

# Galáxias no Universo

Profa. Thais Idiart

Departamento de Astronomia

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Universidade de São Paulo

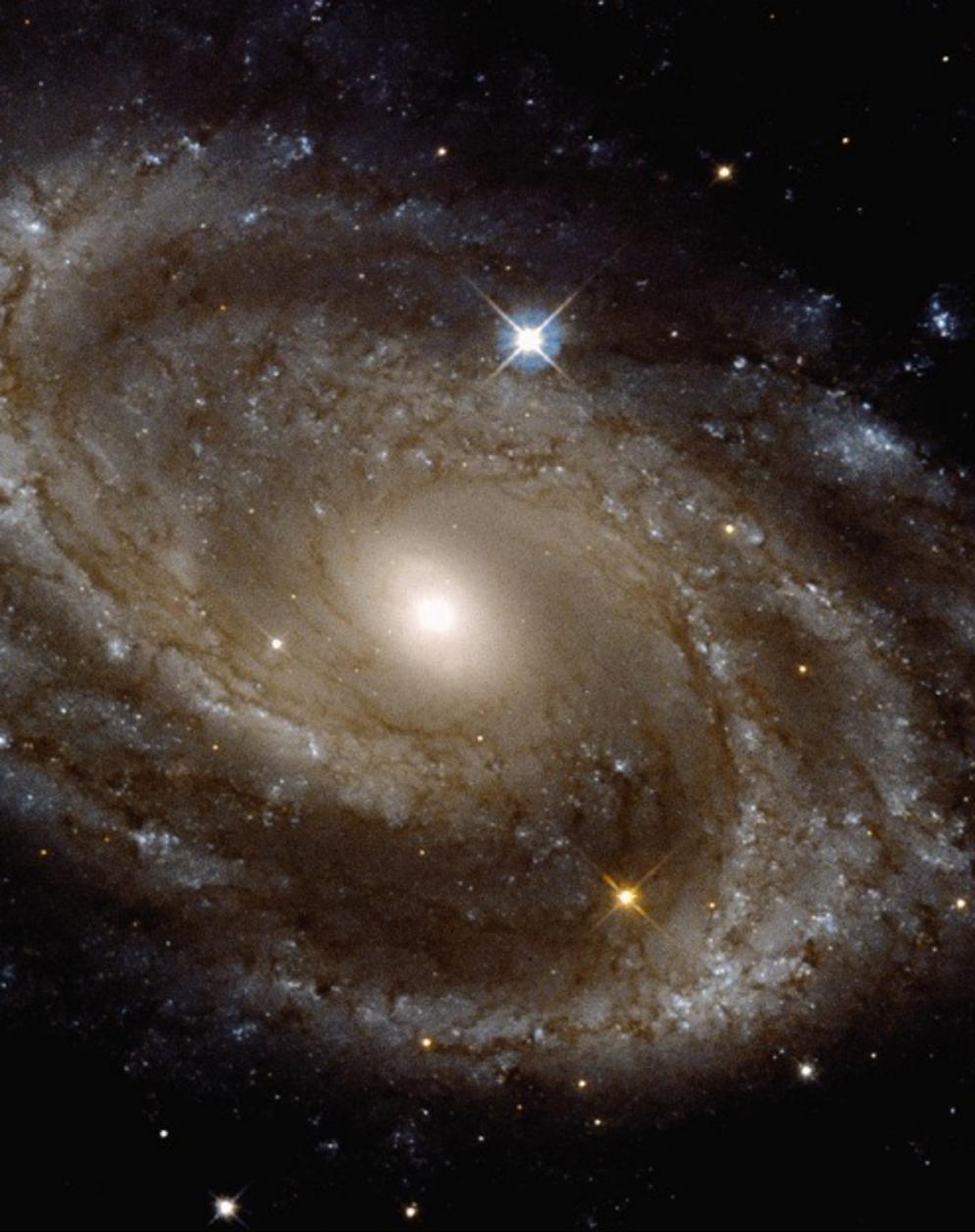


## **A espinha dorsal do céu**

**(povo Kung – Africa do Sul)**



**Um mosaico de fotos mostrando todo o disco da Via Láctea**



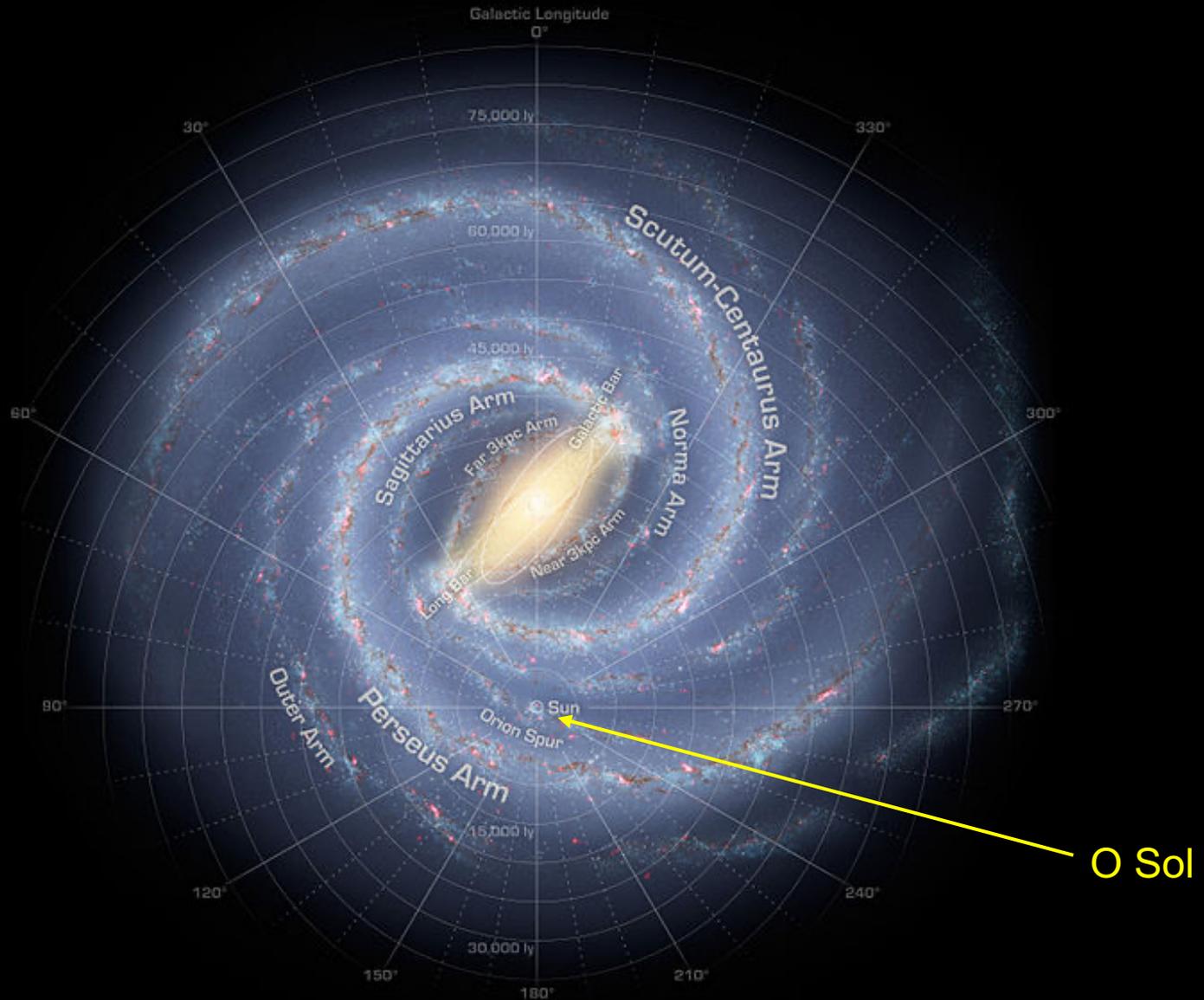
## Definição:

Uma galáxia é um conjunto de matéria estelar e interestelar - estrelas, gás, poeira, estrelas de nêutrons, buracos negros – isolado no espaço e mantido junto pela sua própria gravidade.

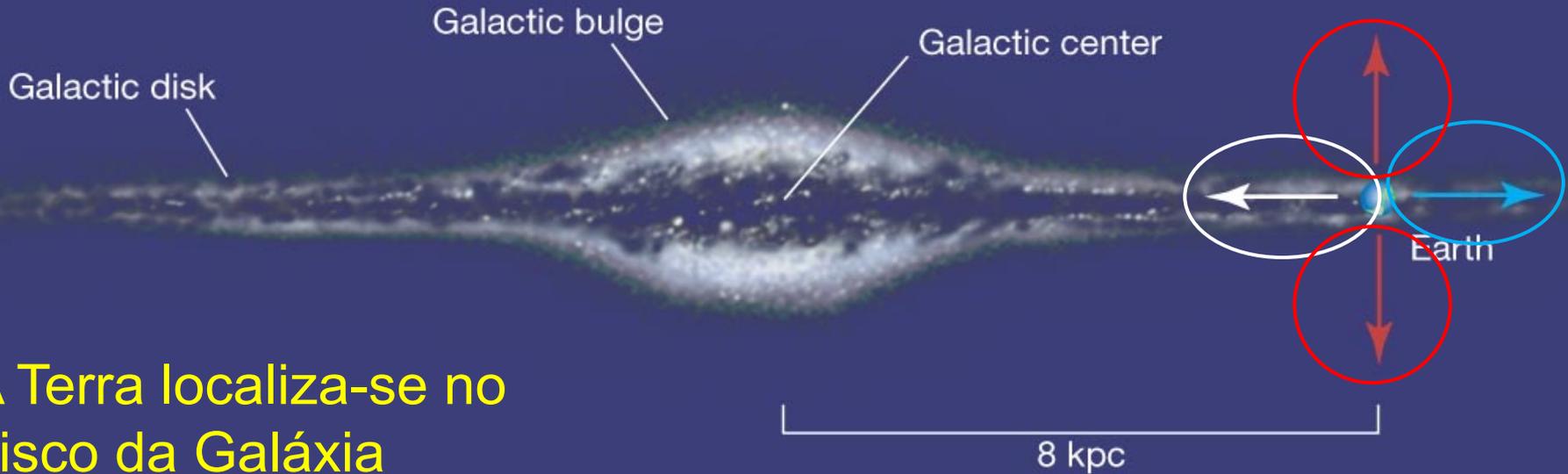
As últimas estimativas indicam que o número total de galáxias no **universo observável** é estimado em cerca de **1-2 trilhões**

A nossa galáxia é denominada **Via Láctea** ou simplesmente **Galáxia** com G maiúsculo.

Visão artística da Via Láctea como seria vista de fora, baseada nas posições medidas dos braços espirais e das nuvens de poeira e gás do disco.



# Como a Galáxia é observada a olho nu da Terra



**Seta branca → grande número de estrelas contidas numa faixa de luz (VIA LÁCTEA)**

**Seta azul → faixa de luz mais tênue (direção oposta ao centro da Galáxia)**

**Setas vermelhas → poucas estrelas são vistas**

**Relembrando:**

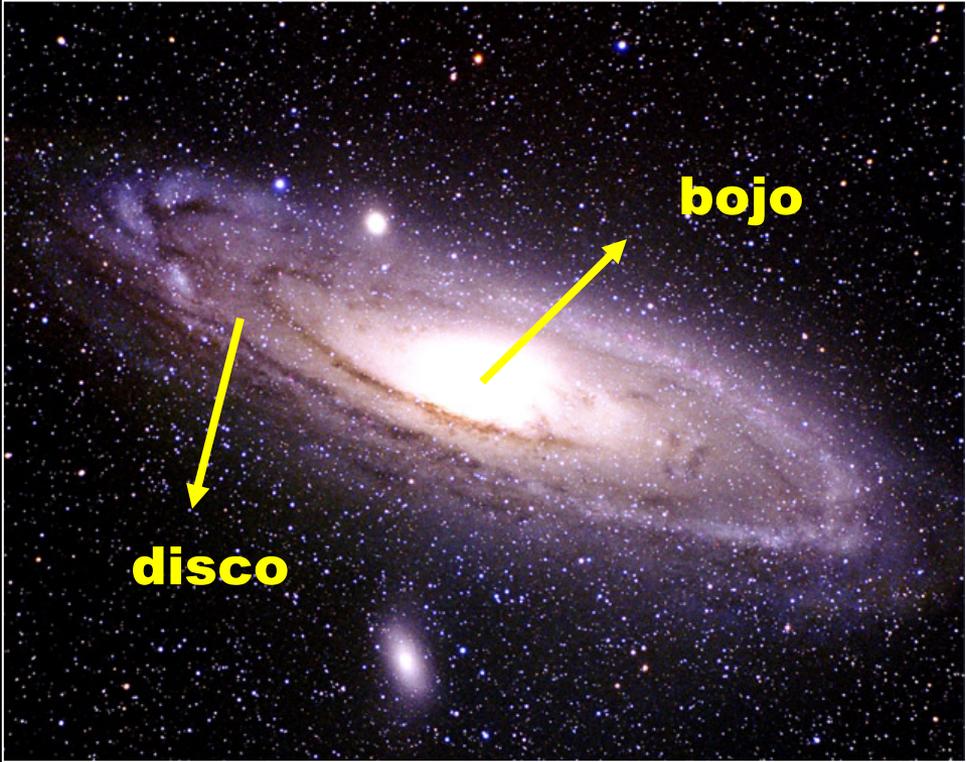
**1 ano-luz =  $9,5 \times 10^{12}$  (trilhões) de km**

**1 pc = 3,26 anos-luz**

# Decifrando a forma da Galáxia

Comparação com outras galáxias distantes

**A  
N  
D  
R  
Ô  
M  
E  
D  
A**



**NGC 2997**



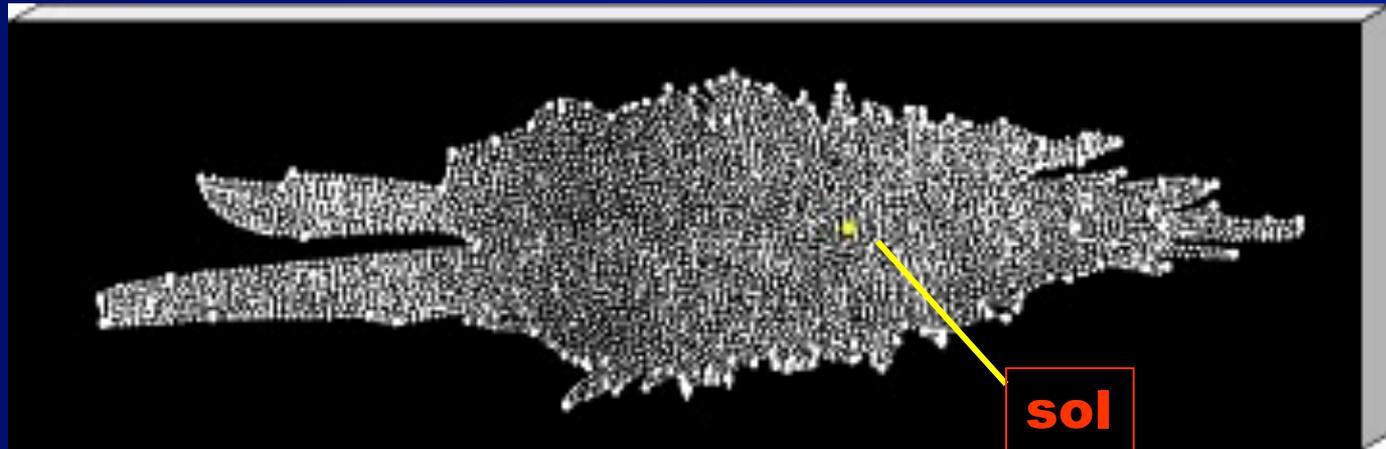
**NGC 4565**

maior galáxia mais próxima à nossa  
a 770 kpc (~2,5 milhões de anos-luz)

# Descrivendo e compreendendo a Galáxia

**William Herschel (final do século XVIII):**

- **Fez uma estimativa do tamanho e forma através da contagem de estrelas em diferentes direções no céu**
- **Assumiu que as estrelas têm brilhos aproximadamente iguais**



**Concluiu que o Sol estava perto do centro e a Galáxia tinha formato achatado**  
**Início do século XX: Galáxia com 10 kpc de diâmetro e 2 kpc de espessura**

**Hoje : Sol longe do centro e Galáxia com algumas  
dezenas de kpc de diâmetro**

# A forma e o tamanho da Galáxia

**Harlow Shapley (começo do século XX), usando estrelas variáveis para medir distâncias, fez duas importantes descobertas:**

