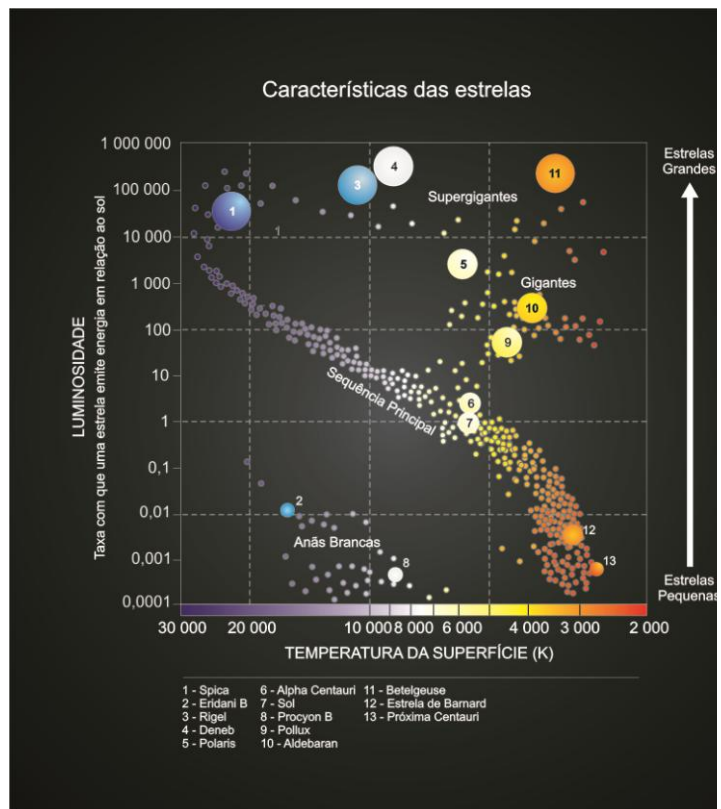


Aula 18 - Classes de luminosidade e Diagrama HR.

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Oliveira Filho & Alexei Machado Müller



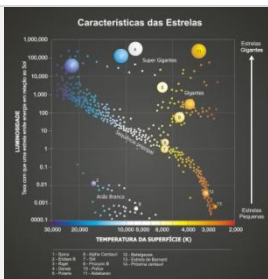
O diagrama HR é uma das ferramentas mais importantes da Astrofísica Estelar; ele mostra a relação entre a temperatura superficial das estrelas (que aumenta da direita para a esquerda ao longo do eixo horizontal do diagrama) e as suas luminosidades (que aumentam de baixo para cima ao longo do eixo vertical).

Introdução

Prezado aluno,

Em nossa oitava aula da segunda área, vamos começar completando a classificação espectral das estrelas, inserindo as classes de luminosidade. Em seguida conheceremos o Diagrama HR, que é uma ferramenta extremamente útil para estudar as estrelas. Analisando um diagrama HR vemos como as estrelas podem ser classificadas em diferentes grupos. O diagrama HR também nos proporciona um método para determinar distâncias estelares.

Bom estudo!



Objetivos:

Com o estudo desta aula esperamos que você possa:

- inferir temperaturas, tamanhos e luminosidades relativas de estrelas a partir de suas classificações por tipo espectral e classe de luminosidade;
- esquematizar um Diagrama HR para estrelas, indicando as posições das estrelas da Sequência Principal, das Gigantes, das Supergigantes e das Anãs Brancas;
- associar as diferentes regiões do Diagrama HR com as classes de luminosidade correspondentes;
- entender como o Diagrama HR pode ser usado para determinar distâncias estelares.

Comparado com outras estrelas, o Sol é quente ou frio? É grande ou pequeno? É luminoso ou fraco?

As estrelas têm temperaturas entre 0,5 e 10 vezes a temperatura do Sol, tamanhos que variam entre 10^{-2} a 10^3 o raio do Sol; e luminosidades entre 10^{-4} a 10^6 a luminosidade do Sol. O Sol é uma estrela mediana.

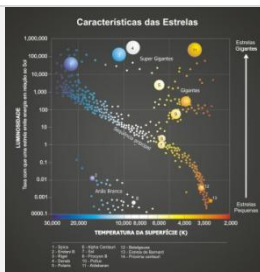
Classificação de Luminosidade



Figura 18.01: Morgan & Keenan.

Na aula anterior vimos como as estrelas são classificadas, de acordo com sua temperatura, nos tipos O, B, A, F, G, K, M e suas subdivisões. Essa classificação, conhecida como classificação de Harvard, leva em conta apenas as posições das linhas espectrais presentes no espectro da estrela, as quais indicam a sua temperatura.

Em 1943, **William Wilson Morgan** (1906-1994), **Philip Childs Keenan** (1908-2000) e **Edith M. Kellman** (1911-2007), do observatório de Yerkes, completaram a classificação introduzindo seis diferentes **classes de luminosidade**, baseadas nas larguras das linhas espectrais.



A classe de luminosidade leva em conta o tamanho da estrela, pois para estrelas de mesma temperatura, a luminosidade aumenta com o quadrado do raio. $L \propto R^2$.

