

# AGA0210 – Introdução à Astronomia



Amâncio Friaça  
2024



Amâncio César Santos Friaça

<http://www.astro.iag.usp.br/~amancio/>

[amancio.friaca@iag.usp.br](mailto:amancio.friaca@iag.usp.br)

Rua do Matão 1226 - Cidade Universitária  
05508-900 São Paulo SP - BRASIL  
Tel. (11) 3091-2725

**NA ESQUINA DO COSMOS COM A VIDA**

### **Interesses Científicos**

- Astrobiologia
- Cosmologia
- Evolução Química do Universo
- Formação e Evolução de Galáxias
- Meio Intergaláctico e Interestelar
- Relações entre Ciência e Sociedade
- Transdisciplinaridade

### **Ensino**

- AGA0316 A Vida no Contexto Cósmico
- AGA0210 Introdução à Astronomia
- MPA5003 História da Ciência e Ensino de Astronomia
- MPA5007 Conceitos Fundamentais em Astrobiologia

# AGA0210 – Introdução à Astronomia

2º semestre de 2024

---

**NOTURNO: 2<sup>as</sup> das 19h às 23h. SALA: AUDITÓRIO IAG, Bloco G**

Prof. Dr. Amâncio Friaça (amancio.friaca@iag.usp.br)

Monitores: Adkuesley Ferreira da Silva (adkuesley@usp.br), Arthur Silva Colchesqui (acolchesqui@usp.br)

## **AVISOS:**

1. 05/08 – BEM VINDOS À AGA0210!
  2. Acompanhem as informações sobre (re)programação do Curso por emails e no site da disciplina
- 

## **Objetivos**

Oferecer aos alunos de licenciatura e bacharelado em Ciências Humanas e Biológicas conceitos fundamentais de Astronomia e Astrofísica, abrangendo amplo espectro de temas, desde a Astronomia de Posição até Cosmologia e Astrobiologia, complementando sua formação pessoal, intelectual e profissional.

A estratégia deste curso obedece, na maioria dos temas, uma lógica de exibir primeiramente as observações, os fatos, e posteriormente, a(s) teoria(s) desenvolvida(s) para tentar explicar as observações. Assim sendo, é inevitável acompanhar os fatos históricos que deram suporte a construção do pensamento científico bem como o encadeamento lógico que decorre desta perspectiva.

---

## **Programa da disciplina**

---

## Conteúdo

1. Panorama da Astronomia e apresentação da disciplina.
2. Esfera celeste: constelações, movimento aparente dos astros e movimentos da Terra.
3. Movimentos da Terra e Lua: estações do ano, fases da Lua, eclipses.
4. Luz, átomos e as ferramentas do astrônomo.
5. Sistema Solar: estrutura e formação.
6. Estrelas: propriedades, espectro e classificação. Diagrama HR.
7. O Sol como estrela típica e laboratório das interações fundamentais.
8. Estrelas binárias e variáveis. Aglomerados estelares. Anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros.
9. Evolução estelar e a origem dos elementos químicos.
10. Galáxia e meio interestelar: componentes e evolução.
11. Astronomia extragaláctica: tipos de galáxias, núcleos ativos de galáxias, estruturas de grande escala.
12. Cosmologia: geometrias, expansão do universo, nucleossíntese primordial, radiação cósmica de fundo.
13. Astrobiologia: química da vida no espaço, exoplanetas, habitabilidade, bioassinaturas.

---

## Forma de Avaliação

$$\text{Nota Final} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

Obs 01: Haverá uma prova substitutiva no final do semestre, que poderá substituir uma das provas. Nela constará toda a matéria do curso.

Obs 02: Este curso não possui segunda avaliação.

---

## Notas de Aula

(A programação e os slides serão disponibilizados ao longo do semestre)

- 05/08 – Panorama da Astronomia e apresentação da disciplina - [Aula 1](#)
-

# Um panorama do universo

1. Unidades de distância
2. Ângulos
3. Números astronômicos
4. Estruturas astronômicas

# Unidades de distância

- **quilômetro (km)** = 1000 m =  $10^5$  cm
- **Unidade Astronômica (UA)** = a distância média entre a Terra e o Sol  
$$1 \text{ UA} = 1,5 \times 10^8 \text{ km}$$
- **Ano-luz (AL)** = a distância que a luz viaja em um ano no vácuo  
$$D = c t \quad c = 300.000 \text{ km/s}$$
  
$$1 \text{ AL} = 9,5 \times 10^{15} \text{ m}$$
- **Parsec (pc)** = 3.3 AL (1 kpc = 1000 pc; 1 Mpc = 1.000 kpc)

# Ângulos

Ângulos e tempos são os dados astronômicos primordiais

- 180 graus =  $\pi$  radianos
- 1 grau = 60 minutos de arco = 3600 segundos de arco
- Exemplo 1: quantos segundos tem o ângulo  $\theta = 23^{\circ} 12' 19''$ ?  
resposta:  $\theta = 23 \times 60 \times 60 + 12 \times 60 + 19 = 83.539$  arcsec
- Exemplo 2: quantos radianos tem em 1 arcsec?  
 $\pi$  radianos = 180 graus =  $180 \times 3600$  arcsec  
1 arcsec =  $\pi / (180 \times 3600) = 4,848 \times 10^{-6}$  radianos
- Para ângulos pequenos,  $\text{sen}(\theta) \sim \text{tan}(\theta) \sim \theta$   
( $\theta$  em radianos)

# Grandes Números

**Nossa galáxia possui ~100 bilhões ( $10^{11}$ ) de estrelas.**  
**No Universo observável há ~ 100 bilhões ( $10^{11}$ ) de galáxias.**  
**No Universo observável há portanto  $\sim 10^{22}$  estrelas**  
**Um balde cheio de areia possui ~1 bilhão ( $10^9$ ) de grãos de areia.**  
**Cem baldes cheios de areia terão ~100 bilhões ( $10^{11}$ ) de grãos de areia que é ~ igual o número de estrelas na galáxia.**  
**Em todas as praias do mundo há em torno de  $10^{23}$  grãos de areia!).**

**Número de neurônios no corpo humano  $\sim 10^{11}$**   
**Número de células no corpo humano  $\sim 10^{14}$**   
**Número de prótons em um grama de hidrogênio =  $6 \times 10^{23}$**   
**Número de prótons no corpo humano  $\sim 6 \times 10^{23} \times (70 \times 10^3 \text{ g}) \sim 4 \times 10^{28}$**   
**Número de prótons no Universo observável  $\sim 10^{78}$**

# Tamanhos Astronômicos

Os pesos e medidas da astronomia foram obtidos de modo indireto em um longo percurso histórico

## Massas

Massa da Terra:  $6,0 \times 10^{24}$  kg

Massa do Sol:  $2,0 \times 10^{30}$  kg

Massa da Galáxia:  $4 \times 10^{11} M_{\odot}$  ( $r < 35$  kpc)

## Comprimentos

Raio da Terra:  $\sim 6.400$  km =  $6,4 \times 10^6$  m

Raio do Sol:  $\sim 700.000$  km =  $7,0 \times 10^8$  m

Distância Sol-Terra:  $1,5 \times 10^{11}$  m (= 1 UA)

Distância Sol-Plutão: 39,5 UA (semi-eixo maior)

Distância Sol-Próxima Centauri: 1,3 pc

Distância Sol-centro da Galáxia: 8,5 kpc

Diâmetro do disco da Galáxia:  $\sim 50$  kpc

Diâmetro do Grupo Local de Galáxias:  $\sim 1$  Mpc

# Estruturas Astronômicas

- O Sol e o Sistema Solar
- Estrelas e nebulosas
- A Via Láctea
- Galáxias
- Grupos e aglomerados
- Estruturas em grandes escalas
- O Fluxo de Hubble

# A Terra

- Raio médio:

$$R_{\oplus} = 6378 \text{ km}$$
$$= 6,378 \times 10^6 \text{ m}$$

- Massa:

$$M_{\oplus} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

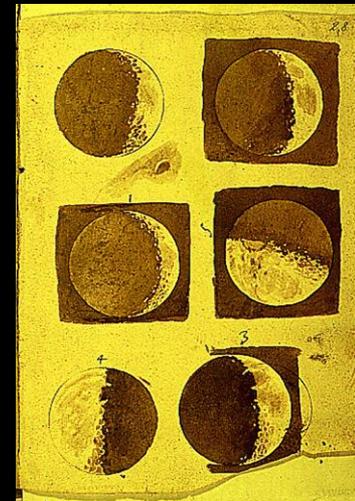
- Distância média ao Sol

$$1 \text{ UA (AU)} = 149,6 \text{ milhões km}$$
$$= 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$$



# A Lua

- Satélite natural da Terra
- Distância média da Terra:  
384.401 km
- Massa:  
 $7,353 \times 10^{22}$  kg
- Raio médio:  
1.738 km
- Massa da Terra/Massa da Lua:  
81,2

