

Abordando o ensino de óptica através da construção de telescópios

(*Optics teaching through telescope construction*)

Tamara O. Bernardes, Rafael R. Barbosa, Gustavo Iachel, Augusto Batagin Neto,
Marco A.L. Pinheiro e Rosa M. Fernandes Scalvi¹

Departamento de Física, Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, SP, Brasil
Recebido em 17/10/2005; Revisado em 7/4/2006; Aceito em 18/5/2006

A proposta deste trabalho é a construção artesanal de um telescópio refletor do tipo Newtoniano relacionando conteúdos abordados na disciplina de óptica, como a formação de imagens em lentes e espelhos, aberrações esféricas e cromáticas, interferência e difração, com cada fase do processo de construção. Com o aparelho construído é possível abordar a fotografia lunar e planetária com alta resolução e sua utilização por alunos do curso de Licenciatura em Física já demonstra ser um grande incentivo à contemplação do céu e à compreensão de muitos fenômenos físicos, com ocorrências de eclipses, formação das marés, estações do ano, etc, que geralmente são pouco abordados nas escolas de Ensino Fundamental e Médio. De acordo com diagnóstico realizado pelos alunos de graduação em algumas escolas do município de Bauru, verificou-se que a única abordagem de astronomia é apenas em relação ao sistema solar, especificamente órbitas planetárias, nas disciplinas de Física ou Geografia. Além do telescópio, a utilização de animações produzidas por alunos de graduação também pode ser considerada como uma ferramenta eficiente no ensino de astronomia, principalmente para alunos de Ensino Fundamental.

Palavras-chave: astronomia, telescópios, ensino de Física.

The scope of this work is the manufacturing of reflective telescope of Newtonian type, relating issues treated in optics classes, such as image formation, chromatic and spherical aberrations, interference and diffraction, with each step of the building process. The built equipment allows analyzing lunar and planetary photography with high resolution, and its use by high school students gives a great motivation to sky contemplation, as well as the understanding of several physical phenomena, generally poorly treated in public schools. Besides the telescope itself, the software produced by undergraduate students has also been used as an efficient tool in astronomy teaching, mainly to first-level students.

Keywords: astronomy, telescopes, optics teaching.

1. Introdução

Compreender os fenômenos celestes descobrindo a razão pela qual se realizam e a maneira como o fazem tem sido objeto de interesse do homem desde as mais antigas civilizações. Os pastores, por exemplo, passaram grande parte do tempo observando a infundável mutação que acontece no céu e até hoje as histórias acerca das figuras imaginárias celestes são relatadas e despertam interesses. É possível dizer que o estudo dos astros constitui uma das mais antigas atividades científicas do homem e, especificamente no Brasil, a história da astronomia remonta a algum tempo antes da chegada dos colonizadores ao país [1, 2, 3]; pois embora os primeiros registros de observações datam de 1500, as origens da astronomia brasileira devem ser buscadas entre as tribos indígenas que já existiam naquela época e que, provavelmente, possuíam alguns conhecimentos astronômicos [1]. O

estudo da Astronomia pode ser iniciado pela observação do céu a vista desarmada, começando com o reconhecimento deste, e posteriormente utilizando instrumentos astronômicos como binóculos, lunetas e telescópios. O telescópio, embora existam controvérsias, tem pelo menos 400 anos de história, e nela muito colaborou para o desenvolvimento tecnológico da humanidade [4]. Apesar de todos os avanços e obtenção de aparelhos cada vez mais poderosos, a astronomia talvez seja a única ciência em que astrônomos amadores, com seus pequenos telescópios, contribuem significativamente com dados e informações para a comunidade científica profissional [3].

Neste contexto, é fácil verificar que a astronomia é uma das áreas que mais atrai a atenção e desperta a curiosidade dos estudantes, desde os primeiros anos escolares até sua formação nos cursos de graduação, abrangendo todas as áreas, principalmente de Física.

¹E-mail: rosama@fc.unesp.br.

