

As estrelas cefeidas enquanto velas padrão: a relação período-luminosidade tal qual apresentada por sua descobridora

Daniel Iria Machado

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Resumo

A relação entre o período e a luminosidade das estrelas cefeidas está na base de um método fundamental para a determinação de distâncias a galáxias próximas. Neste artigo, apresenta-se uma tradução do inglês para o português do trabalho de Henrietta Swan Leavitt no qual a relação período-luminosidade foi originalmente proposta.

Abstract

The relation between the period and the luminosity of Cepheid stars is at the basis of a fundamental method for the determination of distances to nearby galaxies. In this paper, I present a translation from English to Portuguese of the work of Henrietta Swan Leavitt in which the period-luminosity relation was originally proposed.

Palavras-chave: cefeidas clássicas, relação período-luminosidade, estrelas variáveis.

Keywords: classical Cepheids, period-luminosity relation, variable stars.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v2n2.34906](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v2n2.34906)

1 Introdução

A determinação da distância dos objetos celestes à Terra é um problema astronômico relevante não só para a caracterização mais completa das propriedades dos astros, mas também para a compreensão da própria estrutura e evolução do universo.

Um passo crucial para se avançar nesta questão foi dado pela astrônoma estadunidense Henrietta Swan Leavitt (1868–1921), que se destacou na pesquisa de estrelas variáveis, cujo brilho se modifica ao longo do tempo. Leavitt trabalhou no Observatório da Faculdade de Harvard, em Cambridge, Estados Unidos, onde atuou em projetos envolvendo a medição do brilho de estrelas registradas nas placas fotográficas do acervo da instituição [1].

Um resultado notável foi obtido por Leavitt ao examinar cuidadosamente 25 estrelas variáveis do grupo das cefeidas clássicas, identificadas na Pequena Nuvem de Magalhães, galáxia satélite da

Via Láctea. As cefeidas clássicas são estrelas pulsáteis, cujo brilho varia de maneira cíclica, com período bem definido. Valores típicos do período de cefeidas clássicas situam-se entre 1 e 50 dias, podendo, no entanto, chegar a 200 dias em alguns casos extremos [2].

Leavitt encontrou uma relação matemática entre o período desses objetos celestes e sua luminosidade. Na astronomia, a luminosidade corresponde à quantidade de energia que uma estrela emite por unidade de tempo. A descoberta da relação período-luminosidade teve implicações significativas, pois, quando devidamente calibrada, fornece um método para determinar a distância a estruturas da Via Láctea e a outras galáxias que contêm cefeidas clássicas [3].

O termo vela padrão é muitas vezes usado para designar astros cuja luminosidade é bem estabelecida, permitindo que sua distância seja calculada a partir da medida de seu brilho. O brilho está associado ao fluxo radiante, dado pela quantidade de energia luminosa, abrangendo todos os compri-

mentos de onda, que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da luz por unidade de tempo [4]. Se duas fontes de luz possuem luminosidades idênticas, aquela que estiver mais distante do observador será vista com um brilho mais fraco.

Para uma fonte puntiforme cuja luz se propaga sem ser espalhada ou absorvida, pode-se considerar que, a uma distância r , a energia emitida se distribui uniformemente sobre uma superfície esférica de área $4\pi r^2$. Nestas condições, deduz-se que o fluxo radiante F decresce de acordo com uma lei do inverso do quadrado da distância, relacionando-se com a luminosidade L por meio da equação $F = L/4\pi r^2$ [4]. Desse modo, medindo-se o brilho de uma cefeida clássica a partir da Terra, torna-se factível, em princípio, calcular a distância a que ela se encontra, caso sua luminosidade seja conhecida.

A possibilidade de utilizar as cefeidas clássicas enquanto velas padrão abriu caminho para novos progressos na cosmologia observacional. Por serem muito luminosas, as cefeidas clássicas podem ser vistas mesmo em outras galáxias. Isto permitiu a Edwin Powell Hubble (1889–1953) estimar a distância até Andrômeda aplicando a relação período-luminosidade descoberta por Leavitt e calibrada por Harlow Shapley (1885–1972). Na época, ainda era debatido se objetos celestes similares a Andrômeda integravam ou não a Via Láctea, e o resultado de Hubble, publicado em 1925, foi decisivo para a aceitação da ideia de que existiam outras galáxias além da nossa, situadas a imensas distâncias [5].

