

Natureza da Galáxia  
Principais componentes  
Meio interestelar:  
    nuvens, poeira, extinção, HI  
Braços espirais  
Populações estelares  
Rotação da Galáxia  
Massa da Galáxia e matéria escura  
Braços espirais

# Via Láctea

Gastão B. Lima Neto  
IAG/USP

[edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=110630](https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=110630)

# Descobrimos a Galáxia

- Via Láctea = caminho de leite (*lactea* = leite em latim).
- Do grego, “*Galaxias Kyklos*” = “círculo leitoso” (γαλαξίας = *galaxias* = leite).
  - Segundo a mitologia grega, leite derramado pela deusa Hera.
- A olho nu, faixa de aparência leitosa que atravessa o céu.
- Para diferenciar a Via Láctea de outras galáxias usa-se “Galáxia”, com “G” maiúsculo.



# Descobrimo a Galáxia

- Em 1609, Galileu descobre que a Via Láctea é feita de "um vasto número de estrelas fracas".

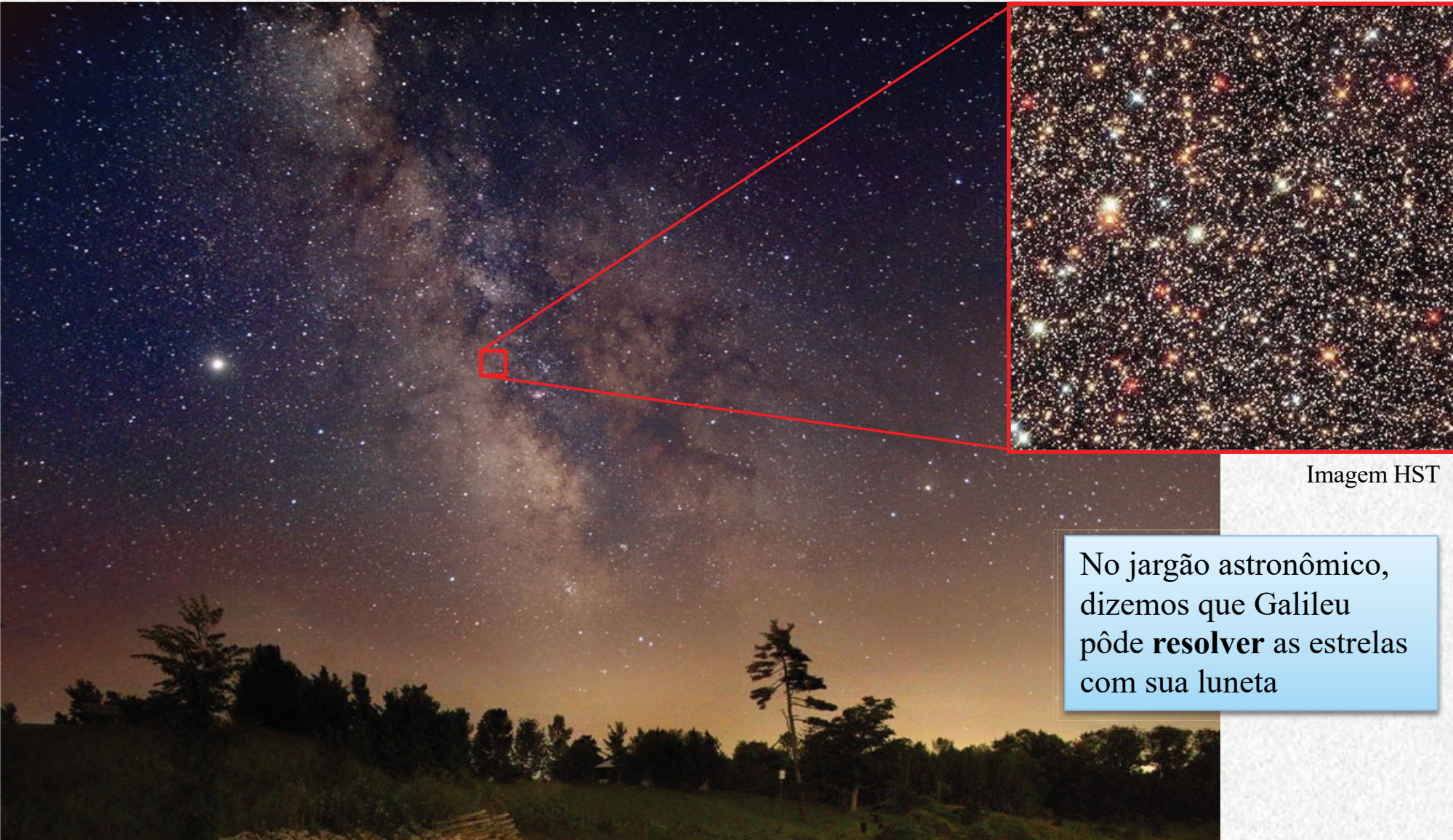
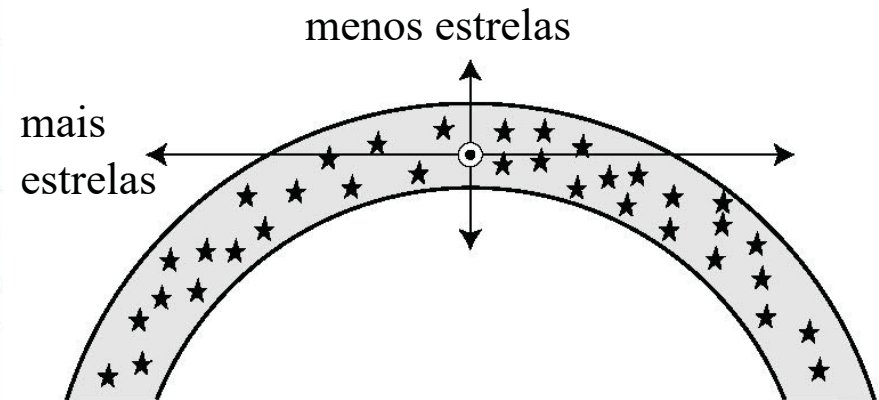
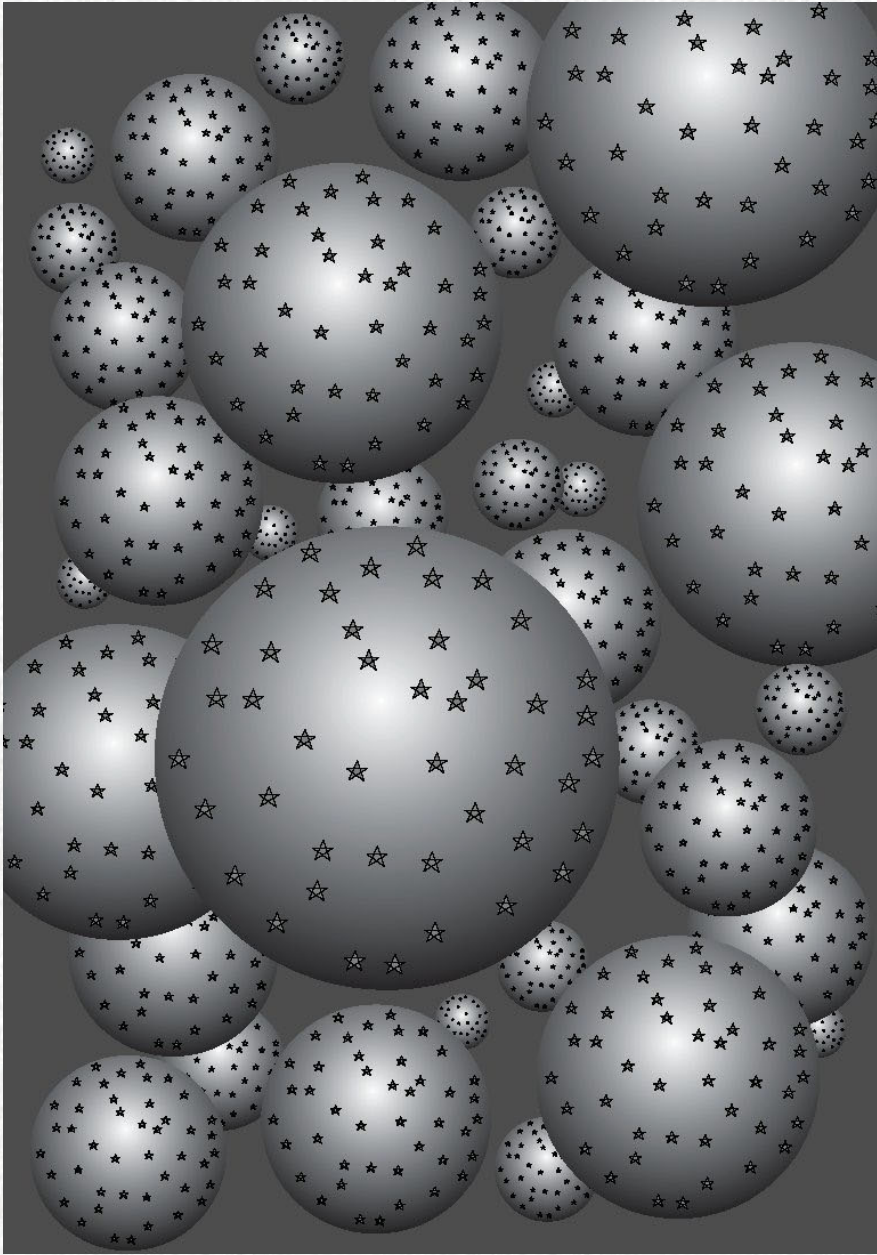


Imagem HST

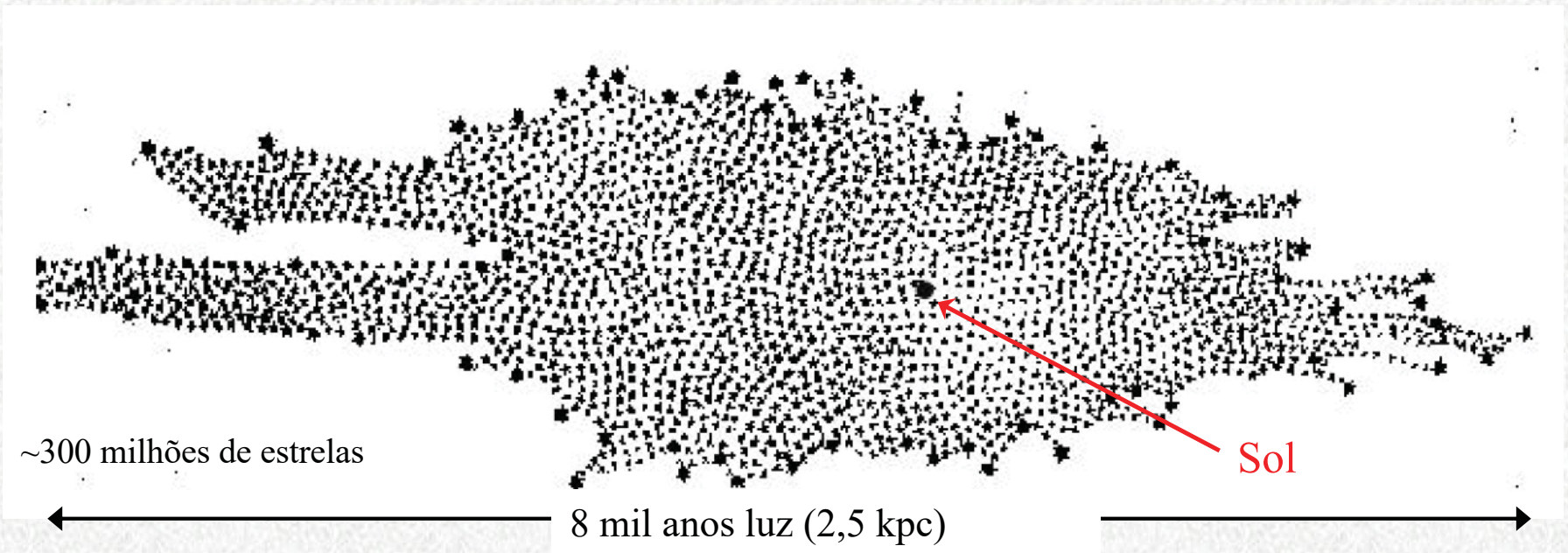
No jargão astronômico, dizemos que Galileu pôde **resolver** as estrelas com sua luneta

# Descobrimdo a Galáxia



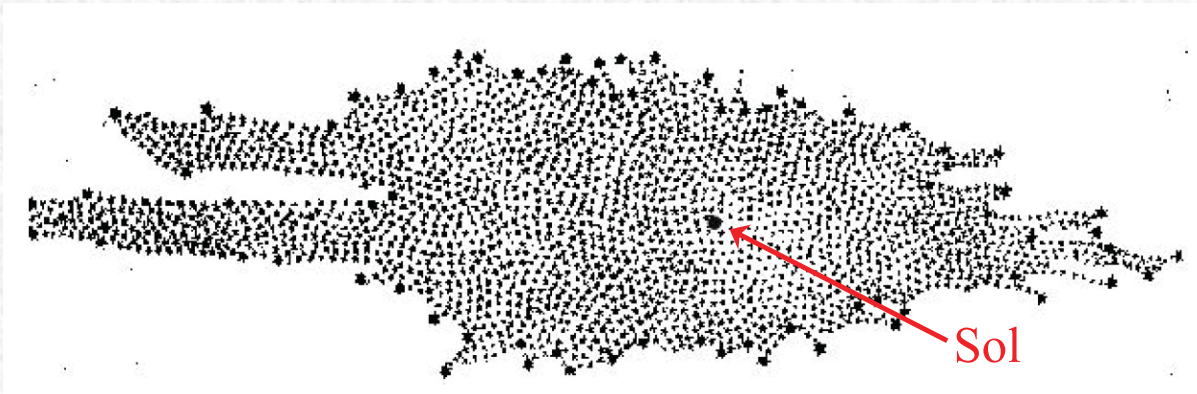
- Em 1750, Thomas Wright sugere que a Via Láctea seja uma casca esférica de estrelas.
- “Universos ilhas” de Immanuel Kant.

# Descobrimos a Galáxia



- Em 1785, William Herschel faz uma contagem de estrelas supondo que a luminosidade é a mesma para todas – pode assim calcular suas distâncias.
- Imagina a Via Láctea como um disco, com o Sol próximo do centro.
- Esta visão da Via Láctea vai predominar até o início do Séc. XX.

# Descobrimos a Galáxia

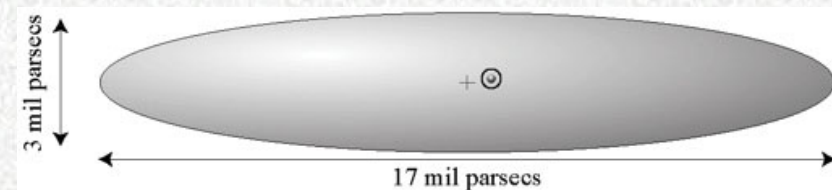
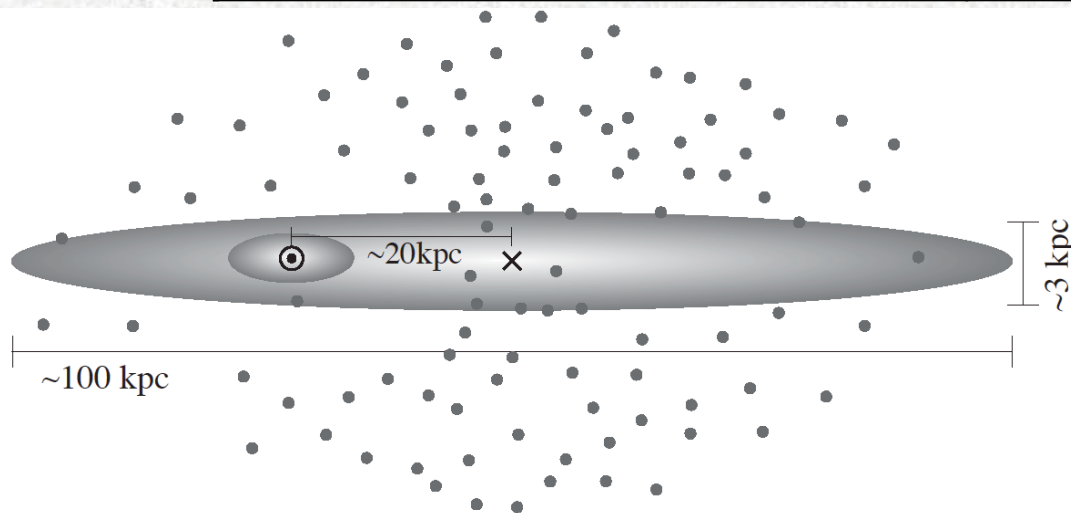


- Se contarmos o número de estrelas em direções opostas, o número é mais ou menos o mesmo.
- A conclusão lógica é de que estariamos no centro da distribuição das estrelas.
- Mas falta um elemento neste raciocínio....
- A poeira! Nós não podemos ver claramente além de  $\sim 2$  kpc.
  - Luz visível é absorvida e/ou espalhada pela poeira interestelar.
  - Brilho diminui  $\sim 2$  mag/kpc (até  $\sim 6$  kpc).
    - Na direção do centro galáctico, a absorção chega a 30 magnitudes.
  - O papel da poeira só fica bem estabelecido no início da década de 1930.

# Descobrimos a Galáxia

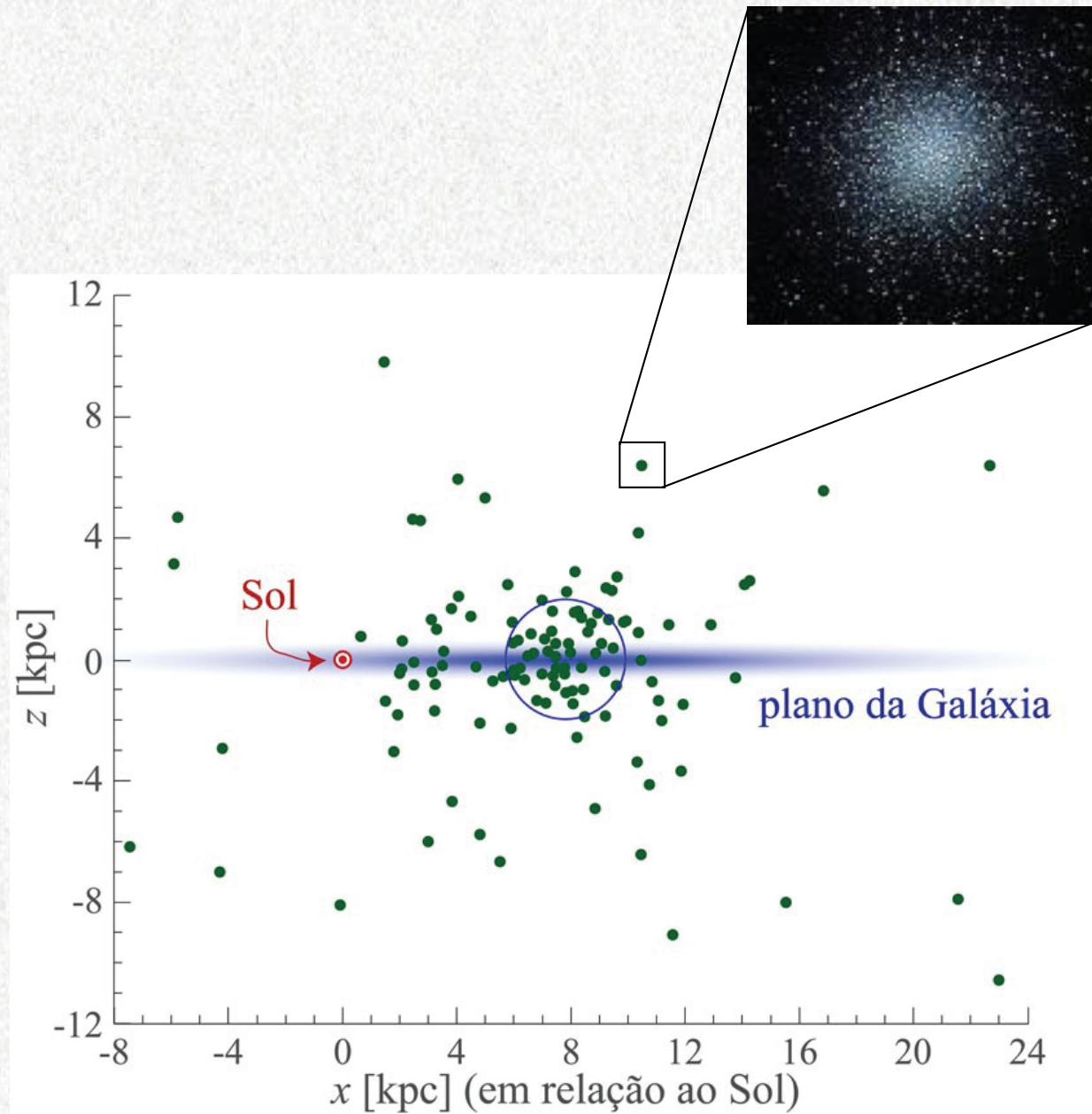
- A questão do tamanho da Galáxia e a natureza das nebulosas (principalmente as espirais) é central para a compreensão da Via Láctea.
- “Grande Debate” de 1920:

Harlow Shapley	Heber D. Curtis
Via Láctea muito grande Sol a 15 kpc do centro Nebulosas fazem parte da galáxia	Via Láctea pequena Sol está no centro Nebulosas são “universos ilhas”



# Descobrimo a Galáxia

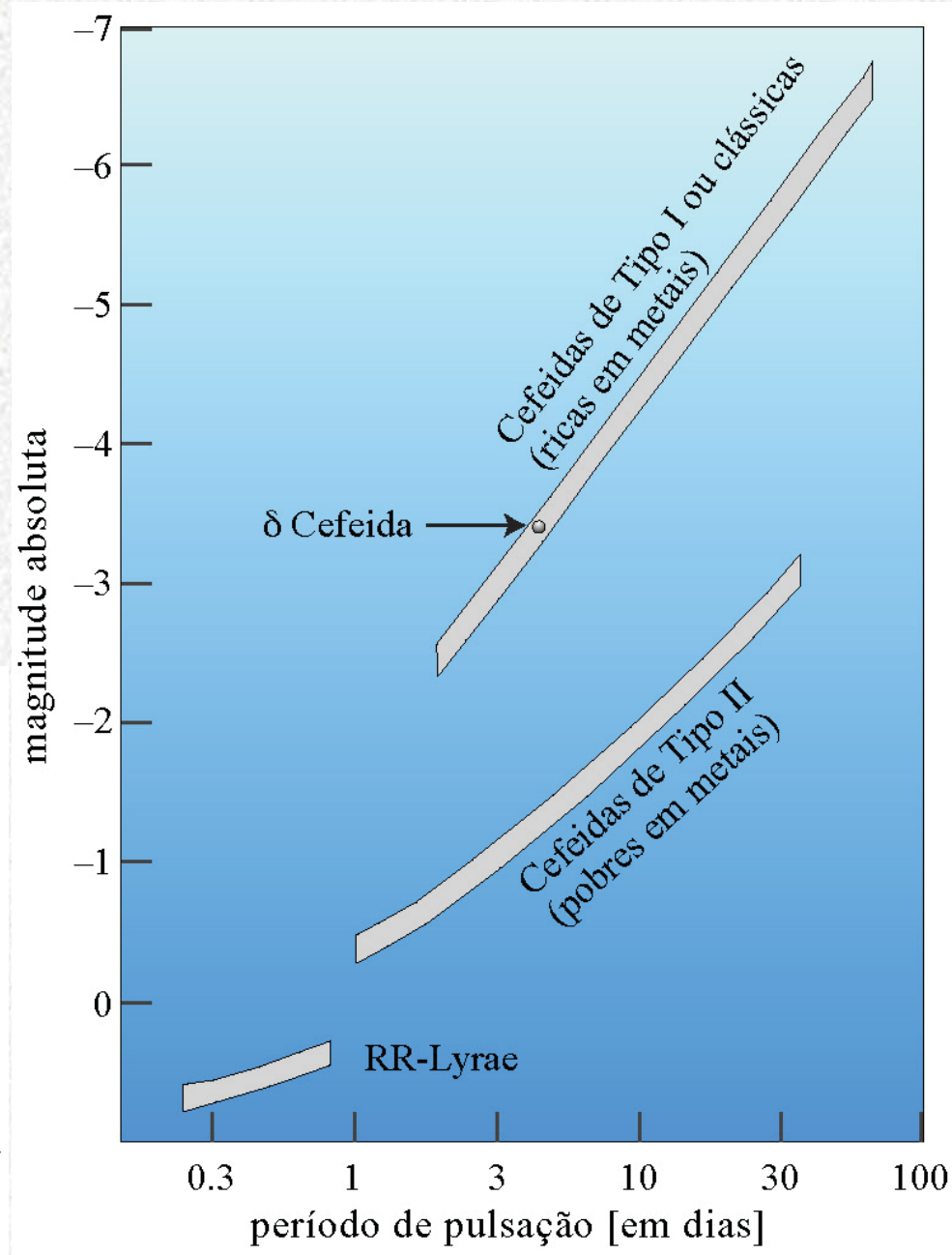
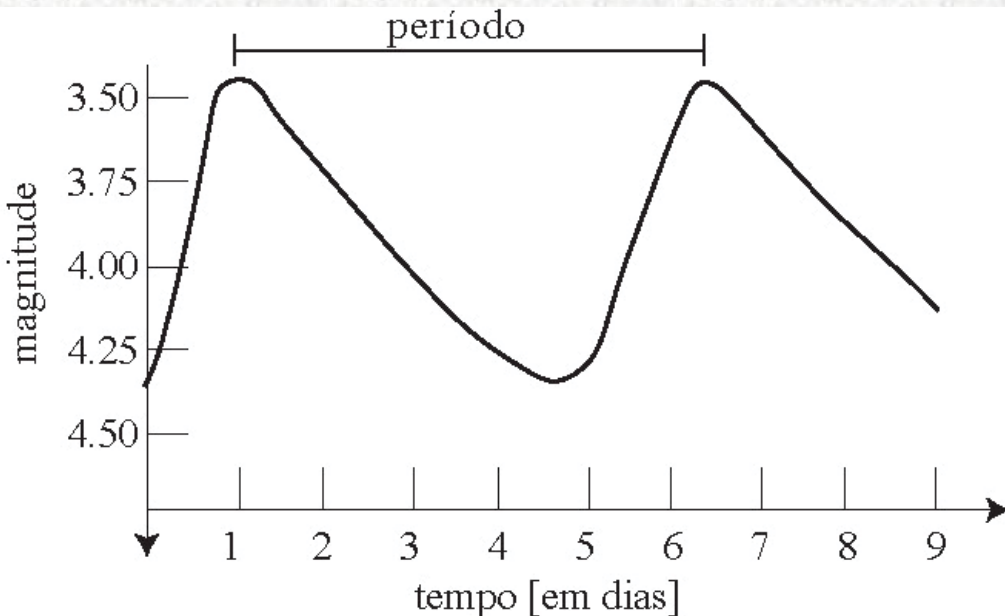
- No início do Séc. XX, Harlow Shapley nota que o Sol não está no centro da distribuição espacial de aglomerados globulares.
- Conclui que o Sol não está no centro da Via Láctea.
- Podemos ver aglomerados distantes, o que facilita mapeá-los no céu.



