

ESTRELAS VARIÁVEIS NO CONTEXTO EDUCACIONAL: UMA PROPOSTA ENVOLVENDO A OBSERVAÇÃO DE CEFEIDAS CLÁSSICAS NO ENSINO MÉDIO

*Daniel Iria Machado*¹

Resumo: Apresenta-se uma proposta didática para o ensino de Astronomia por meio da observação de estrelas variáveis, cujo brilho se altera com o passar do tempo. Aborda-se, em particular, o monitoramento de cefeidas clássicas, as quais exibem modificações regulares na intensidade da luz emitida em razão de efetuarem pulsações periódicas, com seu raio aumentando e diminuindo de maneira cíclica. Discute-se a relação existente entre o período de oscilação e a luminosidade de uma cefeida clássica, mostrando como esta propriedade faculta a determinação do quão afastada a estrela se encontra. Salienta-se a importância histórica e atual da observação de cefeidas clássicas para se estimar distâncias no Universo, com implicações para a formulação de modelos cosmológicos. Descreve-se uma sequência didática relacionada ao tema, estruturada em três momentos pedagógicos, englobando uma problematização inicial, a organização do conhecimento e a sistematização do conhecimento. Exemplifica-se esta proposta considerando-se o caso de ℓ Carinae, cefeida clássica suficientemente brilhante para ser investigada a olho nu. Busca-se evidenciar a possível contribuição de atividades observacionais para proporcionar contato com conceitos e técnicas da Astronomia e melhor compreensão de como a Ciência se desenvolve.

Palavras-chave: Estrelas variáveis; Cefeidas clássicas; Educação em Astronomia.

ESTRELLAS VARIABLES EN EL CONTEXTO EDUCACIONAL: UNA PROPUESTA INCLUYENDO LA OBSERVACIÓN DE CEFEIDAS CLÁSICAS EN LA ENSEÑANZA MEDIA

Resumen: Se presenta una propuesta didáctica para la enseñanza de Astronomía por medio de la observación de estrellas variables, cuyo brillo se altera con el tiempo. Tratamos aquí, en particular, el monitoreo de cefeidas clásicas, las cuales exhiben modificaciones regulares en la intensidad de la luz emitida en razón de efectuar pulsaciones periódicas, con su radio aumentando y disminuyendo de manera cíclica. Se discute la relación existente entre el período de oscilación y la luminosidad de una cefeida clásica, mostrando cómo esta propiedad faculta la determinación de cuán lejos se encuentra la estrella. Se destaca la importancia histórica y actual de la observación de cefeidas clásicas para estimar distancias en el Universo, con implicaciones para la formulación de modelos cosmológicos. Describimos una secuencia didáctica relacionada al tema, estructurada en tres momentos pedagógicos, englobando una problematización inicial, la organización del conocimiento y la sistematización del conocimiento. Se ejemplifica la propuesta teniendo en cuenta el caso de ℓ Carinae, cefeida clásica suficientemente brillante para ser investigada a simple vista. Se busca mostrar la posible contribución de actividades observacionales para proporcionar contacto con conceptos y técnicas de la Astronomía y una mejor comprensión de cómo la Ciencia se desarrolla.

Palabras clave: Estrellas variables; Cefeidas clásicas; Educación en Astronomía.

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, Brasil.
E-mail: imachadodaniel23@gmail.com.

VARIABLE STARS IN THE EDUCATIONAL CONTEXT: A PROPOSAL INVOLVING THE OBSERVATION OF CLASSICAL CEPHEIDS IN THE HIGH SCHOOL

Abstract: A pedagogical proposal is presented for teaching astronomy through the observation of variable stars, whose brightness change with the passage of time. In particular, this work addresses the monitoring of classical Cepheids, which exhibit regular changes in the intensity of the emitted light due to periodic pulsations, with their radius increasing and decreasing in a cyclic way. The relationship between the period of oscillation and the luminosity of a classical Cepheid is discussed, showing how this property allows for determining how distant the star is. The historical and current importance of the observation of classical Cepheids to estimate distances in the Universe is emphasized, with implications for the formulation of cosmological models. An educational sequence related to the theme is described, structured in three pedagogical moments, encompassing an initial problematization, the organization of knowledge and the systematization of knowledge. This proposal is exemplified considering the case of *l Carinae*, a classical Cepheid bright enough to be investigated with the naked eye. This paper also seeks to reveal the possible contribution of observational activities to provide contact with concepts and techniques of astronomy and a better understanding of how science develops.

Keywords: Variable stars; Classical Cepheids; Astronomy Education.

1 Introdução

Um objetivo importante da educação científica, além de facultar a assimilação de conteúdos específicos, é favorecer um melhor entendimento sobre as características básicas da Ciência, incluindo a maneira como é produzida e validada.

Tanto a observação dos fenômenos, quanto a experimentação, constituem aspectos marcantes das Ciências da Natureza, por serem procedimentos essenciais no processo de elaboração e testes de teorias.

Deste modo, a execução de práticas educacionais que demandam observações, coleta de dados e análise de informações poderia trazer contribuições não apenas para a aprendizagem das ideias científicas, mas ainda para a compreensão da natureza da Ciência. Tais ações permitem a exploração direta dos fenômenos, o contato com técnicas de investigação e o emprego de conceitos de uma teoria, possibilitando confrontá-la com a realidade em estudo.

A Astronomia, em particular, oferece diversas oportunidades para a realização de atividades pedagógicas de cunho observacional, seja com a utilização de instrumentos ópticos ou tão somente a olho nu, aproveitando um recurso naturalmente disponível e acessível: o céu.

No presente trabalho, discute-se uma proposta didática envolvendo a observação de estrelas variáveis, em particular as cefeidas clássicas, introduzindo-se conceitos e técnicas da Astronomia relevantes historicamente e também na atualidade.

2 Estrelas variáveis

Estrelas variáveis são aquelas cujo brilho se modifica ao longo do tempo. Constituem exemplos de variáveis as estrelas atualmente classificadas como novas ou supernovas, caracterizadas pelo intenso aumento de brilho em poucos dias, seguido de

um enfraquecimento gradual que pode durar de dias a meses. Tais objetos celestes vêm sendo registrados desde a Antiguidade. Um caso célebre foi o da supernova vista no ano 1054 por alguns astrônomos do Leste da Ásia, em uma região do céu onde hoje se encontra a denominada Nebulosa do Caranguejo, que contém os restos da estrela cuja formidável explosão produziu o evento luminoso observado (PERCY, 2007).

A detecção de novas estrelas no firmamento contribuiu para o debate sobre os modelos cosmológicos durante a Revolução Científica dos séculos XVI e XVII. De acordo com a visão de mundo tradicional vigente no Ocidente neste período, associada à teoria geocêntrica de Ptolomeu (100–170 d.C.) e às concepções filosóficas de Aristóteles (384–322 a.C.), o céu seria perfeito e imutável, com os astros realizando movimentos circulares. Entretanto, a investigação de uma supernova no ano 1572, na constelação de Cassiopeia, mostrou que mudanças poderiam ocorrer nos céus, e contribuiu para lançar dúvidas sobre o modelo de mundo dominante. Outra supernova muito brilhante foi observada não muito tempo depois, em 1604, na constelação de Ofiúco. O aparecimento de ambas as supernovas foi incorporado, em conjunto com outras evidências, na argumentação contra a cosmologia tradicional e em defesa da teoria heliocêntrica de Nicolau Copérnico (1573–1543)² (KRAGH, 2015; NORTH, 2008).

