
DIÂMETRO DE UM FIO DE CABELO POR DIFRAÇÃO (UM EXPERIMENTO SIMPLES)

*Élder Mantovani Lopes**
Carlos Eduardo Laburú
Departamento de Física - UEL
Londrina – PR

Resumo

Este trabalho descreve um método simples, utilizando material de baixo custo, para demonstrar o fenômeno da difração no Ensino Médio. Sua utilização permite determinar o diâmetro de um fio de cabelo e a largura das “fendas” de uma tela de serigrafia, utilizando um apontador a laser.

I. Introdução

O elevado custo de boas redes de difração, bem como a dificuldade em adquiri-las, faz com que as demonstrações dos temas ligados à dispersão espectral tornem-se exclusividades dos laboratórios das universidades. Entretanto, no intuito de difundir tal tema no ensino básico, versões didáticas e de fácil acesso de tais redes vem surgindo na literatura. Em 1969, Kalinowski & Garcia (trabalho apresentado na Feira de Ciências do Paraná, dez. 1969) utilizaram uma técnica fotográfica, em que uma matriz conveniente de linhas claras e escuras era fotografada à distância e, com o filme de diapositivos produzido, reduzia-se a matriz às proporções desejadas. No entanto, no processo acima descrito, ocorre uma série de dificuldades como, por exemplo, a granulação do filme, que deve ser extrafina, para seu tamanho não deformar as linhas da rede. Tal fato, além do emprego de uma câmera fotográfica conveniente, dificulta a difusão do método devido à necessidade de materiais de custo elevado. Mais recentemente, alguns trabalhos (GARCIA & KALINOWSKI, 1994; CATELLI, 1999; CAVALCANTE, JARDIM & BARROS, 1999) têm sido desenvolvidos, propondo a utilização de um “Compact Disc” como elemento que decompõe a luz em suas frequências características, permitindo obter resultados bastante satisfatórios.

Enquanto os trabalhos anteriores concentram as suas sugestões no sentido de utilizar a difração por fendas ou por reflexão, propomos, diferentemente daqueles,

* Bacharelado do curso de Física.

empregar um arranjo experimental que utiliza a técnica de difração por obstáculo, com o objetivo de determinar o diâmetro de um fio de cabelo. Além de ser uma atividade complementar à difração por reflexão ou por fendas, a difração por obstáculo não apresenta diferentes leis ou equações, visto que um obstáculo de espessura “x” é semelhante, no que se refere à difração, a uma fenda de espessura similar (NUSSENZVEIG, 1998). Uma vantagem desse experimento consiste em possibilitar ao aluno, comparar a espessura do fio de cabelo, determinado por esse método, com a medida efetuada diretamente com um micrômetro e, assim, observar que um fenômeno peculiar, como a difração, pode ser utilizado na determinação de dimensões reduzidas, pertinentes a objetos variados.

Finalmente, com este trabalho, sugerimos demonstrar qualitativamente, de uma maneira fácil e direta o fenômeno da difração por fenda, utilizando uma tela de serigrafia. Evidentemente, é possível realizar este experimento com um apontador laser e, com isso, medir o espaçamento “d” entre os traços de três diferentes telas de serigrafia, classificadas em nossas medidas, aleatoriamente, de “fina”, “média” e “grossa”.

II. Materiais utilizados

Os materiais necessários para a realização dos experimentos foram: régua, trena, micrômetro, apontador laser (λ fornecido pelo fabricante $= (6500 \pm 200) \text{Å}$), duas bases de madeira de 12x12cm, duas pequenas colunas de madeira de 15x3x1cm e 10x3x1cm, três prendedores de roupa, fio de cabelo, cola de madeira, três telas de serigrafia com “densidades” diferentes (fina, média e grossa), seis pedaços de madeira de aproximadamente 10x1x1cm e 20x1x1cm, para a montagem da moldura das telas, grampeador e fita adesiva.

III. Construção

Perpendicularmente ao centro de cada base de madeira, fixou-se uma das colunas de madeira, de modo que o conjunto formasse um suporte. Foram construídos dois suportes. Na extremidade superior do suporte maior colou-se, lateralmente, um prendedor de roupa e a 7cm abaixo deste, outro (suporte 1, Fig.1). Na extremidade do suporte menor colou-se, na sua parte superior, um prendedor (suporte 2, Fig.1). Um dos suportes serve para colocar o fio de cabelo, esticando-o entre os dois prendedores, o outro vai ser utilizado para segurar o apontador laser.

