

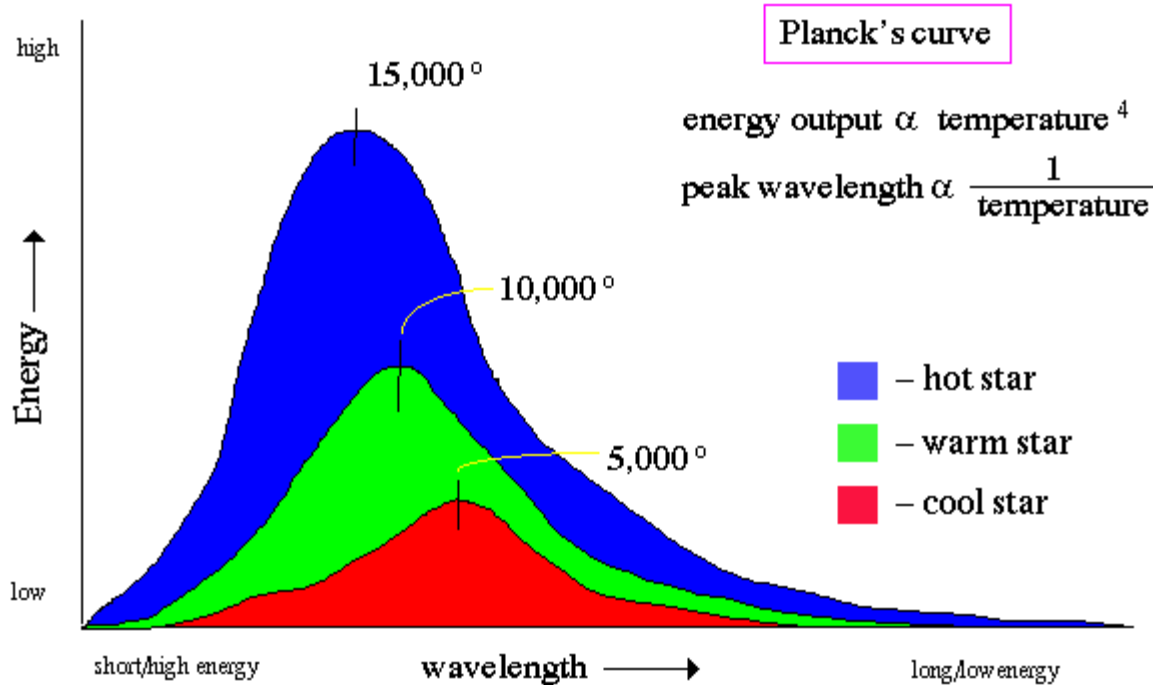
## Estrelas

Rogério Riffel

# Propriedades

- Estrelas são esferas autogravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados.
- As estrelas tem massas entre 0,08 e 100 (140) vezes a massa do Sol.
- Temperaturas efetivas entre ~2500 K e 30 000 K.
- Luminosidades desde  $10^{-4}$  até  $10^6 L_{\text{Sol}}$ ;
- Raios desde  $10^{-2}$  até  $10^3 R_{\text{Sol}}$

# Porque não vemos estrelas Verdes ou Rosadas?



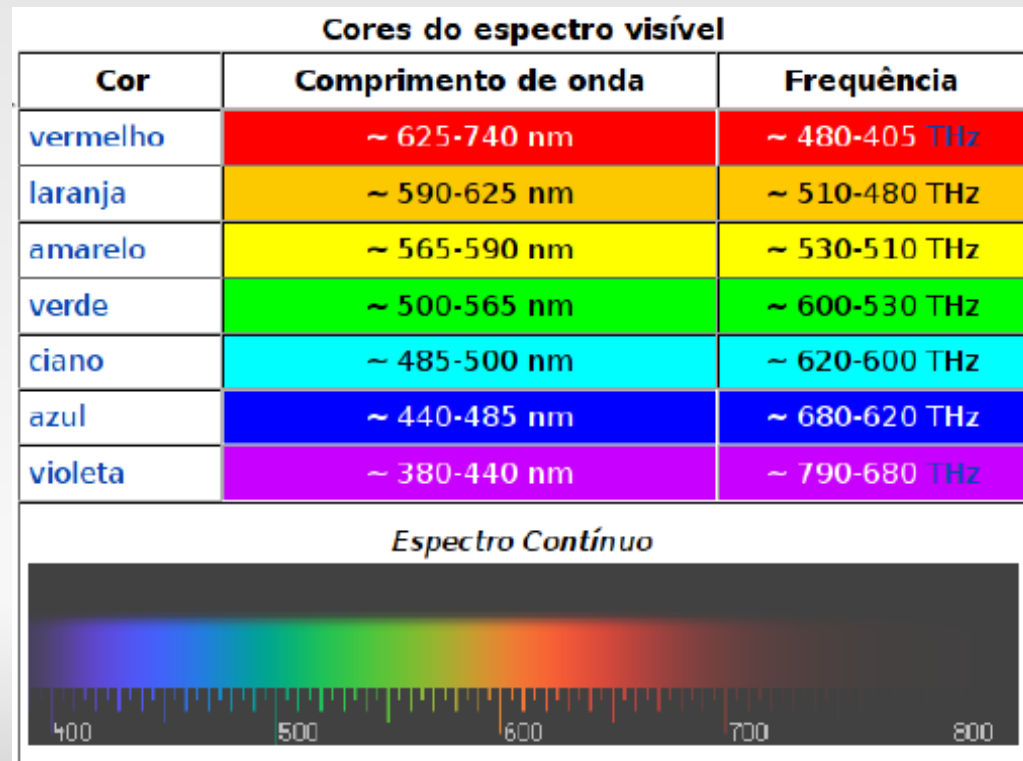
O que é cor?

