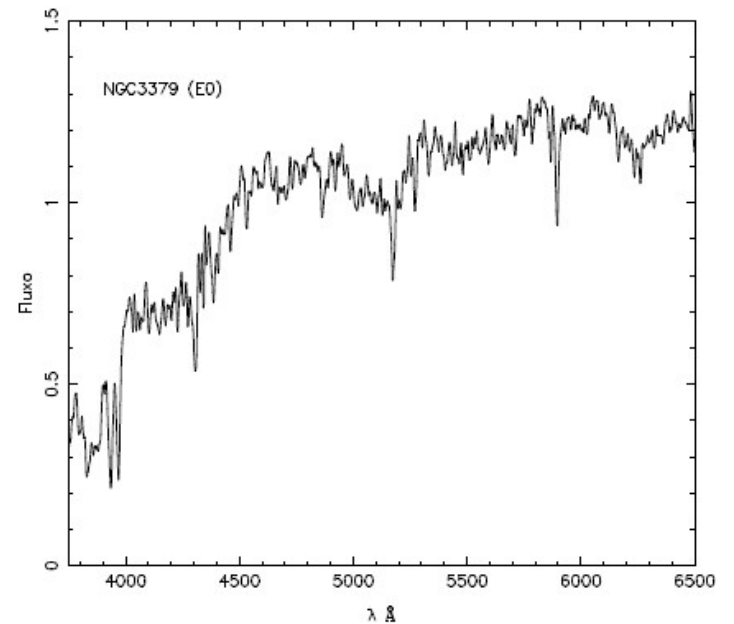
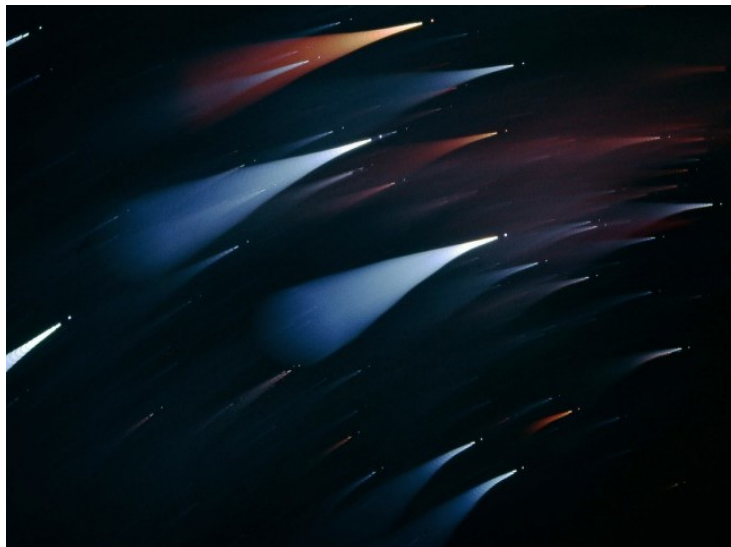


# 11. Cores e Espectros



# Coors

- Cor: diferença entre magnitudes medidas em duas bandas diferentes

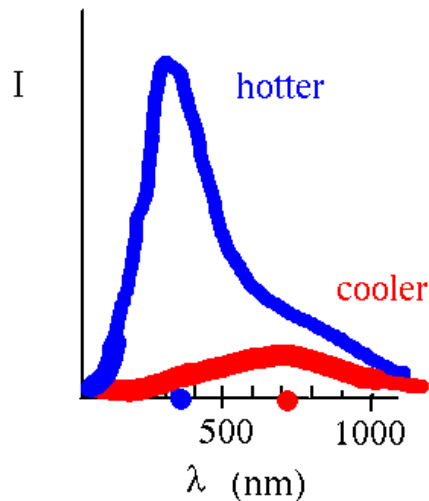
exemplo:  $(B-V) = m_B - m_V \propto -2.5 \log(f_B/f_V)$

- a cor mede a razão entre os fluxos em duas bandas

- por convenção, a banda de menor comprimento de onda vem antes: o certo é (B-V), não (V-B)

# Cores das estrelas

- Em primeira aproximação o espectro das estrelas é bem descrito por um corpo negro
- As cores, então, dependem principalmente da temperatura superficial:  
quanto mais quente, mais azul
- A metalicidade também afeta as cores, mas em menor grau: um aumento na metalicidade torna (B-V) maior (mais vermelho)



O	28,000 K - 50,000 K.
B	10,000 K - 28,000 K.
A	7,500 K - 10,000 K.
F	6,000 K - 7,500 K.
G	5,000 K - 6,000 K.
K	3,500 K - 5,000 K.
M	2,500 K - 3,500 K.

# Cores de estrelas

– exemplos de cores:

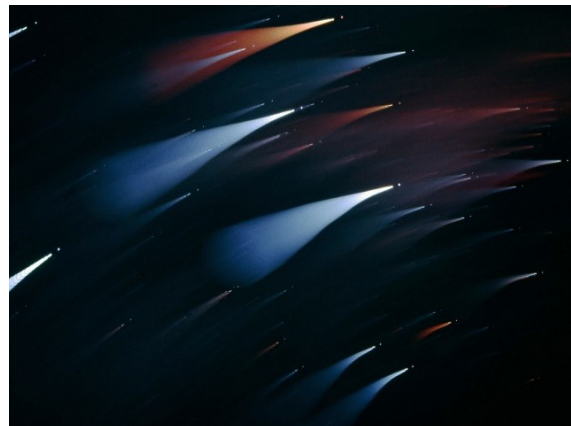
\* Sol (G2 V):  $(B - V) = +0.62$

\* Sirius (A1 V):  $(B - V) = +0.01$

\* Canopus (F0 Ia):  $(B - V) = +0.15$

\*  $\alpha$  Centauri (G2 V):  $(B - V) = +0.68$

\* Arcturus (K2 IIIp):  $(B - V) = +1.23$



# Populações estelares

- Baade (1944)
  - população I: estrelas jovens, ricas em metais
  - população II: estrelas velhas, pobres em metais
- Identificação das populações na Via Láctea:
  - idade ( $t$ )
  - metalicidade ( $Z$ )
  - propriedades cinemáticas (órbitas e velocidades)
- Populações no disco da Via Láctea:
  - braços espirais:  $t < 10^8$  anos,  $Z > Z_s$
  - disco jovem:  $t \sim 10^8$  anos
  - população intermediária (Sol):  $t \sim 5 \times 10^9$  anos,  $0.5 < Z < 1 Z_s$
  - população velha:  $t \sim 10^{10}$  anos,  $Z > 0.2 Z_s$

existe, na verdade, um contínuo de populações  
no bojo existem estrelas velhas com metalicidades maior que a solar

- Em geral: galáxias são sistemas complexos, com estrelas de muitas idades, metalicidades e luminosidades, representando diferentes populações

Cores (B-V) das galáxias do Uppsala General Catalogue e “tipos espectrais”  
(cores de estrelas da Sequência Principal)

- \* E, S0: 0.90 (K0)
- \* S0/a, Sa: 0.78 (G7)
- \* Sab, Sb: 0.64 (G2)
- \* Sbc, Sc: 0.55 (F9)
- \* Scd, Sd: 0.48 (F7)
- \* Sm, Im: 0.42 (F5)

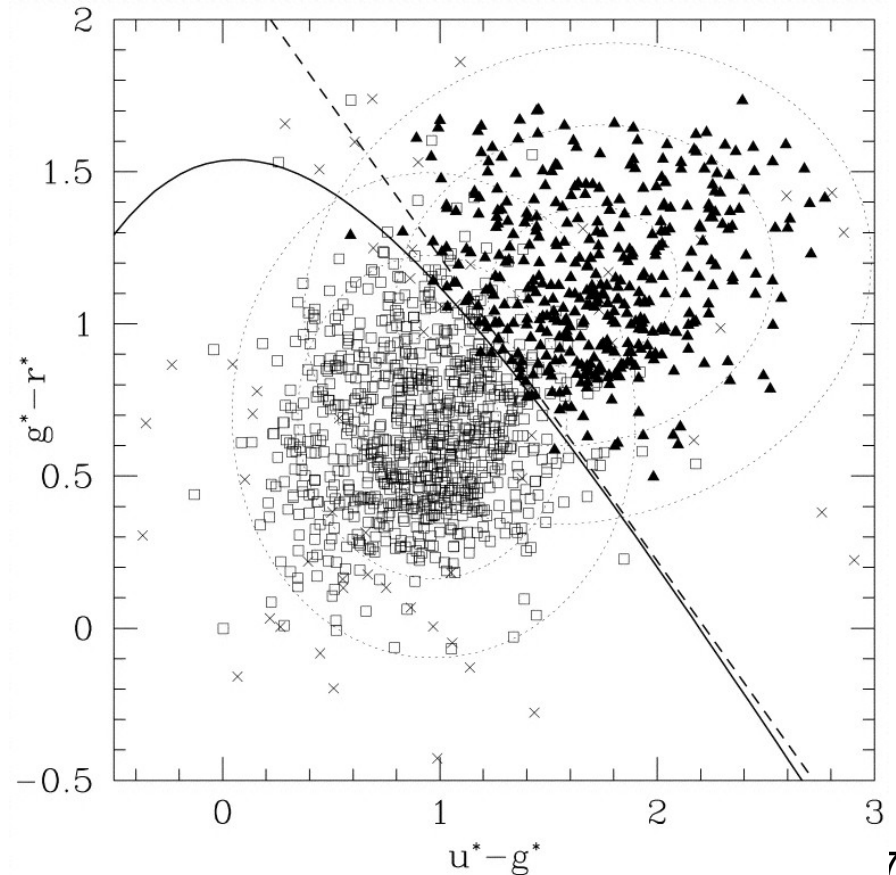
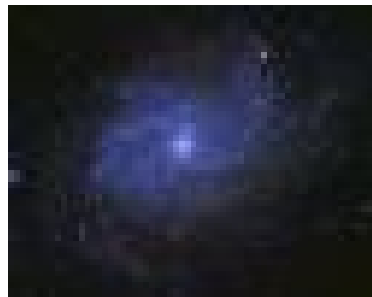
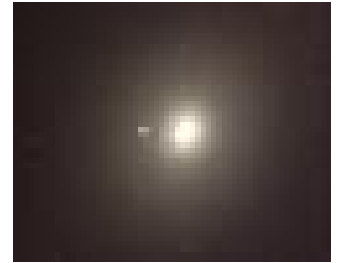
As galáxias ficam progressivamente mais azuis ao longo da sequência de Hubble

# A bimodalidade das populações galácticas

- A distribuição das cores das galáxias é bimodal
  - *early-type*: vermelhas, sem formação estelar importante
  - *late-type*: azuis, com formação estelar

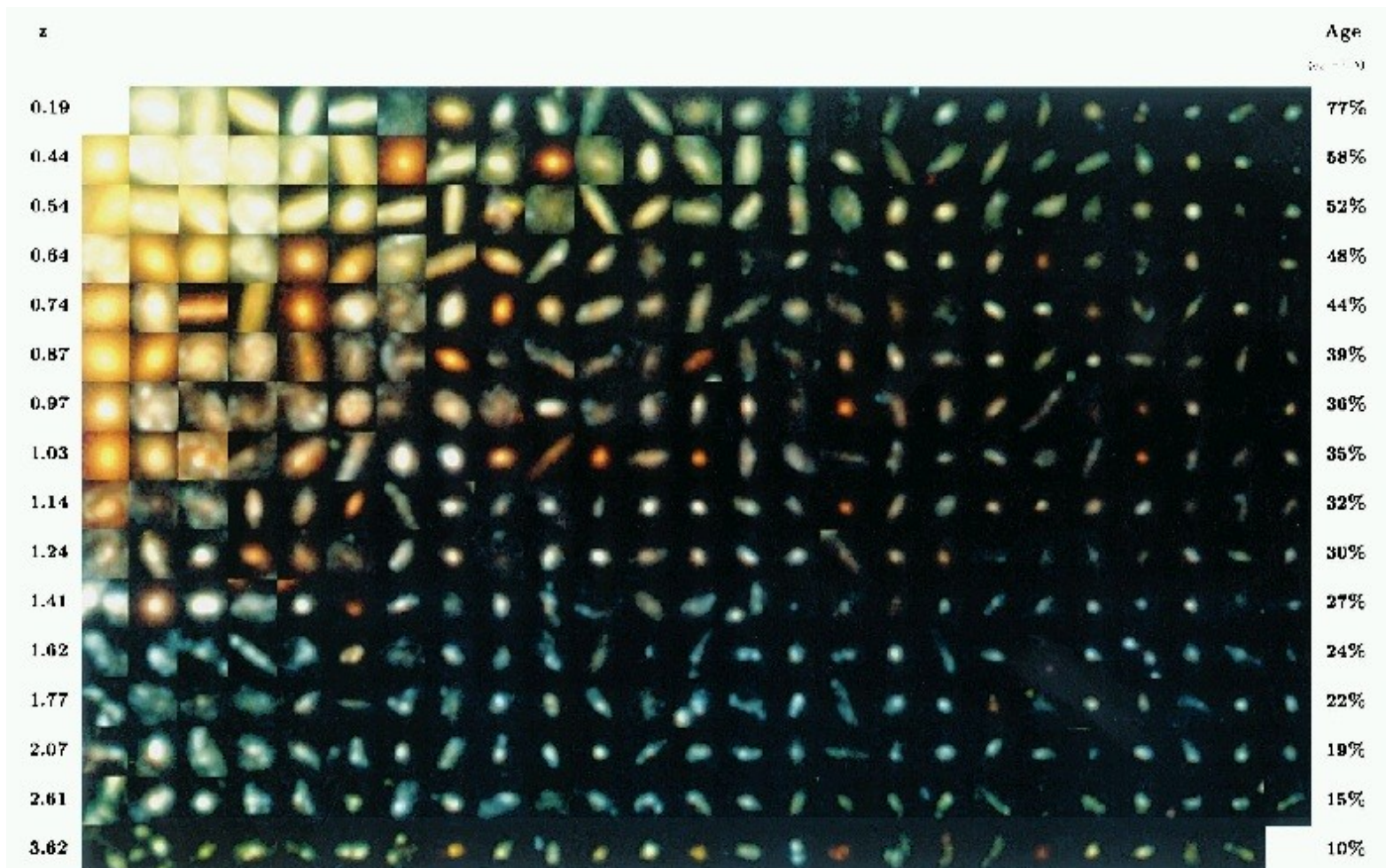
- SDSS: Strateva et al. (2001)

*This study indicates that galaxies have a bimodal  $u^*-r^*$  color distribution corresponding to early (E, S0, and Sa) and late (Sb, Sc, and Irr) morphological types, which can be clearly separated by a  $u^*-r^*$  color cut of 2.22, independent of magnitude.*



