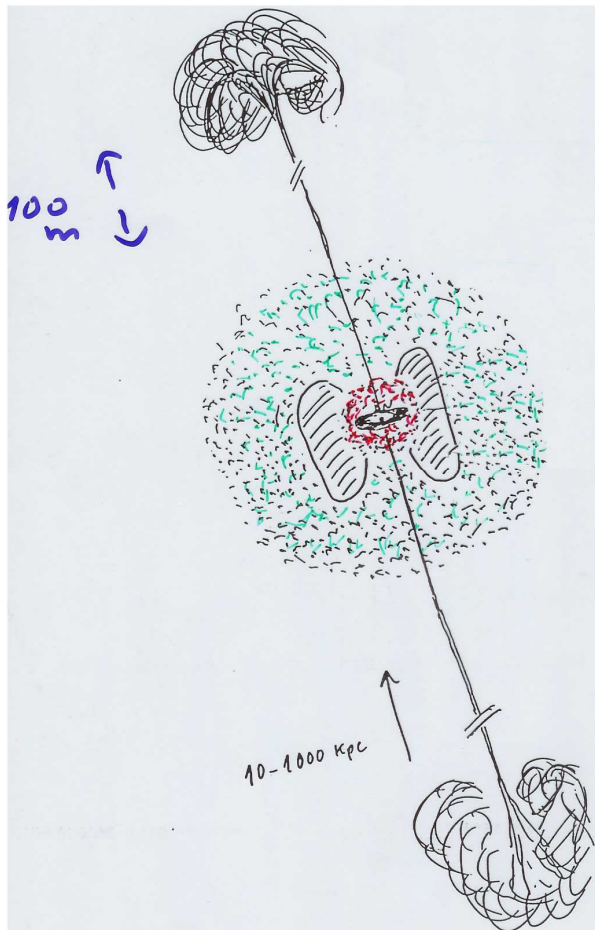
*Uma rádio galáxia de tipo FRI, neste caso no centro de um enxame (numa cD). Note-se que os jactos, mais lentos, se vêem perfeitamente.*



*A emissão sincrotrónica surge do movimento em sincrotrão de electrões relativistas num campo magnético.*



Para o “modelo standard” de AGN: **toro molecular**.  
HST confirmou existência.



O toro molecular de poeiras da Sy3 NGC4261.

O modelo standard de AGN. Um **buraco negro supermassivo** ( $10^6$ - $10^9 M_{\odot}$ ) central em rotação, agrega massa do ambiente através de um **disco de agregação** (a preto). Segue-se a **região de emissão de riscas largas** com um tamanho de 0.1-1 pc. O **toro molecular** é visto em secção (tracejado), usualmente a 100 K, enquanto se segue a **região de emissão de riscas estreitas** (NLR; a verde) com um tamanho de 0.01-1 kpc. Finalmente dois energéticos **jactos** opostos, que saem directamente do buraco negro, podem chegar a distâncias colossais.

Buraco negro (BN): surge sempre que a matéria tem uma densidade superior a um valor crítico

(quando a velocidade de escape de Schwarzschild é maior que a velocidade da luz).

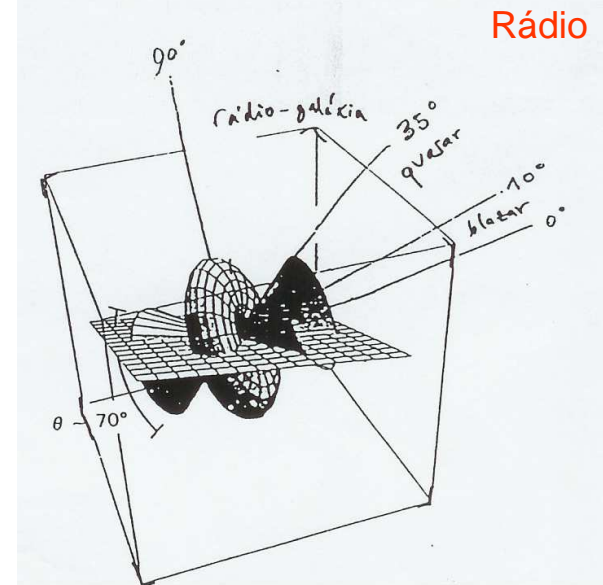
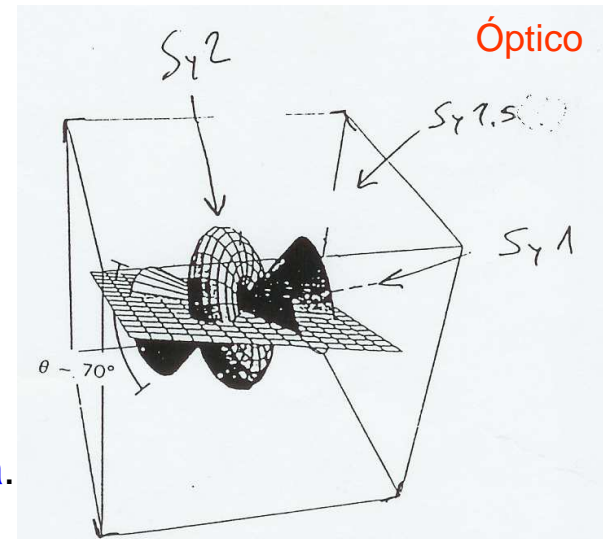
BN tem um horizonte de eventos e um momento angular.