Enquanto algumas estrelas variáveis, a exemplo das supernovas, passam por uma elevação de brilho relativamente rápida, devido a uma erupção violenta, seguida de um declínio mais lento, outras estrelas exibem alterações cíclicas da intensidade luminosa, produzidas por diferentes mecanismos, dentre os quais pulsações regulares, eclipses em um sistema binário ou manchas na superfície de um astro em rotação. Vários processos são capazes ainda de desencadear flutuações irregulares de brilho, dentre os quais se destacam: liberações súbitas de energia na superfície das estrelas – na forma de *flares* – ou ejeções de matéria que acaba se condensando em nuvens de poeira e bloqueando a passagem da luz do astro (PERCY, 2007).

De acordo com John R. Percy (2007), a mudança na intensidade da luz das estrelas variáveis pode ser bastante reduzida, da ordem de algumas partes por milhão, ou alcançar valores elevados, com o aumento do brilho por um fator igual a mil ou ainda mais. Tal modificação pode ocorrer numa fração de segundos ou mesmo levar séculos para se realizar.

Certas estrelas variáveis são brilhantes o suficiente para que as alterações em seu brilho possam ser acompanhadas a olho nu, sem a necessidade do uso de equipamentos ópticos sofisticados. Neste tipo de monitoramento, destaca-se a *American Association of Variable Star Observers* (AAVSO), com sede nos Estados Unidos, que mantém um banco de dados acessível aos pesquisadores, com registros de milhões de observações feitas por mais de um século, tanto com o auxílio de instrumentos, quanto com a vista desarmada. No Brasil, a Rede de Astronomia Observacional (REA-Brasil) também se dedica a estas observações, com o intuito de contribuir para a pesquisa nesta área científica.

Vale destacar que o estudo da variabilidade pode propiciar o conhecimento de diversos atributos das estrelas. A análise de seu brilho faculta, a princípio, a mensuração

² Uma obra influente que apresenta tal discussão é o livro “Diálogos sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo”, de Galileu Galilei (1564–1642), publicado em 1632.

da escala de tempo em que a modificação da intensidade da luz ocorre e a amplitude desta mudança. Dependendo do tipo de estrela variável considerada e, em certos casos, da disponibilidade de dados observacionais complementares, em particular aqueles obtidos por espectroscopia, tais grandezas podem ser empregadas para deduzir parâmetros adicionais, dentre os quais: massa, raio, luminosidade e rotação. Por meio da elaboração de modelos teóricos capazes de reproduzir a variabilidade e outras características observadas, torna-se possível também realizar inferências sobre a estrutura, composição e processos físicos que se desenvolvem no interior do astro. Além disso, certas categorias de variáveis, notadamente as denominadas *cefeidas clássicas*, como será verificado adiante, possuem propriedades que as tornam essenciais na determinação de distâncias no Universo (PERCY, 2007).

2.1 Cefeidas clássicas

As cefeidas clássicas fazem parte do grupo das estrelas variáveis pulsantes. As oscilações de uma variável pulsátil podem ser divididas em radiais e não radiais. Em uma pulsação radial pura, mais simples e comum, a estrela conserva seu formato esférico, mas muda de volume, expandindo-se e contraindo-se periodicamente. Em oscilações não radiais, partes da estrela podem se mover em uma direção qualquer, efetuando deslocamentos não necessariamente paralelos ao raio vetor proveniente do centro da estrela (COX, 1980).

De acordo com Christiaan Sterken e Carlos Jaschek, as estrelas cefeidas clássicas efetuam pulsações radiais com período – tempo para completar um ciclo – bem delimitado em cada caso, tipicamente entre 1 e 50 dias, alcançando até cerca de 200 dias em alguns casos (STERKEN; JASCHEK, 2005).

A primeira cefeida descoberta, com período de 7,2 dias, foi η *Aquiliae*, na constelação da Águia, em 1784, por Edward Pigott (1753–1825). Pouco tempo depois, John Goodricke (1764–1786) identificou a variabilidade de δ *Cephei*, na constelação de Cefeu, que possui período de 5,4 dias e constitui o protótipo de uma cefeida clássica. Até meados de 1784, algumas novas e supernovas haviam sido documentadas, mas eram conhecidas apenas cinco estrelas com variações cíclicas de brilho (STERKEN; JASCHEK, 2005).

Segundo Sterken e Jaschek (2005), na nomenclatura moderna, as cefeidas clássicas são também denominadas variáveis δ *Cephei*, cefeidas do tipo I ou simplesmente cefeidas. Há outros tipos de estrelas cefeidas, com propriedades diferentes. As cefeidas clássicas são estrelas relativamente jovens (com idades em geral da ordem de dez a cem milhões de anos) e com massas bem superiores à do Sol (normalmente entre cinco e quinze massas solares). Estas estrelas variáveis distinguem-se, em particular, por apresentarem uma relação bem estabelecida entre o período de suas oscilações e sua luminosidade (STERKEN; JASCHEK, 2005).

Antes de discutir tal relação e suas implicações, serão definidas algumas grandezas relevantes para se compreender o processo de medição do brilho de um astro e a caracterização da luminosidade de uma estrela, com base na exposição feita por Carrol e Ostlie (2007).

2.2 Um sistema para a medição do brilho

Em Astronomia, a *luminosidade* é definida como a energia que uma estrela emite por unidade de tempo. O brilho, por sua vez, corresponde ao *fluxo radiante*, quantidade total de energia luminosa, englobando todos os comprimentos de onda, que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da luz, por unidade de tempo.

Supondo-se que a luz seja emitida por uma fonte puntiforme e não sofra absorção ou espalhamento durante sua propagação, pode-se considerar que, a uma distância r , a energia estará distribuída uniformemente sobre a superfície de uma esfera de área $4\pi r^2$. Isto permite relacionar a luminosidade L de uma estrela (propriedade intrínseca) com o fluxo radiante F por meio da equação:

$$F = \frac{L}{4\pi r^2} \quad (1)$$

conhecida como *lei do inverso do quadrado da distância para a luz*. Assim, quanto mais distante do observador se encontrar uma estrela, menor será o brilho medido.

Para expressar o brilho de um astro, utiliza-se comumente um sistema de magnitudes que se originou de um trabalho do astrônomo e matemático grego Hiparco (190–120 a.C.). Na escala numérica de Hiparco, as estrelas mais brilhantes do céu tinham magnitude aparente $m = 1$ e as estrelas mais fracas percebidas a olho nu possuíam magnitude aparente $m = 6$. Deste modo, um astro mais brilhante apresentava *menor* magnitude aparente do que outro de brilho mais fraco.

O sistema foi aperfeiçoado e, na definição moderna, se a diferença de magnitude entre dois objetos for igual a cinco, o mais brilhante terá fluxo radiante 100 vezes maior que o mais tênue. Assim, a diferença de uma única magnitude corresponderá a uma razão entre os fluxos radiantes de $100^{1/5} \approx 2,512$. A escala de magnitudes atual é mais extensa do que a original, incluindo desde o Sol, com $m = -26,83$ até objetos com $m = 30$ ou mais. Quando se leva em conta o fluxo radiante de todos os comprimentos de onda da luz, tem-se a chamada *magnitude bolométrica*. Pode-se definir também a *magnitude visual* V , ao se considerar apenas uma faixa bem determinada do espectro da luz, medindo-se com um filtro V centrado em 550 nm e com largura de banda efetiva de 89 nm, de maneira a se obter resultados similares aos possibilitados pelo olho humano.

