

## **Guia de estudos “Astrofísica Estelar para o Ensino Médio”**

### **Capítulo 10 – Observando estrelas variáveis**

#### **10.1 Introdução**

Nos capítulos precedentes deste Guia de Estudos, adquirimos conhecimentos básicos sobre as estrelas variáveis: seus tipos, comportamentos, características físicas e sua relação com o processo de evolução estelar. Aprendemos também os fundamentos para a sua correta identificação no céu noturno. Agora, e uma vez vistos todos esses requisitos indispensáveis, é hora de colocar mãos à obra! A partir deste capítulo, nos concentraremos nos trabalhos práticos de observar as estrelas variáveis no céu real, estimar e registrar as suas mudanças de brilho, construir suas curvas de luz, analisá-las e entender seu significado astrofísico e a importância científica dos dados obtidos.

Iniciaremos este capítulo por duas práticas simples de reconhecimento do céu, nas quais faremos uma avaliação *qualitativa*, a olho nu, dos *brilhos aparentes relativos* de várias estrelas. Ambas poderão ser realizadas convenientemente durante as primeiras horas da noite, sendo a primeira nos meses de verão e a segunda nos de inverno. Em seguida, detalharemos as técnicas universalmente usadas para a estimativa visual *quantitativa* das magnitudes estelares. Finalmente, aplicaremos esses procedimentos ao monitoramento regular do brilho de algumas estrelas variáveis, bem como à construção das primeiras curvas de luz a partir das suas observações. Em capítulos posteriores, veremos como analisá-las e proporemos diversos projetos de utilidade científica a todos os que se interessarem por prosseguir no estudo das estrelas variáveis.

#### **10.2 Práticas de reconhecimento do céu e avaliação qualitativa de brilhos**

Estas duas práticas visam a exercitar a identificação de estrelas a olho nu (conforme os princípios já vistos nos capítulos 3 a 5) e principalmente a treinar a percepção visual do observador para as diferenças de brilho de estrelas selecionadas.

##### **10.2.1 Prática 1 (para os meses de verão)**

Os textos das duas práticas que se seguem, bem como os mapas do Apêndice A deste capítulo, foram estabelecidos considerando as coordenadas da cidade de São Paulo como base para os cálculos. Com diferenças muito pequenas no que se refere às alturas sobre o horizonte (da ordem de até 2°), tanto o texto como os mapas podem ser usados para todo o estado de São Paulo. Com diferenças pouco maiores (de até 6°), para todas as cidades localizadas nos estados do Sudeste e Sul do Brasil). Se o leitor estiver em outras regiões do país, e em função da distância entre sua cidade e São Paulo, essas diferenças poderão ser muito maiores: nesse caso, recomendamos refazer os mapas 1 e 5 de acordo com as coordenadas de sua cidade e começar as

práticas a partir daí<sup>1</sup>. As distâncias angulares entre as estrelas, por outro lado, serão sempre as mesmas descritas nos textos, independentemente do local da observação.

Recomenda-se iniciar a realização da Prática 1 com base nas datas e horários indicados na Tabela 10.1. Caso se prefira iniciar em qualquer data diferente dessas, o horário deverá ser também alterado de acordo. Para isso, basta seguir as instruções do parágrafo “*Ajustes do horário de início da observação*” que se vê logo após essa tabela.

**Atenção:** Os horários listados na Tabela 10.1 são os horários civis locais **SEM** considerar o Horário Brasileiro de Verão (HBV). Caso seja escolhida uma data em que este esteja vigente, basta iniciar sua observação uma hora *após* o horário indicado na tabela. Por exemplo, se for escolhido o dia 15 de janeiro e o horário de verão estiver vigente em sua cidade, inicie às 22:00 HBV e não às 21:00, como consta da tabela<sup>2</sup>. Evidentemente, isso não se aplica àqueles que moram nas cidades em que o HBV não vigora.

<b>Datas</b>	<b>Horário de início</b>
<i>1 de dezembro</i>	<i>00:00</i>
<i>15 de dezembro</i>	<i>23:00</i>
<i>30 de dezembro</i>	<i>22:00</i>
<i>15 de janeiro</i>	<i>21:00</i>
<i>30 de janeiro</i>	<i>20:00</i>

*Tabela 10.1 – Datas e horários sugeridos para iniciar a Prática 1. ATENÇÃO: Os horários indicados na tabela NÃO consideram o HBV. Se ele estiver vigente na sua cidade, adicione uma hora aos horários listados acima.*

*Ajustes do horário de início da observação:* caso as datas da Tabela 10.1 não sejam convenientes por qualquer motivo para o leitor (ou se as condições meteorológicas não forem favoráveis), ele poderá realizar a prática em qualquer outra data dentro do período indicado nessa tabela. No entanto, deverá ajustar o horário de início da observação de acordo, para que o aspecto do céu seja semelhante ao indicado nas datas e horários nela relacionados. Para encontrar esse horário, basta *subtrair 4 minutos multiplicados por cada dia que tenha se passado desde a data da Tabela 10.1 que seja imediatamente anterior à data que você escolheu*. Por exemplo: se a prática for realizada no dia 19/01 (quatro dias após 15/01, a data imediatamente anterior listada na Tabela 10.1), a observação deverá se iniciar às 20:44 (dezesseis minutos

<sup>1</sup> Os mapas podem ser refeitos em qualquer uma das fontes recomendadas no item 3.5, Capítulo 3.

<sup>2</sup> Lembramos que o fuso horário oficial de Brasília é normalmente (UTC – 3) horas, sendo que a sigla UTC se refere a Tempo Universal Coordenado (ou simplesmente Tempo Universal). Este é equivalente, para efeitos práticos, à tradicional *hora de Greenwich*, ou GMT. Nos meses do Horário Brasileiro de Verão, o fuso oficial de Brasília passa a ser (UTC-2) horas. Esse fato deve ser considerado quando o leitor configurar os seus mapas (tanto mapas obtidos pela internet como por softwares).

antes das 21:00, o horário indicado na Tabela 10.1 para o dia 15/01)<sup>3</sup>. Esses quatro minutos correspondem à diferença entre um dia solar médio e um dia sideral, conforme já visto no item 3.3 do Capítulo 3.

Prepare-se para a observação escolhendo um local razoavelmente escuro para realizá-la e imprimindo previamente seus mapas celestes para ajudá-lo a localizar as estrelas. Os mapas podem ser obtidos a partir de qualquer das fontes recomendadas no item 3.5 (*mas, para estas primeiras práticas, já incluímos as cartas celestes necessárias no Apêndice A deste capítulo*). Realizaremos a Prática 1 em seis passos consecutivos:

Passo 1: Identifique os pontos cardeais no seu local de observação (conforme as instruções do item 3.2, Capítulo 3). Coloque-se na "posição do Cristo Redentor", olhando de frente para o ponto cardinal Norte. Lembramos (ver item 4.1.1, Capítulo 4) que o ponto cardinal Norte é o início da contagem dos azimutes, com azimute igual a 0°, e que, nessa posição, seu braço direito aponta para o Leste (azimute 90°); atrás de você está o Sul (azimute 180°) e seu braço esquerdo aponta para Oeste (azimute 270°).

Precisamente na data e horário escolhidos para iniciar a prática, olhe diretamente para a direção do ponto cardinal Norte. A meio caminho entre a linha do horizonte e o zênite (o ponto exatamente acima da sua cabeça) você verá uma estrela alaranjada, da classe espectral K5. Esta é Aldebaran, a estrela Alfa da constelação do Touro, que estará cruzando o Meridiano Celeste nesse horário. Sua magnitude aparente é de 0,9, e ela está a 65 anos-luz de nós. Estique seu braço e, usando as suas mãos (da forma vista na Figura 4.8, Capítulo 4), determine a altura de Aldebaran sobre o horizonte. Se você está em São Paulo (ou imediações) e se começou na hora certa, deve encontrar perto de 50°. Confira essa medida com as suas mãos. Caso necessário, use os mapas 1 e 2 do Apêndice A deste Capítulo para ajudar na identificação.

Passo 2: Se o seu horizonte norte não estiver obstruído por prédios no local em que vocês está, procure agora uma estrela brilhante, 20° acima do horizonte norte e um pouco a leste do meridiano. Esta é Capella, a estrela Alfa da constelação de Auriga. Vista a olho nu, ela é uma solitária estrela branco-amarelada, de magnitude aparente 0,1; mas, na verdade, trata-se de um sistema quádruplo, em que as componentes principais são duas estrelas gigantes amarelas de classes espectrais K0 e G0. Capella está situada a 43 anos-luz de nós. Estique o seu braço novamente e meça a distância angular entre Capella e Aldebaran. Você deverá obter cerca de 30°. Confere?

Passo 3: Gire agora o seu corpo e olhe diretamente para a direção do Leste. A cerca de 60° de altura, você verá Sirius, a estrela mais brilhante do céu, com magnitude -1,5. Ela é a Alfa da constelação do Cão Maior. Que cor você diria que ela tem? Sua distância à

---

<sup>3</sup> Alternativamente, pode-se *somar* 4 minutos multiplicados por cada dia que *anteceda* a primeira data da tabela que seja *posterior* à data que tenha sido escolhido para a observação.

Terra é de 8,6 anos-luz e sua classe espectral é A0 (Sirius possui uma companheira que é um anã branca, mas ela é invisível a olho nu). Se o céu estiver escuro (e comparando com seus mapas celestes), tente identificar algumas outras estrelas que formam o contorno da constelação do Cão Maior. Sirius seria o "pescoço" do cão; a "estrela da pata dianteira" se chama Mirzam, e está a 5° de Sirius. Use suas mãos para encontrá-la. Já as estrelas da "pata traseira" e "da cauda" do cão chamam-se Adhara e Aludra; elas estão entre 10° e 15° de Sirius, na direção sul. Use o mapa 3 do Apêndice A para identificá-las.

Passo 4: Olhe agora novamente para Aldebaran e depois para Sirius. Na metade da distância entre essas duas estrelas, você reconhecerá facilmente as famosas "Três Marias", as três estrelas que formam o "cinto" da constelação de Orion, o gigante caçador. De oeste para leste, seus nomes são Mintaka, Alnilam e Alnitak. As três são estrelas jovens, azuis e muito quentes (classes espectrais respectivamente O9, B0 e O9). A partir delas, identifique agora as duas estrelas mais brilhantes da constelação: ao norte, no ombro do gigante (que aparece de cabeça para baixo no Hemisfério Sul) está Betelgeuse, facilmente reconhecível por sua cor nitidamente avermelhada. Betelgeuse é uma estrela variável semi-regular; voltaremos a ela mais adiante. Ao sul, no pé do gigante, está Rigel (de cor branco-azulada e tipo espectral B8). Complete a observação de Orion identificando duas outras estrelas: a que fica no outro ombro do gigante (Bellatrix) e a que fica no outro pé (Saiph). Se a noite estiver bem escura, você pode ainda tentar localizar uma pequena mancha difusa, a meio caminho entre Saiph e Mintaka: esta é a região em que se encontra a famosa Nebulosa de Orion, que pode ser vista a olho nu em céus muito escuros.

Passo 5: Finalmente, volte-se para o Sul e tente localizar Canopus, a segunda estrela mais brilhante do céu (Alfa da constelação de Carina, a quilha do lendário navio Argo). Ela estará cerca de 36° ao sul de Sirius. Compare agora Canopus com Sirius. Estas são as duas estrelas mais brilhantes do céu noturno: Sirius, com magnitude visual de -1,5, e Canopus, com cerca de -0,6. No entanto, Canopus está 36 vezes mais distante: a cerca de 310 anos-luz. Observe as duas, dirigindo seus olhos alternadamente para uma e para a outra, sem fixar seu olhar por mais de um segundo em nenhuma delas. Você consegue perceber a olho nu a diferença de brilho entre as duas?

Passo 6: Uma vez identificadas todas as estrelas mencionadas, comecemos a treinar a sua percepção para estimar qualitativamente algumas magnitudes. Responda às questões abaixo (as respostas estão no Apêndice D deste capítulo):

- Ao comparar os brilhos de Mintaka, Alnilam e Alnitak (as "três Marias"), nota-se que uma delas é claramente mais apagada que as outras duas. Qual é ela?
- Volte seus olhos agora, alternadamente, para as estrelas Bellatrix, Mintaka, Alnilam, Alnitak e Saiph. Qual delas lhe parece mais brilhante? Qual a mais apagada?

- Coloque em ordem de brilho crescente (ou seja, magnitude decrescente) as estrelas Aldebaran, Rigel, Sirius, Capella, Procyon e Canopus.

### **10.2.2 Prática 2 (para os meses de inverno)**

As atividades da Prática 2 são semelhantes às da prática anterior, porém adequadas para realização nas primeiras horas das noites de inverno, nas quais evidentemente o aspecto do céu, as constelações e estrelas serão inteiramente diferentes da Prática 1.

Recomenda-se iniciar a realização da Prática 2 com base nas datas e horários indicados na Tabela 10.2. Caso se prefira iniciar em qualquer data diferente dessas, o horário deverá ser também alterado de acordo. Para isso, basta seguir as instruções do parágrafo “Ajustes do horário de início da observação” que se vê logo após essa tabela.

<b>Datas</b>	<b>Horário de início</b>
<i>1 de junho</i>	<i>00:00</i>
<i>15 de junho</i>	<i>23:00</i>
<i>30 de junho</i>	<i>22:00</i>
<i>15 de julho</i>	<i>21:00</i>
<i>30 de julho</i>	<i>20:00</i>
<i>15 de agosto</i>	<i>19:00</i>

*Tabela 10.2: Datas e horários sugeridos para iniciar a Prática 2. Horários dados no fuso de Brasília (UTC-3h).*

*Ajustes do horário de início da observação:* caso as datas da Tabela 10.2 não sejam convenientes para o leitor (ou se as condições meteorológicas não forem favoráveis), ele poderá realizar a prática em qualquer outra data dentro do período indicado nessa tabela. Assim como na prática anterior, ele deverá ajustar o horário de início da observação de acordo, para que o aspecto do céu seja semelhante ao indicado nas datas e horários nela relacionados. Para encontrar esse horário, basta subtrair 4 minutos multiplicados por cada dia que tenha se passado desde a data da tabela imediatamente anterior à data que você escolheu. Alternativamente, pode-se somar 4 minutos multiplicados por cada dia que anteceda a primeira data da tabela que seja posterior à data que você tenha escolhido para observar.

Da mesma forma que na prática anterior, foram usadas aqui como base de cálculo as coordenadas da cidade de São Paulo, podendo este roteiro no entanto ser usado em outras cidades, desde que seguidas as orientações fornecidas no primeiro parágrafo da Prática 1. Escolha um local razoavelmente escuro para realizar a Prática 2 e imprima previamente seus mapas celestes para ajudá-lo a localizar as estrelas. Os mapas podem ser obtidos a partir de qualquer das fontes recomendadas no item 3.5 (*mas, para estas primeiras práticas, já incluímos as cartas celestes necessárias no Apêndice A deste capítulo*). Realizaremos a Prática 2 em sete passos consecutivos:

Passo 1: Identifique os pontos cardeais no seu local de observação (conforme as instruções do item 3.2, Capítulo 3). Coloque-se na "posição do Cristo Redentor", olhando de frente para o ponto cardinal Norte. Lembramos (ver item 4.1.1, Capítulo 4) que o ponto cardinal Norte é o início da contagem dos azimutes, com azimute igual a  $0^\circ$ ; e que, nessa posição, seu braço direito aponta para o Leste (azimute  $90^\circ$ ), atrás de você está o Sul (azimute  $180^\circ$ ) e seu braço esquerdo aponta para Oeste (azimute  $270^\circ$ ).

Precisamente na data e horário escolhidos para iniciar a prática, olhe diretamente para o zênite (ponto exatamente acima da sua cabeça). Você verá uma estrela brilhante e avermelhada (tipo espectral M1). Ela se chama Antares, nome derivado do grego "Anti-Ares", que significa "a rival de Marte", devido à cor assemelhada à do planeta vermelho. Situada a cerca de 550 anos-luz de distância, Antares (Alfa Scorpii) guarda muitas similaridades com Betelgeuse, que vimos na Prática 1. Em um tópico mais à frente, comentaremos mais sobre essas duas estrelas supergigantes vermelhas.

