

# Astrofísica Moderna

## Galáxias

*Prof. Aion Viana e Prof. Vitor de Souza*

Referencias principais da aula:

“An introduction to modern astrophysics”, B.W.Carroll and D.A. Ostlie

“Astronomia e astrofísica”, K. de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva

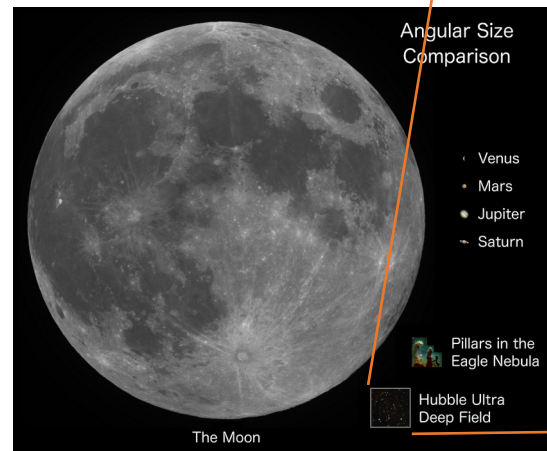
“Fundamentos de Astronomia”, notas de aula da Prof. Elisabete Gouveia dal Pino IAG/USP

# Galáxias no Universo

- *Hubble Ultra Deep Field* milhares de galáxias de diversas cores e formas.
- 1/13000000 da área do céu
- Imagem indica existência > 100 bilhões de galáxias no Universo observável



HST, NASA and the European Space Agency



# Universos-ilhas

- **Immanuel Kant (1724 - 1804) e Thomas Wright (1711 - 1786)** : propuseram que a Galáxia é um disco finito de estrelas
  - Kant sugeriu que a fracas *nebulosas elípticas* observadas no céu seriam elas mesmas discos finitos de estrelas fora da Galáxia
  - Ele chamou esses objetos de **universos-ilha**

# Universos-ilhas

- **Immanuel Kant (1724 - 1804) e Thomas Wright (1711 - 1786)** : propuseram que a Galáxia é um disco finito de estrelas
  - Kant sugeriu que a fracas *nebulosas elípticas* observadas no céu seriam elas mesmas discos finitos de estrelas fora da Galáxia
  - Ele chamou esses objetos de **universos-ilha**
- **Charles Messier (1730 -1817)**: catalogou 103 nebulosas no seu famoso catálogo Messier
- **J.L.E. Dreyer (1852 - 1906)**: publicou o **New General Catalog (NGC)** baseado em observações de William Herschel e seu filho Sir John Hersche do hemisfério sul
  - o catálogo NGC continha quase 8000 objetos e muitos identificados como aglomerados estelares, e outros como nebulosas gasosas

# Universos-ilhas

- **Immanuel Kant (1724 - 1804) e Thomas Wright (1711 - 1786)** : propuseram que a Galáxia é um disco finito de estrelas
  - Kant sugeriu que a fracas *nebulosas elípticas* observadas no céu seriam elas mesmas discos finitos de estrelas fora da Galáxia
  - Ele chamou esses objetos de **universos-ilha**
- **Charles Messier (1730 -1817)**: catalogou 103 nebulosas no seu famoso catálogo Messier
- **J.L.E. Dreyer (1852 - 1906)**: publicou o **New General Catalog (NGC)** baseado em observações de William Herschel e seu filho Sir John Hersche do hemisfério sul
  - o catálogo NGC continha quase 8000 objetos e muitos identificados como aglomerados estelares, e outros como nebulosas gasosas

Até 1908, cerca de 15 000 nebulosas haviam sido catalogadas e descritas, no entanto sua natureza continuava inexplicada  
=> **distância desconhecida**

# O *Grande Debate*

O ***Grande Debate*** do início do século em abril de 1920, frente à Academia Nacional de Ciências: as nebulosas espirais se encontram dentro ou fora da nossa Galáxia?

# O Grande Debate

O *Grande Debate* do início do século em abril de 1920, frente à Academia Nacional de Ciências: as nebulosas espirais se encontram dentro ou fora da nossa Galáxia?