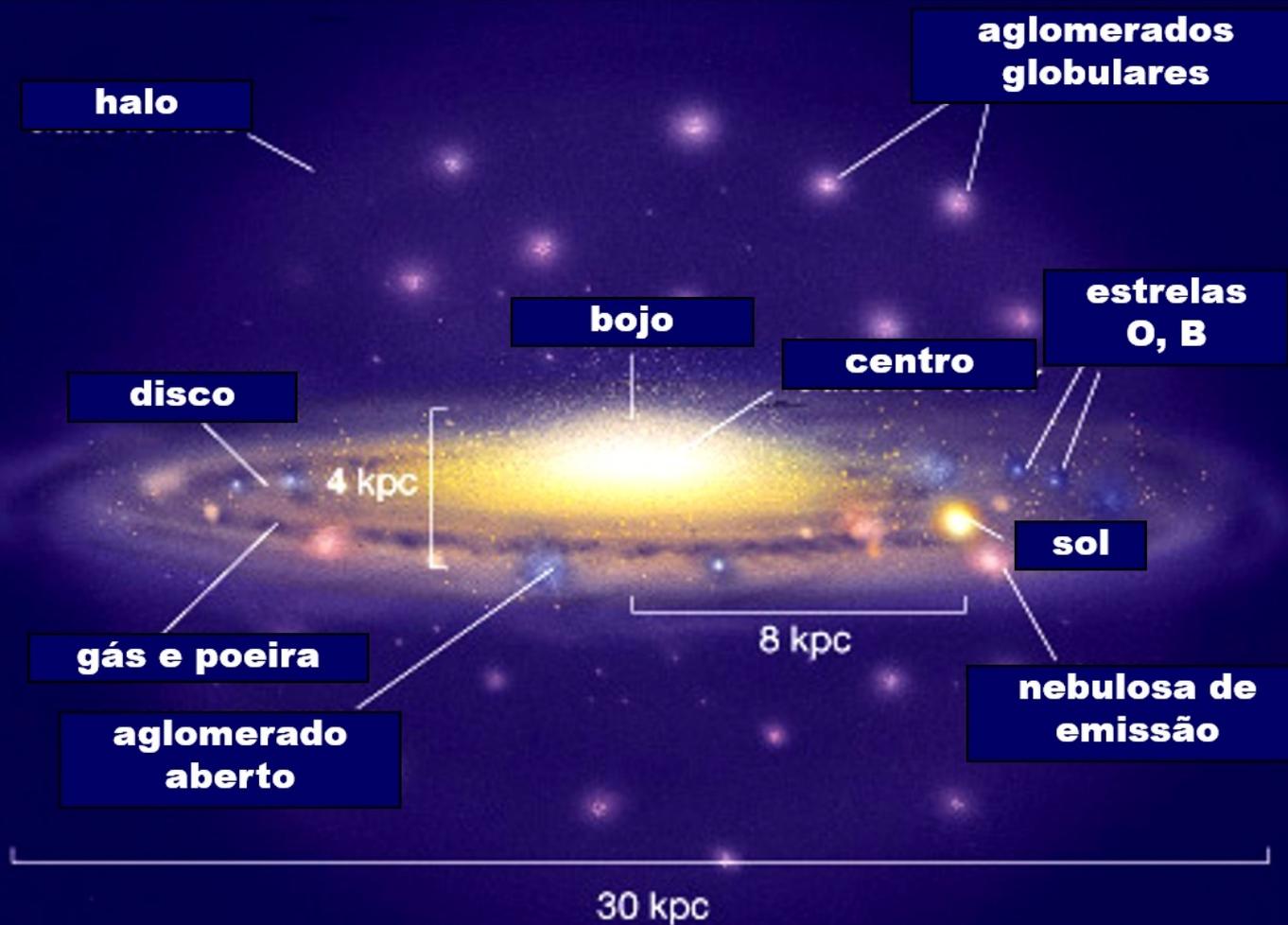
- 1. A maior parte dos aglomerados globulares está a grande distância do Sol (milhares de pc)**
- 2. Os aglomerados ocupam um volume grande e aproximadamente esférico (diâmetro de ~ 30 Kpc), sendo que o Sol NÃO ESTÁ no centro deste volume. A distribuição dos aglomerados representa máxima extensão da distribuição das estrelas na Galáxia**



**halo da Galáxia**

# ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA DA GALÁXIA

Baseado em observações no óptico, infravermelho e rádio de estrelas, gás e poeira.

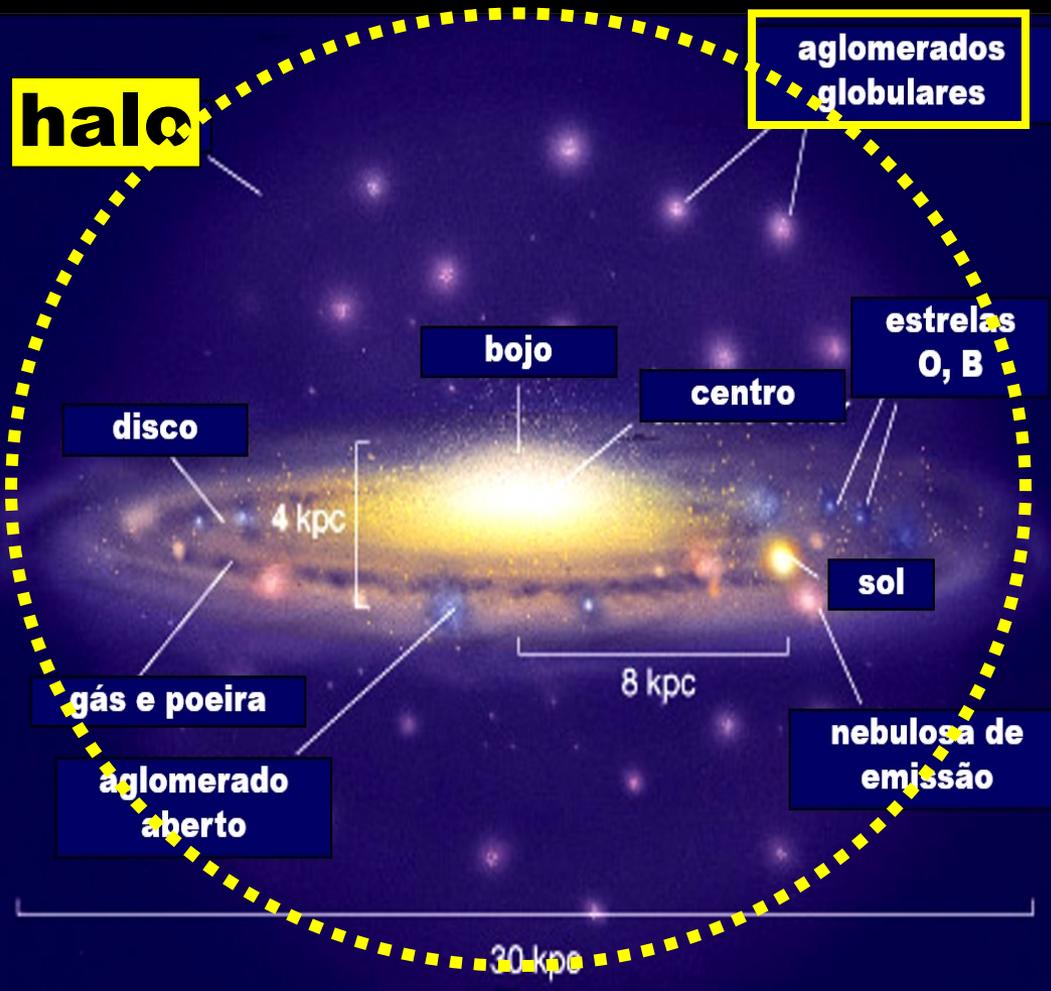


**componentes:**

- Halo
- Disco
- bojo

# HALO

## PROPRIEDADES



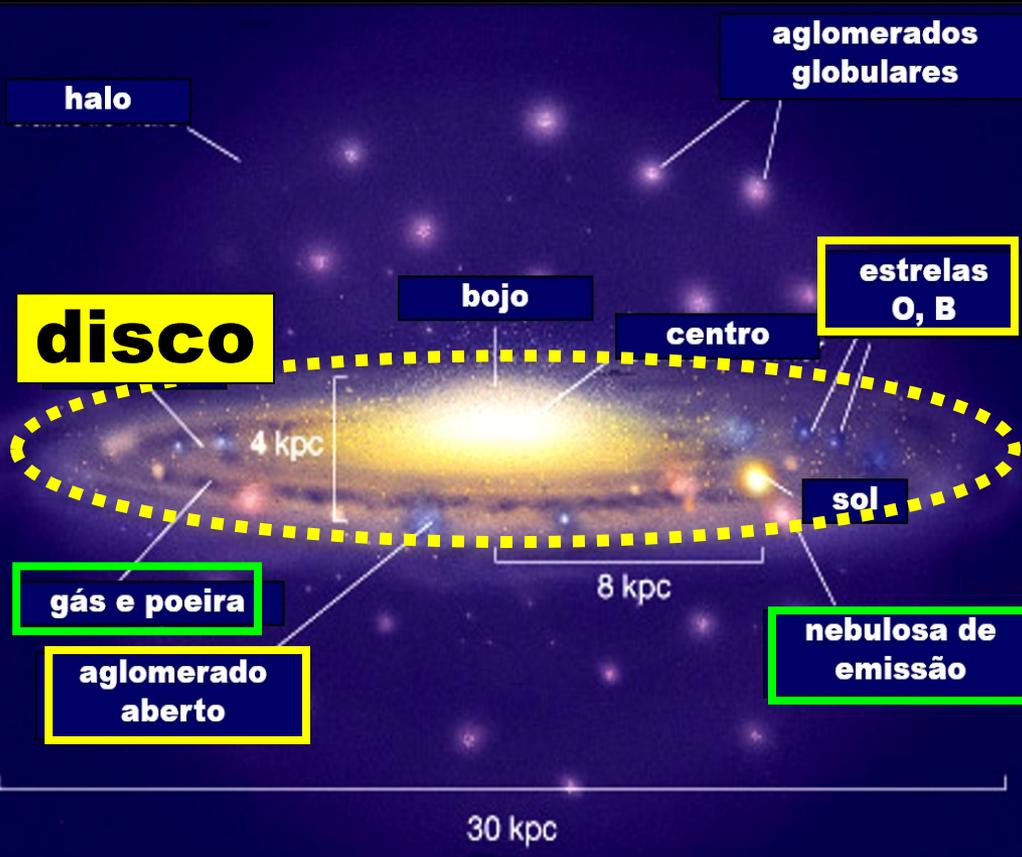
- Formado por estrelas velhas isoladas ou pertencentes a aglomerados globulares
- não contém nuvens densas de gás ou poeira (atualmente não há formação de estrelas)

**Primeira estrutura a ser formada na Galáxia.**

# DISCO

## PROPRIEDADES

- Formado por estrelas velhas (menor proporção) e jovens. As estrelas jovens podem estar isoladas ou em aglomerados abertos.



**Disco formado após o Halo**

**• Contém nuvens densas de gás e poeira**

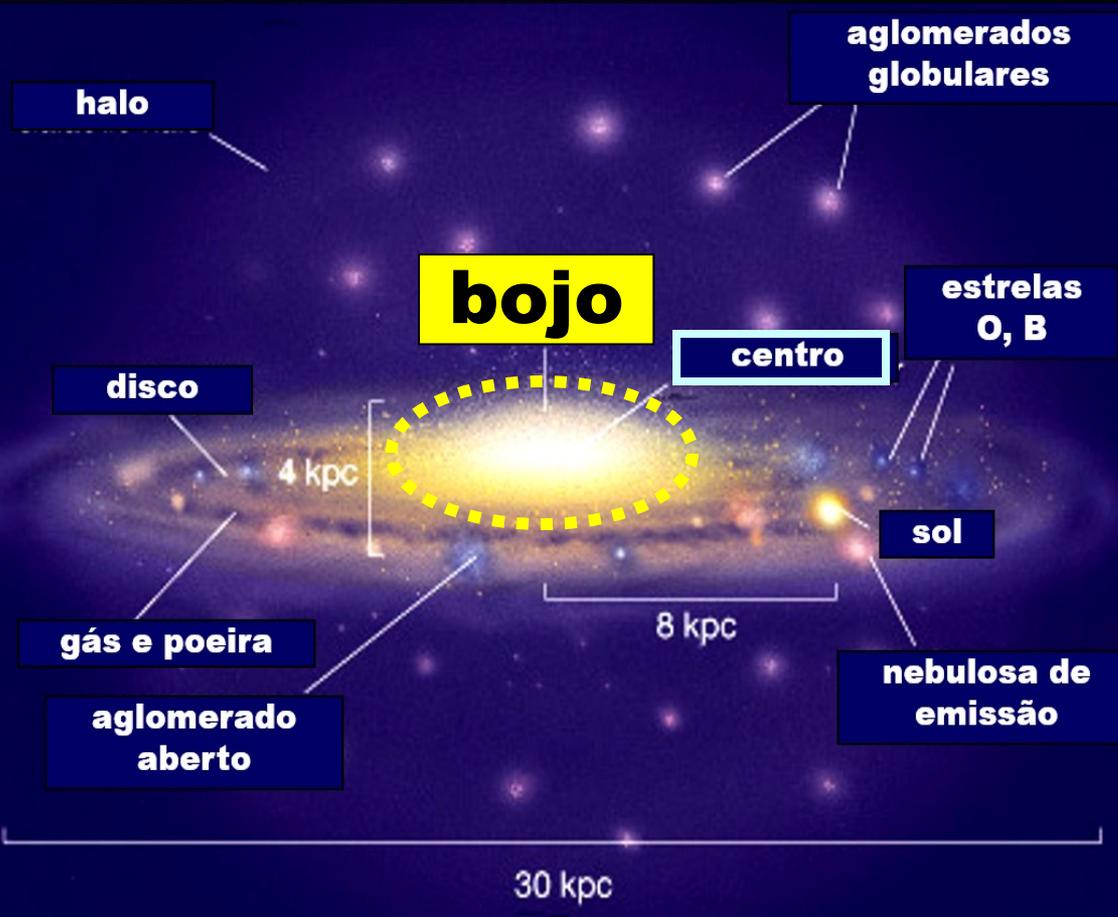


**regiões de formação estelar**

**Contém braços espirais (subestrutura)**

# BOJO

## PROPRIEDADES



- Formado por estrelas velhas e jovens (menor proporção).

- Contém nuvens densas de gás e poeira na região mais interna.

- Contém a barra

**Centro da Galáxia:**

**Buraco negro  
supermassivo central**

# A DINÂMICA DA NOSSA GALÁXIA

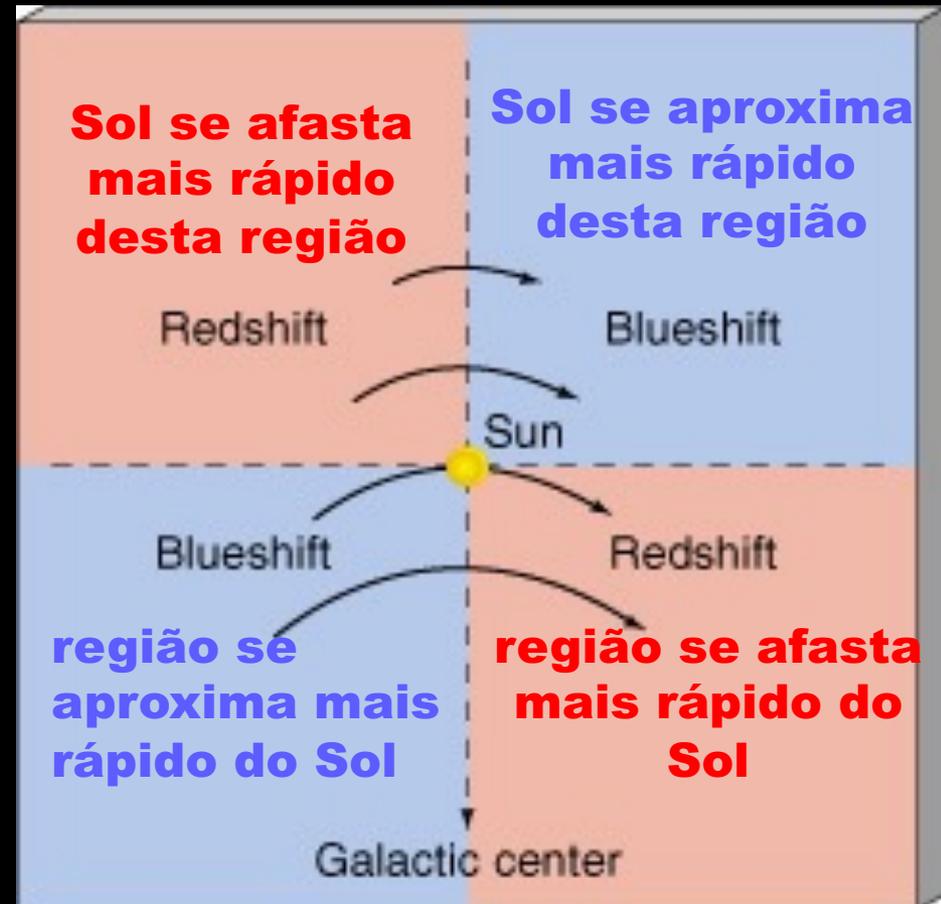
## Movimento das estrelas, gás e poeira

Estrelas e gás apresentam movimentos Doppler sistemáticos em qualquer direção

Redshift = afastamento

Blueshift = aproximação

Disco da Galáxia está se movendo de maneira ordenada, em **rotação kepleriana**



# Conclusão: o disco está rotando ao redor do centro da Galáxia

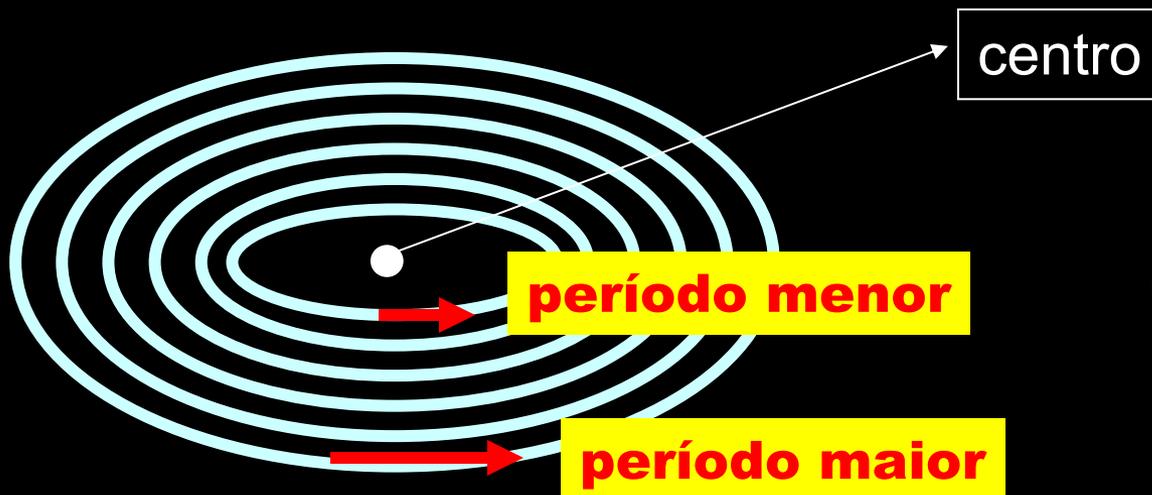
Na vizinhança do Sol a velocidade orbital é de 220 km/s e estamos a 8 kpc do centro.

