

Guia de estudos “Astrofísica Estelar para o Ensino Médio”

Capítulo 4 – Localizando os objetos celestes

4.1 Sistemas de coordenadas

No capítulo anterior, vimos algumas maneiras de nos familiarizarmos com a aparência geral da esfera celeste em qualquer instante e época do ano. Mas isso não é suficiente quando necessitamos conhecer com precisão a posição de cada objeto celeste em cada momento (seja ele uma estrela, uma galáxia, ou mesmo os planetas, a Lua e o Sol). Esse conhecimento será indispensável para que consigamos identificar, sem ambiguidades, cada objeto que desejemos observar (esse será o caso doravante). Em princípio, esse não é um problema inusitado no nosso dia a dia: a mesma situação ocorre quando precisamos conhecer com exatidão a posição de uma cidade, rua ou outro local qualquer sobre a superfície terrestre para o qual desejemos nos deslocar.

Dessa forma, assim como estabelecemos um sistema de coordenadas geográficas para determinar posições exatas sobre o globo terrestre, faz-se necessário em nosso caso adotar um sistema de coordenadas sobre a esfera celeste. Os sistemas de coordenadas esféricas são definidos a partir de um plano fundamental, que passa pelo centro da esfera, dividindo-a em duas partes iguais. A escolha desse plano depende do sistema específico que estamos definindo, podendo ser, por exemplo, o plano do horizonte, o plano do equador celeste, o plano galáctico etc. As coordenadas, medidas sobre a esfera celeste, são ângulos (medidos a partir de uma origem escolhida por convenção). Descreveremos a seguir os dois sistemas de coordenadas mais utilizados em Astronomia de Posição: o *sistema horizontal* (também chamado “altazimutal”) e o *sistema equatorial*¹.

4.1.1 Sistema de coordenadas horizontais (“sistema horizontal”)

Certamente o mais intuitivo entre os sistemas de coordenadas, este é um sistema centrado no observador, cujo plano fundamental é o próprio plano do horizonte local do observador. O plano do horizonte divide a esfera celeste em dois hemisférios: um deles, superior, contém o céu visível pelo observador (também chamado *abóbada celeste*). Nele se encontra o *zênite* (definido como a intersecção da vertical local com a abóbada celeste; ou, simplesmente, o ponto do céu diretamente acima da cabeça do observador). O outro hemisfério, inferior, não é visível pelo observador, pois a Terra não o permite.

¹ Existem outros sistemas de coordenadas importantes em astronomia, como o sistema horário (cujo plano de referência é o equador celeste), o sistema galáctico (que usa o plano da Via Láctea como referência) ou o sistema eclíptico (cujo plano de referência é o plano da órbita da Terra em torno do Sol), porém esses são menos relevantes para nossas finalidades. Para o detalhamento desses outros sistemas, ver, por exemplo, LIMA NETO (2017).

Como já vimos anteriormente, os quatro pontos cardeais encontram-se sobre a linha do horizonte, enquanto o plano que contém a linha Norte-Sul e o zênite é chamado meridiano celeste local.

As coordenadas de qualquer objeto celeste no sistema horizontal são definidas por dois ângulos:

- A *altura* (às vezes também chamada *elevação*), que é o ângulo entre o objeto e a linha do horizonte local. Seu valor varia entre 0° e 90° para o hemisfério superior e -90° e 0° para o inferior².
- O *azimute*, que é definido como o ângulo medido ao longo da linha do horizonte a partir do ponto cardinal Norte³ e no sentido horário. O azimute varia assim entre 0° e 360° , sendo que seus valores para os pontos cardeais são: Norte (N, 0°), Leste ou Este (L ou E, 90°) Sul (S, 180°) e Oeste (O ou W, 270°).

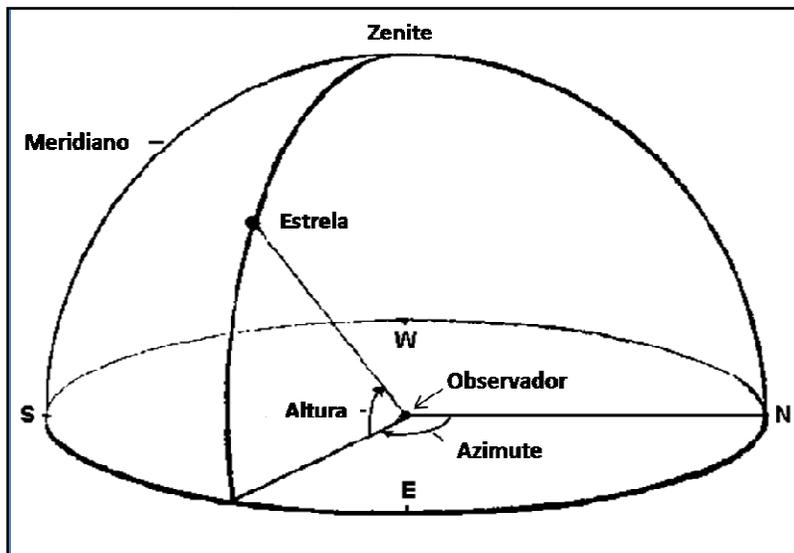


Figura 4.1 – Sistema de coordenadas horizontais. (Adaptado de ASTRONOMY DEPT., UNIV. OF MICHIGAN, 2011.)

O sistema horizontal, todavia, possui duas características limitantes:

Em primeiro lugar, como o sistema é fixo para um observador na Terra, as coordenadas horizontais de um objeto celeste qualquer mudam continuamente com o decorrer do tempo (devido à rotação da Terra em torno de seu eixo). Em decorrência desse fato, além da altura e do azimute, será necessário fornecermos também o

² Alternativamente às vezes é usada, em vez da altura (h), uma coordenada semelhante: a distância zenital (z), que é o ângulo medido entre o zênite e o objeto. Dessa definição, resulta que o valor da distância zenital em graus é dado por $z = (90^\circ - h)$.

³ A convenção mais frequentemente usada em astronomia é aquela vista no texto acima; como, no entanto, essa escolha é arbitrária, existem alguns que preferem usar o ponto cardinal Sul como origem para a medida do azimute.

horário preciso em que a observação foi feita para podermos caracterizar a posição do objeto nesse sistema.

Além de variar com o tempo, as coordenadas horizontais de um objeto celeste também dependem da posição do observador na superfície da Terra. Em outras palavras, dois observadores quaisquer situados em pontos distintos da superfície terrestre, ainda que a medição seja feita precisamente no mesmo momento, encontrarão valores diferentes para a altura e o azimute do astro. Essa situação é demonstrada na Figura 4.2.

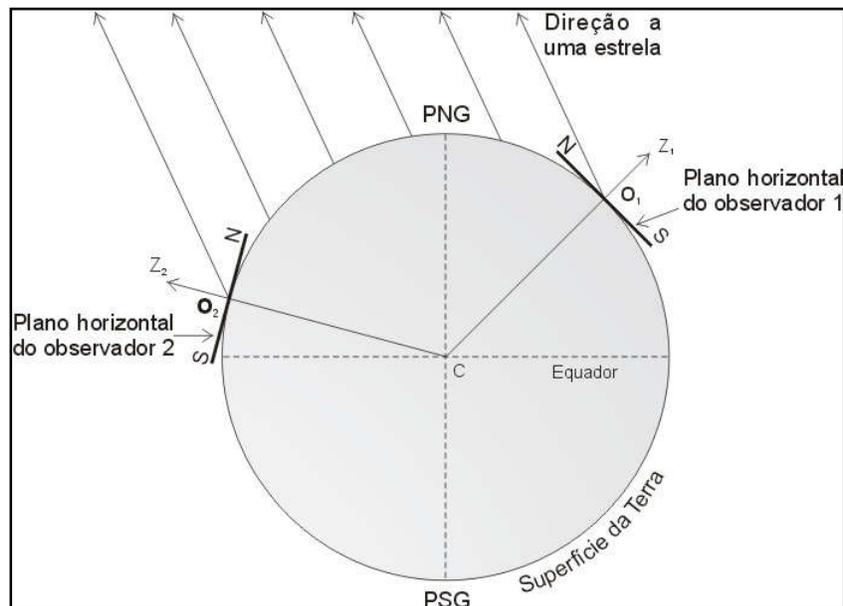


Figura 4.2 – Os observadores O_1 e O_2 encontram-se no mesmo meridiano geográfico, porém em dois pontos distintos da superfície terrestre. PNG e PSG indicam os polos geográficos Norte e Sul. A direção da estrela no espaço obviamente independe da posição do observador; porém, é fácil notar que as verticais locais, indicadas por Z_1 e Z_2 , apontam para direções distintas, bem como os planos horizontais de cada observador. Os valores medidos para altura e azimute do astro serão assim diferentes para ambos. (Crédito da ilustração: SANTIAGO; SALVIANO, 2005.)