A largura das linhas espectrais indicam se a estrela é grande ou pequena:

Linhas espectrais estreitas
 → gravidades superficial baixa → estrela grande;

Linhas espectrais alargadas
 → gravidades superficial alta → estrela pequena.

- Ia - Supergigantes superluminosas.
- Ib - Supergigantes.
- II - Gigantes luminosas.
- III - Gigantes
- IV - Subgigantes.
- V - Anãs (sequência principal).

A classe de luminosidade completa a classificação espectral, aparecendo ao lado do tipo espectral de estrela, como nos exemplos da tabela 18.01.

Tabela 18.01: Seis classes de luminosidade, criadas com base nas larguras das linhas espectrais por W. W. Morgan e por P.C. Keenan.

Classes de luminosidades	Denominação	Exemplos
Ia	Supergigantes Superluminosas	Rigel: azul; B8Ia
Ib	Supergigantes	Betelgeuse: vermelha; M2Iab
II	Gigantes luminosas	Antares: vermelha; MII
III	Gigantes	Aldebarã: alaranjada; K5III
IV	Subgigantes	
V	Anãs (Sequência Principal)	Acrux: anã da sequência principal azul; B1IV Sol: anã da sequência principal amarela; G2

A classe de luminosidade é determinada pela largura das linhas espectrais, que depende fortemente da gravidade superficial, diretamente relacionada ao raio da estrela e, conseqüentemente, à sua luminosidade. As massas das gigantes e anãs são similares, mas os raios das gigantes são muito maiores. Como a aceleração gravitacional é dada por g ($g = GM/R^2$), ela é muito maior para uma anã do que para uma gigante. Quanto maior a gravidade superficial, maior a pressão e, portanto, maior o número de colisões entre as partículas na atmosfera da estrela. As colisões perturbam os níveis de energia dos átomos, fazendo com que eles fiquem mais próximos ou mais afastados entre si do que o normal. Em conseqüência, os átomos perturbados podem absorver fótons de energia e comprimento de onda levemente maior ou menor do que os que os fótons absorvidos nas transições entre níveis não perturbados. O efeito disso é que a linha de absorção fica alargada. Portanto, para uma mesma temperatura, quanto menor a estrela, mais alargada será a linha, pois a pressão será maior.

O tamanho da estrela, por sua vez, está relacionado à luminosidade, pois a luminosidade é diretamente proporcional ao quadrado de seu raio e à quarta potência de sua temperatura superficial ($L = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_{ef}^4$). Portanto, para estrelas de mesma temperatura, quanto maior ela for, mais luminosa será.

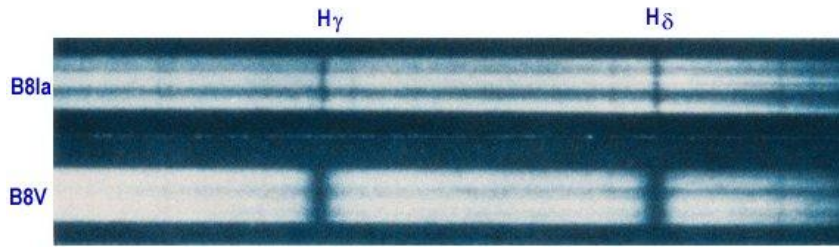
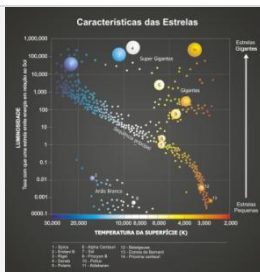


Figura 18.02: Duas estrelas de mesma temperatura (classe espectral B8), mas de tamanhos diferentes (a de cima é uma supergigante de classe de luminosidade Ia e a de baixo uma anã, com classe de luminosidade V). As massas da supergigante e da anã são similares, mas a supergigantes tem raio muito maior, logo suas linhas são mais estreitas.

Diagrama HR

Em 1911 o astrônomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung, verificou que **um gráfico da luminosidade das estrelas em função de sua temperatura superficial** mostra importantes relações entre essas características. Dois anos mais tarde, o astrônomo norte-americano Henry Norris Russell descobriu, independentemente, as mesmas relações entre a luminosidade e a temperatura das estrelas. Em homenagem a eles, os gráficos da luminosidade em função da temperatura são chamados de *diagramas de Hertzsprung-Russell*, ou **diagrama HR**.

Os diagramas HR costumam ser apresentados como na Fig. 18.03.