Dispondo dos valores das velocidades de afastamento de diversas galáxias em relação à Terra, medidas por meio da análise do desvio para o vermelho (*redshift*) de suas linhas espectrais, e empregando novamente a relação período-luminosidade para encontrar distâncias, Hubble chegou a outra descoberta marcante. Em 1929, ele verificou a existência de uma relação linear entre as velocidades de recessão das galáxias (v) e suas distâncias à Terra (d), que passou a ser conhecida como lei de Hubble-Lemaître. Essa lei costuma ser expressa na forma $v = H_0 d$, em que H_0 é a chamada constante de Hubble. Com base nessa lei e em análises teóricas, os cosmólogos concluíram que o universo estava em expansão [5].

As cefeidas clássicas também tiveram um papel importante na determinação de H_0 , que, de

acordo com o modelo cosmológico padrão, fornece a rapidez com a qual o universo está se expandindo atualmente. Essa constante está envolvida nos cálculos de diversas grandezas cosmológicas, tais como a idade e o tamanho do universo observável [6].

A medição direta de H_0 com maior exatidão demanda, dentre outros aspectos, a obtenção de distâncias até galáxias mais remotas, cujo movimento devido à expansão do universo predomina em relação a outros tipos de deslocamento [6].

Com este propósito, pode-se inicialmente observar cefeidas clássicas em um grupo de galáxias mais próximas, usar a relação período-luminosidade para calcular o quão afastadas elas se encontram e, com esta informação, calibrar outros indicadores de distância, dentre os quais sobressaem as supernovas do tipo Ia [6].

Por se originar de uma explosão estelar extremamente energética, uma supernova pode ser enxergada em galáxias muito distantes. Nas supernovas do tipo Ia, resultantes da detonação de estrelas anãs brancas, a luminosidade alcança um valor máximo que não difere muito de um caso para outro e, além disso, pode ser correlacionada com sua taxa de declínio após o pico, tornando tais objetos celestes excelentes velas padrão [3].

Os indicadores de distância secundários, calibrados a partir das cefeidas clássicas, facultam então estabelecer distâncias até galáxias mais longínquas. Esses dados, analisados em conjunto com as velocidades de recessão das galáxias derivadas de seu desvio para o vermelho, permitem revelar o valor da constante de Hubble [6].

A primeira medição precisa de H_0 , que contou com o auxílio do Telescópio Espacial Hubble para observar cefeidas clássicas, foi realizada pela equipe liderada por Wendy Laurel Freedman (1957-) e teve seu resultado divulgado em 2001 [6, 7].

Tendo em vista a relevância do trabalho original de Leavitt e suas aplicações, apresenta-se, a seguir, uma tradução do inglês para o português do artigo contendo a primeira formulação precisa da relação período-luminosidade [8], publicado em 1912. Embora o artigo tenha sido assinado por Edward Charles Pickering (1846–1919), diretor do Observatório da Faculdade de Harvard, ele reconheceu no texto que o trabalho havia sido de fato desenvolvido por Leavitt.

Sobre o autor

Daniel Iria Machado (imachadodaniel23@gmail.com) é bacharel em Física, Mestre em Educação e Doutor em Educação para a Ciência. É professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) no *campus* de Foz do Iguaçu. Atua na área da educação em ciências, com foco principal no campo da educação em astronomia. Desenvolve projetos de extensão dedicados ao ensino e à divulgação da astronomia. Participou de pesquisas em astronomia observando ocultações estelares, fenômenos mútuos das luas galileanas de Júpiter e aproximações mútuas desses satélites.

Referências

- [1] D. Sobel, *The glass universe: how the ladies of the Harvard Observatory took the measure of the stars* (Viking, New York, 2016).
- [2] C. Sterken e C. Jaschek (eds.), *Light curves of variable stars: a pictorial atlas* (Cambridge University Press, Cambridge, 2005).
- [3] J. Percy, *Understanding variable stars* (Cambridge University Press, Cambridge, 2007).
- [4] B. W. Carroll e D. A. Ostlie, *An introduction to modern astrophysics* (Pearson Addison-Wesley, San Francisco, 2007), 2 ed.
- [5] H. Kragh, *Conceptions of cosmos: from myths to the accelerating universe : a history of cosmology* (Oxford University Press, Oxford New York, 2007).
- [6] W. L. Freedman, B. F. Madore et al., *Final results from the Hubble Space Telescope key project to measure the Hubble constant*, *The Astrophysical Journal* **553**(1), 47 (2001).
- [7] A. Liddle, *An introduction to modern cosmology* (Wiley, Chichester, 2003).
- [8] J. D. Fernie, *The period-luminosity relation: A historical review*, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **81**, 707 (1969).

