

Introdução

«[...] a contemplar silenciosamente um sumptuoso céu de Verão, tão cheio de estrelas que todo ele parecia uma densa poeirada de ouro vivo, suspensa, imóvel, por cima dos montes negros.»

Eça de Queiroz, escritor realista (1845–1900),
in «Civilização», *Contos*.

«[...] eu dispus-me a não aceitar nada baseado em suposições, mas a ver com os meus próprios olhos tudo o que os outros tinham visto antes de mim.»

William Herschel, astrónomo inglês (1738–1822).

Este livro é dedicado aos equipamentos de observação astronómica para amadores e entusiastas de astronomia, ao nível da observação *visual*. Destina-se a todas as pessoas que desejam conhecer melhor os diferentes tipos de telescópios, o significado e importância das suas características técnicas ou ainda as operações de ajuste e manutenção que mais tarde ou mais cedo se tornam necessárias. Aborda também os diferentes binóculos e o seu uso no âmbito astronómico.

O presente volume será útil a quem pretende adquirir um telescópio ou (se já o tiver) deseje evoluir para instrumentos de maiores possibilidades. Inclui muita informação prática sobre os telescópios, as montagens e suportes, os acessórios, as suas possibilidades reais e âmbito de utilização. Por isso, este livro não se limita a descrever os telescópios: desenvolve a informação, evidencia os aspetos práticos, esclarece conceitos e dá recomendações úteis.

Existem várias dezenas de marcas de instrumentos de observação e uma variedade muito maior de modelos e de acessórios. A referência a determinadas marcas e modelos é por vezes inevitável, mas terá nesta obra uma finalidade essencialmente informativa e ilustrativa; não se pretende uma descrição exaustiva do mercado, nem isso seria possível numa área em que as novidades surgem com frequência. No entanto, os princípios, as funções e os conceitos mantêm-se, o que assegura a atualidade do livro. Faz-se a abordagem dos diferentes instrumentos, das configurações óticas disponíveis e das suas características e particularidades, que são genéricas e independentes de cada fabricante. O leitor encontrará informações práticas e pormenorizadas sobre os diferentes tipos de binóculos e telescópios, os seus princípios de funcionamento, as características técnicas e o correspondente significado, além de muita informação útil sobre oculares, filtros e restantes acessórios, com destaque para a sua utilização e aplicações. Há ainda numerosas explicações, recomendações e conselhos relativos ao bom uso e manutenção dos instrumentos de observação e dos seus acessórios. Os critérios a ter em conta para escolher bem um telescópio, adaptado a cada observador, foram também objeto de uma abordagem bastante completa e desenvolvida.

Os instrumentos de observação, as suas características e os acessórios são aqui descritos com maior desenvolvimento e profundidade do que nas anteriores obras *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas* e *Observar o Céu Profundo*. No entanto, os assuntos são apresentados de forma progressiva, de tal modo que a leitura será útil a muitas pessoas, desde os principiantes até aos observadores mais experientes. Este livro poderá ser lido sistematicamente ou utilizado pontualmente como obra de consulta e referência. No entanto, a compreensão de algumas partes poderá exigir a leitura de capítulos anteriores.

Dado que a função dos telescópios é aumentar as capacidades da nossa visão, e porque os instrumentos de observação visual funcionam em conjunto com o globo ocular, o primeiro capítulo aborda a visão humana aplicada às observações astronómicas. Os capítulos 2 a 6 são dedicados aos diversos instrumentos de observação e referem as suas características óticas e outras particularidades, privilegiando sempre o significado prático que esses dados têm para o observador. O sétimo e oitavo capítulos tratam das oculares e das montagens dos telescópios, descrevendo as suas particularidades, vantagens e características. Os capítulos 9 e 10 ocupam-se dos acessórios, entendidos numa perspetiva alargada, abrangendo as suas aplicações, modo de funcionamento e especificações, assim como dos atlas e mapas celestes. No capítulo 11 dão-se indicações práticas para a escolha e compra de um telescópio, de acordo com as circunstâncias pessoais de cada interessado. Os capítulos 12 e 13 são dedicados às operações de ajuste e manutenção necessárias à boa utilização dos telescópios e ao pleno aproveitamento das suas possibilidades, assim como à avaliação e teste dos instrumentos de observação. Por último, os capítulos 14 e 15 abordam diversas particularidades relevantes da arte de observar, as diversas medições e os cálculos relativos aos instrumentos de observação. Os aspetos ligados à prática da astrofotografia não são abrangidos neste livro para não o alongarem excessivamente e por já estarem incluídos na obra *Fotografar o Céu*, de Pedro Ré (Plátano Edições Técnicas), dedicada expressamente a essa matéria. No entanto, deu-se relevo a todos os equipamentos, acessórios e cálculos comuns à observação visual e à astrofotografia.

De vez em quando o leitor poderá encontrar o mesmo termo ou conceito em mais de um capítulo, apresentado segundo uma perspetiva diferente ou num contexto diverso. Por vezes isso é inevitável, pois alguns temas estão interligados e não é possível fugir a tal realidade. Essas repetições *incontornáveis* mostram várias facetas da mesma realidade, ajudam a relacionar entre si os diversos capítulos do livro e relembram conceitos aplicáveis em mais de uma situação. A informação apresentada torna-se assim mais clara e mais útil.

Organizei este livro de modo a corresponder ao que gostaria que existisse em 1966, quando me comecei a interessar pela vastidão e encanto do universo e pelos instrumentos de observação. Espero que a obra que o leitor tem agora nas suas mãos consiga atingir esses objetivos.

2. o campo real é igual em (a) e em (c), mas a amplificação e o campo aparente são ambos maiores em (c);

3. A amplificação é igual em (b) e em (d), mas o campo aparente e o campo real são ambos maiores em (d).

As imagens (c) estão amplificadas 1,4 vezes relativamente às imagens (a).

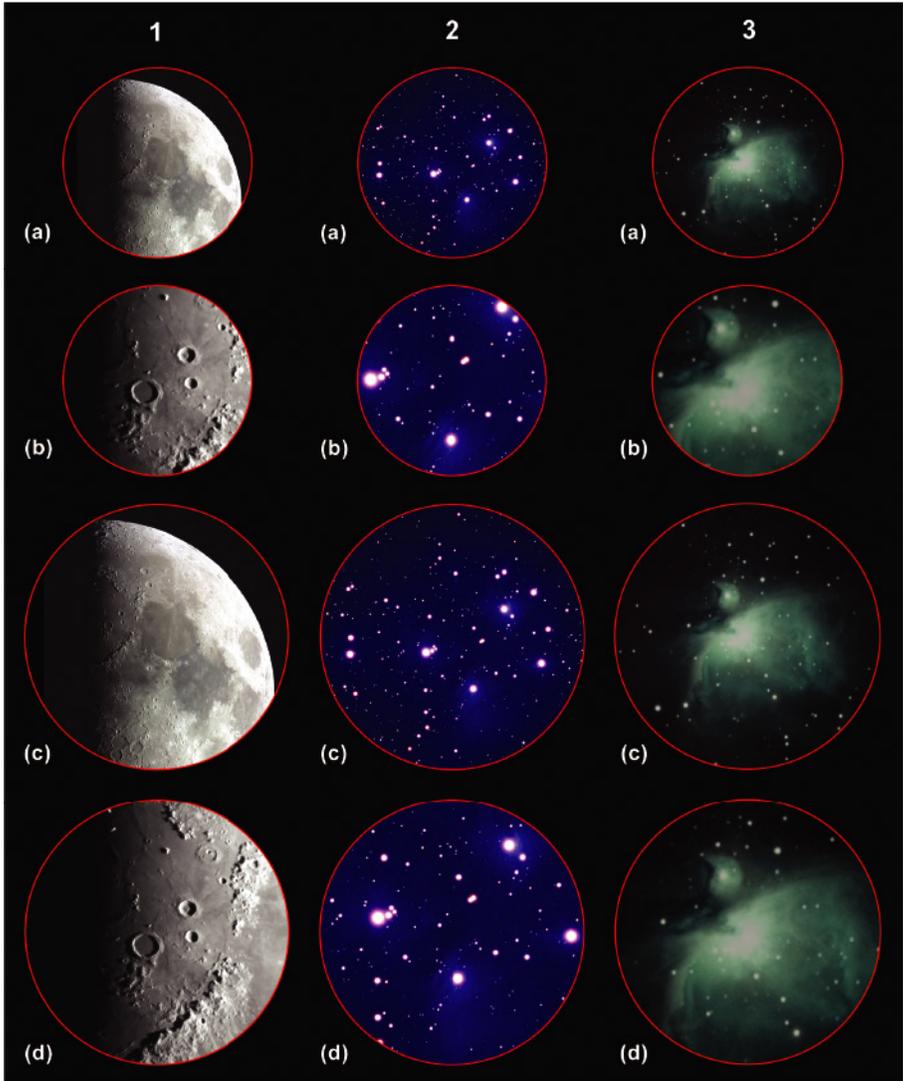


Fig. 5.22. Campo real e campo aparente em três tipos de observações astronómicas: 1 – Lua (coluna à esquerda); 2 – enxame estelar aberto (M 45); 3 – nebulosa difusa (M 42). Adaptado de imagens originais de Pedro Ré (2001). A imagem da nebulosa M 42 foi modificada pelo autor para se aproximar da realidade da observação visual.