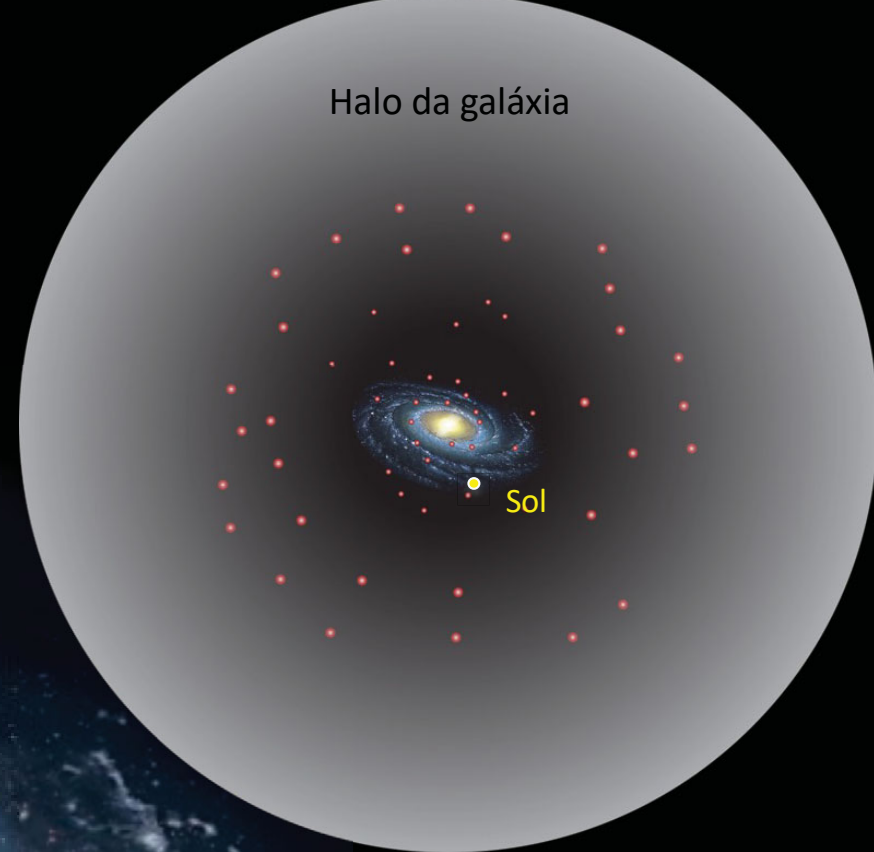
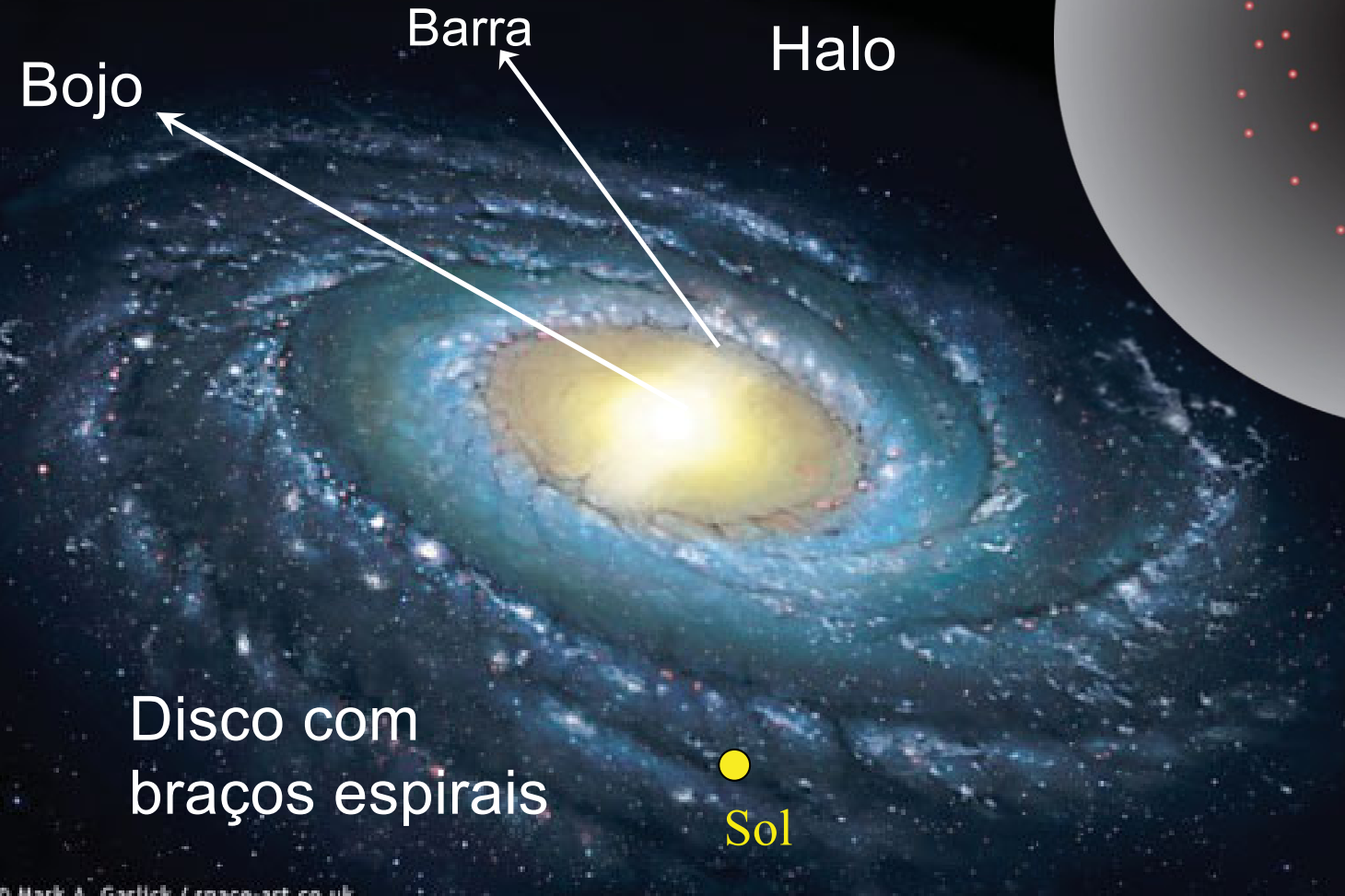


# Descobrimo a Galáxia

- Em 1926, a natureza da Galáxia fica estabelecida definitivamente quando Edwin Hubble mostra que as “nebulosas” espirais estão muito além da Via Láctea.
- Hubble utilizou a relação Período-Luminosidade das Cefeidas (Henrietta Leavitt, 1912) como indicador de distância.

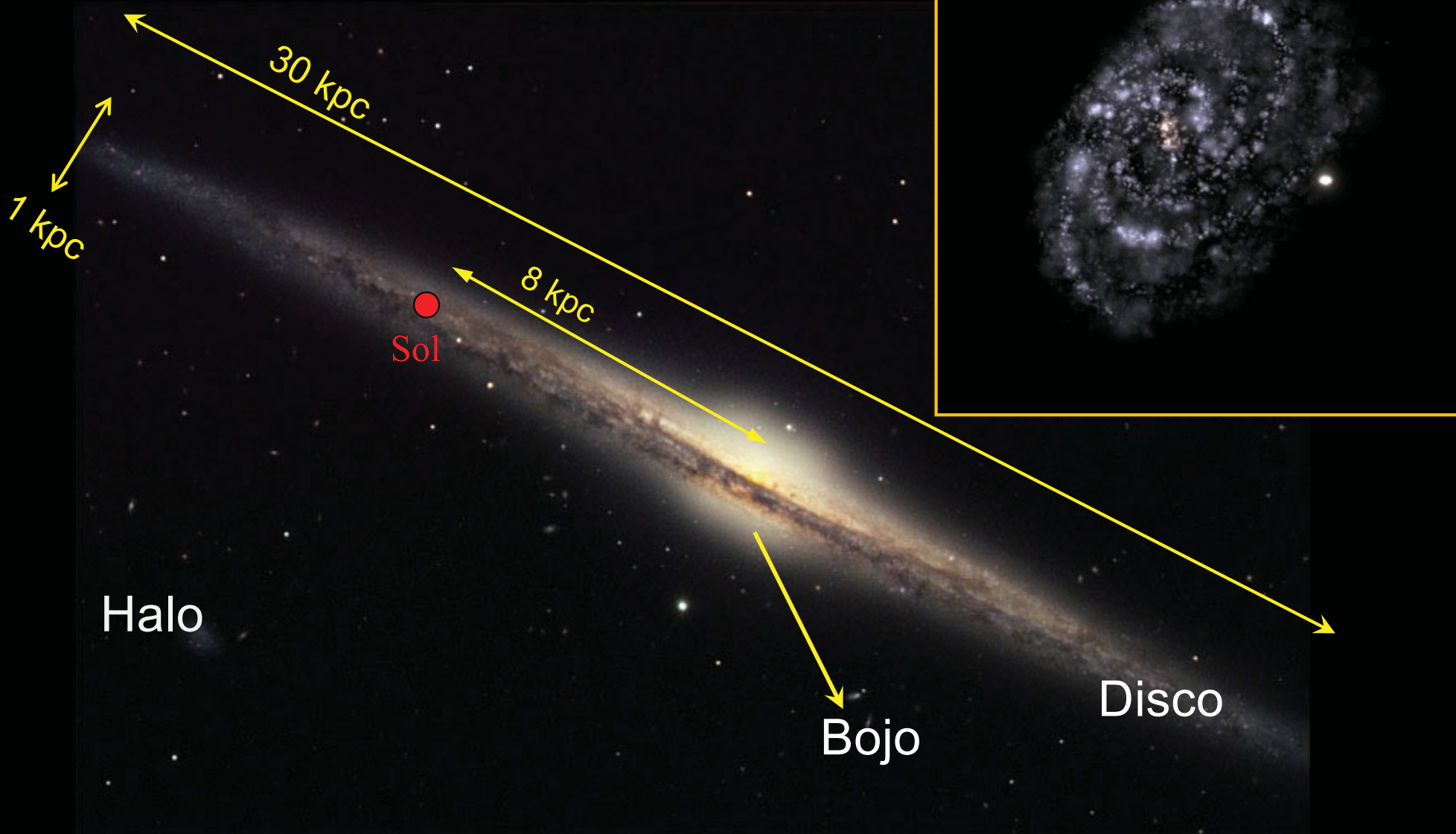


# A Galáxia



- Hoje, como imaginamos que seja a Galáxia.

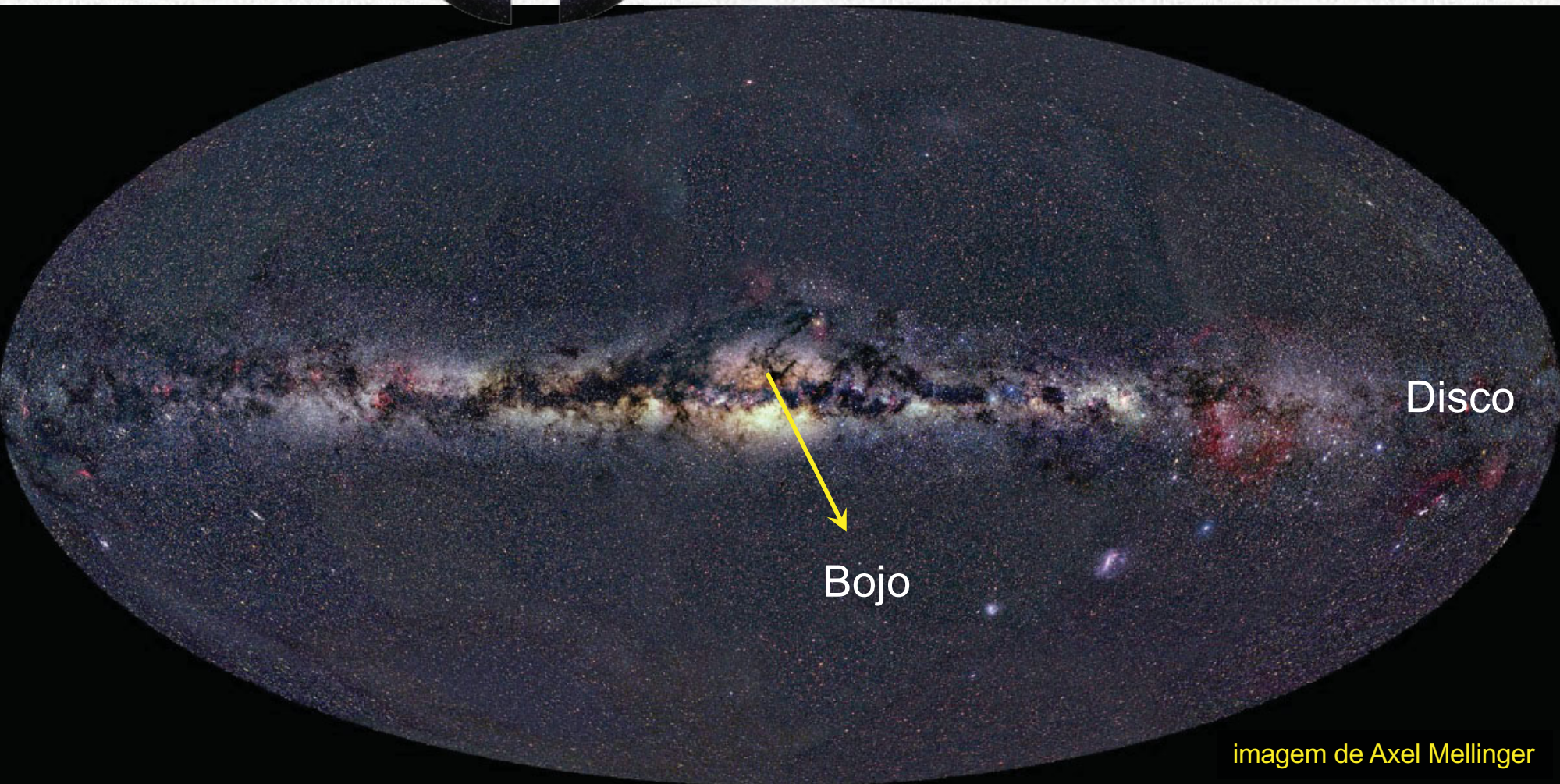
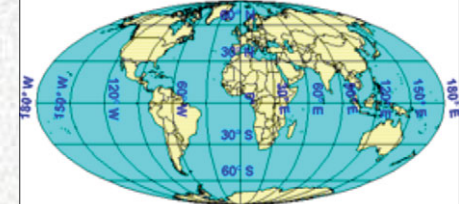
# A Galáxia



- NGC 4565, como seria nossa Galáxia vista de perfil.
- Note a faixa de poeira no plano do disco, absorvendo a luz das estrelas.

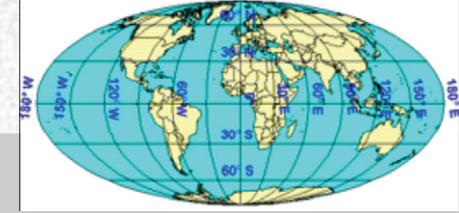


# A Galáxia

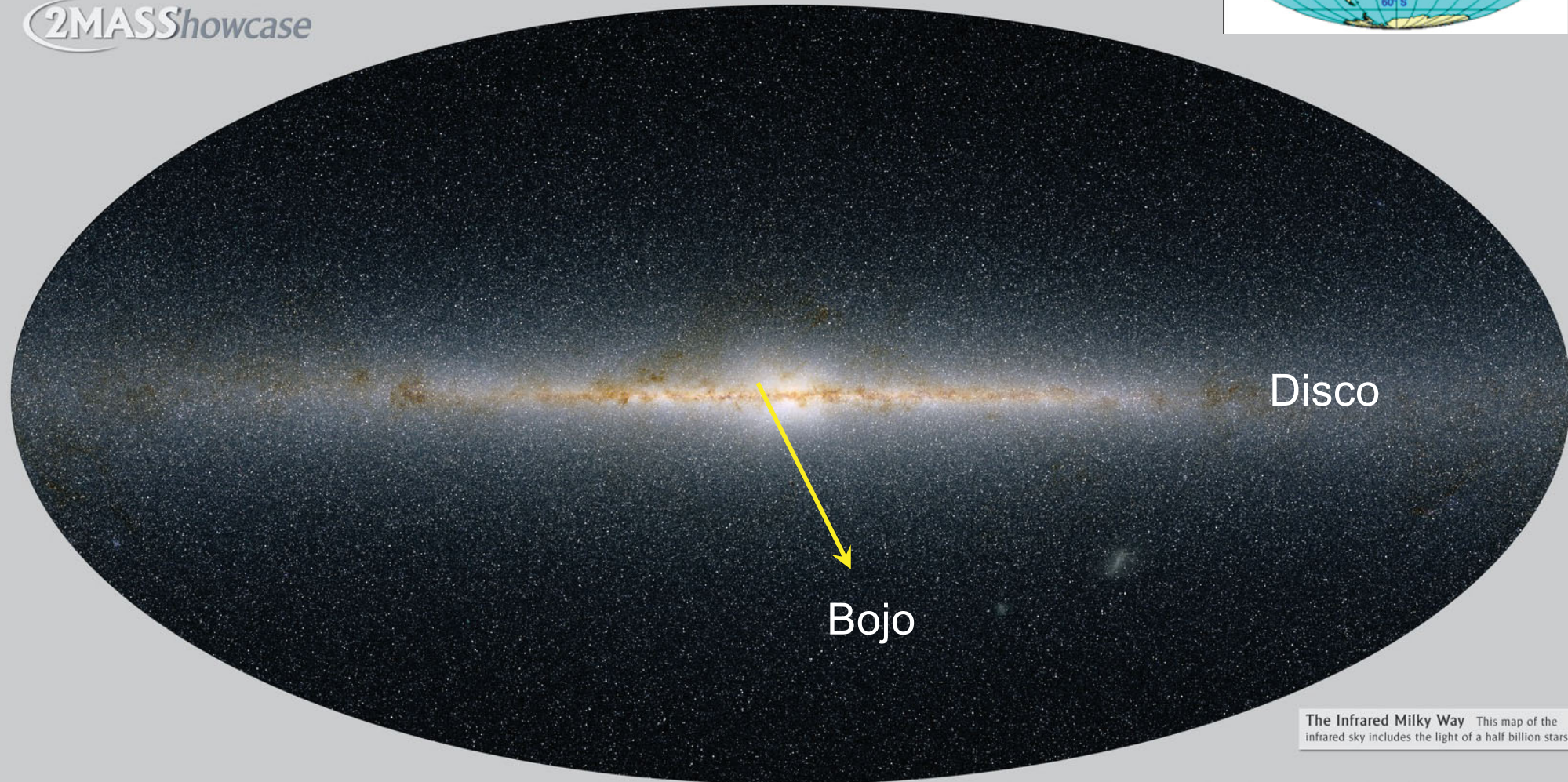


- Nossa Galáxia vista de dentro (isto é, da Terra).
- Note a faixa de poeira no plano do disco.
- Imagem feita com a luz visível.

# A Galáxia



2MASShowcase



**The Infrared Milky Way** This map of the infrared sky includes the light of a half billion stars

Two Micron All Sky Survey Image Mosaic: Infrared Processing and Analysis Center/Caltech & University of Massachusetts

- Nossa Galáxia vista de dentro (isto é, da Terra).
- Note a faixa de poeira no plano do disco.
- Infravermelho próximo (1,2–2,2 microns)

pulsar, SN,  
binárias

Fermi (raios-gama 0.3-1.0 GeV)

pulsar, SN,  
binárias

ROSAT (raios-X 0.2-0.8 keV)

estrelas

Mellinger (5000 Å)

moléculas  
complexas

IRAS (infravermelho 25 $\mu$ )

poeira

Schlegel et al. (IV distante 100 $\mu$ )

moléculas  
simples

CO (micro-ondas 115 GHz)

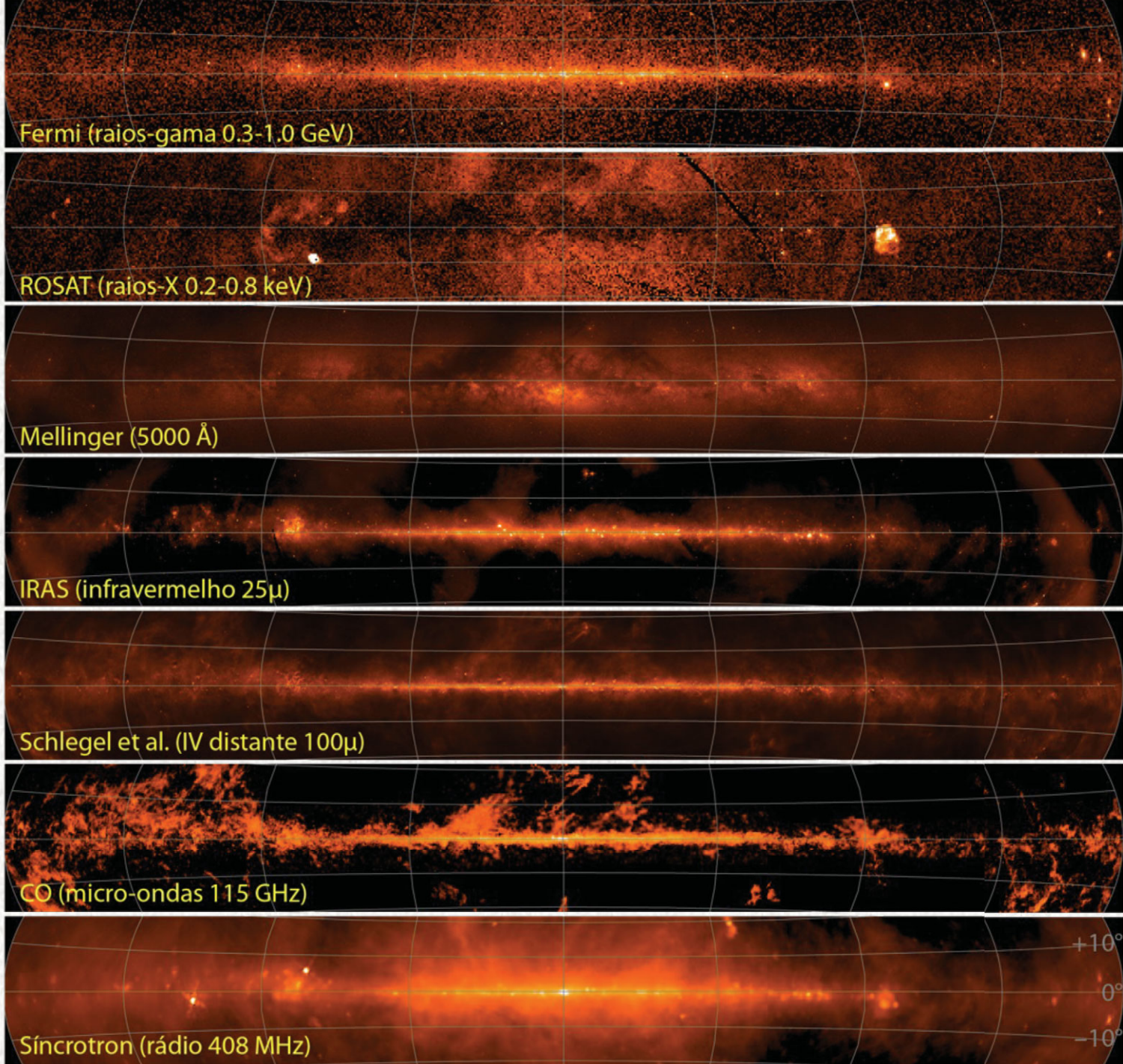
elétrons  
relativísticos

Síncrotron (rádio 408 MHz)

180° 135° 90° 45° 0° 315° 270° 225° 180°

longitude galáctica

+10°  
0°  
-10°

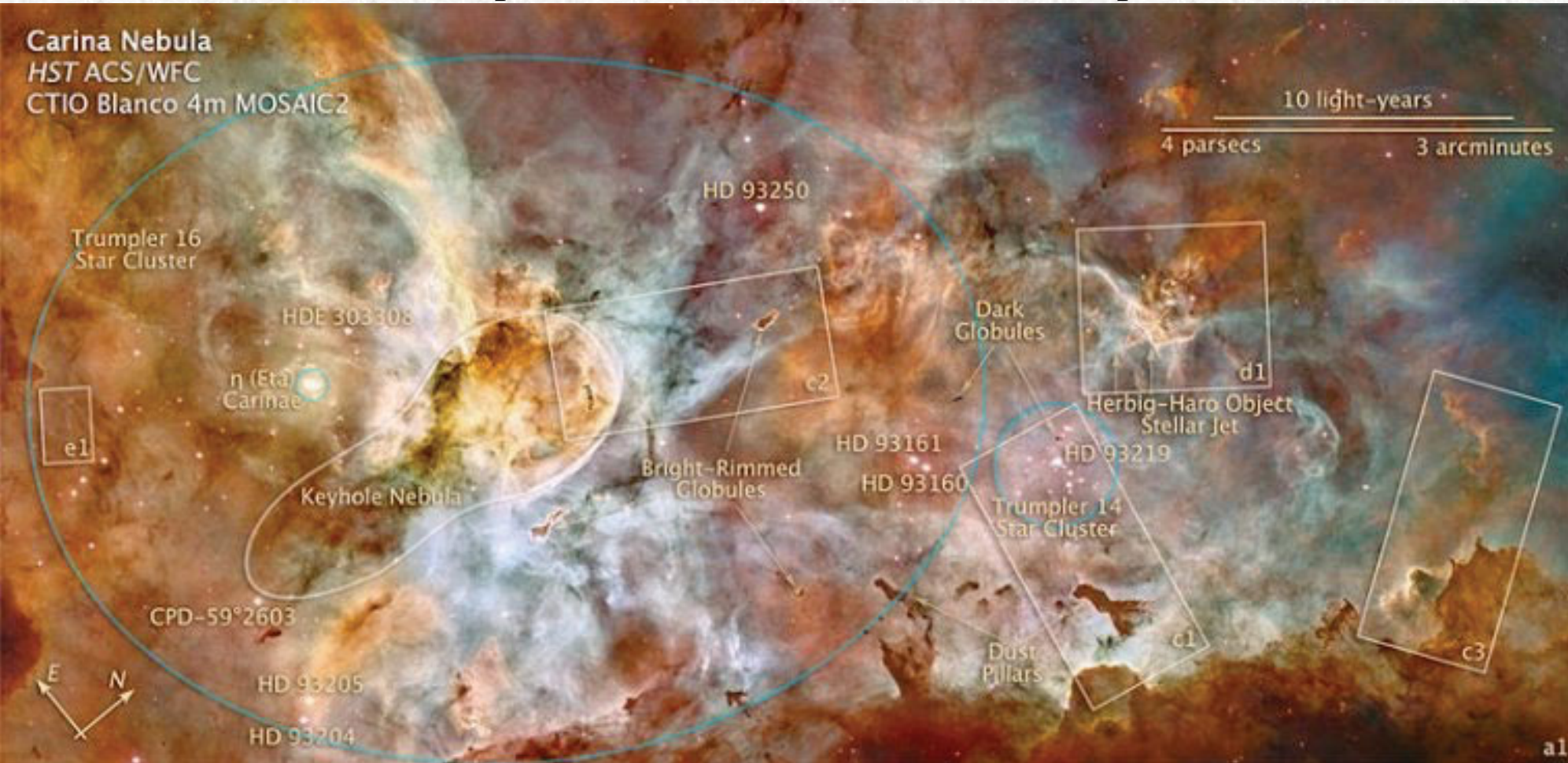


# Meio Interestelar (MIS)

O espaço entre as estrelas não é completamente vazio.

- MIS corresponde a ~10% da massa visível da Galáxia.
- ~99% gás e ~1% poeira (*porcentagem da massa do MIS*).
- raios cósmicos, campos magnéticos, radiação eletromagnética.

**Onde nascem as estrelas e para onde vai o material sintetizado por elas.**



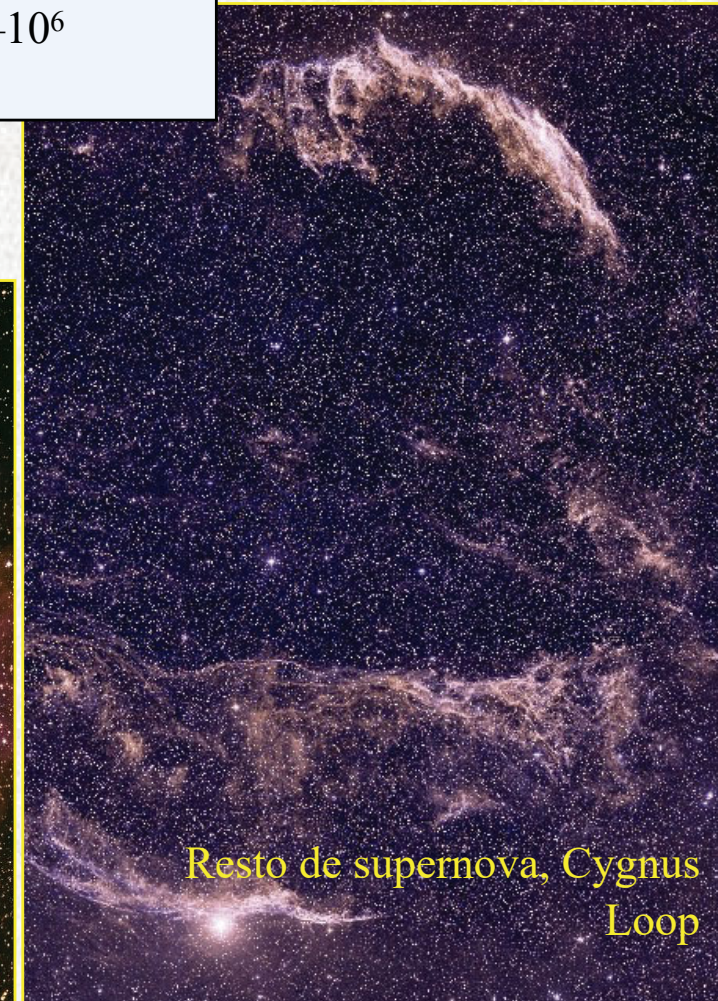
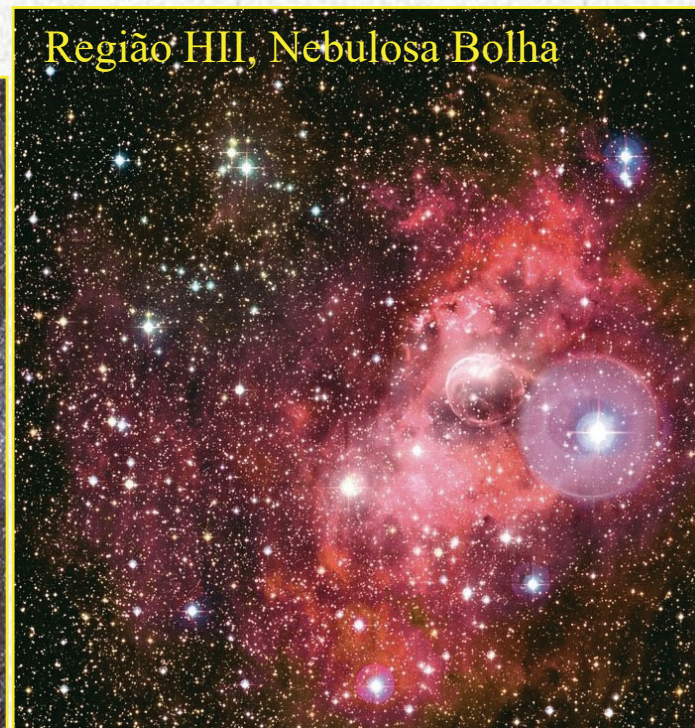
# Propriedades do meio interestelar

Tipo	Temperatura (K)	Densidade (cm <sup>-3</sup> )
Meio internuvem	mais de 10.000	0,1—1,0
Região de H ionizado	~ 10.000	100
Nuvens difusas	50—150	10—1000
Nuvens escuras (moleculares)	3—20	1000—10 <sup>6</sup>

ar:  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

vácuo de laboratório:  
 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$

Fonte: J. Lépine, 2009 “A Via Láctea, nossa ilha no universo”;  
W. Maciel, “O céu que nos envolve”

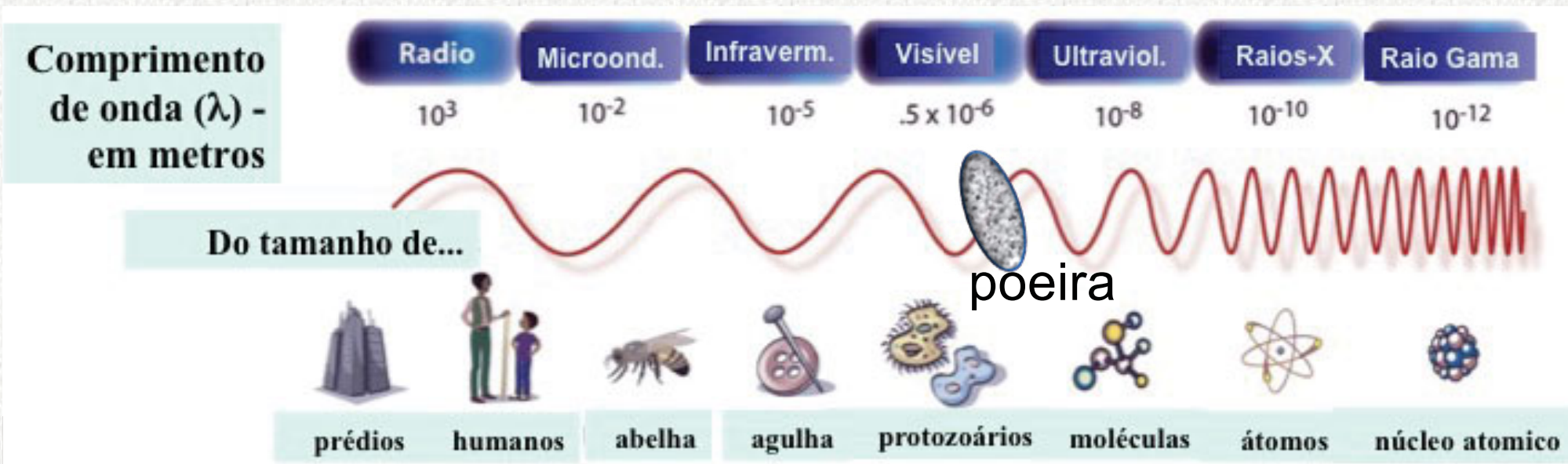




# Propagação da radiação eletromagnética no meio interestelar

Um feixe de luz pode ser **absorvido ou espalhado** somente por partículas com um diâmetro próximo ou maior que o comprimento de onda da radiação incidente.

