

## O LASER COMO RÉGUA: ABORDANDO DIFRAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

<sup>1</sup> José Augusto Pereira, <sup>1</sup> Felipe Barbosa de Andrade, <sup>2</sup> Ruth Brito de Figueiredo Melo,  
<sup>2</sup> Thiago Silva Araújo, <sup>2</sup> Tâmara Ribeiro de Oliveira

<sup>1</sup> OPTICA CHAPTER UEPB, Licenciatura em Física, UEPB, Campina Grande, PB,  
Brasil;

<sup>2</sup> Departamento de Física, UEPB, Campina Grande, PB, Brasil.

**Resumo:** Este trabalho aborda como conceitos associados aos princípios básicos do laser podem ser explorados em Ensino de Física. Para tanto, inicialmente, é analisado como um feixe de luz monocromático, coerente e contínuo (laser a gás de hélio – neônio) se comporta ao incidir sobre uma grade de difração. Fizemos uso da teoria sobre o tema para se confirmar, a partir de dados experimentais coletados neste trabalho, a validade da mesma. Este primeiro experimento visa conectar os conceitos sobre difração a uma aplicação didática que discute de modo qualitativo e quantitativo em sala de aula. Para isso foi utilizada a técnica de difração de fenda simples (acoplada ao princípio de Babinet) para medir o diâmetro de um fio de cabelo fazendo uso de um laser de He-Ne emitindo, na região do espectro visível, um feixe nos comprimentos de onda do verde ( $\lambda = 532$  nm) e do vermelho ( $\lambda = 665$  nm). Foram realizados experimentos que comprovam a possibilidade de serem usados como atividade prática em sala de aula; atividade esta que não só introduz o estudante aos fundamentos de óptica geométrica como também enfatiza que estes, associados ao uso do laser, encontram uma aplicação tecnológica atual: medida da dimensão de um objeto - como foi o caso, aqui, decorrente da análise e da quantificação do fenômeno da difração a laser.

**Palavras chave:** Laser em sala de aula, Difração, Óptica..

**Abstract:** This work explains how concepts associated with basic principles of laser can be approached in teaching Physics. The behavior of a monochromatic, coherent and continuous light beam (He – Ne gas laser) was analysed when inciding a diffraction grating. This experimente aimed to connect diffraction phenomenon to a didactical application that discusses it in qualitative and quantitative ways in classroom. For that we used single slit diffraction technique (related to Babinet principle) in order to measure the diameter of a single strand of hair making use of He-Ne laser emitting in visible range ( $\lambda = 532$  nm – green wavelenght and  $\lambda = 665$  nm – red wavelenght). We performed experiments that verified the possibility of being used as practical activities in classroom. Thus fundamentals of laser associated with geometric optics can be introduced to students in a way that they can explore a current technological application – measurement of size of objects – as a result of laser diffraction pattern.

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>fbaeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

**Keywords:** Laser in classroom, Diffraction, Optics.

## INTRODUÇÃO

A Física está presente à nossa volta e, devido ser a ciência de estudo de vários fenômenos naturais, é necessária sua inserção no currículo do ensino regular BONATTO (2012), pois a interdisciplinaridade conecta o entendimento das disciplinas nas suas mais variadas formas, ampliando-o através de recursos inovadores e dinâmicos.

Dentre as disciplinas mais tradicionais até as mais atuais, a Física destaca-se pelas possibilidades de aplicação interdisciplinar, principalmente devido à sua conexão com o cotidiano e o conhecimento científico-tecnológico que permeia. A sua inclusão no currículo do Ensino Médio dá aos estudantes a oportunidade de entenderem melhor a natureza e sua ligação com o mundo em que vivem.

Neste trabalho, abordamos o conceito de difração; em seguida, discutimos um experimento que faz uso deste conceito e das propriedades do laser para medirmos o diâmetro de um fio de cabelo propondo mostrar, em particular aos alunos em sala de aula que, para a aceitação de uma teoria científica, é fundamental que esta seja consistente com evidências experimentais. Além disso, com os experimentos desenvolvidos aqui é possível permitir-lhes fazer sua própria

avaliação sobre o tema explanado. Queremos mostrar ainda a possibilidade de utilizar material de baixo custo com objetivo de motivar os estudantes pela busca do aprendizado aliando conhecimento e criatividade; pois a técnica abordada neste trabalho possibilita, através da exploração das propriedades de um laser contínuo a gás de He-Ne, identificar informações qualitativas e quantitativas a respeito de parâmetros físicos de materiais que, em outros tempos, eram desconhecidos ou difíceis de serem obtidos e analisados; e que hoje nos abrem janelas para o desenvolvimento de novas tecnologias.

