
PRODUÇÃO DE REDES DE DIFRAÇÃO POR TÉCNICA FOTOGRÁFICA NO ENSINO MÉDIO

Hypolito J. Kalinowski

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná

Otto S. Dümmer

Edy Giffhorn⁺

Colégio Martinus

Curitiba - PR

Resumo

Descrevemos os resultados da produção didática de redes de difração utilizando uma técnica fotográfica elementar, ao alcance da maioria dos laboratórios de Física no Ensino Médio. As redes obtidas por estudantes nesse nível de ensino são adequadas para a realização de diversos experimentos de difração e discussão de conceitos em ótica. Foram obtidas redes com até 350 linhas por centímetro.

I. Introdução

A difração é um dos fenômenos mais interessantes para o estudo nos cursos de ciências físicas no Ensino Médio, já que é possível ao estudante obter uma notável acurácia na medida de comprimentos de onda (supondo serem conhecidos os parâmetros da rede utilizada) ou na determinação da separação de linhas na faixa de micrômetros (utilizando luz de comprimentos de onda conhecidos). Por outro lado, a difração é também muito atraente quando examinada sob luz branca, seja formando espectros do tipo do arco-íris, seja observando “*Compact Disc*” ou adesivos difrativos. A beleza artística do efeito atrai a atenção do estudante, permitindo explorar melhor a fenomenologia física e suas diversas aplicações.

É possível obter redes de difração utilizáveis em laboratórios de ensino a partir, por exemplo, de “*Compact Disc's*”. Embora não especificamente destinados à análise espectral, a separação entre os sulcos no CD permite um ângulo de difração acentuado para os comprimentos de onda na faixa do visível. Com materiais fáceis de encontrar em casas de ferragens é possível montar pequenos espectroscópios individuais, com os quais se distinguem as linhas espectrais de lâmpadas de iluminação pública,

⁺ *In memoriam*

lâmpadas fluorescentes ou o espectro contínuo das lâmpadas incandescentes ou mesmo aquele oriundo do sol.

Uma outra possibilidade para produzir redes, que se revela extremamente instrutiva em termos da metodologia de trabalho, usando técnicas multidisciplinares, é a produção de redes fotografando uma matriz periódica do tipo “claro-escuro” e obtendo a rede por redução ótica na objetiva. Na literatura nacional podem-se encontrar alguns artigos que usam essa técnica para produzir elementos difrativos ou para registrar de forma permanente os efeitos da difração por vários objetos, nos quais alguma informação técnica pode ser encontrada. A descrição realizada neste trabalho foi elaborada de forma independente, sendo utilizada no Ensino Médio (na época o científico) desde o ano de 1969. Dois dos autores desta comunicação eram estudantes da terceira série desse nível, realizando alguns dos dispositivos descritos como parte de um projeto para a Feira Estadual de Ciências do Paraná. Os bons resultados obtidos (mencionados nas seções mais à frente) levaram-no também a ser apresentado na Feira Nacional de Ciências daquele ano, no Rio de Janeiro.

II. Descrição

A primeira etapa foi obter uma matriz adequada com linhas claras e escuras (alto contraste é desejável) periodicamente espaçadas. Após algumas tentativas, optamos por utilizar um cordão de algodão branco (00) envolto em um quadro retangular. O quadro (painel de revestimento antiacústico com 3m de comprimento por 1,5m de altura) foi revestido totalmente com cartolina negra opaca. Na borda superior e inferior foram coladas tiras de papel milimetrado, cuidadosamente alinhados. Um estilete comum foi, então, usado para produzir pequenos entalhes, afastados 3 ou 5 mm um do outro. O fio de algodão foi cuidadosamente enrolado ao redor do quadro, posicionado firmemente nos entalhes e devidamente esticado. Assim, a matriz periódica de linhas brancas em fundo preto foi obtida. Duas matrizes foram, assim, produzidas. A primeira delas tinha menores dimensões 1,5m x 1m e foi utilizada para a produção das primeiras redes, testando o método. Após a obtenção dos primeiros resultados positivos, a segunda matriz (com as dimensões mencionadas mais acima) foi usada para obter redes com menor separação entre as linhas. Embora a segunda matriz tivesse área superior, foi fotografada de maior distância, de modo que a área útil das redes produzidas fossem menor do que aquelas realizadas como teste.