Tal como sucedia com os binóculos, o campo aparente (C_A) é aproximadamente igual ao campo real (C_R) multiplicado pela amplificação (A): o telescópio amplifica

Quadro 5.8. Utilização sugerida para as ampliações de um telescópio

Amplificação	Utilização
$A < 0,2D$ Pupila de saída < 5 mm Exige um céu bastante escuro	Permite campos muito amplos e utiliza-se geralmente na observação da Via Láctea e dos objetos mais extensos: nebulosas difusas, enxames estelares abertos e galáxias de maior dimensão.
$A=0,25D$ a $0,33D$ Pupila de saída: 4 mm a 3 mm	Observações de carácter geral. Observação da Lua, dos planetas, das nebulosas planetárias e dos enxames globulares. Também é útil nos enxames abertos de menor dimensão aparente e das nebulosas.
$A=0,5D$ Pupila de saída: 2mm	Observação da Lua, dos planetas, de algumas nebulosas, e da galáxias de menor dimensão aparente. Também adequada para enxames globulares. Amplificação bem adaptada ao melhor desempenho ótico do olho.
$A=1,2D$ Pupila de saída: 0,8 mm	Observação da Lua, dos planetas, de nebulosas planetárias e de enxames globulares, se as condições atmosféricas o permitirem. Observação de estrelas duplas relativamente espaçadas. Amplificação bem adaptada às observações da Lua e dos planetas
$A=2D$ a $2,4D$ Pupila de saída: 0,5 mm a 0,4 mm	Reserva-se para a separação das estrelas duplas mais difíceis, desde que as condições atmosféricas permitam o seu uso. É uma amplificação a utilizar raramente.

Algumas realidades sobre a amplificação dos telescópios

Algumas pessoas consideram a amplificação de um telescópio como a sua característica ótica mais importante. Perante um instrumento de observação perguntam imediatamente: «*Esse telescópio aumenta quantas vezes?*». Alguns fabricantes e vendedores tiram partido do desconhecimento do público não informado e usam a amplificação como um argumento de venda. Na realidade, um argumento do tipo «este telescópio de 60 mm de abertura é bom porque aumenta 400 vezes» é, pelo contrário, garantia de que o telescópio é de má qualidade: a sua compra deve ser evitada. Na melhor das hipóteses esta afirmação excede largamente as possibilidades de uma objetiva de 60 mm. No capítulo «Reflexões sobre a escolha e compra de um telescópio» são dadas várias informações neste sentido, pelo que não se justifica repeti-las aqui. Indicam-se seguidamente algumas implicações e consequências da amplificação que poucas vezes recebem a devida atenção por parte do observador.

1. A amplificação, em si, não é um parâmetro muito importante. Também não é um indicador de qualidade.

Os limites da *relação focal* devem-se a imposições práticas: se a relação focal for menor do que 4, a coma torna-se intolerável e a colimação será extremamente exigente; se a relação focal for superior a 9 ter-se-á um tubo demasiado comprido (o comprimento do tubo é praticamente igual à distância focal do espelho primário). Nos instrumentos de abertura muito grande (>400 mm) a relação focal tem de ser ainda mais curta (4 a 5) para que o comprimento do tubo se mantenha dentro de limites toleráveis. Devido a estas circunstâncias, o leitor não encontrará um telescópio newtoniano de 300 mm $f/8$ no catálogo atual de nenhum fabricante: o tubo de um telescópio com estas características teria cerca de 2,4 m de comprimento.



Fig. 6.18. Exemplos de telescópios de Newton: 1 – TAL 1, 110 mm $f/7,3$ (Guilherme de Almeida, 2003); 2 – Vixen 200 mm $f/4$ (Pedro Ré, 2003); 3 – Parks Optical 406 mm $f/4$.

Os instrumentos de abertura até a 150 mm são geralmente construídos com relações focais entre 5 e 9, pois o tubo não é demasiado comprido, tendo em conta a pequena abertura. Os telescópios de abertura média (200 a 250 mm) têm normalmente relações focais entre 4 e 8. No caso das maiores aberturas (superiores a 300 mm), empregam-se relações focais curtas, quase sempre entre 4 e 5, para evitar que os seus tubos sejam demasiado compridos, obtendo-se também campos mais extensos. Os instrumentos de relação focal curta ($f/D < 7$) permitem campos mais amplos (com a mesma ocular) e são especialmente recomendados para observações do céu profundo. No entanto, os instrumentos de relação focal muito curta (<5) podem exibir imagens nítidas apenas próximo do centro do campo, devido à aberração de coma.

Os modelos de 76 mm são geralmente telescópios-brinquedo. A qualidade ótica varia entre o mau e o suficiente (com sorte), mas o principal problema está quase sempre na montagem azimutal de garfo com que são vendidos, muito frágil e oscilante.

7. Oculares

«A ótica geométrica ou é muito simples ou muito complicada.»

Richard Feynman, físico norte-americano (1918–1988)
e Prémio Nobel da Física (1965).

Na maior parte dos casos um telescópio é vendido com uma ou duas oculares. Ao fim de algum tempo é normal que o utilizador procure oculares de melhor qualidade, de campo mais amplo ou de diferentes distâncias focais para diversificar a gama de ampliações possíveis. Embora as oculares sejam indispensáveis à observação visual, as oculares adquiridas posteriormente são, por vezes, os primeiros acessórios que se compram.

7.1. A função da ocular

Uma vez formada a imagem primária, pela objetiva do telescópio, a ocular desempenha o papel de lupa relativamente a essa mesma imagem. É claro que se a imagem primária não for nítida e bem contrastada, nenhuma ocular poderá dar ao observador uma imagem de qualidade, por muito boa que seja essa ocular. Por outras palavras, a qualidade que se perde na formação da imagem primária já não pode ser recuperada pela ocular. Por outro lado, amplificar uma imagem de má qualidade dá origem a uma imagem maior e de má qualidade. Auxiliado pela amplificação da ocular, o olho do observador é implacável na sua análise da imagem primária e deteta ainda melhor as imperfeições dessa imagem: quanto mais se amplifica, mais se notam os defeitos da imagem primária. No entanto, não é menos verdade que é preciso uma boa ocular para fazer justiça a uma boa objetiva. Por isso, embora o componente ótico mais importante de um telescópio seja a objetiva, a ocular vem logo a seguir. Diz-se até que a ocular é «meio telescópio».

As primeiras oculares começaram por ser muito simples e pouco satisfatórias. O primeiro telescópio que foi utilizado em observações astronómicas, o de Galileu (1609), tinha como ocular uma simples lente plano-côncava. A imagem era direita, o campo *aparente* era diminuto (cerca de 9°) e a nitidez restringia-se à parte central do campo. Em 1610 Kepler idealizou outra ocular, constituída por uma única lente biconvexa, que permitia um campo aparente já mais amplo (15°) mas ainda insuficiente. A imagem passou a ver-se *invertida*, relativamente aos objetos observados, mas continuou a ser pouco nítida junto às margens do campo observado. A tecnologia das oculares progrediu lentamente desde então, primeiro por tentativa e erro, depois mais depressa graças às bases científicas que se foram pouco a pouco estabelecendo. As primeiras oculares ficaram conhecidas (até hoje) pelos nomes dos seus inventores; as mais recentes têm nomes que são designações comerciais, por vezes exclusivas, de cada fabricante.

