

## ESTUDO DO FENÔMENO DE ESPALHAMENTO ELÁSTICO DA LUZ EM MATERIAIS POLICRISTALÍNS

**Daniel Medeiros Reis<sup>1</sup>; Edson Mascarenhas Santos<sup>2</sup>**

1. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [danmreis@live.com](mailto:danmreis@live.com)
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [emascarenhassantos@gmail.com](mailto:emascarenhassantos@gmail.com)

**PALAVRAS-CHAVE:** espalhamento, difração, fendas

### INTRODUÇÃO

O fenômeno de espalhamento elástico da luz ocorre quando uma onda eletromagnética ao incidir sobre um objeto tem parte de sua energia redirecionada. Em materiais policristalinos, como um metal, este espalhamento abrange uma variedade de fenômenos físicos, como a reflexão, refração, interferência e difração. Estes fenômenos “carregam” informações sobre as características físicas do objeto espalhador, como sua geometria, índice de refração, ou distribuição de ranhuras da sua superfície.

Dos fenômenos presentes no espalhamento da luz, a difração torna-se evidente quando a onda eletromagnética incide em uma superfície com ranhuras da ordem do seu comprimento de onda. Devido a isto, investigamos como este fenômeno ocorre.

O fenômeno de difração da luz, observado pela primeira vez por Grimaldi, (séc XVII) pode ser entendido como o desvio não retilíneo da luz, quando este é obstruído por um obstáculo de tamanho da sua ordem de comprimento de onda, sofrendo alteração de sua amplitude ou fase (Zilio, 2009). Assim, podemos observar em um anteparo além do obstáculo, franjas de interferência produzida pela superposição das ondas obstruídas, ocasionando uma distribuição particular de energia, conhecida como espectro de difração.

Os fenômenos da difração são classificados em dois tipos: Fresnel (Campo próximo) e Fraunhofer (Campo distante). Quando as distâncias da fonte ao obstáculo e do obstáculo ao anteparo são finitas, a difração recebe a denominação de difração de Fresnel. Quando esta distância é grande o bastante para que os raios que atingem o anteparo possam ser consideradas paralelas, a difração recebe a denominação de difração de Fraunhofer (1787-1826).

A teoria que explica o comportamento geral da difração é a fórmula *de Fresnel-Kirchhoff* (Hecht, 1998), onde obtêm a expressão analítica da intensidade de um feixe monocromático. A mesma é baseada diretamente da solução da equação de ondas do campo elétrico

Neste trabalho, o nosso principal objetivo é estudar o padrão de difração na região do campo próximo, com a perspectiva de obter um modelo para a expressão da intensidade da onda eletromagnética difratada para um conjunto de múltiplas fendas de tamanhos arbitrários (Stoltzmann, 1976).

### METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário adquirir conhecimentos físicos, como a compreensão da óptica física e geométrica, as equações de Maxwell em suas formas diferenciais e integrais (Reitz, 1982), para a dedução da equação de Fresnel-Kirchhoff, e aplicar a mesma em uma abertura quadrada para analisar o comportamento da intensidade da

onda eletromagnética difratada (Abedin, 2007). Todo o trabalho foi de cunho teórico, desenvolvido analiticamente, e os resultados parciais foram obtidos graficamente com ajuda do software Mathematica.

## RESULTADOS

O formalismo usado para o cálculo do padrão de difração produzido por um elemento difrator é a formula de Fresnel-Kirchhoff, dado por:

$$E_p = -\frac{E_0 i}{\lambda} \iint_S K(\theta) \frac{e^{i[k(\rho+r)-\omega t]}}{\rho r} ds \quad (1)$$

Onde  $K(\theta)$  é o coeficiente de obliquidade, que depende apenas do ângulo de incidência e ao ponto de observação da luz difratada, em relação à normal da superfície,  $\rho$  e  $r$  são respectivamente as distâncias da fonte a um ponto da fenda e este ao ponto de observação no anteparo,  $E_0$  é o campo elétrico da onda não obstruída.