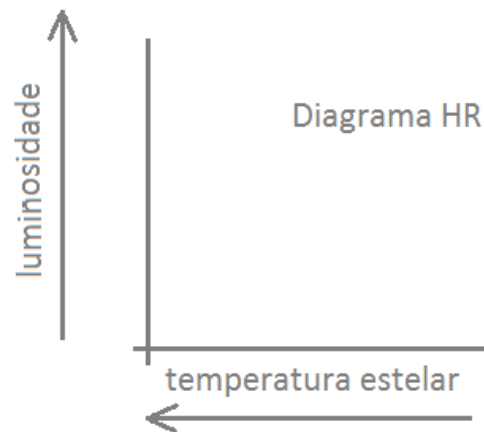


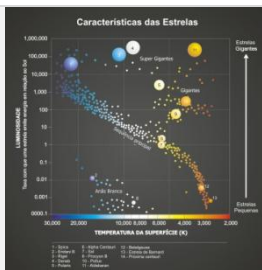
Figura 18.03: No diagrama HR a luminosidade é colocada no eixo das ordenadas, com valores crescentes de baixo para cima, e a temperatura é colocada no eixo das abscissas, com valores crescentes da direita para a esquerda.

Alternativamente, no eixo das ordenadas pode ser colocada a magnitude absoluta, que é uma grandeza associada à luminosidade, e, no eixo das abscissas pode ser colocado o tipo espectral ou o índice de cor, que são características associadas à temperatura da estrela.

Ao fazer um diagrama HR para um número grande de objetos, fica evidente que as estrelas não se distribuem homogeneamente nele, mas se concentram em algumas regiões. A maior parte das estrelas está alinhada ao longo de uma estreita faixa na diagonal que vai do extremo superior esquerdo (estrelas quentes e muito luminosas), até o extremo inferior direito (estrelas frias e pouco luminosas). Essa faixa é chamada **Sequência Principal**.

Diagrama HR:

Gráfico que relaciona a luminosidade das estrelas com sua temperatura superficial.



Num diagrama HR para um grande número de objetos a maior parte das estrelas se alinha em uma faixa diagonal, chamada Sequência Principal.

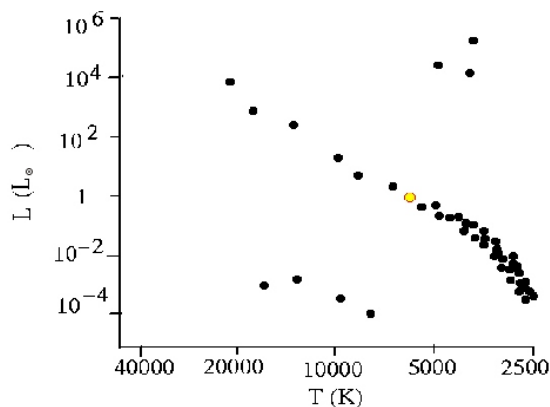


Figura 18.04: No diagrama HR, a grande maioria das estrelas se encontra ao longo de uma faixa que vai do extremo superior esquerdo, até o extremo inferior direito, chamada **Sequência Principal**, com as as estrelas mais quentes e luminosas no canto superior esquerdo e as mais frias e pouco luminosas no lado inferior direito. O círculo amarelo representa a posição do Sol.

O fator que determina onde uma estrela se localiza na sequência principal é a sua **massa: estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas**. As estrelas da Sequência Principal têm, por definição, classe de luminosidade V, e são chamadas de anãs. Um número substancial de estrelas também se concentra acima da Sequência Principal, na região superior direita (estrelas frias e luminosas). Essas estrelas são chamadas **gigantes**, e pertencem à classe de luminosidade II ou III. Bem no topo do diagrama existem algumas estrelas ainda mais luminosas: são chamadas **supergigantes**, com classe de luminosidade I. Finalmente, algumas estrelas se concentram no canto inferior esquerdo (estrelas quentes e pouco luminosas): são chamadas **anãs brancas**. Apesar do nome, nem todas as anãs brancas são brancas na cor; na verdade, elas cobrem um intervalo de temperatura e cores que abrange desde as mais quentes, que são azuis ou brancas, com temperatura superficiais de até 200.000 K, até as mais frias, que são vermelhas e têm temperaturas superficiais de apenas 2.500 K.

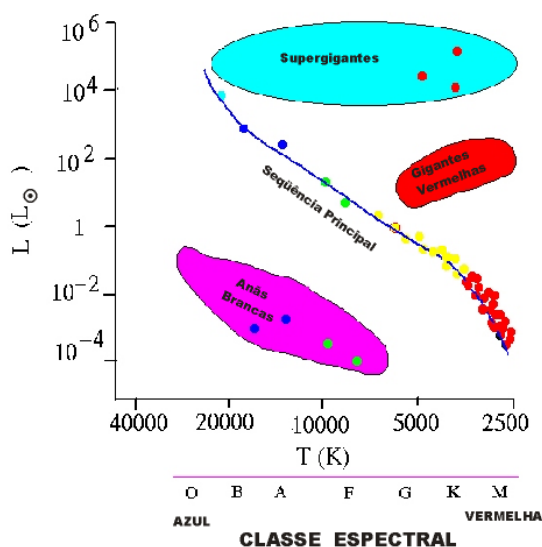
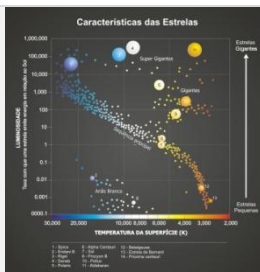


Figura 18.05: Diagrama HR para um conjunto grande de estrelas torna visível a quatro regiões em que há mais concentração de estrelas. Fonte: (http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/hr/diag_hr.htm).