Supondo uma órbita  $\approx$  circular:

$$P = \frac{2\pi r}{v}$$

O material leva  $\sim$  225 milhões de anos para dar 1 volta completa em torno do centro da Galáxia  $\Rightarrow$  1 ANO GALÁCTICO

Em outras distâncias em relação ao centro o período orbital é diferente!



Disco rota diferencialmente!  
(não rota como um corpo sólido)

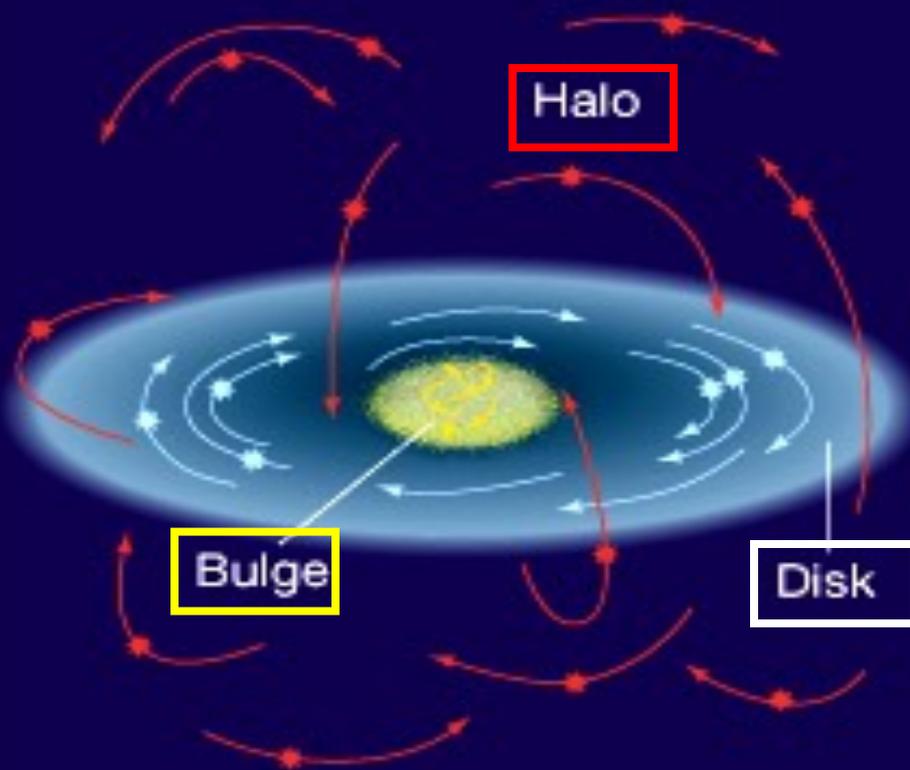
# Somente o disco possui movimento orbital ordenado

## HALO:

- componente aleatória  
>> componente ordenada
- alta excentricidade

## BOJO:

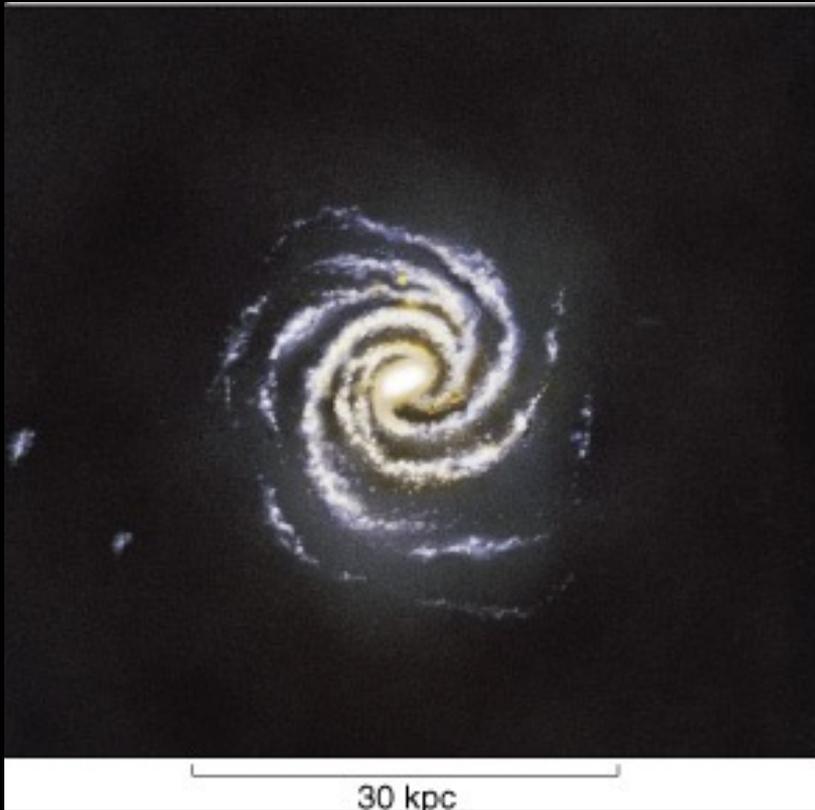
- Componente aleatória menor do que a do halo, porém bem menos ordenado que o disco



## OS BRAÇOS ESPIRAIS

A descoberta dos braços espirais da nossa Galáxia foi feita pelo mapeamento da distribuição do seu gás através da radioastronomia

### MAPAS DE RÁDIO DA NOSSA GALÁXIA



Diâmetro do disco  $\sim 30$  kpc

Espessura  $\sim 300$  pc (estrelas)  
 $\sim 140$  pc (gás)

**VIZINHANÇA SOLAR**



# FORMAÇÃO E DURAÇÃO DOS BRAÇOS DE ESPIRAIS

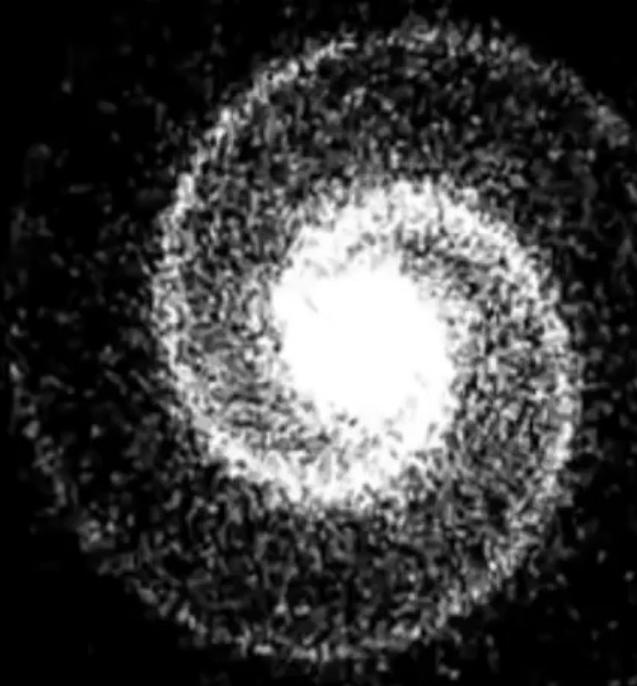
Os braços de espirais são formados por:

- gás
- poeira
- estrelas jovens O e B
- nebulosas de emissão: regiões ligadas à formação recente de estrelas
- aglomerados abertos recém formados

Conclusão: os braços de espirais são regiões estáticas e densas de gás e poeira onde ocorre a maior parte da formação de estrelas. **No entanto esta dedução tem um problema...**

**Como as estruturas espirais sobrevivem por longos períodos de tempo??**

O disco rota diferencialmente : partes internas levam menos tempo para dar uma volta ao redor do centro do que as externas  $\Rightarrow$  braços se “enrolariam” com o passar do tempo



A rotação diferencial faria com que estas estruturas desaparecessem rapidamente ao longo do tempo ( $\sim 100 \times 10^6$  anos)...  
No entanto não é o que se observa.

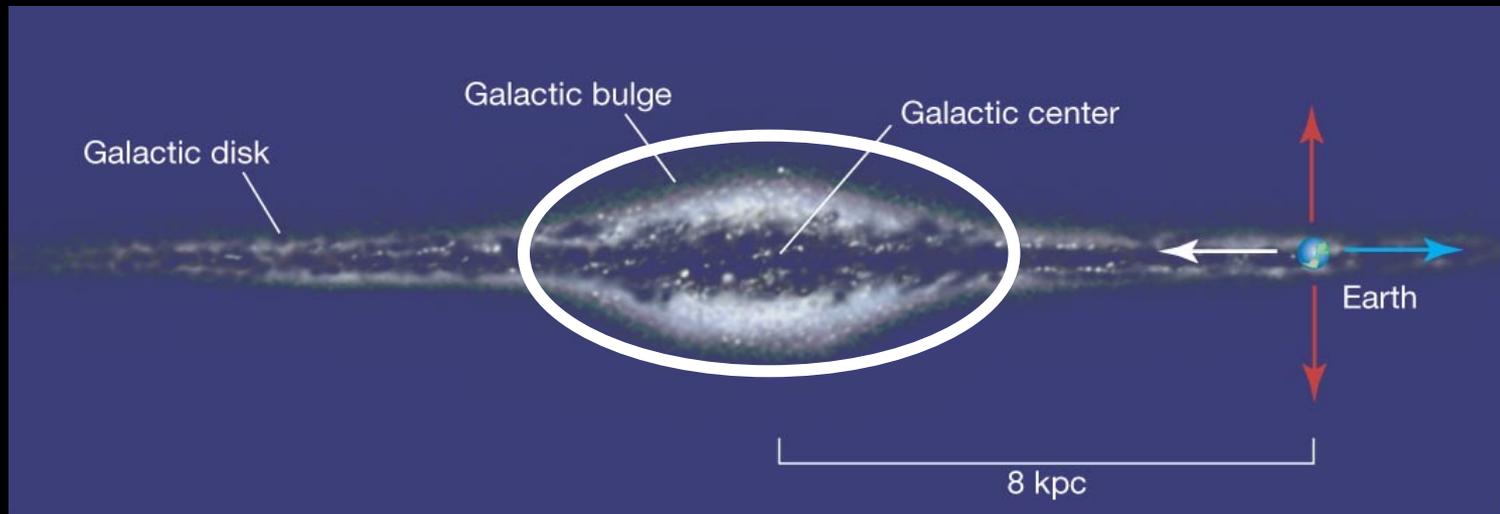
## **EXPLICAÇÃO: ONDAS ESPIRAIS DE DENSIDADE**

Os “braços espirais” na verdade são ondas de pressão que se movem através do disco, comprimindo nuvens de gás e provocando a formação de estrelas. É um efeito análogo às ondas concêntricas produzidas num lago quando se joga uma pedra. Elas não transportam matéria, apenas produzem uma oscilação no nível da água.

# O CENTRO DA NOSSA GALÁXIA

Bojos são densamente populados de estrelas : cerca de bilhões de estrelas)

O bojo da nossa Galáxia é difícil de se observar no visível : entre o nosso campo de visão e o centro da galáxia existe o meio interestelar do disco  $\Rightarrow$  obscurece a luz visível vinda das estrelas do bojo.  
Solução: observações no IR e rádio



**Com observações no infravermelho e rádio pode-se observar regiões mais profundas no bojo.**

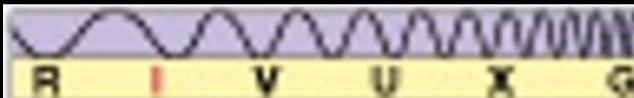
**Imagem no infravermelho da direção do centro da Galáxia (direção da const. de Sagitário)**

**QUADRADO BRANCO**

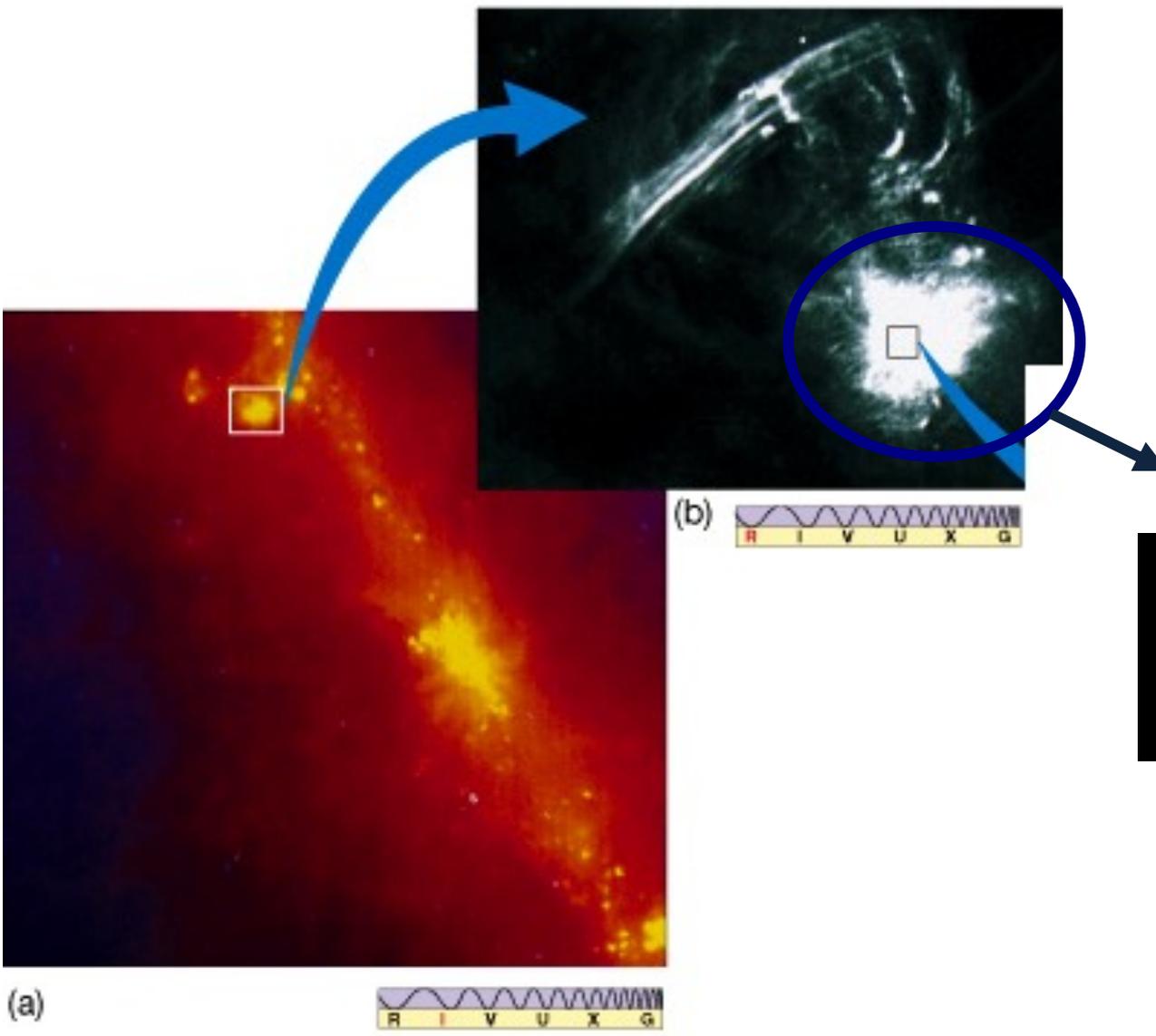
**Estas observações indicam uma densidade de  $\sim 50.000$  estrelas por parsec<sup>3</sup> na região do quadrado branco**

