

# As populações da Galáxia

---

# Populações Estelares

---

- ❖ Conceito introduzido por Baade (1944). Walter Baade é um contemporâneo de Edwin Hubble e trabalhou com ele nas observações de M31
- ❖ “I believe that Baade’s diagram of the two stellar populations is the second most important astronomical diagram of this century. It opened up the whole fields of stellar evolution and galactic evolution, as Hubble’s velocity-distance diagram opened up the study of the whole universe.” Donald E. Osterbrock, 1995IAUS..164...21O.
- ❖ Populações estelares tornou-se um tema unificador que relaciona diversos campos de pesquisa distintos

# THE RESOLUTION OF MESSIER 32, NGC 205, AND THE CENTRAL REGION OF THE ANDROMEDA NEBULA\*

W. BAADE

Mount Wilson Observatory

*Received April 27, 1944*

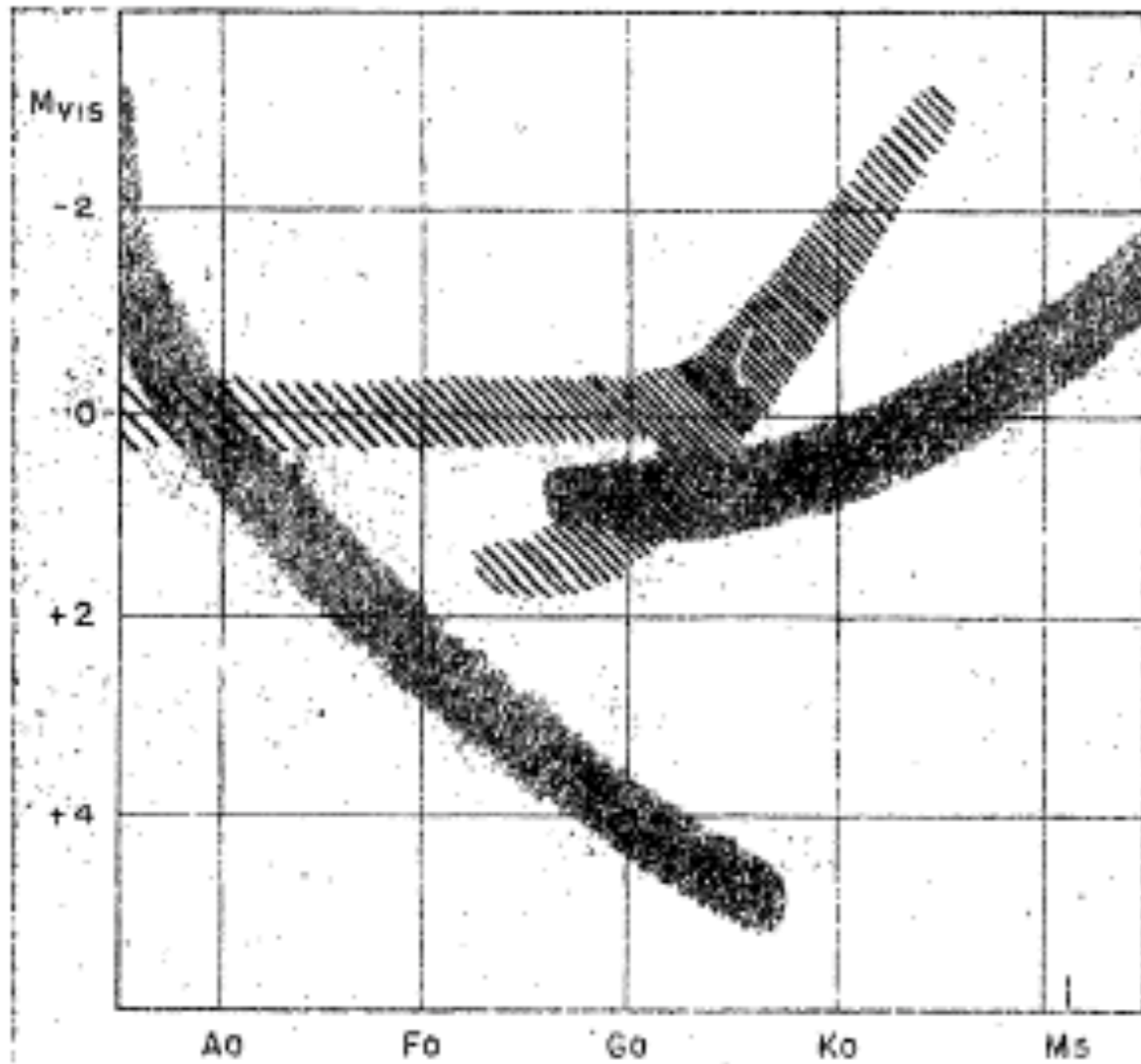


FIG. 1.—Shaded areas: ordinary H-R diagram (type I). Hatched area: H-R diagram of stars in globular clusters (type II).

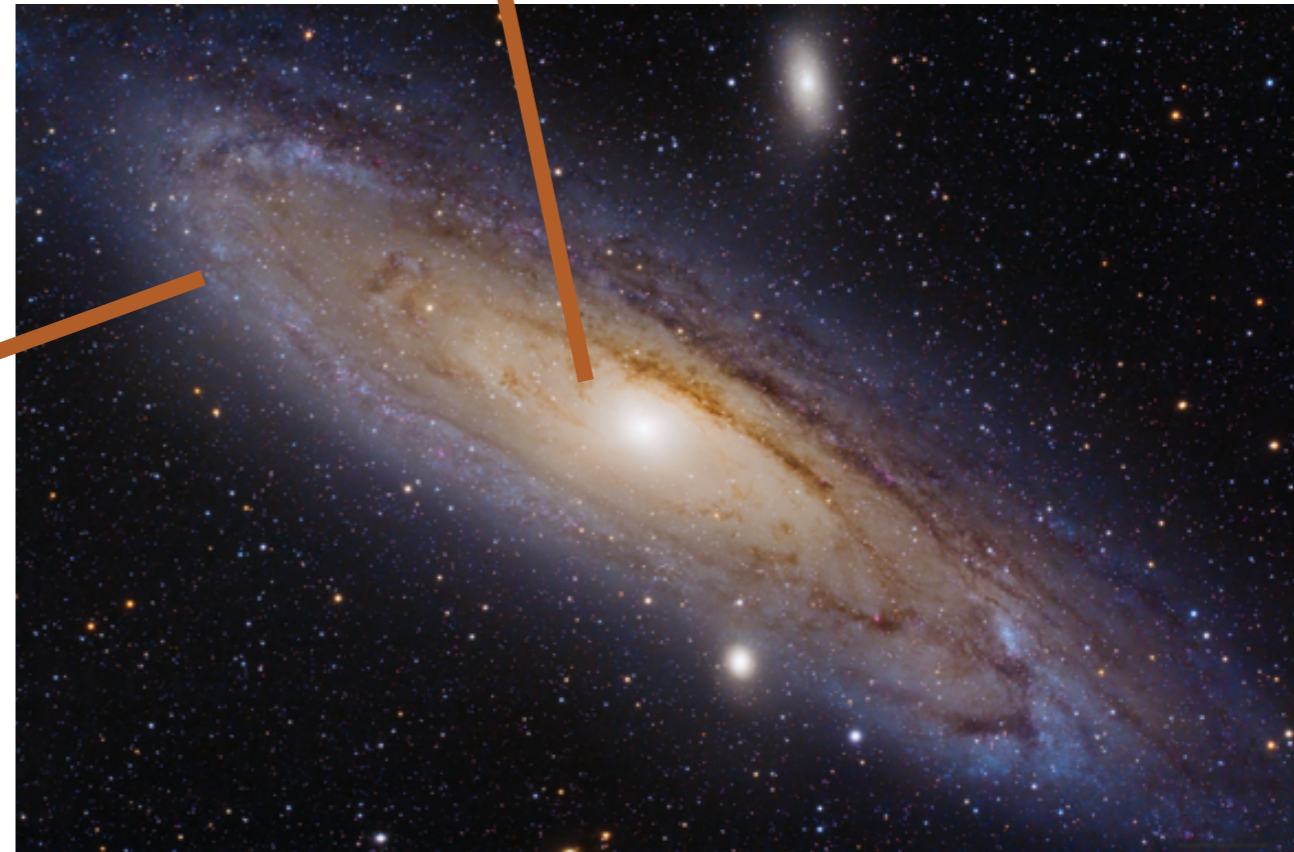
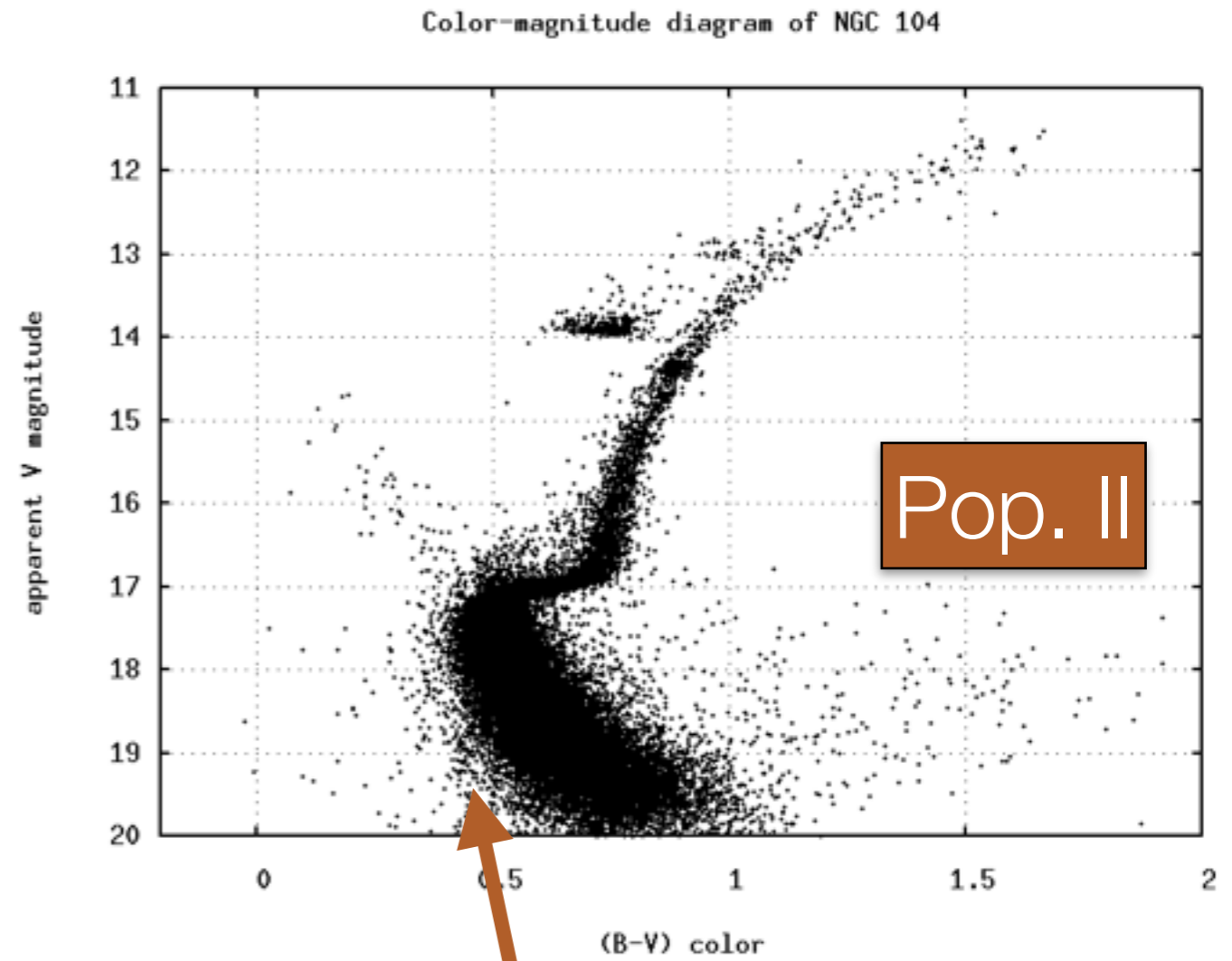
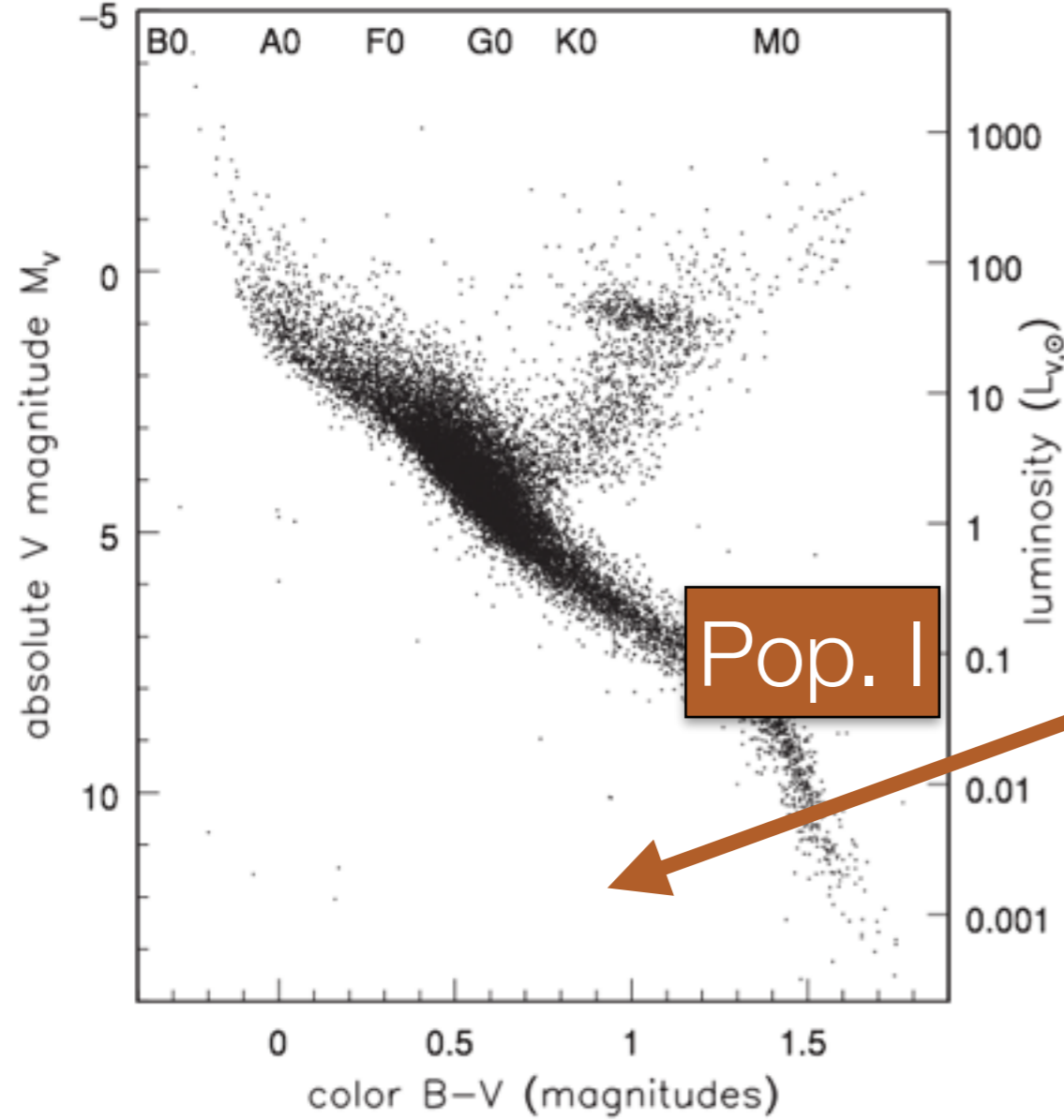
# Populações Estelares

---

The Hertzsprung-Russell diagram of the stars in the early-type nebulae is shown to be closely related to, if not identical with, that of the globular clusters. This leads to the further conclusion that the stellar populations of the galaxies fall into two distinct groups, one represented by the well-known H-R diagram of the stars in our solar neighborhood (the slow-moving stars), the other by that of the globular clusters. Characteristic of the first group (type I) are highly luminous O- and B-type stars and open clusters; of the second (type II), short-period Cepheids and globular clusters. Early-type nebulae (E-Sa) seem to have populations of the pure type II. Both types seem to coexist in the intermediate and late-type nebulae.

- ❖ Pop. I (estrelas que populavam o disco de galáxias espirais, caracterizadas pelo diagrama cor-magnitude de aglomerados abertos e estrelas O e B)
- ❖ Pop. II (estrelas que populavam o halo de galáxias espirais e as galáxias elípticas, caracterizadas pelo diagrama cor-magnitude de aglomerados globulares)

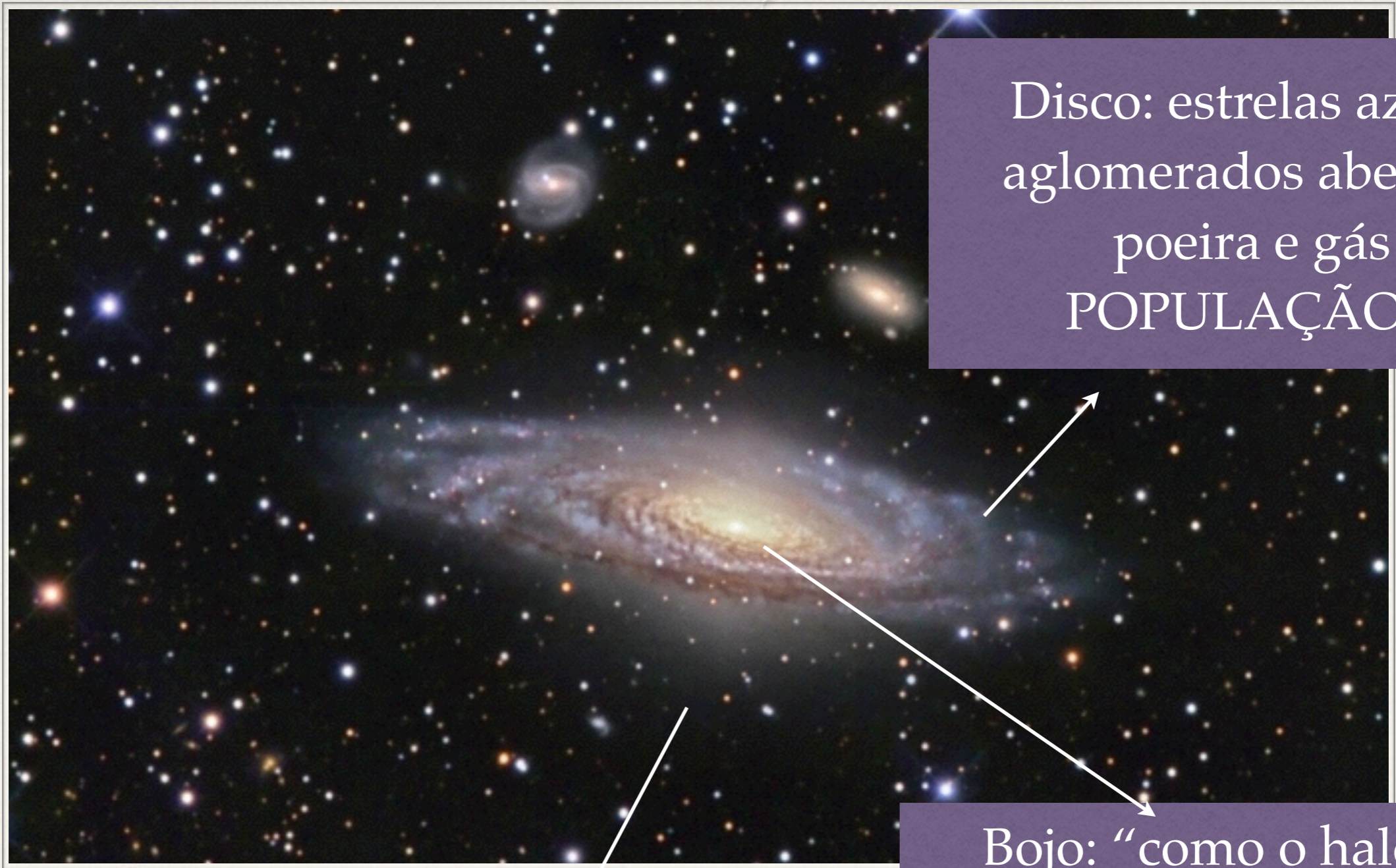
# Populações estelares



# Populações Estelares

---

- ❖ Conceito hoje expandiu além do original
- ❖ Pretende distinguir os diversos componentes de uma galáxia e relacionar esses componentes com estrelas de diferentes idades, composições químicas, propriedades cinemáticas e posições.
- ❖ Principal objetivo hoje do estudo de Pop. Estelares: compreensão da formação e evolução das galáxias.

