

CONSTRUÇÃO DE UMA LUNETAS DE ALTA QUALIDADE E BAIXO CUSTO

*Alberto Silva Betzler¹
Dourival Edgar dos Santos Junior²*

RESUMO – Tem sido discutido, em vários segmentos de nossa sociedade, a necessidade de se fornecer aos alunos do ensino fundamental e médio uma visão mais realística e agradável da ciência. Uma das maneiras deste objetivo ser alcançado é através da realização de experimentos didáticos. Esta iniciativa encontra problemas práticos como o alto custo que instrumentos científicos industrializados possuem. Uma alternativa é a construção destes equipamentos com materiais simples e baratos, como sucata doméstica. Dentro deste contexto, é proposto um projeto para a construção de um telescópio refrator (luneta) usando lentes de fotocopiadoras antigas. Características mecânicas e ópticas dos telescópios são também apresentadas, servindo como referência para discussões sobre os processos envolvidos no funcionamento deste instrumento e para a escolha do telescópio adequado para projetos mais elaborados, como um observatório astronômico escolar.

Palavras-chaves: Astronomia, telescópios; equipamento.

ABSTRACT – It has been well discussed in a variety of instances in our society the need to give to middle and elementary school 's students a more realistic and pleasant view of the scientific inquire. An alternative to reach this goal is the development of didactic experiments. However, a practical limitation of this alternative is the high cost associated to industrialized scientific instruments. Consequently, the development of scientific equipments using cheap and simple materials, including domestic junks, is the answer. In this context, this work presents a project to build a refractor telescope using out of model photocopier's lenses. Mechanical and optical characteristics of the telescope are presented to provide elements for discussion about the processes involved with this instrument, besides helping to better choose an adequate telescope to be used in an astronomic school observatory.

Keywords: Astronomy; telescopes; equipments.

¹ Mestre em Engenharia Elétrica. Professor da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador e da Faculdade Área 1. E –mail: betzler.ssa@ftc.br

² Doutor em Astronomia. Professor da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador e da Faculdade Área 1. E –mail: desjbahiano@yahoo.com

1 Introdução

Grande parte da ciência moderna foi construída a partir de observações de fenômenos corriqueiros e uma posterior modelagem teórica (ZARU, BORCHART; MORAES, 1982). Exemplos clássicos desta tendência foram os estudos da cinemática de corpos por Galileu e as observações de Malus da polarização da luz refletida pelas janelas do Castelo de Luxemburgo (França). A ausência da prática experimental pode induzir aos alunos uma falta de correlação entre os princípios e modelagens usados em física com a realidade do mundo cotidiano. Esta conclusão equivocada é extremamente nociva e colabora com o próprio questionamento da utilidade do ensino de disciplinas como física, por parte dos alunos e de autoridades pouco esclarecidas.

Uma forma de estimular os alunos a compreender a conexão intrínseca entre os fenômenos físicos estudados e realidade do dia a dia é a realização de experimentos didáticos. No Brasil, este conceito tem sido empregado em iniciativas como a Estação Ciência da USP, Casa da Ciência da UFRJ, Museu de Astronomia do Rio de Janeiro, dentre outras.

Dentre as ciências estudadas no ensino fundamental e médio, a Astronomia é uma das que mais despertam a atenção devido a constante divulgação pelos meios de comunicação de notícias relacionadas com o universo. A astronomia é abordada no ensino fundamental e médio nos cursos de geografia, ciências e física, com o estudo do Sistema Solar, movimentos da Terra e noções sobre a formação e organização do universo. Para tornar o ensino de Astronomia mais atraente, uma idéia seria realizar observações dos objetos estudados em aula. Para isto, é necessária a utilização de um telescópio e neste caso, algumas dúvidas poderiam surgir tais como: “qual telescópio se deve utilizar?”; “Quanto este instrumento custaria?” As respostas dependem muito dos recursos financeiros disponíveis e o que se deseja observar. Um telescópio refletor newtoniano com objetiva de 10 a 15cm de diâmetro (abertura) pode ser adquirido, entre os fabricantes nacionais e estrangeiros, por algo entre R\$1000,00 a R\$ 1500,00. Um tanto caro dado à realidade do ensino público. Com um instrumento deste porte, é possível visualizar a "Divisão de Cassini", nos anéis de Saturno; faixas atmosféricas em Júpiter, centenas de aglomerados abertos e globulares; algumas galáxias brilhantes, etc. Uma opção mais barata pode ser uma telescópio refrator (luneta) de 6cm, que é facilmente encontrada no mercado em torno de R\$ 600,00. Telescópios com aberturas da ordem de 6cm são considerados como um primeiro instrumento para ser utilizado por observadores sem muita experiência por serem compactos e de fácil manuseio. Com esta luneta, uma série de objetos

astronômicos pode ser observada, evidentemente de forma mais limitada que com um telescópio de maior abertura. Construir este telescópio, por menos de R\$ 100,00 além de fornecer informações sobre o funcionamento e uso de telescópios, são os objetivos deste artigo.