Estrelas de mesma temperatura podem ter raios diferentes.

Podemos usar a Lei de Stefan-Boltzmann, já vista anteriormente, para entender como o tamanho das estrelas varia no diagrama HR. Esta lei estabelece que

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

Logo, se a luminosidade L aumenta a uma temperatura T fixa (linha vertical no diagrama HR), o raio R das estrelas aumenta. E se T aumenta a L fixo (linha horizontal), R diminui. Por exemplo, seja uma estrela cuja luminosidade L aumenta por um fator 4 e cuja temperatura se mantém constante. Por quanto aumentará seu raio R ?

Em um gráfico de $\log L \times \log T$, o termo em R quadrático na equação acima representa uma linha reta no diagrama HR. Isso implica que o tamanho de uma estrela pode ser facilmente lido do diagrama, uma vez conhecida sua posição.

Sequência Principal:

Faixa estreita no Diagrama HR, indo do extremo superior esquerdo até o extremo inferior.

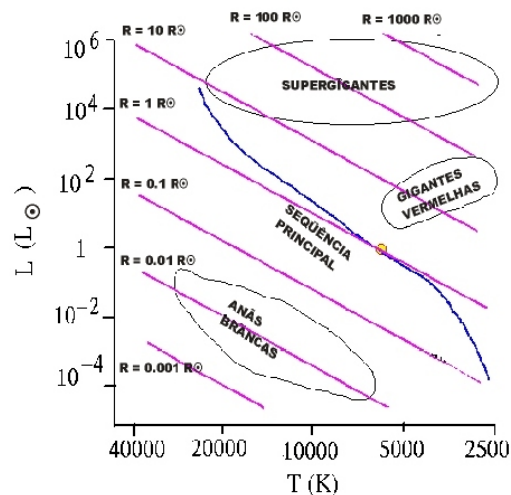


Figura 18.06: Diagrama HR mostrando como o raio das estrelas se relaciona com a sua luminosidade e com a sua temperatura. As linhas oblíquas indicam estrelas com raios aproximadamente iguais. Fonte:

(http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/hr/diag_hr.htm).

Gigantes Vermelhas:

As estrelas que se concentram na região superior direita do Diagrama HR são as Gigantes Vermelhas, estrelas frias e luminosas.

Supergigantes:

No topo do diagrama estão estrelas mais luminosas que são as Supergigantes.

Anãs Brancas:

No canto inferior esquerdo encontram-se estrelas quentes e pouco luminosas que são as Anãs Brancas.

O diagrama HR é um instrumento essencial para o estudo da evolução estelar. Estrelas iniciam sua evolução na Sequência Principal, tornam-se Gigantes ou Supergigantes e se extinguem como Anãs Brancas, ou, em casos mais raros, como estrela de nêutrons e buracos negros, que não podem ser incluídos no Diagrama HR.

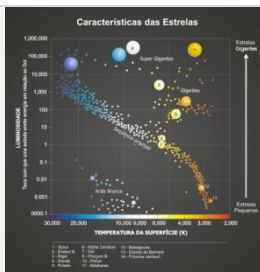


Diagrama HR e Evolução Estelar:

Estrelas iniciam a sua evolução na Sequência Principal, tornam-se Gigantes ou Supergigantes e a (na grande maioria) se extinguem como anãs brancas.

Tabela 18.02: Propriedades principais das estrelas em cada região do diagrama HR.

	Luminosidade (L_{sol})	Temperatura (K)	Raio (R_{sol})	Densidade (ρ_{sol})
Sequência Principal (V)	10^{-2} a 10^6	2 500 a >50 000	0,1 a 10	100 a 0,01
Gigantes (III)	10^3 a 10^5	< 5 000	10 a 100	10^{-3}
Supergigantes (I e II)	10^5 a 10^6	3000 a 50 000	10000	10^{-7}
Anãs Brancas	10^{-2} a 10^{-4}	3500 a ~100 000	0.01 (~raio da Terra!)	10^7

A Sequência Principal é uma sequência de massas

As estrelas da Sequência Principal (SP) mantêm uma **relação unívoca entre a luminosidade e a temperatura**. Essa relação é determinada pela sua **massa**: as estrelas mais massivas são mais quentes e luminosas, portanto ficam na extremidade superior esquerda do diagrama HR; as menos massivas são mais frias e menos luminosas, ficando na extremidade inferior direita.

Essa constatação foi feita a partir de estrelas binárias, cujas massas podem ser determinadas aplicando-se a Terceira Lei de Kepler.