Foi dito anteriormente que as oculares funcionam como lupas, amplificando a imagem primária que a objetiva produziu. Na maior parte dos casos, como sabemos por experiência, uma lupa é uma lente *simples* (um só elemento ótico). No entanto, utilizando uma *lente simples* como ocular não se obtêm imagens com suficiente nitidez e contraste e, além disso, também não é possível obter boas imagens em campos aparentes suficientemente amplos: um campo aparente inferior a 40° dá uma visão em túnel muito desagradável, semelhante à que se obtêm ao espreitar por um tubo estreito.

Devido às deficiências (aberrações) da lente simples, para produzir oculares de qualidade aceitável, foi necessário combinar duas ou mais lentes de diferentes curvaturas e diferentes espessuras, afastadas entre si de acordo com distâncias convenientemente escolhidas. É por isso que cada uma das oculares atuais é na prática constituída por várias lentes (vários elementos óticos). Nas abordagens elementares, e nos esquemas óticos dos telescópios, a ocular é representada como se fosse uma lente simples apenas para fins ilustrativos e para maior clareza dessas representações. No entanto, quando se faz a representação esquemática de uma dada ocular, mostram-se, em corte, os diferentes elementos que a constituem.

Chama-se normalmente *lente de olho* ao elemento ótico da ocular que fica mais perto do olho do observador, na posição de observação. A lente que se encontra do lado oposto é conhecida como *lente de campo*. Esta distinção é simples nas oculares de construção básica, mas nem sempre óbvia (no que se refere à lente de campo) no caso das mais avançadas. O *afastamento da pupila de saída* é a distância *d* indicada na Fig. 7.1.

Na maior parte das oculares, utilizam-se diferentes tipos de vidro e há lentes que se encostam (lentes coladas), preenchendo o intervalo de ar entre elas com uma substância aglutinante e transparente, especialmente escolhida para o efeito. Como os vidros têm diferentes propriedades óticas, duas lentes coladas não são o mesmo que uma só lente. Por estes processos, que se foram refinando ao longo de mais de 300 anos, consegue-se que as aberrações de cada lente sejam minimizadas e parcialmente compensadas pelas dos restantes elementos óticos da ocular. Estes procedimentos permitem obter oculares suficientemente corrigidas, com aberrações residuais quase insignificantes.

Na terminologia inglesa, duas lentes coladas constituem um *doublet*, e três lentes coladas formam um *triplet* (estes nomes também se aplicam se as lentes não forem coladas e estiverem muito próximas entre si). Os termos portugueses geralmente apontados como equivalentes pelos linguistas parecem, no entanto, pouco felizes: «par acromático» ou «dúplex acromático» (para *doublet*) e «triplo acromático» ou «terno acromático» (para *triplet*). Neste livro serão utilizadas as palavras «doblete» e «tripleto», da gíria corrente, entendidas como aportuguesamento livre de *doublet* e *triplet*.

7.2. Considerações sobre a qualidade das oculares e outras características relevantes

As oculares melhoraram consideravelmente nas últimas décadas devido ao aparecimento de novos tipos de vidro e às maiores possibilidades de cálculo facultadas pelos computadores.

As oculares atuais têm três ou mais lentes, e esse número pode chegar a oito nos modelos mais elaborados. Normalmente chama-se «grupo» a cada conjunto de lentes *coladas* ou a cada lente isolada que faça parte de uma ocular composta. Quando se diz, por exemplo, que uma dada ocular tem a configuração ótica «(1)-(2)-(1)», isso significa que essa ocular é constituída por três grupos: uma lente simples, depois um «doblete» colado e finalmente outra lente simples (isto é, quatro lentes em três grupos). Para evitar quaisquer confusões, esta indicação é sempre dada considerando o sentido em que a luz atravessa as lentes dessa ocular (da objetiva do telescópio para o olho do observador). Do mesmo modo, a designação «(2)-(1)-(2)» significará um «doblete» colado, seguido de uma lente simples e de outro «doblete» colado (cinco lentes em três grupos). Para cada grupo, há sempre duas superfícies ar-vidro a considerar. Uma ocular constituída por n grupos óticos terá sempre $2n$ superfícies ar-vidro. É precisamente nas superfícies ar-vidro que ocorrem as maiores perdas de luz, que o fabricante procura minimizar com os tratamentos antirreflexo. A configuração ótica de uma ocular também se chama por vezes «fórmula ótica».

Em geral, aumentando o número de elementos óticos de uma ocular melhora-se a correção, e as aberrações residuais tornam-se muito reduzidas, a ponto de não prejudicarem a imagens obtidas. Além disso, nas oculares muito corrigidas, o campo aparente pode ser mais amplo. Há assim vários tipos de oculares, de diferente complexidade, sofisticação e preço, consoante a "fórmula ótica" utilizada na sua conceção. No entanto, a «fórmula ótica» não é tudo, e a qualidade de construção também se repercute no desempenho e custo das oculares. Os diferentes aspetos ligados à qualidade de construção de uma ocular podem resumir-se nos seguintes pontos:

1. A qualidade de fabrico das lentes e o tipo de vidro utilizado; enegrecimento dos bordos laterais das lentes, para redução da luz parasita.
2. Os cuidados postos pelo fabricante na montagem e centragem das lentes dentro do corpo da ocular.
3. A existência de tratamentos antirreflexo nas superfícies óticas e o *tipo* de tratamentos (simples ou multitratamento) aplicados; aplicação desse tratamento a *todas* as superfícies óticas.
4. Boa construção das partes mecânicas: tubos bem construídos e bem cromados, roscas de bom fabrico, interior da ocular enegrecido e baço.
5. Aspetos ergonómicos: resguardo de borracha para melhor colocação e centragem do olho; uso de material antiderrapante na superfície lateral onde o utilizador pega na ocular para a manipular (barra ou anel de tração).

A primeira lente de Barlow já era acromática, constituída por dois elementos óticos. O invento foi apresentado à Real Society de Londres, em 1834, e o primeiro a utilizar o novo acessório foi o famoso Dawes, numa sessão de observação de estrelas duplas. Atualmente a lente de Barlow é um acessório muito comum, utilizado por largos milhares de observadores.

Como funciona uma lente de Barlow

O funcionamento de uma lente de Barlow é simples e compreensível. Se se colocar uma lente divergente no cone de luz que vem da objetiva de um telescópio para a ocular, montando essa lente antes do foco, o ângulo de convergência do feixe diminui (Fig. 9.6). Os raios luminosos que iriam convergir no foco F_1 da objetiva, se a lente divergente não existisse, passam a convergir no foco no foco F_2 , devido à lente divergente.

Prolongando a tracejado (para o lado da objetiva) os raios luminosos que convergem em F_2 , até encontrar os raios luminosos correspondentes que entram no tubo, vê-se que tudo se passa como se esses raios tivessem sido desviados pelo plano de referência marcado a traço-ponto. Por outras palavras, tudo se passa como se a objetiva estivesse na posição desse plano de referência (chamado plano principal-imagem). A distância focal equivalente do sistema constituído pela objetiva e pela lente de Barlow (f_{equiv}) é muito maior que antes e mede-se desde o plano principal-imagem até ao novo foco indicado por F_2 . Devido à lente de Barlow, em vez da imagem I_1 passa a formar-se a imagem final I_2 .

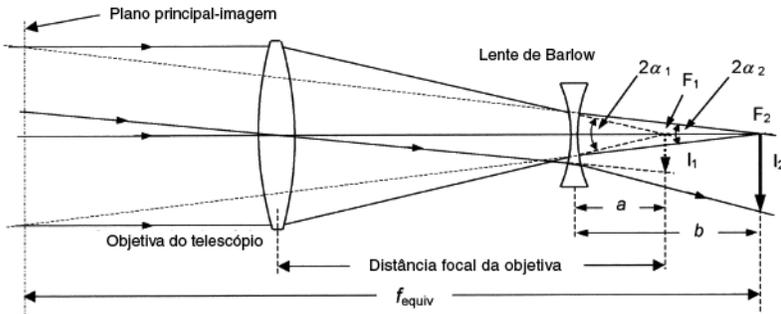


Fig. 9.6. Esquema de funcionamento de uma lente de Barlow. Para maior clareza, a objetiva do telescópio, a ocular e a lente de Barlow foram representadas como lentes simples. O exemplo refere-se a um refrator, mas estas considerações são válidas para qualquer outro tipo de telescópio. Guilherme de Almeida (2003).

