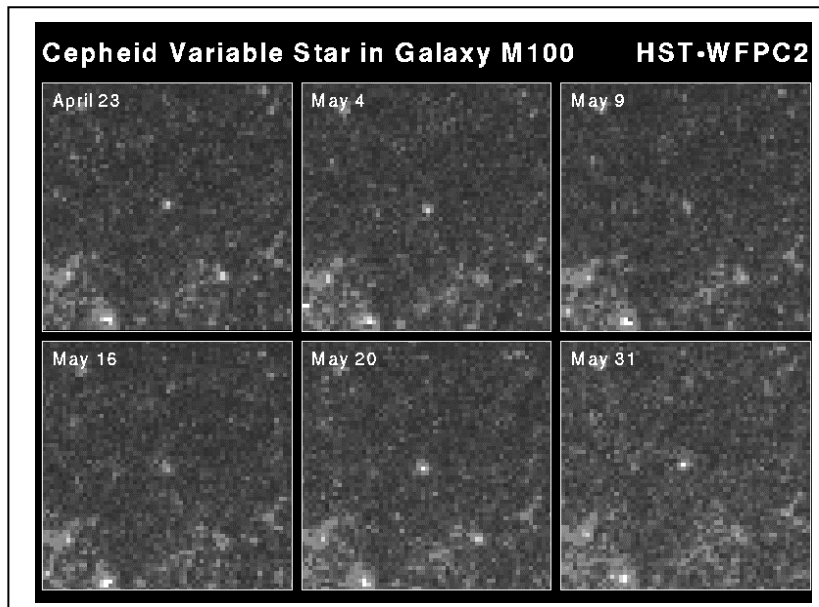


# Capítulo 13

## ESTRELAS VARIÁVEIS

Este capítulo é dedicado ao estudo das estrelas variáveis, cuja luminosidade varia com o tempo por meio de uma relação bem definida. Estas estrelas encontram-se em uma região peculiar do diagrama Hertzsprung-Russel, chamada “instability strip” ou faixa de instabilidade. Os tópicos abordados serão os seguintes:

- ESTRELAS EM SISTEMAS BINÁRIOS
- ESTRELAS CEFEIDAS, RR LYRAE E AS ESCALAS DE DISTÂNCIA



## Bibliografia

- *Astronomia & Astrofísica* - Apostila do Curso de Extensão Universitária do IAG/USP (ed. W. Maciel)
- *Introductory Astronomy & Astrophysics*, de Zeilik & Smith (1987)
- *Astronomy: a beginner's guide to the Universe*, Chaisson & McMillan (1999)

## ESTRELAS VARIÁVEIS

Existem estrelas cujas luminosidades variam com o tempo e apenas algumas delas apresentam uma variação regular. Apesar de poucas estrelas serem classificadas como variáveis, esta categoria de objetos tem uma grande importância para a Astronomia.

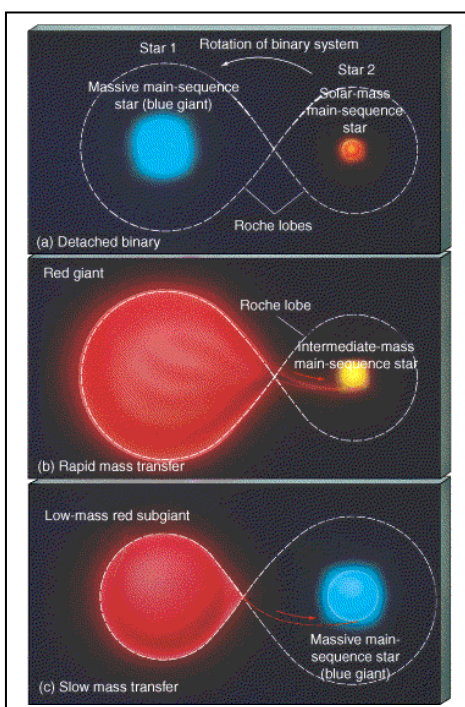
A variabilidade, usualmente observada no óptico ou região do infravermelho, pode ocorrer, por exemplo, devido ao fato da estrela pertencer a um sistema binário e ser ocultada por sua companheira quando as duas estrelas se alinham ao longo da linha de visada do observador. Estas são chamadas de *variáveis geométricas ou variáveis eclipsantes*. Em outros casos a variabilidade é uma propriedade intrínseca dos objetos. A estas chamamos de *variáveis intrínsecas*.