# Bimodalidade em altos redshifts

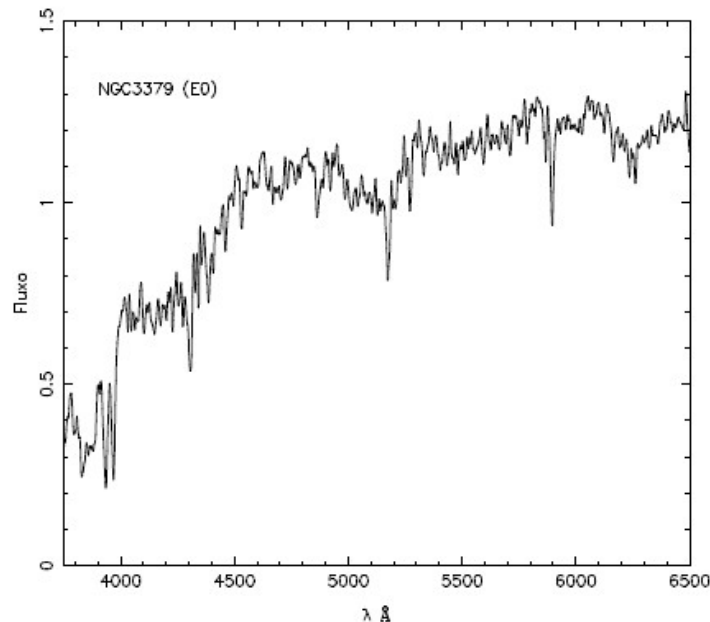
Combo-17: Bell et al. (2004), Deep2: Willmer et al. (2004)





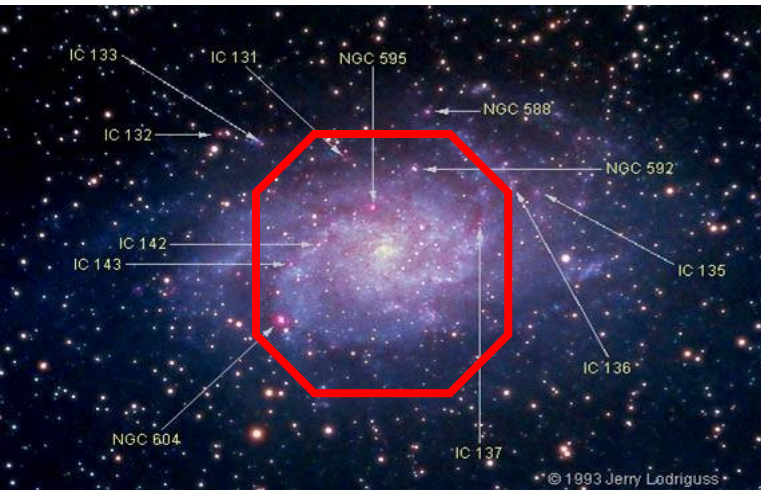
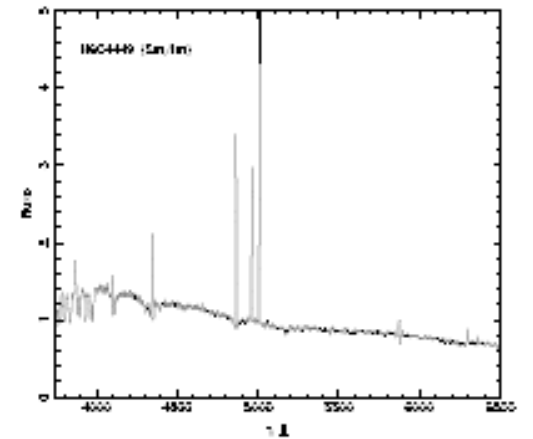
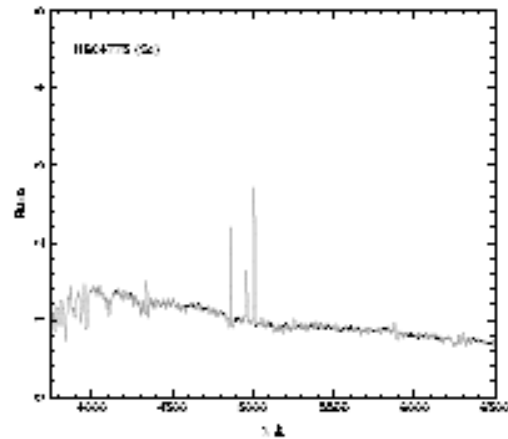
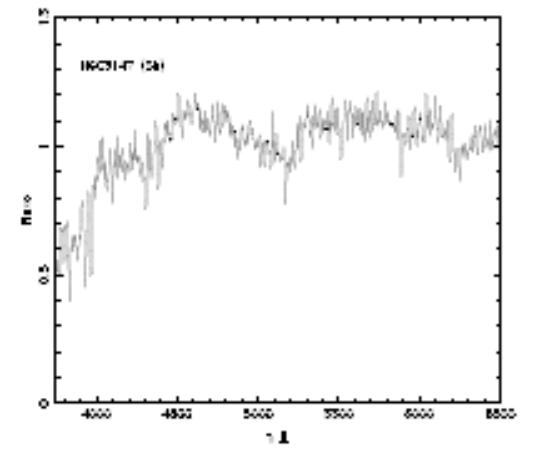
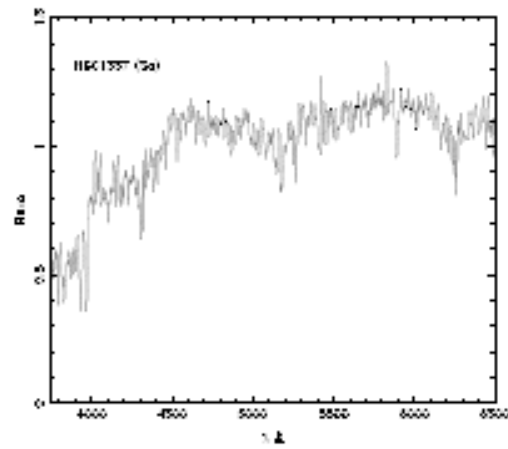
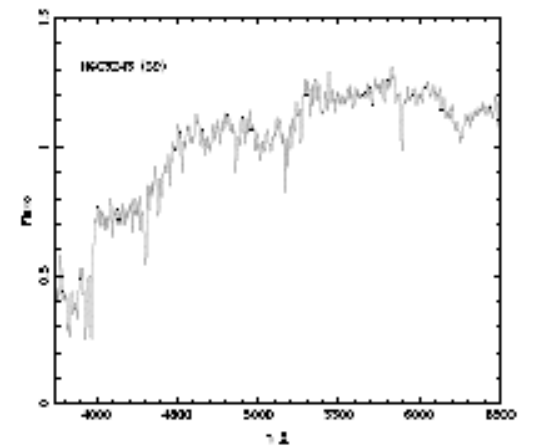
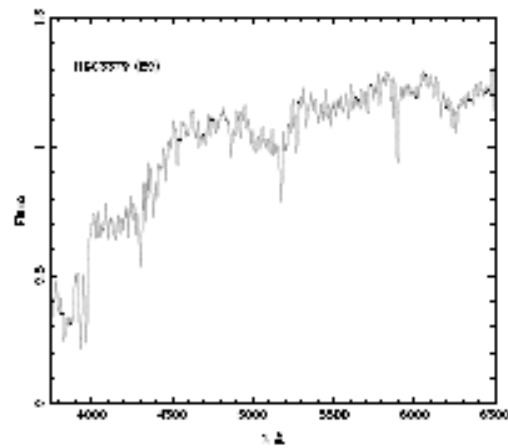
# Espectros de galáxias no ótico

- Espectro: distribuição do fluxo (ou luminosidade) monocromático em função do comprimento de onda ou frequência
- SED: *spectral energy distribution*

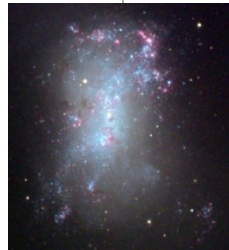
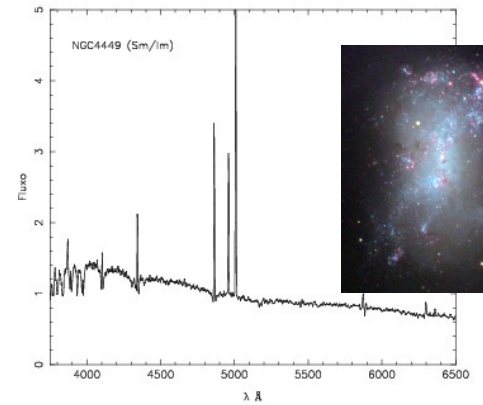
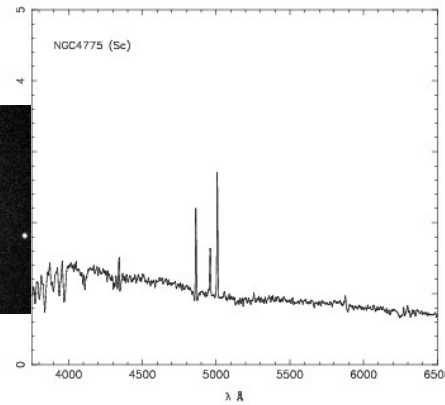
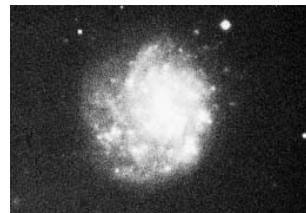
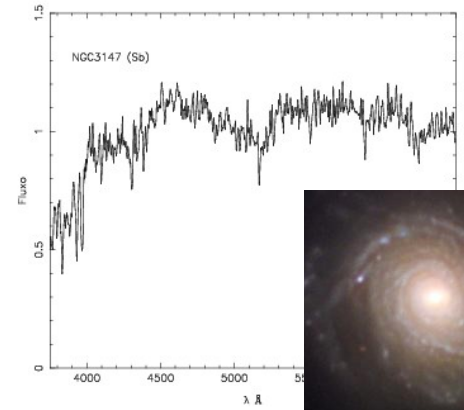
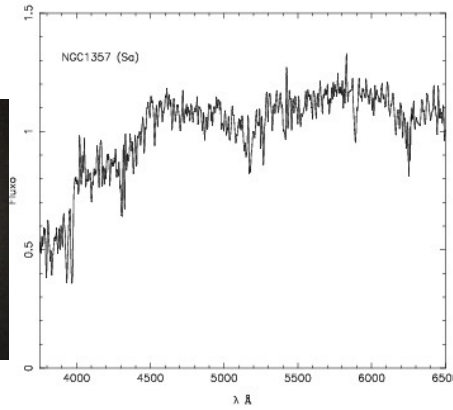
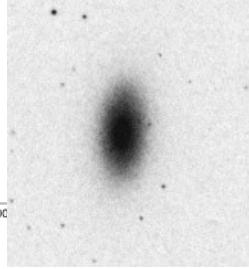
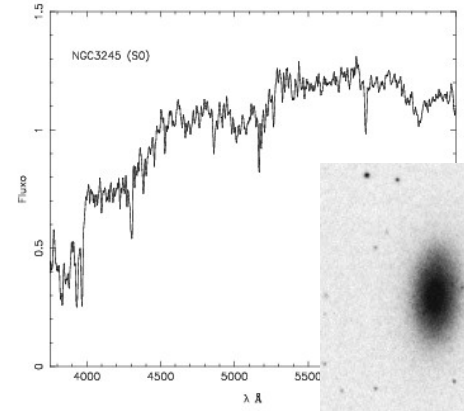
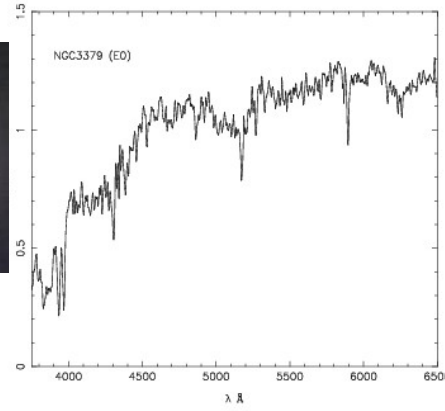


Espectros integrados (isto é, da galáxia inteira) de 6 galáxias Normais

(Kennicutt 1992, ApJS, 79, 255)

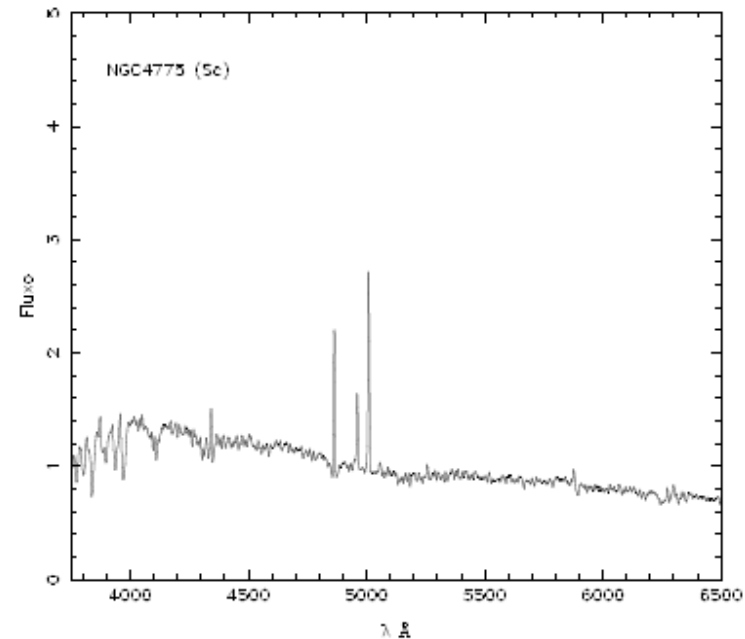
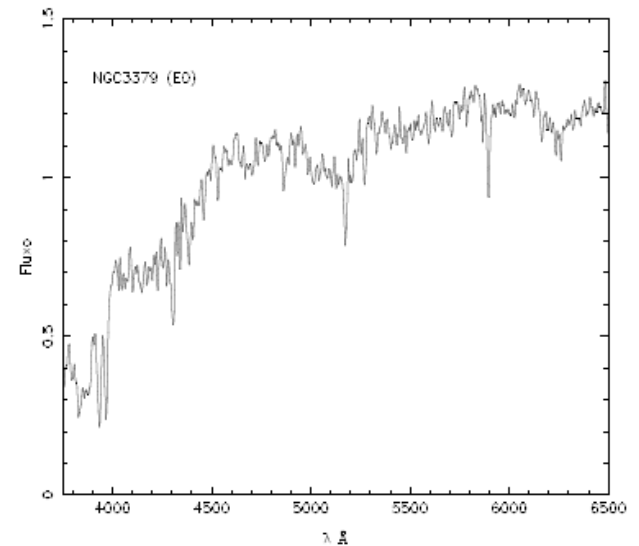
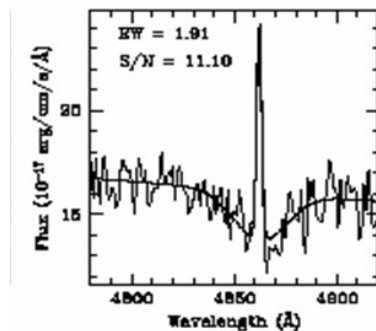