**milhões de vezes maior do que a densidade de estrelas na vizinhança solar.**

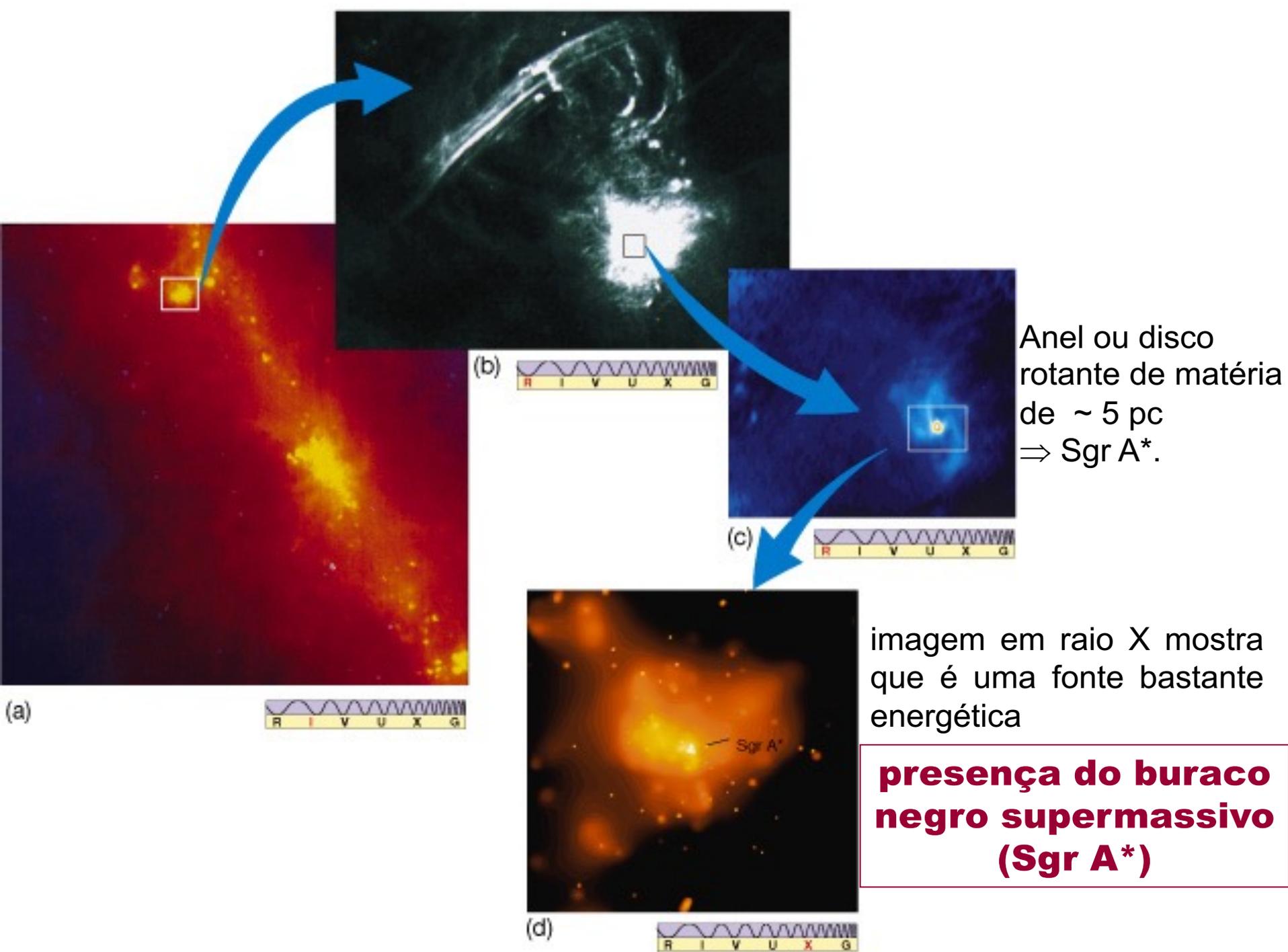
**boa probabilidade de haver “encontros de estrelas” ou mesmo colisões!**



**Imagem em rádio mostra zonas ainda mais profundas na direção central da Galáxia:** **anel de gás molecular** de  $\sim 400$  pc de diâmetro que contém cerca de  $30.000 M_{\odot}$  de material e que rota com velocidade de  $100$  km/s.



**Fonte brilhante  
=  
Sagitário A**



# Origem da atividade no centro da galáxia (fonte energética)

Medidas espectroscópicas no infravermelho indicam que o gás da região está se movendo em alta velocidade.



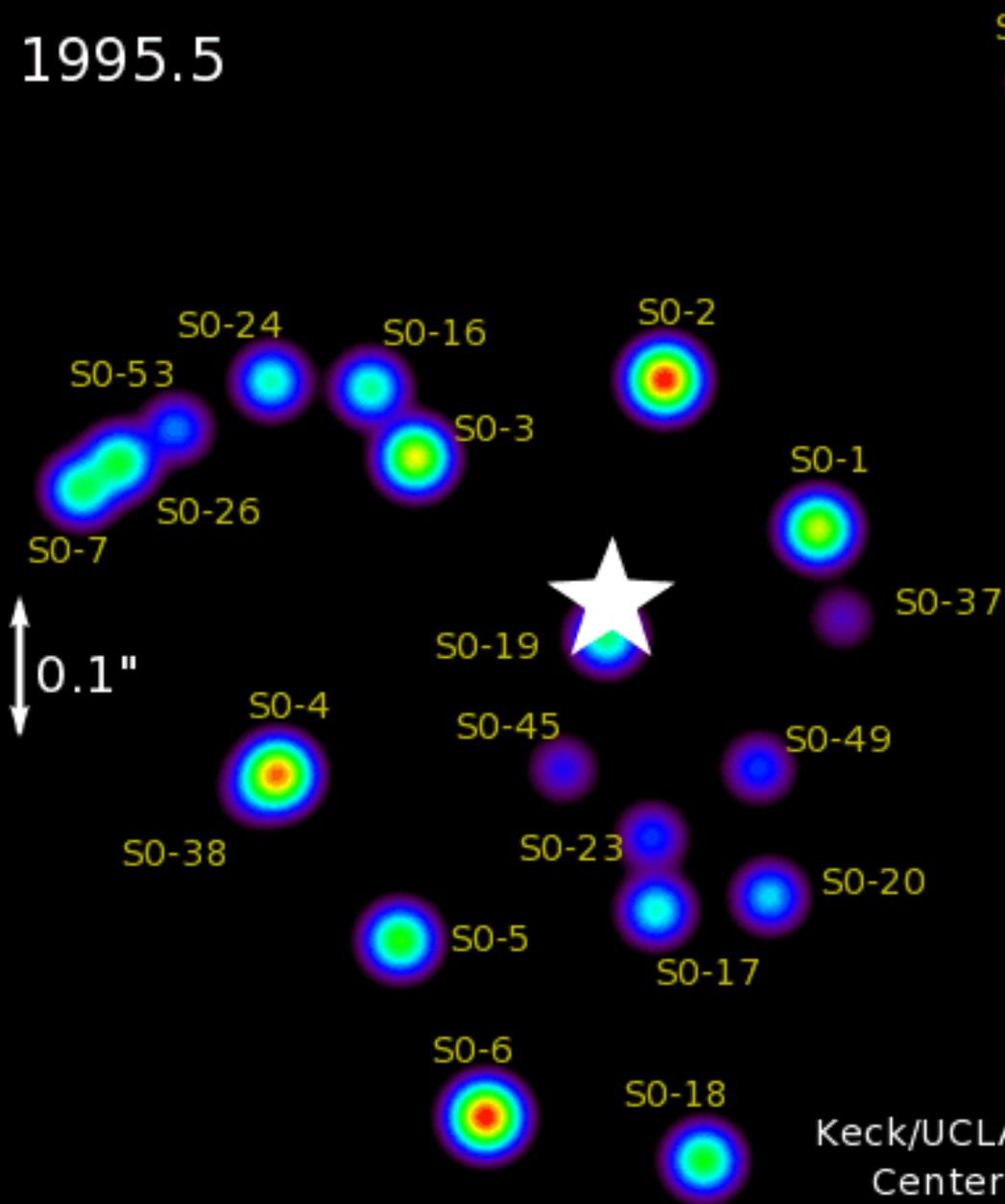
Dada a velocidade do gás, infere-se que para mantê-lo em órbita é necessário que o centro seja bastante massivo  $\Rightarrow M > 1$  milhão de  $M_{\odot}$ !!!

Estas condições de alta massa e pequeno tamanho de Sgr A\* indica a presença de um buraco negro massivo!

Atenção: a fonte de energia não é o buraco negro em si e sim o disco de matéria que está espiralando ao redor do grande potencial gravitacional do buraco negro.

# Medidas em alta resolução da órbita de estrelas próximas a Sgr A\*

1995.5



Usando a 3ª lei de Kepler  
pode-se estimar a massa do  
Buraco Negro central da  
Galáxia  $M \sim 3,3$  milhões de  $M_{\odot}$

$$M(M_{\odot}) = \frac{\text{raio orbital}^3(\text{UA})}{\text{período orbital}^2(\text{anos})}$$

Keck/UCLA Galactic  
Center Group

# OUTRAS GALÁXIAS



**Imagens de galáxias  $\neq$  estrelas**  
imagens das galáxias são mais difusas



**estrela**

**Algumas são espirais como a nossa Galáxia e Andrômeda, outras não.**

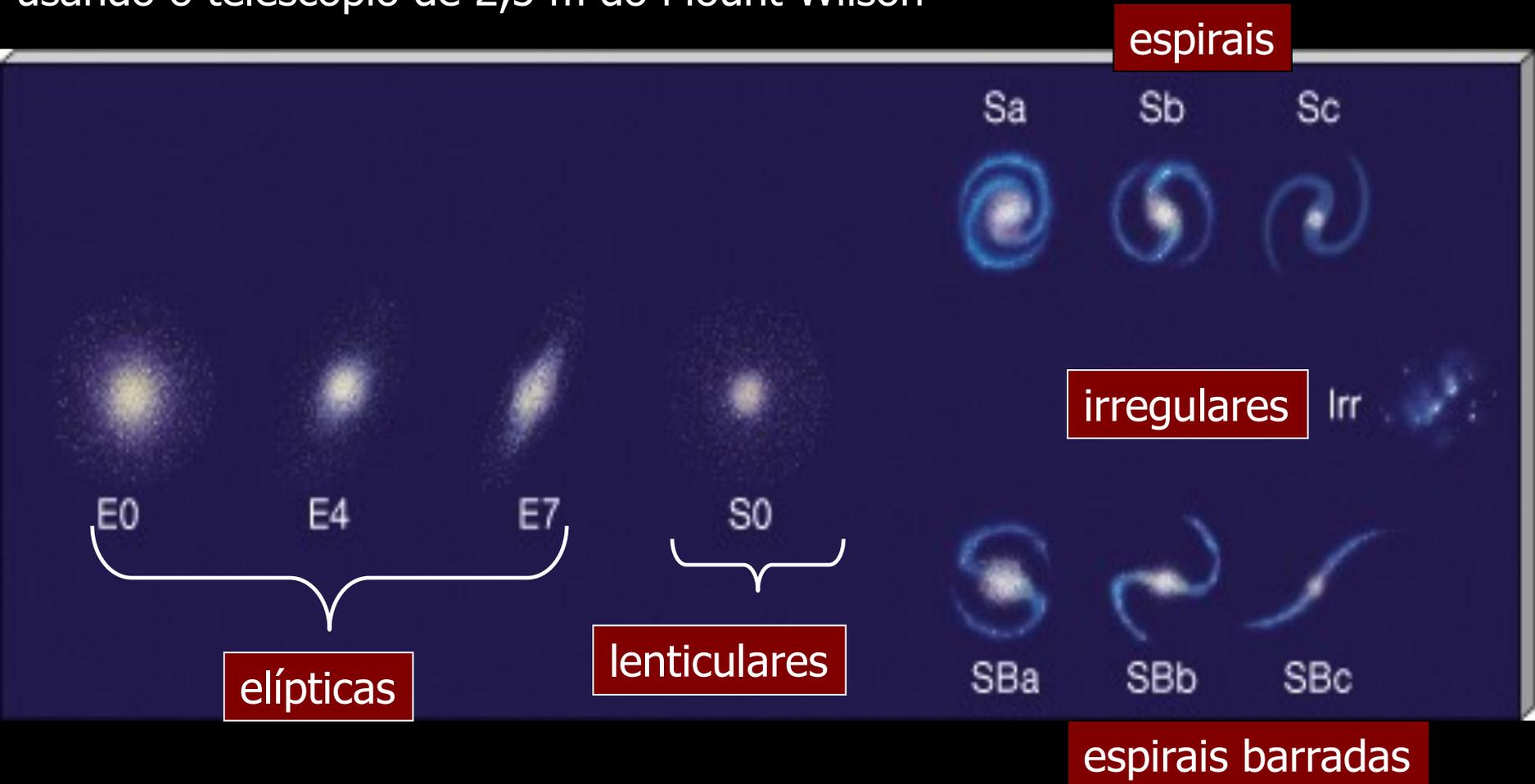


**Aglomerado de Coma ~ 3000 galáxias**  
**Está a 100 milhões de parsecs**  
**ou 326 milhões de anos-luz de distância da Terra**

# MORFOLOGIA: CLASSIFICAÇÃO DE HUBBLE

(classificação quanto à aparência)

Edwin Hubble fez esta classificação em 1924 usando o telescópio de 2,5 m do Mount Wilson



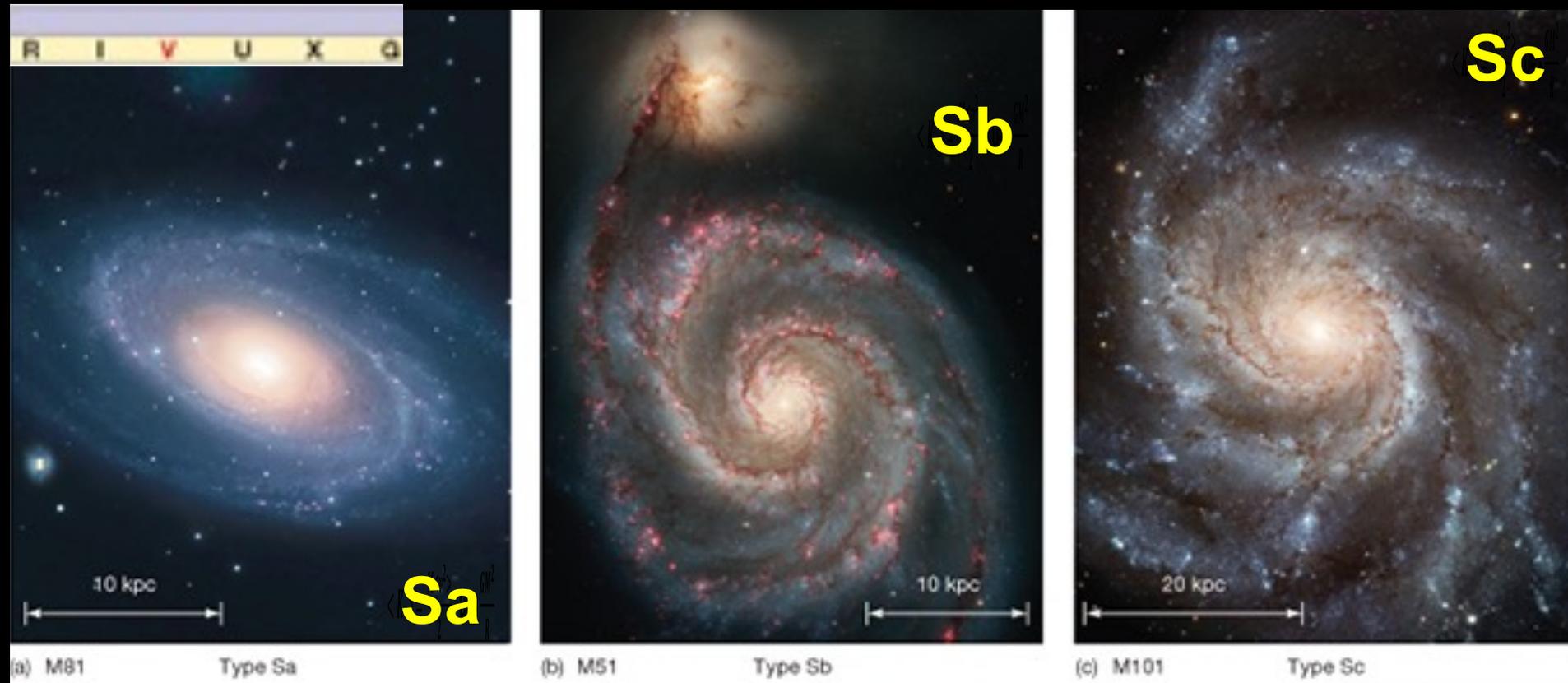


**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS  
DOS DIFERENTES TIPOS DE GALÁXIAS**

# GALÁXIAS ESPIRAIS

- disco em rotação, braços espirais e bojo
- densidade estelar maior concentrada no bojo
- halo extenso de estrelas velhas e de brilho fraco isoladas e em aglomerados globulares (envolve a galáxia)