A constelação à qual Antares pertence – Scorpius, o Escorpião – é uma das mais conhecidas do firmamento, e uma das que mais se assemelham à figura que ela representa. Não é difícil identificá-la: Antares representa o "coração" do escorpião; as três brilhantes estrelas branco-azuladas que formam sua "cabeça" estão à distância angular de cerca de  $7^\circ$  a noroeste (NO) de Antares. Seus nomes, da direção norte para sul, são Graffias (Beta Scorpii), Dschubba (Delta Scorpii) e Pi Scorpii. Voltaremos a Dschubba mais adiante. Do outro lado, em relação a Antares (a sudeste, portanto), estendem-se o corpo e a cauda do animal, representados por estrelas azuladas de segunda e terceira magnitudes, que formam uma figura semelhante a um longo gancho ou anzol de pesca. Na extremidade desse anzol está o "ferrão" do escorpião, formado por um par de estrelas branco-azuladas muito próximas entre si, a uma distância angular de  $17^\circ$  de Antares (confirme medindo com suas mãos). A mais brilhante delas se chama Shaula e, em determinados períodos, é a segunda estrela mais brilhante de Scorpius, com magnitude 1,6. Nota-se facilmente que, com exceção de Antares, todas as demais estrelas brilhantes que formam a constelação possuem cor branco-azulada. A maioria delas faz parte da chamada "Associação Scorpius-Centaurus", um imenso agrupamento que contém milhares de estrelas jovens, quentes e massivas dos tipos espectrais O e B que nasceram há relativamente pouco tempo (entre 10 e 15 milhões de anos) da mesma nuvem de gás e poeira.

Passo 2: Volte agora seus olhos na direção do ponto cardinal Sul (azimute  $180^\circ$ ). Na direção entre o azimute  $200^\circ$  e  $210^\circ$ , você verá um par de estrelas muito brilhantes, separadas entre si por cerca de  $5^\circ$ . Estas são Alfa e Beta Centauri. Verifique medindo com suas mãos: Alfa, a mais brilhante delas (magnitude aparente -0,2) se encontra a  $40^\circ$  de Antares. Alfa Centauri (às vezes chamada também de Rigil Kentaurus) é a terceira estrela mais brilhante do céu noturno – e também a mais próxima de nós, a apenas 4,3 anos-luz de distância. Na verdade, ela é um sistema estelar triplo: as duas

componentes maiores (A e B) possuem dimensões, massas e tipos espectrais muito parecidos com os do Sol, e o par é separado facilmente em telescópios modestos. Mas é a terceira componente – uma fria e apagada estrela anã vermelha da classe espectral M chamada Próxima Centauri, com massa e raio da ordem de apenas 12% a 14% dos do Sol, que atrai a atenção dos pesquisadores de todo o mundo desde 2016, ano em que foi descoberto um pequeno planeta, com massa quase igual à terrestre, orbitando ao redor de Próxima a cada 11,2 dias (ANGLADA-ESCUDE et al., 2016). Pesquisas recentes têm demonstrado que esse planeta (chamado Próxima Centauri b) encontra-se na zona de habitabilidade<sup>4</sup> da sua estrela, e que sua atmosfera pode ter evoluído a ponto de torná-lo um mundo potencialmente habitável; é provável que a nova geração de grandes telescópios projetados para a próxima década permita confirmar essa possibilidade (TURBET et al., 2016).

Passo 3: Partindo de Alfa Centauri e prolongando a distância entre ela e Beta Centauri por três vezes, você encontrará Gacrux (ou Gamma Crucis), a estrela da extremidade superior do Cruzeiro do Sul. Gacrux é uma estrela vermelha, com magnitude 1,6 e tipo espectral M4. Verifique, medindo com suas mãos a distância entre ela e Antares: você deve encontrar cerca de 50°; confere? A partir de Gacrux, observe agora a constelação do Cruzeiro como um todo. No “pé” da cruz (a 6° de Gacrux) está Acrux (Alfa Crucis), a mais brilhante da constelação, com magnitude aparente 0,8. Esta também é uma estrela dupla, cujas componentes (ambas gigantes azuis do tipo espectral B1) são facilmente separadas mesmo em pequenos telescópios. A partir dela, prolongue agora por quatro vezes e meia o “braço maior” da cruz, na direção de Gacrux para Acrux. Ou, o que é o mesmo, meça com suas mãos e na mesma direção, a distância de 27° a partir de Acrux. Você encontrará o ponto no céu que corresponde ao polo celeste Sul (a projeção do eixo de rotação da Terra sobre a esfera celeste no Hemisfério Sul). A partir dele, projete uma linha vertical até o horizonte. Se você mediu tudo corretamente, chegará ao ponto cardeal Sul. E, se medir a seguir com suas mãos a distância angular entre o ponto cardeal Sul (no horizonte) e o polo celeste Sul (no céu), encontrará a latitude geográfica do local onde você se encontra. Verifique.

Passo 4: Gire agora o seu corpo, olhando de frente para o ponto cardeal Norte. Duas estrelas mais brilhantes chamarão a sua atenção: na direção noroeste, uma solitária estrela alaranjada da classe espectral K2 e, na direção norte-nordeste, uma bela estrela de cor branca, quase cristalina, da classe A0. A primeira se chama Arcturus (Alfa da constelação do Boieiro), e está a 37 anos-luz de nós. A segunda se chama Vega (Alfa da constelação da Lira), distante de nós 25 anos-luz. A distância angular entre elas é de cerca de 60° (verifique com as mãos).

---

<sup>4</sup> Zona de habitabilidade (ou zona habitável) de um sistema estelar é a faixa de distâncias em torno da estrela central na qual é possível a existência de água no estado líquido, na superfície de um planeta que nela se encontre.

Passo 5: Dirija agora seus olhos para a direção entre o Leste e o Nordeste (em azimute aproximadamente  $60^\circ$ ). Você verá uma estrela brilhante de cor branca, facilmente reconhecível pelas duas estrelas de terceira magnitude que a flanqueiam, a apenas  $2^\circ$  dela. Esta é Altair (“a Águia” em árabe), Alfa da constelação da Águia. Meça com as mãos a distância angular entre Altair e Vega; ela é da ordem de  $20^\circ$ , confere? Altair e Vega formam, com uma terceira estrela chamada Deneb (Alfa da constelação do Cisne) um asterismo muito conhecido nos países do Hemisfério Norte, chamado “Triângulo de Verão” (no Hemisfério Sul esse asterismo não tem a mesma popularidade, mas se o tivesse, certamente deveria se chamar “Triângulo de Inverno”!). Mas, se você seguiu os horários recomendados, ainda não conseguirá observar Deneb, que estará nascendo neste exato momento, a nordeste. Dependendo do horizonte do seu local de observação, ainda falta algo como uma hora para que você possa visualizá-la bem.

Passo 6: Retorne agora a Antares, perto do seu zênite, e volte seus olhos para a direção do Leste. A uma distância angular entre  $25^\circ$  e  $30^\circ$  de Antares, você verá um grupo de estrelas de segunda e terceira magnitudes, formando um asterismo conhecido nos países de língua inglesa como *Teapot* (o bule de chá). Esta é a constelação do Sagitário (o Arqueiro), em cuja direção poderemos divisar, em céus escuros, o centro de nossa Galáxia (a Via Láctea). Essa região é extremamente rica em nebulosidades (nuvens de gás e poeira), bem como em aglomerados abertos e globulares pertencentes à Via Láctea. As estrelas mais brilhantes de Sagittarius incluem Kaus Australis, Kaus Media e Kaus Borealis (ou, respectivamente, Epsilon, Delta e Lambda Sagittarii), que representam as partes sul, média e norte do arco portado pelo arqueiro; além de Nunki, a pena da flecha (Sigma Sagittarii) e Ascella, a axila do arqueiro (Zeta Sagittarii). Use o Mapa 7 do Apêndice A para identificar essas estrelas, às quais voltaremos mais adiante.

Passo 7: Uma vez identificadas todas as estrelas, vamos treinar agora a sua percepção para estimar magnitudes. Responda às questões abaixo (as respostas estão no Apêndice D deste capítulo):

- Volte seus olhos alternadamente para as estrelas Vega, Altair e Arcturus, sem olhar fixamente para nenhuma delas por mais de um segundo. Classifique-as em ordem crescente de brilho aparente (decrecente de magnitudes). Você ficou em dúvida sobre algumas delas? Quais?
- Compare as duas estrelas que flanqueiam Altair. A que fica mais ao Norte se chama Tarazed, ou Gamma Aquilae; a que está mais ao Sul, Alshain, ou Beta Aquilae (ambos os nomes significam “o falcão”, em persa e árabe). Qual delas lhe parece mais brilhante?
- Volte-se para o Sul e observe o Cruzeiro novamente. Já identificamos as estrelas do “braço maior” da cruz (Acrux e Gacrux). As do “braço menor” se chamam: Mimosa (ou Beta Crucis), aquela que está do lado Leste (o mesmo



lado em que estão Alfa e Beta Centauri); e Delta Crucis, aquela que está a Oeste. Coloque agora, em ordem crescente de brilho aparente, as estrelas Gacrux, Acrux, Mimosa, Delta Crucis, Alfa Centauri e Beta Centauri.

- Em seguida, observe a constelação do Sagitário. Com a ajuda do Mapa 7 do Apêndice, localize Kaus Borealis, Kaus Media, Kaus Australis e Nunki. Coloque essas estrelas em ordem crescente de brilho aparente.

### **10.3 Técnicas para estimar a magnitude visual**

#### **10.3.1 Método histórico (de Argelander)**

O procedimento mais utilizado atualmente para a medida quantitativa da magnitude visual de uma estrela é uma adaptação de um método que foi originalmente desenvolvido por F.W. Argelander em meados do século XIX para estimar as dezoito estrelas variáveis conhecidas na época, com a finalidade de determinar suas curvas de luz e períodos de variação (ARGELANDER, 1844). O processo de Argelander, conhecido originalmente como “método fracionário”, se baseia em uma interpolação simples e pode ser sintetizado da seguinte forma:

Após determinar a posição em que se encontra a variável através de suas coordenadas e/ou atlas celestes, o observador deve identificá-la corretamente sem qualquer ambiguidade (sempre com a ajuda de uma carta celeste adequada) e localizar pelo menos duas estrelas de comparação **(a)** e **(b)**, que estejam nas suas proximidades e cujas magnitudes sejam previamente conhecidas. Uma delas deve ser mais brilhante e a outra mais apagada que a variável no momento em que a observação estiver sendo feita. Olhando alternadamente para a variável e para as duas estrelas de comparação (sem fixar os olhos demoradamente em nenhuma delas), o observador divide mentalmente o intervalo de magnitudes entre as duas estrelas de comparação em um número inteiro de partes (em geral não superior a 8). Em seguida, o brilho da variável dentro desse intervalo será estimado, como uma *fração do intervalo total de magnitudes* que separa as duas estrelas de comparação.

Consideremos um exemplo. Imaginemos que, no campo da variável a ser observada, haja duas estrelas de comparação com magnitudes 6,3 e 7,1. Digamos que a impressão visual do observador seja que o brilho da variável (estrela **v**) esteja *exatamente a meio caminho* entre as estrelas de comparação escolhidas. Em outras palavras, para ele a diferença de brilho entre a variável e a estrela mais brilhante é igual à diferença de brilho entre a variável e a estrela mais apagada (ou seja, a proporção entre esses dois intervalos de magnitude neste exemplo é de 1:1). Na notação original de Argelander, essa situação é escrita da seguinte forma: **(a) 1 v 1 (c)**. Como sabemos que a diferença total de magnitudes das estrelas de comparação é de 0,8 magnitudes, para que o brilho da variável satisfaça a proporção estimada de 1:1, ela deverá ter magnitude 6,7.

Suponhamos agora que, em outra situação, o observador tenha também dividido o intervalo entre as estrelas de comparação em oito partes, mas que tivesse a impressão de que a variável está mais próxima em brilho da estrela de magnitude 6,3 do que da estrela de magnitude 7,1 *na proporção de 1:3*. Nesse caso, a indicação na notação original seria **(a) 1 v 3 (b)**; e para que a variável esteja na proporção de 2:6, sua magnitude deve ser de 6,5.

### **10.3.2 Método preferido atualmente (de Pickering)**

Embora ainda hoje alguns variabilistas ainda usem o método original de Argelander da forma descrita acima, a maioria dos observadores prefere usar uma variação muito mais simples e prática da mesma técnica. Trata-se de uma simplificação do processo fracionário denominada **método de Pickering** (ou *método AAVSO*). Seus princípios são idênticos aos do método de Argelander; porém, na hora de fracionar a diferença de magnitudes entre as duas estrelas de comparação, isso é feito *sempre em dez partes iguais*. Como nosso sistema de numeração tem base decimal, a maioria dos observadores acha bem mais fácil memorizar, por exemplo, uma fração do tipo “*sete partes em dez*” (ou até “*setenta por cento*”) do que “*cinco partes em sete*”. O cálculo que se segue é feito como uma regra de três simples. No exemplo que vimos acima, a diferença de magnitude entre as duas estrelas de comparação é 0,8. Suponha que você achou que a variável tem brilho mais próximo da estrela de comparação mais brilhante na razão de 4 partes em 10. A magnitude é calculada em dois passos simples:

O intervalo de magnitudes que separa a variável da estrela mais brilhante é dado por:  $0,8 \times (4/10) = 0,32$ , que é aproximado para 0,3 (você deve aproximar sempre para *décimos de magnitude*, que é a precisão geralmente atingível pelo método visual).

Estimativa final da magnitude da variável:  $6,3 + 0,3 = 6,6$ .

Lembre-se: a estimativa de magnitude em si é algo absolutamente pessoal: *ela é uma sensação e não um raciocínio*. Caberá unicamente ao observador a conclusão da *impressão* daquilo que vê, não deixando se influenciar pela opinião alheia. Com a prática, o observador se acostumará a realizar a estimativa quase automaticamente à medida que se familiariza com o campo visual. Quando se chega a esse ponto, nota-se que a dispersão das medidas de magnitudes entre dois observadores treinados é da ordem de 0,1 magnitude. Essa é a precisão que habitualmente se pode esperar do método visual, embora, em casos raros, haja observadores muito experientes que, reportadamente, podem atingir uma precisão na casa dos centésimos de magnitude.

Naturalmente, os métodos acima se prestam também para estimar magnitudes de estrelas que não sejam variáveis, mas cuja magnitude seja desconhecida pelo observador; basta, para tanto, dispor de duas estrelas de comparação adequadas.

Antes de começar a praticar o método de Pickering no céu real, vejamos alguns exemplos esquemáticos de seu uso, baseados no *Manual para observação visual de estrelas variáveis*, publicado pela AAVSO<sup>5</sup>.

Na situação A, a estrela variável está entre os dois traços horizontais no campo de visão. As estrelas de comparação ao seu redor têm suas magnitudes indicadas sem o ponto decimal para evitar confusão. De início, procura-se dentre elas qual a que tem brilho *imediatamente maior* que a variável (no caso, 6,1), e qual a que tem brilho *imediatamente menor* (no caso, 6,4). A variável terá assim magnitude entre 6,1 e 6,4. Olhando agora alternadamente para essas duas estrelas de comparação e para a variável, estime a magnitude desta última. O resultado pode ser 6,2 ou 6,3, dependendo da sua impressão visual.

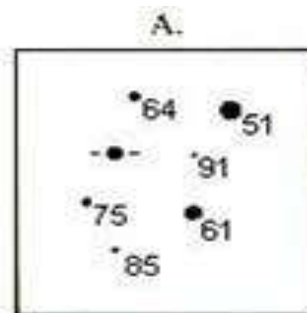


Figura 10.1 – Exemplo de estimativa visual (A).  
(Crédito: AAVSO.)

Para fixar melhor esse processo, repita-o agora para as situações B e C, que mostram a mesma variável em épocas diferentes (e portanto com brilhos diferentes) que em (A).

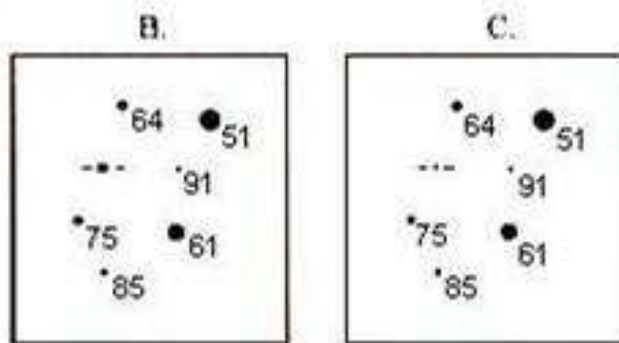


Figura 10.2 – Exemplos de estimativa visual (B) e (C). (Crédito: AAVSO.)

#### 10.4 Recomendações para obter uma boa estimativa

Antes de iniciar suas observações, convém atentar para algumas recomendações práticas que ajudarão a melhorar a qualidade e precisão das suas estimativas: elas reúnem as experiências de muitos anos do autor e de diversos outros observadores.

1. Adapte a sua visão ao escuro (20 minutos ao menos) antes de começar sua observação. Use apenas luz vermelha fraca (nunca luz branca) para checar seus mapas. Estes devem ser sempre impressos; não use monitores de *laptops* ou *smartphones*.

<sup>5</sup> O *Manual para observação visual de estrelas variáveis* da AAVSO, com 70 páginas, está disponível (em vários idiomas, inclusive o português) em: <<https://www.aavso.org/visual-observing-manual>>.