# Espectros e tipos



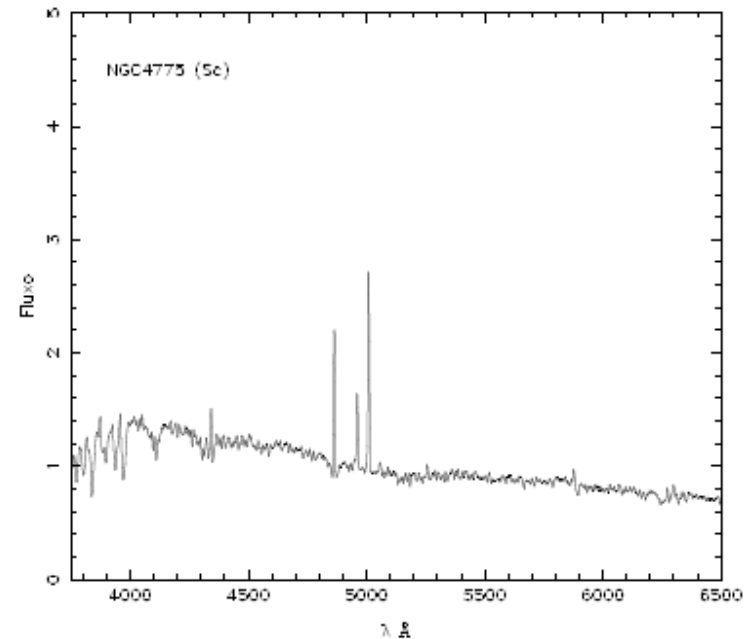
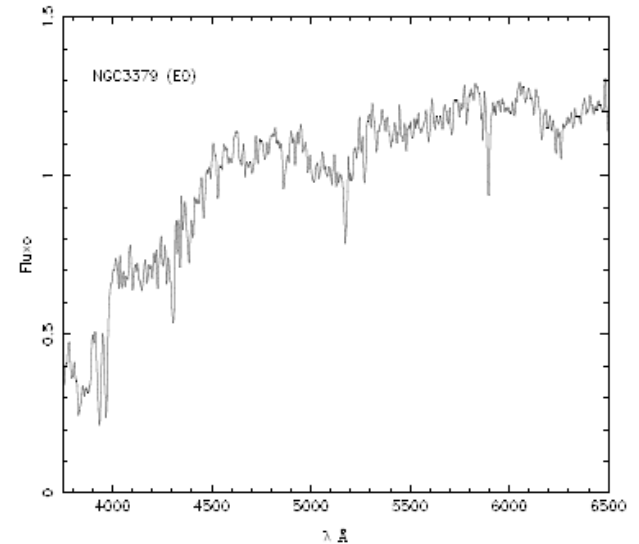
# Componentes de um espectro:

- *contínuo*: produzido em estrelas- a inclinação do contínuo aumenta das E para as Im: o espectro fica mais azul
- *linhas de absorção*: produzidas pela absorção da luz das estrelas em suas atmosferas ou por gás e poeira
- *linhas de emissão*: produzidas pelo gás em regiões ionizadas; geralmente regiões de formação estelar (regiões HII)



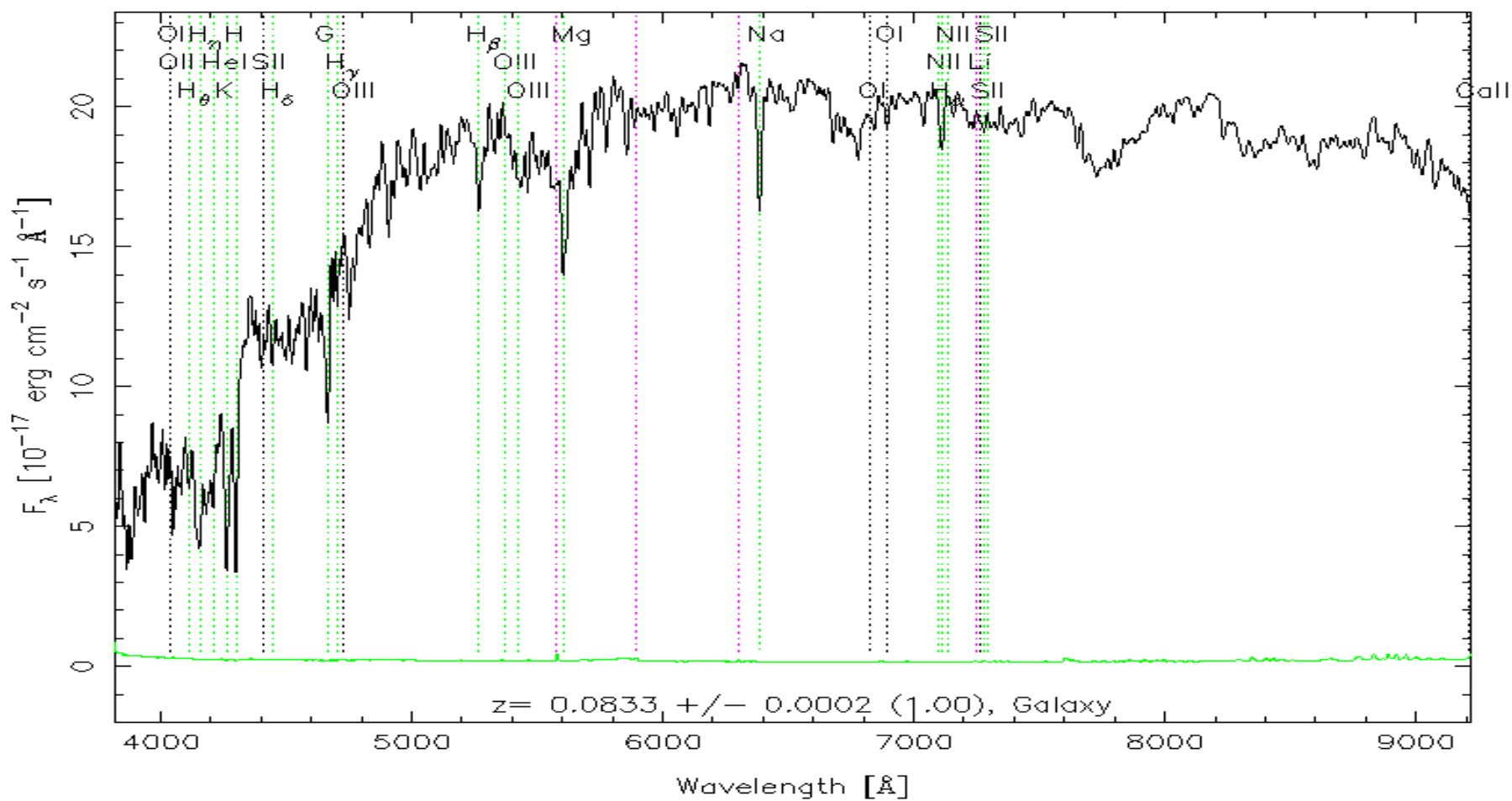
# Algumas linhas importantes:

- Série de Balmer (emissão e absorção): H $\delta$  ( $\lambda$ 4102), H $\gamma$  ( $\lambda$ 4340), H $\beta$  ( $\lambda$ 4861), H $\alpha$  ( $\lambda$ 6563)
- Linhas metálicas (absorção): Ca II (K,  $\lambda$ 3934), Ca II (H,  $\lambda$ 3968), banda G ( $\lambda$ 4300), Mg I ( $\lambda$ 5173, 5175), Na I (D,  $\lambda$ 5890, 5896)
- Linhas proibidas em emissão: [O II] ( $\lambda$ 3727), [O III] ( $\lambda$ 4959, 5007), [N II]