Devido a limitações editoriais, todas as imagens deste artigo estão disponíveis no arquivo on-line http://www.geocities.com/alberto_betzler/artigo_luneta/Figuras.htm

2 Características Gerais de Telescópios Astronômicos

Antes das etapas propriamente ditas da construção da luneta, características importantes de telescópios astronômicos são apresentadas. A compreensão destas são fundamentais para um uso realístico do instrumento a ser construído, além de fornecer subsídios básicos para discussões sobre princípios científicos envolvidos no funcionamento do telescópio.

2.1 Sistemas ópticos

2.1.1 Refrator

Este sistema óptico, utilizado no primeiro telescópio astronômico construído por Galileu em 1609, emprega uma lente objetiva em uma das extremidades de um tubo (Fig.1). Esta objetiva coleta a luz dos astros e a concentra na extremidade oposta do tubo onde a lente ocular é colocada.

Um refrator típico tem pouca massa, sendo assim muito portátil, e requerendo pouca manutenção visto que as partes óticas, voltadas para o interior do tubo, ficam isoladas do contato com atmosfera. Esta última característica proporciona a inexistência de correntes de ar no interior do tubo, ocasionando uma imagem de melhor qualidade se comparada com refletores de mesmo porte (STROBEL, 2001)

Para que um telescópio deste tipo possa atingir seu potencial total, todos os elementos ópticos necessitam ser alinhados corretamente. Isto é chamado de colimação (VALLELI, 1988). Um refrator de qualidade sairá da fábrica com colimação próxima da perfeita e provavelmente nunca necessitará de ajustes por parte de seu proprietário. A falha principal que pode afetar o sistema é aberração cromática. Os comprimentos de onda da luz, incidentes em uma lente, se dispersam em ângulos variados de modo que estes não se concentram em um mesmo ponto (foco). Como consequência, se poderão visualizar halos coloridos em torno de objetos brilhantes, em observações

com refratores de baixa qualidade. Para minimizar a aberração cromática, a objetiva de certos refratores são constituídas com a associação de duas (dubletos) ou mais lentes convergentes e divergentes. Estes são os refratores acromáticos. Refratores que empregam associações de lentes com vidros de índices de refração diferentes, para proporcionar a correção da aberração cromática, são chamados de apocromáticos (CHRISTEN,1981). Estes refratores apocromáticos são muito utilizados por astrônomos amadores na obtenção de fotografias dos planetas e da Lua. Entretanto, este instrumento tem em um preço elevado, devido à alta precisão requerida para confecção das lentes e pelos tipos de vidros utilizados.

Outro empecilho deste sistema é a limitação do diâmetro das objetivas devido a deformações das lentes com seu próprio peso. Esta deformação ocorre pois as lentes são apoiadas apenas nas suas periferias, o que compromete sensivelmente a qualidade de imagem. Como resultado, o número de objetos que podem ser observados é menor do que os que são visualizados com telescópios de maior abertura.

2.1.2 Refletor

Um telescópio refletor é aquele que emprega espelhos para concentrar a luz dos objetos de estudo (Fig.2). O refletor mais conhecido é o newtoniano, criado por Isaac Newton (MANSEAU, 1999), que emprega dois espelhos em seu projeto óptico. O espelho côncavo principal é colocado na extremidade oposta a da entrada de luz no tubo do telescópio. Este espelho coleta a luz e a reflete a um espelho secundário, centralmente posicionado no tubo, próximo a entrada de luz. O espelho secundário, um plano perfeito inclinado de 45 graus em relação ao eixo óptico, reflete a luz para a direção da ocular.

Os objetos de baixo brilho (grande magnitude), requerem um telescópio com pelo menos 15cm da abertura para serem adequadamente visualizados. Como os refratores de aberturas equivalentes são extremamente caros, o refletor newtoniano é muito popular entre os observadores de objetos de baixo brilho. Esta preferência é justificável pela maior facilidade de construção, pois é necessário se construir apenas uma superfície óptica e permitir o uso de grandes aberturas. Esta última característica esta ligada ao fato do espelho poder ser adequadamente apoiado para que não se deforme.