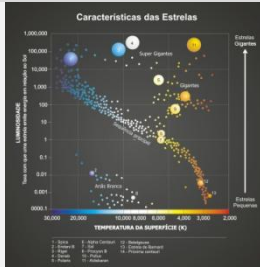
Pode-se, portanto, estabelecer uma **relação massa-luminosidade** que, por sua vez, permite estimar as massas das estrelas baseadas em seu tipo espectral. Para estrelas com massas (M) grandes, maiores do que 3 massas solares, a luminosidade é proporcional ao cubo da massa; já para massas pequenas, menores do que 0,5 massa solar, a luminosidade é proporcional à potência 2,5 da massa, ou seja:

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

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

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

Atenção: nas equações acima M significa massa e não magnitude!



Estrelas mais massivas:

São mais quentes e luminosas, e ficam na extremidade superior esquerda do diagrama HR,

Estrelas menos massivas:

São mais frias e menos luminosas, ficam na extremidade inferior direita do diagrama HR.

Anãs Marrons:

São objetos intermediários entre planetas e estrelas, com massas entre 13 e 70 vezes a massa de Júpiter, Não conseguem se manter por fusão termonuclear.

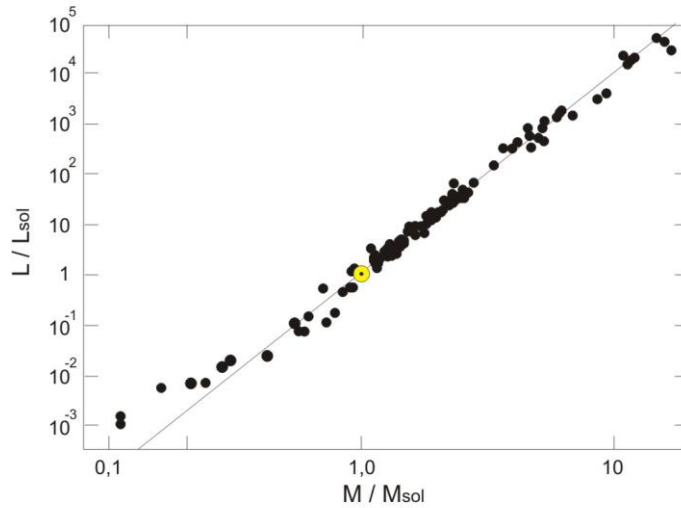


Figura 18.07: A relação entre luminosidade da estrela/luminosidade do Sol e a massa da estrela/massa do do Sol para estrelas da Sequência Principal. O Sol é representado pelo círculo amarelo.

É importante notar que o fato de uma estrela estar "na" ou "fora da" Sequência Principal não se refere à sua posição no espaço, mas apenas à posição do ponto no Diagrama HR que representa sua luminosidade e temperatura. Estima-se que em torno de 80% **das estrelas nas vizinhanças do Sol são estrelas da Sequência Principal**. Aproximadamente 20% são anãs brancas e menos do que 1% são gigantes ou anãs marrons.

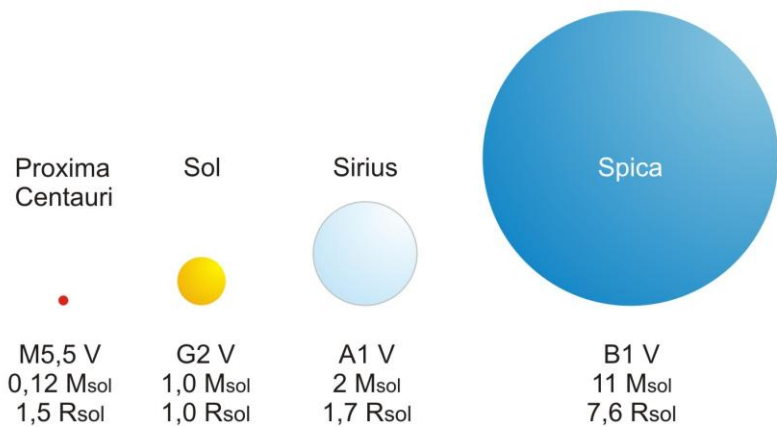
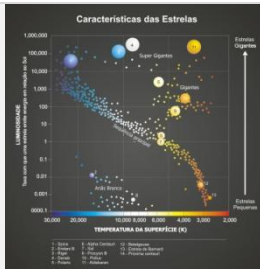


Figura 18.08: Tamanhos relativos de quatro estrelas que estão na sequência principal. O tipo espectral, a massa (em Msol) e o raio (em Rsol) da estrela são indicados.



As estrelas mais luminosas: gigantes e supergigantes

As estrelas mais massivas que existem atualmente na nossa Galáxia são estrelas azuis com massas de até 140 massas solares. Suas magnitudes absolutas são em torno de $M_v = -6$ a -8 , podendo em alguns casos raros chegar a $M_v = -10$, (luminosidade $L = 10^6 L_{\text{Sol}}$). Essas estrelas estão em geral no canto superior esquerdo do diagrama HR, e têm tipo espectral O ou B. São as estrelas mais luminosas da Sequência Principal.

A estrela Rigel tem 62.000 vezes a luminosidade do Sol. É chamada **supergigante azul**.