- **Harlow Shapley (1885-1972):** defendia que as nebulosas se encontram na Galáxia. Seus argumentos:
- se o disco de Andrômeda (M31) fosse tão grande quanto ao da Via-Láctea (pelas suas estimativas  $\sim 100$  kpc), uma *nova* recentemente observada em M31 seria muito mais luminosa que *novas* observadas na Via-Láctea
  - existiam observações que mostravam movimento próprio de M101 indicando que se ela fosse tão grande quanto a VL, as velocidades de rotação seriam absurdamente grandes ➡ (mais tarde essas observações foram desmentidas)

# O Grande Debate

O **Grande Debate** do início do século em abril de 1920, frente à Academia Nacional de Ciências: as nebulosas espirais se encontram dentro ou fora da nossa Galáxia?

- **Harlow Shapley (1885-1972)**: defendia que as nebulosas se encontram na Galáxia. Seus argumentos:
  - se o disco de Andrômeda (M31) fosse tão grande quanto ao da Via-Láctea (pelas suas estimativas  $\sim 100$  kpc), uma *nova* recentemente observada em M31 seria muito mais luminosa que *novas* observadas na Via-Láctea
  - existiam observações que mostravam movimento próprio de M101 indicando que se ela fosse tão grande quanto a VL, as velocidades de rotação seriam absurdamente grandes ➡ (mais tarde essas observações foram desmentidas)
- **Heber Doust Curtis (1872-1942)**: defendia a idéia oposta, de que eram objetos extragalácticos. Seus argumentos:
  - a *nova* observada em M31 deveria estar a uma distância de 150 kpc, portanto M31 deveria ter um tamanho de  $\sim 20$  kpc (Via-Láctea de Kapteyn)
  - as velocidades radiais dessas nebulosas indicavam que elas escapariam da Galáxia, em um modelo de Kapteyn.
  - Dentro da Galáxia, se suas velocidades transversais fossem iguais as vel. radiais, nós poderíamos medir movimento próprio (o que não era o caso)



# Quem ganhou o debate?

**Nenhum dos dois...**

# Quem ganhou o debate?

Nenhum dos dois...



Somente em 1923 **Edwin Powell Hubble (1889-1953)** proporcionou a evidência definitiva para considerar as "nebulosas espirais" como galáxias independentes, ao identificar uma variável Cefeida na "nebulosa" de Andrômeda (M31).

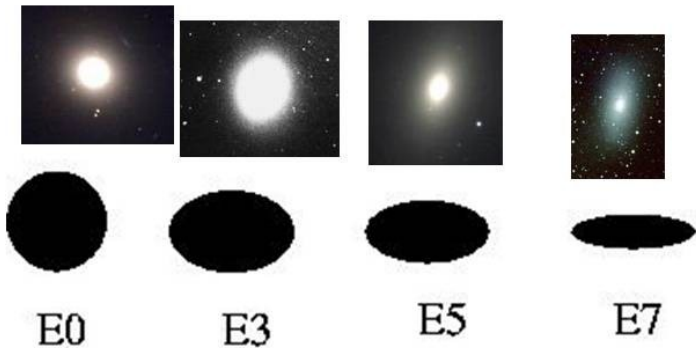
- A partir da relação conhecida entre período e luminosidade das Cefeidas Hubble estimou a distância de Andrômeda a 700 kpc, bem além dos limites da nossa Galáxia, que tem ~30 kpc.
- **A nossa Galáxia é somente uma dentre uma quantidade imensa de galáxias no Universo**

# Classificação morfológica das galáxias

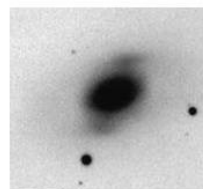
## Classificação de Hubble em galáxias:

- espirais
- espirais barradas
- elípticas
- irregulares e subclasses
- lenticulares

$$n = 10 \times (1 - b/a)$$



S0



Sa



Sb



Sc



Irr

SBa



SBb



SBc



# Galáxias espirais (S)

Possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

Galáxias espirais típicas (S):

Sa

Sb

Sc



- subdivididas nas categorias Sa, Sb e Sc, de acordo com o grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços espirais e com o tamanho do núcleo comparado com o do disco

