

"Registro da curva da intensidade da luz difratada por uma fenda"
(Relatório Final)



Autor: Vinicius Junqueira Filho
Orientador: Prof. Dr. Yoshikazo Ernesto Nagai
Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

SUMÁRIO

Introdução	14-2
Fundamentos teóricos	14-3
O instrumental	14-5
A configuração do instrumental	14-7
Medidas experimentais	14-8
Análise das medidas experimentais	14-9
Conclusões	14-13
Referências	14-15
Apêndice	
A – Esquema geral de funcionamento do fotodetector	14-16
Anexos	
A – Fotos	14-17
B – Tabelas	14-18
C – Gráficos	14-19
D - Relatório parcial	14-23

Um dos tópicos mais antigos da Física certamente é a Óptica, o estudo das propriedades físicas da luz. Inicialmente, pensava-se que a luz se propagava em linhas retas e possuía um comportamento, pois, bastante previsível. A luz era considerada um conjunto de corpúsculos luminosos de massa desprezível cujo movimento poderia ser bem descrito pela geometria euclidiana. Apesar da coerência desta teoria, muitos fenômenos ópticos não encontraram descrições matemáticas até o momento em que surgiram os trabalhos de Huygens, Bernoulli, Fresnel etc. Os seus estudos consolidaram a teoria ondulatória da luz.

A difração é um fenômeno óptico que não pode ser descrito pela Óptica Geométrica, pois se trata do espalhamento da luz incidente em uma ou várias fendas, cujas aberturas possuem comprimento comparável ao comprimento de onda da luz. É um fenômeno óptico que, apesar de ser dificilmente notado no dia-a-dia, devido ao fato de ser sutil, é facilmente reconhecível; isso pode explicar a existência de inúmeros experimentos relacionados com este fenômeno nos laboratórios de física básica, em feiras de ciência etc. O seu estudo experimental, em contrapartida, apresenta uma série de dificuldades. A principal entre elas é a falta de métodos científicos que possibilitem uma análise quantitativa do fenômeno.

Em geral, os métodos considerados para se analisar os resultados experimentais consequentes da observação da difração são falhos e precários porque são essencialmente qualitativos. Assim, no laboratório, a observação do fenômeno não encontra justificativa teórica sustentável. E isto restringe tanto a discussão do fenômeno quanto o reconhecimento de sua importância.

O presente documento é o relatório do projeto de instrumentação desenvolvido para o registro da curva de distribuição da intensidade da luz difratada por uma fenda única. Esta curva é uma representação matemática do padrão de difração da luz monocromática incidente sobre uma fenda convenientemente estreita (Foto 1). Descreve-se nas linhas abaixo o trabalho realizado para se encontrar um método quantitativo para o estudo da difração da luz. Apresentam-se os pontos fundamentais dessa busca; as dificuldades técnicas inerentes à montagem e à configuração dos instrumentos foram desprezadas para essa descrição. De modo a viabilizar o estudo da difração, sabidamente complicado, considerou-se a aproximação de Fraunhofer.

Primeiramente, pensou-se no registro analógico desta curva (Anexo D). Dispondo-se de um registrador YT e um detector de luz, conseguiram-se alguns resultados razoáveis, isto é, algumas curvas satisfatórias. No entanto, problemas freqüentes encontrados na regulação do registrador provocaram a procura por uma maneira alternativa de se registrar o padrão da luz difratada; encontrou-se uma maneira mais simples de se registrá-lo com a utilização de um parafuso micrométrico, ou seja, encontrou-se o registro manual da curva. Esse registro baseou-se no método experimental proposto por um fabricante estrangeiro de instrumentos científicos. Devido ao enfoque ao fenômeno da difração da luz por uma fenda única, esse método foi adaptado às necessidades encontradas nesse particular. O registro manual mostrou-se também mais prático do que o analógico.

Verificou-se que os erros inerentes aos registros feitos foram devidos somente aos erros intrínsecos dos instrumentos de medida. Portanto, o resultado geral deste projeto foi satisfatório, uma vez que o aspecto das curvas medidas sob as condições impostas pela Difração de Fraunhofer aproximou-se do aspecto das curvas teóricas para o padrão da luz difratada. Desse modo, foi desenvolvido um método quantitativo para se demonstrar o fenômeno da difração da luz.

Difração de Fraunhofer é chamada a difração da luz que ocorre quando tanto a fonte de luz como o plano opaco onde a luz se projeta estão infinitamente distantes da abertura ou do obstáculo causador deste fenômeno óptico. Por infinitamente distante se entende grande o bastante para que as curvaturas daquelas ondas sejam desprezíveis.

Isso também significa que tanto a onda incidente como a onda difratada podem ser consideradas ondas planas. Uma onda de comprimento λ é plana em relação à uma abertura de largura b se for obedecida a condição:

$$(1) \quad \frac{1}{2} \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{z} \right) b^2 \ll \lambda$$

na qual f denota a distância entre a fonte de luz e a abertura e z , a distância entre a abertura e o anteparo onde a luz se projeta. Esta é a condição para que uma difração venha a ser estudada como uma Difração de Fraunhofer (Ref. a3).

Interessa-se a expressão matemática do padrão de difração da luz difratada por uma fenda. A dedução de tal expressão, que é feita nas linhas seguintes, não é explicativa tampouco original; ela pode ser encontrada, sob diferentes maneiras, facilmente nos compêndios de Física (Ref. a).

Primeiramente, determinou-se a posição dos mínimos, isto é, dos pontos nos quais a interferência das ondas de luz foi destrutiva; depois, deduziu-se a expressão para a curva da distribuição da intensidade da luz ao longo do anteparo.

Para se encontrar a posição dos mínimos da projeção da luz sobre o aparato, considere-se um ângulo Θ arbitrário que representa o desvio da frente de onda da luz difratada pela fenda de abertura b .

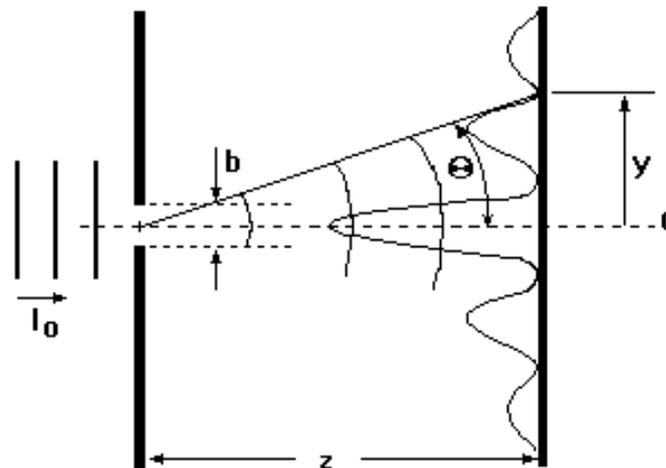


Fig. 1 - Esquema ilustrativo para a análise da Difração de Fraunhofer

Sendo z a distância entre a fenda e o aparato e y a distância de um mínimo em relação ao eixo de propagação da luz incidente (fig. 1), calcula-se a relação entre o ângulo Θ e o comprimento de onda λ da luz incidente: pela diferença de fase $\Delta\phi$ entre duas frentes de onda difratada quaisquer:

$$(2) \quad \text{sen}\theta = \frac{\Delta\phi}{b/2}$$

Para $z \gg y$, considera-se:

$$(3) \quad \text{sen}\theta \approx \tan\theta = \frac{y}{z}$$

Para os mínimos, $\Delta \phi = \frac{n\lambda}{2}$. Assim, a posição y dos n mínimos pode ser aproximada:

$$(4) \quad y = \frac{nz\lambda}{b}, \text{ para } n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Tomando-se os ângulos de difração suficientemente pequenos e aproximadamente constantes em relação à abertura da fenda, usa-se a integral de Fresnel-Kichhoff no cálculo da amplitude U das ondas difratadas:

$$(5) \quad U = C \iint e^{ikr} dA$$

na qual C é um fator constante e dA é uma unidade infinitesimal de área da abertura da fenda, isto é, $dA = L dy$, sendo L o comprimento da fenda e b a sua abertura. O módulo do deslocamento r de uma onda difratada, em uma dimensão, pode ser expresso como se segue: $r = r_0 + y \text{sen} \theta$, se r_0 denota o deslocamento na direção da onda incidente. Dessa forma, a integral acima torna-se:

$$(6) \quad U = C e^{ikr_0} \int_{-b/2}^{+b/2} e^{iky \text{sen} \theta} L dy$$

$$(7) \quad \therefore U = C' \left(\frac{\text{sen} \beta}{\beta} \right)$$

na qual $C' = e^{ikr_0} C b L$ e $\beta = \frac{1}{2} k b \text{sen} \theta$. Sabendo-se que a intensidade da luz é proporcional ao quadrado da amplitude da onda de luz U , isto é, se $I \approx |U|^2$, então, conclui-se que:

$$(8) \quad I \approx I_0 \left(\frac{\text{sen} \beta}{\beta} \right)^2$$

na qual I_0 denota a intensidade da luz difratada no centro do anteparo.

Esta expressão pode ser convenientemente escrita em termos das distâncias dos mínimos. Considerando-se (3), obtém-se, para o mínimo cuja distância ao centro do anteparo é designado por y , a expressão da intensidade da luz incidente naquele ponto se torna:

$$(9) \quad I \approx I_0 \left(\frac{\text{sen}(\pi by / \lambda z)}{\pi by / \lambda z} \right)^2$$

Por essa expressão, pode-se demonstrar que o máximo absoluto ocorre no ponto central do anteparo ($y = 0$); isso é visto considerando-se o seguinte limite:

$$(10) \quad \lim_{y \rightarrow 0} \text{sen}(y) \approx y$$

Portanto, no ponto central, a luz difratada possui intensidade máxima ($I = I_0$). Por outro lado, considerando-se os outros extremos, isto é, quando se considera uma distância infinitamente distante do ponto central do anteparo, obtém-se:

$$(11) \quad \begin{aligned} \lim_{y \rightarrow \infty} y^{-1} \approx 0 &\rightarrow I \approx 0 \\ \lim_{y \rightarrow -\infty} y^{-1} \approx 0 &\rightarrow I \approx 0 \end{aligned}$$

E esses dois resultados, razoáveis *a priori*, podem ser facilmente verificados em laboratório.

É importante frisar que é possível, a partir desta expressão, se obter as posições dos máximos e dos mínimos do padrão de difração da luz. Para tal, basta que se derive esta expressão em relação à variável y e se reconheça que, nos pontos críticos desta curva, as suas derivadas são nulas. Omitiu-se aqui estes cálculos, por conveniência. É de suma importância se notar que esta expressão da curva (9) é a mais importante equação da Difração de Fraunhofer.

O instrumental ou o conjunto de instrumentos necessário para se registrar a curva de distribuição da intensidade da luz difrata por uma fenda foi o seguinte: uma fonte de luz monocromática coerente (laser) de baixa potência (1 ou 2 mW), uma fenda metálica, um fotodetector, uma fonte de tensão variável de 30V DC, um multímetro, um banco ótico, um parafuso micrométrico, fios inextensíveis e suportes para peças óticas (Anexo A).

Segue uma breve descrição dos principais materiais utilizados.

a) Fonte de luz

Utilizou-se uma fonte de luz de laser de comprimento de onda 630-670 nm. Apesar de ser possível a utilização de uma fonte de luz policromática, restringiu-se esta prática ao estudo da difração de luz monocromática.

Também é possível a utilização de uma fonte de luz não coerente e de espelhos convenientes, colocados entre a fenda. Por simplicidade, adotou-se o uso de fonte de luz de laser.

Em relação a lasers, atenta-se ainda para o fato de que é possível a utilização de lasers do tipo caneta, facilmente encontrados no comércio e de baixo custo. Salienta-se, entretanto, que tais materiais tem pouca resistência física. Aconselha-se a prática com fontes de luz de laser de baixa potência estáveis. Isso porque será preciso mantê-la ligada por um tempo relativamente grande durante as medidas experimentais.

b) Fenda metálica

A fenda consiste numa placa metálica fina que tem uma abertura de certa largura, em uma de suas extremidades. A sua abertura pode ser convenientemente regulada com o uso geral de fita adesiva; utilizou-se pedaços de fita isolante. É preciso se medir precisamente esta largura, com o microscópio metrológico, antes do início da prática.