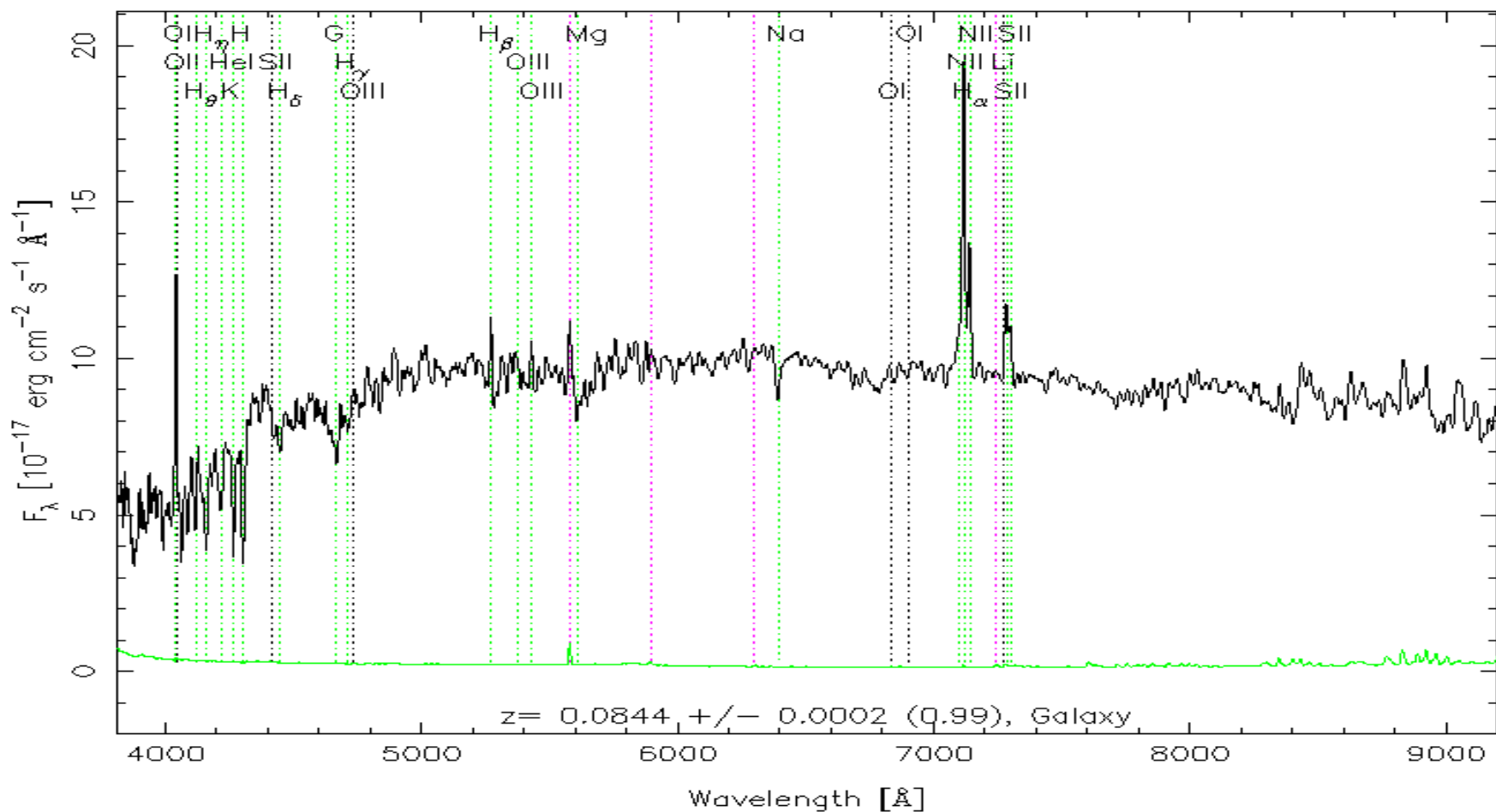




RA=191.10148, DEC= 0.62864, MJD=51928, Plate= 291, Fiber=510

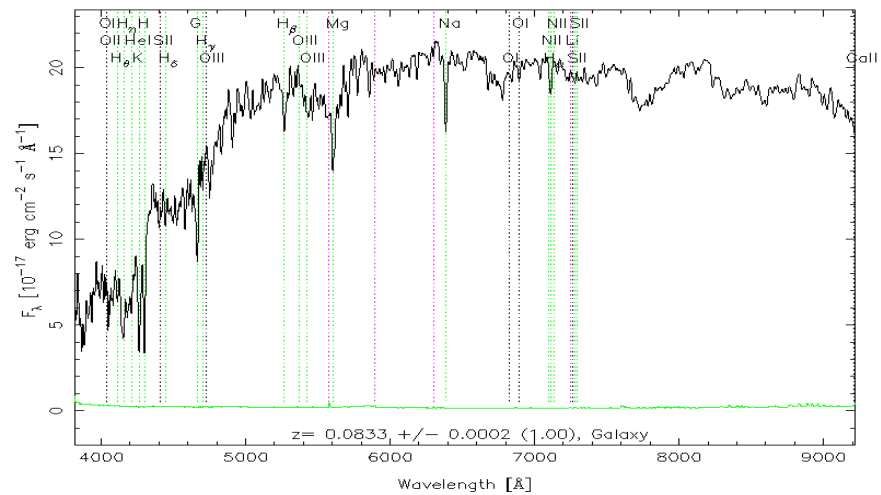


RA= 0.89132, DEC= 0.61425, MJD=51791, Plate= 387, Fiber=584



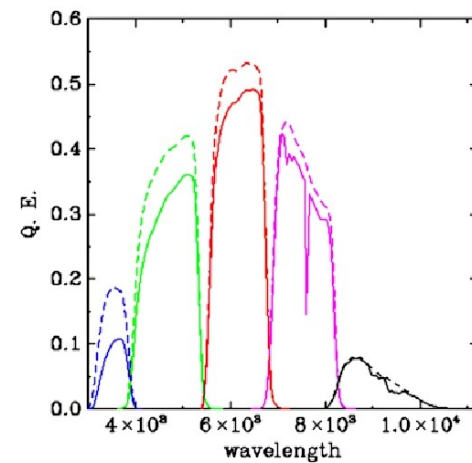


RA=191.10148, DEC= 0.62864, MJD=51928, Plate= 291, Fiber=510

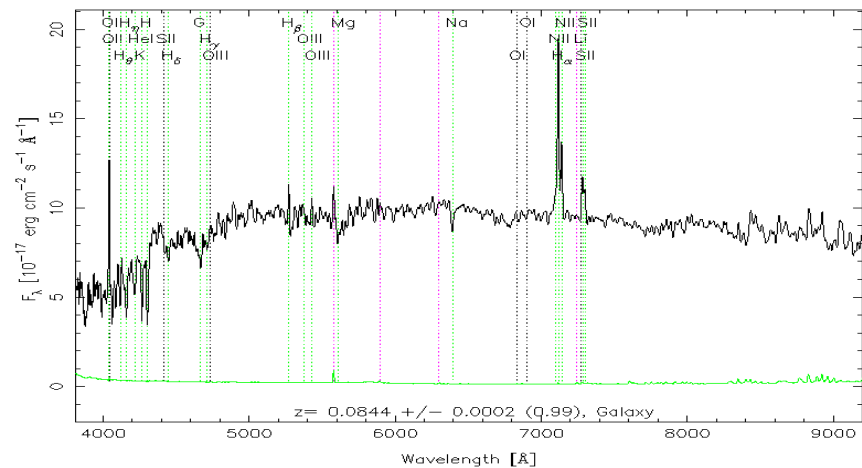


$(u-r)=2.73$

SDSS: u,g,r,i,z



RA= 0.89132, DEC= 0.61425, MJD=51791, Plate= 387, Fiber=584



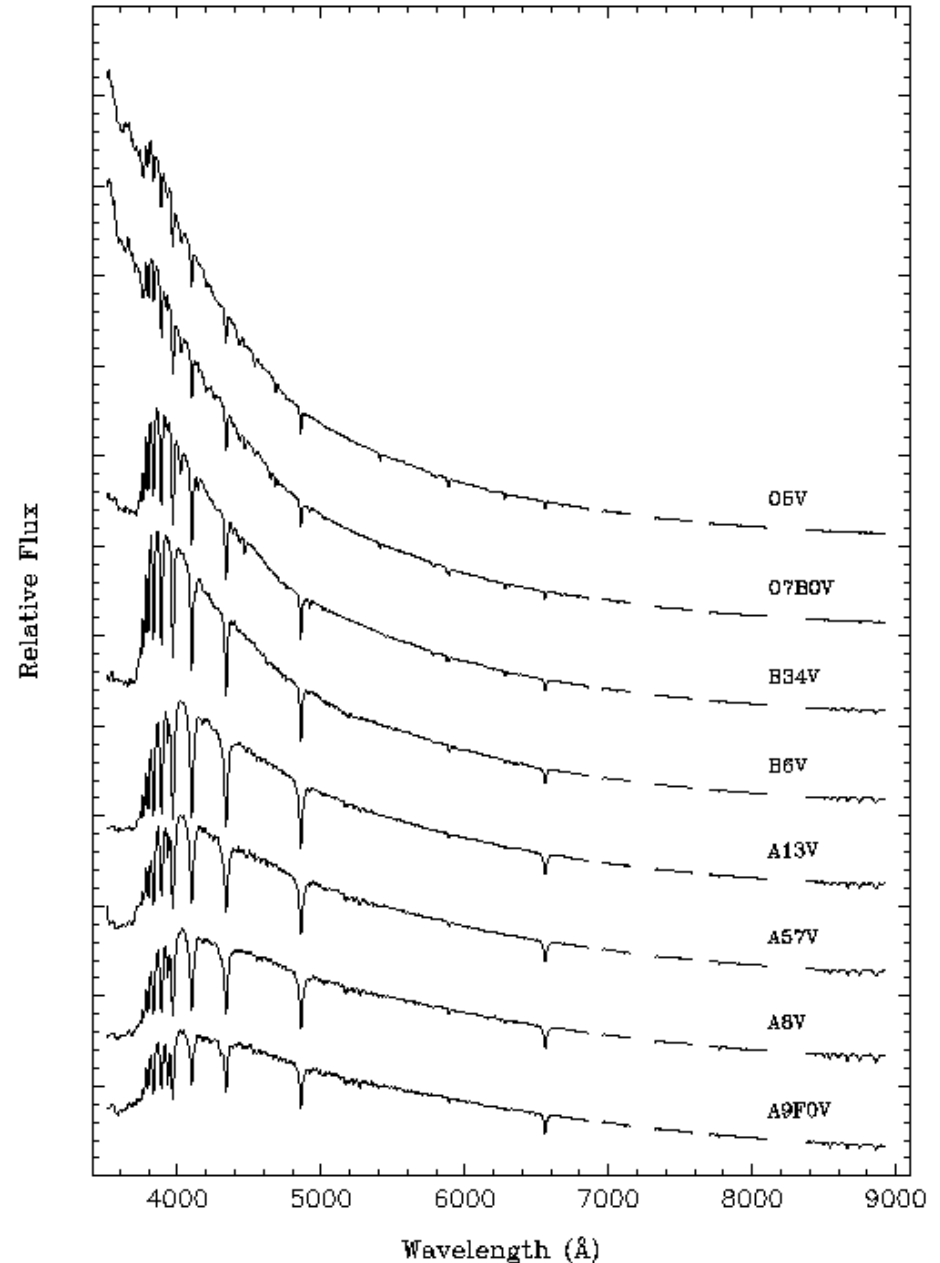
$(u-r)=1.79$

# Espectros estelares

- A luz das galáxias é produzida pelas estrelas que as constituem.
- Aqui se apresenta espectros de alguns tipos de estrelas, extraídos de Silva e Cornell (ApJS 81, 865, 1992) .
- Note a designação das classes espectrais das estrelas:
  - V: sequência principal
  - IV: sub-gigantes
  - III: gigantes
  - I: supergigantes

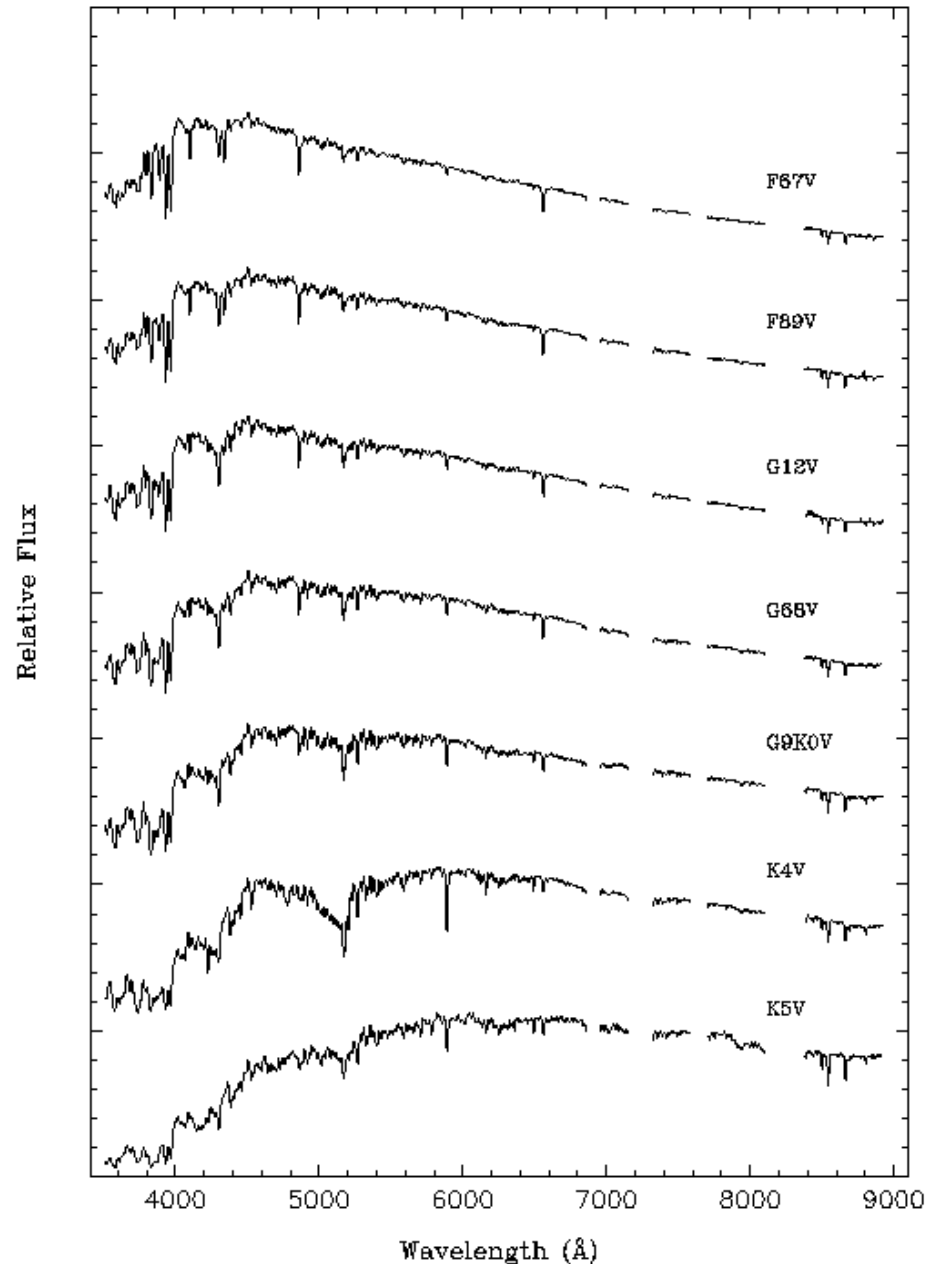
## Estrelas O5-A9 da sequência principal:

são estrelas quentes, com temperatura superficial superior a 10000K. Como consequência, o espectro cresce para o azul. Note a progressão nas linhas de absorção hidrogênio.



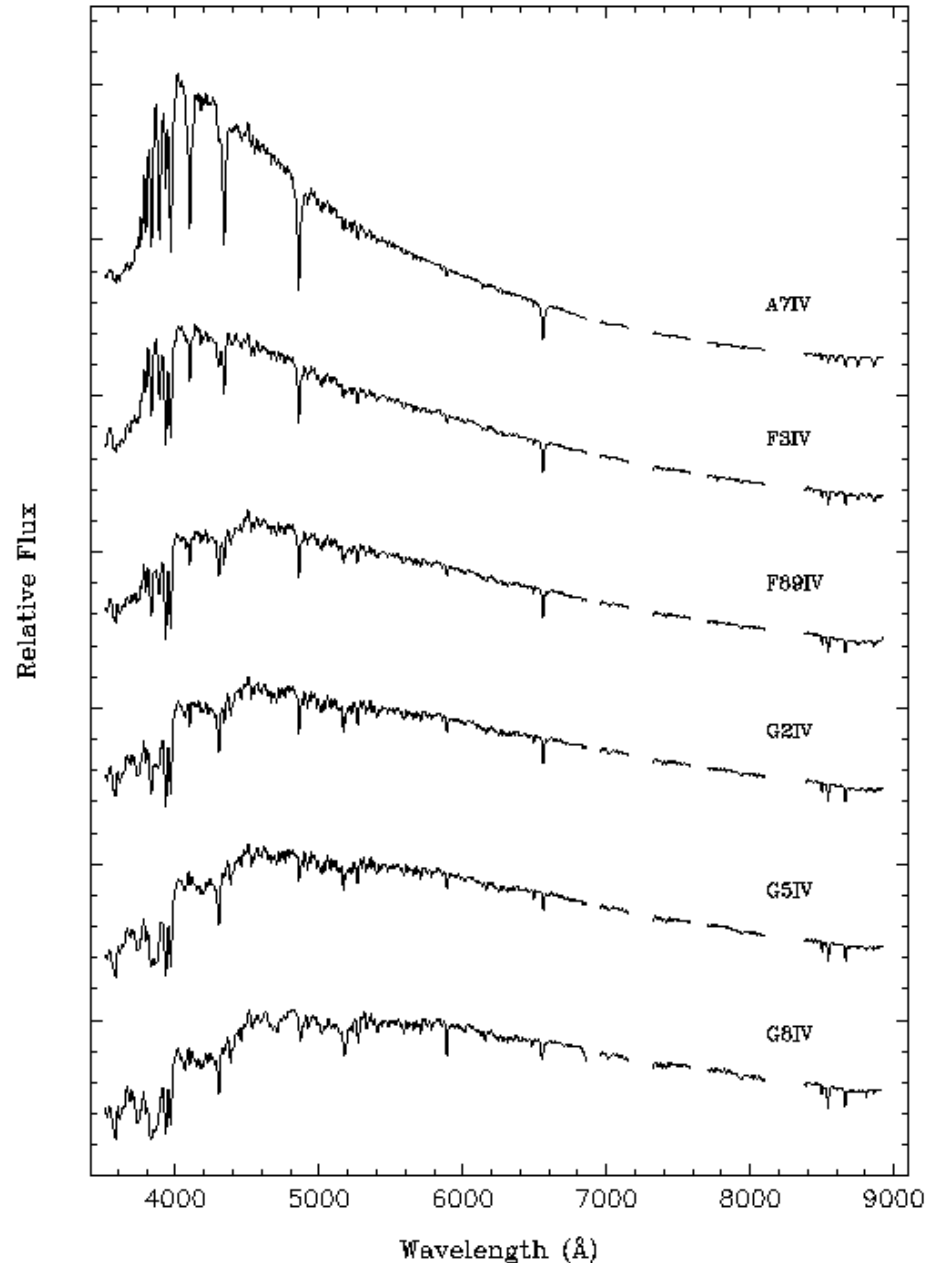
## Estrelas F7-K5 da sequência principal:

a temperatura superficial varia entre 7000 (F7) e 4000 K (K5). A intensidade das linhas do H diminui pois a excitação nessas atmosferas frias é insuficiente para povoar níveis atômicos excitados. Linhas metálicas começam a ficar fortes. Note, em particular, as linhas H e K do CaII (perto de 3900Å), Mg I (5150 Å, veja especialmente as estrelas K) e a linha Na D (perto de 5800Å). Conforme a temperatura diminui, os espectros ficam mais "vermelhos".



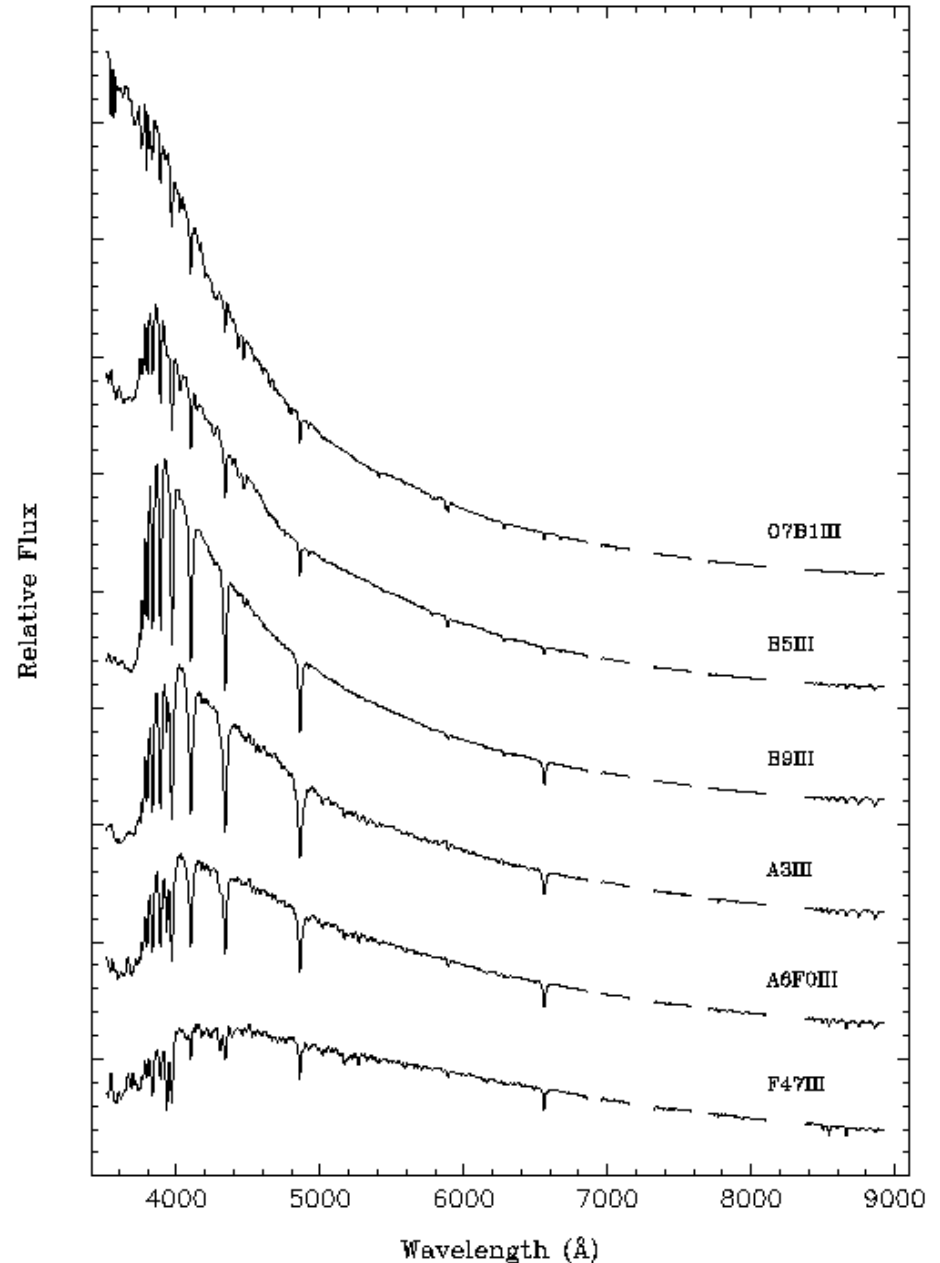
### Sub-gigantes A7-G8:

conforme a temperatura diminui, a intensidade das linhas de absorção do H diminui e a das linhas metálicas aumenta. Várias linhas metálicas, produzidas principalmente pelo ferro, produzem uma depressão perto de 4100 Å conhecida como banda G.