Sa, Sb e Sc  $\Rightarrow$  classificação de acordo com tamanho do bojo





(a) M81 Type Sa



(b) M51 Type Sb



(c) M101 Type Sc

## relação bojo – braços espirais

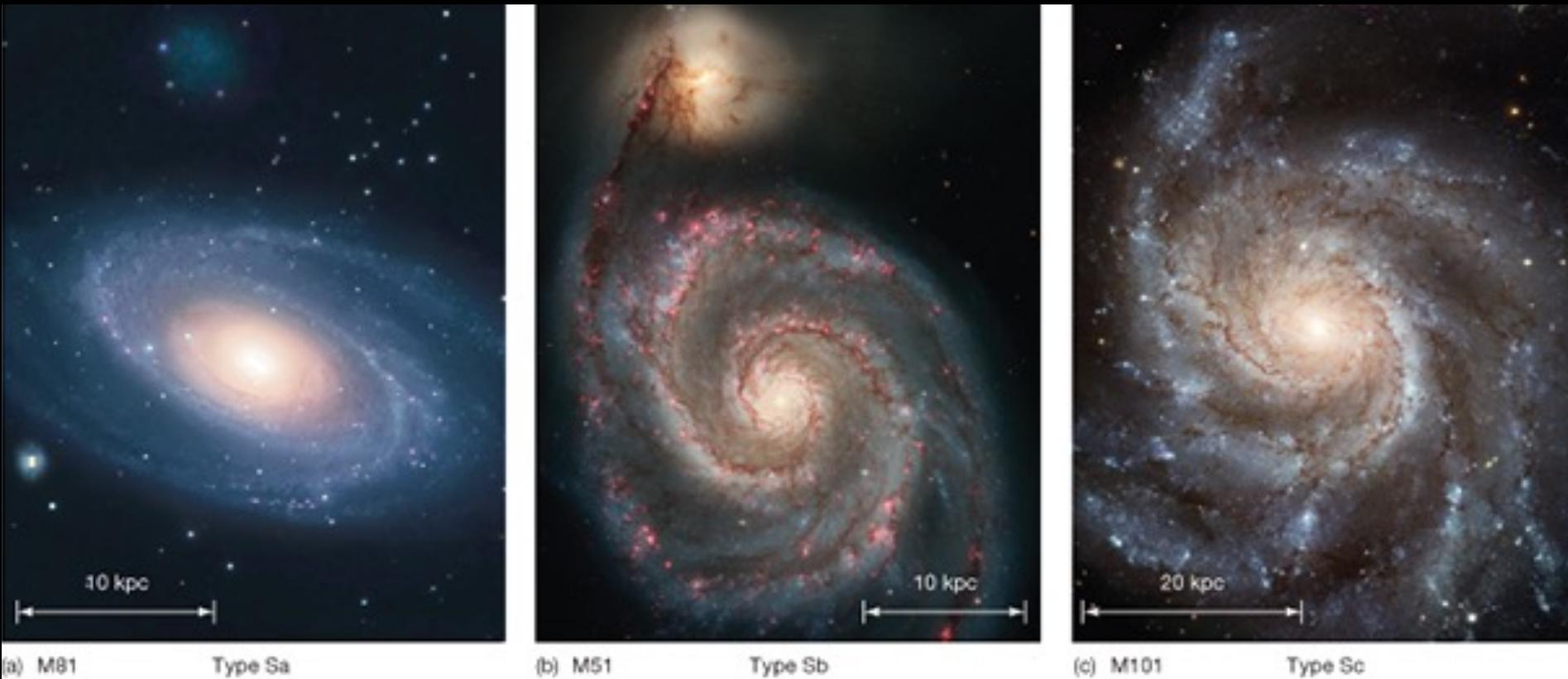
Galáxias Sa (bojos maiores)

espirais quase circulares e pouco delimitadas

Galáxias Sc (bojos menores)

espirais mais espalhadas e mais definidas.

presença maior de “nós” de matéria (estrelas + gás).



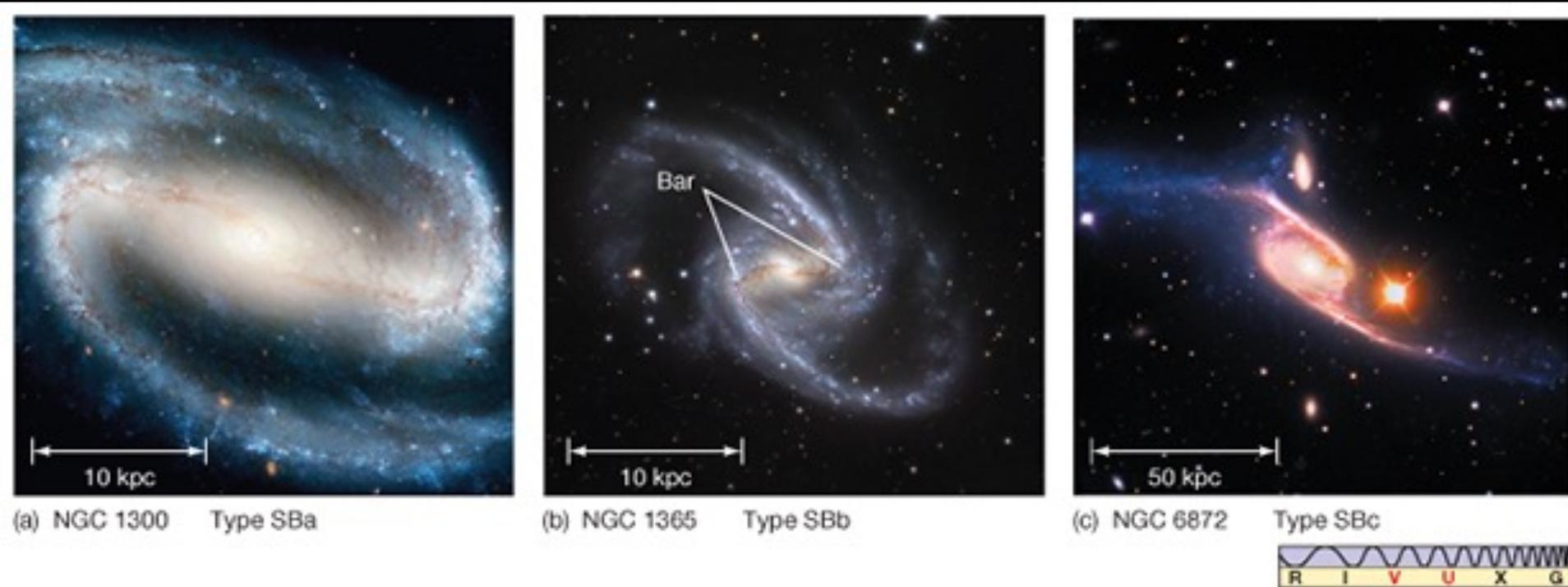
- a maior parte da luz vinda das espirais  $\Rightarrow$  estrelas A - G do disco
- braços espirais  $\Rightarrow$  estrelas O e B (coloração azulada)
- discos ricos em gás e poeira
- braços espirais contém sítios de formação estelar recente e nuvens de gás e poeira mais densos

**Tipo Sc contém mais gás e poeira, Sa contém menos**

# ESPIRAIS BARRADAS

galáxias espirais com a presença de uma barra alongada de gás e estrelas no bojo alongada de gás e estrelas no bojo

SBa, SBb e SBc  $\Rightarrow$  classificação de acordo com tamanho do bojo



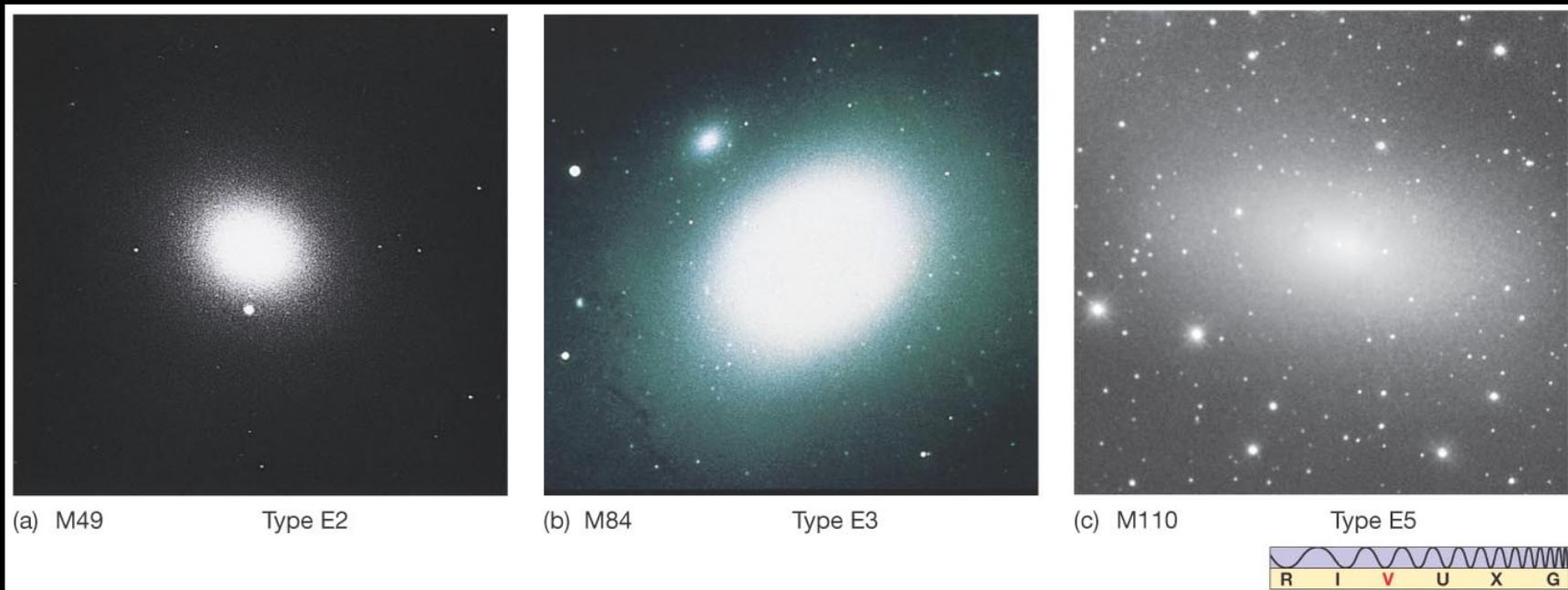
**Braços espirais projetam-se a partir da barra**

**Espirais normais e barradas têm as mesmas propriedades físicas e de composição química do gás e estrelas ⇒ difícil distinção entre os tipos quando observadas a grandes distâncias.**

**Nossa Galáxia é barrada (SBb ou SBc)...**

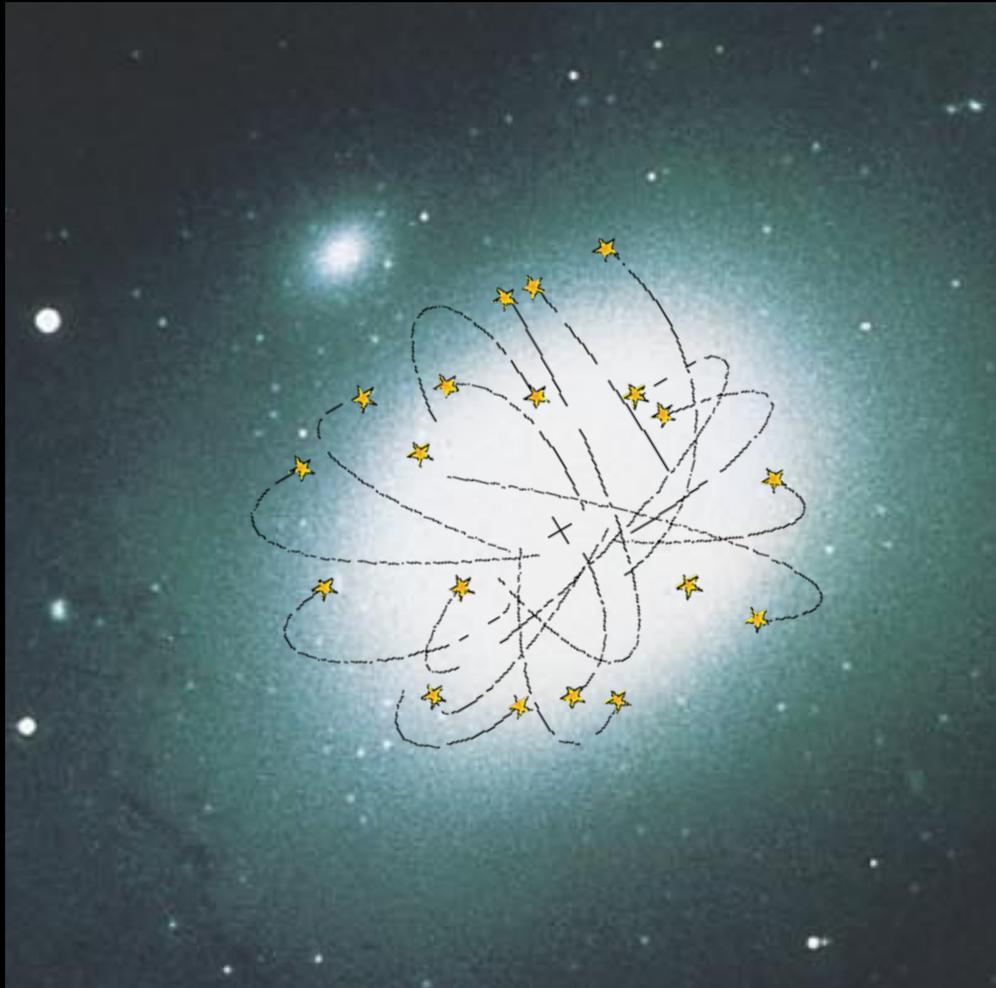
# GALÁXIAS ELÍPTICAS

- sem estrutura espiral e sem disco
- E0...E7  $\Rightarrow$  classificação quanto à elipticidade



- contêm estrelas velhas
- praticamente sem formação estelar recente
- quantidade insignificante de gás (frio) interestelar

# GALÁXIAS ELÍPTICAS



**densidade de estrelas cresce da borda para o centro.**

Estrelas movem-se em órbitas aleatórias, não têm movimento ordenado como ocorre nos discos das espirais

# TAMANHOS



a) M49

Type E2



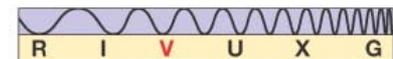
(b) M84

Type E3



(c) M110

Type E5



- **elípticas gigantes:** diâmetro de n Mpc com 1 trilhão de estrelas
- **elípticas anãs:** diâmetro de  $\sim 1$  kpc com poucos milhões de estrelas

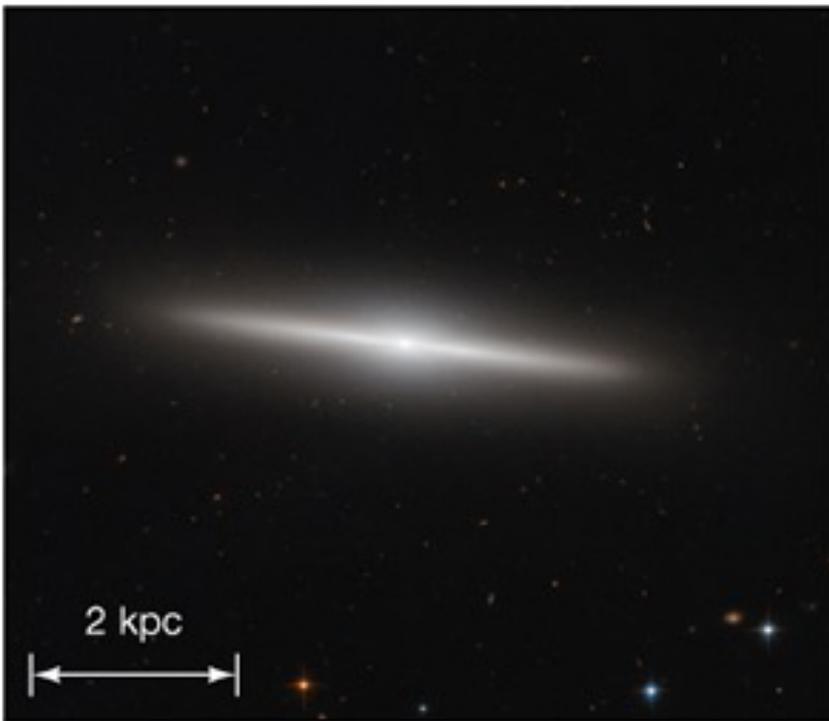
**mais comuns  
no universo**

**Comparação:  
Nossa Galáxia: diâmetro  $\sim 30$  kpc**

# LENTICULARES

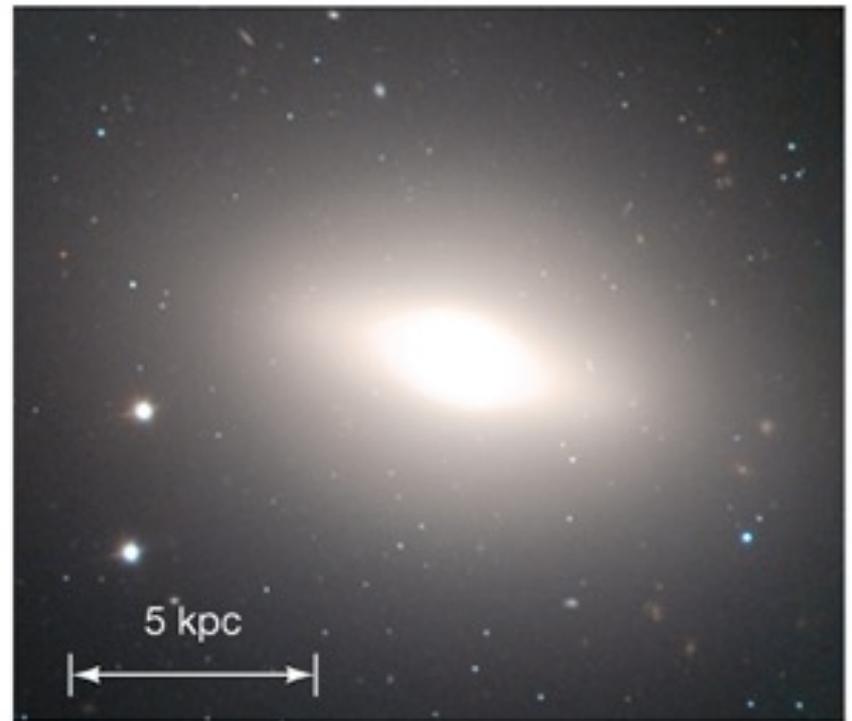
- Evidência de disco e bojo, pouco gás e sem estrutura espiral

