

BETA DORADUS, L CARINAE E U CARINAE

TRÊS VARIÁVEIS CEFEIDAS AUSTRALS

Claudio Brasil Leitão Jr. e Tasso Augusto Napoleão

ABSTRACT

This study is based on observational data from three REA projects on variable stars: light curves of Beta Doradus, L Carinae and U Carinae. The three stars are among the brightest cepheids of the southern hemisphere. A total of 270 magnitudes estimates made by REA members were collected and processed on microcomputer. From the average light curve, physical parameters of the three stars were calculated and compared to results found in astronomical literature. This reduction included calculation of distance, absolute magnitude luminosity, mass, average radius, density, effective temperature, color index and the pulsation constants for the three cepheids.

1. SUMÁRIO.

Este projeto se refere aos projetos de observação da REA de números 03/88 (Beta Doradus), 05/88 (L Carinae) e 07/88 (U Carinae). Estas três variáveis estão entre as cefeidas mais brilhantes do hemisfério austral. Durante o primeiro semestre de 1988, as três foram observadas pelos associados da REA, obtendo-se um total de 270 estimativas de magnitude. Estes dados brutos foram processados em microcomputador, procurando-se obter uma curva de luz composta. As dificuldades na consolidação das estimativas de diferentes observadores são comentadas.

Uma vez obtida a curva de luz média, foram calculados diversos parâmetros físicos das três estrelas, com base na relação período-luminosidade e em equações empíricas disponíveis na literatura. Dessa forma, podemos obter para cada variável os valores de distância, magnitude absoluta, luminosidade, massa, raio médio, volume, densidade, temperatura efetiva, índice de cor e constante de pulsação.

Comentários sobre a ordem de grandeza dos resultados obtidos encerram presente artigo.

2. TRABALHOS OBSERVACIONAIS.

Como mencionamos, foram efetuadas no conjunto, 270 estimativas de magnitude para as três cefeidas durante o período Dezembro-87 a Julho-88. Nove associados da REA participaram dos projetos, de forma geral. A distribuição do número de estimativas por observador é vista a seguir:

OBSERVADOR	L CARINAE	BETA DORADUS	U CARINAE
Andre L. da Silva	32	17	41
Antonio Padilla F.	17	—	—
Carlos A. Colesanti	9	7	7
Claudio B. Leitão Jr.	3	—	—
Edvaldo Trevisan	6	—	6
Luiz E. Castro	1	—	—
Marcos F. Lara	21	14	—
Reinaldo Dotore	7	—	4
Tasso A. Napoleão	27	27	24

As estimativas foram realizadas pelo método de Pickering, utilizando-se a Ficha Padrão de Estrelas Variáveis da REA. Os dados brutos foram então armazenados, via microcomputador, no Banco de Dados da REA. As listagens com essas estimativas (assim como ocorre com qualquer programa da REA) estão disponíveis para todos os associados; não iremos reproduzi-los nesse texto por este motivo.

3. REDUÇÕES INICIAIS.

A partir das listagens, foi desenvolvido um “software” que calculava a data Juliana de cada observação (com precisão de duas decimais) e também a fase do ciclo correspondente. Para essa etapa intermediária, foram considerados os dados do “General Catalogue of Variable Stars” de B.V.Kukarkin et al (Moscou, 1968). A seguir, o mesmo “software” plotava a curva de luz consolidada para todos os observadores. Após construídas as curvas, notamos existirem discrepâncias entre estimativas diversas (de observadores diferentes), geralmente da ordem de até 0.3 magnitudes. Essa defasagem - que seria menos significativa em variáveis de longo período ou semi-regulares - assume proporções mais críticas em se tratando de cefeidas, que possuem tanto a amplitude de variação como o período muito mais curtos. Boa parte das discrepâncias se deve ao fato de que diversos observadores serem ainda pouco experientes na estimativa de variáveis - e assim fatores subjetivos assumem maior relevância. O aperfeiçoamento aqui dependerá principalmente da prática, e do uso de algumas recomendações, como as citadas por A. Padilla Filho no artigo “Aspectos gerais sobre a observação de variáveis” publicado no presente Reporte. A REA continuará fornecendo esse suporte.