2. Procure fazer a estimativa quando a altura da estrela sobre o horizonte for no mínimo de 20 graus (evitando os efeitos da extinção atmosférica). Se isso for impossível, faça a estimativa usando estrelas de comparação à mesma altura aproximada que a variável.
3. Mantenha os olhos constantemente em movimento. Não olhe fixamente para nenhuma estrela, principalmente se ela for vermelha (ela irá parecer mais brilhante do que realmente é, por um efeito fisiológico conhecido como “efeito Purkinjé”).
4. Sempre que possível, evite observar sob luar intenso: devido a outro efeito fisiológico conhecido como “efeito Dove”, as estrelas vermelhas parecerão mais brilhantes.
5. Confirme e reconfirme a identificação da variável e das estrelas de comparação. Essa costuma ser a causa mais comum de erros por parte de observadores iniciantes.
6. Sempre que for possível, escolha estrelas de comparação da mesma cor que a variável. Evite comparar diretamente estrelas azuis com vermelhas.
7. Se possível, escolha duas estrelas de comparação separadas por um intervalo menor que 0,5 magnitude. Procure não usar estrelas separadas por mais de uma magnitude.
8. Quando estiver observando com um instrumento (binóculo ou telescópio), procure manter sempre as estrelas próximas ao centro do seu campo de visão.
9. Desfocalize levemente o seu instrumento, principalmente se estiver observando estrelas de cores levemente diferentes. Nesse caso, compare o tamanho dos pequenos “discos” fora de foco: a estimativa será mais fácil dessa forma.
10. Quando observar estrelas fracas ao telescópio, mantenha os dois olhos abertos e tampe com a mão aquele que não estiver em uso. Se a estrela for muito fraca, use o recurso da “visão indireta” (ou seja, não olhe diretamente para a estrela, mas sim para um ponto nas proximidades dela). Isso permite perceber melhor as estrelas do campo.

### **10.5 Recursos adicionais para suas estimativas de magnitude**

Em qualquer circunstância, você deve ter sempre consigo um atlas celeste, planisfério ou cartas celestes previamente preparadas e impressas, para propiciar uma primeira localização da estrela variável. Recomendações e procedimentos para tanto já foram vistos no item 3.5, Capítulo 3. Mas existem muitas situações em que apenas esses recursos serão insuficientes para identificar com precisão a variável, bem como para permitir uma boa escolha das estrelas de comparação: por exemplo, precisaremos de cartas específicas para a estimativa de magnitude, compatíveis com o instrumento que o observador irá utilizar. Esses recursos (e muitos outros) estão disponíveis gratuitamente no website da AAVSO, em <<https://www.aavso.org/>>. Para orientar os observadores iniciantes, relacionamos a seguir os mais importantes:

- Cartas para a estimativa de magnitude das centenas de milhares de estrelas pertencentes ao banco de dados da AAVSO podem ser obtidas na seção “Variable Star Plotter”, disponível em: <<https://www.aavso.org/apps/vsp/>>. Esse é um recurso inteiramente configurável para as necessidades de cada observador. Este poderá inicialmente plotar um mapa geral através da simples digitação do nome da estrela<sup>6</sup>,

---

<sup>6</sup> O formato correto para indicar o nome da estrela segue a nomenclatura oficial vista no item 9.3, Capítulo 9. Deve-se digitar a letra (ou letras) que indicam a designação da estrela, seguida das três letras

ou, alternativamente, das suas coordenadas (ascensão reta e declinação); ele deverá também informar qual é a escala que deseja para o mapa, escolhendo um dos tamanhos de campo pré-definidos que variam desde 15° até 7,5' (minutos de arco). Alternativamente, ele poderá digitar diretamente o campo de visão de seu instrumento (em minutos de arco) nas Opções Avançadas. A magnitude-limite da carta também deve ser configurada para reproduzir as condições do céu de cada observador e de seu instrumento. Outras opções, como resolução do mapa, legendas etc., também podem ser configuradas sucessivamente até que se atinja um mapa perfeito para aquilo que o observador requer. Esse é um processo que tipicamente levará alguns minutos, e pode ser feito a qualquer momento.

- Todas as informações disponíveis sobre cada uma dessas centenas de milhares de estrelas podem ser consultadas diretamente no grande banco de dados VSX da AAVSO, disponível em: <<https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=search.top>>. Para isso, basta digitar o nome da estrela no mesmo formato já visto no parágrafo acima – ou, alternativamente, as suas coordenadas (ascensão reta e declinação), e clicar em seguida no botão “Search”.
- Você poderá também consultar as estimativas de magnitudes mais recentes feitas pelo quadro de três mil observadores da AAVSO para qualquer uma dessas estrelas. Na página inicial (<<https://www.aavso.org/>>), basta digitar o nome da estrela (no formato já visto) no campo “Pick a star” e, em seguida, clicar em “Check recent observations”. O quadro que se abre contém as magnitudes estimadas recentemente e as datas em que cada estimativa foi feita (em datas-calendário e em datas julianas), além de outros detalhes como as siglas dos nomes de cada observador.
- Caso deseje, você poderá também pedir a curva de luz para qualquer dessas estrelas a qualquer momento. A AAVSO fornece curvas em dois formatos distintos, disponíveis em <<https://www.aavso.org/lcg>> ou em <<https://www.aavso.org/LCGv2/>>. Qualquer que seja o formato escolhido, você poderá configurar a curva para qualquer faixa de datas ou período que necessitar.
- Já mencionamos aqui o *Manual para observação visual de estrelas variáveis*, disponível em português em: <<https://www.aavso.org/visual-observing-manual-portuguese>> e que pode ser baixado em partes ou no todo. Recomendamos vivamente a sua leitura a qualquer observador.
- Em especial para os principiantes, no entanto, a AAVSO publicou também dois tutoriais simples denominados *10-star training tutorials*, com as recomendações e as cartas celestes essenciais para a observação de 10 estrelas do Hemisfério Norte e de 11 estrelas do Hemisfério Sul; todas elas são brilhantes, fáceis de localizar e observar<sup>7</sup>. Esses são programas excelentes para quem deseja adquirir experiência. Ambos podem

---

correspondentes à abreviação latina da constelação em que ela se encontra (vistas no Apêndice A do Capítulo 3). Exemplos: R Car (para R Carinae); RY Sgr (para RY Sagittarii). Se a estrela possui um nome latino, digitar as três primeiras letras desse nome, seguidas pelas três letras da abreviação da constelação. Exemplos: Del Cep (para Delta Cephei); Bet Lyr (para Beta Lyrae) etc.

<sup>7</sup> Ao todo, são 19 estrelas nos dois tutoriais da AAVSO, uma vez que Betelgeuse e Eta Aquilae aparecem em ambos.

ser baixados no link <<https://www.aavso.org/10-star-training>><sup>8</sup>. Voltaremos a falar sobre esses tutoriais no fim do presente capítulo (item 10.8).

Em seu website, a AAVSO oferece ainda softwares gratuitos para análise e tratamento estatístico dos dados obtidos, propõe diversos programas de observação na área das estrelas variáveis e disponibiliza desde 1972 um periódico para publicação de artigos preparados por seus observadores (*Journal of the American Association of Variable Star Observers, JAAVSO*). Voltaremos a esses itens nos próximos capítulos. Por fim, cabe mencionar que todos os recursos mencionados acima são oferecidos sem qualquer ônus a qualquer visitante do website. Caso o leitor deseje, poderá também ingressar no quadro de observadores da AAVSO (também sem custos): ele receberá então uma senha e poderá passar a participar dos diversos programas a que a entidade se dedica. Pessoalmente, no entanto, recomendamos que o interessado faça isso somente depois de alguns meses de observações regulares e sistemáticas – período ao longo do qual ele adquirirá experiência e poderá certificar-se que de fato deseja assumir esse compromisso a longo prazo. Ver a respeito o item 10.8.

## **10.6 Aprendendo a estimar magnitudes no céu real**

Uma vez entendidos os procedimentos e conhecidos os recursos, é tempo de “colocar as mãos na massa”! Neste tópico, vamos treinar a técnica de Pickering, aplicando-a a algumas estrelas no céu real, e proporemos também o início do monitoramento a longo prazo de duas estrelas variáveis a olho nu (uma delas no período de verão e a outra no inverno, de forma consistente com as duas primeiras práticas já vistas). Nos tópicos seguintes, detalharemos como construir a sua primeira curva de luz.

### **10.6.1 Treinando a técnica de Pickering no céu real**

*Se você estiver observando nos meses de verão:* retorne agora ao Passo 3 da Prática 1. Usando o Mapa 3 do Apêndice A, localize a olho nu a constelação do Cão Maior e siga os passos abaixo:

- Identifique as estrelas Mirzam, Adhara e Aludra (confira no Mapa 3). Sabemos que Adhara possui magnitude aparente 1,5 e que Aludra tem magnitude 2,5. Olhando alternadamente para as três estrelas e utilizando o método de Pickering, estime a magnitude aparente de Mirzam.
- Identifique agora no mapa uma estrela nomeada com a letra grega  $\delta$  (delta). Esta é Delta Canis Majoris, também conhecida como Wezen. Localize-a em seguida no céu, na constelação do Cão Maior. Usando as mesmas estrelas de comparação da questão anterior (Adhara e Aludra), bem como a magnitude de

---

<sup>8</sup> O tutorial do Hemisfério Sul possui uma versão para português; no entanto, em razão de alguns erros técnicos na tradução, nesse caso específico sugerimos o uso das versões em inglês ou espanhol.

Mirzam que você acaba de determinar, estime a magnitude aparente de Wezen usando o método de Pickering. As respostas estão no Apêndice D.

Se você estiver observando nos meses de inverno: retorne agora ao Passo 6 da Prática 2 e, com a ajuda do Mapa 7 do Apêndice A, localize a olho nu a constelação do Sagitário e suas estrelas principais. Siga os passos abaixo:

- Identifique no céu a estrela Ascella. Usando o método de Pickering, procure estimar sua magnitude usando as estrelas de comparação Kaus Australis (magnitude 1,8) e Kaus Borealis (magnitude 2,8).
- Usando agora a magnitude de Ascella (que você acaba de determinar), mais a magnitude de Kaus Borealis (2,8), tente estimar a magnitude de Kaus Media. As respostas estão no Apêndice D.

### **10.6.2 Monitorando uma estrela variável a olho nu**

Se você estiver observando nos meses de verão: Usando o Mapa 4 do Apêndice A, localize no céu Betelgeuse, a brilhante estrela avermelhada que também tem o nome de Alfa da constelação de Orion. Suas coordenadas são: ascensão reta 05h55m, declinação +07°27'.

Betelgeuse é uma variável pulsante da classe semi-regular SRC. Como vimos no item 9.6.1.7 do Capítulo 9, isso significa que ela é uma estrela supergigante jovem e muito massiva. Sua variabilidade foi descoberta por John Herschel no ano de 1836. Herschel registrou um período de abrlhantamento intenso entre os anos de 1836 e 1840; e, novamente, entre 1849 e 1852, quando ela se tornaria “a estrela mais brilhante do Hemisfério Norte”, ultrapassando Capella, cuja magnitude é de 0,1. (HERSCHEL, 1883). Observações do banco de dados da AAVSO revelam que, nos últimos anos, Betelgeuse parece estar apresentando um gradual aumento de brilho, podendo mesmo em breve chegar a níveis semelhantes aos mencionados por Herschel (ver Figura 10.3). Pelo *General Catalogue of Variable Stars* (SAMUS et al., 2016), sua magnitude varia entre 0,0 e 1,3 magnitudes. Como todas as variáveis semi-regulares, Betelgeuse não tem uma periodicidade precisamente definida: em SAMUS et al. (2016) reporta-se um período de pulsação da ordem de 2335 dias (6,39 anos); no entanto, recentemente foram descobertos subperíodos superpostos, da ordem de 420 dias (DUPREE et al., 1987) ou 376 dias (DEMPSEY, 2015).

Cálculos recentes indicam que a estrela está a cerca de 640 anos-luz de distância, o que implica uma luminosidade de mais de 100.000 vezes a luminosidade solar (HARPER et al., 2008). Betelgeuse é assim uma das maiores e mais luminosas estrelas que podemos observar no céu. As mais recentes pesquisas mostram que sua massa é da ordem de 20 vezes a massa solar; que seu raio varia entre aproximadamente 700 e 1100 raios solares (o que é comparável ao raio da *órbita* do planeta Júpiter); e que sua

idade está em torno de oito milhões de anos apenas. O destino final de uma estrela com essas características é certamente explodir como supernova do Tipo II, o que se espera ocorra em menos de 100.000 anos (DOLAN et al., 2016).

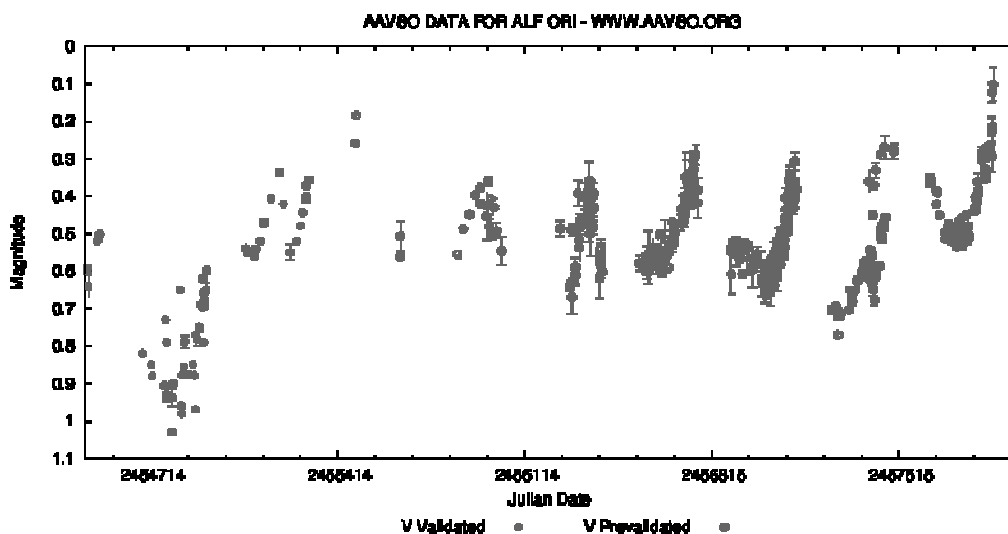


Figura 10.3 – Curva de luz de Betelgeuse desde 1 de janeiro de 2008 (DJ 2454466) até 2 de julho de 2017 (DJ 2457968). (Curva de luz (V) obtida pelo autor a partir do banco de dados da AAVSO.)

Por todos esses fatores, o monitoramento regular do brilho de Betelgeuse é uma tarefa recompensadora e perfeitamente ao alcance do iniciante, podendo ser feita a olho nu com facilidade. Para realizá-la, sugerimos uma estimativa de magnitude por semana (ou ao menos por quinzena), sempre que as condições climáticas permitirem. Deve ser usado o método de Pickering e, como estrelas de comparação (escolhidas de acordo com a fase de brilho em que Betelgeuse se encontrar na data da estimativa), duas quaisquer entre as seguintes estrelas: Rigel (magnitude 0,1); Capella (mag 0,1); Procyon (mag 0,4); Aldebaran (mag 0,9) e Bellatrix (mag 1,6). Confirme sua identificação no céu, usando o Mapa 4 do Apêndice A. Infelizmente, com a exceção de Aldebaran, essas estrelas de comparação possuem cores bem diferentes da cor vermelha de Betelgeuse; por essa razão, deve-se redobrar os cuidados para evitar o efeito Purkinjé (ver recomendações do item 10.4). O monitoramento de Betelgeuse pode ser feito em datas à escolha do observador, preferivelmente durante os meses de outubro a maio, em que a estrela está bem acessível em horários convenientes.

Após feita sua estimativa, o observador poderá compará-la com aquelas feitas por variabilistas veteranos diretamente no website da AAVSO, bem como pesquisar todos os demais recursos desse website, da maneira já descrita no item 10.5.