<b>a</b>	núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados
<b>b</b>	núcleo e braços intermediários
<b>c</b>	núcleo menor, braços grandes e mais abertos

# Galáxias espirais (S)

Possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

## Galáxias espirais típicas (S):

Sa



Sb



Sc



- subdivididas nas categorias Sa, Sb e Sc, de acordo com o grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços espirais e com o tamanho do núcleo comparado com o do disco
- Nos braços espirais: material interestelar, nebulosas gasosas, poeira, e estrelas jovens, incluindo as super-gigantes luminosas, aglomerados abertos
- Aglomerados globulares no halo
- População estelar típica: estrelas jovens no disco e velhas nos halos

# Galáxias espirais (S)

Possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

## Galáxias espirais barradas (SB):

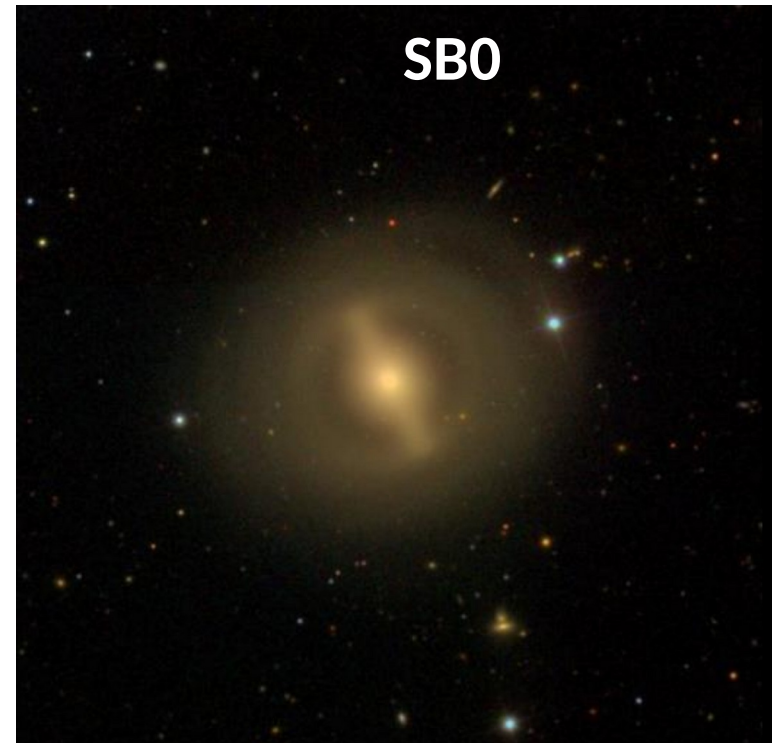
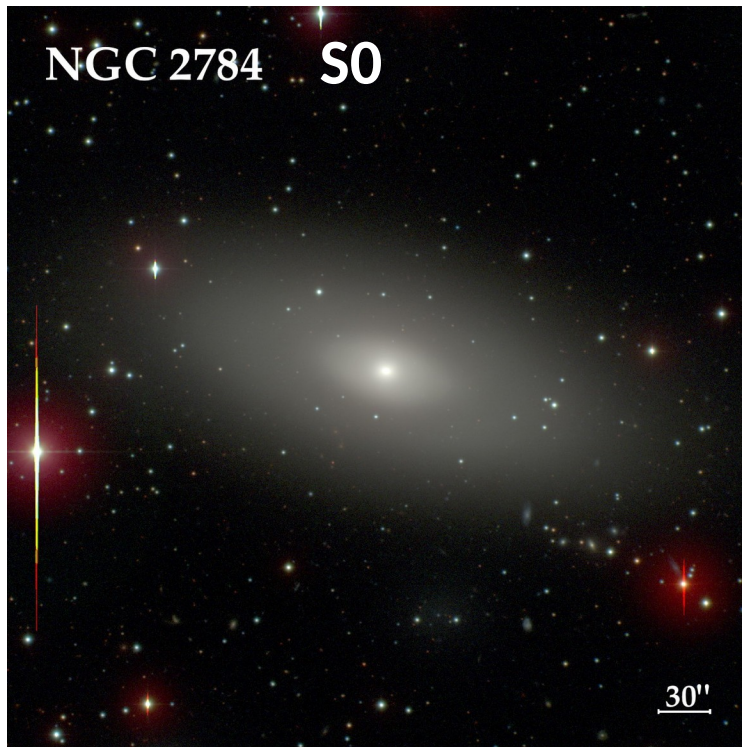