A colocação da fita adesiva deve ser cuidadosa para se evitar efeitos óticos indesejados. É preciso que os pedaços de fita fiquem paralelos e que não possuam muitos defeitos, os quais possam influir na passagem do feixe de luz incidente.

c) Fotodetector

O fotodetector trata-se basicamente de um circuito eletrônico composto por um fotodiodo (para maiores detalhes, consultar o Apêndice). Tal detector possui um ajuste de sensibilidade luminosa que permite detectar feixes de luz de baixa intensidade. Salienta-se que a luz ambiente tem influência direta no fotodetector quando a sua sensibilidade se encontra relativamente alta.

Instalou-se, em várias ocasiões, um cilindro feito de papel celofane e de tamanho médio em torno do sensor do fotodetector. Mas isso não conseguiu impedir completamente a influência da luz externa quando o nível de sensibilidade do aparelho estava muito elevado.

Em relação ao fotodetector utilizado, o limite da tensão de polarização foi estabelecido em 9V. Esse limite provém do limite de polarização do material do fotodiodo, componente deste aparelho.

O fotodetector é um instrumento que foi fabricado exclusivamente para essa prática; não se trata de um modelo comercial. Ele possui uma escala numérica de referência para o ajuste de sua sensibilidade de captação luminosa.

d) Parafuso micrométrico

O parafuso micrométrico é uma peça atada a uma plataforma móvel que, por sua vez, deve ser segura no banco ótico. O giro do parafuso controla o movimento da plataforma sobre a qual se prende o fotodetector. Uma volta completa do parafuso micrométrico representa o deslocamento de 1mm da plataforma a qual ele está atado.

Descreve-se a maneira pela qual o instrumental, anteriormente descrito, foi configurado para o registro manual da curva da distribuição da intensidade da luz difratada. Antes de tudo, é preciso sublinhar que esta prática deve ser feita em um ambiente majoritariamente escuro, de modo que melhores resultados possam ser conseguidos. Isso é devido à extrema sensibilidade do fotodetector à variação da intensidade da luz que o alcança.

A montagem dos instrumentos é bastante simples, a saber. Colocou-se, primeiramente, o banco óptico sobre uma superfície plana. Sobre o banco óptico, prendeu-se a plataforma móvel do parafuso micrométrico, a fenda metálica e a fonte de luz. Ligou-se o fotodetector à fonte de tensão variável e ao multímetro (fig. 2).

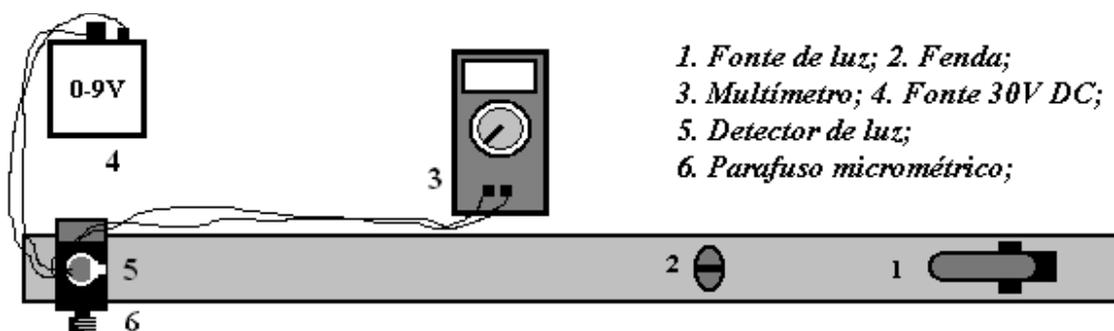


Fig. 2 – Esquema ilustrativo da montagem do instrumental para o registro manual da curva.

A fenda foi colocada à uma distância da fonte de luz e à uma distancia do fotodetecor que respeitavam a condição para a Difração de Fraunhofer (1); a largura da fenda foi ajustada em décimos de milímetro. Variou-se, muitas vezes, essa largura durante o método experimental.

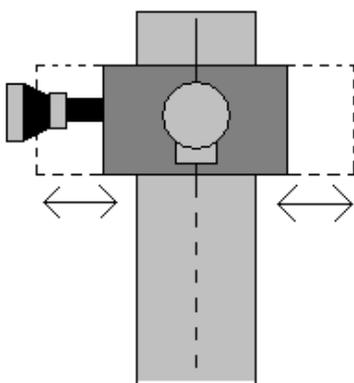


Fig. 3 – Ilustração do alinhamento do fotodetector ao eixo do banco óptico.

A fonte de luz de laser utilizada possuía 2,0 mW de potência e comprimento de onda $\lambda = 630-670$ nm.

Alinhou-se o feixe de luz de laser às posições da fenda e do fotodetector. Com uma folha de papel comum, projetou-se a luz difratada e se observou o padrão de difração da luz. Alinhou-se, então, o centro do máximo absoluto do padrão de difração em relação ao centro do caminho da plataforma do fotodetector (ou mesmo ao eixo do banco óptico) (fig. 3).

Esse procedimento foi necessário para se obter uma conveniente simetria no registro da curva em relação ao máximo absoluto do padrão de difração da luz.

No controlador da fonte de tensão, fixou-se um certo valor para a tensão de polarização do fotodetector. Acreditou-se um valor também para a referência da sensibilidade do fotodetector. E, por fim, se conectou o multímetro a este aparelho.

MEDIDAS EXPERIMENTAIS

Foram feitas inúmeras medidas experimentais, isto é, determinações da curva da distribuição da intensidade da luz difratada por uma fenda. Considerou-se convenientemente apenas algumas delas para a discussão dos aspectos experimentais envolvidos em suas determinações. As tabelas dos dados experimentais e os gráficos correspondentes são apresentados nesse relatório (Anexos B e C, respectivamente).

Em relação a todas as determinações, considerou-se uma distância total de 18 mm no giro do parafuso micrométrico; este foi utilizado para se medir a variação da tensão do sinal de saída do fotodetector (isto é, a intensidade da luz incidente) em função da variação da posição deste aparelho, em intervalos regulares de 0,5 mm. Este padrão para a medição foi estabelecido devido ao limite do parafuso e por uma questão de conveniência. Era possível se considerar intervalos maiores ou menores para a variação da posição do fotodetector. A questão era o tempo disponível para a marcação de um número maior ou menor de pontos experimentais.

Variou-se as condições consideradas para as determinações: variou-se ora a referência da sensibilidade do fotodetector, ora a sua tensão de polarização, ora as distâncias da fenda à fonte e da fonte ao fotodetector, além da largura da fenda, de maneira que foi possível se conhecer os pormenores a associados a estas variáveis.

Analisou-se, detalhadamente, duas das medidas experimentais feitas. Posteriormente, fez-se uma análise geral do conjunto de curvas obtido. Nesta análise, discutiu-se a influência das variáveis quanto às determinações das curvas.

a) Análise de duas medidas

Considerou-se a tensão de polarização do fotodetector em 8,5V e a referência da sua sensibilidade em 2. Verificou-se que havia uma pequena interferência da luz externa no fotodetector, uma vez que o zero do multímetro, que ocorria quando se obstruía a passagem da luz difratada, estava em 0,08V. Para esta determinação, a distância entre a fenda e o fotodetector era 87,6 cm e a distância entre a fonte de luz e a fenda era 110,9 cm. A largura da fenda era 0,17mm.

Inicialmente, verificou-se que estas distâncias consideradas obedeciam a relação para a ocorrência da Difração de Fraunhofer (1).

Obteve-se então um conjunto de pontos experimentais (Tab. 1).

Pelo alinhamento do fotodetector ao eixo do banco óptico e pelo número de pontos experimentais considerados, a medida foi feita e resultou numa curva claramente simétrica e suave (Curva 1). Esta curva é simétrica em relação à distância relativa de 9 mm, que se considerou no parafuso micrométrico.

Pela curva traçada, observou-se que o primeiro mínimo medido ocorreu para:

$$(12) \quad y^{EXP} = |12,5 - 9,0| = (3,5 \pm 0,3)mm$$

O desvio padrão dessa medida levou em conta os desvios do comprimento de onda da luz do laser, da largura da fenda e da distância entre a fenda e o anteparo.

Pela expressão (4), calculou-se a posição do primeiro mínimo para as condições do experimento e o resultado foi:

$$(13) \quad y^{TEO} \approx 3,35mm$$

O cálculo dos mínimos de ordens maiores é similar ao feito para o primeiro. Além do que, a posição entre dois mínimos consecutivos, no padrão de difração, é proporcional a um fator inteiro, o que pode ser visto por (4). Os cálculos dos mínimos de ordem superior e a sua comparação com os mínimos da curva experimental traçada mostraram que os valores medidos se aproximaram satisfatoriamente dos teóricos. O erro relativo calculado para a medida do primeiro mínimo foi de, aproximadamente, 4,28%.

A observação da curva experimental (Curva 1) mostrou o limite de detecção do fotodetector porque a curva ficou achatada numa posição intermediária do máximo absoluto. Esse limite adveio de uma restrição puramente técnica, que não teve relação alguma com o procedimento experimental considerado.

O resultado obtido, isto é, a curva em si, entretanto, foi bastante razoável. Pôde-se notá-lo após se ter traçado a curva teórica do padrão de difração para as condições experimentais pressupostas; utilizou-se a expressão (9) e os valores numéricos associados às condições do experimento. Fez-se um comparativo entre a curva teórica e a experimental (Gráfico 1) e a sua similaridade ficou evidente.

A dificuldade havida no momento de se traçar a curva teórica foi a consideração para o fator de proporcionalidade I_0 da expressão para a intensidade da luz que atinge um ponto y particular do anteparo (9). Quando foi preciso traçar a curva, notou-se que esse fator não seria 2, como era de se esperar que fosse, dada a intensidade da luz de laser, a qual era 2 mW; esse fator era 20. Pois assim, o gráfico obtido está em termos da intensidade relativa e não da intensidade da luz difratada.

Acrescenta-se também que teria sido melhor se traçar o gráfico de I/I_0 em função da posição do anteparo y não fosse a limitação de detecção do fotodetector, que a determinação de uma voltagem para a qual a intensidade da luz seria máxima, que seria aquela do feixe difratado incidente no centro do anteparo.

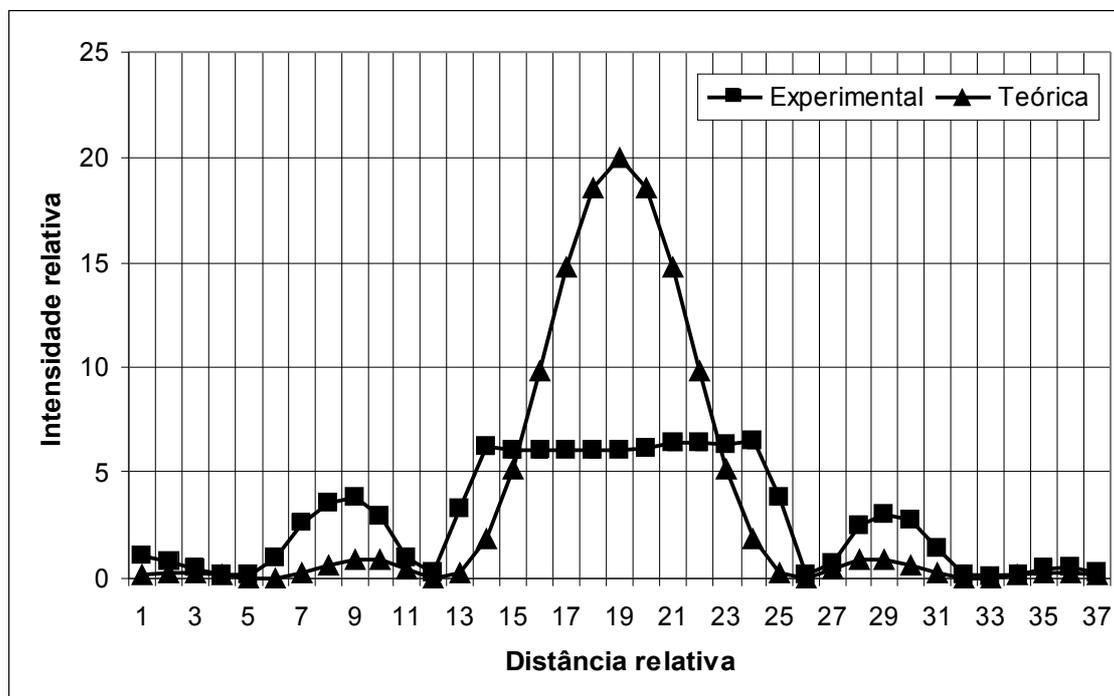


Gráfico 1 – Comparativo entre a curvas experimental (Curva 1) e teórica do padrão de difração da luz.