# Cores

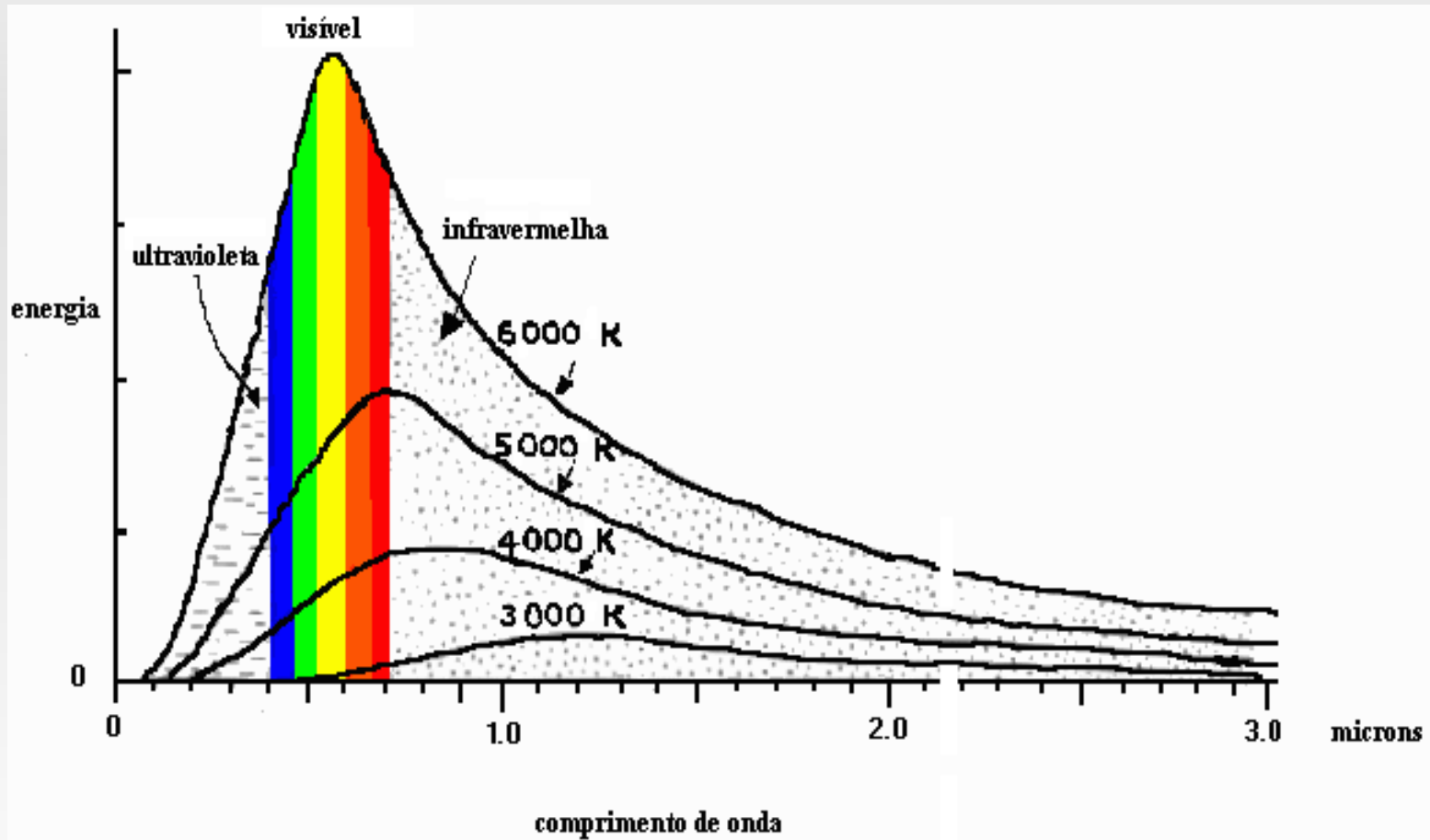
A cor é uma percepção visual provocada pela ação de um feixe de fótons sobre células da retina, que transmitem a informação para o sistema nervoso.

A cor de um material é determinada pelas médias de frequência dos pacotes de onda que as suas moléculas constituintes refletem. Um objeto terá determinada cor se não absorver justamente os raios correspondentes à frequência daquela cor.

Assim, um objeto é vermelho se absorve preferencialmente as frequências fora do vermelho.



# Porque não vemos estrelas Verdes ou Rosadas?



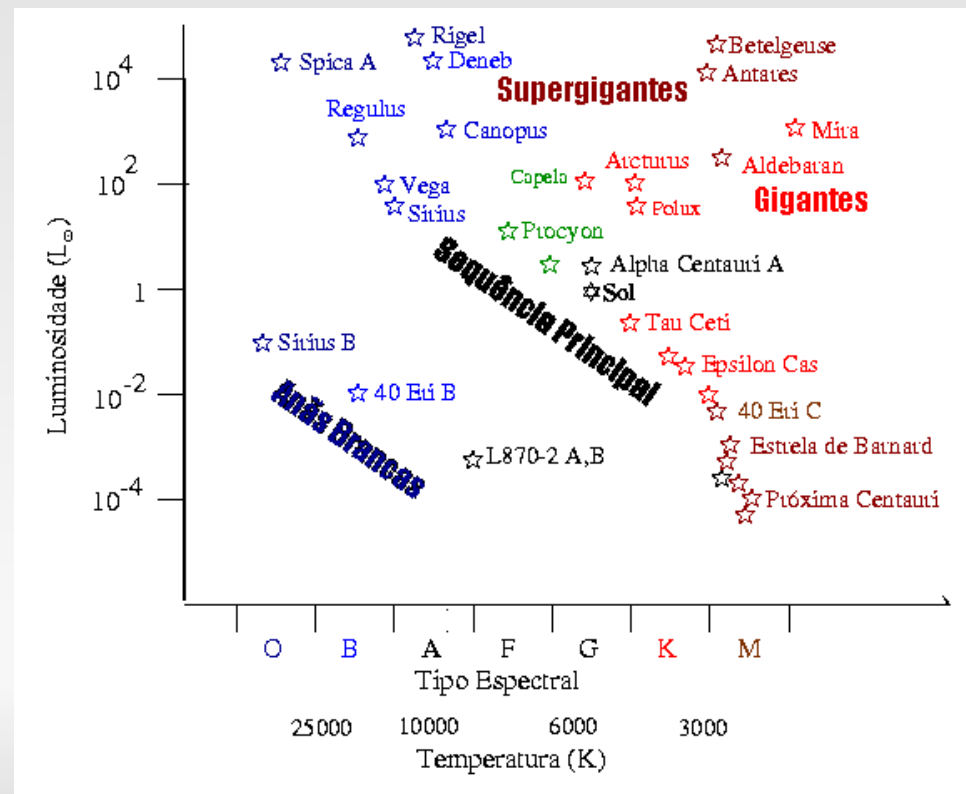
Por que não vemos estrelas verdes?