- Modelos sugerem: barras parecem formar-se em galaxias com menor quantidade de matéria escura (ME).
- Há 2 galaxias espirais normais para cada barrada:

<b>a</b>	núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados
<b>b</b>	núcleo e braços intermediários
<b>c</b>	núcleo menor, braços grandes e mais abertos

# Galáxias lenticulares (S0)

Possuem núcleo, disco e halo, mas não têm traços de estrutura espiral.



- Concentração central de estrelas importante
- Têm um envoltório ao redor do núcleo (com estrelas, alguma poeira, e pouco ou nenhum gas)

# Galáxias elípticas

Apresentam forma esférica ou elipsoidal, e não têm estrutura espiral.



- São chamadas de  $E_n$ , onde  $n=10(a-b)/a$ , sendo  $a$  o semi-eixo maior e  $b$  o semi-eixo menor.
- Têm pouco gás, pouca poeira e poucas estrelas jovens.
- Galáxias elípticas variam muito de tamanho, desde super-gigantes (cD) até anãs (dE e dSph).



# Eliptica Gigante: M87

M87: no centro  
do aglomerado  
de galaxias de  
COMA

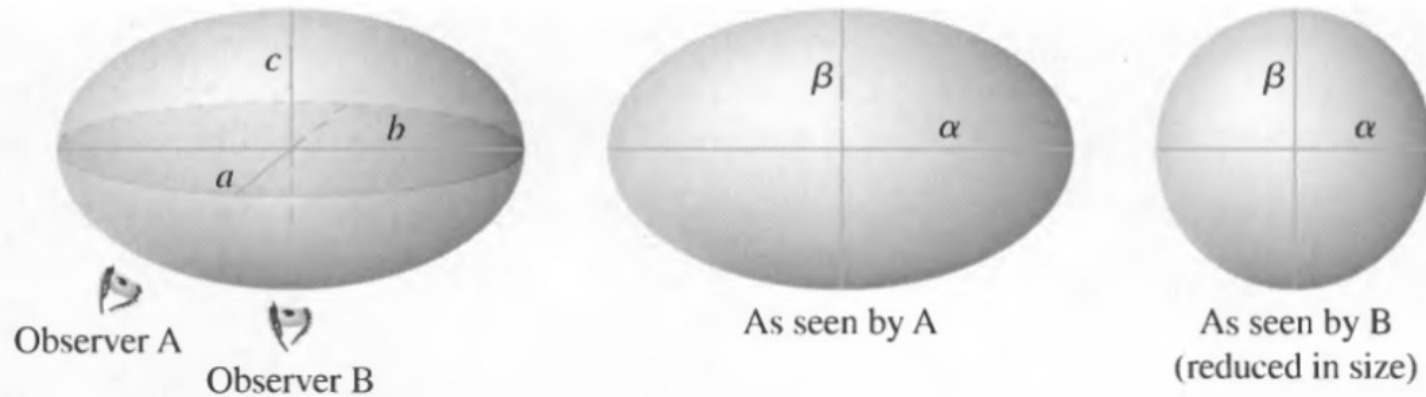
- Massa =  $2 \times 10^{12} M_{\text{sol}}$



M87 © Anglo-Australian Observatory  
Photo by David Malin

# Galáxias elípticas

Hubble baseou sua classificação na aparência da galáxia, não na sua verdadeira forma.



**FIGURE 25.2** An oblate spheroidal galaxy has axis lengths  $a = b$  and  $c < a$ . If  $c/a = 0.6$ , the apparent shape resembles an E4 galaxy ( $\beta/\alpha = 0.6$ ) when seen by observer A. The same galaxy appears as an E0 when seen by observer B ( $\beta/\alpha = 1$ ).