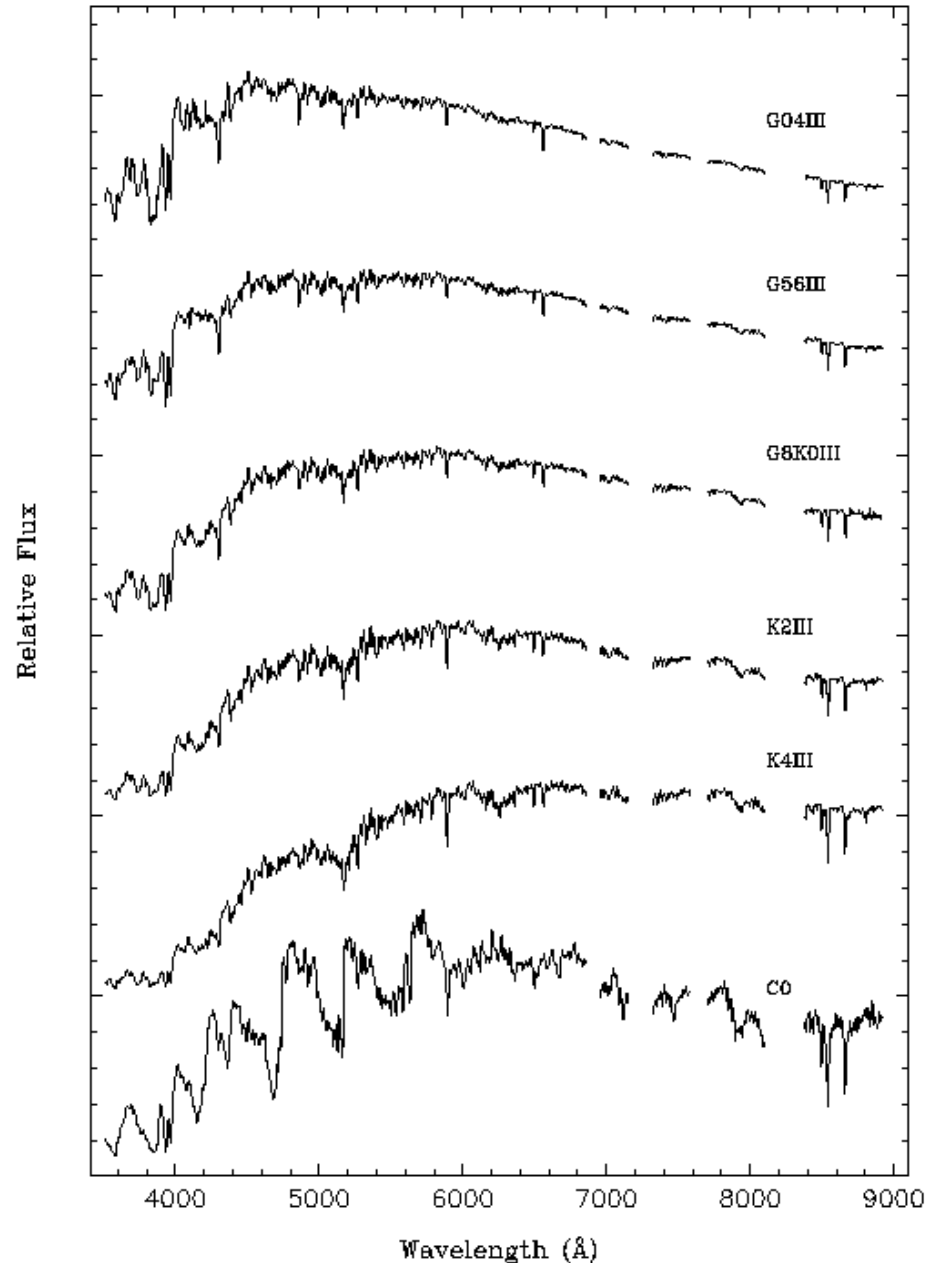
## Gigantes azuis O7-F4:

são estrelas massivas que começam a sair da sequência principal em direção ao ramo das gigantes. Note que as linhas de absorção do H são muito bem definidas. Conforme a estrela se expande, sua gravidade superficial diminui, relativamente à sequência principal, e isso aumenta a absorção do H.



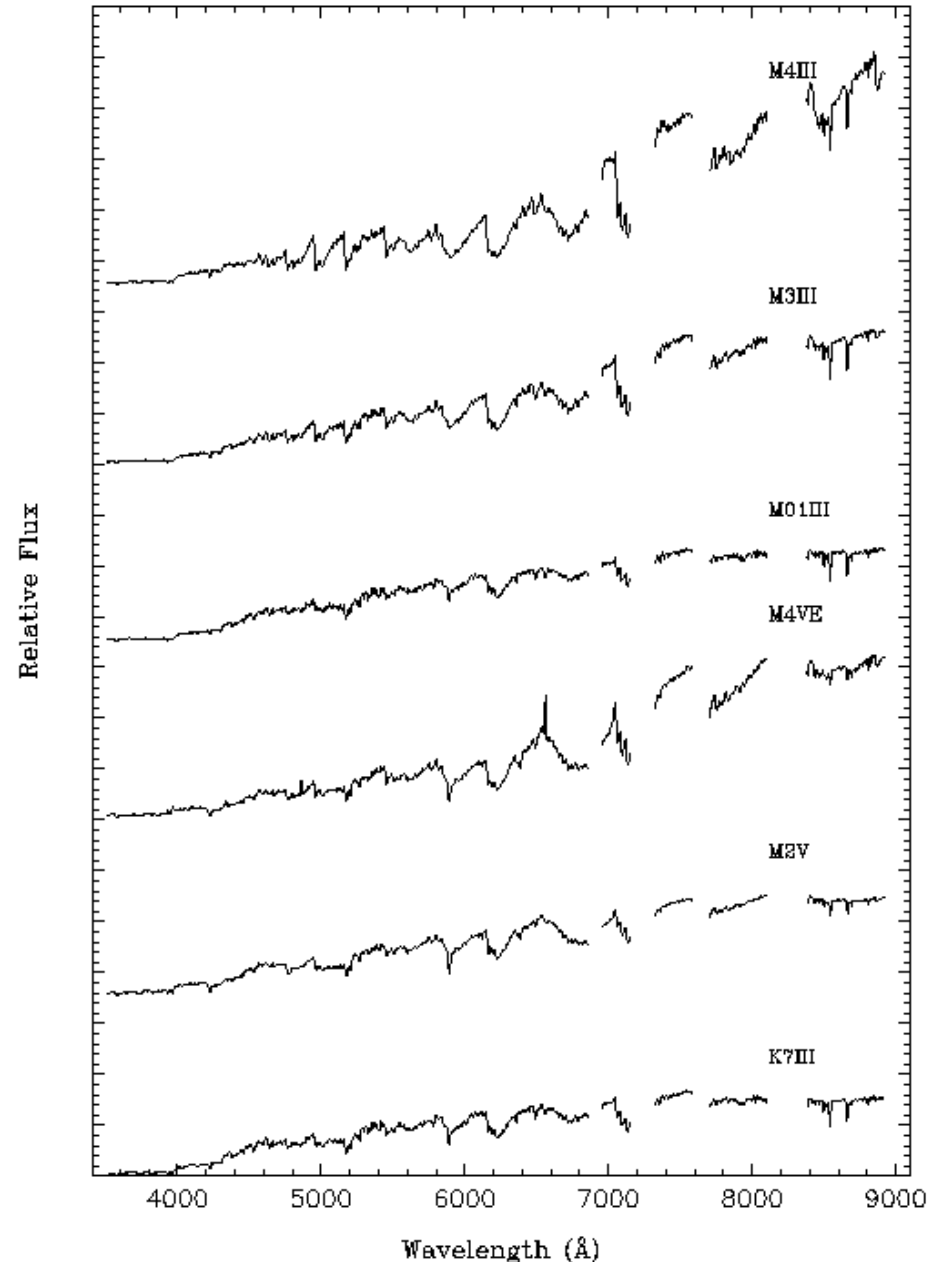
## Gigantes vermelhas:

são estrelas frias. Os espectros são parecidos com os de estrelas da sequência principal de mesmo tipo espectral, mas as linhas são mais estreitas. Note a presença do tripleto do Ca perto de 8500Å. Essas 3 linhas do Ca são muito mais fortes em gigantes que na sequência principal.



## Gigantes muito frias:

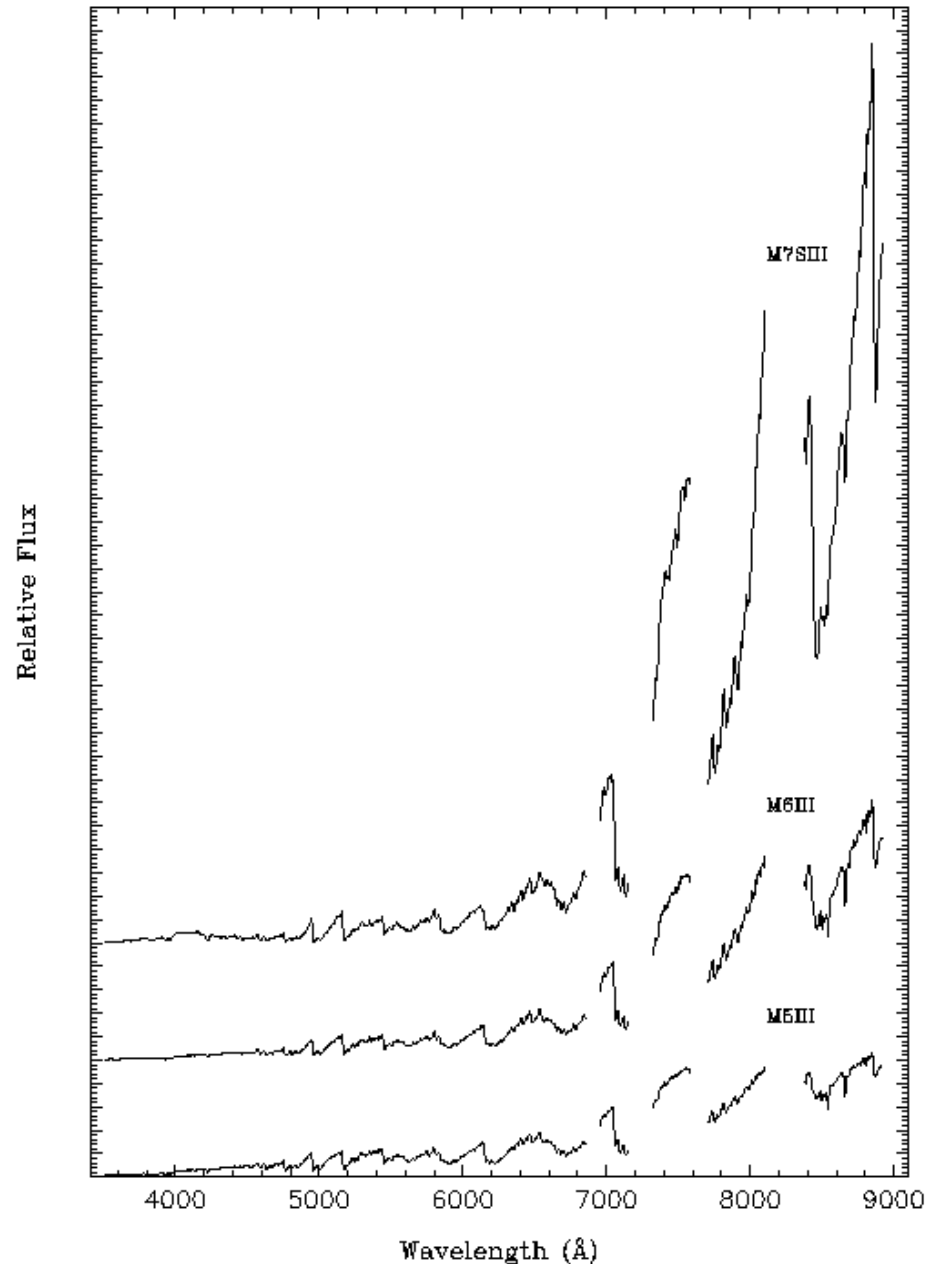
aqui estão exemplos de espectros de gigantes vermelhas muito frias ( $T < 3500$  K). O grau de excitação é tão baixo que moléculas são formadas nessas atmosferas. Os diversos níveis rotacionais e vibracionais de uma molécula produzem absorções (denominadas cabeças de banda) que se estendem de 1 a 300Å. As "falhas" no espectro são devidas a problemas com a subtração do espectro do céu.





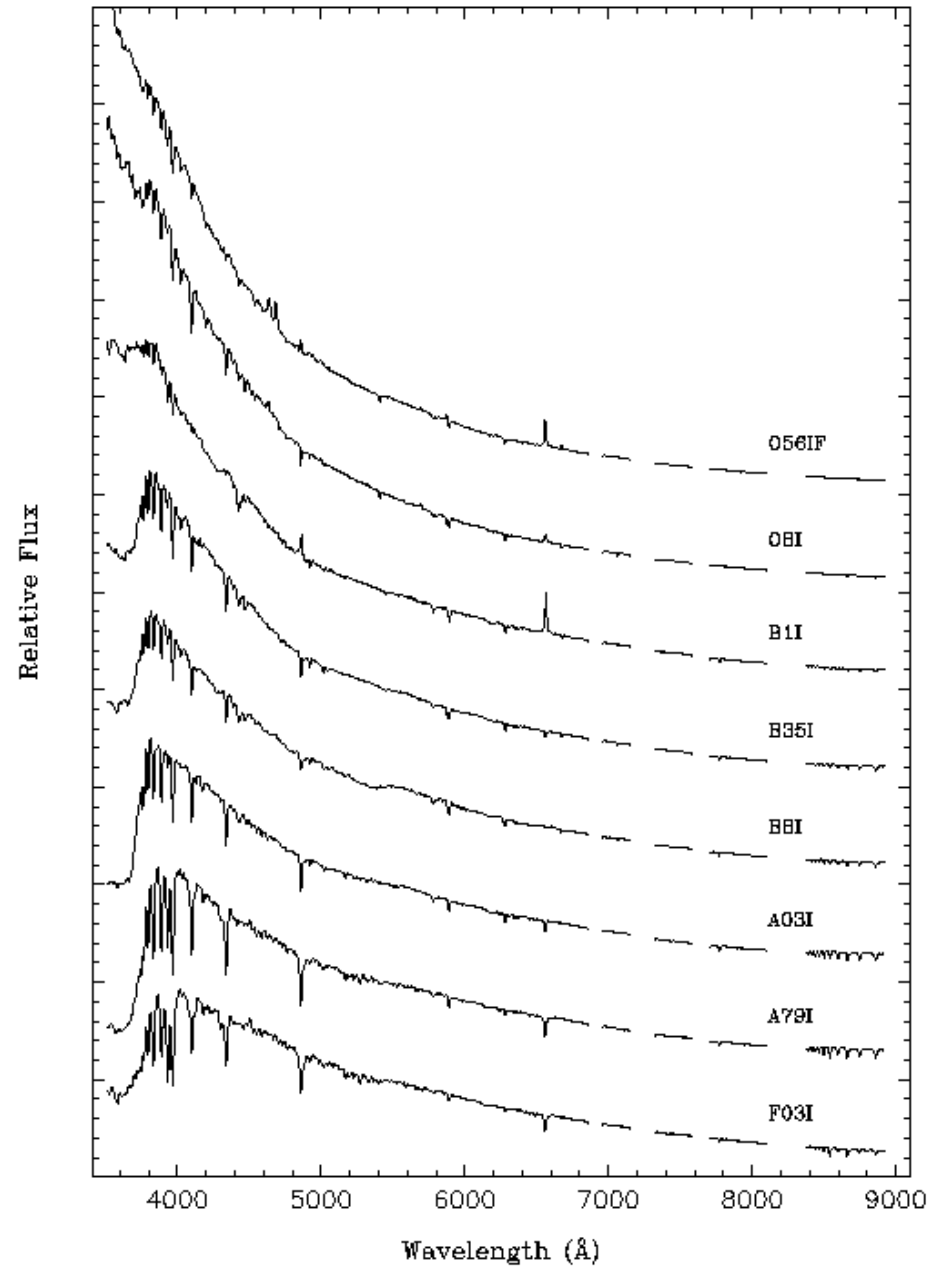
## Cabeças de banda extremas:

estas são as gigantes mais frias conhecidas (e, provavelmente, as mais ricas em elementos pesados). As cabeças de banda são fortes, principalmente acima de  $7000\text{\AA}$ . Estes espectros são parecidos com os de estrelas da sequência principal de mesmo tipo espectral, mas as linhas são mais estreitas. Note o tripleto do Ca perto de  $8500\text{\AA}$ .