Se uma estrela tem magnitude aparente m_1 e fluxo radiante F_1 , e outra magnitude aparente m_2 e fluxo radiante F_2 , pode-se escrever a razão entre os fluxos na forma:

$$\frac{F_2}{F_1} = 100^{(m_1 - m_2)/5} \quad (2)$$

e a diferença de magnitude como sendo:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_1}{F_2} \right) \quad (3)$$

Uma estrela muito luminosa pode parecer bastante fraca para um observador na Terra caso esteja muito afastada, enquanto outra não tão luminosa que, no entanto, se encontra mais próxima, pode parecer mais brilhante. Em razão disso, define-se também a *magnitude absoluta* M , que seria a magnitude aparente de uma estrela se ela estivesse a uma distância padrão de 10 parsecs³. Cotejar magnitudes absolutas equivale a comparar o brilho de duas estrelas situadas à mesma distância da Terra, implicando que a mais brilhante é de fato a mais luminosa. Assim, uma estrela com magnitude absoluta *menor* do que outra possuirá *maior* luminosidade.

A diferença entre a magnitude aparente m e a magnitude absoluta M de uma estrela, chamada de *módulo de distância*, pode ser expressa em função de sua distância d à Terra. De acordo com a equação (1), comentada anteriormente, uma estrela de luminosidade L terá, a uma distância d , um fluxo radiante F_1 dado por:

$$F_1 = \frac{L}{4\pi d^2} \quad (4)$$

e, a uma distância de 10 pc, um fluxo radiante F_2 fornecido por:

$$F_2 = \frac{L}{4\pi 10^2} \quad (5)$$

Substituindo-se as equações 4 e 5 na equação (3), e considerando-se $m_1 = m$ e $m_2 = M$, tem-se que:

$$m - M = -2,5 \log_{10} \left(\frac{\frac{L}{4\pi d^2}}{\frac{L}{4\pi 10^2}} \right) = -2,5 \log_{10} \left(\frac{10}{d} \right)^2 \quad (6)$$

$$m - M = 5 \log_{10} \left(\frac{d}{10} \right) \quad (7)$$

com a distância d da estrela à Terra em parsecs. A equação (7) faculta, por exemplo, determinar a magnitude absoluta de uma estrela caso sua magnitude aparente e distância sejam conhecidas.

Como será indicado a seguir, o módulo de distância pode ainda ser utilizado em conjunto com a relação período-luminosidade das cefeidas clássicas para a determinação de quão afastadas estas estrelas se encontram da Terra.

2.3 Relação período-luminosidade

A relação entre o período e a luminosidade das cefeidas clássicas foi encontrada em 1912 por Henrietta Swan Leavitt (1868–1921), em uma investigação referente a estrelas variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães, galáxia satélite da Via Láctea. Leavitt notou que cefeidas de maior brilho possuíam período mais longo e

³O parsec (pc) é uma unidade de medida astronômica que corresponde a $3,0856776 \times 10^{16}$ m. Em termos do ano-luz (ly), a distância percorrida pela luz no vácuo em um ano, tem-se que $1 \text{ pc} = 3,2615638 \text{ ly}$.

chegou a uma relação quantitativa entre estas grandezas (Figura 1). Assumindo que tais estrelas se situavam basicamente à mesma distância da Terra, concluiu que seus períodos estavam correlacionados à taxa com que de fato emitiam luz, ou seja, suas luminosidades (PICKERING, 1912).

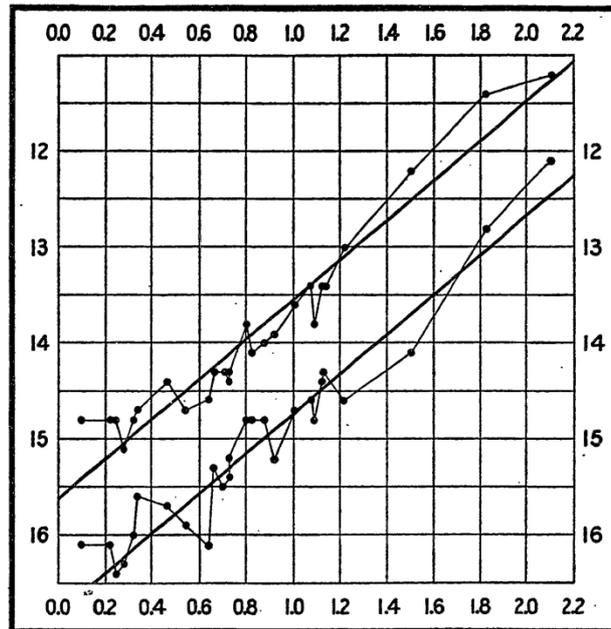


Figura 1 – Gráfico reproduzido do trabalho preparado por Leavitt sobre os períodos de 25 estrelas variáveis localizadas na Pequena Nuvem de Magalhães, atualmente classificadas como cefeidas clássicas. O eixo das abscissas representa o logaritmo do período, indicado em dias, e o eixo das ordenadas corresponde à magnitude aparente. Foram marcadas duas séries de pontos, a superior associada ao brilho máximo de cada estrela e a inferior ao brilho mínimo. Cada um dos conjuntos de pontos pode ser bem ajustado por uma reta. Ao se considerar que tais estrelas se encontram praticamente à mesma distância da Terra, evidencia-se que a magnitude absoluta de uma cefeida clássica, e também sua luminosidade, estão correlacionadas com o período de pulsação.

Fonte: Pickering (1912).

Posteriormente, tal relação foi calibrada a partir da medida da distância de algumas cefeidas clássicas mais próximas, também se levando em conta o efeito de atenuação da luz devido à presença de poeira entre cada estrela e o observador. A relação período-luminosidade pode ser expressa como (CARROL; OSTLIE, 2007):

$$\log_{10} \frac{\langle L \rangle}{L_{\odot}} = 1,15 \log_{10} P_d + 2,47. \quad (8)$$

Na equação anterior, $\langle L \rangle$ é luminosidade média da estrela, $L_{\odot} = 3,839 \times 10^{26}$ W é a luminosidade do Sol e P_d é o período da estrela em dias.

Estudos teóricos e observacionais mostram que a luminosidade de uma cefeida relaciona-se mais precisamente com seu período e sua temperatura superficial (STERKEN; JASCHEK, 2005). Entretanto, do ponto de vista prático, a introdução do termo associado à temperatura superficial não contribuiu significativamente para a

melhoria dos resultados em aplicações envolvendo a determinação de distâncias por meio da análise de cefeidas (PERCY, 2007). Por isso, tal refinamento não será considerado neste trabalho.

Outra maneira de expor a relação período-luminosidade é propiciada pela seguinte equação:

$$M_{(V)} = -2,81 \log_{10} P_d - 1,43 \quad (9)$$

em que $M_{(V)}$ é a magnitude absoluta V média e P_d é o período de pulsação, expresso em dias (CARROL; OSTLIE, 2007).

Com o propósito de se descobrir quão longe da Terra se encontra uma cefeida clássica, pode-se medir seu período de pulsação e, a partir da relação período-luminosidade calibrada, obter sua magnitude absoluta. Medindo-se então sua magnitude aparente, é possível calcular a distância da estrela por meio da equação (7), concernente ao módulo de distância.

Por terem alta luminosidade, as cefeidas clássicas podem ser observadas em regiões longínquas da Via Láctea e mesmo em outras galáxias, desempenhando assim um papel fundamental no estabelecimento da escala de distâncias do Universo (COX, 1980).