eléctrica.

Unificação de AGN: orientação geométrica do mesmo modelo standard.

*O toro molecular é o elemento fundamental para a teoria da unificação de AGN. Aliado a uma abertura típica do cone de emissão de radiação de 70°, explica as abundâncias e propriedades dos vários tipos de AGN.*



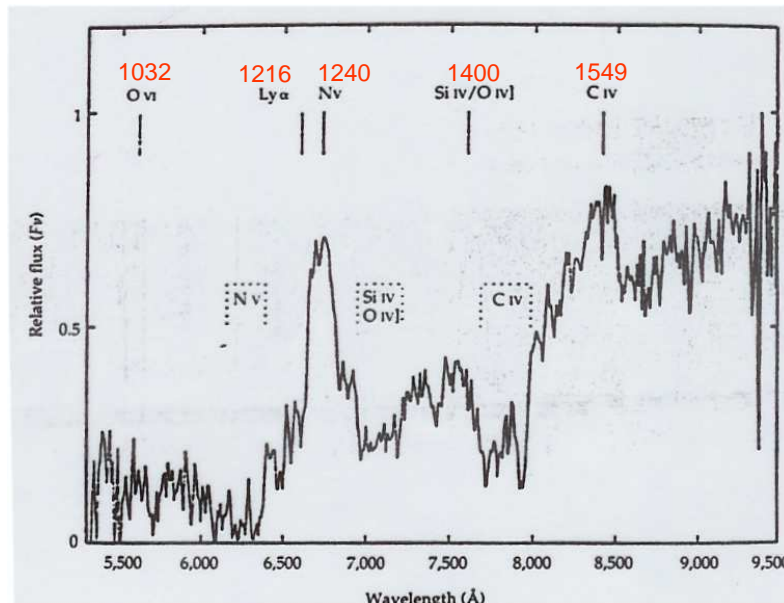
## 5.4 Distâncias e a constante de Hubble

Em Astronomia Extragaláctica é muito difícil medir distâncias. Usa-se uma “**escada de distâncias**”, da nossa vizinhança solar até aos confins do Universo (com erros).

(Slipher &) Hubble, em 1914-29, descobriram a expansão do Universo – quanto mais longe uma galáxia se encontra de nós mais depressa “foge” ( $v_{rec} = H_0 D$ ).

Em espectros ópticos vêem-se desvios-para-o-vermelho (**redshift**  $z$ ;  $z \ll 1$ ; D euclidiana):