Os espelhos são suscetíveis à aberração esférica, que se constitui na incapacidade em convergir para um mesmo ponto (foco) os raios que incidam fora do eixo óptico principal. A solução para este problema é a introdução de uma Figura parabólica no espelho primário. Outras aberrações que podem ser encontradas em um refletor são a coma e o astigmatismo. A coma ocasiona que as imagens de objetos, próximas aos limites do campo de visão, se apresentem “alongadas”. O astigmatismo produz um alongamento vertical ou horizontal das imagens dos objetos, quando posição focal é variada em torno de ponto ideal. Para manter a coma e o astigmatismo a um mínimo, os refletores requerem verificações regulares em sua colimação (SINNOTT, 1991). Outra desvantagem é a presença do secundário e seus suportes que ocasiona difração da luz, resultado no efeito “estrela de natal”, fazendo com objetos brilhantes apresentem “pontas”. Um exemplo deste efeito pode ser visto no “Astronomy Picture of the Day” de 01 de dez. de 2002 (<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap021201.html>), mostrando o aglomerado estelar aberto das Plêiades.

Outro tipo de refletor é o Cassegrain (WILLEY, 1962). Este sistema óptico é muito utilizado nos catadióptricos comerciais, que usam lentes para corrigir aberrações nos espelhos principais (Fig.3).

2.1.3 Catadióptrico

O catadióptrico combina a portabilidade do refrator com o ganho de luz do refletor (Fig.4). O telescópio Schmidt-Cassegrain é o catadióptrico de uso mais popular por astrônomos amadores no exterior (MOLLISE, 2001). Seu sistema óptico utiliza uma lente de Schmidt (LAI, 1989) colocada na extremidade do tubo, por onde a luz proveniente de objetos distantes entra. Esta lente direciona os raios para direções de incidências apropriadas no espelho primário (côncavo, Figura esférica), reduzindo as aberrações esféricas, fazendo com que seja desnecessário o uso de um espelho primário com Figura parabólica. O espelho primário, colocado na parte oposta a da entrada de luz, dirige esta a um espelho secundário montado centralmente na lente corretora. Finalmente, a luz é refletida através de uma perfuração no espelho principal para a ocular e o observador. Este tipo de telescópio se vale de um tubo relativamente curto, em oposição a grande distância focal resultante devida ao efeito multiplicador do secundário, e aberturas entre 9 e 41cm nas versões comerciais. Isto resulta em um telescópio adequado para todas as propostas de observação, como a astrofotografia,

sendo mais portátil que refletores de abertura similar e serem amplamente supridos de acessórios para diversas propostas de observação.

O um dos maiores problemas que instrumentos mistos é a condensação que a lente corretora apresenta em noites úmidas

2.2 Tipos de Estrutura Mecânica (montagem)

Montagens são estruturas mecânicas que suportam os tubos ópticos dos telescópios e possibilitam que estes sejam apontados para posições específicas no céu (Fig.5). Uma montagem de telescópio, independente do tipo, executa dois movimentos em relação a um plano de referência: um movimento é paralelo ao plano fundamental e outro perpendicular a este (RÜKL, 1985). Na montagem altazimutal, os planos fundamentais o horizonte e o meridiano astronômico do lugar (plano que contém a linha N-S astronômica) e os movimentos relativos a estes são denominados de azimute e altura (CANIATO, 1978). O azimute é contado, de 0 a 360 graus, a partir da direção sul astronômica no sentido sul-oeste-norte-leste, enquanto a altura é contada de 0 a 90 graus. Com o telescópio altazimutal apontado para um astro qualquer, é necessário movimentar simultaneamente os eixos de azimute e altura para compensar o movimento terrestre. Na montagem equatorial, como o próprio nome indica, o círculo fundamental é o equador celeste. O equador celeste é a projeção do equador terrestre na esfera celeste e os movimentos relativos a este são a ascensão reta e declinação. A ascensão reta é contada em horas de zero às 24h a partir da intercessão do equador com a eclíptica (caminho aparente do Sol no céu durante o ano), em um ponto denominado vernal. A contagem da ascensão reta é feita no sentido contrário ao da rotação aparente da esfera celeste. Isso equivale dizer, no sentido direto ou sentido real (rotação terrestre).