Outra categoria de estrelas muito luminosas são as **gigantes e supergigantes vermelhas** que estão no canto superior direito do diagrama HR; Betelgeuse e Antares são supergigantes, e Aldebaran e Capela são gigantes. Essas estrelas chegam a ser milhares de vezes mais luminosas do que o Sol (no caso das supergigantes), e seus tamanhos são muito maiores do que o do Sol. Por exemplo, uma supergigante vermelha típica, com temperatura de 3.000 K, e luminosidade de $10^4 L_{\text{Sol}}$, tem um raio de 400 vezes o raio do Sol. Se o Sol fosse colocado no centro de tal estrela, o raio da estrela alcançaria além da órbita de Marte.

As supergigantes vermelhas, além de luminosidades e tamanhos extremamente grandes, têm densidades extremamente pequenas. Por exemplo, uma estrela supergigante como a descrita acima tem um volume que é 64 milhões de vezes o volume do Sol. Se sua massa é 10 vezes a massa do Sol, encontramos que sua densidade média é 10^{-7} vezes a densidade média do Sol, ou $1,4 \times 10^{-7}$ a densidade da água.

Supergigantes azuis:

São as estrelas mais massivas e mais luminosas da Sequência Principal.

Gigantes e supergigantes vermelhas:

São estrelas frias que ficam no canto superior direito do Diagrama HR. Têm densidades extremamente baixas.

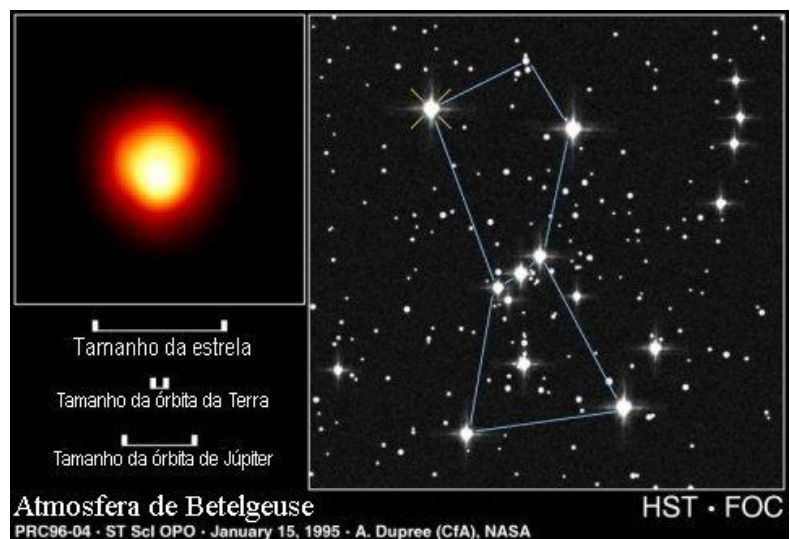
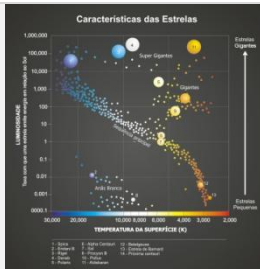


Figura 18.09. Betelgeuse, a segunda estrela mais brilhante da constelação do Órion, é uma supergigante vermelha localizada a uma distância de cerca de 600 anos-luz. Sua luminosidade é 14.000 vezes a do Sol, embora tenha somente 20 vezes sua massa. Seu raio é de cerca de 1.000 vezes o raio do Sol (maior do que o raio da órbita de Marte).



Anãs Vermelhas:

Localizadas na parte inferior da Sequência Principal. São as estrelas mais numerosas. Têm massas baixas e densidades altas.

As estrelas mais numerosas: anãs vermelhas

As estrelas localizadas na parte inferior da Sequência Principal são chamadas **anãs vermelhas**. São estrelas de baixa massa, muito menores, mais frias e mais compactas do que o Sol. Sua massa é tipicamente $1/10 M_{\text{Sol}}$ e seu raio $1/10 R_{\text{Sol}}$. Isso faz com que sua densidade seja alta, tipicamente $100 \rho_{\text{Sol}}$.