constituído por estrelas velhas



(a) IC 335

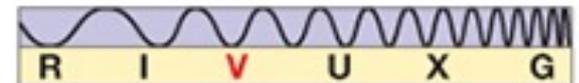
Type S0



(b) NGC 4435

Type SB0

- S0 = sem barra** **SB0 = com barra**



# IRREGULARES

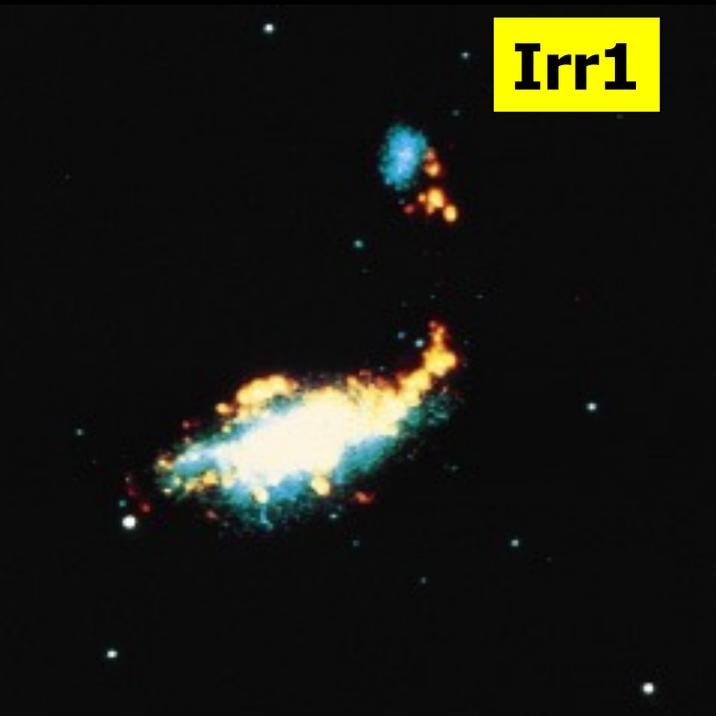
gás interestelar, estrelas jovens sem estrutura definida



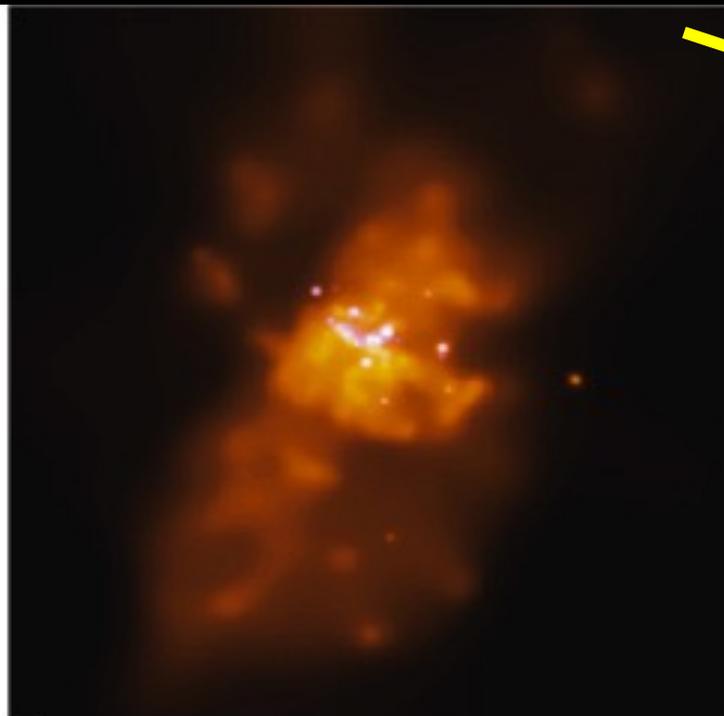
**intensa formação estelar**

Contêm  $10^8 - 10^{10}$   
estrelas

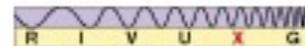
frequentemente encontram-se junto a galáxias maiores



(a) NGC 4485/4490



(b) M82



## RESUMO DAS PROPRIEDADES OBSERVADAS DAS GALÁXIAS

<b>DISCO</b>	<b>HALO</b>	<b>BOJO</b>
<b>Bastante achatado</b>	<b>~ esférico</b>	<b>Um pouco achatado e alongado no plano do disco</b>
<b>Estrelas velhas e jovens</b>	<b>Somente estrelas velhas</b>	<b>Estrelas velhas e jovens (jovens na região + interna)</b>
<b>Gás e poeira</b>	<b>Não contém gás ou poeira</b>	<b>Gás e poeira nas regiões mais internas</b>
<b>Sítio de formação estelar atual</b>	<b>Não forma estrelas atualmente</b>	<b>Formação estelar nas regiões mais internas</b>
<b>Gás e estrelas movem-se em órbitas ~ elípticas ao longo do plano galáctico</b>	<b>Estrelas possuem órbitas randômicas em 3 dimensões</b>	<b>Estrelas possuem órbitas randômicas mas com alguma rotação em relação ao centro da Galáxia</b>
<b>Braços de espirais</b>	<b>Não contém subestrutura evidente</b>	<b>Anel de gás e poeira perto do centro; barra e B.N. central</b>
<b>Coloração branca com braços de espirais azuis</b>	<b>Coloração avermelhada</b>	<b>Coloração amarela e branca</b>

**GALÁXIAS NORMAIS:**  $10^6 L_{\odot}$  (elípticas anãs e irregulares)  
 $10^{12} L_{\odot}$  (elípticas gigantes)  
nossa Galáxia:  $2 \times 10^{10} L_{\odot}$

**Mas...**

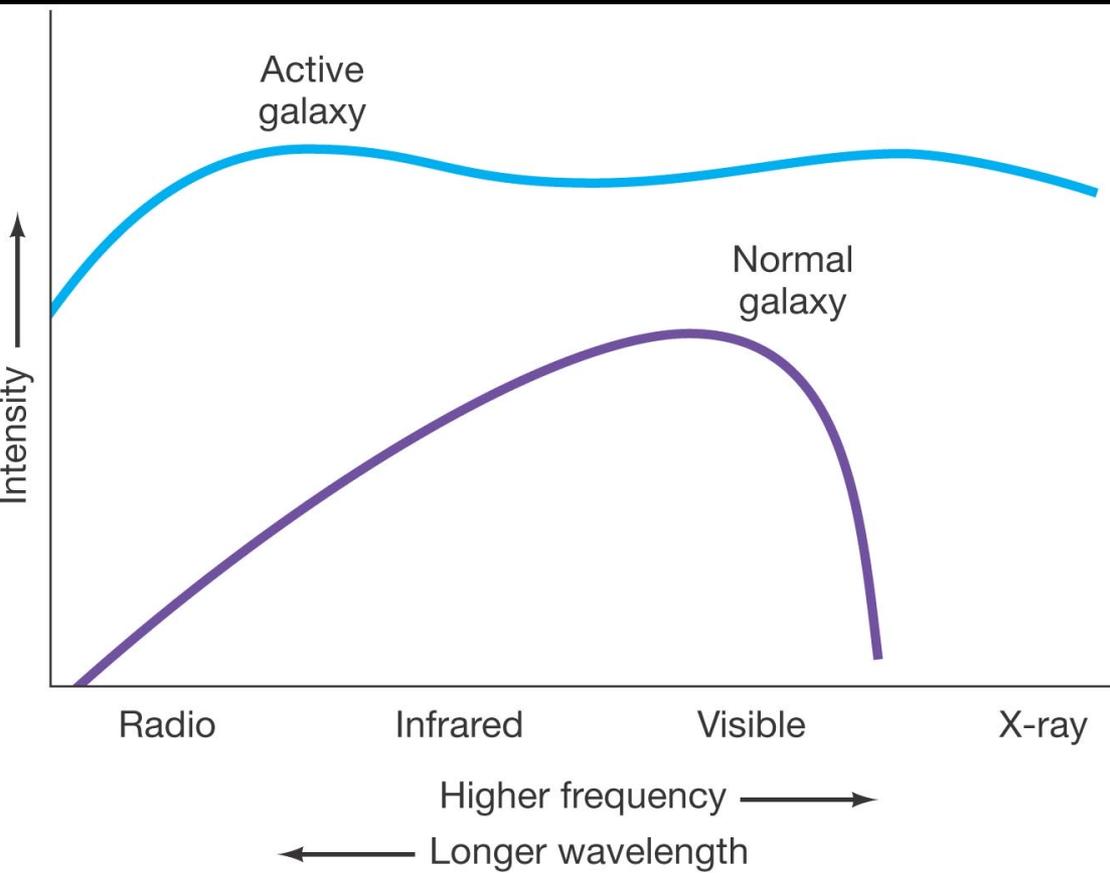
**~ 40% das galáxias consideradas luminosas ( $> 10^{10} L_{\odot}$ )  
NÃO SÃO “NORMAIS” EM BRILHO!!!**

São chamadas galáxias ativas ou de núcleo ativo.

Diferem das galáxias normais

- 1) Grande luminosidade
- 2) tipo de radiação emitida.

# GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO



**Galáxias ativas: pico de radiação em  $\lambda$  bem maiores ou menores**

**Galáxias normais: ~ pico de radiação no visível**

**A radiação vinda destas galáxias é chamada de **RADIAÇÃO NÃO-ESTELAR****

**Radiação não é consistente com o esperado se considerarmos que a maior parte da luminosidade vem do conjunto de estrelas que formam uma dada galáxia.**

**GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO = atividade energética ocorre ao redor do núcleo da galáxia.**

**GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO são classificadas em 3 tipos:**

- 1) Seyfert**
- 2) Radio-Galáxias**
- 3) Quasares**

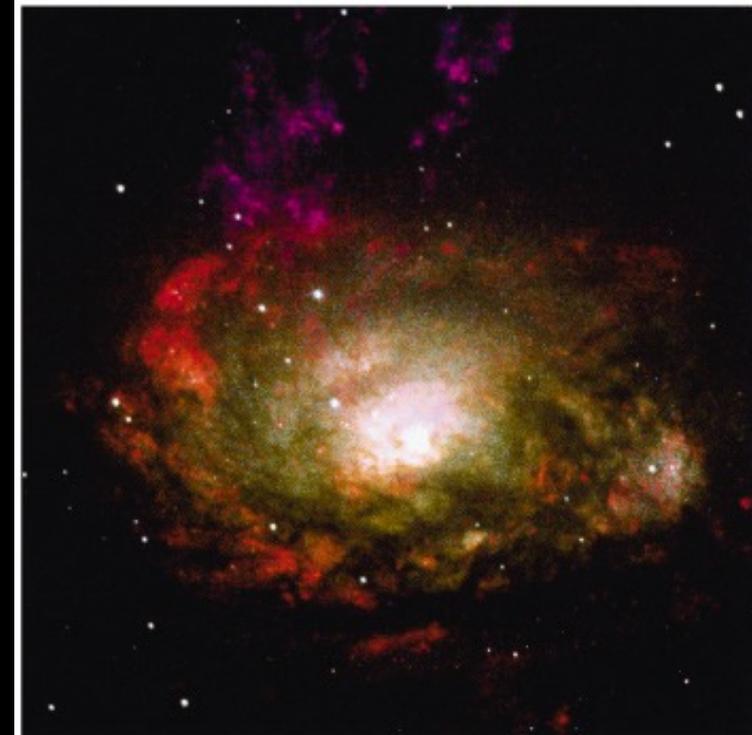
# Galáxias SEYFERT

Galáxias espirais com núcleos extremamente brilhantes

núcleo ~ 10,000 vezes mais brilhante do que o núcleo da nossa Galáxia (10 vezes mais do que a Via Láctea inteira)



(a)



(b)

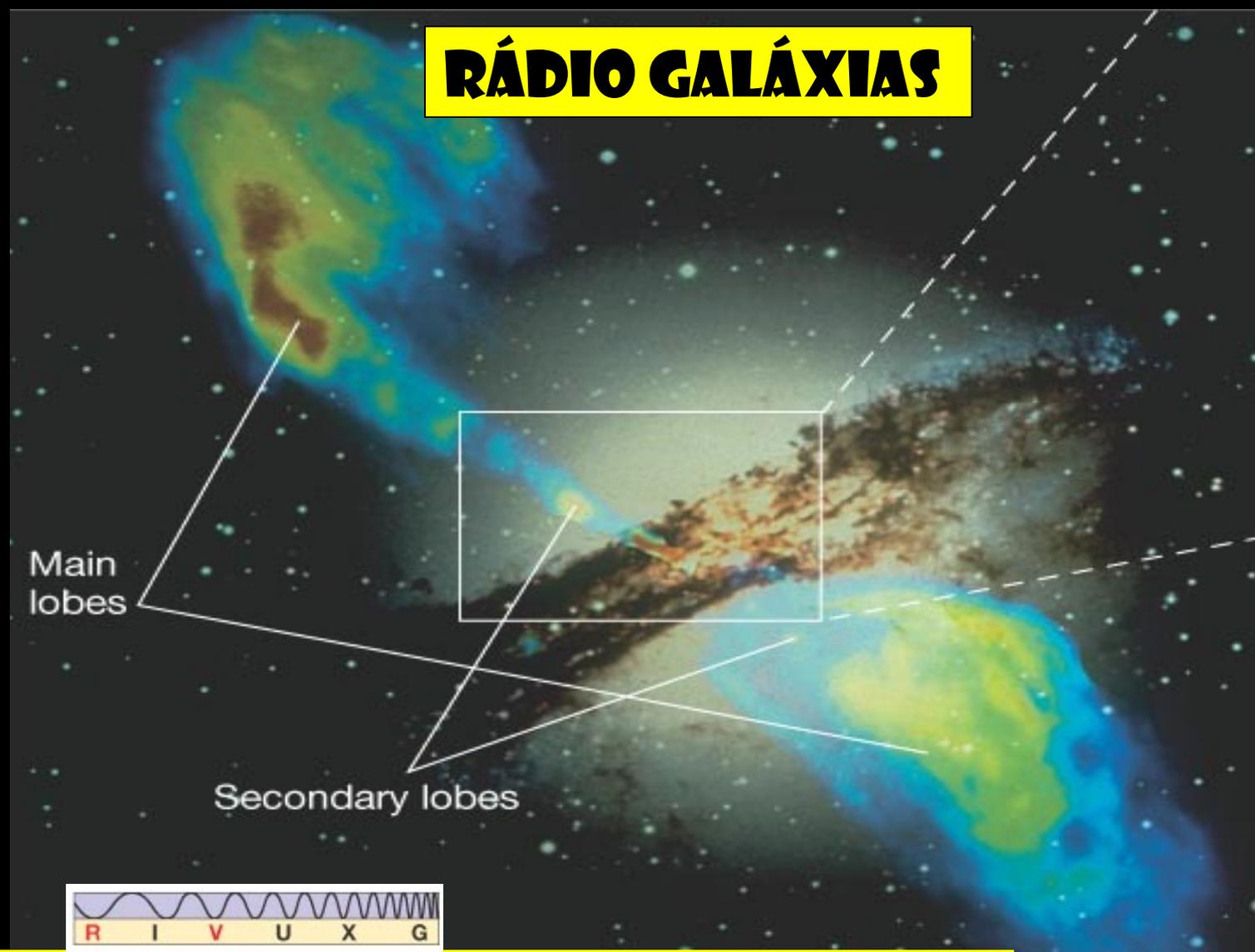
# RÁDIO GALÁXIAS

Diferem das Seyfert por emitirem fortemente radiação na faixa de rádio e na aparência e extensão da região emissora.

