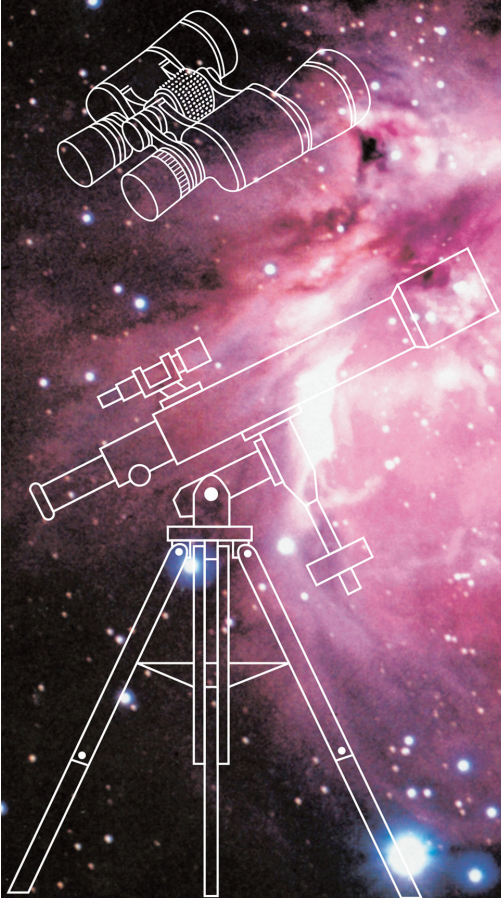


MÁXIMO FERREIRA • GUILHERME DE ALMEIDA

# INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA E ÀS OBSERVAÇÕES ASTRONÓMICAS



PLÁTANO EDITORA

**Edição revista e actualizada**  
**Janeiro de 2022**

Os autores declaram não desejar que esta edição eBook da sua obra *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas* seja convertida ao acordo ortográfico de 1990.

**CAPA:**

Nebulosa de Oriente (M42), a cerca de 1600 anos-luz, na constelação do mesmo nome.

**CONTRACAPA:**

A nebulosa da Cabeça do Cavalo, a sul da estrela Alnitak (zeta Orionis). Nesta imagem, o norte está do lado de cima e Alnitak é a estrela mais brilhante, visível próximo do canto superior esquerdo.

# Nota à edição electrónica de 2022

Nove anos volvidos sobre o esgotamento da sétima edição deste livro, ele surge agora num novo formato. Dadas as realidades destes novos tempos, e tendo em conta o excelente acolhimento que as sete edições anteriores suscitaram no grande público, entendemos trazer à luz uma versão electrónica da nossa *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*.

As intenções da obra já estão sobejamente referidas na Introdução e seria fastidioso referi-las outra vez. Nesta nova versão do livro, os conceitos firmes mantiveram-se, actualizámos as informações que a evolução da Astronomia veio alterar e mantivemos as intenções e os objectivos que sempre nos nortearam.

Lisboa, Janeiro de 2022

OS AUTORES

*«A Natureza não esconde os segredos por malícia, mas devido à própria imensidão».*

Albert Einstein

## Nota à 7.<sup>a</sup> Edição

O acolhimento dispensado pelo público às várias edições deste livro tem sido verdadeiramente excepcional e muito estimulante. Há cada vez mais pessoas que começam a conhecer o céu nocturno e que querem fazer as suas próprias observações. Como reflexo desta nova realidade, há hoje, no nosso país, milhares de telescópios de amadores voltados para o céu.

Fizemos melhoramentos substanciais na quarta edição, que surgiu substancialmente aumentada com mais informação e novas figuras, foi actualizada e passou a incluir mais apêndices e temas de desenvolvimento. Esta sétima edição contém melhoramentos e actualizações pontuais, para além da indispensável correcção de gralhas e omissões.

Lisboa, Maio de 2004

OS AUTORES



# ÍNDICE

Introdução

Como utilizar este livro

## **1. UM POUCO DE HISTÓRIA**

1.1. A Astronomia e as necessidades básicas do homem

1.2. As regularidades

1.3. As concepções do Universo na Antiguidade

1.4. Geocentrismo e heliocentrismo

1.4.1. Do racionalismo grego a Ptolomeu

1.4.2. Os fundadores da Astronomia moderna

1.4.3. A unificação da física terrestre com a física celeste

## **2. ALGUMAS DESCOBERTAS IMPORTANTES**

2.1. Os movimentos estelares

2.2. As descobertas de Herschel

2.3. Determinação das primeiras distâncias estelares

2.4. Os elementos e as suas assinaturas espectrais

2.5. O efeito Doppler

## **3. O UNIVERSO ACTUAL**

3.1. O nosso lugar na Galáxia

3.2. As galáxias

3.3. A expansão do Universo

3.4. Nascimento, vida e morte das estrelas

3.4.1. Como nascem as estrelas

3.4.2. As cores das estrelas e as classes espectrais

3.4.3. Anãs brancas, pulsares e buracos negros

3.4.4. Quasares

3.5. Representação à escala de algumas distâncias astronómicas

## **4. O SISTEMA SOLAR**

4.1. Origem e características gerais

4.2. Posições particulares dos planetas em relação à Terra e ao Sol

4.3. A Terra e a Lua

4.3.1. A Terra

4.3.2. Rotação e translação da Terra

4.3.3. A Lua

4.3.4. Mapa da Lua

4.3.5. Rotação e translação da Lua

- 4.3.6. Particularidades do sistema Sol - Terra - Lua
- 4.4. O Sol
- 4.5. Mercúrio
- 4.6. Vénus
- 4.7. Marte
- 4.8. Os asteróides
- 4.9. Júpiter
- 4.10. Saturno
- 4.11. Úrano
- 4.12. Neptuno e Plutão
- 4.13. Cometas e estrelas cadentes
- 4.14. Representação à escala de algumas dimensões e distâncias no Sistema Solar

## **5. A TERRA E O COSMOS**

- 5.1. A Terra e a esfera celeste
  - 5.1.1. Precessão e nutação da Terra
  - 5.1.2. Dia solar e dia sideral
- 5.2. Localização dos astros na esfera celeste
  - 5.2.1. Necessidade de utilizar coordenadas em Astronomia
  - 5.2.2. Coordenadas horizontais
  - 5.2.3. Coordenadas equatoriais
  - 5.2.4. O movimento de translação da Terra e as estações do ano
- 5.3. Mapas estelares
  - 5.3.1. As constelações e o seu reconhecimento
  - 5.3.2. Utilização dos mapas estelares e da carta celeste
  - 5.3.3. Mapas estelares mensais
- 5.4. Identificação dos planetas na esfera celeste

## **6. ALGUNS CÁLCULOS SIMPLES**

- 6.1. Como se determinam as dimensões dos astros próximos e as distâncias a que se encontram de nós
  - 6.1.1. Considerações iniciais
  - 6.1.2. As dimensões da Terra
  - 6.1.3. O diâmetro da Lua
  - 6.1.4. A distância entre a Terra e a Lua
  - 6.1.5. A distância entre a Terra e o Sol
  - 6.1.6. O diâmetro do Sol
  - 6.1.7. Medição de distâncias no Sistema Solar
- 6.2. Como se determinam as distâncias a que as estrelas se encontram de nós
  - 6.2.1. A paralaxe
  - 6.2.2. A paralaxe estelar como método de medição de distâncias

- 6.3. A luz das estrelas
  - 6.3.1. A necessidade de catalogar as estrelas quanto ao seu brilho
  - 6.3.2. A magnitude estelar
  - 6.3.3. A escala de magnitudes
  - 6.3.4. A magnitude absoluta
- 6.4. Como se determinam as distâncias a que as estrelas se encontram de nós (continuação)
- 6.5. A magnitude estelar e as designações atribuídas às estrelas