Histograma do número relativo de estrelas próximas ao Sol

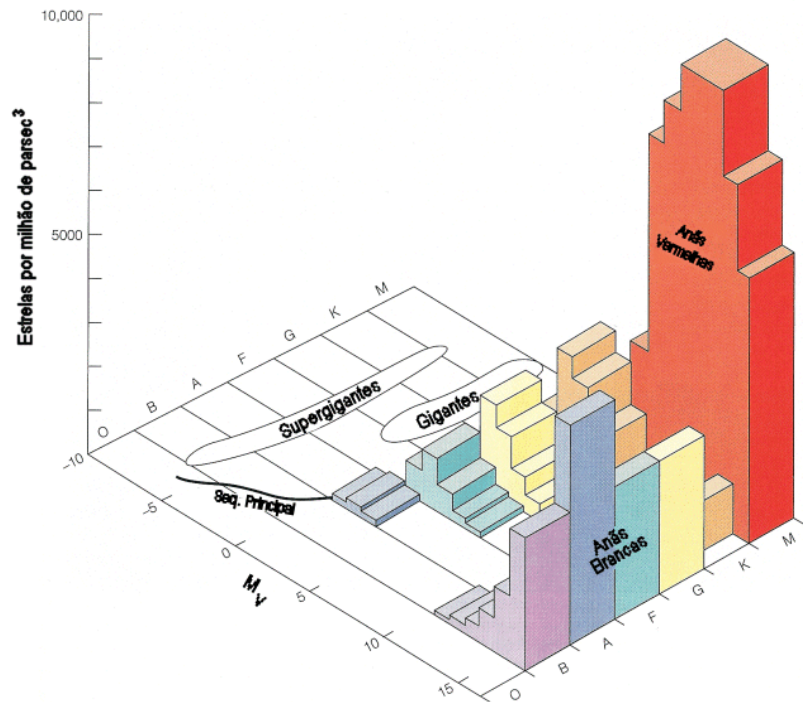


Figura 18.10: Histograma do número relativo de estrelas nas proximidades do Sol. As mais numerosas são as estrelas da sequência principal inferior, as anãs vermelhas. Fonte: (<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>)

Estrelas quentes e densas: Anãs Brancas.

Apesar do nome, as anãs brancas na verdade cobrem um intervalo de temperatura e cores que abrange desde as mais quentes, que são azuis ou brancas, e têm temperatura superficiais de 100.000 K ou mais, até as mais frias, que são vermelhas, e têm temperaturas superficiais de apenas 3.500 K.

A primeira anã branca conhecida é a companheira de Sírius, a do Cão Maior, a estrela mais brilhante do céu. Sírius B foi detectada visualmente em 1862.

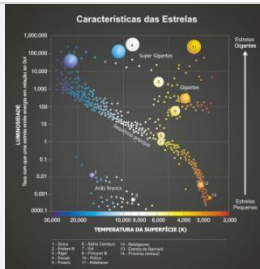
Anãs Brancas:

Cobrem um intervalo de temperatura desde as mais quentes até as mais frias. Apresentam densidades extremamente altas.



Figura 18.11: Na foto vemos Sírius A e, na ponta da flecha, Sírius B, com $T_{\text{ef}}=25\,000\text{K}$, $R=5\,600\text{ km}$, Período orbital $I= 50,1$ anos, 9 magnitudes mais fraca que Sírius A e sempre mais próxima que 11,5 segundos de arco.

Sírius B tem uma massa solar, raio de 5.800 km e densidade média de 2 milhões de vezes a densidade da água. Algumas Anãs Brancas têm densidades centrais maiores do que 10 milhões de vezes a densidade da água. Uma colher de chá do material que as constitui teria massa de 50 toneladas! Podemos comparar com a densidade dos elementos mais densos na Terra, como o irídio, que tem densidade de $22,6\text{ g/cm}^3$.



O diagrama HR como indicador de distâncias

Uma das aplicações mais importantes do diagrama HR é a determinação de distâncias estelares. Suponha, por exemplo, que uma determinada estrela tem um espectro que indique que ela está na sequência principal e tem tipo espectral G2. Sua luminosidade então pode ser encontrada a partir do diagrama HR, e será em torno de $1 L_{\odot}$ ($M = +5$). Conhecendo-se sua magnitude aparente, sua distância pode ser conhecida a partir do seu *módulo de distância*

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

onde

$(m-M)$ = o *módulo de distância*,

m = magnitude aparente,

M = magnitude absoluta e

d = distância em parsecs.

Em geral, a classe espectral sozinha não é suficiente para se conhecer a luminosidade da estrela de forma única. É necessário conhecer também sua classe de luminosidade. Por exemplo, uma estrela de tipo espectral G2 pode ter uma luminosidade de $1 L_{\odot}$ se for da sequência principal, ou de $10 L_{\odot}$ ($M = 0$), se for uma gigante, ou ainda de $100 L_{\odot}$ ($M = -5$), se for uma supergigante.

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*. O termo "paralaxe" no nome foi mantido apenas por razões históricas, como homenagem à ferramenta mais tradicional de determinação de distâncias astronômicas – a paralaxe trigonométrica, discutida na Aula 11.

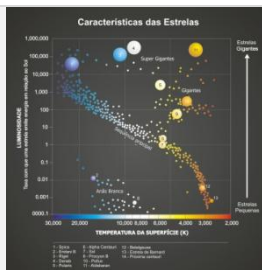
Paralaxe Espectroscópica:

Método de determinação das distâncias de uma estrela a partir do seu tipo espectral e de sua classe de luminosidade.

Resumo

O espectro da estrela indica não apenas a sua temperatura, mas também a sua gravidade superficial, que está associada ao raio da estrela e portanto à sua luminosidade. Essa é a ideia básica das **classes de luminosidades**: para estrelas de mesma temperatura, a de maior raio terá maior luminosidade.

Diagramas HR: são gráficos da luminosidade das estrelas (ou alguma outra propriedade associada a ela) em função de suas temperaturas (ou alguma propriedade associada a ela).



