

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN**

**F 609 - Tópicos de Ensino de Física I**

RELATÓRIO PRÉ-FINAL 01

**CONSTRUÇÃO DE UM APARATO PARA OBTENÇÃO  
DAS FIGURAS DE LISSAJOUS EM TRÊS DIMENSÕES**



Clarissa de C. Valise Fedato  
RA 008346  
clarissa.fedato x gmail.com



**Orientador:** Prof. Dr. Dirceu da Silva  
dirceuds x gmail.com  
Faculdade de Educação  
Universidade Estadual de Campinas

**Campinas / SP  
13 de novembro de 2013**

## Sumário

Introdução-----	02
1 Resultados atingidos-----	02
1.1 MHS 1 e MHS 2-----	02
1.2 MHS 3-----	03
1.3 Projetor de luz-----	06
2 Fotos do aparato-----	09
3 Dificuldade encontradas-----	09
4 Pesquisa realizada-----	10
5 Descrição-----	11
6 Declaração do orientador-----	11
Referências-----	11

## **Introdução**

Este relatório trata da execução da segunda parte do projeto, com finalização da construção do aparato para obtenção das figuras de Lissajous em 3 dimensões.

Em relatório anterior, foram apresentados os materiais adquiridos e sua organização para montagem. Em seguida, foi apresentada a montagem do sistema envolvido na formação do primeiro e do segundo movimento harmônico simples (MHS 1 e 2, respectivamente) e do cartão com a fresta a ser utilizado no terceiro MHS (MHS 3). Foi apresentada também uma descrição teórica ligada ao funcionamento do aparato, movimento harmônico simples e obtenção de figuras de Lissajous.

As tarefas previstas para esta etapa do projeto foram cumpridas, com a construção do sistema envolvido no terceiro MHS e projetor de luz colimada. Todo o equipamento funcionou como esperado, com obtenção de algumas figuras de Lissajous em três dimensões, nas razões 1:2 e 1:3.

## **1) Resultados atingidos**

### **1.1 MHS 1 e MHS 2**

O sistema envolvido na obtenção dos movimentos harmônicos simples 1 e 2, conforme explicitado no relatório parcial, precisou ser ajustado para resolver uma dificuldade encontrada relativa ao fato do diâmetro do furo do disco 1 ser maior que o diâmetro do eixo no motor 1. As fitas isolantes foram substituídas por outro material para compensar o furo do disco, de forma a permitir que este gire junto com o eixo.

O procedimento adotado foi preencher o furo do disco 1 com massa do tipo durepoxi, e, após aproximadamente 30 minutos de espera, colocar o disco em sua posição de encaixe no eixo do motor 1. Tal disco foi retirado em seguida, obtendo-se assim um furo do exato tamanho do eixo. Após espera do tempo de secagem indicado pelo fabricante, o disco foi posicionado no eixo, com um apoio em sua parte posterior para diminuir as oscilações apontadas no relatório parcial.

Outro ajuste que ocorreu foi relacionado à fixação da haste no disco 1 que, anteriormente, havia sido colada ao disco com cola de madeira. Como esta não ficou fixada durante o movimento do motor 1, precisou ser novamente colada com cola superbonder. Dessa forma, fixou-se bem ao disco 1 mesmo com rotação máxima do motor. Sua posição de colagem foi a 1,5 cm de distância da extremidade do disco.

O motor 1 passou por uma limpeza interior com álcool etílico para garantir seu

correto funcionamento, pois tratava-se de um equipamento muito antigo e com muito tempo de uso. Sua fiação foi trocada e o *dimmer* foi instalado e soldado à fiação nova. Além disso, foi pintado com tinta preta fosca.

A figura 1 mostra o motor 1 montado com o disco 1 pronto para uso.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Motor 1 em processo de pintura ((a) e (b)). Em (c), motor após manutenção e em (d), pronto para uso.

## 1.2 MHS 3

O terceiro movimento harmônico simples foi obtido através de um sistema envolvendo o motor 2 (descrito no relatório parcial), disco de madeira com diâmetro de 12 cm (disco 2) acoplado ao seu eixo, estrutura ligada ao disco 2 por meio de uma pequena haste de madeira para gerar um movimento periódico de 'vai e vem' e estruturas de madeira como guias para o movimento. A figura 2 ilustra as etapas envolvidas na montagem do sistema envolvido na geração do 3º MHS.