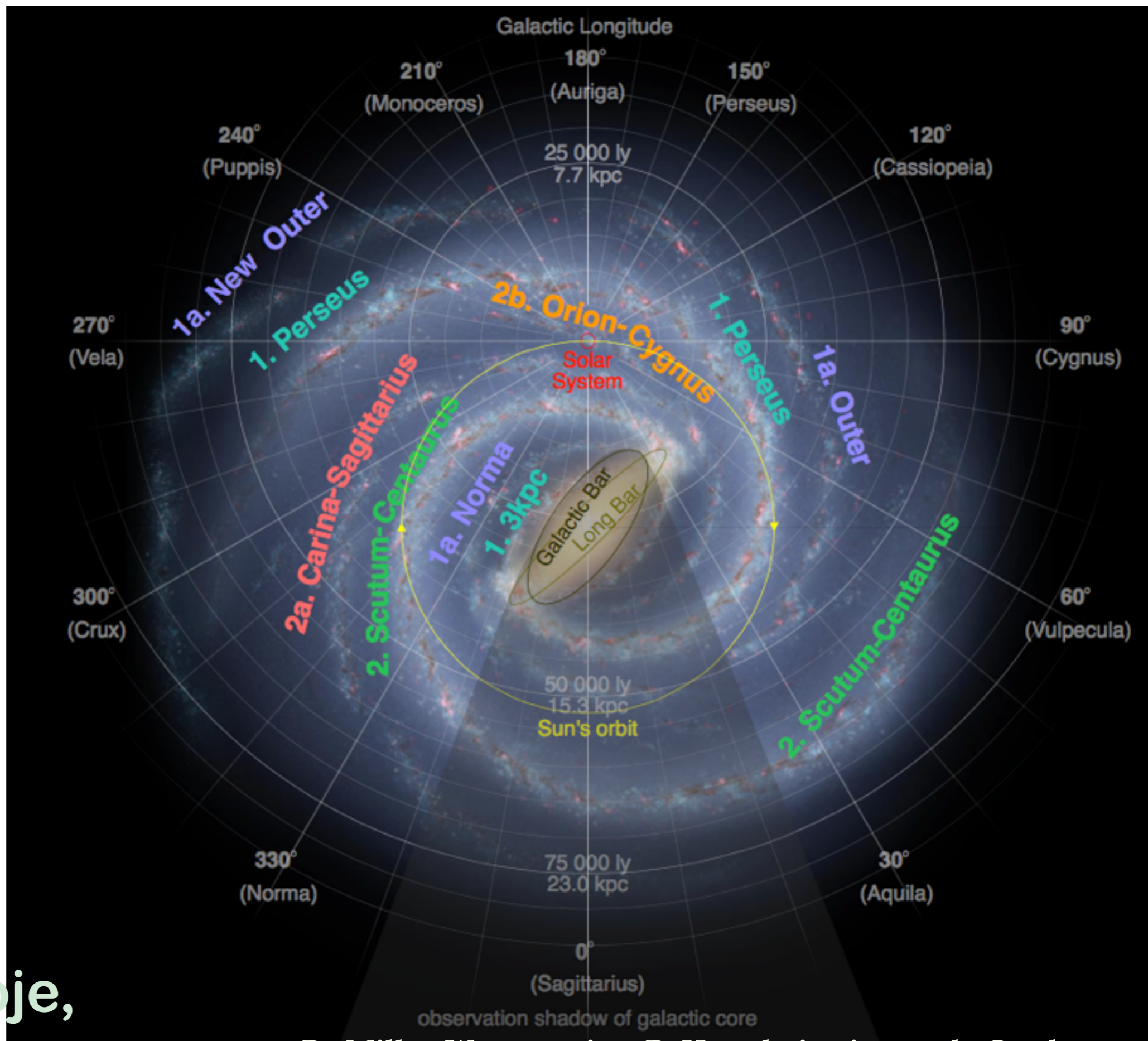


Disco: estrelas azuis,  
aglomerados abertos,  
poeira e gás  
POPULAÇÃO I

Bojo: “como o halo”???  
veremos...

Halo: estrelas vermelhas,  
aglomerados globulares  
POPULAÇÃO II

NGC 7331

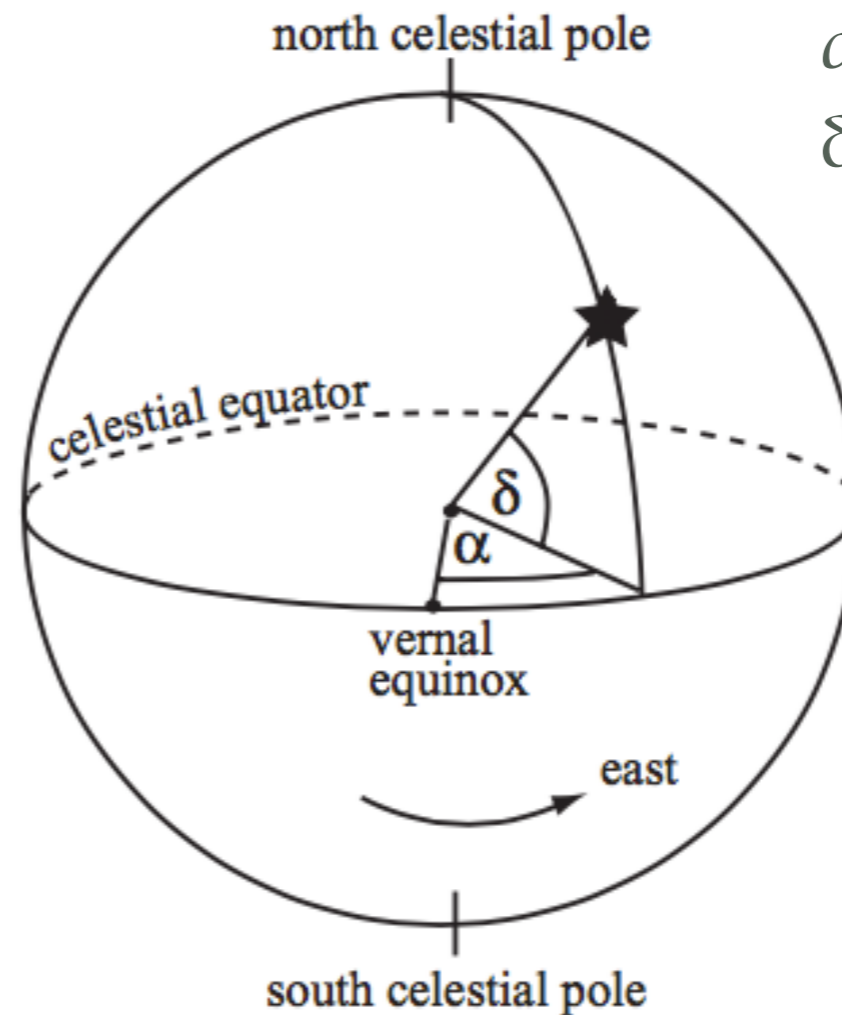
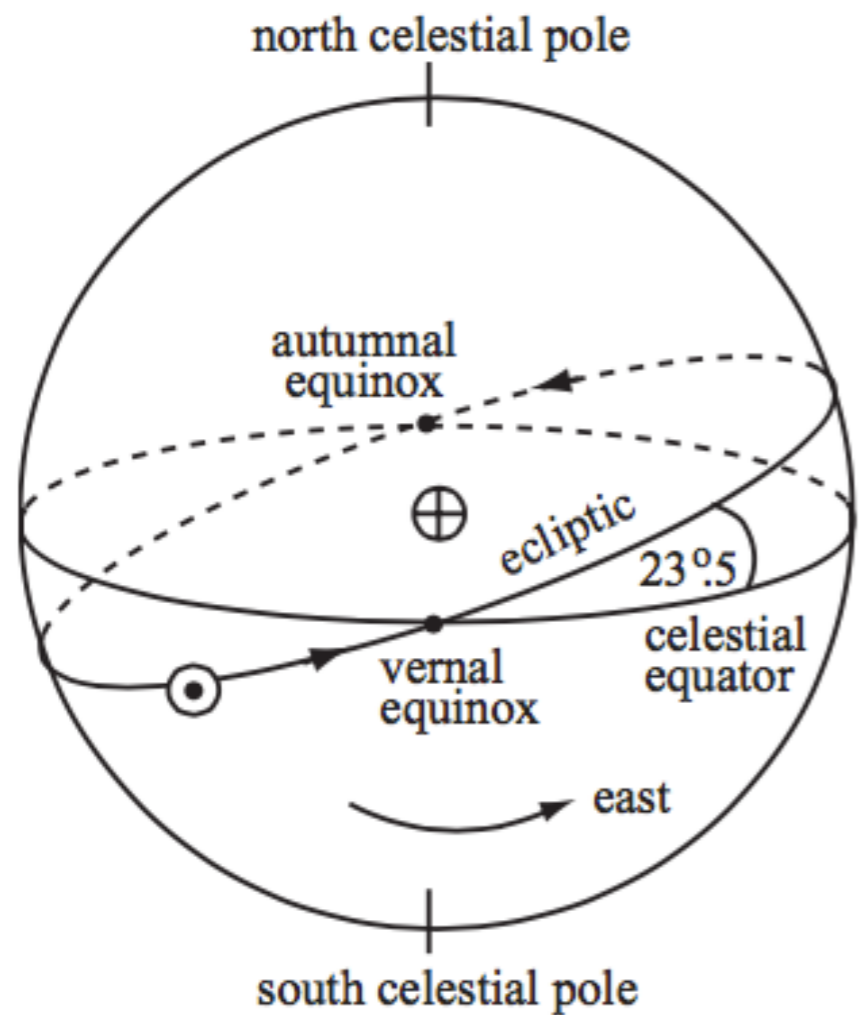


A Galáxia hoje,  
“vista” de fora

By Milky\_Way\_2005.jpg: R. Hurt derivative work: Cmglee (Milky\_Way\_2005.jpg) [Public domain], via Wikimedia Commons



# Sistemas de Coordenadas

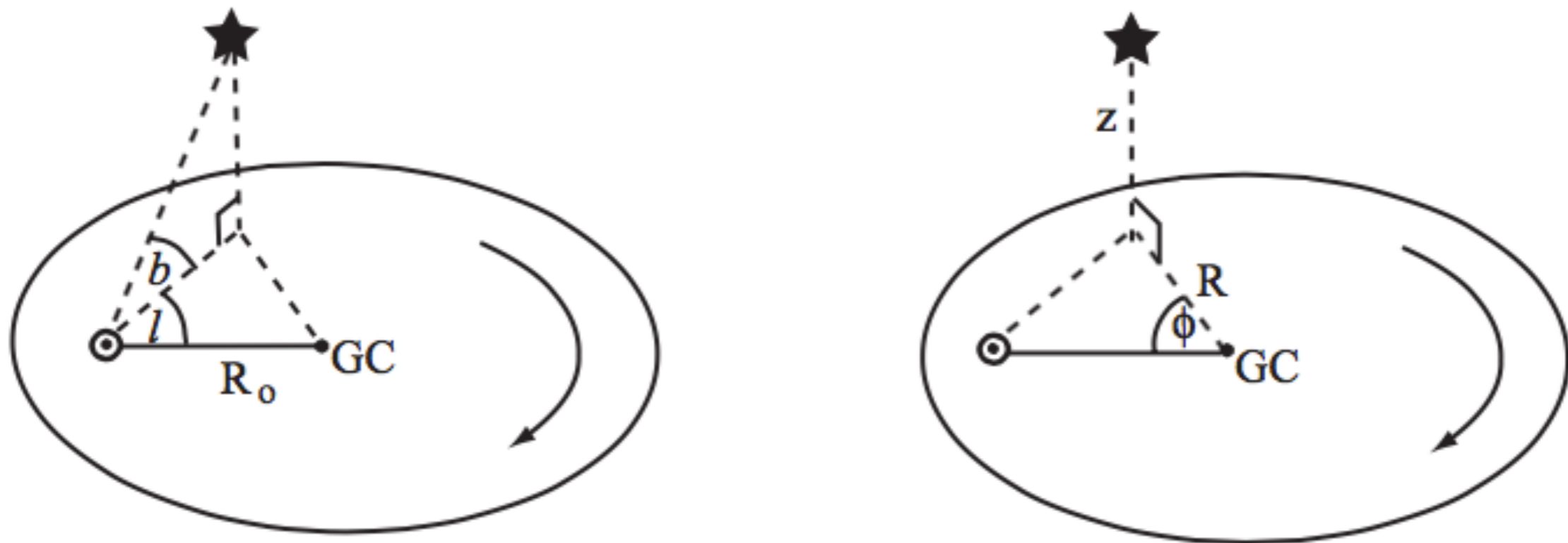


$\alpha$  - ascensão reta  
 $\delta$  - declinação

**Fig. 1.9.** The celestial sphere, showing the ecliptic: right ascension  $\alpha$  is measured eastward from the vernal equinox, and declination  $\delta$  from the celestial equator.

ponto vernal = equinócio de Outono para o hemisfério Sul

# Sistemas de Coordenadas



**Fig. 1.10.** Left, Sun-centred Galactic longitude  $l$  and latitude  $b$ ; right, cylindrical polar coordinates  $R, \phi, z$  with the origin at the Galactic center.

$l$  - longitude galáctica, medida na direção da rotação do Sol

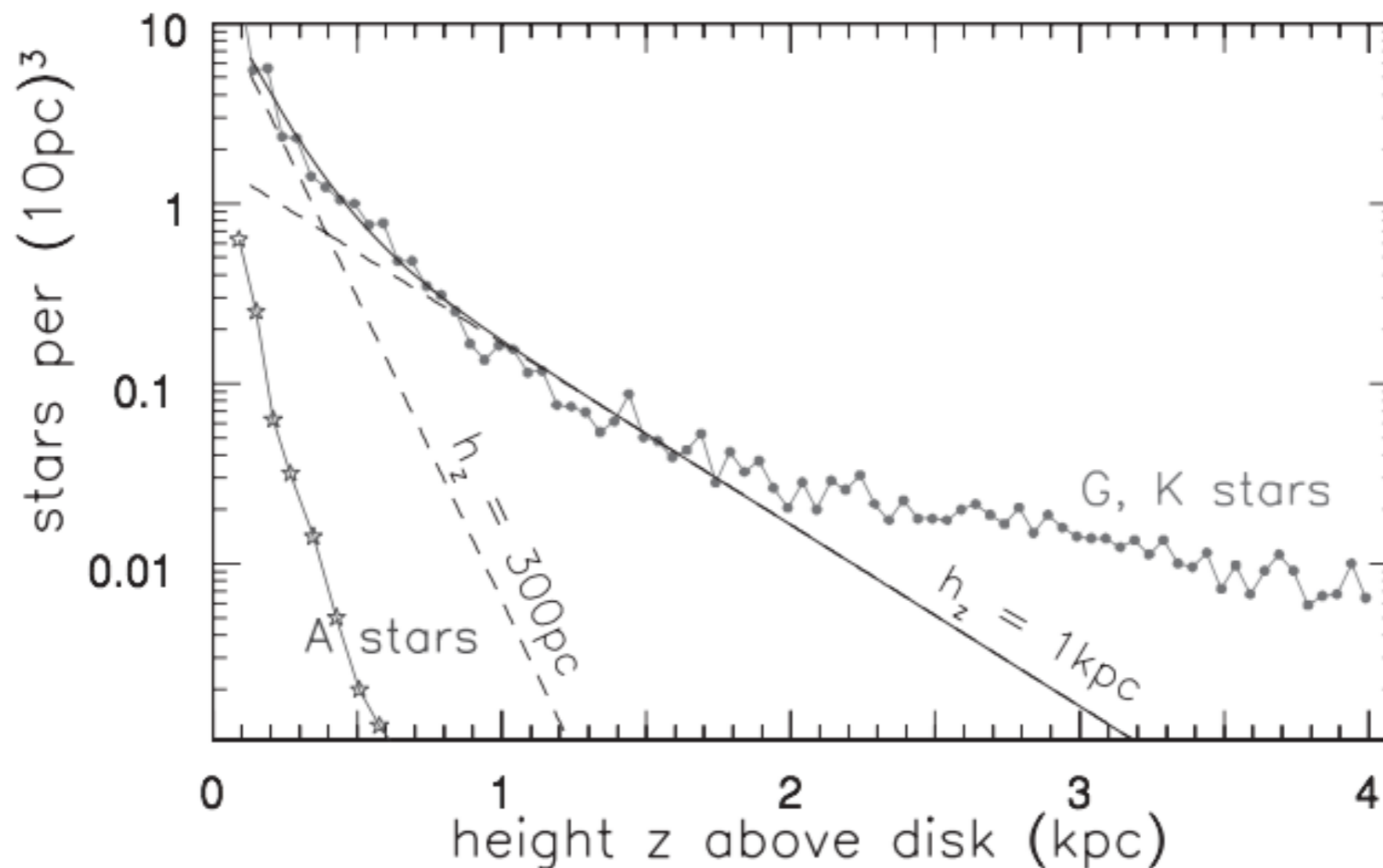
$b$  - latitude galáctica, medido em direção ao Pólo Galáctico Norte

$$\alpha = 12^{\text{h}}49^{\text{m}}, \delta = 27^{\circ}24' \text{ (1950)}$$

Disco da  
Galáxia



Image credit and copyringht: Larry Landolfi



**Fig. 2.8.** Looking toward the south Galactic pole, filled circles show the density of stars with  $5 < M_V < 6$ ; these are late G and early K dwarfs. Sloping dashed lines show  $n(z) \propto \exp(-z/300 \text{ pc})$  (thin disk) and  $n(z) \propto \exp(-z/1 \text{ kpc})$  (thick disk); the solid curve is their sum. At  $z \gtrsim 2 \text{ kpc}$ , most stars belong to the metal-poor halo. A dwarfs (star symbols) lie in a very thin layer – N. Reid and J. Knude.

## Densidades estelares calculadas por fotometria

Determinadas para 12500 estrelas a partir da cor V-I,  $m_V < 19$ , na direção do Polo Galáctico Sul. Foram usadas anãs de tipos espectrais G tardios e “early” K.

# A estrutura do disco

---

- ❖ Usando coordenadas polares centradas no centro da Galáxia, a densidade de estrelas de tipo espectral  $S$  é normalmente descrita como uma exponencial dupla:

$$n(R, z, S) = n(0, 0, S)\exp[-R/h_R(S)]\exp[-|z|/h_z(S)], \quad (2.8)$$

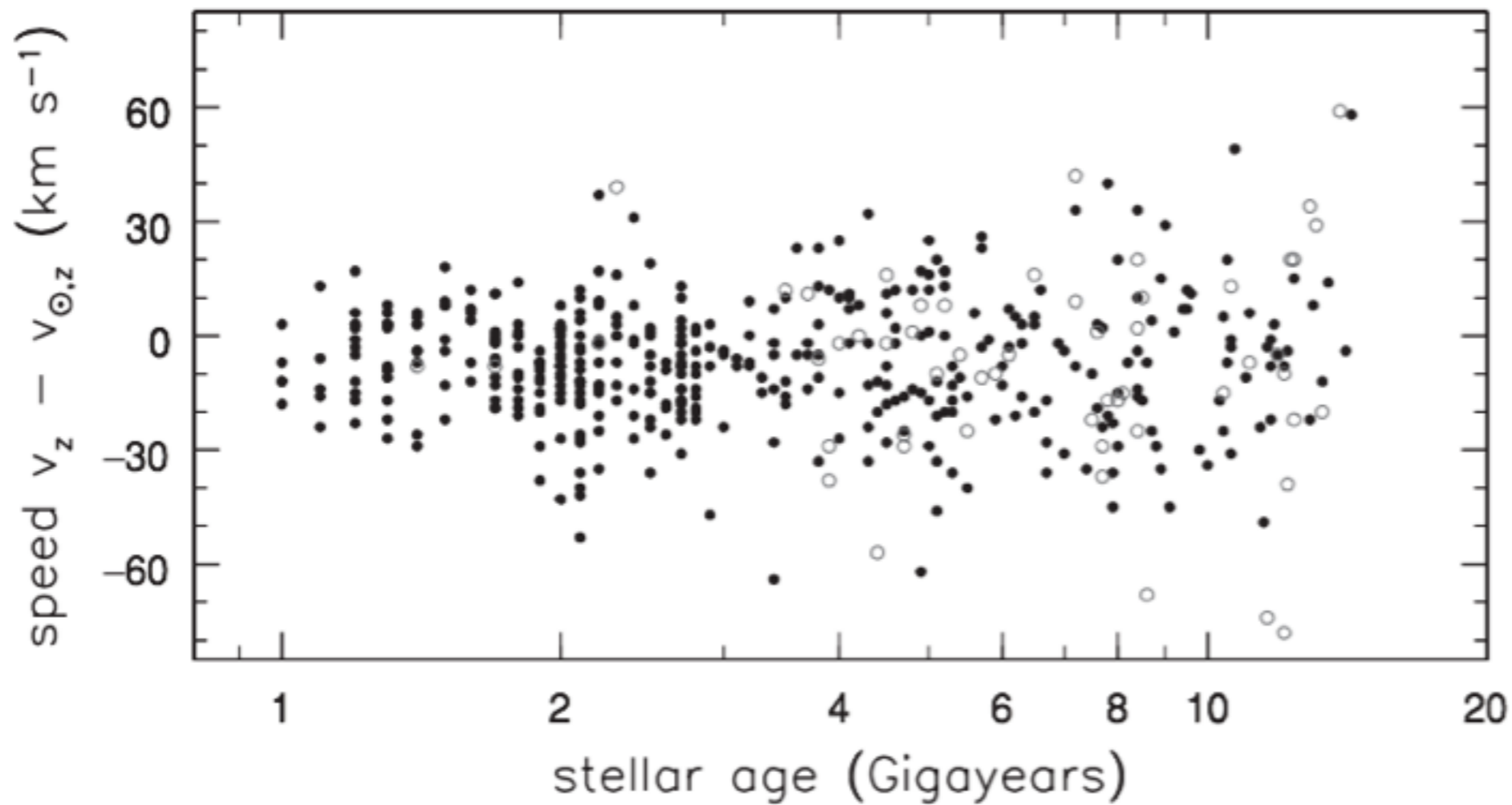
- ❖  $h_R$  é a escala de comprimento do disco
- ❖  $h_z$  é a escala de altura do disco

# Disco

---

$$n(R) \propto e^{-R/h_R}$$

- ❖ Disco estelar se estende por cerca de  $\sim 15$  kpc. A densidade de estrelas  $n$  no disco cai de forma exponencial por um *scale length*  $h_R \sim 2.5 - 4.5$  kpc.
- ❖ Além de um raio  $R_{\max} \approx 15$  kpc, a densidade cai rapidamente a zero (semelhante ao observado em outras galáxias).



**Fig. 2.9.** For nearby main-sequence F and G stars, velocity  $v_z - v_{z,\odot}$  is perpendicular to the Galactic plane, measured relative to the Sun. Open circles show stars with less than a quarter of the Sun's iron abundance. Older stars tend to move faster; the average velocity is negative, showing that the Sun moves 'upward' at  $7 \text{ km s}^{-1}$  – B. Nordström *et al.* 2004 *AAp* 418, 98.