Optamos então, em seguida, por segmentar as estimativas por observador, obtendo-se para cada um deles a correspondente curva de luz e seus parâmetros (magnitudes no máximo e mínimo, e período). Aqui também foram usados os dados reduzidos, ou “fasados”. Evidentemente os resultados foram bem mais consistentes, permitindo a determinação dos parâmetros citados com razoável precisão.

Finalmente, no último passo, foram calculadas as médias dos dados dos diversos observadores considerados. Esses dados compostos, vistos no item seguinte, foram então usados na determinação dos parâmetros físicos de cada variável.

4. CURVA DE LUZ.

4.1. L CARINAE

A figura 1 demonstra quatro curvas de luz “fasadas” obtidas pelos associados da REA: A.L.da Silva, A. Padilla Filho, M.F. Lara e T.A. Napoleão. (Diversos outros observadores remeteram dados, porém em número insuficiente para uma curva completa).

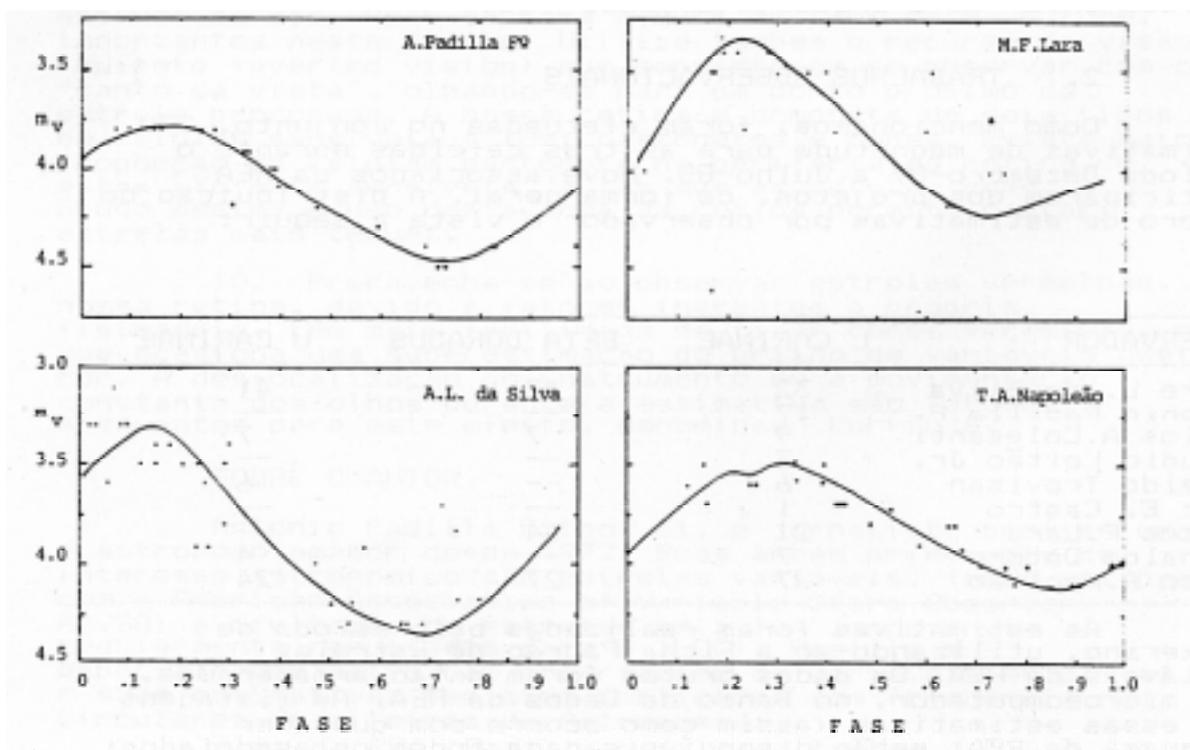


Fig. 1 - Curvas de luz de L Carinae

O formato geral da curva é consistente com o que seria de se esperar pela relação de Hertzsprung para cefeidas com período dessa ordem: nota-se distintamente que a ascensão do brilho ao máximo é mais rápida que o declínio.

Os parâmetros médios da estrela, extraídos da curva de luz, foram:

- Magnitude aparente (máximo): 3.4
- Magnitude aparente (mínimo): 4.3
- Período: 35.5 dias

4.1. BETA DORADUS

A figura 2 demonstra duas curvas de luz “fasadas”, obtidas por associados da REA (A.L. da Silva e T.A. Napoleão). Valem os mesmos comentários feitos no item anterior quanto aos demais observadores.