A determinação da distância até Andrômeda por Edwin Powell Hubble (1889 - 1953), em 1925, tornou-se factível em virtude da identificação de cefeidas clássicas nesta galáxia. Esta medida, embora subestimada, devido à imprecisão na calibração da relação período-luminosidade existente na época, forneceu uma evidência importante a favor da ideia de que este objeto não fazia parte da Via Láctea, em contraposição à abordagem ainda aceita por muitos neste período de que estruturas similares a Andrômeda eram integrantes de nossa própria galáxia (KRAGH, 2015).

O reconhecimento de cefeidas clássicas em outras galáxias permitiu a Hubble fazer mais uma contribuição relevante para o debate cosmológico. Hubble mediu as distâncias a diversas galáxias com o auxílio das cefeidas e as confrontou com os valores das velocidades com que se afastavam da Terra, obtidas por ele e outros astrônomos mediante a análise do desvio para o vermelho exibido pelas linhas espectrais destes objetos. Percebeu, então, que havia uma relação linear entre a velocidade de recessão e a distância. Esta relação, conhecida como *lei de Hubble*, considerada em conjunto com abordagens teóricas, acabou por levar os astrônomos à conclusão de que o Universo estava em expansão. Tal ideia, por volta de 1933, passou a ser amplamente aceita e incorporada aos modelos cosmológicos (KRAGH, 2015).

3 Proposta didática

O estudo das estrelas variáveis também pode trazer aportes significativos para o ensino de Ciências. A observação e a análise de estrelas variáveis por estudantes do Ensino Médio foram tratadas por Percy e Mattei (1998) como forma de propiciar o desenvolvimento e integração de uma série de habilidades nas áreas de Ciências, Matemática e Computação, além de possibilitar uma exposição ao processo de elaboração do conhecimento científico e tornar a aprendizagem mais estimulante.

Como descreveu Alexandre Amorim (2011), examinando o caso da cefeida brilhante η *Aquillae*, o monitoramento de estrelas variáveis a olho nu facilita a realização de atividades didáticas multidisciplinares e com implicações histórico-filosóficas.

A abordagem empírica no estudo de estrelas variáveis, em que os estudantes coletam, analisam e interpretam seus próprios dados observacionais, conforme destacou Tasso A. J. Napoleão (2018), é uma estratégia adequada para a introdução de conceitos de Astrofísica Estelar no Ensino Médio. De acordo com Napoleão (2018), esta metodologia pode contribuir para fomentar a criatividade e o raciocínio crítico dos alunos, além de favorecer sua familiarização com o método científico e a aquisição de competências investigativas. Napoleão (2018) detalhou, em particular, um projeto observacional didático contemplando as estrelas cefeidas, ilustrado com o exemplo da estrela ℓ *Carinae*.

A proposta do presente trabalho foi estruturada tendo como referência três momentos pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991):

- a) *problematização inicial*, na qual se procura contextualizar situações e/ou questões a serem compreendidas, estabelecendo pontos de contato com a realidade dos estudantes e as ideias prévias de que dispõem, motivando também a busca por conteúdos novos;
- b) *organização do conhecimento*, em que se propicia a interação com fontes de informação diversas que auxiliem no entendimento mais aprofundado do tema investigado, podendo incluir a realização de leituras, observações e debates;
- c) *aplicação do conhecimento*, na qual se busca fazer uso dos conteúdos adquiridos para se analisar e interpretar as situações e questões formuladas inicialmente e explorar outros tópicos e fenômenos relacionados às noções construídas.

Também se considerou nesta proposta a utilização de enfoques da História da Ciência, a fim de evidenciar o impacto das ideias científicas sobre a sociedade e a maneira como o mundo é percebido, além de favorecer a formação de uma imagem do saber científico como algo dinâmico (NIELSEN; THOMSEN, 1990).

Sugere-se a seguinte sequência didática para o desenvolvimento de uma atividade no Ensino Médio:

- a) Indagação inicial, dirigida aos alunos, sobre a possibilidade de o brilho das estrelas observadas no céu noturno variar, e o que isto poderia revelar sobre suas propriedades;
- b) Interrogação a respeito de quais seriam as distâncias até as estrelas e se haveria alguma forma de medi-las;
- c) Breve apresentação da visão predominante na Europa até a Revolução Científica dos séculos XVI e XVII, fundamentada nas teorias de Aristóteles, de acordo com as quais a substância celeste seria imutável e, portanto, não existiria variabilidade estelar;
- d) Menção aos casos das supernovas investigadas em 1572 e 1604, que foram situadas entre as chamadas estrelas fixas e tidas na condição de evidências para

- se questionar a imutabilidade dos céus e favorecer um novo modelo de mundo, o heliocêntrico;
- e) Abordagem de algumas ideias históricas sobre as dimensões da Via Láctea e o debate sobre a existência ou não de outras galáxias, que perdurou até a década de 20 do século XXI;
 - f) Proposta de observação de uma estrela cefeida clássica visível a olho nu e com variação de brilho acentuada;
 - g) Discussão de conceitos e técnicas fundamentais relacionados à medida da luz das estrelas;
 - h) Orientação dos estudantes sobre como localizar astros no firmamento, incluindo sessões práticas para o reconhecimento do céu noturno e a correta identificação tanto da cefeida clássica escolhida quanto de outras estrelas de interesse nas proximidades;
 - i) Treinamento dos alunos em relação aos procedimentos para se estimar visualmente a magnitude de uma estrela, com um período prévio de observação da estrela variável selecionada, por algumas noites;
 - j) Condução de observações da cefeida clássica escolhida, após a etapa preparatória, com o registro sistemático das magnitudes e dos instantes em que cada medida foi feita;
 - k) Análise dos dados obtidos por meio da construção de um gráfico da magnitude aparente em função do tempo, obtenção do período da estrela em dias, cálculo de sua magnitude *aparente* média, determinação de sua magnitude *absoluta* média e luminosidade com a utilização da relação período-luminosidade, e estimativa de sua distância com o emprego do módulo de distância;
 - l) Discussão final salientando que os astrônomos recorrem a métodos semelhantes aos adotados no trabalho didático realizado para se determinar distâncias, com o auxílio de estrelas cefeidas clássicas, porém contando com telescópios e detectores sensíveis⁴, e adotando procedimentos mais sofisticados;
 - m) Destaque à importância das cefeidas clássicas para a elaboração de modelos cosmológicos relacionados à expansão do Universo;
 - n) Menção a outros métodos empregados pelos astrônomos para se encontrar distâncias, tais como o da paralaxe e o que se baseia na luminosidade padrão de certos tipos de supernovas.

Tal sequência didática constitui apenas uma possibilidade, podendo ser modificada para atender às especificidades do grupo de estudantes com o qual se trabalha, e ser também adaptada para o desenvolvimento de uma atividade prática em

⁴ O detector eletrônico mais amplamente usado em Astronomia óptica é o CCD (sigla de *charge-coupled device*, que em inglês significa *dispositivo de carga acoplada*), constituindo parte de uma câmera digital e posicionado no plano focal de um telescópio. O CCD permite registrar a intensidade integrada da luz nele incidente em função da posição em sua superfície, gerando dados que podem ser convertidos para o formato digital e examinados em um computador (BRADT, 2004). Outro tipo de detector, de menor custo de fabricação, muito encontrado em *webcams* e câmeras de telefones celulares, é o CMOS (sigla de *complementary metal-oxide-semiconductor*, que em inglês significa *semicondutor de metal-óxido complementar*) (BERRY; BURNELL, 2011).

um curso introdutório de Astronomia. A fim de ilustrar de que maneira se pode reunir e analisar dados sobre uma cefeida clássica, em observações a olho nu, apresenta-se um exemplo na próxima seção.