## Supergigantes azuis:

note a presença de linhas de emissão nos tipos mais quentes.



# Síntese evolutiva:

- *Modelagem* do espectro e cores de uma galáxia a partir de suas populações estelares, que evoluem com o tempo
- Ingredientes:
  - função de massa inicial
  - taxa de formação estelar
  - bibliotecas com trajetórias evolutivas de estrelas
- Calcula-se a evolução espectral da galáxia: em um dado tempo  $t$  o espectro (ou as cores) será uma superposição dos espectros (ou cores) das estrelas que constituem a galáxia
- Referências: Fioc & Rocca-Volmerange (1997, A&A, 326, 950); Bruzual & Charlot (2003, MNRAS, 344, 1000)

# Síntese evolutiva: a taxa de formação estelar (TFE)

- $N(t) dt$ : número de estrelas formadas entre  $t$  e  $t+dt$

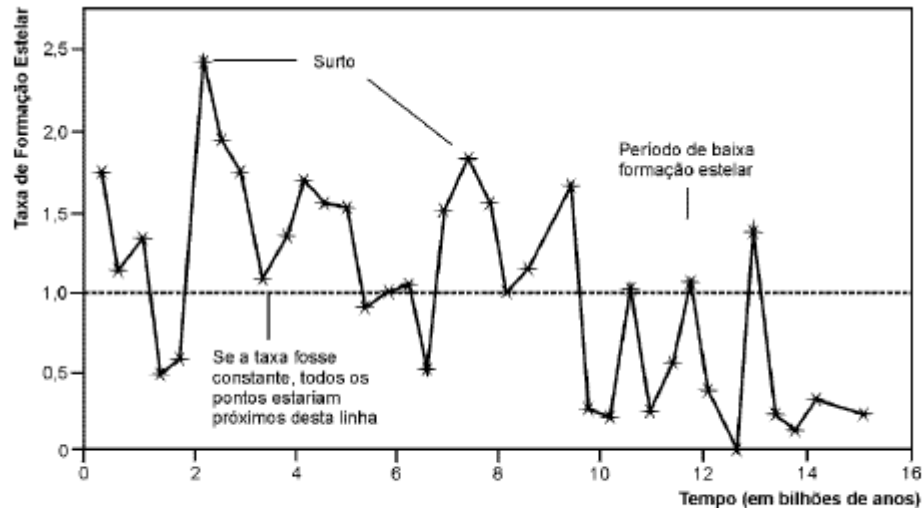


Figura 7.7: Taxa de formação estelar na Galáxia (Rocha Pinto & Maciel, MNRAS, 289, 882, 1997).

# Síntese evolutiva: população estelar simples (SSP)

- Número de estrelas produzida em um surto (*burst*) de formação estelar:

$$N(t) = N_0 \delta(t - t_{burst})$$

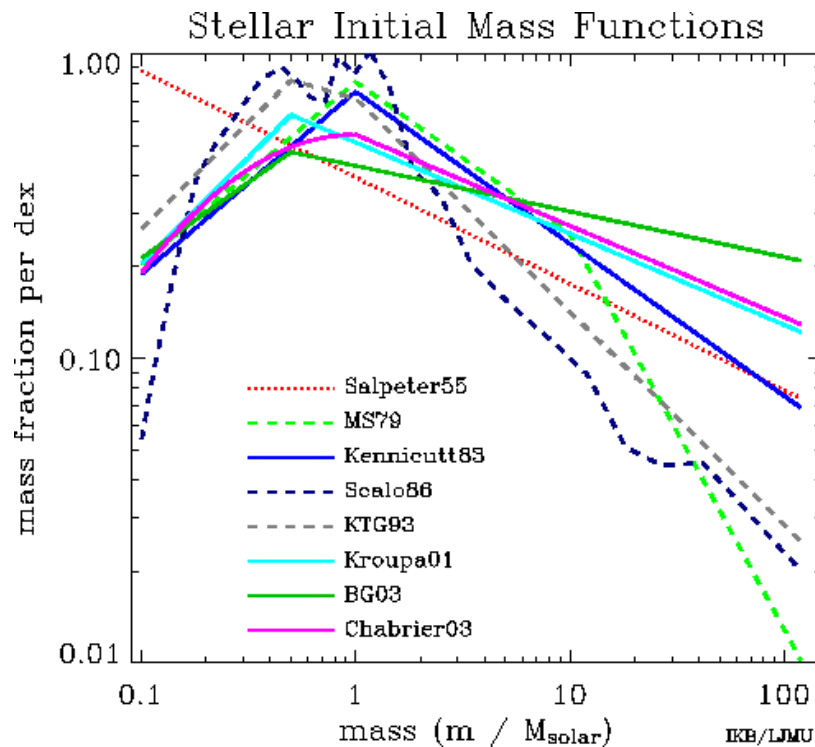
- as estrelas se formam durante um intervalo de tempo muito curto
- elas evoluem, com as mais massivas evoluindo mais rapidamente que as menos massivas
  
- Modelo simples para a população estelar de um aglomerado globular ou uma galáxia elíptica  
(as cores e espectros de uma E são bem descritos por uma SSP- isso não quer dizer que todas as E são SSP!)
  
- Uma  $N(t)$  complexa pode ser descrita como uma superposição de surtos

# Síntese evolutiva: a função de massa inicial (IMF)

- $\Phi(m) dm$ : fração de estrelas formadas em um surto com massa entre  $m$  e  $m+dm$   
(pode ser definida de outras formas, como a densidade de estrelas formadas com massa entre  $m$  e  $m+dm$ , por exemplo)

$$\int_{m_1}^{m_2} \phi(m) dm = 1, \quad m_1 < m < m_2$$

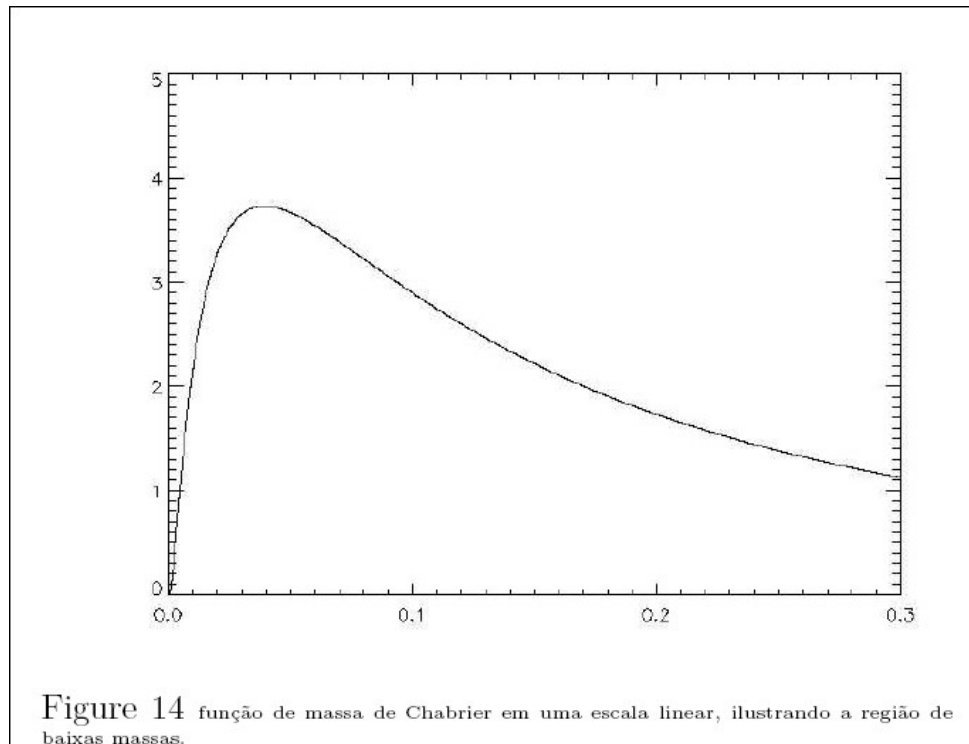
tipicamente:  $m_1 \sim 0.1M_{\odot}$ ,  $m_2 \sim 100M_{\odot}$



# Síntese evolutiva: a função de massa inicial (IMF)

- $\Phi(m) dm$ : fração de estrelas formadas em um surto com massa entre  $m$  e  $m+dm$
- bastante popular hoje em dia é a IMF de Chabrier (2003, ApJ, 586, L133):

$$\Phi(m)dm = Am^{-1} \exp\left[-\frac{(\log m - \log 0.08)^2}{2 \times (0.69)^2}\right]$$



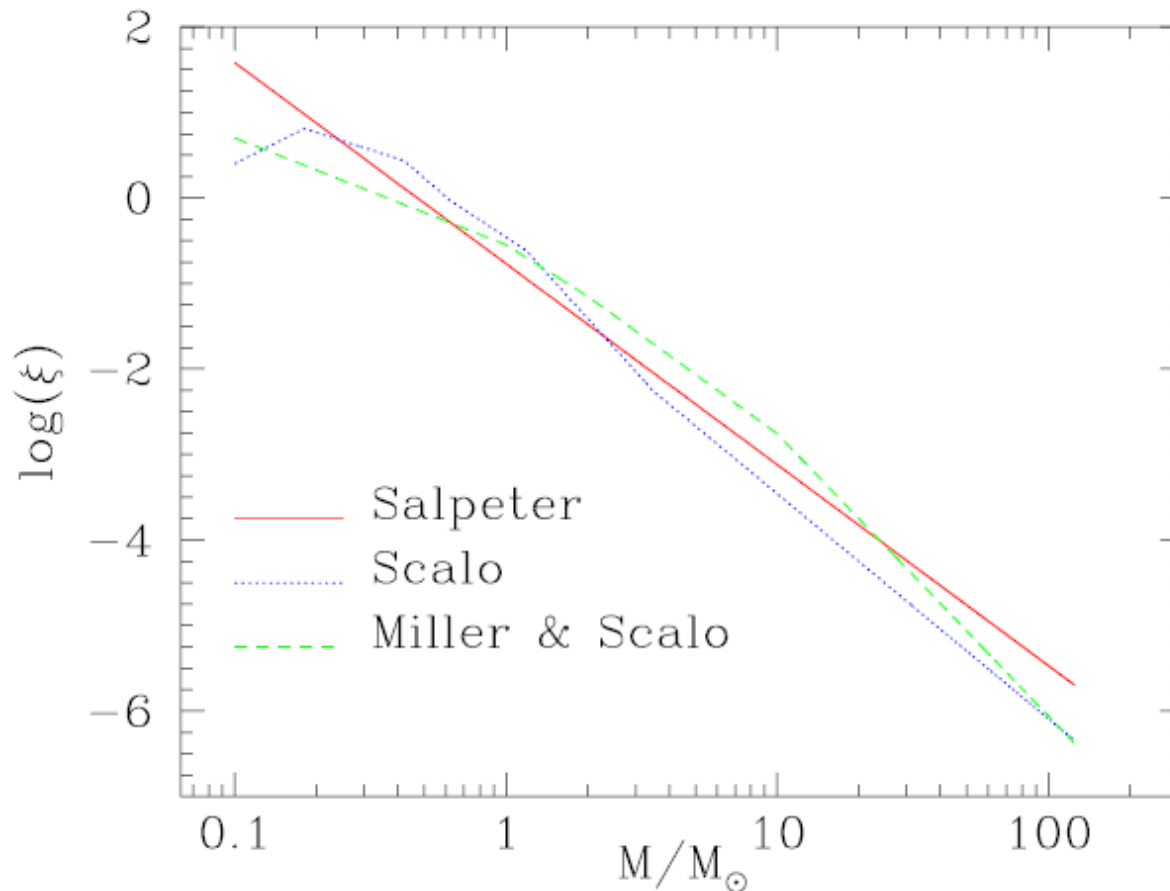
# Síntese evolutiva: a função de massa inicial (IMF)

- Função de massa inicial de Salpeter (1955):

$$\Phi(m) = c m^{-(1+x)}$$

$$x = 1.35$$

$$c = x m_1^x / [1 - (m_1/m_2)^x]$$





# Síntese evolutiva: um modelo muito simples de evolução estelar

- Vamos supor que, em sua evolução, uma estrela passa por apenas 2 fases de luminosidade: sequência principal (SP) e gigante
- Relação massa-luminosidade das estrelas na SP:

$$L = m^\alpha$$

onde  $m$  é em unidades de massa solar e  $L$  em unidades de luminosidade solar numa dada banda

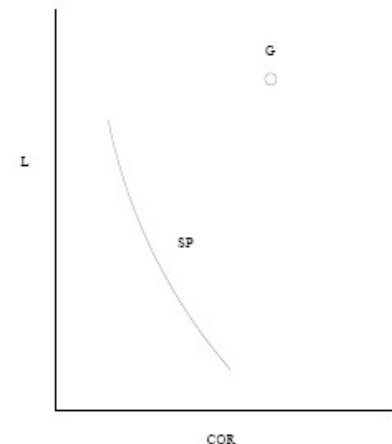
exemplo:  $L_{S,B} = 0.13 L_S$        $L_{S,V} = 0.12 L_S$   
 $\alpha_U = 4.9$        $\alpha_B = 4.5$        $\alpha_V = 4.1$

- Tempo de vida de uma estrela na SP:

$$t_{SP} = m^{-\gamma} \quad \gamma \approx 3$$

para  $t$  em unidades de  $10^{10}$  anos

- Vamos supor que, após sair da SP (depois de  $t_{SP}$ ), a estrela transforma-se em gigante que vive  $t_g = 0.03$  ( $\times 10^{10}$  anos) com luminosidades 60 (B) e 70 (V) em luminosidades solares na banda correspondente



# Síntese evolutiva: evolução de um surto de formação estelar

- Vamos supor que em  $t = 0$  se formam  $N_0$  estrelas, que começam a evoluir
- Para  $t > 0$ , como  $t_{SP} = m^{-\gamma}$ , as estrelas com massa maior que  $m_t = t^{-1/\gamma}$  já saíram da SP
- Luminosidade devido às estrelas que ainda estão na SP:

$$L_{SP} = \int_{m_1}^{m_t} L(m)\phi(m)dm = \int_{m_1}^{m_t} N_0 m^\alpha \phi(m)dm \simeq \frac{cN_0}{\alpha - x} t^{-(\alpha-x)/\gamma}$$

