

Disco da
Galáxia



Relembrando o sistema de coordenadas a ser usado...

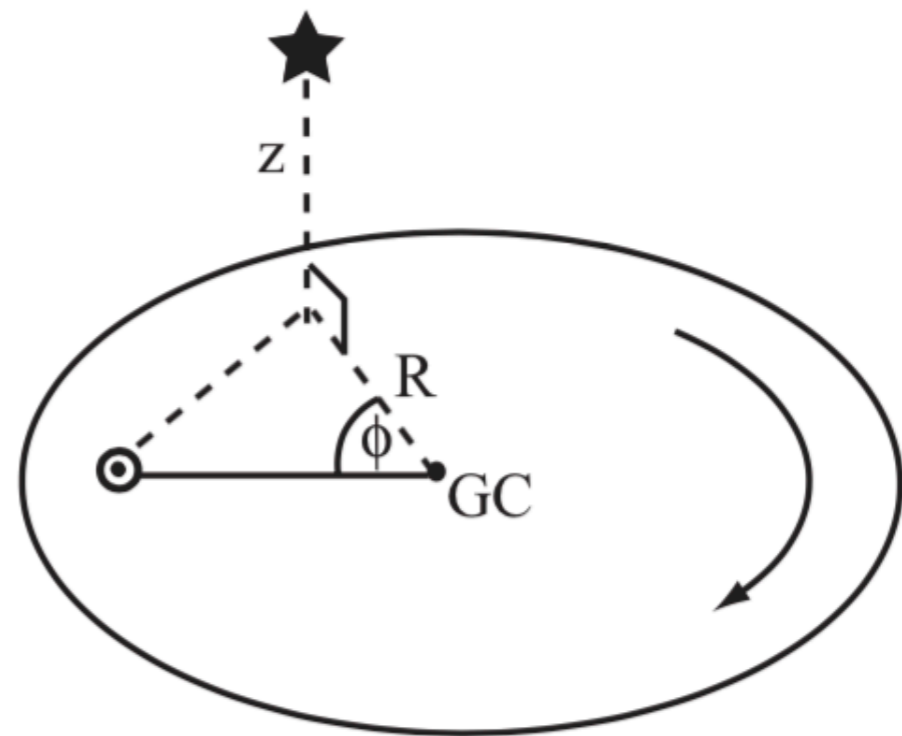
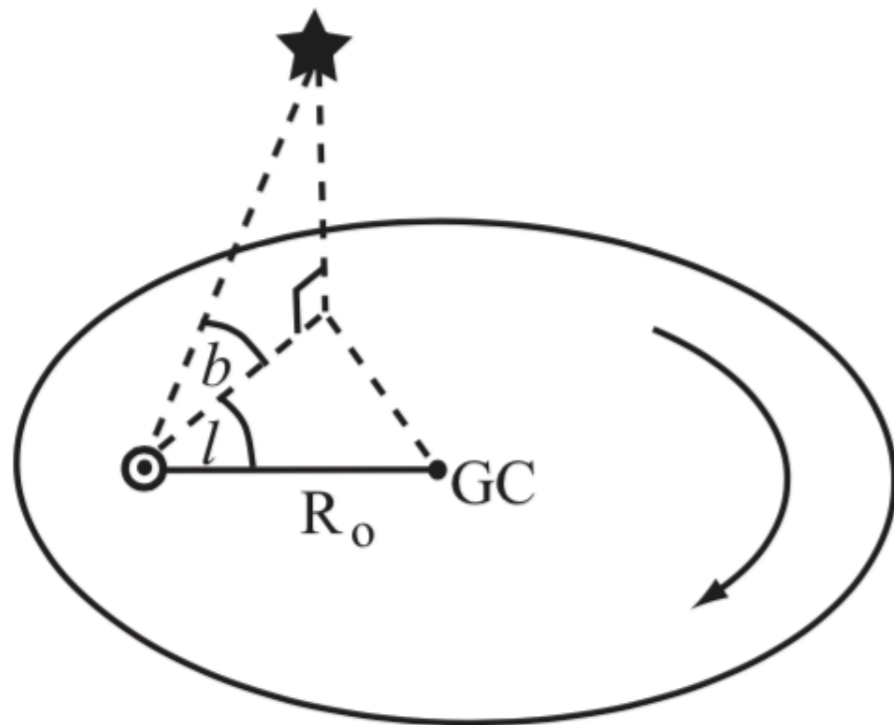
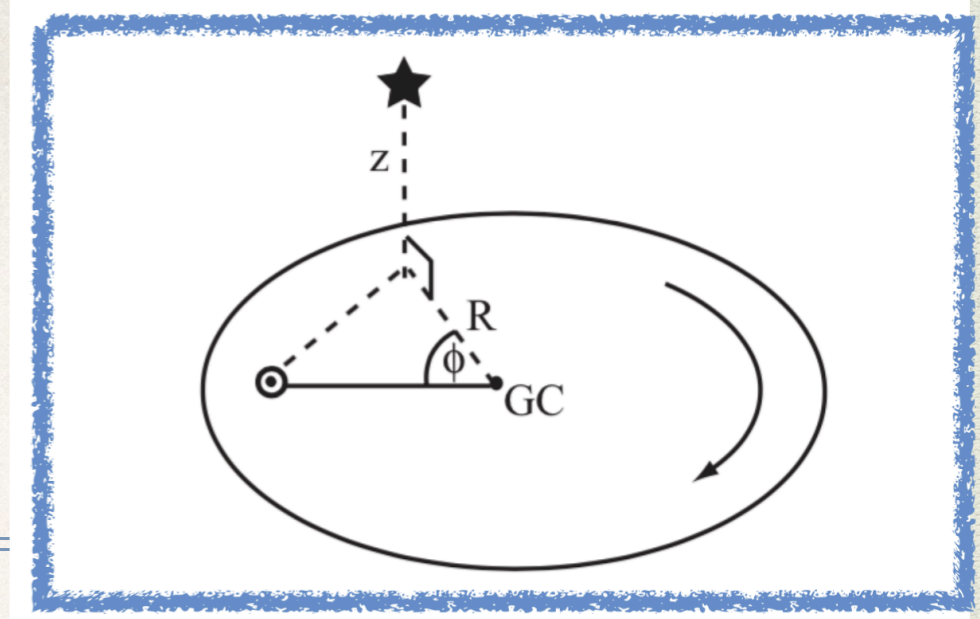


Fig. 1.10. Left, Sun-centred Galactic longitude l and latitude b ; right, cylindrical polar coordinates R , ϕ , z with the origin at the Galactic center.

A estrutura do disco



- ❖ Hoje ainda fazemos mapeamento da Galáxia, iniciado por Herschel no séc XVIII...
- ❖ 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 ~ 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).

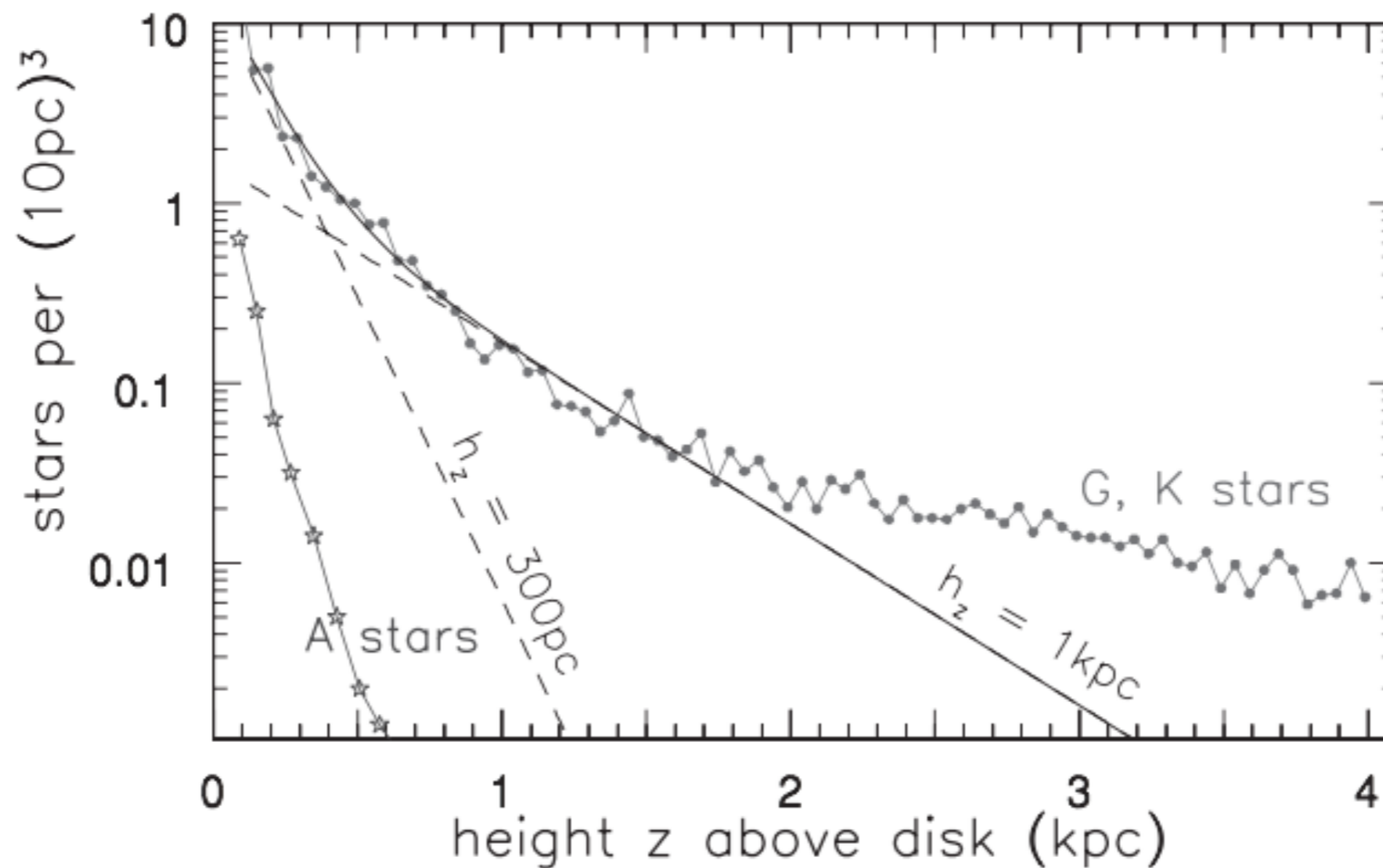


Fig. 2.8. Looking toward the south Galactic pole, filled circles show the density of stars with $5 < M_V < 6$; these are late G and early K dwarfs. Sloping dashed lines show $n(z) \propto \exp(-z/300 \text{ pc})$ (thin disk) and $n(z) \propto \exp(-z/1 \text{ kpc})$ (thick disk); the solid curve is their 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 determinadas 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.