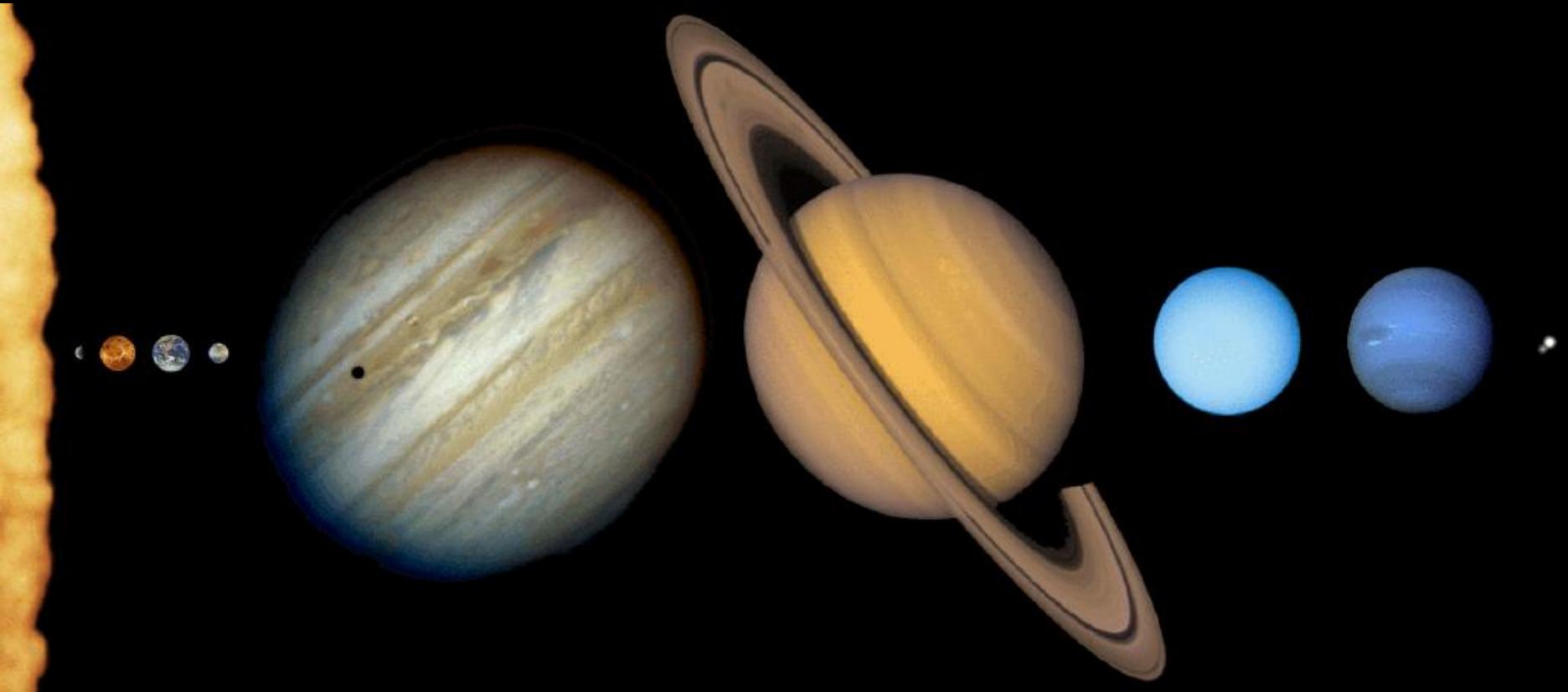


# O Sol (um padrão astronômico)

- Raio Solar:  $R_{\odot}=6,96\times 10^8$  m  
= 696.000 km  
=  $103 R_{\oplus}$
- Massa Solar:  $M_{\odot}=1,989\times 10^{30}$  kg  
=  $333.000 M_{\oplus}$   
= 99% massa do Sistema Solar
- Densidade média =  $1,410$  g/cm<sup>3</sup>
- Luminosidade Solar:  
 $L_{\odot}=3,827\times 10^{26}$  Watt
- Temperatura superficial = 5800 K
- Temperatura central =  $1,55 \times 10^7$  K
- Tipo espectral: G2V
- $M_V = 4,83$
- Cor B-V=0,656
- Composição (em massa): 74,46 % hidrogênio,  
24,85 % hélio, 1,69 % outros elementos



# Tamanhos relativos dos planetas

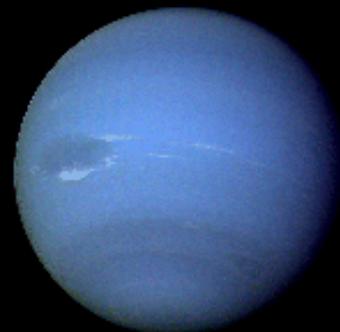
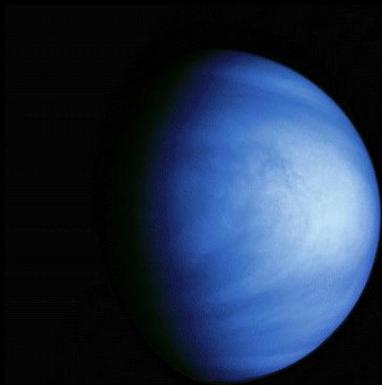
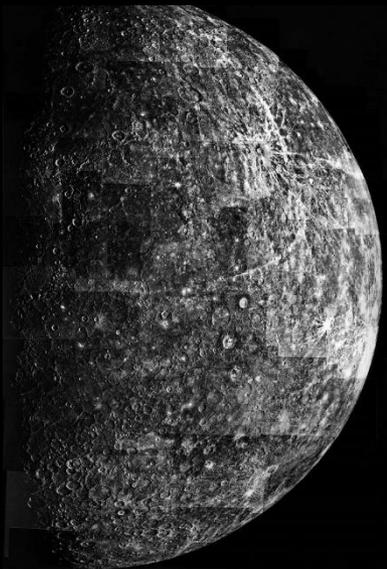


Raio de Júpiter (Equador):  $R_J = 71.492 \text{ km} = 11,2$  raios terrestres

Massa de Júpiter:  $M_J = 1,8986 \times 10^{27} \text{ kg} = 317,8$  massas terrestres

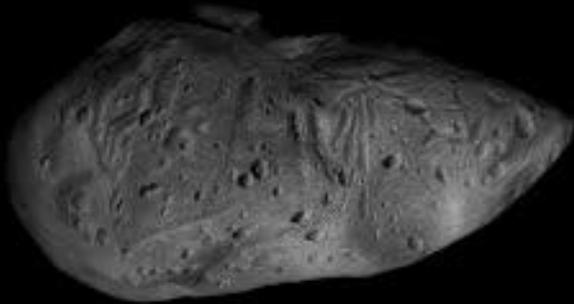
Raio Solar/Raio de Júpiter = 9,74

Massa Solar/Massa de Júpiter = 1048

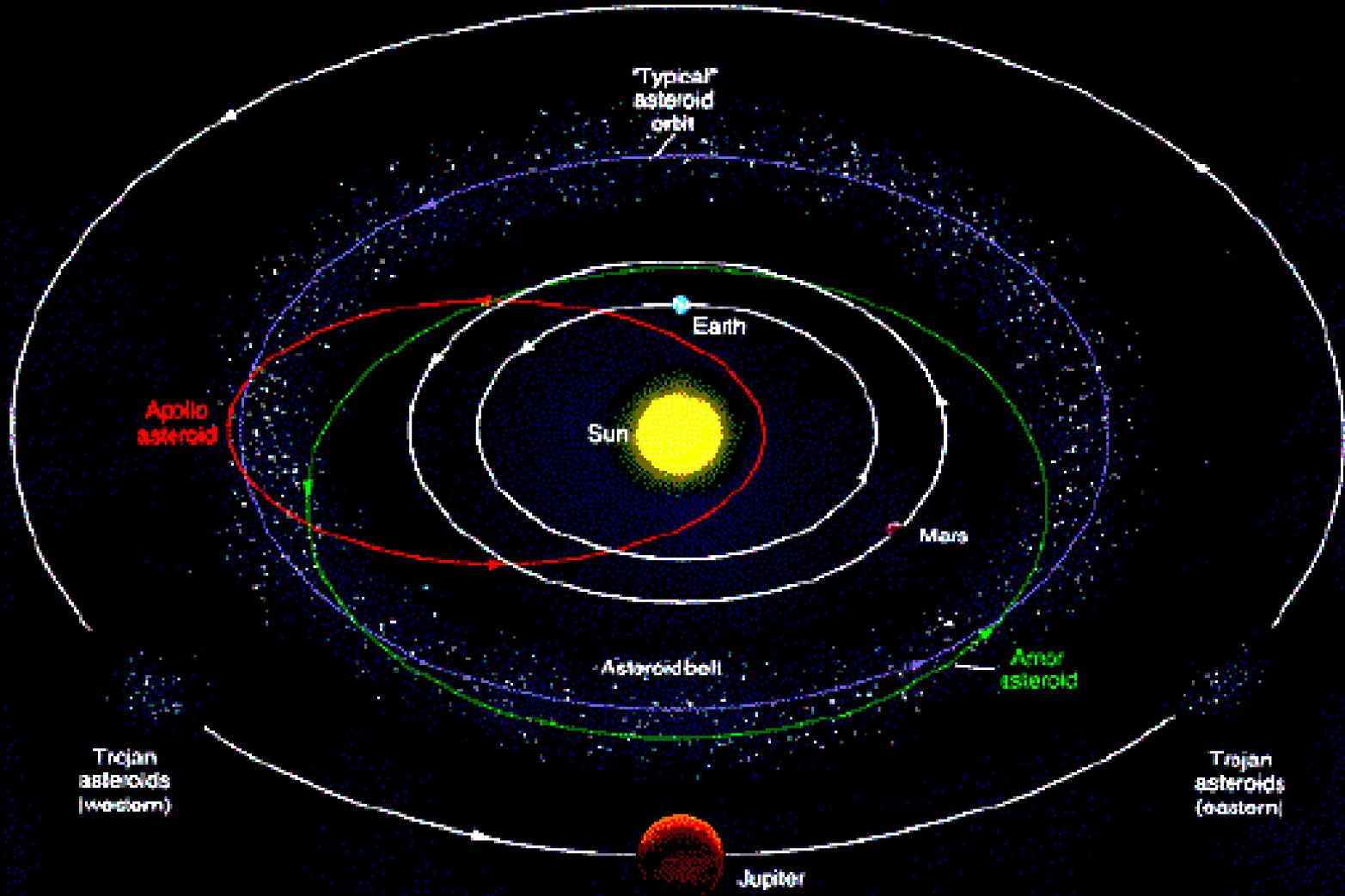


# Asteróides

- Asteróide Graspá  
20 x 12 x 11 km



# Cinturão



## Plutão – planeta anão...

Caronte e mais 4 luas

Descoberto em 1930 como resultado de intensiva pesquisa relacionada com perturbações nas órbitas de Urano e Netuno.