Resumindo: as coordenadas de um astro no sistema horizontal dependerão sempre da localização do observador na superfície terrestre e do instante em que a medição foi feita. Para superar essas desvantagens, teremos de usar um outro sistema de coordenadas, que será visto a seguir.

4.1.2 Sistema equatorial de coordenadas (“sistema equatorial”)

Este sistema tem a vantagem de ser universal, no sentido de que as coordenadas nele definidas são as mesmas, independentemente da localização do observador ou do instante em que a medição é feita. Para que o sistema tenha essa característica, está claro que o seu plano fundamental e os seus pontos de referência não podem mais ser fixos em relação ao observador, como no sistema horizontal; ao contrário, eles devem ser fixos na esfera celeste.

Para entender a forma como as *coordenadas celestes* no sistema equatorial serão definidas, vamos antes lembrar como são estabelecidas as *coordenadas geográficas* sobre a superfície terrestre. Nesse sistema, usado desde os tempos antigos, os polos geográficos Norte e Sul são definidos como as intersecções do eixo de rotação da Terra com a superfície do planeta. O equador terrestre é definido pelo plano fundamental do sistema, que é perpendicular ao eixo de rotação e que passa pelo centro da Terra (dividindo o globo terrestre em dois hemisférios, Norte e Sul). Para estabelecer o sistema de coordenadas geográficas (ver Figura 4.3), definem-se dois tipos de *linhas imaginárias* sobre o globo terrestre: os *paralelos* (linhas imaginárias paralelas ao Equador terrestre) e os *meridianos* (semicircunferências imaginárias que ligam os polos Norte e Sul).

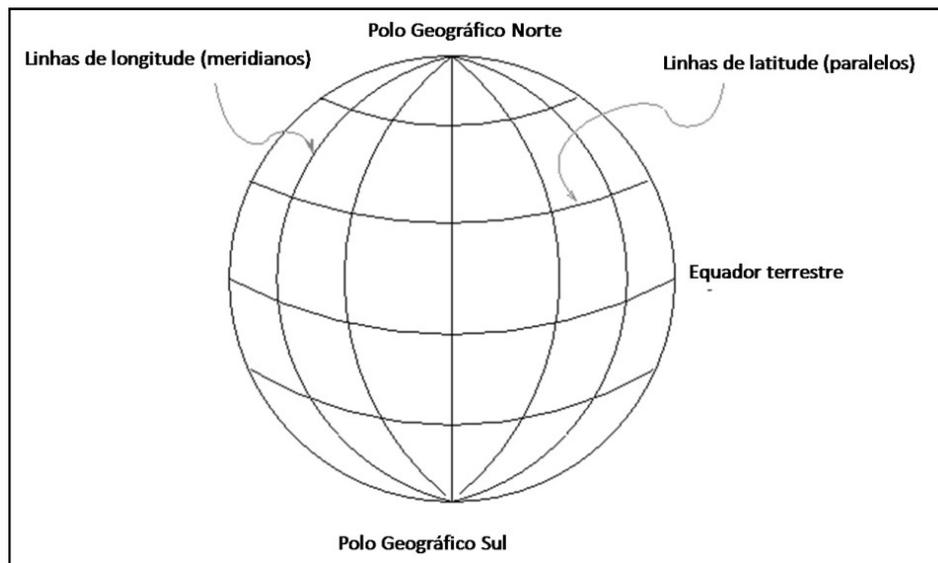


Figura 4.3 – Sistema de coordenadas geográficas. (Adaptado de RICHMOND, 2010.)

Por convenção universal, desde 1884 escolheu-se o meridiano que passa pela localidade britânica de Greenwich⁴, nas imediações de Londres, como o *meridiano principal* (também chamado *meridiano zero* ou *meridiano de Greenwich*). A partir dele

⁴ Mais especificamente, no Observatório Real de Greenwich, situado na localidade de mesmo nome e em cujo terreno passa o Meridiano Principal oficial, que divide o globo nos hemisférios Leste e Oeste.

é que são feitas as medições da longitude (a coordenada Leste-Oeste), bem como, originalmente, a demarcação dos fusos horários⁵. Por outro lado, as medições de latitude (a coordenada Norte-Sul) são feitas sempre a partir do equador terrestre.

A posição exata de um ponto qualquer P sobre superfície da Terra será assim definida através de duas coordenadas geográficas (BOCZKO, 1984):

Longitude geográfica (λ): é o ângulo, medido sobre o equador, entre o meridiano de Greenwich e o meridiano que passa pelo ponto P. Por convenção, ela é considerada positiva a oeste do meridiano de Greenwich e negativa a leste de Greenwich.

Latitude geográfica (ϕ): é o ângulo, medido sobre um meridiano, entre o equador e o paralelo que passa pelo ponto P. Por convenção, a latitude é considerada positiva ao norte do equador (hemisfério boreal) e negativa ao sul do equador (hemisfério austral).

Conhecidas essas definições, a posição de qualquer objeto fixo sobre a superfície terrestre está estabelecida de forma biunívoca e sem ambiguidade. Consideremos, por exemplo, as coordenadas do Museu de Arte de São Paulo, (MASP), situado na capital paulista. Elas são: longitude 46°39'21,17" (Oeste) e latitude -23°33'42,12" (Sul). Já as coordenadas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, também em São Paulo, são: longitude 46°44'1,96" Oeste e latitude -23°33'34,15" Sul. Uma vez conhecidas essas coordenadas, não há a menor possibilidade de um visitante distraído procurar encontrar telas de Van Gogh no prédio do IAG! Este, é claro, é o fundamento para a navegação por GPS (Global Positioning System), tão trivial nos dias de hoje em nossos aplicativos de *smartphones*. E mais: a menos que, por algum motivo, o MASP decida mudar seu prédio para qualquer outro local, ele sempre será encontrado nas coordenadas acima, seja qual for a época em que o visitante o procurar. A relação, afinal, é biunívoca.

Feito esse preâmbulo, voltemos às coordenadas equatoriais celestes. Imaginemos a projeção do sistema de coordenadas geográficas sobre a esfera celeste (ver Figura 4.4). Como já vimos, a esfera celeste é uma abstração: uma imensa esfera imaginária, centrada no observador, sobre a qual as estrelas aparentam estar “projetadas”. Seu raio é indefinido (mas, para os efeitos da abstração, pode ser imaginado infinitamente grande). Como é centrada no observador, essa esfera celeste é concêntrica à esfera terrestre; assim, tanto o eixo de rotação como o plano do equador são os mesmos para ambas as esferas. A projeção do plano do equador terrestre definirá então o

⁵ A hora solar média medida no Observatório Real de Greenwich é denominada *Greenwich Mean Time* (GMT), ou simplesmente “Hora de Greenwich”. Até o ano de 1972, a GMT era o padrão de referência universal para estabelecer os fusos horários. A partir desse ano, passou-se a usar para esse fim o Tempo Universal Coordenado (UTC), que não se baseia no Sol ou nas estrelas, mas sim em relógios atômicos. Para as nossas finalidades práticas, no entanto, consideraremos a GMT e a UTC como equivalentes.

equador celeste, e a projeção do eixo de rotação da Terra interceptará a esfera celeste nos polos Norte e Sul celestes. Analogamente, podemos também definir meridianos e paralelos na esfera celeste.

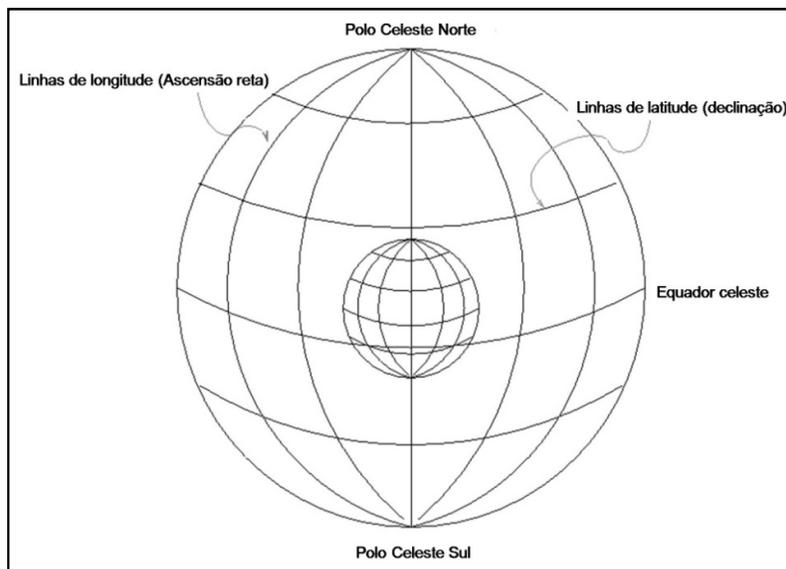


Figura 4.4 – Representação do sistema de coordenadas geográficas e do sistema equatorial de coordenadas celestes. Esta é uma representação apenas (não está em escala, mesmo porque o raio da esfera celeste é infinitamente grande). (Adaptado de RICHMOND, 2010.)