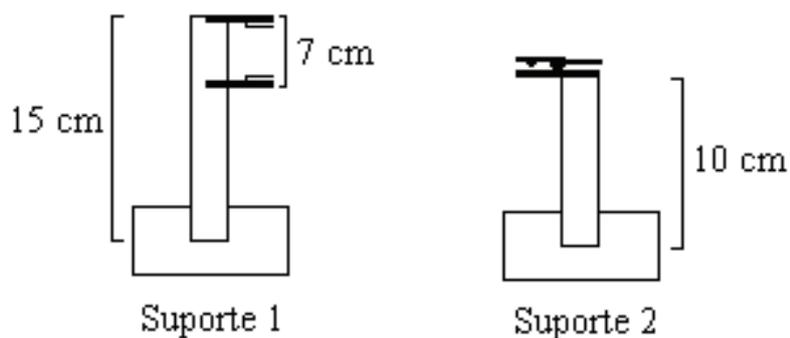


Fig.1 – Esquema da montagem dos dois suportes

Para a montagem das três telas de serigrafia (fina, média e grossa), construíram-se três “molduras”, utilizando-se pedaços de madeira (seis pedaços, um para cada lateral de cada moldura, de 10x1x1cm, é seis pedaços, um para a parte superior e um para a parte inferior de cada moldura, de 20x1x1cm). Esticou-se, então, a tela de serigrafia sobre sua respectiva moldura e, com o auxílio de um grampeador, prendeu-se completamente a tela sobre um dos lados da moldura, grampeando, em seguida, o lado oposto, para que, nesta direção, a tela ficasse perfeitamente esticada. Repetiu-se, então, o procedimento para os outros dois lados, de modo que nessa direção a tela também ficasse esticada. Recortou-se o excesso de tecido e, para um melhor acabamento, passou-se fita crepe sobre os lados da moldura.

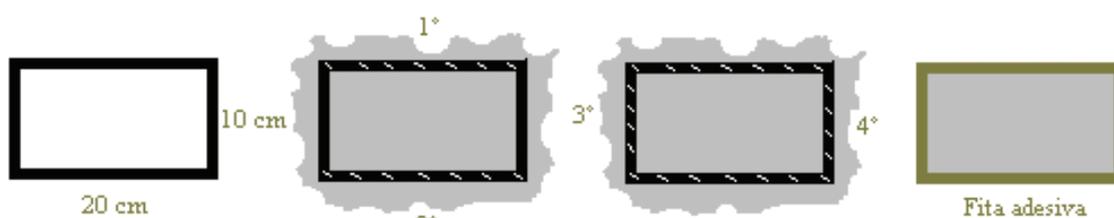


Fig.2 – Seqüência (da esquerda para a direita) da montagem da tela de serigrafia

IV. Procedimento experimental

Em uma sala escura, coloca-se o suporte 1 (Fig.1), com o fio de cabelo, a uma distância x de uma parede (medida com uma trena) que, no nosso caso, funciona como um anteparo. Após o suporte 1, coloca-se o suporte 2 (Fig.1) com o apontador laser, de modo que o feixe laser atinja o fio de cabelo e incida sobre o anteparo perpendicularmente (ver Fig.3). Ligando o apontador, observa-se facilmente sobre o anteparo espectros até segunda ordem. Mede-se, então, com o auxílio de uma régua, a distância, y , (Fig.3) entre dois máximos (primários) consecutivos. Essa técnica reduz o erro na medida, pois, o que é necessário, na realidade, é a distância entre o máximo

central e o máximo que se deseja medir (primário). Nota-se que os máximos apresentam um determinado comprimento na horizontal, sendo que para a realização da medida y , toma-se como base a metade de cada máximo. A montagem geral é apresentada na Fig.3.

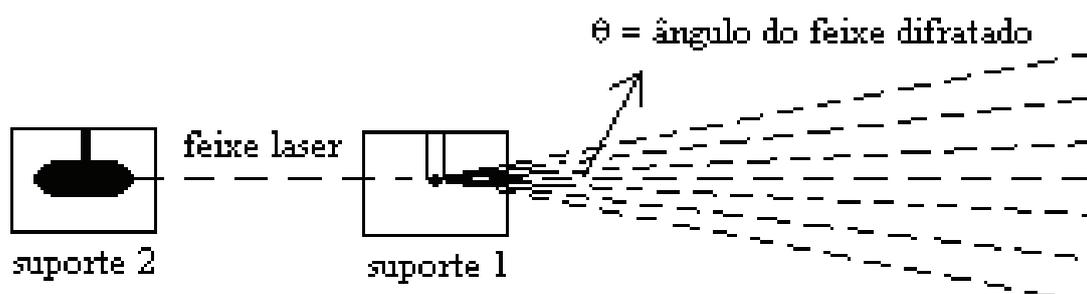


Fig.3 – Vista por cima do arranjo experimental

Nos experimentos com as telas de serigrafia, o arranjo experimental é análogo, trocando-se apenas o suporte 1 (do fio de cabelo) pela tela de serigrafia. Com as medidas de x e y é possível calcular, através das equações (1) e (2), da seção abaixo, o diâmetro do fio de cabelo ou a largura das fendas das telas de serigrafia.