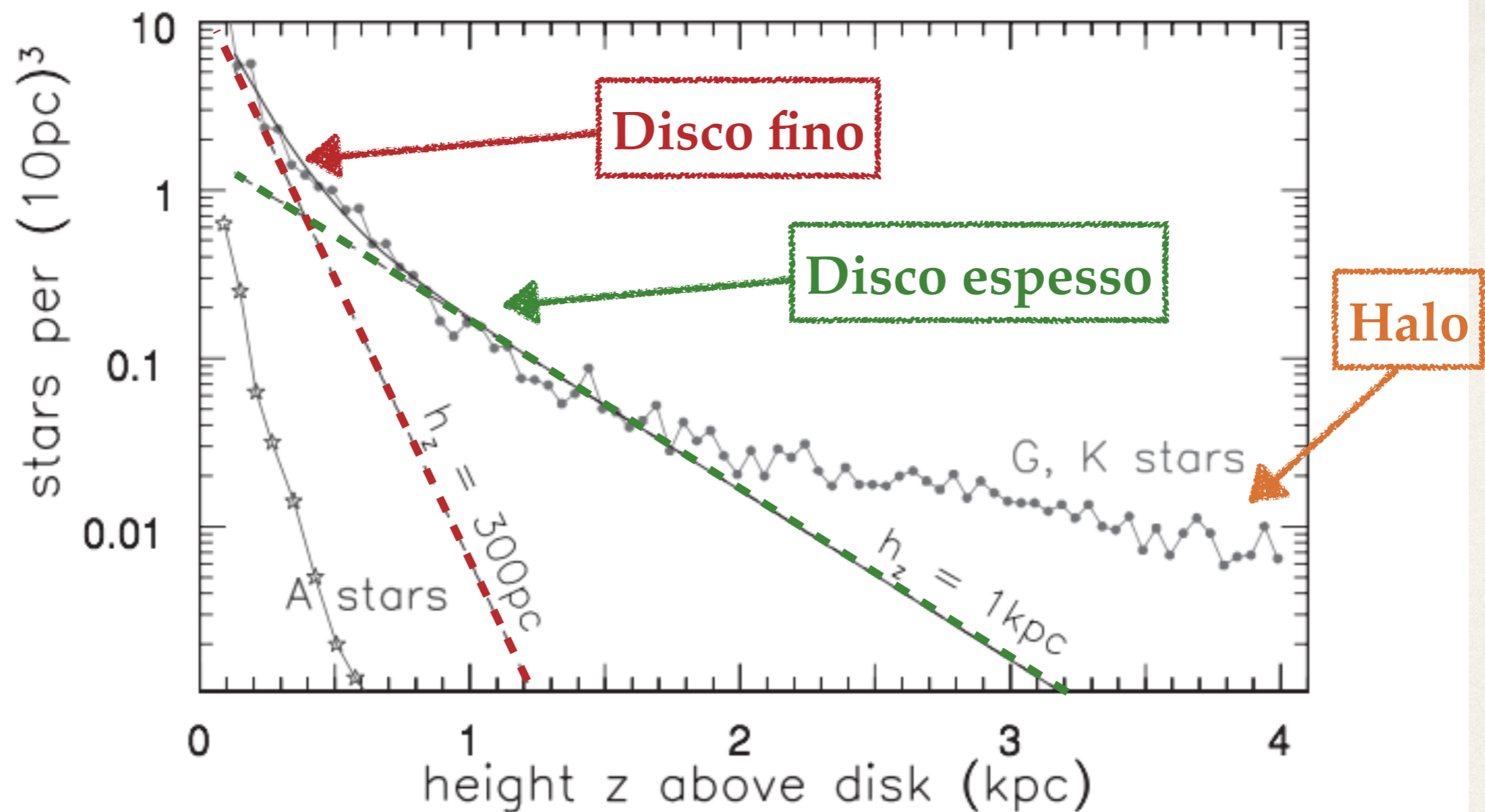


Fig. 2.8. Looking toward the south Galactic pole, filled circles show the density of stars with $5 < M_V < 6$; these are late G and early K dwarfs. Sloping dashed lines show $n(z) \propto \exp(-z/300 \text{ pc})$ (thin disk) and $n(z) \propto \exp(-z/1 \text{ kpc})$ (thick disk); the solid curve is their 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 determinadas 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.

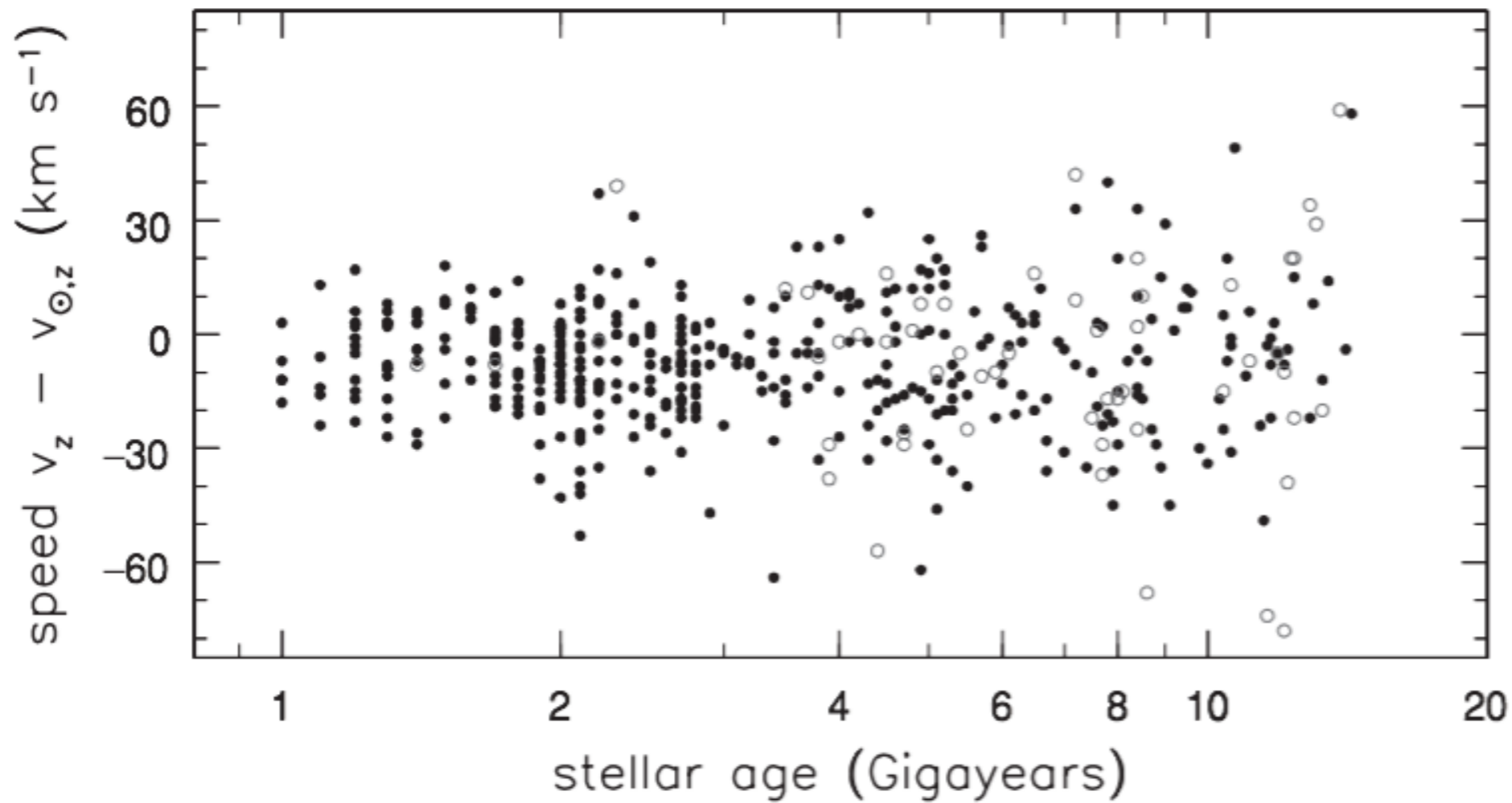


Fig. 2.9. For nearby main-sequence F and G stars, velocity $v_z - v_{z,\odot}$ is perpendicular to the Galactic plane, measured relative to the Sun. Open circles show stars with less than a quarter of the Sun's iron abundance. Older stars tend to move faster; the average velocity is negative, showing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