Considerou-se outra medida feita com o instrumental. Obteve-se um conjunto de valores experimentais (Tab. 5). Do mesmo modo que se fez para o caso anterior, as condições experimentais consideradas obedeciam à condição da Difração de Fraunhofer (1). Portanto, esperava-se *a priori* que as medidas convergissem para os valores teóricos.

A observação da curva traçada com os pontos experimentais (Curva 5) demonstra a simetria dos valores em relação ao máximo absoluto, posto convenientemente no centro do anteparo; esta curva é simétrica em relação à distância relativa de 9 mm, que se considerou no parafuso micrométrico.

Observou-se, diretamente da curva experimental, que o primeiro mínimo ocorreu para a posição (em relação ao centro do anteparo):

$$(14) \quad y^{EXP} = |11,5 - 9,0| = (2,5 \pm 0,2)mm$$

Do mesmo modo que anteriormente, o desvio padrão dessa medida levou em conta os desvios do comprimento de onda da luz do laser, da largura da fenda e da distância entre a fenda e o anteparo.

Pela expressão (4), calculou-se a posição do primeiro mínimo para as condições do experimento e o resultado foi:

$$(15) \quad y^{TEO} \approx 2,40mm$$

A partir disso, se concluiu-se que o valor medido para o mínimo convergiu bem para o seu valor teórico. Pode-se calcular os mínimos de ordem superior através da mesma expressão (4). Pela regularidade dos mínimos vistos na curva e porque a distância entre dois desses mínimos, prevista pela teoria, é um fator inteiro, supôs-se que os cálculos demonstrariam, da mesma maneira que ocorreu para o primeiro mínimo, que os valores experimentais convergem para os teóricos; de fato, os cálculos dos mínimos de ordem

superior e a sua comparação com os mínimos da curva experimental traçada mostraram que os valores medidos se aproximaram satisfatoriamente dos teóricos. O erro relativo calculado para a medida do primeiro mínimo foi de, aproximadamente, 4,16%.

A observação da curva experimental (Curva 5) mostrou novamente o limite de detecção do fotodetector porque a curva ficou achatada numa posição intermediária do máximo absoluto. Entretanto, em relação às condições consideradas, notou-se que o fotodetector conseguiu medir uma quantidade maior de máximos de outras ordens senão a primeira, diferentemente do caso de uma das curvas medidas (Curva 2).

De modo que se avaliar o resultado obtido, isto é, a curva determinada, traçou-se a curva teórica da intensidade relativa da luz difratada em função da variação da distância relativa do ponto de incidência da luz no anteparo (Gráfico 2); para esse fim, utilizou-se (9). Por este gráfico, notou-se que o resultado obtido foi bem razoável, salvo o fato de que o fotodetector ficou limitado para os pontos referentes ao máximo absoluto.

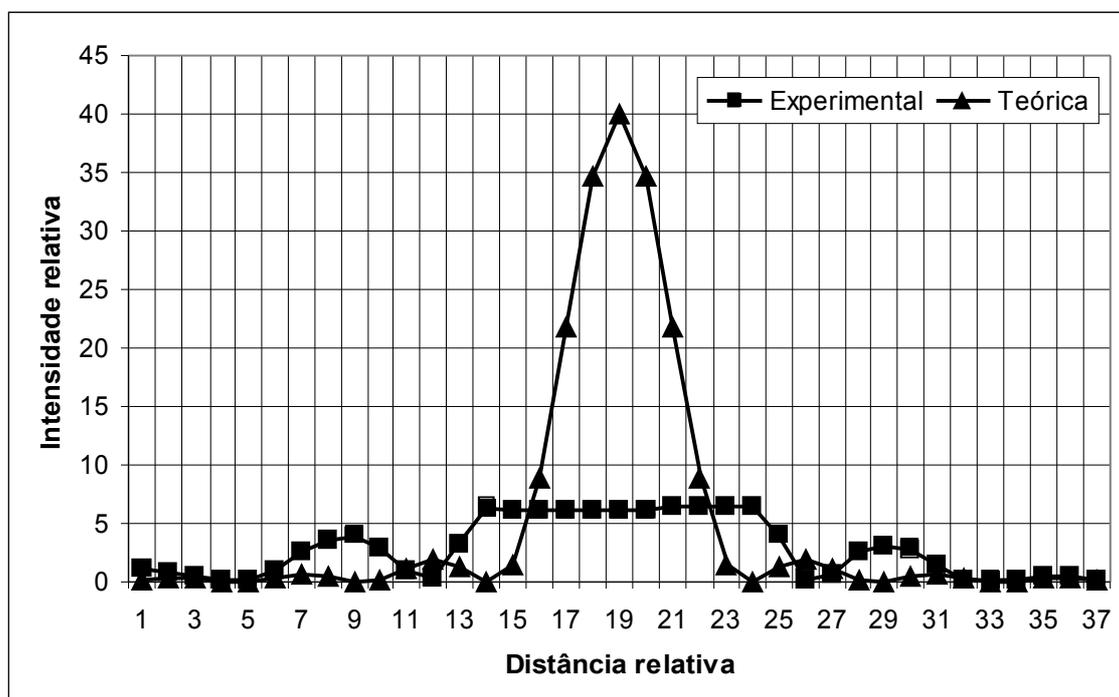


Gráfico 2 - Comparativo entre a curvas experimental (Curva 5) e teórica do padrão de difração da luz.

Observou-se, pelo gráfico comparativo das curvas experimental e teórica (Gráfico 2), que, nesta determinação, o fotodetector limitou em demasia os pontos condizentes com o máximo absoluto. Isso fez com que o valor para o máximo de primeira ordem ficasse comparável com o do máximo absoluto, na curva experimental (Curva 5); claro que o problema com a detecção deve ser mencionado afim de que se evite más interpretações da forma da curva medida.

b) Análise geral do conjunto de curvas

A análise geral das curvas obtidas (Anexo C) mostrou que as características das curvas foram moldadas pelas características próprias e pela operação do fotodetector. Investigou-se a influência da variação da tensão de polarização e da referência de sensibilidade deste aparelho nas formas das curvas determinadas.

Primeiramente, notou-se que, para uma maior sensibilidade do fotodetector, este conseguiu captar os máximos de ordens superiores do padrão de difração da luz; porém,

em relação ao máximo central, os pontos vizinhos a esse tiveram tensão equivalente aos máximos de primeira ordem. Para uma menor sensibilidade do fotodetector, o máximo central ficou bem distinguido dos outros máximos, inclusive os de primeira ordem, pois os pontos nos quais o detector saturou, pontos estes condizentes com os do máximo central, tiveram tensão mais elevada do que aqueles dos outros máximos, em especial os pontos dos máximos de primeira ordem; porém, com menor sensibilidade, o fotodetector não conseguiu detectar os máximos de ordem superior nem mesmo os feixes difratados os quais tinham menor intensidade.

Determinou-se duas curvas com baixa sensibilidade do fotodetector (Curvas 1 e 2). Na Curva 1, observou-se até o máximo de segunda ordem ao passo que, na Curva 2, ele não foi observado. A sutil diferença entre as tensões relativas aos máximos de primeira ordem, mais nítida na Curva 1, deveu-se aos efeitos da difração retangular (efeitos verticais), causados pelo fato do comprimento da fenda não ser muito maior do que a sua largura. Entretanto, para uma discussão geral do fenômeno, tal assimetria pode ser desconsiderada.

Determinou-se três curvas com alta sensibilidade do fotodetector (Curvas 3, 4 e 5). O que é notável nessas curvas é a sua pouca suavidade; ficou evidente que seria necessário se determinar um maior número de pontos próximos aos pontos críticos (máximos e mínimos) para que a curva viesse a ser mais suave. O fato do fotodetector ficar mais sensível acarretou variações mais bruscas nos valores dos pontos experimentais tomados para uma distância regular de 0,5 mm.

A partir da comparação entre a Curva 2, a Curva 3 e a Curva 6, curvas estas que responderam a uma tensão de polarização de 7V no fotodetector, comprovou-se que a variação da tensão de polarização apenas era capaz de mudar o valor da tensão de saturação do sinal de saída no detector; observou-se, para tais distintas curvas, um mesmo valor para a sua tensão de saturação V_{SAT} , cujo valor foi:

$$(16) \quad V_{SAT} \cong 5,24V$$

Essa característica da influência da variação da tensão aplicada no detector também foi notada depois que se considerou a Curva 4 e a Curva 5; para tais curvas, considerou-se as mesmas distâncias entre a fonte e a fenda e entre a fenda e o detector; no entanto, os seus valores para V_{SAT} foram diferentes.

Em relação a estas distancias, concluiu-se que a sua variação não suscitou nenhuma variação da tensão do sinal de saída do fotodetector. Claramente, se, por um lado, estas distancias possuíam um limite inferior (1) exigido para a Difração de Fraunhofer, por outro, não foi possível se experimentar distâncias maiores do que as possíveis, nos limites físicos do laboratório onde as práticas foram realizadas.

CONCLUSÕES

As curvas determinadas através do método experimental proposto para se verificar a Difração de Fraunhofer foram, em termos gerais, satisfatórias. Elas foram suficientes para se obter as características gerais do padrão de difração da luz que atravessou a fenda. Apesar de não terem sido completamente suaves e regulares, as curvas obtidas foram suficientes para o estudo da Difração de Fraunhofer.

Este método experimental dependeu essencialmente da utilização e das propriedades do fotodetector. Este instrumento foi, dentre os demais usados, o mais importante para a determinação das curvas. A regulagem de sua sensibilidade permitiu a obtenção de curvas com características distintas. Como foi observado, tal distinção estava intrinsecamente relacionada com a diferença da intensidade da luz nos pontos vizinhos ao máximo absoluto (central). A dificuldade fundamental deste método se originou na discrepância entre a intensidade da luz do máximo central e a dos demais máximos do padrão de difração.

Mas, se, por um lado, o método apresentou esse tipo de dificuldade e limitações evidentes, por outro, ele se mostrou apropriado na análise quantitativa do fenômeno óptico pois as curvas determinadas pelos valores medidos foram bastante similares às curvas teóricas. Notou-se que, para uma determinação rigorosa da curva teórica do padrão de difração em termos das condições experimentais, seria preciso se conhecer o coeficiente de proporcionalidade que relaciona a intensidade da luz e a tensão do sinal de saída no fotodiodo componente do fotodetector. Porém, sabe-se que o conhecimento desse fator não seria essencial para se comparar as formas das curvas experimental e teórica, uma vez que poderiam ser traçados os gráficos de I/I_0 e de V/V_0 em função da posição no anteparo. No caso, isso não foi possível devido à saturação do detector em um certo valor para a tensão de saída.

O registro manual, que se utilizou do parafuso micrométrico, mostrou-se muito mais simples e funcional do que o registro analógico, o qual motivou a busca pelo método experimental descrito (Anexo D). Antes de tudo, para este, era necessário se ajustar o registrador YT; isso representava uma dependência adicional a um instrumento de medida, o qual trazia consigo as suas próprias limitações. Além disso, o registrador YT utilizado possuía uma mecânica incompatível com a sua eletrônica e isso gerou uma série de transtornos durante o procedimento experimental. Salienta-se que a diferença entre os dois tipos de registros residiu na maneira como a curva era determinada e não no nível de sua qualidade. Esse aspecto foi decisivo na substituição do registro analógico pelo manual.