## A DIFRAÇÃO É UMA APLICAÇÃO DEMONSTRADA EM SALA DE AULA COM LASER

A difração é um fenômeno que ocorre quando uma onda se encontra com um obstáculo ou um orifício, ambos de dimensões da ordem de grandeza do comprimento de onda incidente; tal fenômeno comprova, assim, as características que abordam a natureza ondulatória da luz (NUSSENZVEIG, 1998).

Observamos, na Figura 01 (a), uma frente de onda incidindo sobre um obstáculo; e na Figura 01 (b), outra semelhante incidindo sobre uma fenda.

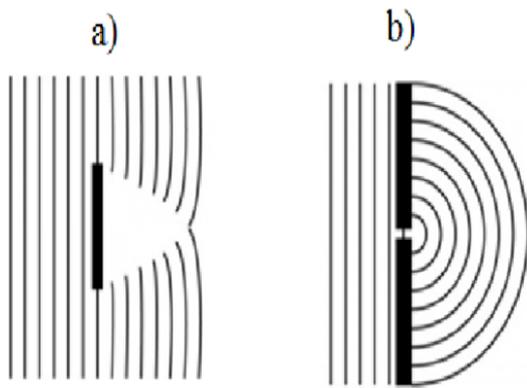
<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>faeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

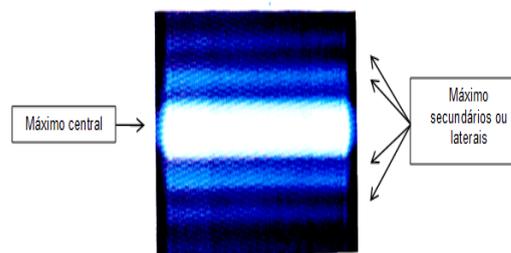


**Figura 1:** Frentes de onda encontrando obstáculo (a) e uma fenda na parede (b) (JANUS, 2006).

Na Figura 01 (a), a frente de onda choca-se com um obstáculo que possui dimensões da ordem de grandeza do comprimento de onda, passando lateralmente pelo mesmo e contornando-o. Na Figura 01 (b) a onda passa pelo orifício, que também apresenta dimensões da ordem de grandeza do comprimento da onda, e suas frentes se espalham no ambiente secundário, produzindo um efeito semelhante ao surgimento de uma nova fonte de ondas. Em ambos os exemplos, podemos afirmar que as frentes secundárias, formadas após o obstáculo e o orifício, representam menor energia que a da onda original. Podemos associar também a propagação do som em um ambiente a um fenômeno de difração. O som, como uma onda cujo comprimento é da ordem de grandeza de metros, contorna os obstáculos domésticos, por exemplo, até alcançar nossos ouvidos; porém, ao longo de sua trajetória, sua intensidade diminui, fato relacionado à difração sofrida pelas ondas sonoras ao encontrar obstáculos à

sua propagação (TIPLER, 2009). Para a luz visível os efeitos são os mesmos, visto que esta se comporta como onda eletromagnética, e se submete ao fenômeno da difração.

Vejamos o exemplo de quando uma luz monocromática, vinda de uma fonte distante passa por uma fenda estreita e é interceptada por um anteparo, exibindo uma figura de interferência denominada figura de difração (Figura 02).



**Figura 2:** Figura de difração que aparece sobre um anteparo atingido por uma luz que anteriormente passa por uma fenda estreita. A difração provoca o espalhamento da luz, perpendicularmente à dimensão da fenda. Este efeito produz uma figura de interferência formada por um máximo central largo (interferência construtiva) e máximos secundários (ou laterais) menos intensos e mais estreitos; e mínimos (interferências destrutivas) (ALHANATI, 2016).