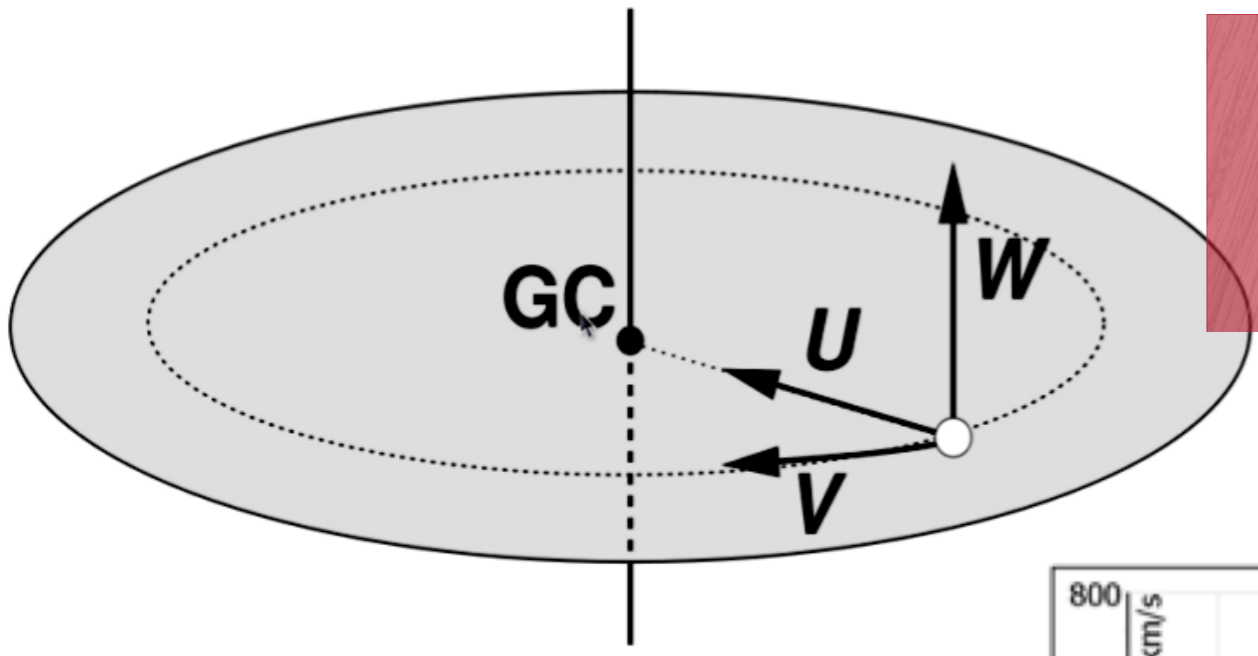
<i>Galactic component</i>	h_z or <i>shape</i>	$\sigma_x = \sigma_R$ (km s ⁻¹)	$\sigma_y = \sigma_\phi$ (km s ⁻¹)	σ_z (km s ⁻¹)	$\langle v_y \rangle$ (km s ⁻¹)	<i>Fraction of local stars</i>
HI gas near the Sun	130 pc		≈ 5	≈ 7	Tiny	
Local CO, H ₂ gas	65 pc		4		Tiny	
Thin disk: $Z > Z_\odot/4$	(Figure 2.9)					90%
$\tau < 3$ Gyr	≈ 280 pc	27	17	13	-10	
$3 < \tau < 6$ Gyr	≈ 300 pc	32	23	19	-12	
$6 < \tau < 10$ Gyr	≈ 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	$b/a \approx 0.5\text{--}0.8$					~0.1%
$Z \lesssim Z_\odot/50$		140	105	95	-190	
Halo at $R \sim 25$ kpc	Round	100	100	100	-215	

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

<i>Galactic component</i>	h_z or <i>shape</i>	$\sigma_x = \sigma_R$ (km s ⁻¹)	$\sigma_y = \sigma_\phi$ (km s ⁻¹)	σ_z (km s ⁻¹)	$\langle v_y \rangle$ (km s ⁻¹)	<i>Fraction of local stars</i>
HI gas near the Sun	130 pc		≈ 5	≈ 7	Tiny	
Local CO, H ₂ gas	65 pc		4		Tiny	
Thin disk: $Z > Z_\odot/4$	(Figure 2.9)					90%
$\tau < 3$ Gyr	≈ 280 pc	27	17	13	-10	
$3 < \tau < 6$ Gyr	≈ 300 pc	32	23	19	-12	
$6 < \tau < 10$ Gyr	≈ 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	

Interlúdio:

Velocidades estelares na *Vizinhança Solar*



As componentes de velocidade da Galáxia

<http://www.reports.ias.ac.in/report/13699/astrometric-analysis-of-m67-open-cluster-using-gaia-dr2>

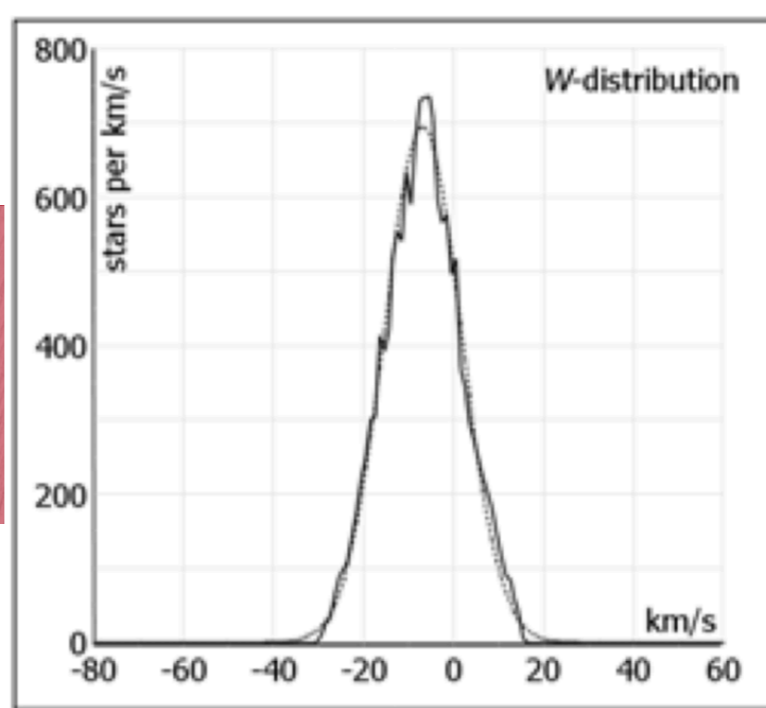
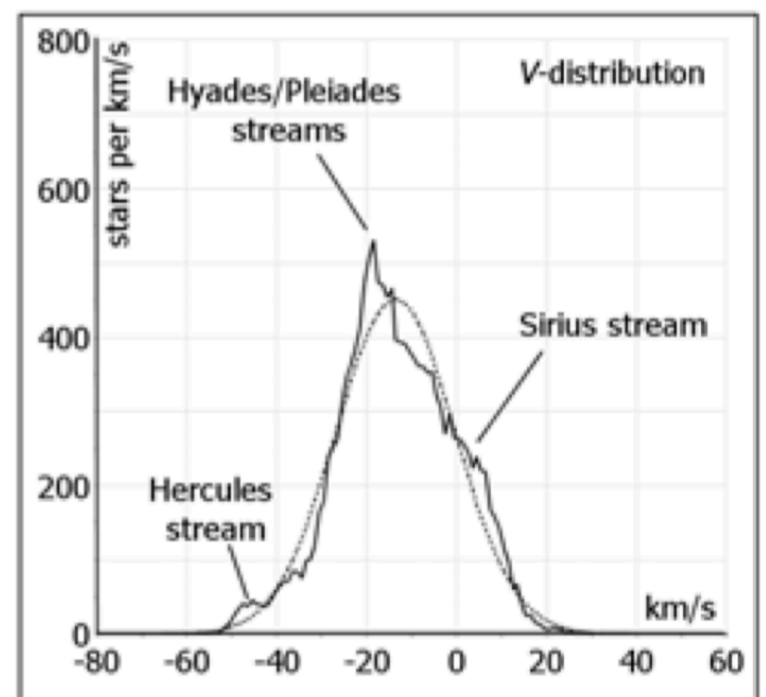
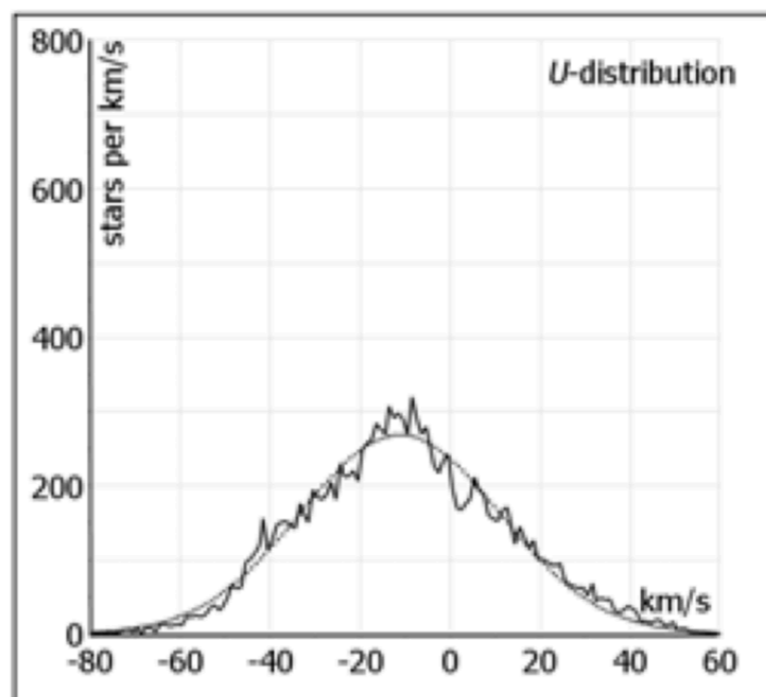


Figure 2: As figure 1 after restricting to the velocity ellipsoid. The Hyades stream is on the left of the *U*-distribution (as is the Hyades cluster). The Sirius stream is on the right. The Pleiades stream is central. The intersect between the observed and Gaussian plots at $V = -17 \text{ km s}^{-1}$ is a rough indicator of V_0 .