A declinação é contada em graus de 0 a 90 graus, sendo antecedida de um sinal positivo para objetos no hemisfério norte celeste e negativo para os do sul. Para acompanhar o movimento aparente de um astro, é necessário movimentar apenas um eixo: aquele que efetua o movimento paralelo ao equador celeste. Isto se deve ao fato que as trajetórias dos objetos astronômicos seguem arcos paralelos ao equador celeste e não círculos de altura. Nos pólos, as montagens altazimutal e equatorial são equivalentes em termos de movimentos: O ângulo ϑ é igual a 90 graus. Como prerrogativa ao sistema equatorial, o eixo perpendicular ao equador (eixo polar ou horário) deverá ser apontado para o polo sul ou norte, dependendo do hemisfério onde o telescópio estiver montado.

Este eixo ainda deverá estar inclinado de um ângulo θ , que é igual à latitude geográfica do lugar da observação. Devido a esta inclinação é necessário utilizar pesos ou uma montagem mais robusta para equilibrar o telescópio, o que aumenta consideravelmente a massa e volume da estrutura. Dadas estas aparentes desvantagens, a montagem altazimutal foi utilizada no telescópio russo BTA russo de 6m (KOPYLOV; FOMENKO, 1984) com grande sucesso, servindo como referencial para a construção de instrumentos de grande porte posteriormente.

2.3 Resolução e Aumento

Quando a luz de uma fonte luminosa atravessa uma abertura circular, como a objetiva de um telescópio, se tem formação de um padrão circular com zonas claras e escuras. No centro deste padrão, gerado pela difração, ocorre um círculo brilhante. Este círculo é denominado de máximo central e é, em uma primeira aproximação, a representação de uma estrela vista em um telescópio. A separação entre duas fontes luminosas pode ser descrita pelo Critério de Rayleigh (ALONSO; FINN, 1977; RÜKL, 1985) abaixo:

$$S_R = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

$$r = \frac{120}{d} \quad (2)$$

Onde,

λ = comprimento de onda da observação (metros)

S_R = separação angular (radianos)

r = separação angular (segundos de arco)

D = diâmetro da objetiva do instrumento óptico (metros)

d = Diâmetro da objetiva do instrumento óptico (milímetros)

A equação (2), obtida a partir da equação (1), é calculada para $\lambda = 5500\text{Å}$, que corresponde, aproximadamente, ao pico de sensibilidade do olho humano.

As relações (1) e (2) fornecem a separação angular mínima entre duas fontes pontuais que um telescópio astronômico pode proporcionar ou seja, esta separação ocorrerá quando o máximo central de uma das fontes coincide com o primeiro mínimo da outra (HALLIDAY, RESNICK ; WALKER, 1985). Considerando que as observações são efetuadas dentro da atmosfera terrestre, este limite não é efetivamente atingindo. Turbulências na atmosfera superior misturam camadas de diferentes temperaturas, densidades e conteúdo de vapor de água. Com isto, o índice de refração de cada camada flutua. À frente de onda incidente no telescópio tem variações espaciais e temporais em fase e amplitude devido as mudanças no índice de refração ao longo do caminho óptico. Com este efeito, a resolução espacial do telescópio é aumentada em uma ordem de magnitude, acima do limite de difração, e intensidade do máximo central de uma fonte pontual em duas ordens de magnitude (HUBIN; NOETHE, 1993).

A grandeza que reflete a degradação espacial da imagem é denominada de "seeing" (YOUNG, 1971), podendo ser medida em segundos de arco. Em sítios de observação como Mauna Kea (Hawai, EUA) ou La Palma (Ilhas Canárias, Espanha), o "seeing" é, em muitas ocasiões, inferior a um segundo de arco (WILSON et al.,1999). No Observatório do Pico-dos-Dias (Brasópolis, Minas Gerais), esta grandeza é aproximadamente de três segundo de arco. Um valor próximo a este foi estimado por um dos autores, em setembro de 1999, na cidade do Rio de Janeiro, em observações visuais do sistema epsilon Lyrae, com um telescópio newtoniano de 30cm de abertura. Estas observações do sistema epsilon Lyrae, que é constituído por dois pares de estrelas duplas, separadas por 208" (epsilon Lyrae₁ : magnitudes 5,1 e 6,0, separação de 2,8" e epsilon Lyrae₂ : magnitudes 5,1 e 5,4, separação de 2,3") (RÜKLI, 1985), revelaram que os dois pares de duplas foram separados facilmente mas epsilon Lyrae₁ e Lyrae₂, somente se o "seeing" da ocasião fosse inferior a separação angular das mesmas.