Das variáveis associadas à determinação do padrão da difração, observou-se primeiro a influência da luz externa no fotodetector, quando considerados grandes valores para a referência de sua sensibilidade. Essa influência era capaz de desviar caoticamente os valores experimentais. Depois, percebeu-se que a tensão de polarização do fotodetector não influenciou na obtenção dos máximos senão a do máximo absoluto. Porque o aumento dessa tensão permitiu se alcançar pontos para os quais a intensidade da luz era maior. Assim, a variável crucial no procedimento experimental foi a sensibilidade do fotodetector. A sua variação permitiu se determinar o pontos próximos do máximo absoluto ou os pontos distantes (outros máximos) daquele ponto. Não se conseguiu, contudo, se encontrar uma configuração da sensibilidade para a qual esses dois aspectos fossem pertinentes.

Apesar dos problemas encontrados, o desenvolvimento do método quantitativo de análise da Difração de Fraunhofer foi bem sucedido. Ficou claro que o método empregado funcionou e que, deste modo, representou um método muito mais apropriado do que

aqueles comumente usados para a interpretação do fenômeno (Ref. b2). Esse argumento é sustentado pelos resultados obtidos, isto é, pelas curvas determinadas (Anexo C).

Claramente, possíveis desenvolvimentos do projeto estarão relacionados com um novo projeto para o circuito do fotodetector porque foi desse aparelho que as limitações do método experimental empregado se originaram. Sublinha-se como um dos aspectos favoráveis desse método do registro manual a sua grande simplicidade prática e a sua pouca demanda de instrumentos de medida. Destaca-se também que outro possível desenvolvimento deste projeto seria a utilização de um tubo (retangular ou cilíndrico) adaptado sobre o banco óptico e colocado entre a fenda e o fotodetector. Isso porque a luz externa é capaz de desviar os valores da tensão no fotodetector.

REFERÊNCIAS

a) Livros

- 1) *Optics*, Rossi, B., Addison-Wesley, 1ª ed., 1962, pgs. 198-207;
- 2) *Fundamentals of optics*. Jenkins, F. A. & White, H. E., 4ª ed., McGraw-Hill, 1981, pgs. 315-327;
- 3) *Introduction to modern optics*. Fowles, G. R., 2ª ed., Dover, 1975, pgs. 112-125;
- 4) *The Feynman lectures on Physics – Vol. I*. Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M., Addison-Wesley, 1977, pgs. 30.1-30.6;
- 5) *Física: fundamentos e aplicações – Vol. IV*. Eisberg, R. M. & Lerner, L. S., McGraw-Hill do Brasil, 1982, pgs. 179-189;

b) Páginas da internet

- 1) http://www.teachspin.com/instruments/two_slit/the_instrument.shtml (Fabricante de um instrumental para estudo da difração por uma e duas fendas);
- 2) <http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/f429-14.html> (Página de instruções para o ex-perimento da difração do Laboratório de Ensino de Óptica do Instituto de Física “Gleb Wataghin”, da Unicamp)
- 3) <http://www.math.ubc.ca/~cass/courses/m309-03a/m309-projects/krzak/index.html> (Informações gerais sobre difração e poucas deduções matemáticas)
- 4) <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/sinlit.html> (Cálculo direto da posição dos mínimos na difração por uma fenda)
- 5) <http://cnx.org/content/m12915/latest/> (Informações gerais sobre difração, deduções matemáticas etc)
- 6) <http://scienceworld.wolfram.com/physics/FraunhoferDiffractionSingleSlit.html> (Uma dedução da equação da distribuição da intensidade da luz difratada)

c) Simuladores Java na internet

- 1) <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/difracao/difracao.htm> (Apresenta um Applet Java e rápida discussão qualitativa sobre difração)
- 2) <http://surendranath.tripod.com/Applets/Optics/Slits/SingleSlit/SnglSlitApplet.html> (Um excelente Applet Java que demonstra o padrão de difração segundo a variação dos parâmetros relacionados ao fenômeno)

A – Esquema geral de funcionamento do fotodetector

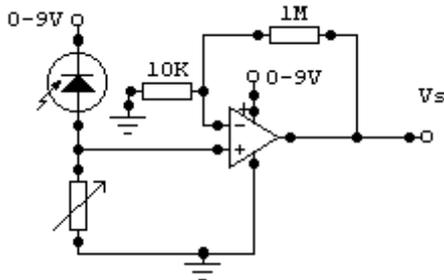


Fig. 4 - Esquema do circuito do fotodetector.

O fotodetector utilizado na prática descrita tem um circuito eletrônico muito simples. Ele é composto basicamente por um amplificador operacional, um fotodiodo, um potenciômetro e duas resistências, uma de 10KΩ e outra de 1MΩ.

A luz provinda da fonte é absorvida pelo fotodiodo; a corrente elétrica no fotodiodo é proporcional à intensidade da luz incidente.

A sensibilidade do detector é controlada pela variação da resistência R do potenciômetro. A variação desta resistência causa uma variação da tensão na saída não-inversora do operacional e muda o limite da corrente do fotodiodo. Pela análise do circuito do fotodetector, é possível estabelecer a seguinte relação entre o sinal na saída do circuito (V_s) e R:

$$V_s = 101 \cdot \left[V_{cc} \left(\frac{R}{R + R_F} \right) \right]$$

na qual V_{cc} designa a tensão constante de polarização do fotodiodo e R_F , a sua resistência própria.

ANEXO

A - FOTOS



Foto 1 – O padrão de difração da luz difratada por uma fenda



Foto 2 – O instrumental utilizado (aspecto geral)



Foto 3 - A fonte de luz utilizada

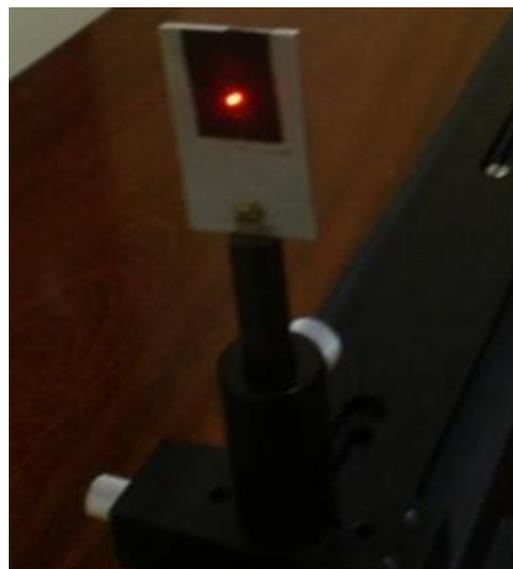


Foto 4 - A fenda metálica

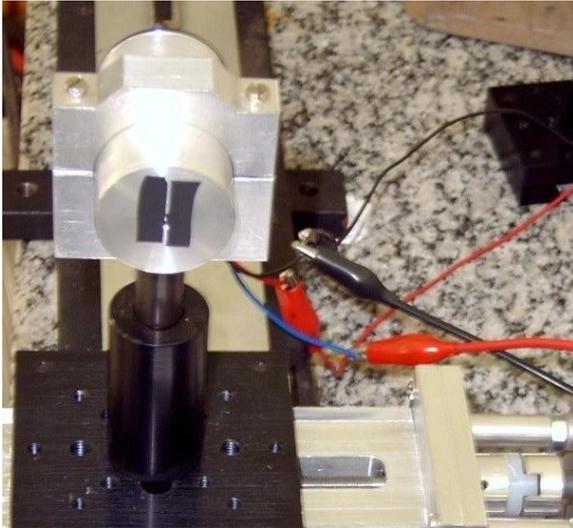


Foto 5 – O fotodetector

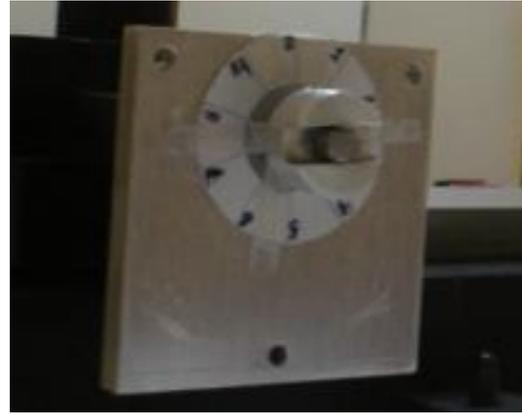


Foto 6 – O parafuso micrométrico

B – TABELAS

Tab. 1

Dist. Rel. (mm)	Tensão (V)						
0,0	1,07	5,0	1,03	10,0	6,41	15,0	1,47
0,5	0,85	5,5	0,26	10,5	6,43	15,5	0,22
1,0	0,42	6,0	3,28	11,0	6,4	16,0	0,11
1,5	0,15	6,5	6,25	11,5	6,51	16,5	0,18
2,0	0,19	7,0	6,08	12,0	3,87	17,0	0,42
2,5	1,03	7,5	6,08	12,5	0,22	17,5	0,51
3,0	2,64	8,0	6,09	13,0	0,71	18,0	0,24
3,5	3,56	8,5	6,07	13,5	2,54		
4,0	3,88	9,0	6,09	14,0	3,08		
4,5	2,93	9,5	6,16	14,5	2,78		

Tab. 2

Dist. Rel. (mm)	Tensão (V)						
0,0	0,00	5,0	0,42	10,0	5,24	15,0	2,04
0,5	0,00	5,5	4,15	10,5	5,24	15,5	1,25
1,0	0,12	6,0	5,24	11,0	5,24	16,0	0,20
1,5	0,53	6,5	5,24	11,5	5,24	16,5	0,00
2,0	1,61	7,0	5,24	12,0	5,24	17,0	0,00
2,5	2,35	7,5	5,24	12,5	1,08	17,5	0,00
3,0	2,45	8,0	5,24	13,0	0,00	18,0	0,12
3,5	2,15	8,5	5,24	13,5	0,42		
4,0	0,61	9,0	5,24	14,0	1,52		
4,5	0,15	9,5	5,24	14,5	2,24		

Tab. 3

Dist. Rel. (mm)	Tensão (V)						
0,0	0,49	5,0	1,93	10,0	5,28	15,0	4,41
0,5	0,53	5,5	5,21	10,5	5,24	15,5	2,09
1,0	0,00	6,0	2,77	11,0	5,24	16,0	0,00
1,5	0,00	6,5	0,62	11,5	5,17	16,5	1,45
2,0	1,29	7,0	5,19	12,0	5,15	17,0	1,92

2,5	0,49	7,5	5,30	12,5	5,15	17,5	0,52
3,0	0,00	8,0	5,30	13,0	5,15	18,0	0,00
3,5	1,79	8,5	5,30	13,5	5,11		
4,0	2,01	9,0	5,30	14,0	0,75		
4,5	0,00	9,5	5,30	14,5	2,77		

Tab. 4

Dist. Rel. (mm)	Tensão (V)						
0,0	0,41	5,0	0,76	10,0	6,43	15,0	0,69
0,5	0,00	5,5	0,00	10,5	6,43	15,5	0,00
1,0	0,00	6,0	2,84	11,0	6,43	16,0	1,71
1,5	0,72	6,5	6,36	11,5	6,42	16,5	2,23
2,0	1,32	7,0	5,71	12,0	6,42	17,0	1,40
2,5	0,67	7,5	1,65	12,5	3,14	17,5	0,00
3,0	0,00	8,0	2,13	13,0	1,08	18,0	0,00
3,5	0,69	8,5	6,40	13,5	5,09		
4,0	2,11	9,0	6,43	14,0	6,35		
4,5	2,20	9,5	6,43	14,5	3,33		