O duplo máximo observado nas curvas de luz é consistente com o que se deve esperar, pela relação de Hertzsprung, para cefeidas com períodos próximos a dez dias.

O período (como no caso da estrela anterior) é obtido graficamente, pelo método das cordas bi-seccionadas de Pogson. Resultaram os seguintes valores médios para os parâmetros de Beta Doradus:

- Magnitude aparente (máximo): 3.5
- Magnitude aparente (mínimo): 4.1
- Período: 9.9 dias

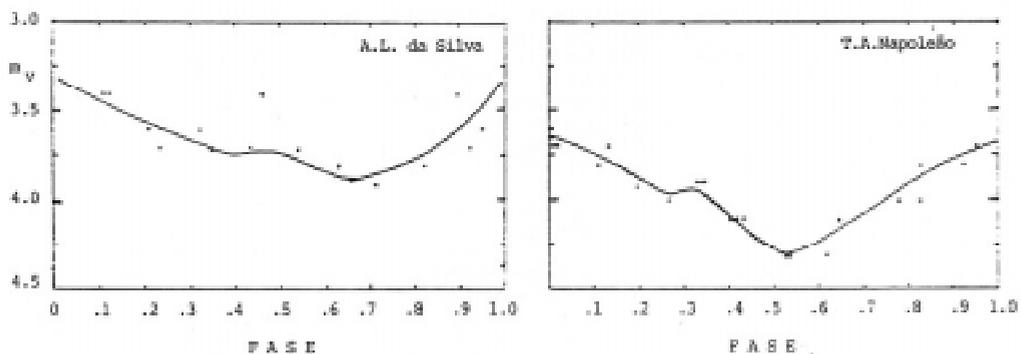


Fig. 2 - Curvas de luz para Beta Doradus

4.1. U CARINAE.

A figura 3 representa duas curvas de luz “fasadas”, obtidas por T.A. Napoleão e A.L. da Silva. Também neste caso, diversos outros observadores nos remeteram estimativas dispersas. No caso de U Carinae foi obtida a menor dispersão entre os observadores.

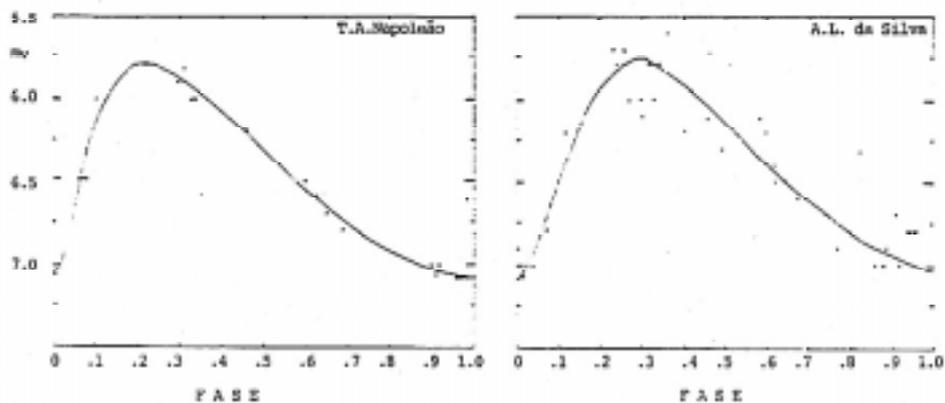


Fig. 3 - Curvas de luz para U Carinae

O formato geral é novamente bem típico, notando-se a rápida ascensão ao máximo. Os seguintes valores médios foram obtidos para U Carinae:

- Magnitude aparente (máximo): 5.7
- Magnitude aparente (mínimo): 7.1
- Período: 39.0 dias

5. CÁLCULO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DAS TRÊS ESTRELAS.

Sabemos, desde 1912, pelos trabalhos de Henrietta Leavitt com as cefeidas das nuvens de Magalhães, que esta classe de variáveis apresenta relação marcada entre o período e a luminosidade - o que as torna especialmente úteis como indicadores de distância. Uma vez conhecida esta última, grande parte dos parâmetros físicos pode ser determinada com boa aproximação, usando-se equações simples e empíricas.