Como se pode perceber, os fundamentos do sistema equatorial celeste são semelhantes aos do sistema de coordenadas geográficas terrestres. Porém, as coordenadas não são definidas exatamente da mesma forma.

No sistema equatorial, o plano principal é a projeção do plano do equador terrestre sobre a esfera celeste, denominado equador celeste. Em relação a ele, definimos uma coordenada Norte-Sul semelhante à latitude terrestre, que se chama *declinação* (representada por δ ou por Dec), cujo valor é de 0° no equador celeste. Assim como no caso da latitude, a declinação varia entre 0° e 90° (no hemisfério celeste Norte), e entre 0° e -90° (no hemisfério celeste Sul)⁶.

No entanto, para definirmos a origem das coordenadas análogas à longitude terrestre não dispomos de um “Greenwich celeste”! Convencionou-se então definir o “ponto zero” para as medidas da coordenada Leste-Oeste através da intersecção do equador celeste com a linha imaginária que representa o deslocamento aparente do Sol na esfera celeste durante um ano. Essa linha é denominada *eclíptica*, e na realidade ela

⁶ De forma análoga à distância zenital, por vezes se refere também ao *complemento* da declinação, que é chamada distância polar e é representada por P. Pela definição, resulta que $P = (90^\circ - \delta)$.

nada mais é do que a projeção na esfera celeste do plano da órbita da Terra em torno do Sol, no seu movimento anual de translação. O eixo de rotação da Terra não é perpendicular ao plano de sua órbita em torno do Sol, mas está inclinado de $23^{\circ}27'$ em relação a essa perpendicular (como todos sabemos, esse é o motivo da existência das estações do ano). Como consequência, a eclíptica está inclinada de $23^{\circ}27'$ em relação ao equador celeste. Note-se que a eclíptica e o equador celeste se interceptam em dois pontos, que marcam os dois equinócios (ver Figura 4.5). Convencionou-se escolher para a origem das coordenadas celestes Leste-Oeste aquele ponto em que o Sol passa *do hemisfério Sul para o hemisfério Norte* da esfera celeste. Esse ponto marca o equinócio de outono para o Hemisfério Sul terrestre (primavera no Hemisfério Norte), que ocorre em 21 de março, e passou a ser chamado *ponto Gama* (representado por γ). O ponto γ por vezes é também referido como “ponto vernal”, ou “primeiro ponto de Áries”.

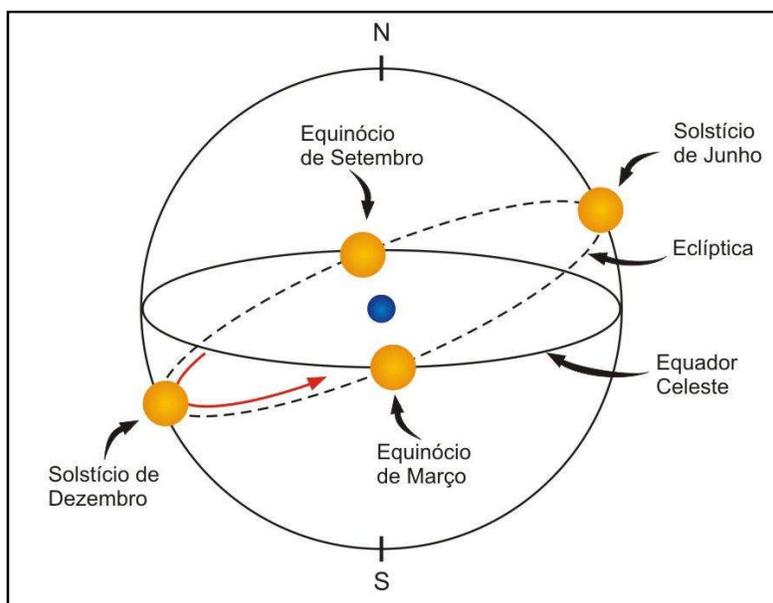


Figura 4.5 – Trajetória aparente do Sol na esfera celeste no decorrer de um ano. A inclinação do plano da eclíptica em relação ao equador celeste é de $23^{\circ}27'$ (que corresponde, na situação real, à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação a seu plano de translação em torno do Sol). A intersecção do plano da eclíptica com o equador celeste no equinócio de março define o ponto γ . (Crédito: KEPLER; SARAIVA, 2000.)

É a partir do ponto γ , sobre o equador celeste, que se medirá a coordenada celeste análoga à longitude terrestre (ver Figura 4.6). Essa coordenada chama-se *ascensão reta* (representada por α ou por A.R.). Observe-se que a ascensão reta é medida no sentido *oposto* ao do movimento da esfera celeste (ou seja, ela aumenta de oeste para leste). Como ela é um ângulo, sua medida pode ser também feita em graus, minutos e segundos de arco, assim como a declinação. No entanto, em astronomia tornou-se

tradicional expressar a ascensão reta em horas, minutos e segundos (sempre a partir do ponto γ). Neste caso estamos nos referindo a unidades de tempo, e não de arco. O fator de conversão é estabelecido com facilidade se nos lembrarmos que, devido à rotação da Terra, uma circunferência completa no céu (360°) é percorrida em 24 horas. Sendo assim, a relação de equivalência é simples: 24 horas em ascensão reta = 360° (ou 1 h em ascensão reta = 15° , ou ainda 1 min em ascensão reta = $15'$).

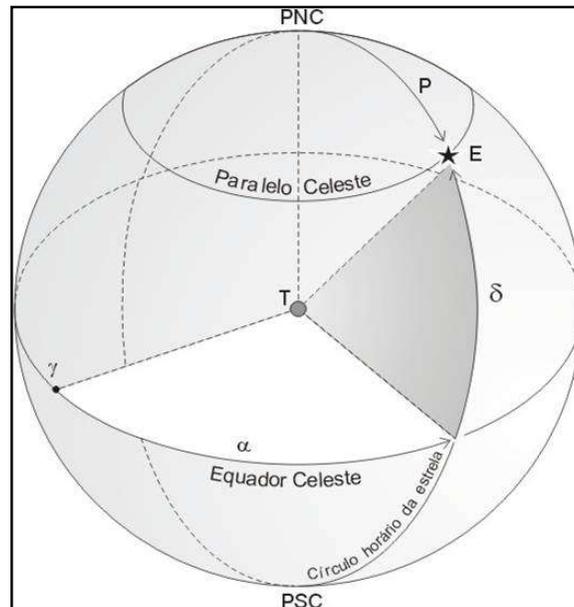


Figura 4.6 – Coordenadas equatoriais: a posição da estrela E é determinada por sua ascensão reta (α) e sua declinação (δ). Notar que a declinação é medida a partir do equador celeste, enquanto a ascensão reta é medida, no sentido oeste-leste, a partir do ponto γ .
(Crédito: SANTIAGO; SALVIANO, 2005.)

O sistema equatorial universal de coordenadas, ao contrário do horizontal, não depende da localização do observador sobre a superfície terrestre nem do momento em que a medição foi feita. A não ser ao longo de intervalos de tempo muito longos, a ascensão reta e a declinação de uma determinada estrela não se alteram⁷; por esse motivo, não notaremos ao longo do período de tempo de nossas vidas qualquer alteração perceptível no aspecto das constelações ou nas posições das estrelas, e poderemos ignorar as minúsculas variações para todas as nossas aplicações doravante. Para trabalhos de alta precisão, no entanto, faz-se necessário efetuar periodicamente

⁷ A rigor, as coordenadas das estrelas ao longo de períodos de tempo muito longos (muitos séculos ou milênios) irão se alterar de forma perceptível, tanto pelo efeito do movimento próprio das mesmas, como pela precessão dos equinócios (mudança de apontamento do eixo de rotação da Terra em relação do eixo da eclíptica, efetuando um giro completo, como um pião, a cada 25.800 anos). O efeito da precessão é da ordem de $50''$ por ano (PICAZZIO, 2011), podendo ser ignorado para nossos usos.

pequenas correções astrométricas tanto na ascensão reta como na declinação. Em razão disso, as posições listadas nos catálogos sempre mencionam as datas nas quais as coordenadas foram recalculadas (em geral, a cada 50 anos).