Entretanto, estudos recentes mostram que o ensino de astronomia nas escolas de Ensino Fundamental e Médio encontra diversos problemas que necessitam serem analisados visando, principalmente, a melhoria da qualificação dos docentes que o ministram [3]. Assim utilizar-se da construção de telescópios como ferramenta no ensino de Física pode ser bem eficiente, uma vez que desta maneira os alunos conseguem entender melhor como funciona o aparelho e o que se pode fazer com este, e relacionar isto com as observações, logo ao estudo da astronomia. Portanto, este trabalho pretende proporcionar aos alunos do curso de Licenciatura em Física, conhecimento prático e teórico na área de observações astronômicas através da construção e utilização de telescópios refletores [5], dando ênfase à compreensão de fenômenos físicos abordados em sala de aula e que podem ser relacionados com as etapas de construção dos aparelhos. Pretendemos com isto motivar os alunos de Licenciatura a refletir e discutir acerca dos fenômenos físicos relacionados principalmente a óptica, através do estudo de astronomia, colaborando assim no atendimento de pesquisas que retratam a deficiência no ensino nesta área.

2. Construção dos telescópios: Materiais e métodos

Na fase de construção do aparelho é preciso considerar que o objetivo da observação deve levar em conta qual instrumento se utiliza e, por isso, o conhecimento de algumas características do instrumento, permite avaliar o que poderá se observar. As principais características de um telescópio são [4]: campo, aumento, luminosidade, magnitude e poder separador. Um exemplo é um aparelho que capta pouca luminosidade, e, portanto adequado para observar objetos mais luminosos como as estrelas; ou o inverso que serviria para observar planetas [5]. A construção de um telescópio envolve conceitos tanto de Física quanto de Astronomia, que podem ser explorados em níveis específicos, dependendo a quem são destinados. Para que se entenda cada uma das características do aparelho que irá ser construído, é necessário que se tenha um conhecimento básico em Astronomia abrangendo, por exemplo, a astronomia de posição; classificação dos corpos celestes (estrelas, galáxias, planetas, nebulosas, etc); identificação dos corpos celestes com seus respectivos movimentos em relação a Terra; magnitude (do corpo celeste), luminosidade, etc. Um desenho esquemático de um telescópio refletor é mostrado na Fig. 1.

No esquema da Fig. 1, P representa o espelho primário que deve ser côncavo, S representa o espelho secundário que deve ser plano, F é o foco do espelho primário e Oc é a lente ocular onde se observa a imagem.

O trabalho de construção do telescópio pelos alunos do Curso de Licenciatura em Física da Unesp-Bauru, pode ser dividido nas seguintes etapas:

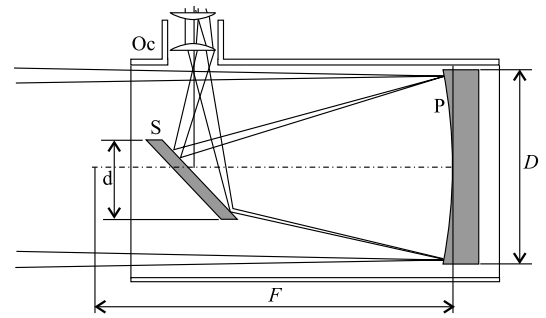


Figura 1 - Esquema de um telescópio Newtoniano [6].

1) Corte de dois blocos de vidro no formato circular, com diâmetro aproximado de 20 cm, sendo que um dos vidros possui espessura de 10 mm e outro vidro possui espessura de 20 mm. O bloco de vidro mais espesso dá origem ao espelho primário do telescópio e o bloco menos espesso é utilizado como ferramenta no trabalho de construção. Os vidros foram adquiridos no formato quadrado e cortados através de uma máquina projetada com materiais de baixo custo (sucatas), tomando o cuidado para que se tenha o mínimo possível de tensões internas nos vidros que poderiam interferir na qualidade óptica do aparelho obtido. A Fig. 2 mostra a máquina de corte, que pode ser utilizada para obter vidros com diversos diâmetros, e um dos blocos de vidro cortado já no formato circular.