Clique

# O diagrama HR (Hertzsprung Russell)

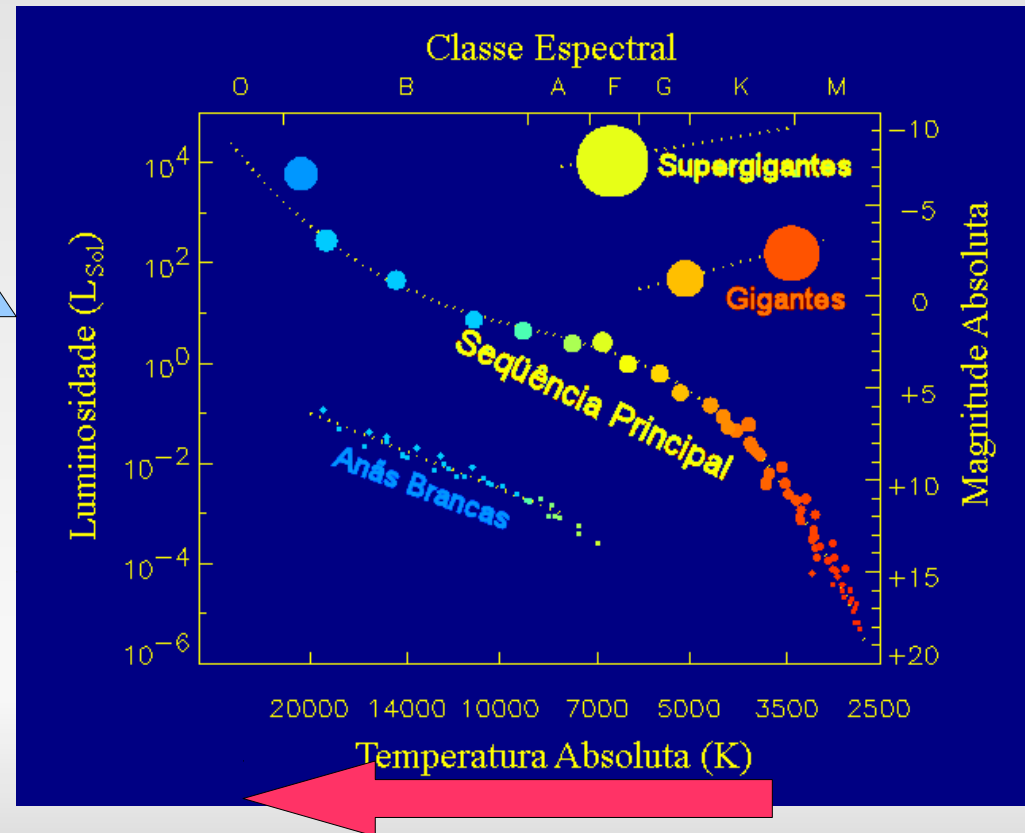
- O Diagrama de Hertzsprung-Russell (HR) foi descoberto independentemente;
- Ejnar Hertzsprung, em 1911 (Dinamarquês),
- Henry Norris Russell, em 1913, (EUA)

– É relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial.

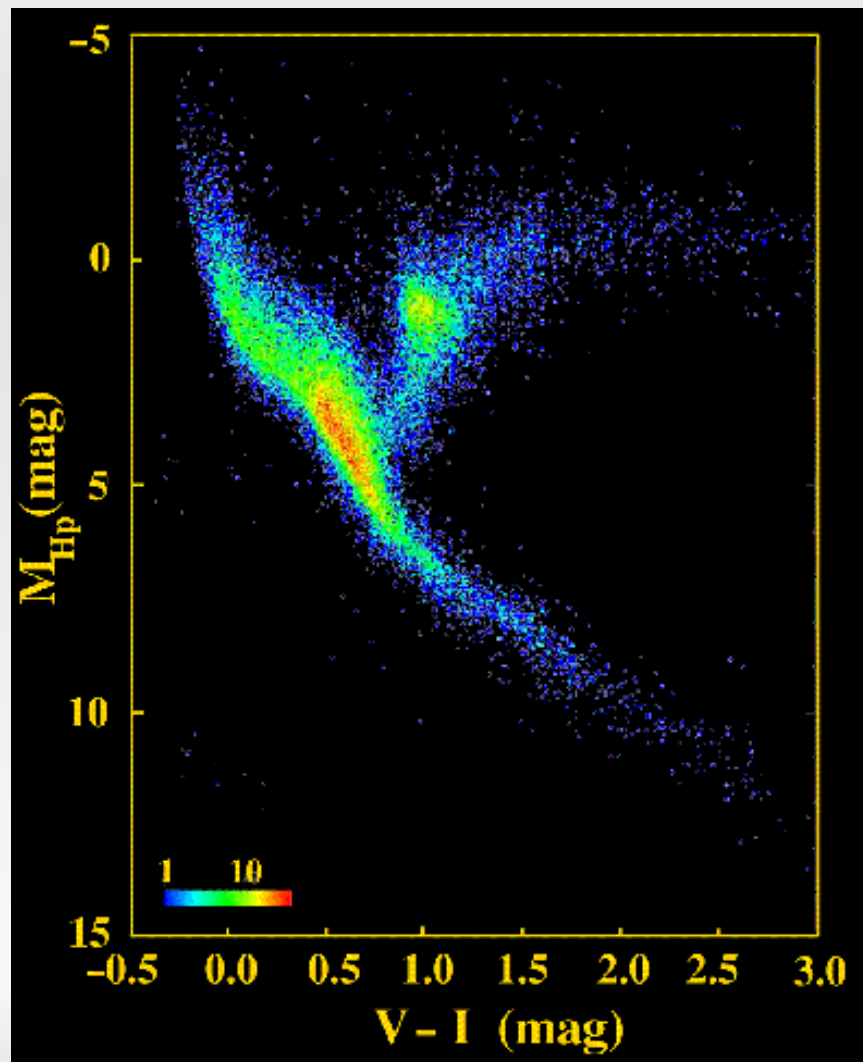


# O diagrama HR (Hertzsprung Russel)

- **Seqüência Principal:** estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas. As estrelas da SP têm, por definição, classe de luminosidade V, e são chamadas de anãs. **Desde estrelas quentes e muito luminosas até estrelas frias e pouco luminosas.**
- **Gigantes:** **estrelas frias e luminosas.** Pertencem à classe de luminosidade II ou III.
- **Supergigantes:** classe de luminosidade I.
- **Anãs Brancas:** **estrelas quentes e pouco luminosas**