Períodos de 25 estrelas variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães¹

O relatório seguinte considerando os períodos de 25 estrelas variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães foi preparado pela Senhorita Leavitt.

Um Catálogo de 1777 estrelas variáveis nas duas Nuvens de Magalhães é fornecido em H.A. 60, No. 4.² A medição e discussão desses objetos apresenta problemas de dificuldade incomum, devido à grande área coberta pelas duas regiões, à distribuição extremamente abarrotada das estrelas nelas contidas, à tenuidade das variáveis e à curta duração de seus períodos. Visto que muitas delas nunca se tornam mais brilhantes do que a décima quinta magnitude, enquanto muito poucas excedem a décima terceira magnitude no máximo,³ longas exposições são necessárias e o número de fotografias disponíveis é pequeno. Pode ser que a determinação das magnitudes absolutas para sequências de estrelas de comparação amplamente separadas, com este grau de tenuidade, não seja completada satisfatoriamente por mais algum tempo. Com a adoção de uma escala absoluta de magnitudes para estrelas na Sequência Polar Norte,⁴ entretanto, o caminho está aberto para tal determinação.

Cinquenta e nove das variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães foram medidas em 1904,

¹Nota do tradutor: O título original do artigo é *Periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud*, publicado nas páginas de 1 a 3, do volume 173, do periódico Harvard College Observatory Circular, em março de 1912.

²Nota do tradutor: O trabalho citado, intitulado *1777 variables in the Magellanic Clouds*, foi publicado por Leavitt no volume 60, número 4, do periódico *Annals of Harvard College Observatory*, em 1908.

³Nota do tradutor: No sistema usado em astronomia para a medição do brilho das estrelas, as mais brilhantes possuem magnitude menor do que as mais tênues. A escala de magnitudes foi definida de tal modo que uma estrela de magnitude m é 100 vezes mais brilhante do que outra de magnitude $m+5$. A magnitude aparente das estrelas mais tênues visíveis a olho nu é da ordem de 6.

⁴Nota do tradutor: A Sequência Polar Norte constitui um grupo de estrelas situadas nas vizinhanças do Polo Celeste Norte (PCN), selecionadas para servir de padrão na medição de magnitudes estelares. Em fevereiro de 1912, as magnitudes aparentes fotográficas de 96 estrelas padrão próximas do PCN foram divulgadas por Pickering no volume 170 da *Harvard College Observatory Circular*, em um trabalho que contou com a colaboração de Leavitt. Este conjunto englobava estrelas com magnitudes aparentes fotográficas entre 2,71 e 21,00.

usando uma escala de magnitudes provisória, e os períodos de dezessete delas foram publicados em H.A. 60, No. 4, Tabela VI. Elas se parecem com as variáveis encontradas em aglomerados globulares,⁵ diminuindo lentamente de brilho, permanecendo próximo do mínimo pela maior parte do tempo e aumentando muito rapidamente para um breve máximo. A Tabela 1 fornece todos os períodos que foram determinados até agora, em número de 25, dispostos na ordem de sua duração. As cinco primeiras colunas contêm o Número de Harvard, o brilho no máximo e no mínimo conforme lido da curva de luz,⁶ a época⁷ expressa em dias após D.J. 2.410.000⁸ e a duração do período expressada em dias. Os Números de Harvard na primeira coluna estão colocados em itálico quando o período não foi publicado até o presente momento. Uma relação notável entre o brilho destas variáveis e a duração de seus períodos será observada. Em H.A. 60, No. 4, chamou-se a atenção para o fato de que as variáveis mais brilhantes têm os períodos mais longos, porém naquela época considerou-se que a quantidade era muito pequena para garantir a obtenção de conclusões gerais. Os períodos de 8 variáveis adicionais que foram determinados desde aquela época, entretanto, conformam-se à mesma lei.

A relação é mostrada graficamente na Figura 1, na qual as abcissas são iguais aos períodos, expressados em dias, e as ordenadas são iguais às magnitudes correspondentes no máximo e no mínimo. As duas curvas resultantes, uma para o máximo e outra para o mínimo, são surpreendentemente suaves e de forma notável. Na Figura 2, as abcissas são iguais aos logaritmos dos períodos e as ordenadas iguais às magnitudes correspondentes, como na Figura 1. Uma reta pode prontamente ser traçada no meio de cada uma das duas séries de pontos correspondentes ao máximo

⁵Nota do tradutor: As variáveis do tipo RR Lyrae são estrelas pulsáteis em geral numerosas em aglomerados globulares. As variáveis dessa classe possuem períodos mais curtos e são menos luminosas do que as cefeidas clássicas.