O *dimmer* foi instalado e soldado à fiação do motor 2 para controle da sua velocidade de rotação, conforme mostrado na figura 2 (a).

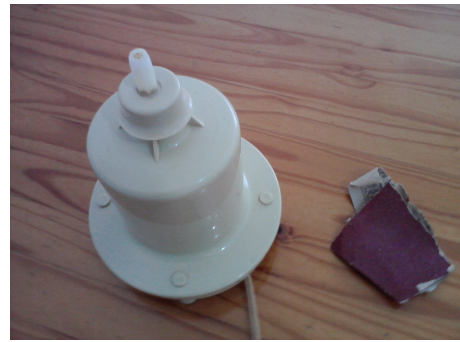
O disco 2 foi obtido de madeira do tipo MDF com 0,6 cm de espessura, cortado em marcenaria. A pequena haste de madeira foi um pequeno lápis preso à sua base, colado com cola superbonder a 1,5 cm da extremidade exterior do disco. Como o disco

tem 12 cm de diâmetro, esta posição para a pequena haste permitirá um movimento de vai e vem do cartão com 9 cm de amplitude. A figura 2 (c) mostra o disco com a haste.

O acoplamento do disco 2 ao eixo do motor 2 foi feito da seguinte forma. Como o eixo do motor era maior que o furo do disco 2, precisou ser lixado para diminuição do seu diâmetro de forma a permitir o encaixe do disco. Todo o interior do furo do disco foi preenchido com massa do tipo durepoxi e, em seguida, foi encaixado ao eixo do motor. O tempo de secagem indicado pelo fabricante foi esperado e, assim, o disco ficou bem colado ao eixo. A figura 2 (b), (d) e (e) mostram os resultados referentes à montagem do sistema motor2/disco2.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2. Montagem do motor 2 acoplado ao disco 2.

O projeto previa um sistema para o MHS 3 que precisou ser adaptado para as características do motor 2 utilizado no experimento.

A primeira adaptação foi relativa à coordenação dos movimentos a serem obtidos. Era necessário que o cartão com a fresta se movimentasse na frente do feixe de luz, em posição vertical à base. O motor 2 possui eixo que gira horizontalmente à base.

Para obter o movimento do cartão de forma adequada, inicialmente foi cortada uma estrutura em papelão conforme ilustrado na figura 3. Tal estrutura possui uma abertura de 9 cm por onde se movimentará a pequena haste do disco 2, visto que a esta é a amplitude conseguida devido à posição da haste de madeira a 1,5 cm da extremidade do disco 2.



Figura 3. Estrutura para promover o movimento periódico do cartão.

Esta estrutura de papelão foi posicionada sobre o disco 2, de forma a ficar apoiada sobre o disco e também sobre duas hastes de madeira, presas perpendicularmente em dois pequenos postes, que também serão utilizados como guias do movimento. A altura das hastes de apoio foi ajustada de forma a se igualar à altura do disco 2. A figura 4 mostra as hastes de apoio e guias (a) e a estrutura de papelão posicionada sobre o disco (b).



(a)



(b)

Figura 4. Em (a), motor 2 e guias/apoio para a estrutura de papelão. Em (b), estrutura de papelão posicionada sobre o disco e apoiada entre os guias do movimento.



As dimensões da estrutura de papelão foram obtidas de forma a permitir adequado encaixe no espaço entre guias, também de madeira, de forma a não haver folgas (o que prejudicaria o movimento em uma única direção) e, ao mesmo tempo, não ser demasiadamente justo de forma a impedir o movimento pelo atrito.

O cartão com a fresta foi cortado novamente, em papel cartão preto, para atender as necessidades relativas ao seu movimento pelo motor2. A fresta possui 2 mm de espessura e 7,5 cm de altura. A figura 5 (a) ilustra o cartão utilizado; em (b) e (c), ilustra sua fixação junto ao sistema responsável pelo 3º MHS. Guias para o movimento do cartão também foram fixados à base de madeira.