Se você estiver observando nos meses de inverno: Uma primeira ideia poderia ser o monitoramento de Antares, a brilhante estrela vermelha no “coração” da constelação



do Escorpião, que já vimos na Prática 2, e que parece ser uma réplica de Betelgeuse nos céus de inverno. Afinal, além da cor característica e das temperaturas efetivas da ordem de 3.500 K, ambas são estrelas variáveis de classe SRC (SAMUS et al., 2016). No entanto, a amplitude de variação de Antares é muito menor: sua magnitude visual oscilou apenas entre 0,9 e 1,1 ao longo de quase seis anos (PUGH e GRAY, 2013). Assim como Betelgeuse, Antares terminará seus dias como uma supernova do Tipo II dentro de dezenas de milhares de anos (HOCKEY; TRIMBLE, 2010). Antares apresenta uma peculiaridade: ela é uma estrela dupla, constituída por uma supergigante vermelha (Antares A), cujas dimensões são pouco inferiores às de Betelgeuse (massa de cerca de 18 massas solares e raio comparável ao da órbita de Marte); e por uma companheira de cor branco-azulada, que geralmente não é fácil de ser visualizada (a não ser que se usem telescópios de abertura de 200 mm ou mais), por ter seu brilho ofuscado pela componente supergigante. Essa companheira azul (Antares B) possui uma temperatura da ordem de 18.000 K, massa de cerca de 7 massas solares e raio de cinco vezes o raio solar (KUDRITZKI; REIMERS, 1978). Devido, entretanto, à pequena amplitude de variação de Antares, não a recomendaríamos aqui para o observador principiante. Uma outra estrela, de características bem diferentes, pode ser mais interessante para o monitoramento a olho nu: a brilhante variável azul Delta Scorpil.

Delta Scorpil é a estrela central entre as três que formam a “cabeça” da constelação do Escorpião (seu nome árabe, Dschubba, significa “a testa”). Suas coordenadas são: ascensão reta 16h00m, declinação -22°37'. Até o ano de 2000, ela não parecia digna de nota, brilhando com sua cor azulada característica e com magnitude supostamente constante (2,32). Então, em junho daquele ano, um abrilhantamento súbito de Delta Scorpil foi percebido pelo astrônomo amador argentino Sebastián Otero, e confirmado logo em seguida por uma série de observações fotoelétricas e espectroscópicas (OTERO; FRASER; LLOYD, 2001). Em poucas semanas, sua magnitude atingiu 1,9; após uma breve fase de queda, seu brilho aumentou novamente, atingindo novo máximo em 2003, quando a estrela atingiu magnitude 1,6, tornando-se a segunda mais brilhante da constelação. A partir de 2004, seu brilho decaiu quase uma magnitude. Essa queda de brilho durou mais de seis anos, e a estrela só se recuperaria em 2011 (Figura 10.4).

Ora, já se sabia, desde a década de 1970, que Delta Scorpil era um sistema binário, com período da ordem de 10,6 anos. Deduziu-se que esse comportamento fotométrico e espectroscópico periódico de Delta Scorpil poderia estar relacionado à formação de um disco gasoso circum-estelar em torno da estrela primária, nas situações de periastro<sup>9</sup>; ora, esse tipo de fenômeno não era desconhecido, sendo muito comum em certo tipo de estrelas conhecidas como “estrelas Be”. Com a premissa de que Delta Scorpil pertencesse a esse grupo, foi desenvolvido um modelo matemático que

---

<sup>9</sup> O periastro de um sistema binário corresponde, na sua órbita, ao ponto de maior aproximação entre as duas estrelas que compõem o sistema.

descrevia seu comportamento, prevendo-se um novo abrihantamento quando do periastro seguinte, previsto para 2011 (CARCIOFI et al., 2006). Montou-se a seguir um amplo programa de cooperação internacional para observar Delta Scorpil por fotometria e espectroscopia em 2011, visando comprovar essa hipótese. A campanha foi bem-sucedida: na data prevista, a estrela se comportou como esperado pelo modelo, permitindo desvendar as características de Delta Scorpil: trata-se de um sistema de duas estrelas quentes e azuis, de massas equivalentes a 13 e 8,2 massas solares; o período orbital foi refinado para 10,8092 anos, com o periastro tendo ocorrido precisamente em 3 de julho de 2011; a distância do sistema foi calculada como 447 anos-luz; confirmou-se ainda a existência do disco circum-estelar, com raio equivalente a cerca de 150 raios solares (algo como 105 milhões de km). Os resultados sugeriram também a possível existência de uma terceira componente no sistema estelar de Delta Scorpil – mas a confirmação dessa hipótese terá de esperar até o próximo periastro, em 2022 (MIROSHNICHENKO; PASECHNIK; MANSET, 2013).

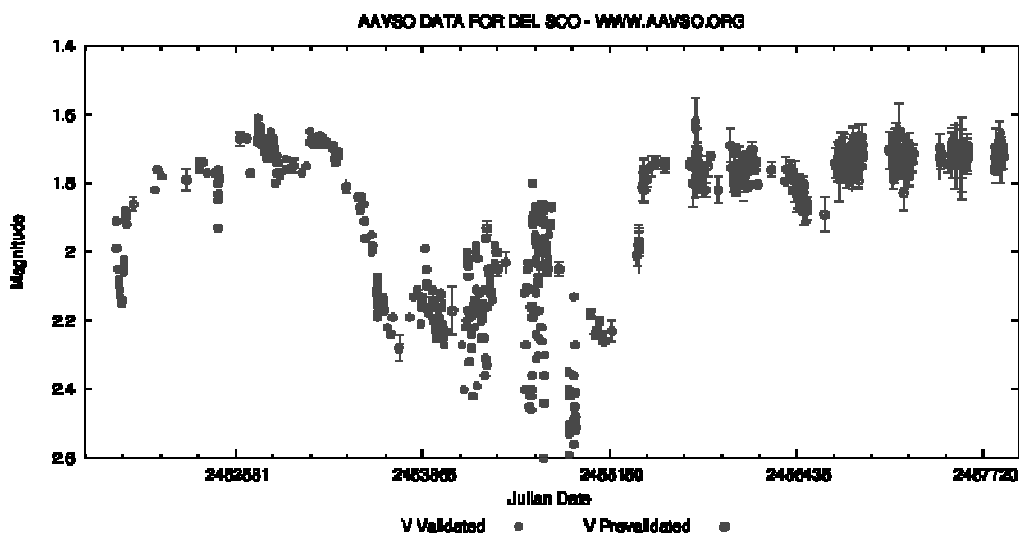


Figura 10.4 – Curva de luz de Delta Scorpil desde 1 de janeiro de 2000 (DJ 2451544) até 2 de julho de 2017 (DJ 2457968). (Curva de luz (V) obtida pelo autor a partir do banco de dados da AAVSO.)

Para o monitoramento visual de Delta Scorpil, sugere-se uma estimativa de magnitude a cada quinze dias, ou ao menos uma vez por mês, sempre que as condições climáticas permitirem. Usa-se o método de Pickering; como estrelas de comparação (escolhidas de acordo com a fase de brilho em que Delta Scorpil se encontrar na data da estimativa), podem ser usadas duas quaisquer entre aquelas cujas magnitudes estão indicadas no Mapa 8 do Apêndice A. Após feita sua estimativa, o observador poderá compará-la com aquelas feitas por variabilistas mais experientes no website da AAVSO. Os procedimentos são os mesmos já descritos no item 10.5.

O monitoramento de Delta Scorpíi pode ser feito em datas à escolha do observador, preferivelmente durante os meses de abril até novembro de cada ano, em que a estrela está acessível em horários convenientes, nas primeiras horas da noite.

### **10.7 Construindo sua primeira curva de luz**

Estrelas como Betelgeuse, Delta Scorpíi ou as Miras (variáveis de longo período) em geral são as mais adequadas para que os principiantes ganhem perícia nas estimativas: suas variações de brilho são lentas e (ao menos no caso das Miras) a amplitude de variação é grande, o que reduz o erro relativo nas estimativas, que é perfeitamente normal nos iniciantes. No entanto, elas têm também uma desvantagem: uma curva de luz razoável dessas estrelas leva muito tempo para ser construída (algo como um ano ou até mais). E é muito compreensível que o observador não queira esperar tanto tempo para ver o produto final de suas observações (uma curva de luz completa). Por isso, sugerimos ao leitor que, paralelamente ao monitoramento daquelas estrelas, ele tente também construir a curva de luz de uma variável cujo período seja da ordem de poucos dias. Idealmente, essa variável deveria ser também brilhante e fácil de localizar. Algumas binárias eclipsantes preenchem muito bem esses requisitos: escolheremos a seguir uma para os meses de verão e outra para os de inverno.

#### **10.7.1 No céu de verão:**

Uma boa opção é Algol, a “estrela do demônio” dos povos árabes antigos. A título de curiosidade, Algol é a estrela Beta da constelação de Perseu, o mítico herói grego que, entre outras façanhas, decapitou a monstruosa górgona Medusa, cujo olhar transformava em pedra qualquer incauto que ousasse fitá-la. Nas representações históricas da constelação, como os atlas celestes de Bayer (1603) ou Hevelius (1690), Algol corresponde exatamente ao olho maligno da Medusa.

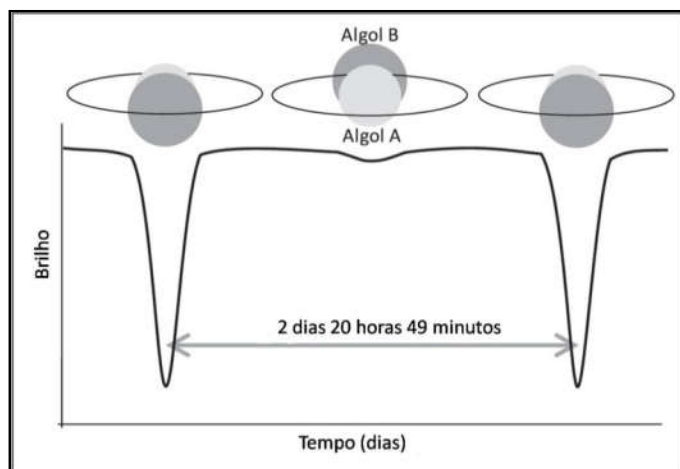
Como vimos no Capítulo 9 (item 9.2), embora as mudanças de brilho de Algol tenham sido notadas no Ocidente<sup>10</sup> por Geminiano Montanari em torno de 1667, foi o jovem astrônomo amador inglês John Goodricke o primeiro a observar sistematicamente a estrela, nos anos de 1782 e 1783, percebendo que as variações eram periódicas, estimando seu ciclo e deduzindo a causa das variações de brilho: “...ou pela interposição de um grande corpo girando em torno de Algol, ou por algum tipo de movimento próprio, através do qual uma parte do seu corpo, coberto por manchas, se volta periodicamente para a Terra” (GOODRICKE, 1783, tradução nossa). Um ano depois, ele refinaria sua medida do período de Algol, estabelecendo-o como precisamente 2 dias, 20 horas, 49 minutos e 3 segundos (GOODRICKE, 1784) – apenas

---

<sup>10</sup> É possível que a variabilidade de Algol já tivesse sido notada séculos antes, pelo menos pelos povos árabes, mas não há ainda evidências confirmadas dessa hipótese. Recentemente, astrônomos finlandeses propuseram que Algol já seria conhecida no Egito antigo, por volta de 1200 a.C., e que certos calendários egípcios indicariam o seu período (JETSU et al., 2013); porém, não existe ainda consenso sobre essa possibilidade.

poucos segundos de diferença em relação ao valor considerado nos dias de hoje, segundo o VSX. Um feito notável, ainda mais levando-se em conta que Goodricke ainda não havia completado vinte anos, era surdo e sua saúde era muito frágil. Ele morreria em 1786, aos vinte e um anos, apenas quatorze dias após ser eleito membro da Royal Society (FRENCH, 2012).

Algol é o paradigma das estrelas binárias eclipsantes do tipo EA, além de ser a mais brilhante e a mais famosa entre todas. Trata-se de um sistema binário<sup>11</sup> a cerca de 93 anos-luz de distância, composto por uma estrela azulada quente e luminosa do tipo espectral B8 (a mais brilhante do par) e por uma estrela subgigante mais fria e apagada do tipo K2. Os eclipses primários (cuja queda de brilho é perceptível a olho nu) ocorrem a cada 2,867 dias, quando a estrela mais apagada passa em frente à mais brilhante. O eclipse secundário corresponde à situação inversa, porém este é bem menos profundo e só pode ser percebido fotoeletricamente. Os eclipses são parciais. A separação real do par é de apenas 6% da distância do Sol à Terra, o que implica que haja alguma transferência de matéria (embora não muito intensa) da estrela K2 para a B8. A situação pode ser visualizada esquematicamente na Figura 10.5.



*Figura 10.5 – Algol (Beta Persei). A curva de luz é vista abaixo da representação geométrica esquematizada do sistema. (Crédito: Adirondack Public Observatory.)*

Para observadores situados nos estados do Sul e Sudeste brasileiros, Algol apresenta uma pequena dificuldade: sua declinação ( $+41^\circ$ ) é bastante boreal, o que significa que ela estará relativamente baixa sobre o horizonte (na latitude de São Paulo, por exemplo, sua altura atinge  $25^\circ$  na passagem meridiana), e que estará acessível durante poucos meses do ano nos horários geralmente mais convenientes ao observador (as primeiras horas da noite). Neste caso, a melhor época vai do início de dezembro ao início de fevereiro. Nenhum desses obstáculos é incontornável: nada que um pouco de

<sup>11</sup> A rigor, Algol é um sistema triplo: a terceira componente, no entanto, está muito afastada do par principal (2,7 UA) e não interfere assim nos eclipses.

planejamento prévio não resolva, o que será compensado pela oportunidade de presenciar, a olho nu, uma espetacular queda de brilho de mais de uma magnitude em algumas horas. Vamos planejar então?

Algol pode ser localizada nas coordenadas: ascensão reta 03h09m e declinação +41°. Use o seu software astronômico (Stellarium, Cartes du Ciel etc.) e/ou o Mapa 9 do Apêndice A para encontrar a posição dessa estrela no céu. Em seguida, tendo em mente a sua própria disponibilidade de tempo (você poderá querer acompanhar o eclipse completo, o que demandará mais de nove horas), pesquise quais as datas em que os próximos eclipses primários acontecerão. Você poderá obter essa informação em: <<https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=26202>>. Depois de acessar essa página, clique no link “Ephemeris” e uma nova janela se abrirá mostrando uma tabela com as datas dos próximos eclipses (não esqueça que os horários indicados estão em Tempo Universal). Escolha, de preferência, uma data em que a estrela esteja próxima à passagem meridiana no instante previsto para o meio do eclipse, ou “Mid-eclipse” (confirme isso no seu software). Verifique também nessa tabela quais são os horários de início (Start) e do fim (End) de cada eclipse para essa data que você escolheu: assim você saberá o horário em que deverá começar sua observação, bem como a hora de seu término (caso deseje acompanhar o eclipse completo).

Meia hora antes do horário previsto para o início do eclipse, e usando o método de Pickering, faça a primeira estimativa da magnitude de Algol. A partir daí, faça uma nova estimativa a cada 30 minutos até o fim da sua observação. Use para tanto o mapa 10 do Apêndice A (carta AAVSO) e as estrelas de comparação indicadas, selecionando sempre, para cada estimativa, uma estrela que esteja mais brilhante e outra mais apagada que Algol no momento da estimativa. A magnitude de Algol nos eclipses primários varia de 2,1 (na situação não-eclipsada) até 3,4 (no meio do eclipse). Todo o eclipse pode assim ser observado mesmo a olho nu (desde, obviamente, que você não esteja em um local com poluição luminosa muito alta).

Anote em seu caderno, para cada estimativa: o nome da estrela observada (neste caso, Algol, ou Beta Persei); a data e hora da estimativa (é recomendável sempre anotar a hora expressando-a em Tempo Universal); e a magnitude estimada, com precisão de uma decimal. Opcionalmente, você poderá anotar também as estrelas de comparação que usou em cada estimativa, o número da carta AAVSO que você tiver usado e qualquer comentário que você ache relevante. Acostume-se a usar rotineiramente esse procedimento de registro das estimativas: é um padrão que você deverá seguir sempre que observar qualquer estrela variável. Se você decidir futuramente remeter suas observações (via internet ou não) para a AAVSO ou qualquer outra associação internacional, terá de fornecer essas informações. No Apêndice B deste capítulo fornecemos um modelo simples de ficha para registrar seus dados.

No dia seguinte, já descansado, monte sua curva de luz em um gráfico feito em papel milimetrado ou em qualquer software tipo planilha (Excel, LibreOffice ou similar). Você pode indicar os horários em datas-calendário ou em datas julianas (neste caso, pode fazer a conversão na forma indicada no item 9.4, Capítulo 9). Parabéns! Você acaba de construir sua primeira curva de luz! Ela deve ter aspecto semelhante ao da Figura 10.6.