3.1 Observação e análise de dados de uma cefeida clássica

Há diversas estrelas variáveis passíveis de observação a olho nu. Cefeidas clássicas apropriadas para este tipo de trabalho poderiam ser η *Aquillae*, ζ *Geminorum* e ℓ *Carinae*, cujos períodos e intervalos de variação de magnitude são informados na Tabela 1, em conjunto com suas designações no catálogo estelar Henry Draper (HD) e suas coordenadas celestes no sistema equatorial.

Estrela	Designação no Catálogo Henry Draper	Ascensão Reta (J2000)	Declinação (J2000)	Período (dias)	Varição da Magnitude Aparente V
η <i>Aquillae</i>	HD 187929	19 ^h 52 ^m 28,39 ^s	+1° 00' 20,2"	7,1769	3,5 a 4,3
ζ <i>Geminorum</i>	HD 52973	7 ^h 04 ^m 06,53 ^s	+20° 34' 13,0"	10,1507	3,6 a 4,2
ℓ <i>Carinae</i>	HD 84810	9 ^h 45 ^m 14,78 ^s	-62° 30' 28,6"	35,5358	3,3 a 4,2

Tabela 1 – Algumas cefeidas clássicas brilhantes.

Fonte: dados fornecidos pelo software *Stellarium* (CHÉREAU *et al.*, 2017) e adaptados pelo autor.

A identificação de estrelas no céu noturno é facilitada com o uso de cartas celestes e de *softwares* planetários similares ao *Stellarium*, que fornecem a posição dos astros em determinado dia e horário, quando observados de um local especificado.

Na Figura 2, indica-se a localização de ℓ *Carinae* – da constelação da *Carina* (a Quilha) –, assim como algumas estrelas brilhantes próximas. A carta celeste exibida nesta figura mostra a configuração aproximada do céu em Foz do Iguaçu, Brasil, às 19:00 do dia 15 de junho, para um observador posicionado de frente para o Sul. Tal escolha foi feita por ter sido este o local onde o autor realizou as observações analisadas no presente trabalho. É conveniente que o interessado em investigar uma estrela variável crie uma carta celeste apropriada para sua localização, buscando avaliar inicialmente se o objeto celeste pode ser visto a partir de sua latitude e procurando estabelecer o período do ano e os horários mais propícios para a coleta de dados.

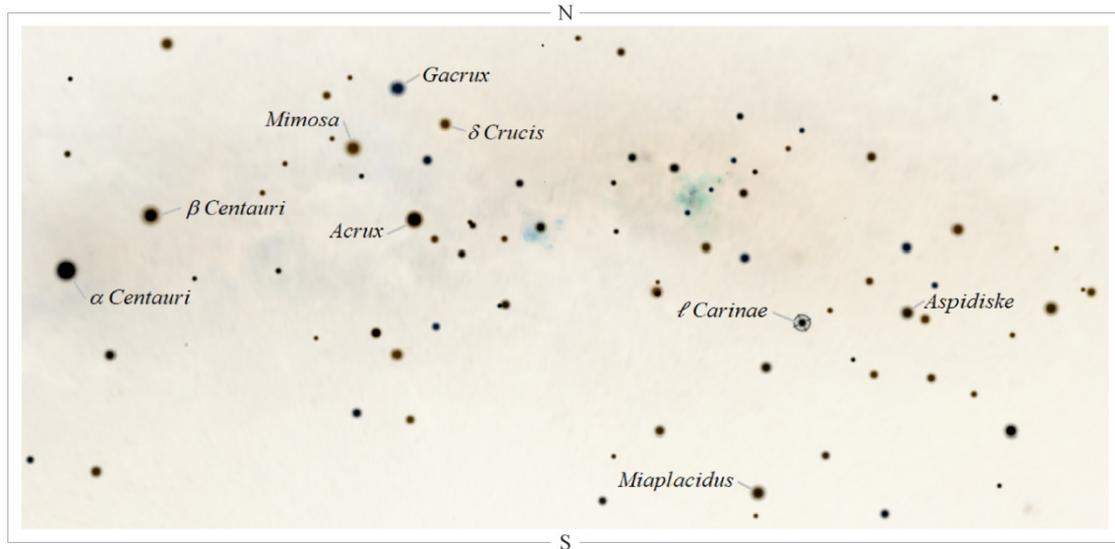


Figura 2 – Carta celeste mostrando a posição da cefeida clássica ℓ Carinae, destacada por um marcador circular. Algumas estrelas nas proximidades são indicadas pelo nome, incluindo os quatro mais brilhantes do Cruzeiro do Sul (*Acrux*, *Mimosa*, *Gacrux* e δ *Crucis*).

Fonte: adaptado pelo autor de uma imagem gerada com o software *Stellarium* (CHÉREAU *et al.*, 2017) para Foz do Iguaçu, Brasil, em 15 de junho, às 19:00.

Antes de conduzir uma observação, é importante que o olho esteja adaptado à escuridão, para ser capaz de detectar fontes tênues de luz. Em um ambiente fracamente iluminado, a sensibilidade da visão aumenta gradualmente com o tempo. Para a observação de estrelas variáveis, uma adaptação apropriada pode ser alcançada em geral num intervalo de 10 a 15 minutos, embora um tempo maior possa ser necessário no caso de um alvo com brilho muito fraco (GOOD, 2003).

Um aspecto que tende a prejudicar a medição da magnitude de um astro é a poluição luminosa produzida pela iluminação artificial, sobretudo nas grandes cidades, a qual acarreta um aumento no brilho do céu noturno, atrapalhando assim a detecção das fontes de luz celestes (CINZANO *et al.*, 2000). Neste caso, para se contornar as dificuldades na percepção das estrelas de brilho mais fraco, pode-se recorrer a instrumentos ópticos tais como binóculos (AMORIM, 2011).

Para estimar o brilho de uma estrela variável visualmente, uma técnica que produz bons resultados consiste em cotejar sua magnitude aparente com a de duas estrelas próximas desta no céu, não variáveis ou cujo brilho percebido pela visão seja constante⁵, uma delas com magnitude aparente um pouco inferior e a outra com

⁵ De maneira estrita, assume-se que todas as estrelas apresentam alguma variação de brilho ao longo de sua evolução. No entanto, muitas não evidenciam qualquer mudança mensurável na intensidade da luz emitida dentro da escala de tempo em que um estudo é conduzido, podendo então ser consideradas essencialmente não variáveis (BUDDING; DEMIRCAN, 2007). Um modo de avaliar a constância do brilho de uma estrela se efetiva por meio de sua observação em intervalos de tempo regulares, empregando-se um telescópio dotado de uma câmera CCD com filtros fotométricos, a fim de se obter um conjunto de valores de sua magnitude em um sistema fotométrico padrão, ao longo de certo período. Os dados reunidos podem então ser analisados com o apoio de métodos estatísticos, dentre os quais o teste do chi-quadrado (χ^2). Nesta abordagem, torna-se possível testar a hipótese de que o brilho do objeto não se altera com o passar do tempo e, caso tal conjectura não possa ser rejeitada, dentro do nível de significância estatística adotado, considerar que a estrela é não variável (SOKOLOVSKY *et al.*, 2017).

magnitude aparente um pouco superior ao da variável (BUCHHEIM, 2007). No caso da observação visual de ℓ Carinae, poderiam ser utilizadas as estrelas de comparação evidenciadas na Figura 3, cujas magnitudes aparentes constam na Tabela 2, em conjunto com suas designações no catálogo estelar Henry Draper (HD) e suas coordenadas celestes no sistema equatorial.