## **7. TELESCÓPIOS E OUTROS MEIOS DE OBSERVAÇÃO**

- 7.1. Algumas considerações sobre a visão e as observações astronómicas
- 7.2. Distância angular entre dois pontos
- 7.3. Poder separador ou poder resolvente da visão humana
- 7.4. Generalidades sobre binóculos e telescópios
- 7.5. Especificações dos binóculos e suas possibilidades no âmbito das observações astronómicas
- 7.6. Os telescópios
  - 7.6.1. Telescópios refractores
  - 7.6.2. Telescópios reflectores
  - 7.6.3. Telescópios catadióptricos
  - 7.6.4. Principais características ópticas de um telescópio — significado e relevância
  - 7.6.5. As oculares
  - 7.6.6. O buscador
- 7.7. Os suportes dos telescópios: a utilidade do que parece desnecessário
  - 7.7.1. A montagem azimutal
  - 7.7.2. As montagens equatoriais
- 7.8. Diâmetro aparente de alguns corpos celestes, quando observados através de um telescópio com a ampliação de 100×
- 7.9. Algumas características dos telescópios de amador
- 7.10. Como improvisar um telescópio
- 7.11. A observação do Sol
  - Observação do Sol pelo processo da projecção
  - Observação do Sol por meio de filtros
- 7.12. Alguns conselhos relativos às observações astronómicas
- 7.13. Os grandes telescópios
- 7.14. Outros domínios de observação

## **TEMAS DE DESENVOLVIMENTO (TD)**

- TD 1. Algumas considerações sobre as elipses e sobre a 3ª lei de Kepler
- TD 2. Lei da fotometria
- TD 3. A escala de magnitudes de Pogson e sua aplicação a alguns casos simples

- TD 4. Determinação da magnitude absoluta  $M$  de uma estrela, situada à distância  $r$  da Terra
- TD 5. Determinação da distância de uma estrela à Terra, conhecidas as suas magnitudes aparente e absoluta
- TD 6. Movimento de dois corpos em relação ao centro de massa.
- Validade das leis de Kepler

## APÊNDICES (Ap.)

- Ap. 1. Nota sobre a escrita de números
- Ap. 2. Unidades. Múltiplos e submúltiplos de unidades
- Ap. 3. Alfabeto grego
- Ap. 4. Latitudes das principais cidades portuguesas
- Ap. 5. Nomes das constelações e correspondentes designações latinas e abreviadas
- Ap. 6. As 50 estrelas mais brilhantes visíveis de Portugal — algumas informações úteis
- Ap. 7. Algumas sugestões de observação
- Ap. 8. Como medir a altura do Sol e determinar o meridiano local
- Ap. 9. Fotografar o céu
- Ap. 10. Dados físicos sobre os planetas do Sistema Solar
- Ap. 11. Grelha de referência para a projecção do Sol
- Ap. 12. Campo visual dos binóculos
- Ap. 13. Equilíbrio de uma montagem equatorial
- Ap. 14. Indicações suplementares para o alinhamento de uma montagem equatorial
- Ap. 15. Técnicas simples para apontar o telescópio para alvos pouco brilhantes
- Ap. 16. Os filtros: filtrar para ver melhor
- Ap. 17. Alinhamento óptico dos telescópios de Newton

Lista dos objectos não estelares incluídos na carta celeste

Bibliografia

Endereços e contactos úteis



# Introdução

A curiosidade despertada pelo céu nocturno tem fascinado e desafiado a imaginação da humanidade ao longo da sua história. Este livro foi escrito para as pessoas que querem levar essa curiosidade mais além, de forma participativa e exploratória: a observação directa, que se pretende estimular e desenvolver.

Com a ajuda desta obra, o leitor conseguirá, em pouco tempo, reconhecer as constelações, identificar as estrelas mais brilhantes e os planetas, numa primeira fase de exploração do céu.

Para a aprendizagem das constelações e das estrelas mais brilhantes — base necessária a quase todas as observações — incluem-se 24 mapas estelares mensais e uma Carta Celeste, acompanhados de várias sugestões de observação, comentários e outras recomendações.

A observação telescópica da Lua e das suas crateras, do Sol (com as devidas precauções), dos planetas principais e até de alguns dos satélites de Júpiter, acompanhando as suas evoluções, pode ser feita mesmo a partir da janela de uma casa, ainda que localizada numa cidade.

Estas e outras observações *directas* estão ao alcance do leitor e são mais interessantes do que muitas das fotografias que possa ver. E assim se pode começar a explorar o céu.

Após os primeiros passos, será natural que o leitor se sinta disposto a observar mais e melhor. Para apoiar estas e outras explorações — enxames de estrelas (abertos e globulares), nebulosas, galáxias, etc. — referem-se os procedimentos e conselhos básicos de observação, assim como diversas informações relativas a binóculos e telescópios, às suas características e principais acessórios. Descreve-se até, pormenorizadamente, como improvisar um pequeno telescópio.

Não deixámos, contudo, de incluir as noções fundamentais de Astronomia consideradas indispensáveis aos objectivos propostos, acrescidas de algumas considerações de maior desenvolvimento, bem como numerosos dados de consulta e informação suplementar que cada leitor utilizará como desejar, de acordo com o seu interesse.

Estas informações e sugestões tornar-se-ão progressivamente mais necessárias à medida que a sua experiência for aumentando, encorajando-o a prosseguir.

Esperamos ter atingido os objectivos a que nos propusemos.

Lisboa, Agosto de 1993

OS AUTORES

# Como utilizar este livro

Convém salientar, resumidamente, os seguintes aspectos:

1. Os diversos capítulos são relativamente independentes entre si; o leitor poderá, se desejar, começar pelo capítulo que corresponda mais imediatamente aos seus objectivos e aos seus conhecimentos
2. A utilização deste livro é gradual: à medida que o leitor for adquirindo mais conhecimentos e apurando as suas observações, poderá encontrar nele outras perspectivas e outros temas de leitura. Não é, portanto, um livro a ler de um só fôlego.
3. O leitor encontrará, com alguma frequência, o símbolo (→ ...). Este símbolo indica que se obterá informação adicional, ou mais desenvolvida, consultando o capítulo, a secção, o apêndice ou o tema de desenvolvimento assim referenciado.
4. As tabelas e outras informações de consulta, assim como algumas actividades propostas, foram colocadas em *apêndices*, e a sua consulta é sugerida, no texto, pelo símbolo (→ Ap. ...).
5. Os assuntos que constituem desenvolvimentos mais aprofundados, ou temas que carecem de maior reflexão por parte do leitor, foram integrados na secção *temas de desenvolvimento*, para não interferirem nas primeiras leituras, e as chamadas de atenção para esses casos fazem-se por meio do símbolo (→ TD ...). Os *temas de desenvolvimento* destinam-se a uma utilização posterior. Embora não sejam indispensáveis à leitura inicial do livro, oferecerão informações complementares, a explorar pelos leitores interessados.

## 3.4. Nascimento, vida e morte das estrelas

### 3.4.1. Como nascem as estrelas

Em cada galáxia, as estrelas nascem de nuvens de gás, muitas das quais podem ser observadas no céu. São notáveis a *Grande Nebulosa de Oriente* (figura 3.9.) e a *Cabeça do Cavalo* (figura 3.10.), na constelação do Oriente, nas quais foram detectadas provas evidentes de que ali, permanentemente, se formam novas estrelas.



Fig. 3.9. — A *Grande Nebulosa de Oriente*, que está a 1600 anos-luz.



Fig. 3.10. — Nebulosa escura da *Cabeça do Cavalo*.

Uma nuvem candidata a mãe de estrelas apresenta uma constituição em que predomina o hidrogénio, mas pode existir maior ou menor percentagem de «poeiras» — elementos sintetizados em estrelas de anteriores gerações que, já na fase final das vidas respectivas, explodiram e lançaram no espaço grande parte do seu material. O espaço ocupado por essas nuvens de material interestelar pode ter dimensões de várias centenas de anos-luz, e as suas massas podem ultrapassar 1000 vezes a do Sol. Mesmo assim, as densidades são extraordinariamente baixas, e as partículas constituintes são, inicialmente, átomos: cerca de 75% da massa dessas nuvens é constituída por hidrogénio e 23% de hélio, correspondendo os restantes 2% a elementos mais pesados.