As distribuições (e dispersões) de velocidades

Francis & Anderson (2009)

<https://arxiv.org/pdf/0812.4032.pdf>

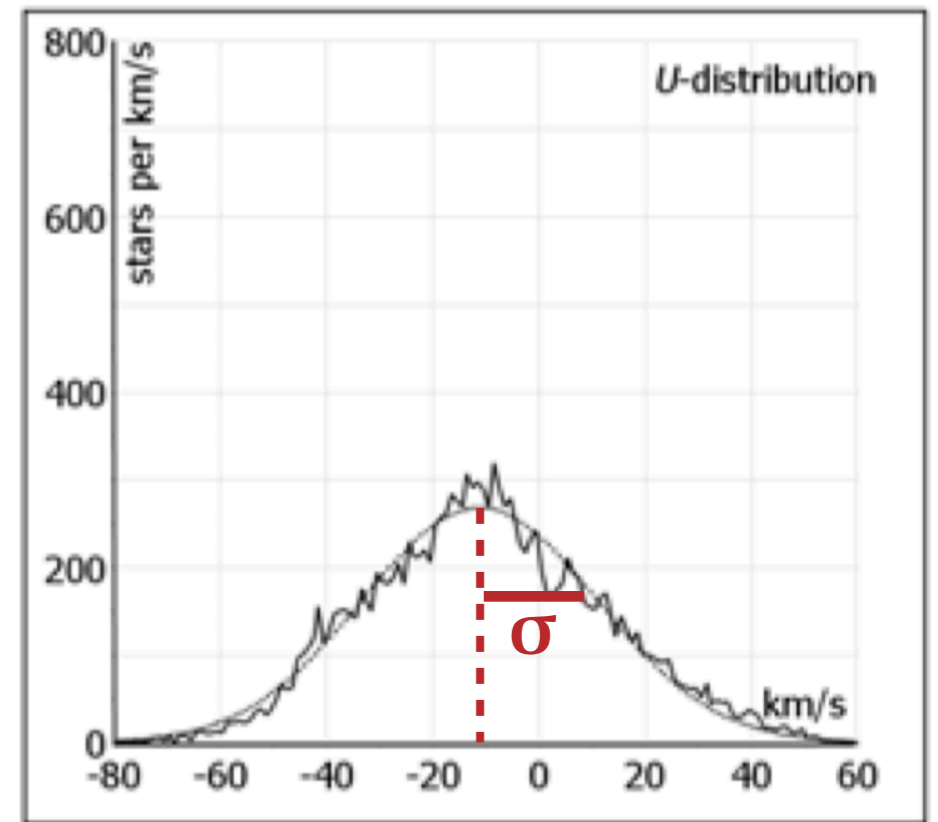
Dispersão de velocidades

- ❖ Uma medida dos movimentos não-circulares de uma população - o desvio padrão da distribuição de velocidades

$$\sigma_z^2 \equiv \langle v_z^2 - \langle v_z \rangle^2 \rangle, \quad (2.9)$$

- ❖ Na vizinhança solar (Dehnen & Binney 1998)

$$\sigma_u = 38 \pm 2 \quad \sigma_v = 27 \pm 2 \quad \sigma_w = 17 \pm 2$$



Populações com alta dispersão de velocidades são chamadas “dinamicamente quentes”. Populações com baixas dispersões de velocidades são “frias”.

Os dois discos da nossa Galáxia

- ❖ 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 3 Gyr. Como as estrelas jovens estão ausentes, a razão 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.

Pausa para responder a
enquete :)

Formação dos discos

- ❖ 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)

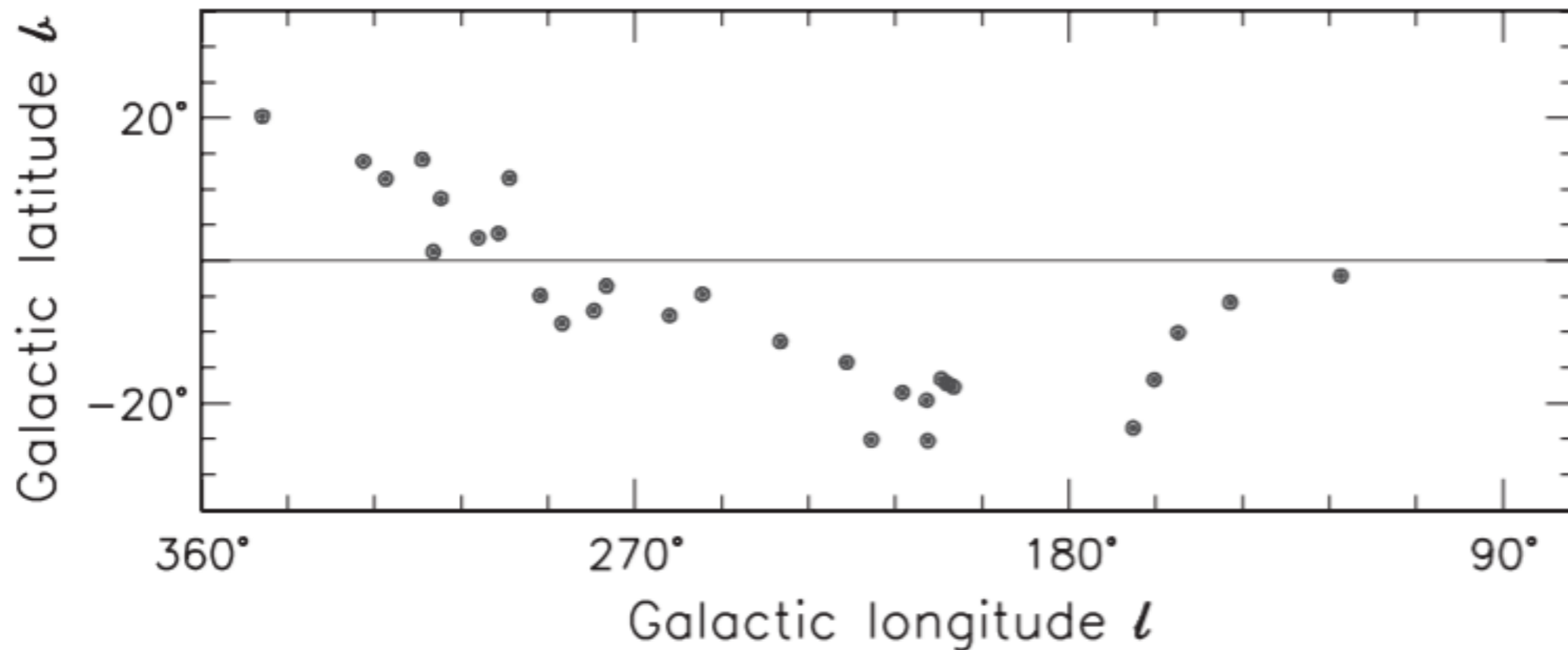



Fig. 2.10. Short-lived bright stars with $M_V < 3$, at distances $100 \text{ pc} < d < 500 \text{ pc}$ from the Sun, taken from the Hipparcos catalogue. Most of these B and A stars lie in a plane tilted by about 20° to the midplane of the disk.