Na região do campo próximo, para uma abertura quadrada, a equação que determina o campo elétrico da onda difratada é representada como:

$$E_p = \frac{E_0}{2} [C(u) + iS(u)]_{u_1}^{u_2} \cdot [C(v) + iS(v)]_{v_1}^{v_2} \quad (2)$$

$C(u)$  e  $S(u)$  são conhecidas como integrais de Fresnel, onde

$$C(u) = \int_0^u \cos \frac{\pi u^2}{2} du \quad \text{e} \quad S(u) = \int_0^u \sin \frac{\pi u^2}{2} du \quad (3)$$

$u$  e  $v$  são variáveis adimensionais, que dependem das coordenadas  $x$  e  $y$  do ponto no obstáculo, comprimento de onda  $\lambda$ , da luz incidente e distância  $r_0$  do ponto de observação ao obstáculo, dado por

$$u = x \left[ \frac{2}{r_0 \lambda} \right]^{1/2} \quad \text{e} \quad v = y \left[ \frac{2}{r_0 \lambda} \right]^{1/2} \quad (4)$$

A intensidade  $I_p$  do campo elétrico na equação (2) é dada por  $I_p = E_p \cdot E_p^*$ , assim obtemos:

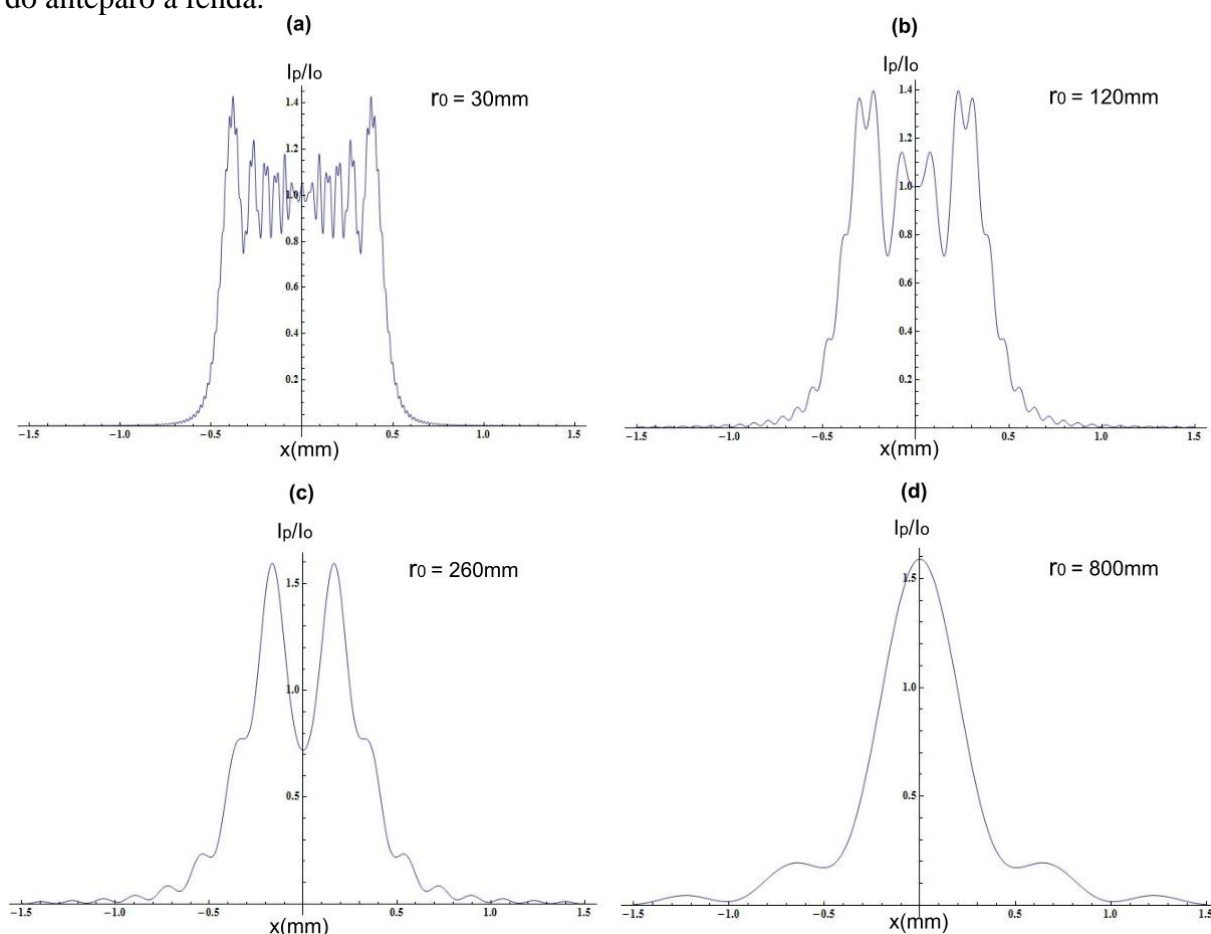
$$I_p = \frac{I_0}{4} \{ [C(u_2) - C(u_1)]^2 + [S(u_2) - S(u_1)]^2 \} \cdot \{ [C(v_2) - C(v_1)]^2 + [S(v_2) - S(v_1)]^2 \} \quad (5)$$