V. Resultados experimentais

É previsto que os máximos ocorrerão sob ângulos θ dados, teoricamente, pela expressão: $m\lambda = d \sin\theta$ (HALLIDAY, RESNICK, & WALKER, 1995). O valor de λ fornecido por um fabricante de apontadores, é de $(6500 \pm 200) \text{ \AA}$. Sabendo que:

$$\sin\theta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (1)$$

o diâmetro d do fio de cabelo pode ser expresso como:

$$d = \frac{m\lambda\sqrt{x^2 + y^2}}{y} = m\lambda\sqrt{1 + x^2 / y^2} \quad (2)$$

As medidas para dois fios de cabelos (de diâmetros visivelmente diferentes) são expressas na Tabela 1, sendo “X” a distância do fio ao anteparo, “Y” a distância entre dois máximos de primeira ordem, “ $y = Y / 2$ ” o valor da distância entre o máximo central e o máximo de primeira ordem, “ d ” o diâmetro do fio de cabelo calculado com base no máximo de primeira ordem, “ $\delta = d - \langle d \rangle$ ” o desvio com relação ao máximo de primeira ordem e “ δ^2 ” os desvios quadráticos em relação ao máximo de primeira ordem:

Tabela 1:

F I O	X (cm)	Y (cm)	y (cm)	d (μm)	δ (μm)	δ^2 (μm^2)
F I N O	100,0	2,8	1,4	46,4	- 2,5	6,25
	200,0	5,0	2,5	52,0	3,1	9,61
	300,0	8,7	4,4	44,3	- 4,6	21,16
	400,0	10,2	5,1	51,0	2,1	4,41
	500,0	13,6	6,8	47,8	- 1,1	1,21
	600,0	15,0	7,5	52,0	3,1	9,61
					$\langle d_1 \rangle = 48,9$	
G R O S S O	100,0	1,9	1,0	65,0	- 6,1	37,21
	200,0	3,8	1,9	68,4	- 2,7	7,29
	300,0	5,2	2,6	75,0	3,9	15,21
	400,0	7,2	3,6	72,2	1,1	1,21
	500,0	9,0	4,5	72,2	1,1	1,21
	600,0	10,6	5,3	73,6	2,5	6,25
					$\langle d_1 \rangle = 71,1$	

O desvio padrão da média é dado por:

$$\sigma_{(dn)} = \sqrt{[\Sigma\delta^2/(N(N-1))]}, \text{ sendo "N" o número de medidas}$$

Assim:

$$d_{\text{fino}} = (49 \pm 1) \mu\text{m}$$

$$d_{\text{grosso}} = (71 \pm 2) \mu\text{m}$$

Os valores acima nos mostram que as medidas dos fios são dadas com uma ordem de erro experimental de 3%. Comparando esses valores com as medidas diretas dos fios de cabelo empregando um micrômetro, que dá $52 \pm 5 \mu\text{m}$ e $71 \pm 5 \mu\text{m}$ para os fios fino e grosso respectivamente, vemos que os valores são semelhantes dentro da faixa de precisão.

Na Tabela 2, abaixo, podem ser vistas as medidas do espaçamento entre as linhas obtidas para três típicas telas de serigrafia encontradas no mercado.

Tabela 2:

T E L A	X (cm)	Y (cm)	y (cm)	d (μm)	δ (μm)	δ^2 (μm^2)
F I N A	100,0	1,8	0,9	72,2	- 2,6	6,76
	200,0	3,4	1,7	76,5	1,7	2,89
	300,0	5,2	2,6	75,0	0,2	0,04
	400,0	6,8	3,4	76,5	1,7	2,89
	500,0	8,9	4,5	72,2	- 2,6	6,76
	600,0	10,1	5,1	76,5	1,7	2,89
				$\langle d_1 \rangle = 74,8$		$\Sigma = 22,23$
M É D I A	100,0	0,8	0,4	162,5	- 3,9	15,21
	200,0	1,3	0,7	185,7	19,3	372,5
	300,0	2,3	1,2	162,5	- 3,9	15,21
	400,0	3,2	1,6	162,5	- 3,9	15,21
	500,0	4,0	2,0	162,5	- 3,9	15,21
	600,0	4,7	2,4	162,5	- 3,9	15,21
				$\langle d_1 \rangle = 166,4$		$\Sigma = 448,6$
G R O S S A	100,0	0,4	0,2	325,0	- 9,5	90,25
	200,0	0,8	0,4	325,0	- 9,5	90,25
	300,0	1,1	0,6	325,0	- 9,5	90,25
	400,0	1,4	0,7	371,0	36,5	1332,2
	500,0	1,8	0,9	361,1	26,6	707,6
	600,0	2,6	1,3	300,0	- 34,5	1190,2
				$\langle d_1 \rangle = 334,5$		$\Sigma = 3500,7$

Assim, através de uma análise análoga à do fio de cabelo, obtemos o espaçamento das linhas:

Tela Fina: $d = (75 \pm 1) \mu\text{m}$

Tela Média: $d = (166 \pm 4) \mu\text{m}$

Tela Grossa: $d = (334 \pm 11) \mu\text{m}$

VI. Conclusão

Os resultados deste trabalho sugerem o uso de telas de serigrafia para a demonstração ou estudo quantitativo da dispersão ótica, por meio de uma montagem com instrumentos simples, possíveis de serem reproduzidos por qualquer aluno ou professor do Ensino Médio. Não é demais realçar que com o uso da tela de serigrafia, consegue-se demonstrar de maneira muito evidente o fenômeno de difração luminosa.

Por sua vez, o experimento que emprega o fio de cabelo, além de sugerir uma técnica de difração diferente – difração por obstáculo – da encontrada na literatura especializada neste tipo de divulgação, permite, ainda, ao professor medir e comparar o fio de cabelo de diferentes alunos; um experimento que talvez desperte um maior interesse, pois, ao contrário da largura das invisíveis trilhas de um CD ou de fendas ópticas, os alunos têm a oportunidade de medir e comparar a espessura de algo muito mais concreto, o seu fio de cabelo. Acreditamos, que o estudo das trilhas do CD, após a realização da medida do fio de cabelo ou do espaçamento visível da rede das telas aqui propostas, possa até despertar mais curiosidade sobre o valor das distâncias das trilhas, em razão de ter o aluno, como comparação, a ordem de grandeza desses mais comparáveis a olho nu.

Com os alunos é possível, também, fazer-se uma discussão a respeito da maior acurácia conseguida com o equipamento utilizado, visto que, através dele, foi possível obter resultados mais precisos em relação ao micrômetro que não é um instrumento bastante apropriado devido a sua elevada margem de erro.

De ponto de vista geral podemos afirmar que os equipamentos sugeridos têm ótima relação custo-benefício, visto serem os resultados obtidos muito significativos, em termos experimentais. Pedacos de pano de tela de serigrafia podem ser facilmente conseguidos, por cortesia, em lojas especializadas. Sugere-se, também, a utilização de "meias de seda", facilmente conseguidas através de mães ou irmãs. Fios de cabelo não apresentam maiores dificuldades de obtenção, assim como, o apontador laser.

VII. Bibliografia

CATELLI, F. “Projeção de espectros com um cd e retroprojeter” – *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, V.16, n.1 pp 123 – 126, 1999.

CAVALCANTE, M.A. JARDIM, V. & BARROS, J.A.A. “Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser” – *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, V.16, n.2 pp 154 – 169, 1999.

GARCIA, N.M.D. & KALINOWSKI, H.J. “Um espectroscópio simples para uso individual” – *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, V.11, n.2 pp 134 – 140, 1994.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. & WALKER, J. “*Fundamentos de física. Ótica e física moderna*” – V.4, 4ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

HENNEIES, C.E. GUIMARÃES, W.O.N. & ROVERSI, J.A. “*Problemas experimentais em física*” – V.1, Editora da Unicamp., 1986.

KALINOWSKI, H.J., DUMMER, O.S., GIFFORN, E. (org.). “Redes de difração fotográficas”. [Curitiba], 1969. (*trabalho apresentado na Feira de Ciências do Paraná, dez. 1969.*).

KALINOWSKI, H.J. & GARCIA, N.M.D. “Uma alternativa econômica para rede de difração no laboratório de ensino” – *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, V.7, n.1 pp 64 – 72, 1990.

NUSSENZVEIG, H.M. “*Curso de física básica – Ótica, Relatividade e Física Quântica*” – V.4, 1ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda., 1998.