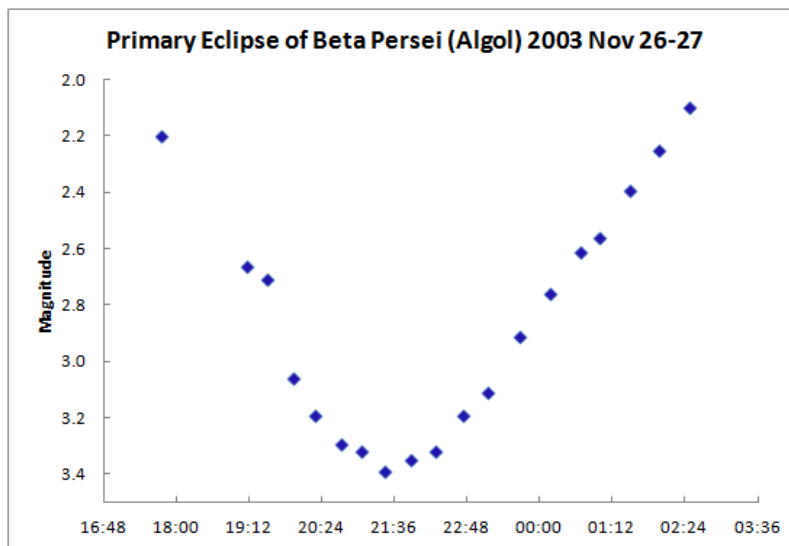


Figura 10.6 – Eclipse primário de Algol (Beta Persei), observado na noite de 26 para 27 de novembro de 2003 por membros da associação inglesa SPA (Society for Popular Astronomy). (Crédito: SPA.)

Finalmente, você poderá também anotar o instante exato do mínimo primário através da sua curva de luz. Assim, se desejar determinar o período de Algol, como fez John Goodricke em 1783, bastará repetir a sua observação no eclipse seguinte: a simples diferença entre os instantes dos dois mínimos lhe dará o período. Boa sorte!

### 10.7.2 No céu de inverno:

Recomendamos a observação a olho nu da variável Beta Lyrae (também chamada Sheliak), uma binária eclipsante que é o paradigma do seu tipo (EB). A observação pode ser feita também com binóculos, caso o seu céu não seja suficientemente escuro. Beta Lyrae é muito fácil de ser localizada, por estar bem perto de Vega ( $\alpha$  Lyrae), uma das mais brilhantes estrelas do céu de inverno.

A variabilidade de Beta Lyrae foi descoberta no outono de 1784 por nosso já conhecido John Goodricke, que estabeleceu seu período como 12 dias e 19 horas, apresentando seus resultados à Royal Society em 1785. No artigo publicado em seguida, Goodricke prometia refinar mais ainda esse valor: “...eu tenho a intenção de continuar a seguir este assunto, e quando tiver um número suficiente de observações, será fácil determinar o período com maior exatidão...” (GOODRICKE; ENGLEFIELD, 1785, tradução nossa). Como já sabemos, no entanto, seu tempo de vida não seria suficiente

para completar esse objetivo. Felizmente, os trabalhos de Goodricke tiveram continuidade nas mãos de seu amigo e parceiro Edward Pigott (1753-1825), que formou, com Goodricke, a mais notável dupla de observadores de estrelas variáveis do século XVIII (HOSKIN, 1979).

Situado a 960 anos-luz de distância, o sistema de Beta Lyrae é constituído por duas estrelas quentes e azuis: uma delas é uma gigante do tipo espectral B7, com temperatura efetiva de 13.300 K, raio 15 vezes o solar e massa 3 vezes a do Sol. A outra, do tipo B0, é ainda mais quente (temperatura de 30.000 K), e possui raio 6 vezes o solar e massa 13 vezes a do Sol. Ao contrário de Algol, no entanto (que apresenta pequena separação real entre as duas componentes), no caso de Beta Lyrae as estrelas estão praticamente em contato entre si. Isso distorce o seu formato, tornando as duas componentes elipsoidais, e gera uma forte transferência de massa da primeira estrela para a segunda: da ordem de  $10^{-5}$  massas solares por ano (um bilhão de vezes mais intensa do que em Algol). Essa troca de massa (basicamente hidrogênio) causa um atraso no período de cerca de 19 segundos por ano, cria um disco de acreção que envolve completamente a estrela mais quente e afeta diretamente a trajetória evolutiva das duas estrelas (MENNICKENT; DJURASEVIC, 2013).

Beta Lyrae pode ser localizada nas coordenadas: ascensão reta 18h50m e declinação +33°22'. Use o seu software astronômico (Stellarium, Cartes du Ciel etc.) e/ou o Mapa 11 do Apêndice A para encontrar a posição dessa estrela no céu. O período atual de Beta Lyrae é de 12 dias, 22 horas e 35 minutos (VSX); mas, ao contrário de Algol, sua variação de brilho é contínua, e portanto a determinação precisa do início e do fim de cada eclipse é muito difícil de ser realizada. Como referência, no entanto, considera-se o momento do mínimo primário (ou seja, o mínimo mais profundo) como o início de um novo ciclo; dessa forma, sugerimos que você planeje o início de sua observação justamente para essa fase. Nesse caso, a previsão para os próximos mínimos primários está disponível em: <<https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=18631>>. Acesse esse link e clique no link "Ephemeris"; uma nova janela se abrirá mostrando uma tabela com as próximas datas dos mínimos primários (não esqueça que os horários indicados estão em Tempo Universal). Escolha a data do início de suas observações de acordo com sua própria conveniência (lembrando ainda que, para observar qualquer objeto celeste, o instante melhor é sempre quando ele está próximo da passagem meridiana).

A magnitude de Beta Lyrae varia continuamente entre 3,30 e 4,35; então, nesse caso, uma estimativa por noite durante pelo menos treze dias será suficiente para cobrir todo o ciclo da estrela. Use o Mapa 12 do Apêndice A e as estrelas de comparação indicadas para fazer as suas estimativas, selecionando sempre, em cada noite, uma estrela que aparente estar mais brilhante e outra mais apagada que Beta Lyrae.

Não esqueça de anotar regularmente suas estimativas no seu caderno de observações, segundo o mesmo padrão já descrito no item 10.7.1 para Algol. Terminado o período de treze dias (ou mais, se desejar) de observações, construa a sua curva de luz também da maneira lá indicada. O aspecto da curva deve ser parecido com aquele mostrado na Figura 10.7 de forma esquemática<sup>12</sup>.

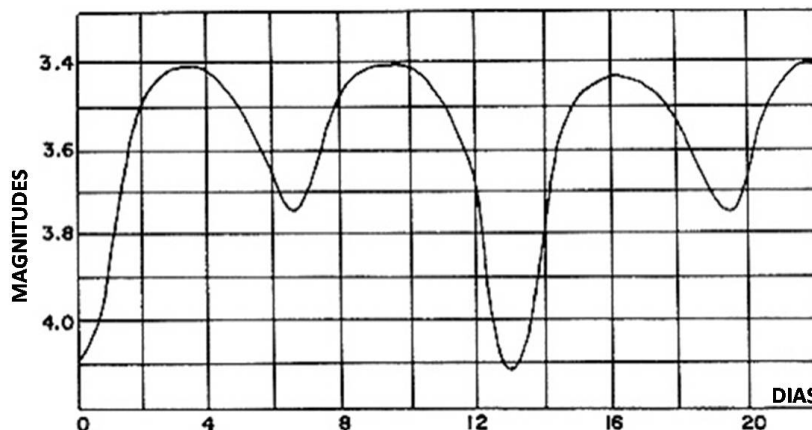


Figura 10.7 – Curva de luz esquematizada de Beta Lyrae. (Crédito: AAVSO.)

### 10.8 Planejando o seu futuro programa de observações

Se o leitor realizou todas as etapas precedentes, adquiriu alguns meses de experiência na estimativa visual de magnitudes e conseguiu construir as suas primeiras curvas de luz, provavelmente terá ficado atraído por essa fascinante área das estrelas variáveis – e, se for assim, desejará continuar a observar! Nesse caso, recomendamos três etapas:

- Na primeira, sugerimos baixar os tutoriais *10-star training tutorials* da AAVSO (aos quais já nos referimos no item 10.5) e escolher algumas das estrelas de cada tutorial (preferencialmente, todas as que puderem ser observadas da latitude do observador), praticando as estimativas de suas magnitudes sempre que possível, por ao menos seis meses. Os tutoriais estão disponíveis em: <<https://www.aavso.org/10-star-training>>.
- Em uma etapa seguinte, recomendamos selecionar pelo menos algumas estrelas da “Sugestão de um programa de observação para iniciantes”, que pode ser encontrada no Apêndice C deste capítulo. Esse programa, desenvolvido pelo autor para uso em cursos de técnicas de observação, tem sido usado como treinamento sobre estrelas variáveis há mais de dez anos; ele contém 24 estrelas, parte das quais (principalmente as do Hemisfério Sul Celeste), ainda necessita um volume maior de estimativas para refinar seu período e amplitude de variação. Os valores constantes desse programa estão atualizados para agosto de 2017 pelo banco de dados VSX, da AAVSO. A tabela

<sup>12</sup> Para estrelas de ciclo regular, como a própria Beta Lyrae ou as Cefeidas em geral, é frequente indicar, no eixo das abscissas da curva de luz, a *fase do ciclo*, em vez da data-calendário ou da data juliana. Isso permite condensar vários ciclos de observação em um só. No próximo capítulo veremos como fazer essa conversão.



lista, além do nome, amplitude, período, tipo e coordenadas de cada variável, os instrumentos que podem ser usados para observá-las. Ao atingir esse estágio, muito provavelmente o leitor já terá adquirido prática suficiente para ingressar no quadro de observadores da AAVSO, e estará remetendo suas estimativas e trocando experiências com os veteranos da área de estrelas variáveis.

- A partir daí, um bom caminho será escolher um programa especializado no(s) tipo(s) de variáveis com os quais o leitor tiver mais afinidade: binárias eclipsantes, cataclísmicas, Miras e assim por diante. A AAVSO disponibiliza uma série desses projetos mais avançados em: <<https://www.aavso.org/observers#sections>>.

Boa sorte... e bem-vindo ao maravilhoso mundo das estrelas variáveis!

### **10.9 Atividades sugeridas (para professores)**

O capítulo atual é o coração de todo o programa, sendo integralmente dedicado a atividades práticas (observacionais), que devem ser realizadas somente após o aprendizado, visto nos capítulos anteriores, da fundamentação teórica sobre os fenômenos físicos envolvidos e a familiarização básica com o céu noturno (que é afinal o “laboratório” no qual os experimentos observacionais em Astronomia são desenvolvidos). Por essa razão, será indispensável programar no mínimo uma sessão de observação em conjunto com os alunos, uma vez cumpridos todos os capítulos precedentes. Essa sessão deve ser efetuada à noite, no céu real, e ter duração de ao menos três horas. Essa é a atividade imprescindível recomendada ao professor para este capítulo.

O motivo para a indicação, em cada prática, de duas faixas de datas (correspondentes aos meses de verão e de inverno, sempre nas primeiras horas da noite), é justamente deixar à livre escolha do professor a data mais conveniente para a realização da sessão observacional. Para um melhor aproveitamento dessa sessão, é essencial que os alunos tenham previamente feito as atividades propostas nos Capítulos 3 e 4 e que estejam familiarizados com os conceitos expostos no Capítulo 9.

### **Referências bibliográficas para o Capítulo 10**

AAVSO (American Association of Variable Stars Observers). Website. Disponível em: <<https://www.aavso.org/>>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

ANGLADA-ESCUDE, G.; AMADO, P.J.; BARNES, J. et al. A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri. arXiv:1609.03449, 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1609.03449.pdf>>. Acesso em: 22 de julho de 2017.

ARGELANDER, F.W. Aufforderung an Freunde der Astronomie. In: SCHUMACHER, H.C. (ed.), *Jahrbuch für 1844*. Stuttgart & Tübingen: J.G. Cotta Buchhandlung, p. 122-254, 1844. Parte da obra foi traduzida para o inglês por Annie J. Cannon como: The variable stars. *Popular Astronomy*, v. 20, p. 148-56, 1912. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1912PA.....20...91A>>. Acesso em: 27 de julho de 2017.

CARCIOFI, A.C. et al. Properties of the  $\delta$  Scorpii circumstellar disk from continuum modeling. *The Astrophysical Journal*, v. 652, issue 2, p. 1617-25, 2006. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2006ApJ...652.1617C>>. Acesso em: 3 de agosto de 2017.

DEMPSEY, F. Betelgeuse period analysis using VSTAR. *The Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, v. 43, n. 1, p. 105, 2015. Disponível em: <<https://www.aavso.org/apps/jaavso/article/3076/>>. Acesso em: 25 de julho de 2017.

DOLAN, M.M. et al. Evolutionary tracks for Betelgeuse. arXiv:1406.3143v2 [astro-ph.SR], 7 January 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1406.3143v2>>. Acesso em: 25 de julho de 2017.

DUPREE, A.W. et al. Periodic photospheric and chromospheric modulation in Alpha Orionis (Betelgeuse). *Astrophysical Journal*, Part 2 – Letters to the Editor, v. 317, p. L85-L89, 1987. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1987ApJ...317L..85D>>. Acesso em: 25 de julho de 2017.

FRENCH, L.M. John Goodricke, Edward Piggott, and their study of variable stars. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, v. 40, p. 120-32, 2012. Disponível em: <<https://www.aavso.org/apps/jaavso/article/2742/>>. Acesso em: 3 de agosto de 2017.

GARCÍA, J.R. Cartas de estrellas variables. Website Instituto Copernico, 2013. Disponível em: <<http://institutocopernico.org/vs/vscharts.php>>. Acesso em: 30 de julho de 2017.

GOODRICKE, J. A series of observations on, and a discovery of, the period of the variation of the light of the bright star in the head of Medusa, called Algol. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 73, p. 474-82, 1783. Disponível em: <<http://rstl.royalsocietypublishing.org/>>. Acesso em: 3 de agosto de 2017.

GOODRICKE, J. On the periods of the changes of light in the star Algol. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 74, p. 287-92, 1784. Disponível em: <<http://rstl.royalsocietypublishing.org/>>. Acesso em: 3 de agosto de 2017.

GOODRICKE, J.; ENGLEFIELD, H.C. Observations of a new variable star. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 75, p. 153-64, 1785. Disponível em: <<http://rstl.royalsocietypublishing.org/>>. Acesso em: 4 de agosto de 2017.

HARPER, G.M.; BROWN, A.; GUINAN, E. A new VLA-Hipparcos distance to Betelgeuse and its implications. *The Astronomical Journal*, v. 135, issue 4, p. 1430-40, 2008. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2008AJ....135.1430H>>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

HERSCHEL, J.F.W. *Outlines of Astronomy*. Londres: Longmans, Green and Co., 10<sup>th</sup> ed., p. 601-2, 1883.

HOCKEY, T.; TRIMBLE, V. Public reaction to a  $V = -12.5$  supernova. *The Observatory*, v. 130, n. 3, p. 167-172, 2010. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2010Obs...130..167H>>. Acesso em: 9 de julho de 2017.

HOSKIN, M. Goodricke, Pigott and the quest for variable stars. Cambridge University, *Journal for the History of Astronomy*, v. 10, p. 23-41, 1979. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1979JHA....10...23H>>. Acesso em: 4 de agosto de 2017.

JETSU, L. et al. Did the ancient Egyptians record the period of the eclipsing binary Algol – the raging one? *The Astrophysical Journal*, 773:1, p. 1-14, 2013. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ApJ...773....1J>>. Acesso em: 3 de agosto de 2017.

KUDRITZKI, R.P.; REIMERS, D. On the absolute scale of mass-loss in red giants. II. Circumstellar absorption lines in the spectrum of alpha Sco B and mass-loss of alpha Sco A. *Astronomy and Astrophysics*, v. 70, p. 227-39, 1978. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1978A%26A....70..227K>>. Acesso em: 29 de julho de 2017.

MENNICKENT, R.E.; DJURASEVIC, G. On the accretion disc and evolutionary stage of  $\beta$  Lyrae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 432, issue 1, p. 799-809, 2013. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013MNRAS.432..799M>>. Acesso em: 5 de agosto de 2017.

MIROSHNICHENKO, A.S. et al. The 2011 periastron passage of the Be binary  $\delta$  Scorpii. *The Astrophysical Journal*, v. 766, issue 2, article id. 119, p. 10, 2013. Disponível em:

<<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ApJ...766..119M>>. Acesso em: 8 de julho de 2017.

OTERO, S.; FRASER, B.; LLOYD, C. The optical behaviour of delta Scorpii. *Information Bulletin on Variable Stars*, n. 5026, #1, 2001. Disponível em: <<http://www.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?5026>>. Acesso em: 7 de julho de 2017.

PUGH, T.; GRAY, D.F. On the six-year period in the radial velocity of Antares A. *The Astronomical Journal*, v. 145, issue 2, article id. 38, p. 4, 2013. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013AJ....145...38P>>. Acesso em: 18 de julho de 2017.