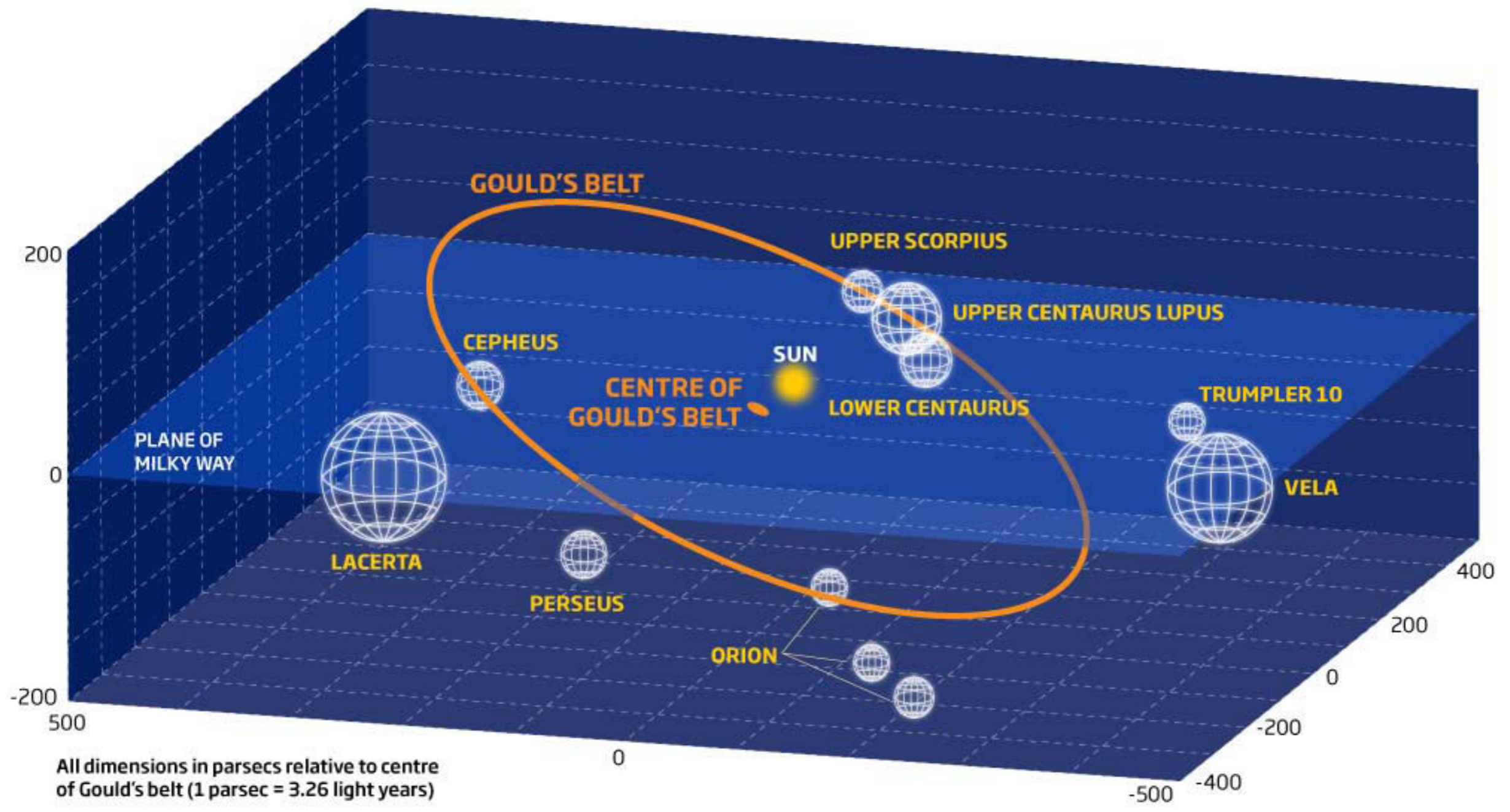
Cinturão de Gould

Sol se localiza em um anel ou disco de estrelas jovens ($< 30 \text{ Myr}$), inclinado em 20° com relação ao plano galáctico.

Gould's belt

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

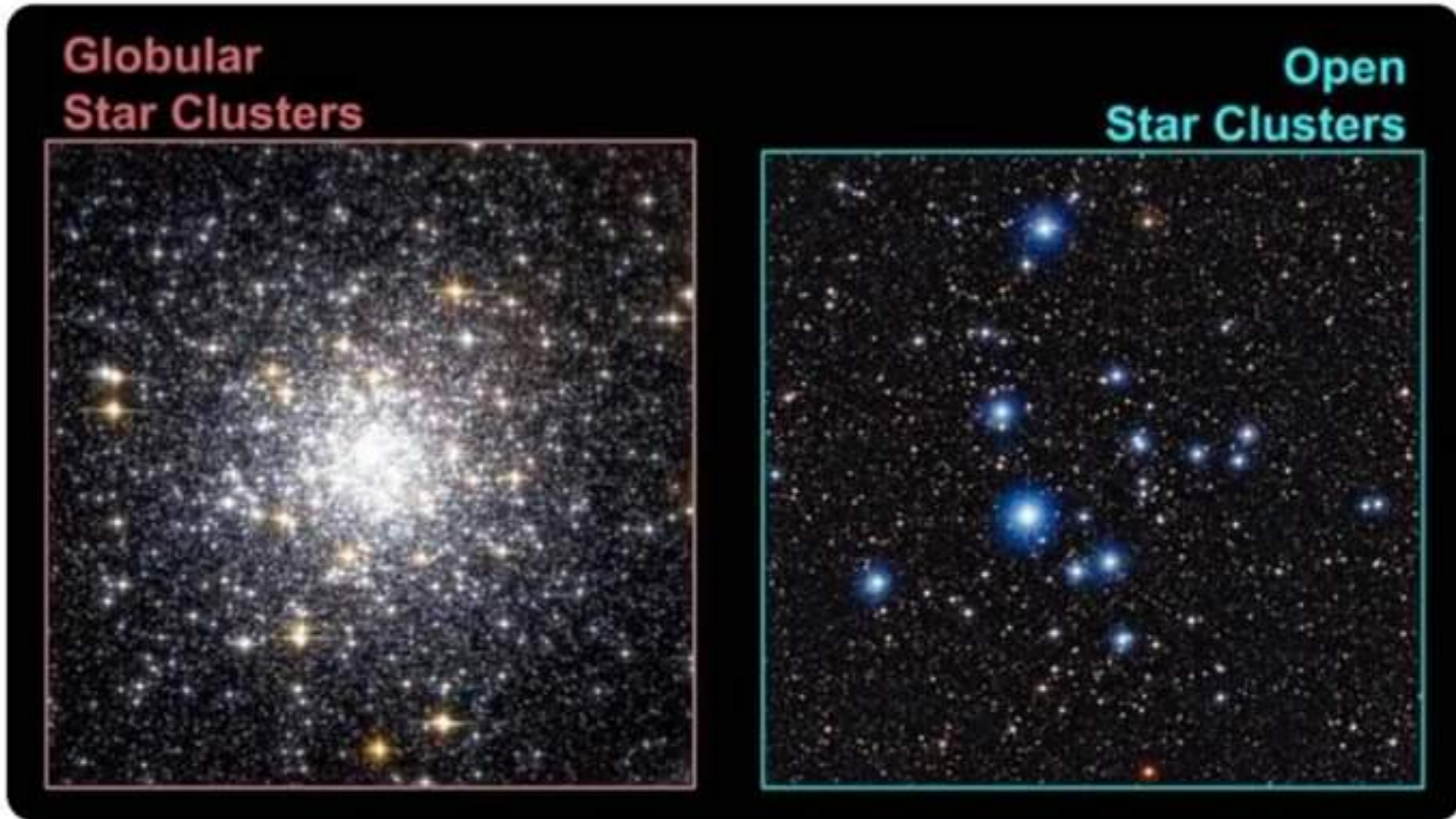




ASAS-SN
@SuperASASSN



Stellar clusters: BEFORE and AFTER social distancing :)



Aglomerados abertos

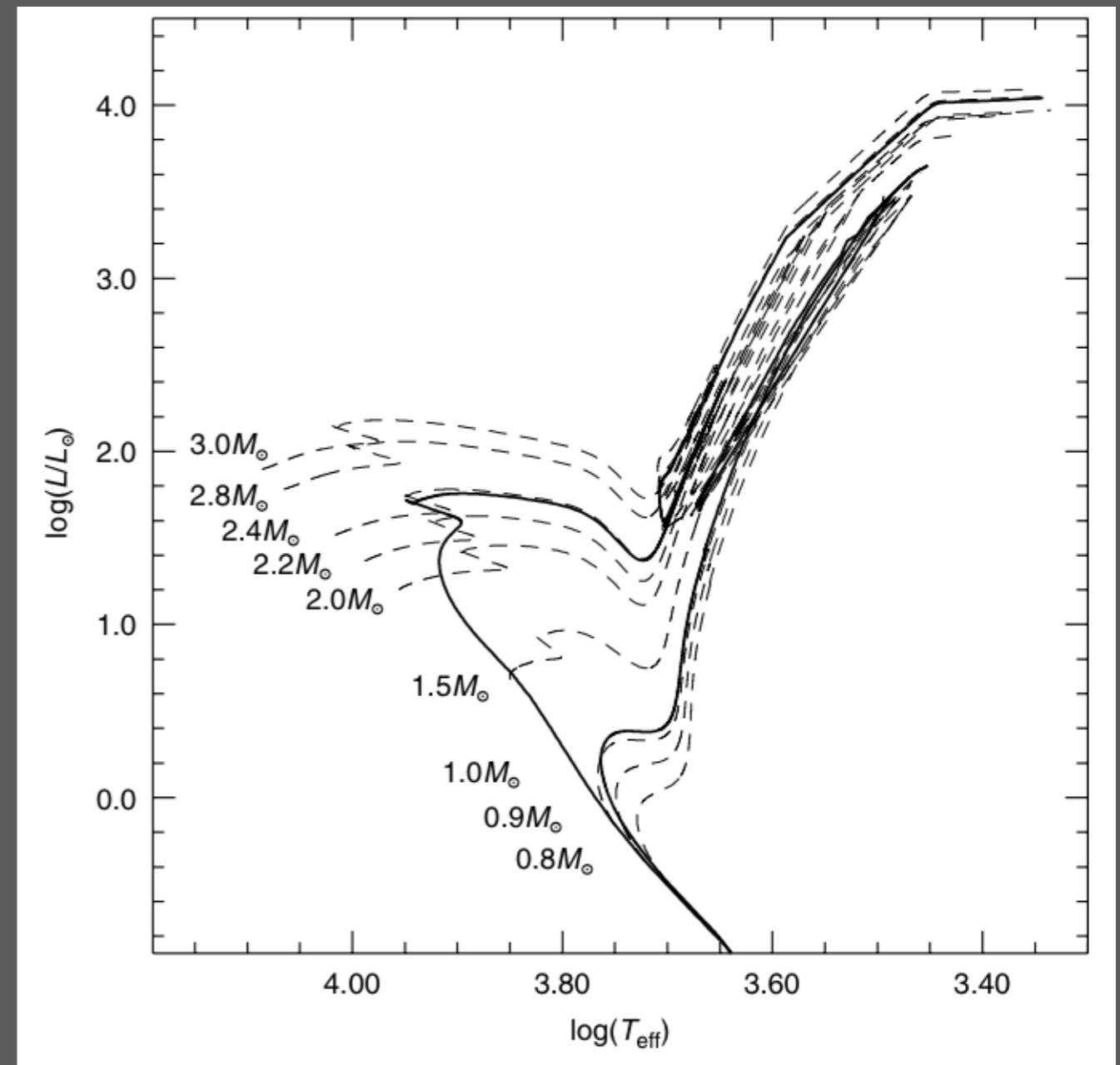
- ❖ Várias centenas de estrelas
- ❖ densidades centrais de até $100 L_{\text{sun}} \text{pc}^{-3}$
- ❖ core radius (quando o brilho superficial cai pela metade do valor central) de tipicamente poucos parsecs
- ❖ pouco ligados gravitacionalmente