# Galáxias irregulares

Privadas de qualquer simetria circular ou rotacional



- Muitas irregulares parecem estar sofrendo **atividade de formação estelar** relativamente intensa, sua aparência sendo dominada por estrelas jovens brilhantes e nuvens de gás ionizado distribuídas irregularmente
- Observações na linha de 21 cm do hidrogênio mostra a existência de um **disco de gás** similar ao das galáxias espirais.
- Galáxias irregulares lembram as espirais no seu **conteúdo estelar**, que inclui estrelas de **população I e II (jovens e velhas)**

# Luminosidade e forma

- Difícil definir **luminosidade total** => galáxias não têm limite (contorno) bem definido
- Na ausência de contornos bem determinados:
  - estima-se a magnitude dentro de uma **isofota** (linhas de mesmo brilho ou intensidade superficial) => esta determina o tamanho angular  $\Theta_G$  da galáxia
- Exemplos:
  - **Raio de Holmberg ( $r_H$ )**: semi-eixo maior do elipsoide com isofota de brilho superficial  $\mu_H = 26.5$  B-mag arsec<sup>-2</sup>
  - **Raio efetivo ( $r_e$ )**: contém metade da luz da galáxia
- Usa-se **imageamento fotométrico** para medir a forma de uma galáxia

# Luminosidades típicas

- Medidas de Magnitudes absolutas das galaxias:

$M_V = -9$  a  $-22$  mag. ( $10^6$  a  $\sim 10^{11} L_{\odot}$ )



E anas



E gigantes

E gigantes: mais brilhantes que S em geral

Galaxias com  $M_V > -18$  : anas

Nossa Galáxia (vista de fora) teria  $M_V \sim -21$

E super gigantes:  $M_V = -25$  ( $10^{12} L_{\text{sol}}$ )

# Perfil de intensidade

**Disco (espirais e lenticulares):** Lei exponencial

$$I(R) = I_d e^{\left\{-R/R_d\right\}}$$

onde  $R_d$  é o raio de escala do disco.

**Esferoide (elípticas e bojo):** Lei de de Vaucouleur

$$I(R) = I_e e^{\left\{-7,67\left[\left(R/R_e\right)^{1/4} - 1\right]\right\}}$$

onde  $R_e$  é o raio efetivo (metade da luz)

# Perfil de intensidade

Ambos perfis podem ser representados pelo **perfil de Sersic**:

$$\log_{10} \left[ \frac{I(r)}{I(r_e)} \right] = - b_n \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right]$$

onde  $r_e$  é o raio efetivo, e  $n$  é o índice de Sersic.

$n=4 \Rightarrow$  perfil de galáxias elípticas, e bojo de espirais e lenticulares