As previsões teóricas e os modelos já experimentados em computadores mostram que a gravidade leva a que o material constituinte da estrela se comprima progressivamente. Dessa contração resulta a transformação da energia gravitacional em calor, o que dá origem ao aquecimento gradual do futuro núcleo estelar. Em alguns milhares de anos, a parte central torna-se

extraordinariamente luminosa, embora invisível a partir do exterior, devido à absorção da luz por parte do material envolvente.

Nesta fase, a *proto-estrela*<sup>42</sup> emite radiação infravermelha que alguns satélites, colocados em órbita terrestre, têm já captado, confirmando assim a hipótese de existência de autênticas «maternidades» de estrelas, em certas regiões da Galáxia.

<sup>42</sup> O termo *proto-estrela* é utilizado para designar uma estrela em formação.

A uma temperatura próxima de 10 milhões de graus inicia-se a fusão nuclear do hidrogénio, que, ao longo de milhões de anos, dará origem à energia irradiada pela estrela em diversas formas, bem como ao aparecimento de elementos mais pesados, como o hélio e, depois, o carbono.

Com o decorrer do tempo, para que as reacções nucleares prossigam, são necessárias temperaturas cada vez mais elevadas, o que é alcançado à custa do aumento da pressão produzida por toda a massa da estrela que envolve o respectivo núcleo. A energia é irradiada do centro para a atmosfera da estrela, produzindo aí reacções com o hidrogénio. Tal fenómeno origina, nas regiões visíveis das estrelas, temperaturas bem superiores às existentes a alguns milhares de quilómetros de profundidade.

Na maior parte dos casos, a nuvem origina mais de uma estrela. Cerca de 70% das estrelas conhecidas estão integradas em sistemas constituídos por duas ou mais, nascidas da mesma nuvem-mãe, e que, por isso, ficaram a orbitar no espaço em torno de um ponto comum — o centro de massa (→ TD 6). Formam-se assim as *estrelas duplas* (sistemas de duas componentes) e os sistemas múltiplos (mais de duas estrelas). Noutros casos, a nuvem-mãe poderá originar uma só estrela, eventualmente acompanhada por um sistema planetário orbitando em torno dela, como é o caso do Sistema Solar (→ 4.1).

Há também casos em que, a partir de nuvens de matéria de maior dimensão (milhares de massas solares), o colapso gravitacional origina (em várias fases) a formação de um número de estrelas relativamente elevado. Formam-se, deste modo, os *enxames* de estrelas.

Os *enxames* estelares abertos (figura 3.11.) são constituídos por centenas de estrelas jovens; os *enxames globulares*, contendo centenas de milhares de estrelas (figura 3.12.), são mais compactos. Os enxames estelares que podemos observar pertencem à nossa Galáxia.

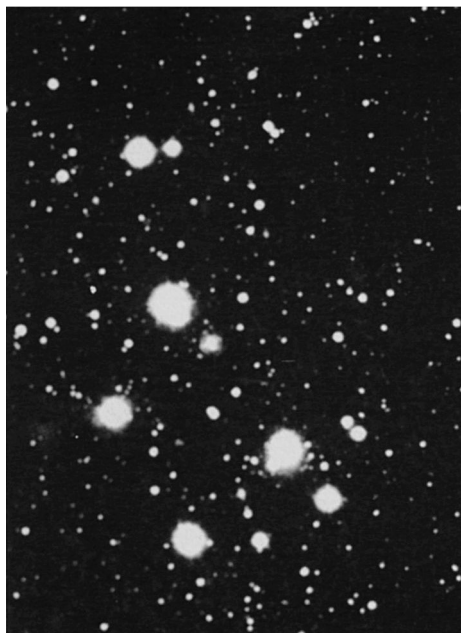


Fig. 3.11. — Exemplo de um enxame estelar aberto: o enxame das Plêiades (M45), na constelação do Touro. É constituído por centenas de estrelas bastante jovens (com cerca de 80 milhões de anos), ocupando uma região do espaço cuja maior dimensão é de 30 anos-luz, aproximadamente. O conjunto, que está a cerca de 450 anos-luz da Terra, pertence à nossa Galáxia e é facilmente observável.



Fig. 3.12. — Exemplo de um enxame globular (M3) na constelação dos Cães de Caça. A região central é também constituída por estrelas, relativamente próximas entre si, que os telescópios não conseguem individualizar (resolver). Este enxame, que pertence à nossa Galáxia, está a cerca de 32000 anos-luz da Terra, sendo as suas estrelas (algumas centenas de milhares) bastante idosas, como é típico dos enxames globulares.

### 3.4.2. As cores das estrelas e as classes espectrais

Mesmo uma observação não muito rigorosa permite reconhecer que as estrelas observáveis no céu apresentam diferentes cores. Tendo em conta as temperaturas superficiais, as cores e as riscas detectadas nos espectros respectivos ( $\rightarrow$  2.5), é comum dividi-las em sete grupos principais, ou classes (O, B, A, F, G, K e M), cada uma delas subdividida em dez subclasses<sup>43</sup>.

As estrelas de uma cor branco-azulada estão incluídas nos tipos (O e B). Por exemplo<sup>44</sup>, a estrela Espiga, da constelação da Virgem, é do tipo B2 e Rigel, do Oriente, é B8. As estrelas brancas são do tipo A: por exemplo, Sírio, no Cão Maior, e Vega, na Lira, são A0.

<sup>43</sup> Para traduzir pequenas diferenças entre as estrelas de cada tipo espectral, associa-se um algarismo (entre 0 e 9) à letra indicativa desse tipo. Por exemplo, as estrelas do tipo G, por ordem decrescente das suas temperaturas à superfície, serão G0, G1, ..., G9; depois será K0, K1, ... etc., para as estrelas do tipo espectral seguinte, e assim sucessivamente.

<sup>44</sup> Os exemplos indicados referem-se a estrelas facilmente observáveis. Utilizando a Carta Celeste, as suas localizações são imediatas. O mesmo acontece relativamente aos exemplos do quadro 3.1. Veja-se também o Apêndice 6.

As estrelas do tipo F, como Prócion, na constelação do Cão Menor (F5), são branco-amareladas. O nosso Sol (G2) é um exemplar típico das estrelas amarelas (classe G). Nas classes K e M estão incluídas as estrelas de cor alaranjada e vermelhas, respectivamente, das quais se podem tomar como exemplos Aldebarã (K5), no Touro, e Antares (M1), no Escorpião.

Como se referiu, as cores estão relacionadas com as temperaturas superficiais das estrelas. O quadro 3.1 resume e completa as relações entre classes espectrais, cores e temperaturas.

### QUADRO 3.1

<i>Classe</i>	<i>Cor</i>	<i>Temperatura aproximada</i> <sup>45</sup>	<i>Estrela (exemplo)</i>	<i>Constelação a que pertence</i>
O	branco-azulado	> 45 000 K	<i>Alnitak</i>	Orionte
B	branco-azulado	25 000 K	<i>Espiga</i>	Virgem
A	branco	10 000 K	<i>Sírio</i>	Cão Maior
F	branco-amarelado	8000 K	<i>Prócion</i>	Cão Menor
G	amarelo	6000 K	<i>α Centauri</i>	Centauro
K	laranja	4000 K	<i>Arcturo</i>	Boieiro
M	vermelho	3000 K	<i>Antares</i>	Escorpião

<sup>45</sup> Estas temperaturas referem-se à superfície da estrela e estão expressas em kelvin (K). Ver Ap. 2 — *Unidades de temperatura*.