A absorção ou o espalhamento produzido pelas partículas **aumenta com a diminuição do comprimento de onda** da radiação.

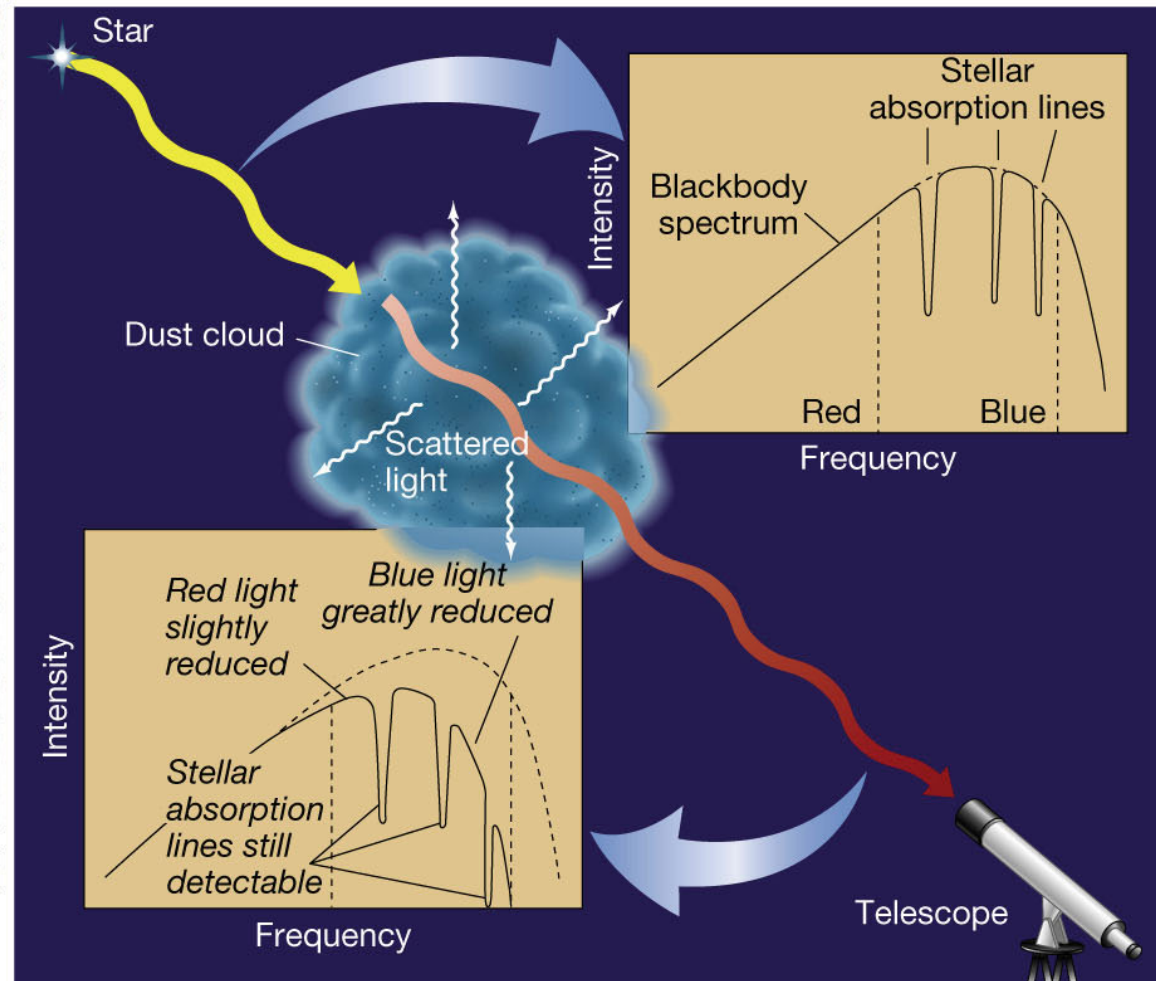
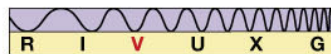


# A poeira muda a cor dos objetos

**Opacidade do meio interestelar:** as estrelas parecem mais fracas e mais vermelhas do que realmente são.



(a)

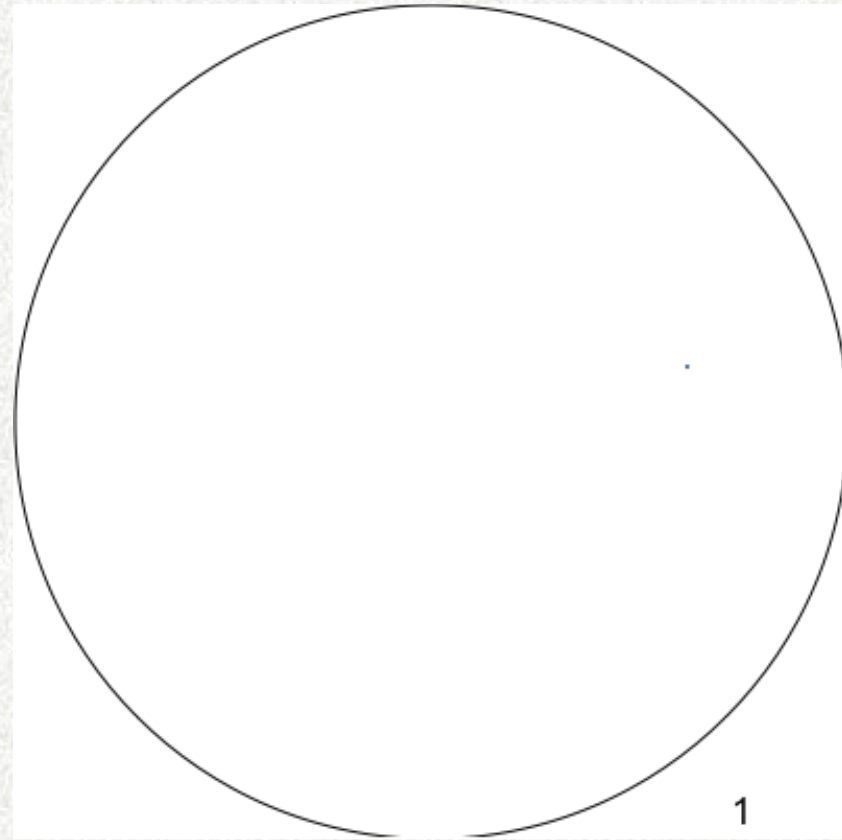
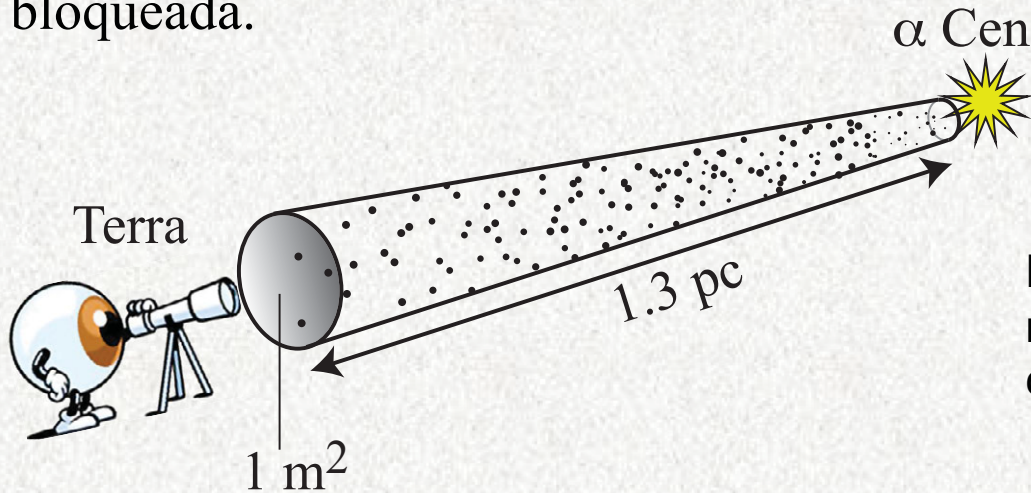


(b)

# Absorção (extinção) pela poeira

- 2 processos:
  - **absorção** (energia absorvida pelas moléculas do grão de poeira).
  - **espalhamento** (reflexão: radiação muda de direção).
- A medida que a distância aumenta, aumenta o número de grãos na linha de visada.

A radiação com comprimento de onda igual ou menor que o tamanho dos grãos é bloqueada.



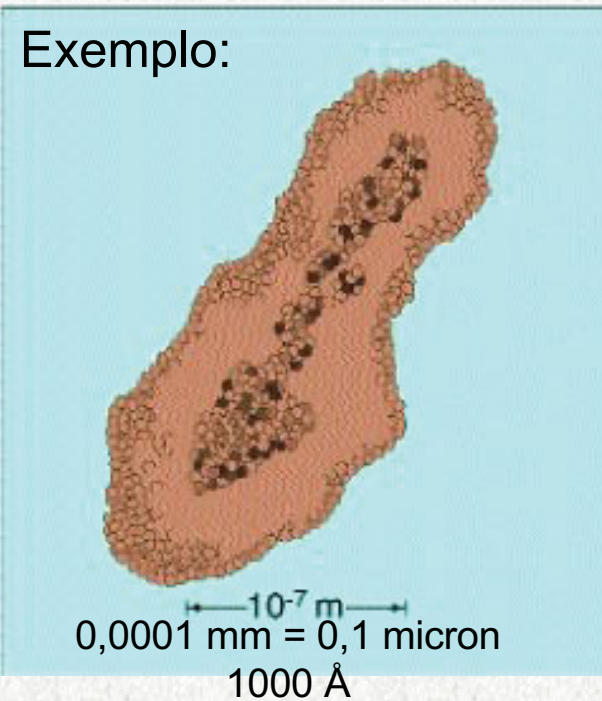
Do ponto de vista do observador, a poeira no meio do caminho funciona como uma cortina.

# Poeira interestelar

A baixa densidade ( $3 \times 10^{-7}$  partículas/metro<sup>3</sup>) multiplicada pelo grande volume significa muita poeira no **caminho óptico**.

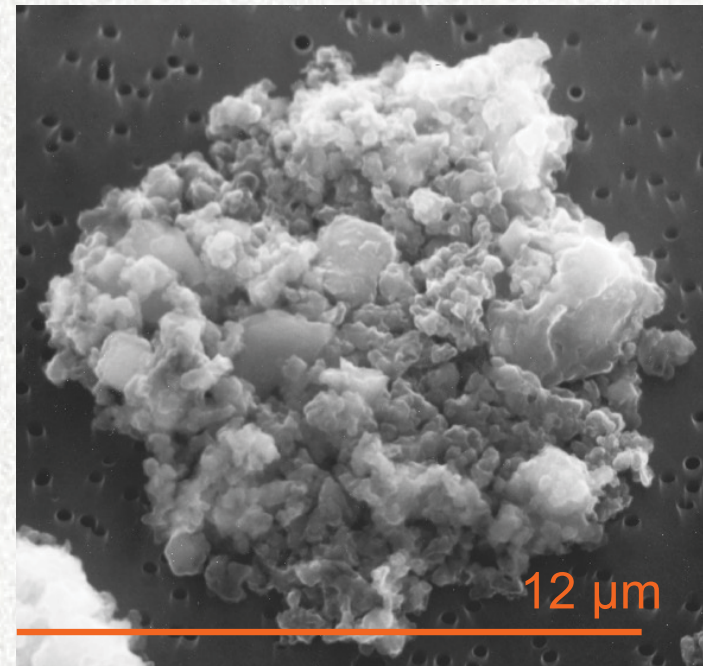
Observações no **infravermelho**  $\Rightarrow$  poeira é constituída de silicatos, carbono (grafite) e ferro.

Exemplo:



A poeira: contém “gelo sujo”  $\Rightarrow$  água congelada contaminada com alguns traços de amônia, metano e outros componentes;

$\Rightarrow$  parecida com a da cauda dos cometas do nosso sistema solar.



Tamanho: de algumas moléculas até  $\sim 0,01 \text{ mm}$  (10 micron).

# Regiões de formação estelar

## Nebulosas de emissão:

- nuvens brilhantes e quentes (ionizadas) de matéria interestelar.
  - Regiões HII : associadas a estrelas jovens de tipo O ou B.
  - *Obs.: Nebulosas planetárias: associadas a uma anã branca (não é região de formação estelar).*
- 100x mais denso que o MIS; temperatura  $\sim 8000$  K.

## Nebulosas de reflexão:

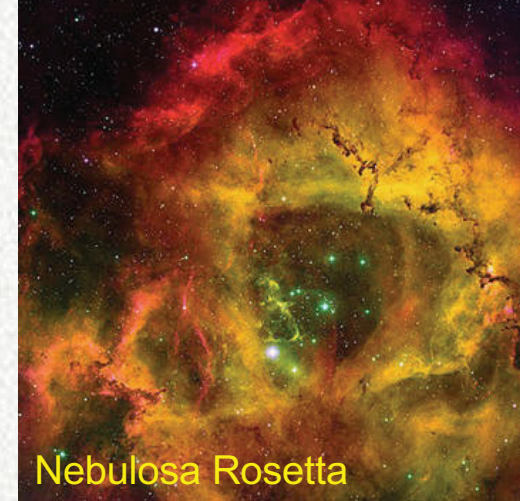
- Associadas a estrelas que não são quentes o suficiente para ionizar o gás (Tipo B). Temperatura  $< 1000$  K.

## Nuvens escuras de poeira:

- Temperatura  $\sim 20$  K; 1000x mais densas que o MIS.
- Associadas a nebulosas de emissão.
- Áreas muito obscurecidas.

## Nuvens moleculares:

- Frias ( $\sim 20$ K) mas muito densas, 1 milhão de vezes o MIS.
- Tamanho  $\sim 10$ — $50$  pc, matéria suficiente para formar milhões de estrelas como o Sol.



Nebulosa Rosetta



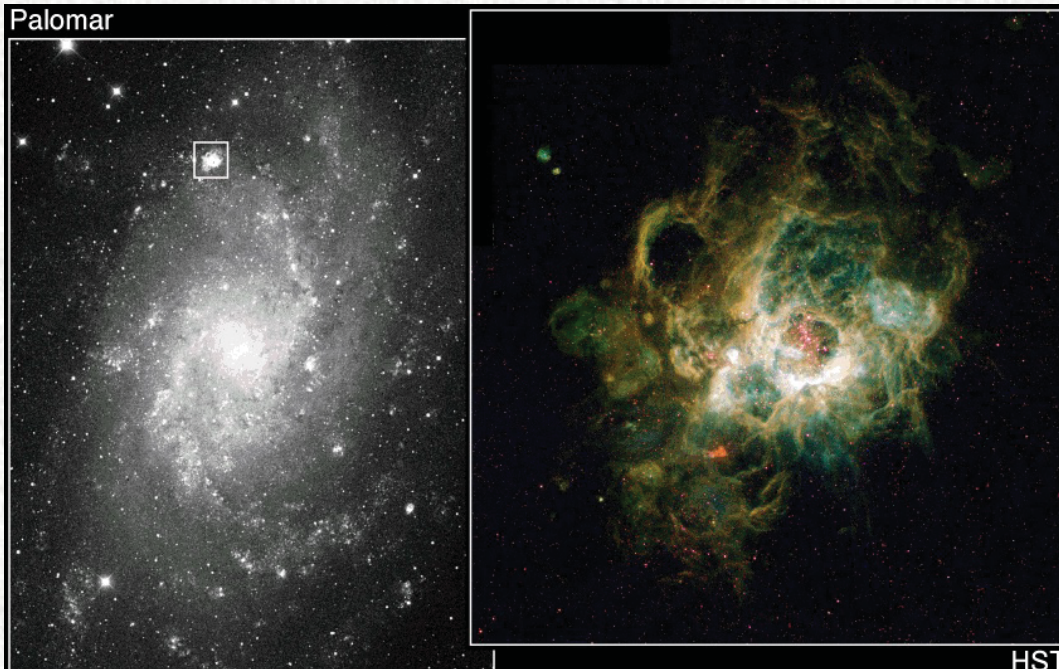
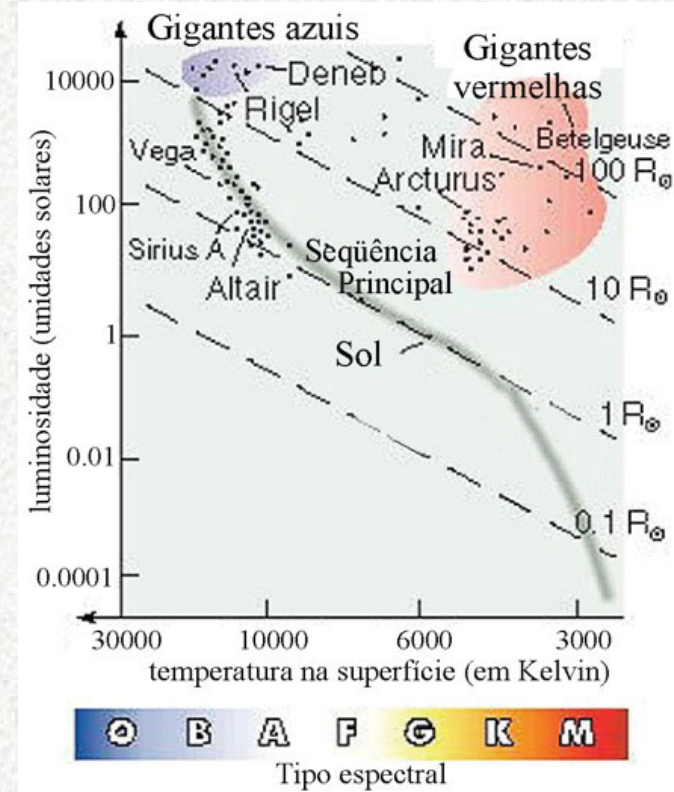
NGC 1977 ("running man")



"Dark River" perto de Antares

# Regiões HII

- As jovens estrelas tipo O e B emitem muita radiação ultravioleta.
  - espectro de corpo negro, com temperatura  $> 10.000\text{K}$ .
- Ionizam o hidrogênio que está nas proximidades.
- → Criam as chamadas regiões HII



## Nomenclatura espectroscópica

hidrogênio neutro → HI

hidrogênio 1 vez ionizado → HII

hélio neutro → HeI

hélio 1 vez ionizado → HeII

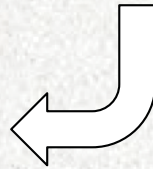
hélio 2 vezes ionizado → HeIII

Fe que perdeu 13 elétrons → FeXIV

# Gás neutro do MIS

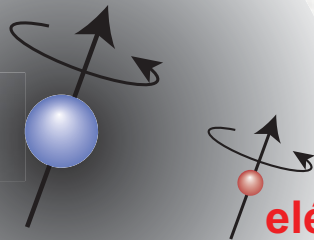
Gás **Neutro** espalhado por todo o disco: Regiões HI de  $T \sim 100$  K.

detectadas pela linha de 21cm (1,42 GHz) do Hidrogênio atômico.



configuração excitada.

próton



emissão de um fóton

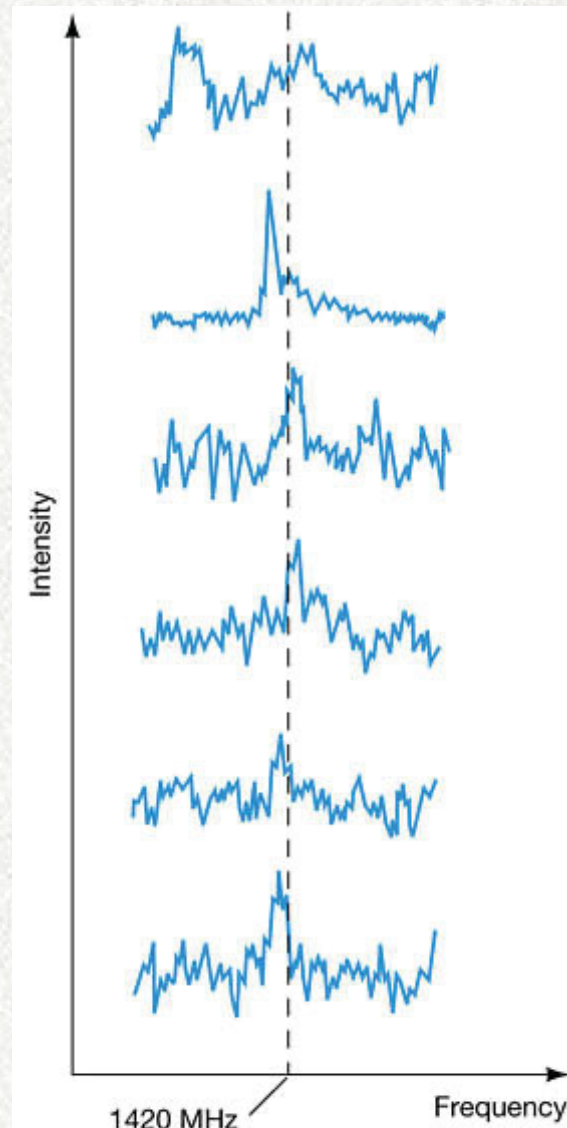
configuração de menor energia.

orbital  $n = 1$   
(nuvem de probabilidade)

spins paralelos

orbital  $n = 1$   
(nuvem de probabilidade)

spins antiparalelos

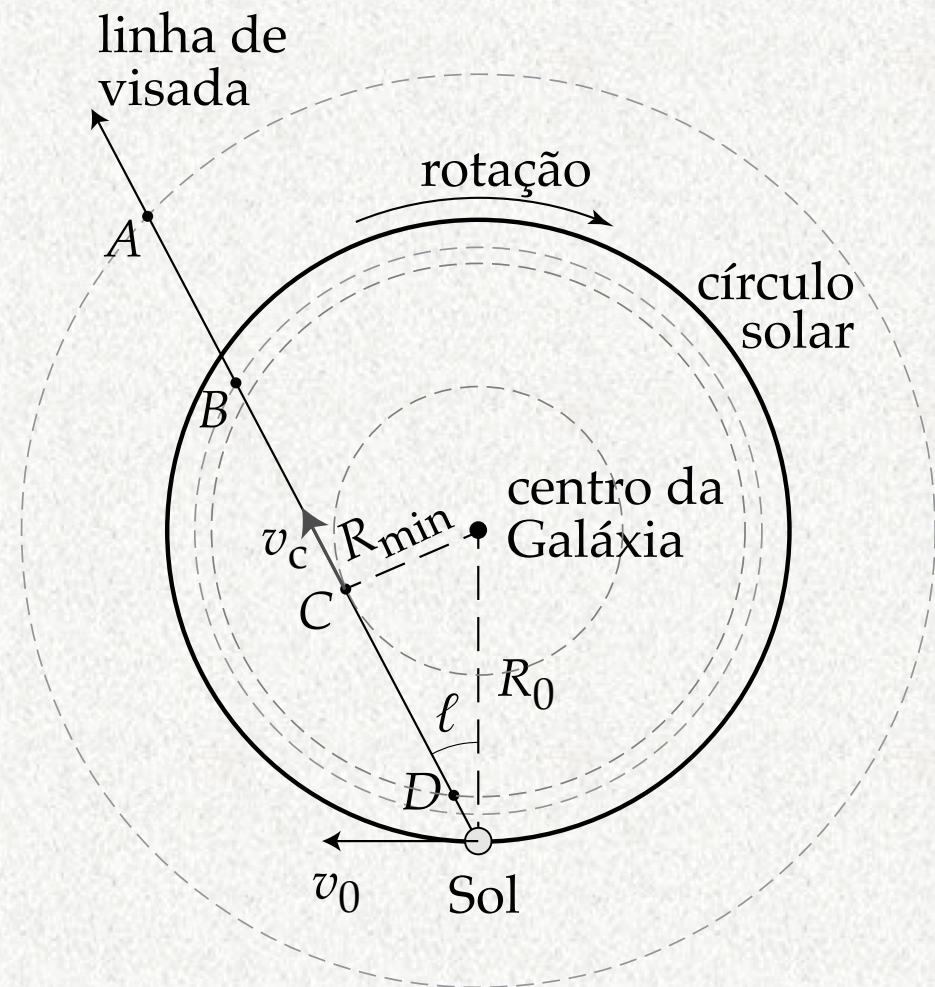
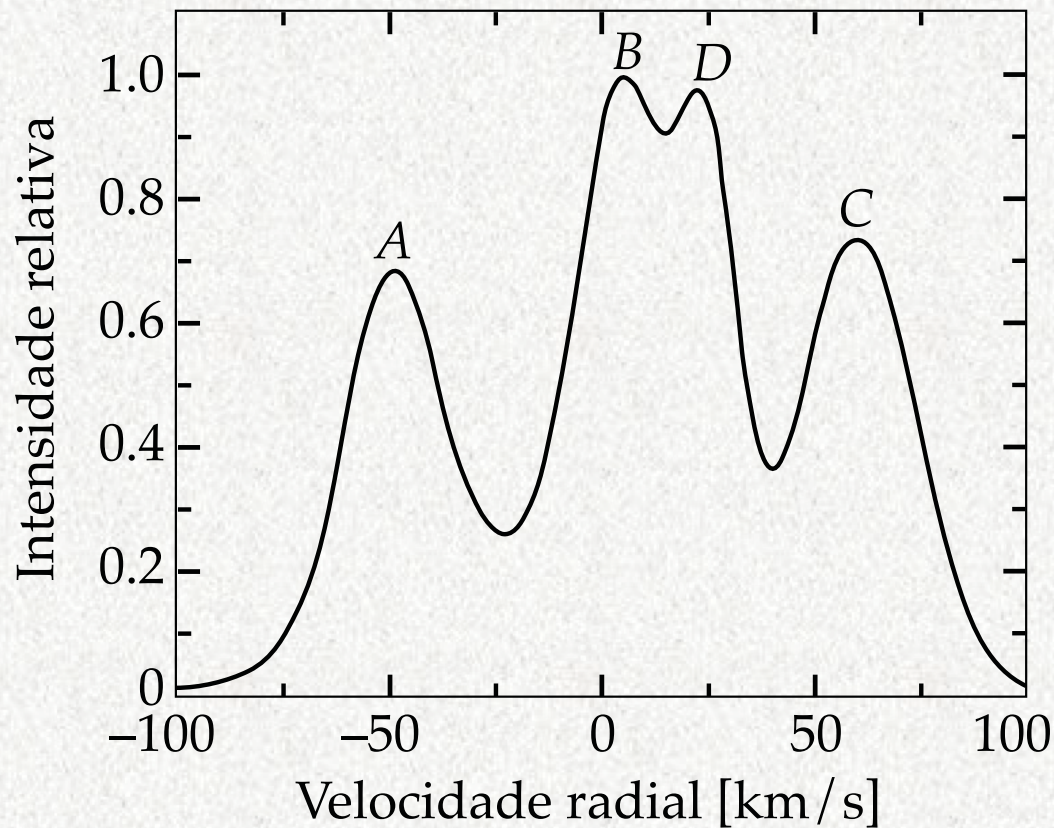


(Wavelength = 21.1 cm)

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Predita em 1944, foi observada pela primeira vez em 1951.

# Observação do HI



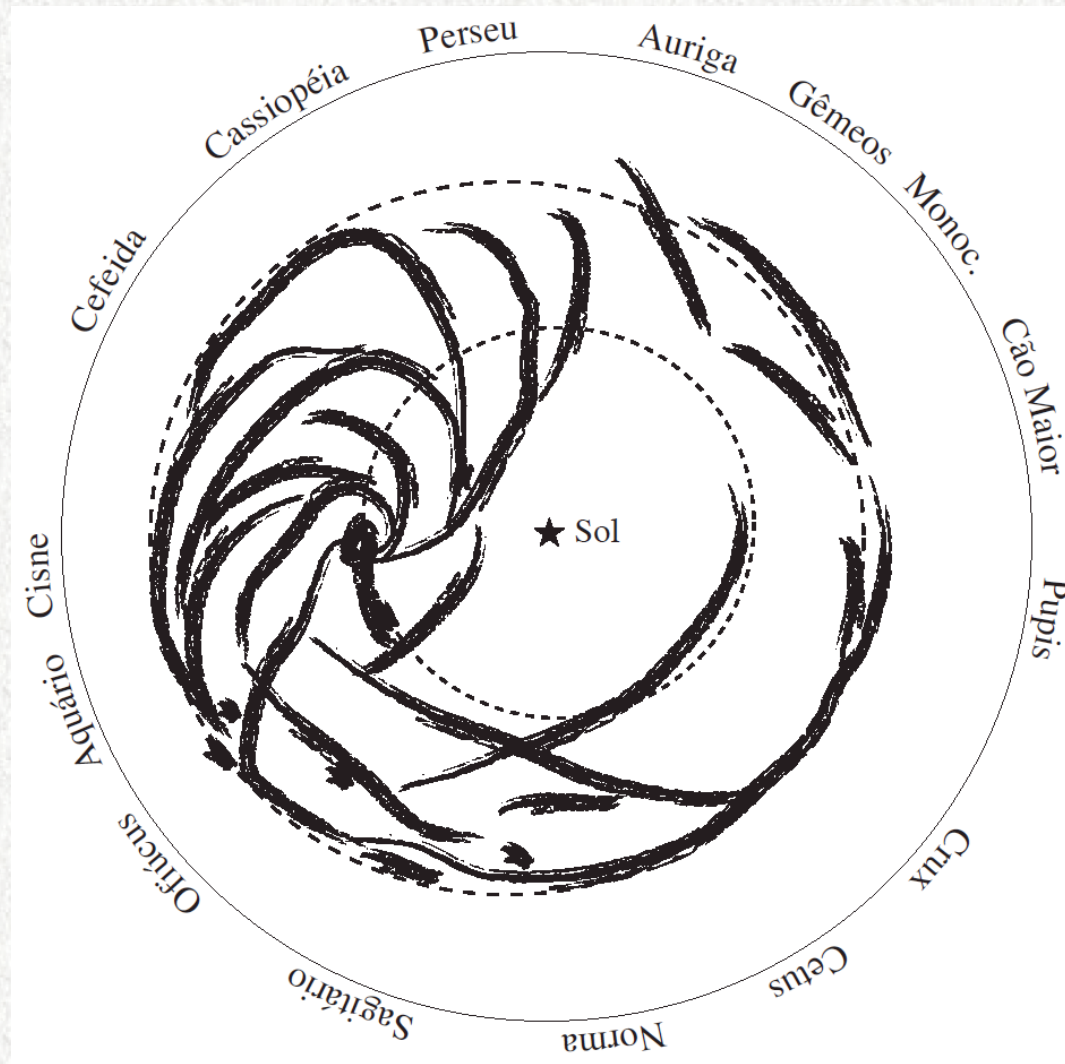
Devido ao efeito Doppler, os picos de emissão têm velocidades diferentes.