Repare-se que, utilizando uma lente de Barlow, um aumento de poucos centímetros no comprimento físico do tubo do telescópio pode multiplicar a sua distância focal por 2, 3 ou mesmo mais. O fator de amplificação da Barlow (que representaremos por A_B) é o resultado da divisão da distância b pela distância a , ou seja, $A_B = b/a$ (Fig. 9.6).

11.6. Critérios de decisão

Escolher um telescópio requer a apreciação de diferentes aspetos relacionados com o instrumento de observação e as suas características, mas também é preciso considerar o observador, os seus hábitos, condições e preferências observacionais. É ainda necessário ter em conta os locais de observação a utilizar. Neste subcapítulo, todos esses aspetos vão ser analisados progressivamente.

11.6.1. Fatores pessoais

O preço de um telescópio aumenta naturalmente à medida que a abertura cresce, a qualidade é melhor, ou a configuração ótica é mais elaborada. Um telescópio de maior abertura, e do mesmo tipo, terá quase sempre um tubo mais pesado. Este tubo, por sua vez, exigirá uma montagem mais pesada e robusta, de preço mais elevado. Os preços e os pesos crescem com a abertura, mas uma parte desses acréscimos deve-se à necessidade de melhores montagens.

Para a mesma abertura, um telescópio catadióptrico (por exemplo, Schmidt-Cassegrain ou Maksutov-Cassegrain) é mais caro que um telescópio refletor de Newton. E um telescópio refrator apocromático é muito mais caro do que um catadióptrico. É claro que o fator preço é um poderoso limitador das escolhas possíveis, mas há vários outros fatores a considerar. Como é óbvio, um instrumento de maior abertura (e do mesmo tipo) será mais pesado e menos manuseável. Para a mesma abertura, os telescópios de configuração diferente têm tamanhos e pesos muito diversificados.

Ao escolher um telescópio pretende-se obter um instrumento de observação cuja utilização dê prazer, e corresponda aos objetivos pretendidos, evitando uma compra irrefletida que origine desilusões e aborrecimentos constantes. Para isso é conveniente que o leitor faça *a si próprio* algumas perguntas importantes (indicadas nos próximos parágrafos) e que tente dar-lhes a resposta mais sincera possível. As perguntas vão acompanhadas de alguns comentários e fazem sugestões concretas. É claro que estas considerações devem ser vistas apenas como recomendações.

1. Onde é que eu vivo?

Vive num andar sem varanda? Precisa ter de se deslocar muito com o telescópio, para o levar para fora de casa? Depois de já estar no exterior, vai precisar de andar com o telescópio de um lado para o outro, para aceder a diferentes partes do céu, ou o seu local de observação tem um vasto horizonte desimpedido? Tem pouco espaço em casa para arrumar o telescópio? O seu carro tem um porta-bagagens pequeno?

Ao apertar um dos parafusos terá de desapertar outro do mesmo anel, para que o tubo tenha espaço de manobra e não fique esmagado. Se está a utilizar um buscador com dois anéis de ajuste, pode trabalhar independentemente em cada um dos anéis.

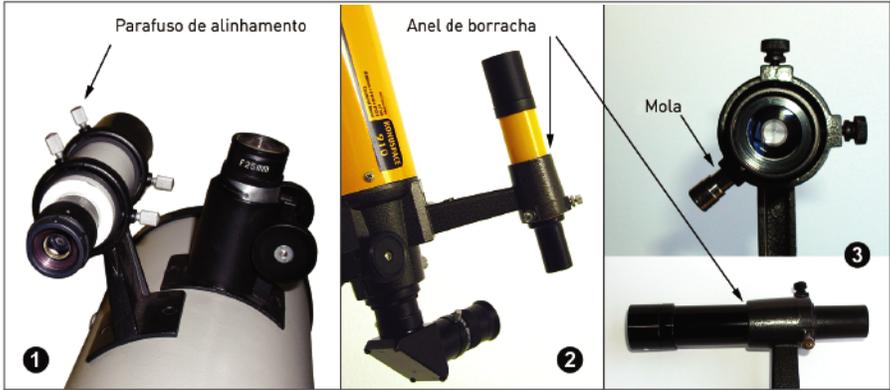


Fig. 12.1. Parafusos de alinhamento de alguns buscadores: 1 – modelo de dois anéis; 2 – modelo de um só anel comprido, com um anel fino de borracha na parte da frente; 3 – modelo de um anel, só com 2 parafusos de alinhamento (também tem anel de borracha); no lugar do terceiro parafuso existe um botão fixo, carregado por uma mola. Guilherme de Almeida (2003).

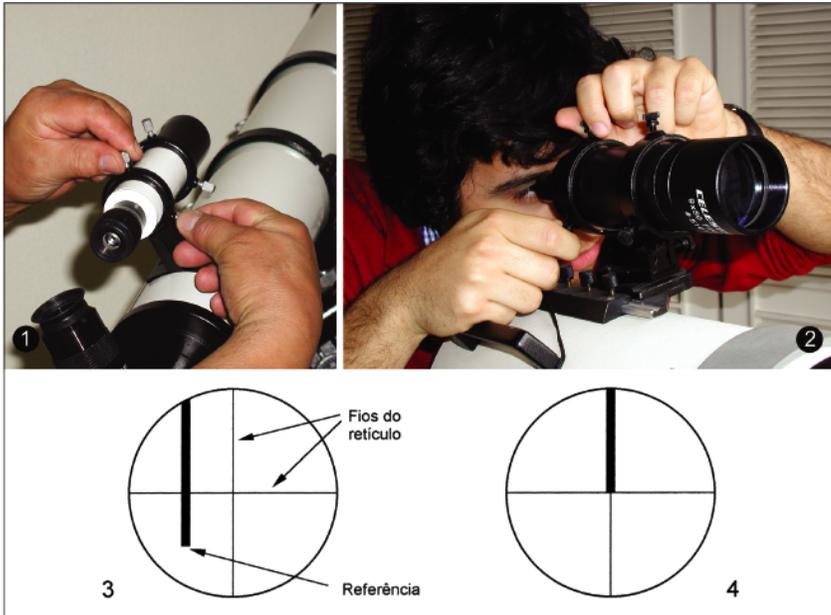


Fig. 12.2. Alinhamento de um buscador: 1 e 2 – procedimento do alinhamento; 3 – objeto não centrado no campo do buscador; 4 – buscador alinhado. Estas imagens são invertidas na maior parte dos buscadores. Nos restantes modelos (de imagem direita e de imagem em espelho) as imagens terão diferente orientação mas a metodologia de alinhamento é a mesma. Guilherme de Almeida (2003).

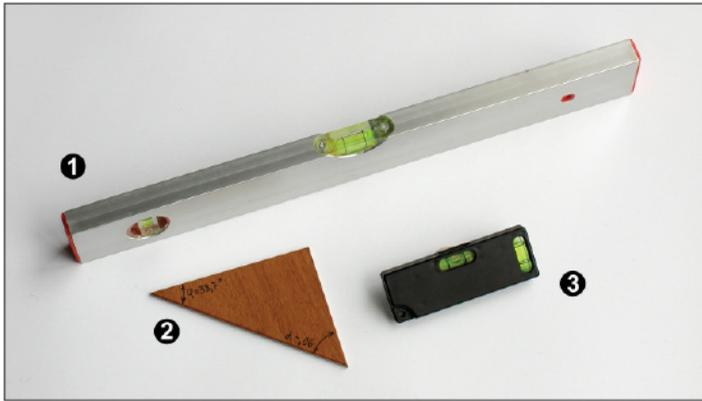


Fig. 12.9. Alguns dispositivos úteis para alinhar as montagens equatoriais: 1 – nível de bolha de ar; 2 – triângulo de contraplacado; 3 – pequeno nível de bolha de ar. Guilherme de Almeida (2003).