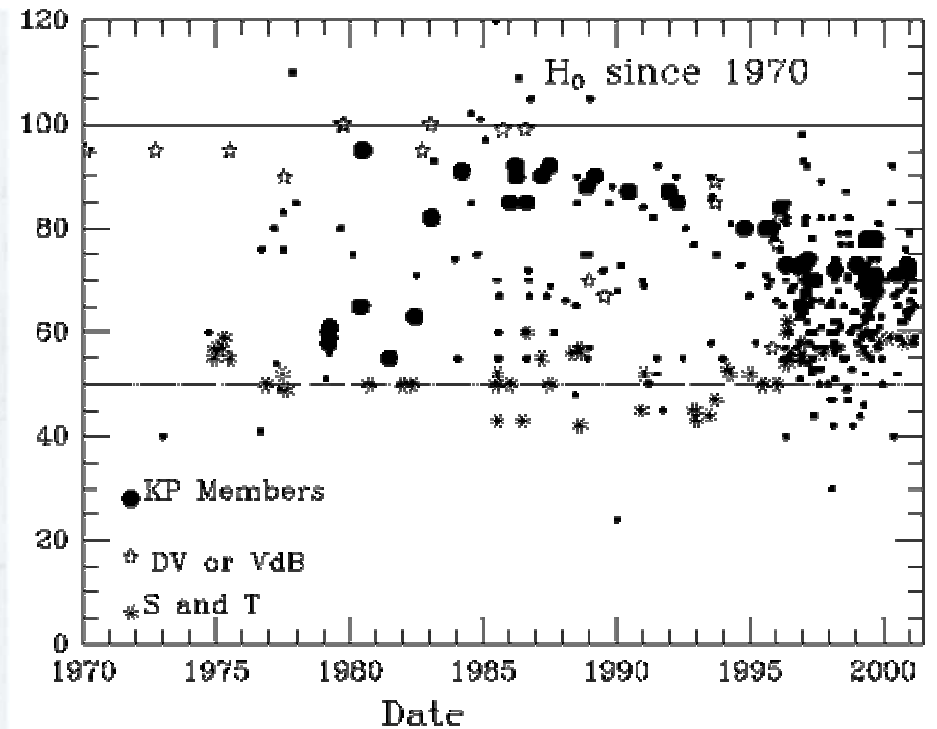
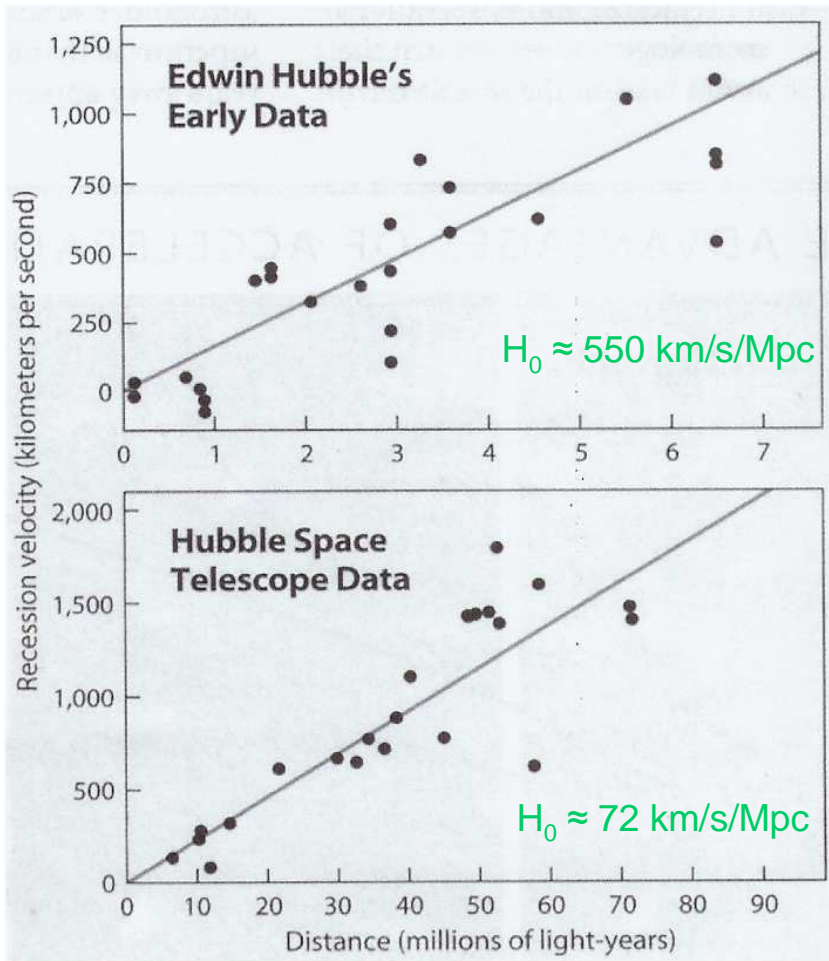
$$z = \Delta\lambda/\lambda_0 = v_{rec}/c = H_0 D/c$$



*Espectro óptico de um quasar. A gama de comprimentos de onda **observados** é dada em baixo. A identificação de cinco riscas é dada em cima, junto com os seus  $\lambda_0$  (laboratório). Calcula-se então, para cada uma, o valor de  $z = \Delta\lambda/\lambda_0$ . Faz-se a média e obtém-se  $z \approx 4.4$ .*

O redshift  $z$  é uma forma não ambígua de medir distâncias no Universo.