Obviamente, nada do que foi dito acima se aplica aos planetas e a outros astros do Sistema Solar (tais como a Lua, asteroides ou cometas), pois esses, em razão de suas distâncias imensamente menores que as das estrelas, possuem movimentos próprios facilmente perceptíveis em questão de dias ou meses contra o fundo estrelado. Esses objetos, no entanto, estão fora do escopo deste trabalho.

A título de exemplo de aplicação das coordenadas equatoriais, a Tabela 4.1 relaciona as vinte estrelas mais brilhantes que podemos observar no céu noturno, segundo o Catálogo Tycho-2, construído a partir de observações feitas pelo satélite astrométrico *Hipparcos*, da European Space Agency (ESA).

	Nome e constelação	Nome popular	A.R. (2000)	Dec (2000)
1	<i>Alfa Canis Majoris</i>	<i>Sirius</i>	06h 45m	-16,7°
2	<i>Alfa Carinae</i>	<i>Canopus</i>	06h 24m	-52,7°
3	<i>Alfa Centauri</i>	<i>Rigil Kentaurus</i>	14h 40m	-60,8°
4	<i>Alfa Boötis</i>	<i>Arcturus</i>	14h 16m	+19,2°
5	<i>Alfa Lyrae</i>	<i>Vega</i>	18h 37m	+38,8°
6	<i>Alfa Aurigae</i>	<i>Capella</i>	05h 17m	+46,0°
7	<i>Beta Orionis</i>	<i>Rigel</i>	05h 15m	-8,2°
8	<i>Alfa Canis Minoris</i>	<i>Procyon</i>	07h 39m	+5,2°
9	<i>Alfa Eridani</i>	<i>Achernar</i>	01h 38m	-57,2°
10	<i>Alfa Orionis</i>	<i>Betelgeuse</i>	05h 55m	+7,4°
11	<i>Beta Centauri</i>	<i>Hadar</i>	14h 04m	-60,4°
12	<i>Alfa Aquilae</i>	<i>Altair</i>	19h 51m	+8,9°
13	<i>Alfa Crucis</i>	<i>Acrux</i>	12h 27m	-63,1°
14	<i>Alfa Tauri</i>	<i>Aldebaran</i>	04h 36m	+16,5°
15	<i>Alfa Virginis</i>	<i>Spica</i>	13h 25m	-11,2°
16	<i>Alfa Scorpii</i>	<i>Antares</i>	16h 29m	-26,4°
17	<i>Beta Geminorum</i>	<i>Pollux</i>	07h 45m	+28,0°
18	<i>Alfa Piscis Austrini</i>	<i>Fomalhaut</i>	22h 58m	-29,6°
19	<i>Beta Crucis</i>	<i>Mimosa</i>	12h 48m	-59,7°
20	<i>Alfa Cygni</i>	<i>Deneb</i>	20h 41m	+45,3°

Tabela 4.1 – Coordenadas equatoriais das vinte estrelas mais brilhantes do céu. A ascensão reta e a declinação foram calculadas para a época 2000. A ascensão reta está arredondada para horas e minutos; a declinação, para graus e frações de grau. (Tabela construída a partir dos dados do Tycho-2 Catalogue, 2000.0⁸.)

⁸ O Catálogo Tycho-2 pode ser acessado na sua íntegra em: <<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>>.

4.2 A altura do polo celeste e a latitude do observador. Estrelas circumpolares

De tudo o que foi visto até o momento, concluímos que o céu apresenta aspectos diferentes não só de acordo com a data e a hora em que fizemos a observação, mas também de acordo com a latitude do local em que o observador se encontra. Por exemplo, no polo Norte terrestre (latitude $+90^\circ$) apenas as constelações que se situam no Hemisfério Norte celeste (ou seja, com declinação positiva) podem ser observadas ao longo do ano: as estrelas com declinação negativa (ou seja, do Hemisfério Sul celeste) são inacessíveis para um observador situado no polo Norte celeste – pela simples razão de que elas estão sempre abaixo do horizonte local.

Uma situação análoga se aplica a um observador situado no polo Sul terrestre (latitude -90°), em relação às estrelas do Hemisfério Norte celeste, que para ele estarão inacessíveis. Já para um observador situado precisamente no equador terrestre (latitude 0°), tanto as estrelas do Hemisfério Norte como as do Hemisfério Sul celeste podem ser observadas em alguma época do ano. E o que acontece com um observador colocado em qualquer outro ponto genérico da superfície terrestre? Examinemos a Figura 4.7, e consideremos o observador O_1 , situado num ponto qualquer do Hemisfério Norte. Sua vertical local é indicada por Z_1 e seu horizonte local, pela reta N-S. A latitude do observador, por definição, é dada pelo ângulo ϕ_1 . Mas, lembrando da geometria euclidiana, podemos afirmar que o ângulo entre a vertical local Z_1 e o equador celeste EC é exatamente igual ao ângulo ϕ_1 (latitude local). Isso porque se trata de *ângulos correspondentes* no sistema formado por duas retas paralelas (equador terrestre e equador celeste) cruzadas por uma reta transversal (CO_1Z_1).

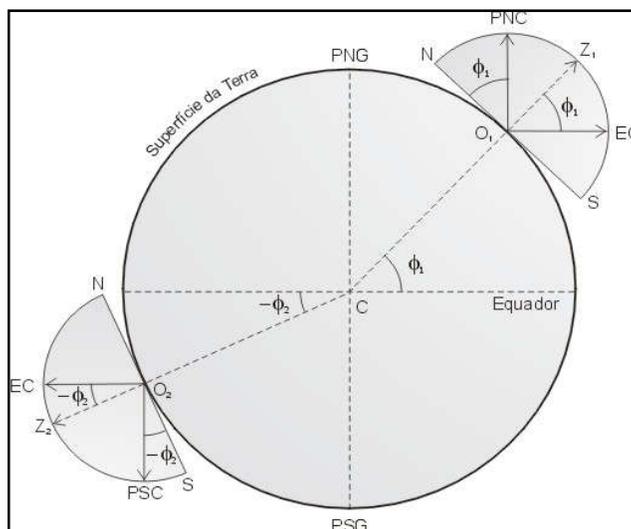


Figura 4.7 – Relação entre a altura do polo celeste visível por um observador e sua latitude local. Ver texto para a demonstração. (Crédito: SANTIAGO; SALVIANO, 2005.)

Mas, por outro lado, a geometria também nos mostra que o ângulo entre o polo Norte celeste (PNC) e o ponto cardeal Norte (N) é exatamente igual ao ângulo entre a vertical local Z_1 e o equador celeste EC. Isso porque ambos são *complementares do mesmo ângulo* (no caso, o ângulo entre Z_1 e o polo Norte celeste, PNC). De toda essa dedução, podemos concluir finalmente que o ângulo entre o polo Norte celeste (PNC) e o ponto cardeal Norte (N) é também igual à latitude local ϕ_1 .

Ou, dito de forma bem mais simplificada: *para qualquer ponto da superfície terrestre, a altura (sobre o horizonte) do polo celeste visível pelo observador é exatamente igual à latitude local*⁹.

Essa regra torna fácil para qualquer pessoa localizar o polo celeste visível de seu ponto de observação: uma vez conhecida a sua latitude (que pode ser obtida com o uso de mapas geográficos ou, modernamente, com o uso de GPS ou de aplicativos de *smartphones*), basta se posicionar da forma já vista no Capítulo 3 (item 3.2), olhando de frente para o ponto cardeal correspondente ao hemisfério em que o observador se encontra (N para o Hemisfério Norte, S para o Hemisfério Sul). A partir desse ponto, mede-se, na direção do zênite, um ângulo em graus equivalente à sua latitude. O ponto resultante é o polo celeste.

Como fazer essa medição? Uma ideia poderia ser construir um “astrolábio caseiro” a partir de materiais de baixo custo, útil geralmente em atividades didáticas simples do Ensino Fundamental (ver, por exemplo, AGUIAR; HOSOUME, 2015). Porém, nem mesmo isso é necessário. Para medir distâncias angulares aproximadas no céu, na falta de instrumentos apropriados, a técnica mais simples é usar as nossas mãos. Basta estender completamente o braço e apontá-lo na direção do céu. Usando como referência as palmas das mãos e os dedos nas diversas formas vistas na Figura 4.8, podemos medir distâncias angulares no céu em graus com razoável aproximação.

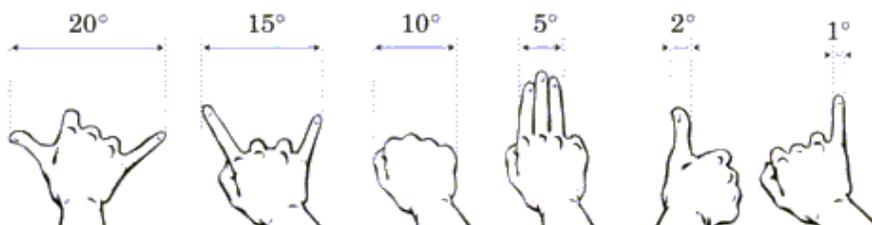


Figura 4.8 – Método para a medição de distâncias angulares aproximadas no céu. Para obter resultados corretos, é essencial que o braço esteja inteiramente esticado.