Velocidade vertical vs. idade

---

**Table 2.1** Scale heights and velocities of gas and stars in the disk and halo

| <i>Galactic component</i>             | $h_z$ or<br><i>shape</i>  | $\sigma_x = \sigma_R$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | $\sigma_y = \sigma_\phi$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | $\sigma_z$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | $\langle v_y \rangle$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | <i>Fraction of<br/>local stars</i> |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|
| HI gas near the Sun                   | 130 pc                    |                                                | $\approx 5$                                       | $\approx 7$                         | Tiny                                           |                                    |
| Local CO, H <sub>2</sub> gas          | 65 pc                     |                                                | 4                                                 |                                     | Tiny                                           |                                    |
| Thin disk: $Z > Z_\odot/4$            | (Figure 2.9)              |                                                |                                                   |                                     |                                                | 90%                                |
| $\tau < 3$ Gyr                        | $\approx 280$ pc          | 27                                             | 17                                                | 13                                  | -10                                            |                                    |
| $3 < \tau < 6$ Gyr                    | $\approx 300$ pc          | 32                                             | 23                                                | 19                                  | -12                                            |                                    |
| $6 < \tau < 10$ Gyr                   | $\approx 350$ pc          | 42                                             | 24                                                | 21                                  | -19                                            |                                    |
| $\tau > 10$ Gyr                       |                           | 45                                             | 28                                                | 23                                  | -30                                            |                                    |
| Thick disk                            | 0.75–1 kpc                |                                                |                                                   |                                     |                                                | 5%–15%                             |
| $\tau > 7$ Gyr, $Z < Z_\odot/4$       | (Figure 2.9)              | 68                                             | 40                                                | 32                                  | -32                                            |                                    |
| $0.2 \lesssim Z/Z_\odot \lesssim 0.6$ |                           | 63                                             | 39                                                | 39                                  | -51                                            |                                    |
| Halo stars near Sun                   | $b/a \approx 0.5$ – $0.8$ |                                                |                                                   |                                     |                                                | $\sim 0.1\%$                       |
| $Z \lesssim Z_\odot/50$               |                           | 140                                            | 105                                               | 95                                  | -190                                           |                                    |
| Halo at $R \sim 25$ kpc               | Round                     | 100                                            | 100                                               | 100                                 | -215                                           |                                    |



# Discos

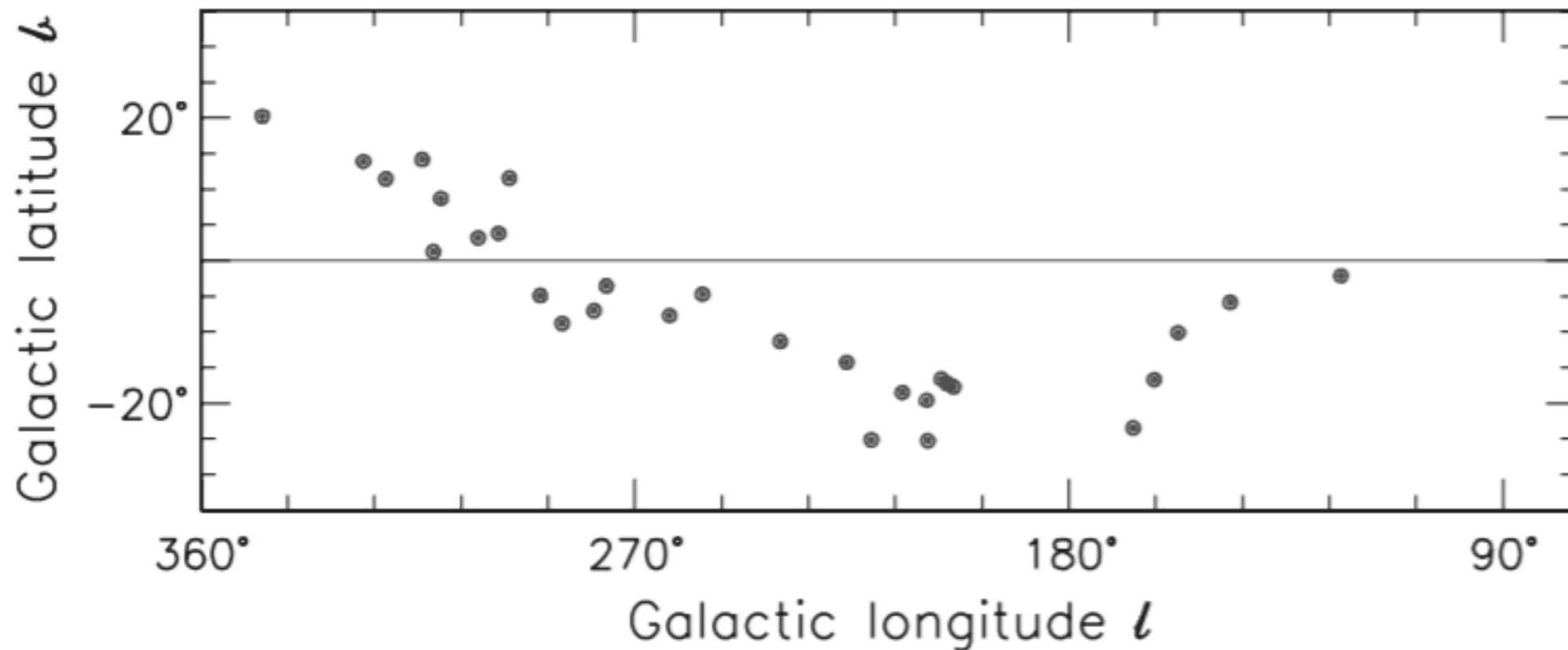
---

- ❖ As estrelas do disco espesso representam 10% do total próximo do Sol em  $z \approx 0$ , e o número de estrelas de disco espesso por parsec quadrado é apenas 30% daquele das estrelas no disco fino.
- ❖ Disco fino ainda forma estrelas (O, B, A). Metalicidades entre  $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.5$  e  $0.0$ ,  $[\alpha/\text{Fe}] \sim 0$ .
- ❖ Disco espesso tem ao menos 3Gyr. Como as estrelas jovens estão ausentes, o M/L do disco espesso é maior.  $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -0.8$  (Ivezic et al. 2008) e  $[\alpha/\text{Fe}] \sim 0.3$ . É dinamicamente mais quente que o disco fino.

# O aquecimento do disco

---

- ❖ As estrelas se formam próximo ao plano galáctico (onde está concentrado meio interestelar) e suas velocidades randômicas aumentam com seu tempo de vida, espessando o disco. O mecanismo de “aquecimento” ainda não é totalmente conhecido, pode ser pequenos satélites que atravessam o plano galáctico.
- ❖ Nosso disco espesso pode ser o remanescente de um disco fino antigo. Depois do aquecimento o gás volta a cair no plano galáctico, formando as estrelas que observamos hoje.
- ❖ Ou, os discos podem ter tido origens distintas, como proposto por Cristina Chiappini (texto para discussão)



**Fig. 2.10.** Short-lived bright stars with  $M_V < 3$ , at distances  $100 \text{ pc} < d < 500 \text{ pc}$  from the Sun, taken from the Hipparcos catalogue. Most of these B and A stars lie in a plane tilted by about  $20^\circ$  to the midplane of the disk.

## Cinturão de Gould

Sol se localiza em um anel ou disco de estrelas jovens, inclinado em  $20^\circ$  com relação ao plano galáctico.

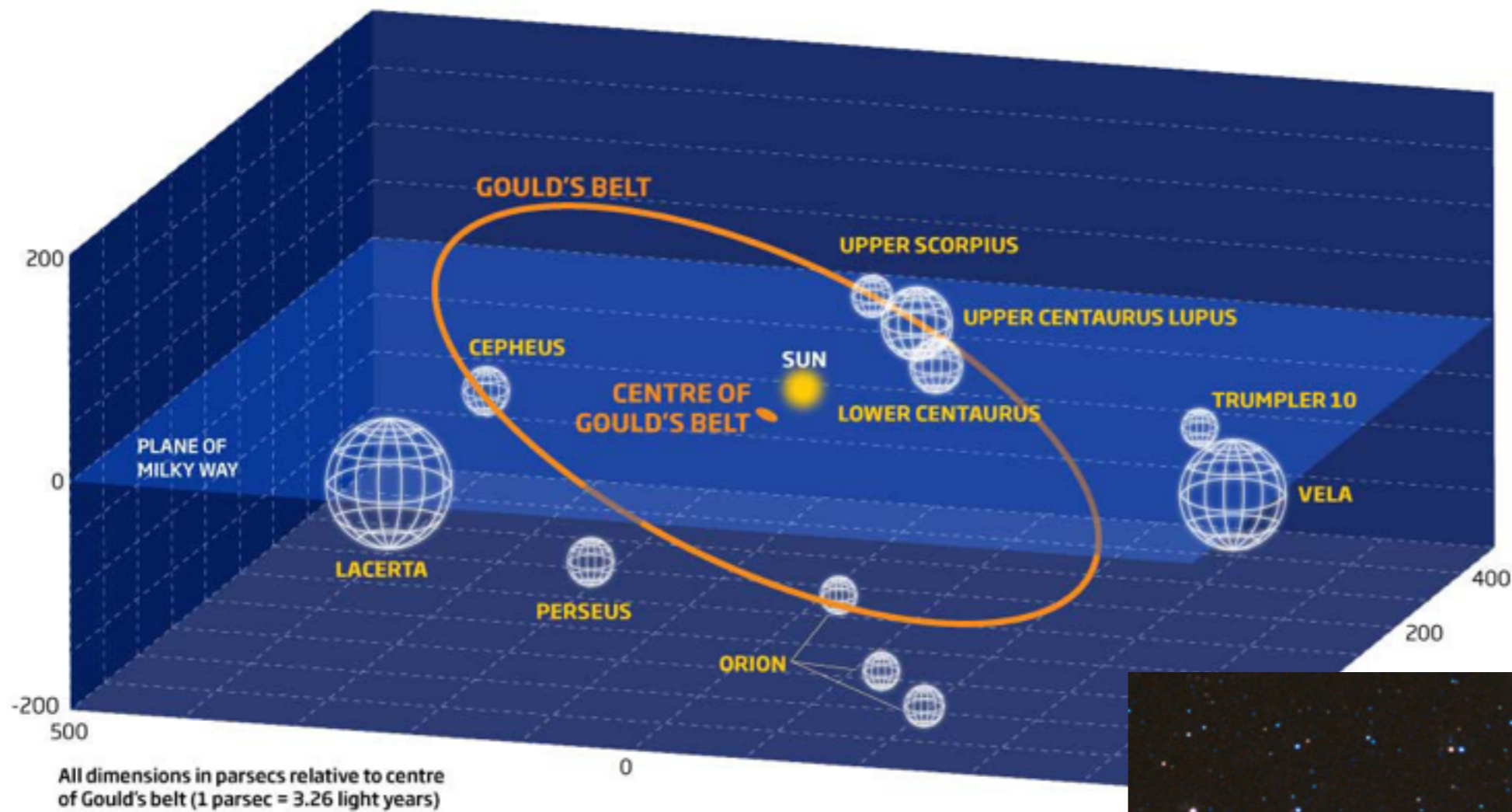
# Gould's belt

©NewScientist

Our solar system happens to be close to the centre of a rotating ring of bright stars that is tilted with respect to the Milky Way's plane. It is home to some of the brightest stars in the night sky



Loose clusters of young massive stars



<http://www.newscientist.com/data/images/archive/2735/27350901.jpg>

<http://joeorman.shutterace.com/Comets/CometsHolmes2.html>



# Aglomerados abertos

---

- ❖ Várias centenas de estrelas
- ❖ densidades centrais de até  $100 L_{\text{sun}} \text{ pc}^{-3}$
- ❖ core radius (quando o brilho superficial cai pela metade do valor central) de tipicamente poucos parsecs
- ❖ pouco ligados gravitacionalmente

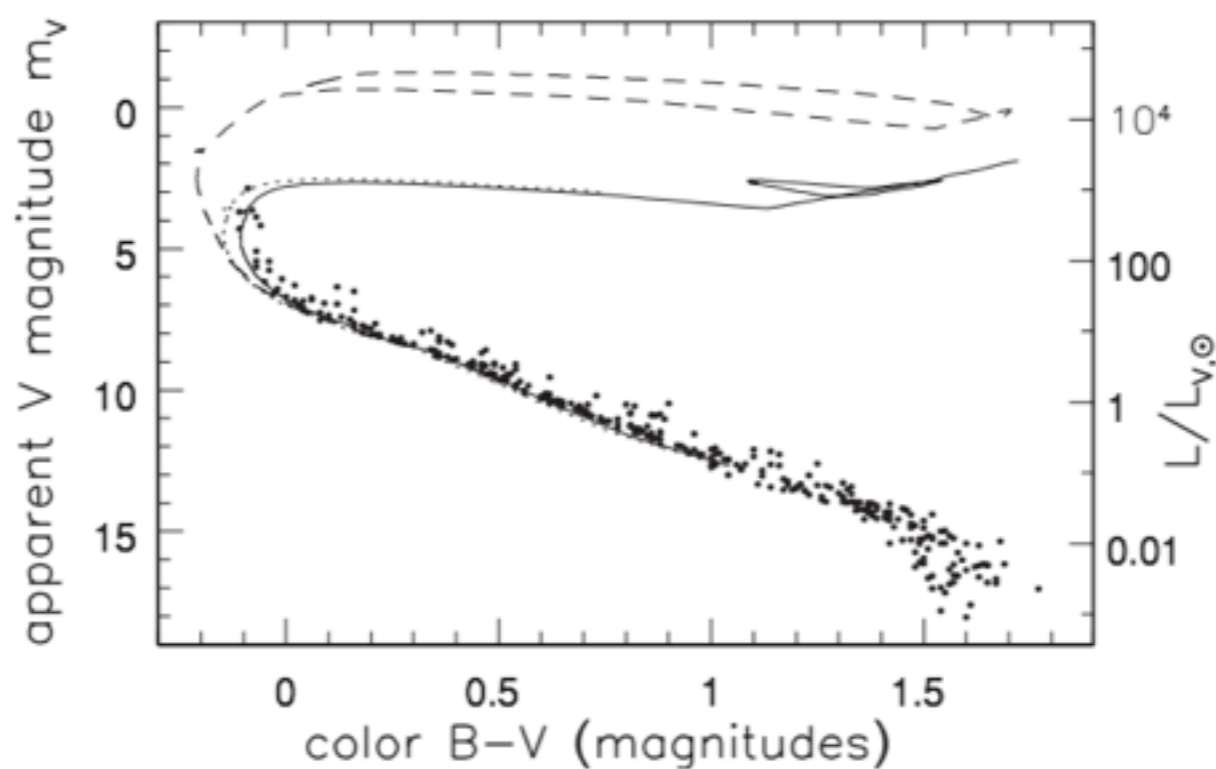


- ❖ apenas 5% dos ~1200 aglomerados conhecidos são mais velhos do que 1Gyr

# Plêiades



A presença de gás e poeira indica que poucas SN explodiram ainda.



**Fig. 2.12.** Measured apparent magnitude  $m_V$  and color  $B - V$  for stars in the Pleiades cluster; points show observed stars, and the solid line is an isochrone for stars 100 Myr old. The dotted line shows the same isochrone without correction for dust reddening; the dashed line is an isochrone for age 16 Myr – J.-C. Mermilliod.

**Table 2.2** Some open clusters in the Milky Way

| <i>Cluster</i> | <i>d</i><br>(pc) | [Fe/H] | <i>M<sub>V</sub></i><br>(mag) | <i>L<sub>V</sub></i><br>(10 <sup>3</sup> <i>L</i> <sub>⊙</sub> ) | <i>Color</i><br>( <i>B</i> − <i>V</i> ) | <i>r<sub>c</sub></i><br>(pc) | <i>σ<sub>r</sub></i><br>(km s <sup>−1</sup> ) | <i>Age</i> | <i>Mass</i><br>( <i>M</i> <sub>⊙</sub> ) | <i>M/L</i><br>( <i>M</i> <sub>⊙</sub> / <i>L</i> <sub>⊙</sub> ) |
|----------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| NGC 3603       | 6500             | —      | —                             | 20 000                                                           | −0.3                                    | 0.5                          | —                                             | <5 Myr     | 7000                                     | 0.001                                                           |
| Pleiades (M45) | 132              | 0.0    | −4.3                          | 4.5                                                              | −0.05                                   | 3                            | 0.5                                           | 0.125 Gyr  | 800                                      | 0.2                                                             |
| NGC 6705 (M11) | 1900             | 0.14   | −6.0                          | 22                                                               | 0.18                                    | 1                            | —                                             | 0.25 Gyr   | —                                        | —                                                               |
| Hyades         | 46               | 0.14   | −2.7                          | 1.0                                                              | 0.40                                    | 3                            | 0.3                                           | 0.625 Gyr  | 460                                      | 0.4                                                             |
| NGC 7789       | 2000             | −0.26  | −5.7                          | 17                                                               | 0.98                                    | 5                            | 0.8                                           | 1.5 Gyr    | —                                        | —                                                               |
| NGC 2682 (M67) | 860              | −0.05  | −3.3                          | 1.8                                                              | 0.78                                    | 1                            | 0.8                                           | 4 Gyr      | 2000                                     | 1                                                               |
| NGC 6791       | 4000             | 0.3    | −3.5                          | 2.1                                                              | 1.02                                    | 3                            | —                                             | 8–10 Gyr   | —                                        | —                                                               |

*Note:* *d* is distance from the Sun; [Fe/H] = log<sub>10</sub>(*Z*/*Z*<sub>⊙</sub>); *M<sub>V</sub>* and *B* − *V* are corrected for the obscuring effect of dust; *r<sub>c</sub>* is the core radius measured for stars of roughly the Sun's luminosity; *σ<sub>r</sub>* is the dispersion in the radial velocity *V<sub>r</sub>* of stars in the cluster's central region. Masses are found from the stellar luminosity function, using infrared observations to find faint or obscured stars.

## Aglomerados abertos

Há uma dispersão considerável de abundâncias. Gradientes mais migração radial.

# Aglomerados Abertos

---

- ❖ Fora do cinturão de Gould, a maioria dos aglomerados abertos conhecidos de idade  $< 300$  Myr encontram-se dentro de 50 pc do plano galáctico.
- ❖ Aglomerados mais antigos têm escala de altura maior,  $h_z \approx 375$ pc.
- ❖ Mais velhos do que um gigayear são encontrados principalmente na galáxia exterior, além da órbita do sol, onde as forças gravitacionais são mais fracas. Eles também são relativamente bem povoados e compactos.
- ❖ Aglomerados mais jovens são espalhados mais uniformemente. A atração gravitacional de aglomerados abertos não os liga muito fortemente, e eles tendem a ser dissolvidos à medida que passam pelos braços espirais do disco.
- ❖ Aglomerados velhos que vemos hoje são provavelmente sobreviventes robustos de uma população originalmente muito maior.



# NGC3603

---

- ❖ Muito jovem e massivo, com diversas estrelas O3, cada com  $L \sim 30000L_{\odot}$ .
- ❖ Próximo ao centro galáctico.
- ❖ Versão menor dos super-star-clusters que se formam em galáxias starburst.



# Abundâncias químicas

---

# Abundâncias químicas

---

- ❖ Aglomerados mais jovens são mais ricos ou mais pobres em metais do que aglomerados velhos?

# Abundâncias químicas

---

- ❖ Aglomerados mais jovens são mais ricos ou mais pobres em metais do que aglomerados velhos?
- ❖ O antigo cluster NGC 6791 é tão rico em metal quanto o Sol !

# Abundâncias químicas

---

- ❖ Aglomerados mais jovens são mais ricos ou mais pobres em metais do que aglomerados velhos?
- ❖ O antigo cluster NGC 6791 é tão rico em metal quanto o Sol !
- ❖ Como?