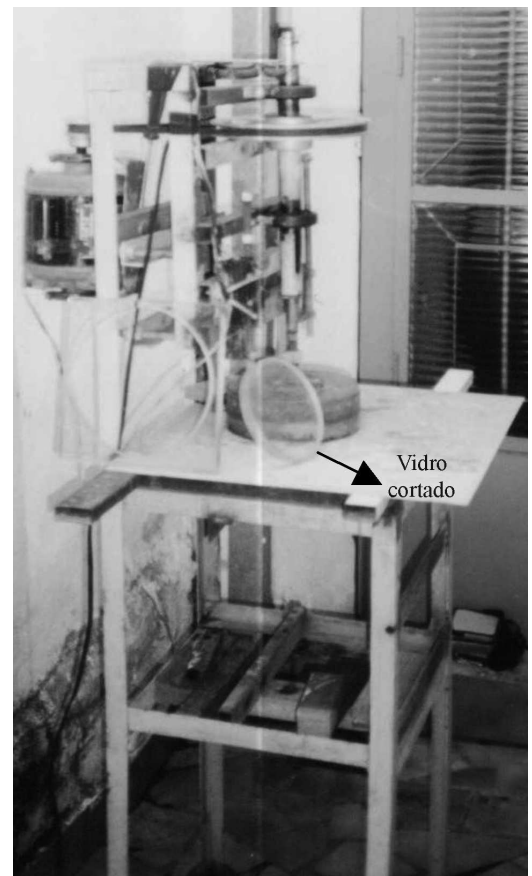


Figura 2 - Máquina utilizada no corte dos vidros com diâmetro aproximado de 20 cm.

2) Esmerilhamento dos vidros utilizando o abrasivo carborundum de granas 60, 80, 180, 500, 1000 e 2000, respectivamente, iniciando com a mais grossa e finalizando com a mais fina. Este processo é realizado com movimentos adequados de vaivém e rotação dos vidros, circulando em torno de um suporte, construído de acordo com a estatura de quem irá trabalhar, com o vidro mais espesso colocado sobre o mais fino [7].

3) Polimento dos vidros com óxido de ferro de boa qualidade. A etapa de polimento é feita com os mesmos movimentos da etapa anterior, entretanto o vidro é colocado sobre uma “torta” que pode ser feita de breu e que possui sulcos quadriculados. Nas Figs. 3 e 4 são mostradas as etapas de esmerilhamento e polimento dos vidros.

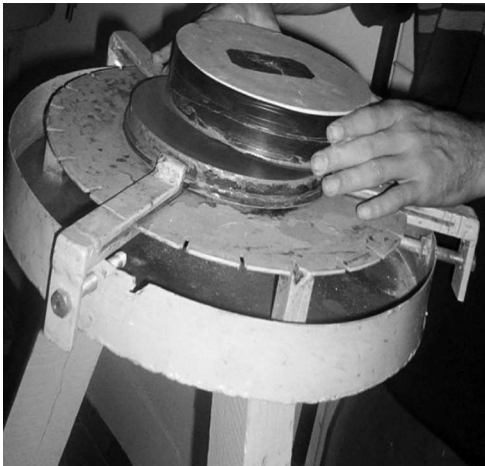


Figura 3 - Vidro sobre a ferramenta no processo de esmerilhamento.



Figura 4 - Vidro sobre “torta” de breu no processo de polimento.

Para analisar a qualidade óptica do aparelho construído é preciso entender como é o seu funcionamento, pois isso envolve conceitos de óptica, tais como reflexão, refração e difração, uma vez que a luz passa por reflexões nos espelhos primário e secundário antes de chegar ao observador. Assim, fenômenos como a reflexão

de raios paraxiais provenientes de objetos muito distantes, podem ser abordados já na fase de esmerilhamento do espelho primário, uma vez que o vidro, inicialmente plano, deve ser trabalhado até que sua superfície se torne esférica. Essa etapa envolve medidas sistemáticas da curvatura desse espelho que definirá sua distância focal [8].

4) Correção da parabolização do vidro. Quando raios provenientes de uma fonte distante incidem em um espelho esférico de médio porte causam aberração esférica e, por isso a parabolização deve ser realizada, para que a superfície do espelho tenha uma forma capaz de refletir todos os raios que incidem quase paralelos a esta, em um único ponto, que é o foco. No processo de construção dos telescópios, a parabolização é a fase mais trabalhosa e importante, pois determinará a qualidade óptica do espelho primário, que por sua vez definirá a precisão do telescópio construído. Para avaliar a superfície do espelho utiliza-se o método de Foucault, que mostra como está a superfície do espelho em construção em relação à teórica [7]. A Fig. 5 mostra o dispositivo de Foucault construído neste trabalho para se analisar a superfície do vidro.