A constante de Hubble  $H_0$  tem sido “variável”.

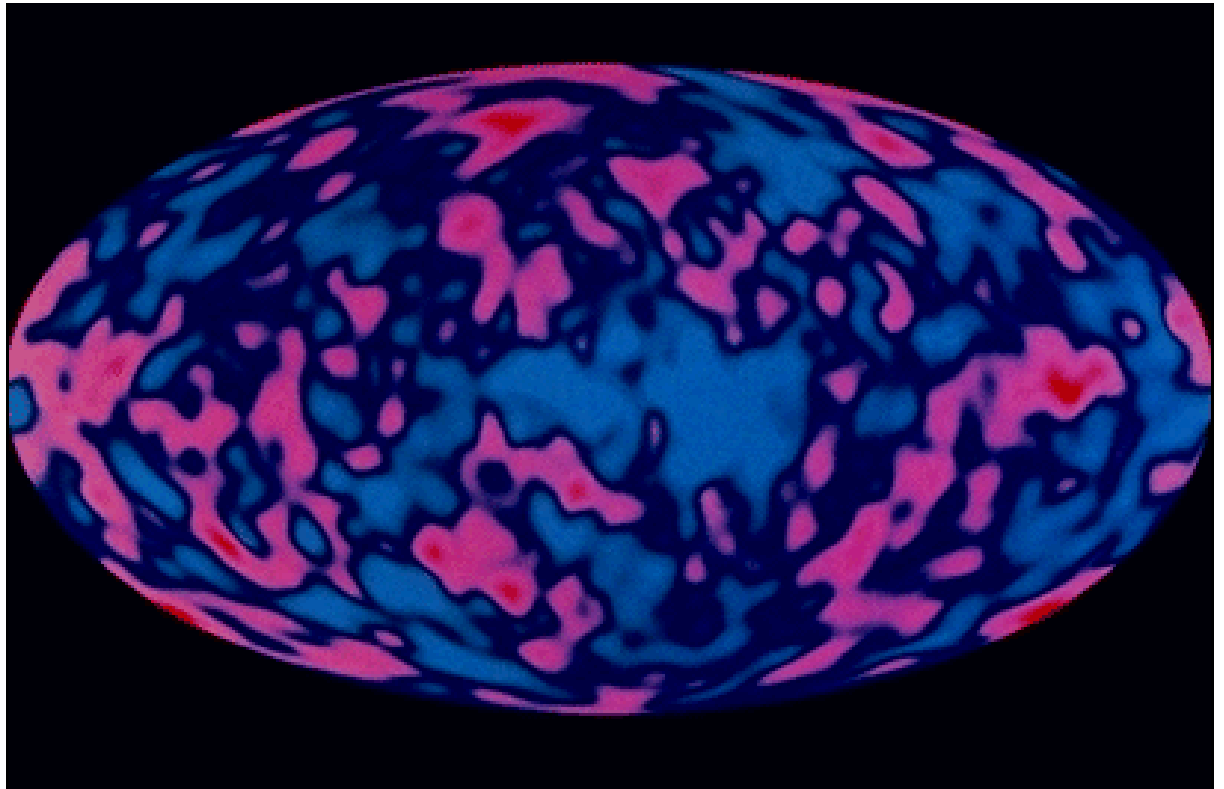


$H_0 \approx 67-71 \text{ km/s/Mpc}$

## 5.5 Evolução

O universo “visível” surge apenas ~400 000 anos depois ( $z=1100$ ) do Big Bang: ruído cósmico de fundo (CMB).

O CMB é muito homogéneo (até  $1:10^4$  –  
– flutuações térmicas).





## Evolução (galáxias normais):

$z \sim 1100$ ,  $t_U \sim 400\,000$  anos – Estruturas primordiais (nuvens de gás)

$z \sim 25$ ,  $t_U \sim 120 \times 10^6$  anos – Proto-galáxias (proto-E: formação estelar usa **todo** o gás)  
Pop.III? (proto-S: colapso do gás num disco)

$z \sim 15$ ,  $t_U \sim 260 \times 10^6$  anos – Galáxias; formação estelar em Ss (e continua hoje –  $z=0$ )

$z \sim 11.5$ ,  $t_U \sim 400 \times 10^6$  anos – Reionização do Universo pelas estrelas

$z = 6.96$  – 1ª Galáxia conhecida

$z \sim 1-5$ ,  $t_U \sim 1-5 \times 10^9$  anos – Tamanho das galáxias aumenta (agregação);  
(duas vezes mais formação estelar: pico a  $z \sim 0.5$ )