Separações da ordem de décimos de segundo de arco ou inferiores são somente atingíveis em sítios de observação excepcionais; com telescópios dotados de dispositivos que mudam da forma do espelho de acordo com as variações do "seeing" (óptica adaptativa) ou no espaço.

Telescópios refratores e refletores newtonianos com aberturas da ordem de 10cm, são facilmente encontrados no mercado brasileiro. Normalmente, os fabricantes de alguns destes instrumentos costumam mencionar nos manuais de instruções, que estes fornecem aumentos máximos superiores a 500 vezes. Qual o significado desta grandeza? O aumento máximo possível a um instrumento óptico, como um microscópio ou telescópio, é aquele que proporciona um campo de visão (CV) igual à largura do máximo central de difração (PSSC, 1966). Valores de aumento que dêem origem a CV menores que o máximo central proporcionarão imagens sem maiores detalhes. Segundo Rühl (1985), empiricamente, o aumento máximo útil é igual ao diâmetro da objetiva em milímetros. Aplicando este conceito em um telescópio de 7cm, verifica-se que este poderá fornecer um aumento máximo útil de 70 vezes. O aumento é dado pela seguinte equação:

$$M = \frac{f}{F} \quad (3)$$

M = aumento

f = distância focal da objetiva

F = distância focal da ocular

Normalmente, a distância focal da ocular é fornecida no corpo desta e da objetiva pode ser obtida da relação entre a razão focal e o diâmetro da mesma.

2.4 Oculares

Oculares são associações de lentes que quando associadas com as objetivas dos telescópios produzem uma imagem invertida, ampliada e real. As oculares possuem uma grande variedade de tipos e distâncias focais. A escolha do tipo mais adequado esta intrinsecamente ligada ao tipo de objeto que se deseja observar, que pode ser extenso (cometas, aglomerados estelares etc.), necessitando de um grande CV, ou quase pontual (planetas), que necessitam de pequenos CV.

O CV que uma ocular fornece para um certo aumento n é dado pela relação (LEE, 1999):

$$CV = \frac{O}{M} \quad (4)$$

Onde,

CV = campo de visão (graus) fornecido pela ocular para o aumento M

O = campo aparente da ocular (graus). Campo que a ocular fornece. Esta grandeza varia com o tipo de ocular

M = aumento (adimensional)

O campo aparente da ocular pode ser da ordem de 40 graus, para oculares acromáticas modificadas, de três elementos (lentes), ou até extremos como os 85 graus, para oculares com oito elementos da série Ultra Wide Angles (MEADE INST. CORP.,1999). Para um aumento de 24x obtido com o uso de uma ocular de 10mm, com um campo aparente de 40 graus, em combinação com uma lente de fotocopiadora da luneta, proporcionaria um campo de cerca de 1,7 graus. Tal campo equivale a aproximadamente três diâmetros aparentes lunares.

2.5 Magnitude Limite e Poluição Luminosa

Se uma dada fonte distribuí igualmente em todas as direções (isotropicamente), uma dada quantidade de energia por unidade de tempo ($J/s=Watt$), verifica-se que a intensidade ($Watt/m^2$) do sinal terá uma dependência com a distância r , segundo um relação de r^{-2} . Se a uma distância qualquer da fonte, forem colocadas, duas regiões circulares A_1 e A_2 de raios R e $2R$, pode-se concluir que A_2 coletará quatro vezes mais energia por unidade de tempo do que A_1 . Estas superfícies coletoras podem ser as objetivas dos telescópios, sendo esta relação válida para todos os objetos astronômicos. Por essa razão, objetos de brilhos mais fracos podem ser observados com telescópios

de maiores aberturas. A equação que sintetiza este conceito é a da magnitude limite e tem a seguinte forma:

$$L = 7,1 + 5 \log(E) \quad (5)$$

Onde,

L = magnitude limite (usando o olho como detector)

E = diâmetro da objetiva do telescópio (cm)

Evidentemente, se for considerada a poluição luminosa e atmosférica existente em centros urbanos, a magnitude limite efetivamente atingida por um telescópio é diferente da que seria obtida da equação (5). Usando esta mesma relação, se conclui que um telescópio com 7cm de abertura, como a luneta proposta neste trabalho, possui uma magnitude limite de 11,3. Entretanto, se as observações forem efetuadas em uma grande cidade, algumas unidades de magnitude limite teórica são perdidas, limitando o número de objetos que podem ser visualizados (CINZANO et al., 2001). Um exemplo do efeito da poluição luminosa pode ser vista nas Fig. 6 e 7.