Foge inteiramente das características presentes dos planetas externos, ou seja, não é gasoso. Entretanto, muito similar aos objetos presentes no Cinturão de Kuiper

Atípico, pequeno (2274 Km - menor que a Lua), com maior satélite, mais próximo e muito gde, CARONTE (3476 Km) (parecia ser outro caso de “Sistema” semelhante a duplo planeta...). Outros 4 satélites foram descobertos.

4.3 bilhões de Km, com  $T \sim -180^\circ$  e  $G \sim 1/15$  Terra

Órbita inclinada (17 graus em relação a eclíptica) e excêntrica e rotação retrógrada. Invade a órbita de Netuno por 20 anos de seus 249 anos de orbita em torno do Sol



## 3 categorias de Planetas ...terrestres, gasosos, anões

**I- Clássicos:** terrestres (1) e gasosos (2).

### (1) – Terrestres (rochosos ou telúricos)

Planetas internos, relativamente pequenos e densos, com superfícies rochosas, composição química relativamente baixa de elementos leves e gases voláteis (H e He), e alta de refratores c/o silício e ferro. Densidade alta, da ordem de 3500-5500 kg/m<sup>3</sup>. São eles: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte

### (2) - Gigantes gasosos.

Planetas externos, muito maiores e massivos, sem superfície sólida, domínio de H e He (semelhantes ao Sol), muitos satélites e com anéis. Densidade baixa, da ordem de 700-1700 Kg/m<sup>3</sup>. São eles: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno

**II- Não clássicos, Anões:** estão em órbita ao redor do Sol, são pequenos porém com massa suficiente para sua gravidade superar as forças de corpo rígido, não são satélites e não tenha as vizinhanças de sua órbita desimpedidas (IAU 2005).

# Dwarf Planets in the Solar System

In 2006, the organization responsible for classifying celestial bodies, the International Astronomical Union (IAU) decided that a new class of objects was needed. Pluto, considered a planet since its discovery in 1930, was reclassified into the new “dwarf planet” category. To date, five dwarf planets have been found, although some astronomers expect there may be as many as 50 in the solar system.

Earth's  
moon  
to scale



	<b>ERIS</b>	<b>PLUTO</b>	<b>HAUMEA</b>	<b>MAKEMAKE</b>	<b>CERES</b>
Year of discovery	2003	1930	2003	2005	1801
Diameter (mean)	1,445 miles 2,326 km	1,430 miles 2,302 km	892.3 miles 1,436 km	882 miles 1,420 km	591.8 miles 952.4 km
Orbital period (Earth years)	561.4	247.9	281.9	305.34	4.6
Distance from sun (times Earth's distance)	68	39.5	43.1	45.3	2.8
Orbital inclination (degrees)	46.9	17.14	28.2	29	10.59
Rotation period	25.9 hours	6.39 Earth days	3.9 hours	22.5 hours	9.1 hours
Moons	1	5	2	0	0

# cometas

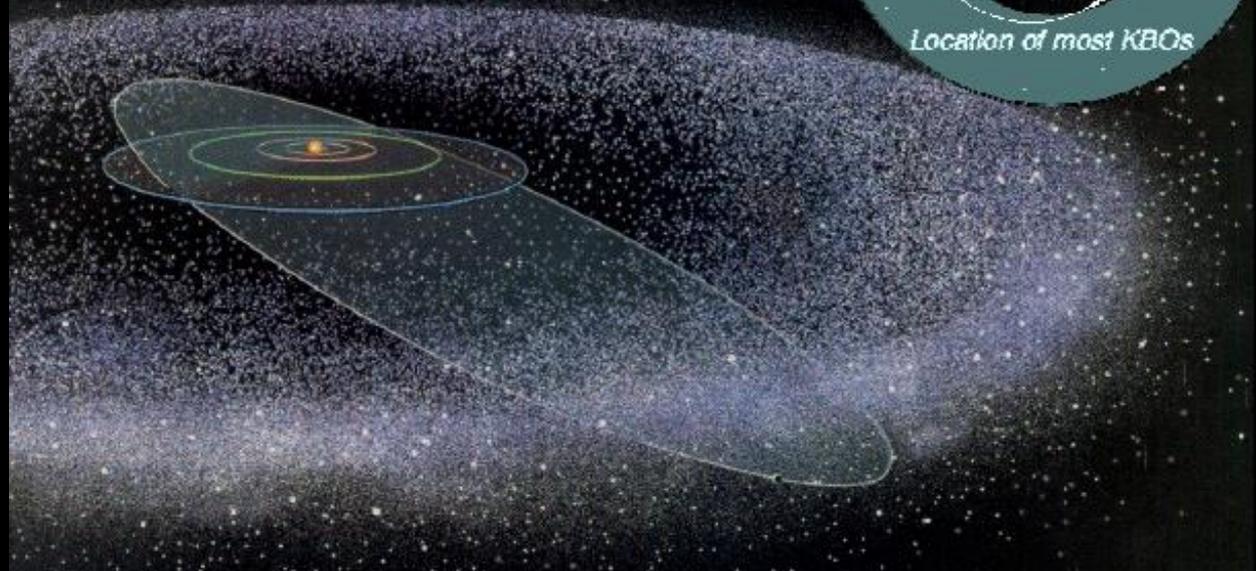
C/1975 V1 (West)

## Cometas e Objetos do Cinturão de Edgeworth-Kuiper

© www.harmsy.freeuk.com



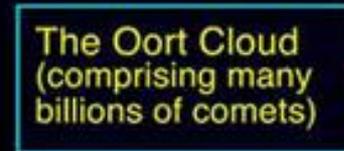
Muitos cometas vêm do Cinturão de Kuiper



# Os limites do Sistema Solar: a nuvem de Oort

Muitos cometas vêm do Cinturão de Kuiper e da Nuvem de Oort

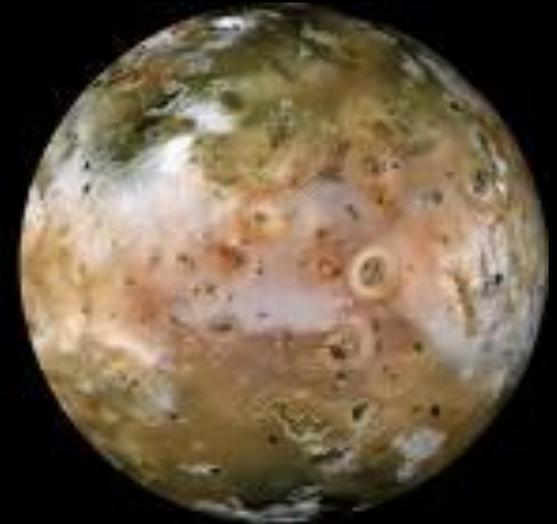
Raio da nuvem de Oort  
~1/3 AL



Oort Cloud cutaway drawing adapted from Donald K. Yeoman's illustration (NASA, JPL)



# Satélites



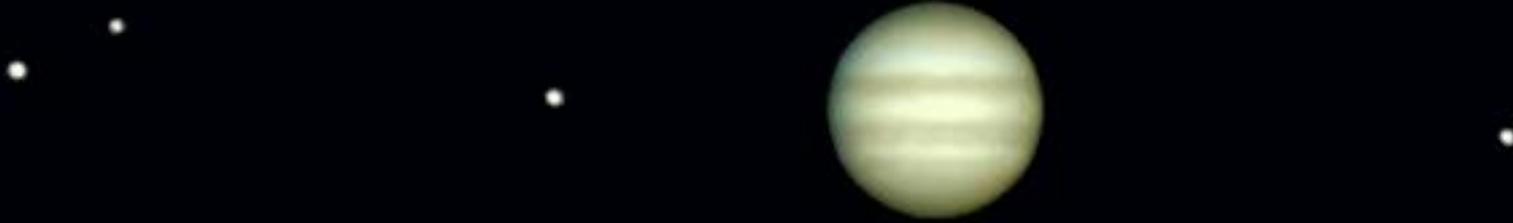
Massa de Ganimedes =  $1,4819 \times 10^{23}$  kg

(Massa de Mercúrio =  $3,3011 \times 10^{23}$  kg)

Massa de Júpiter/ Massa de Ganimedes = 12.812

(Massa da Terra/Massa da Lua = 81,2)