Centaurus A

Visível: galáxia E2 ou lenticular (500 kpc de diâmetro)  
cortada por uma banda de poeira irregular

# RÁDIO GALÁXIAS



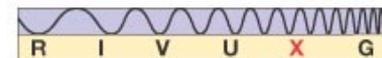
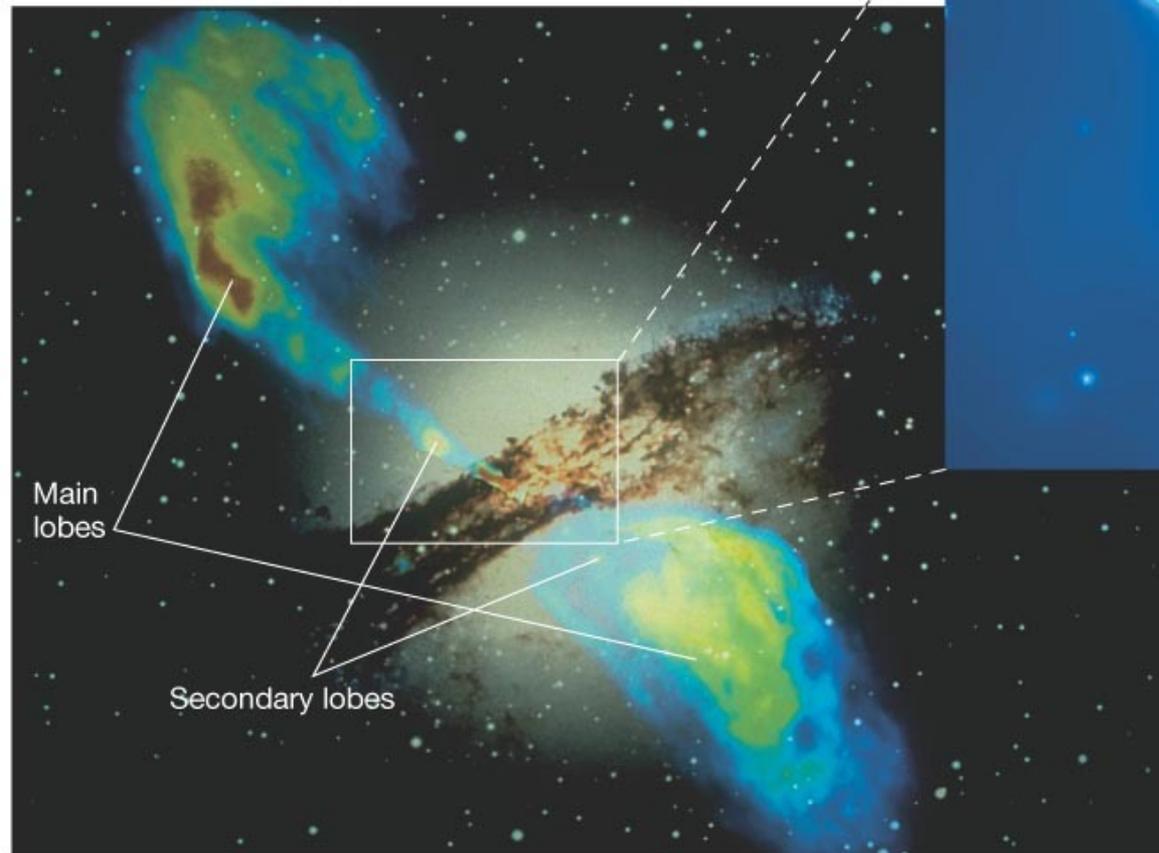
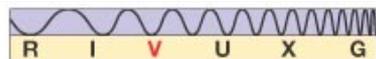
Possuem lóbulos de matéria (nuvens de gás arredondadas por atrito com o MI) invisíveis aos telescópios ópticos.

Tais lóbulos são perpendiculares ao plano da galáxia.

A energia em rádio é emitida através dos lóbulos!

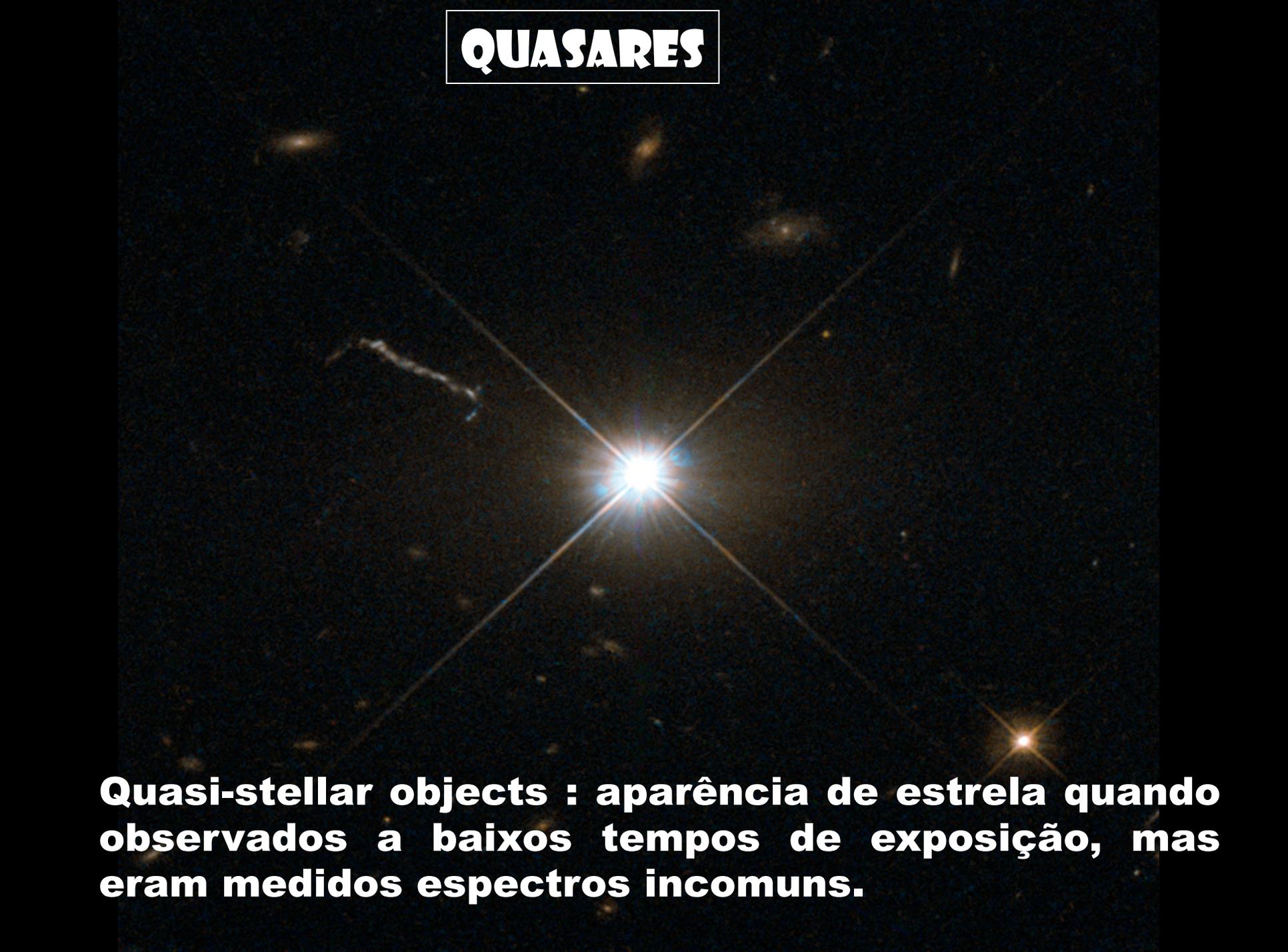
# RÁDIO GALÁXIAS

(a)



**Imagem em raios X indica que as partes mais internas, próximas ao centro de origem dos jatos, emitem em alta energia**

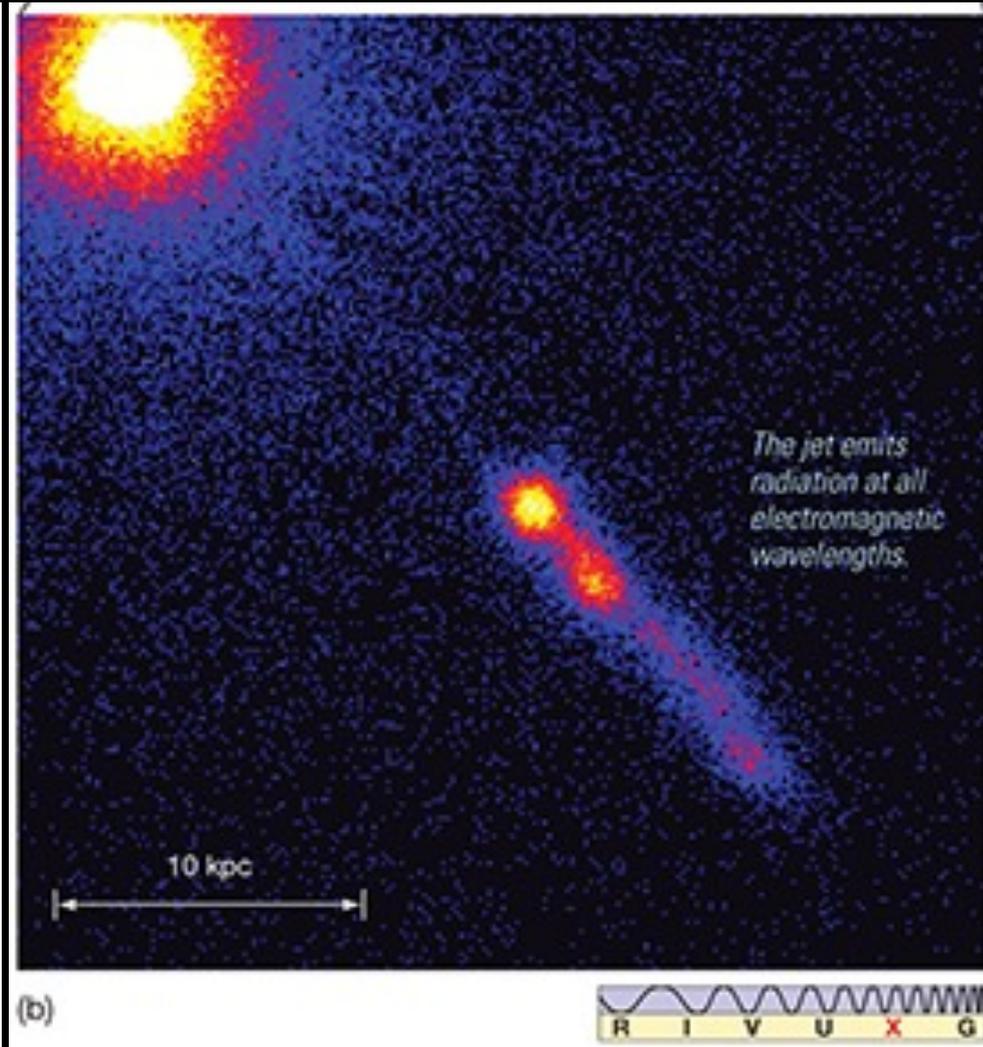
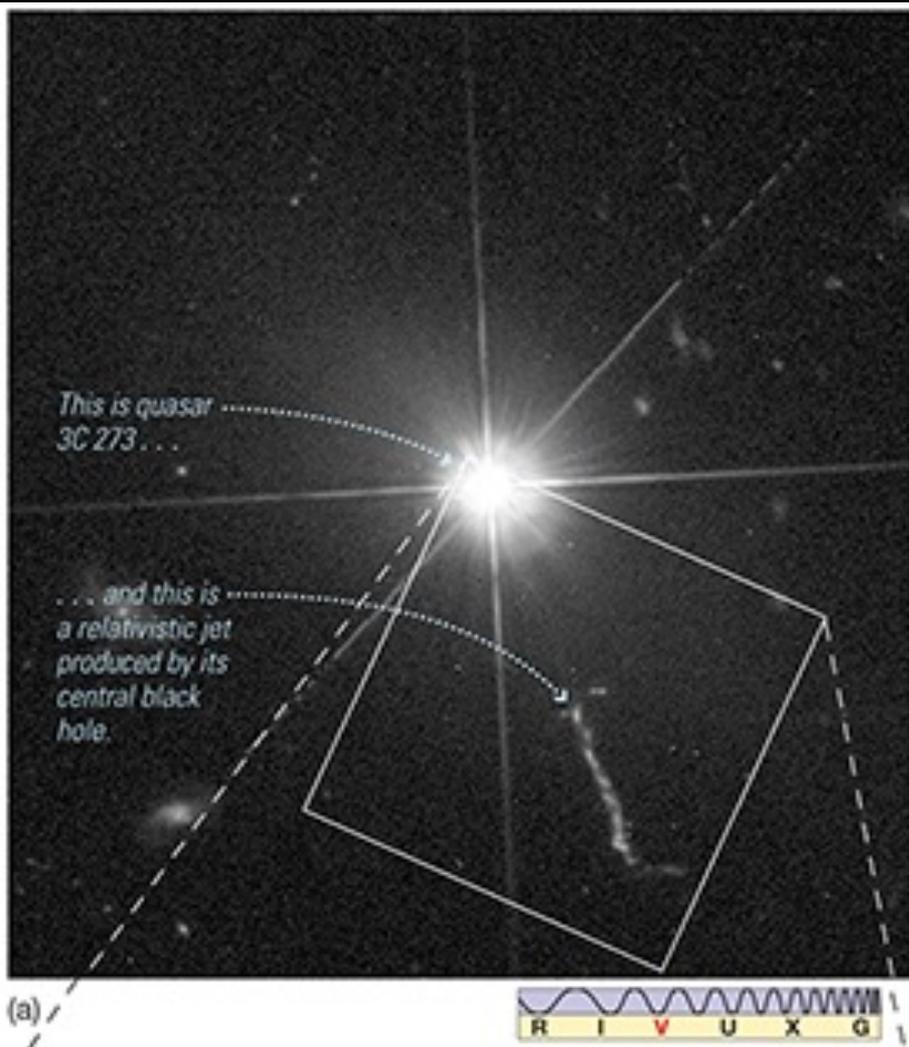
# QUASARES

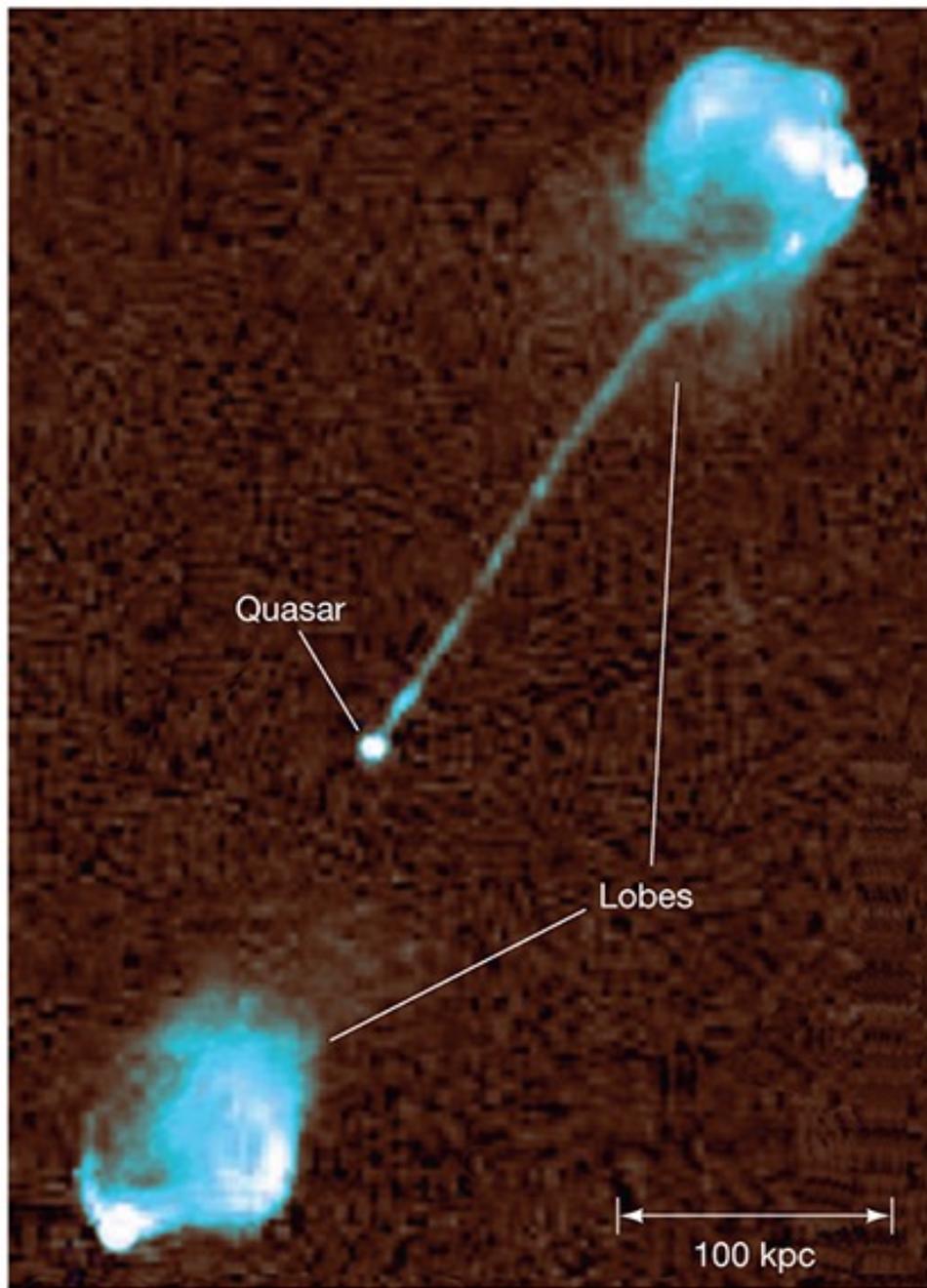


**Quasi-stellar objects : aparência de estrela quando observados a baixos tempos de exposição, mas eram medidos espectros incomuns.**

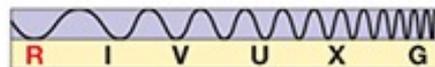
# QUASAR 3C 273

Contém jatos que atingem 30 kpc em extensão





**Quasar 3C175**  
**Lóbulos de 1Mpc de tamanho.**



ULAS J1120+0641 , o quasar é observado tal como era há 770 milhões de anos após o Big-Bang .  
Levou cerca de 13 bilhões de anos para que a luz emitida por ele nos alcançasse.