⁶Nota do tradutor: A curva de luz é um gráfico do brilho de um astro em função do tempo.

⁷Nota do tradutor: A época é um instante de referência, indicando aqui o momento em que a estrela variável alcançou o brilho máximo em seu ciclo.

⁸Nota do tradutor: A data juliana (D.J.) é utilizada em astronomia para contar os dias continuamente, a partir do meio-dia do tempo universal de 1º de janeiro de 4713 a.C. do calendário juliano. Desse modo, D.J. 2.410.000 corresponde às 12h do tempo universal de 3 de abril de 1886.

Tabela 1: Períodos de estrelas variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães

H.	Máx.	Min.	Época	Período	Res. <i>M</i>	Res. <i>m</i>	H.	Máx.	Min.	Época	Período	Res. <i>M</i>	Res. <i>m</i>
			d.	d.						d.	d.		
1505	14,8	16,1	0,02	1,25336	-0,6	-0,5	1400	14,1	14,8	4,0	6,650	+0,2	-0,3
1436	14,8	16,4	0,02	1,6637	-0,3	+0,1	1355	14,0	14,8	4,8	7,483	+0,2	-0,2
1446	14,8	16,4	1,38	1,7620	-0,3	+0,1	1374	13,9	15,2	6,0	8,397	+0,2	-0,3
1506	15,1	16,3	1,08	1,87502	+0,1	+0,1	818	13,6	14,7	4,0	10,336	0,0	0,0
1413	14,7	15,6	0,35	2,17352	-0,2	-0,5	1610	13,4	14,6	11,0	11,645	0,0	0,0
1460	14,4	15,7	0,00	2,913	-0,3	-0,1	1365	13,8	14,8	9,6	12,417	+0,4	+0,2
1422	14,7	15,9	0,6	3,501	+0,2	+0,2	1351	13,4	14,4	4,0	13,08	+0,1	-0,1
842	14,6	16,1	2,61	4,2897	+0,3	+0,6	827	13,4	14,3	11,6	13,47	+0,1	-0,2
1425	14,3	15,3	2,8	4,547	0,0	-0,1	822	13,0	14,6	13,0	16,75	-0,1	+0,3
1742	14,3	15,5	0,95	4,9866	+0,1	+0,2	823	12,2	14,1	2,9	31,94	-0,3	+0,4
1646	14,4	15,4	4,30	5,311	+0,3	+0,1	824	11,4	12,8	4	65,8	-0,4	-0,2
1649	14,3	15,2	5,05	5,323	+0,2	-0,1	821	11,2	12,1	97	127,0	-0,1	-0,4
1492	13,8	14,8	0,6	6,2926	-0,2	-0,4							

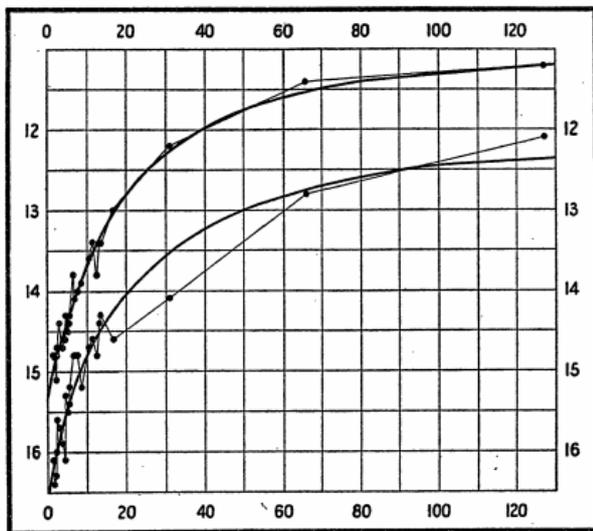


Fig. 1.