⁹ Embora a dedução desse fato tenha sido feita no texto acima para um observador O_1 situado no Hemisfério Norte, a demonstração feita para o observador O_2 , no Hemisfério Sul, é análoga. Sugere-se ao professor fazer a mesma dedução (ou pedir que os alunos a façam), partindo de O_2 .

No Hemisfério Norte, por uma feliz coincidência, há uma estrela brilhante praticamente na posição exata do polo celeste Norte: ela é Polaris (ou Alfa da constelação da Ursa Menor). Isso permite uma confirmação imediata da correção da medida feita. Assim, por exemplo, um observador na cidade de Paris (latitude $+48^{\circ}52'$), ao voltar-se para o ponto cardeal Norte, verá Polaris exatamente a essa altura no céu. Já no Hemisfério Sul, não temos a mesma sorte: não existe nenhuma estrela brilhante nas imediações do polo celeste Sul - mas o procedimento para encontrá-lo é exatamente o mesmo. Em Curitiba (latitude $-25^{\circ}42'$), por exemplo, basta voltar-se para o ponto cardeal Sul e medir cuidadosamente com as mãos, a partir do horizonte e na direção do zênite, um ângulo igual a essa latitude (desconsiderado o sinal): lá estará o polo celeste Sul.

A altura do polo sobre o horizonte define uma espécie de calota esférica, cujo raio é a latitude local e cujo centro é o próprio polo. Essa calota é chamada calota circumpolar, e as estrelas que estão contidas nela (chamadas circumpolares) nunca se põem nem nascem no horizonte: elas giram em torno do polo durante toda a noite no sentido horário (no Hemisfério Sul) ou anti-horário (no Hemisfério Norte). As estrelas circumpolares cruzam duas vezes o meridiano celeste acima do horizonte por dia, ao contrário das demais, nas quais só podemos observar uma passagem meridiana diária.

A condição para que qualquer estrela de declinação δ seja circumpolar para um observador situado em qualquer local da Terra depende da latitude (ϕ) desse local. De modo genérico, a condição para que uma estrela seja circumpolar é dada por:

- Observador no Hemisfério Norte (latitudes positivas): $\delta > 90^{\circ} - \phi$
- Observador no Hemisfério Sul (latitudes negativas): $\delta < -(90^{\circ} + \phi)$

De forma análoga, existirá, para o mesmo observador, uma região (em torno do polo celeste oposto) na qual as estrelas sempre estarão abaixo do horizonte local, sendo assim invisíveis para ele em qualquer época do ano. As estrelas invisíveis para esse observador devem satisfazer as seguintes condições:

- Observador no Hemisfério Norte (latitudes positivas): $\delta < -(90^{\circ} - \phi)$
- Observador no Hemisfério Sul (latitudes negativas): $\delta > (90^{\circ} + \phi)$

Consideremos um exemplo: para a cidade de São Paulo ($\phi = -23^{\circ}33'$) serão circumpolares todas as estrelas que estiverem a declinações abaixo de $\delta = -66^{\circ}27'$. Já para a cidade de Buenos Aires ($\phi = -34^{\circ}37'$), serão circumpolares todas as estrelas cujas declinações forem menores que $\delta = -55^{\circ}23'$. Consideremos a estrela Acrux (Alfa da constelação do Cruzeiro do Sul). Pela Tabela 4.1, a sua declinação é de $-63,1^{\circ}$. Isso significa que Acrux é uma estrela circumpolar quando vista de Buenos Aires, porém *não* é circumpolar se observada de São Paulo. Por outro lado, se pensarmos agora em Polaris, cuja declinação é de $+89,3^{\circ}$, não é difícil entender por que ela não pode ser

vista nem de São Paulo nem de Buenos Aires! A Figura 4.9 ilustra todas essas situações.

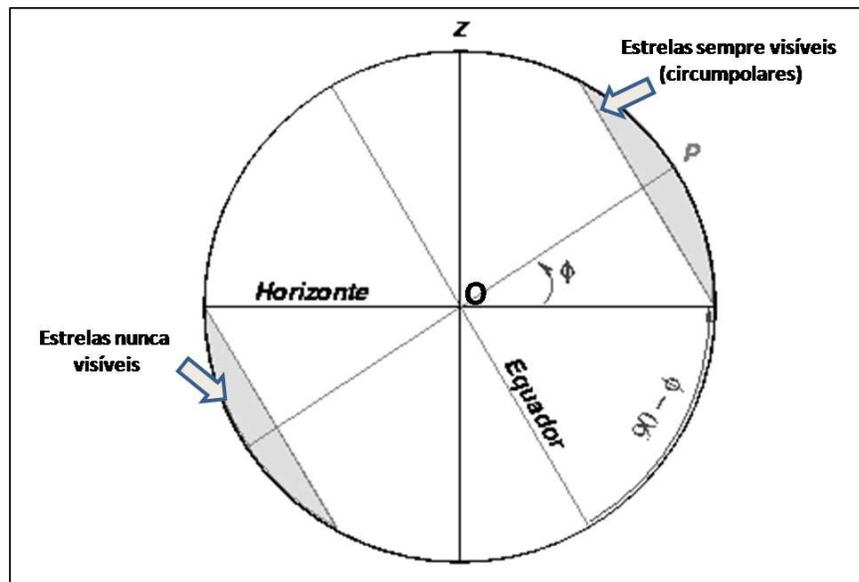


Figura 4.9 – Para o observador O, situado na latitude ϕ , são circumpolares todas as estrelas contidas na calota de centro P. No hemisfério oposto, haverá outra calota com o mesmo raio, mas centrada no polo oposto a P, na qual nenhuma estrela será visível para o observador O em qualquer época do ano. (Crédito: KEPLER; SARAIVA, 2000.)

4.3 Uso de telescópios e binóculos para a observação

Não faz parte do escopo deste trabalho o detalhamento sobre projeto e construção de telescópios. Para aqueles que tiverem interesse nesses assuntos, são recomendadas algumas excelentes fontes de informação nas referências bibliográficas: livros como ALMEIDA (2004), TEXEREAU (1984), ou ABI KARAM (2012) e websites como MOURA, (2000) ou SANTIAGO FILHO (2016) certamente fornecerão todos os subsídios essenciais ao interessado em adquirir ou construir seu próprio instrumento. Ao contrário, nos tópicos a seguir nos limitaremos a descrever alguns princípios básicos sobre as características e a operação dos instrumentos que poderão vir a ser usados pelo leitor nos capítulos a seguir: telescópios de pequeno porte e baixo custo, e binóculos.

4.3.1 Telescópios

A função essencial de um telescópio é coletar mais luz, e *não* aumentar as imagens de objetos celestes (como erroneamente se ouve com frequência). Quanto maior a sua abertura (diâmetro), maior será a quantidade de luz recolhida. Para tanto, existem três tipos básicos de instrumentos, conforme o sistema óptico utilizado: refratores, refletores e catadióptricos (Figura 4.10).

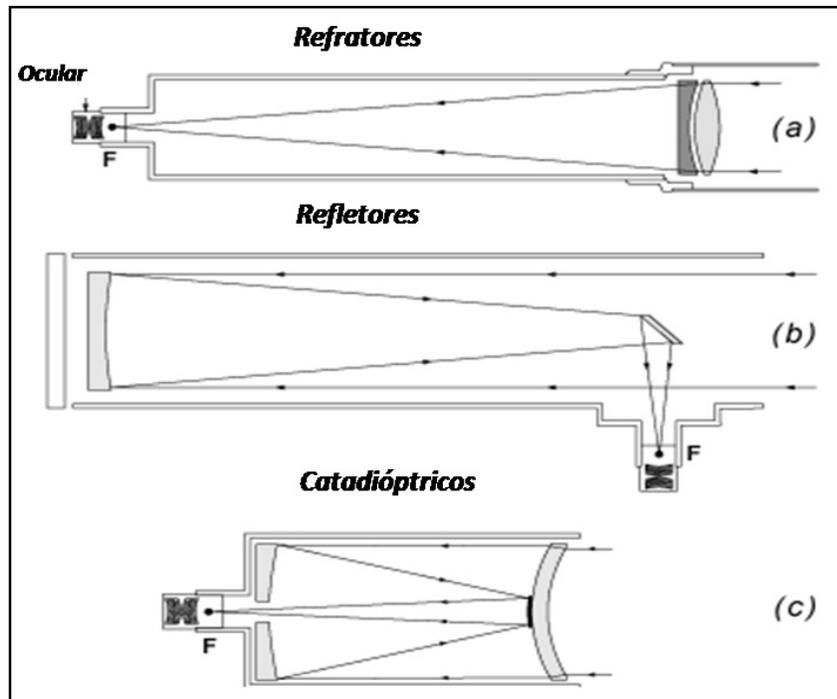


Figura 4.10 – Os três tipos básicos de sistemas ópticos usados em telescópios de pequeno porte. Ver texto para as descrições. (Crédito: MEADE, 2006.)