2.6 Brilho das Imagens

O brilho das imagens formadas por uma objetiva é influenciado, basicamente, por dois motivos (MCKELVEY; GROUCH, 1981):

- 1) quantidade de luz que esta lente ou espelho coleta do objeto
- 2) área sob a qual a objetiva distribui esta luz, a qual, por sua vez, depende do aumento.

Pode-se mostrar que o brilho da imagem ou intensidade da imagem total S_i formada por um telescópio é dada por

$$S_i = \frac{K''}{f'^2} \quad (6)$$

onde $f := f/D$ é denominada razão focal e K'' é uma constante.

Representa a razão entre a distância focal da objetiva e seu diâmetro. De (6) percebe-se que o brilho das imagens é inversamente proporcional ao quadrado da razão focal. Tal relação implica que objetivas com um mesmo diâmetro e razões focais diferentes, produzirão imagens com brilhos variados, de um mesmo objeto.

O aumento obtido com a combinação objetiva e ocular, pode resultar em razões focais maiores que as da objetiva. Como a intensidade tem dependência com o inverso de f'^2 , um telescópio pode produzir imagens com brilhos maiores para pequenos aumentos e menores para os grandes.

3 Construção da Luneta

3.1 A objetiva

Para a construção da luneta, será utilizado conjuntos de lentes que são encontradas em máquinas fotocopadoras antigas. Estas lentes podem ser compradas em ferros-velhos e ou desmanches especializados em equipamentos para escritório. Existem três jogos de lentes que são mais interessantes para construção do telescópio. São todos sextetos (seis lentes) com aberturas livres em torno de 7cm.

O parâmetro mais importante para montagem da luneta é a distância focal f da objetiva ou seja, onde os raios luminosos que incidem sobre a lente convergem. Na Figura. 8, é exposta uma maneira de como isso pode ser feito. Nesta Figura, o anteparo (cartolina, madeira, etc.) e o eixo óptico da lente fazem um ângulo de 90 graus. Quando o disco solar ou a imagem de outra fonte luminosa distante (o bulbo e o filamento de uma lâmpada, por exemplo) ficarem nítidos, a distância entre a superfície da lente, oposta à direção da fonte, e o anteparo deve ser medida, sendo a distância focal da objetiva.

3.2 O tripé

A estrutura mecânica da luneta vai ser altazimutal. Para construí-la é necessário de:

- a) Meia placa de madeira com dois centímetros de espessura (tamanho padrão)
- b) Três tubos de aço galvanizado de 3/4 polegada externo por 1m de comprimento 0,5m de vara rosqueda de 1/4 de polegada
- c) 8 arruelas + 4 borboletas + 4 porcas para parafusos de 1/4 de polegada
- d) Um tira de alumínio de 2cmx2cm com 1/8 de polegada de espessura
- e) 1,5m de corrente de elos de 2mm
- f) 3 pregos com 4cm de comprimento
- g) 1 parafuso cabeça de limão com 1/8 com 2cm de comprimento
- h) 2 parafusos para madeira com 1/8 com 2cm de comprimento
- i) Um tubo de alumínio redondo com 13/8 polegadas de diâmetro externo, parede de 1/8 de polegada e 4cm de comprimento (tubo 1)
- j) Um tubo de alumínio redondo com diâmetro externo de 1,5 polegadas e parede de 1/8 de polegada por 3,0cm de comprimento (tubo-2)

3.3 Os cortes na chapa de madeira

Os cortes a serem feitos na chapa são mostrados nas Figuras 9 a 12, onde os parâmetros d , L , f , l e R são definidos nas próprias Figuras ou anteriormente no texto. As quantidades de peças estão à esquerda das Figuras. À direita encontram-se os signos (A), (I), (II) etc. designando o nome da peças.

3.4 Montando a Luneta

3.4.1 Tubo

Usando as peças das Figuras 9 e 10, se pode montar o tubo do refrator conforme é mostrado na Fig. 13. As faces voltadas para o interior do tubo devem ser pintadas de preto fosco para evitar reflexões internas.

3.4.2 Focalizador da Luneta

A Figura 14 mostra as peças que compõem o focalizador. As dimensões da peças - 3 estão na Fig. 15. Para montar o focalizador, é necessário colar o tubo - 2 na peça - 3. O tubo - 2 vai penetrar a espessura da peça - 3 (2cm) de modo, que 1,0cm do tubo - 2 fiquem para fora. No tubo - 2, será feito um furo de 1/8 de polegada para acomodar um parafuso (cabeça de limão) que vai fixar o tubo - 1. Este furo deverá estar na metade do comprimento que ficou fora da peça - 3. A dimensão do furo na peça - 3 é igual ao diâmetro externo do tubo - 2.