# JÚPITER e os Satélites Galileanos



# Os grandes satélites do Sistema Solar



**Mercury**

**4880 km**



**Ganymede**

**5262 km**



**Titan**

**5150 km**

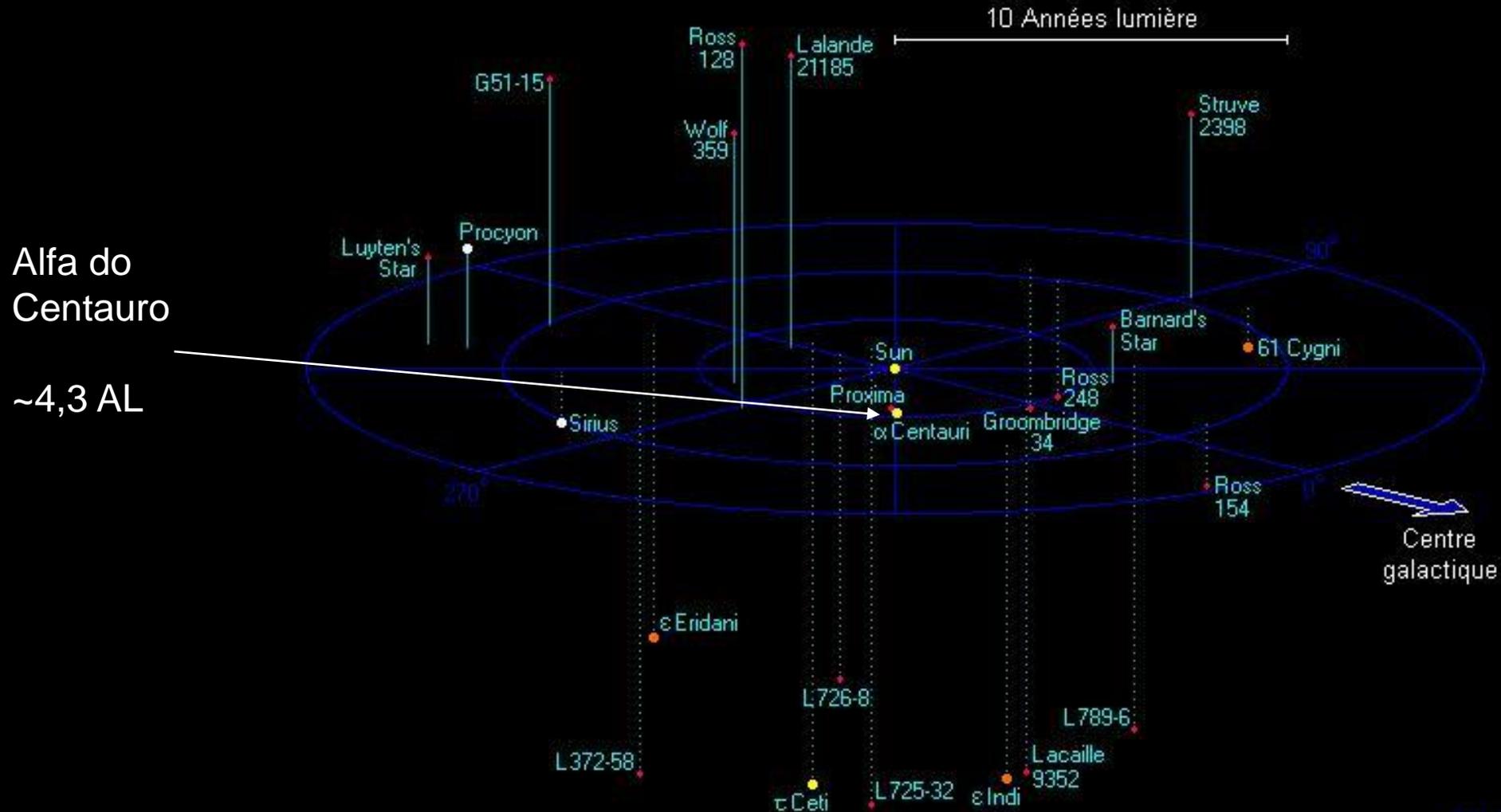


**Moon**

**3476 km**



# Estrelas próximas



# Aglomerados Estelares

Aglomerados globulares  
(antigos;  $> 10$  Ganos)  
M3



Aglomerados abertos  
(jovens;  $< 1$  Gano)  
Caixa de Jóias



Águia →



# Nuvens interestelares

- Estrelas nascem em grandes nuvens no meio interestelar



Nebulosa de Orion

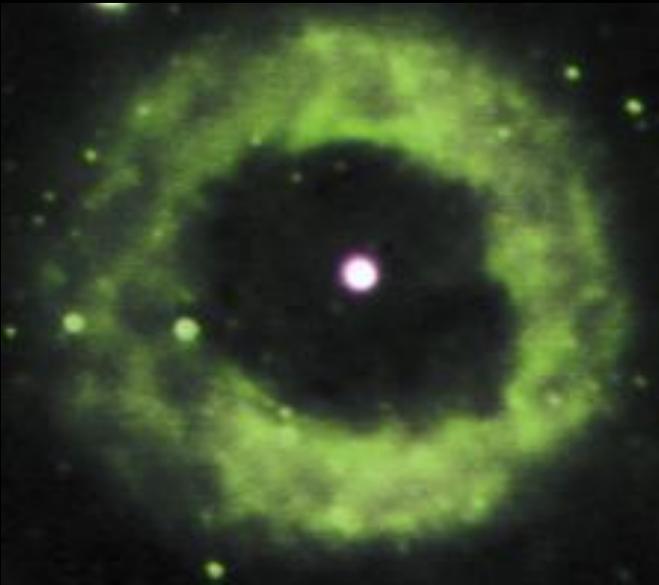


Nebulosa de Carina



# A morte das estrelas

- O Sol, quando morrer, vai devolver ao meio interestelar gás “enriquecido” por metais produzidos em reações nucleares em seu interior