- (a) Nos telescópios refratores, a luz é coletada pela objetiva (lente) e se concentra no foco F. A imagem do objeto é ampliada pela ocular, que está situada no eixo óptico do telescópio.
- (b) Nos telescópios refletores (também chamados “newtonianos”), a luz atravessa a extremidade aberta do tubo do telescópio, é coletada pelo espelho primário e refletida para um pequeno espelho plano (secundário). Novamente refletida pelo secundário, a luz coletada se concentra no foco F. Assim como em (a), a imagem é ampliada pela ocular.
- (c) Nos catadióptricos, a luz atravessa uma placa corretora (lente) e se reflete sucessivamente no espelho primário e no secundário (atrás da placa), dirigindo-se para a ocular através de um orifício no primário.

Algumas das características principais de um telescópio são vistas a seguir:

- Abertura (D): diâmetro do espelho primário (refletores ou catadióptricos) ou da objetiva (refratores).
- Relação focal (F/D): quociente entre a distância focal do telescópio e sua abertura. Às vezes é também chamada “razão focal”.
- Aumento: Relação entre a distância focal do telescópio (F) e a distância focal da ocular em uso (f). O termo f é uma característica de cada ocular.

$$A = (F/f)$$

- Campo de visão real (FOV): relação entre o campo de visão aparente de uma ocular (especificação de cada tipo de ocular) e o aumento:

$$\text{FOV (real)} = (\text{FOV}_{\text{aparente}}) / A$$

Dessa relação resulta que oculares que produzem menores aumentos também implicam em campos de visão reais maiores. De forma análoga, telescópios com menor relação focal também produzem campos de visão reais maiores (desde, é claro, que usados com a mesma ocular). Para estrelas variáveis, em geral é interessante que o campo de visão seja tão amplo quanto possível.

- Poder de separação (ou resolução angular) de um telescópio (θ): indica a sua capacidade de separar objetos muito próximos entre si. Em teoria, ela é dada, em segundos de arco ("), pela equação:

$$\theta = (138/D)$$

Nessa fórmula, a abertura D é dada em milímetros. A resolução angular é importante quando se deseja obter detalhes muito pequenos de um objeto (por exemplo, a separação real entre as componentes de uma estrela dupla). Notar que o poder separador *não* depende do aumento usado, mas sim da abertura do telescópio.

No entanto, o poder de separação *real* é limitado por outro fator, conhecido como *seeing*, que é uma medida do grau de turbulência da atmosfera terrestre no local e no momento da observação. O *seeing* varia de local para local, de dia para dia e até de hora em hora. Um *seeing* alto (decorrente, por exemplo, de um local inadequado para observação ou de condições meteorológicas desfavoráveis) reduz significativamente o poder de separação e também o aumento máximo útil do telescópio.

- Poder de captação de luz: é proporcional ao quadrado da abertura do telescópio. Por exemplo, o telescópio do LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica), de abertura 1.600 mm, tem poder de captação de luz 64 vezes maior que um telescópio amador de 200 mm abertura.

Independentemente do sistema óptico usado, todo telescópio necessitará de uma *montagem*, que é a estrutura que sustenta o tubo óptico e os acessórios, e (em alguns modelos) provê o acompanhamento motorizado que compensará o movimento de rotação da Terra. Uma montagem robusta e sólida, compatível com a abertura do tubo óptico, é um componente essencial para uma observação bem-sucedida. Existem dois tipos básicos de montagens: a altazimutal e a equatorial (Figuras 4.11 e 4.13). A operação com cada um desses tipos de montagem segue os princípios dos sistemas de coordenadas horizontal e equatorial, já vistos acima.

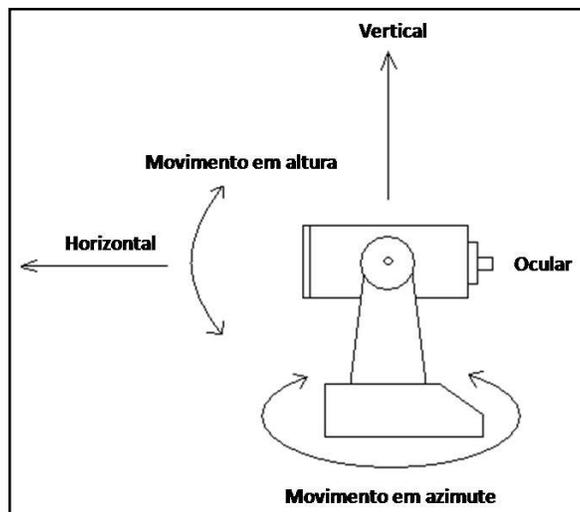


Figura 4.11 – Montagem altazimutal simples. (Adaptado de POLSTON, 2005.)

A *montagem altazimutal* é geralmente a mais simples e de mais baixo custo, sendo por isso muito popular entre os iniciantes. Ela permite movimentar o telescópio em dois planos ortogonais, correspondendo às coordenadas horizontais (azimute e altura). Essa é uma montagem leve e de manuseio bastante fácil. Uma variante dela é a chamada *montagem dobsoniana*¹⁰, cuja construção é ainda mais simples, pois sua estrutura é toda feita de madeira. A montagem altazimutal apresenta, todavia, uma limitação: na sua forma mais simples e barata (não-computadorizada), ela não acompanha o movimento aparente da esfera celeste. Para compensá-lo é necessário incrementar a montagem, acrescentando dois motores, cada um operando um dos eixos de forma independente (o que obviamente aumenta o custo da montagem). Este tipo de montagem é usado principalmente para a observação visual; mesmo assim, para a localização dos objetos (em especial, os mais apagados) é essencial possuir certa prática, além de um conhecimento mínimo do céu e das constelações. Cartas celestes previamente preparadas e uma luneta buscadora de boa qualidade são indispensáveis: a técnica usual para busca do objeto-alvo é aquela conhecida como *star-hopping*. Esta geralmente consiste em vários passos; o primeiro é sempre partir de uma estrela brilhante e relativamente próxima ao objeto-alvo. Aponta-se o telescópio para ela, centrando-a no campo. A seguir, move-se o instrumento em passos sucessivos para estrelas mais apagadas, mas cada vez mais próximas do objeto, checando-se a cada vez a posição através da luneta buscadora e em seguida centrando-a na ocular. Repete-se o procedimento por tantas vezes quanto necessárias para que o objeto-alvo esteja no campo de visão. Esse “caminho” para chegar ao objeto, para ser eficiente, deve ser sempre planejado previamente e preparado usando a carta celeste ou atlas disponível (ver Figura 4.12). Desnecessário seria

¹⁰ Nome dado em homenagem a seu idealizador, o astrônomo amador norte-americano John Dobson (1915-2014).

mencionar, mas a buscadora precisa estar *perfeitamente alinhada* com o telescópio para que a técnica produza bons resultados. A prática da técnica de *star-hopping* é considerada uma das maneiras mais eficazes para um iniciante adquirir proficiência e habilidade na localização de objetos e no conhecimento do céu.

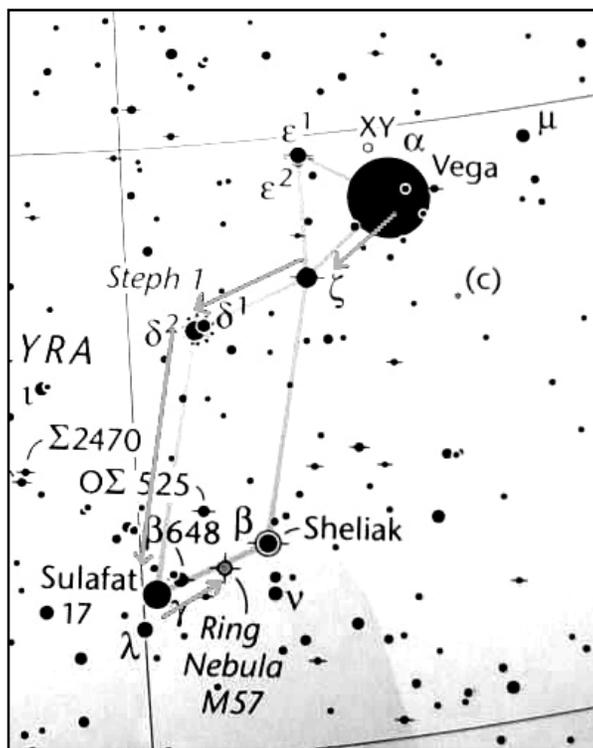


Figura 4.12: Um exemplo da técnica de star-hopping para localizar a Nebulosa Anular (M57), uma nebulosa planetária na constelação da Lira, em quatro passos. Partindo da estrela Vega (Alfa Lyrae, ver Tabela 4.1), move-se o telescópio primeiro para ζ Lyr, a seguir para o par $\delta 1/\delta 2$ Lyr e depois para Sulafat (γ Lyr). No passo seguinte, chega-se a M57. Outro “caminho” opcional poderia ser a partir de Vega, passando por ζ Lyr e Sheliak.