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

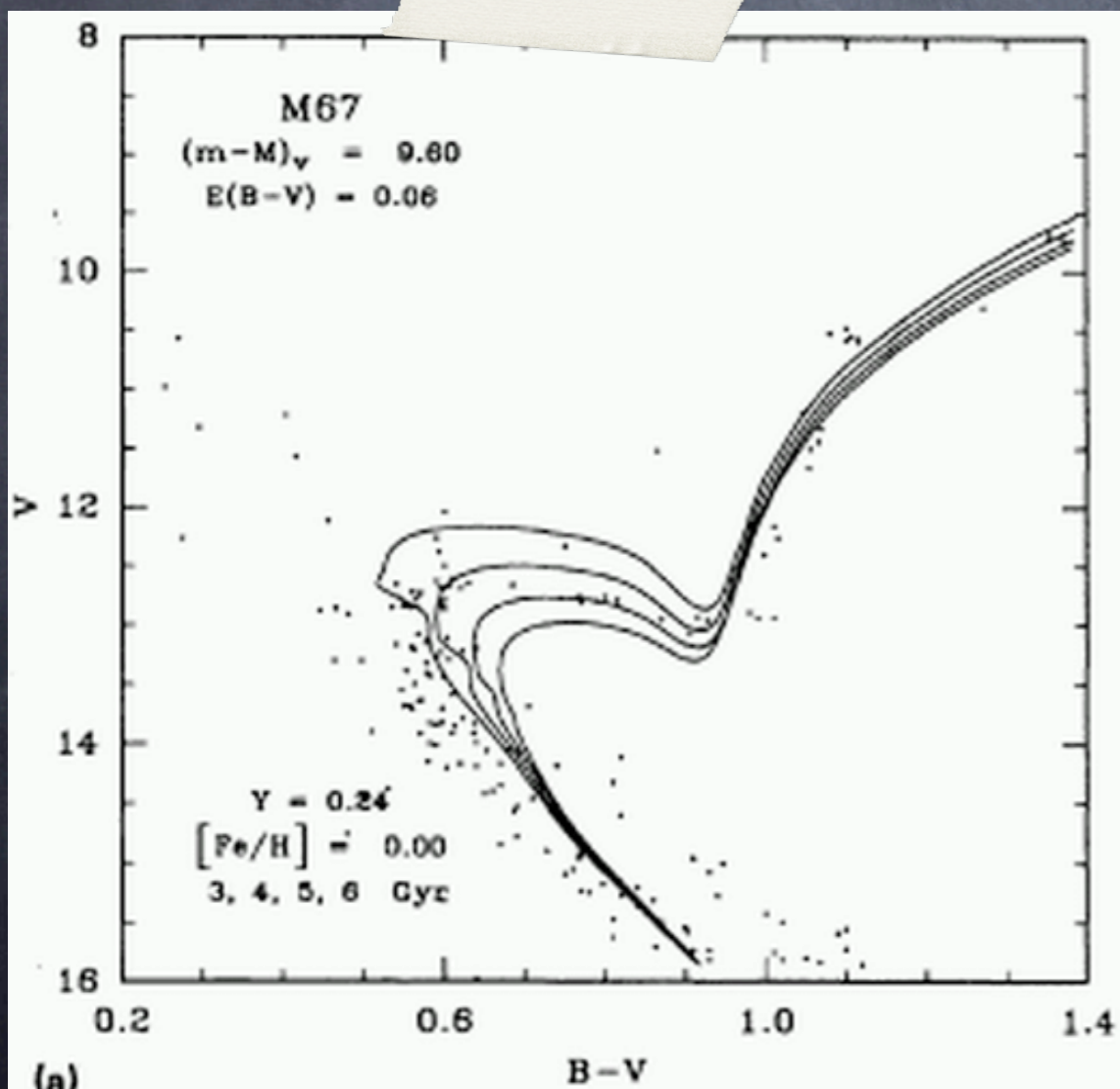
Iso (“mesma”) crona (“idade”)

- Dada uma população estelar simples: um conjunto de estrelas quimicamente homogêneas que se formaram juntas; cada estrela segue a evolução no HR descrita pela sua massa.
- A partir de modelos de evolução estelar, calculamos trajetórias evolutivas e isócronas.
- Uma isócrona de idade t mostra o locus no diagrama HR (CMD) que essa população ocupa quando atinge essa idade.



Salaris & Cassisi 2005

E a partir de isócronas,
podemos obter a distância
e idade de um
aglomerado, e o
avermelhamento na linha
de visada



Ajuste de isócronas



cor (observado)

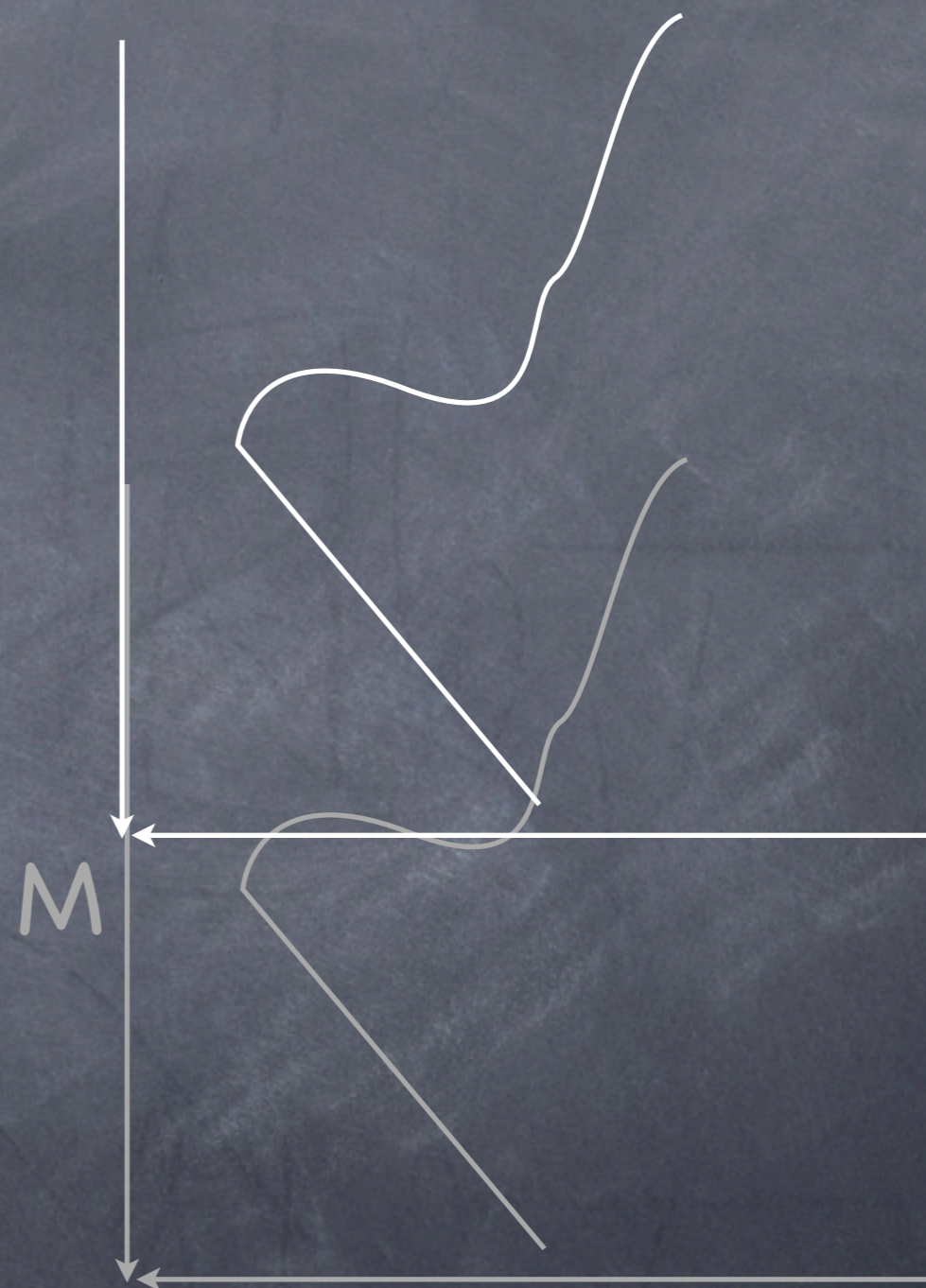


cor (de Teff)

Ajuste de isócronas



cor (observado)



cor (de Teff)