3.4.3 Instalando a Objetiva

- 1) Escolher uma das extremidades do tubo
- 2) A objetiva deverá ser introduzida até que o comprimento l esteja totalmente dentro do tubo. A objetiva será fixa ao tubo por atrito

3.4.4 Tubo+Focalizador

Basta pregar e/ou colar o focalizador ao tubo na extremidade oposta a da objetiva.

3.4.5 Achando o Centro de Massa do Tubo

Com a objetiva e o focalizador instalados se deve proceder da maneira apresentada na Fig.16. O construtor da luneta deve colocar os dedos indicador e polegar em cada uma das faces o tubo, no meio da menor dimensão. Agora se devem deslocar os dedos, ao longo do comprimento L do tubo, no sentido indicado pelas setas, até que se atinja uma posição de equilíbrio. Esta posição de equilíbrio é o ponto onde o tubo não pende para nenhum lado. Neste ponto, em cada face, deve ser colocado um segmento da vara rosqueada de 1/4 de polegada e 4,0cm de comprimento. Este deverá penetrar algo como 0,5cm na madeira.

3.4.6 A Estrutura Mecânica

Na Fig.17 é mostrada a seqüência de instalação das peças que vão dar origem à estrutura onde o tubo da luneta fará os movimentos de altura e azimute. A primeira peça a ser colocada é o suporte do tubo (B), que são feitos a partir da chapa de alumínio da lista de material. A chapa deverá ser cortada na metade e moldada em um semicírculo com diâmetro igual a de um parafuso de 1/4 de polegada, que estão fixos nas faces externas do tubo. Um furo de 1/8 de polegada deve ser feito na metade do comprimento do semicírculo resultante da moldagem e no meio da menor dimensão de cada uma das peças (A). Após isto, se deve atarraxar um parafuso de madeira, cabeça lisa de 1/8 de polegada nos furos para conectar as peças (A) e (B).

Os discos (I) e (II) deveram ser trabalhados antes de se juntarem com o conjunto (A)+(B). No disco (I) será colada uma folha de papel *con-tact* cortado no formato deste. No disco (II), um círculo de feltro será também colado. A finalidade do feltro e do papel *con-tact* é reduzir o atrito entre os discos (I) e (II), facilitando o movimento azimutal. Após isto, deve-se fazer um furo de 1/4 de polegada nos centros dos discos (I) e (II). Por este furo, passará um segmento de vara rosqueada de 1/4 de polegada por 6,0cm de comprimento, que recebera as duas arruelas, uma porca e uma borboleta. A função deste segmento é constituir o eixo de azimute. Quando a borboleta for

atarraxada, garantira que a luneta fique parada em azimute. Por fim, podemos colar e pregar o conjunto (A)+(B) no disco (I). No disco (II) deveram ser colados seis blocos de madeira na face oposta a do feltro (Fig.18 e 19). As seis peças (C) deverão receber um furo de 1/4 em seu centro para constituir os conjuntos de duas peças mostrados na Fig.12. Os dois blocos de cada conjunto, deveram ficar separados por 3/4 de polegada + 3mm (folga para facilitar a colocação dos pés), dispostos no disco (II) em um ângulo de 120 graus. Nos pés, que são os três tubos de aço galvanizado cada um com 1,0m de comprimento, deverá ser feito um furo de 1/4 a 1 cm de sua extremidade. Após isto, um prego deverá ser moldado na forma de um anzol e soldado nos pés, na metade de seu comprimento. O conjunto (I) + (II) + (A) + (B) poderá ser conectado aos pés por meio de três segmentos da vara rosqueda de 1/4 de polegada por 11/4 de polegada de comprimento. Cada um dos três segmentos anteriores deverá receber duas arruelas, uma borboleta e uma porca.

A corrente de 1,5m deve ser separada em três segmentos de 0,5m que vão ser usados para manter os pés em uma abertura conveniente, conforme mostra a Fig.20.

4 Oculares da Luneta

Qualquer lente normal ($f \sim 50\text{mm}$) de câmara fotográfica, ocular de microscópio, etc. O focalizador da luneta tem um comprimento suficiente para o uso de oculares com distâncias focais entre 5mm e 60mm. A adaptação destas ao diâmetro do tubo -1, pode ser feita usando fita adesiva, dando-se voltas com a tira em torno do corpo da ocular ou do tubo do focalizador. O focalizador permite o uso de oculares com até 1,25 polegadas de diâmetro externo. Esta medida é um padrão das oculares comerciais disponíveis no exterior.