Em geral os efeitos de difração são muito pequenos, devendo ser analisados e investigados minuciosamente. Em Física Clássica, o fenômeno da difração é descrito como uma aparente flexão das ondas em volta de pequenos obstáculos e também como o espalhamento, ou alargamento, das

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>fbaeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

ondas após atravessar orifícios ou fendas; isso para todos os tipos de onda incluindo ondas na água e as eletromagnéticas (como luz visível, raios-X e ondas de rádio). Podemos observar que, quanto maior o comprimento de onda do feixe incidente em relação às dimensões da abertura ou obstáculo, mais fortes devem ser os efeitos de difração (GIBILISCO, 2009).

## METODOLOGIA

Através da difração e da interferência de ondas luminosas, e com a utilização de equações que descrevem os padrões de luz difratada por alguns tipos de obstáculos, podemos quantificar alguns parâmetros das partes envolvidas no fenômeno através da realização de experimentos simples que, em sala de aula, podem se mostrar ótimos exemplos de aplicação da utilidade do laser e da difração. As equações associadas aos experimentos são as devido à difração de uma fenda simples fundamentadas no princípio de Babinet, que diz: anteparos complementares fornecem o mesmo padrão de difração (CATELLI, 2002).

Para evidenciar esta relação, foram realizados dois experimentos, denominados I e II, divididos em duas etapas cada um. Todos eles foram realizados no laboratório didático, pertencente ao Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), em Campina Grande-PB.

## EXPERIMENTO I

O objetivo deste experimento foi calibrar a montagem experimental, e usar os dados coletados como referência na realização experimento II, através da verificação da eficácia da teoria da difração. Para isso, calculamos experimentalmente o diâmetro da grade de difração na qual um feixe laser incidiu e comparamos o resultado com o valor do fabricante da mesma.

Dividimos este experimento em duas etapas. Na primeira, foi utilizado um *laser* contínuo, operando na região do verde, usando-se: um aparelho *laser* de He-Ne, operando no comprimento de onda de  $\lambda=532 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ , com potência  $< 1000 \text{ mW}$ ; uma rede de difração com 12 fendas por mm (cada fenda com  $8,33 \times 10^{-5} \text{ m}$  de diâmetro); um suporte para fixação do aparelho *laser*; uma régua de 30 cm; um anteparo branco (uma folha de papel em branco, tamanho A4); um lápis preto. Destacamos aqui que o *laser* de He-Ne pode ser substituído por um apontador *laser* emitindo na região da cor verde.

Para a primeira etapa do experimento I (medição do diâmetro da fenda da rede de difração) fixamos o laser a um suporte (Figura 03 (a)). A uma certa distância dele, fixamos perpendicularmente a grade de difração (Figura 03 (b)) e, logo em seguida, posicionamos o anteparo no qual colamos uma folha de papel branca (Figura 03 (c)), conforme ilustrado a seguir:

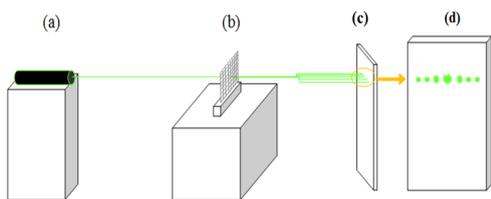
<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>fbaeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

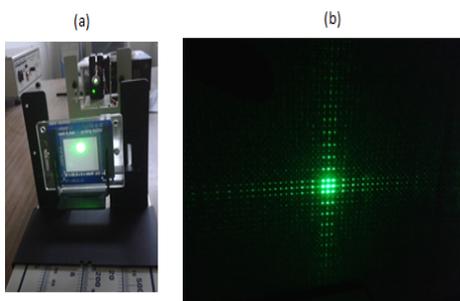
<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br



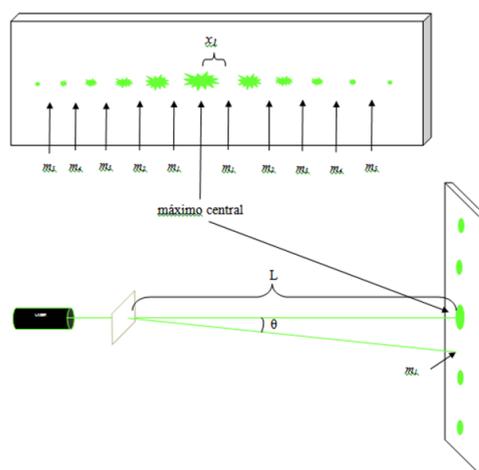
**Figura 03** – Esquema da disposição dos objetos na realização da primeira etapa do experimento I: laser de He-Ne (a), rede de difração (b) e anteparo (c), no qual a figura de difração – ampliada e rotacionada de  $90^\circ$  em (d) – foi observada.