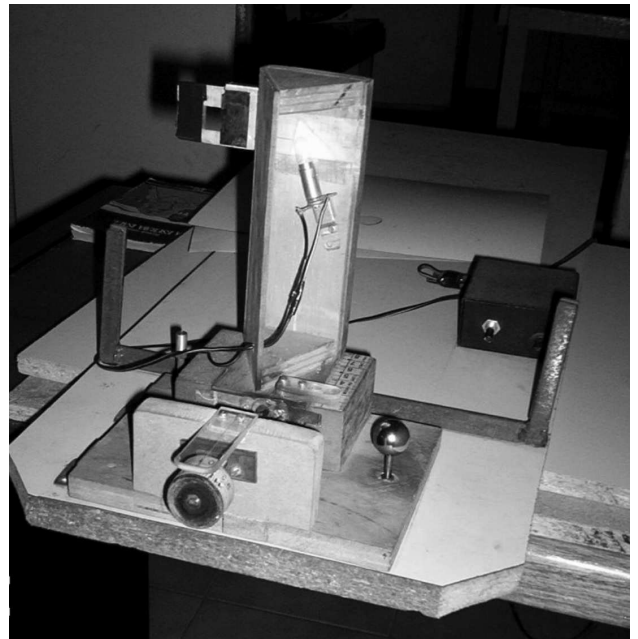


Figura 5 - Dispositivo de Foucault utilizado na análise da superfície no processo de parabolização do espelho primário.

Neste método, o espelho deve ser visto como um conjunto de espelhos esféricos, cada qual com seu respectivo foco. Desta maneira a superfície do espelho deve ser trabalhada com determinados movimentos para que se aproxime da teórica [7,9,10], conforme é ilustrado na Fig. 6. A distância máxima entre as superfícies é dada por:

$$\varepsilon = \frac{D}{1024m^3},$$

onde m é a relação F/D do espelho principal, sendo F o foco e D o diâmetro desse espelho.

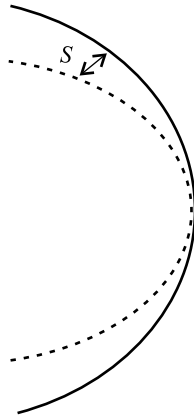


Figura 6 - Parábola de referência (pontilhada) e exemplo de curva prática [7].

A qualidade óptica do aparelho depende de cada um dos componentes ópticos, e o espelho principal (ou primário) é o que tem maior influência para que se tenha um bom instrumento. Assim, o conhecimento quantitativo do erro máximo permite estabelecer se o espelho está dentro do critério de Rayleigh [7,8] e podendo então ser considerado opticamente perfeito, produzindo uma imagem perfeita de uma estrela, por exemplo. Para que isso ocorra, o valor de ε não pode ser superior a $\lambda/8$, sendo λ o comprimento de onda médio da cor amarela ($\approx 0,56 \mu\text{m}$).

Outro fator importante que deve ser considerado quando se realiza a parabolização é a temperatura do ambiente em que se trabalha, pois existe sensível influência desta no vidro comum que faz com que este se comprima ou dilate modificando a superfície do espelho e, portanto, as leituras no método de Foucault.

5) Deposição da camada refletora sobre os vidros, obtendo o espelho primário do aparelho. Neste trabalho, esta etapa foi realizada por empresa especializada.

6) Confeção da lente ocular. As lentes oculares podem apresentar várias aberrações, e como é utilizada apenas uma lente ocular no telescópio refletor, esta pode possuir uma aberração cromática que pode ser corrigida com outras lentes que minimizem o defeito [1]. Nesta fase da construção é abordada a formação de imagens em sistemas de lentes, onde cada uma tem uma função específica, por exemplo, uma que corrija aberração cromática, outra que corrija aberração esférica e uma que aumente o campo de visão [5].

7) confecção do espelho secundário. O espelho secundário também interfere na observação caso não esteja plano, pois se a superfície do espelho apresentar rugosidade da ordem do comprimento de luz que incide no espelho, os raios luz que chegarão ao observador estarão defasados, pois percorrem caminhos diferentes, alterando a imagem, causando aberrações na imagem obtida. Na análise da superfície do espelho secundário

é possível abordar o fenômeno de interferência através da observação das franjas que devem ser completamente paralelas, garantindo uma superfície plana para esse espelho [10].

8) Alinhamento óptico do aparelho, montado em um tubo de *pvc*. Após a construção dos dispositivos ópticos necessários, ou seja, espelhos e lentes, o alinhamento do aparelho pode ser abordado dando ênfase em como ocorre a formação da imagem do objeto que se quer observar.