### Estrelas Variáveis em Sistemas Binários

O sistema de Algol (ou beta Persei) é um sistema binário eclipsante com um período de aproximadamente 3 dias. A componente 1 do sistema binário é uma subgigante de tipo espectral G5, com  $0.8 M_{\odot}$  e a componente 2 é uma estrela da sequência principal, de tipo B8, com  $3.7 M_{\odot}$ .

Pelo que vimos em evolução estelar, este sistema mostra características não usuais. A estrela de menor massa deveria evoluir mais lentamente do que a estrela de massa maior, porém, este sistema tem um comportamento exatamente contrário. A explicação está relacionada com o fato de que esta binária tem uma órbita de curto período, ou seja, as componentes estão muito próximas entre si.

### Sistemas do tipo Algol



Originalmente, a componente 2 tinha  $1.2 M_{\odot}$  enquanto que a componente 1 tinha  $3 M_{\odot}$ . Neste caso, definimos L1, o “ponto de Lagrange”, no qual a força gravitacional da estrela 1 era igual a da estrela 2.

Quando a estrela 1 começou a evoluir para o ramo das gigantes vermelhas, seu envelope atingiu L1, iniciando-se a transferência de massa da estrela 1 para a estrela 2. Este tipo de sistema é chamado de *binária com transferência de massa*.

Em alguns casos a estrela 1 pode transferir tanta massa para a estrela 2 que esta se torna a mais massiva das duas. Este é o caso de Algol.

Figura 1 – Esquema de um sistema binário com transferência de massa

## Novas

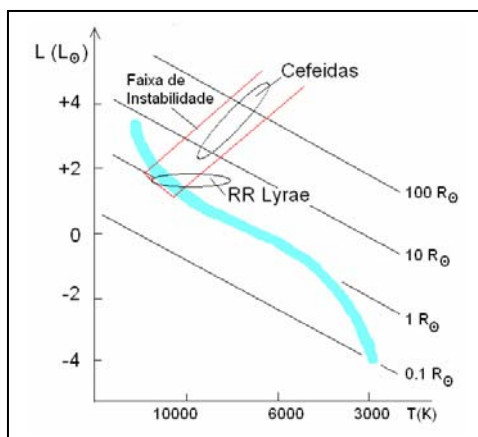
Um outro caso é o de **variáveis cataclísmicas**, que ocorre quando a componente 1 do sistema binário é uma anã branca, com núcleo formado de hélio, e a estrela 2 é da sequência principal. Quando a estrela 2 começa sua evolução ao ramo das gigantes vermelhas ela ejeta massa para a superfície da anã branca. À medida que a massa se acumula na superfície quente da anã branca, a radiação fica confinada, o que faz com que a temperatura da estrela aumente e chegue a  $T \sim 10^7$  K. Começa então a fusão do hidrogênio em hélio e há um “flare”, ou seja, a luminosidade do sistema aumenta muito de uma só vez.

Se o aumento em  $L$  é de aproximadamente 10 vezes chamamos o sistema de uma “nova” anã. Se o aumento é de cerca de 10000 vezes chamamos o sistema de uma “nova” clássica. Por causa da fusão que ocorre na superfície da anã branca, há ejeção de material com uma velocidade de  $\sim 2000$  km/s. Algumas vezes a ejeção de matéria recomeça, depois de algum tempo, levando à formação de uma “nova” recorrente. Todos os anos ocorrem cerca de 10 a 20 “novas” brilhantes na nossa Galáxia.