Durante o ciclo normal da sua vida, uma estrela passa por todas as classes referidas, o que corresponde ao período de vida calma. Sabe-se actualmente que a duração da vida de uma estrela, assim como o modo como acabará essa vida, dependem da sua massa inicial. Por isso, o tempo que dura tal estabilidade depende da quantidade de matéria de que a estrela se formou. Efectivamente, é a massa da estrela que determina a pressão interna. É esta pressão que torna possível a manutenção da temperatura necessária à fusão nuclear dos elementos ali predominantes. Na fase inicial, a fusão do hidrogénio desencadeia-se quando se atingem os dez milhões de graus, temperatura que aumentará gradualmente à medida que vão surgindo vestígios de hélio. O aumento da percentagem de hélio é acompanhado da subida de temperatura central até aos 200 milhões de graus, indispensáveis ao fenómeno de transformação desse elemento em carbono e deste em oxigénio. Posteriormente, surgirão elementos mais pesados, como silício, níquel, cobalto, ferro e até ouro e platina, cuja elaboração exige temperaturas que ultrapassam três mil e quinhentos milhões de graus.

## Observação de Saturno

Apesar de ter um diâmetro nove vezes maior que o da Terra, Saturno nunca se apresenta muito brilhante no céu, dada a enorme distância a que se encontra de nós, entre os 1576,8 e os 1277,6 milhões de quilómetros. Por este motivo, o brilho de Saturno varia entre as magnitudes +0,9 e -0,4. Embora seja um planeta enorme, o diâmetro aparente do seu globo nunca é muito grande: vai de 14,7" a 20,5", consoante a sua distância à Terra.

Os anéis de Saturno, quando bem abertos (figura 4.46.), já são visíveis com um pequeno telescópio de 50 ou 60 mm de abertura, e ampliação de cerca de 50×. Com esta pequena ampliação, os anéis são vistos como se fossem um só.

A observação de Saturno revelará mais pormenores nos instrumentos de maiores possibilidades: um telescópio de 80 a 100 mm de abertura, com ampliação da ordem de 120×, poderá mostrar, em ocasiões favoráveis, a diferença entre o anel exterior e o anel interior, bem como o seu maior satélite — *Titã*<sup>108</sup>.

<sup>108</sup> Este satélite é muito menos brilhante que os 4 maiores satélites de Júpiter, devido à distância muito maior entre Saturno e o Sol. Titã possui um diâmetro de 5150 km (é maior que o planeta Mercúrio), e o seu brilho, visto da Terra, corresponde à magnitude 8,3. Orbita a uma distância média de 1,2 milhões de quilómetros do planeta, completando uma volta em 15,94 dias. É mais fácil de observar quando bem separado de Saturno (a separação angular máxima é de 3,1 minutos angulares). Os outros satélites são de observação mais difícil.

Há ainda a ter em conta o facto de o plano dos anéis de Saturno estar inclinado 27° relativamente ao plano da sua órbita em volta do Sol (figura 4.68.). Por este motivo, em certas ocasiões, (como sucedeu em 1995), eles apresentam-se de perfil, quando vistos da Terra aparecendo apenas como linhas brilhantes (nesse caso não são observáveis com telescópios pequenos). Nas outras ocasiões, o planeta apresenta um aspecto muito mais interessante, mostrando-nos, alternadamente, o lado norte ou o lado sul.

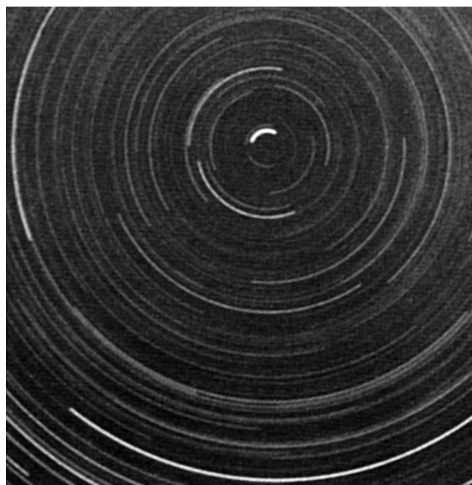


Fig. 5.10. — O movimento aparente das estrelas em torno do pólo celeste norte. O arco brilhante mais próximo do pólo é o da Estrela Polar.



Fig. 5.11. — O movimento aparente de algumas estrelas emergindo junto ao horizonte, a leste. Em primeiro plano vêem-se as copas de algumas árvores.

Também se nota que as estrelas se deslocam em conjunto, mantendo as suas posições relativas<sup>127</sup>.

<sup>127</sup> Esta aparência reforça a ideia de que as estrelas parecem coladas à esfera celeste.

O Sol, a Lua e os planetas são (à primeira vista) os únicos astros que mudam de posição relativamente à esfera celeste. Nestas considerações, para a duração de alguns séculos, podemos desprezar o que se refere na figura 2.1.

O movimento aparente da esfera celeste é relativamente lento. Por isso é mais fácil de notar se tivermos pontos que sirvam de referência. Por exemplo, a copa de uma árvore, a aresta de uma casa, etc. Neste caso, em alguns minutos notaremos que uma determinada estrela já não está na mesma posição, relativamente à referência escolhida.

Enquanto a esfera celeste perfaz uma volta, cada estrela descreve um arco completo em relação à Terra: esse arco é o *arco diurno* da estrela. Todos os arcos diurnos são paralelos ao equador celeste e demoram o mesmo tempo a ser descritos: um dia sideral. Uma estrela que esteja sobre o equador celeste descreve o maior arco diurno possível; quanto maior for a proximidade entre uma estrela e o pólo celeste (norte ou sul) menor será o arco diurno que ela descreve.

É evidente que a altura do pólo determina a amplitude da região da esfera celeste, em torno da estrela polar, visível de cada latitude. A figura 5.4. permite verificar que as estrelas cuja *distância polar*<sup>128</sup> seja inferior à altura do pólo (ou à latitude) serão permanentemente visíveis, dependendo apenas do momento de observação a sua altura acima do horizonte. Elas são designadas estrelas circumpolares (ou de *perpétua aparição*) — figuras 5.12. e 5.13.



128 A distância polar de uma estrela é a distância angular ( $\rightarrow$  7.2.) entre essa estrela e o pólo celeste.

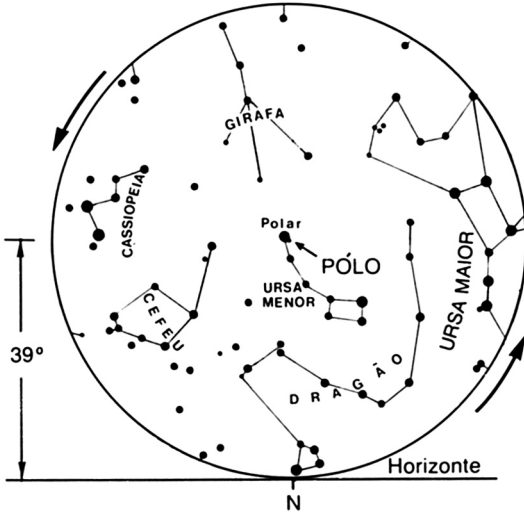


Fig. 5.12. — As estrelas circumpolares de 39° de latitude norte (Lisboa).

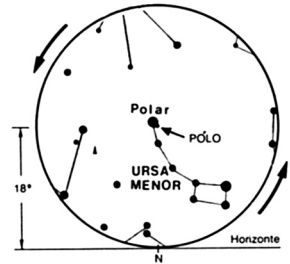


Fig. 5.13. — As estrelas circumpolares de 18° de latitude norte (Cabo Verde).

Para observadores no hemisfério sul, a situação é idêntica, mas aí em relação ao pólo celeste do mesmo nome. Do sul de Moçambique, por exemplo (latitude 26° S), o pólo celeste sul, em que não se vê nenhuma estrela de brilho considerável, encontra-se a uma altura de 26°. Por isso, serão circumpolares todas as estrelas com distância polar inferior a esse valor (figura 5.14.).