As intensidades correspondem às regiões com maior (ou menor) quantidade de gás.

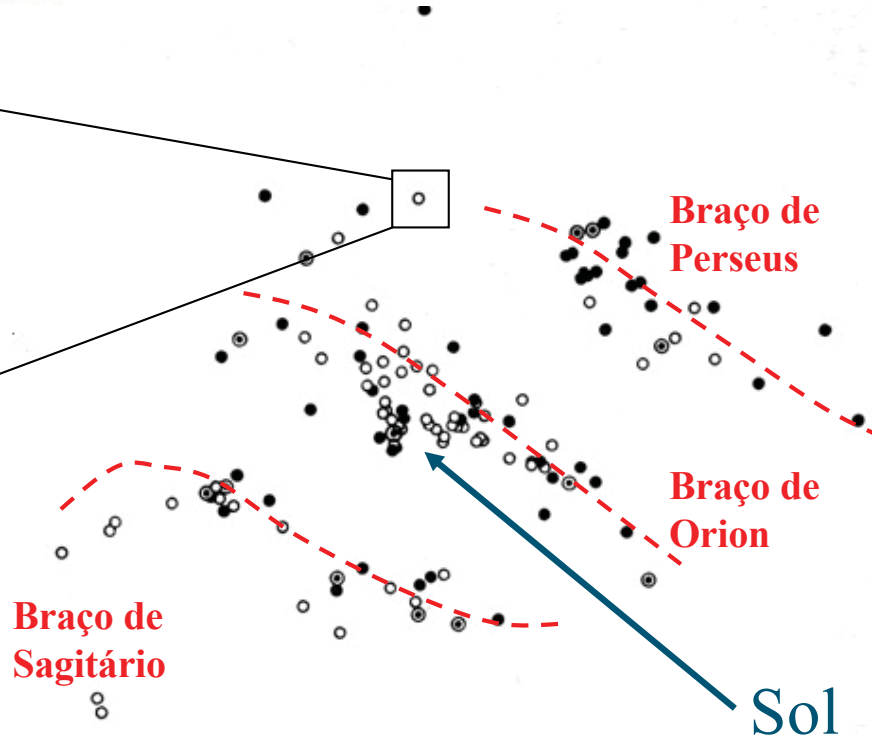
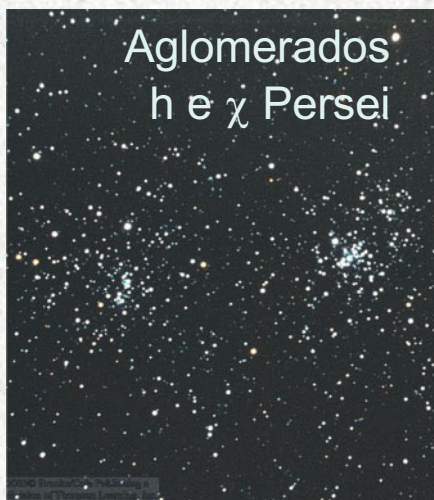
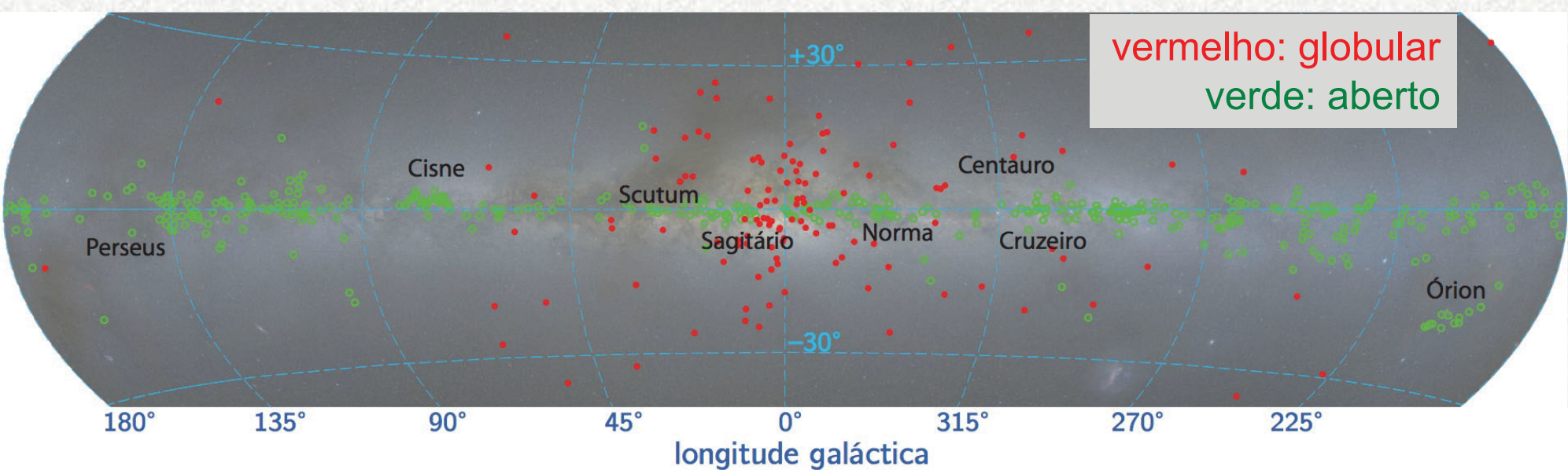


# Braços

- A Via Láctea seria uma “nebulosa” espiral?



Easton, 1900. Primeiro esboço dos braços espirais da Via Láctea, inspirado na aparência de “nebulosas espirais”.

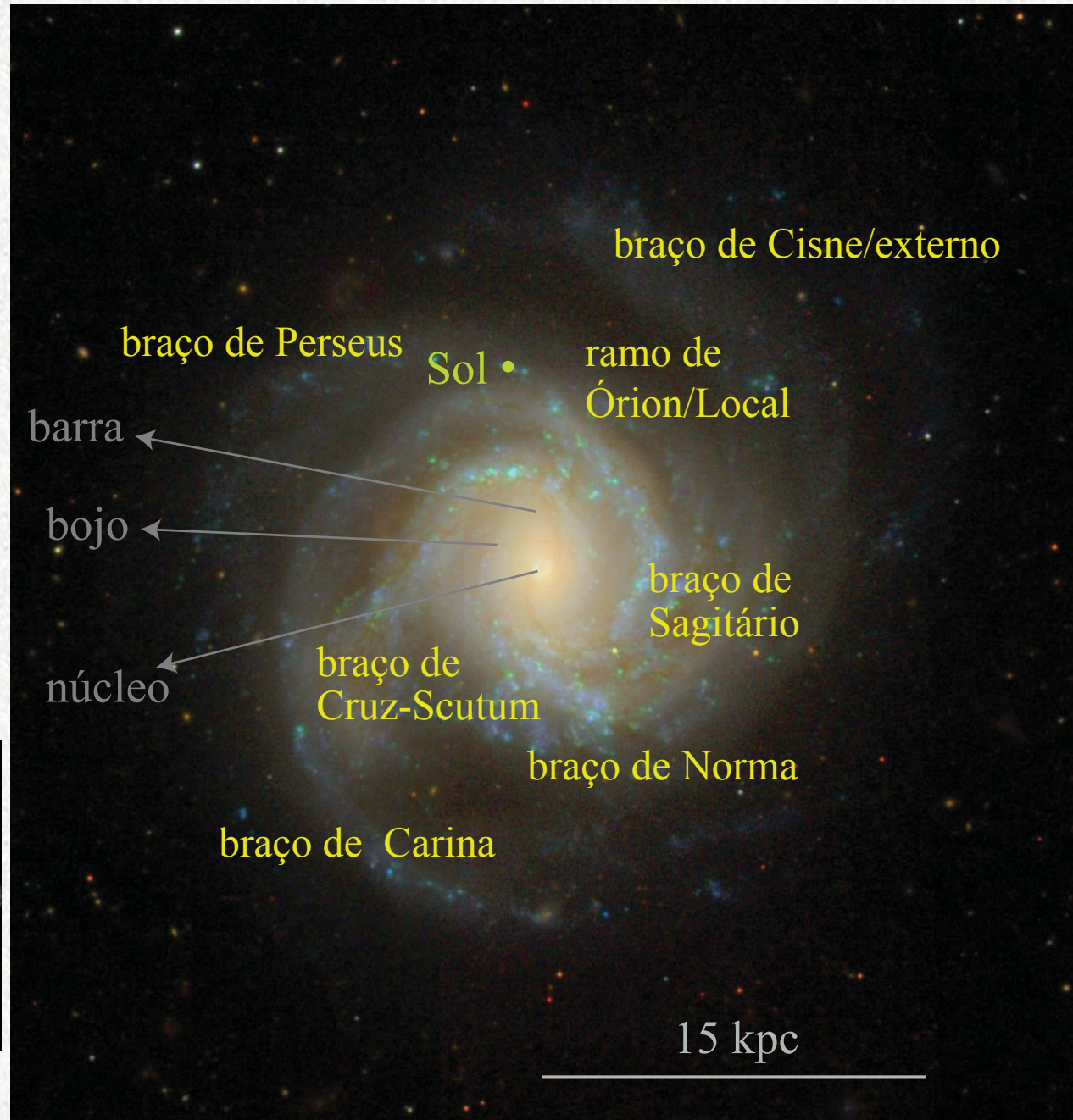


Distribuição dos Aglomerados Estelares Abertos (p.ex., Plêiades, Híades...)  
Bons traçadores dos braços espirais

# Braços espirais

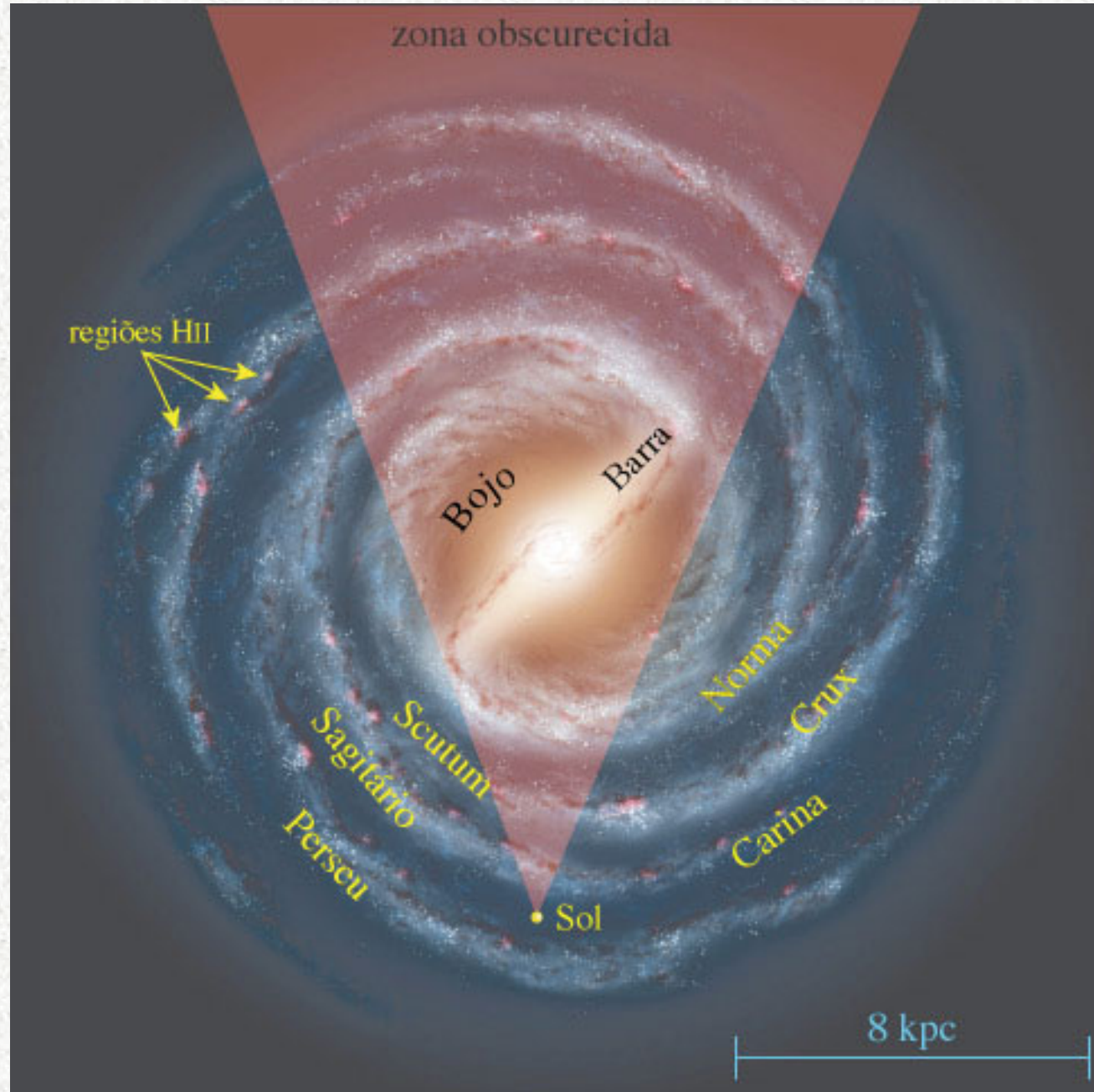
- Braços espirais no disco Galáctico.
- São 4 braços, mas em dois deles damos dois nomes pois estão em lados opostos em relação ao bojo.

Lembrando que é isto que observamos (no visível):



# Obscurecimento pela poeira

- No visível, é impossível observar o outro lado da Galáxia.
- Isto é feito no infravermelho e em rádio. A poeira é relativamente transparente nestes comprimentos de onda.
- Regiões HII também traçam os braços.

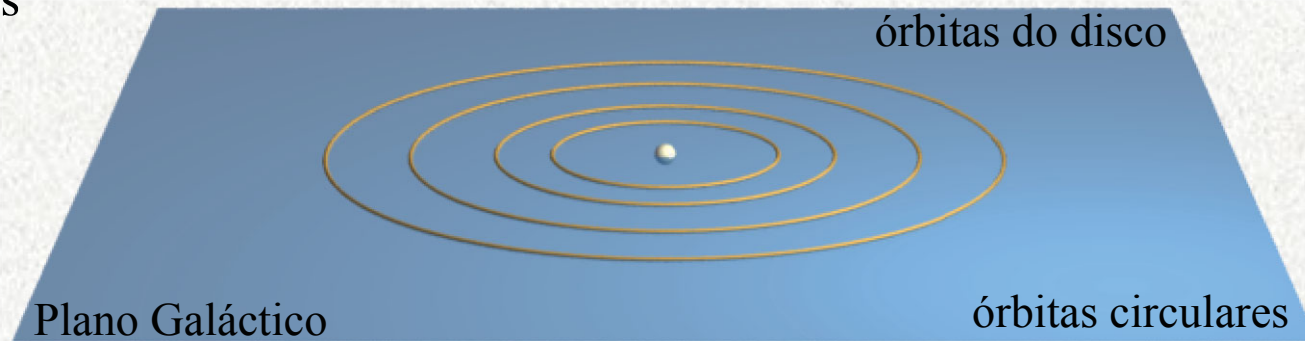


# Populações estelares

- No início dos anos 1940, aproveitando os apagões da 2ª Guerra Mundial, Walter Baade descobre que as estrelas se dividem em duas populações:

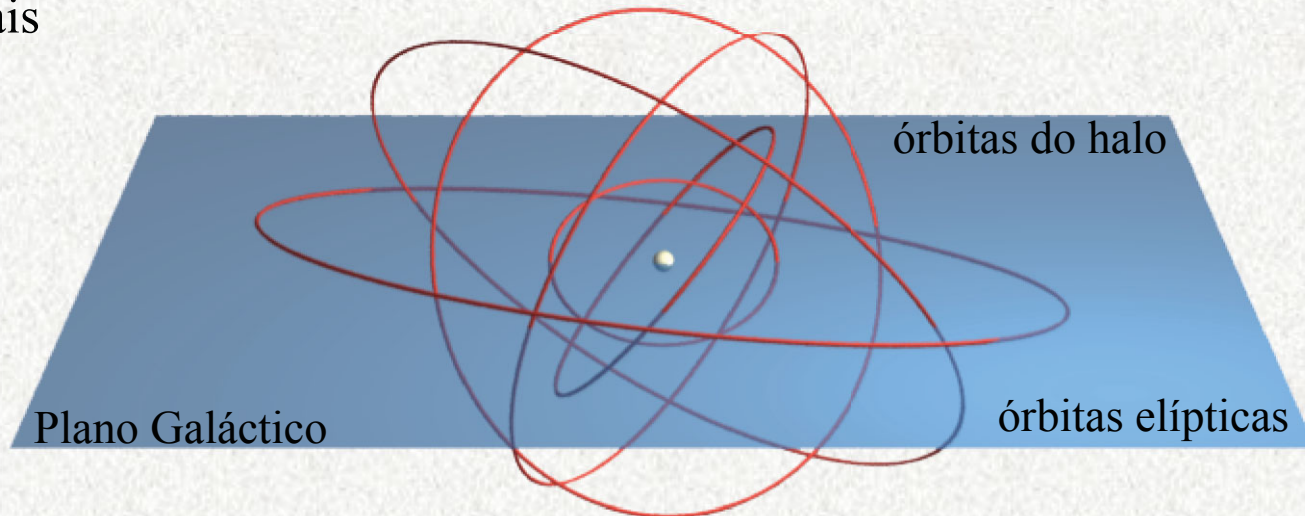
- População I:

- estrelas ricas em metais
- + azuis
- no disco da Galáxia
- movimento circular

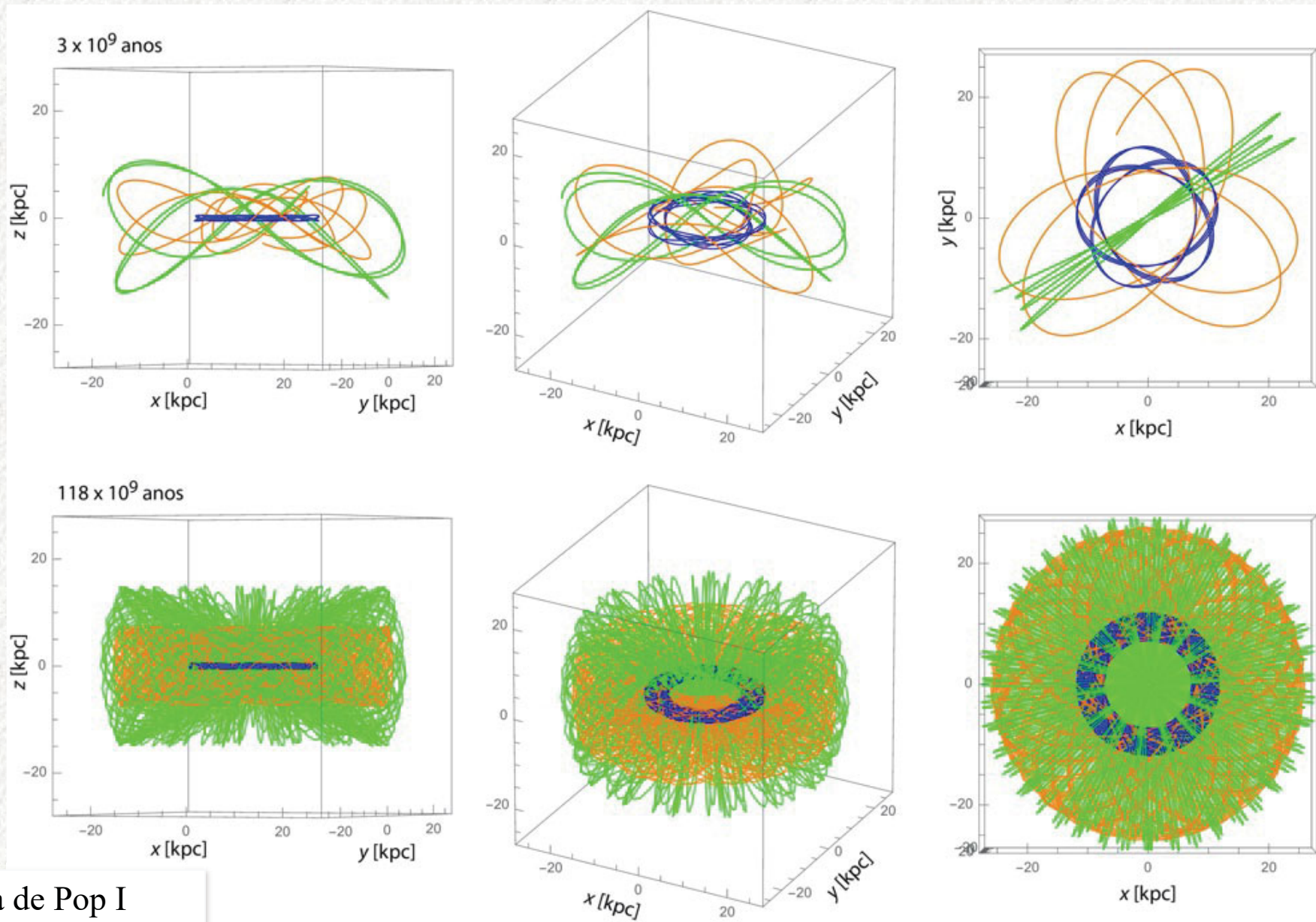


- População II:

- estrelas pobre em metais
- + vermelhas
- no bojo e no halo da galáxia
- movimento elíptico, fora do disco.



# Exemplo de órbitas em um disco estelar



azul: órbita de Pop I  
Verde e laranja: Pop II

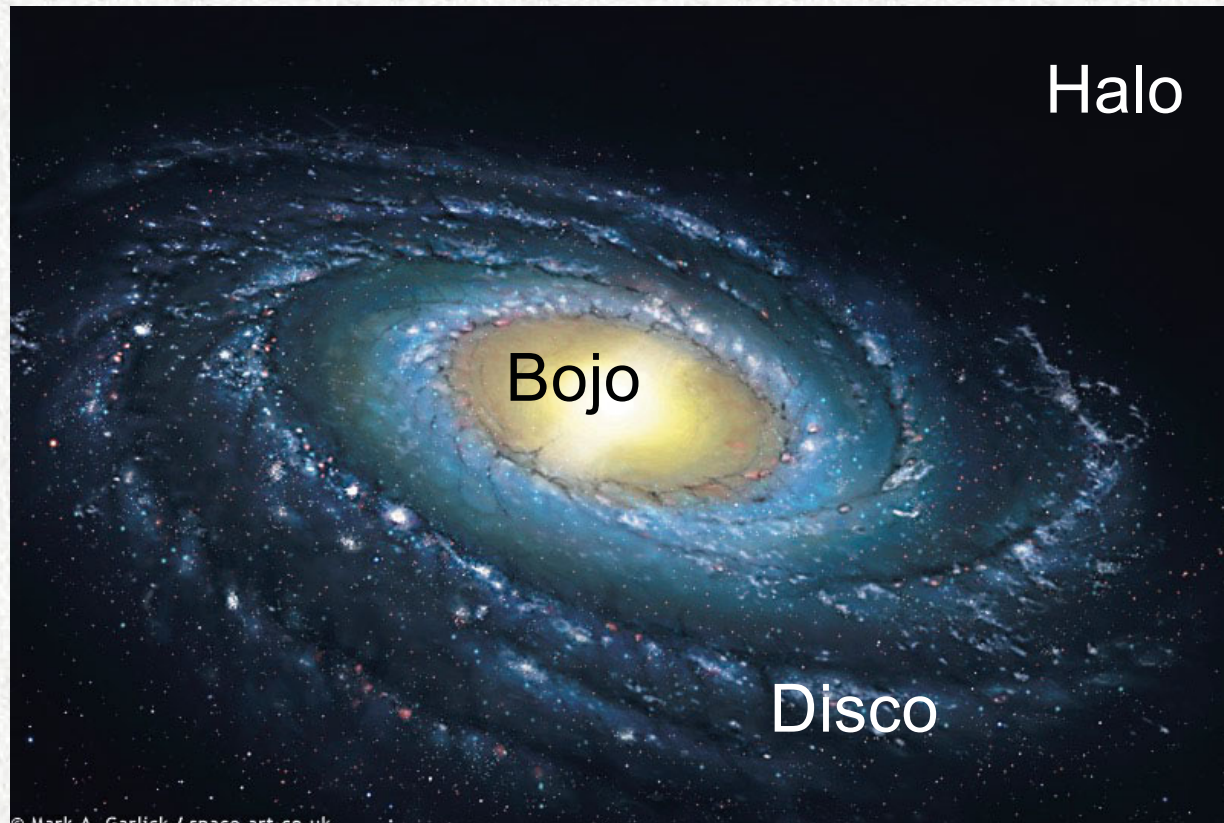
Órbitas são um pouco mais complicadas que simples elipses

# Componentes da Galáxia

	Bojo	Disco	Halo
Diâmetro	2 kpc	30 kpc	~500 kpc
Massa total	$4,5 \times 10^9 M_{\odot}$	$45 \times 10^9 M_{\odot}$	$2000 \times 10^9 M_{\odot}$
Luminosidade	$5 \times 10^9 L_{\odot}$	$25 \times 10^9 L_{\odot}$	$\sim 1,0 \times 10^9 L_{\odot}$
Pop. estelar	população II	população I	população II

Binney & Tremaine 2008

- O Bojo é a componente **mais brilhante**, as estrelas estão concentradas.
- O *Disco* é a componente **mais luminosa**, têm a maior parte das estrelas. O *disco gasoso* tem  $\sim 50$  kpc de diâmetro.
- O *Halo* é a de **maior massa** e o **menos luminoso**.