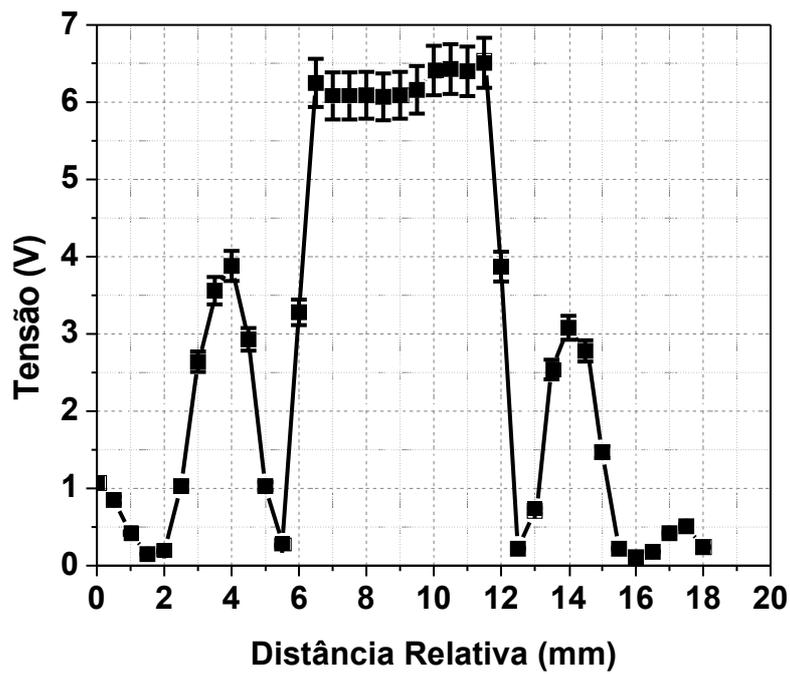
Tab. 5

Dist. Rel. (mm)	Tensão (V)						
0,0	0,00	5,0	1,61	10,0	4,29	15,0	1,45
0,5	0,00	5,5	3,77	10,5	4,29	15,5	0,47
1,0	0,45	6,0	3,91	11,0	3,10	16,0	0,00
1,5	0,39	6,5	0,98	11,5	0,00	16,5	0,00
2,0	0,00	7,0	2,10	12,0	2,91	17,0	0,53
2,5	0,00	7,5	4,30	12,5	4,30	17,5	0,45
3,0	0,91	8,0	4,30	13,0	2,51	18,0	0,00
3,5	1,44	8,5	4,30	13,5	0,42		
4,0	0,41	9,0	4,30	14,0	0,00		
4,5	0,00	9,5	4,30	14,5	1,09		

Tab. 6

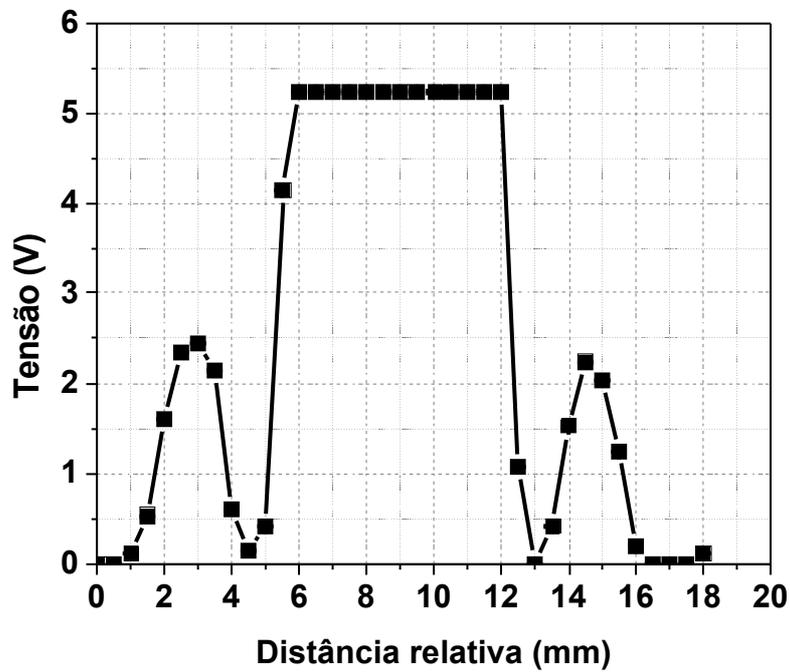
Dist. Rel. (mm)	Tensão (V)						
0,0	1,08	5,0	2,56	10,0	5,23	15,0	2,21
0,5	1,29	5,5	1,32	10,5	5,23	15,5	2,72
1,0	1,19	6,0	0,00	11,0	5,23	16,0	2,58
1,5	0,59	6,5	1,49	11,5	5,21	16,5	2,02
2,0	0,00	7,0	5,23	12,0	5,20	17,0	1,18
2,5	0,00	7,5	5,23	12,5	5,17	17,5	0,33
3,0	1,11	8,0	5,23	13,0	3,10	18,0	0,00
3,5	2,14	8,5	5,23	13,5	0,53		
4,0	2,85	9,0	5,23	14,0	0,00		
4,5	3,07	9,5	5,23	14,5	1,24		

C - CURVAS



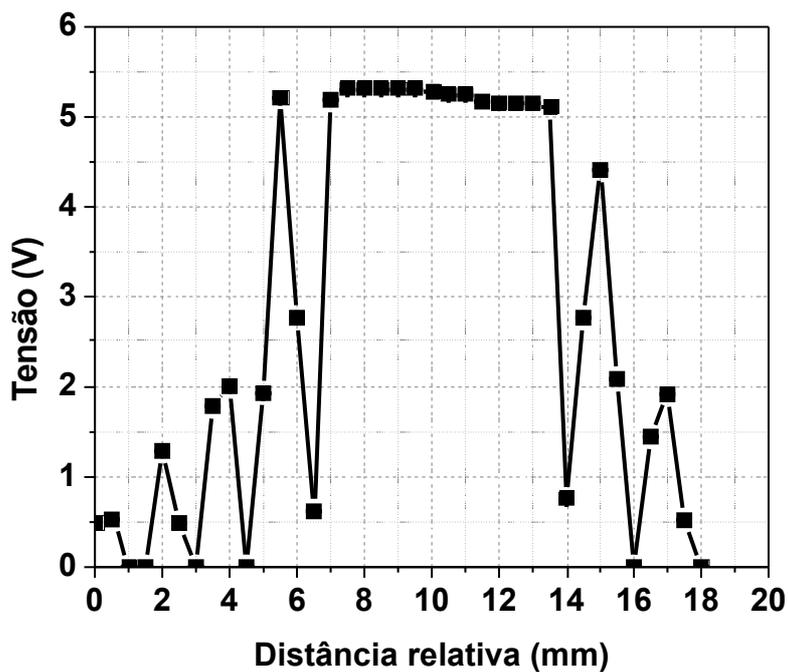
Curva 1

Condições consideradas: Largura da fenda: 0,17mm, Dist. Fenda-Detector: 87,6 cm, Dist. Fenda-Fonte: 110,9 cm, Tensão de Alim. Detector: 8,5V, Ref. Sens. Detector: 2, Zero: 0,08 V



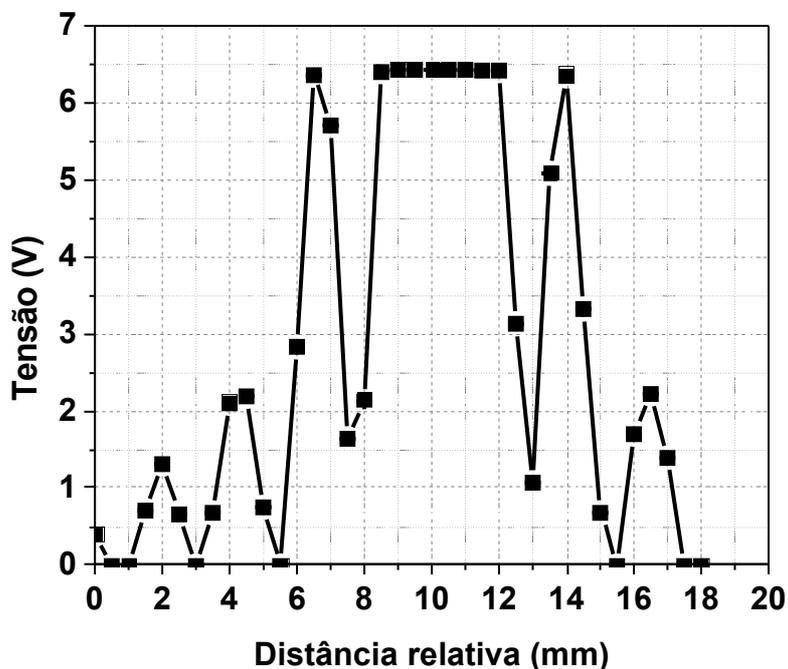
Curva 2

Condições consideradas: Largura da fenda: 0,10mm, Dist. Fenda-Detector: 60,3 cm, Dist. Fenda-Fonte: 149,5 cm, Tensão de Alim. Detector: 7V, Ref. Sens. Detector: 3, Zero: 0,00 V.



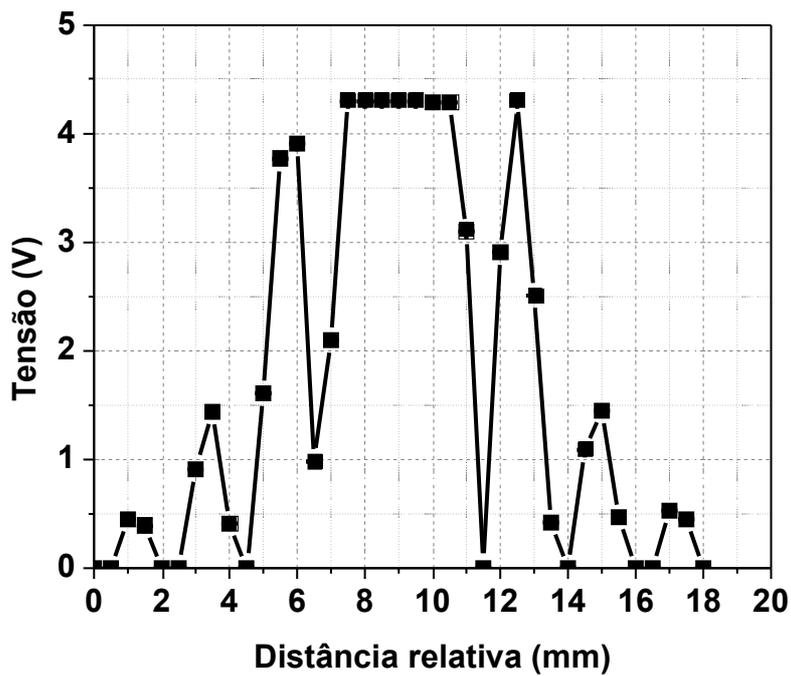
Curva 3

Condições consideradas: Largura da fenda: 0,10mm, Dist. Fenda-Detector: 66,4 cm, Dist. Fenda-Fonte: 100,4 cm, Tensão de Alim. Detector: 7V, Ref. Sens. Detector: 5, Zero: 0,00 V.