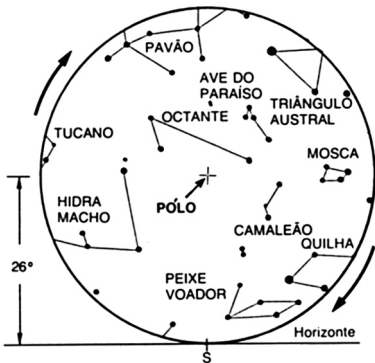


Fig. 5.14. — As estrelas circumpolares para um local de latitude 26° S.

Para os observadores situados no equador, nenhuma estrela é circumpolar. Todas elas nascem e se põem, descrevendo arcos diurnos perpendiculares ao horizonte [figura 5.15 (b)]. O equador celeste passa pelo zénite.

Nos pólos, todas as estrelas descrevem arcos diurnos paralelos ao horizonte, pelo que nenhuma nasce nem se põe; neste caso, as estrelas que estão acima do horizonte são sempre as mesmas, pelo que todas essas estrelas são circumpolares [figuras 5.15. (c) e (d)].

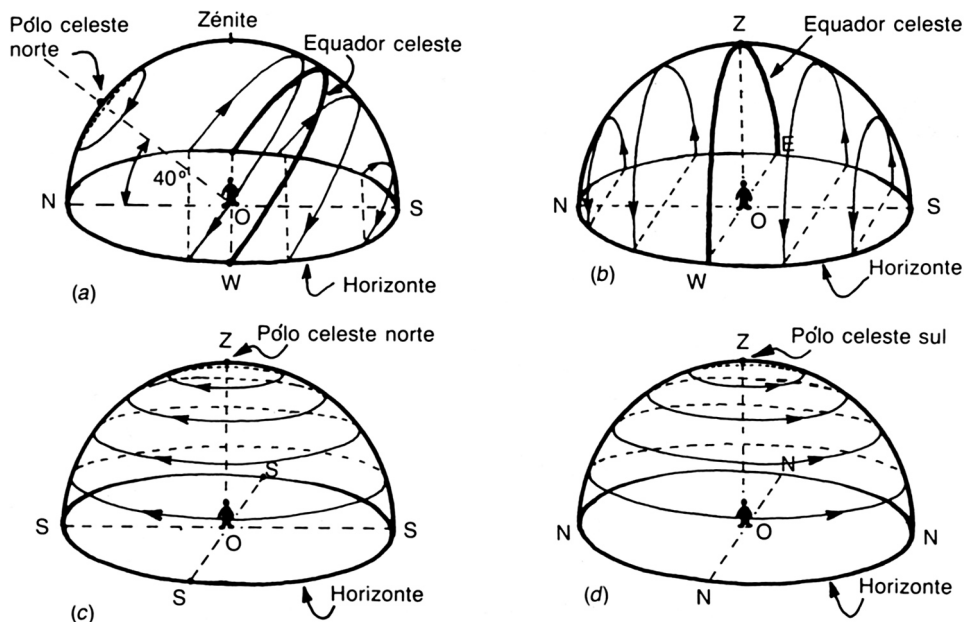


Fig. 5.15. — Aspecto dos arcos diurnos descritos pelas estrelas, de acordo com a localização do observador: (a) – num local de latitude  $40^\circ$  N; (b) – no equador; (c) – no pólo norte; (d) – no pólo sul.

Por outro lado, num local situado no hemisfério *norte*, nunca são visíveis as estrelas cuja distância angular ao *pólo sul celeste* seja inferior à latitude desse local (o mesmo raciocínio é aplicável aos locais do hemisfério sul). De facto, os arcos diurnos dessas estrelas estão permanentemente abaixo do horizonte do local considerado e por isso se chamam *estrelas de perpétua ocultação*. Por exemplo, em Lisboa (latitude  $39^\circ$  N, aproximadamente), nunca são visíveis as estrelas que estejam afastadas menos de  $39^\circ$  do pólo celeste sul<sup>129</sup>. Nos restantes casos (estrelas que não são de perpétua aparição nem de perpétua ocultação), as estrelas têm nascimento e ocaso.

<sup>129</sup> Ou seja, as que estiverem a mais de  $51^\circ$  para sul do equador celeste. Estas situações ficarão mais claras com a noção de declinação ( $\rightarrow$  5.2.3.).

Também importantes, mas de mais difícil percepção, são as consequências do movimento de translação da Terra em torno do Sol. Devido a esse movimento, parece-nos que o Sol se desloca gradualmente, em sentido contrário, relativamente às estrelas ( $\rightarrow$  4.3.2.), seguindo um caminho vulgarmente materializado pela linha imaginária a que chamamos *eclíptica*.

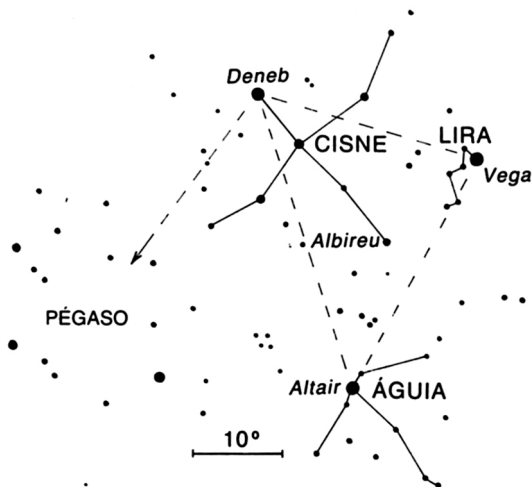


Fig.5.43. — As estrelas *Deneb*, *Vega* e *Altair* desenham no céu um triângulo quase isósceles: o *triângulo de Verão*. As constelações a que pertencem são fáceis de identificar.

Convém que o entusiasta se habitue a reconhecer as constelações em diferentes regiões celestes, apresentando diferentes inclinações conforme o momento da observação. Não se deve, no entanto, identificar *demasiadas* constelações numa só noite. O reconhecimento do céu nocturno requer algum tempo e aprende-se *gradualmente*, com a continuação das observações. A *aprendizagem das constelações* deve ser feita à vista desarmada, pois só assim teremos uma visão de conjunto.

É também útil, a quem pretenda iniciar-se na Astronomia, o conhecimento das estrelas de maior brilho das principais constelações. O Apêndice 6 refere as 50 estrelas mais brilhantes visíveis de Portugal, assim como várias outras informações úteis. Estas estrelas estão também referenciadas na Carta Celeste, para facilitar a localização de cada uma delas. Adicionalmente, as secções 6.3. e 6.5. dão indicações complementares relativamente ao brilho das estrelas e ao modo como são designadas.

As distâncias angulares entre estrelas podem medir-se com aproximação razoável adoptando os procedimentos descritos no subcapítulo 7.2. e exemplificados nas figuras 7.5., 7.6. e 7.7.

Estes mapas *parciais* do céu são, na verdade, mais fáceis de interpretar do que um mapa global. Por isso, e devido ao facto de o aspecto do céu se alterar progressivamente, em consequência do movimento aparente do Sol, fazem-se geralmente representações das estrelas observáveis em diversas épocas, e a uma mesma hora. O método mais comum, e que se apresentará neste livro, consiste em dividir a esfera celeste em duas partes: começa-se por imaginar um arco perpendicular ao horizonte, passando pelo zénite e pelos pontos cardiais

## 6. ALGUNS CÁLCULOS SIMPLES

### 6.1. Como se determinam as dimensões dos astros próximos e as distâncias a que se encontram de nós?

#### 6.1.1. Considerações iniciais

Para responder a esta questão, começaremos por considerar alguns casos simples, relativos aos objectos próximos, com os quais estamos já familiarizados.

Se utilizarmos um aparelho simples e muito fácil de construir<sup>164</sup>, tal como o que se mostra na figura 6.1., poderemos determinar facilmente o valor da distância  $d$  a que uma árvore se encontra de nós. Para isso é preciso conhecer a sua altura  $H$ .

<sup>164</sup> Um aparelho tão simples como este pode construir-se facilmente em madeira. A distância  $a$  é fixa. Se for  $a = 57,3$  cm, cada centímetro na escala  $b$  corresponderá a um grau. A escala  $b$  poderá, neste caso, ter cerca de 20 cm de comprimento, adoptando-se uma graduação vulgar em centímetros e milímetros (cada milímetro corresponderá a um ângulo de 6').