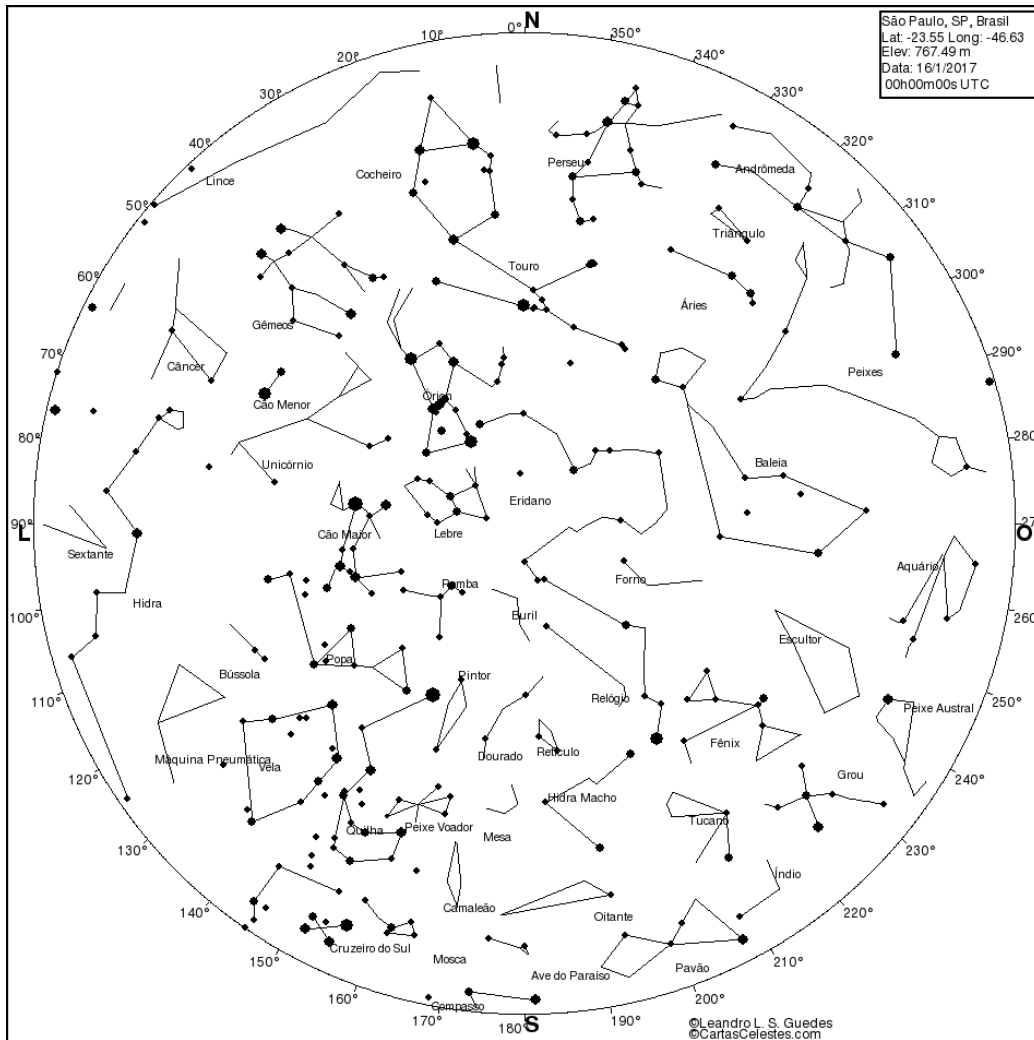
SAMUS, N.N. et al. General Catalogue of Variable Stars (GCVS). Institute of Astronomy of Russian Academy of Sciences and Sternberg State Astronomical Institute of the Moscow State University. Catálogo na versão digital, 2016. Disponível em: <<http://www.sai.msu.su/gcvs/cgi-bin/search.htm>>. Acesso em: 24 de julho de 2017.

TURBET et al. The habitability of Proxima Centauri b. II. Possible climates and observability. arXiv:1608.06827v2 [astro-ph.EP], 28 Sep 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1608.06827v2>>. Acesso em: 17 de julho de 2017.

%%%%%%%%%%%%%%%%%

**APÊNDICE A, CAPÍTULO 10**

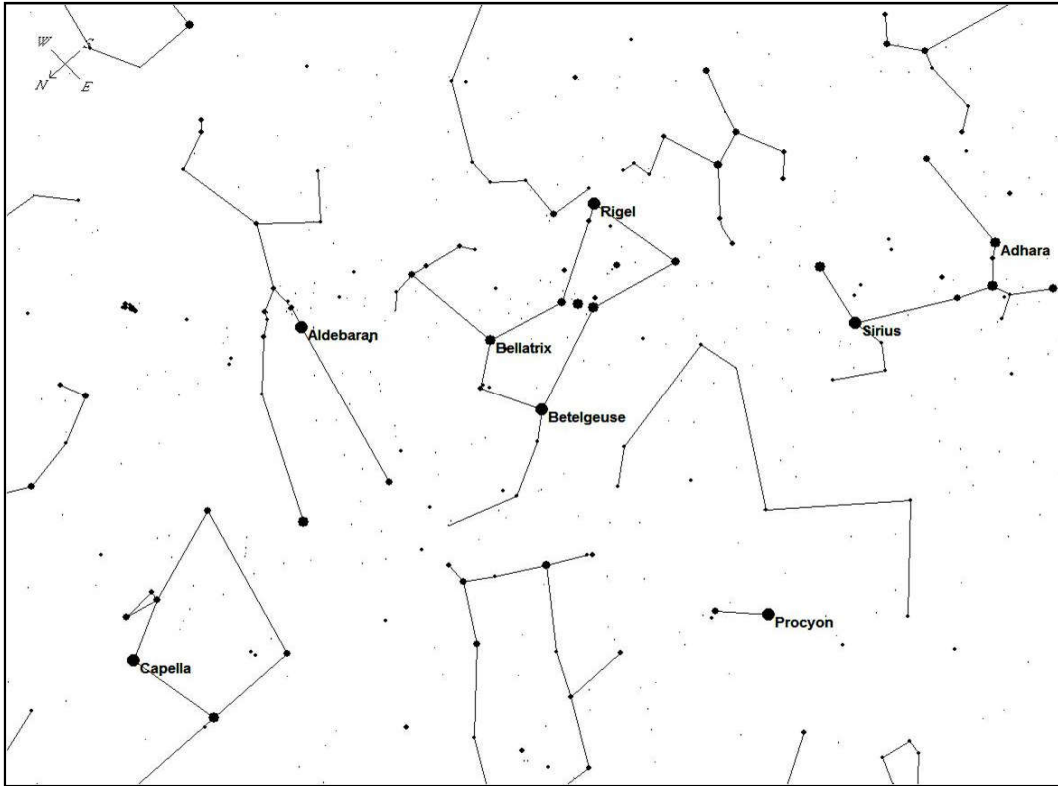
**MAPAS CELESTES PARA AS OBSERVAÇÕES**



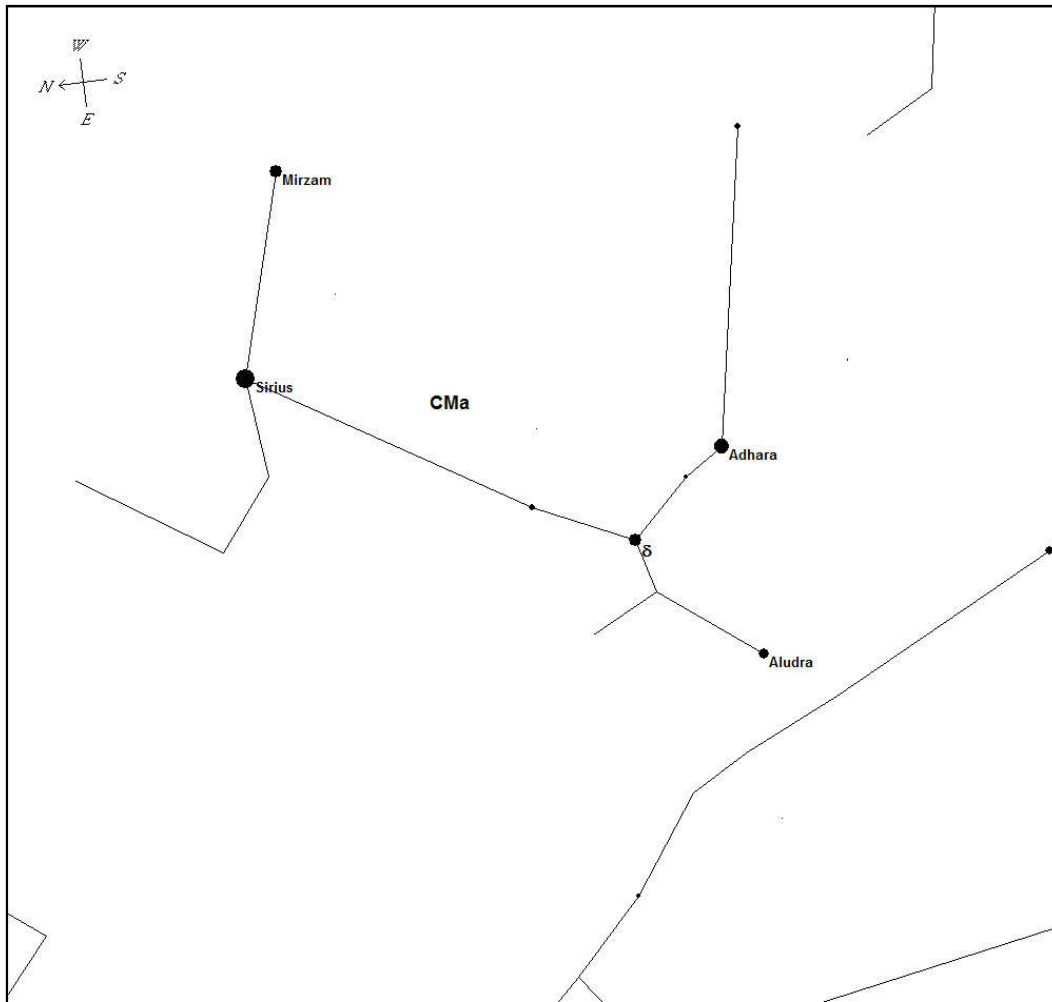
**Mapa 1:** Aspecto do céu na latitude de São Paulo no dia 15 de janeiro às 22:00 no HBV, ou Horário Brasileiro de Verão (corresponde a 00:00 UTC do dia 16 de janeiro).

Este mapa pode ser usado como base para realizar a Prática 1, sendo válido também para todas as datas e horários indicados na Tabela 10.1, desde que o leitor esteja em São Paulo ou imediações. (Mapa preparado pelo autor através do website “Cartas Celestes” (©Leandro L.S. Guedes), disponível em: <<http://cartascelestes.com/>>.)

Configurações deste mapa: Magnitude-limite 4,0. Corpos do Sistema Solar (Lua, planetas, Sol), riantes de chuvas de meteoros e objetos de fundo do céu desabilitados. Os azimutes estão indicados sobre a linha do horizonte no mapa.

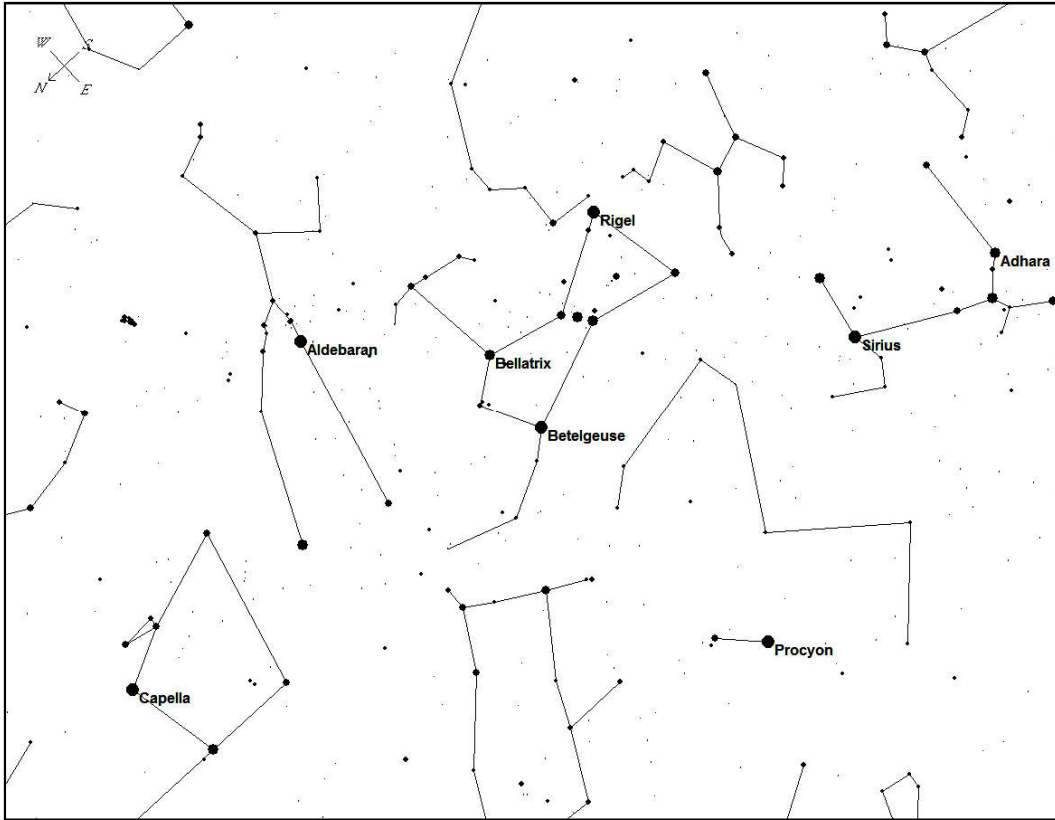


**Mapa 2:** Carta auxiliar para a realização da Prática 1. Este mapa serve apenas para facilitar a identificação correta das estrelas cujos nomes constam dos textos dos passos dessa prática. (Mapa preparado pelo autor.)

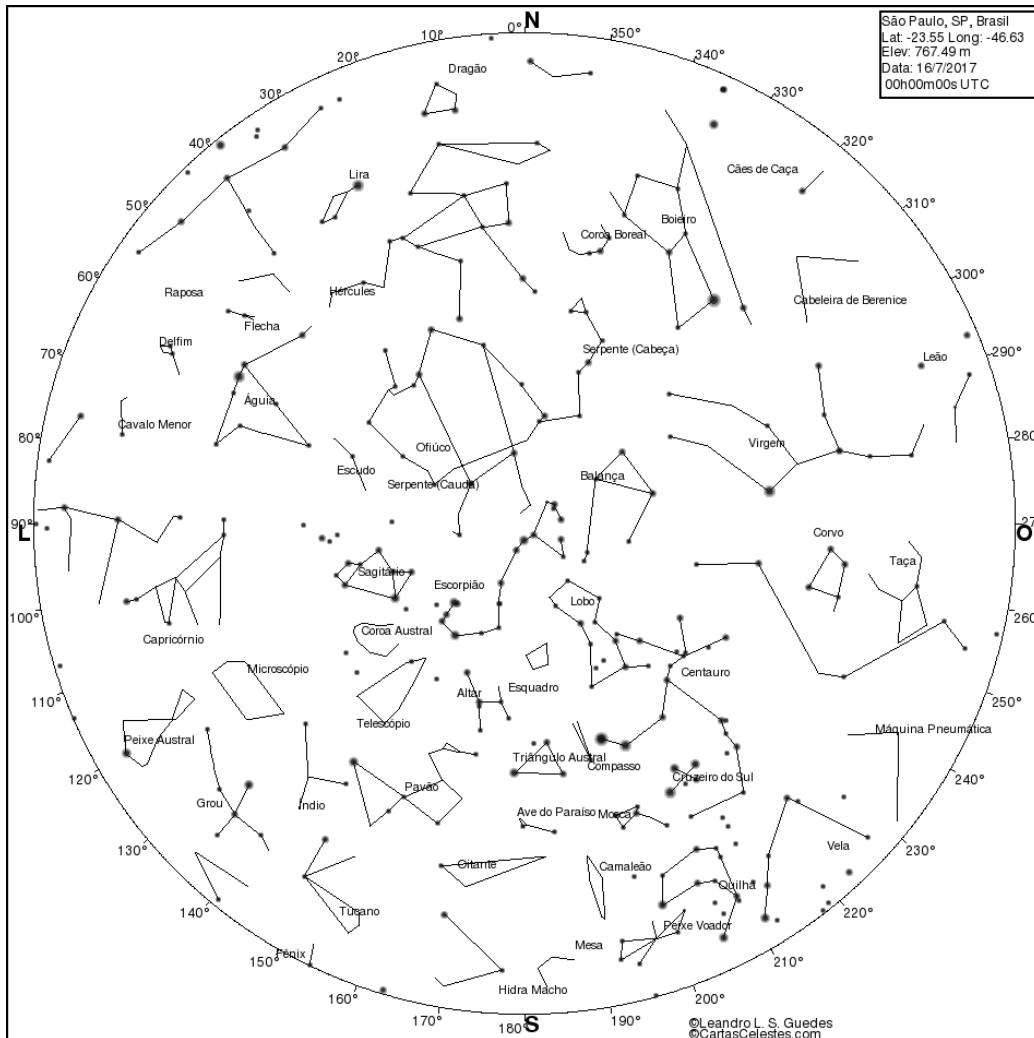


**Mapa 3:** Constelação do Cão Maior, com a identificação dos nomes das estrelas citadas na Prática 1. Para as estimativas solicitadas no item 10.6.1, as magnitudes das estrelas de comparação são: 1,5 para Adhara e 2,5 para Aludra. (Mapa preparado pelo autor.)





