

## Relatório Final



### F609 - Tópicos de Ensino de Física

1º semestre 2011

**Imagem invertida com luz branca e duas metades de um CD: produção de uma quantidade de unidades de tamanho portátil**



**Aluno:**

Marco Antonio Dias Junior RA 062786

[marcodjuniorXgmail.com](mailto:marcodjuniorXgmail.com)

**Orientador/Coordenador:**

Prof. Dr. Jose Joaquim Lunazzi (LO – IFGW)

[lunazziXunicamp.com.br](mailto:lunazziXunicamp.com.br)

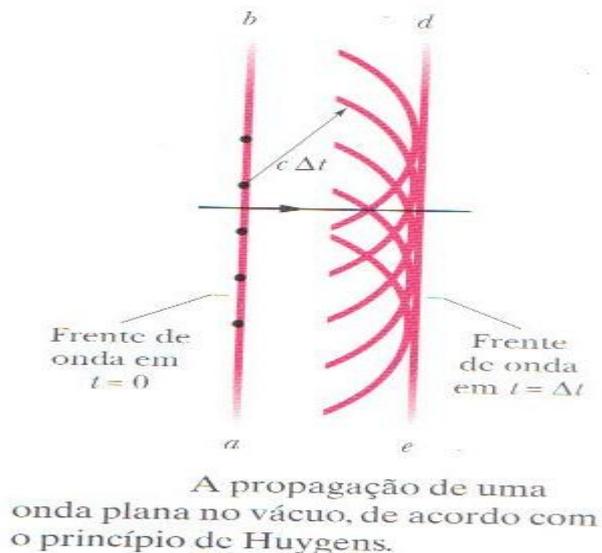
## Introdução

### A luz como uma onda

A primeira pessoa a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz foi o físico Holandês Cristian Huygens, em 1678. Embora muito menos completa que a teoria eletromagnética de Maxwell, formulada mais tarde era matematicamente mais simples e permanece útil até hoje. Suas grandes vantagens são explicar as leis da refração e reflexão em termos de ondas e atribuir um significado físico ao índice de refração

A teoria ondulatória de Huygens utiliza uma construção geométrica que permite prever onde estará uma dada frente de onda em qualquer instante futuro se conhecermos sua posição atual. Essa construção se baseia no princípio de Huygens que diz o seguinte:

“Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo  $t$  a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a ondas secundárias.”



## Difração

O que acontece é o seguinte: quando uma onda encontra um obstáculo que possui uma abertura de dimensões comparáveis ao comprimento de onda, a parte de cada onda que passa pela abertura que se alarga (é difratada). Esse alargamento ocorre de acordo com o princípio de Huygens. A difração representa uma limitação para a ótica geométrica, na qual as ondas eletromagnéticas são representadas por raios. Quando tentamos formar um raio fazendo passar a luz por uma fenda estreita ou por uma série de fendas estreitas a difração frustra nossos esforços, fazendo a luz se espalhar.

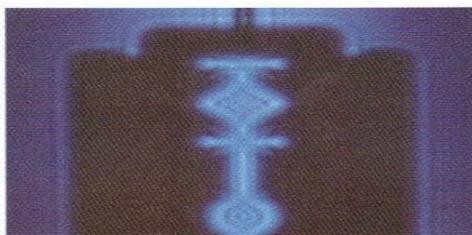
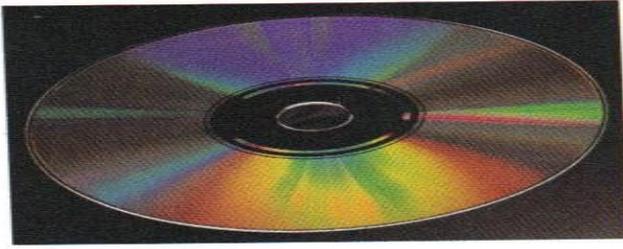