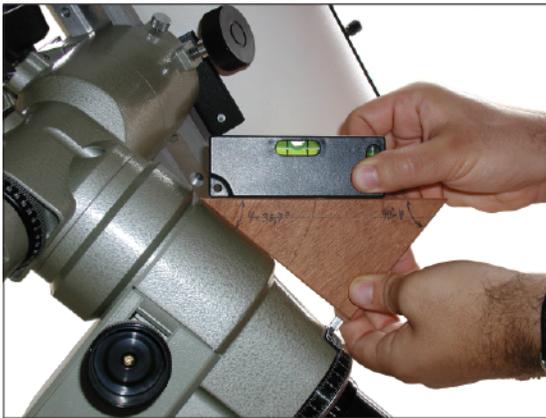


Fig. 12.10. Utilização simultânea do triângulo de contraplacado e do nível de bolha de ar para corrigir a inclinação do eixo polar relativamente à horizontal (ajuste em latitude), no caso de uma montagem equatorial alemã. Guilherme de Almeida (2003).

Este triângulo de contraplacado também é utilizável nas montagens equatoriais de garfo, mas nesse caso a «hipotenusa» do triângulo encosta-se à base do garfo, ficando o vértice do ângulo correspondente à latitude voltado para baixo. Isto sucede porque a base de uma montagem equatorial de garfo deverá ser paralela ao plano do equador e, por isso, terá de estar inclinada segundo um ângulo igual à colatitude, relativamente ao plano horizontal do local de observação. No triângulo da madeira, o ângulo correspondente à colatitude do local de observação deverá ficar do lado mais alto da base do garfo.

Ajuste em azimute

O ajuste em azimute efetua-se fazendo girar a montagem em torno de um eixo vertical, até que o plano definido pelo eixo polar e pela vertical passe pelos pontos norte e sul do horizonte. Por outras palavras, o eixo polar deverá estar no plano do meridiano local. Se o local de observação se encontrar no hemisfério Norte da Terra, a extremidade mais alta do eixo polar deverá ficar voltada para norte e a outra deverá ficar voltada para sul (é o caso dos observadores localizados no território português). Se o observador se encontrar no hemisfério Sul sucederá precisamente o contrário. Um observador situado precisamente no equador deverá colocar o eixo polar na horizontal, segundo a direção norte-sul. Um hipotético observador que instalasse o seu observatório precisamente num dos polos da Terra colocaria o eixo polar na vertical.

Se a base da montagem não estiver bem nivelada, os ajustes em latitude induzem alteração no ajuste em azimute, e vice-versa. Para que cada um destes ajustes seja independente e não modifique o outro, é pois recomendável que se nivele satisfatoriamente a montagem. Note-se que a precisão do alinhamento polar rigoroso não depende do facto de a montagem estar ou não inicialmente bem nivelada, mas se o estiver os procedimentos serão mais rápidos e menos repetitivos.

Na secção 12.4.4 referem-se dois métodos úteis para auxiliar o ajuste em azimute: o método da bússola e o da sombra mínima. Em determinadas circunstâncias poderão ser úteis para uma orientação prévia das montagens equatoriais de qualquer tipo.

Precisão do alinhamento de uma montagem equatorial

É necessário que o alinhamento das montagens equatoriais seja visto com bom senso e sentido crítico. A precisão deste alinhamento deverá ser escolhida em função do uso a dar ao telescópio. Fazer um alinhamento rigoroso e demorado será perda de tempo, caso tal requinte seja excessivo para a utilização pretendida. No extremo oposto, utilizar o telescópio com a montagem grosseiramente alinhada, em condições que requerem alinhamento rigoroso, conduzirá a resultados decepcionantes. É claro que quanto mais rigoroso for o alinhamento da montagem, mais tempo será preciso para o obter. Por outro lado, os alinhamentos mais rigorosos permitem que o astro se mantenha durante mais tempo no campo do telescópio, atuando apenas no eixo polar da montagem.

Tendo em conta a finalidade das observações podem considerar-se vários níveis de precisão do alinhamento polar. Nos parágrafos seguintes consideraram-se arbitrariamente quatro níveis: alinhamento aproximado, alinhamento de baixa precisão, alinhamento de média precisão e alinhamento rigoroso (quadro 12.1).

Para observações visuais ocasionais, e apenas para *seguir* astros, basta que o eixo polar aponte para o polo celeste dentro de uma precisão de cerca de 4°. Diremos que se trata de um *alinhamento aproximado*. Com este nível de precisão é possível manter um astro no campo visual de uma ocular de média amplificação (100×) por mais de 10 minutos, até que sejam necessários pequenos ajustes em declinação, quando a *deriva* (desvio) do astro, para norte ou para sul do campo, se torne excessiva. Nesse caso, o astro observado afasta-se progressivamente do centro do campo visual, à medida que a observação decorre, mesmo que se atue convenientemente no eixo polar, manualmente ou por meio de motor. Daqui em diante consideraremos sempre que o telescópio, para acompanhar o astro, se está a mover em ascensão reta com a velocidade apropriada, manualmente ou com motorização, e que os desvios se devem apenas a imprecisões de alinhamento (salvo indicação contrária).

Quadro 12.1. Níveis de precisão do alinhamento das montagens equatoriais

Nível de precisão	Método utilizado (no hemisfério norte)	Erro típico esperado*
Alinhamento aproximado	Apontar o eixo polar, a olho nu, na direção da estrela Polar	Cerca de 5°
Alinhamento de baixa precisão	Centrar a estrela Polar no campo do buscador polar**	Cerca de 0,8°
Alinhamento de média precisão	Toma-se em consideração o desvio da Polar em relação ao polo celeste norte	Menos de 5'
Alinhamento rigoroso	Derivas de estrelas convenientemente escolhidas	Menos de 1'

* Valores aproximados.

** Ou no campo do buscador do telescópio, em condições adequadas (ver texto).

Para seguir um astro utilizando ampliações mais elevadas (>150×), em observações visuais mais exigentes e sem necessidade de demasiados ajustes corretivos, um alinhamento de baixa precisão (erro de cerca de 0,8°) será suficiente. O astro observado manter-se-á no centro do campo do telescópio durante mais de 20 minutos, mesmo que se utilizem ampliações apreciáveis. Este nível de precisão também serve para o caso em que se pretenda utilizar os círculos graduados da montagem para localizar objetos a partir de outros que não se encontrem a mais de 30° dos alvos pretendidos.

Para *localizar* os objetos celestes por meio dos círculos graduados, sem se exigir que estejam a menos de 30° de outros objetos tomados como referência, é necessário um alinhamento mais rigoroso (cerca de 4'), que consideraremos de média precisão. Esta precisão é também indispensável na astrofotografia de média exposição (>5 min); muitos amadores preferem fazer uma sequência de várias exposições de menos de 2 minutos cada, combinando depois as fotografias numa só imagem.

O quadro 12.3. indica o sentido das correções a fazer nas diversas situações em que o leitor se encontre, no hemisfério Norte. Para que estas recomendações sejam úteis a todos os observadores, o quadro 12.4 dá as correspondentes informações para o hemisfério Sul.

O observador interessado em obter um alinhamento muito rigoroso deverá efetuar sucessivamente os ajustes indicados em 1,2 e 3, repetindo-os em ciclos consecutivos até que não haja derivas apreciáveis em cada uma das três situações, durante o tempo mínimo de 25 minutos. As correções a fazer à orientação do eixo polar serão cada vez menores.