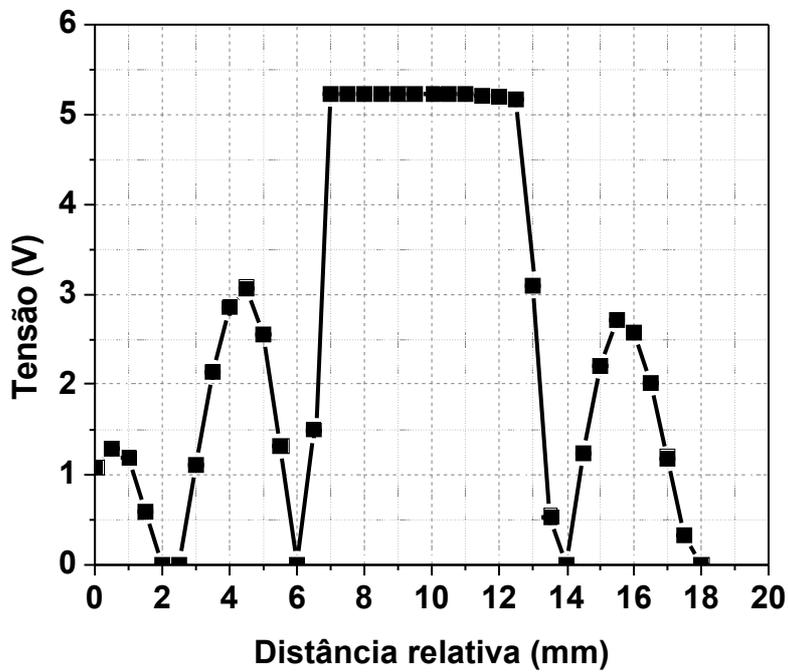
Curva 4

Condições consideradas: Largura da fenda: 0,17mm, Dist. Fenda-Detector: 62,8 cm, Dist. Fenda-Fonte: 104,0 cm, Tensão de Alim. Detector: 8V, Ref. Sens. Detector: 6, Zero: 0,00 V



Curva 5

Condições consideradas: Largura da fenda: 0,17mm, Dist. Fenda-Detector: 62,8 cm, Dist. Fenda-Fonte: 104,0 cm, Tensão de Alim. Detector: 6V, Ref. Sens. Detector: 5, Zero: 0,00 V.



D - RELATÓRIO PARCIAL

"Registro da curva da intensidade da luz difratada por uma fenda" (Relatório Parcial)

Autor: Vinicius Junqueira Filho
Orientador: Prof. Dr. Yoshikazo Ernesto Nagai
Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

RESUMO

Difração é um fenômeno ótico que demonstra a natureza ondulatória da luz. Esse fenômeno ocorre quando um feixe de luz encontra obstáculos ao longo do seu caminho de propagação; uma pequena abertura pode ser suficiente para notá-lo. Apesar deste ser um fenômeno ótico simples, os seus estudos prático e teórico não o são.

De maneira a se simplificar o estudo da difração, deve-se considerar tanto a distância entre a fonte de luz e a fenda quanto a distância entre a fenda e o anteparo (onde a luz se projeta) como distâncias infinitas (extremamente grandes). À essa aproximação, dá-se o nome de Difração de Fraunhofer. Ela é largamente utilizada em laboratórios básicos de Física e em feiras de ciência.

Apesar dessa aproximação permitir o desenvolvimento do estudo teórico do fenômeno, ela não encontra na prática uma utilização equivalente devido, entre outros aspectos, à dificuldade de se encontrar métodos práticos confiáveis que possibilitem uma medição efetiva do fenômeno. Nesse sentido, o registro gráfico da curva da intensidade da luz difratada por uma fenda viria a representar uma maneira mais precisa de se comparar os resultados experimentais com os valores teóricos previstos.

O registro do padrão da difração de Fraunhofer de uma fenda única demanda, em primeiro lugar, a apropriação do detector óptico à potência da fonte de luz. Devido à utilização, em geral, de lasers de baixa potência, é preciso, então, que o detector seja compatível com a potência do laser, de modo a ser suficientemente sensível ao gradiente da intensidade da luz difratada. Isso feito, o registro do gradiente torna-se uma questão de se conseguir sincronizar a detecção do gradiente com o seu registro gráfico.

DESCRIÇÃO

a) A curva da distribuição da intensidade da luz na Difração de Fraunhofer

Na aproximação de Fraunhofer, tanto a onda de luz incidente como a onda de luz difratada são consideradas ondas planas, pelo fato de se considerar como grandes as distâncias entre, respectivamente, a fonte de luz e a fenda e a fenda e o lugar onde a luz se projeta. Isso simplifica a análise matemática da difração da luz por uma fenda simples pois se supõe que as frentes de onda da luz difratada se propagam linearmente da fenda até o aparato (fig. 1).

Dessa forma, pode-se determinar a posição, no aparato, dos pontos onde as frentes de onda da luz difratadas interferiram mutuamente de forma destrutiva (mínimos) e, do mesmo modo, pode-se determinar os intervalos nos quais as frentes de onda da luz difratada interferiram mutuamente de forma construtiva (máximos); existe uma expressão matemática muito simples para isso (Ap. A). Na prática, um método razoável de se determinar aqueles pontos de mínimo e os intervalos de projeção luminosa é fazer a luz ser projetada sobre um filme sensível (Ref. 1).

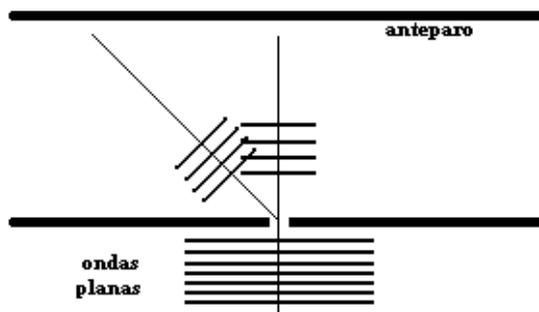


Fig. 1 - A propagação das ondas da luz na Difração de Fraunhofer.

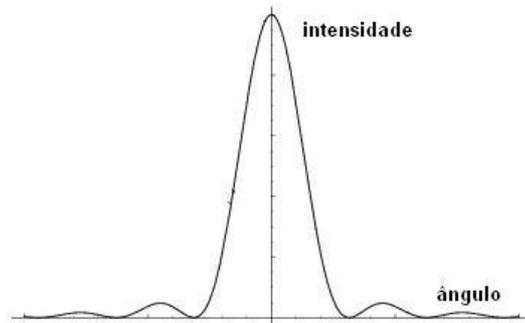


Fig. 2 - Ilustração da curva de distribuição da intensidade da luz difratada

O ponto fundamental da observação desse fenômeno ótico, contudo, é a distribuição da intensidade da luz difratada. Porque, além de representar o padrão de difração da luz incidente (de comprimento de onda arbitrário) e portanto demonstrar o caráter ondulatório da luz, esta distribuição explicita a variação da energia das ondas de luz difratadas. Esta variação ocorre em função do ângulo de difração (desvio em relação ao eixo de propagação inicial da luz) de uma onda de luz do feixe difratado. Considerando-se a aproximação de Fraunhofer, pode-se derivar a expressão algébrica desta distribuição em termos do ângulo de desvio da luz (Ap. B).

b) A montagem do instrumental necessário para o registro gráfico

Montou-se uma fonte de tensão variável 1-12V DC cujo funcionamento se apropria ao trabalho do motor utilizado para mover a plataforma do detector ótico. Esta fonte de tensão possui duas extremidades diferentes: uma que possui um pino seletor de tensão e outra que fornece uma tensão constante. Este pino serve para se selecionar a velocidade de funcionamento do motor, isto é, a velocidade da plataforma sobre a qual se encontra o detector; por outro lado, a tensão constante se relaciona com o retorno da plataforma à sua posição inicial.

Com a finalidade de facilitar o controle do motor, colocou-se uma chave seletora pre-sa ao banco ótico; esta chave permite selecionar o sentido do giro do motor, de modo que se tenha o controle do movimento da plataforma do detector. Esta chave comunica o motor com a fonte de tensão descrita anteriormente. Ela possui uma seleção interme-diária em que não há fornecimento de tensão para o motor.

O controle da passagem da plataforma é de fundamental importância para o registro do padrão de difração. Porque, tendo em vista que a fonte de luz e a fenda estarão em repouso, será o movimento da plataforma que permitirá se fazer a varredura da distribuição da intensidade da luz difratada.

A montagem do instrumental foi feita da seguinte maneira: sobre um banco ótico de 1,2 m de comprimento, sentou-se um suporte para a fonte de luz, um suporte para a fenda e a plataforma do detector. A esta plataforma, foi acoplado o motor de 33 rpm, o qual tinha as suas saídas ligadas na fonte de tensão 1-12V e na chave seletora. O detector era alimentado pela fonte de tensão 0-9V e mantinha uma de suas saídas conectadas no registrador (fig. 3).

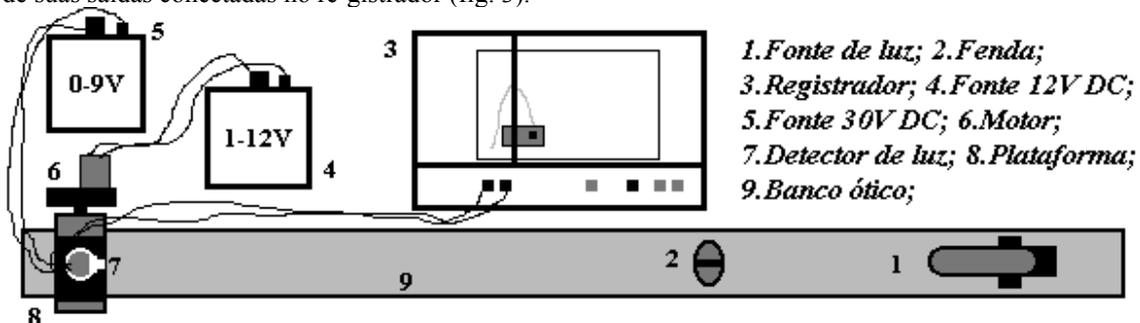


Fig. 3 - Ilustração do esquema de montagem do instrumental.

c) Problemas ocorridos com o instrumental

Houve alguns problemas técnicos com o registrador gráfico relacionados, na maioria das vezes, com a falha do mecanismo da ponta impressora. O mal funcionamento de tal mecanismo comprometeu

diretamente o registro da curva. Posteriormente, foram feitos ajustes no registrador que regularizaram o seu funcionamento.

Relata-se também que o primeiro fotodetector usado queimou subitamente na oportunidade de um dos testes. Ele foi substituído por outro que se utiliza basicamente de um fototransistor. Para o regular funcionamento deste dispositivo, a tensão máxima aplicada nas suas saídas era de 9V.

Pelos inúmeros testes feitos no instrumental, concluiu-se que os seus problemas mais pertinentes estavam relacionados com o funcionamento do registrador YT. É necessário acrescentar que o fotodetector é um dispositivo bastante frágil, que eventualmente pode vir a falhar.

d) O registro gráfico da curva da distribuição da intensidade da luz difratada

Os primeiros registros feitos para a curva da intensidade da luz difratada demonstraram curvas pouco suaves, devido ao número de regiões irregulares nessas curvas (Anexos B-1 e B-2). Em relação a tais registros, deve-se frisar que eles foram feitos usando-se o detector o qual posteriormente veio falhar.

O padrão obtido para as curvas, entretanto, demonstrou a existência de um pico mais elevado do que outros máximos locais, como era esperado. Concluiu-se, então, que o detector foi sensível não só ao máximo central do padrão de difração, tendo ele captado os máximos de primeira e segunda ordem. Entretanto, o aspecto geral de tais curvas não foi um resultado satisfatório. Investigações adicionais e novos testes feitos com o instrumental demonstraram que o detector tinha dificuldade em discernir pequenas variações de intensidade devido à largura da abertura de sua janela.

As outras curvas registradas (Anexos B-3, B-4 e B-5) foram determinadas utilizando-se um novo fotodetector. Apesar dessas curvas serem visivelmente mais suaves e regulares do que aquelas registradas com o velho detector, pode-se notar que o novo detector não foi capaz de captar os máximos de primeira e segunda ordem; apenas detector o intervalo de maior intensidade da luz difratada. A forma planificada do máximo dessas curvas demonstra que o fotodetector não foi sensível às pequenas variações da intensidade da luz, as quais cercam o ponto extremo da distribuição.

Em relação ao registro gráfico, averiguou-se a influência da voltagem aplicada nas saídas do fotodetector sobre a sensibilidade deste dispositivo em captar as variações da intensidade da luz. Assim, em relação a três valores distintos para aquela voltagem, registrou-se três curvas distintas, porém, suaves (Anexo B-3). Notou-se que aquela voltagem estava relacionada com a escala do eixo vertical do registrador pois, em geral, as curvas são bastante similares. Notou-se que, para a voltagem aplicada de 8,5V, o funcionamento irregular do fotodetector causou um registro irregular da curva (o dispositivo estava sob uma tensão muito próxima de seu valor máximo).