Figura de difração produzida por uma lâmina de barbear iluminada com luz monocromática. Observe as linhas alternadamente claras e escuras paralelas às bordas da lâmina. (Ken Kay/Fundamental Photographs)

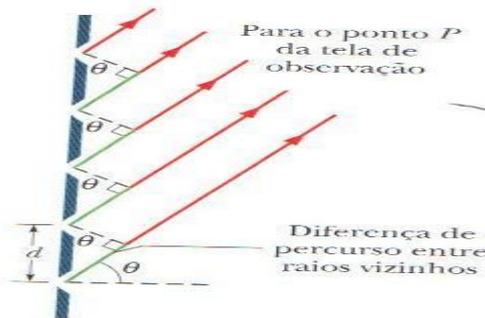
Difração, sem muito rigor, como o alargamento sofrido por um feixe luminoso ao passar por uma fenda estreita. Algo mais acontece, porém, já que a difração, além de alargar um feixe luminoso, produz uma figura de interferência conhecida como Figura de difração. Quando a luz monocromática de uma fonte distante passa por uma fenda estreita e é interceptada por uma tela de observação na tela de uma figura de difração. A figura é formada por um máximo central largo e intenso (muito claro) e uma série de máximos mais estreitos e menos intensos (que são chamados secundários ou laterais) dos dois lados do máximo central. Os máximos são

separados por mínimos.

## Redes de difração



As ranhuras de um CD, com  $0,5 \mu\text{m}$  de largura, se comportam como uma rede de difração. Quando o CD é iluminado com uma fonte de luz branca a luz difratada forma faixas coloridas que representam as figuras de difração associadas aos diferentes comprimentos de onda da luz incidente. (Kristen Brochmann/Fundamental Photographs.)



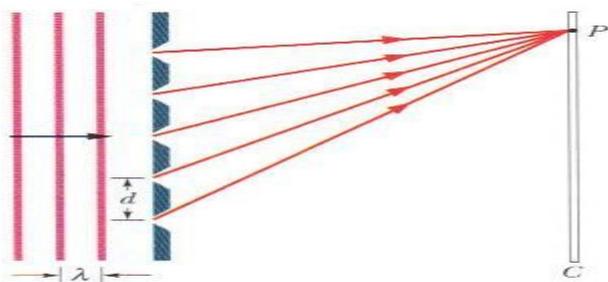
Os raios que vão das ranhuras de uma rede de difração até um ponto distante  $P$  são aproximadamente paralelos. A diferença entre as distâncias percorridas por dois raios vizinhos é  $d \sin \theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo indicado na figura. (As ranhuras se estendem para dentro e para fora do papel.)

Um dos dispositivos mais úteis para o estudo da luz e dos objetos que emitem e absorvem luz é a rede de difração. Esse dispositivo utiliza um arranjo semelhante ao do experimento de dupla fenda, exceto pelo fato de que o número de fendas, também chamadas de ranhuras, pode chegar a milhares por milímetros.

A distância  $d$  entre duas ranhuras é chamada de espaçamento da rede. A diferença entre as distâncias percorridas por raios vizinhos é  $d \sin \theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo entre o eixo central da rede e a reta que liga a rede ao ponto  $P$ . Haverá uma linha em  $P$  se a diferença entre as distâncias percorridas por raios vizinhos for igual a um número inteiro de comprimentos de onda, ou seja, se

$$d \sin \theta = m \lambda \text{ para } m=0,1,2,..(\text{máximos - linhas})$$

onde  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz. A cada número inteiro  $m$ , exceto  $m=0$ , correspondem duas linhas diferentes, simetricamente dispostas em relação à linha central. Este valor é chamado de número de ordem, e as linhas correspondentes são chamadas de linha de ordem zero (a linha central, para qual  $m=0$ ), linhas de primeira ordem, linhas de segunda ordem, e assim por diante.



Rede de difração simplificada, com apenas cinco fendas, que produz uma figura de interferência em uma tela de observação distante.