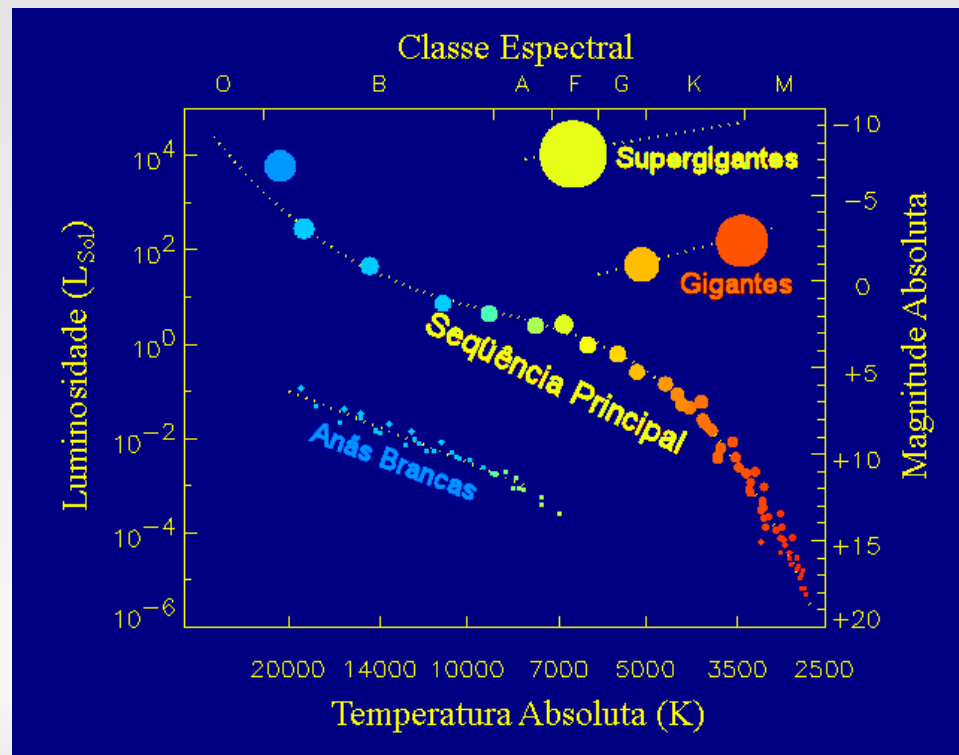


# O diagrama HR (Hertzprung Russel)



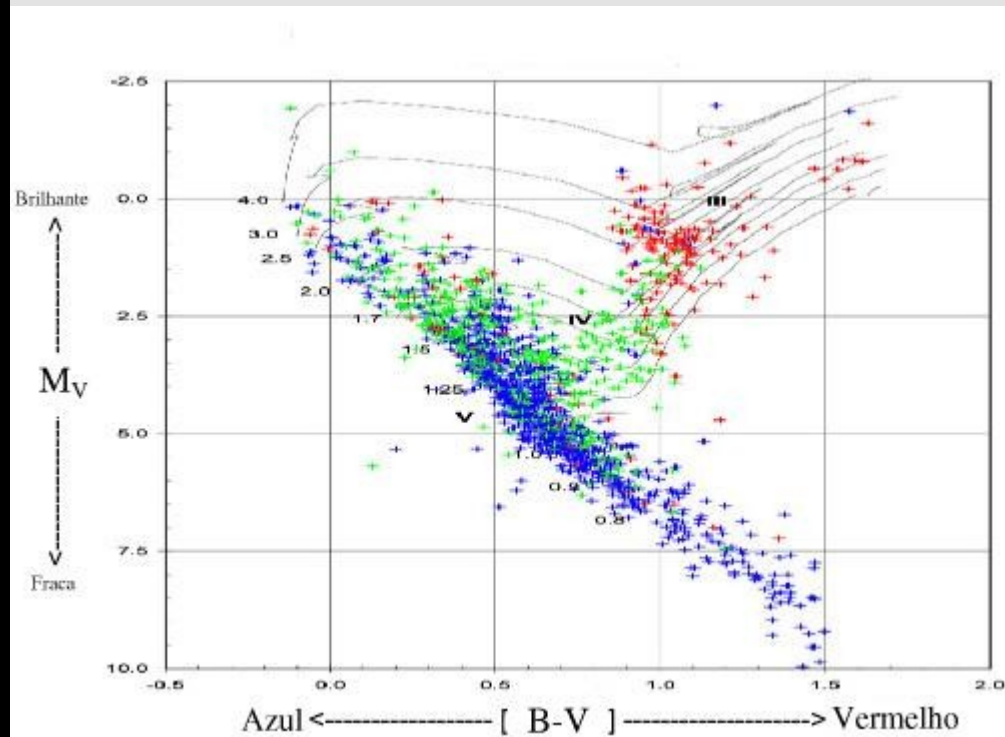
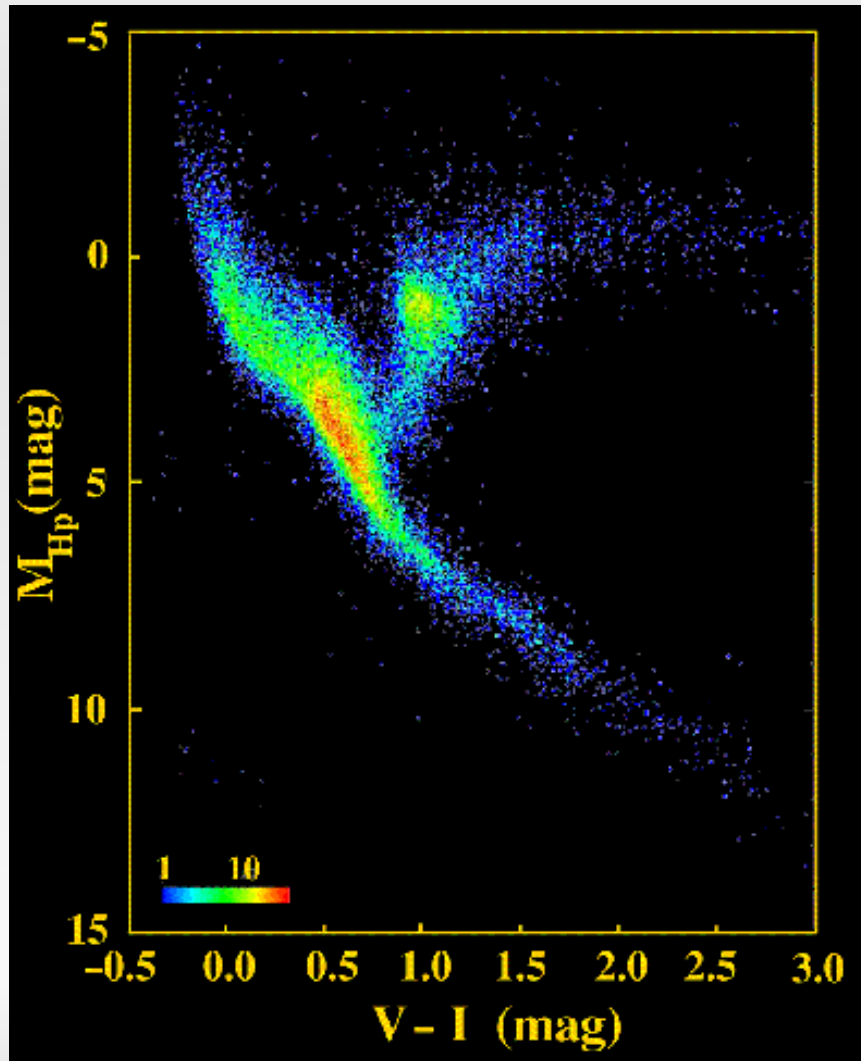
De um aglomerado de estrelas.