O quadro foi apoiado mediante suportes em uma parede também de cor escura fosca (para redução de reflexos) e iluminado por duas lâmpadas de estúdio fotográfico, cuja luz era refletida por guarda-chuvas difusores emprestados por um estúdio fotográfico. Com um fotômetro foi possível estudar a configuração do sistema de iluminação para obter um padrão de intensidade o mais constante possível sobre toda a área do quadro, evitando, também, a existência de sombras. Todas as exposições fotográficas foram realizadas à noite, com todas as luzes apagadas, exceto aquelas com os difusores, de forma a reduzir, ao máximo, efeitos de iluminação espúria sobre a matriz. As

fotos foram realizadas com uma câmara fotográfica reflex Yashica, equipada com objetiva *standard* (distância focal 50mm), utilizando película Agfa Diadirect, filme especial para diapositivos em preto e branco com baixa sensibilidade (ASA 16) e grão superfino. Para reduzir ainda mais os efeitos de granulação do filme, o mesmo foi exposto e revelado para sensibilidade reduzida (ASA 8). Os autores da referência mencionam outras opções de filme que podem ser utilizados nessa etapa. A câmara foi montada sobre um tripé profissional para evitar trepidações e acionada por meio de um disparador flexível segundo o tempo indicado pelo fotômetro. Para ajuste fino, cada exposição foi também realizada de forma compensada, com ajuste de meio ponto para mais e para menos na velocidade do obturador. As fotos foram realizadas em um salão amplo, permitindo o posicionamento da câmara a vários metros de distância do quadro-matriz.

III. Resultados

Após a revelação, cada quadro do filme fotográfico utilizado correspondeu a uma rede de difração cujos parâmetros dependem basicamente da distância da câmara ao quadro-matriz, através da redução ótica do sistema de lentes na objetiva. Os diversos quadros expostos no filme foram inspecionados mediante uma lente de aumento e um microscópio equipado com comparador, para permitir a observação da matriz de linhas claras e escuras que formam a rede de difração. Mesmo com os cuidados na revelação do filme anteriormente mencionados, pôde-se observar no microscópio que as linhas apresentavam contorno irregular, devido ao grão da emulsão fotográfica. Na Fig.1 mostramos uma microfotografia de uma região com algumas linhas, obtida de uma das redes produzidas. Os efeitos de granulação são facilmente reconhecíveis nessa fotografia.

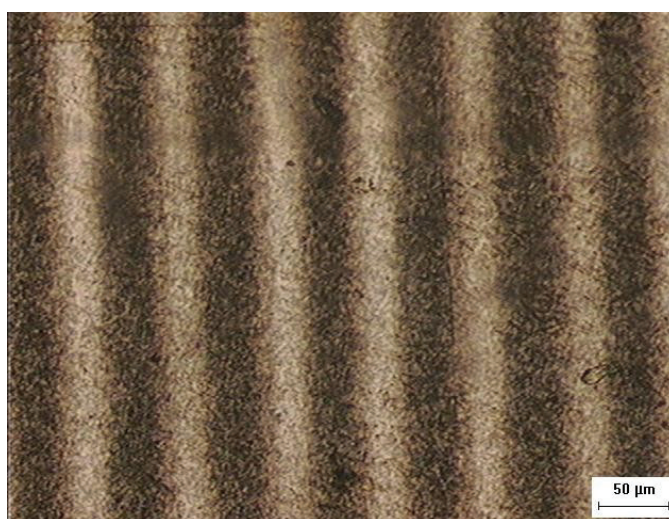


Fig.1 - Microfotografia de uma das redes de difração produzidas

Embora pudesse ser esperado que as zonas “claras” da rede deveriam ser bem mais estreitas que as correspondentes “escuras”, pois aquelas se originam da imagem do fio de algodão, com apenas alguns décimos de milímetros de espessura, em contraste com os milímetros de sua separação, observa-se que as duas zonas apresentam larguras bastante próximas na imagem registrada. Isso deve ser originado em uma série de efeitos: em parte do próprio processo de revelação fotográfica, mas também da própria obtenção da imagem. Devido à distância da câmera fotográfica ao quadro matriz, a focalização precisa sobre as linhas do fio de algodão não era possível. Além disso, as condições de iluminação exigiam uma abertura superior no diafragma da objetiva, reduzindo a profundidade de campo e, conseqüentemente, permitindo uma imagem um pouco mais ‘borrada’ das linhas sendo fotografadas.

Uma segunda microfotografia é apresentada na Fig.2, com os traços orientados a 45° com a lateral da fotografia. Dessa forma pode-se perceber melhor o ‘perfil’ da rede, provocado pelo processo de revelação que atua nas regiões expostas do filme.