Na forma

$$\theta = \arcsin(m \lambda / d)$$

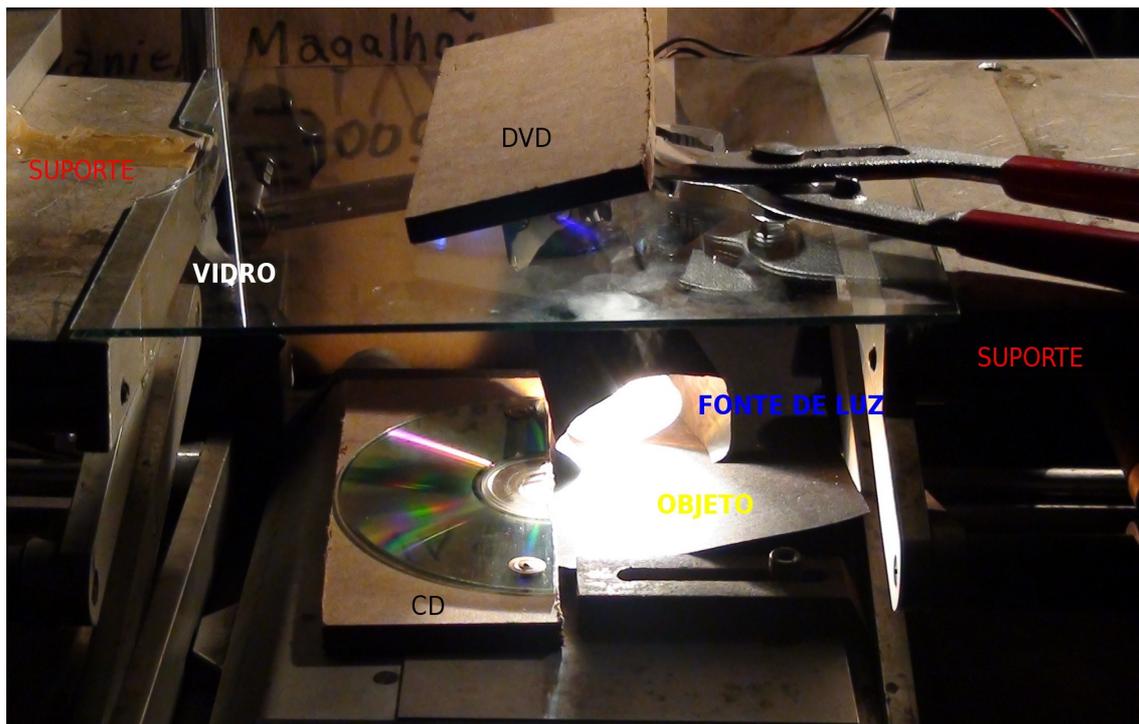
vemos que para uma dada rede de difração o ângulo central e qualquer linha, depende do comprimento de onda da radiação utilizada.

$$\sin \theta = (\Delta / \lambda) = (\lambda_1 - \lambda_2) / \lambda$$

Montagem do experimento de dupla difração partindo da reflexão da luz do objeto.

Nessa montagem partimos do princípio de reflexão difusa da luz do objeto, uma seta branca, sobre um anteparo preto. Montamos o sistema sobre dois suportes de altura variável e um vidro servindo de suporte e anteparo transparente para o DVD.

A difração da luz segue o mesma montagem do sistema por transmissão, a luz difrata primeiro no DVD e difrata novamente no CD, formada uma imagem por dupla difração.



**Figura 1 - Sistema montado**

Na figura 1 , podemos visualizar o sistema montado com as relativas posições do objeto, da fonte de luz, do DVD , do CD , do vidro (20cm x 20 cm) base para o DVD e dos suportes de altura variável. Percebemos o processo de reflexão da luz, ou seja, a reflexão da luz branca formando a imagem do objeto(Seta).

Buscando visualizar uma imagem branca difratada duplamente no DVD e CD, necessitamos posicionar num eixo central servindo de referência para posicionamento e paralelismo entre as duas partes do sistema.