Idade x massa



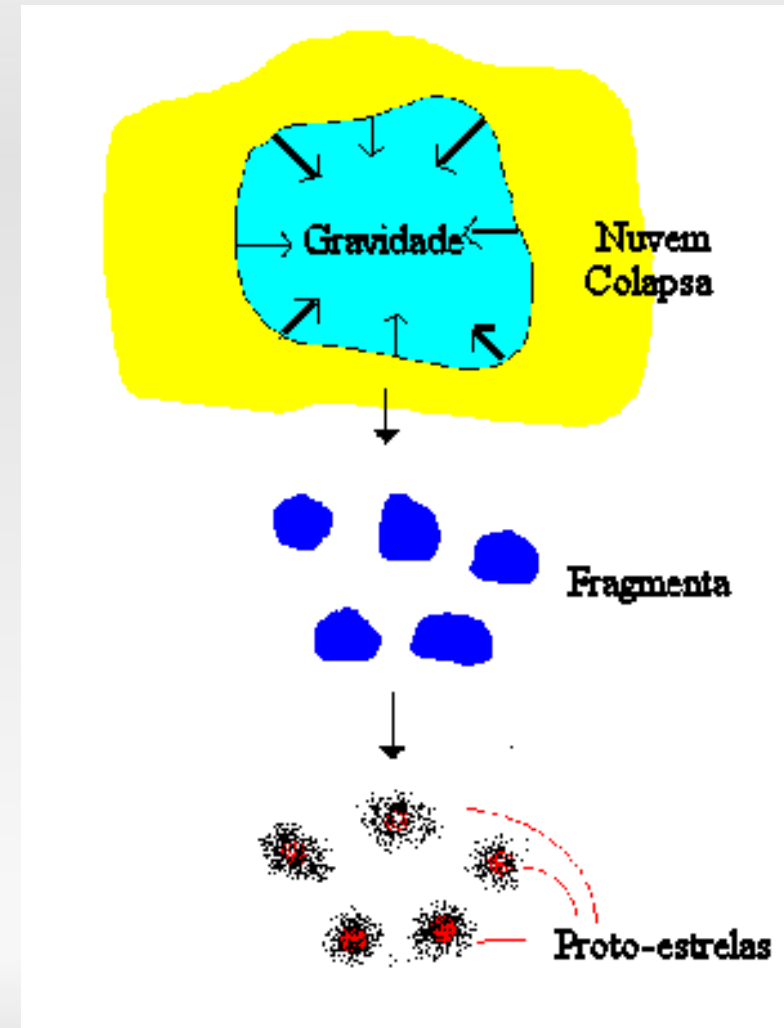


# O diagrama HR (Hertzsprung Russel)



# Aglomerados Estelares

- As estrelas de um aglomerado estelar formam-se da mesma nuvem de gás e portanto tem a mesma idade, a mesma composição química e a mesma distância.
- Aglomerados abertos
- Aglomerados globulares



# Aglomerados Abertos

- Têm dezenas à centenas de estrelas.



Plêiades (440 anos luz)

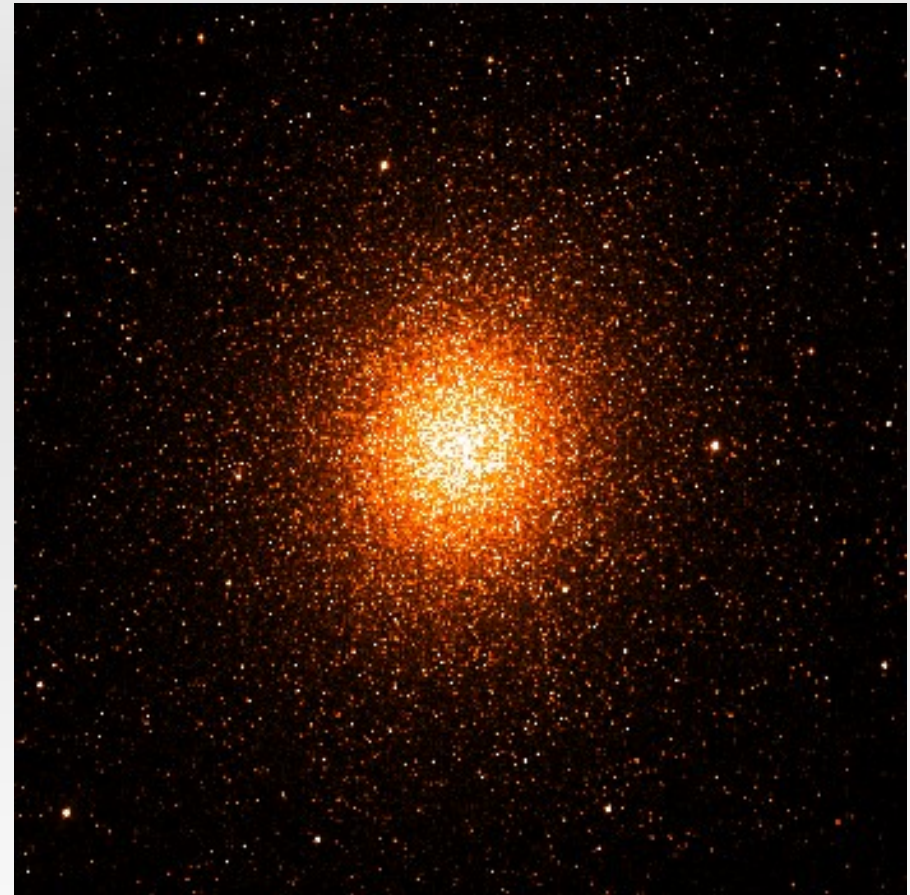


# Aglomerados Globulares

- Centenas de milhares de estrelas
- ~160 globulares na nossa galáxia.