A Figura 04 mostra a montagem experimental real, com o laser (ao fundo) incidindo perpendicularmente à rede de difração e a figura de difração propriamente dita (projetada no anteparo).



**Figura 04** – Feixe luminoso emitido por um laser a gás de He-Ne ( $\lambda=532 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ ) incidindo sobre a grade de difração (a); e a figura de difração resultante projetada no anteparo (b). A projeção possui fundo preto devido à execução do experimento ter se dado em condições de baixa luminosidade.

Ao incidir o laser perpendicularmente à grade de difração, observamos a projeção formada sobre o anteparo. São várias sessões iluminadas intercaladamente, fenômeno característico da difração de ondas eletromagnéticas. Na figura de difração identificamos a interferência construtiva da luz, onde os raios de luz difratados se somam e aumentam o efeito luminoso; e, nas zonas escuras, foi verificada uma interferência destrutiva, onde os raios de luz se cancelam totalmente, anulando assim qualquer efeito visível. Tal esquema está ilustrado na Figura 05.



**Figura 05** – Esquema da identificação da figura de difração, com as respectivas regiões de interferência construtiva (representadas pelas manchas verdes, sendo a maior delas o máximo central) e destrutiva, representadas pelos mínimos ( $m_1, m_2, \dots, m_3$ ). A distância entre o centro do máximo central e uma de suas extremidades é representada por  $x_1$ . A distância  $L$  é aquela entre o anteparo e a grade de difração.

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>fbaeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

Através de relações trigonométricas, podemos calcular o ângulo  $\theta$  (ângulo entre os centros do máximo central e do primeiro mínimo,  $m_1$ ) fazendo o uso dos dados encontrados no experimento I:  $\lambda = 532 \text{ nm}$ ;  $L = 94,8 \text{ cm}$ ;  $x_1 = 0,7 \text{ cm}$ ;  $m_1 = 1$  (primeiro mínimo). Calculamos o ângulo de difração  $\theta$  conforme abaixo:

$$\text{tg}\theta = \frac{x_1}{L} \Rightarrow \theta = 0,4230^\circ \quad (1)$$

Fazendo uso também da equação que associa o ângulo  $\theta$  à interferência destrutiva (BORGES, 2009), temos:

$$m\lambda = d \cdot \text{sen}\theta \quad m\lambda = d \cdot \text{sen}\theta \quad (2)$$

onde  $d$  representa o diâmetro do obstáculo transpassado pela luz, no caso a fenda da grade de difração. Substituindo  $m$  por  $m_1 = 1$  na Equação (2), juntamente com o valor encontrado anteriormente obtemos, para  $d$ :

$$d = \frac{532 \times 10^{-9}}{7,3837 \times 10^{-3}} = 7,205 \cdot 10^{-5} \text{ m} \quad (3)$$

Para o cálculo do erro do resultado encontrado em relação ao valor real do diâmetro da fenda, usamos (LOYD, 1997):

$$\text{err} = \frac{V_{\text{real}} - V_{\text{exp}}}{V_{\text{real}}} \Rightarrow \text{err} = \frac{8,33 \times 10^{-5} - 7,21 \times 10^{-5}}{8,33 \times 10^{-5}}$$

$$\text{err} = \frac{V_{\text{real}} - V_{\text{exp}}}{V_{\text{real}}} \Rightarrow \text{err} = \frac{8,33 \times 10^{-5} - 7,21 \times 10^{-5}}{8,33 \times 10^{-5}} \text{err} \simeq \pm 13\% \quad (4)$$

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>fbaeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

que é aceitável, levando em consideração o limite de precisão da régua.

Na segunda etapa do Experimento I, pudemos confirmar o resultado obtido para o valor do diâmetro da fenda da grade de difração fazendo uso de um laser contínuo operando em um comprimento de onda diferente do anterior. Realizando o mesmo experimento com o laser emitindo na região do vermelho ( $\lambda = 665 \text{ nm}$ ), medimos, para o diâmetro da fenda da rede de difração,  $d = 7,43 \times 10^{-5} \text{ m}$ , com um erro  $\text{err} \simeq \pm 11\%$ , muito próximo ao do valor medido usando o laser operando em  $\lambda = 532 \text{ nm}$ , o que era esperado e comprova a validade da teoria de difração.