Nebulosa planetária  
NGC6369

# Um esquema de nossa galáxia



1kpc = 1000 pc = 3260 anos luz

# Galáxias espirais



Formação ativa  
de estrelas

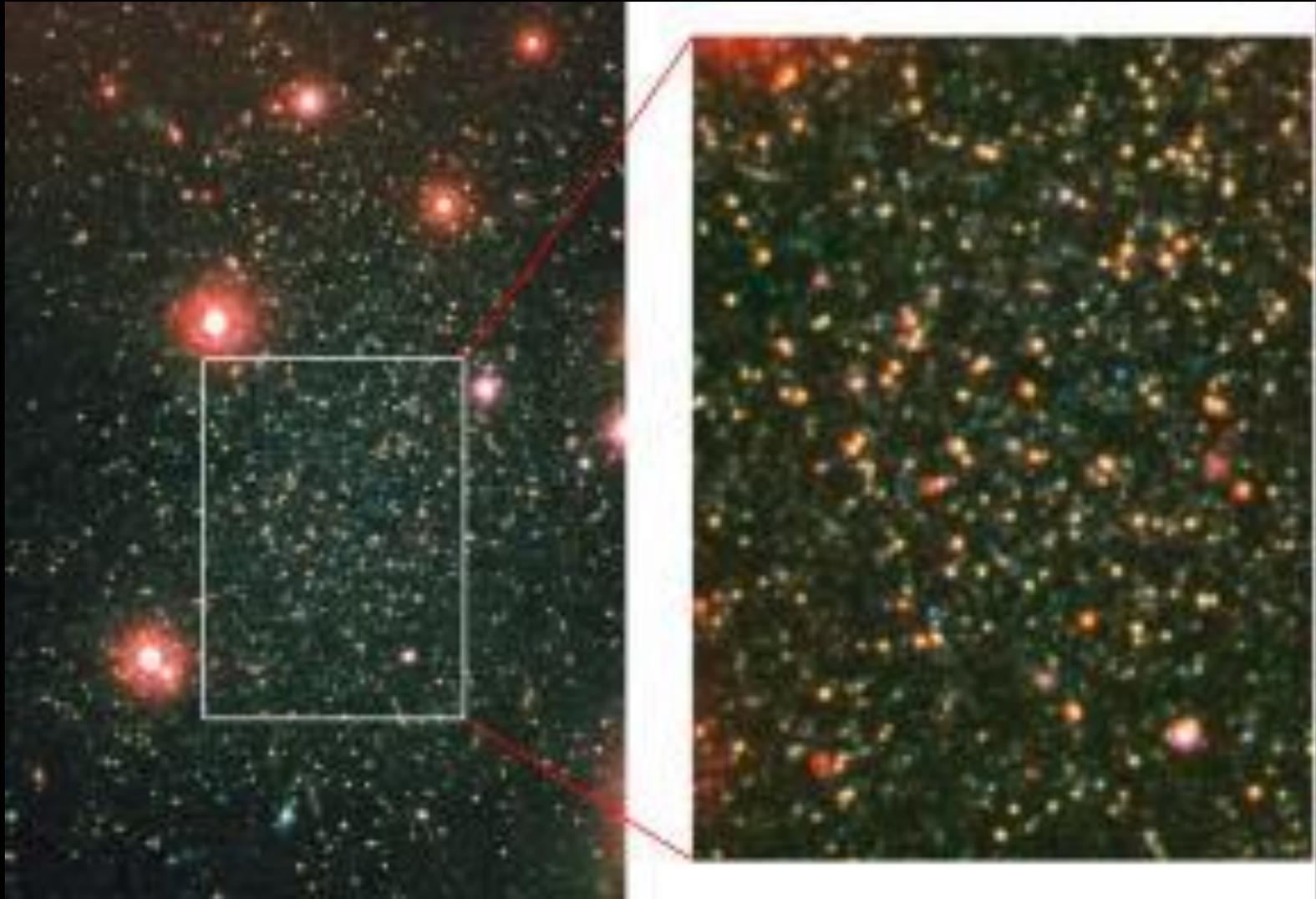


# Galáxias elípticas

Estrelas velhas



# Galáxias anãs



And IV

# Galáxias satélites: as nuvens de Magalhães



Grande Nuvem



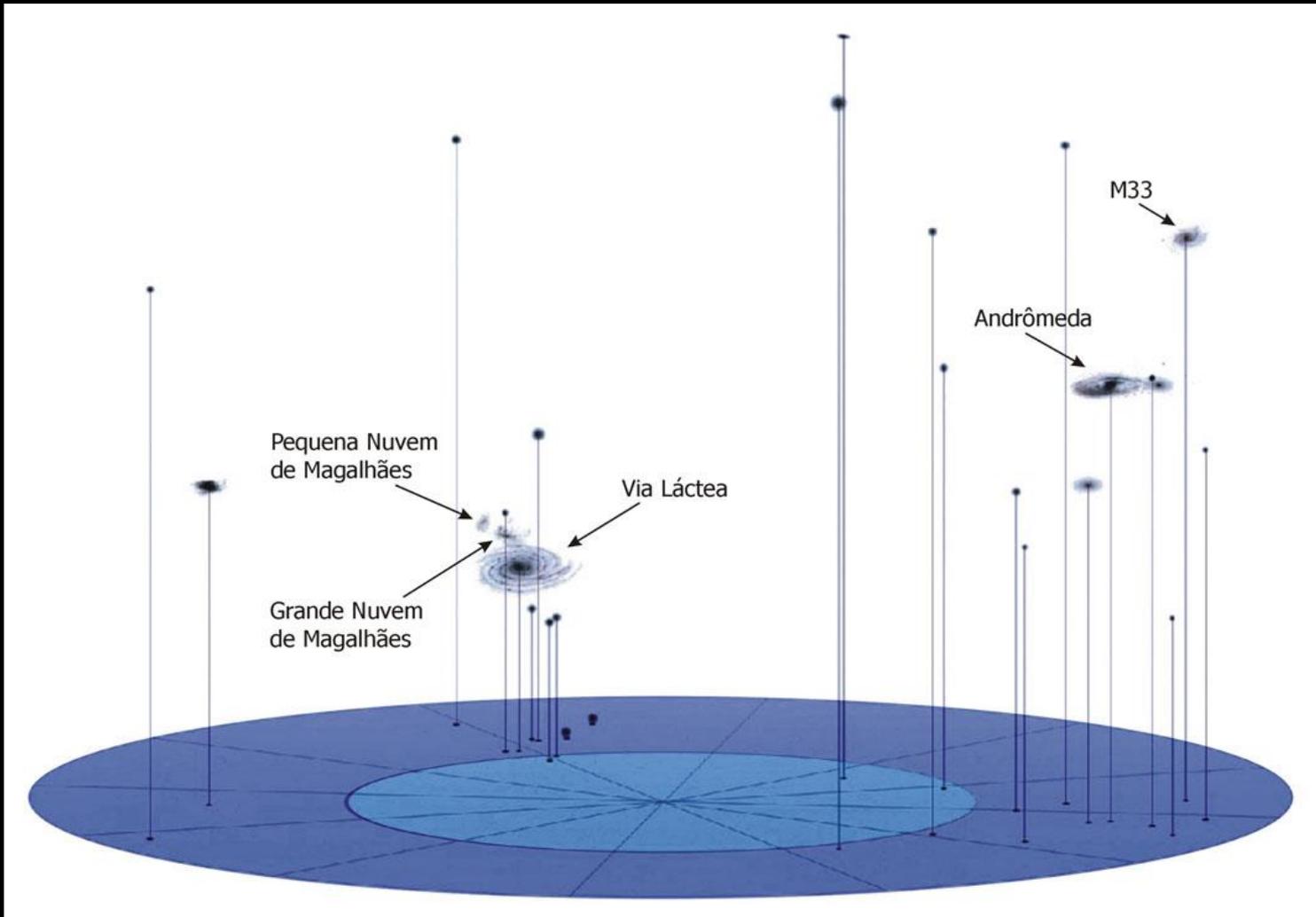
Pequena Nuvem



# Andrômeda e 2 satélites



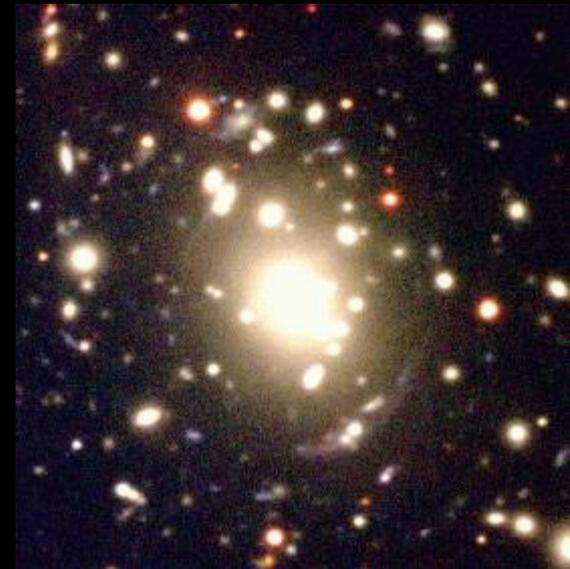
# O Grupo Local de Galáxias



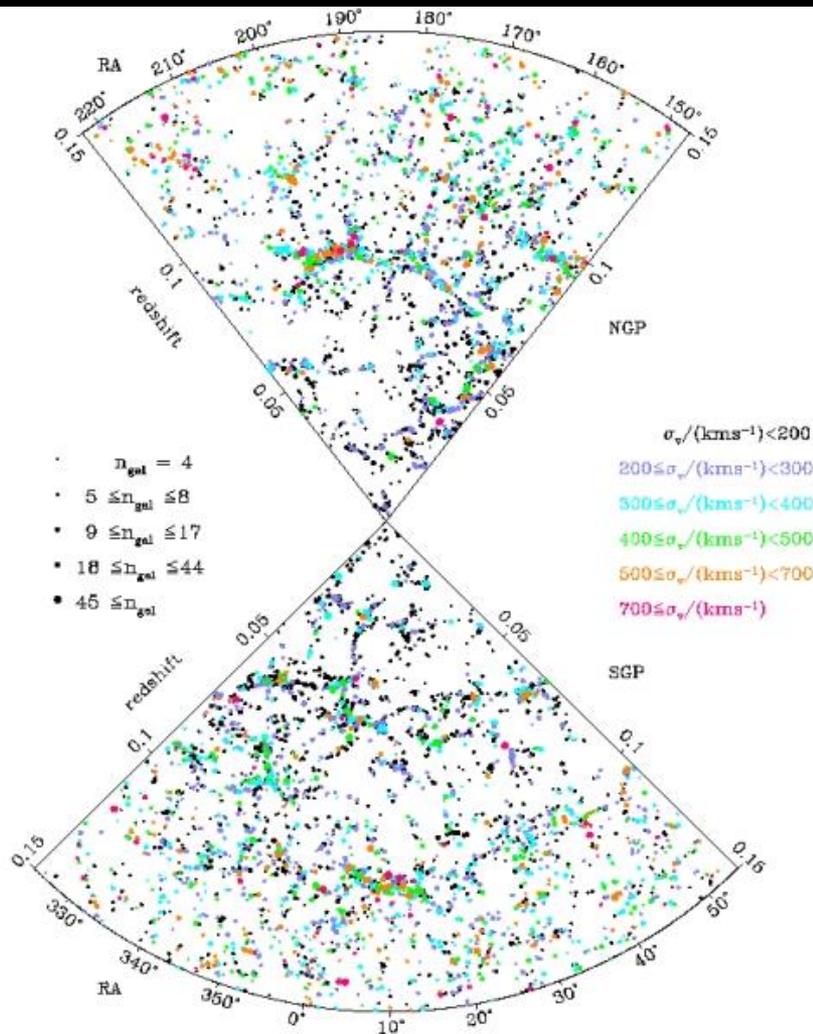
# Aglomerados de galáxias



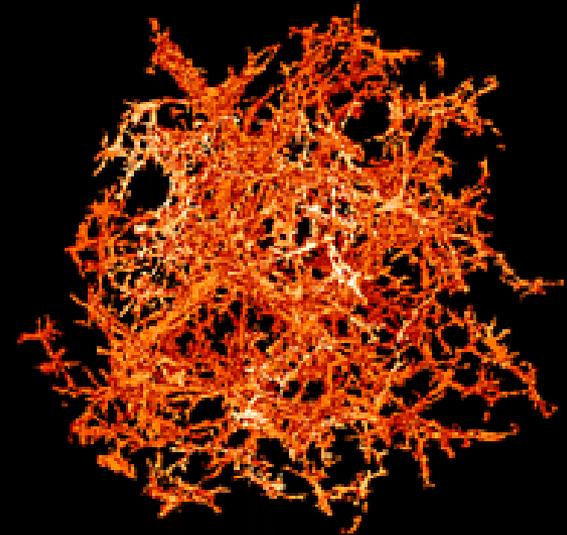
$10^2 - 10^3$  galáxias brilhantes  
Tamanhos ~ alguns Mpc  
Massas ~  $10^{14} - 10^{15} M_{\text{sol}}$