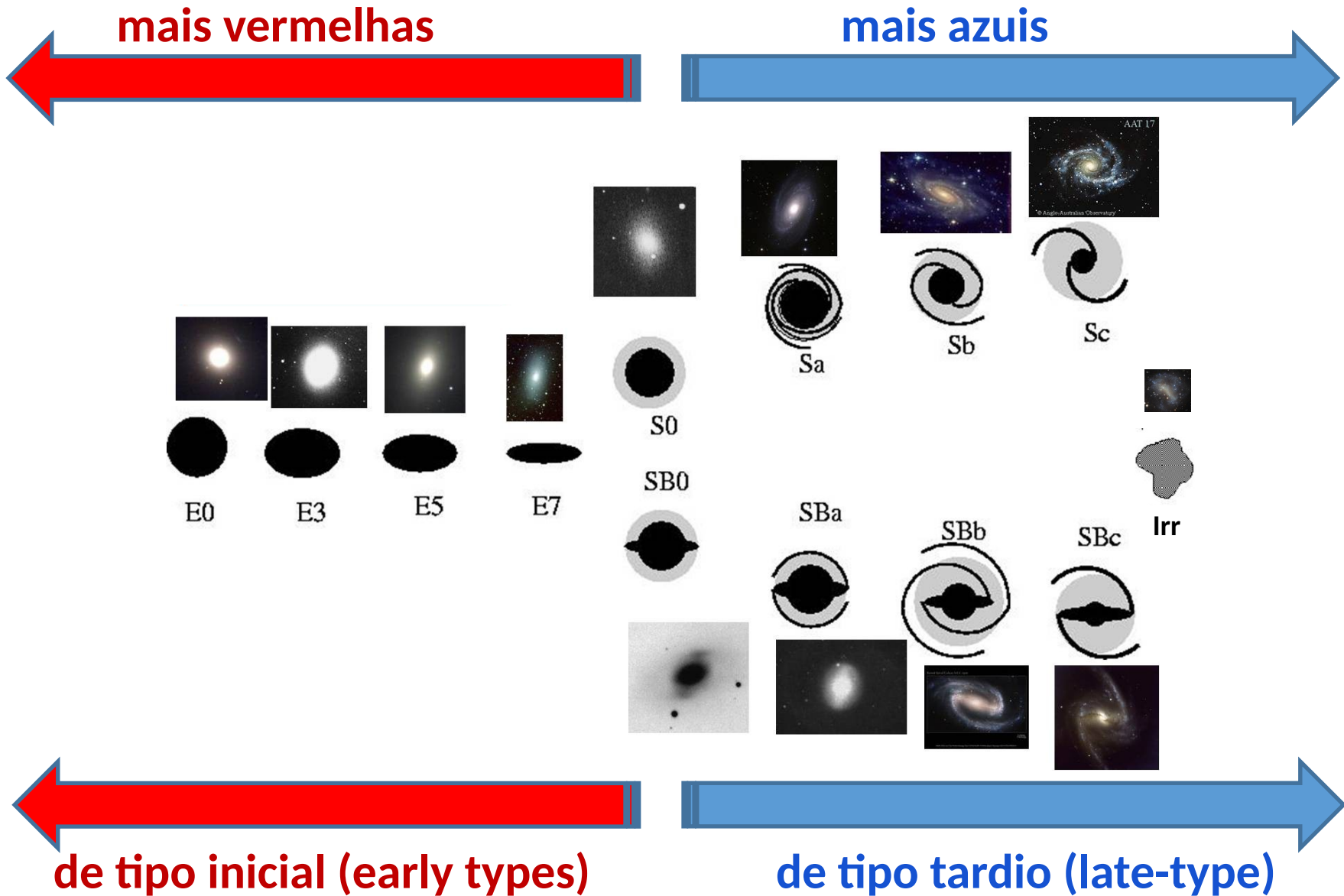
$n=1 \Rightarrow$  perfil do disco em espirais e lenticulares

# Tamanhos típicos

- **Galaxias E anãs e Irr pequenas:** menores galaxias:  
 **$D = 3000 \text{ pc}$**
- **Tipicamente:** D galaxias:  **$D = 15 \text{ kpc}$**
- **E gigantes:**  **$D \leq 60 \text{ kpc}$**
- **Galaxias cD** (super-gigantes E no centro de aglomerados de gals.):  **$D = 2 \text{ Mpc}$**   
( $>$  que distancia entre VL e Andromeda)