# Componentes da Galáxia

## Disco

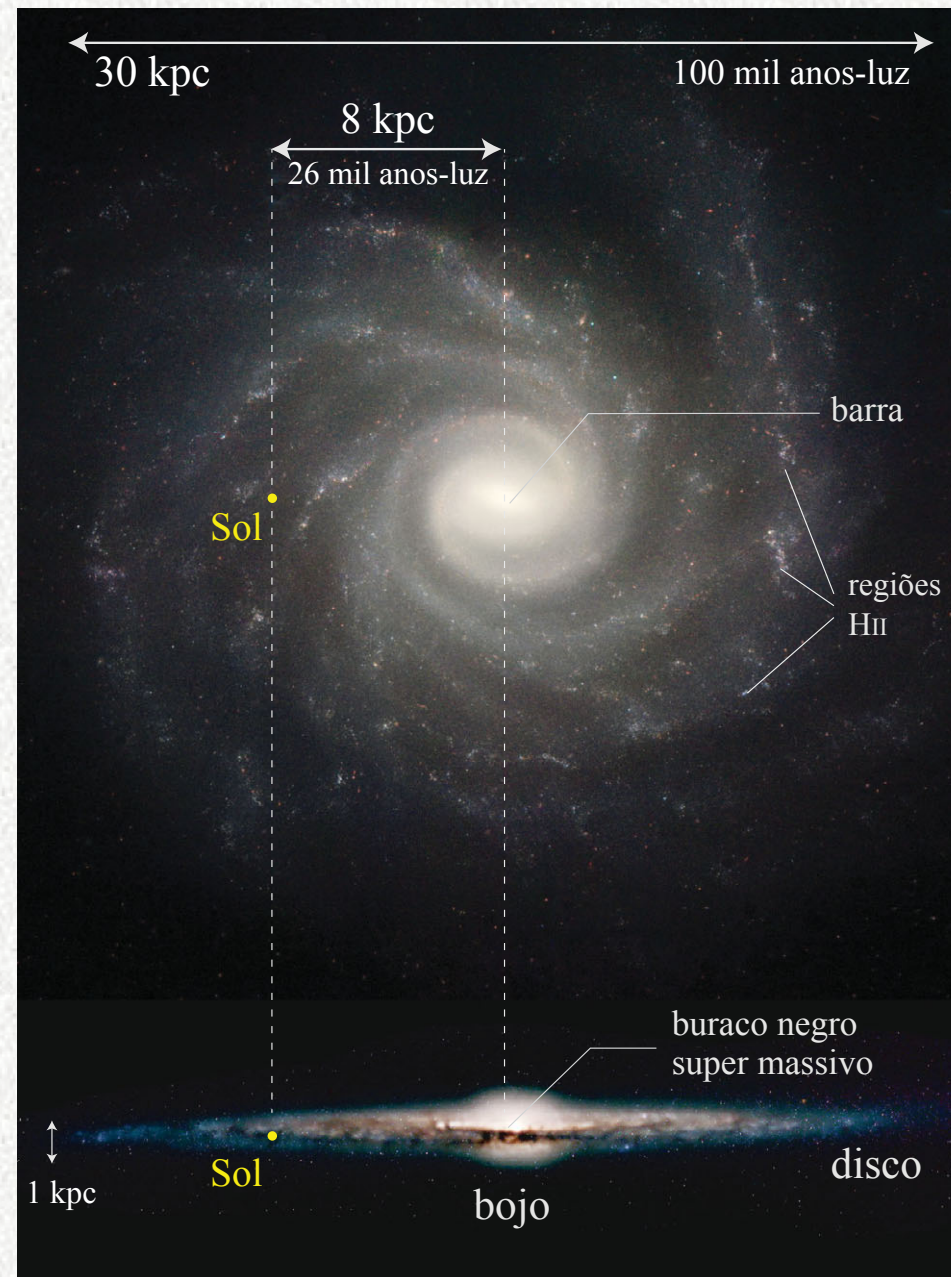
- ✓ Estrelas de população I  
(*jovens, ricas em metais*)
- ✓ Aglomerados abertos
- ✓ Regiões HII
- ✓ Nuvens moleculares, gás, poeira

## Bojo

- ✓ Estrelas de população II  
(*antigas, pobres em metais*)
- ✓ Buraco negro super massivo

## Halo

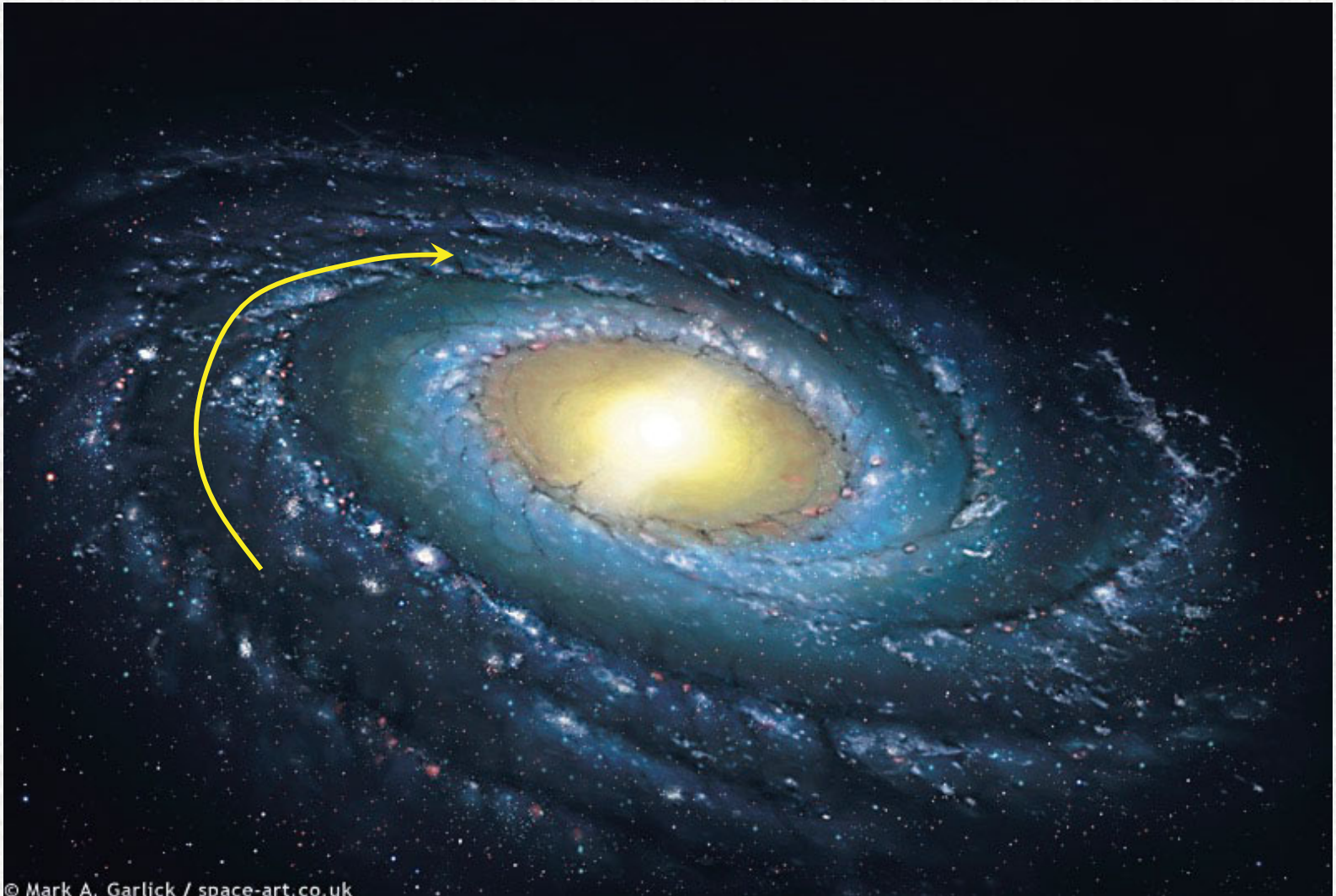
- ✓ Aglomerados globulares
- ✓ Estrelas de Pop II



(NGC 1232 de face, NGC 4565 de perfil)



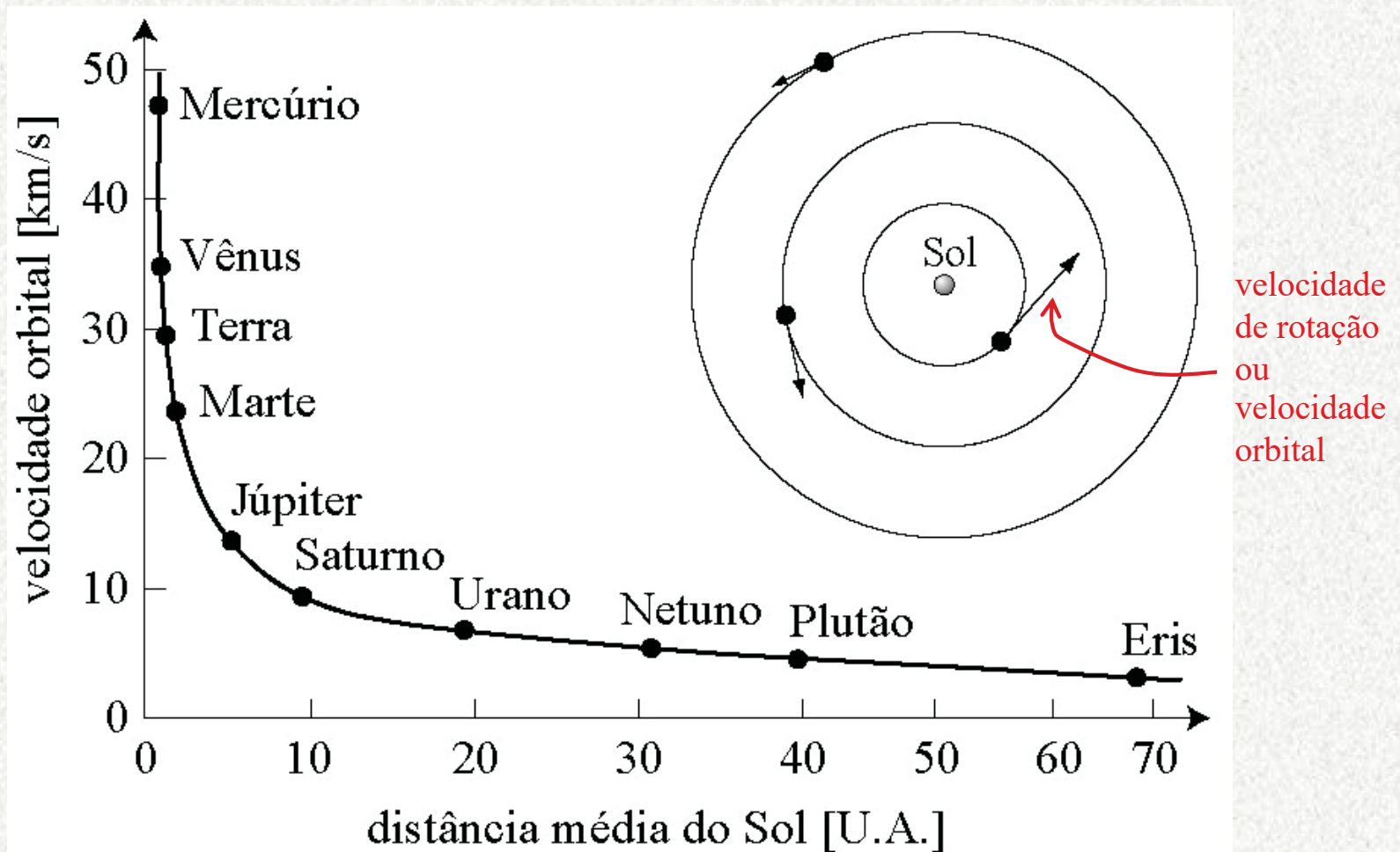
# Rotação da Galáxia



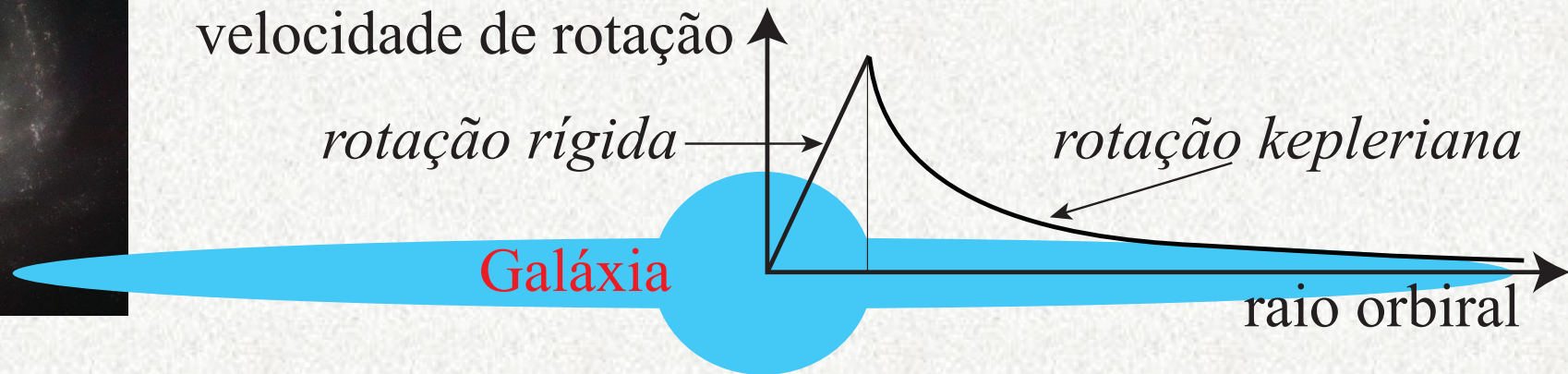
- Rotação em torno do centro Galáctico.

# Curvas de rotação

- Medimos a velocidade para corpos em várias distâncias do centro de rotação.
- Exemplo: **Sistema Solar**: curva de rotação kepleriana.



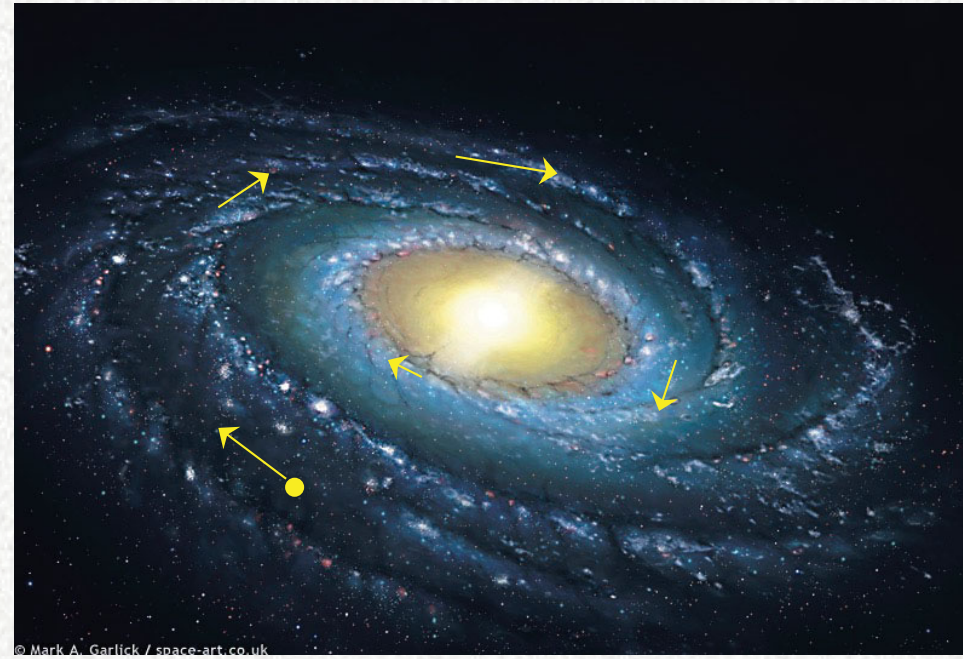
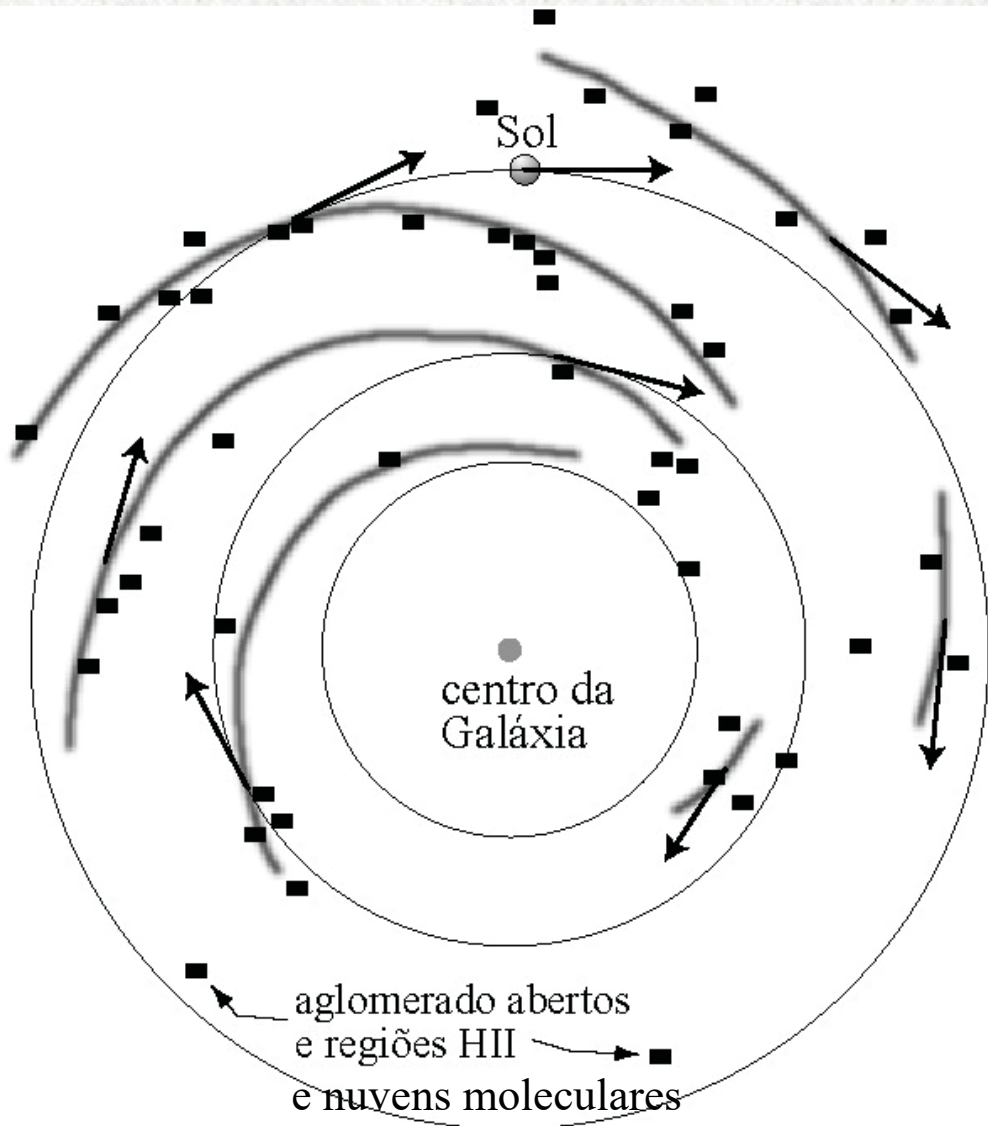
# Curva de rotação “esperada” para a Galáxia



- **No disco**, a quantidade de estrelas diminui rapidamente a medida que nos afastamos do centro e a curva de rotação esperada deve ser semelhante à do Sistema Solar (rotação kepleriana).
- **No bojo**, há uma grande quantidade de estrelas muito próximas. Neste caso, esperamos uma **rotação rígida**, onde todos os objetos deslocam-se à mesma velocidade angular, e a velocidade de rotação aumenta linearmente com a distância galactocêntrica, por exemplo como um DVD ou uma roda de carro.

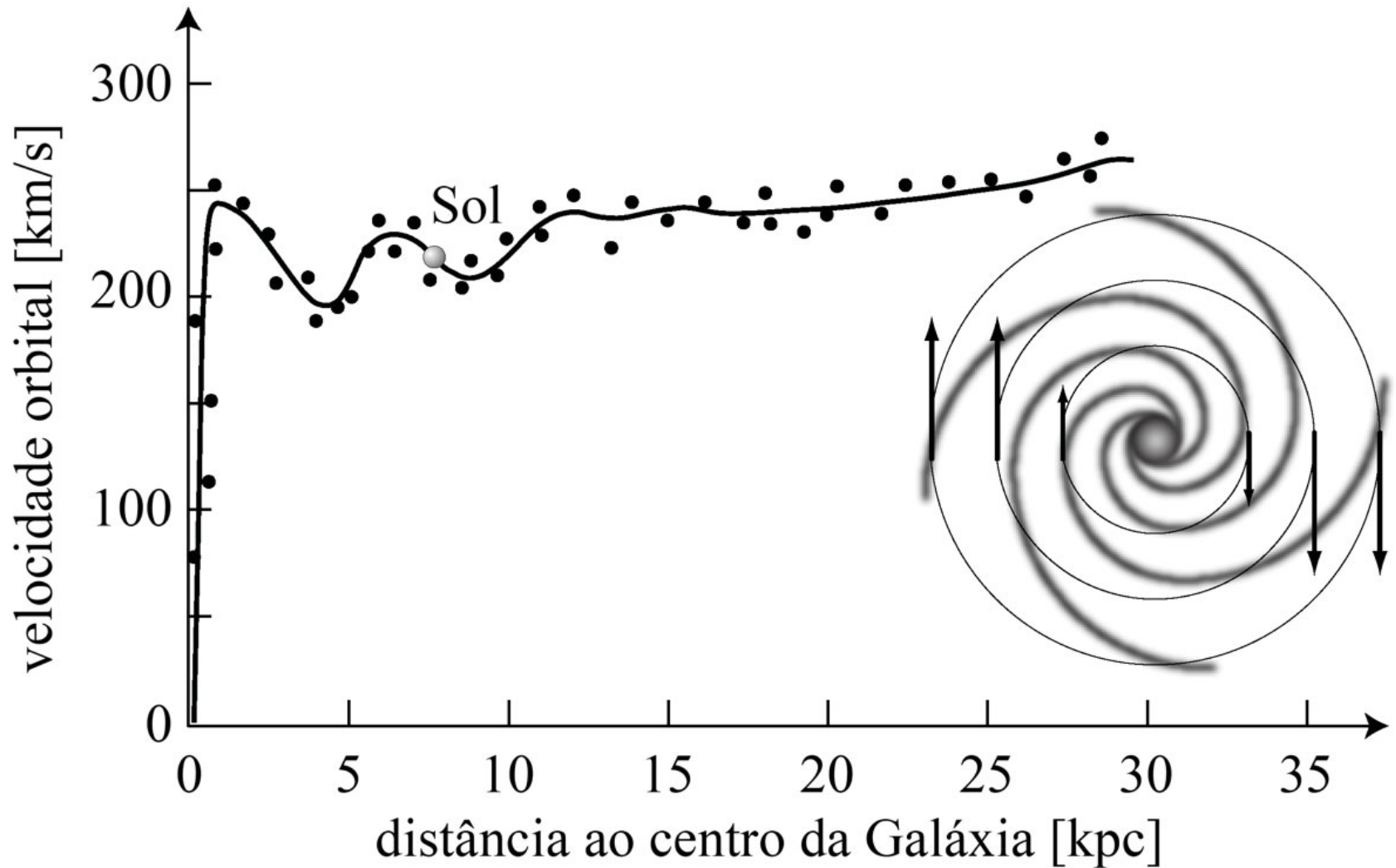
# Medindo a rotação da Via Láctea

- Difícil, pois estamos dentro do disco da Galáxia.
- As flechas (vetores) indicam a velocidade orbital.



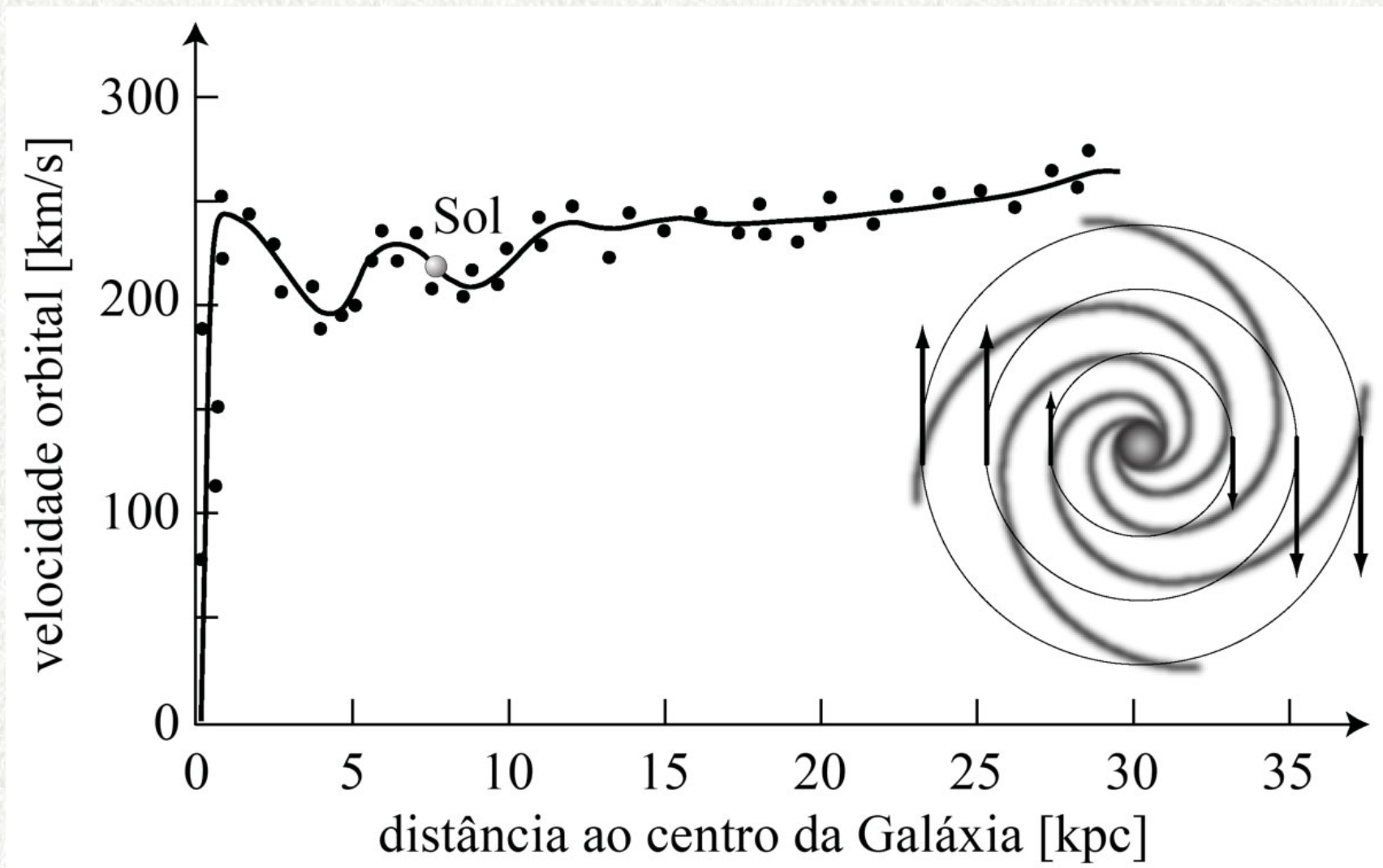
- Para medir a velocidade de rotação precisamos levar em conta o movimento do Sol.

# Curva de rotação da Galáxia



- Até ~ 15kpc: regiões HII, estrelas O e B (visível, infravermelho, rádio)
- Além de ~ 15 kpc: HI (rádio, 21cm)

# Curva de rotação da Galáxia

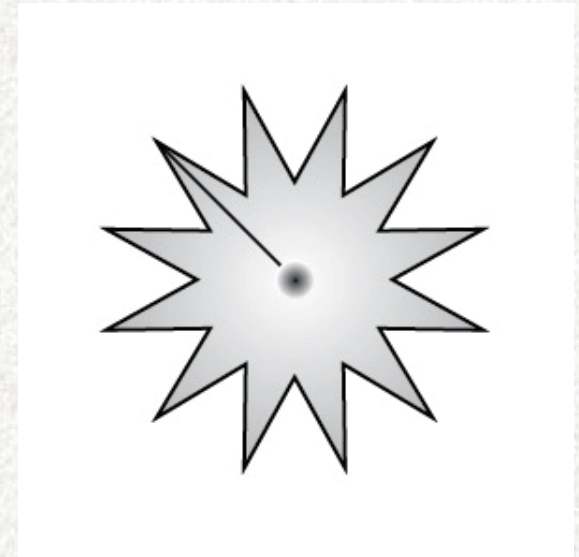
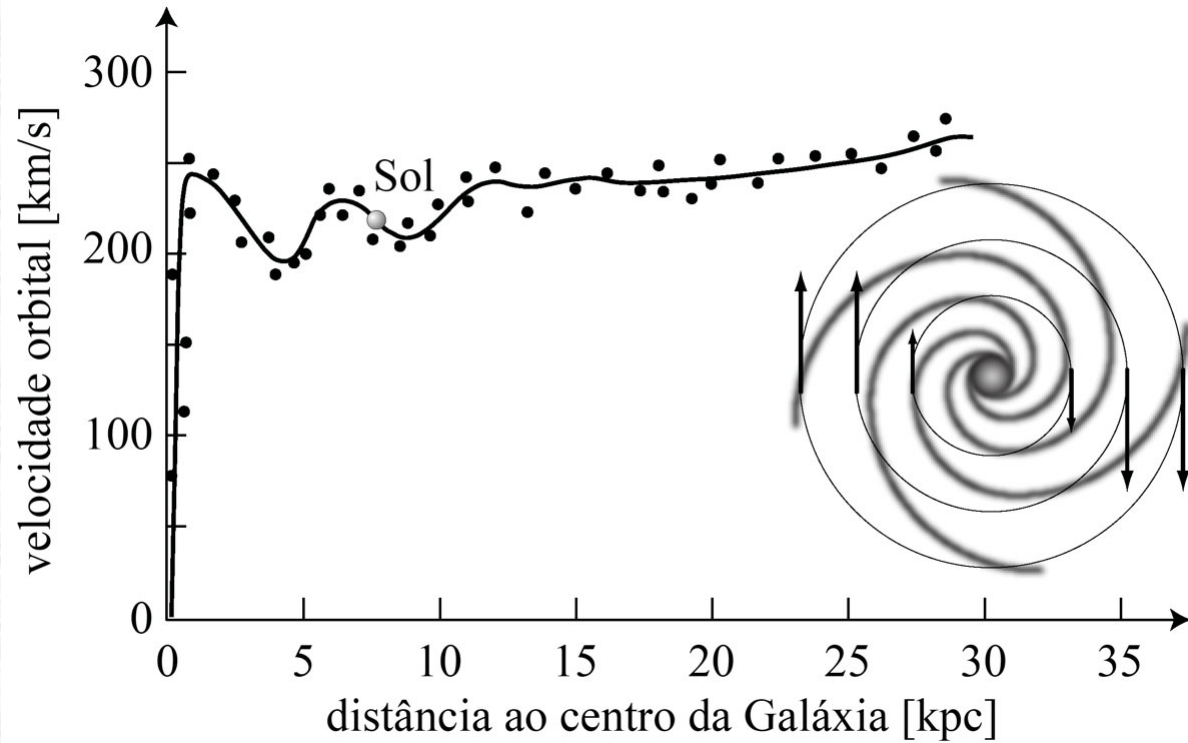


- O Sol se move com cerca de 200--220 km/s.
- O Sol está a cerca de 8,0 kpc do centro da Galáxia.
- Logo, uma volta do Sol leva de 210--225 milhões de anos.

No último “ano Galáctico” a Terra estava no Triássico.