Depois, questionou-se sobre a influência das distâncias entre o detector e a fenda e entre a fenda e a fonte de luz. Determinou-se três curvas suaves em referência a diferentes valores para tais distâncias (Anexo B-4). Observou-se tanto a largura da base quanto a do pico da curva aumentou conforme o relativo aumento da distância entre o detector e a fenda e a diminuição da distância entre a fenda e a fonte. As curvas são bem similares, no geral.

Em seguida, havia a questão da influência da luz externa no registro gráfico. Era necessário saber se a luz do laboratório poderia desviar o resultado do processo. As curvas registradas (Anexo B-5) demonstraram que a luz externa não exerce nenhuma influência no processo de registro pois as duas curvas obtidas são idênticas.

e) As fontes de erros no registro gráfico

Compreendeu-se que a luz externa não representa uma fonte de erro no registro das curvas. Os desvios no registro das curvas estão relacionados com as precisões do registrador e do fotodetector.

DESENVOLVIMENTOS EM CURSO

a) Instalação de um limitador na plataforma do detector;

Notou-se ser bastante necessária a instalação de um limitador para o movimento da plataforma sobre a qual está preso o fotodetector, chamado fim de curso. Isso se deve à possibilidade de se travar o motor da plataforma se o movimento da plataforma não for interrompido antes do limite de seu curso. Reporta-se que, em mais de uma vez, o seu travamento ocorreu e isso causou grande atraso na aplicação do experimento.

b) Escalas para os seletores das velocidades do motor e da impressora do registrador

Notou-se ser necessária a colocação de escalas para os seletores das velocidades do motor da plataforma do fotodetector e da impressora do registrador. As escalas seriam referências para o ajuste da velocidade ótima entre a detecção e a impressão do padrão de difração.

c) Novos testes com uma fonte de luz mais potente

Serão feitos, em breve, novos testes com o instrumental, utilizando-se, dessa vez, um laser de maior potência. Como relatado, utilizou-se até então apenas lasers de baixa potência e não se conseguiu um registro satisfatório do padrão de difração. Dessa maneira, será possível testar a sensibilidade do fotodetector em relação aos máximos de primeira e segunda ordem da curva de distribuição da intensidade da luz.

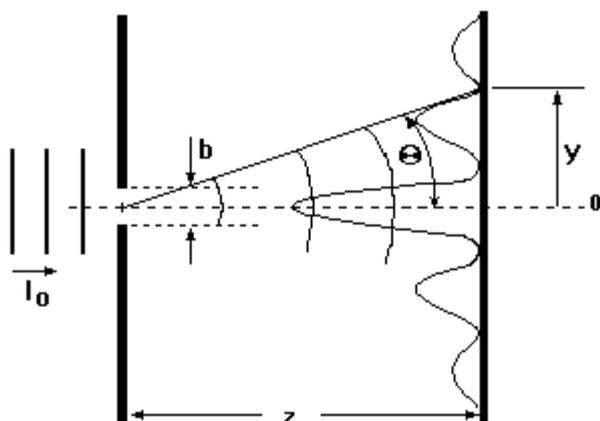
REFERÊNCIAS

1. <http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/f429-14.html> (Página de instruções para o experimento da difração do Laboratório de Ensino de Óptica do Instituto de Física “Gleb Wataghin”, da Unicamp)
2. *Fundamentals of optics*. Jenkins, F. A. & White, H. E., 4ª ed., McGraw-Hill, 1981, pgs. 315-327;
3. *Introduction to modern optics*. Fowles, G. R., 2ª ed., Dover, 1975, pgs. 112-125;
4. *The Feynman lectures on Physics – Vol. 1*. Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M., Addison-Wesley, 1977, pgs. 30.1-30.6;
5. *Física: fundamentos e aplicações – Vol. IV*. Eisberg, R. M. & Lerner, L. S., McGraw-Hill do Brasil, 1982, pgs. 179-189;
6. <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/difracao/difracao.htm> (Apresenta um Applet Java e rápida discussão qualitativa sobre difração)
7. <http://www.math.ubc.ca/~cass/courses/m309-03a/m309-projects/krzak/index.html> (Informações gerais sobre difração e poucas deduções matemáticas)
8. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/sinlit.html> (Cálculo direto da posição dos mínimos na difração por uma fenda)
9. <http://cnx.org/content/m12915/latest/> (Informações gerais sobre difração, deduções matemáticas etc)
10. <http://scienceworld.wolfram.com/physics/FraunhoferDiffractionSingleSlit.html> (Uma dedução da equação da distribuição da intensidade da luz difratada)
11. <http://surendranath.tripod.com/Applets/Optics/Slits/SingleSlit/SnglSlitApplet.html> (Um excelente Applet Java que demonstra o padrão de difração segundo a variação dos parâmetros relacionados ao fenômeno)

APÊNDICE

A - Dedução da expressão da posição dos mínimos da luz projetada no anteparo

Para se encontrar a posição dos mínimos da projeção da luz sobre o aparato, considere-se um ângulo Θ arbitrário que representa o desvio da frente de onda da luz difratada pela fenda de abertura b .



Sendo z a distância entre a fenda e o aparato e y a distância de um mínimo em relação ao eixo de propagação da luz incidente (vide figura), calcula-se a relação entre o ângulo Θ e o comprimento de onda λ da luz incidente: pela diferença de fase $\Delta\phi$ entre duas frentes de onda difratada quaisquer, tem-se:

$$\text{sen}\theta = \frac{\Delta\phi}{b/2}$$

Para $z \gg y$, tem-se: $\text{sen}\theta \approx \tan\theta$. Para os mínimos, $\Delta\phi = \frac{n\lambda}{2}$. Assim, a posição y

dos n mínimos pode ser aproximada como:
 $y = \frac{nz\lambda}{b}$, para $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

B - Dedução da expressão da distribuição da luz na difração de Fraunhofer

Na difração de Fraunhofer, as frentes de onda são consideradas estritamente planas. Tomando-se os ângulos de difração suficientemente pequenos e aproximadamente constantes em relação à abertura da fenda, usa-se a integral de Fresnel-Kichhoff no cálculo da amplitude U das ondas difratadas:

$$U = C \iint e^{ikr} dA$$

na qual C é um fator constante e dA é uma unidade infinitesimal de área da abertura da fenda, isto é, $dA = L \cdot dy$, sendo L o comprimento da fenda e b a sua abertura. O módulo do deslocamento r de uma onda difratada, em uma dimensão, pode ser expresso como se segue: $r = r_0 + y \text{sen} \theta$, se r_0 denota o deslocamento na direção da onda incidente. Dessa forma, a integral acima torna-se:

$$U = C e^{ikr_0} \int_{-b/2}^{+b/2} e^{iky \text{sen} \theta} L dy$$

$$\therefore U = C' \left(\frac{\text{sen} \beta}{\beta} \right)$$

na qual $C' = e^{ikr_0} C b L$ e $\beta = \frac{1}{2} k b \text{sen} \theta$. Sabendo-se que a intensidade da luz é proporcional ao quadrado da amplitude da onda de luz U , isto é, se $I \approx |U|^2$, então, conclui-se que:

$$I \approx I_0 \left(\frac{\text{sen} \beta}{\beta} \right)^2$$

ANEXO

A - Fotos do instrumental



Foto 1 - O instrumental utilizado (visão geral)



Foto 2 - O registrador gráfico YT

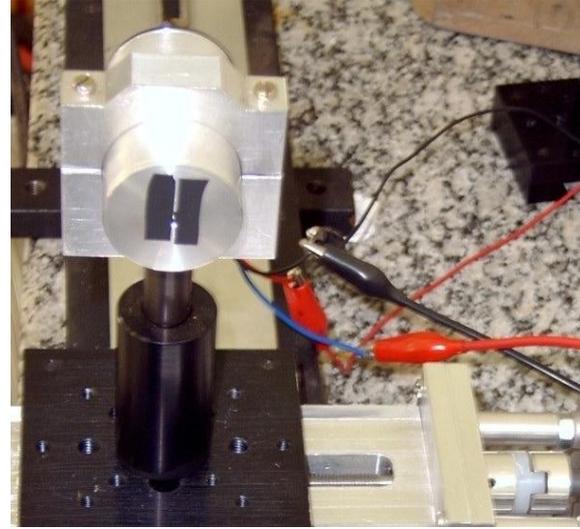
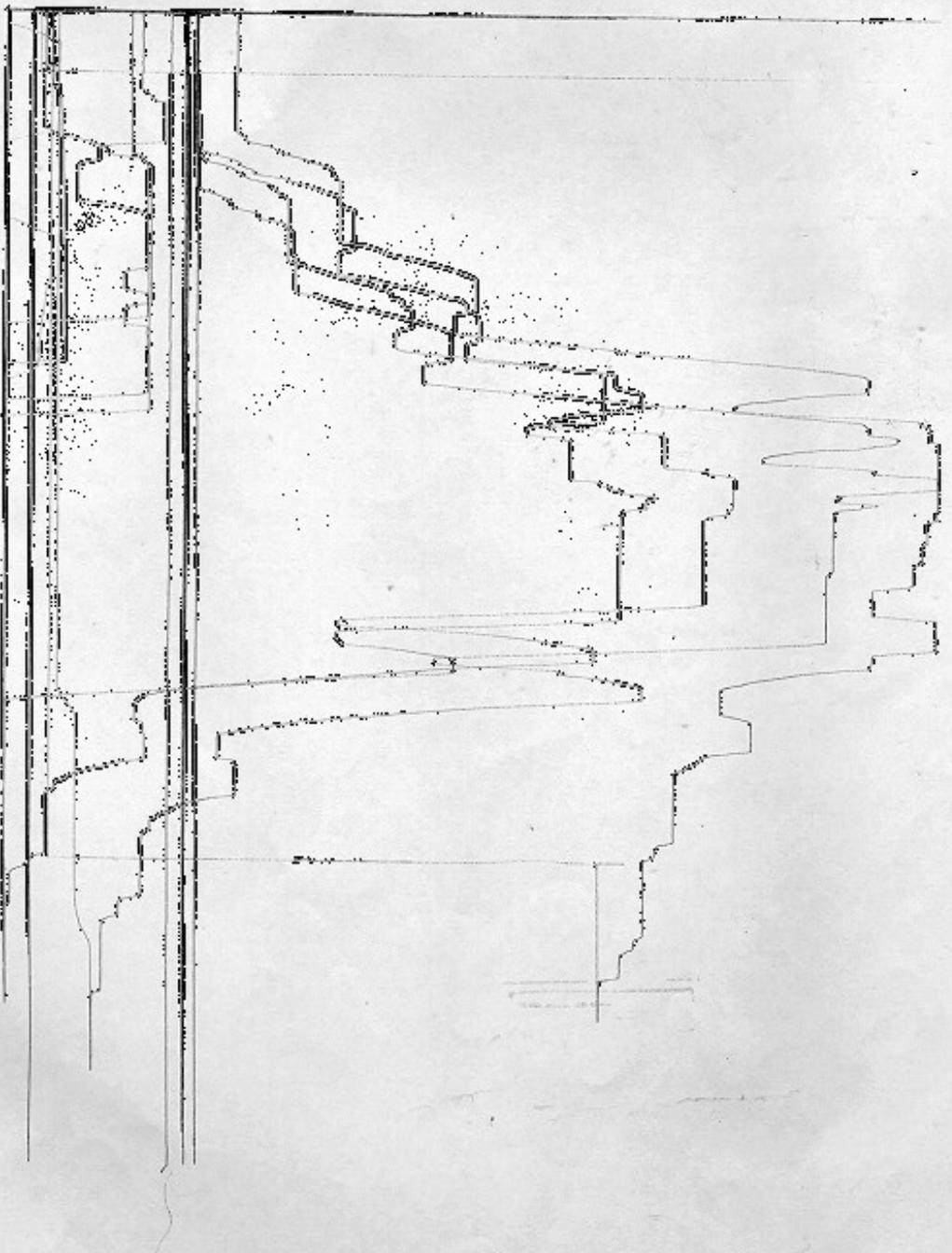