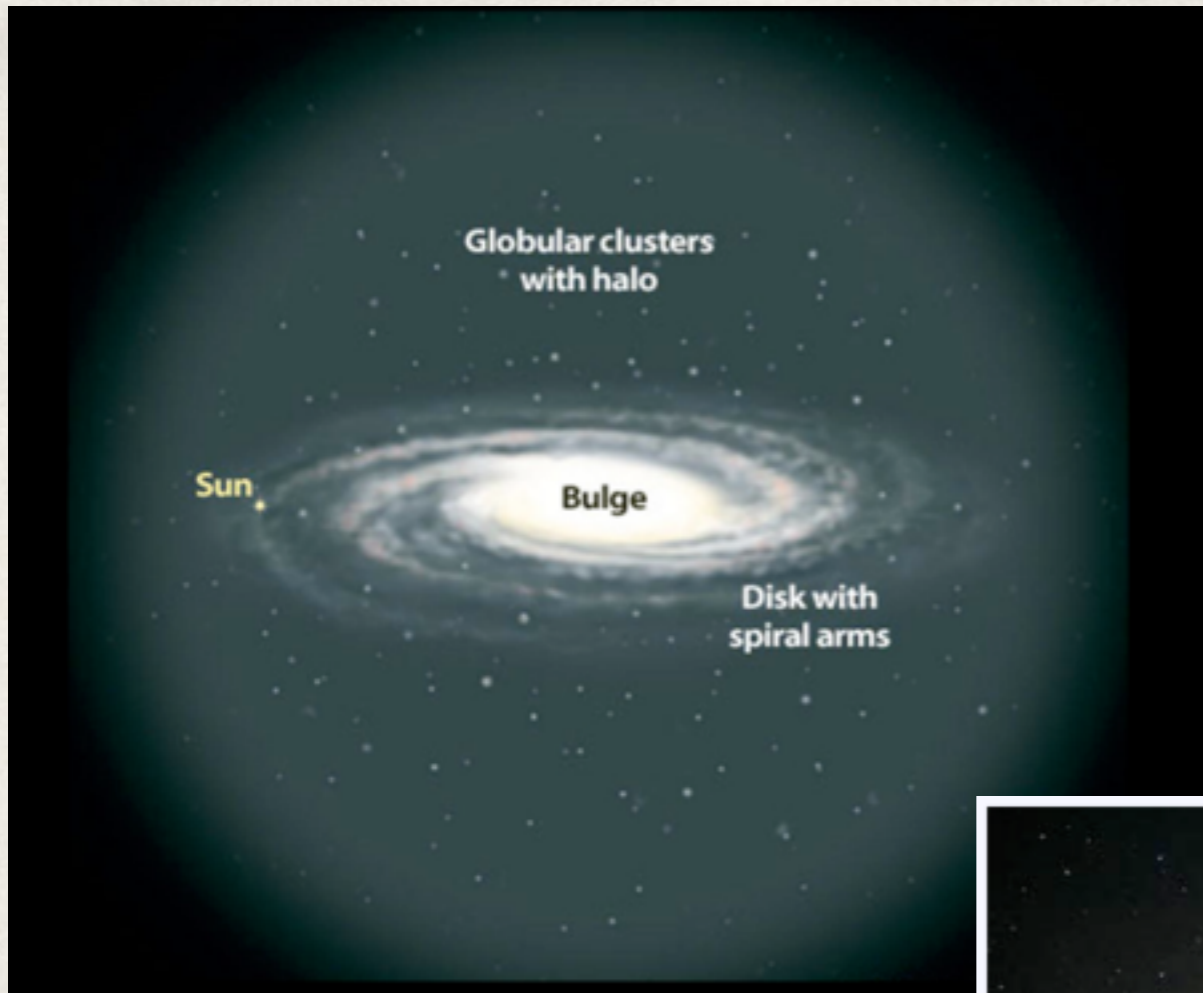
# Abundâncias químicas

---

- ❖ Aglomerados mais jovens são mais ricos ou mais pobres em metais do que aglomerados velhos?
- ❖ O antigo cluster NGC 6791 é tão rico em metal quanto o Sol !
- ❖ Como?
  - ❖ Há uma dispersão considerável na composição química de aglomerados abertos em todas as idades. O enriquecimento químico de metais na Galáxia deve ter prosseguido de modo desigual: algumas regiões até recentemente eram relativamente pobres nesses elementos. Os aglomerados abertos mais distantes do centro galáctico são mais susceptíveis de serem pobres em metais; A Via Láctea externa parece enriquecer-se mais lentamente do que as partes internas.



Halo



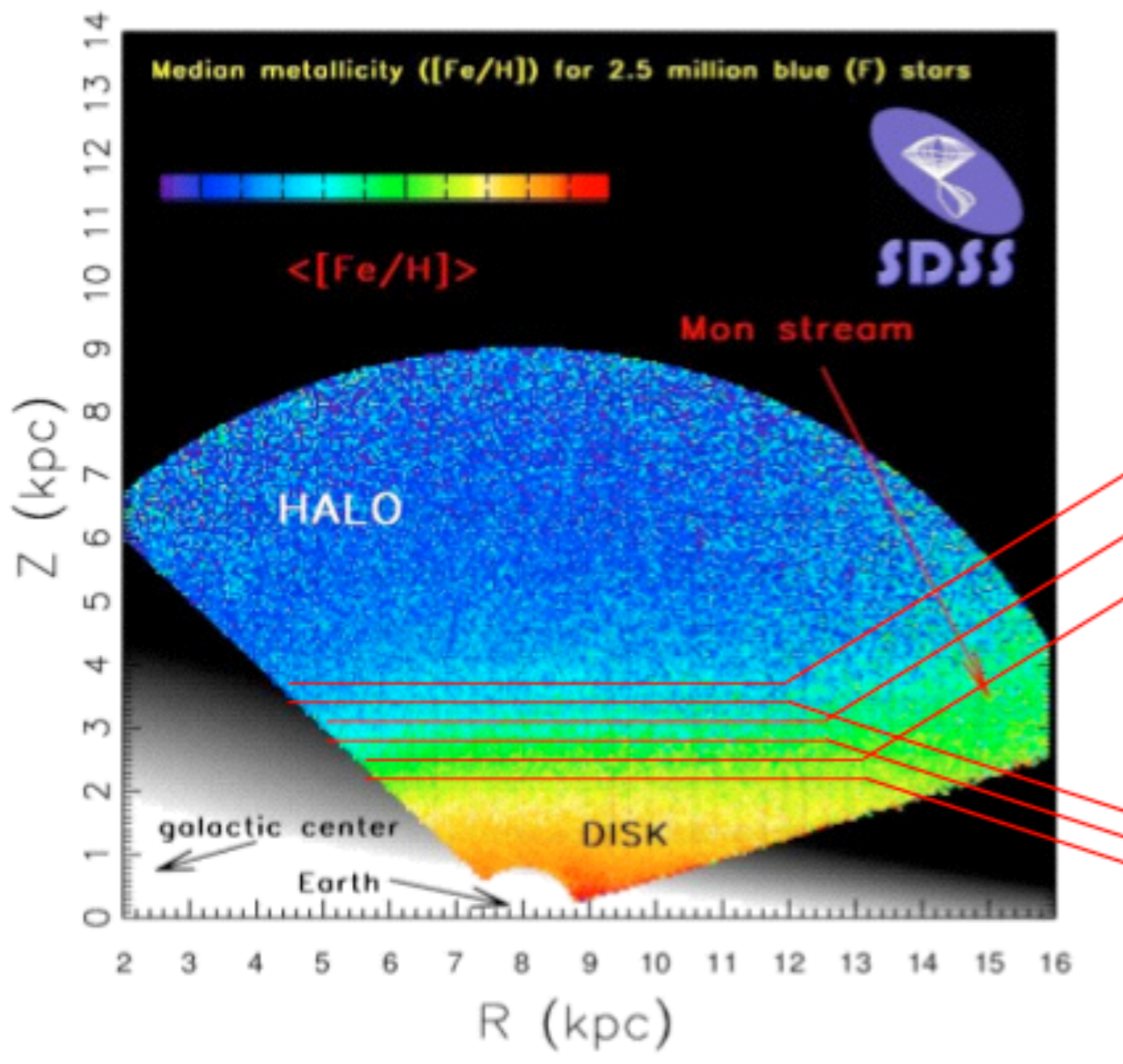
Estrutura extensa aproximadamente elíptica, dinamicamente quente, com pouca ou nenhuma rotação contém apenas 1% da massa estelar da Galáxia

É onde estão as estrelas mais velhas da Galáxia  
Mantém um registro da história de mergers



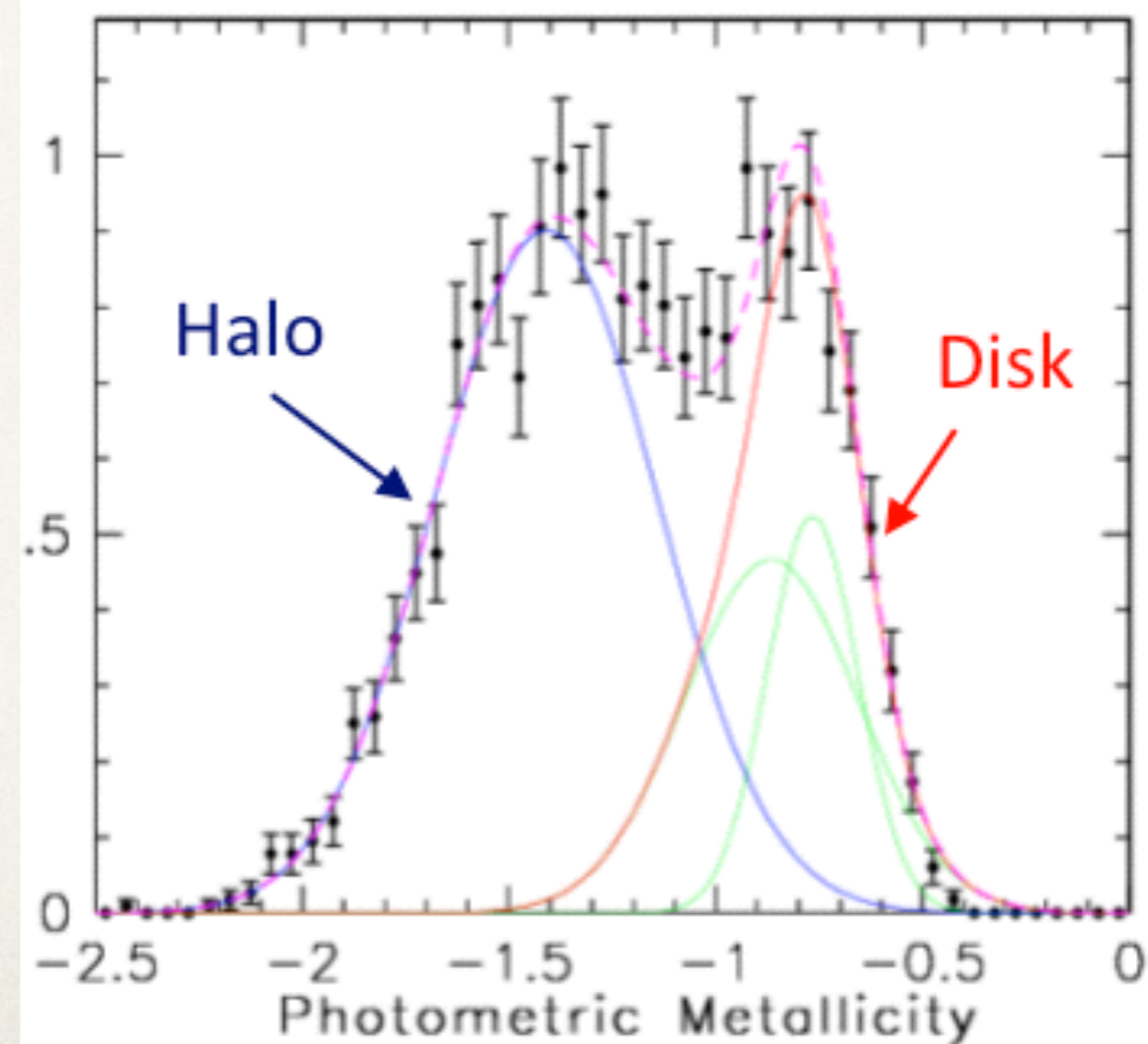
The Sombrero Galaxy from HST  
Credit: [Hubble Heritage Team](#) (AURA/STScI/NASA)





Há um gradiente vertical de metalicidade no disco

Distribuição de metalicidades: a separação entre disco e halo é clara



# Aglomerados globulares

---

- ❖ Maior parte das estrelas reside em AGs, sistemas estelares que contém de  $10^4$  a  $10^6$  estrelas. Maiores valores de  $\sigma$  do que os aglomerados abertos.
- ❖ Há ceca de 150 AGs na Galáxia. A densidade cai aproximadamente com  $r^{-3}$ .
- ❖ A densidade estelar é aproximadamente constante dentro do core radius  $r_c \approx 5\text{pc}$ . Em algum raio  $r_t$  geralmente além de  $30\text{pc}$ , a densidade de estrelas cai rapidamente a zero = tidal radius ou truncation radius (estrelas além desse raio são perdidas por conta das interações gravitacionais).
- ❖ Todos os AGs da galáxias tem vários Gyr (mas pode ser diferente em outras galáxias!! LMC, SMC, M31...)

**Table 2.3** Some globular clusters in the Milky Way, and one belonging to the Fornax dwarf spheroidal galaxy

| <i>Cluster</i> |              | $d$<br>(kpc) | [Fe/H]            | $M_V$<br>(mag) | $L_V$<br>( $10^3 L_\odot$ ) | $r_c$<br>(pc)      | $r_t$<br>(pc) | $\sigma_r$<br>(km s $^{-1}$ ) |
|----------------|--------------|--------------|-------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------------------------|
| NGC 5139       | $\omega$ Cen | 5.2          | -1.6 <sup>a</sup> | -10.2          | 1100                        | 4                  | 70            | 20                            |
| NGC 104        | 47 Tuc       | 4.5          | -0.71             | -9.5           | 500                         | 0.5                | 50            | 11                            |
| NGC 7078       | M15          | 10.8         | -2.15             | -9.3           | 440                         | <0.01 <sup>b</sup> | 85            | 12                            |
| NGC 6341       | M92          | 8.5          | -2.15             | -8.3           | 180                         | 0.5                | 35            | 5                             |
| NGC 7099       | M30          | 9.1          | -2.13             | -7.6           | 95                          | <0.1 <sup>b</sup>  | 45            | 5                             |
| NGC 6121       | M4           | 1.73         | -1.2              | -7.2           | 60                          | 0.5                | 25            | 4                             |
|                | Pal 13       | 24.3         | -1.9              | -3.8           | 3                           | 0.5                | >50           | 0.6–0.9                       |
| NGC 1049       | Fornax 3     | 140          | -2.0              | -7.8           | 100                         | 1.6                | >50           | 9                             |

*Note:*  $d$  is distance from the Sun;  $[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10}(Z/Z_\odot)$ ;  $r_c$  is the core radius,  $r_t$  is the tidal or truncation radius; and  $\sigma_r$  is the dispersion in the radial velocity  $V_r$  of stars in the central region.

<sup>a</sup> 20%–30% of the stars of  $\omega$  Centauri's core are more metal-rich.

<sup>b</sup> A collapsed core: see Section 3.2.

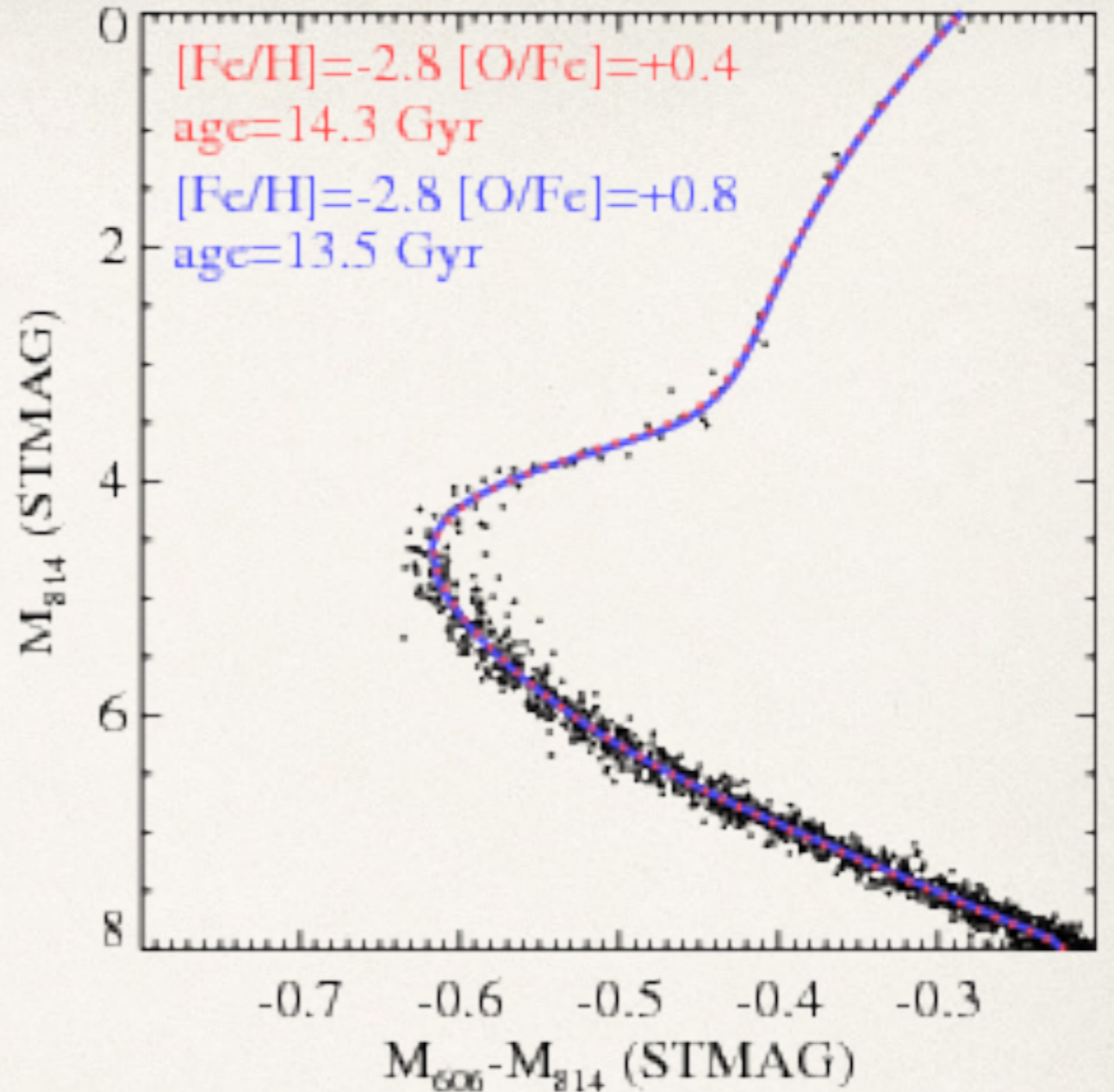
## Aglomerados Globulares

# Populações simples e compostas

---

# SSP

- ❖ Simple (ou Single) Stellar Population
- ❖ Conjunto de estrelas que nasceram no mesmo instante  $t$  a partir de uma nuvem molecular quimicamente homogênea
- ❖ Todas as estrelas tem a mesma idade e a mesma composição química

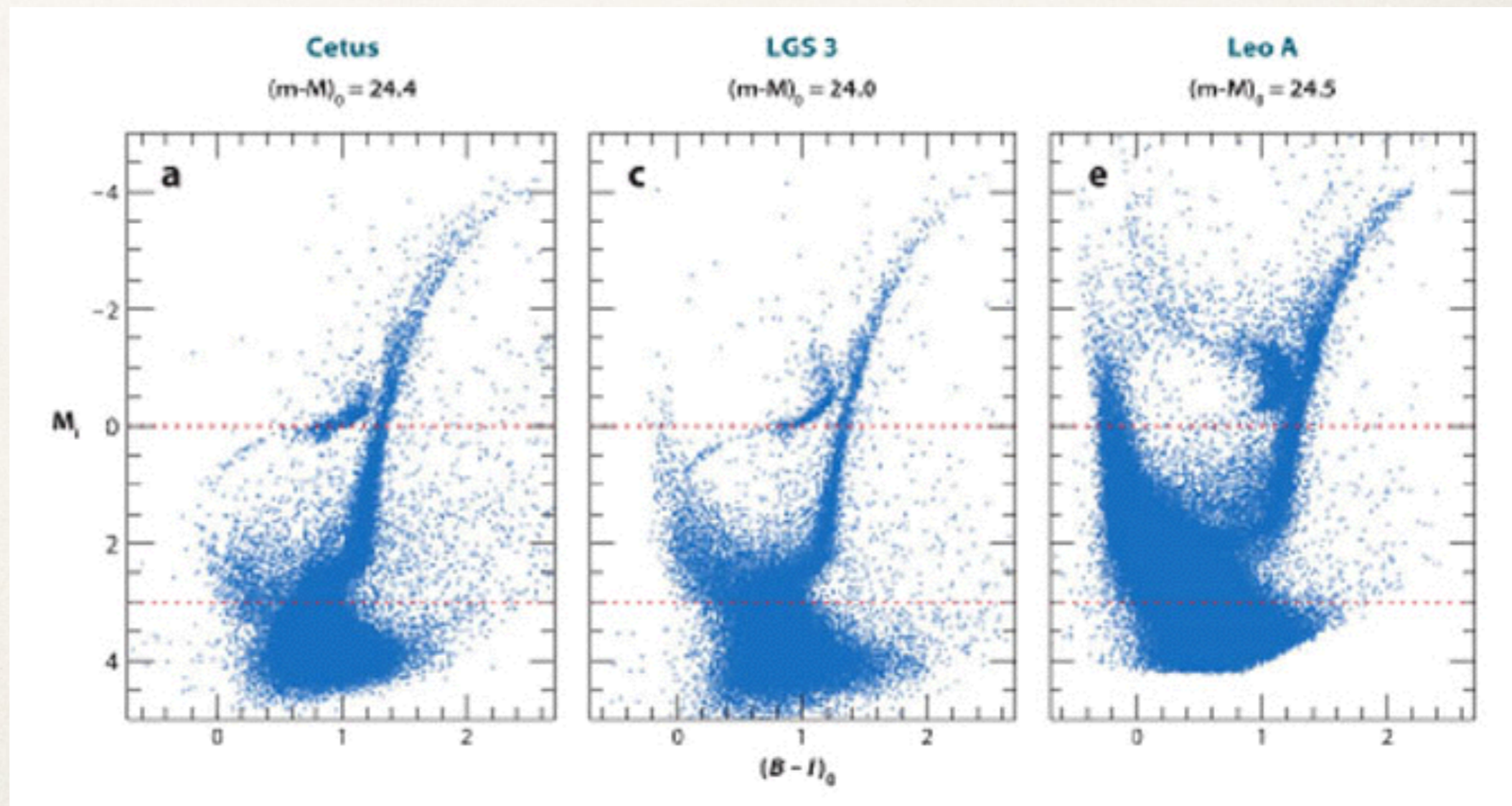


A hypothetical CMD for a simple stellar population (black points), with photometric errors of 0.01~mag in each band. At a fixed metallicity ( $[Fe/H] \sim -2.8$ ), the CMD can be fit by a younger isochrone (13.5~Gyr; blue curve) with enhanced oxygen abundance ( $[O/Fe] \sim +0.8$ ) or by an older isochrone (14.3~Gyr; dotted red curve) with the standard oxygen abundance ( $[O/Fe] \sim +0.4$ ) typically assumed for all  $\alpha$ -elements in the fitting of old stellar populations. Credit: Brown et al. *Astrophys.J.* 796 (2014) 91