Foram experimentadas diferentes posições para visualizarmos a imagem difratada branca, foi encontrado o ponto ideal , centralizando no eixo central e foi necessário criar um ângulo, deslocando da posição do plano paralelo entre o CD/DVD, medimos as diferenças de altura e determinamos a tangente aproximada para encontrarmos o ângulo. Determinamos também uma posição aproximada para a posição da objeto (SETA) em relação a posição central.

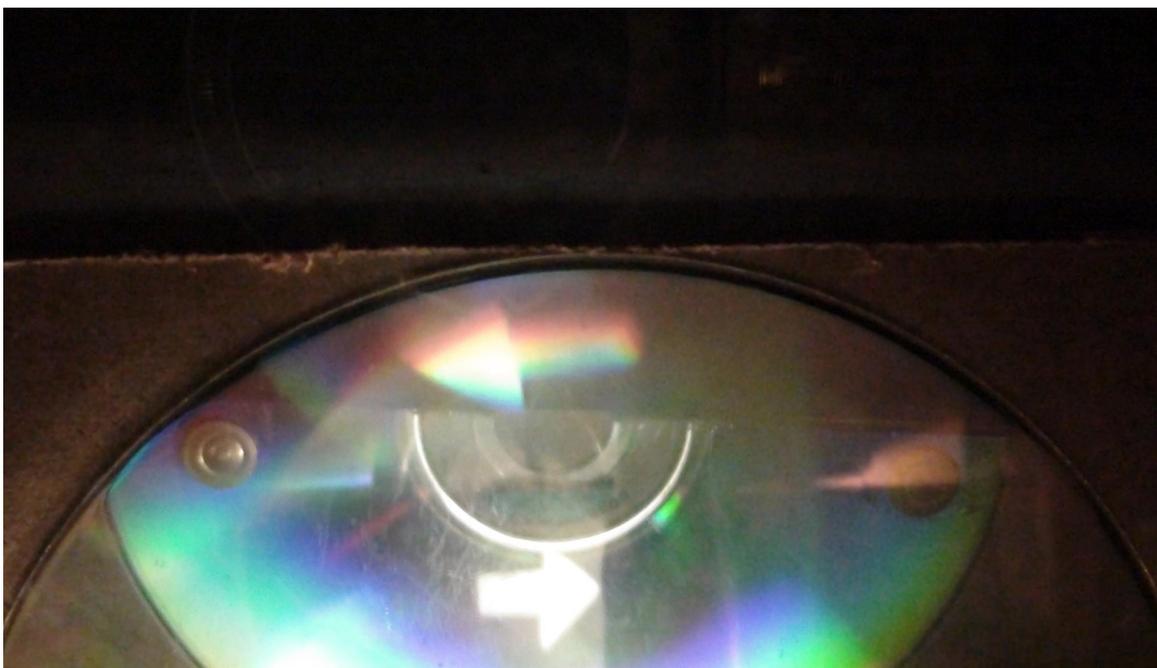
Temos a necessidade desse ângulo para localizar adequadamente a imagem no CD e para esta resultar branca, com a menor aberração cromática possível, e sem deformação (curvatura). Percebemos a necessidade de as metades de CD e DVD estarem perfeitamente planas, diminuindo a deformação na imagem difratada formada. Por isto elas tem de ser afixadas sobre a madeira como fizemos, no caso, com

percevejos.



**Figura 2 – Visualização do objeto**

Na figura 2, visualizamos o objeto (SETA BRANCA) sobre um anteparo negro e o foco da fonte de luz , e a metade de CD à esquerda, medimos a distância aproximada do eixo central (10mm) , a posição do eixo central encontra-se  $24,2 \pm 2$  mm (excentricidade) da extremidade esquerda do CD. A seta tem as seguintes medidas largura de 17 mm e altura 20 mm.