Já a *montagem equatorial* (Figura 4.13) também possui dois eixos ortogonais entre si; mas agora um deles (o eixo de ascensão reta ou eixo polar), é alinhado com o eixo de rotação da Terra, o que permitirá fazer o acompanhamento por meio de um só motor¹¹. O outro eixo (eixo de declinação) é perpendicular ao eixo polar e direciona o telescópio na direção Norte-Sul celeste. Este tipo de montagem costuma ser mais caro e pesado que a montagem altazimutal; para telescópios de aberturas maiores, deve ser preferencialmente montada de forma fixa, através de pilares fincados no solo. Por outro lado, ela também costuma ser bem mais robusta e precisa que a precedente,

¹¹ Os modelos usados para telescópios de maior abertura e de maior custo, no entanto, costumam dispor de um motor também para a declinação, tornando o acompanhamento ainda mais preciso.

sendo a mais recomendada para aplicações que demandam mais do equipamento, como astrofotografia ou imageamento CCD. No entanto, para que funcione perfeitamente, a montagem equatorial deve estar alinhada de modo muito preciso: o eixo polar deve ser apontado exatamente para o polo celeste (Sul ou Norte, dependendo do hemisfério em que se encontra o observador). A inclinação do eixo polar também deve coincidir precisamente com a latitude do local de observação. Esses procedimentos costumam ser trabalhosos e requerem tempo, mas, uma vez completados, recompensam o esforço despendido. Embora também possamos operar as montagens equatoriais através da técnica de *star-hopping*, elas apresentam uma vantagem: permitem localizar os objetos através de dois círculos graduados (um para a ascensão reta e outro para a declinação). Assim, tendo-se à mão uma listagem de estrelas brilhantes que estejam no céu no momento da observação, é possível calibrar os círculos graduados com elas e em seguida localizar objetos mais escuros simplesmente ajustando-os de acordo com as coordenadas do objeto-alvo, o que é geralmente mais rápido que fazê-lo por *star-hopping*. Finalmente, vale comentar que nos dias de hoje é comum encontrarmos montagens equatoriais nos telescópios computadorizados ou robóticos de pequeno e médio porte¹².

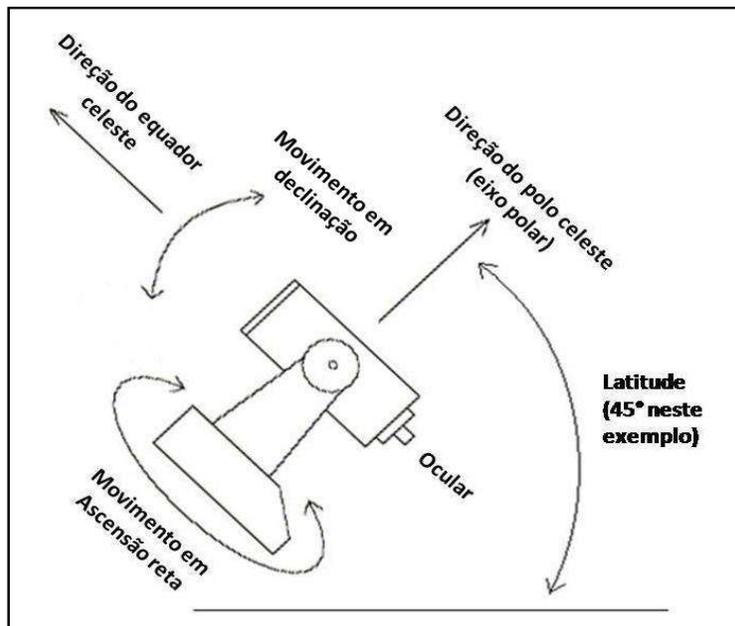


Figura 4.13 – Montagem equatorial simples. (Adaptado de POLSTON, 2005.)

¹² O contrário acontece com os grandes telescópios dos observatórios profissionais, que voltaram a usar montagens altazimutais nos últimos anos, porém com um sofisticadíssimo sistema de processadores que permite o controle dos dois motores de velocidade variável em tempo real com extrema precisão.

4.3.2 Binóculos

Existem muitas razões pelas quais todos os observadores experientes recomendam aos iniciantes escolherem um bom binóculo (em vez de um telescópio) como seu primeiro instrumento astronômico. Além de terem um custo geralmente bem mais acessível, os binóculos possuem campos de visão muito maiores que os telescópios (o que facilita enormemente a localização dos objetos celestes por aqueles que ainda não possuem experiência nessa atividade), apresentam um bom poder de captação de luz, são leves, portáteis e de fácil transporte e manutenção. Em suma, eles são o instrumento ideal para quem está se iniciando em astronomia (e, em especial, por aqueles que se interessam pelo estudo das estrelas variáveis). Após o seu uso regular por (no mínimo) muitos meses, o observador terá adquirido a prática essencial para localizar objetos no céu com facilidade, e (aí sim) estará em condições de pensar na aquisição do seu primeiro telescópio.

As principais características a considerar para a escolha de um bom binóculo são as seguintes:

- Abertura e aumento (ou ampliação): esses dois itens estão normalmente gravados no próprio corpo do binóculo ou identificados em suas especificações através de dois números. Digamos, um binóculo 7x50 mm. Isso significa que a abertura (da lente maior) é de 50 mm e o aumento, de sete vezes. Assim como acontece com os telescópios, quanto maior a abertura, maior o poder de captação de luz e portanto de detecção de objetos mais apagados. Para aplicações em astronomia, recomenda-se que o binóculo possua uma abertura mínima de 50 mm. Aberturas menores que essa normalmente são adequadas apenas para usos diurnos em terra, como assistir a uma peça de teatro ou a uma corrida de cavalos, por exemplo. Por outro lado, existem no mercado binóculos de abertura 80 mm ou até mais. Embora eles captem mais luz e sejam por isso adequados para a observação astronômica, têm as desvantagens de um campo mais reduzido, de um custo mais alto e de serem muito mais pesados, sendo indispensável nesse caso um tripé para evitar o tremor das mãos e o esforço quando em uso.
- Campo de visão real: está relacionado aos fatores vistos anteriormente. Um binóculo 7x50 mm terá tipicamente campo em torno de 7°, e os 10x50 mm, algo em torno de 6°. Existem ainda modelos de binóculos que possuem oculares do tipo *wide field* (ou campo extenso), que permitem um campo visual pouco maior que o dos binóculos comuns. Verifique esse item pelas especificações do modelo. De forma geral, campos de visão mais amplos costumam ser interessantes para usos astronômicos.

- Pupila de saída: esse é o valor encontrado quando se divide a abertura de um binóculo por sua ampliação. Por exemplo, para um binóculo 7x50 mm, seu valor é de 7,1. Para um 10x50 mm, é de 5,0; para um 9x63 mm, de 7,0; para um 20x80 mm, de 4,0... e assim por diante. A pupila do olho humano (em um indivíduo jovem com o olho adaptado à escuridão) tem diâmetro da ordem de 7 mm. A idade tende a reduzir esse valor: em geral, a maior parte das pessoas com idade acima de 40 anos tem pupila ocular em torno de 6 mm; acima de 60 anos, em torno de 5 mm. O ideal é compatibilizar os valores da pupila ocular e da pupila de saída do instrumento, de forma tal que o globo ocular receba toda a luz coletada pela objetiva, otimizando assim seu uso. Assim, os binóculos ideais para uso astronômico devem ter pupila de saída entre 5 e 7 mm. Por esse motivo, um binóculo 9x63 mm é adequado para astronomia, enquanto um 30x50 mm, por exemplo, não é.

Sistema de prismas: existem no mercado dois tipos de sistemas prismáticos: o de Porro (visto à esquerda na Figura 4.14) e o *roof prism*, à direita. O sistema de Porro é geralmente muito usado em astronomia, pois permite combinar bom poder de captação de luz com um amplo campo de visão. O *roof prism* é mais leve e compacto, mas seu uso em binóculos astronômicos é um pouco menor, por tender a ter custo mais alto para a mesma abertura.