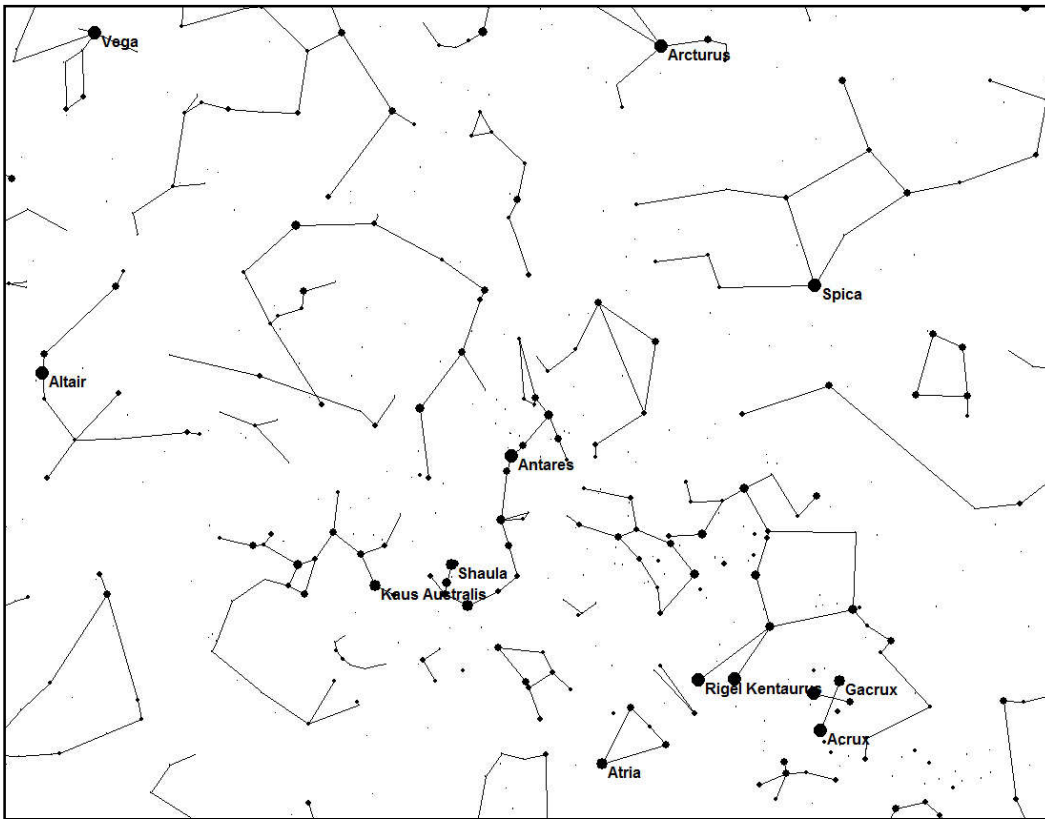
**Mapa 4** : Carta para o monitoramento da estrela variável Betelgeuse (item 10.5.2). As estrelas de comparação são: Rigel (magnitude 0,1); Capella (mag 0,1); Procyon (mag 0,4); Aldebaran (mag 0,9) e Bellatrix (mag 1,6). (Mapa preparado pelo autor.)



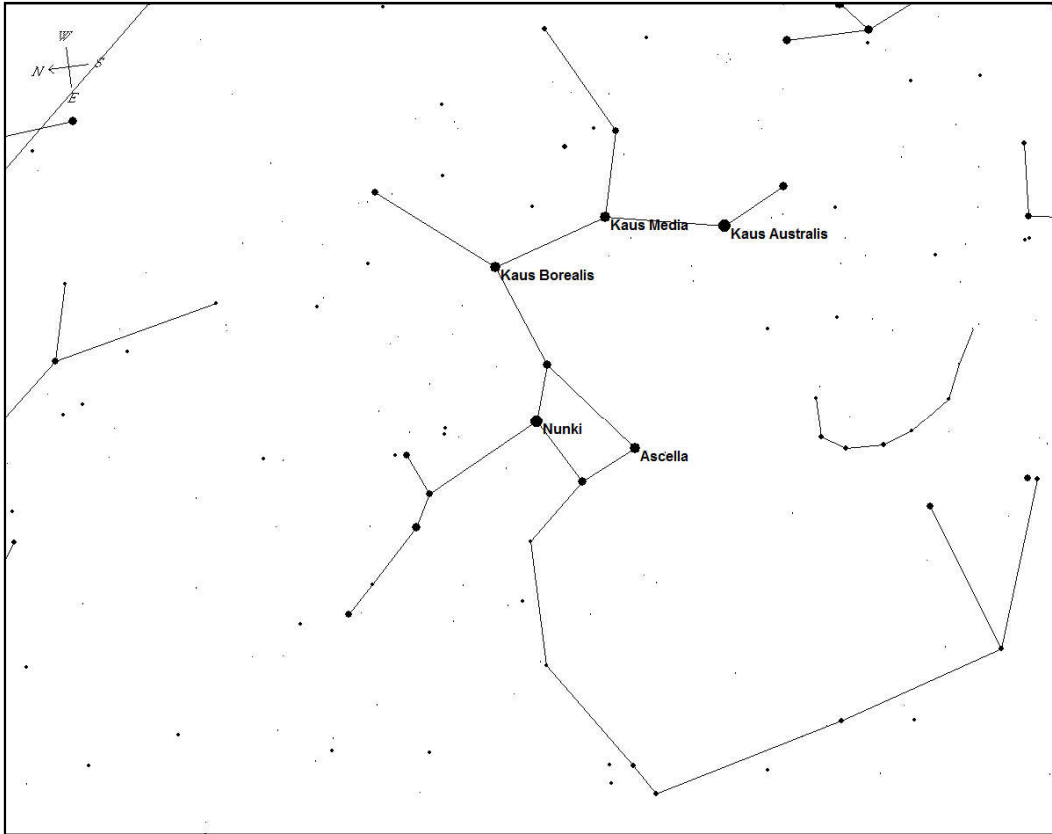
**Mapa 5:** Aspecto do céu na latitude de São Paulo no dia 15 de julho às 21:00 no Horário Oficial de Brasília (corresponde a 00:00 UTC do dia 16 de julho).

Este mapa pode ser usado como base para realizar a Prática 2, sendo válido também para todas as datas e horários indicadas na Tabela 10.2, desde que o leitor esteja em São Paulo ou imediações. (Mapa preparado pelo autor através do website “Cartas Celestes” (©Leandro L.S. Guedes). Disponível em: <<http://cartascelestes.com/>>.)

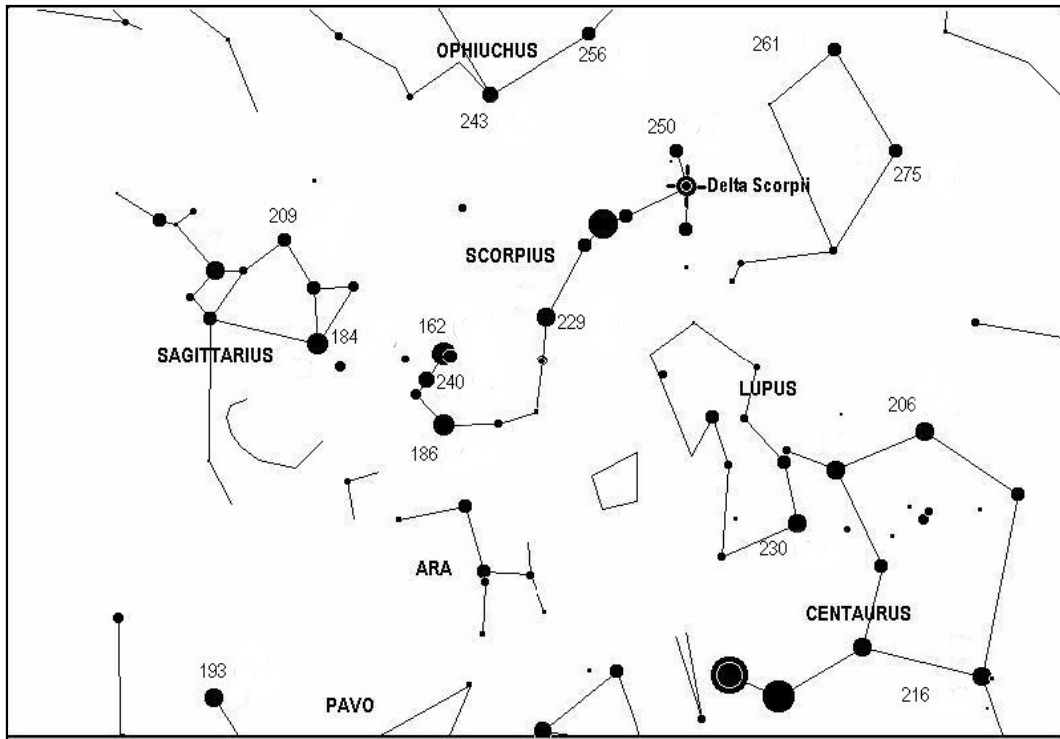
Configurações do mapa: Magnitude-limite 4,0. Corpos do Sistema Solar (Lua, planetas, Sol), riantes de chuvas de meteoros e objetos de fundo do céu desabilitados. Observe que os azimutes estão indicados sobre a linha do horizonte no mapa.



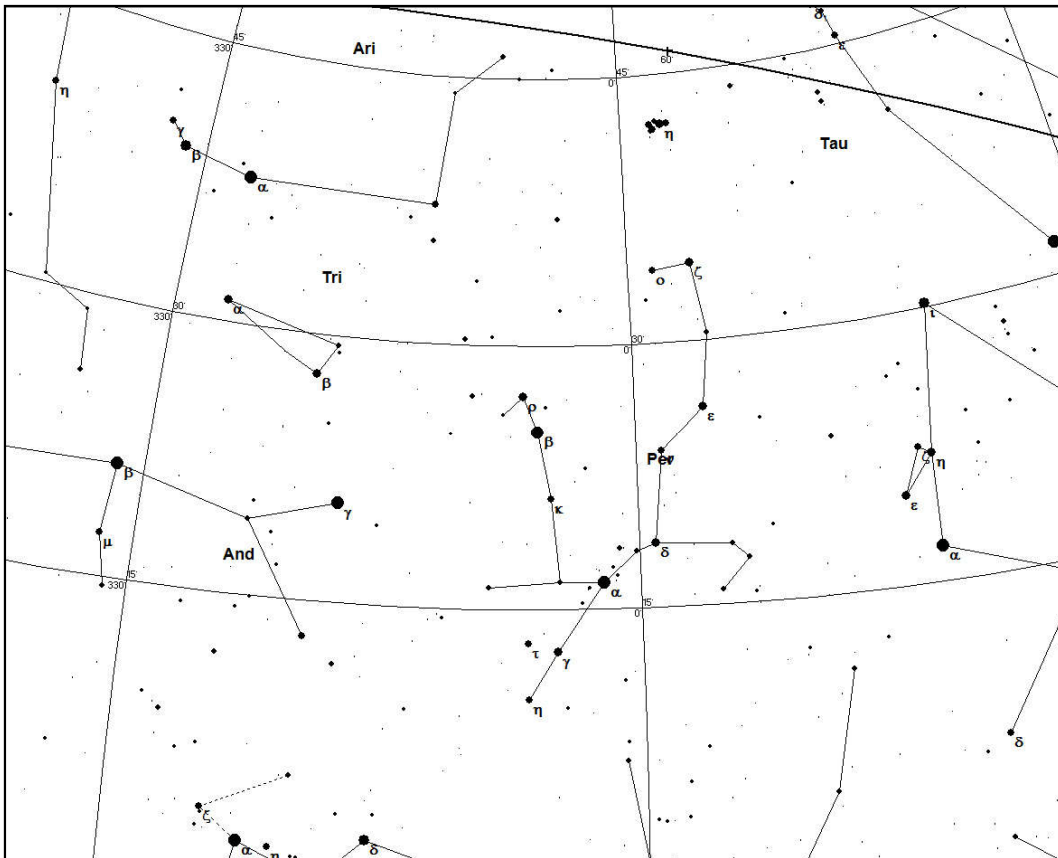
**Mapa 6:** Carta auxiliar para a realização da Prática 2. Este mapa serve apenas para facilitar a identificação correta das estrelas cujos nomes constam dos textos dos passos 1 a 6 dessa prática. (Mapa preparado pelo autor.)



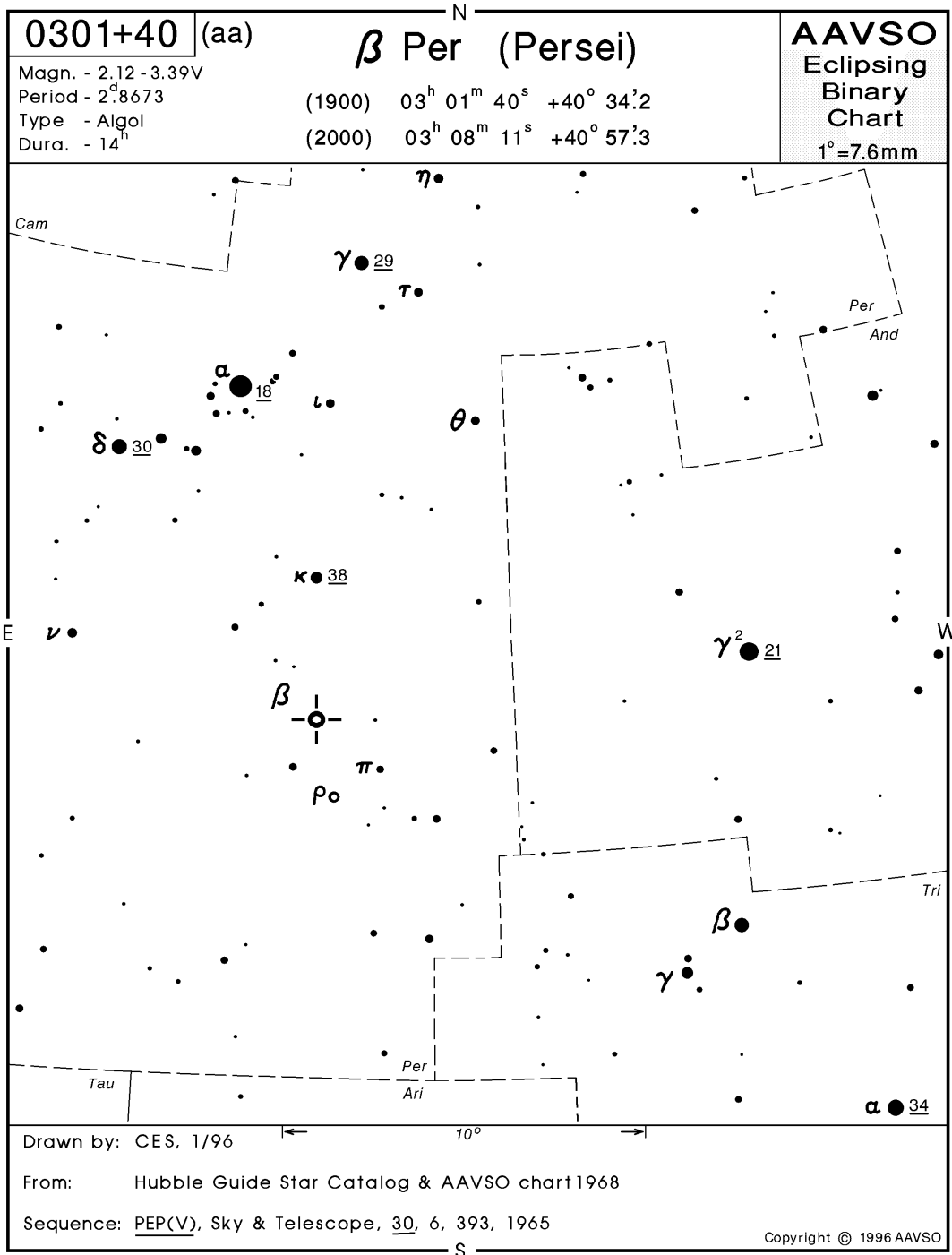
**Mapa 7:** Constelação do Sagitário, com a identificação dos nomes das estrelas citadas no Passo 7 da Prática 2. Para realizar as estimativas solicitadas no item 10.6.1, as magnitudes das estrelas de comparação são: 1,8 para Kaus Australis e 2,8 para Kaus Borealis. (Mapa preparado pelo autor.)