5 Conclusões e Perspectivas

A construção e utilização de instrumentos científicos é sem dúvida uma das atividades mais interessantes que podem ser realizadas em sala de aula. Tais atividades podem, entretanto, não lograr sucesso se não forem seguidos rigorosamente os procedimentos descritos para construção ou utilização dos dispositivos. No caso da luneta, o construtor deve estar atento à precisão das medidas dos componentes ópticos e mecânicos do projeto. Uma simples trena pode ser suficiente para tal tarefa uma vez que estas possuem como menor divisão da escala 0,1cm, apesar das eventuais

deformações que este instrumento possa sofrer. Eventuais problemas relativos à construção da luneta, não previstos neste trabalho, podem ser reportados aos autores, que se dispõem a auxiliar em sua resolução, visando um aprimoramento do projeto. Uma vez montada, a luneta, construída com a objetiva acromática de fotocopiadora, permitirá observações de alta qualidade de objetos do Sistema Solar como Vênus, Marte, Júpiter, Saturno e a Lua, permitindo aos alunos refazer as célebres observações de Galileu, que deram maiores subsídios a favor ao modelo heliocêntrico de Copérnico (ROSEN, 1943).

Apesar da pequena abertura da luneta, algumas atividades de pesquisa astronômica elementar podem ser realizadas, sendo temas de um artigo em preparação.

6 Referências

ALONSO, M.; FINN, E.J. **Física:** um curso universitário. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, Vol. II 1997. p. 477.

ANIATO, R. **O céu:** Projeto brasileiro para o ensino de física. 3. ed. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1978, p. 34. Vol. I

CINZANO, P.; Falchi, F.; ELVIDGE, C. D. **Naked-eye star visibility and limiting magnitude mapped from DMSP-OLS satellite data.** MNRAS., 2001.

CHRISTEN, R. **An Apochromatic Triplet Objective.** S&T., 1981.

HALLIDAY, D.; RESNICK R.; WALKER, J. **Fundamentos de física 4:** ótica e física moderna. Rio de Janeiro: LTC , 1985.

HUBIN, N.; NOETHE, L. **Active optics, adaptive optics, and laser guide stars.** New York: Science, 1993.

KOPYLOV, J. M ; FOMENKO, A. F. The 6-meter optical telescope of the USSR: Instrumentation and observational possibilities. In **Very large telescopes, their instrumentation**

and programs, Garching, West Germany. Proceedings of the Colloquium, (A85-36926 17-89). European Southern Observatory, 1984.

LEE, S. **Amateur telescope making**. New York: Springer, 1999.

MANSEAU, R. **Histoire et construction du premier télescope** Newton, JRASC, 93, 113M, 1999

MCKELVEY, J. P.; GROTCHE, H. **Física**. São Paulo: Harper e Row do Brasil, 1981.

MOLLISE, R.. **Choosing and using a schmidt-cassegrain telescope**: A guide to commercial SCTs and Maksutovs. New York: Springer, 2001.

PSSC (Physical Science Study Committee). **Física parte II** . 2. ed. São Paulo: Edart Livraria Editora LTDA, 1966.

ROSEN, E. NICHOLAS. **Copernicus**: the man and his work. S&T, 1943.

RÜKL, A. **Amateur Astronomer**. New York: W.H. Smith Publishers Inc., 1985.

SINNOTT, R. W. **Focus and collimation**: how Critical. S&T, 1991.

STROBEL, N. **Astronomy notes**: telescopes and type of telescopes. Disponível em <<http://www.astronomynotes.com/telescope/s2.htm>.> Acesso em: 20 jun. 2003.

VALLELI, P. **Collimating your Telescope**: Part Two, Schmidt Cassegrains, Refractors, Maksutovs, Star Diagonals. S&T, 75, 1988.

WILLEY, R. R. Jr. **Cassegrain, type telescopes**. S&T, 23, p. 191W, 1962.

WILSON, R. W.; O'MAHONY, N.; PACKHAM, C.; AZZARO, M. **The seeing at the William Herschel Telescope**. MNRAS, 1999.

ZARO, M.; Borchardt, I.; MORAES, J. **Experimentos de física básica**: eletricidade, magnetismo. Eletromagnetismo. Porto Alegre: Sagra Editora e Distribuidora, 1982.