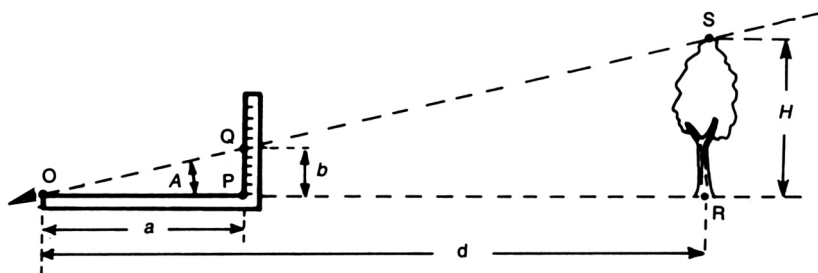


Fig. 6.1.

Também podemos, em alternativa, determinar  $H$ , conhecendo a distância  $d$ . Efectivamente, como os triângulos rectângulos [OPQ] e [ORS] são semelhantes, podemos escrever:

$$\frac{b}{a} = \frac{H}{d} \Leftrightarrow d = \frac{a \times H}{b}$$

As distâncias  $a$  e  $b$  medem-se facilmente.

O olho do observador está em  $O$ . O ângulo  $A$  é a altura aparente ( $\rightarrow$  7.1.) da árvore.

A medição de distâncias em Astronomia é sempre indirecta e implica, necessariamente, o recurso a cálculos matemáticos, de maior ou menor

dificuldade. Em casos simples, como o que aqui se descreve, e que pode aplicar-se à Lua, basta recorrer às propriedades dos triângulos semelhantes, tal como aqui se fez. Neste capítulo, veremos como se foram desenvolvendo alguns processos bastante engenhosos e eficazes que permitiram determinar com razoável aproximação as dimensões da Terra, da Lua e do Sol, assim como as distâncias a que se encontram estes e outros astros próximos (no Sistema Solar).

Para além do nosso sistema planetário, há que recorrer a outros métodos, mais recentes e muito mais elaborados. Alguns casos mais difíceis serão apresentados nos temas de desenvolvimento (TD), cuja leitura se recomenda aos leitores com alguma preparação matemática. No entanto, a leitura dos TD não é imprescindível à compreensão qualitativa desses métodos de determinação de distâncias.

Quando se consideram as distâncias astronómicas, especialmente para além do Sistema Solar, as unidades usualmente utilizadas tornam-se demasiado pequenas. É preferível então pensar no tempo que a luz demora para percorrer essas distâncias. Movendo-se pelo espaço a uma velocidade de cerca de 300 000 km/s, a luz demora 1,3 segundos para viajar da Lua à Terra, 8,3 minutos para vir do Sol até nós, 5,4 horas para ir do Sol a Plutão e... 4,3 *anos* para chegar à Terra, vinda da estrela que nos fica mais próxima (depois do Sol). Para atravessar a nossa Galáxia, a luz demora 100 000 anos. A distância percorrida pela luz no espaço durante um ano (9 460 000 000 000 km) é uma unidade utilizada em Astronomia e chama-se *ano-luz* (a.l.). Sobre esta e outras unidades veja-se o apêndice 2. Podemos, portanto, dizer que o Sol está a 8,3 *minutos-luz* de nós ou que uma determinada estrela está, por exemplo, a 11 *anos-luz* da Terra.

### 6.1.2. As dimensões da Terra

Embora o desenvolvimento de novos processos e técnicas tenha contribuído para o aparecimento de novos métodos de medição das dimensões da Terra, não podemos deixar de referir aqui um processo<sup>165</sup> muito antigo, mas também muito interessante pela sua beleza e simplicidade, utilizando por Eratóstenes (276–195 a.C.), por volta do ano 230 a.C.

<sup>165</sup> Repare-se que se trata de uma verdadeira determinação, feita a partir de medições indirectas, e não de uma especulação.

Diz-se que Eratóstenes soube que, no solstício de Junho (→ 5.2.4.), ao meio-dia, os raios solares incidiam verticalmente na cidade de Siena (actualmente chamada Assuão), no Egipto. Isso verificava-se visto que o sol iluminava o fundo de um poço vertical, estreito e profundo.

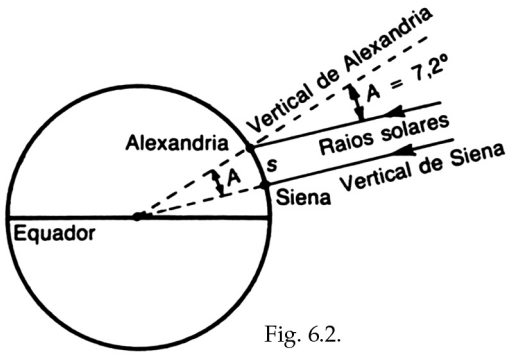


Fig. 6.2.

No mesmo dia do ano e à mesma hora, Eratóstenes verificou que, na cidade de Alexandria, os raios solares formavam um ângulo de  $7,2^\circ$  com a vertical (figura 6.2.).

Supondo que as duas cidades estavam sobre o mesmo meridiano<sup>166</sup>, e como tinha mandado medir — diz-se que a passo — a distância  $s$  entre as duas cidades, Eratóstenes pôde determinar o perímetro  $p$  do meridiano que passava por elas. Para isso, estabeleceu a proporção simples.

<sup>166</sup> Não é rigorosamente verdade, dado que as longitudes destas cidades diferem em cerca de  $3^\circ$ . Trata-se, portanto, de uma aproximação aliás aceitável para a época. A distância entre Alexandria e Siena (que tinha sido medida a passo) também não era conhecida com suficiente rigor.

$$\frac{s}{p} = \frac{7,2^\circ}{360^\circ}$$

Deste modo, sendo de 5000 estádios<sup>167</sup> a distância  $s$  entre Siena e Alexandria,

$$\frac{5000}{p} = \frac{7,2^\circ}{360^\circ} \text{ e, portanto, } p = 250000 \text{ estádios.}$$

<sup>167</sup> No tempo de Eratóstenes, as distâncias mediam-se em estádios. Admite-se actualmente que um estádio equivale a  $157,5 \text{ m} = 0,1575 \text{ km}$ .

Assim, o perímetro da Terra é, segundo Eratóstenes,

$$p = 250\,000 \times 0,1575 = 39\,375 \text{ km (ao longo de um meridiano).}$$

O valor hoje admitido, com todos os modernos recursos de que dispomos, é de 40 008 km, pelo que a medição de Eratóstenes apenas comporta um erro inferior a 1,6%. Este resultado brilhante resultou, em parte, de compensações entre os erros que afectam os diversos dados em que ele se baseou; no entanto, o método seguido é inteiramente válido, e o resultado a que chegou não foi melhorado nos 20 séculos seguintes.

Como a maior base de que dispomos é a unidade astronómica, e como dificilmente podemos medir, com rigor, paralaxes inferiores a 0,008'', este método só é aplicável para a medição de distâncias até

$$\frac{1}{0,008''} = 125 \text{ pc, isto é, cerca de 400 anos-luz.}$$

Só uma minoria das estrelas conhecidas se encontram aquém desse limite.

Impõe-se, portanto, desenvolver outros métodos, para a medição de longas distâncias. Precisamos, contudo, de conhecer primeiramente algo mais sobre a luz que recebemos das estrelas, pois é nela que se baseiam esses outros métodos que só poderão ser referidos adiante.