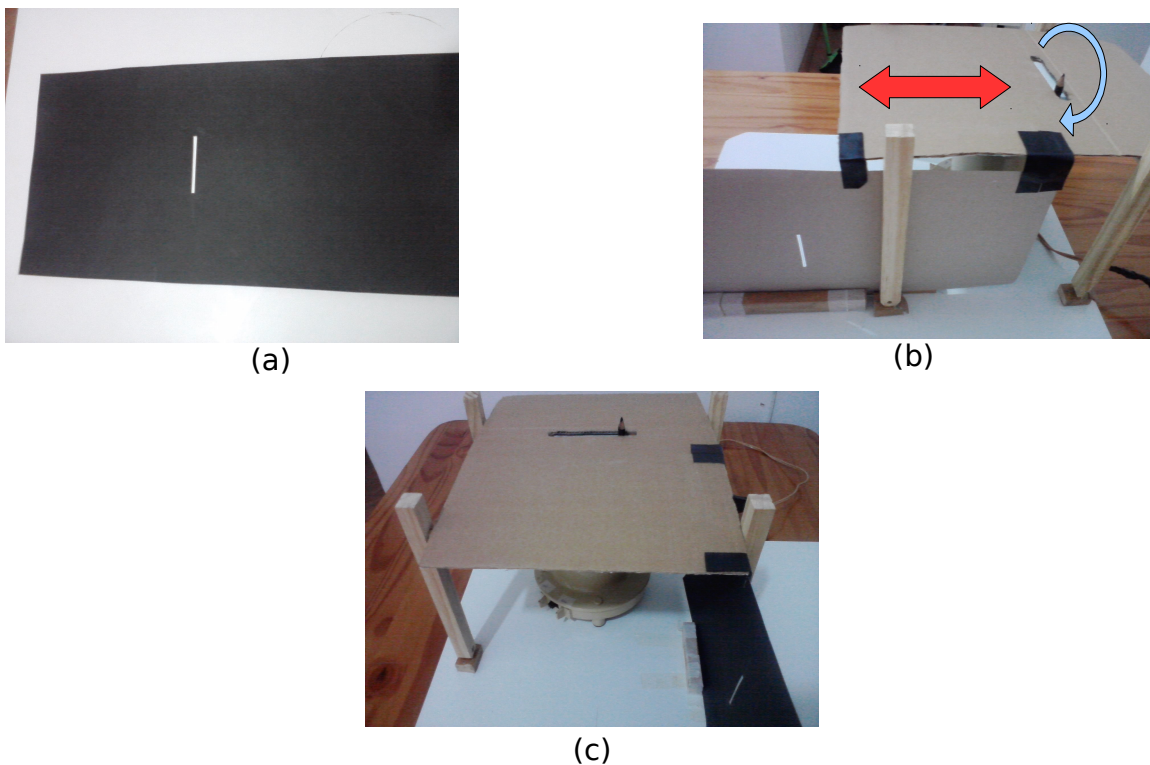


Figura 5. Ilustração do sistema montado para o 3º MHS. A seta vermelha em (b) indica o movimento conseguido com o sistema montado, à medida que o disco 2 gira junto ao eixo do motor 2.

### 1.3 Projetor de luz

O projetor de luz consiste em uma lâmpada incandescente de 100 W, encaixada no interior de um cano de PVC pintado com uma pequena abertura na saída, de forma a permitir uma colimação da luz. A abertura da saída está paralela ao filamento incandescente da lâmpada.

A figura 6 ilustra o projetor de luz colimada utilizado no experimento.