Quadro 12.3. Sentido das correções a fazer ao eixo polar
(observadores situados no hemisfério norte)

Telescópio voltado para ...	Deriva observada	A extremidade norte do eixo polar deverá ser ...	Outra indicação da correção a aplicar ao eixo polar
sul	para sul	desviada para oeste	rotação no sentido anti-horário
sul	para norte	desviada para este	rotação no sentido horário
este	para sul	elevada	aumentar a inclinação em relação à horizontal
este	para norte	baixada	diminuir a inclinação em relação à horizontal
oeste	para sul	baixada	diminuir a inclinação em relação à horizontal
oeste	para norte	elevada	aumentar a inclinação em relação à horizontal

Quadro 12.4. Sentido das correções a fazer ao eixo polar
(observadores situados no hemisfério sul)

Telescópio voltado para ...	Deriva observada	A extremidade sul do eixo polar deverá ser ...	Outra indicação da correção a aplicar ao eixo polar
norte	para sul	desviada para este	rotação no sentido anti-horário
norte	para norte	desviada para oeste	rotação no sentido horário
este	para sul	baixada	diminuir a inclinação em relação à horizontal
este	para norte	elevada	aumentar a inclinação em relação à horizontal
oeste	para sul	elevada	aumentar a inclinação em relação à horizontal
oeste	para norte	baixada	diminuir a inclinação em relação à horizontal

A perceção das derivas é muito facilitada utilizando no telescópio uma ocular com retículo (de preferência iluminado). Esta ocular deve ser montada no porta-oculares, rodando-a de modo que um dos seus fios (ou traços) fique na direção

Limpeza de espelhos nos telescópios catadióptricos

Os espelhos destes telescópios estão protegidos pela lente corretora e pela ocular (ou pela tampa do porta-oculares). Caso o porta-oculares não esteja montado, a tampa da rosca traseira impedirá a entrada de poeiras. Se o observador for minimamente cuidadoso os espelhos dos catadióptricos nunca necessitarão de limpeza. Nos telescópios Schmidt-Cassegrain e Maksutov-Cassegrain, os espelhos diagonais que eventualmente se utilizem limpam-se tal como foi referido para o caso dos refratores. Nos telescópios de Maksutov-Newton e Schmidt-Newton o espelho secundário está protegido pela lente corretora e nunca se suja desde que o utilizador tenha o cuidado de manter o porta-oculares tapado com a tampa ou com uma ocular montada.

12.6. Colimação de telescópios

Para que um telescópio dê o seu melhor, é necessário que os seus componentes óticos estejam devidamente centrados segundo um eixo ótico comum e alinhados entre si, perpendicularmente a esse eixo. Diz-se que um telescópio está colimado quando os seus componentes óticos se encontram nestas condições e chama-se *colimação* ao conjunto de procedimentos necessários para atingir tal fim. Por vezes diz-se *alinhamento ótico* em vez de colimação, o que acaba por ser uma designação equivalente. A colimação envolve também o alinhamento dos componentes mecânicos que suportam as peças óticas, como é, por exemplo, o caso do porta-oculares.

12.6.1 Considerações genéricas sobre colimação

Em princípio, os telescópios vêm colimados de fábrica. No entanto, uns telescópios mantêm a colimação melhor do que outros perante as sucessivas manipulações, vibrações mecânicas, transporte, etc. Por isso, a necessidade de colimação é diferente de telescópio para telescópio. Os refratores podem nunca exigir colimação e os refletores de Newton carecem de colimações periódicas, por vezes frequentes. Sucede ainda que a sensibilidade dos diferentes telescópios às descolimações *ligeiras* não é igual para todos. Alguns exigem, como veremos, colimações mais rigorosas do que outros. Esta secção descreve os aspetos genéricos da colimação e dá várias informações úteis, sem entrar propriamente na metodologia da colimação dos diferentes tipos de telescópios. As secções 12.6.2 a 12.6.4 abordam sistematicamente essa metodologia para os diferentes telescópios.

Importância da colimação

A colimação é o fator intrínseco que mais influencia o bom desempenho ótico de um telescópio (se os seus componentes óticos forem de boa qualidade). É também, felizmente, um dos poucos cuja correção está ao alcance do utilizador.

A descolimação reduz o contraste e a nitidez das imagens observadas através de um telescópio; diminui o poder resolvente prático de um instrumento de observação, por melhor que ele seja, levando-o a comportar-se muito aquém das suas reais possibilidades. Por estas razões, um telescópio descolimado não poderá dar boas imagens, mesmo que a sua ótica seja excelente ou que a turbulência atmosférica seja excepcionalmente baixa. Os efeitos da descolimação são especialmente nocivos nas observações planetárias (que requerem contraste elevado e grandes amplificações). Diz-se até que um telescópio descolimado dá resultados tão maus como um instrumento musical desafinado. Colimando um telescópio apreciavelmente desalinhado, não é raro que este pareça outro telescópio, tal é a modificação radical do seu comportamento.

É claro que há outros fatores capazes de degradar as imagens observáveis através de um telescópio, mas esses estão quase sempre fora do controlo do utilizador: não se pode eliminar a turbulência atmosférica; melhorar a perfeição das superfícies óticas não está geralmente ao alcance do observador; na maior parte dos casos não é possível reduzir a obstrução provocada pelo secundário (nos telescópios onde ele existe). O bom desempenho de um telescópio pode ser ainda afetado por outras causas: as correntes de convecção dentro do tubo, resultantes das desigualdades térmicas entre o interior e o exterior, assim como a deformação temporária das peças óticas sujeitas a variações de temperatura. Porém, as causas deste segundo tipo são transitórias e desaparecem ao fim de algumas dezenas de minutos.

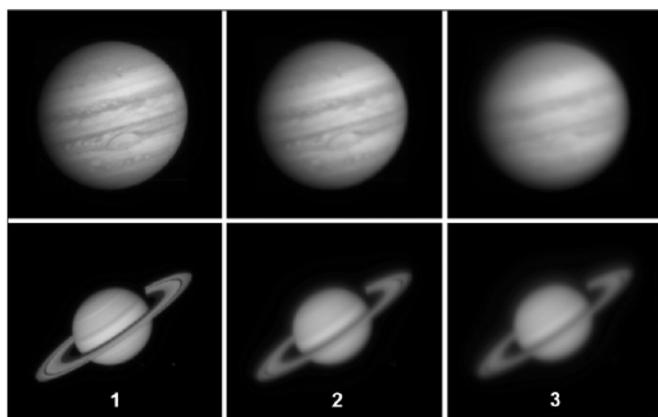


Fig. 12.20. Simulação de imagens de Júpiter e de Saturno, observados através do mesmo telescópio: 1 – telescópio colimado; 2 – descolimado; 3 – muito descolimado. Os efeitos prejudiciais da descolimação são bem visíveis. Imagens obtidas com o programa *Aberrator 3.0*.
Guilherme de Almeida (2003).

A degradação global das imagens observadas através de um telescópio deve-se à *sobreposição* de todos os fatores anteriormente referidos. Se a correção do mais significativo dos fatores imputáveis ao telescópio (descolimação) está ao nosso

alcance, é claro que *devemos* colimar os nossos instrumentos de observação. Não há razão para nos privarmos das melhores imagens. Não faz sentido utilizar um telescópio que se está a comportar muito abaixo das suas reais possibilidades óticas.

Por vezes diz-se que a turbulência é o fator limitativo da resolução dos telescópios (visão limitada pela turbulência), mas isto só é verdade em telescópios bem colimados. A turbulência «vai e vem» e há momentos de melhores imagens, mas a descolimação está lá *sempre*, a menos que o observador se decida a colimar o seu telescópio. Embora o observador raramente pense nisso, a colimação é muitas vezes o fator limitativo (visão limitada pela má colimação). Quanto maior for a amplificação utilizada mais se notarão os efeitos nefastos da descolimação.

Colimar ou não colimar

A descolimação significativa é relativamente rara nos refratores. No entanto, estima-se que mais de 70% dos telescópios refletores e catadióptricos utilizados por amadores estão apreciavelmente descolimados ou nunca foram sequer colimados. A descolimação é muitas vezes a grande responsável pela «má fama» de alguns telescópios e pela insatisfação dos respetivos utilizadores, mas muitas pessoas nunca colimaram os seus telescópios com receio de estragar algo. Não é raro que um bom telescópio pareça medíocre sem o ser: está apenas descolimado. No entanto, é fácil ver se um telescópio está ou não colimado e saber se as nossas tentativas estão a melhorar ou não a colimação. Por isso, vale sempre a pena melhorar a colimação. Pior, não vai ficar; se melhorar, as imagens serão mais nítidas e com melhor definição de pormenores. Convém, no entanto, não mexer num telescópio que esteja colimado. Nas páginas seguintes veremos como é que se pode verificar se um telescópio está ou não colimado.

A colimação não é o «papão» que algumas pessoas pensam, mas requer método e paciência. À primeira vez leva mais tempo e convém proceder com cuidado, ou fazê-la ao lado de quem tenha alguma experiência. Depois capta-se a técnica e os procedimentos passam a ser menos demorados e mais eficazes.