**Figura 3 – Imagem difratada no CD**

Na figura 3, podemos visualizar a imagem duplamente difratada e visualizamos sua

imagem branca, sem deformação, posicionada na região com maior área e melhor nitidez. Essa imagem deve-se as soluções anteriores para encontrarmos as posições relativas de cada elemento do sistema.

Nessa situação percebemos o reflexo do DVD, sobre o CD, quando este funciona como um espelho plano e podemos visualizar a imagem da seta a direita do DVD. Comparando a imagem do objeto por reflexão (os elementos funcionando como espelhos planos), com a imagem difratada (rede de difração do CD) percebe-se claramente a diferença na formação das imagens: a difratada é invertida e com algo de aberração cromática.



**Figura 4- imagem formada no sistema por transmissão**

Na figura 4, visualizamos a imagem de dupla difração formada no sistema com o objeto iluminado agora por transmissão difusa (Figura 5) e comparando a qualidade da imagem formada obtemos uma boa aproximação entre os dois sistemas e suas principais características. Nos dois sistemas utilizamos de ajuste angular ficando o ângulo para o sistema da Fig. 1 em torno de  $\Theta=180$  e para o temos um ângulo  $\Theta=9,90$  para a montagem por transmissão, sem que possamos ainda explicar o porque dessa diferença.



**Figura 5 - Sistema com o objeto iluminado por transmissão difusa**

Podemos também comparar a formação da luz branca, a deformação mínima e aberração cromática entre as imagens obtidas.

### **Explicação teórica simplificada**

A luz difrata primeiro no **DVD** e difrata novamente no **CD**, formando uma imagem por dupla difração.

Objetivo – conseguir reproduzir uma imagem branca sem deformação (curvatura) ou aberração cromática

O objeto é uma seta em plástico difusor, a qual é inicialmente difratada na metade de um **CD** ou **DVD**, e depois em uma segunda metade de um **CD** funcionando como decodificador da luz recebida, gerando a imagem cuja simetria permite a reprodução da imagem de maneira invertida.

A largura de linha a rede de difração do **CD** é de  $2\mu\text{m}$  e a do **DVD** é  $1\mu\text{m}$ . A difração na primeira ordem do **DVD** equivale à segunda do **CD**.

Esse projeto de simples montagem e observação, trabalha com um objeto do cotidiano das pessoas e alunos, um **CD** ou **DVD**, que servem para gravação de dados, vídeos e áudio. Sua principal característica é de utilizar um disco comum, que a primeira vista parece um espelho plano mas na verdade, temos uma rede de difração quase circular nele, consequência casual do sulco em espiral que registra a informação.

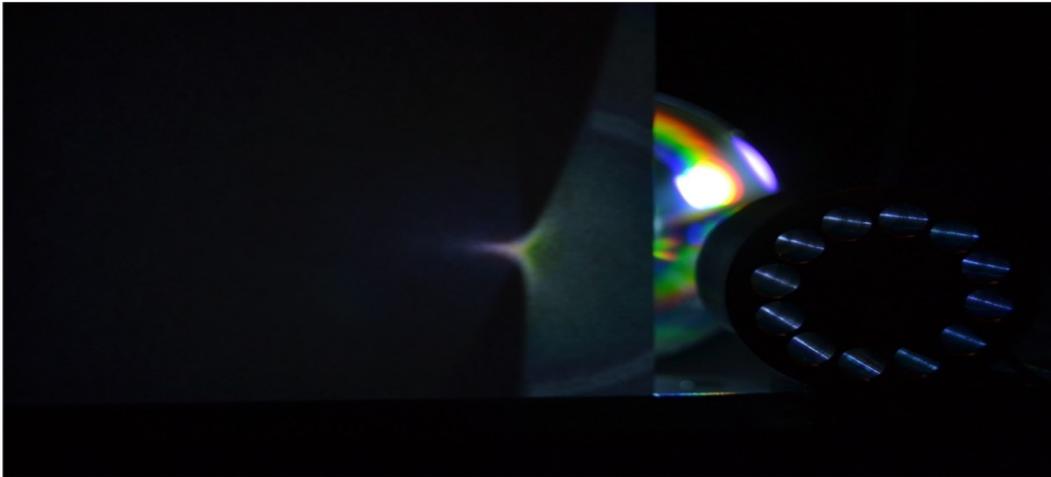
Ao utilizarmos uma projeção com luz branca estamos explorando os seguintes conceitos: rede de difração, dupla difração, espectro da luz, formação de imagens virtuais e invertidas.