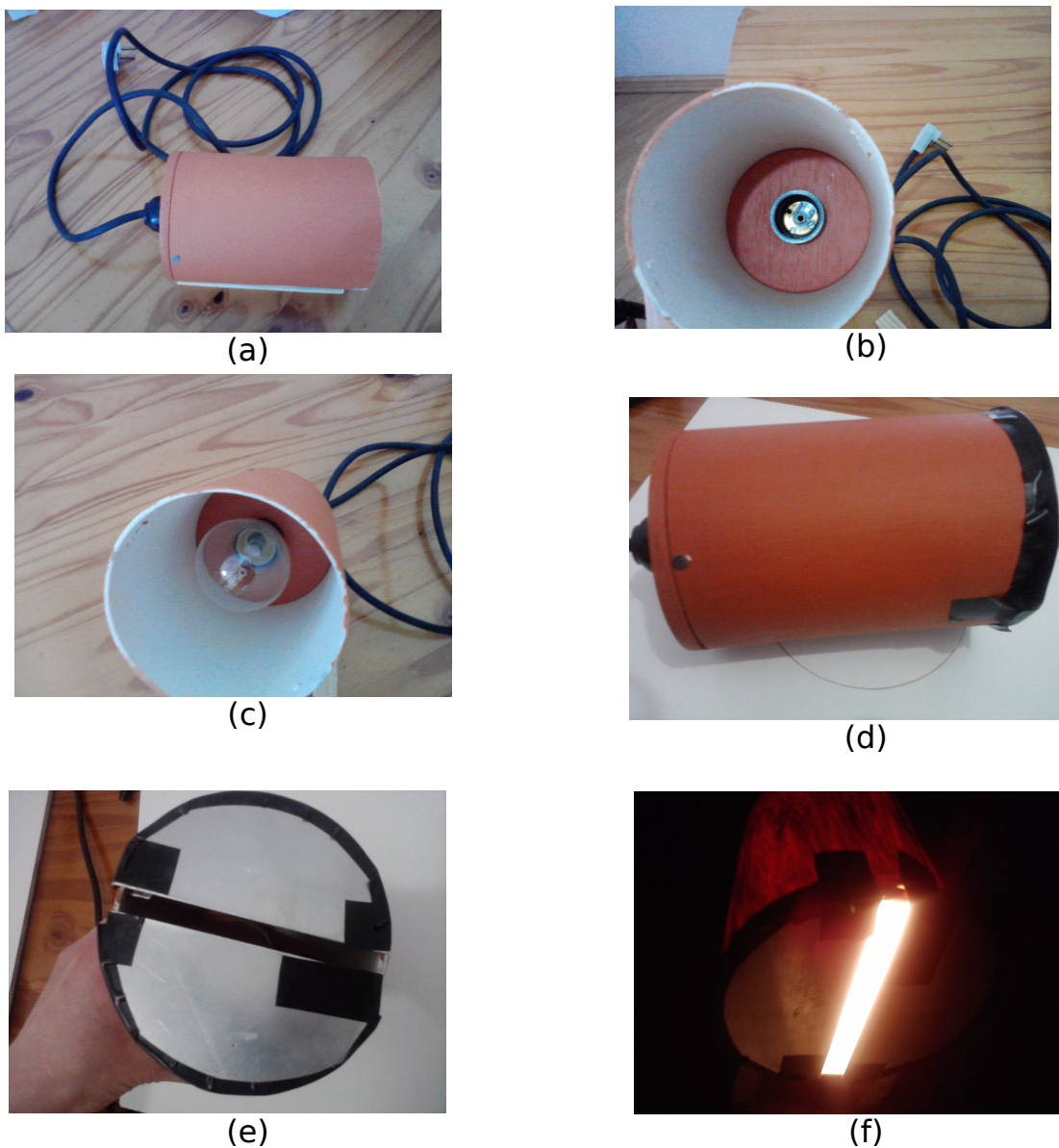
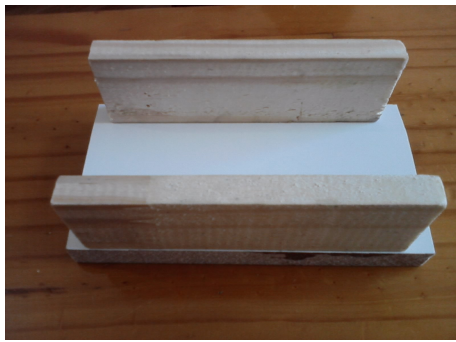


Figura 6. Ilustração do projetor de luz colimada sem lâmpada ((a) e (b)) e com a lâmpada (c). Em (d) e (e), mostra-se a colimação presa à saída do tubo e, em (f), o projetor com a lâmpada ligada.