# Estruturas em grandes escalas



Filamentos e vazios



Escalas: centenas de Mpc

# A lei de Hubble.

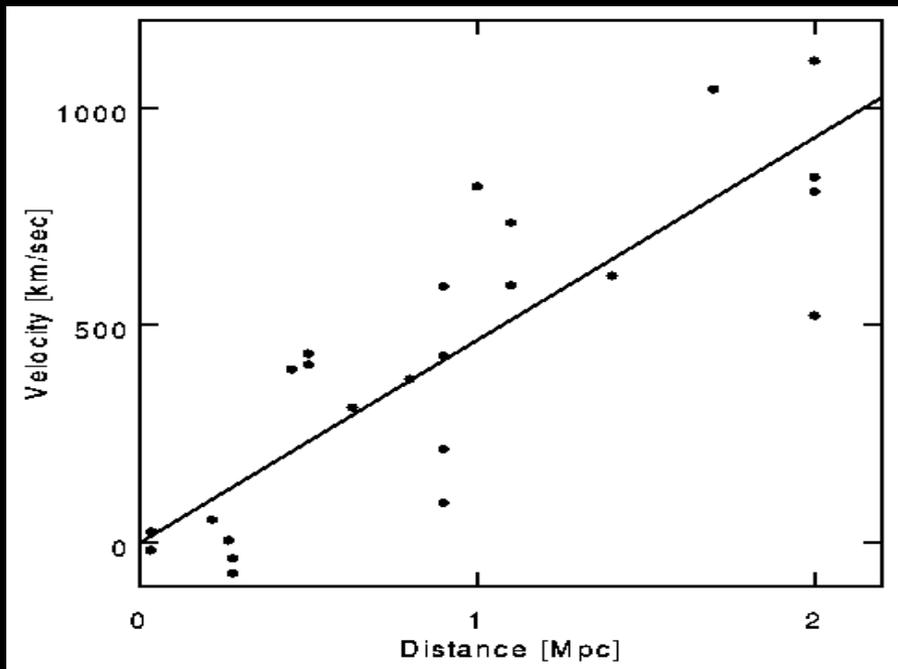


Milton Humason e Hubble

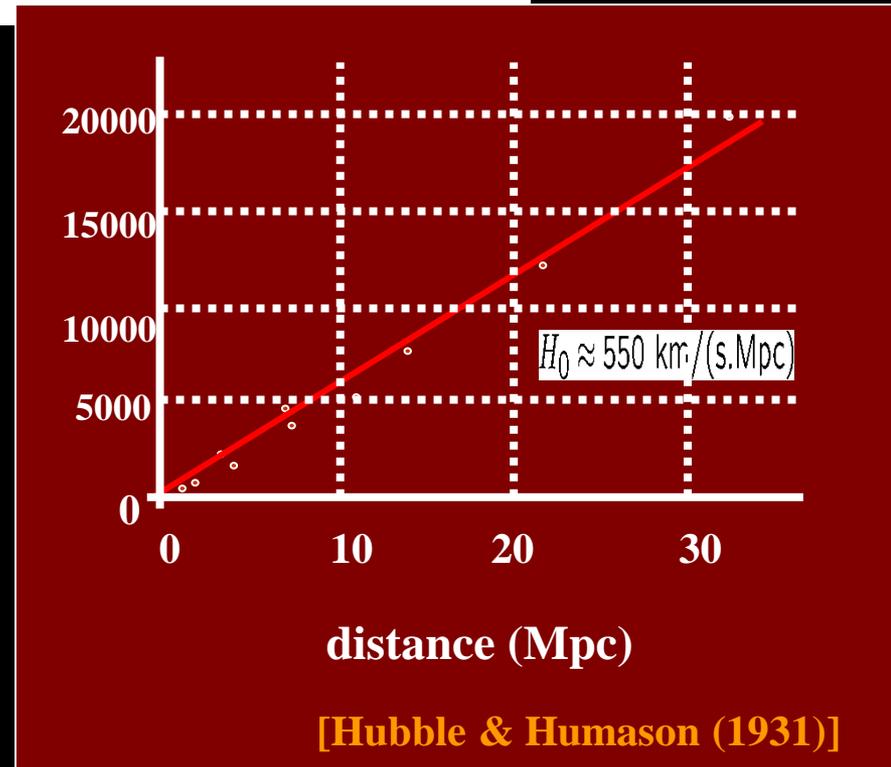
- Em 1929 e nos anos subsequentes Hubble sistematicamente estende suas medidas de distância, e usando desvios para o vermelho medidos por Humason, coloca sobre uma base firme a validade da relação que viria a se chamar ***Lei de Hubble***

# A lei de Hubble.

desvio de recessão =  $H \times$  distância  
mos)



[Hubble (1929)]

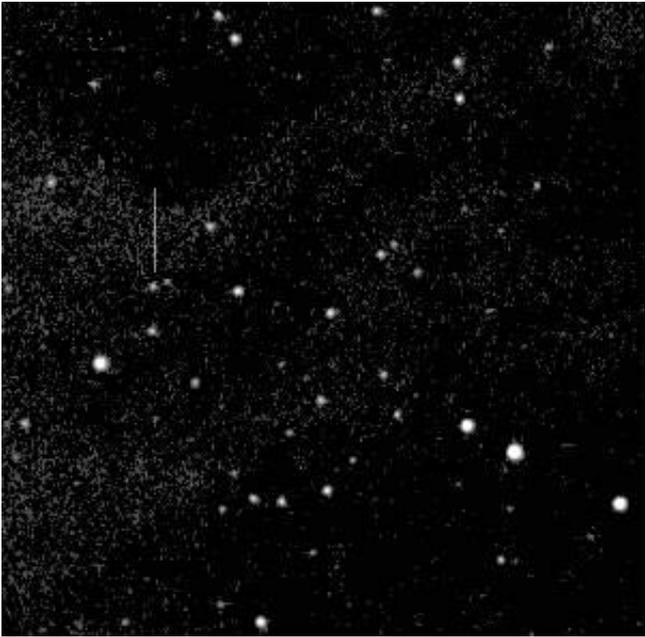


[Hubble & Humason (1931)]

# News 1963!

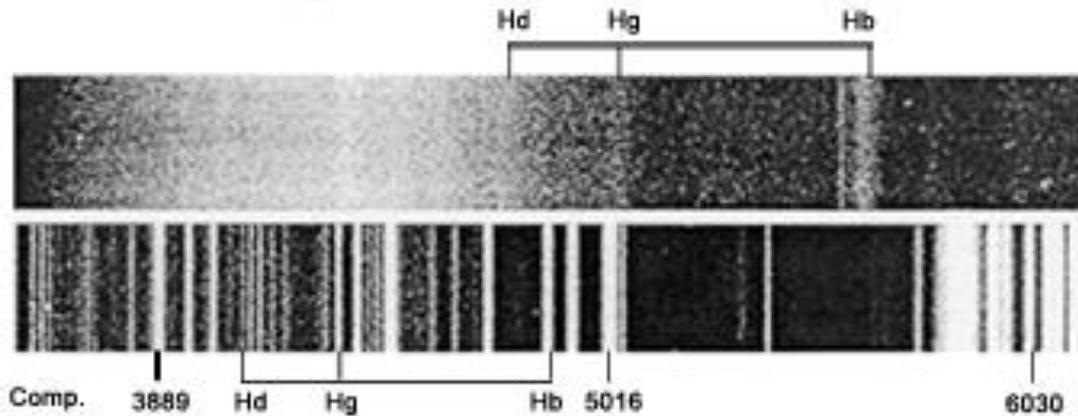
## 3C273 estoura o tamanho do Universo

Distância: cerca de  
2 bilhões de anos-luz



# Quasar 3C273

## fabulosamente rápido e distante



Maarten Schmidt  
(Palomar, 1963)  
 $z=0.158$  p/ 3C273  
 $\Rightarrow 47\,400$  km/s

$$z = \frac{\text{desvio para o vermelho}}{\text{para o}} = \frac{\text{velocidade da fonte}}{\text{velocidade da luz}} = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{ref\ fonte}}{\lambda_{ref\ fonte}}$$

$$z = v/c$$

$$c = 300\,000 \text{ km/seg}$$

Válido para  $v$  muito menor que  $c$

*Hubble*

$h = 0.72 \pm .03 \pm .07$  Freedman et al. (Hubble Key Project)  
 $h = 0.57 \pm .02$  Sandage, Tammann, et al.

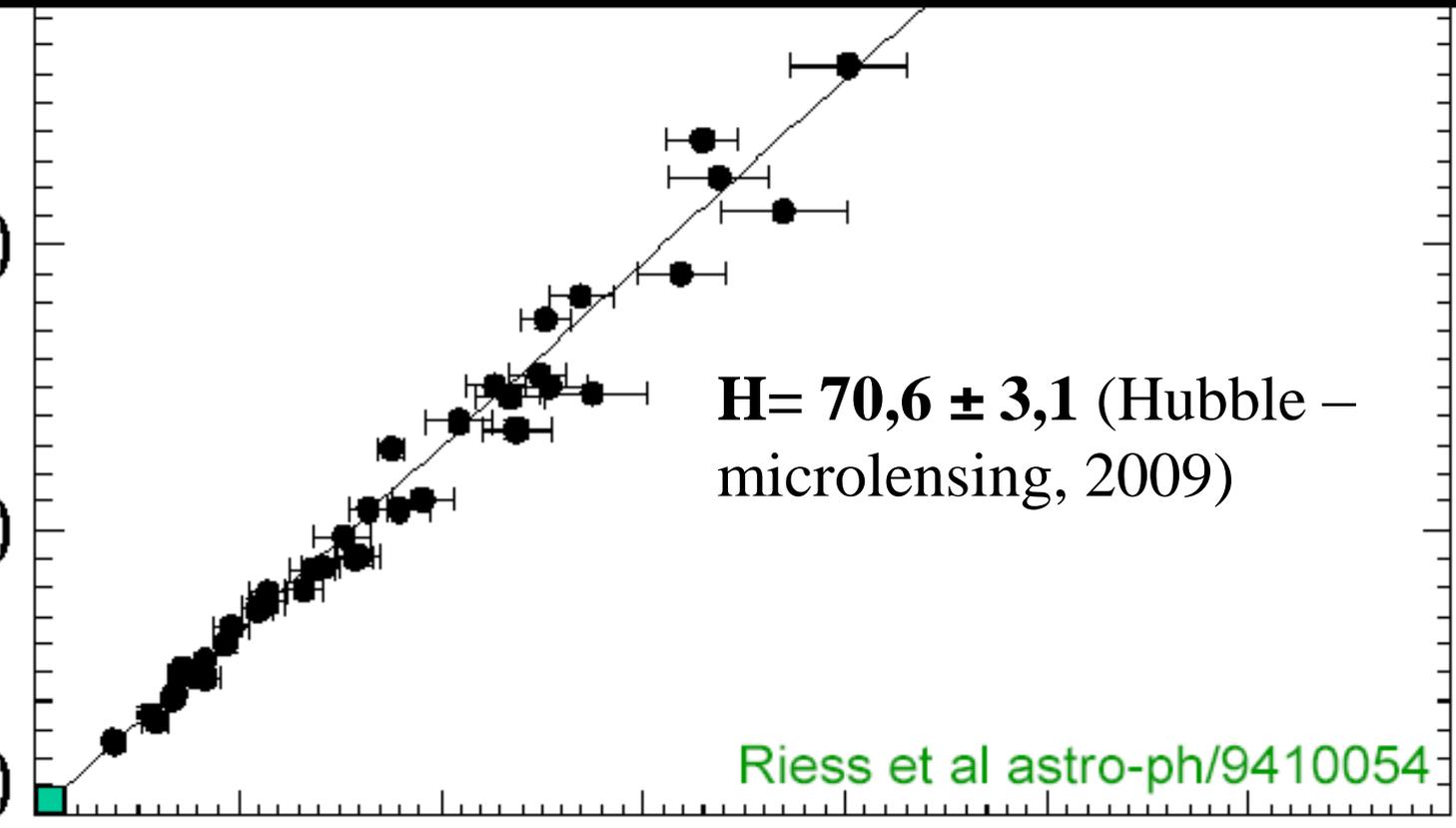
Velocity (km/sec)