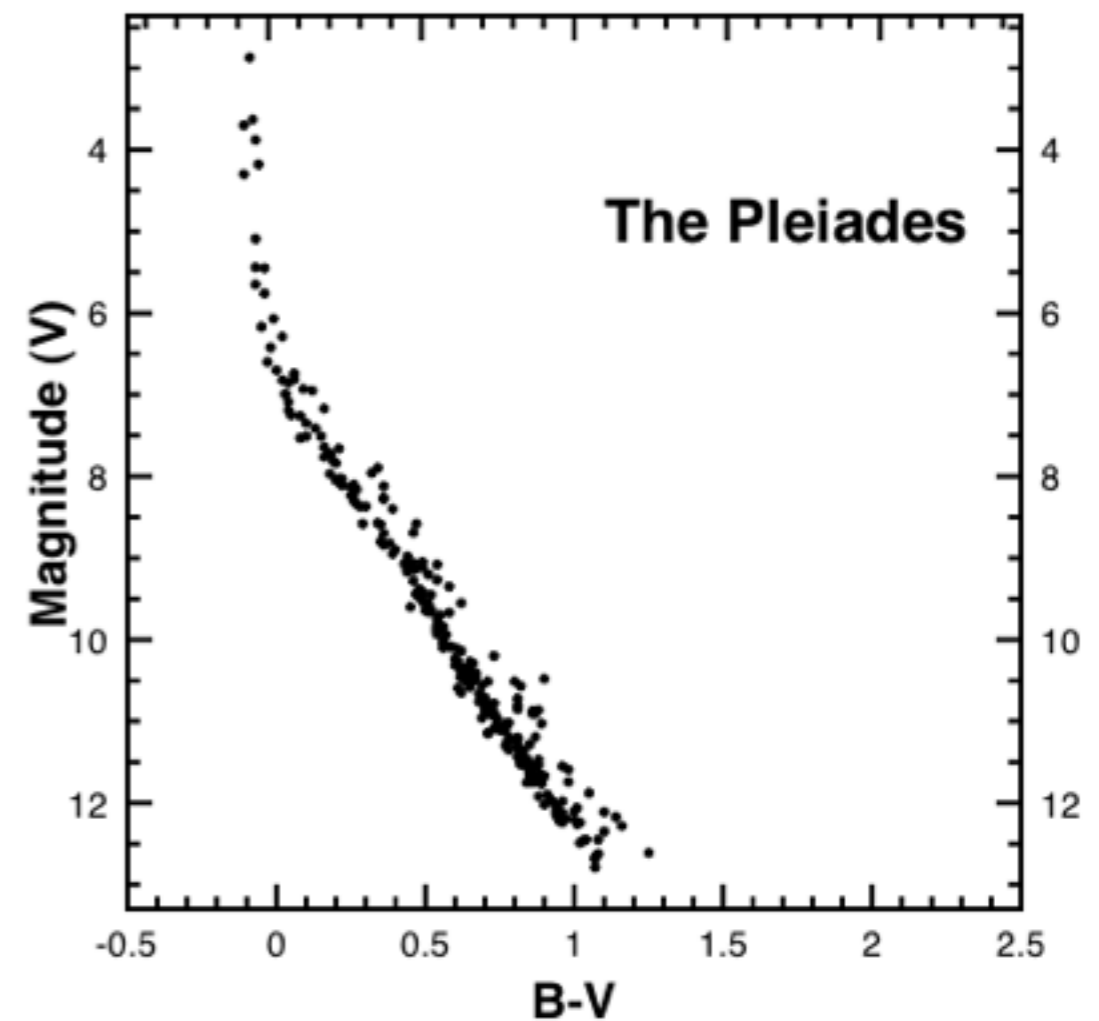
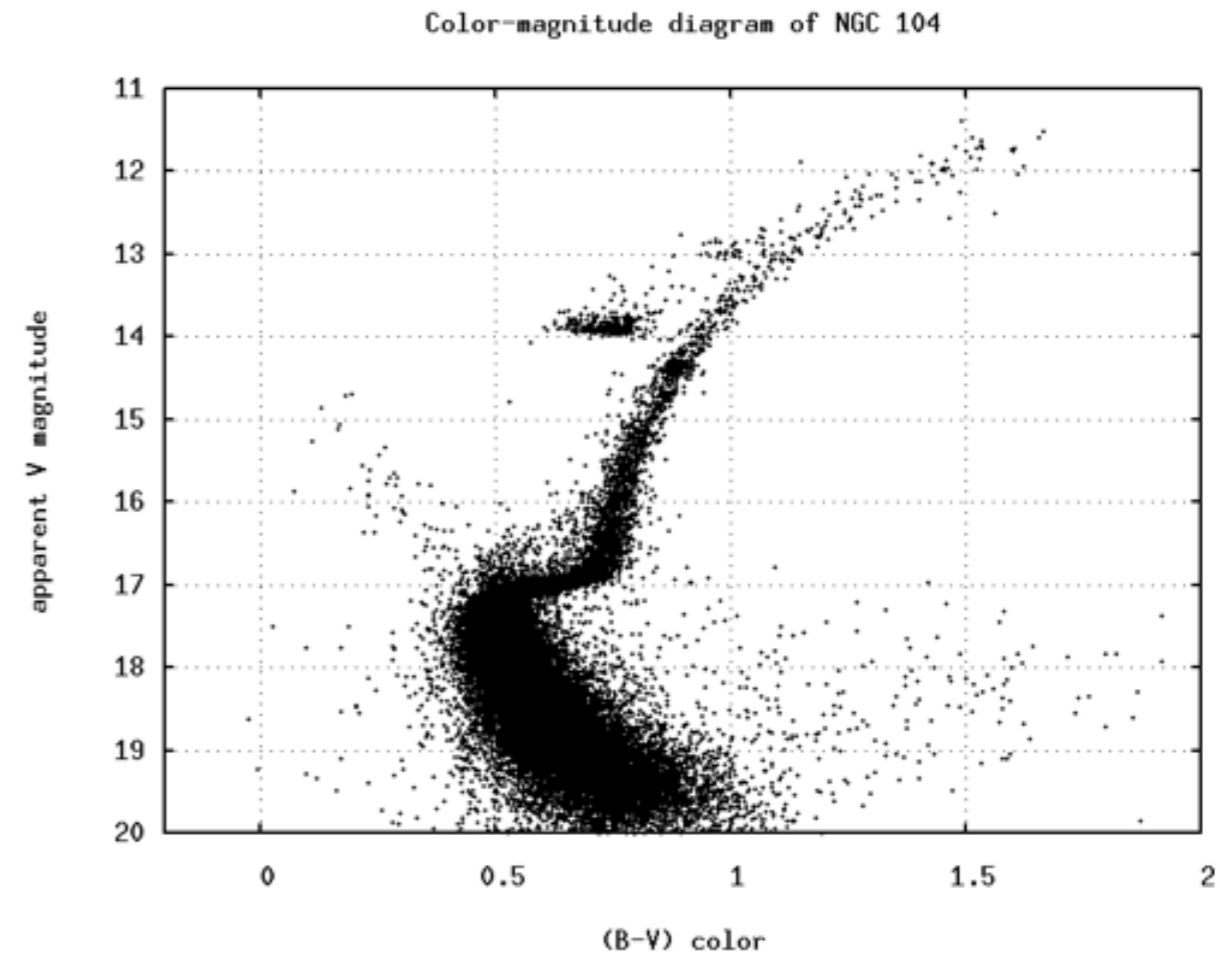
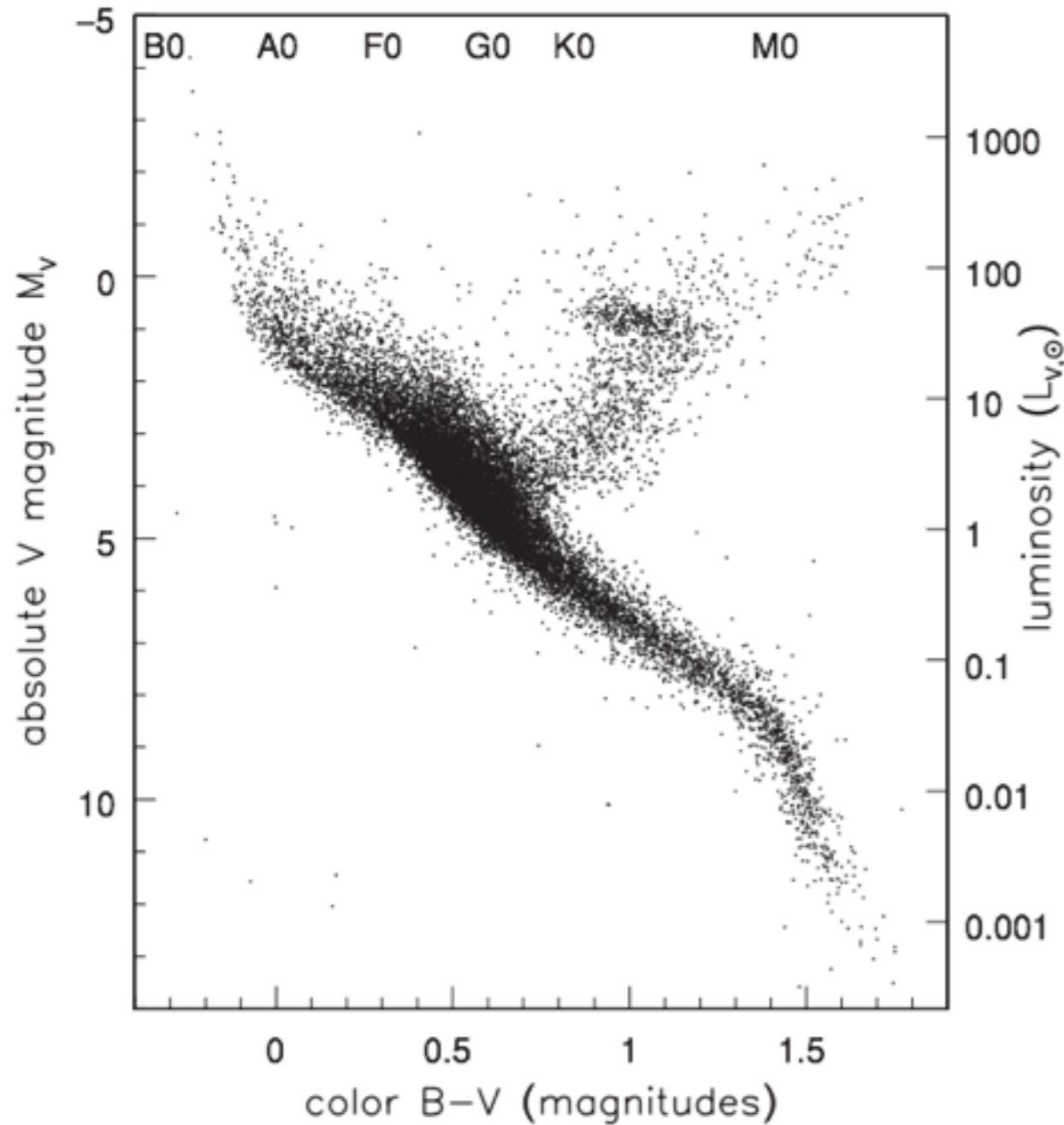
# CSP

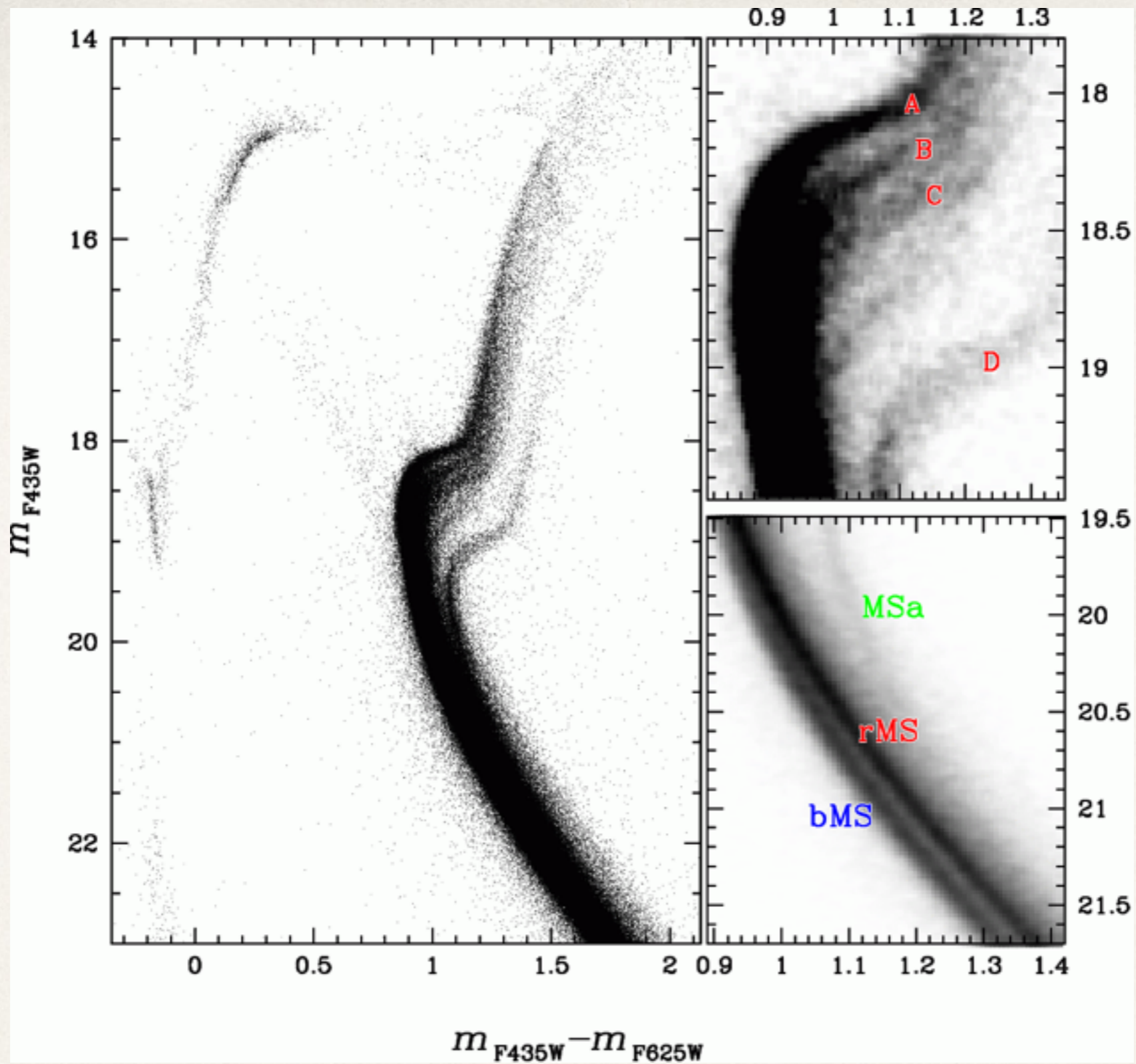
- ❖ Composite Stellar Population
- ❖ Idades e / ou abundâncias químicas não são as mesmas para todas as estrelas

HST/ACS color-magnitude diagrams SFHs for three Local Group dwarf galaxies: [Cetus](#), a distant dwarf spheroidal galaxy, [LGS 3](#), a transition-type dwarf galaxy and [Leo A](#), a dwarf irregular. These results come from the LCID project ([Gallart & the LCID team 2007](#), [Cole et al. 2007](#)). From [Tolstoy et al. \(2009\)](#).



Comente sobre as semelhanças ou diferenças entre os CMDs

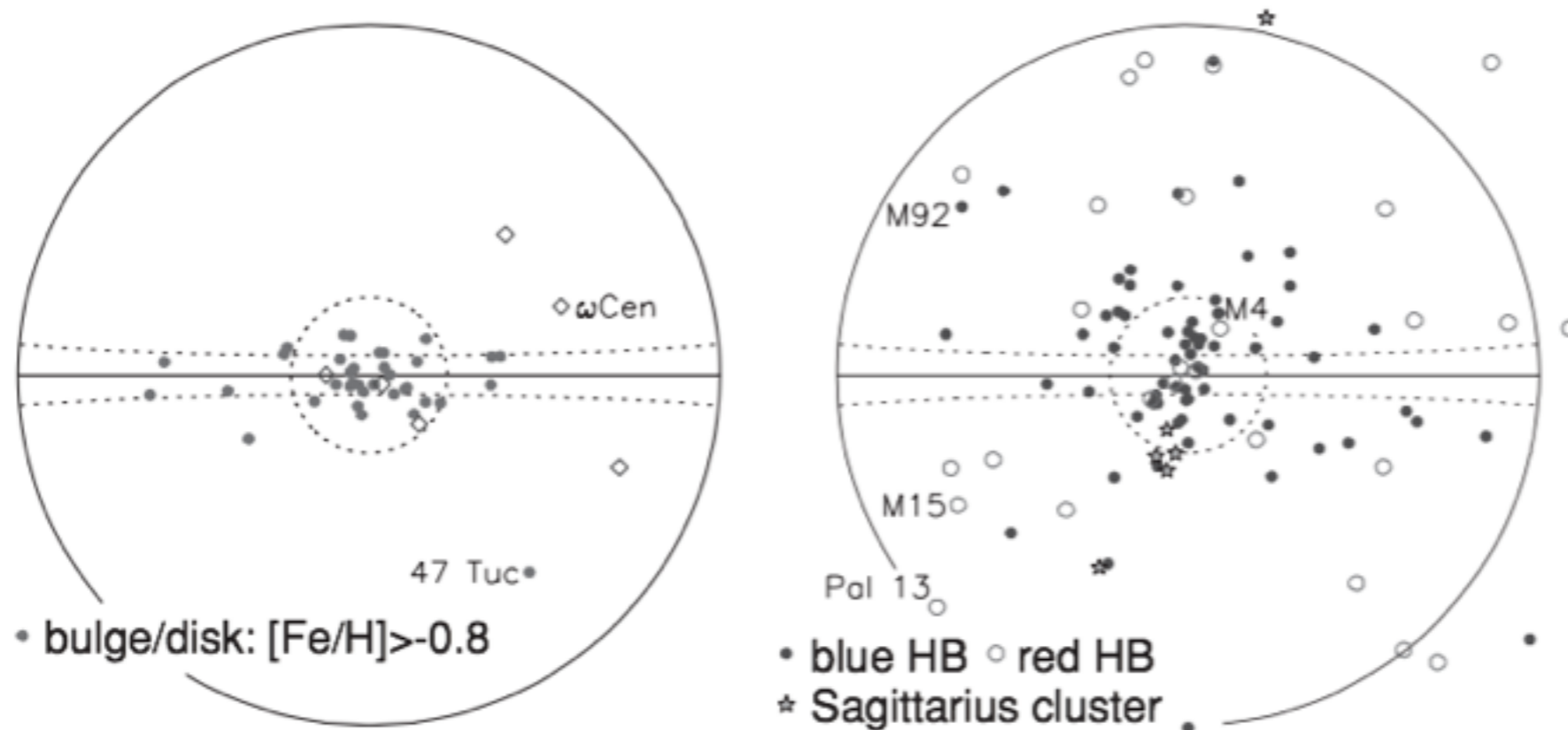




## CMD de $\Omega$ Cen

Observações HST, <http://inspirehep.net/record/859185/plots>



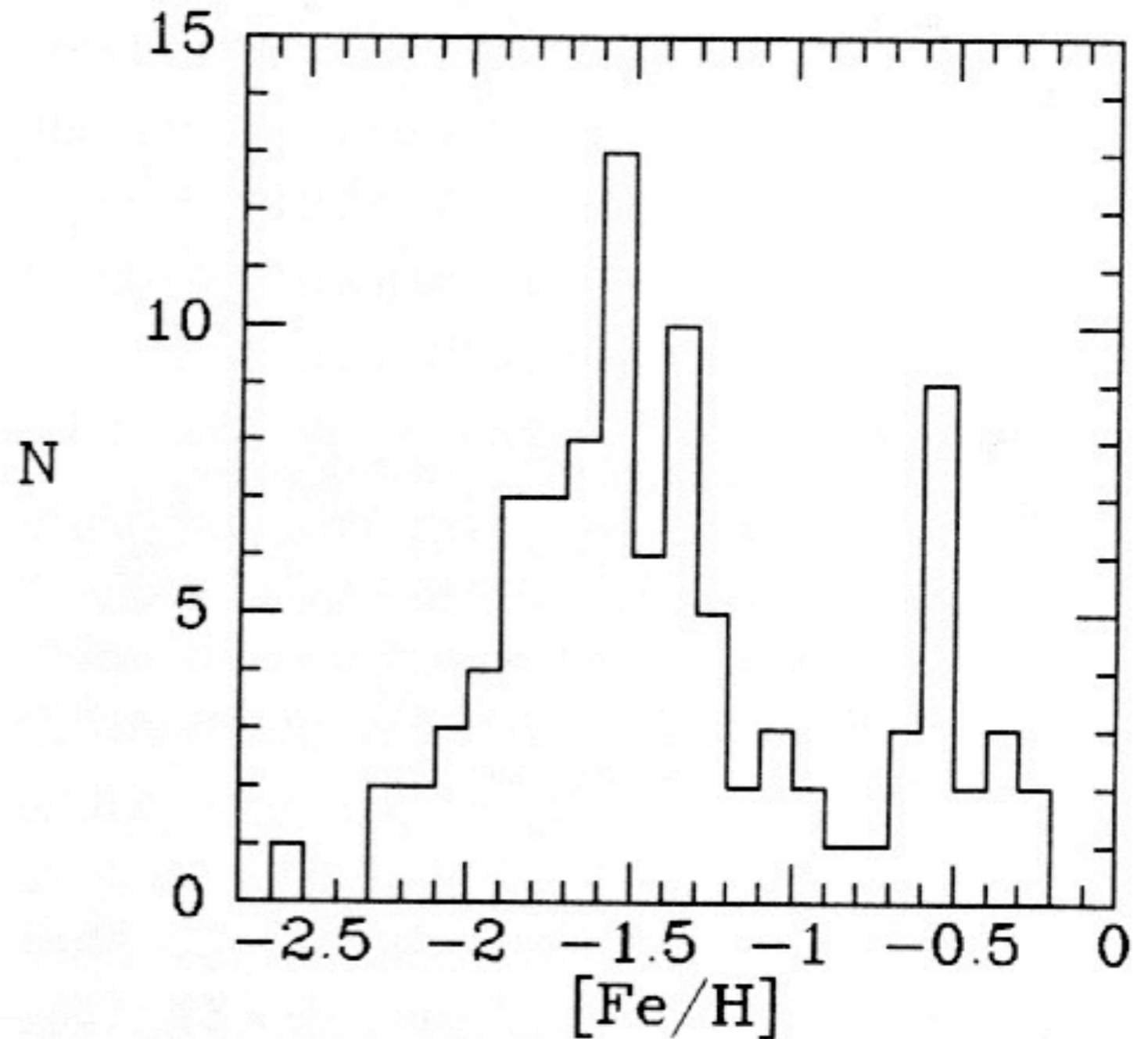


**Fig. 2.15.** Left, positions on the sky of the Milky Way's metal-rich 'disk' globular clusters (filled dots), and unusual objects, perhaps remnants of disrupted dwarf galaxies (open diamonds). Right, metal-poor clusters with  $[Fe/H] < -0.8$ . Those of the Sagittarius dwarf (stars) fall in a great circle on the sky. Clusters with a blue horizontal branch (filled dots) are more concentrated to the center than are those with a red horizontal branch (open circles). Circles mark  $20^\circ$  and  $90^\circ$  from the direction to the Galactic center; the solid line is the Galactic equator. Between the dashed lines at  $b = \pm 5^\circ$ , clusters may easily hide in the dusty disk – D. Mackey.