Existem, na literatura astronômica, numerosas dessas equações obtidas através de trabalhos observacionais. Poderíamos citar como exemplo as equações de Jaschek e Jaschek, utilizadas por L.A.L. da Silva para Beta Doradus (LIADA, Universo 4, n. 15, 1984), ou a relação período-luminosidade dada por W.J. Maciel (Binárias e Variáveis, IAG/USP, 1978). Para este trabalho, no entanto, escolhemos, por sua abrangência, as equações dadas por Kraft, Sandage e Fernie/Wesselink, obtidas das obras citadas nas referências, notadamente as de Strohmeier (Variable Stars, 1972), Pel/Madore (Cepheids - Theory and Observation, 1985) e Efremov (Pulsating Stars, 1970). Os efeitos da extinção atmosférica e da absorção interestelar foram desconsiderados - o que, naturalmente, é uma fonte de erro, embora não muito significativo em função da própria imprecisão da fotometria visual.

5.1. MAGNITUDES ABSOLUTAS.

Utilizaremos a relação período-luminosidade na forma dada por Kraft (1961):

$$M_v = -1.67 - 2.54 \log P$$

Nesta equação, P representa o período em dias e M_v a magnitude absoluta (visual).

Aplicando os valores obtidos na observação, temos:

- L Carinae (P = 35.5 d) : $M_v = -5.6$
- Beta Doradus (P = 9.9 d): $M_v = -4.2$
- U Carinae (P = 39.0 d): $M_v = -5.7$

5.2. LUMINOSIDADES.

Podem ser calculadas utilizando-se a equação de Pogson, tomando o Sol como padrão ($M_o = 4.8$ para o Sol):

$$M_o - M = 2.5 \log L/L_o$$

Utilizando as magnitudes absolutas calculadas no item anterior, vemos:

- L Carinae: $L = 14\,454 L_o$
- Beta Doradus: $L = 3\,981 L_o$
- U Carinae: $L = 15\,848 L_o$

Chamamos a atenção para esses valores: as três estrelas são supergigantes muito luminosas, como em geral são as cefeidas. Em particular, L Carinae ou U Carinae (com luminosidades da ordem de 15 mil vezes a solar), se colocadas à distância de Alfa Centauri, apresentariam magnitudes aparentes em torno de -10, iluminando o céu noturno mais ou menos como a lua crescente.

5.3. DISTÂNCIAS.

Uma vez determinada a magnitude absoluta pela relação período-luminosidade, o cálculo da distância é facilmente efetuado através da equação do módulo da distância:

$$m - M = 5 \log D - 5$$

Substituindo-se para as três estrelas os valores de m (observados) e M (calculados em 5.1), obtemos:

- L Carinae: $D = 630$ parsecs ou 2056 anos-luz
- Beta Doradus: $D = 347$ parsecs ou 1130 anos-luz
- U Carinae: $D = 1905$ parsecs ou 6211 anos-luz

5.4. MASSAS.

Utilizamos nesse caso a relação massa-luminosidade para cefeidas clássicas obtida por A. Sandage (1958):

$$\log M/M_0 = -0.220 + 0.304 \log L/L_0$$

Substituindo-se os valores de L calculados acima, e lembrando que $L_0 = 3.9 \times 10^{33}$ ergs/s e que a massa solar é de 2×10^{33} g, obtemos:

- L Carinae: $M = 11.1$ massas solares = 2.2×10^{34} g
- Beta Doradus: $M = 7.5$ massas solares = 1.5×10^{34} g
- U Carinae: $M = 11.4$ massas solares = 2.3×10^{34} g

5.5. RAIOS MÉDIOS.

O raio médio de cada estrela é encontrado pela equação de Fernie-Wesselink (1961):

$$\log R/R_0 = 1.33 + 0.50 \log P$$

Utilizando os períodos determinados observacionalmente e lembrando que o raio solar é de 6.96×10^5 km, teremos:

- L Carinae: $R = 127.4 R_0 = 88.7$ milhões de km
- Beta Doradus: $R = 67.3 R_0 = 46.8$ milhões de km
- U Carinae: $R = 133.5 R_0 = 92.9$ milhões de km

Para visualizar melhor essas dimensões, basta recordar que as distâncias médias de Mercúrio e de Vênus ao Sol são de respectivamente 57.9 e 108.2 milhões de km.