- Para os valores de  $\alpha$ ,  $x$  e  $\gamma$  acima, tem-se que  $L_{SP}$  varia aproximadamente como  $t^1$
- ***A luminosidade das estrelas na SP de uma SSP diminui com o tempo***

# Síntese evolutiva: evolução de um surto de formação estelar

- Número de estrelas que saem da SP entre  $t$  e  $t+dt$ :  $-N_0 \Phi(m_t) d m_t$   
taxa de saída de estrelas da SP:  $d N_{SP} / dt = - N_0 \Phi(m_t) d m_t / dt$

- Número de gigantes no instante  $t$ :

$$N_g(t) = - \int_{t-t_g}^t \dot{N}_{SP} dt = N_0 \phi(m_t) \left| \frac{dm_t}{dt} \right|_{t_g} = \frac{N_0 c t_g}{\gamma} t^{-(\gamma-x)/\gamma}$$

- Com os parâmetros acima,  $N_g(t)$  é proporcional a  $t^{0.55}$

A luminosidade devido às gigantes também diminui com o tempo

- Luminosidade do surto:  $L_{SSP}(t) = L_{SP}(t) + N_g(t) L_g$

- ***A luminosidade de uma população estelar simples diminui com o tempo***

# Síntese evolutiva: evolução de um surto de formação estelar

- Evolução da cor ( $B-V$ )

- Como  $f=L/(4\pi d^2)$ , vem que (Vega): 
$$(B - V) = -2.5 \log \left( \frac{L_B f(0)_V}{L_V f(0)_B} \right) \simeq 0.75 - 2.5 \log \left( \frac{L_B}{L_V} \right)$$

onde  $L_B$  e  $L_V$  são as luminosidades do surto nas bandas  $B$  e  $V$

- Cor ( $B-V$ ) de uma SSP:

$$(B - V) \approx 0.75 - 2.5 \log \left( \frac{(0.32t^{-1.1} + 0.60t^{-0.55})L_{\odot B}}{(0.36t^{-0.92} + 0.70t^{-0.55})L_{\odot V}} \right)$$

- E com ,  $L_{S,B} \approx 0.13 L_S$  e  $L_{S,V} \approx 0.12 L_S$ ,

$$(B - V) \approx 0.66 - 2.5 \log \left( \frac{0.32t^{-1.1} + 0.60t^{-0.55}}{0.36t^{-0.92} + 0.70t^{-0.55}} \right)$$

- Evolução ( $t$  em unidades de  $10^{10}$  anos)

$$t=0.01 \quad (B-V)=0.07$$

$$t=0.10 \quad (B-V)=0.53$$

$$t=1.00 \quad (B-V)=0.81$$

$$t=1.50 \quad (B-V)=0.84$$

- ***A cor ( $B-V$ ) de uma população estelar simples fica cada vez mais vermelha com o tempo***

# Síntese evolutiva: sistemas com formação estelar contínua

- Taxa de formação estelar (TFE):  $N(t)$   
 $N(t) dt$ : número de estrelas formadas entre  $t$  e  $t+dt$
- A luminosidade de uma população estelar *complexa* pode ser descrita como uma superposição de surtos:

$$L(t) = \int_0^t N(t') L_{SSP}(t-t') dt'$$

- Modelo simples para a Seqüência de Hubble:  $N(t) \propto \exp(-t/\tau)$   
 $\tau$ : escala de tempo de formação estelar
- Larson & Tinsley (ApJ 219, 46, 1978)
  - E:  $\tau \approx 0$
  - Sa:  $\tau \approx 3 \times 10^9$  anos
  - Sb:  $\tau \approx 5 \times 10^9$  anos
  - Im:  $\tau \approx$  infinito: TFE constante

# Síntese evolutiva: Starburst99

- Starburst99: [Leitherer et al. \(1999; ApJS, 123, 3\)](http://www.stsci.edu/science/starburst99/) ver <http://www.stsci.edu/science/starburst99/>

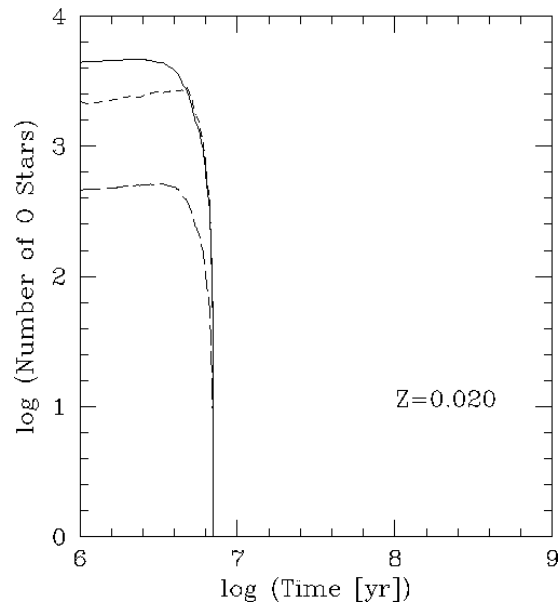


Fig. 37 Number of O stars vs. time.

Star-formation law: instantaneous.

$M = 10^6 M$   
 $M_{\text{low}} = 1 M$

Solid line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Long-dashed line:  
= 3.30,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Short-dashed line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 30 M$

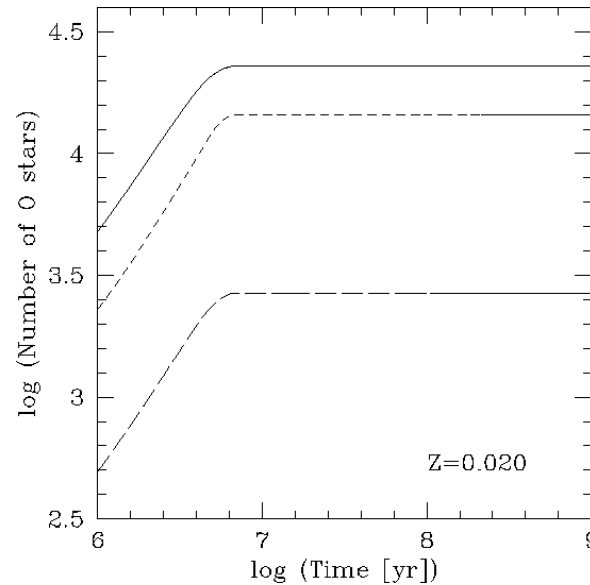


Fig. 38 Number of O stars vs. time.

Star-formation law: continuous.  
Star formation rate =  $1 M \text{ yr}^{-1}$

$M_{\text{low}} = 1 M$

Solid line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Long-dashed line:  
= 3.30,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Short-dashed line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 30 M$

# Síntese evolutiva: Starburst99

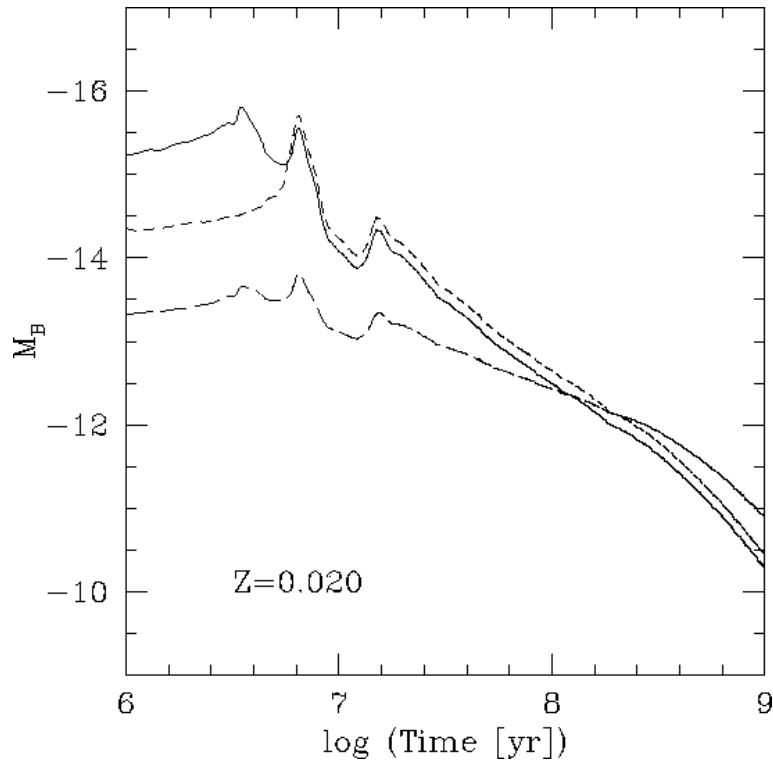


Fig. 49 **Absolute B magnitude vs. time.**  
**Star-formation law: instantaneous.**  
 $M = 10^6 M$   
 $M_{\text{low}} = 1 M$

*Solid line:*  
 = 2.35,  $M_{\text{up}} = 100 M$

*Long-dashed line:*  
 = 3.30,  $M_{\text{up}} = 100 M$

*Short-dashed line:*  
 = 2.35,  $M_{\text{up}} = 30 M$

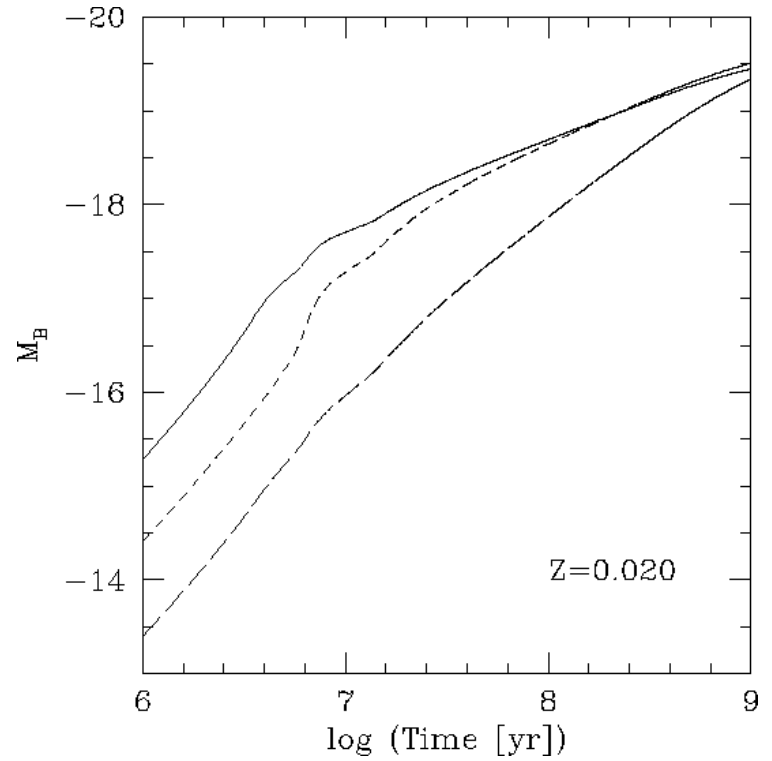


Fig. 50 **Absolute B magnitude vs. time.**  
**Star-formation law: continuous.**  
**Star formation rate =  $1 M \text{ yr}^{-1}$**   
 $M_{\text{low}} = 1 M$

*Solid line:*  
 = 2.35,  $M_{\text{up}} = 100 M$

*Long-dashed line:*  
 = 3.30,  $M_{\text{up}} = 100 M$

*Short-dashed line:*  
 = 2.35,  $M_{\text{up}} = 30 M$

# Síntese evolutiva: Starburst99

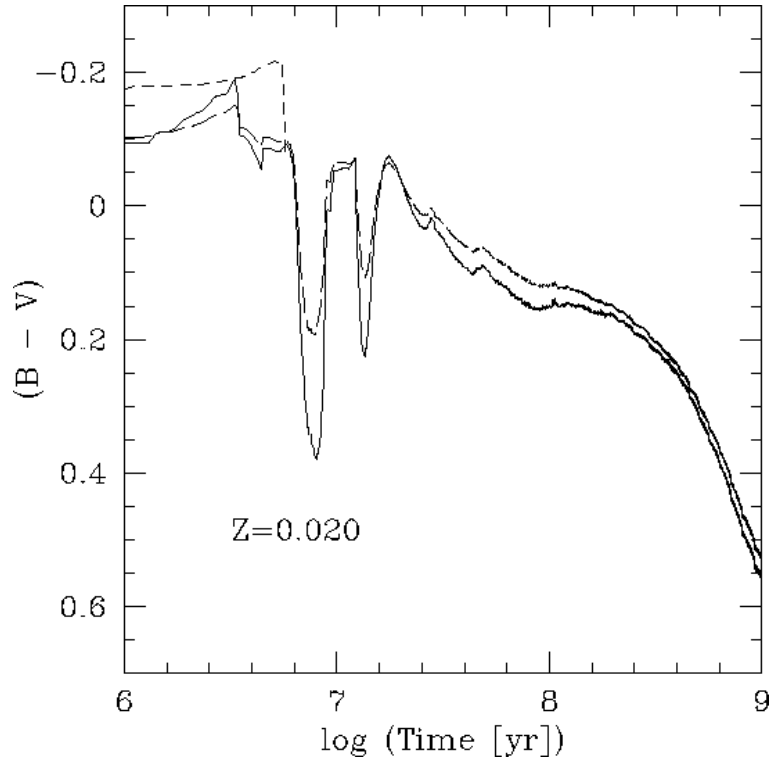


Fig. 57 (B - V) vs. time.  
Star-formation law:  
instantaneous.  
 $M = 10^6 M$   
 $M_{\text{low}} = 1 M$

Solid line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Long-dashed line:  
= 3.30,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Short-dashed line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 30 M$

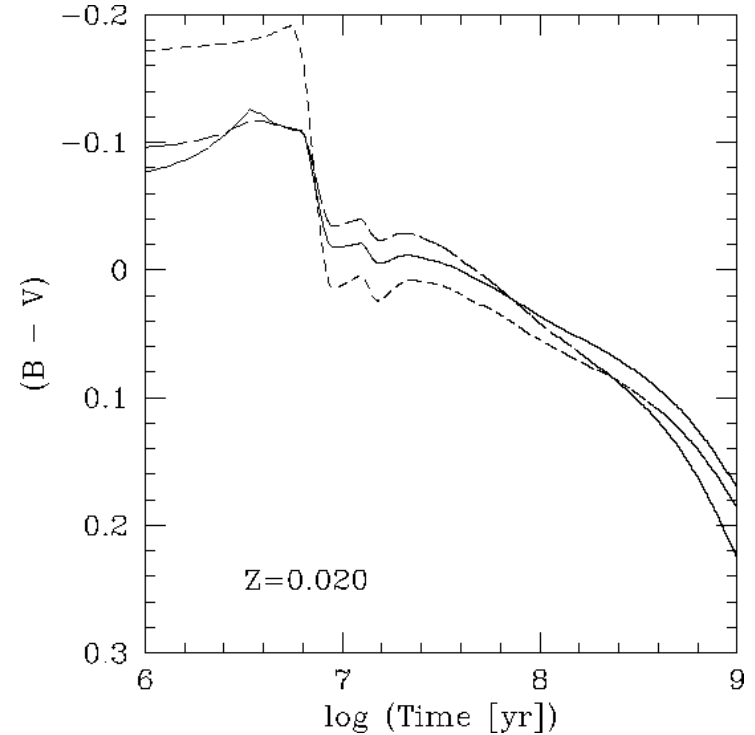


Fig. 58 (B - V) vs. time.  
Star-formation law: continuous.  
Star formation rate =  $1 M \text{ yr}^{-1}$   
 $M_{\text{low}} = 1 M$

Solid line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Long-dashed line:  
= 3.30,  $M_{\text{up}} = 100 M$

Short-dashed line:  
= 2.35,  $M_{\text{up}} = 30 M$



# Síntese evolutiva: síntese espectral

- Uma extensão natural da síntese evolutiva: sintetizar o espectro todo
- A luminosidade de uma população estelar *complexa* pode ser descrita como uma superposição de surtos:

$$L(\lambda, t) = \int_0^t N(t') L_{SSP}(\lambda, t-t') dt'$$

- Note que esses espectros não têm linhas de emissão: elas não são produzidas nas estrelas mas no gás!