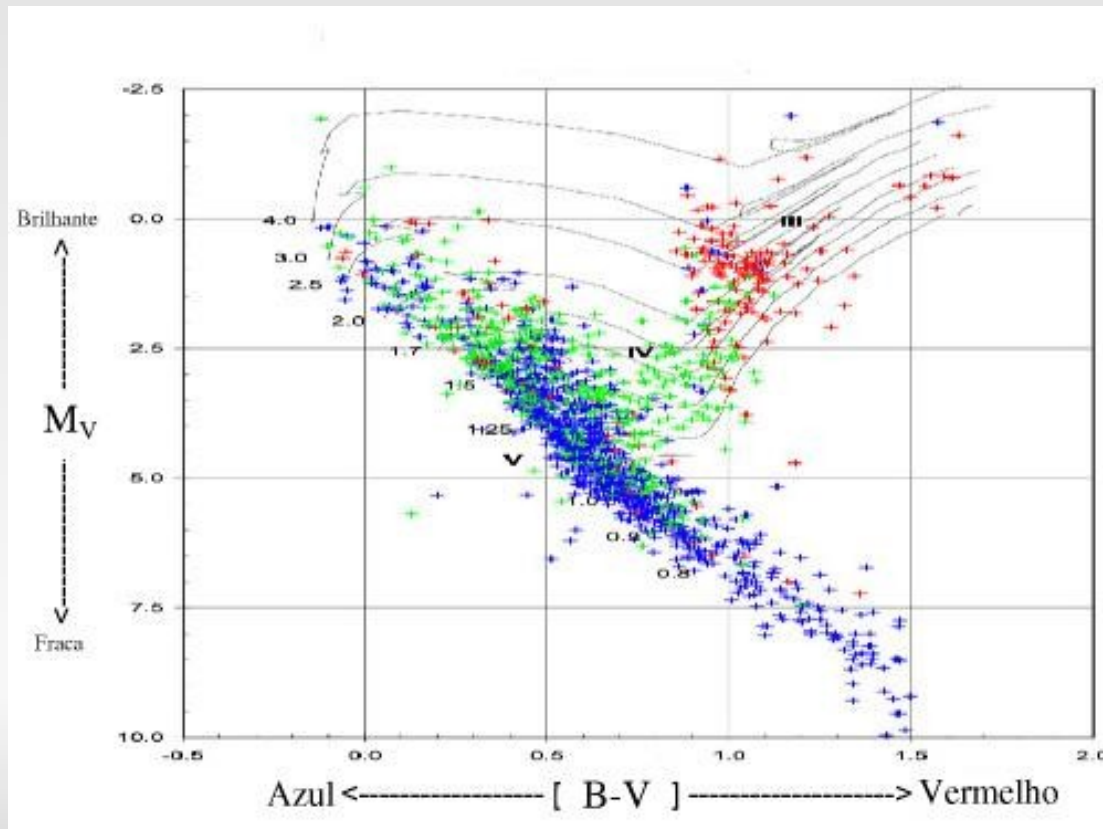
M80 - 33 mil AL



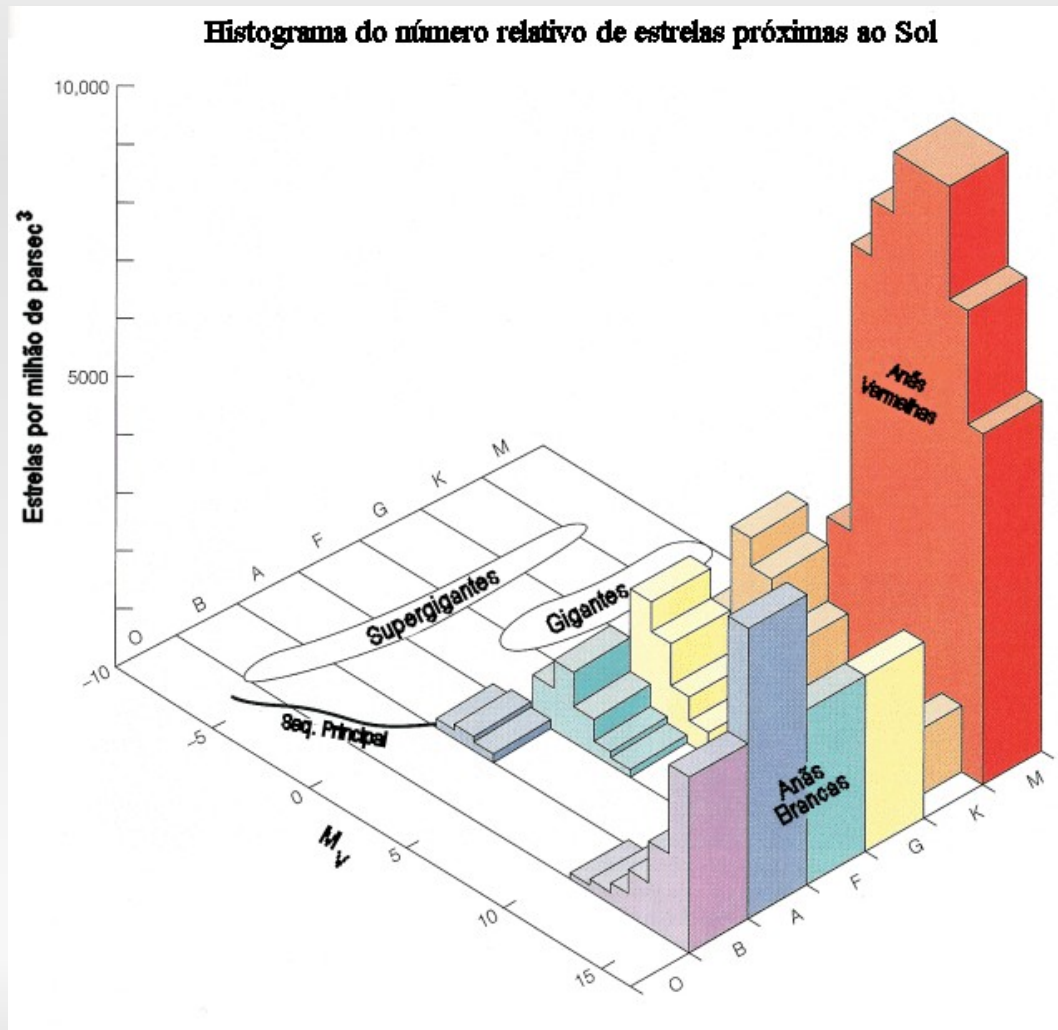
Omega Centauri (NGC5139) 16 mil AL

# Aglomerados Estelares

- Para uma amostra de estrelas limitada por brilho ou por distância, a seqüência principal não é uma linha fina, mas uma banda larga. A largura da seqüência principal é devida a variações na composição química de estrelas de mesma massa e binarismo.



# Estrelas na vizinhança do Sol



# Distâncias espectroscópicas

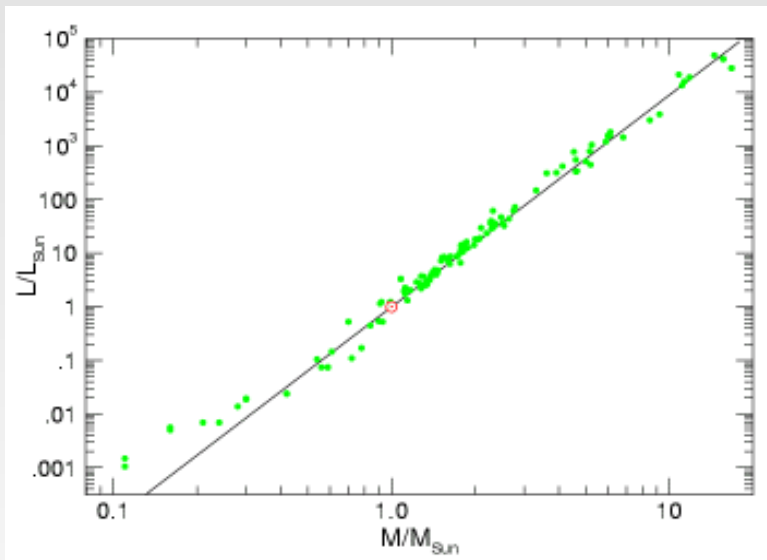
- através do espectro ou do índice de cor, estima-se o Tipo espectral
- através do tipo espectral, encontra-se no diagrama HR a Luminosidade correspondente
- comparando Luminosidade com a magnitude aparente determina a distância pelo módulo de distância

$$(m - M) = -5 + 5 \log d \longrightarrow d = 10^{(m - M + 5)/5}$$

- Esta maneira de se obter as distâncias das estrelas, a partir do seu tipo espectral e da sua classe de luminosidade, é chamada método das *paralaxes espectroscópicas*.