9) Montagem do tripé. A montagem utilizada foi do tipo Dobsoniana [6], a qual é de fácil locomoção. O tripé possui dois ajustes finos que permitem o movimento do tubo sob as coordenadas alto-azimutal.

Assim, para que a observação não seja prejudicada, o espelho primário do telescópio deve ser parabólico e estar de acordo com critérios teóricos e também os outros componentes do telescópio devem ser devidamente analisados para que a imagem formada não apresente aberrações. Dentre as fases descritas anteriormente, a confecção do espelho primário é a que necessita de mais precisão e tempo de trabalho e que definirá a qualidade do telescópio construído.

3. III. Resultados obtidos

A Fig. 7 mostra o primeiro aparelho construído que possui relação $F/D = 7,1$.

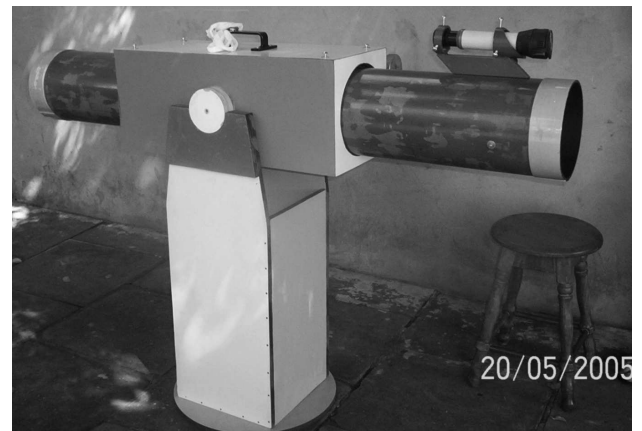


Figura 7 - Telescópio Newtoniano construído pelos alunos de Licenciatura em Física.

As características do telescópio construído são apresentadas na Tabela 1. Nesta tabela o Poder de Ampliação do aparelho, chamado Aumento (A), é representado pela relação entre o foco do espelho principal (F_T) e o foco da ocular utilizada (F_0); a Luminosidade ($L = D^2/0,36$), significa quantas vezes mais o aparelho consegue captar luz em relação ao olho humano; a Magnitude limite (M), é a magnitude da estrela menos luminosa que o aparelho consegue captar e o Poder separador (P_S), é a capacidade do telescópio em separar pontos luminosos, como por exemplo, estrelas duplas.

Tabela 1 - Características do telescópio Newtoniano construído manualmente.

Característica	Valor
Diâmetro do espelho (D)	19 cm
Aumento (A)	285 (vezes)
Aumento máximo (A_M)	456 (vezes)
Luminosidade (L)	1.002,78
Magnitude limite (M)	12,40
Poder separador (P_S)	1.26"

Estas características determinam o que se pode observar com o aparelho e, nesse caso, o telescópio construído é próprio para observação de galáxias, sistemas binários (estrelas duplas), superfície lunar, luas de Júpiter, anéis de Saturno, aglomerados, etc; e também está adequado para a astrofotografia, conforme é mostrado na Fig. 8.



Figura 8 - Foto da Lua obtida com o telescópio construído.

O espelho primário é o que tem maior influência na qualidade do telescópio construído e alguns problemas que poderiam interferir nas observações realizadas seriam, por exemplo, um espelho não parabólico (com vários focos) que resultaria numa imagem com pouca nitidez ou ainda um espelho com falta de polimento (levemente fosco) que resultaria uma imagem menos luminosa do que o aparelho poderia captar. Cada corpo celeste conhecido tem suas características bem definidas e que podem ser relacionadas quando observados e, através das observações já realizadas com o telescópio construído, foi verificado que embora as imagens obtidas sejam bastante nítidas e com excelente luminosidade, estas apresentam fracas aberrações cromáticas, relacionadas a qualidade da lente ocular e, portanto, novas oculares estão sendo construídas. Além disso, a imagem mostrada na Fig. 7 foi obtida utilizando câmera digital e a obtenção de fotografias utilizando câmeras com ajuste de tempo de exposição acoplada a um tripé adequado será realizada em breve.