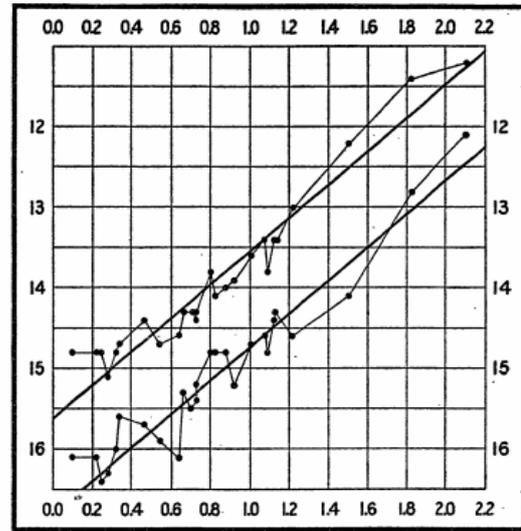


Fig. 2.

e ao mínimo, mostrando assim que há uma relação simples entre o brilho das variáveis e seus períodos. O logaritmo do período aumenta de aproximadamente 0,48 para cada aumento de uma magnitude no brilho.⁹ Os resíduos do máximo e do mínimo de cada estrela em relação às linhas na Figura 2 são dadas na sexta e sétima colunas da Tabela 1. É possível que os desvios em relação a uma reta se tornem menores quando uma escala absoluta de magnitudes for usada, e eles podem até mesmo indicar as correções que precisam ser aplicadas à escala provisória. Deve-se notar que a variação média, tanto para estrelas brilhantes quanto para tênues, é de cerca de 1,2 magnitudes. Visto que as variáveis estão provavelmente a quase a mesma distância da Terra, seus períodos estão aparentemente associados com sua real

⁹Nota do tradutor: Sendo P o período da cefeida clássica e m sua magnitude aparente no máximo (ou no mínimo), a relação encontrada por Leavitt pode ser escrita na forma $\log P + 0,48 m = \text{constante}$.

emissão de luz,¹⁰ conforme determinado por sua massa, densidade e brilho superficial.

A tenuidade das variáveis nas Nuvens de Magalhães parece impedir o estudo de seus espectros com nossos atuais recursos. Diversas variáveis brilhantes possuem curvas de luz similares, como UY Cygni, e devem recompensar um estudo cuidadoso.¹¹ A classe espectral deve ser determinada para tantos objetos semelhantes a estes quanto possível. É de se esperar também que as paralaxes de algumas variáveis desse tipo sejam medidas.¹² Duas questões fundamentais sobre as

¹⁰Nota do tradutor: A expressão “real emissão de luz” pode aqui ser entendida como a luminosidade da estrela. Esta conclusão indicou o caminho para a utilização das cefeidas clássicas na determinação de distâncias.

¹¹Nota do tradutor: A estrela UY Cygni é uma variável do tipo RR Lyrae.

¹²Nota do tradutor: A mensuração das paralaxes de algumas cefeidas clássicas tornaria possível descobrir o quão afastadas tais estrelas estavam. Conhecendo-se também os brilhos dessas cefeidas clássicas, por meio de observações

quais luz poderá ser lançada por tais investigações são se há limites definidos para a massa de estrelas variáveis do tipo aglomerado¹³ e se os espectros de tais variáveis possuindo períodos lon-

feitas a partir da Terra, a lei do inverso do quadrado da distância para a luz levaria ao valor das luminosidades de tais estrelas. Desse modo, a relação período-luminosidade poderia ser calibrada, para que fosse útil na determinação de distâncias a outras cefeidas clássicas. Uma primeira tentativa de calibrar a relação período-luminosidade foi realizada por Ejnar Hertzsprung (1873–1967), analisando um grupo de 13 cefeidas da Via Láctea. Hertzsprung foi capaz então de utilizá-la para obter uma estimativa inicial, ainda imprecisa, da distância até a Pequena Nuvem de Magalhães. Os resultados de Hertzsprung foram publicados no volume 196 da revista *Astronomische Nachrichten*, em novembro de 1913.

¹³Nota do tradutor: As estrelas RR Lyrae costumavam ser denominadas variáveis do tipo aglomerado ou variáveis de aglomerado.

gos diferem daqueles de variáveis cujos períodos são curtos.

Os fatos conhecidos a respeito destas 25 variáveis sugerem muitas outras questões quanto à distribuição, relações com aglomerados de estrelas e nebulosas, diferenças nas formas das curvas de luz e os limites extremos da duração dos períodos. Espera-se que o estudo sistemático das mudanças da luz de todas as variáveis – em número de quase duas mil – nas duas Nuvens de Magalhães possa em breve ser empreendido neste Observatório.

EDWARD C. PICKERING.

3 de março de 1912.