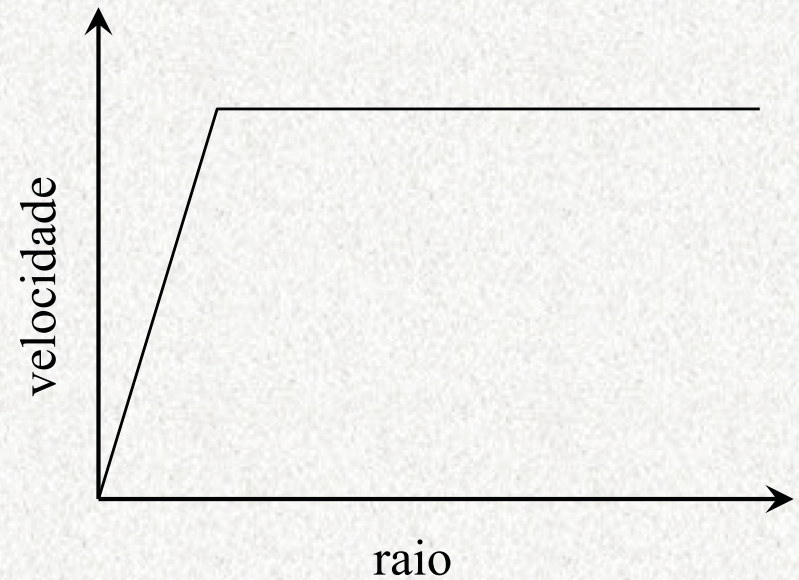
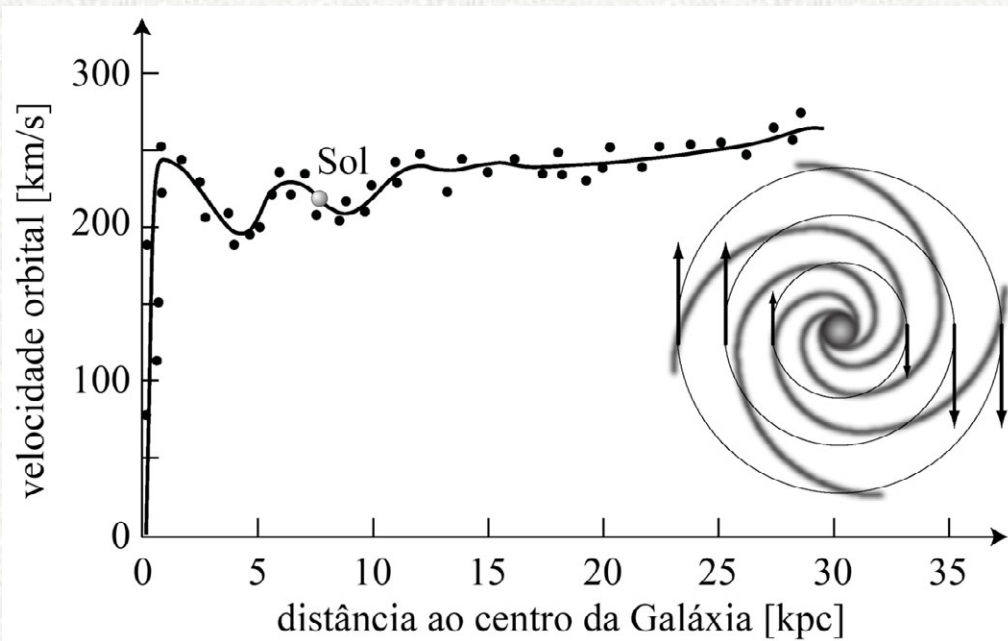
# Curva de rotação da Galáxia



rotação de corpo sólido

- Objetos que estão mais distantes do centro do que o Sol levam mais tempo para dar uma volta completa.
- Rotação diferencial.
- Na rotação de corpo sólido, as partículas levam o mesmo tempo para dar uma volta completa.

# Curva de rotação da Galáxia



- Até cerca de 2 kpc, velocidade proporcional à distância ao centro:

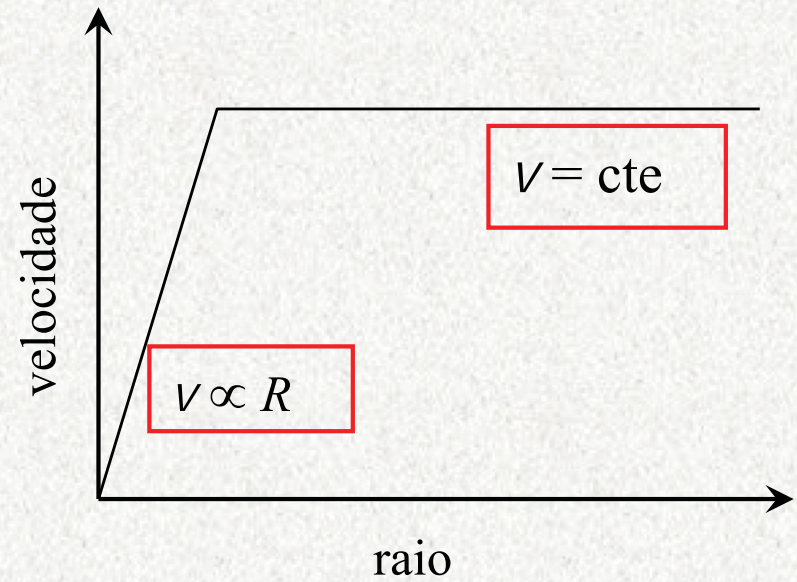
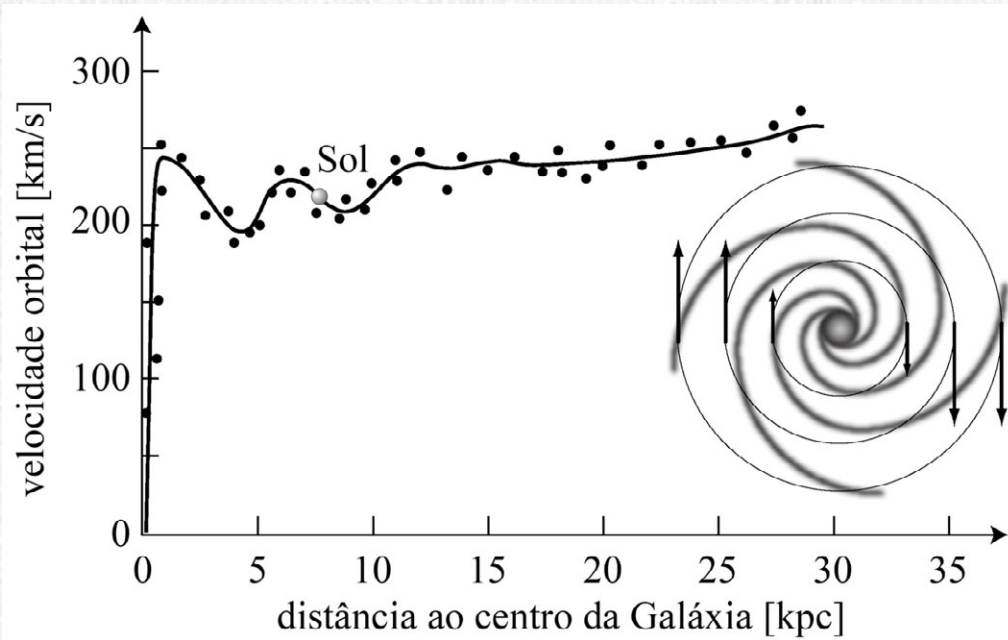
- $v \propto R$

- Além de  $\sim 2$  kpc, velocidade constante:

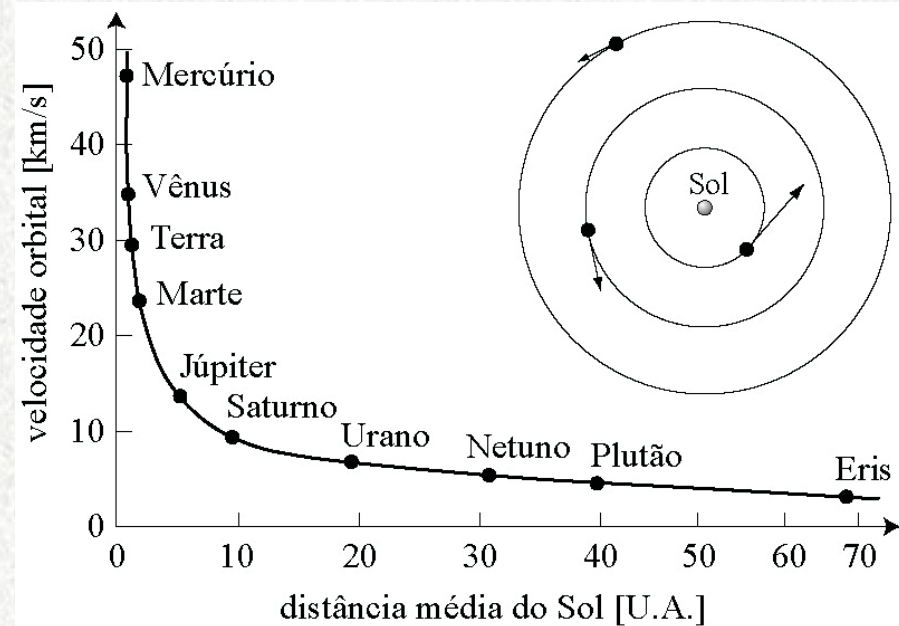
- $v = \text{cte}$



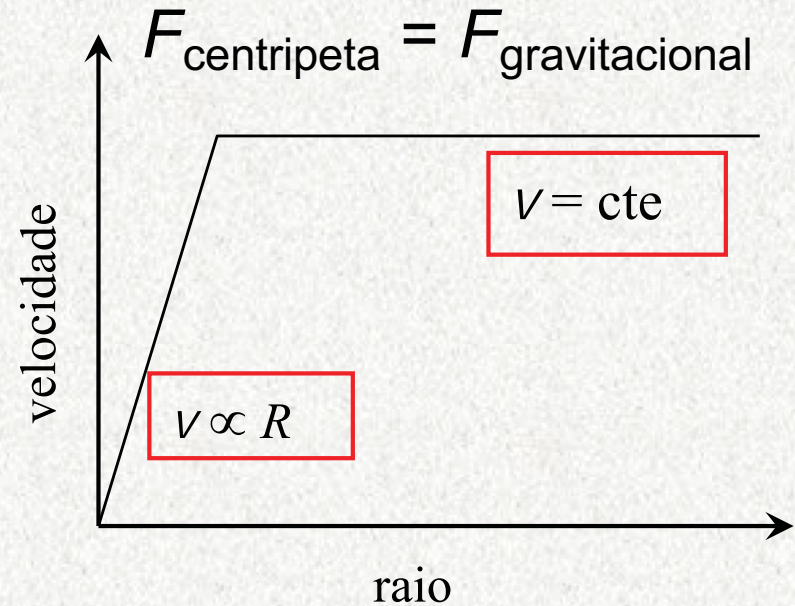
# Curva de rotação da Galáxia



- O que “segura” as estrelas, o gás, a poeira em órbita é a massa da Galáxia contida dentro da distância  $R$ .
- Se não há mais massa, a velocidade orbital deve diminuir com a distância, como no exemplo do Sistema Solar.



# Curva de rotação da Galáxia

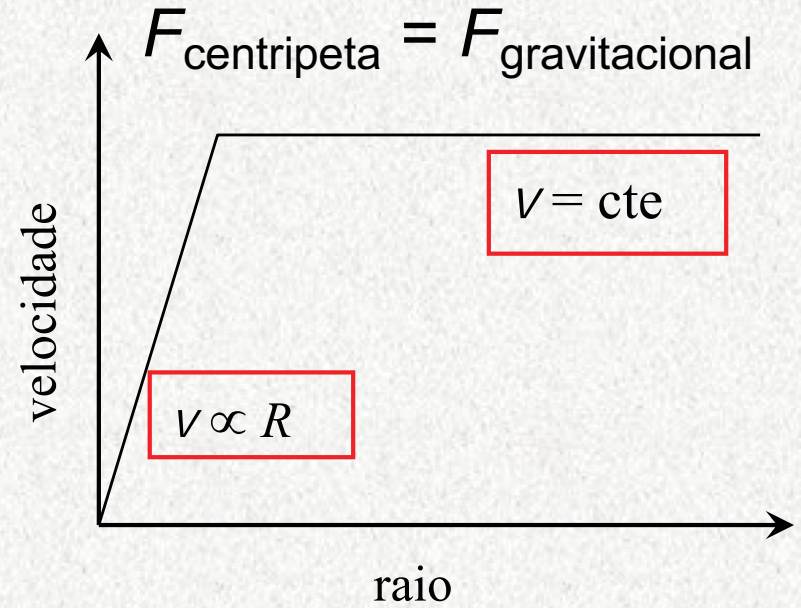
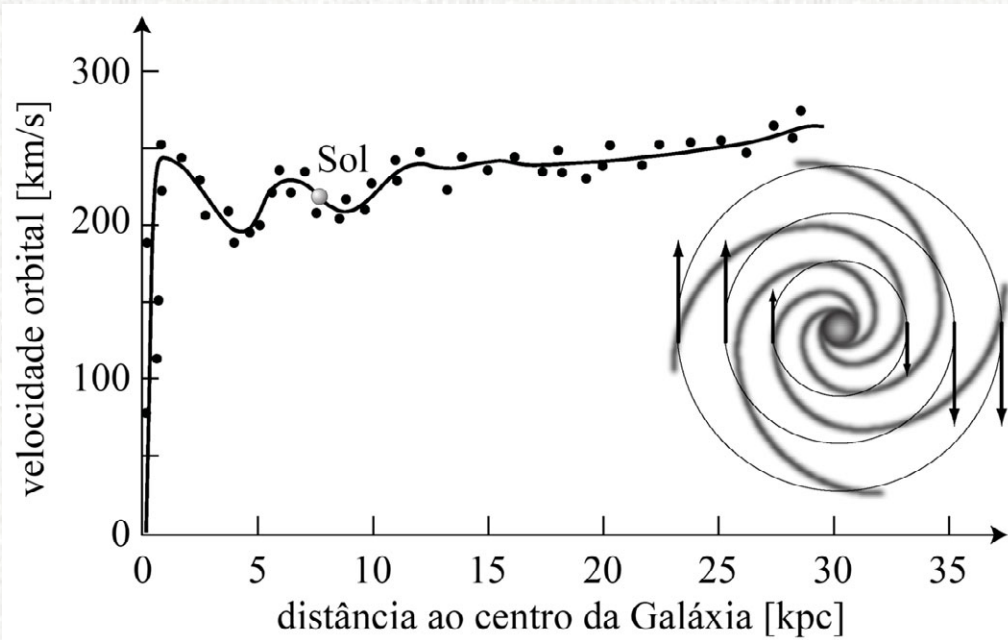


- A luminosidade da Via Láctea no interior do raio  $R$  obedece (empiricamente) a seguinte forma:

$$L(R) = \int_0^R I(R') 2\pi R' dR' = 2\pi I_0 R_d^2 [1 - (1 + R/R_d) \exp(-R/R_d)]$$

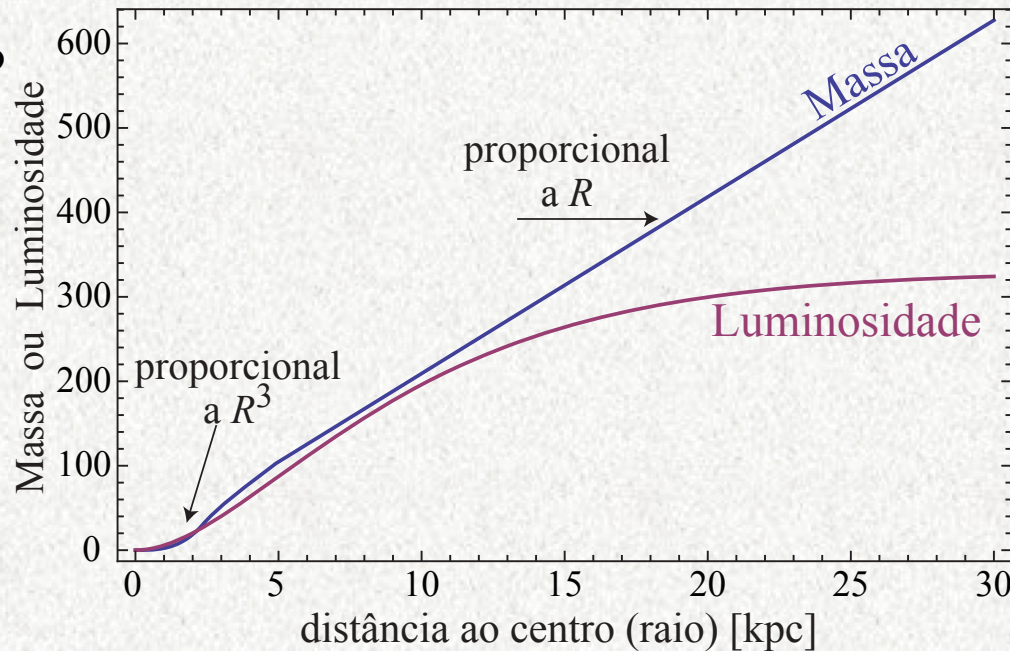
- $I(R)$  é o brilho superficial da galáxia, medido em [luminosidade solar/parsec<sup>2</sup>].
- O brilho superficial pode ser aproximado, para a Via Láctea e galáxias espirais em geral como uma exponencial:  $I(R) = I_0 \exp(-R/R_d)$
- $I_0$  é o brilho superficial central e  $R_d$  é a escala do disco. Estes são parâmetros que determinados empiricamente para cada galáxia.

# Curva de rotação da Galáxia

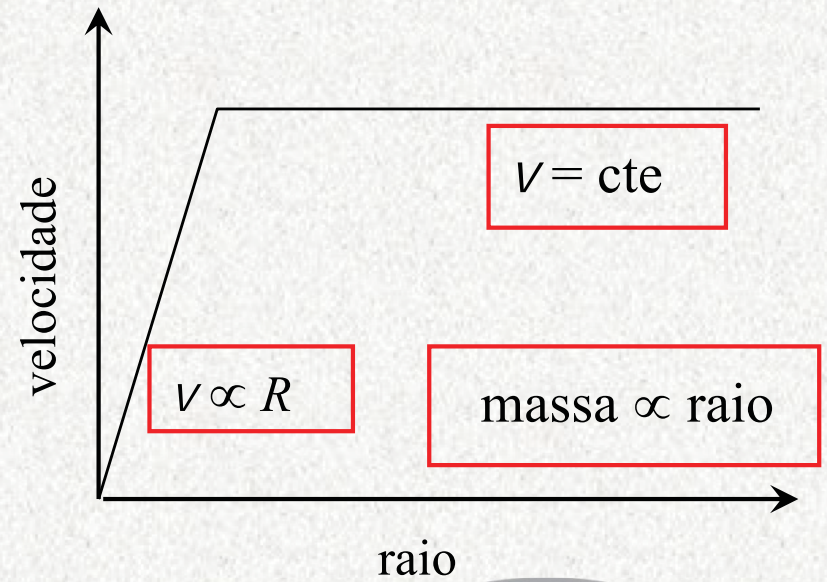
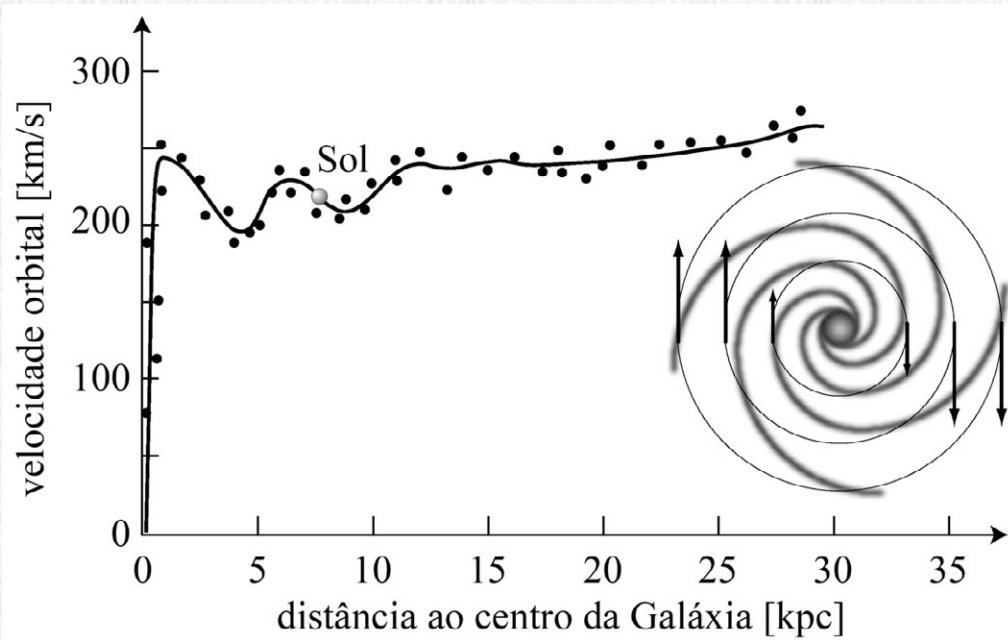


- A velocidade orbital constante a partir de um raio  $R$  implica que a massa aumenta com a distância ao centro da Galáxia:

$$M = \frac{v^2 R}{G}$$



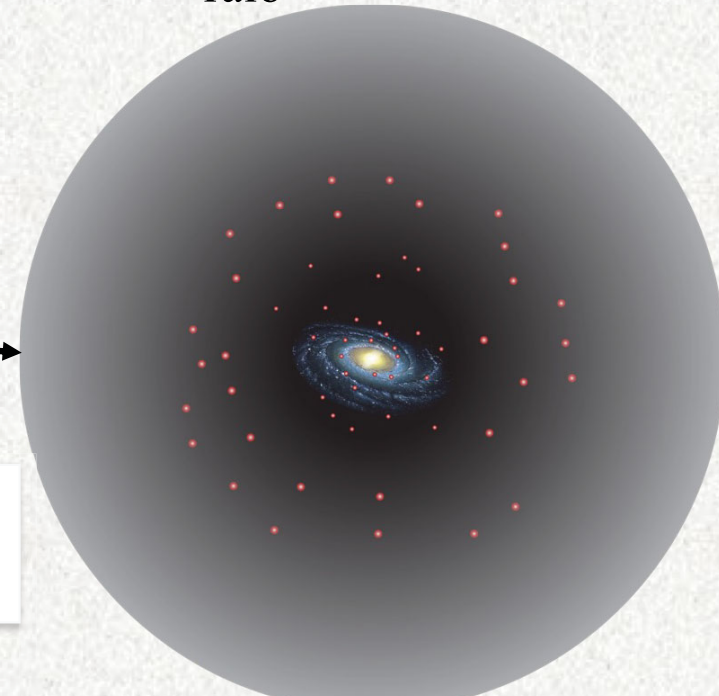
# Curva de rotação da Galáxia



- Mas praticamente não observamos mais estrelas além de  $\sim 15$  kpc, e apenas pouco gás até  $\sim 30$  kpc.
- Logo, existe massa mas de natureza invisível.

• **Matéria Escura.**

Halo dominado por matéria escura



# Matéria Escura

- O que pode ser a matéria escura?
- Gás (atômico ou molecular) que emite tão pouca radiação que não podemos vê-lo?
- Talvez as leis da dinâmica dos corpos (leis de Newton) não sejam válidas? (isto é, não há realmente matéria escura).
- Material “exótico” que interage apenas através da gravitação?
- Nenhuma opção acima?

# Matéria Escura

- Nossa melhor hipótese hoje é de que a matéria escura seja uma partícula supersimétrica, tipo WIMPs (*weak interacting massive particles*).
  - Partículas que interagem apenas pela gravitação e (talvez) a força fraca.
  - Por exemplo, neutralino (partícula hipotética).
- O neutrino já foi um suspeito, mas sua massa é muito pequena.
  - Além disto, se a matéria escura fosse de neutrinos, galáxias como a nossa dificilmente se formariam.
- Outras partículas exóticas são possíveis.
- Estas partículas são previstas pelo modelo padrão de física de partículas.
- Existem vários experimentos no mundo tentando detectar matéria escura, mas ainda sem sucesso:
  - <http://www.xenon1t.org/> (No Gran Sasso, Itália)
  - <http://www.sanfordlab.org/article/1612> (South Dakota, EUA)
  - <http://home.cern/about/physics/dark-matter> (LHC, Suíça/França)

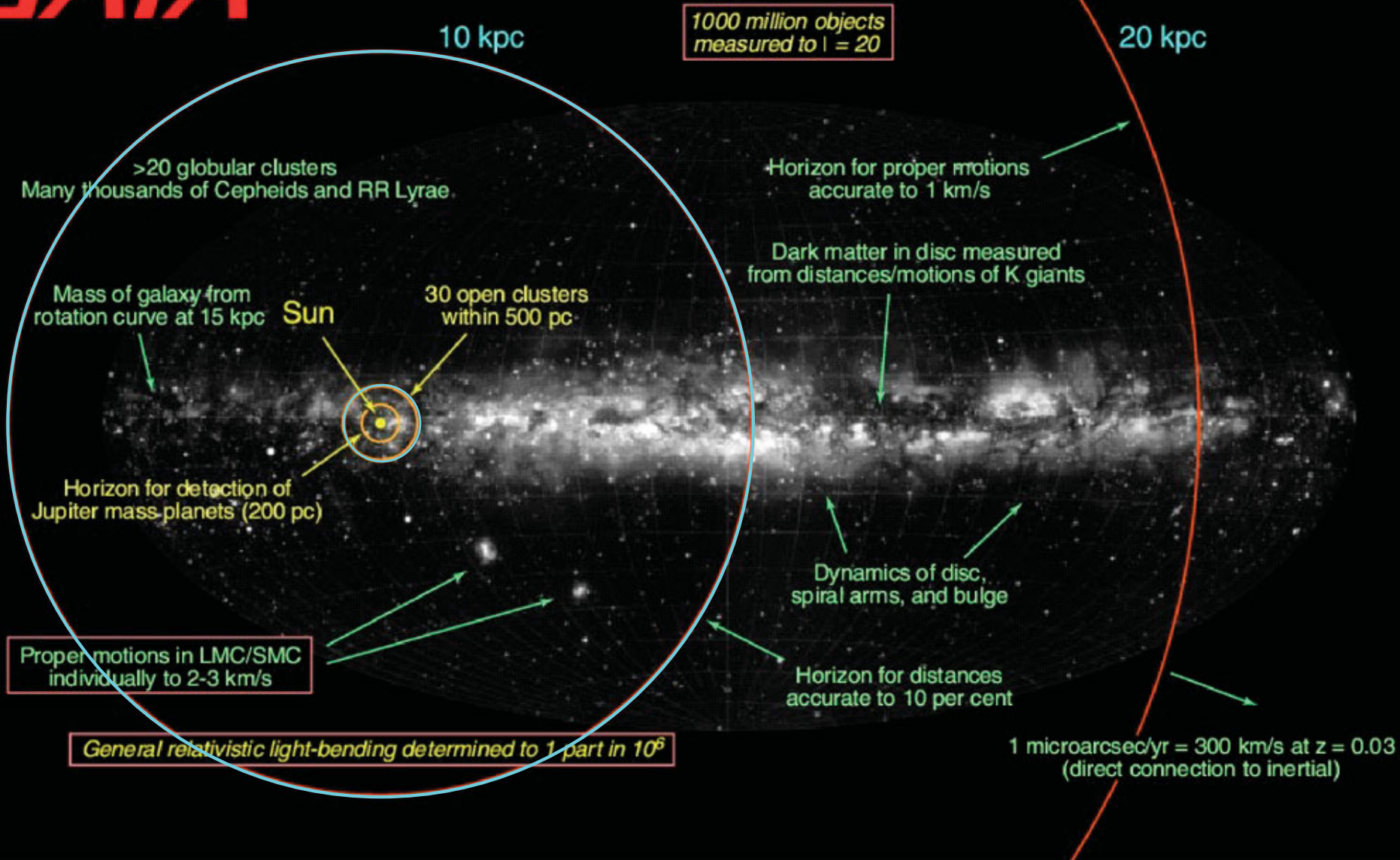
# Quantas estrelas têm na Galáxia?

- Não podemos (ainda) contar as estrelas individualmente.
- Estimamos o número de estrelas baseando-se na massa e/ou luminosidade. Em ambos os casos, não observamos diretamente estas quantidades na Via Láctea.
  - Massa total → curva de rotação.
  - Massa das estrelas → uma fração (qual?) da massa total.
  - Luminosidade → extrapolação de algum modelo de distribuição do brilho das estrelas.
- Existem estrelas com massa entre  $\sim 200$  e  $0,1 M_{\odot}$ , com muito mais estrelas de baixa massa do que de alta massa.

$$\text{número de estrelas} = \frac{\text{massa total} \times \text{fração em estrelas}}{\text{massa média das estrelas}} \approx \frac{2 \cdot 10^{12} \times 0,1}{1} = 200 \cdot 10^9$$

Os valores que encontramos na literatura variam tipicamente entre 100 e 400 bilhões de estrelas.