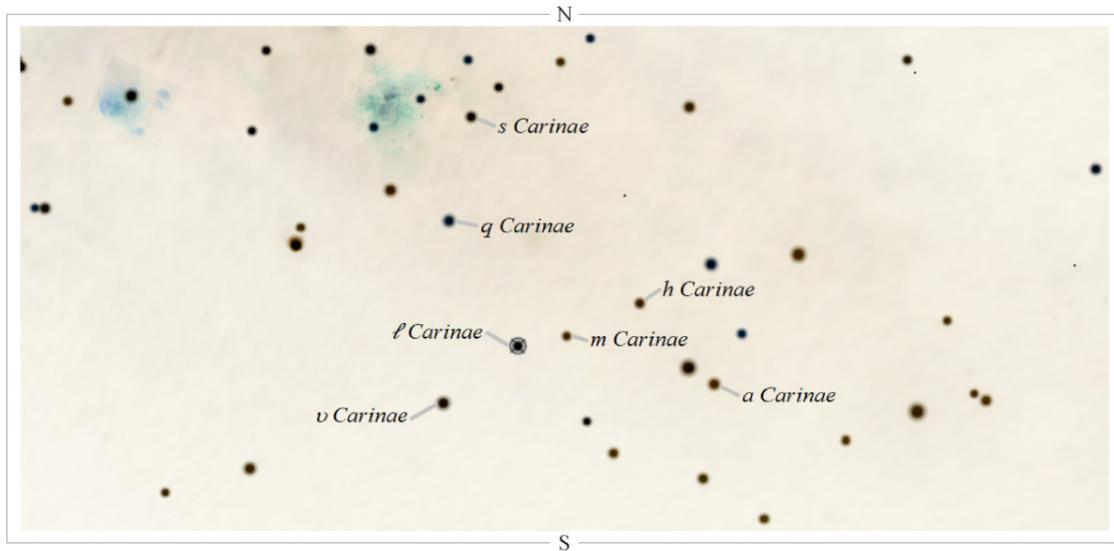


Figura 3 – Carta celeste mostrando a posição da cefeida clássica ℓ Carinae, destacada por um marcador circular, e seis estrelas de comparação.

Fonte: adaptado pelo autor de uma imagem gerada com o software *Stellarium* (CHÉREAU *et al.*, 2017).

Estrela	Designação no Catálogo Henry Draper	Ascensão Reta (J2000)	Declinação (J2000)	Magnitude Aparente V
v Carinae	HD 85123	09 ^h 47 ^m 06,09 ^s	-65° 04' 19,3"	3,0
A Carinae	HD 79351	09 ^h 10 ^m 58,04 ^s	-58° 58' 00,8"	3,4
q Carinae	HD 89388	10 ^h 17 ^m 04,93 ^s	-61° 19' 56,7"	3,4
s Carinae	HD 90853	10 ^h 27 ^m 52,70 ^s	-58° 44' 21,9"	3,8
h Carinae	HD 83183	09 ^h 34 ^m 26,62 ^s	-59° 13' 47,2"	4,1
m Carinae	HD 83944	09 ^h 39 ^m 20,89 ^s	-61° 19' 41,4"	4,5

Tabela 2 – Estrelas de comparação para a observação de ℓ Carinae.

Fonte: dados obtidos com o gerador de cartas celestes da American Association of Variable Star Observers (2017) e o software *Stellarium* (CHÉREAU *et al.*, 2017), e adaptados pelo autor.

Para se chegar à estimativa da magnitude aparente da variável no momento da observação, cria-se mentalmente uma escala de brilho e avalia-se o grau de similaridade entre o brilho da variável e o das estrelas de comparação (BUCHHEIM, 2007).

No caso de observações a olho nu, uma estrela cuja magnitude varia no máximo de alguns centésimos também poderia ser basicamente tratada como não variável, uma vez que tal oscilação dificilmente seria percebida pela visão. Estrelas de comparação adequadas para o estudo de um grande número de estrelas variáveis já foram determinadas e podem ser acessadas, por exemplo, por meio do gerador de cartas celestes da *American Association of Variable Star Observers* (2017).

Por exemplo, existindo duas estrelas de comparação com magnitudes aparentes de 3,4 e 3,8, pode-se criar uma escala de medida cujos extremos incluem estes valores, com variações em passos de 0,1. Se em determinado instante a estrela variável evidenciar um brilho intermediário ao das estrelas de comparação, sua magnitude aparente será avaliada em 3,6. Se em outro momento a variável parecer estar com um brilho um pouco maior, porém ainda inferior ao da estrela de comparação mais brilhante, a magnitude será estimada em 3,5. Caso o brilho da variável seja similar ao da estrela de comparação mais brilhante, será atribuído o valor 3,4 à sua magnitude aparente.

Para melhorar a detecção de fontes mais fracas de luz, pode-se aplicar a técnica de evitar olhar diretamente para o alvo, buscando-se perceber o astro com a visão periférica⁶ (GOOD, 2003).

É preciso salientar que a habilidade de fazer estimativas de magnitude demanda aprendizagem e prática, a fim de que tanto o olho quanto o cérebro adquiram proficiência na aplicação deste procedimento, facultando observações mais detalhadas e precisas (BUCHHEIM, 2007). Tal treinamento idealmente envolve várias noites de observação antes de se iniciar o registro das medidas que serão de fato incluídas no estudo da estrela variável selecionada.

Após se reunir dados suficientes para a caracterização da variabilidade estelar e o cálculo do período, a próxima etapa da atividade é a construção de uma curva de luz, marcando-se a magnitude aparente visual em função do tempo. Conforme exemplifica Amorim (2011), caso não haja condições para a realização de observações contínuas por um período mais extenso, pode-se, além de medidas obtidas diretamente das próprias observações, utilizar observações do banco de dados organizado pela AAVSO⁷, a fim de se traçar uma curva de luz mais completa.

Na Figura 4, apresenta-se uma curva de luz da estrela ℓ *Carinae* elaborada com 50 observações efetuadas a olho nu pelo autor. O tempo foi fornecido em datas julianas, sistema bastante empregado em Astronomia para possibilitar a contagem contínua dos dias, evitando-se as complicações do calendário oficial. A data juliana corresponde ao tempo transcorrido, em dias (incluindo frações de dia), desde o meio-dia da hora universal de primeiro de janeiro de 4713 a.C. (PERCY, 2007). Há aplicativos e *softwares* tais como o *Stellarium* que permitem facilmente encontrar a data juliana de um evento, uma vez informadas a data e a hora de sua ocorrência no calendário vigente⁸.

⁶ Os fundamentos deste procedimento relacionam-se à anatomia e fisiologia do olho. Na retina, estrutura situada na parte posterior do olho, revestindo sua cavidade interior, encontram-se dois tipos de células fotorreceptoras: os bastonetes e os cones. Os cones concentram-se em uma pequena região central, denominada fóvea, associada ao centro da visão. Operam melhor em condições de iluminação mais elevada e possibilitam distinguir as cores dos objetos. Os bastonetes não estão presentes na fóvea, distribuindo-se na parte periférica da retina. Possuem maior sensibilidade à luz do que os cones e trabalham melhor em ambientes com iluminação reduzida (GOOD, 2003).