# A Relação Massa-Luminosidade

- As massas das estrelas podem ser determinadas no caso de estrelas binárias, aplicando-se a Terceira Lei de Kepler.
- Essas observações têm mostrado que as massas das estrelas aumentam de baixo para cima ao longo da seqüência principal



$$M \geq 3M_{\odot} \longrightarrow L \propto M^3$$

$$3M_{\odot} \geq M \geq 0,5M_{\odot} \longrightarrow L \propto M^4$$

$$M \leq 0,5M_{\odot} \longrightarrow L \propto M^{2,5}$$

Em média:  $L \propto M^3$

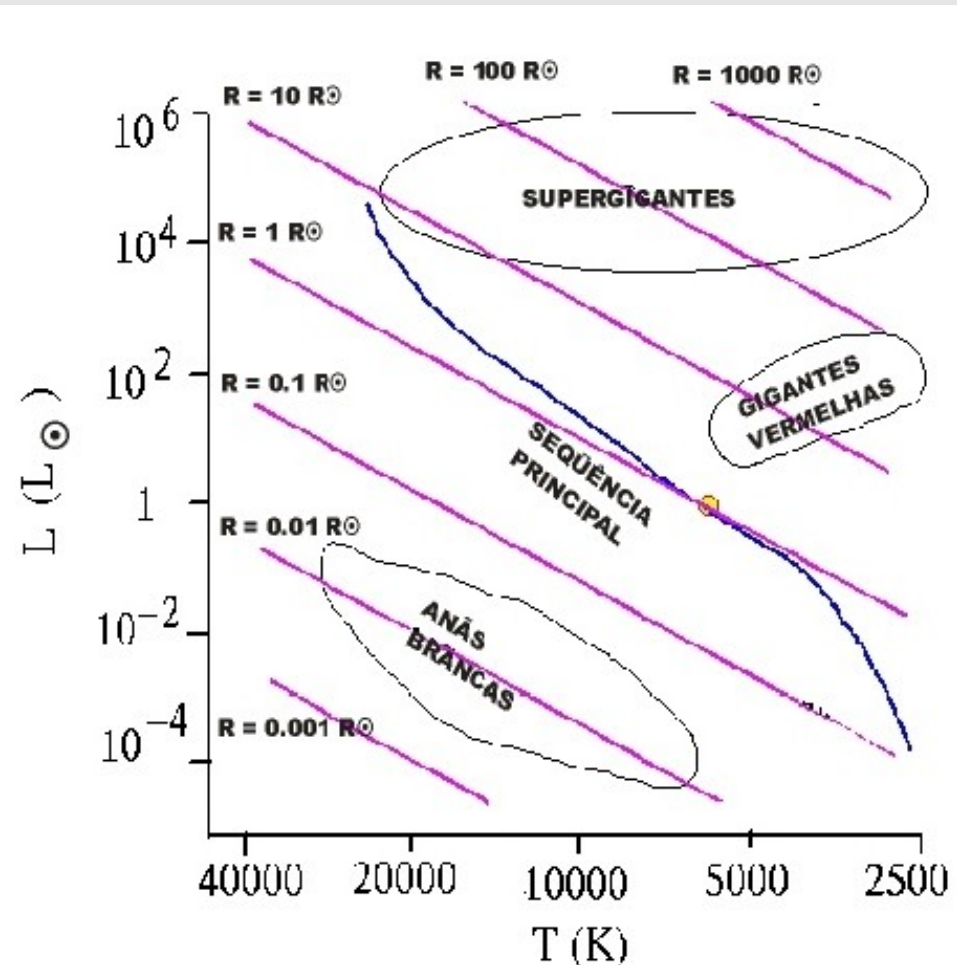
- As massas das estrelas variam entre 0,08 e 100 (140) massas solares, ao passo que as luminosidades das estrelas variam entre  $10^{-4}$  e  $10^6$  vezes a luminosidade do sol.



# Extremos de luminosidade, raios e densidades

- A luminosidade de uma estrela é proporcional à sua temperatura efetiva na 4ª potência e ao seu raio ao quadrado.

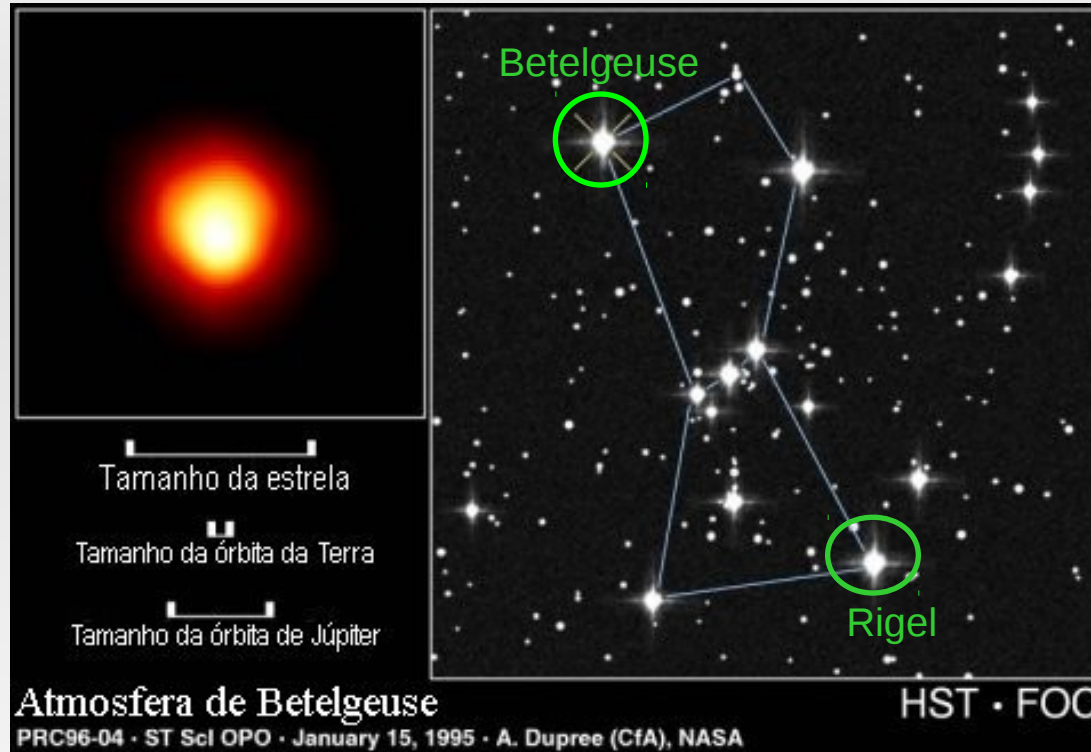
$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$