Hubble's data

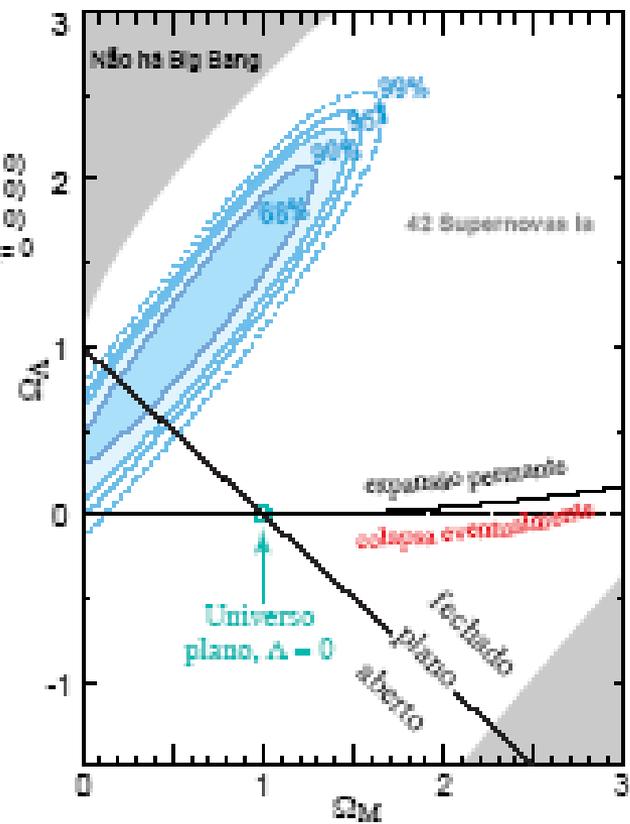
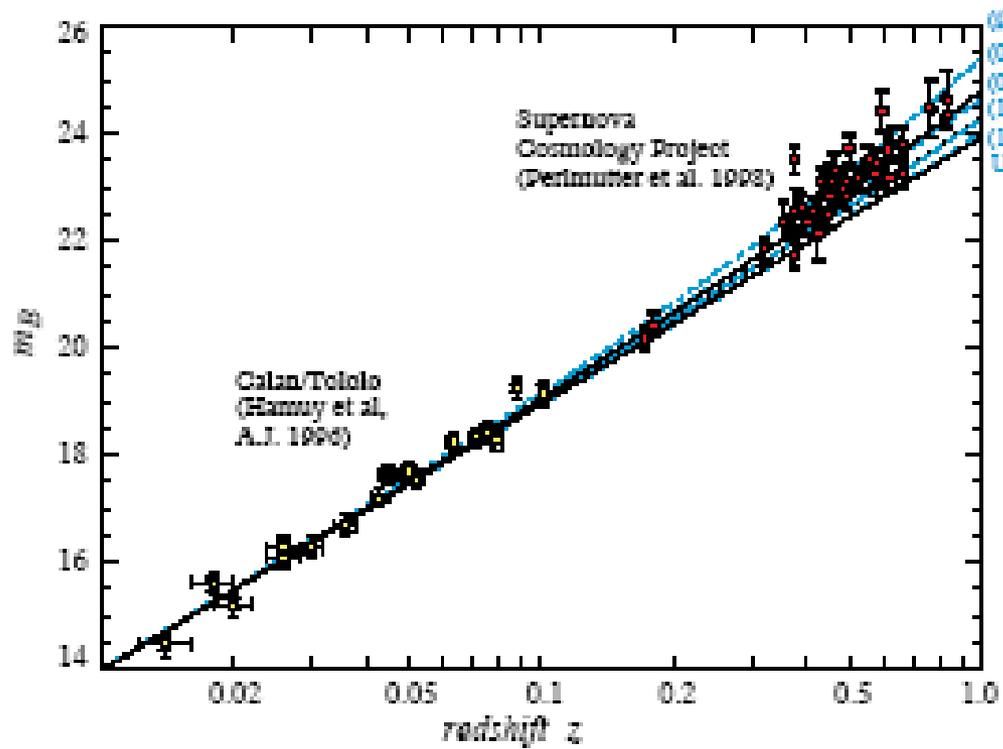
$H = 70,6 \pm 3,1$  (Hubble – microlensing, 2009)

Riess et al astro-ph/9410054

Kolb



0 10000 20000 40000  
0 100 200 300 400 500 600 700  
Distance (Mpc)

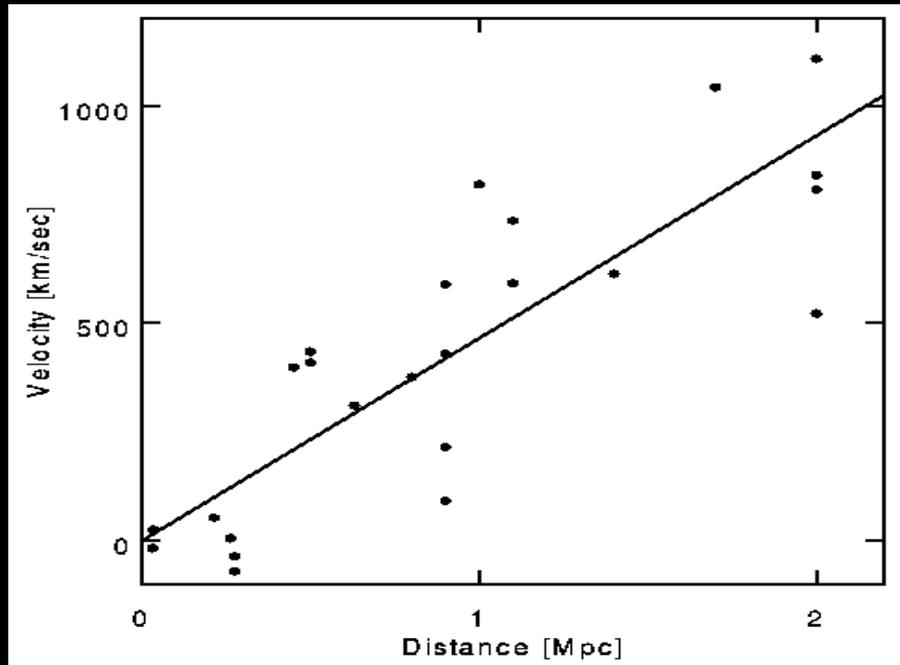


<b>Distância ou tamanho</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor Relativo</b>
<b>Raio da Terra</b>	$R_T$	6371 Km	
<b>Raio do Sol</b>	$R_S$	696000 Km	100 $R_T$
<b>Distância Terra - Sol</b>	AU	$150 \times 10^6$ Km	200 $R_S$
<b>1 parsec</b>	pc	$3.09 \times 10^{13}$ Km	200000 AU
<b>Estrela + próxima</b>	$R_*$	1.275 pc	$7 \times 10^7 R_S$
<b>Distância Sol - centro da galáxia</b>	$R_G$	10 kpc	8000 $R_*$
<b>Raio do grupo local</b> (Andrômeda)	$R_A$	670 kpc	70 $R_G$
<b>Aglomerado + próximo</b> (Virgem)	$R_V$	$11 h^{-1}$ Mpc	30 $R_A$
<b>Raio do Universo observável</b>	$R_U$	$3000 h^{-1}$ Mpc	300 $R_V$

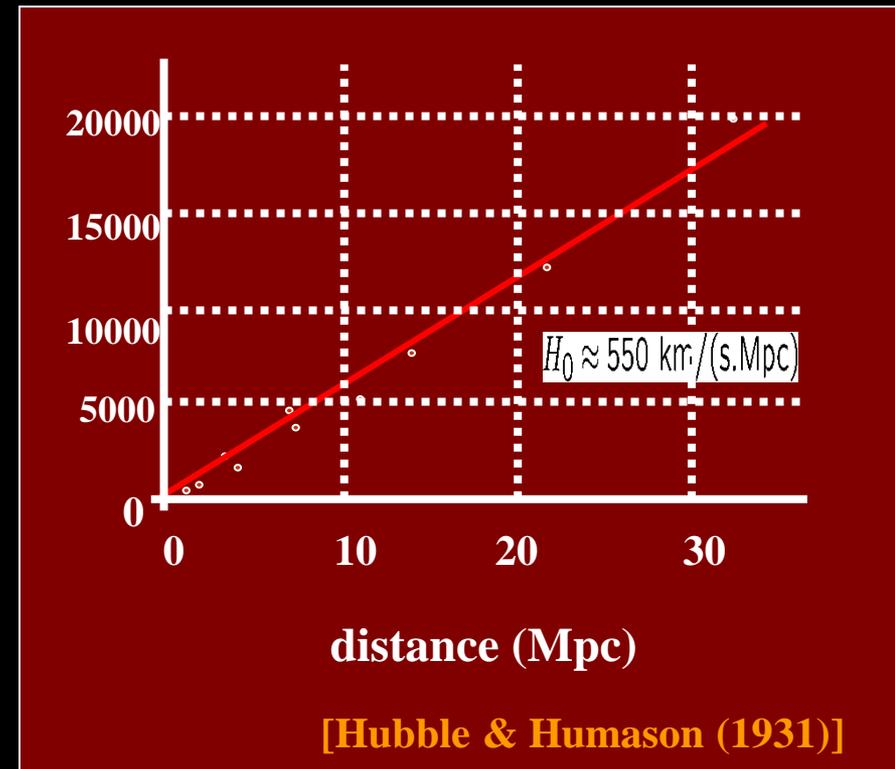
# A lei de Hubble.