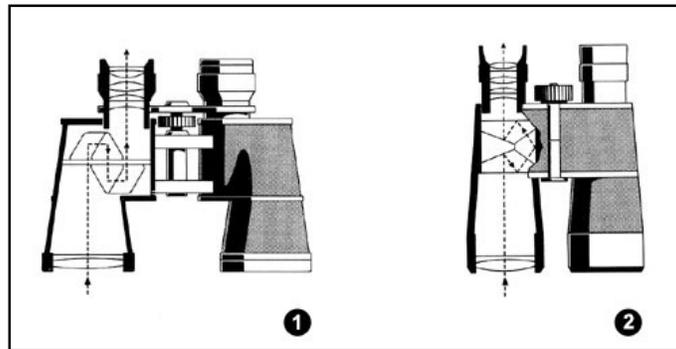


Figura 4.14 – Sistemas prismáticos de binóculos. (Crédito: ALMEIDA, 2013.)

- Lentes: de acordo com o tipo de vidro usado na confecção das lentes, existem dois tipos de binóculos: BAK4 (bário) e BK7 (borossilicato). Embora haja exceções, normalmente os BAK4 apresentam melhor qualidade e são mais luminosos. Por outro lado, é sempre recomendável verificar, antes da aquisição, qual é o sistema de revestimento usado nas lentes para otimizar a transmissão de luz. Os melhores sistemas são indicados na especificação como *fully multicoated* (com revestimento de duas ou mais camadas em todas as lentes), seguidos pelos *multicoated* (algumas lentes com duas camadas) e pelo *coated* (com uma camada). Devem-se evitar os binóculos

que apresentem lentes de cor vermelha forte (rubi), quase sempre de má qualidade.

Considerando todos esses fatores, os binóculos que apresentam melhor relação custo-benefício (e mais recomendados para os iniciantes) são em geral os 7x50 mm e 10x50 mm (existindo ainda pequenas variações também adequadas, como 9x63 mm), se possível com prismas do tipo BAK4 e revestimento *fully multi-coated*. Devem-se sempre evitar binóculos com *zoom* (por exemplo, 7-21x50 mm) para usos astronômicos.

Na vida real, entretanto, o ideal é sempre comprar o binóculo depois de ter testado cuidadosamente a sua qualidade na prática na loja. Há uma série de testes práticos que podem ser efetuados rapidamente para assegurar uma melhor aquisição. Descrições dos mesmos podem ser encontradas em CARREIRA, 2017 ou em ALMEIDA, 2013.

4.4 Atividades sugeridas (para professores)

Sugerimos, inicialmente, a resolução ou discussão em aula das questões rápidas abaixo para a fixação dos conceitos vistos.

- Qual é o azimute de uma estrela na passagem meridiana, assumindo que ela cruza o meridiano ao norte do zênite?
- Qual é a declinação do equador celeste? E a declinação do polo Sul celeste?
- Considere um observador situado no polo terrestre Sul. Que ponto da esfera celeste se situa no zênite desse observador? Qual a declinação de um ponto cuja distância zenital medida por ele é de 30° ?
- A ascensão reta da estrela Betelgeuse é diferente se a observarmos de São Paulo e do polo terrestre Sul?
- A declinação da estrela Betelgeuse muda no decorrer de uma noite? E de um ano?
- O azimute de Betelgeuse muda no decorrer de uma noite?
- As coordenadas equatoriais da estrela Eta Carinae são: ascensão reta 10h44m e declinação $-59^\circ 55'$. A latitude de Viena, na Áustria, é de $+48^\circ 12'$. Podemos observar Eta Carinae de Viena?
- O telescópio maior do LNA tem abertura 1,60 m e relação focal 13,5. Qual a sua distância focal?
- O diâmetro da pupila do olho humano é de cerca de 5 mm. Em relação a ele, quantas vezes mais um telescópio com 10 cm abertura capta a luz? E um telescópio de 10 m?

- Qual a resolução angular do telescópio espacial *Hubble*, cujo diâmetro é de 2,4 m?

No website <http://astro.unl.edu/naap/motion2/animations/ce_hc.html> existe uma animação (requer Flash) que simula uma visão da esfera celeste e, ao lado desta, a visão simultânea de um observador localizado na Terra. Ajuste as coordenadas geográficas para a sua cidade e verifique, por exemplo, se as constelações da Ursa Maior, Orion e Cruzeiro do Sul são visíveis dessa sua localidade. Em seguida mude as coordenadas geográficas para o polo Norte terrestre e verifique o que acontece com as mesmas constelações.

Assista junto com os alunos ao vídeo disponível no Youtube no endereço a seguir: <<https://www.youtube.com/watch?v=hlkTY8GJJF4>>. Esse vídeo demonstra o sistema de coordenadas horizontais e não possui narração. Peça para os alunos desenvolverem uma narração bem simples para explicar o que está sendo visto (ou faça-a você mesmo para eles).

Se desejar, faça o mesmo tipo de exercício com este outro vídeo do Youtube, agora demonstrando o sistema equatorial de coordenadas celestes e também não possui narração: <<https://www.youtube.com/watch?v=QmS7YXxmytA>>.

Considere agora a carta celeste no sistema equatorial, vista no Apêndice A, ao fim do presente capítulo. Usando as coordenadas listadas na Tabela 4.1, marque sobre a carta a posição de cada uma das vinte estrelas mais brilhantes do céu. Alguma entre elas não é visível na carta? Por que razão?

Referências bibliográficas para o Capítulo 4

ABI KARAM, H. *Telescópios amadores. Técnicas de construção e configuração ótica*. São Paulo: Livraria da Física Ed., 2012.

AGUIAR, R.R.; HOSOUME, Y. Medida da latitude com um astrolábio caseiro em uma atividade de campo. XXI Simposio Nacional de Ensino de Física, 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0561-1.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2017.

ALMEIDA, G. *Telescópios. Guia dos instrumentos de observação astronômica e seus acessórios*. Lisboa: Plátano Editora, 2004.

ALMEIDA, G. Uso e escolha de binóculos para observações astronômicas. Disponível em: <http://vintage.portaldoastronomo.org/tema_pag.php?id=24&pag=3>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

ASTRONOMY DEPARTMENT (University of Michigan). Introduction to astronomical coordinate systems. 2011. Disponível em: <<https://dept.astro.lsa.umich.edu/ugactivities/Labs/coords/>>. Acesso em: 8 de maio de 2017.

BOCZKO, R. *Conceitos de Astronomia*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, p. 52-3. 1ª ed., 1984.

CARREIRA, L. Binóculos para Astronomia. 2017. Disponível em: <http://www.astrosurf.com/carreira/equipamento_binoc.html>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

KARTTUNEN, H. et al. *Fundamental Astronomy*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 5th ed., 2007.

KEPLER, S.O.; SARAIVA, M.F.O. *Astronomia e Astrofísica*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1ª ed., 2000. Versão digital, atualizada em 2013, disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>>. Acesso em: 9 de maio de 2017.

LIMA NETO, G.C.B. Astronomia de Posição. Notas de aula, apostila. Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, p. 14-7, versão de 1 de fevereiro de 2017. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/astroposicao.html>>. Acesso em: 8 de maio de 2017.

MEADE Instruments. Website. 2006. Disponível em: <<http://www.meade.com/support/telewrk.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

MOURA, M.M. Observatório Astronômico Phoenix. 2000. Disponível em: <<http://www.observatorio-phoenix.org/>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

PICAZZIO, E. Movimento aparente do céu. In: PICAZZIO, E. (ed.), *O céu que nos envolve: introdução à Astronomia para educadores e iniciantes*. São Paulo: Odysseus Editora, 1ª ed., p. 70-5, 2011.

POLSTON, J. Setting circles & celestial coordinates. 2005. Disponível em: <<http://www.jeffpolston.com/>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

RICHMOND, M. Astronomical coordinate systems. Notas de aula. Physics 445: Observational Astronomy, Rochester Institute of Technology, 2010. Disponível em: <<http://spiff.rit.edu/classes/phys445/phys445.html>>. Acesso em: 8 de maio de 2017.

SANTIAGO, B.; SALVIANO, A. *Astronomia Geodésica*. Apostila, UFRGS, 2005. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/textos/>>. Acesso em: 8 de maio de 2017.

SANTIAGO FILHO, S. *Telescópios*. 2016. Disponível em: <<http://www.telescopiosastronomicos.com.br/>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

TEXEREAU, J. *How to make a telescope*. Richmond, VA, USA: Willmann-Bell, Inc., 2nd ed., 1984.

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

APÊNDICE A, CAPÍTULO 4

CARTA DO CÉU EM COORDENADAS EQUATORIAIS