# Extremos de luminosidade, raios e densidades

- **Sequência Principal:** A maioria das estrelas (85%), incluindo o Sol, se encontram na **Sequência Principal**.
  - $L=10^{-2}$  a  $10^6 L_{\text{Sol}}$
  - $T=2500$  a  $> 50000$  K
  - $R=0.1$  a  $10 R_{\text{Sol}}$
- **Gigantes :** **Grandes mas frias com um grande intervalo de luminosidades**
  - $R = 10$  a  $100 R_{\text{Sol}}$
  - $L = 10^3$  a  $10^5 L_{\text{Sol}}$
  - $T < 5000$  K
- **Supergigantes:** São as estrelas maiores, no topo do diagrama HR, com grande intervalo de temperatura efetiva mas relativamente pequeno intervalo de luminosidade
  - $R \sim 10^3 R_{\text{Sol}}$
  - $L = 10^5$  a  $10^6 L_{\text{Sol}}$
  - $T = 3000$  a  $50000$  K
  - $\rho \sim 10^{-7} \rho_{\text{Sol}}$

# Extremos de luminosidade, raios e densidades



- **Betelgeuse**, a segunda estrela mais brilhante da constelação do Órion (a mais brilhante é Rigel a 800 a.l.) está a uma distância de cerca de 600 anos-luz. Sua luminosidade é 14 000 vezes maior que a do Sol, embora tenha somente 20 vezes sua massa. Seu raio é de cerca de 1000 vezes o raio do Sol.

# Extremos de luminosidade, raios e densidades

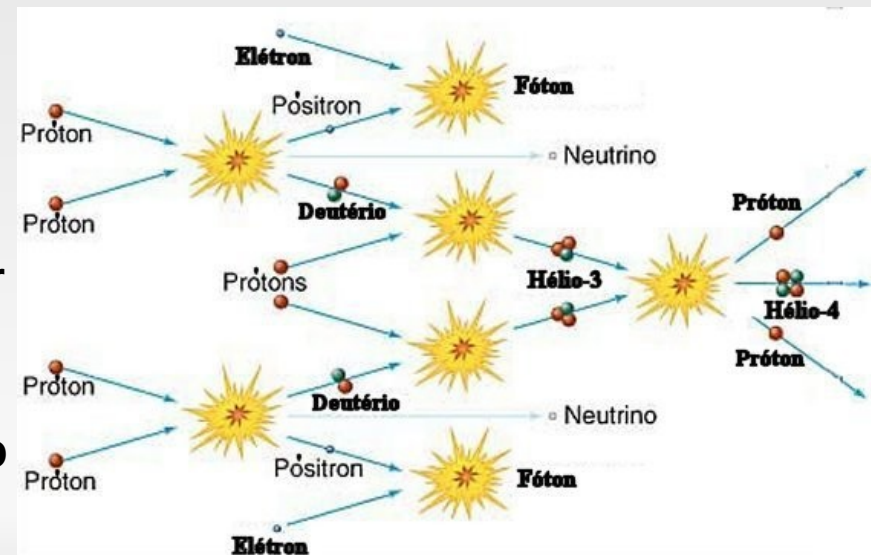
- **Anãs vermelhas e anãs marrons:** As estrelas anãs vermelhas são muito menores e mais compactas do que o Sol.
  - $T \sim 2700 \text{ K}$
  - $M_{\text{bol}} = + 13$
  - $R \sim 1/10 R_{\text{Sol}}$
  - $M \sim 1/10$  da massa do sol,
  - $\rho \sim 100 \rho_{\text{Sol}}$
- **Anãs brancas:** Estrelas quentes mas pouco luminosas que ocupam o canto inferior esquerdo do diagrama HR. Elas são muito mais fracas do que as estrelas da SP de mesma temperatura. **Pela relação luminosidade-raio-temperatura, elas devem portanto ser muito menores do que as estrelas de mesma temperatura da SP.**
  - $R \sim 0.01 R_{\text{Sol}}$  (~Tamanho da Terra!)
  - $\rho \sim 10^7 \rho_{\text{água}}$

# Por que as estrelas brilham?

- **As estrelas brilham porque são quentes.**
  - Emitem radiação térmica (radiação de corpo negro)
  - O calor "vaza" através de suas fotosferas
- **Luminosidade = taxa de perda de energia**
- **Para permanecerem quentes as estrelas precisam repor a energia perdida, do contrário esfriariam.**

- **Duas fontes de energia disponíveis:**

- 1) **contração gravitacional (durante algum tempo...)**
- 2)  **fusão termonuclear (a maior parte do tempo): 4 núcleos de hidrogênio (4 prótons) se fundem para formar 1 núcleo de hélio.**



# Tempo de vida das estrelas

- O tempo de vida de uma estrela é a razão entre a energia que ela tem disponível e a taxa com que ela gasta essa energia, ou seja, sua luminosidade.
- Como a luminosidade da estrela é tanto maior quanto maior é a sua massa, resulta que o tempo de vida é controlado pela massa da estrela: **quanto mais massiva a estrela, mais rapidamente ela gasta sua energia, e menos tempo ela dura.**

# Tempo de vida do Sol

- **Constante solar = energia/segundo/área que chega à Terra = 1367 watts/m<sup>2</sup>.**
  - **Distância Terra-Sol = 150 milhões de quilômetros. Isso leva a:**
- **Luminosidade do Sol = 3,9 x 10<sup>26</sup> watts!**
  - **Para manter essa luminosidade:**
    - 600 milhões de toneladas de H convertidas em He a cada segundo
    - Dessas 600, aproximadamente 4 (=0,7% de 600) são convertidas em energia
- **Quanta energia o Sol tem disponível?**
  - O Sol contém 2 x 10<sup>21</sup> milhões de toneladas de H
  - Apenas 10% da massa do Sol (a região do núcleo) é quente o suficiente para a fusão ocorrer

**Logo:**

- $E = 0,007(\%) \times 10(\%) \times 10^{30} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,26 \times 10^{44} \text{ J}.$

**Juntando tudo, encontramos:**

- **Tempo de vida = 1,26 x 10<sup>44</sup> J / 3,9 x 10<sup>26</sup> J/s = aproximadamente 10 bilhões de anos**



# Tempo de vida para as demais estrelas

- Tempo de vida = Energia interna/ Luminosidade
- **Energia interna:**
  - Energia nuclear:  $E_N \sim M c^2$
- **Luminosidade:**
  - Em geral:  $L \sim M^3$
- Portanto: tempo de vida  $\sim M^{-2}$
  
- Em relação ao tempo de vida do Sol:
- $t_{\text{est}}/t_{\text{Sol}} = (M_{\text{est}}/M_{\text{Sol}})^{-2}$
- $t_{\text{est}} = (M_{\text{est}}/M_{\text{Sol}})^{-2} \times 10$  bilhões de anos