Num diagrama HR para um grande número de objetos as estrelas não se distribuem igualmente nele, mas ficam concentradas em algumas regiões, de acordo com a classe de luminosidade das estrelas:

- Sequência Principal: faixa estreita que vai do extremo superior esquerdo até o extremo inferior. Corresponde à classe de luminosidade V (anãs). A posição da estrela na sequência principal depende de sua massa: as estrelas mais massivas são mais quentes e luminosas e ficam na extremidade superior esquerda do Diagrama HR. As estrelas menos massivas são mais frias e menos luminosas, ficam na extremidade inferior do diagrama HR.
- Gigantes: região do diagrama onde se concentram estrelas frias e luminosas, com classe de luminosidade III e II.
- Supergigantes: região no topo do diagrama, onde se concentram estrelas muito luminosas de diferentes temperaturas, com classes de luminosidades I.
- Anãs Brancas: região no canto inferior esquerdo do Diagrama HR. Aí estão as estrelas quentes e pouco luminosas que estão no estágio final da evolução. Cobrem um extenso intervalo de temperaturas e apresentam densidades extremamente altas.

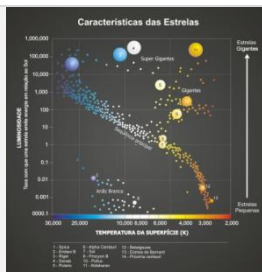
O diagrama HR é uma ferramenta importante na determinação das distâncias estelares. O método de determinação das distâncias pelo diagrama HR é chamado "paralaxe espectroscópica".

Questões de fixação

1. Com relação aos espectros estelares e suas classificações responda: que parâmetro físico está correlacionado com a classe de luminosidade (I,II,III,IV,V)?

2. Considere estrelas com os seguintes tipos espectrais: M1, B1, e A1.

- Qual é a maior?
- Qual é a mais quente?
- Qual está na sequência Principal?



3. Esboce um diagrama Hertzsprung - Russel (HR) indicando as grandezas representadas nos eixos das ordenadas e das abscissas e o sentido em que crescem. Indique a posição da Sequência Principal (SP), dos ramos das estrelas gigantes, supergigantes e das anãs brancas. Indique ou descreva em palavras onde se situam estrelas com superfícies frias e quentes, estrelas de raio pequeno ou grande. Para a Sequência Principal, indique o sentido da massa estelar crescente.

4. Usando a tabela mostrada na figura 18.12 responda as questões:

Estrelas Brilhantes

Ordem	Estrela	Magnitude Absoluta	Magnitude Aparente	Distância à Terra (anos-luz)	Tipo Espectral	B-V
.	Sol	+4,8	-26,72	.	G2 V	0,7
1	Sirius (no Cão Maior)	+1,4	-1,46	8,6	A1 V	0,00
2	Canopus (na Carina)	-2,5	-0,72	74	F0 Ib	0,16
3	Rigel Kentaurus (Alpha Centauri)	+4,4	-0,27	4,3	G2 V	0,7
4	Arcturus (em Boötes)	+0,2	-0,04	34	K2 III	1,23
5	Vega (na Lyra)	+0,6	0,03	25	AO V	0,00
6	Capella (na Auriga)	+0,4	+0,08	41	G2 III	0,79
7	Rigel (no Órion)	-8,1	+0,12	900	B8 Ia	-0,03
8	Procyon (no Cão Menor)	2,8	+0,38	11	F5 IV	0,41
9	Archenar (em Eridanus)	-1,3	+0,46	75	B5 IV	-0,18
10	Betelgeuse (no Órion)	-7,2	+0,50	1 500	M2 I	1,86
11	Hadar (no Centauro)	-4,3	+0,61	300	B1 II	-0,23
12	Altair (na Águia)	+2,3	+0,77	17	A7 V	0,22
13	Acrux (no Cruzeiro)	-3,8	+0,79	270	B2 IV	-0,26
14	Aldebaran (em Touro)	-0,2	+0,85	65	K5 III	1,53
15	Spica (em Virgem)	-4,7	+0,96	260	B1 V	-0,23
16	Antares (no Escorpião)	-4,5	+0,98	400	M1 Ib	1,83

Figura 18.12. Dados sobre as 16 estrelas mais brilhantes do céu, em ordem de brilho aparente. Fonte: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/exercicios/ls_espec.html.

a) Plote num diagrama HR as 10 estrelas mais brilhantes (em magnitude aparente) do céu, escrevendo o nome referente a cada uma.

b) Qual a luminosidade de cada uma das estrelas, em luminosidade solar?

c) Que linhas espectrais mais você espera encontrar nos espectros de cada uma dessas estrelas?

d) Entre todas as estrelas da tabela:

I. Qual a mais fria?

II. Qual a mais quente?

III. Qual a mais luminosa?

IV. Qual a menos luminosa?

V. Qual a maior?

VI. Qual a menor?

VII. Quais são supergigantes, e quais suas cores?

VIII. Entre as que estão na SP, qual a mais massiva?

IX. Entre as que estão na SP, qual a menos massiva?

X. Qual é a mais parecida com o Sol?