Ajuste de isócronas

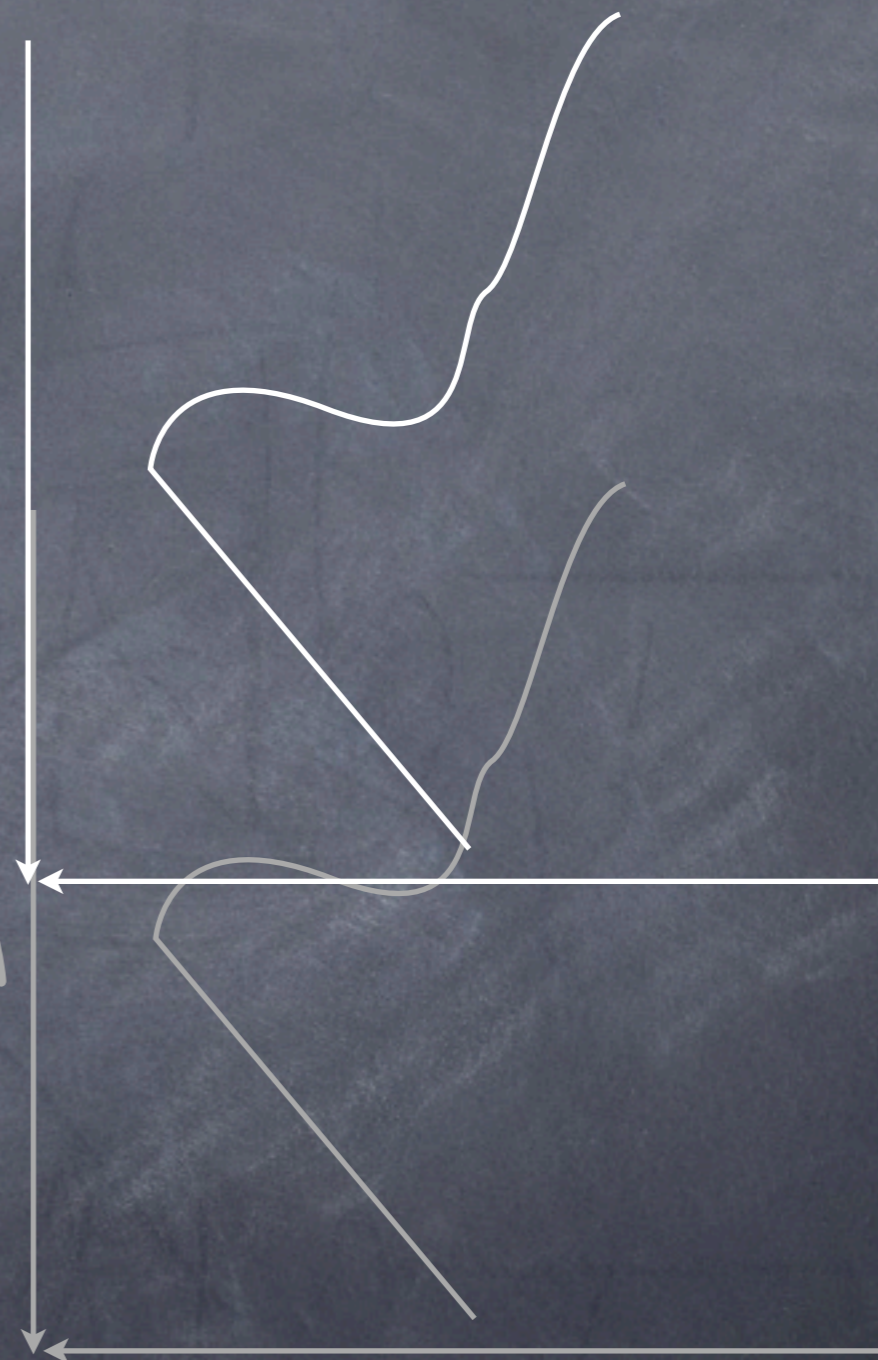
$$(m-M) = -5 + 5 \log d$$

m



cor (observado)

M

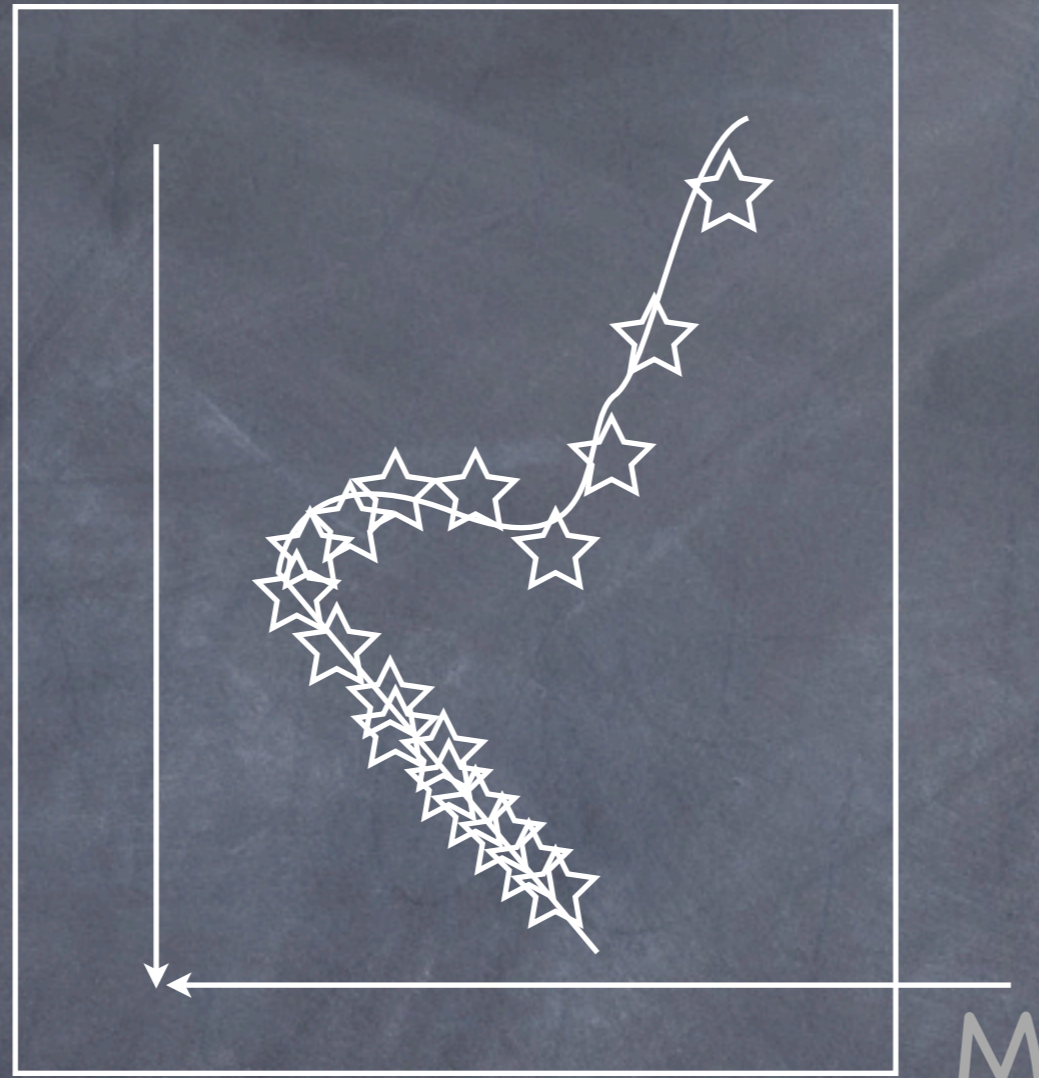


cor (de Teff)

Ajuste de isócronas

$$(m-M) = -5 + 5 \log d$$

m



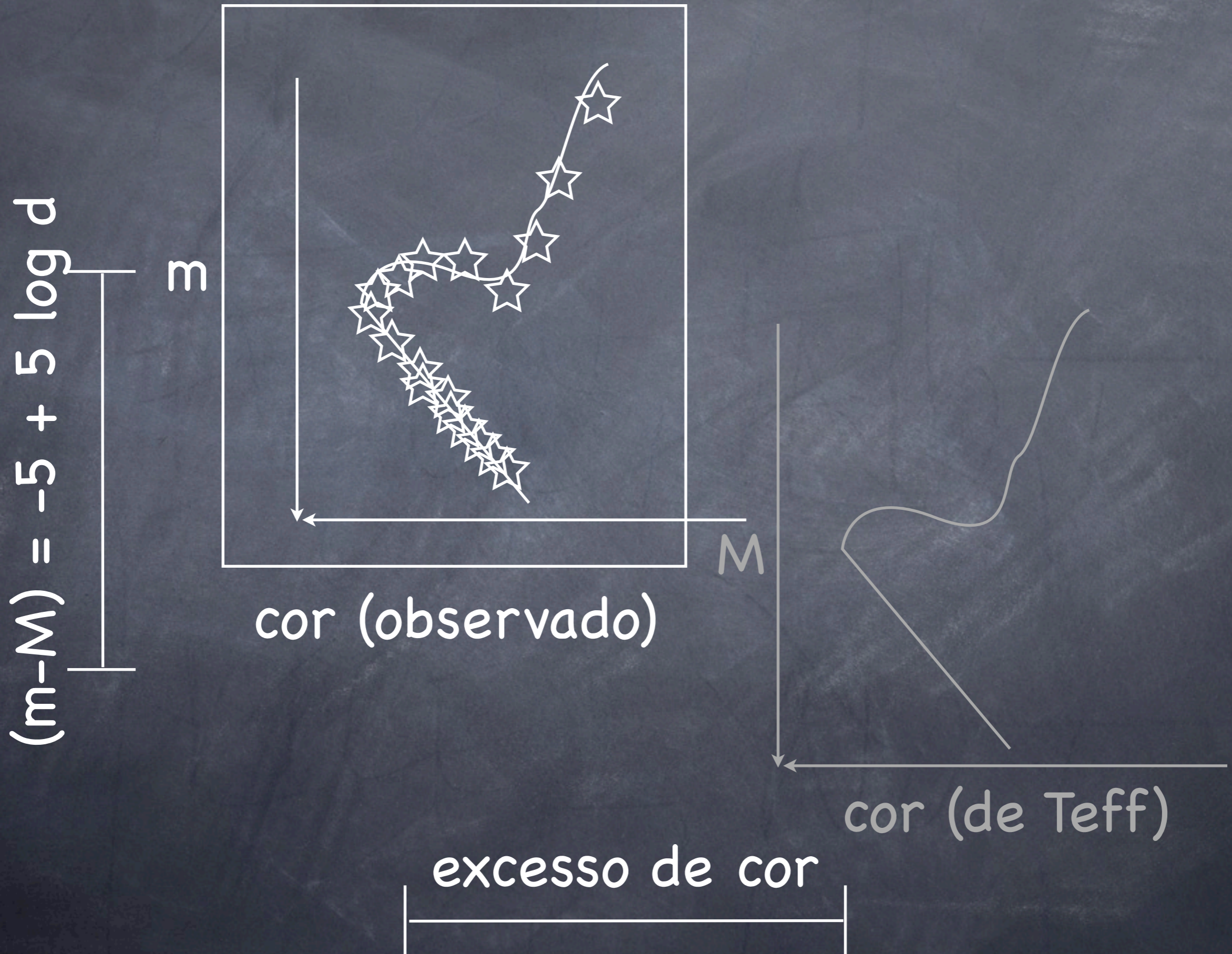
cor (observado)