## Estrelas Cefeidas, RR Lyrae e as Escalas de Distâncias

Uma classe de variáveis intrínsecas especialmente importante é a das **estrelas pulsantes**, que têm propriedades que variam ciclicamente. Apesar da semelhança no nome, estas estrelas não estão relacionadas com os pulsares, que vimos no capítulo anterior. Estrelas pulsantes são estrelas normais que passam, em um dado período de suas vidas, por uma fase de instabilidade identificada no diagrama HR por uma faixa chamada de “instability strip”. As estrelas localizadas nesta faixa do diagrama, são internamente instáveis e tanto sua temperatura quanto variam de uma maneira regular. Quando a estrela evolui para uma localização no diagrama HR fora do “instability strip”, cessam os períodos de pulsação.

Dois tipos de estrelas pulsantes, que foram muito importantes na determinação da dimensão da nossa Galáxia e a distância de galáxias vizinhas são as variáveis RR Lyrae e Cefeidas. Estas variáveis podem ser reconhecidas pela forma característica de suas curvas de luz. O período de pulsação das variáveis RR Lyrae varia entre 0.5 e 1 dia, enquanto que as Cefeidas pulsam com períodos de 1 a 100 dias.



Estas variáveis podem ser reconhecidas pela forma característica de suas curvas de luz. O período de pulsação das variáveis RR Lyrae varia entre 0.5 e 1 dia, enquanto que as Cefeidas pulsam com períodos de 1 a 100 dias.

Estrelas desta categoria recebem esta denominação em função das primeiras estrelas descobertas em cada classe (RR na constelação de Lyra e a estrela Delta Cephei, a quarta estrela mais brilhante da constelação de Cepheus).

Figura 2 – Localização das estrelas variáveis RR Lyrae e Cefeidas no diagrama HR.

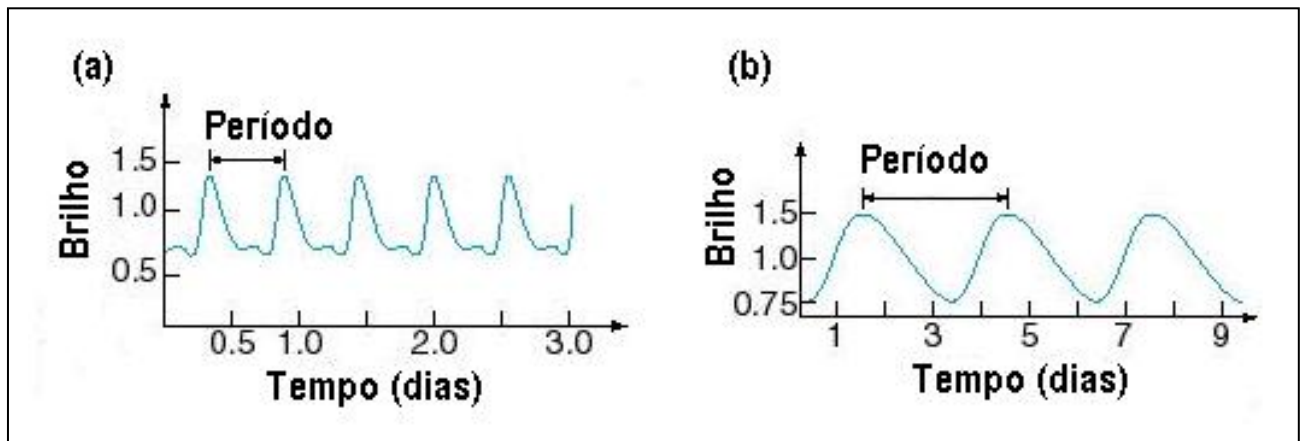


Figura 3 – Curvas de luz para (a) variável RR Lyrae, (b) Cefeida

Quando uma variável Cefeida ou RR Lyrae pulsa, o raio da estrela aumenta e diminui, seguindo um movimento oscilatório, semelhante ao de uma mola. Desta forma, a temperatura interna da estrela aumenta e diminui alternadamente. A curva de luz da estrela é então o resultado destas mudanças, que acarretam também mudanças no brilho e na temperatura superficial da estrela. No entanto, se a estrela não tivesse um mecanismo para sempre impulsionar a oscilação, esta se amorteceria com o tempo. O mecanismo de oscilação foi explicado em 1941 por A. Eddington, através de um processo que envolve a ionização e recombinação periódica do gás nas camadas mais externas da estrela.