# Cores das galáxias



# Cores das galáxias

**Distribuição de cores:** indicação dos tipos estelares em várias partes de uma galáxia

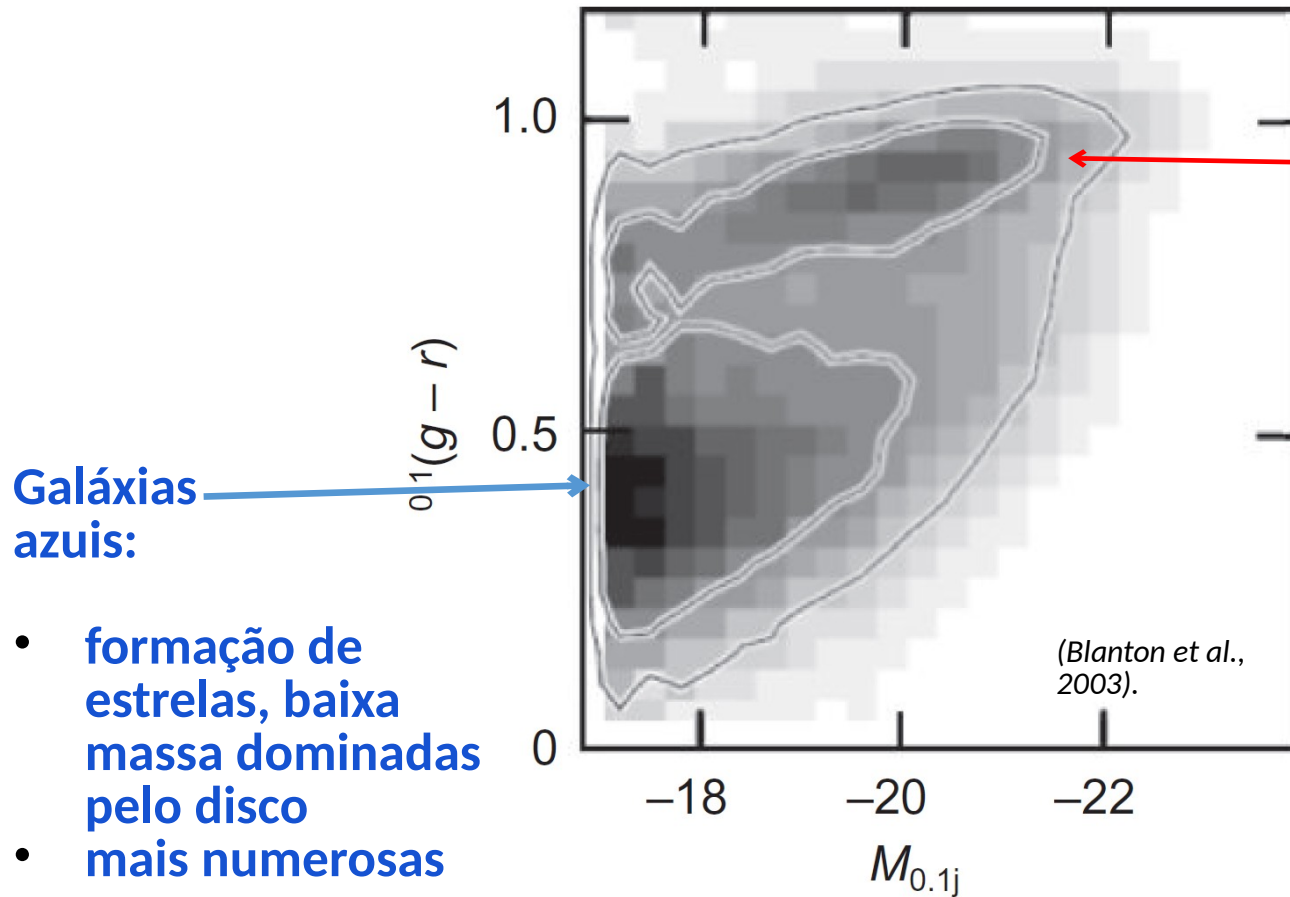
- **Elípticas:** População II (velha) predomina
- **Irregulares** possuem uma população I bem mais jovem
- **Espirais:**
  - mistura de populações => tamanho do núcleo (+ população II velha) em relação ao dos braços espirais (+ população I jovem)
  - partes mais externas do disco + azuis nas Sc => os braços **externos** parecem conter populações estelares mais **jovens** que braços **internos** (**menos gás**)

▪ **Galaxias E e Sa:** cor ~ estrelas K (+ avermelhadas e  $T_{\text{eff}} <$ )