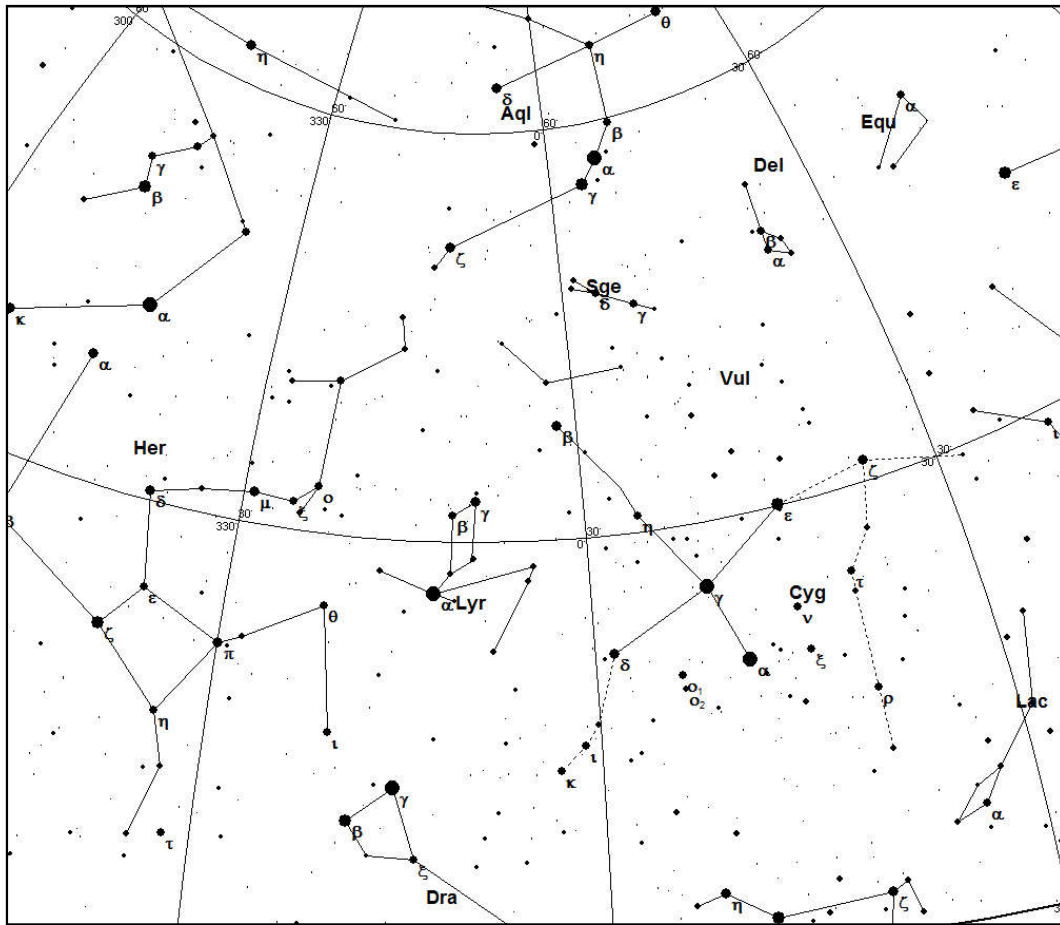
**Mapa 8:** Carta auxiliar para o monitoramento da estrela variável Delta Scorpii (item 10.6.2). As magnitudes das estrelas de comparação estão indicadas **sem** os pontos decimais, para evitar confundi-los com estrelas fracas. Por exemplo, onde se lê “162” entenda-se que a estrela em questão possui magnitude 1,62. (Carta original: GARCÍA 2013. Adaptada pelo autor.)



**Mapa 9:** Carta para localização de Algol (Beta Persei). A figura corresponde à maneira como a constelação de Perseu é vista no Hemisfério Sul terrestre: Norte celeste para baixo, Sul para cima, Leste à direita e Oeste à esquerda. Algol é indicada pela letra grega  $\beta$ , no centro da figura. (Mapa preparado pelo autor.)

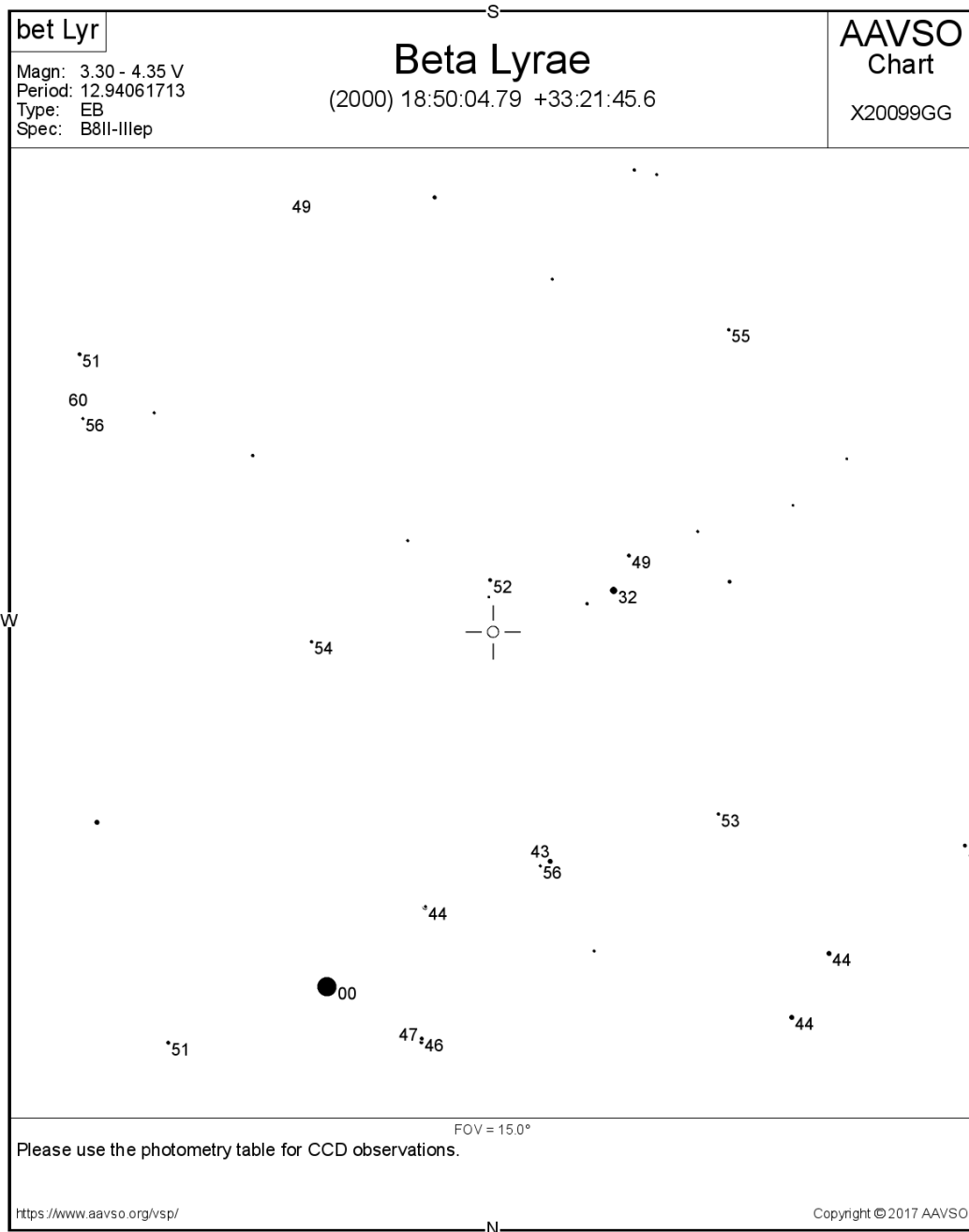


**Mapa 10:** Carta AAVSO para a estimativa das magnitudes de Algol (Beta Persei). Algol está indicada pela cruz e pela letra  $\beta$ . Durante o eclipse, use as estrelas de comparação  $\alpha$  (mag 1,8),  $\gamma$  (mag 2,9),  $\gamma^2$  (mag 2,1),  $\delta$  (mag 3,0) e  $\kappa$  (mag 3,8). Note que no caso desta figura o Norte celeste está para cima e o Leste para a esquerda. (Crédito: AAVSO.)



**Mapa 11:** Carta para localização de Beta Lyrae. A figura corresponde à maneira como a constelação da Lira é vista no Hemisfério Sul terrestre: Norte celeste para baixo, Sul para cima, Leste à direita e Oeste à esquerda. Beta Lyrae é indicada pela letra grega β, pouco à esquerda do centro da figura. (Mapa preparado pelo autor.)





**Mapa 12:** Carta AAVSO para a estimativa das magnitudes de Beta Lyrae. A variável está indicada pela cruz no centro da figura. Durante o ciclo, podem ser usadas as estrelas de comparação de magnitudes 3,2, 4,3, 4,4 e 4,9. A figura está orientada como se vê no céu do Hemisfério Sul: Norte para baixo e Leste para a direita. (Crédito: AAVSO.)

**APÊNDICE B, CAPÍTULO 10**

**MODELO SIMPLES DE FICHA PARA REGISTRO DE OBSERVAÇÕES**



**APÊNDICE C, CAPÍTULO 10**

**PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO SUGERIDO PARA INICIANTES**

## Programa de observação sugerido para iniciantes

Designação AAVSO	Estrela	Tipo	Amplitude	Período (dias)	Instrumento	A.R. (2000.0)	Dec(2000.0)
0010-32	S Sculptoris	M	5,5 – 13,6 V	367,0 d	Bin/Telesc	00h 15m 22s	-32° 02' 43"
0214-03	Omicron (Mira) Ceti	M	2,0 – 10,1 V	331,96 d	Olho nuu/Bin/Telesc	02h 19m 21s	-02° 58' 39"
0250-50	R Horologii	M	4,7 – 14,3 V	407,6 d	Bin/Telesc	02h 53m 53s	-49° 53' 23"
0532-62	Beta Doradus	DCEP	3,41 – 4,08 V	9,84 d	Olho nuu/Bin.	05h 33m 37s	-62° 29' 23"
0652-08	X Monocerotis	SRa	6,8 – 10,2 V	155,8 d	Telesc	06h 57m 12 s	-09° 03' 52"
0710-44	L2 Puppis	Srb	2,6 – 8,0 V,	140,6 d	Binoc.	07h 13m 32s	-44° 38' 23"
0726-09	U Monocerotis	RV	5,5 – 7,7 V	91,0 d	Binoc.	07h 30m 48 s	-09° 46' 37"
0929-62	R Carinae	M	3,9 – 10,5 V	307,0 d	Bin/Telesc	09h 32m 15s	-62° 47' 20"
0942-62	L Carinae	DCEP	3,28 – 4,18 V	35,55 d	Olho nuu/Bin.	09h 45m 15s	-62° 30' 28"
0942+11	R Leonis	M	4,4 – 11,3 V	309,95 d	Bin/Telesc	09h 47m 34s	+11° 25' 44"
1006-61	S Carinae	M	4,5 – 9,9 V	149,0 d	Bin/Telesc	10h 09m 22s	-61° 32' 56"
1052-59	AG Carinae	SDOR	5,7 – 8,3 V	371,0 d	Binoc.	10h 56m 12s	-60° 27' 13"
1053-59	U Carinae	DCEP	5,74 – 6,96 V	38,83 d	Binoc.	10h 57m 48s	-59° 43' 55"
1211-55	BH Crucis	M	6,5 – 10,1 V	521 d	Telesc	12h 16m 17s	-56° 17' 06"
1324-22	R Hydrae	M	3,5 – 10,9 V	380 d	Bin/Telesc	13h 29m 43s	-23° 16' 53"
1336-33	T Centauri	SRa	5,5 – 8,4 V	181,4 d	Binoc.	13h 41m 46s	-33° 35' 50"
1355-76	Theta Apollis	Srb	4,6 – 6,2 V	111 d	Binoc.	14h 05m 20s	-76° 47' 48"
1404-59	R Centauri	M	5,3 – 11,8 V	520 d	Bin/Telesc	14h 16m 34s	-59° 54' 49"
1455-08	Delta Lilliae	EA/SD	4,91 – 5,90 V	2,32735 d	Olho nuu/Bin.	15h 00m 58s	-08° 31' 08"
1842-05	R Scuti	RV	4,2 – 8,6 V	146 d	Binoc.	18h 47m 29s	-05° 42' 18"
1846-67	Kappa Pavonis	CWa	3,91 – 4,78 V	9,083 d	Olho nuu/Bin.	18h 56m 57s	-67° 14' 01"
1901+08	R Aquilae	M	5,5 – 12,0 V	270,5 d	Bin/Telesc	19h 06m 22s	+08° 13' 48"
1946+32	Chi Cygni	M	3,3 – 14,2 V	408,05 d	Bin/Telesc	19h 50m 34s	+32° 54' 51"
1947+00	Eta Aquilae	DCEP	3,5 – 4,3 V	7,17679 d	Olho nuu/Bin	19h 52m 28s	+01° 00' 20"

**APÊNDICE D, CAPÍTULO 10**  
**RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DAS PRÁTICAS OBSERVACIONAIS**

## Respostas às questões das práticas

### Prática 1:

- Ao comparar os brilhos de Mintaka, Alnilam e Alnitak (as “três Marias”), nota-se que uma delas é mais apagada que as outras duas. Qual é ela? **Mintaka.**
- Volte seus olhos agora para Bellatrix, Mintaka, Alnilam, Alnitak e Saiph. Qual delas lhe parece mais brilhante? **Bellatrix.** Qual a mais apagada? **Mintaka.**
- Coloque em ordem crescente de brilho Aldebaran, Rigel, Sirius, Capella, Procyon e Canopus. **Aldebaran, Procyon, Rigel, Capella, Canopus e Sirius.** A diferença entre Rigel e Capella é quase imperceptível. Para nós que estamos no Hemisfério Sul, Capella poderá aparecer menos brilhante que Rigel, devido à extinção atmosférica.

### Prática 2:

- Volte seus olhos para Vega, Altair e Arcturus. Classifique-as em ordem crescente de brilho aparente. **Altair é claramente a menos brilhante das três. Vega e Arcturus podem aparentar ter mesma magnitude visualmente (na verdade, Arcturus é poucos décimos de magnitude mais brilhante que Vega).**
- Compare as duas estrelas que flanqueiam Altair. A que fica mais ao Norte se chama Tarazed, ou Gamma Aquilae a que está mais ao Sul, Alshain, ou Beta Aquilae. Qual delas lhe parece mais brilhante? **Tarazed.**
- Coloque, em ordem crescente de brilho, as estrelas Gacrux, Acrux, Mimosa, Delta Crucis, Alfa Centauri e Beta Centauri. **Delta Crucis, Gacrux, Mimosa, Alfa Crucis, Beta Centauri, Alfa Centauri.**
- Em seguida, observe a constelação do Sagitário. Localize Kaus Borealis, Kaus Media, Kaus Australis e Nunki e coloque-as em ordem crescente de brilho. **Kaus Borealis, Kaus Media, Nunki e Kaus Australis.**

### Item 10.6.1:

Para os meses de verão:

- Identifique as estrelas Mirzam, Adhara e Aludra. Sabemos que Adhara possui magnitude aparente 1,5 e que Aludra tem magnitude 2,5. Olhando alternadamente para as três estrelas e utilizando o método de Pickering, estime a magnitude aparente de Mirzam. **Magnitude 2,0.**
- Identifique agora no mapa uma estrela nomeada com a letra grega  $\delta$  (delta). Esta é Delta Canis Majoris, também conhecida como Wezen. Localize-a em

seguida no céu, na constelação do Cão Maior. Usando as mesmas estrelas de comparação da questão anterior (Adhara e Aludra), bem como a magnitude de Mirzam que você acaba de determinar, estime a magnitude aparente de Wezen usando o método de Pickering. **Magnitude 1,8.**

Para os meses de inverno:

- Identifique no céu a estrela Ascella. Usando o método de Pickering, procure estimar sua magnitude usando as estrelas de comparação Kaus Australis (magnitude 1,8) e Kaus Borealis (magnitude 2,8). **Magnitude 2,6.**
- Usando agora a magnitude de Ascella (que você acaba de determinar), mais a magnitude de Kaus Borealis (2,8), tente estimar a magnitude de Kaus Media. **A magnitude de Kaus Media é 2,7. Mas, nesta questão, estamos no limite da percepção visual do olho humano (0,1 mag). Você poderá ter achado que Kaus Media tem o mesmo brilho de Ascella ou, então, o mesmo brilho de Kaus Borealis. Ambas as respostas estão corretas, considerando-se o limite mencionado.**

%%%%%%%%%