Fizemos uma montagem partindo da difusão da luz do objeto, uma seta branca, montado sobre um anteparo preto. Montamos o sistema com discos refletivos sobre dois suportes de altura variável e um vidro servindo de suporte e anteparo transparente para o **DVD**.

A difração da luz por reflexão tem a mesma conduta que no sistema por transmissão, a luz difrata primeiro no **DVD** e difrata novamente no **CD**, formando uma imagem por dupla difração.

Demonstramos que a luz difratada por um disco simples e compacto(**figuras6,7,8**), pode ser usado para gerar imagens com atributos básicos. Nós comparamos esses atributos com os obtidos com elementos refrativos.

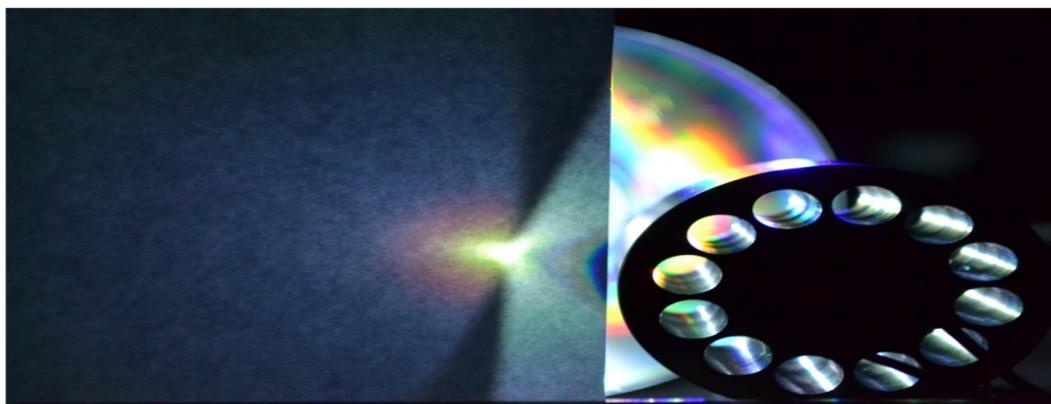
Para completar este experimento serão reproduzidas réplicas compactas e fáceis de manusear e posterior distribuição com fins didáticos, permitindo conhecer a existência de um novo tipo de imagens obtidas com elementos que os alunos observam diariamente na escola ou em casa.”