⁷ Disponível em: www.aavso.org. Neste *site*, dados sobre uma estrela variável podem ser recuperados inserindo-se, no campo de buscas, o nome do objeto registrado em um catálogo, tal qual o Henry Draper (HD).

⁸ No *Stellarium* a conversão pode ser realizada acessando-se a “Janela de Data e Hora”.

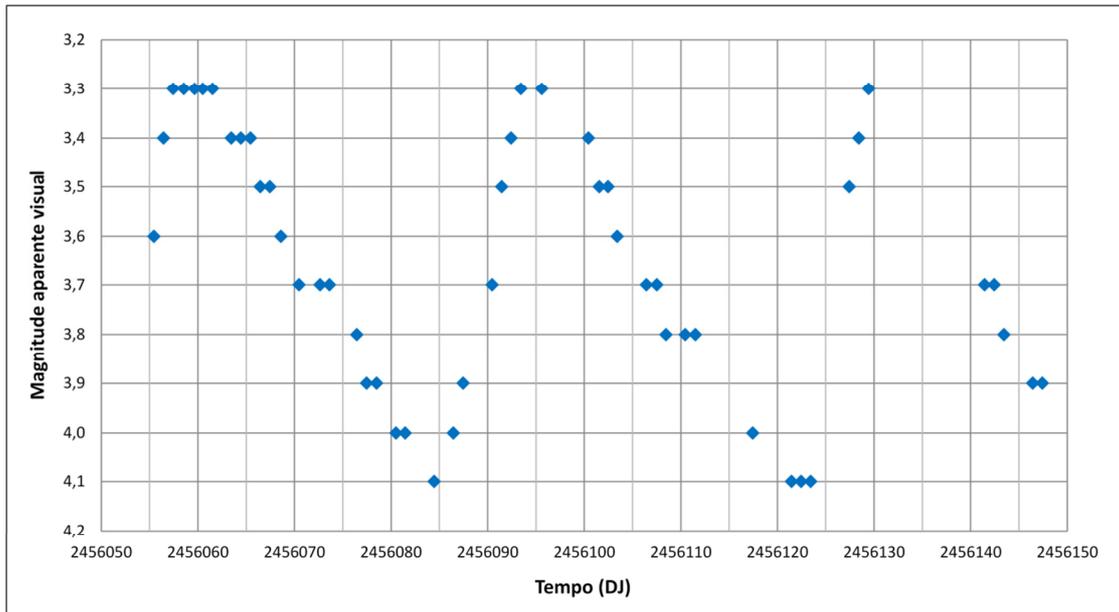


Figura 4 – Curva de luz de ℓ Carinae (HD 84810). Os pontos correspondem a observações realizadas visualmente de 7 de maio a 7 de agosto de 2012. O eixo das magnitudes foi orientado para que pontos correspondentes a um maior brilho ficassem na parte superior do gráfico. O tempo foi expresso em datas julianas (DJ).

Fonte: elaborado pelo autor.

A determinação do período pode ser feita com a utilização de *softwares* especializados ou, de maneira simplificada, calculando-se o intervalo de tempo entre dois máximos ou mínimos consecutivos, por exemplo. Por meio do *software Peranso*⁹ (VANMUNSTER, 2014), aplicando-se o método da transformada discreta de Fourier (em inglês, *discrete Fourier transform*, também designada pela sigla DFT), obtém-se, considerando-se os dados que geraram a curva de luz exibida na Figura 4, o período de 35,7877 dias para ℓ Carinae, compatível com o valor de 35,5358 fornecido na Tabela 1.

O uso desta informação na equação (8) leva ao conhecimento da luminosidade de ℓ Carinae:

$$\log_{10} \frac{\langle L \rangle}{L_{\odot}} = 1,15 \log_{10} 35,7877 + 2,47 \quad (10)$$

$$\langle L \rangle = 1,8 \times 10^4 L_{\odot} = 6,9 \times 10^{30} \text{W} \quad (11)$$

Substituindo-se o período encontrado na equação (9), chega-se também à magnitude absoluta $M_{\langle V \rangle}$ de ℓ Carinae:

$$M_{\langle V \rangle} = -2,81 \log_{10} 35,7877 - 1,43 = -5,8 \quad (12)$$

⁹ Outra opção para a análise de dados é o *software VStar*, da AAVSO, disponível em: www.aavso.org/vstar.

Tomando-se a média entre as magnitudes aparentes máxima (4,1) e mínima (3,3) observadas, tem-se a magnitude aparente visual média de 3,7, comparável à deduzida dos valores indicados na Tabela 1. Substituindo-se, então, o valor da magnitude aparente visual média¹⁰ e da magnitude absoluta $V_{\text{média}}$ na equação (7), tem-se uma estimativa da distância¹¹ de ℓ *Carinae*:

$$3,7 - (-5,8) = 5 \log_{10} \left(\frac{d}{10} \right) \quad (13)$$

$$d = 7,9 \times 10^2 \text{ pc} = 2,6 \times 10^3 \text{ ly} \quad (14)$$

Deste modo, por meio da coleta de dados em observações com a vista desarmada e com base em considerações teóricas, foi possível estabelecer algumas das propriedades físicas da cefeida clássica ℓ *Carinae*, alcançando-se valores aproximados para sua magnitude aparente, período, luminosidade, magnitude absoluta e distância ao planeta Terra.

4 Considerações finais

A observação de estrelas variáveis produz um contexto propício para a introdução de conceitos e técnicas de pesquisa da Astronomia, além de abrir espaço para a discussão de temas históricos e atuais relevantes para a compreensão do Universo. Certas variáveis brilhantes, a exemplo de algumas cefeidas clássicas, podem inclusive ser estudadas, no contexto educacional, sem a necessidade de instrumentação especializada, utilizando-se unicamente a própria visão.

A atividade possui potencial para enriquecer a abordagem da Astronomia no Ensino Médio, mas sua efetivação pode demandar a superação de alguns obstáculos. Em particular, o desenvolvimento deste tipo de projeto envolve o domínio dos procedimentos para se localizar astros na esfera celeste e, sobretudo, o treino necessário

¹⁰ A rigor, deveria ser utilizada na equação (7) a magnitude aparente média obtida com o filtro *Vem* conjunto com a magnitude absoluta V média. No entanto, a escala de magnitudes na banda V foi desenvolvida de tal forma que as medidas feitas neste sistema fossem comparáveis às estimativas realizadas com o olho humano. Por isso, é razoável empregar a magnitude aparente visual (m_v) neste cálculo aproximado, com finalidades didáticas. Mas discrepâncias entre m_v e V podem ocorrer, pois, de acordo com Ronald E. Zissell (1998), uma estrela azul parecerá um pouco mais brilhante ao olho humano do que na banda V , enquanto uma estrela vermelha parecerá um pouco menos brilhante. Uma equação estabelecida empiricamente por Richard H. Stanton (1981) relacionando m_v e V fornece, por exemplo, para estrelas comumente encontradas, valores de $m_v - V$ variando de $-0,09$, em se tratando de astros mais azulados, até $+0,30$, no caso de objetos mais avermelhados.