# GAIA



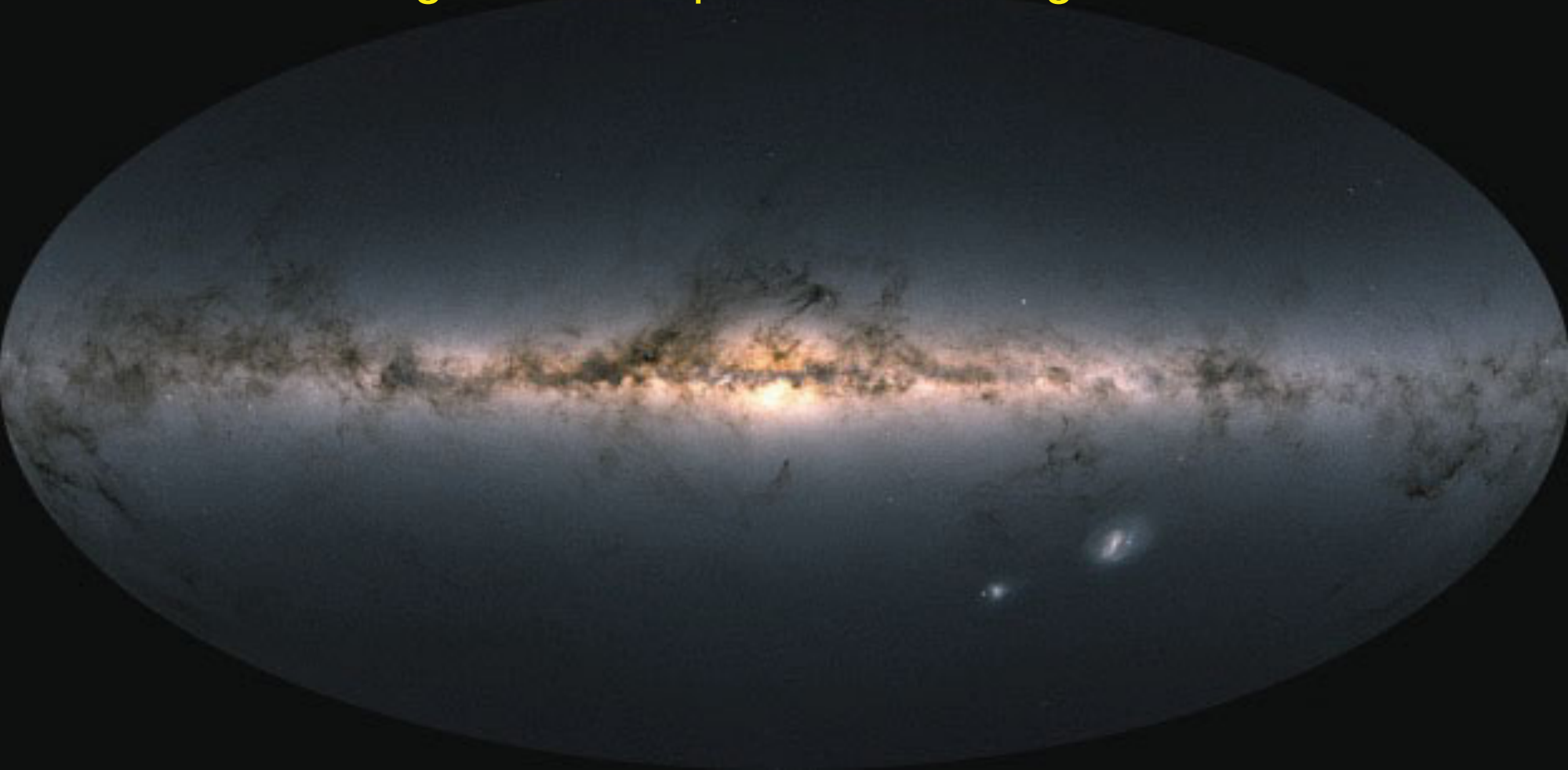
Projeto da ESA, lançado em dezembro/2013:

Medida de paralaxe até 10 kpc c/ 10% de precisão: <http://sci.esa.int/gaia/>



# Gaia DR3 – 06/2022

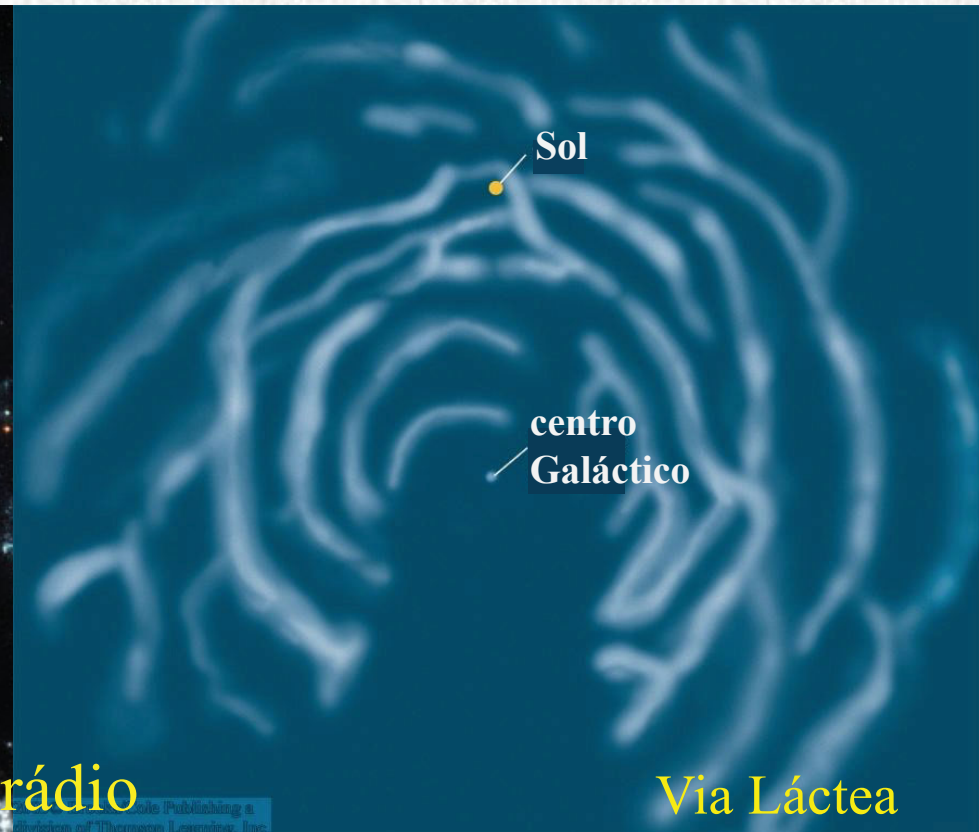
Imagem feita a partir do catálogo DR3



Cerca de 1,5 bilhão de estrelas com magnitude  $G < 21$

# Braços espirais

- São delineados por estrelas jovens, regiões HII, nuvens moleculares e poeira.
- Mal definidos pelas estrelas velhas.
- Muito mais fácil identificar em outras galáxias.



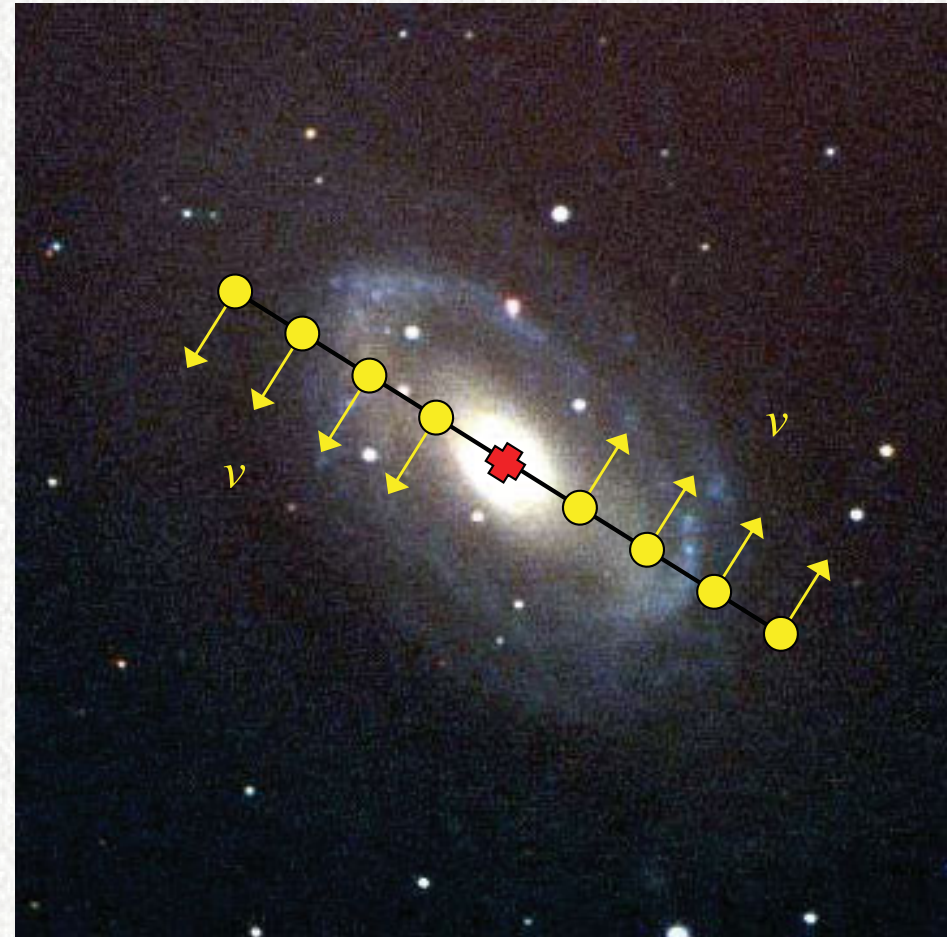
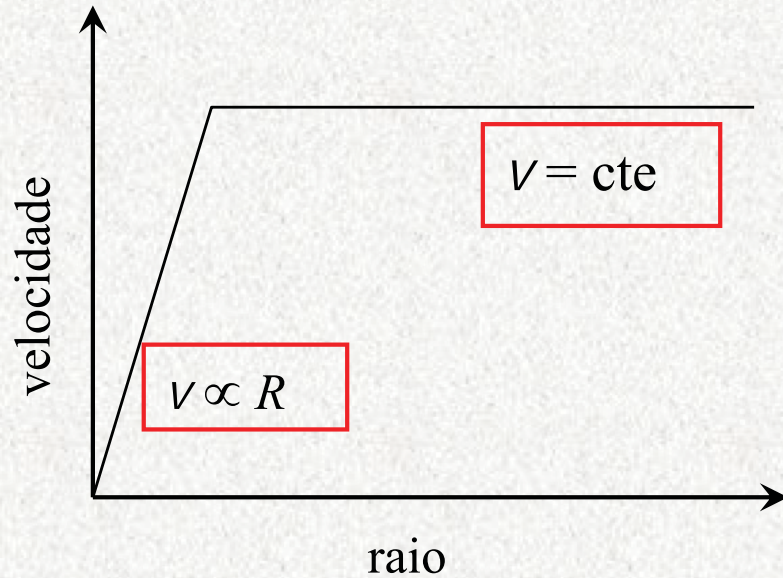
M101

visível rádio

Via Láctea

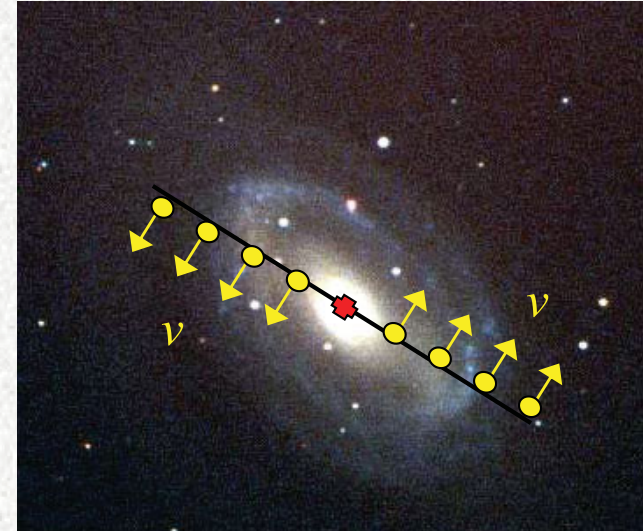
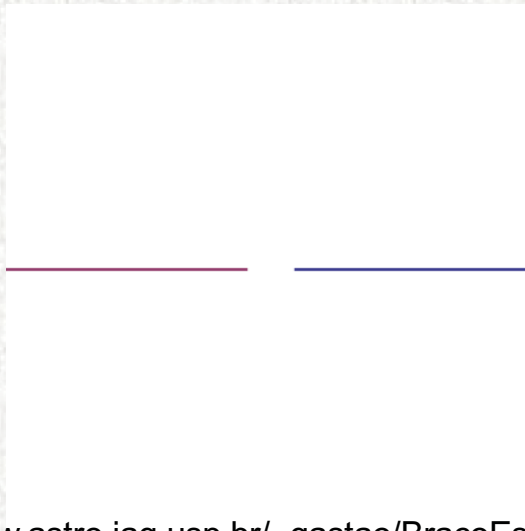
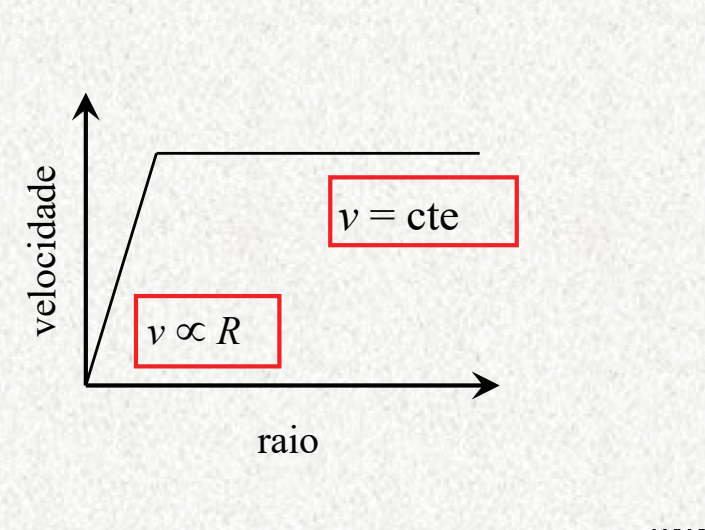
# Braços espirais

- Formação e persistência dos braços espirais.
- 1ª possibilidade: rotação das estrelas que formam os braços.



# Braços espirais

- Formação e persistência dos braços espirais.
- 1ª possibilidade: rotação das estrelas que formam os braços.



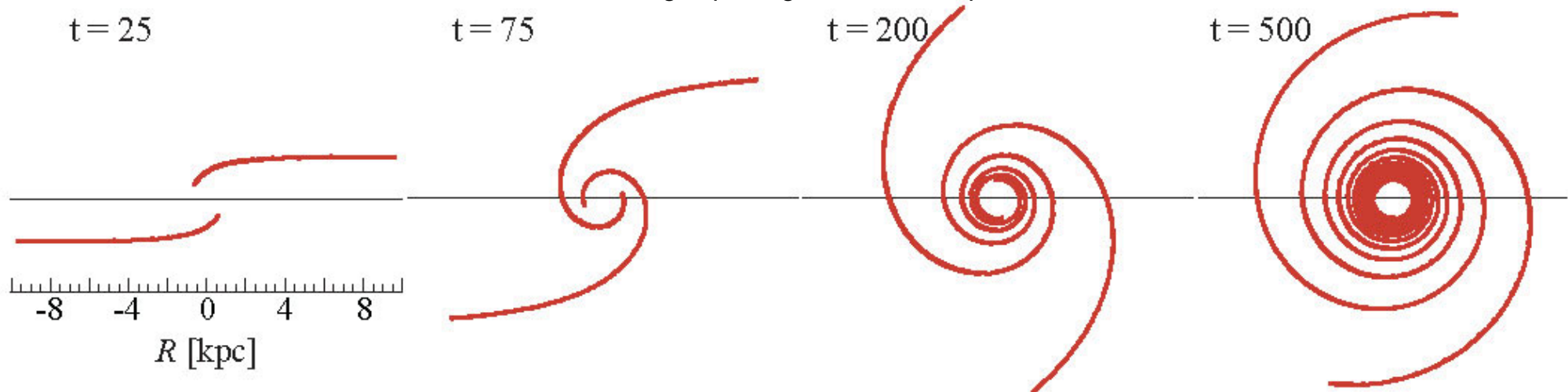
[www.astro.iag.usp.br/~gastao/BracoEspirai](http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/BracoEspirai)

t = 25

t = 75

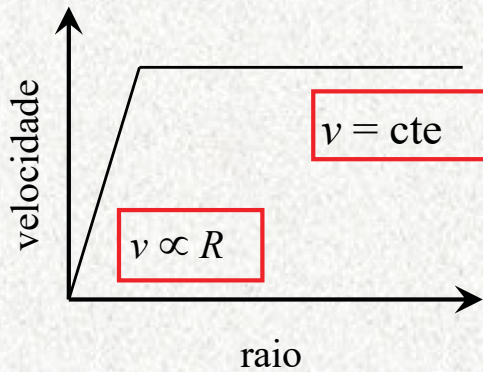
t = 200

t = 500

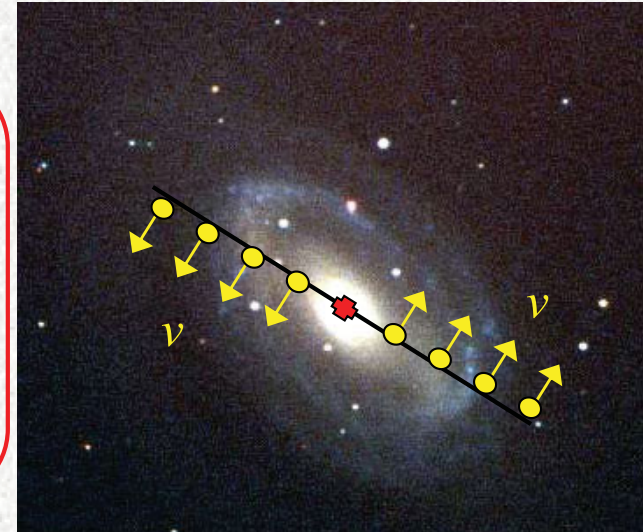


# Braços espirais

- Rotação dos braços espirais.
- 1ª possibilidade: rotação das estrelas que formam os braços.



- O braços se enrolariam sempre!
- ➔ Não observaríamos os braços espirais.

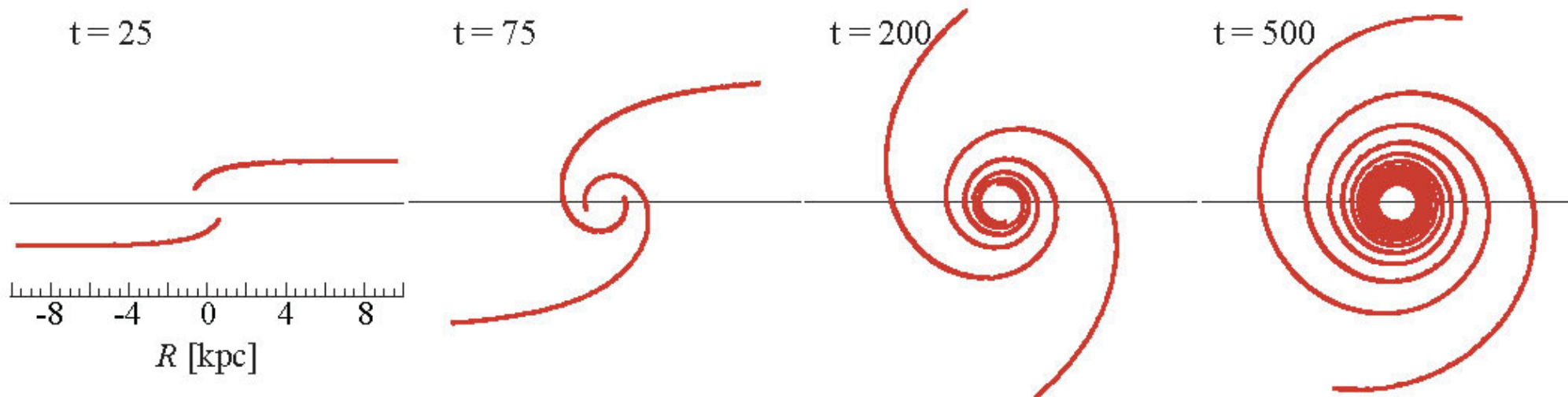


t = 25

t = 75

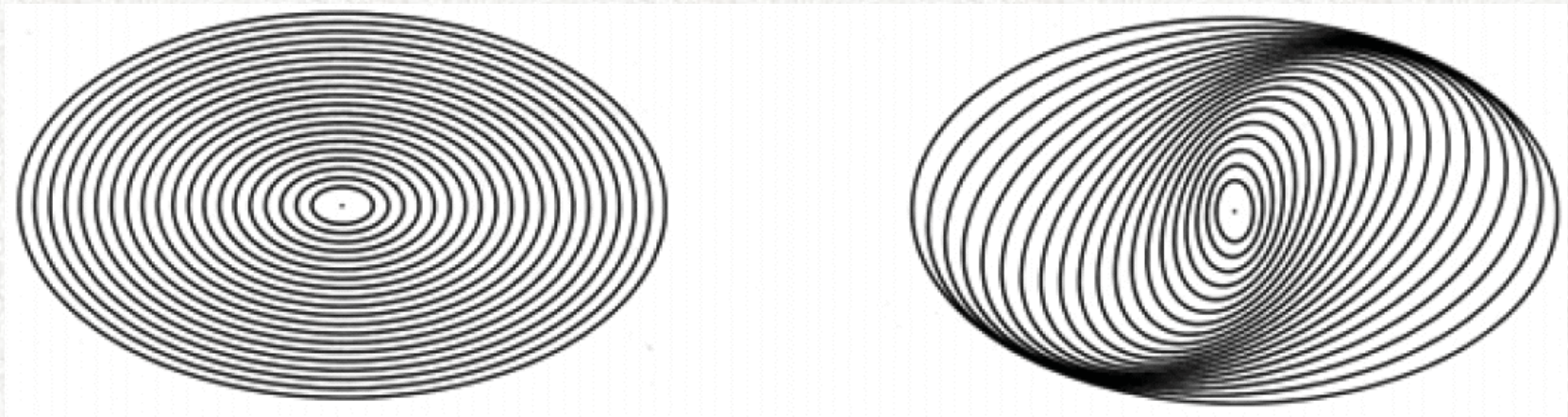
t = 200

t = 500



# Braços espirais

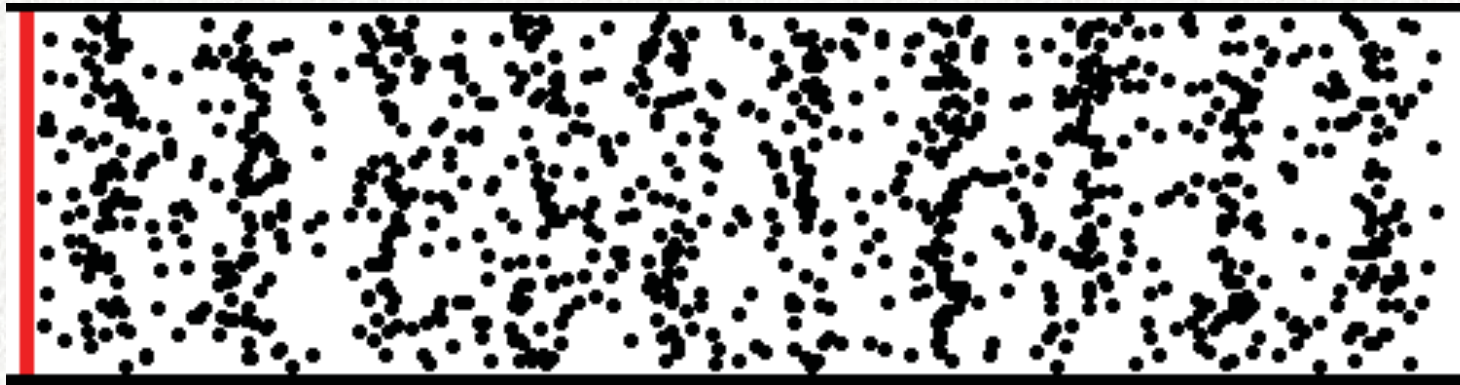
- Formação e persistência dos braços espirais.
- 2ª possibilidade: **onda de compressão** se propagando pelo disco. Teoria de ondas de densidade originalmente proposta por Bertil Lindblad e desenvolvida por Chia-Chiao Lin e Frank H. Shu nos anos 1960.



- Origem da compressão: congestionamento de órbitas.
- Órbitas ligeiramente elípticas, com eixo rodado por um pequeno ângulo em relação às órbitas vizinhas.

# Braços espirais são ondas

- Formação e persistência dos braços espirais.
- 2ª possibilidade: onda de compressão se propagando pelo disco.

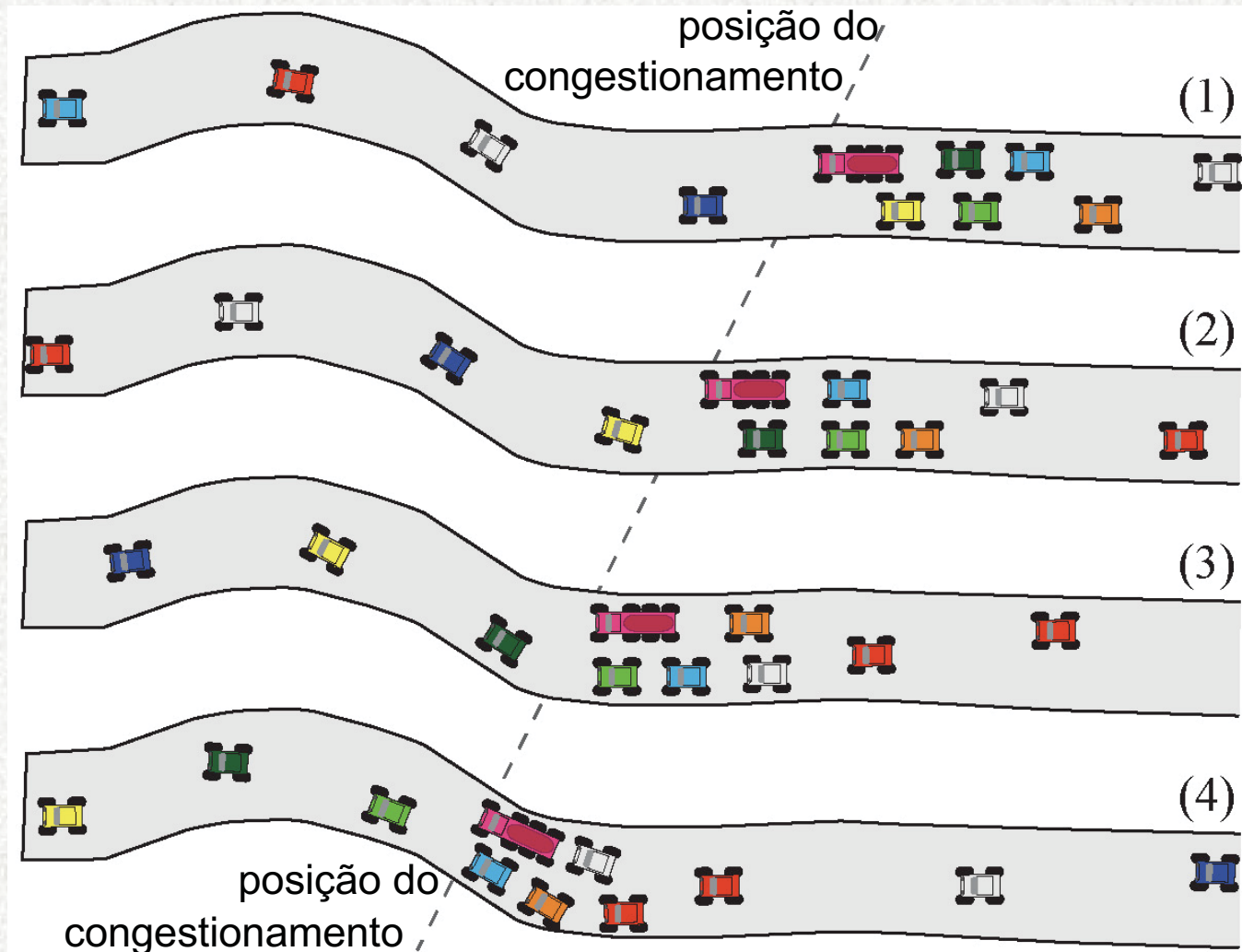


Animação produzida por Dan Russell, Universidade de Kettering

- Exemplo: Onda de compressão, como a onda sonora.
- As partículas oscilam e não avançam.
- Onda  $\rightarrow$  propagação de energia, não de matéria.

# Braços espirais

- Rotação dos braços espirais.
- 2ª possibilidade: onda de compressão se propagando pelo disco.



• Congestionamento no disco.

• Os braços espirais são ondas que se propagam pelo disco.

• Exemplo: carros em uma estrada.

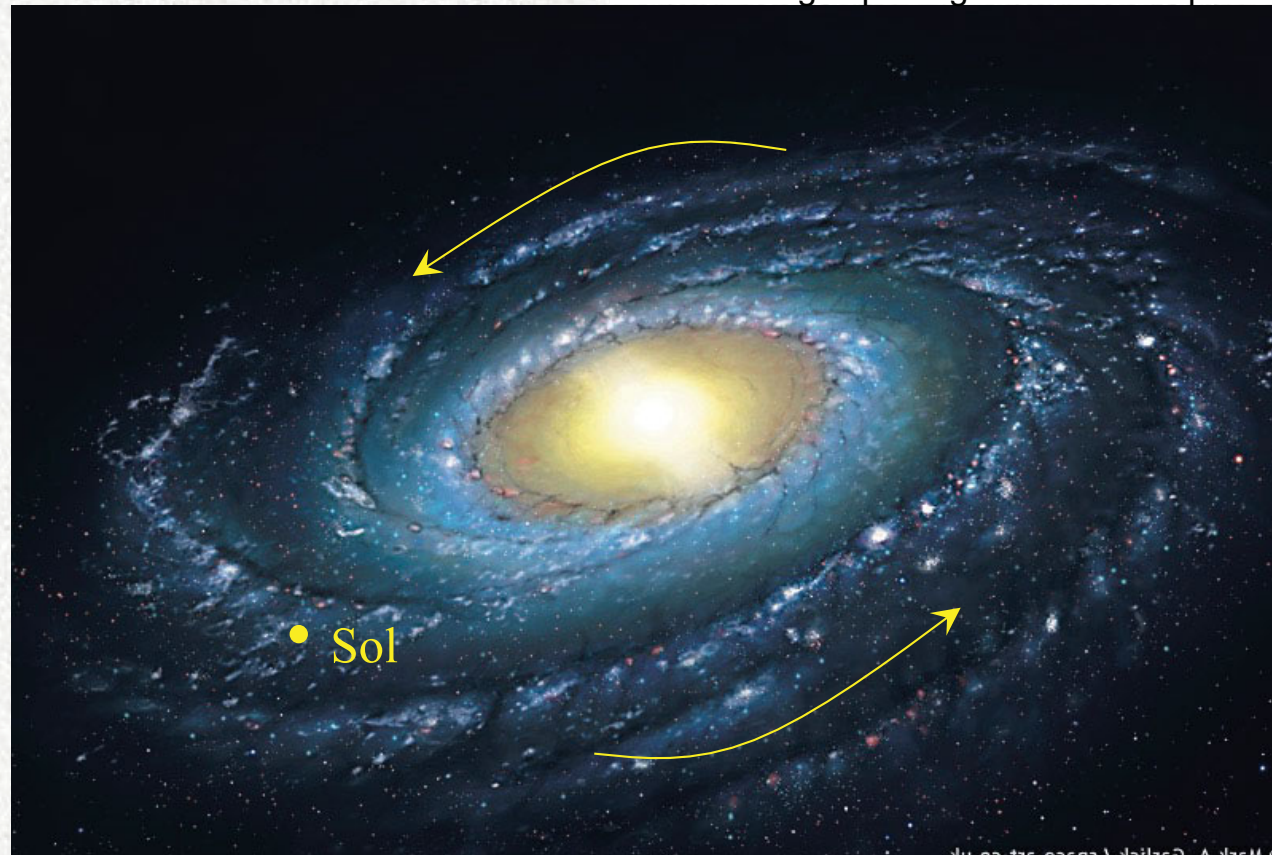
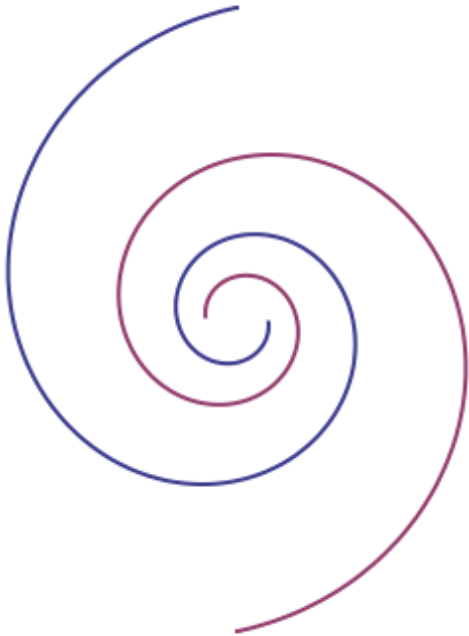


# Braços espirais

- **Braços** são produzidos por uma perturbação no disco. **Barras** também são produzidas por uma perturbação.
- As estrelas, gás e poeira têm **rotação diferencial**.
- O padrão espiral (e barras) giram com uma **velocidade angular constante**. A forma espiral não muda, isto é, o padrão espiral gira como um corpo sólido (mas não é sólido!).