# **QUASARES TÊM PROPRIEDADES PARECIDAS COM RÁDIO-GALÁXIAS**

**Mas..**

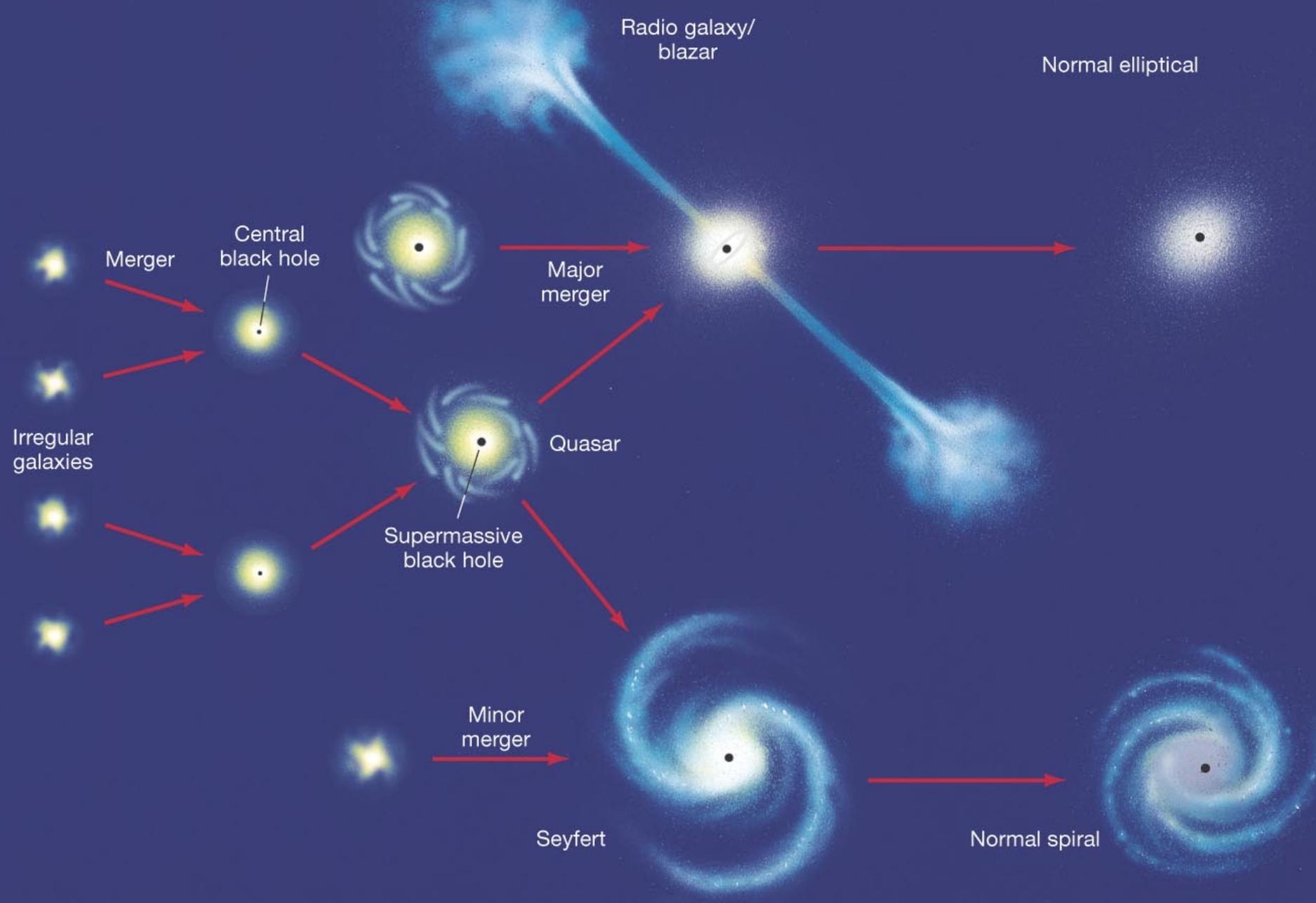
**Não existem quasares na vizinhança da Via Láctea, apenas muito distantes, o que significa que são muito antigos.**

**PORTANTO:**

**TUDO INDICA QUE EXISTE UMA SEQUÊNCIA EVOLUTIVA:**

**QUASAR - GALÁXIAS ATIVAS (SEYFERT E RADIO) - GALÁXIAS NORMAIS**

# UMA SEQUÊNCIA EVOLUTIVA



# **NATUREZA DA ATIVIDADE NUCLEAR**

## **PROPRIEDADES OBSERVADAS DOS NÚCLEOS ATIVOS:**

- **ALTA LUMINOSIDADE**
- **EMISSÃO DE ENERGIA TEM CARÁTER NÃO-ESTELAR**
- **VARIAÇÃO RÁPIDA DA INTENSIDADE DE ENERGIA, INDICANDO UM NÚCLEO COMPACTO**
- **JATOS E OUTROS INDICADORES DE ATIVIDADE EXPLOSIVA**
- **LINHAS ESPECTRAIS DE EMISSÃO ALARGADAS, INDICANDO ROTAÇÃO RÁPIDA**

# MODELO MAIS ACEITO

$$\langle l \rangle = \frac{kb}{1} \left[ \frac{1}{1} \right]$$

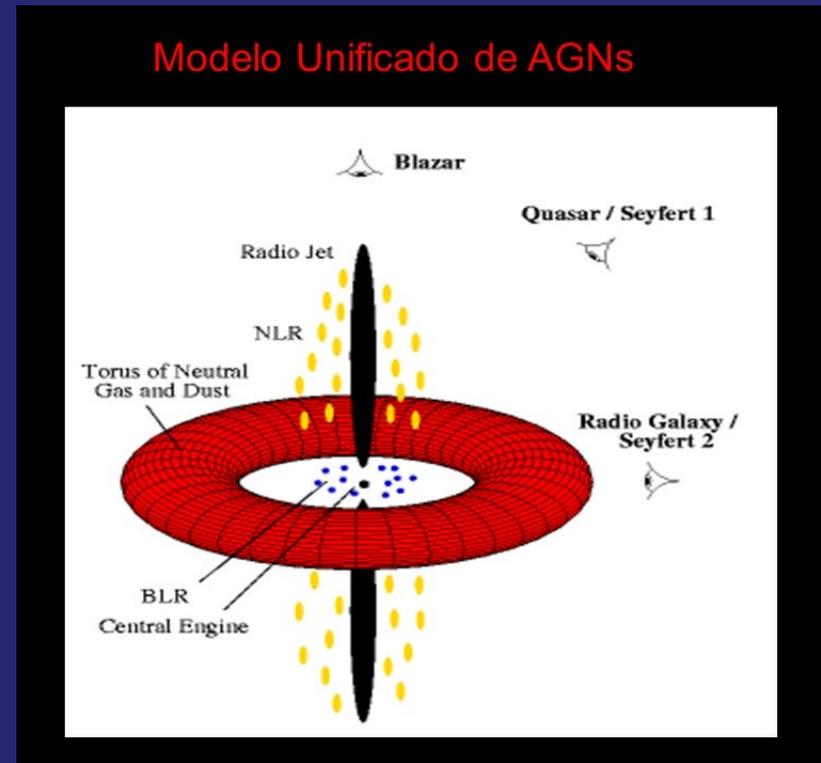
Um buraco negro central supermassivo forma um disco de matéria ao seu redor, chamado disco de acreção.

A matéria neste disco espirala em direção ao buraco negro, aquecendo-se e produzindo uma quantidade enorme de energia.

Jatos de gás de alta velocidade são formados perpendicularmente ao disco de acreção, formando os jatos e lóbulos observados em muitos objetos ativos.

Os campos magnéticos gerados no disco são transmitidos aos lóbulos, produzindo a radiação observada.

→ Através de diferentes ângulos de visada em relação à estrutura, visualizam-se diferentes membros da "família"



## **ESTRUTURA EM LARGA ESCALA: Distribuição das galáxias no universo**

Normalmente galáxias agrupam-se em:

- isoladas ou em pares
- grupos ( $\sim 1$  Mpc de extensão)
- aglomerados ( $\sim$  alguns Mpc) (10% das galáxias)
- super aglomerados ( $\sim 50-100$  Mpc)

O que define grupos, aglomerados e super-aglomerados de galáxias é a força gravitacional que os mantém ligados.

## O GRUPO LOCAL

Grupo Local consiste em:

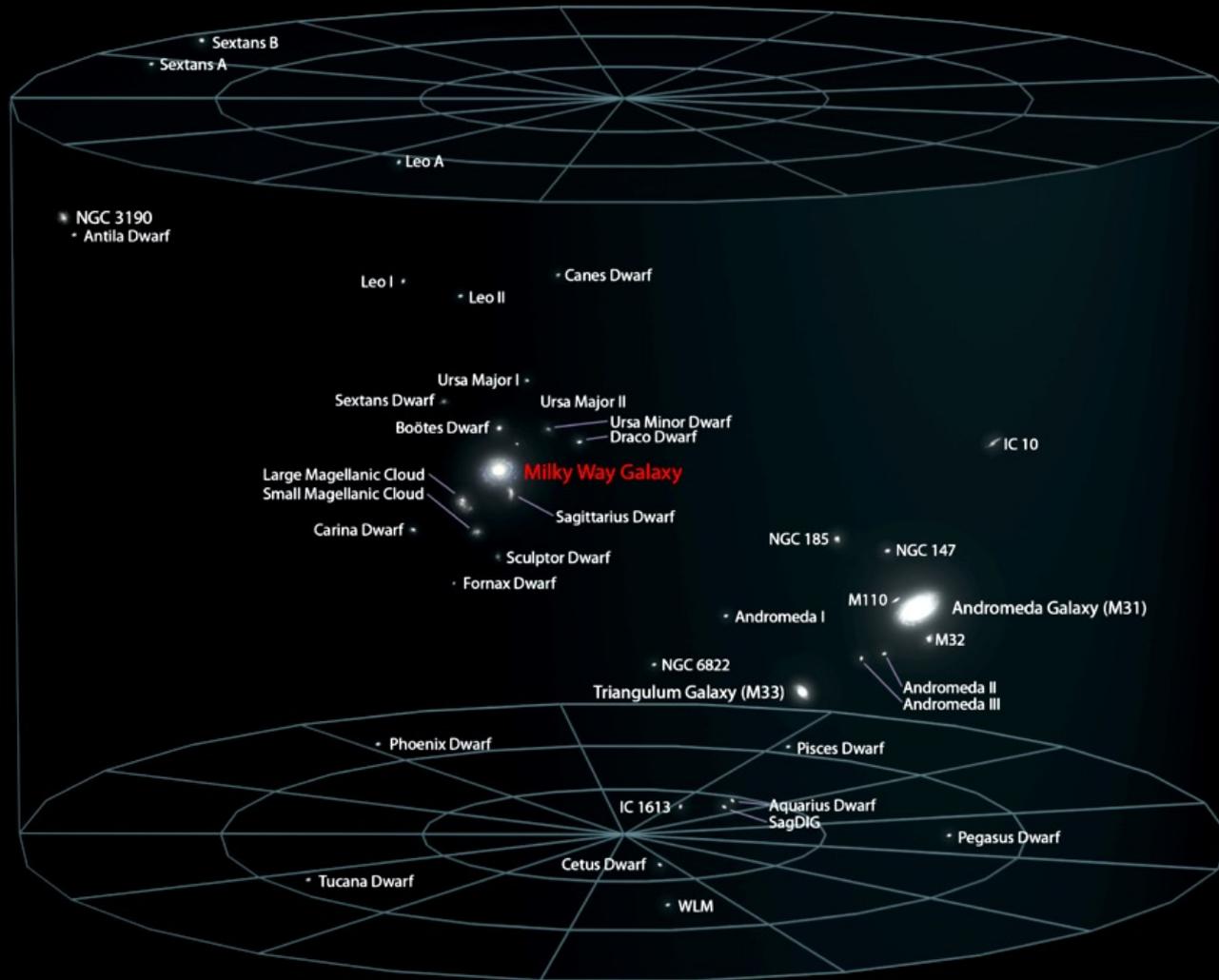
Nossa Galáxia + Andrômeda + dezenas de galáxias menores



**aprox. 80 galáxias no total**

3 são espirais: nossa Galáxia +  
Andrômeda + M33  
Outras: anãs esferoidais e  
irregulares

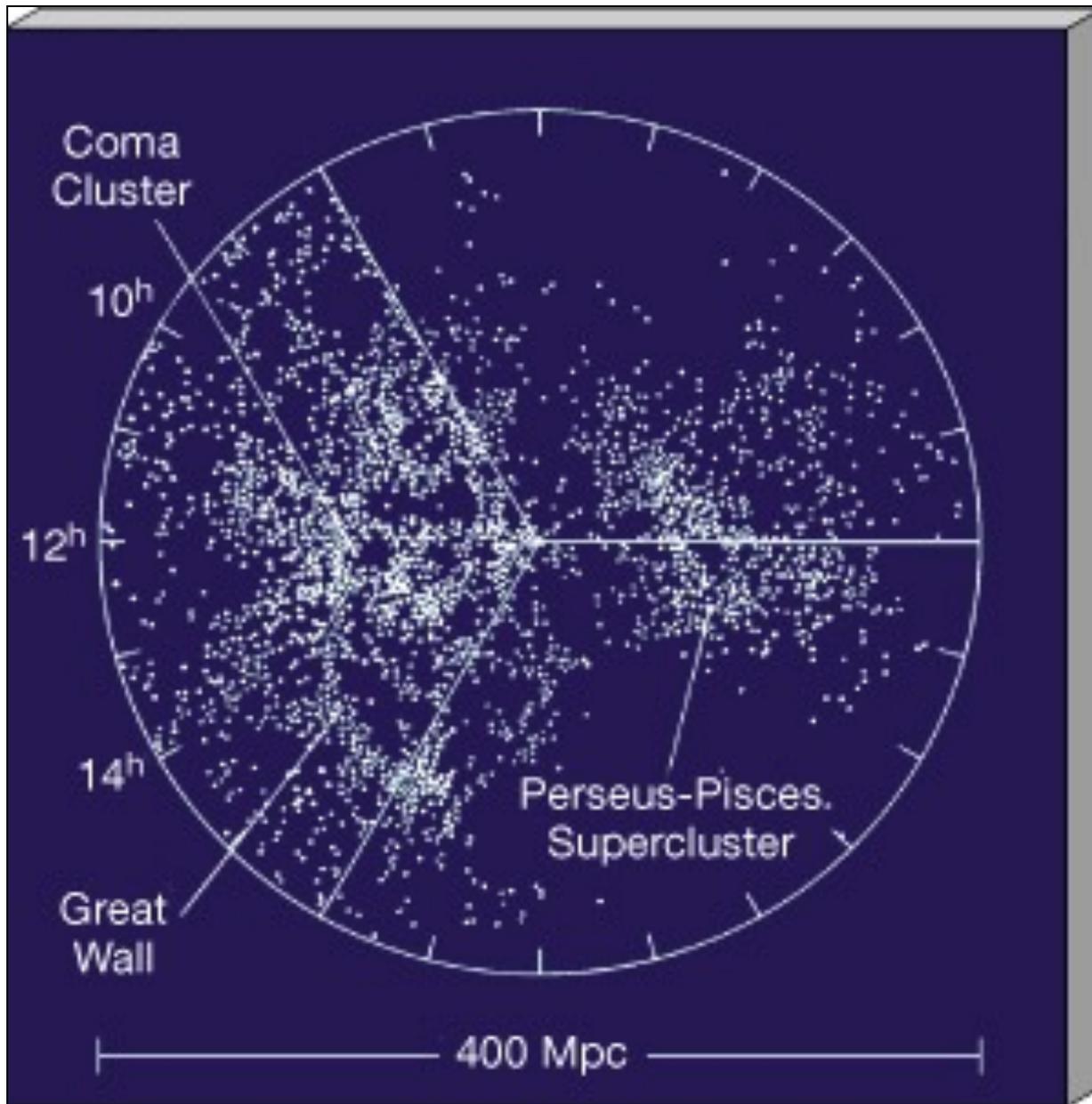
# Local Galactic Group



# **Aglomerado de Virgo: o mais próximo do Grupo Local**

tem cerca de 2000 galáxias e está a 55 milhões de anos-luz





Vista da estrutura em larga escala do **universo local**, num raio de 400 Mpc (1,3 bilhões de a.l. da nossa Galáxia)

Cada ponto representa uma galáxia

## O Universo local, num raio de 1,5 Gpc