## Distribuição espacial de aglomerados globulares

# Metallicidade dos AGs da Galáxia

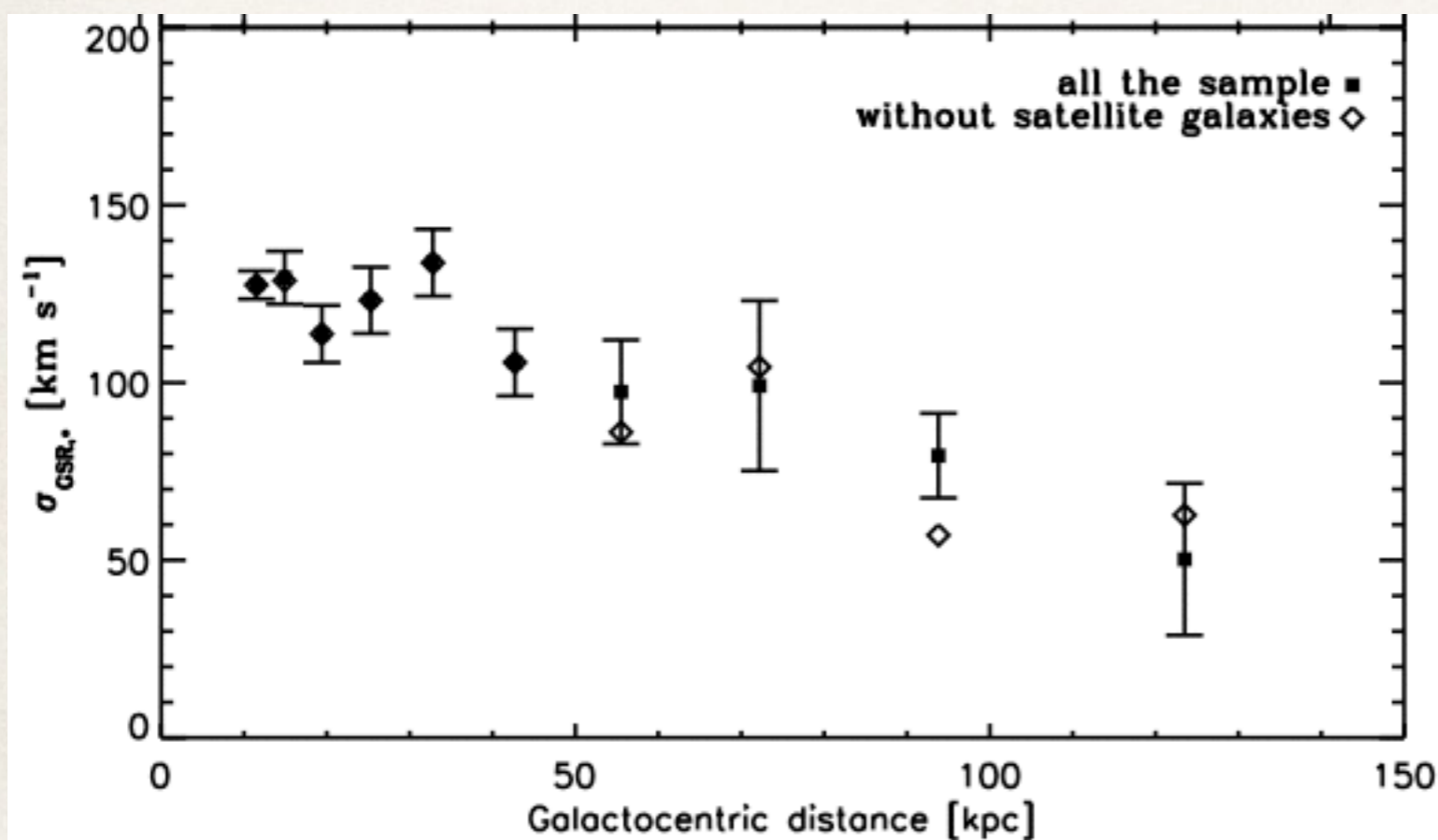
- ❖ Há duas “famílias” de aglomerados globulares:
- ❖ a pobre em metais é associada à cinemática do halo (alta dispersão de vels., distribuição ~ esférica), cerca de 80% dos aglomerados
- ❖ e a rica em metais é associada ao disco espesso, distribuição achatada



Binney & Merrifield, dados de  
Armandroff (1989)

# Cinemática do Halo

- ❖ Analisando cinemática dos aglomerados globulares, Armandroff (1989) deriva  $v_{\text{rot}} = 43 \pm 29 \text{ km/s}$  e  $\sigma = 116 \pm 11 \text{ km/s}$  (em comparação, aglomerados globulares do disco tem  $v_{\text{rot}} = 193 \pm 29 \text{ km/s}$  e  $\sigma = 59 \pm 14 \text{ km/s}$ )



$$\sigma = \langle (v_i - \langle v_i \rangle)^2 \rangle^{1/2}$$

Battaglia et al. 2005

# Aglomerados globulares

---

- ❖ Não há AGs próximos o suficiente para distância por paralaxe trigonométrica. Distâncias são obtidas por ajuste de isócronas, RR Lyrae: o brilho varia regularmente em períodos de 0.2–1 dias, o que as torna fáceis de serem encontradas, tem todas aproximadamente a mesma luminosidade  $L \approx 50L_{\odot}$
- ❖ Porque a Galáxia não forma mais AGs, enquanto continua formando aglomerados abertos?
- ❖ Aglomerados pobres em metais e estrelas foram encontradas tão longe quanto 100kpc do centro galáctico

# Halo

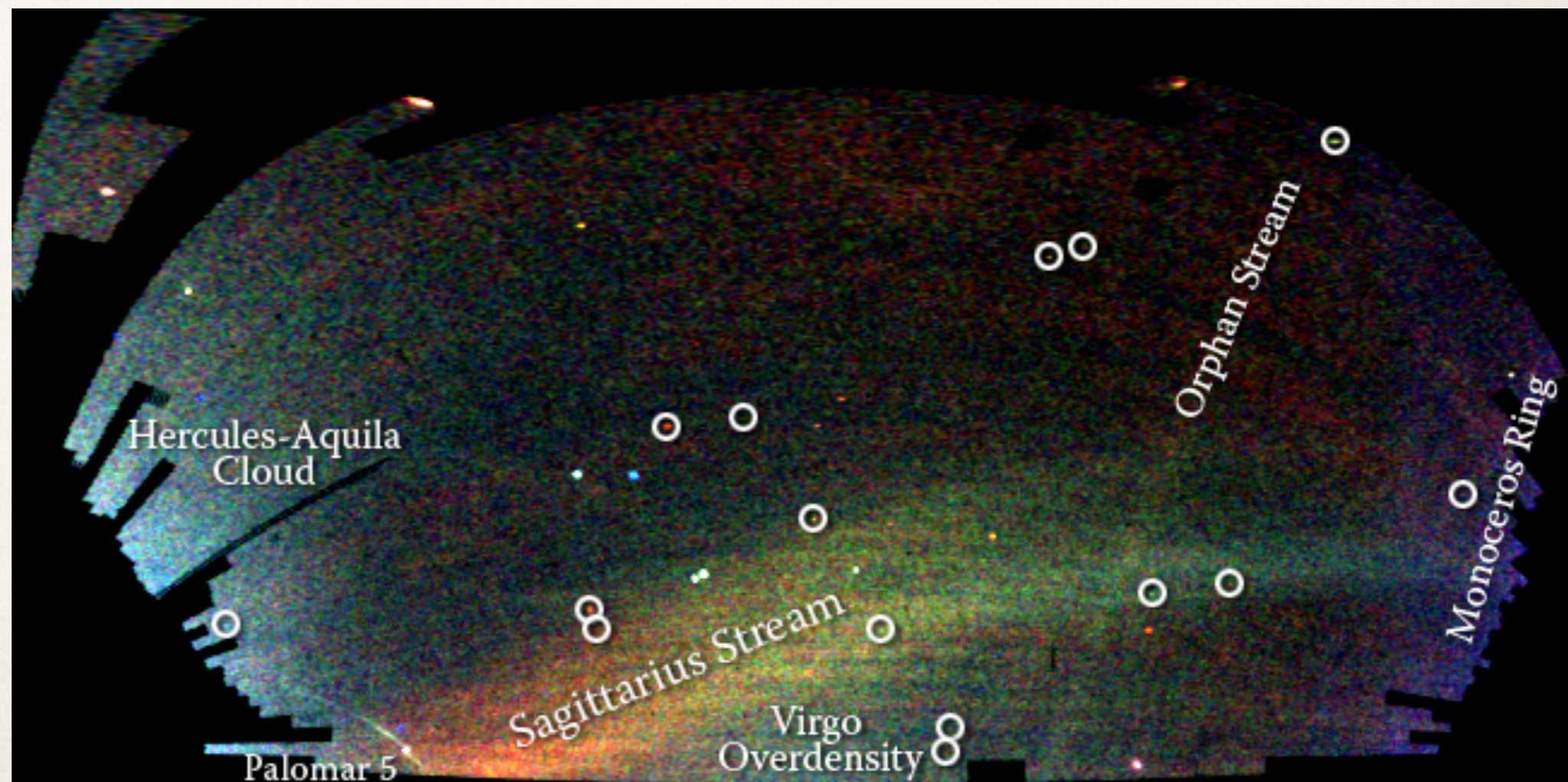
---

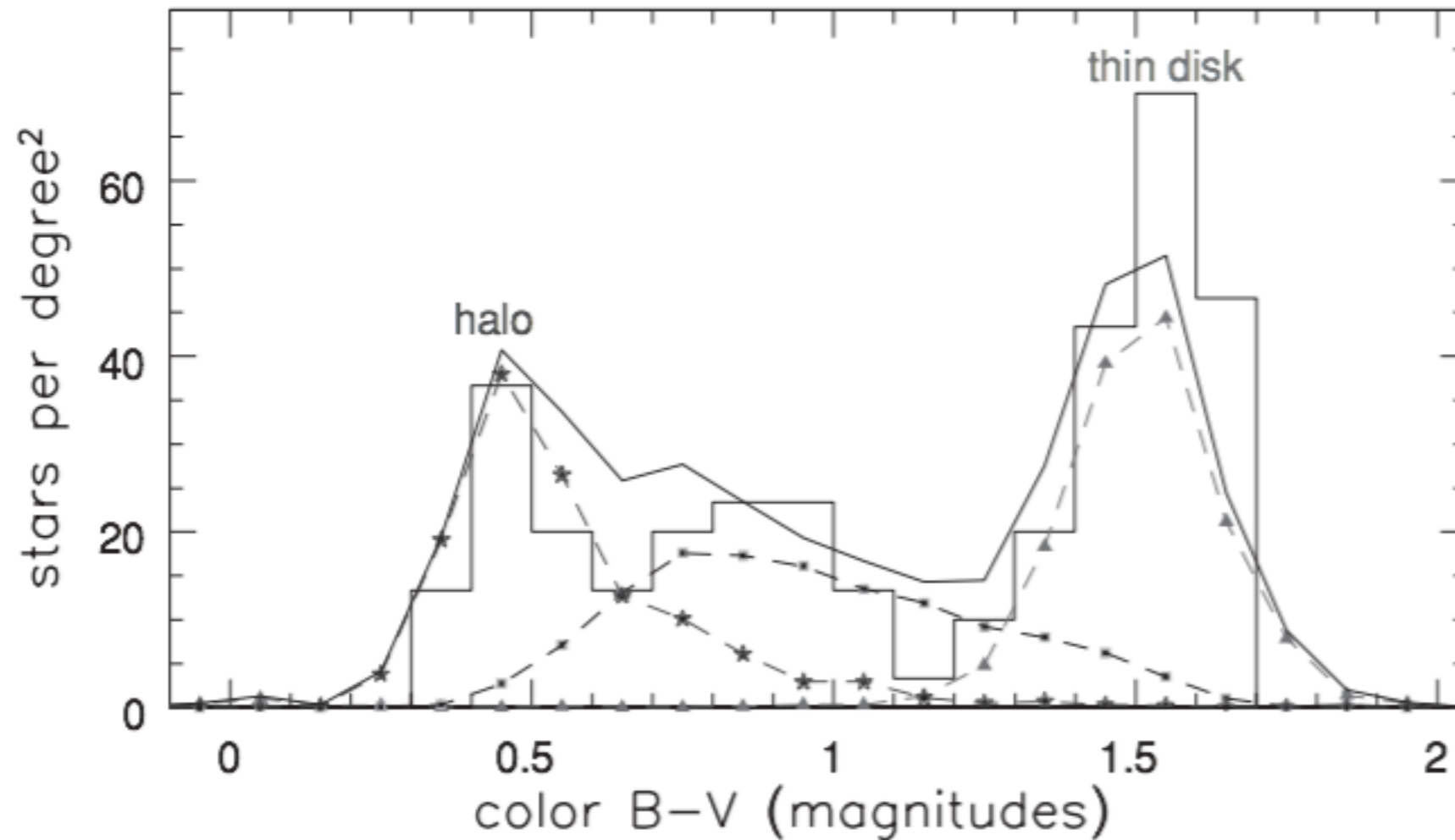
- ❖ Halo externo, pobre em metais ( $[Fe/H]$  até -2.5), não tem rotação organizada em torno do centro da Galáxia. Órbitas estelares tem alta excentricidade.
- ❖ Halo interno (e.g. Kalirai 12, Nature), mais rico em metais do que o Halo externo ( $[Fe/H] = -1.0$  a  $-0.5$ ), com rotação semelhante ao disco. “Achatado” em comparação com o halo externo.
- ❖ O halo pobre em metais também contém ‘moving groups’: estrelas que seguem uma órbita em comum, provavelmente remanescente de satélites capturados.

# Estruturas no halo

---

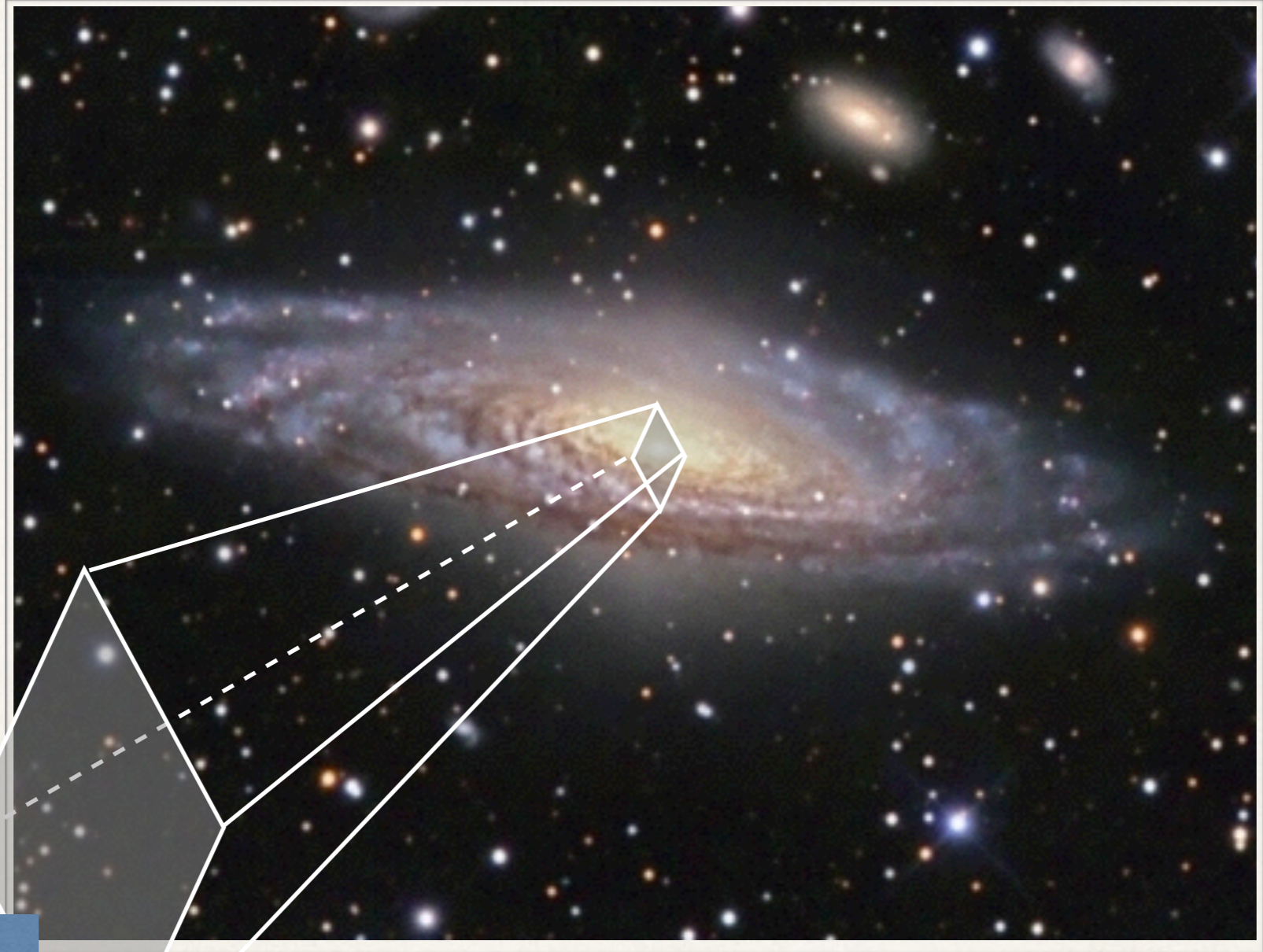
- ❖ Um “stream” de gigantes M e C foram removidas da galáxia anã satélite Sagittarius assim como um conjunto de AGs pobres em metais. O mesmo acontecerá com as Nuvens de Magalhães em 3-5Gyr.





**Fig. 2.16.** Numbers of stars at each  $B - V$  color with apparent  $V$  magnitude  $19 < m_V < 20$ , per square degree near the north Galactic pole. The solid line shows the prediction of a model: thin-disk stars (triangles) are red, halo stars (stars) are blue, and thick-disk stars (squares) have intermediate colors – N. Reid.

## Contagem de estrelas: observações vs. modelos



Partes centrais  
(bojo, barra,  
núcleo)



# Bojo e barra



- ❖ Estrutura  $\sim 3$  kpc de raio. Contém uma barra e um buraco negro central supermassivo.
- ❖ Melhor modo de mapear o bojo é no infravermelho  $\lambda \sim 5\text{--}7 \mu\text{m}$ : menos sensível à extinção mas ainda não dominado pela emissão de poeira.
- ❖ 20% da luz total da Galáxia.
- ❖ Estrutura “pear-shaped” é provavelmente a barra, de 3–4 kpc; o lado em  $l > 0$  parece maior por estar mais próximo de nós.

# A estrutura bojo/disco

---

- ❖ Historicamente acreditava-se que havia apenas um bojo (bojo clássico) e mais recentemente descobriu-se que há uma barra também.
- ❖ Na classificação de Hubble, provavelmente habitamos uma galáxia Sbc galaxy, que não é tão fortemente barrada para ser classificada como SBbc or SBc; alguns classificam em uma categoria intermediária entre barrada e não barrada, SAB.



Em que medida eles são a mesma estrutura ou duas sobrepostas é um questão ainda em debate.