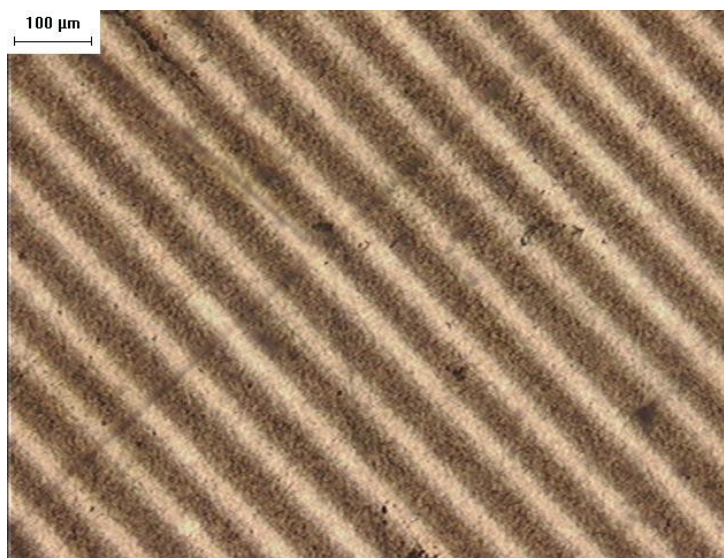


Fig.2 - Microfotografia a 45° dos sulcos de uma das redes produzidas, evidenciando o perfil de revelação

Tipicamente foram obtidas redes com 100 - 350 linhas por centímetro. As redes assim produzidas apresentam absorção ótica bem superior e menor contraste em relação às redes comerciais, assim torna-se difícil projetar um padrão de difração utilizando uma lâmpada comum. Entretanto, é possível utilizá-las de forma eficiente com lâmpadas de alta potência, como as lâmpadas alógenas dos projetores de slides, retroprojetores ou faróis de automóveis, ou ainda lâmpadas de alta pressão de vapor de mercúrio ou sódio, utilizadas na iluminação pública. Para demonstrações a estudantes, cada uma dessas últimas lâmpadas foi montada no interior de uma caixa, com sua luz saindo através de uma fenda de 1mm. Com a rede posicionada entre 1m e 3m de distância, é possível observar corretamente os espectros daquelas lâmpadas após a difração na rede. Fixando a rede em um banco ótico (mesmo improvisado) e auxiliados

por uma trena simples e um paquímetro, foram determinados vários comprimentos de onda nos espectros das lâmpadas, com resolução melhor que $0,05\mu m$, utilizando a equação geral de difração por uma rede:

$$a \sin \theta = p \lambda$$

onde a representa o período da rede (espaçamento dos traços), θ é o ângulo de difração, p é um inteiro que representa a ordem do mínimo de intensidade da figura de difração da luz considerada e λ é o comprimento de onda. Para pequenos arcos, pode-se utilizar a aproximação:

$$a \frac{d}{L} = p \lambda$$

com d representando o afastamento linear do mínimo de intensidade de ordem p do espectro, em relação ao máximo de intensidade central, transmitido diretamente, sobre um anteparo posicionado de forma paralela à rede a uma distância L desta. Um esquema dessa montagem é mostrado na Fig.3, onde a seta representa o feixe incidente na rede.



Fig.3 - Esquema da difração de um feixe óptico por uma rede

A determinação do espaçamento entre os traços nas redes foi realizada inicialmente mediante uso das linhas espectrais (dubleto) de uma lâmpada de sódio de baixa pressão, comprimento de onda $\lambda_{Na} = 589.3 \text{ nm}$, e posteriormente através de um laser Hélio Neônio, cujo comprimento de onda é $\lambda_{HeNe} = 632.8 \text{ nm}$, utilizando a figura de difração projetada sobre um anteparo, com todo o conjunto fixo sobre um banco óptico de laboratório. Para a rede ilustrada na Fig.1, o espaçamento médio entre linhas obtido por esse método foi de $68\mu m$ utilizando as ordens ± 2 e ± 1 do espectro de difração, enquanto que a determinação a partir de medidas sobre a microfotografia indicam separação média de $69\mu m$. A tabela 1 resume as características obtidas para algumas redes produzidas no projeto original.