## 6.3. A luz das estrelas

### 6.3.1. A necessidade de catalogar as estrelas quanto ao seu brilho

Quando se contempla o céu, numa noite sem Lua e sem nuvens, principalmente se o fizermos longe das luzes das cidades, o espectáculo é fantástico. Nota-se imediatamente que as estrelas são desigualmente brilhantes. Ficamos com a impressão de que as estrelas estão como que coladas no interior de uma gigantesca bola, da qual *parecemos* ocupar o centro. Portanto, é natural que *pareçamos* que as estrelas *que parecem mais brilhantes* são, de facto, mais brilhantes e maiores do que as outras. É pois compreensível que antigamente se pensasse assim. Hoje *sabemos* que as estrelas podem parecer mais brilhantes simplesmente por estarem mais próximas de nós. Estrelas muito brilhantes podem parecer fracamente luminosas só porque estão mais distantes do que as outras.

Uma estrela é mais fácil de identificar quando, além da sua posição relativamente a outras estrelas, se conhece o seu brilho; assim, dificilmente a confundiremos com outra estrela.

Dessa vantagem se apercebeu Hiparco (190–120 a.C.), autor do primeiro catálogo de estrelas digno desse nome. Esse catálogo, que tinha já 1080 estrelas, foi elaborado para que os astrónomos das gerações posteriores ficassem em condições de reconhecer quaisquer alterações<sup>184</sup> que pudessem vir a ocorrer no céu. Nesse catálogo, Hiparco classificou<sup>185</sup> arbitrariamente as estrelas, quanto aos seus brilhos, em 6 classes<sup>186</sup>, às quais chamou *grandezas*: as estrelas de 1.<sup>a</sup> grandeza (as que apareciam no céu em primeiro lugar, quando caía a noite) eram, portanto, as mais brilhantes: seguiam-se, por ordem decrescente de brilho, as estrelas de 2.<sup>a</sup> grandeza, 3.<sup>a</sup>, 4.<sup>a</sup> e 5.<sup>a</sup>. As estrelas de 6.<sup>a</sup> grandeza (as últimas a aparecer quando anoitece) são as menos brilhantes, situando-se no limite da nossa sensibilidade visual.

<sup>184</sup> Uma nova estrela que se tornou visível no seu tempo fez-lhe ver a grande necessidade desse trabalho.

<sup>185</sup> Esta autoria não está completamente esclarecida, havendo quem a atribua a Ptolomeu, autor de outro catálogo realizado três séculos mais tarde.

<sup>186</sup> Não há motivo especial para a escolha de seis classes em vez de 5, 10 ou qualquer outro número.

Supondo que todas as estrelas se encontravam igualmente afastadas de nós, Hiparco considerou que as mais brilhantes eram maiores e que, intrinsecamente, *eram mesmo* mais brilhantes. Daí a antiga palavra *grandeza*. Hoje sabemos que não é assim. Para que não haja confusões entre a palavra *grandeza* e o tamanho maior ou menor de uma estrela, emprega-se actualmente a palavra *magnitude*. Por outro lado, a palavra *grandeza*, do ponto de vista físico, tem um significado mais amplo<sup>187</sup>.

<sup>187</sup> O comprimento, o volume, a temperatura e a velocidade são exemplos de grandezas físicas.

A magnitude estelar é, portanto, uma forma de exprimir o brilho *aparente* das estrelas, isto é, o brilho que elas *nos* apresentam, utilizando uma determinada escala que veremos seguidamente.

### 6.3.2. A magnitude estelar

O telescópio permite-nos ver muitas estrelas que não são detectáveis à vista desarmada ou, como vulgarmente se diz, a olho nu<sup>188</sup>. Portanto, *há muito mais* estrelas do que aquelas que os nossos olhos nos permitem ver.

<sup>188</sup> Galileu foi o primeiro a dar por isso, em 1609. O mais modesto instrumento de observação, mesmo um binóculo, permite comprovar este facto.

Por outro lado, as medições posteriores mostraram que as estrelas inicialmente classificadas — por Hiparco — como de 1.<sup>a</sup> magnitude *não têm* o mesmo brilho (aparente). De facto, *essas* estrelas são tão desiguais em brilho que as mais brilhantes de entre elas acabaram por ser colocadas em classes de brilho de acordo com a escala actual. Entre as estrelas de menores brilhos (magnitudes 2, 3, etc.) há maior uniformidade, pelo que a escala actual não trouxe grandes alterações. A escala de Hiparco, com quase 2000 anos, revelou-se insatisfatória<sup>189</sup> face às novas exigências.

<sup>189</sup> Não esqueçamos que no tempo de Hiparco não havia *telescópios* nem *aparelhos* para medir o brilho das estrelas.

### 6.3.3. A escala de magnitudes

A insatisfação da antiga escala de brilhos estelares levou à procura de um método mais rigoroso para o estabelecimento da escala de magnitudes.



### 7.6.1. Telescópios refractores

Nos telescópios refractores, também chamados lunetas, a objectiva é constituída por uma lente convergente<sup>210</sup>. Neste caso, a luz atravessa a objectiva, pelo que a imagem de um dado objecto por ela produzida — a imagem primária — se forma por um processo de refacção (figura 7.11.).

<sup>210</sup> A utilização de uma lente simples como objectiva é uma simplificação. De facto, o uso de uma lente simples tem vários inconvenientes (aberrações), que originam imperfeições nas imagens obtidas, as quais se corrigem fazendo associações de lentes. Deste modo, na prática, a objectiva de um telescópio é uma lente composta, formada por 2 lentes, coladas ou muito próximas entre si (objectiva acromática). Em alguns casos, poderão ser mais de 2 lentes (objectiva apocromática).

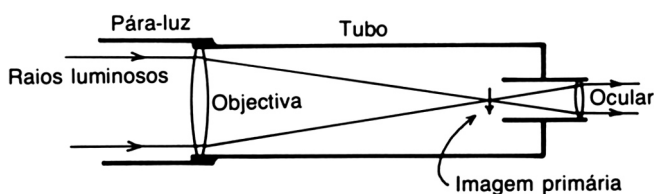


Fig. 7.11. — Representação esquemática de uma luneta.  
A focagem realiza-se variando, ligeiramente, a distância entre a objectiva e a ocular.

A imagem primária<sup>211</sup> é seguidamente observada através da ocular, que, relativamente a essa imagem, desempenha o papel de lupa. O modelo ilustrado na figura 7.11. é a chamada luneta de Kepler, e as imagens obtidas são invertidas (figura 7.12.), o que não constitui inconveniente para as observações astronómicas. Por exemplo, os mapas da Lua são feitos com o pólo lunar norte no lado de baixo, de modo a corresponderem ao que o observador vê através dos telescópios.

<sup>211</sup> A imagem primária é fácil de ver, se o desejarmos, em *qualquer* tipo de telescópio. Apontado este para um edifício distante e bem iluminado (ou para a Lua), basta retirar a ocular, pôr um quadrado de *papel vegetal* (4 cm × 4 cm) na boca do tubo porta-oculares e retocar a focagem, deslocando o papel no sentido da objetiva. É uma experiência esclarecedora.

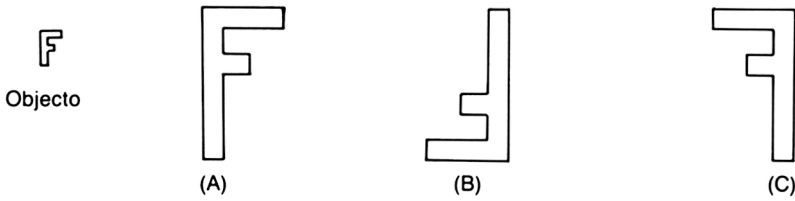


Fig. 7.12. — Exemplificação, utilizando a letra *F* como objecto, de uma imagem direita (A), de uma imagem invertida (B) e de uma imagem com a lateralidade trocada (C). Neste último caso, há apenas uma troca esquerda-direita.