Além de abordar o ensino de Física através da construção de telescópios, este trabalho deu origem a formação de um Grupo de Estudos de Astronomia, composto por alunos do curso de Licenciatura

em Física e também de outros cursos de graduação, além de professores do Departamento de Física, que se reúnem semanalmente para discutir temas como astronomia de posição, construção de telescópios, sistema solar, estrelas e galáxias, modelos astronômicos e fases da lua, entre outros. Através do trabalho do grupo, a produção de softwares contendo animações sobre o sistema solar, características dos planetas e eclipses também têm sido desenvolvidas. O material obtido é utilizado junto aos alunos do Ensino Fundamental, despertando a curiosidade e motivando o aprendizado de fenômenos físicos. Os temas discutidos no Grupo, as animações e as etapas de construção do telescópio encontram-se disponíveis no endereço eletrônico <http://www.dfisica.fc.unesp.br/grupodeastronomia>.

Atualmente, outros telescópios com relação F/D diferentes estão sendo construídos e, além disso, está em fase inicial de construção um telescópio refletor do tipo *Cassegrain* que, por ter menor porte, será mais eficiente na utilização nas escolas de Ensino Médio e Fundamental.

4. Conclusões

Os conceitos envolvidos na construção de telescópios podem ser utilizados no ensino de Física de maneiras específicas. Por exemplo: “como funciona” o telescópio utilizando conceitos de reflexão em espelhos planos e esféricos e refração da luz em lente, podem ser explorados em séries do Ensino Médio; conceitos de interferência podem ser explorados em nível de graduação durante a obtenção do espelho secundário; ‘o que é’ e como se utiliza um telescópio, podem ser explorados em todos os níveis (incluindo as primeiras séries do Ensino Fundamental). Assim, a construção de telescópios e o ensino de Astronomia, conseqüentemente de Física, são conhecimentos recíprocos, pois ao se construir um telescópio utilizam-se conceitos de Física e de Astronomia e ao se ensinar Astronomia e Física pode-se remeter a construção de telescópios.

A execução deste trabalho é voltada inteiramente para um esforço crescente efetuado em favor do ensino da Astronomia, desde as séries iniciais do Ensino Fundamental até os anos finais de curso de graduação de formação de professores, principalmente de Física, contemplando não só a fundamentação teórica para isso, mas também a prática observacional, utilizando instrumentos ópticos, como os telescópios construídos, binóculos e também observações a olho nu, adquirindo, por exemplo, noções de localização no espaço, constelações da época, etc. Com isso, este trabalho dará origem a uma exploração contínua do tema, pois a construção do telescópio, a confecção de material didático para sua construção e o atendimento ao público dado pelo Grupo de Estudos em Astronomia da Unesp - Bauru, são etapas que deverão seguir, gerando outros trabalhos e que deverão intensificar o ensino de Astro-

nomia no município de Bauru.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Dr. João José Caluzi do Departamento de Física da Unesp-Bauru e ao Sr. Leonel José Andriatto (construtor amador de telescópios). T.O. Bernardes e G. Iachel agradecem a Fapesp pela bolsa de IC. O trabalho recebeu apoio financeiro da Fundunesp e Proex - Unesp.

Referências

- [1] F. Alarsa, R.P. Faria, A.P. Pimenta, L.A.A. Marinho, R.S. Oliveira e W.T. Cardoso, *Fundamentos de Astronomia* (Papipurs Livraria e Editora, Campinas, 2001), 6^a ed.
- [2] C.A. Reichen, *História da Astronomia* (Editions Rencontre and Erik Nitsche International, Lausanne, 1966).
- [3] R. Langhi, *Um Estudo Exploratório para a Inserção da Astronomia na Formação de Professores dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental*. Dissertação de Mestrado, Unesp, Bauru, 2004.
- [4] R.R.F. Mourão, *Manual do Astrônomo* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2001), 5^a ed.
- [5] J. Nicolini, *Manual do Astrônomo Amador*, (Papirus Livraria e Editora, Campinas, 2000), 3^a ed.
- [6] <http://astro1.phys.uniroma1.it/nesci/lezlab3/foto/lez1/newtonr.png>.
- [7] J. Scherman e A.H. Viola, *Construccion de Telescopios - Manual del Aficionado* (Asociacion Argentina de Astronomia, Buenos Aires, 1960).
- [8] F.W. Sears, M.W. Zemansky e H.D. Young, *Física IV* (Addison Wesley, São Paulo, 2003), 10^a ed.
- [9] R.H. Suiter, *Star Testing Astronomical Telescopes - A Manual for Optical Evaluation and Adjustment* (Wilman-Bell, Inc, Richmond, 1995).
- [10] M. Garcia, *Como Construir um Telescópio* (Editora Presença Ltda, Lisboa, 1980).