O projetor de luz está posicionado sobre uma base de madeira, ilustrada na figura 7. Esta base não será fixada na base de madeira maior, de modo a permitir mobilidade para ajuste da fonte de luz na distância adequada com relação ao movimento da fresta, posição do motor 1 e da lente convergente.





(a)



(b)

Figura 7. em (a), base para o projetor e em (b), projetor de luz.

A luz emitida pelo projetor acima descrito passará por uma lente convergente (lupa com 75 mm de diâmetro) para concentrar o feixe de luz sobre a haste presa ao disco 1. A posição da lente será em uma região de aproximadamente 30 cm de distância da posição do eixo do motor 1, e está localizada entre o projetor de luz e o cartão preto com a fresta. A figura 8 ilustra a lente utilizada no experimento.

A distância focal da lente foi obtida através do seguinte procedimento. Posicionou-se a lente de forma a obter-se a luz do sol concentrada em um ponto sobre um anteparo. Considerando que os raios solares são paralelos quando chegam até à lente, a distância entre a lente e o ponto obtido é a distância focal. Assim, o foco foi estimado em aproximadamente 30 cm.



Figura 8. Lente utilizada no experimento.

## 2) Fotos do aparato.

A figura 9 mostra todos os sistemas envolvidos na geração de três movimentos harmônicos simples perpendiculares entre si.

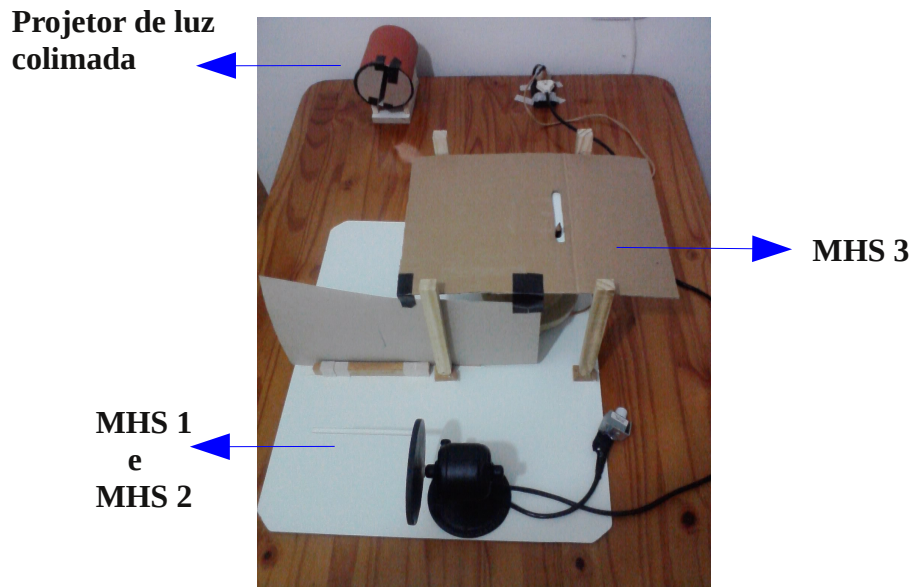


Figura 9 - Experimento montado.



Figura 10 - Algumas figuras de Lissajous obtidas, como um exemplo.

## 3) Dificuldades encontradas

A primeira dificuldade encontrada nesta etapa do projeto foi com relação às dimensões do furo do disco 2 e do eixo do motor 2, situação tal que foi resolvida lixando-se o eixo para diminuir seu diâmetro e colando-se o disco ao eixo utilizando massa durepoxi, que preencheu todo o interior do furo, corrigindo falhas no seu acoplamento ao motor 2.

Outra dificuldade foi a adequação do sistema gerador do 3º MHS de forma a conseguir o movimento do cartão à frente do projetor de luz, ao mesmo tempo em

que o disco 2 (e, conseqüentemente, a estrutura responsável pelo movimento periódico do cartão) rotacionava na direção paralela à base.