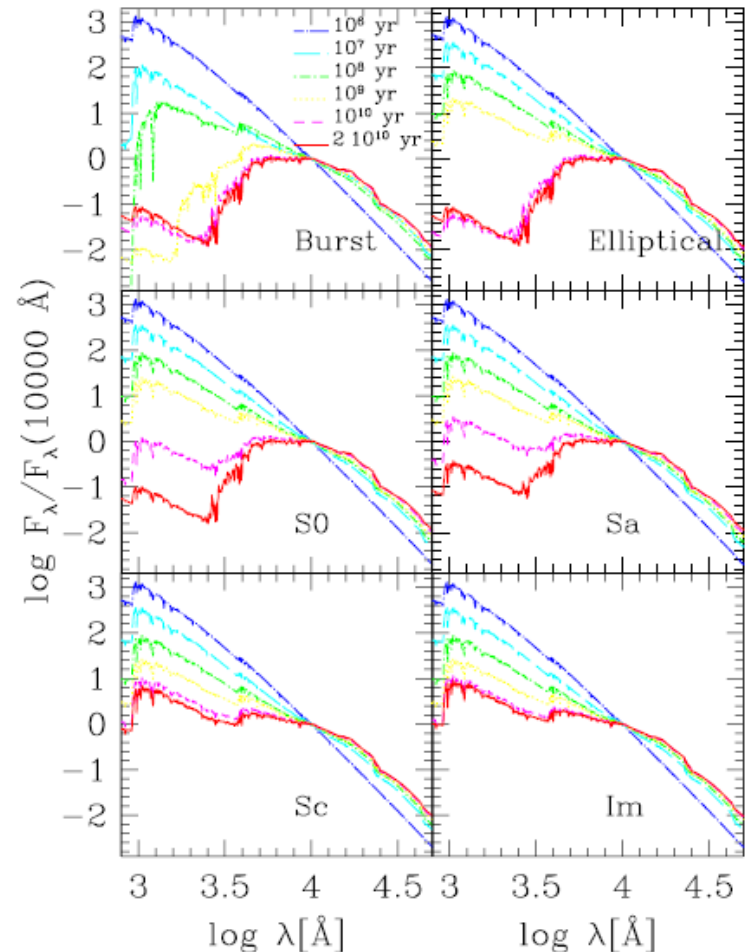


Figure 3: Evolution of the SEDs of different spectral types computed using the spectral evolutionary models of Bruzual & Charlot (1993), with Miller & Scalo IMF, solar metallicity and characteristics of the SFR as shown in Table 1.

# Síntese evolutiva: síntese espectral

•  $N(t) \propto \exp(-t/\tau)$

Burst	$\tau = 0$ Ganos
E	$\tau = 1$
S0	$\tau = 2$
Sa	$\tau = 3$
Sb	$\tau = 5$
Sc	$\tau = 15$
Sd	$\tau = 30$
Im	$\tau = \text{infinito}$

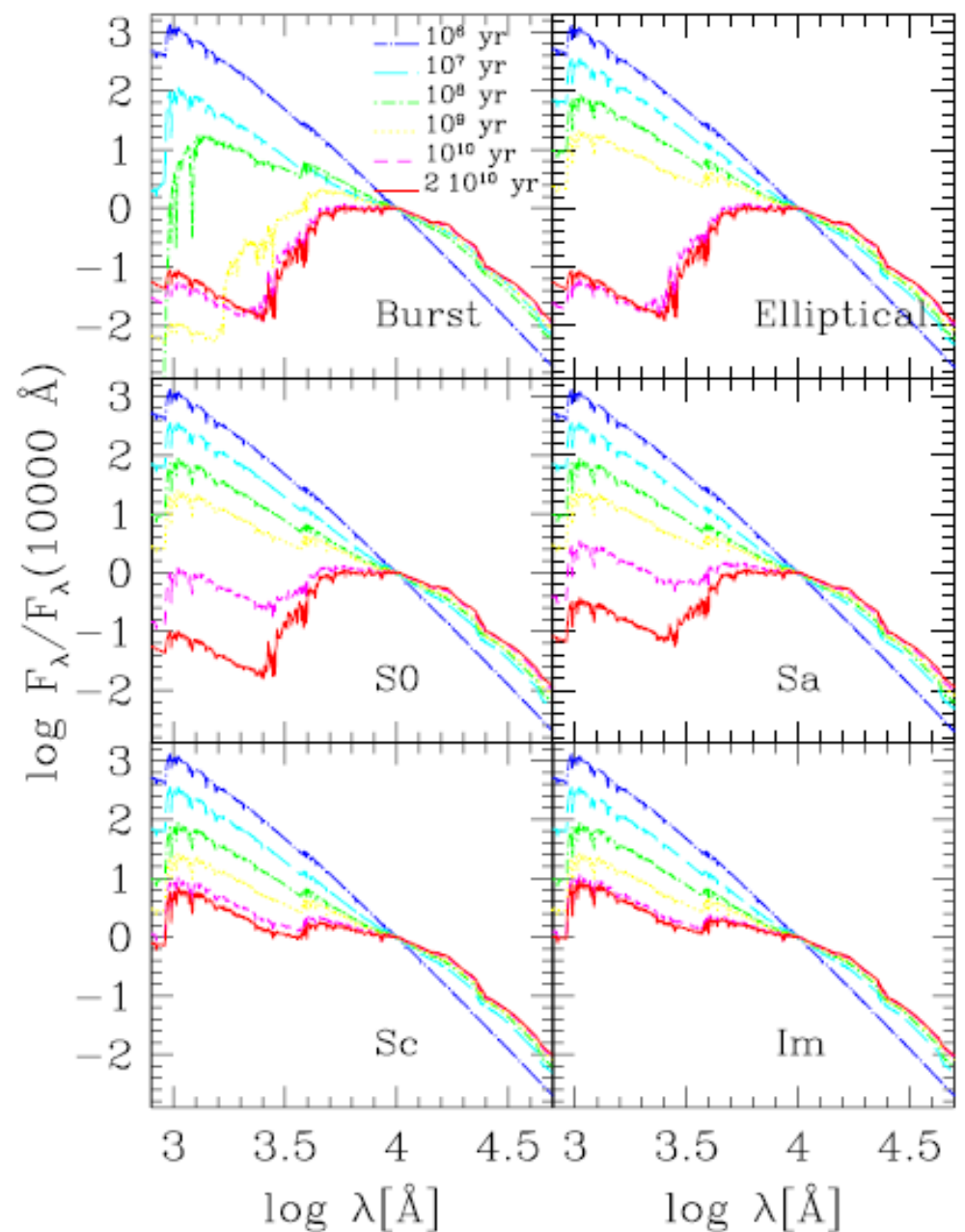


Figure 3: Evolution of the SEDs of different spectral types computed using the spectral evolutionary models of Bruzual & Charlot (1993), with Miller & Scalo IMF, solar metallicity and characteristics of the SFR as shown in Table 1.

# Síntese de populações

- Método:
  - tem-se uma base espectral: conjunto de espectros ou de cores de estrelas de várias idades e metalicidades
  - modela-se o espectro ou a cor de uma galáxia pela superposição de espectros ou cores das componentes da base

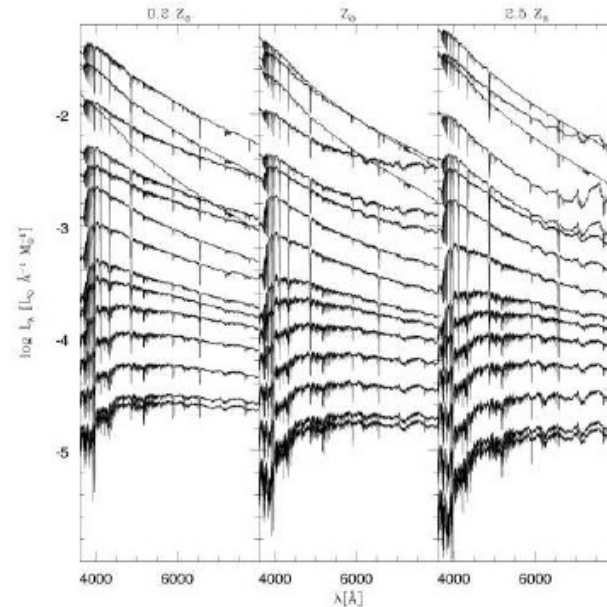


Figure 15 Exemplos de SEDs de SSPs de várias idades e metalicidades. De cima para baixo:  $t = 0.001, 0.00316, 0.00501, 0.01, 0.02512, 0.04, 0.10152, 0.28612, 0.64054, 0.90479, 1.434, 2.5, 5, 11$  e  $13$  Ganos. Todas as SSPs estão normalizadas em  $1M_{\odot}$  em  $t = 0$ .

# Síntese espectral

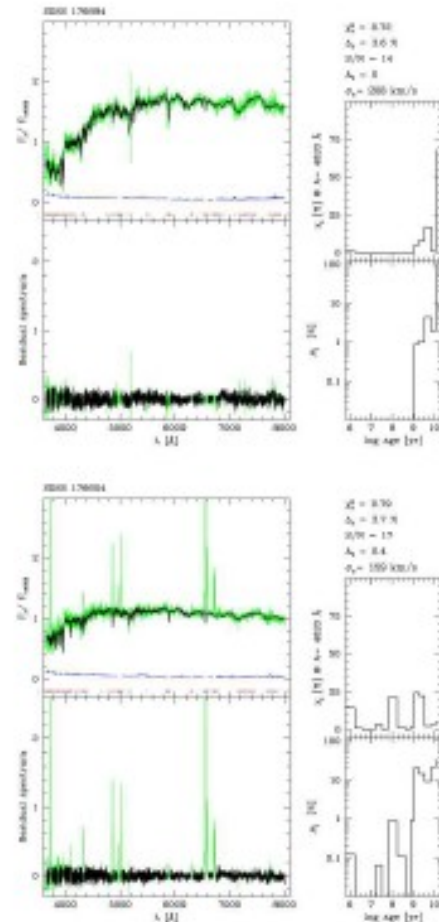


Figure 23 Resultados da síntese espectral de duas galáxias do SDSS com o método de Cid Fernandes et al. (2005). Esquerda: espectro observado e o ajustado (em cima) e espectro residual (abaixo). Direita: fração da luz (acima) e da massa (abaixo) provenientes de estrelas de uma dada idade.

# Síntese de populações exemplo simples

- Método:
  - tem-se uma base espectral: conjunto de espectros ou de cores de estrelas de várias idades e metalicidades
  - modela-se o espectro ou a cor de uma galáxia pela superposição de espectros ou cores das componentes da base
- Base: M conjuntos de estrelas com espectros  $L_{\lambda,i}$  ( $i=1, \dots, M$ )
- A luminosidade de uma galáxia é modelada como uma superposição de estrelas da base:

$$L_{\lambda} = \sum_{i=1}^M n_i L_{\lambda,i}$$

onde  $n_i$  é o número de estrelas da componente  $i$

- Cor (B-V):

$$(B - V) \simeq 0.75 - 2.5 \log \left( \frac{\sum_i n_i L_{B,i}}{\sum_i n_i L_{V,i}} \right)$$

fração de estrelas do tipo  $i$ :

$$f_i = \frac{n_i}{\sum_i n_i}$$

logo,

$$(B - V) \simeq 0.75 - 2.5 \log \left( \frac{\sum_i f_i L_{B,i}}{\sum_i f_i L_{V,i}} \right)$$

# Síntese de populações exemplo simples

$$(B - V) \simeq 0.75 - 2.5 \log \left( \frac{\sum_i f_i L_{B,i}}{\sum_i f_i L_{V,i}} \right)$$

- Exemplo: base com 2 grupos de estrelas:

- estrelas velhas (gigantes K):  $L_B = 5.1 L_\odot$ ,  $L_V = 6.4 L_\odot$ ,  $(B - V) = 1.0$
- estrelas de idade intermediária (A):  $L_B = 5.1 L_\odot$ ,  $L_V = 2.6 L_\odot$ ,  $(B - V) = 0.0$
- logo, sendo  $f$  a fração de estrelas velhas,

$$(B - V) \simeq 0.75 - 2.5 \log \left( \frac{5.1}{2.6 + 3.8f} \right)$$

# exercícios

- 1) Estude a evolução da razão  $M/L_V$  de uma SSP.
- 2) Faça uma síntese de populações simples. Suponha que uma galáxia contenha 3 tipos de estrelas: O5, A0 e M0, todas na SP e distribuídas com a IMF de Salpeter. Qual é o valor da cor (B-V) da galáxia? Assuma a seguir que todas as estrelas O já morreram. Quanto vale (B-V) nesse caso? (Elmegreen)
- 3) Considere uma IMF de Salpeter com estrelas com massas entre 0.1 e 100 massas solares. A) qual é a massa média das estrelas? B) qual é a razão entre o número de estrelas com massa maior que 1  $M_s$  e as com massa menor? C) qual é a razão entre a massa em estrelas com massa maior que 1  $M_s$  e a em estrelas com massa menor?
- 4) Considere um surto com uma IMF de Salpeter com estrelas com massas entre 0.1 e 100 massas solares. A) como evolui a fração do número de gigantes com o tempo? B) como evolui a fração da luminosidade que provém das gigantes (no filtro V)?
- 5) A cor mede a razão entre os fluxos de duas bandas. Meça a “cor instrumental”  $(B-V) = C - 2.5 \times \log [f(4400)/f(5500)]$  das galáxias do slide 10 (com  $C=0$ ) e as calibre (isto é, determine C), sabendo que  $(B-V)=0.96$  para NGC 3379. Verifique como essa cor varia ao longo da sequência de Hubble.
- 6) No espectro da página seguinte, identifique algumas linhas e calcule seu desvio espectral.
- 7) Use o Worthey model interpolation engine: [astro.wsu.edu/worthey/dial/dial\\_a\\_model.html](http://astro.wsu.edu/worthey/dial/dial_a_model.html) A) Verifique como a cor (U-V) de uma SSP velha (12 Ganos) depende da metalicidade. B) Compare o efeito sobre a cor (B-V) de “poluir” uma SSP velha (12 Ganos) e de metalicidade solar com 5% de estrelas com idade de 1 Ganos. Idem para 5 Ganos. Suponha que a população poluidora também tenha metalicidade solar.
- 8) Qual é o tempo de vida na SP de uma estrela O5, A0 e M0? Dados na tabela da página seguinte.

tipo	$M/M_{\odot}$	(B-V)	$L_V/L_{\odot}$
O5V	40	-0.35	$2.5 \times 10^5$
A0V	4	0.0	80
M0V	0.5	1.45	0.06

RA=155.12646, DEC= 1.12679, MJD=51883, Plate= 271, Fiber=562