Colimação e tolerância

Num telescópio bem colimado, os diversos componentes óticos deverão ter os seus centros alinhados na mesma reta, com a qual também tem de coincidir o eixo ótico principal de cada um desses componentes. O porta-oculares deverá estar centrado e o seu eixo deverá coincidir com a referida reta de alinhamento (eixo de referência), de modo que o movimento de focagem se processe com a ocular sempre centrada e alinhada com o eixo de referência.

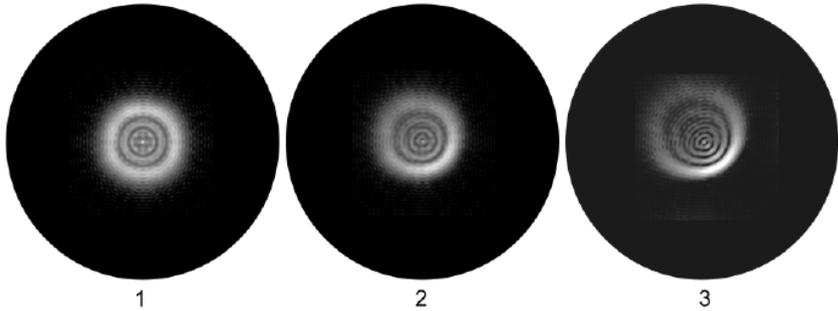


Fig. 12.21. Verificação da colimação num telescópio refrator: 1 – telescópio praticamente colimado; 2 – descolimado; 3 – muito descolimado. Imagem de uma estrela desfocada, obtida com o auxílio do programa *Aberrator 3.0*. (amplificação de cerca de 1x por cada milímetro de abertura). Guilherme de Almeida (2003).

Através de um telescópio com obstrução (espelho secundário), o observador verá vários anéis que rodeiam um círculo escuro, que é a sombra do secundário. Esta sombra deverá estar bem centrada num telescópio colimado (Fig. 12.22). Se estiver ligeiramente descentrada, o telescópio precisará de ser colimado. Se a descentragem for óbvia, o telescópio estará acentuadamente descolimado. O ponto branco visível dentro da região escura (em determinadas condições de desfocagem) deverá estar bem centrado.

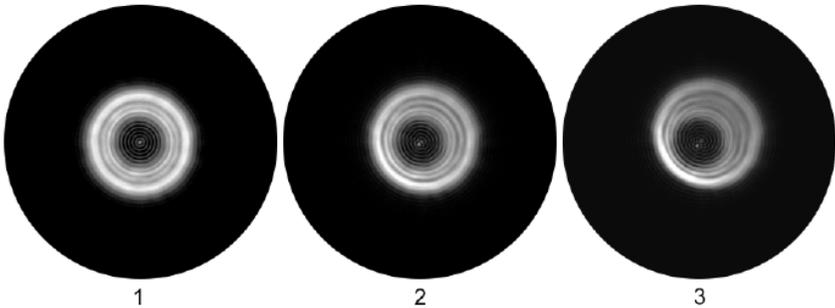


Fig. 12.22. Verificação da colimação num telescópio com obstrução: 1 – telescópio praticamente colimado; 2 – descolimado; 3 – muito descolimado. Imagem de uma estrela desfocada, gerada com o programa *Aberrator 3.0*. (amplificação de cerca de 1x por cada milímetro de abertura). Guilherme de Almeida (2003).

Nos telescópios refratores pode considerar-se que a colimação é suficiente se o instrumento de observação passar este teste inicial. O mesmo se pode dizer dos telescópios refletores de Newton de relação focal superior a 7. Em ambos os casos pode considerar-se que a colimação é suficiente e que o telescópio está praticamente colimado. Movendo o porta-oculares para ambos os lados da melhor focagem, a centragem deverá manter-se (caso contrário o porta-oculares não terá o seu eixo paralelo e coincidente com o eixo principal do telescópio (porta-oculares descolimado)).

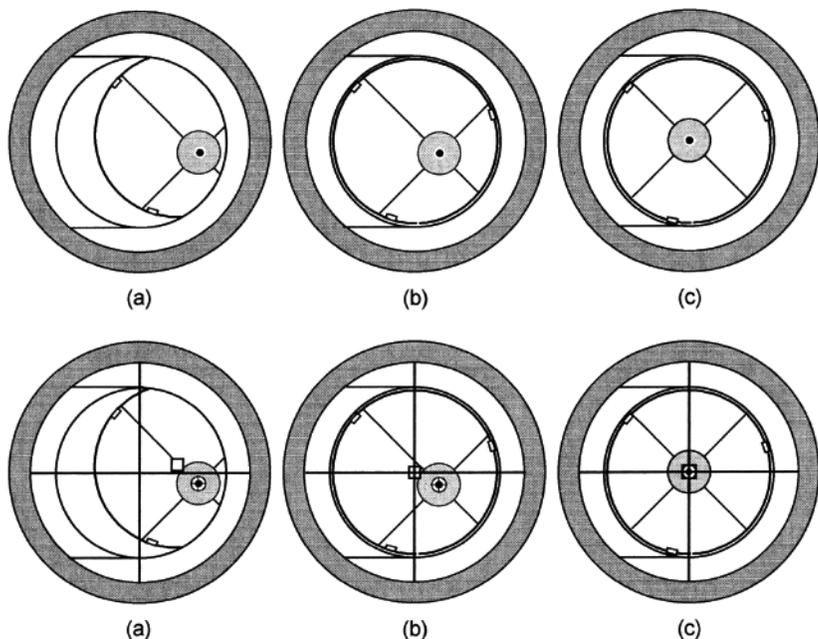


Fig. 12.31. Diversos aspetos observáveis através do porta-oculares de um telescópio de Newton, sem marcas de referência (em cima) e com marcas de referência (em baixo): (a) – primário e secundário descolimados; (b) – só o secundário colimado; (c) – ambos os espelhos colimados. Guilherme de Almeida (2003).

4. Confirmação

Verifique a colimação do secundário e, se for preciso, retoque-a. Em seguida, volte a verificar a colimação do primário, corrigindo-a se for necessário. No final, verifique se todos os parafusos ficaram apertados de modo a fixar os componentes. Não aperte nada fortemente. Confirme sempre os alinhamentos depois dos apertos.

Se a relação focal do telescópio for *superior* a 7 basta usar um «tubo de alinhamento» e seguir os procedimentos da colimação aproximada. Nem é preciso usar a ocular Cheshire, embora o seu uso permita mais rigor na colimação.

A colimação aperfeiçoada é suficiente no caso de um telescópio de relação focal (f/D) próxima de 7, e o instrumento ficará apto a dar as melhores imagens, se a sua qualidade ótica e a turbulência atmosférica o permitirem. Neste caso não se justifica a colimação fina, a não ser para simples confirmação. Considere o seu telescópio bem colimado.

No caso dos telescópios com relação focal for menor do que 7, faz-se a colimação aproximada, depois a colimação aperfeiçoada e por último a colimação fina, que será referida.

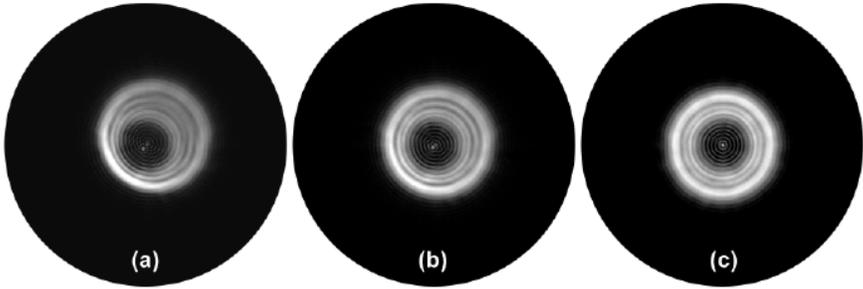


Fig. 12.37. Aspectos visíveis no início da colimação fina de um telescópio Schmidt-Cassegrain: (a) – telescópio descolimado; (b) – um pouco melhor; (c) – aproximadamente colimado (colimação aceitável nesta fase). Figura obtida utilizando em parte o programa *Aberrator 3.0*. Guilherme de Almeida (2003).