$z \sim 0-1$ ,  $t_U \sim 5-14 \times 10^9$  anos – Classificação de Hubble funciona

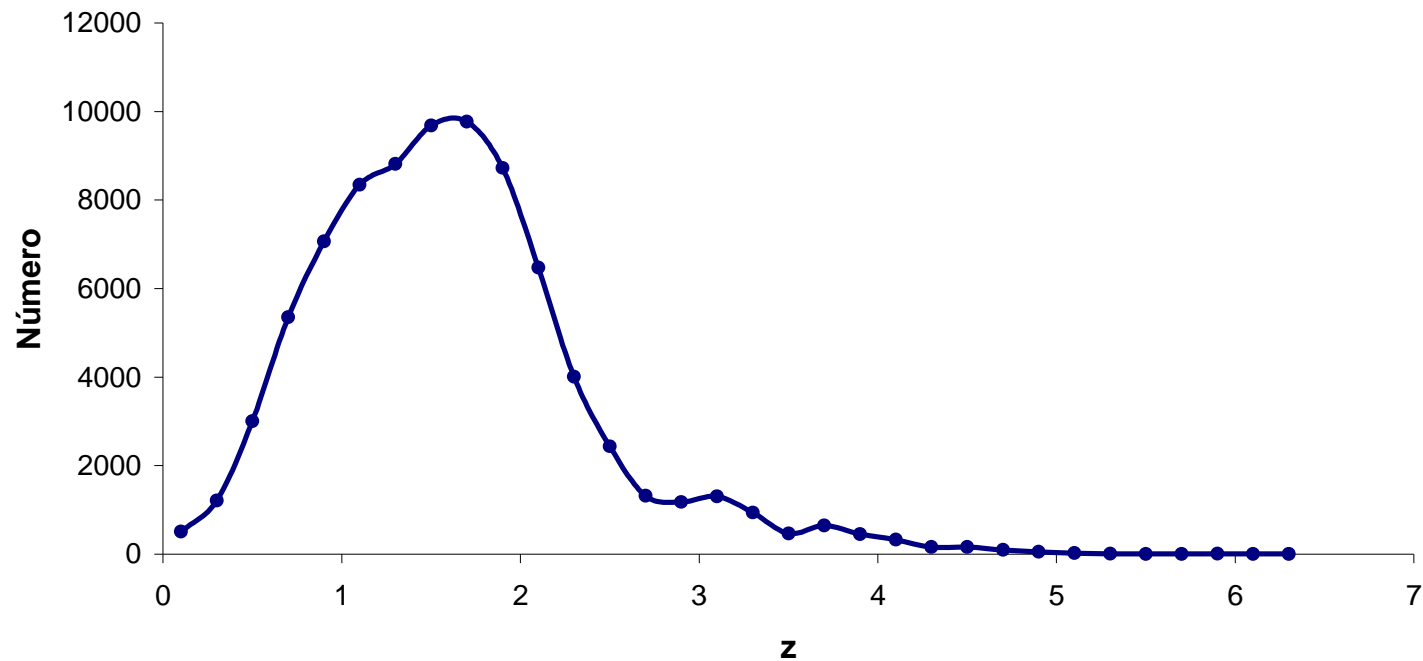
$z < 0.01$  – Formação estelar quase cessa (1/10 da do início)

## Evolução (galáxias activas):

**Todas** as galáxias foram AGN 10% do tempo (e.g. BNs adormecidos).

Quasares são a sonda para todos os AGNs.

Distribuição para 82554 QSOs (Véron12th - 2006)



$z \sim 10$ ,  $t_U \sim 500 \times 10^6$  anos – Colisões de galáxias: formação de BNs ( $10^{6-9} M_{\odot}$ )

$z = 6.43$  – 1<sup>o</sup> Quasar conhecido

$z \sim 5$ ,  $t_U \sim 1 \times 10^9$  anos – AGNs “acendem-se” em muitas galáxias

$z \sim 1.5$ ,  $t_U \sim 4 \times 10^9$  anos – Pico de actividade (quase todas as galáxias activas)

$z \sim 1$ ,  $t_U \sim 5 \times 10^9$  anos – AGNs “apagam-se” em quase todas as galáxias activas

$z \sim 0$ ,  $t_U \sim 14 \times 10^9$  anos – Galáxias normais com BNs adormecidos no centro

## 6 – COSMOLOGIA

Modelo standard (Big Bang):