M



cor (de Teff)

Ajuste de isócronas



Plêiades



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

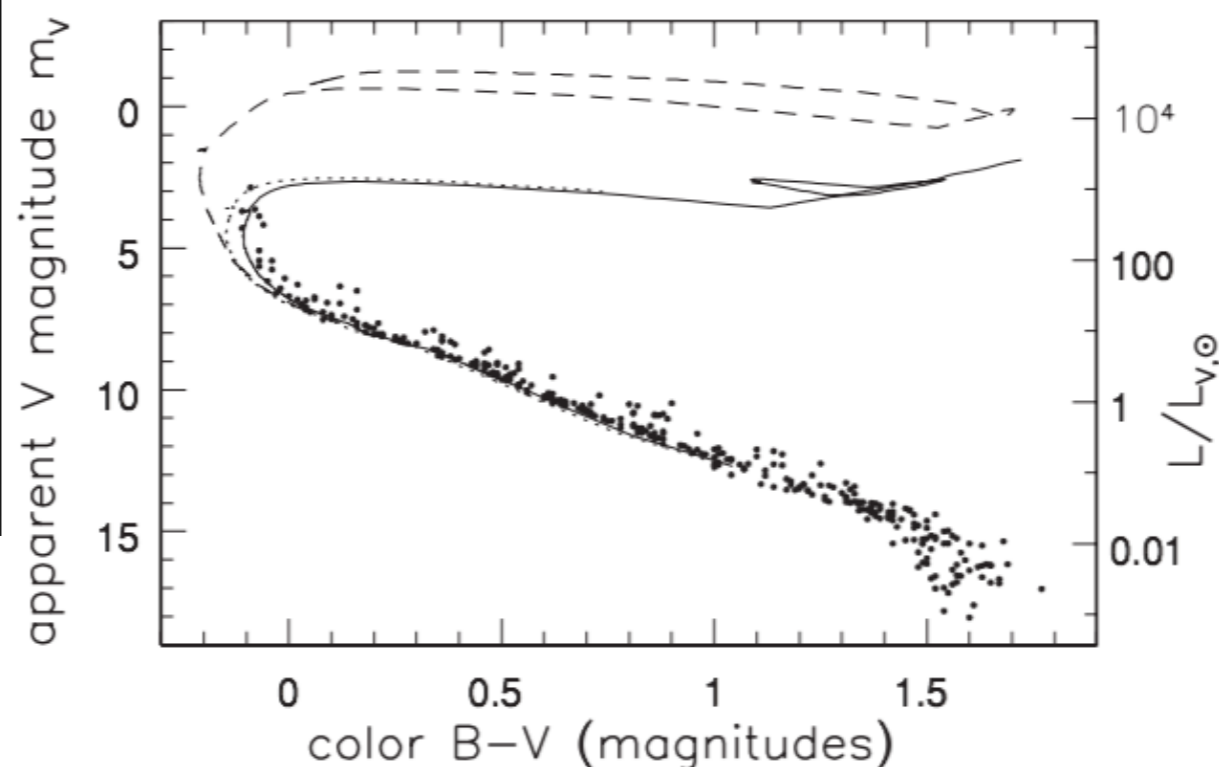


Fig. 2.12. Measured apparent magnitude m_V and color $B - V$ for stars in the Pleiades cluster; points show observed stars, and the solid line is an isochrone for stars 100 Myr old. The dotted line shows the same isochrone without correction for dust reddening; the dashed line is an isochrone for age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

Table 2.2 Some open clusters in the Milky Way

<i>Cluster</i>	<i>d</i> (pc)	[Fe/H]	<i>M_V</i> (mag)	<i>L_V</i> (10 ³ <i>L</i> _⊙)	<i>Color</i> (<i>B</i> − <i>V</i>)	<i>r_c</i> (pc)	<i>σ_r</i> (km s ^{−1})	<i>Age</i>	<i>Mass</i> (<i>M</i> _⊙)	<i>M/L</i> (<i>M</i> _⊙ / <i>L</i> _⊙)
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] = log₁₀(*Z*/*Z*_⊙); *M_V* and *B* − *V* are corrected for the obscuring effect of dust; *r_c* is the core radius measured for stars of roughly the Sun's luminosity; *σ_r* is the dispersion in the radial velocity *V_r* 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. Há gradientes e 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 1 bilhão de anos 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?

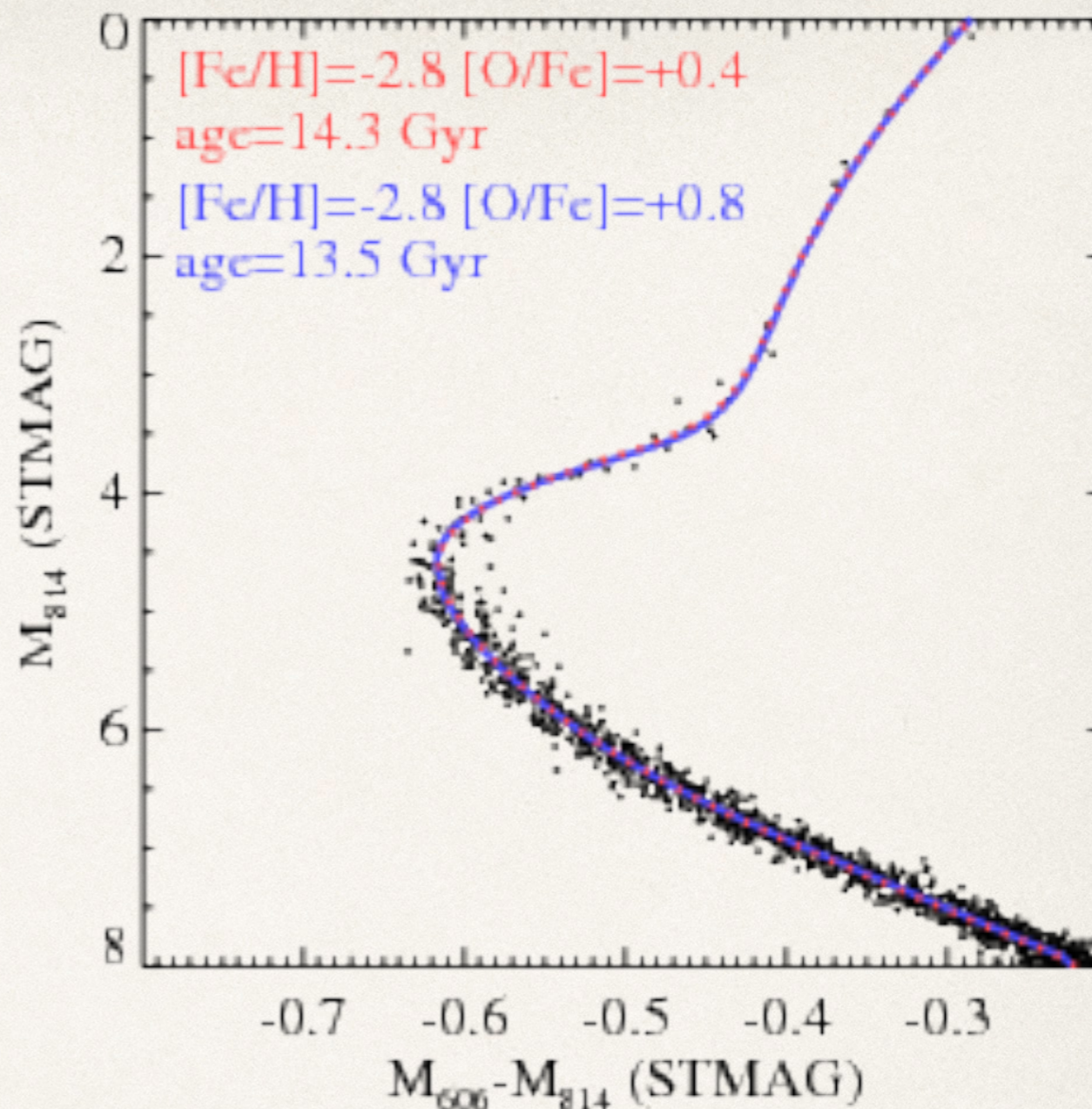
Abundâncias químicas

- ❖ 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.

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 $0.01 \sim \text{mag}$ 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 α -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. \(2009\)](#).