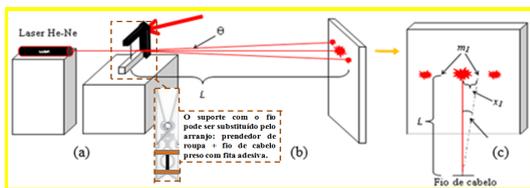
## EXPERIMENTO II

Temos, como objetivo no experimento II, medir o diâmetro de amostras de fios de cabelo de duas pessoas diferentes usando os *lasers* de He-Ne do experimento I, emitindo em  $\lambda = 532 \text{ nm}$  (verde) e em  $\lambda = 665 \text{ nm}$  (vermelho). O diâmetro do fio de cabelo de cada pessoa, portanto, foi medido duas vezes: uma usando o *laser* emitindo no verde e outra com o *laser* de He-Ne emitindo no vermelho. Frisamos novamente que o *laser* de He-Ne pode ser substituído por um

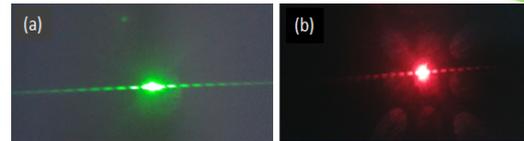
apontador *laser*. Com este experimento, apresentamos uma proposta fácil e de baixo custo para utilização em sala de aula de uma aplicação do *laser* associado aos conceitos de difração e da complementariedade advinda do princípio de Babinet.

Para isso, a grade de difração do Experimento I foi substituída por um fio de cabelo (disposto na vertical) acoplado a um suporte (Figura 06 (a)). Este suporte pode ser um prendedor de roupa, por exemplo; e as extremidades do fio de cabelo são então presas (com fita adesiva) no prendedor, como visto na Figura 6. A partir daí, obtivemos uma figura de difração no anteparo (Figura 06 (b) e 06 (c)), analogamente àquela apresentada usando-se a grade de difração; e utilizamos o mesmo método para o cálculo do diâmetro do obstáculo (neste caso, um fio de cabelo).

As Figura 07 (a) e (b) mostram, respectivamente, fotos do padrão observado no anteparo devido à difração sofrida pelo feixe laser, emitindo em  $\lambda = 532 \text{ nm}$  e em  $\lambda = 665 \text{ nm}$ , ao incidir sobre o fio de cabelo das amostras A e B.



**Figura 06** – Esquema da disposição do experimento II usando-se um fio de cabelo como amostra.



**Figura 07** – Figuras de difração provenientes, respectivamente, da incidência do laser verde no fio de cabelo A (a) e do laser vermelho no fio de cabelo B (b).

De forma análoga aos cálculos do experimento I, encontramos a espessura das amostras A e B dos fios de cabelo, conforme visto nas Tabelas 01 e 02.

**Tabela 01:** Dados coletados quando o feixe laser emitindo na região do verde incide sobre as amostras de fios de cabelo. Os fios A e B pertencem a pessoas distintas.

Fio A	Fio B
$\lambda = 532 \text{ nm}$	$\lambda = 532 \text{ nm}$
$L = 95,7 \text{ cm}$	$L = 95,4 \text{ cm}$
$x_1 = 0,7 \text{ cm}$	$x_1 = 1,2 \text{ cm}$
$m_1 = 1$	$m_1 = 1$
$\theta = 0,4^\circ$	$\theta = 0,7^\circ$
$d = 63,6 \text{ }\mu\text{m}$	$d = 42,6 \text{ }\mu\text{m}$

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>baeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

**Tabela 02:** Dados coletados com a utilização do laser emitindo na região do vermelho e incidindo sobre as mesmas amostras da Tabela 01.