5.6. VOLUMES.

Admitindo as estrelas perfeitamente esféricas, o volume é calculado por:

$$V = 4/3 \pi R^3$$

Substituindo os valores dos raios médios encontrados no item 5.5, obtemos:

- L Carinae: $V = 2.9 \times 10^{39}$ cm cúbicos = 2.068.000 volumes solares
- Beta Doradus: $V = 4.3 \times 10^{38}$ cm cúbicos = 305.000 volumes solares
- U Carinae: $V = 3.4 \times 10^{39}$ cm = 2.380.000 volumes solares

5.7. DENSIDADES.

O cálculo aqui é imediato, bastando lembrar que:

$$\rho = M / V$$

Utilizando as massas e os volumes calculados em 5.4 e 5.6, encontramos:

- L Carinae: $\rho = 7.6 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$
- Beta Doradus: $\rho = 3.5 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$
- U Carinae: $\rho = 6.8 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$

5.8. ÍNDICE DE COR.

No início da década de 50, Eggert classificou fotometricamente as cefeidas em dois grupos: as do tipo C ou “azuis”, que possuem período mais curto; e as do tipo A/B, ou “vermelhas”, de mais longo período. Não iremos nos detalhar mais aqui, bastando mencionar que a relação período-cor pode ser expressa pela equação:

$$(B - V) \text{ médio} = 0.30 \log P + K$$

O valor de K corresponde a 0.33 para as cefeidas “tipo C” e a 0.40 para cefeidas “tipos A/B”. Em nosso caso, apenas Beta Doradus pode ser classificada como “tipo C”, sendo as demais enquadradas na outra classe. Dessa forma a aplicação da relação período-cor nos fornece:

- L Carinae: $(B - V) = 0.86$
- Beta Doradus: $(B - V) = 0.63$
- U Carinae: $(B - V) = 0.88$

5.9. TEMPERATURA EFETIVA.

Podemos utilizar com razoável aproximação a teoria do corpo negro para a determinação da temperatura efetiva média. Usaremos portanto a equação:

$$L = 4 \pi \sigma R^2 T^4$$

Nesta equação, L e R foram determinados respectivamente nos itens 5.2 e 5.5, e σ é a constante de Stefan - Boltzmann. Resolvendo portanto a equação em T para as três variáveis, temos:

- L Carinae: $T = 5616^\circ \text{ Kelvin}$
- Beta Doradus: $T = 5598^\circ \text{ Kelvin}$
- U Carinae: $T = 5614^\circ \text{ Kelvin}$

É interessante notar que esses valores nos dão somente uma ordem de grandeza, visto que evidentemente a temperatura varia durante o ciclo e a precisão de grau é na verdade irrelevante.

5.10. CONSTANTE DE PULSAÇÃO.

A última relação fundamental para as cefeidas - a relação período-densidade pode ser escrita na forma derivada por Sandage e Gratton (1963):

$$\log P + 0.293 Mv - 0.602 (B-V) - 0.838 = \log Q$$

Nesta equação, P é o período, determinado observacionalmente, Mv é a magnitude absoluta (item 5.1.), (B-V) é o índice de cor (item 5.8), e Q representa a constante de pulsação, que desejamos determinar. Aplicando a relação acima, temos:

- L Carinae: $Q = 0.071$
- Beta Doradus: $Q = 0.059$
- U Carinae: $Q = 0.072$

6. REFERÊNCIAS.

- (1) BURKI, G. - Radius Determination for Nine Short Period Cepheids (IAU Colloquium 82, 1985).
- (2) EFREMOV, Y. - Classical Cepheids (em Pulsating Stars, B. V. Kukarkin, ed, 1970)

- (3) GIEREN, W. - Surface Brightness Radii and Distances of Cepheids and the Period - Radius Relationship (IAU Colloquium, 1985).
- (4) HOFFMEISTER, C., et al - Variable Stars, Springer - Verlag, 1985
- (5) KUKARKIN, B. V. et al - General Catalogue of Variable Stars, Moscou, 1968
- (6) PEL, J. W. - Fundamental Parameters of Cepheids (em Cepheids - Theory and Observation, B. Madore, ed. 1985)
- (7) REA - Rede de Astronomia Observacional - Projetos de Observação números 03/88, 05/88 e 07/88
- (8) STROHMEIER, W. - Variable Stars, 1972