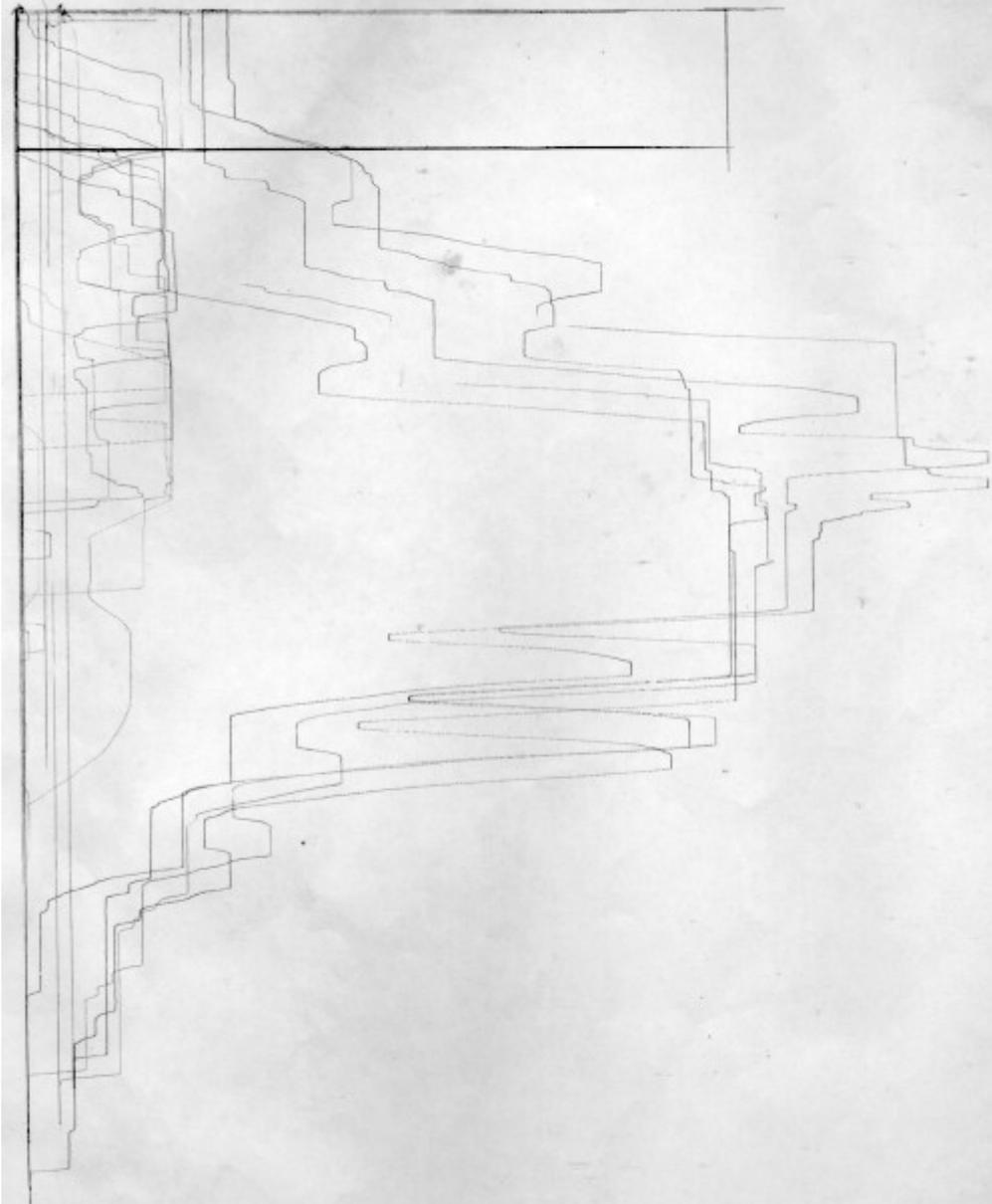
Foto 3 - O fotodetector

B - Algumas curvas registradas

B-1) REGIETRADE VAN LAKEN DE NUTTENBUITEN VAN ANWESINGENDE VAN LAKEN
(SCHIEDAMSE DE VAN DE LAKEN VERWERKING)

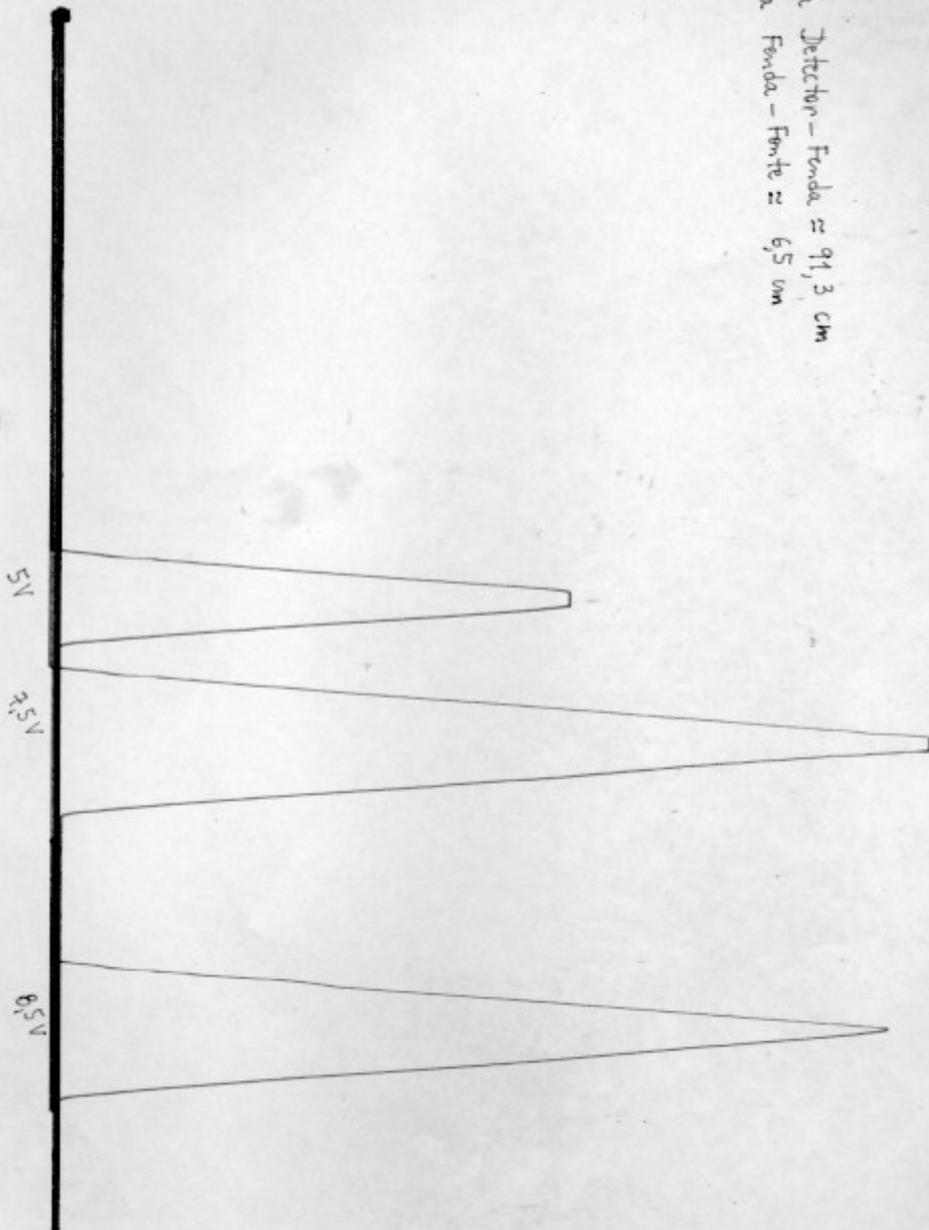


B-2) REGISTRO DA CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DA LUZ DIFATADA
(UTILIZANDO-SE UM VELHO FOTODETECTOR)

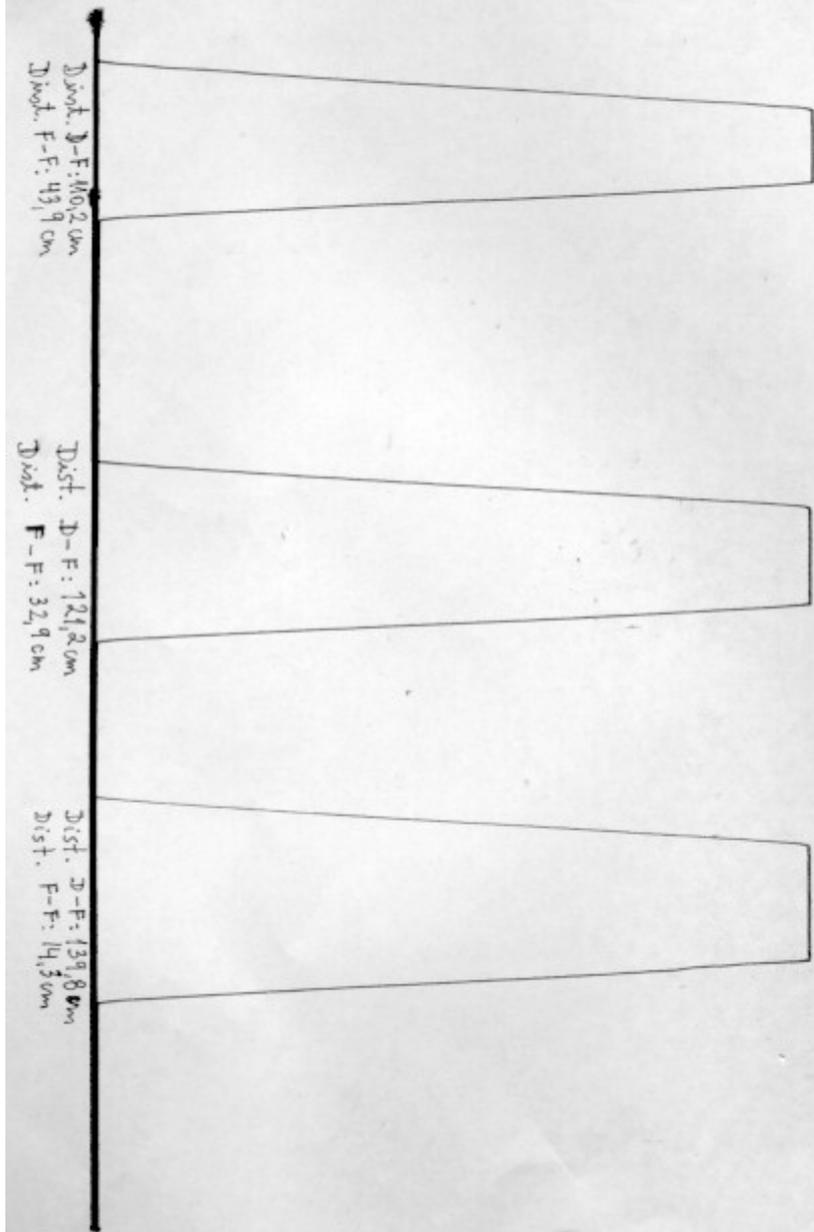


B-3) REGISTRO DOS MÁXIMOS CENTRAIS DA LUZ DIFRATADA
(PARA DIFERENTES VALORES DA TENSÃO DO FOTODETECTOR)

Distância Detector - Fenda $\approx 91,3$ cm
Distância Fenda - Fonte $\approx 6,5$ cm



B-4) REGISTRO DOS MÁXIMOS CENTRAIS DA LUZ DIFRATADA
 (PARA DIFERENTES DISTÂNCIAS ENTRE O DETECTOR E A FENDA E A FENDA E A FONTE)



B-5) REGISTRO DOS MÁXIMOS CENTRAIS DA LUZ DIFRACTADA
(OBSERVAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DA LUZ EXTERNA)

Distância Detetor-Fenda: 139,8 cm
Distância Fenda-Fonte: 14,3 cm