Fio A	Fio B
$\lambda = 665 \text{ nm}$	$\lambda = 665 \text{ nm}$
$L = 50,0 \text{ cm}$	$L = 57,1 \text{ cm}$
$x_1 = 0,55 \text{ cm}$	$x_1 = 0,9 \text{ cm}$
$m_1 = 1$	$m_1 = 1$
$\theta = 0,63^\circ$	$\theta = 0,903^\circ$
$d = 60,5 \text{ }\mu\text{m}$	$d = 42,2 \text{ }\mu\text{m}$

## Resultados e Discussões

Diante do estudado sobre difração, verificamos que os padrões de difração observados com o laser verde são mais intensos do que os vistos com o laser vermelho; isto porque  $\lambda_{\text{vermelho}}$  se aproxima mais das medidas dos obstáculos (fios de cabelo) do que  $\lambda_{\text{verde}}$  (NUSSENZVEIG, 1998), pois  $\lambda_{\text{vermelho}} > \lambda_{\text{verde}}$ . Isso explica a pequena variação nas medidas do fio de cabelo A quando seu diâmetro é medido usando o laser operando no verde e depois no vermelho. O mesmo se aplica ao fio de cabelo B. Concluindo, aproximamos o diâmetro do fio de cabelo A por  $d = 62 \text{ }\mu\text{m}$  e; para o diâmetro do fio de cabelo B, temos  $d = 42 \text{ }\mu\text{m}$ .

Com a realização do experimento de difração dos fios de cabelo foi possível verificar, através de uma atividade simples, os conceitos de

difração e, concomitantemente, exemplificar uma aplicação do *laser*. A técnica utilizada pode ser facilmente reproduzida em sala de aula (substituindo o *laser* usado na montagem experimental por um apontador *laser*), contribuindo para o ensino dos fenômenos ópticos analisados neste trabalho.

## Considerações Finais

Propusemos uma atividade experimental para o Ensino de Física na área de óptica abordando o conceito de difração através de experimentos simples, usando o *laser* a gás de He-Ne operando em comprimentos de onda distintos ( $532 \text{ nm}$  e  $665 \text{ nm}$ ), para se medir o diâmetro de uma fenda numa grade de difração (medida de calibração) e os diâmetros de fios de cabelo. Tais atividades podem ser realizadas em sala de aula com o auxílio de um apontador *laser*, e a técnica usada permite demonstrar matematicamente a difração associada ao princípio de Babinet, e relacioná-la a uma aplicação tecnológica do *laser* (medir o tamanho de um objeto de dimensões de ordem bem inferiores a  $1 \text{ mm}$ , limite de precisão de uma régua comum).

## Referências

[1] BONATTO, Andréia et al. **Interdisciplinaridade no Ambiente Escolar**. In: Seminário de pesquisa em educação da região sul, 2012.

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>fbaeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br

- [2] NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica** - vol 4, Edgard Blucher, 1998.
- [3] JANUS, Scott. **Audio in the 21st Century**: Part 5. 2006. Disponível em: <http://www.embedded.com/design/audio-design/4015764/Audio-in-the-21st-Century--Part-5>. Acesso em: 30 Jun. 2016.
- [4] TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros** - vol. 2, LTC, 2009.
- [5] ALHANATI, Lucien Silvano. **Difração**, Disponível em: <http://www.alfaconnection.pro.br/images/OND040204b.gif>. Acesso em: 02 Ago 2016.
- [6] GIBILISCO, Stan. **Optics Demystified**, Estados Unidos: McGraw-Hill Education, 2009.
- [7] CATELLI, Fernando, VICENZI, Scheila. **Laboratório caseiro**: transformando um laser de diodo para experimentos de óptica física, Depto de Física e Química Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul – RS, ad. Brás. Ens. Fís., v. 19, n.3: p.393 - 406, dez. 2002.
- [8] BORGES, Patrícia Duro. **Apostila de física**, Santa Maria: 2009. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/caiovasconcelos/downloads/ensino-medio/ondas-optica-e-acustica-ufsm>. Acesso em: 30 Jun. 2016.
- [9] LOYD, David. **Physics – Laboratory Manual**, 2. Ed., Saunders College Publishing, 1997.

<sup>1</sup>jose.augusto.pereira@aluno.uepb.edu.br

<sup>1</sup>faeb@hotmail.com

<sup>2</sup>ruthmelo@servidor.uepb.edu.br

<sup>2</sup>thsaraujo@gmail.com

<sup>2</sup>tamara.tpro@servidor.uepb.edu.br