De acordo com esta teoria, a estrela é mais opaca (libera menos radiação) quando comprimida ou quando em seu mínimo de expansão (quando esta tem o menor raio). Quando a estrela é comprimida, a pressão de radiação aumenta de tal forma a expandir a estrela até o ponto em que a opacidade diminui. Neste ponto, a pressão de radiação não pode mais sustentar a estrela contra a ação de sua própria gravidade e a superfície volta a se contrair, quando se completa um ciclo de pulsação para se iniciar o próximo.

A importância das estrelas Cefeidas e RR Lyrae está em seu uso para a determinação de distâncias galácticas e extragalácticas. Uma vez medida o brilho aparente de uma Cefeida, podemos determinar sua luminosidade intrínseca, que nos permitirá, por sua vez, determinar sua distância por  $m - M = 5 - 5 \log d$ , onde a distancia é dada em parsec. Conhecer a luminosidade intrínseca de uma estrela RR Lyrae é bastante simples, considerando que todas RR Lyrae já observadas têm aproximadamente a mesma luminosidade, de  $\sim 100$  vezes a luminosidade do Sol ou  $M_v \sim 0.6$ . Portanto, se detectamos uma estrela do tipo RR Lyrae podemos adotar sua luminosidade como sendo  $100 L_{\odot}$ .

Para as Cefeidas a situação é um pouco mais complicada, pois sua luminosidade depende de seu período de pulsação. Henrietta Leavitt, da Universidade de Harvard, em 1908, estudou a relação entre o período e a luminosidade das Cefeidas.

Leavitt verificou que as Cefeidas que variam rapidamente (ou seja, têm um período de pulsação curto) têm luminosidades mais baixas. Já as de período longo são as mais luminosas, como pode ser visto na Figura 4. Esta relação foi chamada de Relação Período-Luminosidade, muito usada para a determinação de **distâncias de galáxias próximas**, nas quais variáveis Cefeidas foram identificadas. Uma simples medida da magnitude aparente e do período de pulsação de uma Cefeida e conseqüentemente de sua luminosidade através da relação período-luminosidade fornece a medida da distância.

O uso das RR Lyrae como indicadores de distância é mais restrito que das Cefeidas visto que as Cefeidas têm magnitudes médias intrínsecas de  $M_v = 0$  a  $-5$ , sendo portanto muito mais brilhantes que as RR Lyrae ( $M_v \sim 0.6$ ), podendo portanto ser identificadas em distâncias maiores.

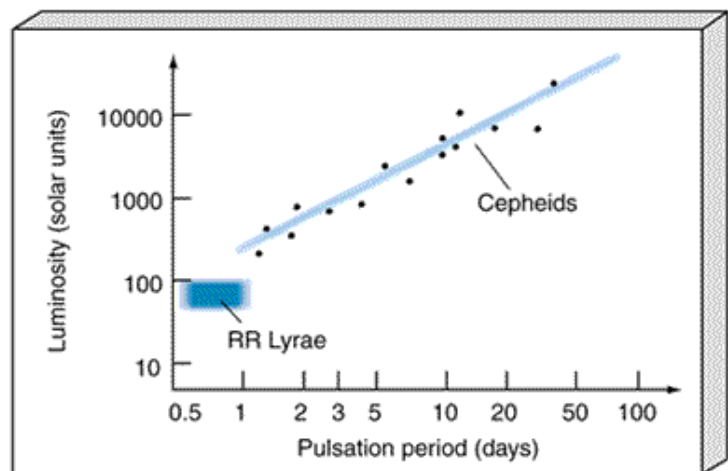


Figura 4 – Relação Período–Luminosidade para variáveis Cefeidas e RR Lyrae.