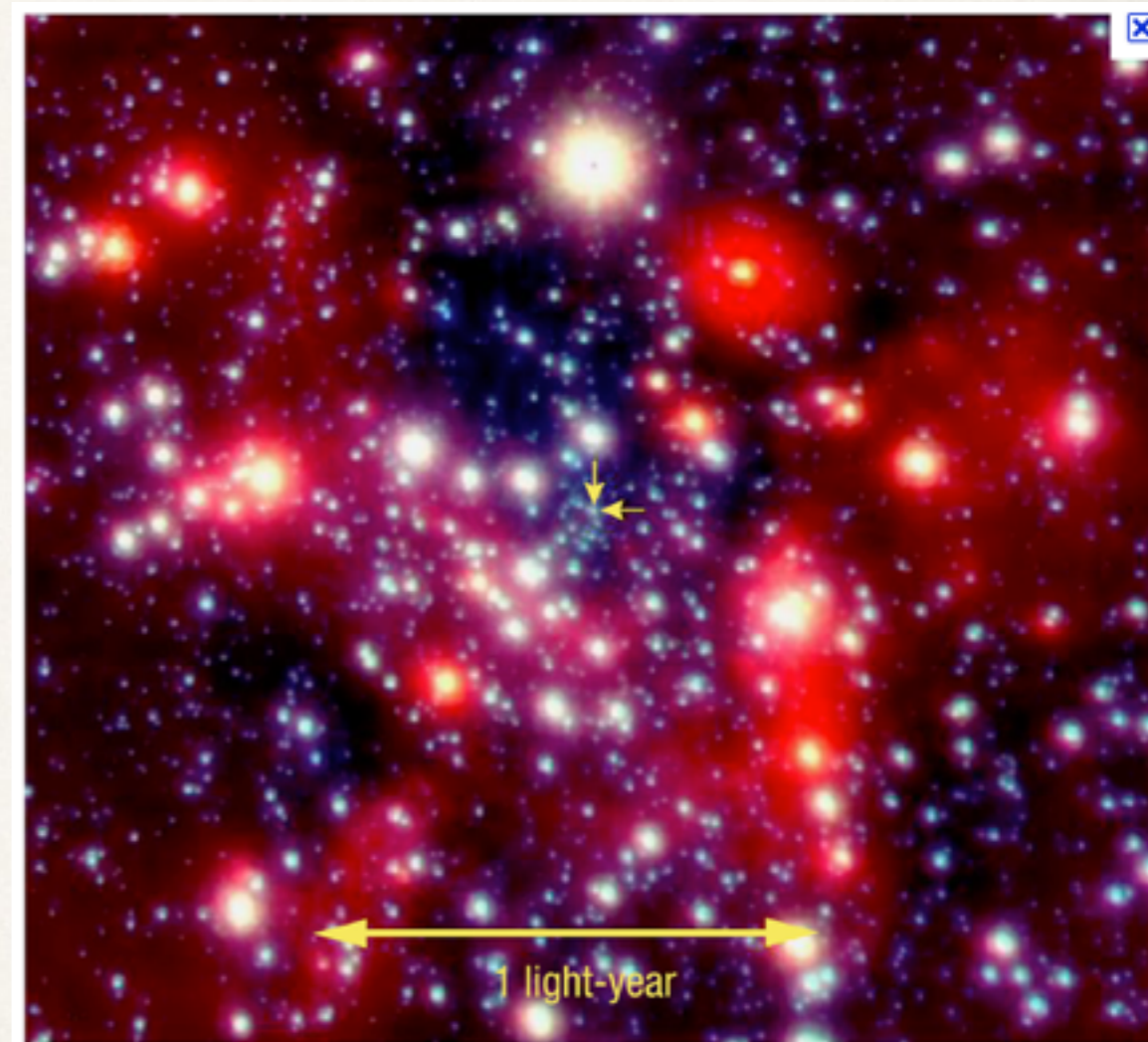
# Bojo e barra

---

- ❖ A densidade de estrelas do halo cresce em direção ao centro galáctico e podemos nos perguntar se o bojo é apenas a parte mais interna do halo. Não é!
- ❖ O bojo é mais achatado do que o halo interno e tem rotação no mesmo sentido que o disco (mais lento) e com maiores dispersões de velocidade ( $\sim 110\text{km/s}$ ).

# Centro galáctico

- ❖  $3 \times 10^7 M_{\odot}$  de estrelas dentro de um raio de  $10''$  ou  $0.2 \text{ pc}$ .
- ❖ O centro da Galáxia contém um torus de nuvens moleculares, com raio de  $2 \text{ pc}$  e  $10^6 M_{\odot}$ .
- ❖ Uma nuvem molecular gigante, Sagittarius B2, é observada a cerca de  $150 \text{ pc}$ . A  $30\text{--}50 \text{ pc}$  do centro, os aglomerados Quintuplet e Arches clusters são mais luminosos do que  $10^6 L_{\odot}$ .



The Centre of the Milky Way  
(VLT YEPUN + NACO)

ESO PR Photo 23a/02 (9 October 2002)

© European Southern Observatory

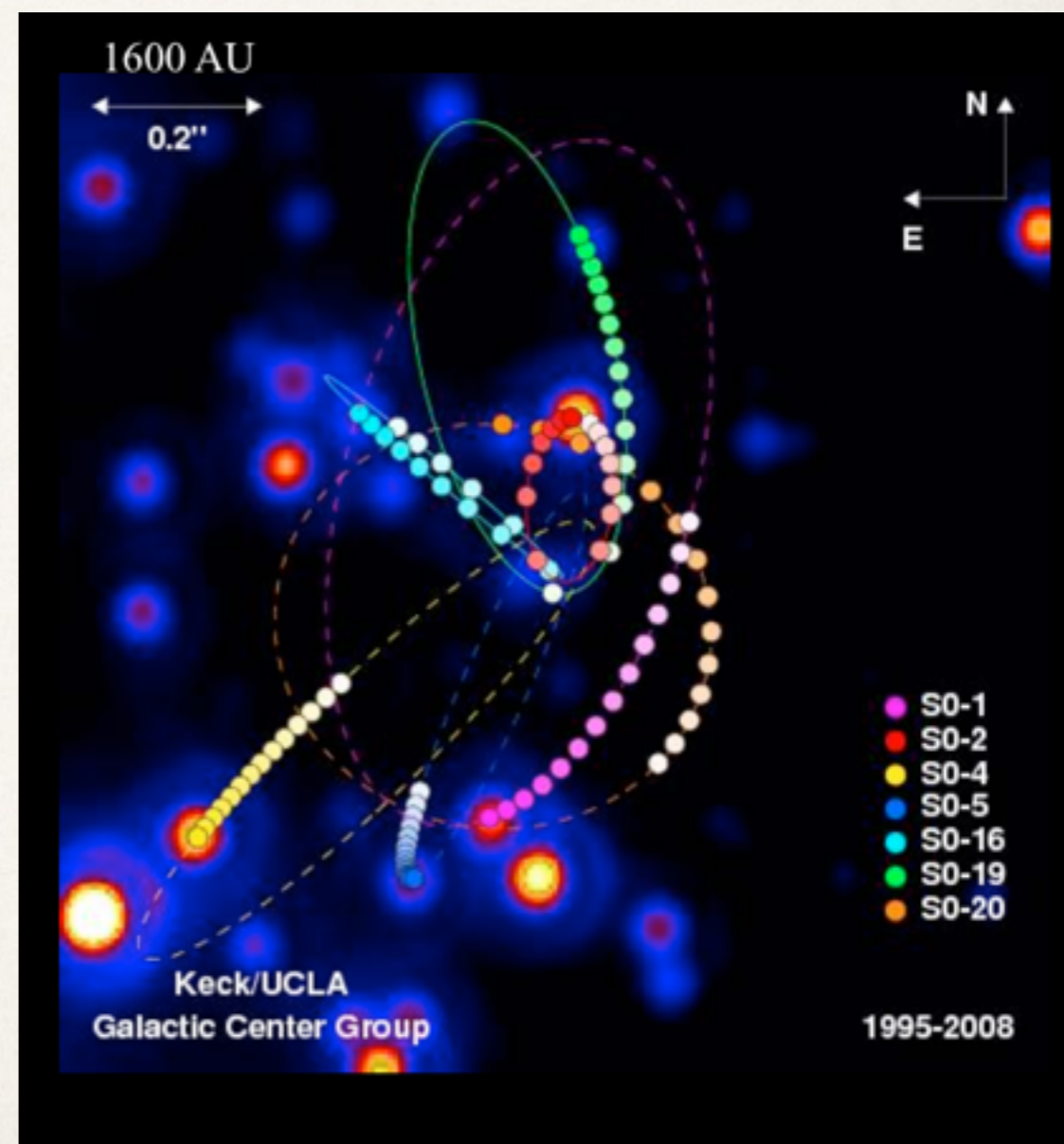


# Centro da galáxia

- ❖ As estrelas mais internas estão a menos de 0.05 pc da fonte de rádio central, Sagittarius A\*
- ❖ Buraco negro supermassivo medido observando o movimento das estrelas em torno do centro por mais de uma década (Gues et al. 2008):

$$M = (4.1 \pm 0.6) \times 10^6 M_{Sun}$$

- ❖ Versão pequena das fontes de raio X e rádio observadas em AGNs



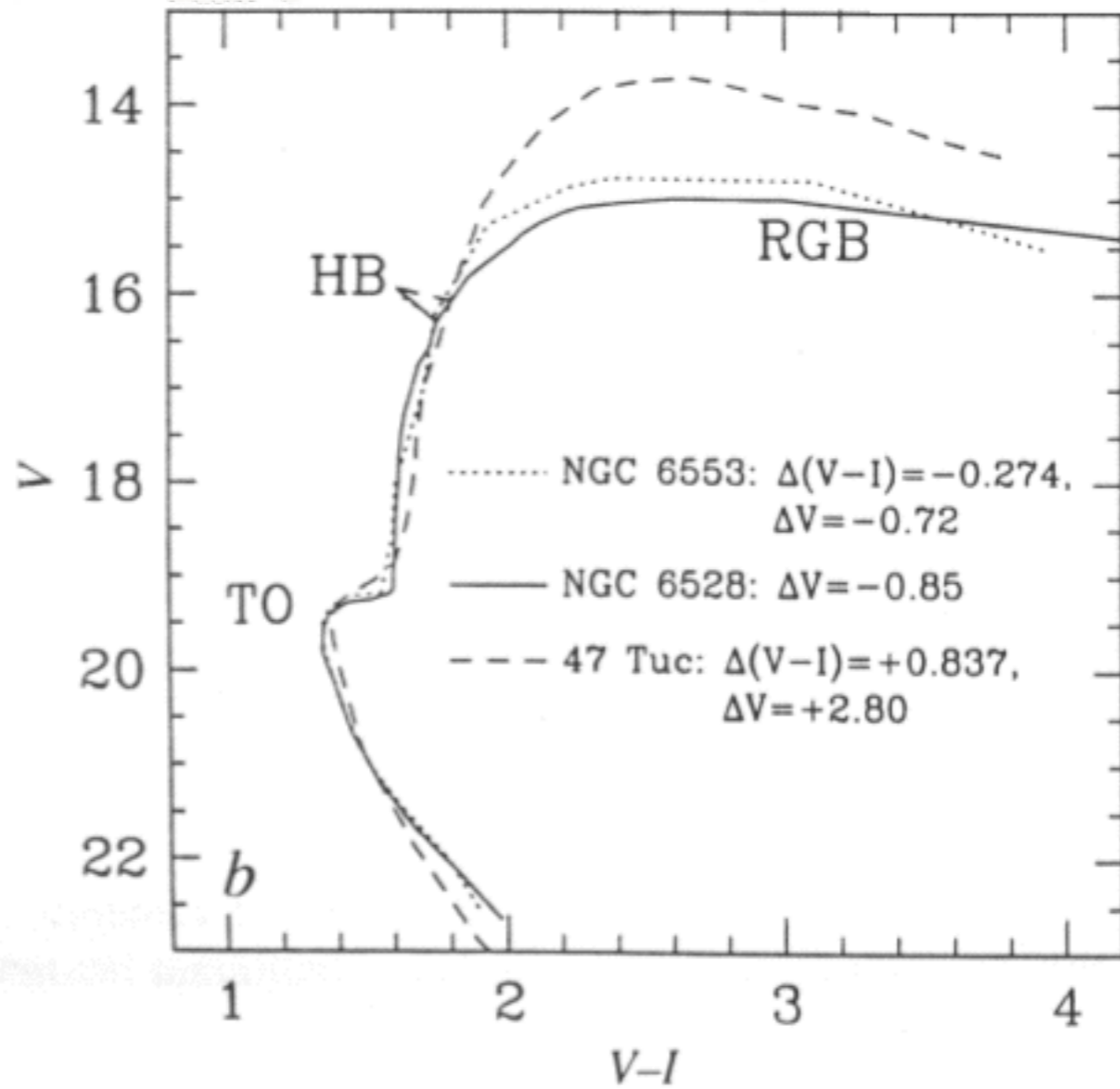
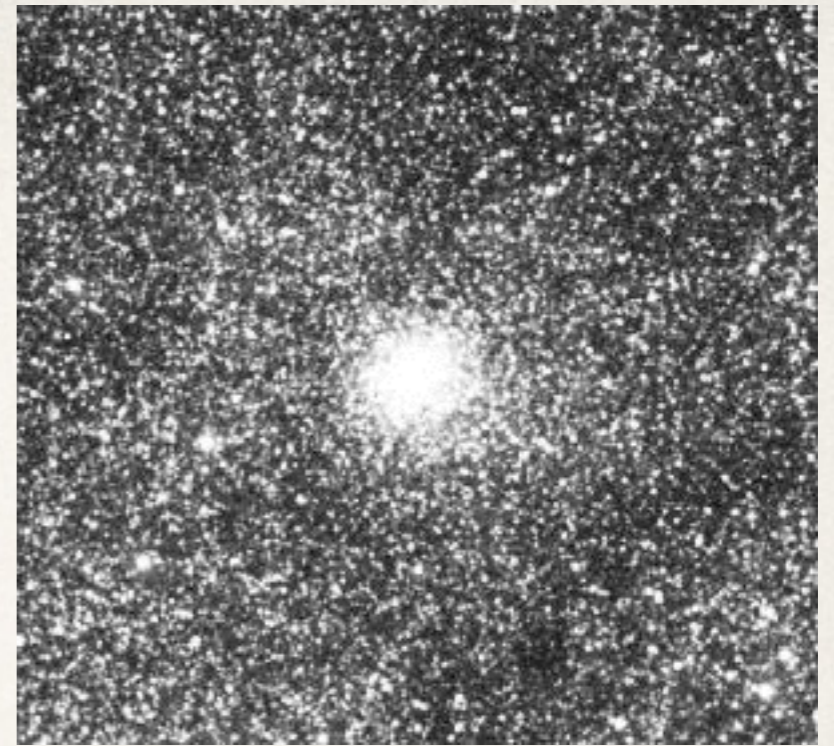
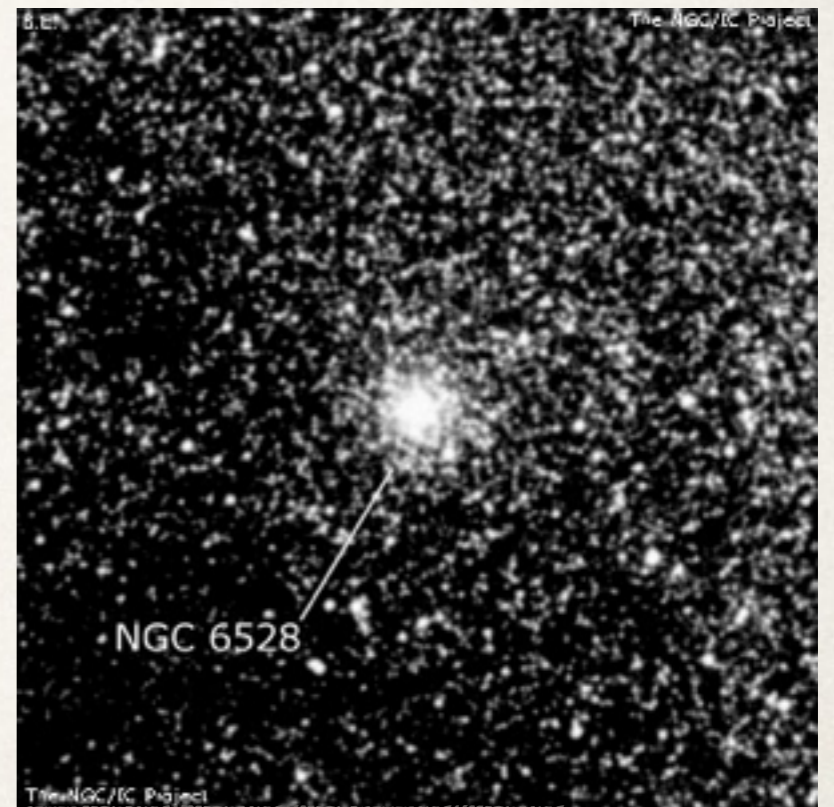


Figura 4: O *locus* médio dos dois aglomerados comparados ao *locus* médio do aglomerado 47 Tuc. O *locus* do NGC 6528 foi deslocado  $\Delta V = -0.85$  para coincidir com o do NGC 6553, de modo a obter-se ao mesmo tempo o menor avermelhamento e distância (NGC 6528 e NGC 6553 respectivamente). O módulo de distância do NGC 6553 é quase 1mag menor do que o de NGC 6528. Diagrama retirado de Ortolani *et al.* (1995).



NGC 6553



NGC 6528

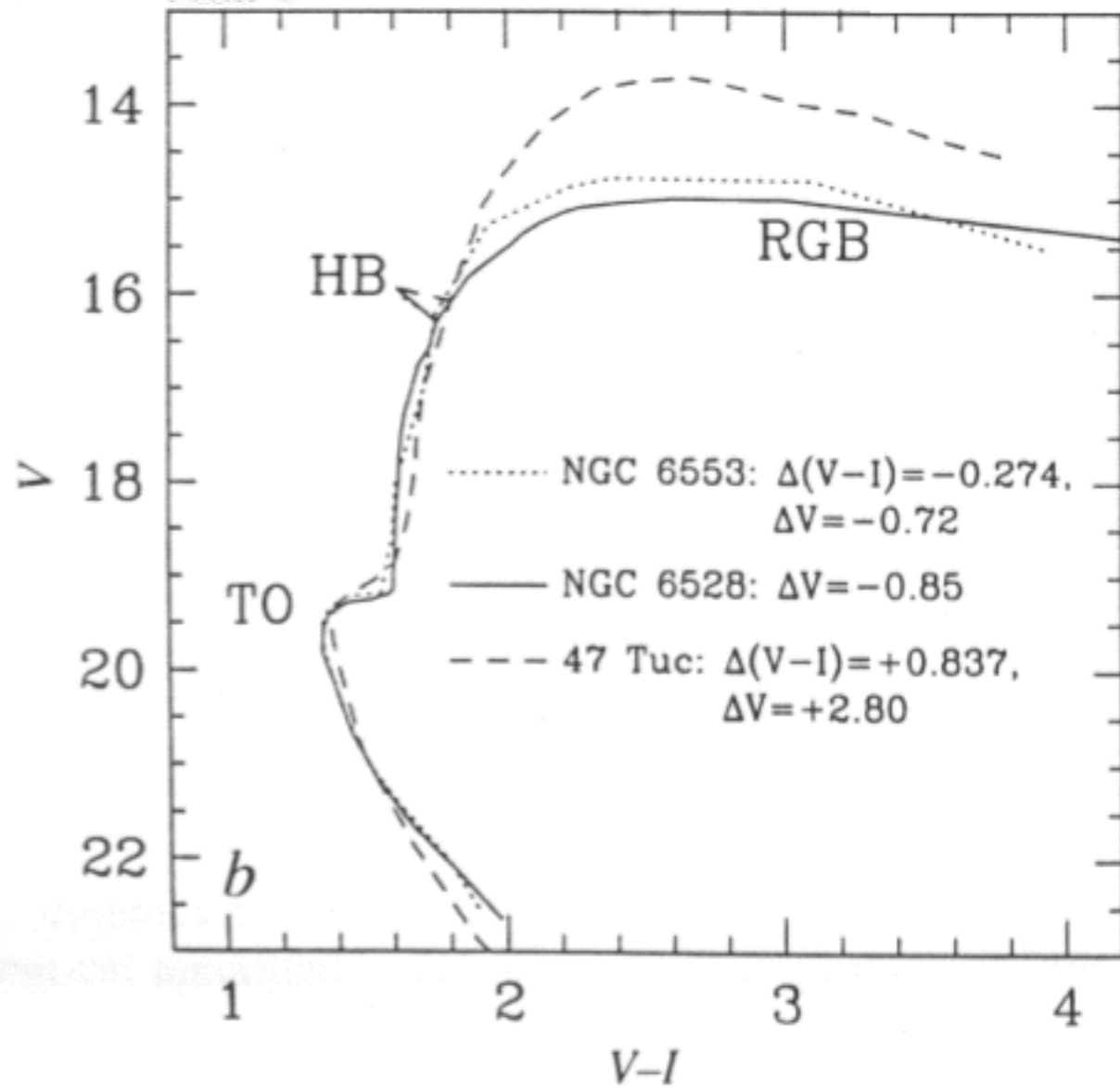
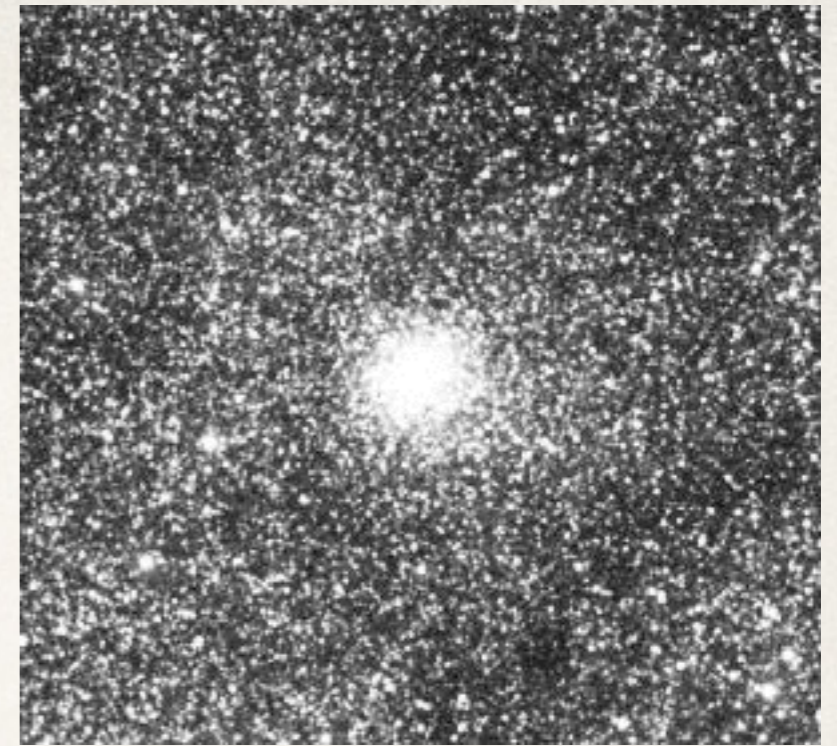
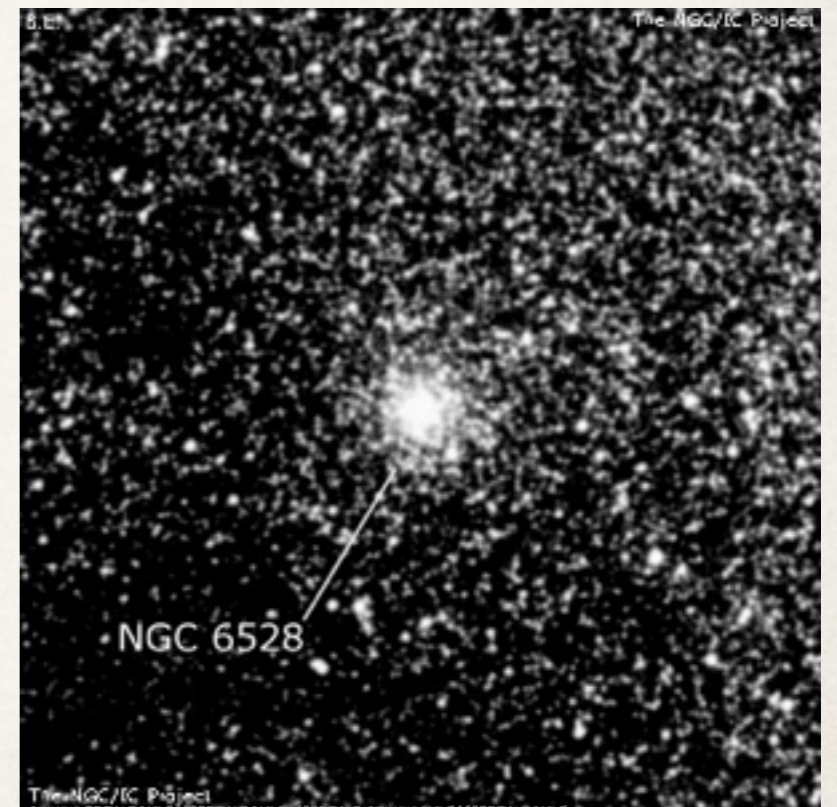


Figura 4: O locus médio dos dois aglomerados comparados ao locus médio do aglomerado 47 Tuc. O locus do NGC 6528 foi deslocado  $\Delta V = -0.85$  para coincidir com o do NGC 6553, de modo a obter-se ao mesmo tempo o menor avermelhamento e distância (NGC 6528 e NGC 6553 respectivamente). O módulo de distância do NGC 6553 é quase 1mag menor do que o de NGC 6528. Diagrama retirado de Ortolani *et al.* (1995).