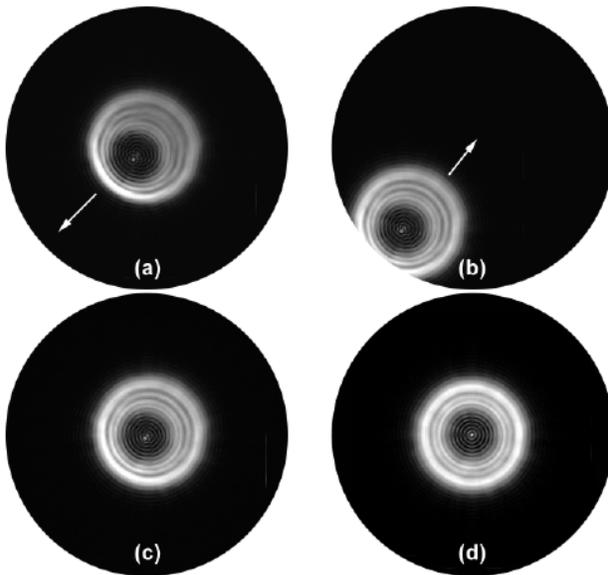


Fig. 12.38. Passos sucessivos na primeira fase da colimação fina de um telescópio Schmidt-Cassegrain. Os resultados melhoram repetindo ciclicamente os passos (a), (b) e (c) até obter uma imagem concêntrica da estrela desfocada (d). Figura obtida utilizando em parte o programa *Aberrator 3.0*. Guilherme de Almeida (2003).

Se a sombra do secundário estiver bem centrada, pode passar-se diretamente para a fase seguinte da colimação. Se não estiver (Fig. 12.38-a), mova o telescópio com os parafusos de movimentos lentos (da montagem), desviando a estrela do centro do campo *para o lado* em que o disco escuro está descentrado, levando-a até quase ao bordo do campo (Fig. 12.38-b). Atuando só nos parafusos de colimação do secundário, um de cada vez, leve a estrela de novo para o centro (Fig. 12.38-c). A colimação deverá melhorar, observando-se menor descentragem da figura desfocada.

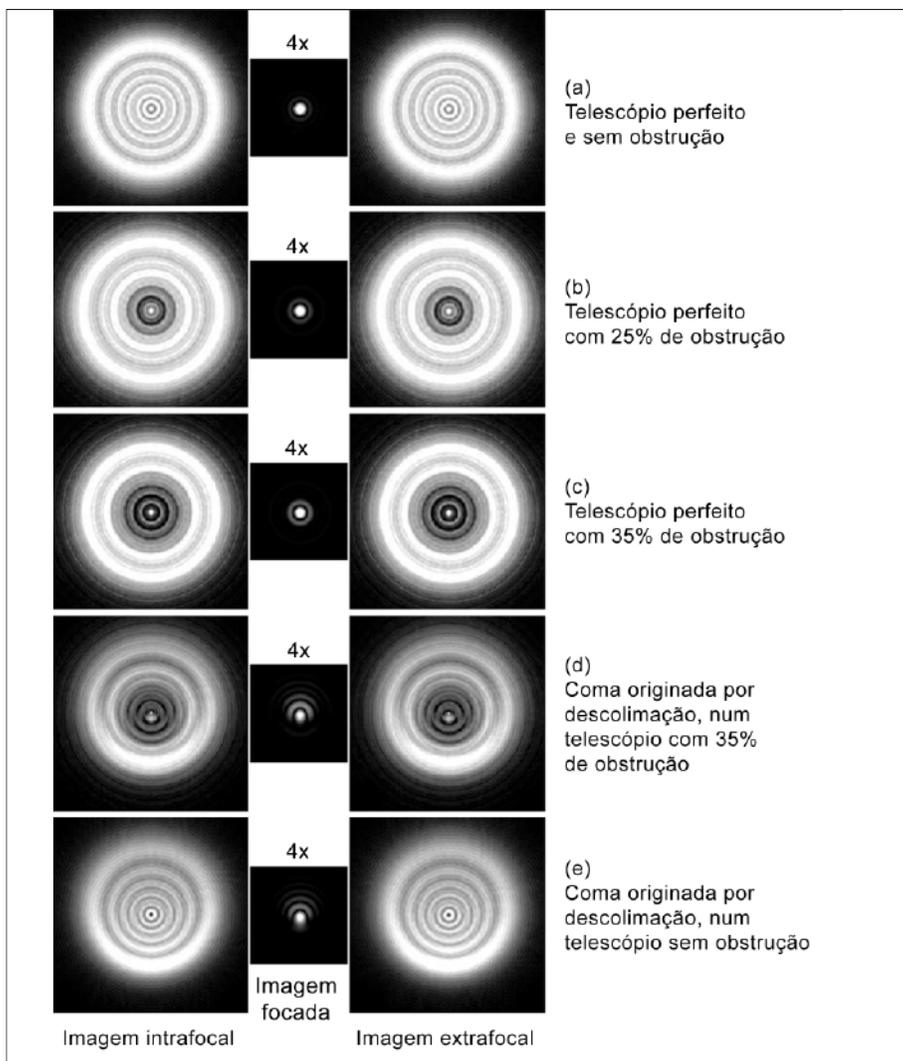


Fig. 13.5. Ilustração dos aspetos observáveis em telescópios perfeitos e colimados em condições de turbulência insignificante ou nula (a), (b) e (c). Em (d) e (e) mostra-se a coma originada por descolimação. Estas figuras constituem uma referência de comparação útil para apreciar os casos em que há deficiências instrumentais. Figura obtida com o programa *Aberrator 2.5*. Guilherme de Almeida (2003).

Teste 10 — Bordo abatido

Se a superfície das regiões marginais do espelho (ou da lente) estiver abaixo do nível que devia, diz-se que o componente ótico em questão apresenta bordo abatido. Normalmente esta deficiência deve-se à rotação excessiva dos componentes óticos durante a abrasão inerente ao seu fabrico. Quando é significativo, o bordo abatido diminui o contraste e degrada consideravelmente as imagens dadas pelo telescópio.

Cálculo da distância focal equivalente

Em geral, pretende-se que a imagem projetada do Sol tenha um diâmetro de 10 a 25 cm. O diâmetro desta imagem é proporcional à distância focal *equivalente* de todo o sistema ótico utilizado, sabendo-se que o diâmetro aparente do Sol varia entre os 31,5' (quando a Terra se encontra no afélio) e os 32,2' no periélio, ou seja, um diâmetro aparente aproximado da ordem de 0,5°. O diâmetro aparente do Sol tem o maior valor no periélio (por volta de 7 de janeiro) e o menor no afélio (por volta de 7 de julho de cada ano). Conclui-se assim que, para obter imagens de tamanho apreciável, o sistema objetiva + ocular irá ter uma distância focal equivalente de vários metros.

Devido à projeção por meio da ocular, a imagem primária, formada no plano focal da objetiva, é amplificada por um fator A_1 (amplificação da projeção por ocular) que se calcula utilizando a equação

$$A_1 = \frac{b}{f_{oc}} - 1$$

onde b é a distância entre a ocular e o ecrã (medida até ao ponto médio da espessura de vidro da ocular) e f_{oc} é a distância focal da ocular (Fig. 14.4). A distância focal equivalente do sistema objetiva + ocular (f_{equiv}) é, portanto, a distância focal da objetiva multiplicada pela amplificação dada pela projeção: $f_{equiv} = f \times A_1$, ou seja,

$$f_{equiv} = f \left(\frac{b}{f_{oc}} - 1 \right), \text{ onde } f \text{ é a distância focal do telescópio.}$$

Exemplo de aplicação: um telescópio com 900 mm de distância focal, utilizando uma ocular de 20 mm para a projeção, com o ecrã a 40 cm (400 mm) da ocular, produz uma distância focal equivalente

$$f_{equiv} = 900 \left(\frac{400}{20} - 1 \right) = 900 \times 19 = 17\,100 \text{ mm}$$

Neste caso, a distância focal *equivalente* do conjunto objetiva + ocular, em projeção, é de 17,1 m. A relação focal global deste conjunto será f_{equiv}/D , onde D representa a abertura do telescópio).

Cálculo do diâmetro da imagem solar projetada

A imagem projetada no ecrã tem as dimensões correspondentes à distância focal equivalente de todo o sistema. Retomando o exemplo anterior, e sabida a distância focal equivalente (17100 mm), o diâmetro (s) da imagem solar pode calcular-se pela fórmula prática simples

$$s = \frac{f\theta}{3438}'$$