desvio para o vermelho =  $\frac{H_0}{c} \times \text{distância}$

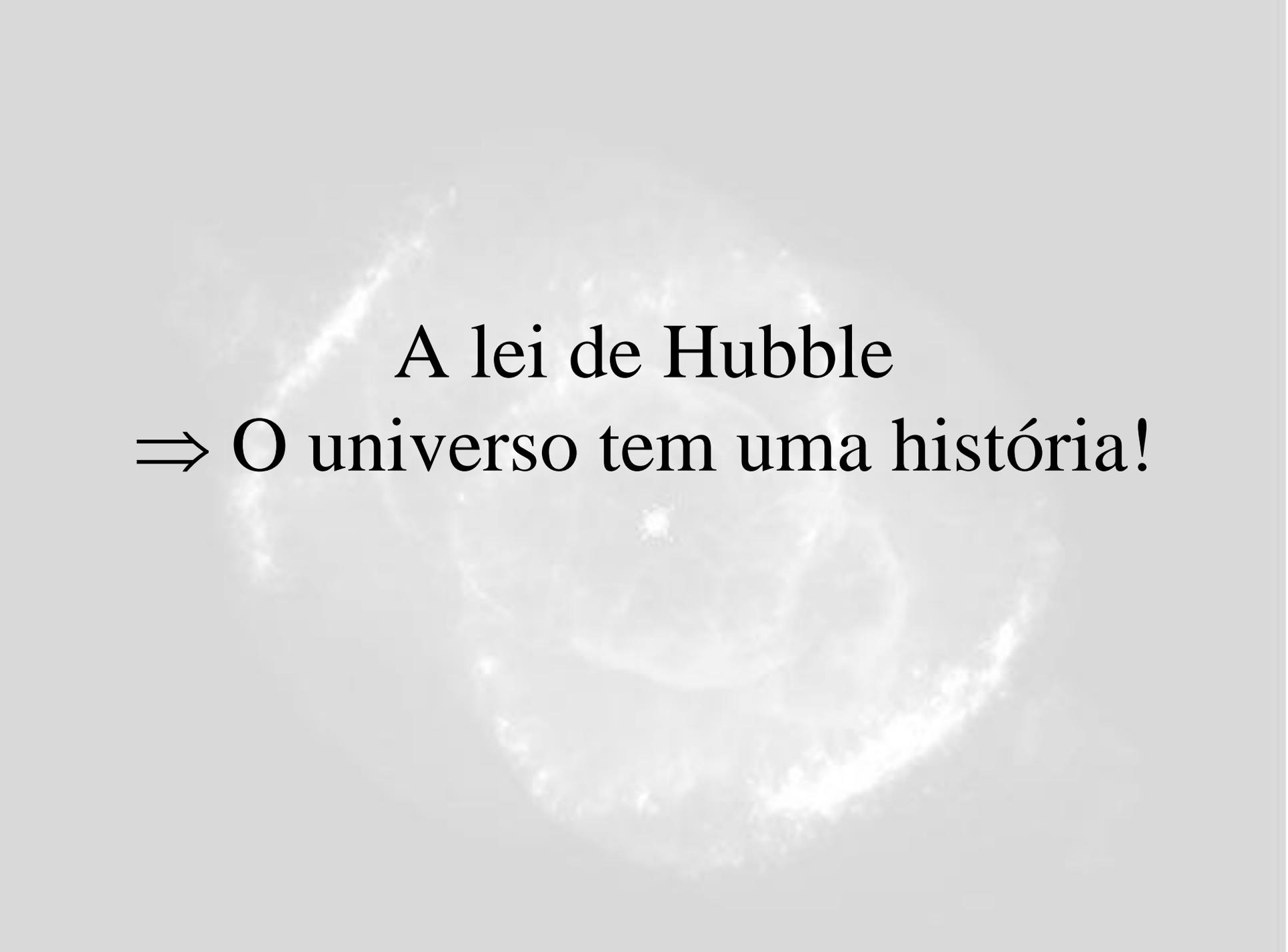
$c z = v = H_0 d \Rightarrow$  (lei de Hubble dos astrônomos)



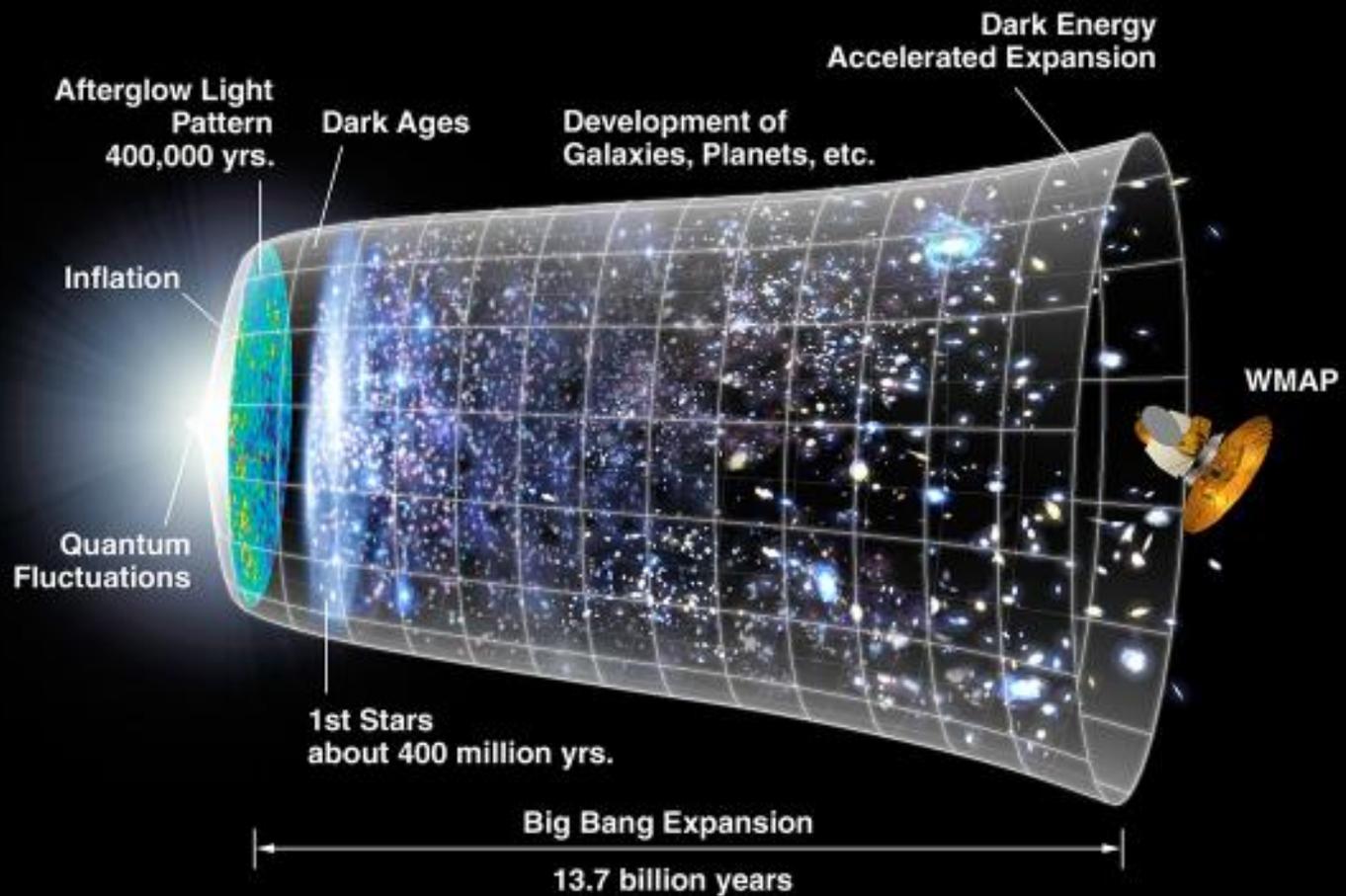
[Hubble (1929)]



[Hubble & Humason (1931)]



A lei de Hubble  
⇒ O universo tem uma história!



A história do universo é tal que  
surgem níveis cada vez maiores  
de complexidade.

*O aumento da complexidade  
permite o aparecimento da vida*

# História da Complexidade no Universo

- $10^{-43}$  s
  - $10^{-33}$  s
  - $10^{-4}$  s
  - 1 minuto
  - 300.000 anos
  - ~300 Manos
  - ~300 Manos
  - ~10 Ganos
1. Nasce o espaço (4 dimensões estendidas)
  2. Nasce a matéria (quarks e léptons)
  3. Nascem os prótons (quarks confinados)
  4. Nascem os núcleos ( $^4\text{He}$   $^2\text{H}$   $^3\text{He}$   $^7\text{Li}$ )
  5. Nascem os átomos (reunião elétrons-núcleos)
  6. Nascem os elementos pesados (C em diante)
  7. Nascem as heteromoléculas (OH, CO, H<sub>2</sub>O)
  8. Nasce a vida ( $\oplus$ : ao menos 3.85 Ganos atrás)