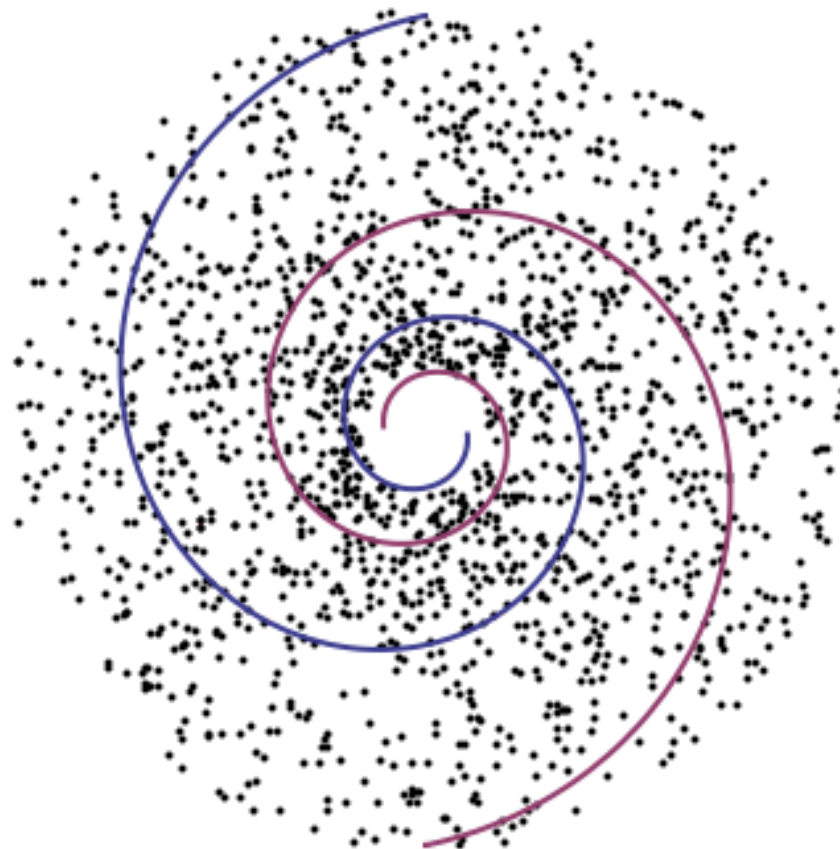
[www.astro.iag.usp.br/~gastao/BracoEspirai](http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/BracoEspirai)



# Persistência dos braços espirais

- Rotação dos braços espirais.
- 2ª possibilidade: onda de compressão se propagando pelo disco.

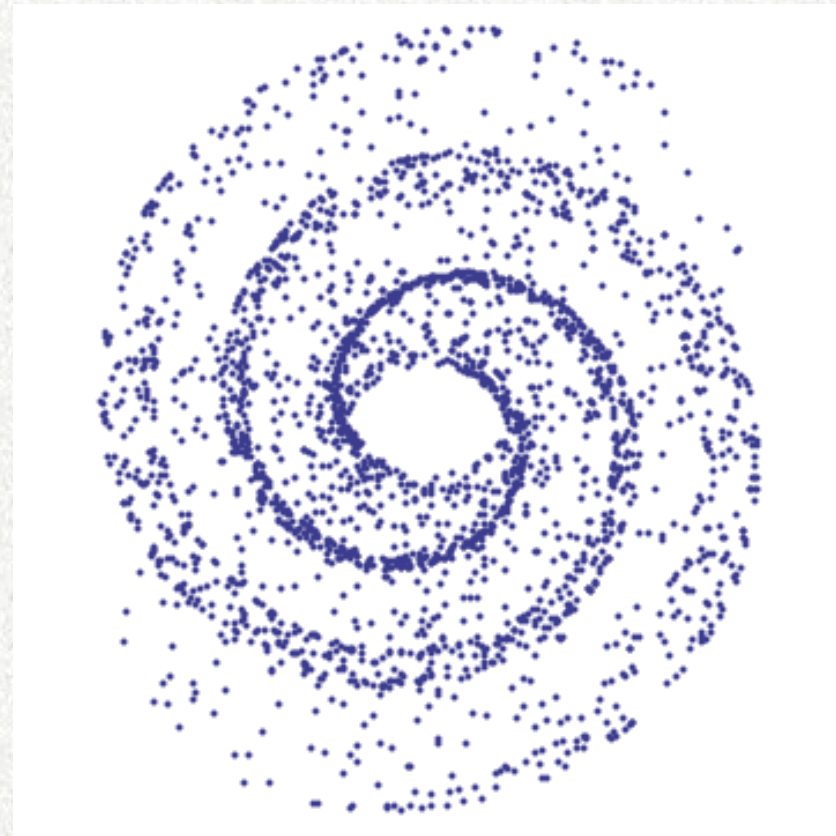
- Os braços espirais e as estrelas não giram da mesma forma. Na região mais central, as **estrelas** giram mais rápido do que os braços. Na região mais externa o braço gira mais rápido do que as estrelas. Onde os braços e as estrelas giram com a mesma velocidade é chamado de raio de **corrotação**.



# Persistência dos braços espirais

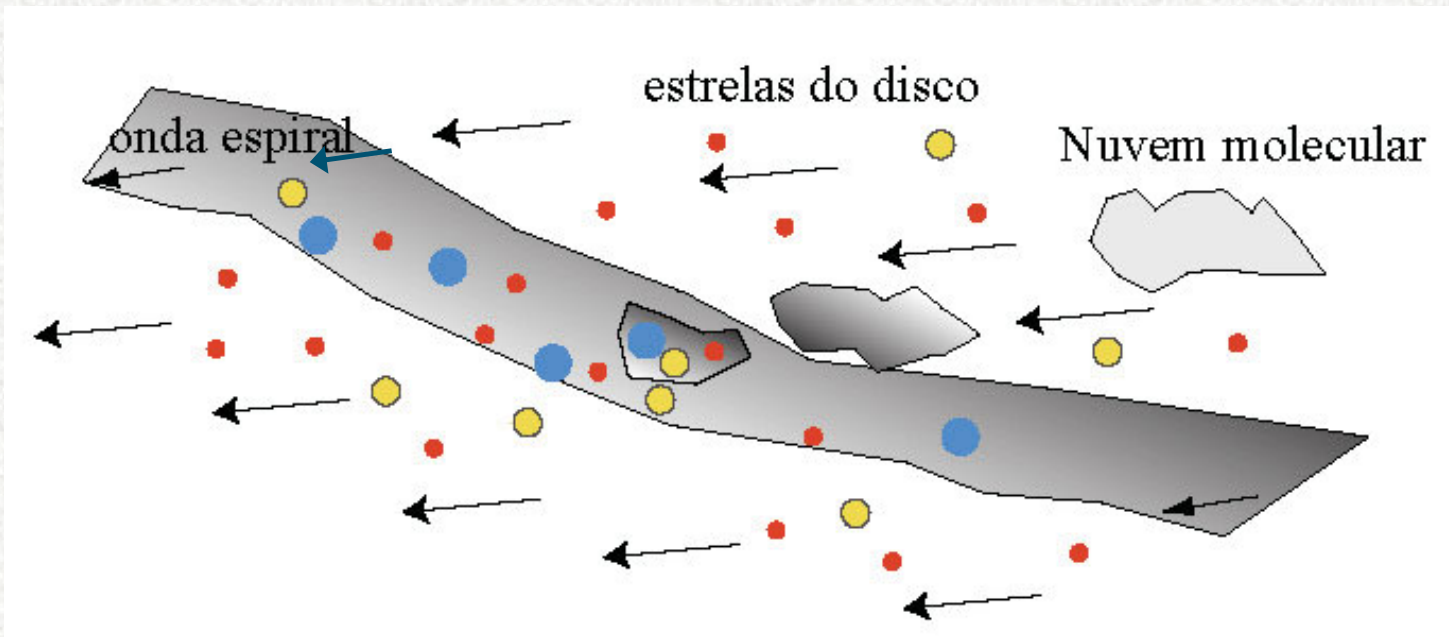
- Rotação dos braços espirais.
- 2ª possibilidade: onda de compressão se propagando pelo disco.

- As estrelas, seguindo suas órbitas elípticas e precessionadas uma em relação às outras, vão se acumular formando o padrão. Note que a espiral não é feita pelas mesmas estrelas.



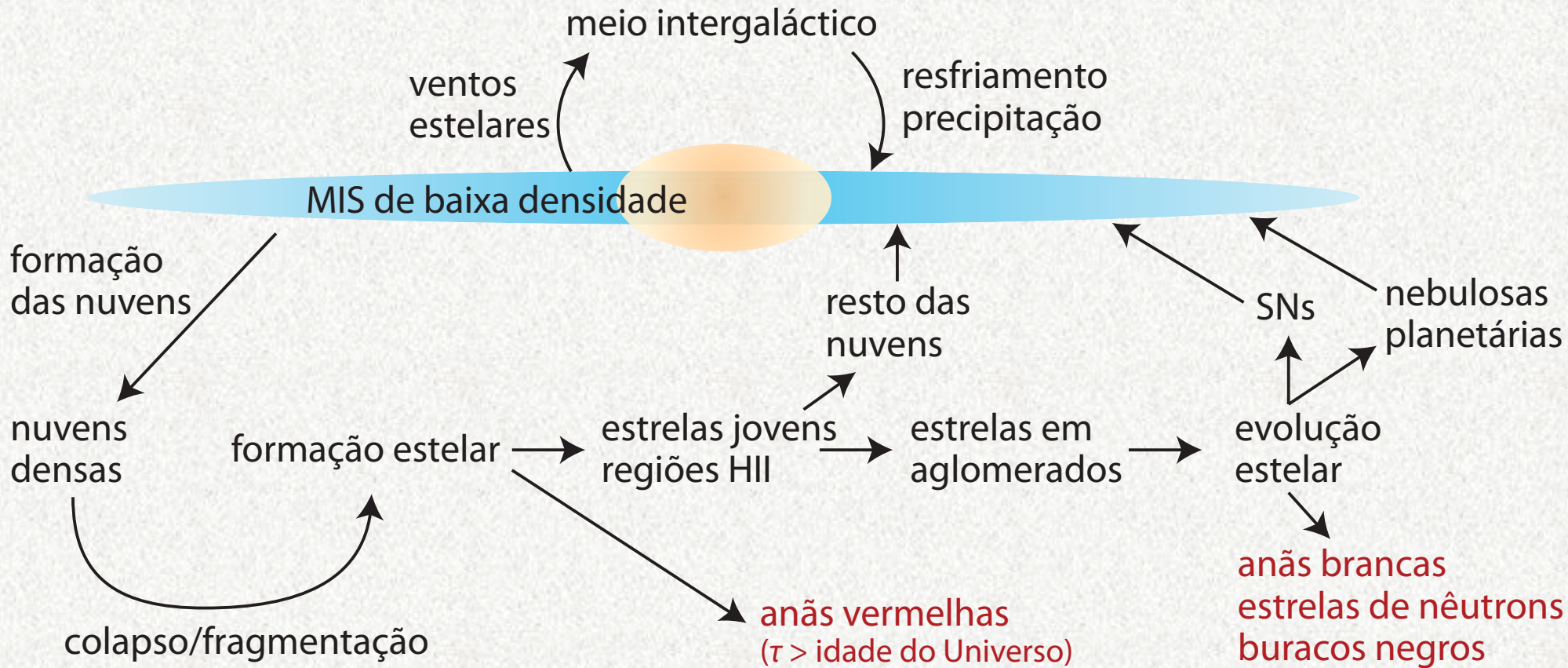
# Braços espirais

- Rotação dos braços espirais.
- 2ª possibilidade: onda de compressão se propagando pelo disco.



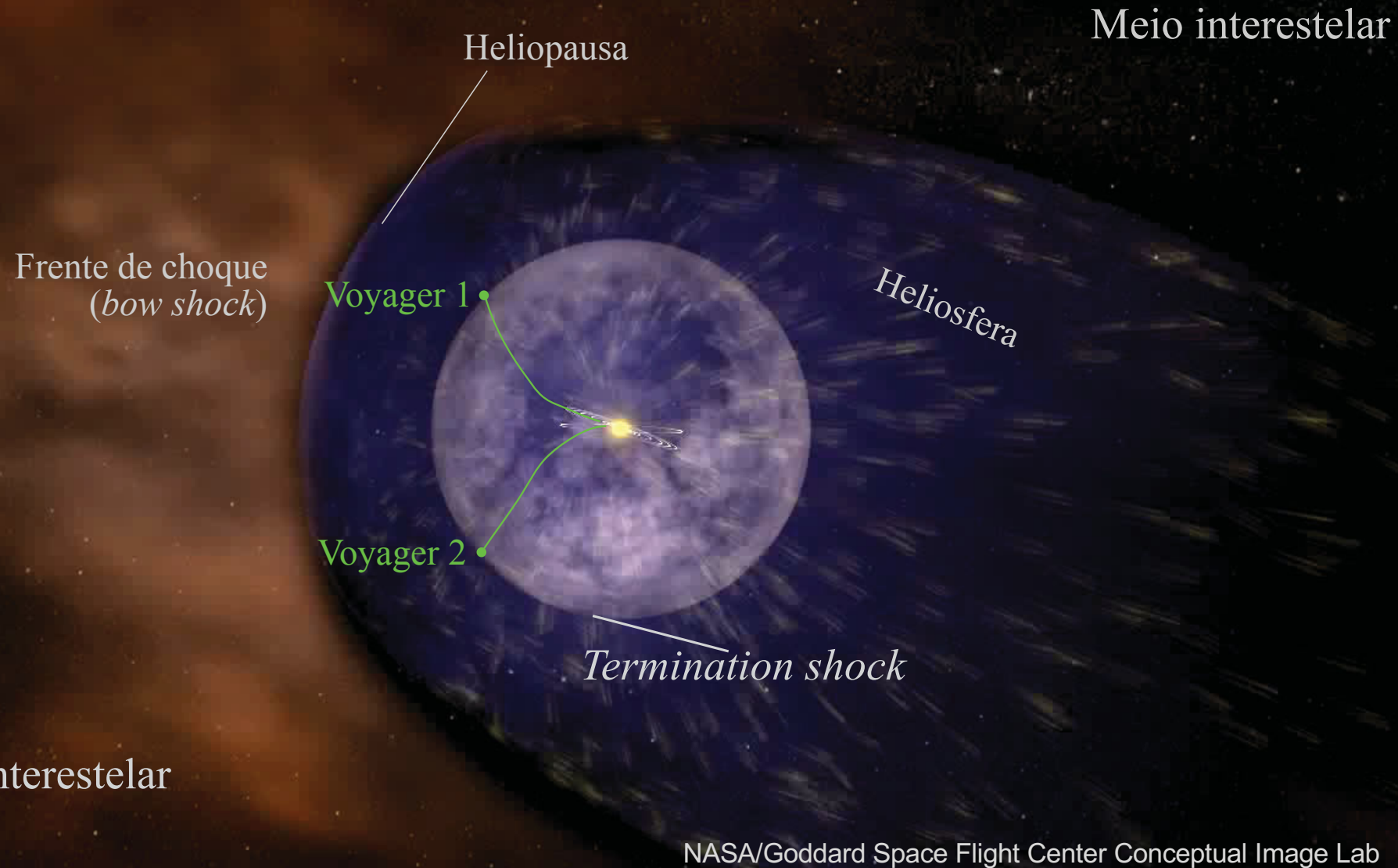
- A onda espiral se propaga com velocidade diferente das estrelas e nuvens.
- As nuvens são comprimidas quando atravessam a onda
  - Formação estelar. Estrela massivas vivem pouco: estão próximas da onda.

# Ciclo do meio interestelar



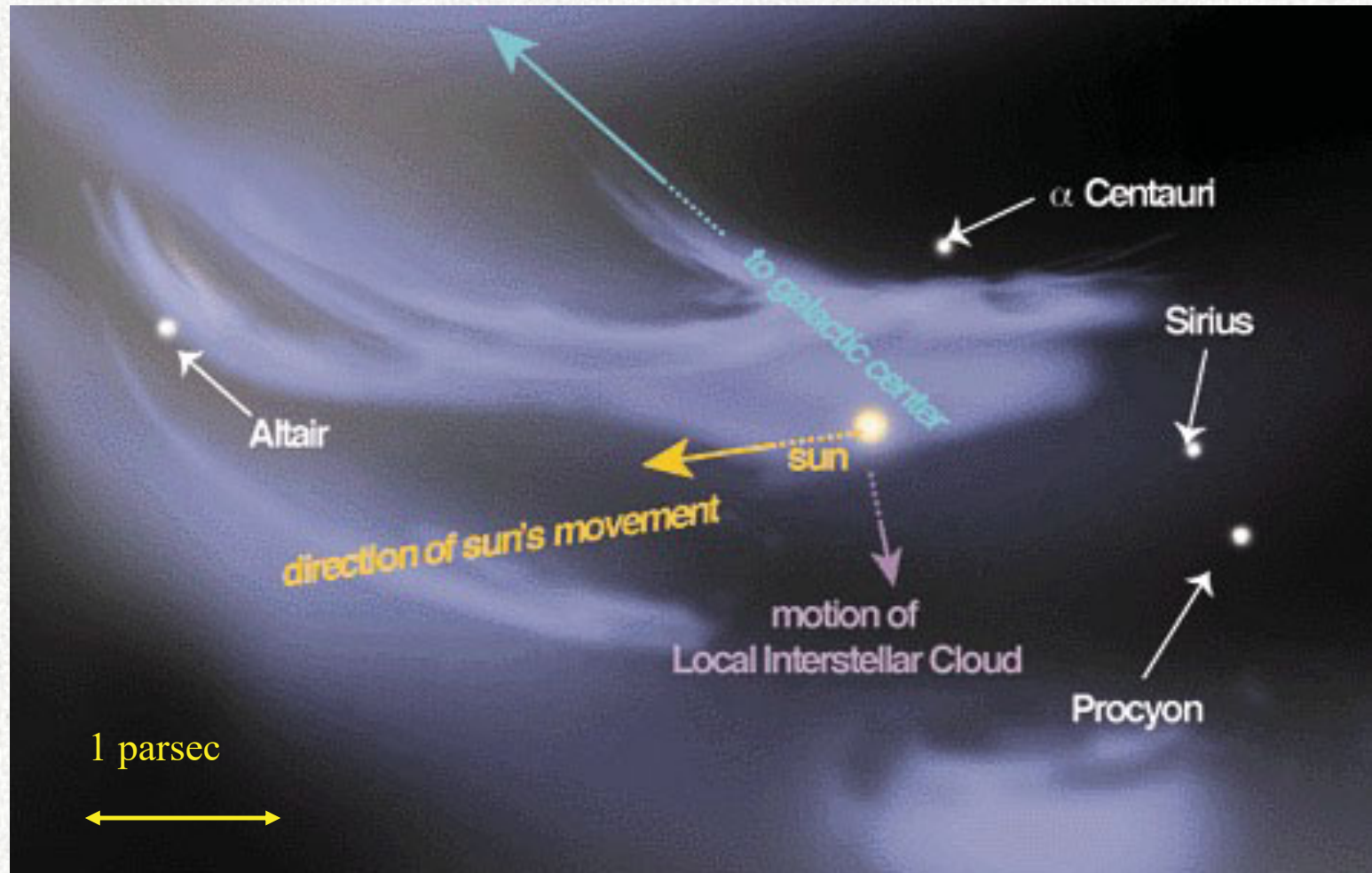
- Formação estelar principalmente nos braços espirais.
- Enriquecimento gradual do MIS em metais
- Não é um ciclo infinito, o gás vai se esgotando aos poucos

# Vizinhança solar na Galáxia



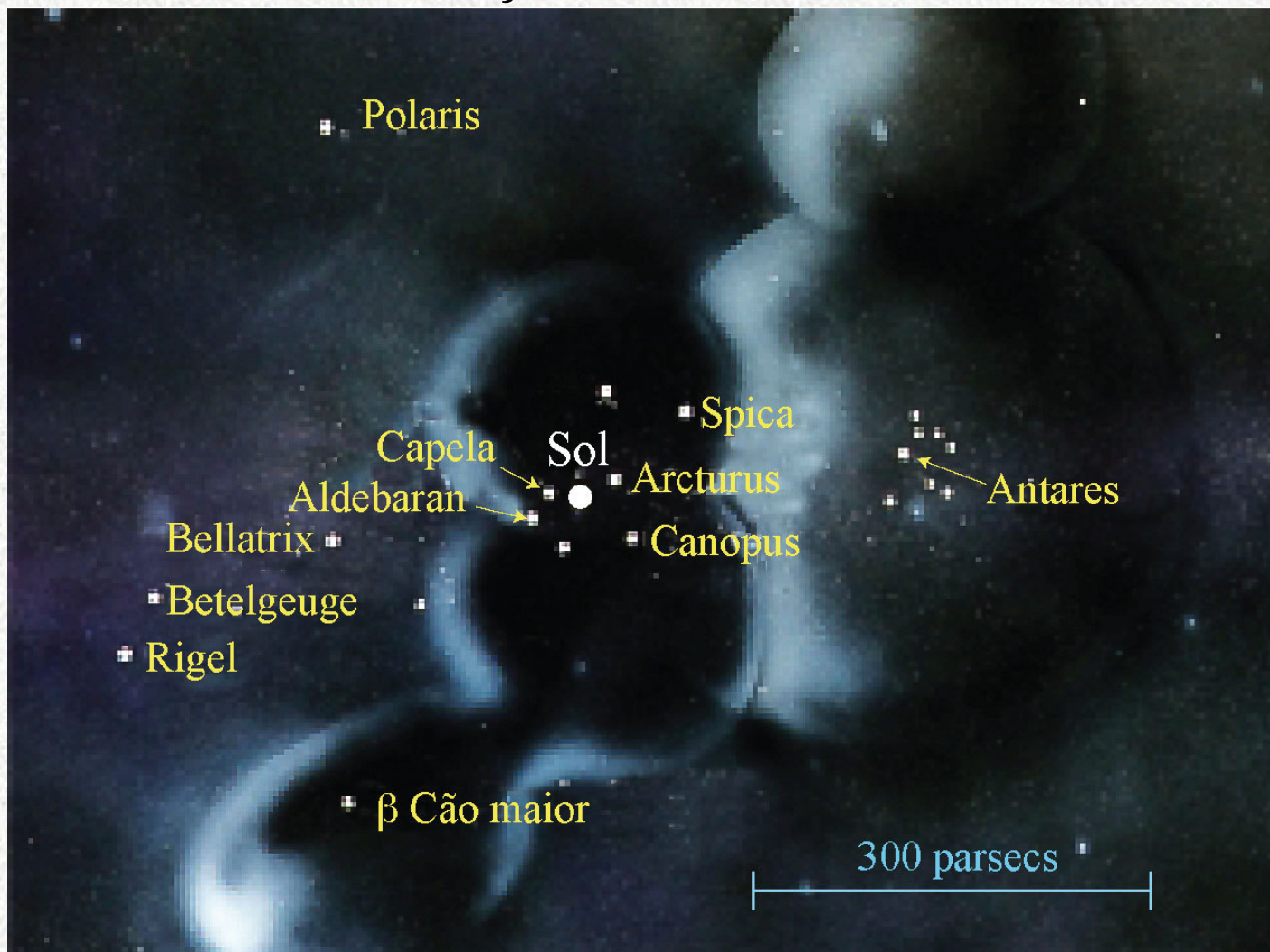
- O Sol interage com o meio interestelar através do vento solar e campo magnético.
- A heliopausa é a fronteira entre o meio interestelar e a heliosfera (~ 120 U.A.)

# Vizinhança solar na Galáxia



- A direção de movimento do Sol não é a mesma da nuvem local interestelar.

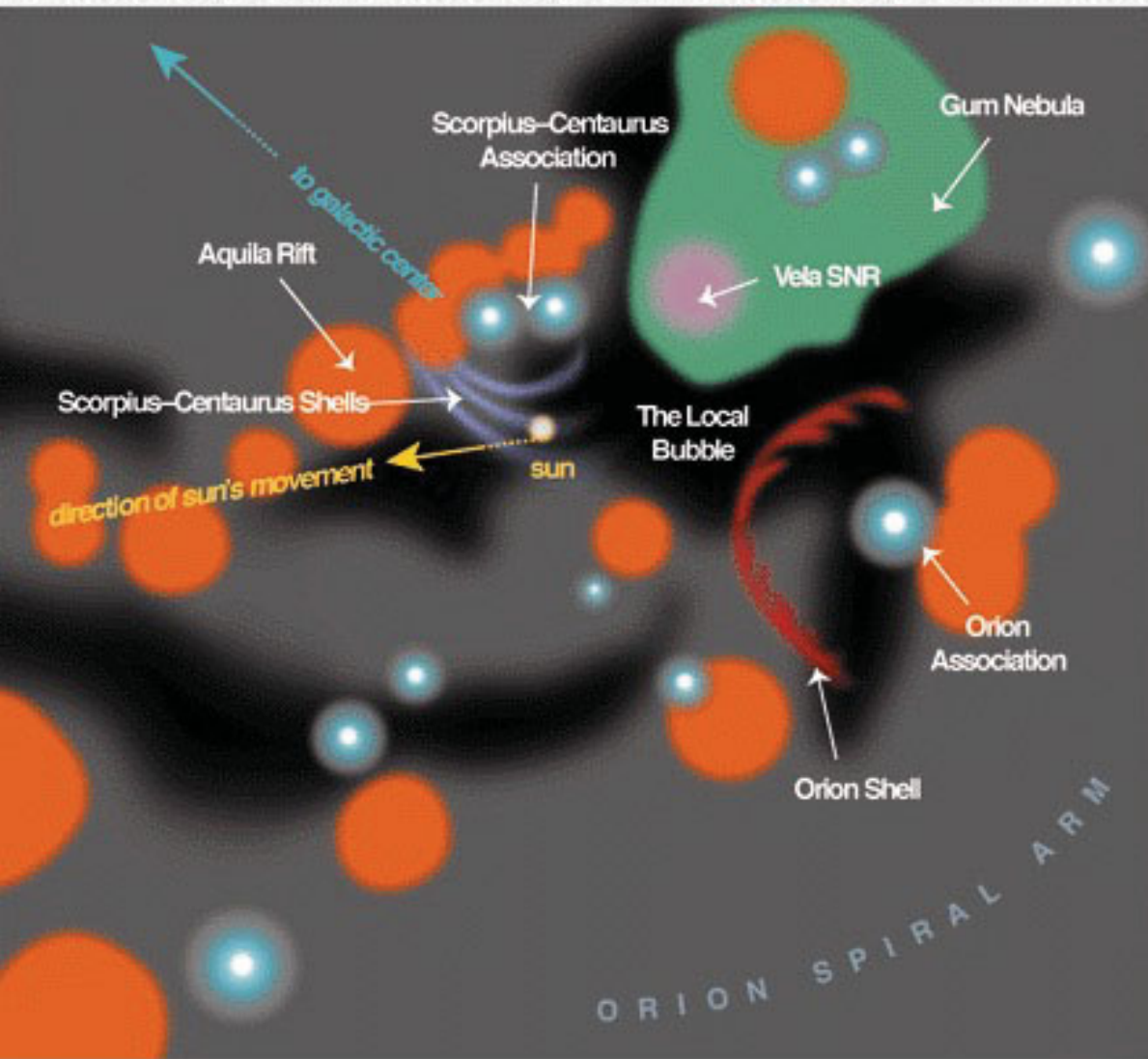
# Vizinhança solar na Galáxia



- O Sol está na borda de uma “bolha” – região com menor densidade do que a média.
- Supernova que explodiu há 300.000 anos?
- Pulsar Geminga: fonte de raios-X e raios-gama, a ~100 pc?

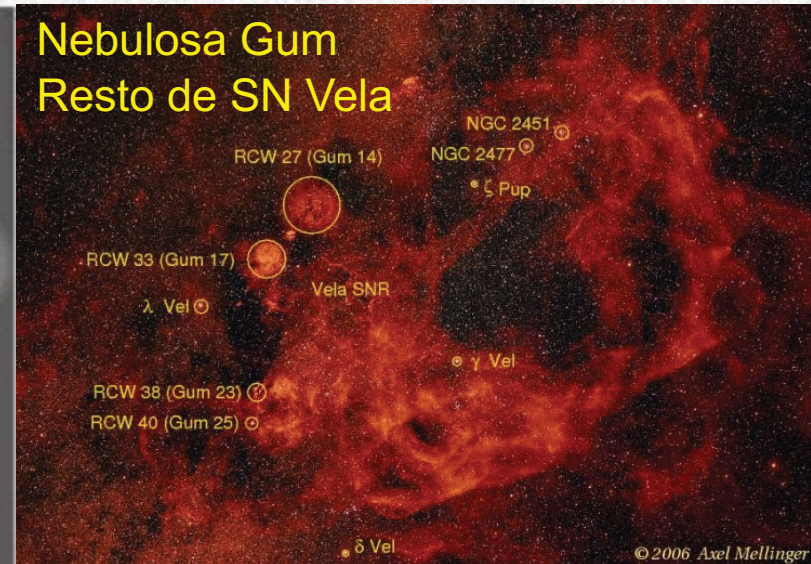


# O Sol é uma estrela da Via Láctea



■ molecular clouds   ■ diffuse gas

figura de Patricia Frisch



- Nuvens moleculares, regiões de formação estelar, restos de supernova e o braço de Orion.