¹¹ Para se chegar a um resultado mais acurado que o obtido neste exercício simplificado, seria preciso levar em conta a influência do meio interestelar sobre a luz da estrela. O gás e a poeira existentes entre o astro e o observador produzem absorção e espalhamento da radiação eletromagnética, *reduzindo* a intensidade da luz detectada e *aumentando* a magnitude aparente da estrela (BUDDING; DEMIRCAN, 2007). Este efeito, denominado *extinção interestelar*, pode ser significativo e, caso não seja compensado ao se aplicar a equação (7), fará a estrela parecer mais afastada do que de fato se encontra. Determinações mais rigorosas da distância de ℓ *Carinae*, mencionadas por Davis *et al.* (2009) e efetivadas por diferentes métodos, levam a valores que variam de 485 a 566 pc.

para a aplicação apropriada da técnica para a estimativa de magnitudes. Isto certamente demanda empenho e prática dos estudantes, trabalhando sob a supervisão do professor.

Além disso, a realização de observações durante várias noites, com o propósito de captar um ciclo completo da estrela variável, requer disciplina e persistência. Pode colaborar para a manutenção da motivação a criação de um grupo de estudos que realize reuniões periódicas, a fim de possibilitar o intercâmbio de experiências e também a discussão de textos abordando tópicos de Astronomia relacionados ao trabalho observacional em andamento.

No entanto, longe de afastar os educandos do tema proposto, desafios bem dimensionados constituem um incentivo, estimulando a aquisição de novos conhecimentos, o desenvolvimento de habilidades e, no caso das estrelas variáveis, podendo até mesmo gerar dados úteis para a pesquisa científica, caso sejam adotadas estratégias para o controle da qualidade das observações¹².

Agradecimentos

O autor agradece: a Tasso Napoleão, cofundador da Rede de Astronomia Observacional (REA-Brasil), pelas informações referentes à observação de estrelas variáveis; ao Pólo Astronômico Casimiro Montenegro Filho, da Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI), pelo apoio à realização do trabalho; e aos pareceristas anônimos da RELEA pelos valiosos comentários e sugestões para o aperfeiçoamento do texto.

Referências

ALBERTAZZI JR. A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri: Manole, 2015.

AMERICAN ASSOCIATION OF VARIABLE STAR OBSERVERS. **Manual para observação visual de estrelas variáveis**. Cambridge, Estados Unidos, 2011. Disponível em: www.aavso.org/sites/default/files/publications_files/manual/portuguese/PortugueseManual.pdf. Acesso em: 18 jul. 2019.

AMERICAN ASSOCIATION OF VARIABLE STAR OBSERVERS. **Variable star plotter**. Cambridge, Estados Unidos, 2017. Disponível em: www.aavso.org/apps/vsp. Acesso em: 8 out. 2017.

¹² Um ponto fundamental, já mencionado, é o treinamento cuidadoso dos observadores em relação aos procedimentos para a medida de magnitudes visuais. Informações adicionais relevantes para o aperfeiçoamento técnico dos interessados no estudo de estrelas variáveis podem ser encontradas no *Manual para Observação Visual de Estrelas Variáveis* (AMERICAN ASSOCIATION OF VARIABLE STAR OBSERVERS, 2011) e no guia de estudos *Astrofísica Estelar para o Ensino Médio* (NAPOLEÃO, 2018), dentre outras publicações. Para um tratamento mais rigoroso, poderiam também ser empregadas ferramentas de controle estatístico de processos, a exemplo do método designado Repetitividade & Reprodutibilidade de Medidores (em inglês *Gage R&R – Repeatability & Reproducibility*), adotado na análise de sistemas de medição, com o propósito de verificar a adequabilidade do conjunto de procedimentos de mensuração (ALBERTAZZI JR.; SOUSA, 2015).

AMORIM, A. Observação visual de Eta Aquilae: uma atividade multidisciplinar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 1., 2011, Rio de Janeiro. **Atas...**, Rio de Janeiro: UNIRIO; São Carlos: UFSCar, 2011. Disponível em: www.sab-astro.org.br/wp-content/uploads/2017/04/SNEA2011_TCP39.pdf. Acesso em: 30 ago. 2017. p. 1-7.

BERRY, R.; BURNELL, J. **The handbook of astronomical image processing**. Richmond: Willmann-Bell, 2011.

BRADT, H. **Astronomy methods: a physical approach to astronomical observations**. Cambridge: Cambridge University, 2004.

BUCHHEIM, R. K. **The sky is your laboratory: advanced astronomy projects for amateurs**. Berlin: Springer; Chichester: Praxis, 2007.

BUDDING, E.; DERMICAN, O. **Introduction to astronomical photometry**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University, 2007.

CARROL, B. W.; OSTLIE, D. A. **An introduction to modern astrophysics**. 2. ed. San Francisco: Pearson; Addison Wesley, 2007.

CHÉREAU, F. *et al.* (Coord.). **Stellarium**: versão 0.16.1. Disponível em: www.stellarium.org. Acesso em: 6 out. 2017.

CINZANO, P. *et al.* The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite operational line scan system measurements. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 318, n. 3, p. 641-657, 2000. Disponível em: www.lightpollution.it/cinzano/download/mnras_paper.pdf. Acesso em: 22 out. 2017.

COX, J. P. **Theory of stellar pulsation**. Princeton: Princeton University, 1980.

DAVIS, J. *et al.* Observations of the pulsation of the Cepheid ℓ Car with the Sydney University stellar interferometer. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 394, n. 3, p. 1620-1630, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/mnras/article/394/3/1620/1071093>. Acesso em: 19 jul. 2019.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1991.

GOOD, G. A. **Observing variable stars**. London: Springer, 2003.

KRAGH, H. S. **Conceptions of cosmos: from myths to the accelerating universe**. Oxford: Oxford University, 2015.

NAPOLEÃO, T. A. J. **Astrofísica estelar para o ensino médio: uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis**. 2018. 425 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_tasso_a_j_napoleao_original.pdf. Acesso em: 16 jul. 2019.

NIELSEN, H.; THOMSEN, P. V. History and philosophy of science in physics education. **International Journal of Science Education**, London, v. 12, n. 3, p. 308-316, 1990.

NORTH, J. **Cosmos: an illustrated history of astronomy and cosmology**. Chicago: The University of Chicago, 2008.

PERCY, J. R. **Understanding variable stars**. Cambridge: Cambridge University, 2007.

PERCY, J. R.; MATTEI, J. A. Variable stars in your classroom. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**, v. 92, p. 322-324, December 1998. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1998JRASC..92..322P>. Acesso em: 30 ago. 2017.

PICKERING, E. C. Periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud. **Harvard College Observatory Circular**, v. 173, p.1-3, 1912. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1912HarCi.173....1L>. Acesso em: 27 ago. 2017.

SOKOLOVSKY, K. V. *et al.* Comparative performance of selected variability detection techniques in photometric time series data. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 464, n. 1, p. 274-292, 2017.

STANTON, R. H. Photoelectric measures of AAVSO comparison star sequences – II. **Journal of the American Association of Variable Star Observers**, v. 10, p. 1-8, 1981. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1981JAVSO..10....1S>. Acesso em: 17 dez. 2018.

STERKEN, C.; JASCHEK, C. (Eds.). **Light curves of variable stars: a pictorial atlas**. Cambridge: Cambridge University, 2005.

VANMUNSTER, T. **Peranso: light curve and period analysis software -versão 2.51**. [S.l.]: CBA Belgium Observatory, 2014. Disponível em: www.peranso.com. Acesso em: 26 set. 2017.

ZISSELL, R. E. Evolution of the “real” visual magnitude system. **Journal of the American Association of Variable Star Observers**, v. 26, n. 2, p. 151-161, 1998. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1998JAVSO..26..151Z>. Acesso em: 17 dez. 2018.

Artigo recebido em 24/07/2018.

Aceito em 28/08/2019.