NGC 6553

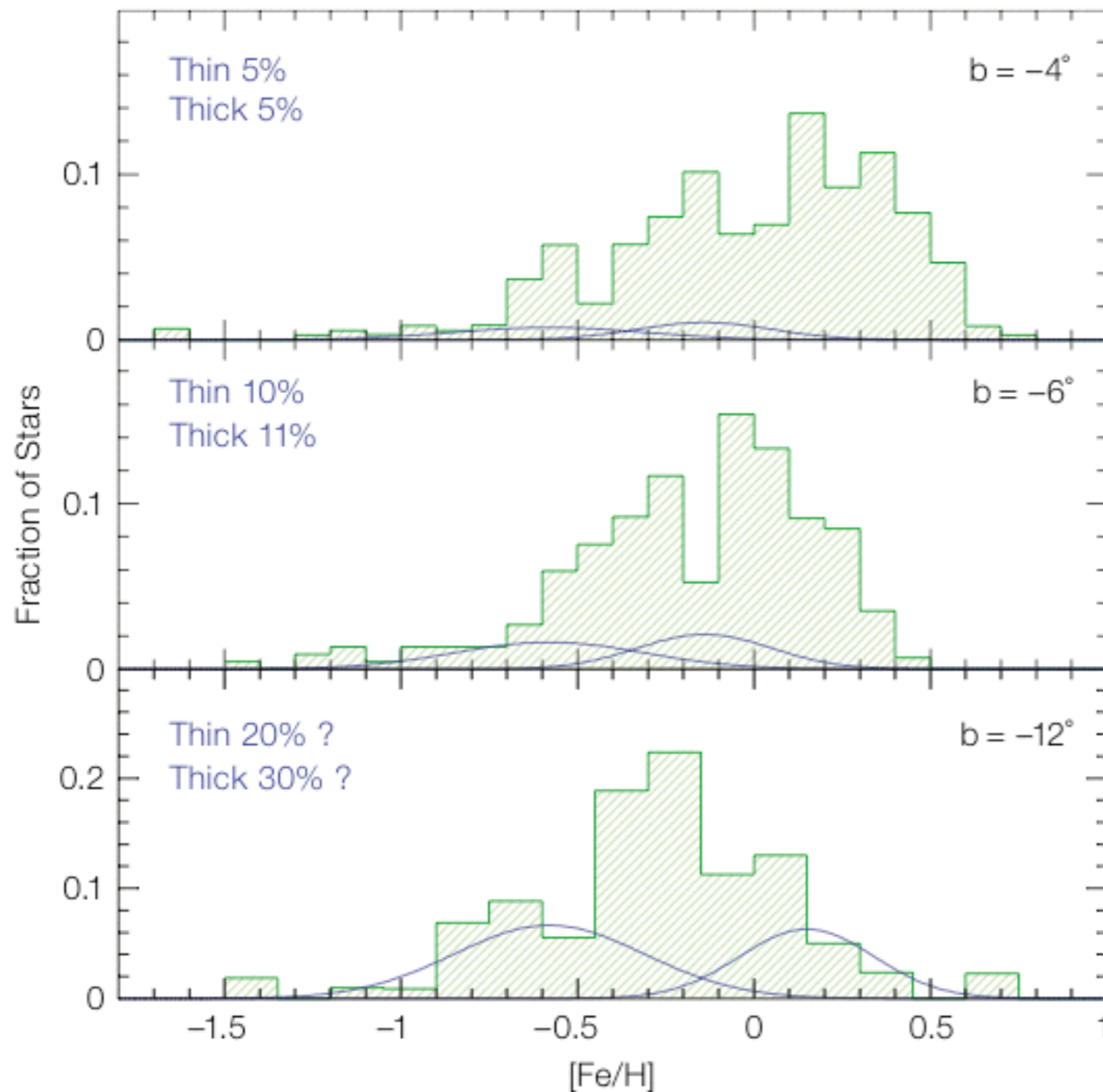


NGC 6528

idades do bojo são  $\pm$  as mesmas da do halo, mas metalicidades são diferentes

Zoccali et al. 2009

Há gradientes de metalicidade claros no disco e no bojo (incerto para o halo)



Gradientes de metalicidade do Bojo



# Discussões sobre a natureza química do bojo

Zoccali et al. (2009)

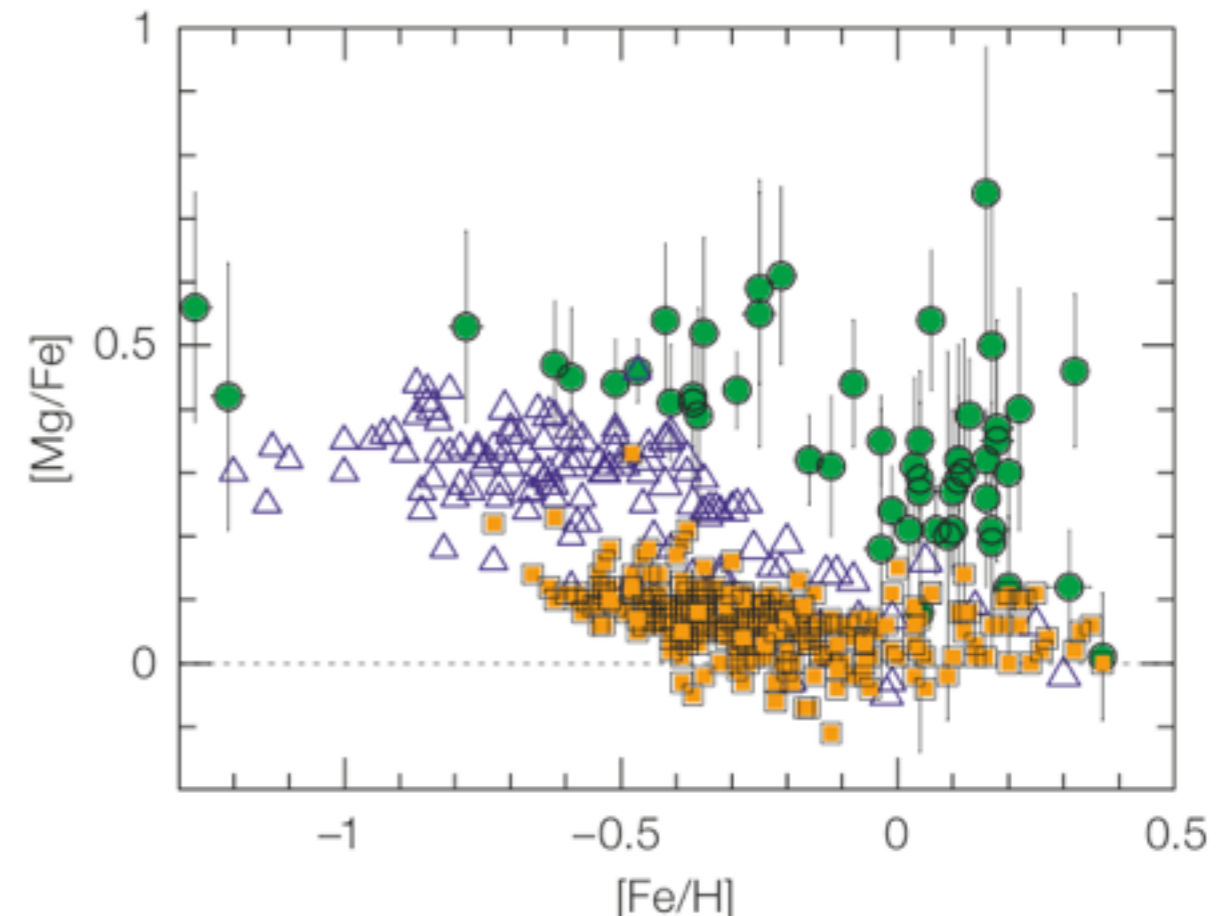
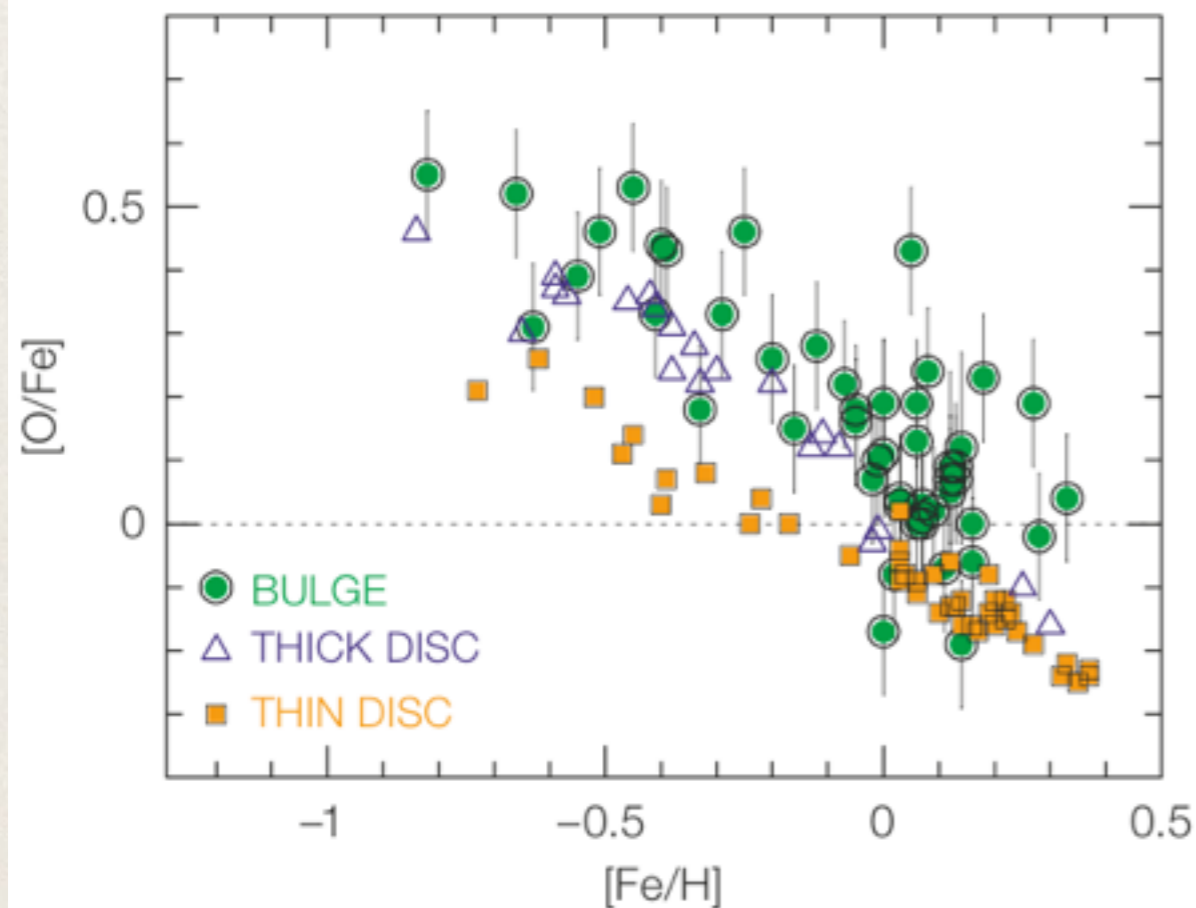
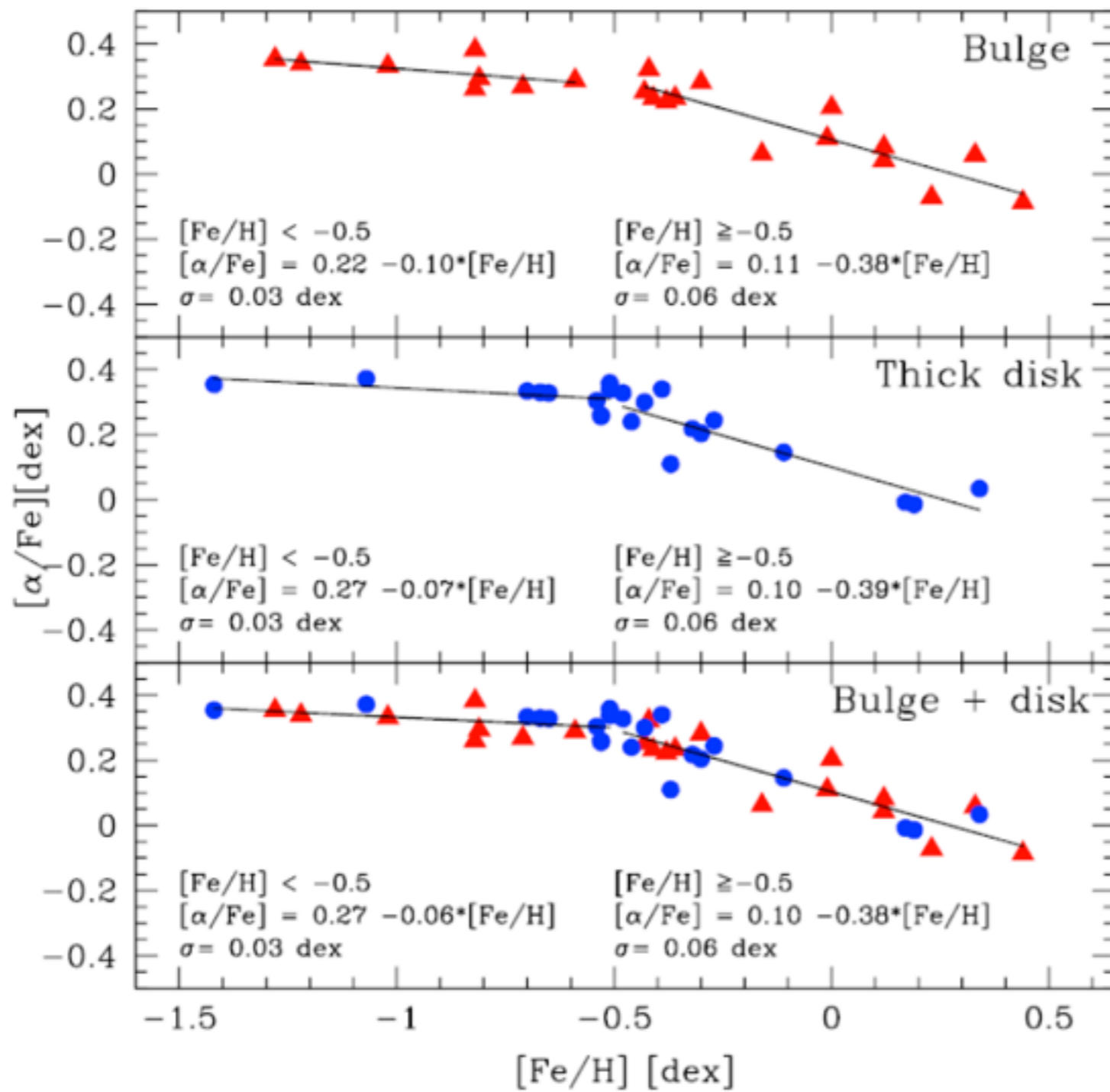


Figure 5. Oxygen to iron (left) and magnesium to iron (right) ratios for Bulge stars, as determined in the present analysis, compared with the same quantities available in the literature for thin and thick disc stars. It is evident that both  $[O/Fe]$  and  $[Mg/Fe]$  are higher in the Bulge than in the thin and thick disc.

o Halo (não representado na figura), apresenta valores altos de  $[\alpha/Fe]$

# Mas...



# Implicações

---

- ❖ Halo se formou em escala de tempo curta
- ❖ Disco se formou em escala de tempo mais longa
- ❖ A metalicidade e abundância alpha do disco espesso indica que ele se formou rápido (em 1-2 Gyr) e cedo (cerca de 8 a 10 Gyr atrás).
- ❖ O disco fino parece estar formando estrelas continuamente ao longo da história da Galáxia
- ❖ Bojo / Barra: parte central do disco espesso (Alves-Brito et al. vs Zoccali et al.?)

# Populações Estelares da Galáxia

|                                 | <b>Halos</b>                                  | <b>Discos</b>                                              | <b>Bojo/Barra</b>                                  |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Idade</b>                    | Velha                                         | Jovem (disco fino) à velha (disco espesso)                 | Velha (bojo clássico) e intermediária (barra)      |
| <b>[Fe/H]</b>                   | Baixa. Não há indicação clara de gradientes.  | Alta. Há gradiente (metallicidade cai com raio galáctico). | Alta. Há evidências de gradiente.                  |
| <b>Cinemática</b>               | Baixa rotação, alta dispersão de velocidades. | Alta rotação, baixa dispersão de velocidades.              | Baixa rotação, disp. de velocidades intermediária. |
| <b>[<math>\alpha</math>/Fe]</b> | Alto                                          | Baixo (disco fino), intermediário (disco espesso)          | Alto e/ou intermediário.                           |

**Table 2.1** Scale heights and velocities of gas and stars in the disk and halo

| <i>Galactic component</i>             | $h_z$ or<br><i>shape</i>  | $\sigma_x = \sigma_R$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | $\sigma_y = \sigma_\phi$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | $\sigma_z$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | $\langle v_y \rangle$<br>(km s <sup>-1</sup> ) | <i>Fraction of<br/>local stars</i> |
|---------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|
| HI gas near the Sun                   | 130 pc                    |                                                | $\approx 5$                                       | $\approx 7$                         | Tiny                                           |                                    |
| Local CO, H <sub>2</sub> gas          | 65 pc                     |                                                | 4                                                 |                                     | Tiny                                           |                                    |
| Thin disk: $Z > Z_\odot/4$            | (Figure 2.9)              |                                                |                                                   |                                     |                                                | 90%                                |
| $\tau < 3$ Gyr                        | $\approx 280$ pc          | 27                                             | 17                                                | 13                                  | -10                                            |                                    |
| $3 < \tau < 6$ Gyr                    | $\approx 300$ pc          | 32                                             | 23                                                | 19                                  | -12                                            |                                    |
| $6 < \tau < 10$ Gyr                   | $\approx 350$ pc          | 42                                             | 24                                                | 21                                  | -19                                            |                                    |
| $\tau > 10$ Gyr                       |                           | 45                                             | 28                                                | 23                                  | -30                                            |                                    |
| Thick disk                            | 0.75–1 kpc                |                                                |                                                   |                                     |                                                | 5%–15%                             |
| $\tau > 7$ Gyr, $Z < Z_\odot/4$       | (Figure 2.9)              | 68                                             | 40                                                | 32                                  | -32                                            |                                    |
| $0.2 \lesssim Z/Z_\odot \lesssim 0.6$ |                           | 63                                             | 39                                                | 39                                  | -51                                            |                                    |
| Halo stars near Sun                   | $b/a \approx 0.5$ – $0.8$ |                                                |                                                   |                                     |                                                | $\sim 0.1\%$                       |
| $Z \lesssim Z_\odot/50$               |                           | 140                                            | 105                                               | 95                                  | -190                                           |                                    |
| Halo at $R \sim 25$ kpc               | Round                     | 100                                            | 100                                               | 100                                 | -215                                           |                                    |

*Note:* gas velocities are measured looking up out of the disk ( $\sigma_z$  of HI), or at the tangent point ( $\sigma_\phi$  for HI and CO); velocities for thin-disk stars refer to Figure 2.9. For thick disk and halo, abundance  $Z$ , shape, and velocities refer to particular samples of stars. Velocity  $\langle v_y \rangle$  is in the direction of Galactic rotation, relative to the *local standard of rest*, a circular orbit at the Sun's radius  $R_0$ , assuming  $v_{y,\odot} = 5.2$  km s<sup>-1</sup>.