Foram necessárias várias tentativas de planejamento e execução de forma a se conseguir o movimento correto do cartão. A solução foi utilizar 4 postes de madeira como guias da estrutura de papelão, que foi devidamente cortado para ligar o movimento periódico do disco 2 ao movimento de 'vai e vem' do cartão. O cartão com a fresta, por sua vez, foi fixado em pontos junto à estrutura de papelão em locais de forma a permitir o livre movimento de 'vai e vem', sem colidir com as hastes de apoio e os postes guias.

Durante os testes realizados para obtenção e ajuste do terceiro MHS houve um problema em que uma estrutura de papelão anterior acabou entortando e forçando as guias de madeira em um sentido, o que prejudicou sua fixação à base. Tal situação foi resolvida colocando-se pequenos pedaços de madeira na base como 'calço', imobilizando-a novamente.

#### **4) Pesquisa realizada**

Foram utilizadas principalmente as seguintes referências já citadas no projeto:

- Alonso, M. ; Finn, E. J. Física: Um Curso Universitário. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1972, volume 1, capítulo 12. Tal capítulo deste livro apresenta a teoria relacionada ao movimento oscilatório e ilustra, na página 361, as diferentes formas das figuras de lissajous.
- Ferraz Neto, L. Feira de Ciências. Figuras de Lissajous em 3 dimensões. 1999. Disponível em <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10\\_07.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_07.asp)>. Este site apresenta um projeto semelhante ao que está sendo desenvolvido.

Outras referências utilizadas:

- Nussenzveig, H. Moisés. Curso de Física Básica. Editora Edgard Blucher Ltda, 2ª edição, 1990, Volume 2, Capítulo 3.
- Oliveira, E. S.; Lima, I. S. ; Dutra, G. Material didático de baixo custo para laboratórios de ensino: construção de uma fonte para banco óptico. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol13/Num1/a04.pdf>>, acesso 10 nov. 2013.

Além destas referências, foi realizada uma pesquisa na *Internet (Google)* utilizando diversas palavras-chave, relacionadas ao projeto de luz, sendo um exemplo: “projektor luz lente”.

## 5) Descrição

A descrição dos movimentos harmônicos simples ligados ao aparato montado foi apresentada no relatório parcial.

## 6) Declaração do orientador

Meu orientador concorda com o expressado neste relatório e deu a seguinte opinião:

A aluna Clarissa de C. Valise Fedato - RA 008346 Desenvolveu um experimento de forma pró-ativa e com elevado grau de autonomia. Mostrou empenho para superar as dificuldades experimentais inerentes a qualquer projeto prático de elevada complexidade experimental. Durante todo o processo mantivemos diálogo e sua presença foi constante e semanal, nas nossas reuniões para o desenvolvimento do mesmo. Inclusive os ajustes final do aparato foram muito difíceis, mas a aluna conseguiu de forma perseverante e criativa a superar as dificuldades. Nesse sentido, sugiro que a nota final da aluna seja DEZ (10,0).

## Referências

Alonso, M. ; Finn, E. J. Física: Um Curso Universitário. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1972, volume 1.

ANDRADE, D. and CAMPOS, M. de. Análise do processo cognitivo na construção das figuras de Lissajous. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2005, vol.27, n.4, pp. 587-591. ISSN 1806-1117.

Universidade de São Paulo. Instituto de Física. Ludoteca - Simulações. 2013. Disponível em: <[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=\\_figurasdelissajous](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=_figurasdelissajous)>, acesso 29 ago 2013.

Online Physics Applets. Lissajous Figures. Disponível em: <<http://ngsir.netfirms.com/englishhtm/Lissajous.htm>>, acesso em 29 ago. 2013.

Ferraz Neto, L. Feira de Ciências. Figuras de Lissajous em 3 dimensões. 1999. Disponível em <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10\\_07.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_07.asp)>, acesso em 29 ago. 2013.

Nussenzveig, H. Moisés. Curso de Física Básica. Editora Edgard Blucher Ltda, 2ª edição, 1990, Volume 2, Capítulo 3.

- Oliveira, E. S.; Lima, I. S. ; Dutra, G. Material didático de baixo custo para laboratórios de ensino: construção de uma fonte para banco óptico. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol13/Num1/a04.pdf>>, acesso 10 nov. 2013.