▪ **Sb:** cor ~ estrelas F, G, K

▪ **Sc e Irr:** cor ~ estrelas A a F

# Sequências azul e vermelha

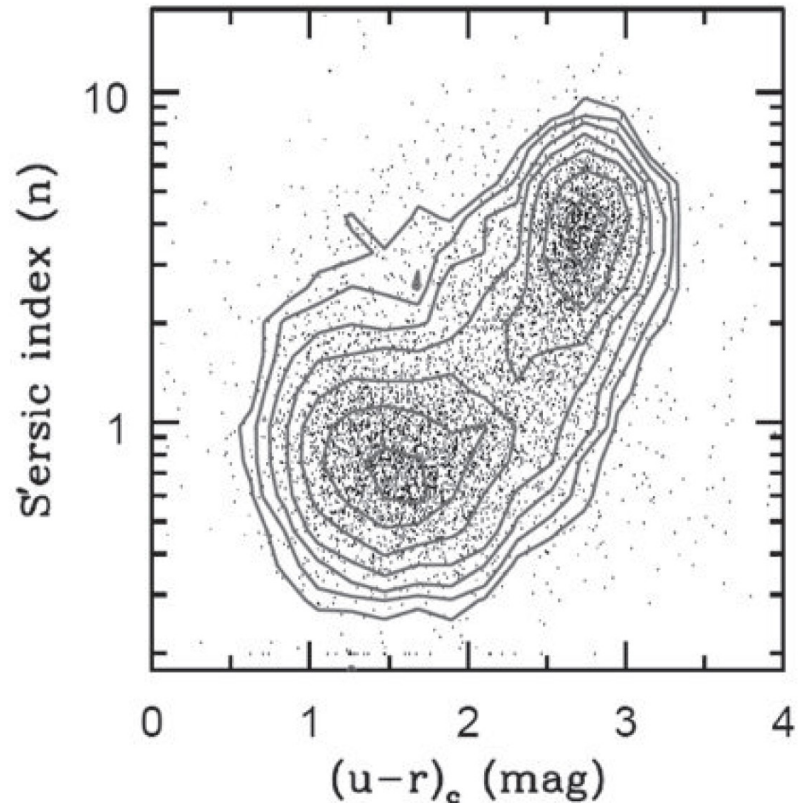


Galáxias vermelhas

- maior luminosidade
- sem formação de estrelas, alta massa, esferoidais

# Índice de Sersic e cor

$$\log_{10} \left[ \frac{I(r)}{I(r_e)} \right] = -b_n \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right]$$



Duas populações:

- **n=4** => perfil de galáxias elípticas, e bojo de espirais e lenticulares => **vermelha**
- **n=1** => perfil do disco em espirais e lenticulares => **azul**

# Principais características dos tipos de galáxias

Propriedade	Espirais	Elípticas	Irregulares
Massa ( $M_{\odot}$ )	$10^9$ a $10^{12}$	$10^5$ a $10^{13}$	$10^8$ a $10^{11}$
Diâmetro ( $10^3$ parsecs)	5 - 30	1 - 1000	1 - 10
Luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$10^8$ a $10^{11}$	$10^6$ a $10^{12}$	$10^7$ a $2 \times 10^9$
População estelar	Velha e jovem	Velha	Velha e jovem
Tipo espectral	A a K	G a K	A a F
Gás	Bastante	Muito pouco	Bastante
Poeira	Bastante	Muito pouca	Varia
Cor	Azulada no disco	Amarelada	Azulada
	Amarelada no bojo		
Estrelas mais velhas	$10^{10}$ anos	$10^{10}$ anos	$10^{10}$ anos
Estrelas mais jovens	Recentes	$10^{10}$ anos	Recentes

# Principais características dos tipos de galáxias

Tabela 1 – Propriedades das galáxias elípticas, irregulares e espirais.

Propriedade	Galáxia Elíptica	Galáxia Espiral	Galáxia Irregular I
massa ( $M_{\odot}$ )	$10^5$ a $10^{13}$	$10^9$ a $4 \times 10^{11}$	$10^8$ a $3 \times 10^{10}$
magnitude absoluta	-9 a -23	-15 a -21	-13 a -18
luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$3 \times 10^5$ a $10^{12}$	$10^8$ a $2 \times 10^{11}$	$10^7$ a $10^9$
M / L ( $M_{\odot} / L_{\odot} = 1$ )	100	2 a 20	1
diâmetro (kpc)	1 a 200	5 a 50	1 a 10
população estelar	II e I velha	I (braços), I – II (espalhada)	I, algumas II
poeira	quase nenhuma	sim	sim
$M_{\text{HI}} / M_{\text{T}}$ (%)	0	2 (Sa), 5 (Sb), 10 (Sc)	22
tipo espectral	K	K (Sa), F / K (Sb), A / F (Sc)	A / F