Para o caso de uma fenda retangular basta aumentar os valores de  $y_1$  e  $y_2$ , garantindo que os pontos se localizem no infinito,  $v_2 = \infty$  e  $v_1 = -\infty$  então a equação (5) se resume a:

$$I_p = \frac{I_0}{2} \{ [C(u_2) - C(u_1)]^2 + [S(u_2) - S(u_1)]^2 \} \quad (6)$$

A equação acima representa a intensidade da difração por uma fenda estreita, no regime de Fresnel, onde o padrão de difração  $I_p$  é mostrado na figura (1), para uma fenda retangular com

tamanho de 1 mm, usando um comprimento de onda  $\lambda = 632.8$  nm e variando a distância  $r_0$  do anteparo a fenda.



**Figura 1:** Padrão de difração para uma fenda retangular de 1 mm, variando a distância  $r_0$  do ponto de observação a fenda. (a)  $r_0 = 30$  mm, (b)  $r_0 = 120$  mm, (c)  $r_0 = 260$  mm, (d)  $r_0 = 800$  mm

Quando a distância  $r_0$  é pequena em comparação com o tamanho da abertura, podemos constatar que a dimensão do padrão de difração se aproxima da abertura da fenda, Fig. 1(a), caracterizando o Regime de Fresnel. Nos gráficos (b) e (c) da Fig.1, podemos observar a transição do padrão de difração entre região do campo próximo e o campo distante, já no gráfico (d) da Fig.1, é possível averiguar que, quando a distância  $r_0$  é muito maior que a abertura da fenda, o padrão de difração se aproxima ao comportamento da difração de Fraunhofer.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, descreveu-se resultados gerais do fenômeno de difração no espalhamento da onda eletromagnética. Começando com o estudo das equações de Maxwell e a equação de onda para a dedução da fórmula de Fresnel-Kirchhoff, que descreve o comportamento geral da difração da luz.

Aplicamos a fórmula de Fresnel-Kirchhoff para uma abertura retangular, no regime de difração de Fresnel. Com as equações da intensidade obtidas, verificamos como o padrão de difração é distribuído para uma fenda retangular, conforme a distância do ponto de

observação ao obstáculo é deslocado. Com base nos resultados obtidos, podemos afirmar que a difração de Fraunhofer é um caso particular da difração de Fresnel, onde na região do campo próximo, foi possível perceber que, os picos de intensidade se distribuem uniformemente na posição da abertura e com isso é possível determinar o tamanho de cada fenda.

O estudo do fenômeno de difração no espalhamento eletromagnético tem grande importância em aplicações experimentais em várias áreas do conhecimento, como por exemplo, nas indústrias, em controle de qualidade e na ciência forense. A perspectiva com a conclusão deste trabalho é verificar experimentalmente a difração produzida por uma superfície com múltiplas fendas de tamanhos arbitrários e aplicar em uma superfície com ranhuras.

## REFERÊNCIAS

- HECHT, E. 1998. *Optica*, 2.ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 790 p.
- ZILIO, S.C. 2009. *Óptica Moderna: Fundamentos e aplicações*. São Carlos, Compacta, 306 p.
- ABEDIN, K.M.; M.R. ISLAM. 2007. Computer simulation of Fresnel diffraction from rectangular apertures and obstacles using the Fresnel integrals approach. *Optics & Laser Technology* 39: 237–246.
- STOLTZMANN, D.E. 1976. Multi-aperture diffraction. *Appl. Opt.* 15: 21-22.
- REITZ, J.R.; MILFORD, F.J.; CHRISTY, R.W. 1982. *Fundamentos da Teoria Eletromagnética*, 4.ed. Rio de Janeiro, Editora Campus, 516 p.