**Figura 6 - Difração por meio CD1\_3**

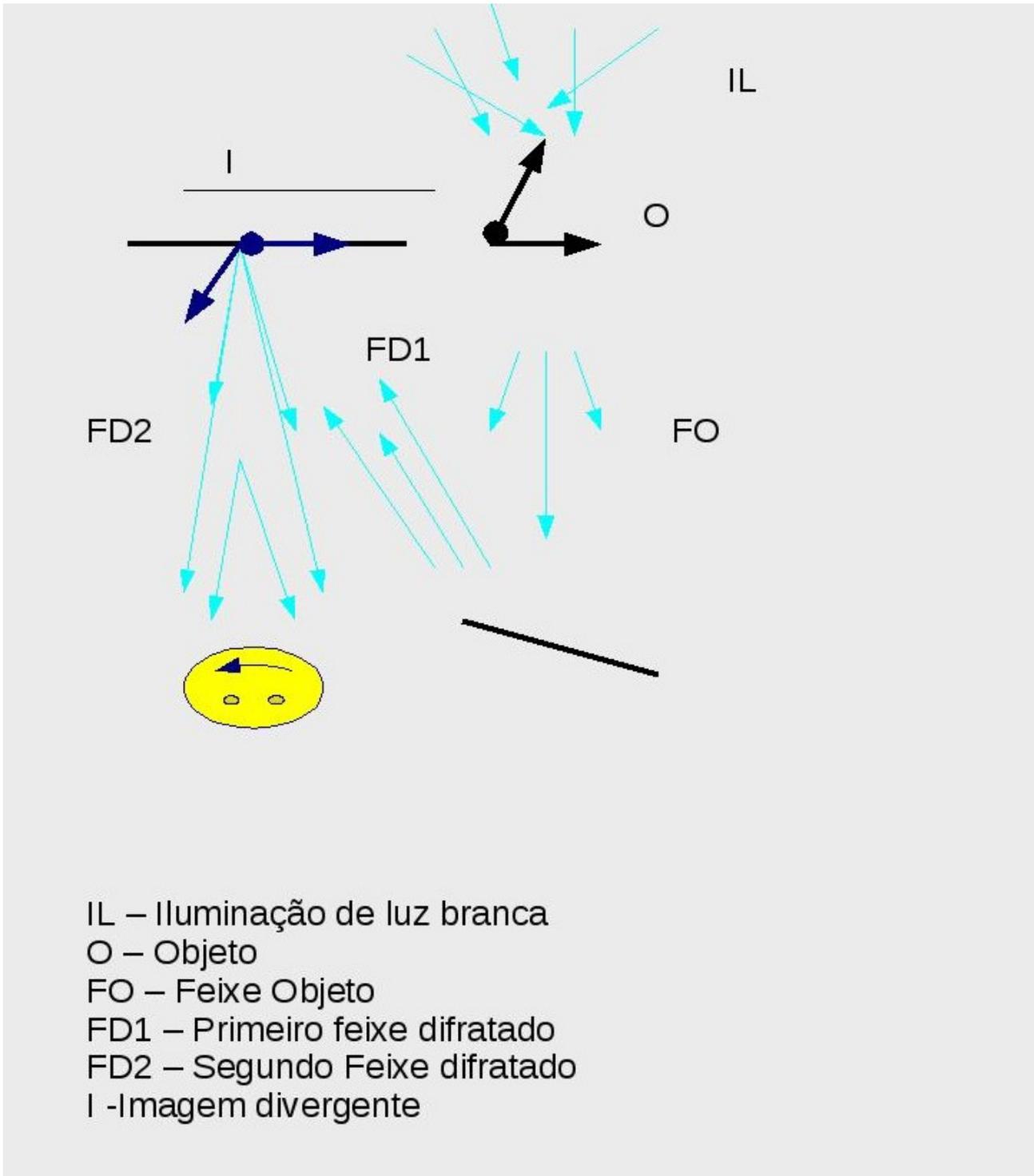


**Figura 7 - Difração por meio CD2\_3**



**Figura 8**

## Esquema dos feixes de luz



**“A luz diverge a partir da imagem”**

## Construção das réplicas

Para a construção das réplicas, desenvolvemos o material, de forma, que fosse leve e portátil, para isto, contamos com placas sem acabamento de mdf(cru), com espessura de 6 mm. Dimensionadas conforme as dimensões das metades de CD e DVD, ou seja, o diâmetro de 120 mm, em relação a altura da base. Levando em consideração também as distâncias entre as metades de CD e DVD, que deve ser de 90 mm. A partir daí foram sendo cortadas as peças nas medidas necessárias para a reprodução do

experimento, sendo:

1 pç - Base - 100 x 106 mm

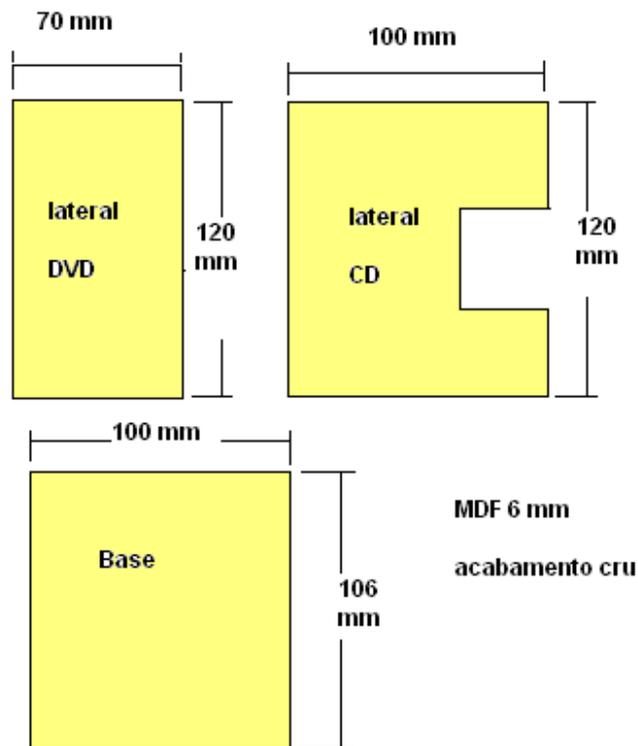
1 pç - lateral DVD– 120 x 70 mm

1 pç - lateral CD – 120 x 100 mm com o corte para posicionamento do objeto

Montamos o conjunto, parafusamos na base as laterais referentes a metade de CD e metade de DVD, a lateral do DVD deve estar posicionada de frente com o objeto (Seta de plástico difuso. O CD deve ser colado na lateral com o corte do objeto, fixando o na extremidade esquerda da lateral, e a metade do DVD, deve ser fixada na extremidade direita da lateral (está estando oposta ao objeto). Desta forma, a simetria onde conseguimos visualizar a imagem branca invertida e reta. A lateral da metade do DVD, deve ser fixada com um ângulo de 10 graus em relação ao plano paralelo das laterais, sendo um ângulo externo. Para reforçar o conjunto as laterais serão parafusadas e coladas. O objeto deve ser posicionado a 20 mm do centro do CD, na direção do raio interno do CD.

O conjunto deve ser revestido com cartolina preta de forma, que tenhamos uma câmara escura, contando que transmita somente a luz difundida através do objeto, e ficamos livre de interferência de fontes de luminosas externas.





## Referências

**0** “Fundamentos da Física IV”, Halliday, Resnik e Walter, Ed. 19Xx, cap 35 e 36 tópicos sobre experimento de Young e Difração

**1** “Fazendo imagens com um simples elemento difrativo ou refrativo: o axicon”, .J. Lunazzi, D.S.F. Magalhaes, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 2, 2501 (2009) , [www.scielo.br/pdf/rbef/v31n2/13.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n2/13.pdf). **Descreve a difração de luz branca e monocromática por um disco digital (CD).**

**2** **Imaging with two spiral diffracting elements intermediated by a pinhole** , Jose J. Lunazzi, Noemi I. R. Rivera, Daniel S. F. Magalhaes. <http://arxiv.org/abs/0804.4713>. *Descreve a difração por dois Cds intermediada por um furinho, gerando uma imagem de luz branca.*

**3** -**Experimentos simples demonstrando algumas propriedades de lentes difractivas y redes espirales** Jose J. Lunazzi, Daniel S. F. Magalhaes, Maria C. I. Amon, Noemi I. R. Rivera <http://arxiv.org/abs/0805.0818>. *Descreve uma montagem simples do experimento de imagem de dupla difração por luz branca com Cds.*

4 arXiv:physics/0512205 [pdf]

**Double Diffraction White Light Imaging: First Results with Bidimensional Diffraction.**  
Jose J Lunazzi, Noemi I Rodriguez Rivera Descreve a trajetória dos raios do experimento de imagem de dupla difração por luz branca com Cds.