Tabela 1 - Parâmetros de redes produzidas

	linhas/cm	área útil (cm ²)
Matriz 1	80 – 120	0.8
Matriz 2	200 – 350	0.3

Experiências clássicas da difração, aquelas descritas nos parágrafos anteriores, podem ser muito bem realizadas usando um apontador laser (normalmente possuem o laser semiconductor operando entre $635nm$ e $670nm$) de baixo custo e uma trena simples.

IV. Conclusão e Sugestões

A técnica anteriormente descrita permite a obtenção de redes de difração com qualidade adequada ao uso em laboratórios de ensino, onde se realizam experiências simples de difração por uma rede. As redes são mais eficientes quando utilizadas com fontes de maior intensidade. A longo prazo, a estabilidade obtida pelo uso de um filme fotográfico de imagem direta (slide) preto e branco é excelente. Algumas redes por nós produzidas com essa película em 1969 ainda continuam sendo utilizadas nos laboratórios de ensino, sem degradação de suas características, embora alguns cuidados devam ser tomados para evitar danos à superfície do filme.

A realização do projeto foi extremamente interessante para o estudante de Ensino Médio. Envolveu, além dos conhecimentos físicos ligados à difração em si, a aplicação prática de princípios das lentes (distância focal, magnificação, profundidade de campo) e de iluminação, bem como permite explorar as técnicas de revelação fotográfica. Do ponto de vista de trabalho, o estudante foi envolvido com problemas de otimizar o posicionamento de seu sistema de iluminação para evitar sombras e contrastes sobre a matriz sendo fotografada, determinação do tempo de exposição, compensações na exposição... permitindo ao professor explorar temas não cobertos normalmente na sala de aula. Algumas vezes o próprio espírito investigador dos estudantes provoca a discussão de temas mais complexos. Como exemplo, na realização de um projeto desse tipo um dos alunos, ao observar a matriz de linhas claras e escuras através do visor de focalização da câmera fotográfica, inquiriu se não seria possível difratar um feixe ótico na imagem sendo ali projetada. Essa pergunta favoreceu a apresentação simplificada de conhecimentos sobre propriedades não lineares de alguns materiais óticos, indicando que aquele experimento poderia ser realizado em materiais fotorrefrativos desde que o feixe responsável pela “gravação” tivesse fluência necessária. Uma sugestão não trabalhada, mas que pode servir para o desenvolvimento de projetos semelhantes é o uso de fitas, dessas utilizadas para decorar presentes, para formar a matriz de linhas. Devido à sua grande variedade, é possível encontrar um modelo para substituir o fio de algodão, com a vantagem de várias opções de largura bem controlada, permitindo que a matriz seja construída com linhas claras e escuras com a mesma espessura transversal.

Outra sugestão que pode ser explorada é o uso de uma câmera fotográfica equipada com lente *zoom*, hoje bastante popularizada, de modo a controlar a redução ótica de trabalho sem necessidade de deslocar o tripé ou modificar o sistema de iluminação. Ainda nessa linha, hoje estão disponíveis filmes fotográficos, preto e branco, de

alta resolução, utilizando o processo de revelação dos filmes coloridos (C-41). Dessa forma um desses filmes pode ser testado para verificar a qualidade de redes assim obtidas, usando a imagem em negativo na película. A longo prazo pode-se verificar a estabilidade da imagem nesses negativos, já que alguns filmes coloridos permitem desvanecimento da imagem devido à difusão dos agentes químicos responsáveis pela fixação de cada uma das cores básicas.

V. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Paulo C. Borges (Departamento de Mecânica, CEFET-PR) pela obtenção das imagens microscópicas utilizadas neste trabalho.

VI. Referências Bibliográficas

1. KALINOWSKI, H. J., DIAS GARCIA, E. N. M. Uma alternativa econômica para redes de difração nos laboratórios de ensino. Cad. Cat. Ens. Física **7(1)**, 64-72 (1990).
2. KALINOWSKI, H. J., DIAS GARCIA, E. N. M. Espectroscópio para uso individual. Cad. Cat. Ens. Física **11(2)**, 134-140 (1994).
3. B. BUCHWEITZ, B., BELLÉ, E. M. J. Um método fotográfico para produzir dispositivos de difração da luz. Cad. Cat. Ens. Física **4(1)**, 44-46 (1987).
4. GALLI, C., SALAMI, M. A. Registro de figuras de difração da luz em papel fotográfico. Cad. Cat. Ens. Física **16(2)**, (1999).}
5. HECHT, E. Óptica. Ed. Gulbekian, Lisboa (1989).
6. MARLASCA, C. Comunicação Pessoal. Departamento de Física, PUC-RIO (2000).