*Explosão*

Universo em expansão desde então (balão 4D)  
Origem das leis da Física e *quatro* forças

*Inflação*

$t_U \sim 10^{-35} - 10^{-32} \text{s}$   $T_U \sim 10^{27} \text{K}$  expansão (cresce  $10^{50}$  vezes) – *inflação*

*Nucleossíntese*

$t_U \sim 14 \text{s}$   $T_U \sim 3 \times 10^9 \text{K}$   $p+n$  (começa a formação de nucleões)

$t_U \sim 100 \text{s}$

forma-se  ${}^2\text{H}_1$  ( $\equiv \text{D}$ )

$t_U \sim 3 \text{min}$   $T_U \sim 10^9 \text{K}$

$\text{D} + \text{D} \rightarrow {}^3\text{He}_2 + \text{n}$

$\text{D} + {}^3\text{He}_2 \rightarrow {}^4\text{He}_2 + \text{n} + \text{e}^+$

${}^3\text{H}_1$ , Li, Be; Universo: ~75% H e 25% He

*Recombinação*

$t_U \sim 400 \text{mil anos}$   $T_U \sim 3000 \text{K}$

matéria dissocia-se da radiação;  
Universo deixa de ser opaco (CMB)

( $z \sim 1100$ )

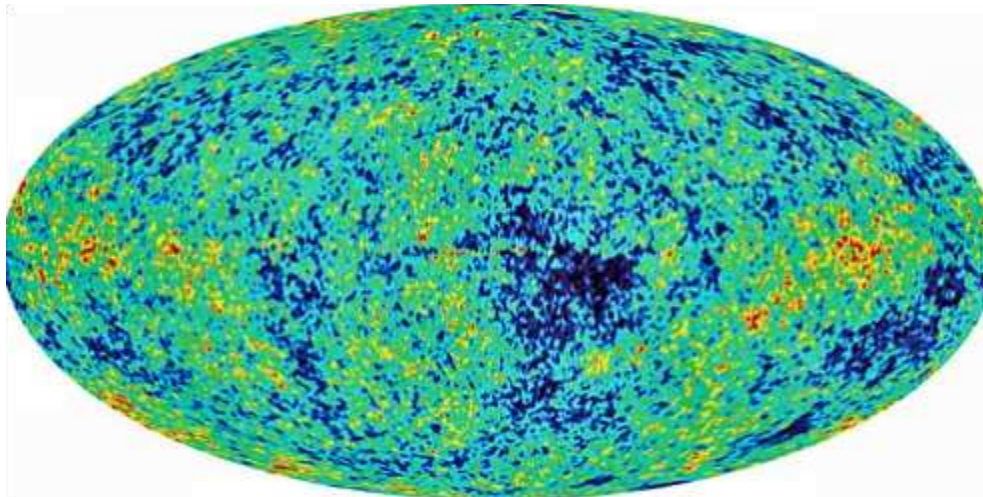
$T/z \sim 3000 \text{K} / 1100 \sim 2.7 \text{K}$

MATÉRIA RADIÇÃO

WMAP (em 2003) veio trazer mais resolução aos mapas do CMB.

Deu-nos a idade mais precisa para o Universo desde sempre:

$13.7 \times 10^9$  anos ( $\pm 1\%$ )



*O CMB visto pelo WMAP*

O **parâmetro de densidade do Universo**,  $\Omega_0$ , é dado em função de uma **densidade de massa crítica** ( $\rho_c$ ). Na prática, esta é a densidade limite (onde  $\Omega_0=1$ ) para que o Universo recolapse no futuro ( $\Omega_0>1$ ) ou expanda para sempre ( $\Omega_0<1$ ).

A massa bem somada de superenxames de galáxias dá:

$$\Omega_0 \approx 0.3$$

A Teoria da Inflação exige um Universo de geometria plana (a **constante cosmológica** é  $\Lambda$ ) :

$$\Omega_0 + \Lambda = 1$$

Extraordinariamente, há não muitos anos, amostras de supernovas distantes e o WMAP revelaram que temos:

$$\Lambda \approx 0.7$$

O Universo, afinal, não só está em expansão como esta é **acelerada**.

Um alívio para todos!...

... OU TALVEZ NÃO!

Agora temos:

100% do Universo:

- ~ 70% Energia Escura
- ~ 27% Matéria Escura
- ~ 3% Matéria “conhecida”

*QUANTO MAIS O CONHECEMOS...*

*... MENOS DELE SABEMOS!*