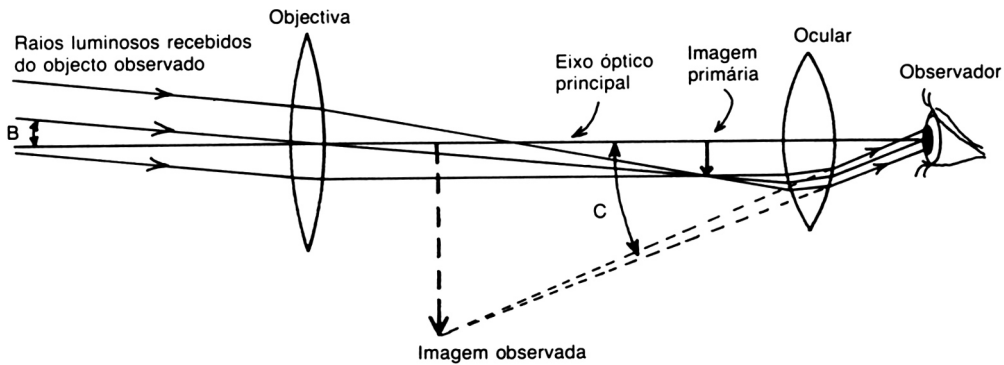


Fig. 7.13.

A figura 7.13. mostra esquematicamente a formação das imagens numa luneta. Veja-se que se obtém uma imagem invertida. O ângulo *B* é o tamanho aparente com que o objecto seria visto à vista desarmada; o ângulo *C* é o tamanho aparente do objecto, visto através da luneta;  $C/B$  é a amplificação. Para maior clareza do desenho, a objectiva e a ocular foram representadas como lentes simples. O telescópio é focado de modo que a imagem observada se forme a grande distância do observador, para diminuir a fadiga visual. Nesta figura representou-se essa imagem relativamente próxima, para caber no desenho.

A figura 7.14. mostra um exemplo de uma luneta astronómica. No caso das observações terrestres (paisagens, edifícios, etc.), é absolutamente necessário que as imagens sejam direitas. Nesse caso, utiliza-se um sistema de dois prismas, montados entre a objectiva e a ocular (como acontece nos binóculos), ou um sistema de lentes adicional, para endireitar a imagem: trata-se então da *luneta terrestre*. Normalmente, é possível adquirir estes acessórios, de modo a poder fazer observações terrestres com as lunetas astronómicas.



Fig. 7.14.

Na luneta de Galileu, a ocular era uma lente divergente (figura 7.15.). Desse modo, obtém-se directamente uma imagem direita, sem necessidade de dispositivos auxiliares. Contudo, nessa luneta, o campo visual é muito estreito, sobretudo com ampliações relativamente grandes<sup>212</sup>. Por este motivo, tal configuração só se utiliza hoje nos binóculos de teatro (amplificações entre 2 e 4×) e não tem actualmente nenhuma aplicação astronómica; só aqui a referimos pelo seu valor histórico.

<sup>212</sup> A mais poderosa luneta de Galileu tinha um campo visual de 17', cerca de 40 mm de abertura e uma amplificação de 20×.

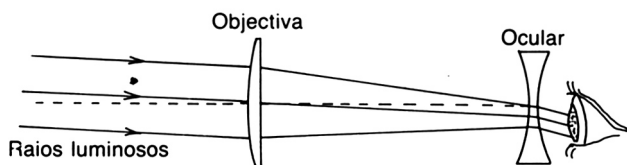


Fig. 7.15. — Representação esquemática da luneta de Galileu.

### 7.6.2. Telescópios reflectores

Nestes telescópios, a objectiva é um espelho côncavo, cuja superfície é um parabolóide de revolução ou, em casos simples, uma calote esférica (figura 7.16.).



Fig. 7.19.

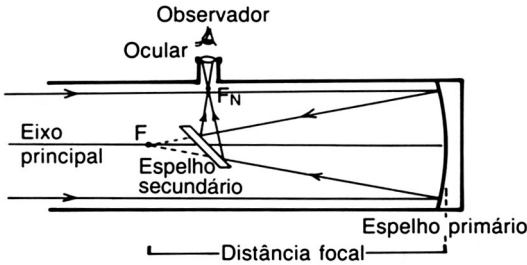


Fig. 7.18.

No telescópio de Newton existe uma abertura lateral no tubo, de modo a permitir a passagem do feixe reflectido. Embora o espelho secundário ainda faça alguma obstrução, isso não é significativo, visto que a sua área é bastante menor do que a da objectiva (menos de 12%). O espelho secundário é montado num pequeno suporte ajustável, ligado ao tubo do telescópio por meio de hastes (ou lâminas) finas, geralmente em número de três ou quatro. A este dispositivo de montagem do secundário chama-se vulgarmente *aranha*. Embora a maior parte das aranhas tenha três ou quatro patas, há telescópios de Newton em que o secundário é suportado apenas por uma ou duas hastes. A figura 7.19. mostra um exemplo de telescópio reflector, construído segundo a configuração de Newton. Esta é, no âmbito dos telescópios reflectores utilizados por amadores de Astronomia, a configuração mais utilizada.

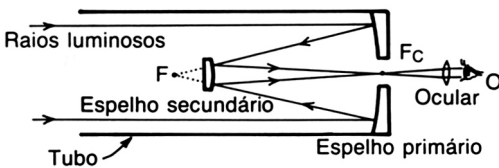


Fig. 7.20.

O telescópio de Cassegrain, esquematizado na figura 7.20., é outra configuração possível para os telescópios reflectores. Tem a vantagem de tornar o telescópio muito mais curto do que um telescópio de Newton de igual abertura, e a observação passa a poder fazer-se olhando directamente na direcção do astro, tal como acontece nas lunetas. O espelho secundário é, neste caso, um

espelho convexo, e o espelho primário (a objectiva) é perfurado no centro, de modo a deixar passar o feixe luminoso. Esta configuração foi inventada por Guillaume Cassegrain, óptico francês contemporâneo de Newton.

### 7.6.3. Telescópios catadióptricos

Nestes telescópios, a objectiva é constituída por uma lente associada a um espelho. Para igual abertura, são mais caros do que os telescópios de Newton, mas menos dispendiosos que os refractores. São telescópios muito compactos: para idêntica abertura, um catadióptrico tem menos de metade do comprimento de um telescópio reflector de Newton e menos de um terço do comprimento de um telescópio refractor.

O espelho primário é um espelho côncavo, de curvatura esférica, mais fácil de produzir que os espelhos parabólicos dos telescópios de Newton. No entanto, como os espelhos de curvatura esférica têm determinadas deficiências de convergência, sobretudo quando a curvatura é muito pronunciada, essas deficiências são grandemente reduzidas por meio de lentes correctoras (figuras 7.21. e 7.22.).

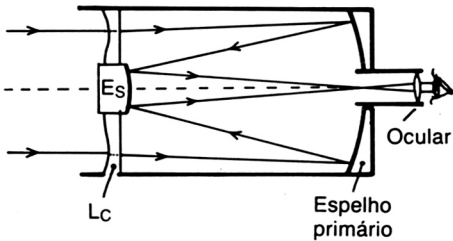


Fig. 7.21. — Representação esquemática de um telescópio de Schmidt-Cassegrain. Observe-se a lente correctora ( $L_c$ ) e o espelho secundário ( $E_s$ ), que é convexo, nela montado.

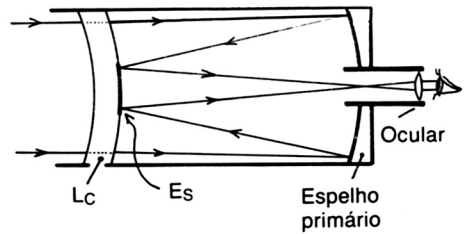


Fig. 7.22. — Representação esquemática de um telescópio de Maksutov-Cassegrain. Observe-se a lente correctora ( $L_c$ ), bem como o espelho secundário convexo ( $E_s$ ), nela implantado.

O aspecto exterior de um telescópio de Schmidt-Cassegrain é exemplificado na figura 7.23. O Maksutov-Cassegrain tem aspecto semelhante, mas a sua lente correctora distingue-se por ser acentuadamente curva para o lado de dentro do tubo. No Schmidt-Cassegrain a lente correctora é quase plana.