

**PROJETO – INSTRUMENTAÇÃO PARA ENSINO**  
*Trajatória da Luz ao Atravessar uma Lente*  
**Marcelo Acácio Salgado Adani – RA. 993046 – 22/11/2002**

INTRODUÇÃO

Até meados do século XVII era crença geral que a luz consistia na emissão de corpúsculos, por fontes luminosas, tais como o sol ou a chama de uma vela. Os corpúsculos seriam emitidos segundo trajetórias retilíneas; podiam atravessar corpos transparentes e seriam refletidos pela superfície dos corpos opacos. Quando atingiam a vista, o sentido da visão era estimulado.

Essa teoria explicava porque a luz se propaga em linha reta; porque se reflete em superfícies polidas, como nos espelhos planos, formando ângulo de reflexão igual ao de incidência; e por que e como se refrata ao atravessar a superfície de separação de dois meios diferentes, como ao passar do ar para a água ou do ar para o vidro. Para todos esses fenômenos a teoria corpuscular fornecia explicações simples.

Embora a maioria dos que se dedicavam ao estudo da Óptica aceitasse como verdadeira essa teoria, começou-se a desenvolver a idéia de que a luz devia consistir em um movimento ondulatório de qualquer natureza. Há conveniência em representar um trem de ondas de qualquer espécie por meio de *superfícies de onda*. Ela é definida como o lugar dos pontos de mesma fase. Assim, no caso de ondas sonoras espalhando-se em todas as direções a partir de uma fonte pontual, qualquer superfície esférica, com centro na fonte, poderá ser uma superfície de onda. É costume representar algumas das superfícies de onda, geralmente as que representam um máximo ou um mínimo. Tais superfícies de onda estão separadas uma da outra por um intervalo correspondente a meio comprimento de onda.

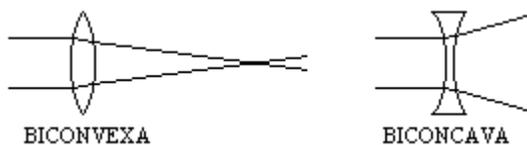
Se a onda é uma onda luminosa, a grandeza correspondente à pressão em uma onda sonora é a intensidade de campo elétrico ou magnético. Assim, sabemos que o comprimento das ondas luminosas é tão pequeno que, embora as ondas realmente se curvem para contornar um obstáculo, a curvatura é tão pequena que normalmente passa despercebida. A curvatura de ondas luminosas ao redor das bordas de um objeto produz o fenômeno conhecido por difração. Geralmente é desnecessário indicar nos diagramas a amplitude e a direção da intensidade, bastando mostrar a forma da onda ou suas interseções com o plano de referência.

Quando se constroem vários raios de luz, originados em uma fonte pontual, no eixo principal de um dióptrico esférico, verifica-se que a distância imagem para cada raio é função do ângulo de inclinação original do raio. Assim, os raios não se intersectam depois da refração em um ponto comum e as superfícies de onda não são esféricas depois da refração. Através da visualização da trajetória de uma fonte luminosa, nesse caso um laser de cristal semiconductor, trataremos dessas interseções com uma lente esférica posicionada posteriormente à fonte.

OBJETIVO

Este experimento tem o objetivo de mostrar ao espectador a trajetória de um cilindro de laser, com incidência paralela ao eixo de uma lente esférica, que ao passar por essa lente, sofrerá refração de maneira que será possível a visualização pelo aparato por conter em seu interior fumaça de gelo seco. Sendo a lente biconvexa, o cilindro irá se refratar de maneira

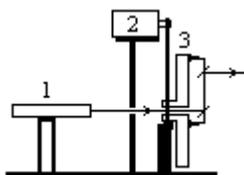
a constituir um cone após passar pela lente, com os raios se cruzando no foco da lente. Sendo uma lente bicôncava, o cilindro irá se refratar de maneira a constituir um cone aberto, não sendo possível a visualização do centro do cone, como ilustra a figura 1.



**Figura 1 – Tipos de lentes a serem utilizadas no projeto.**

## DESCRIÇÃO

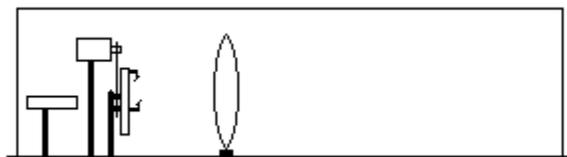
O projeto é um aparato construído sobre uma base de madeira (tábua), onde será encaixada primeiramente a fonte puntiforme de laser de cristal semiconductor (vermelho), onde o feixe se origina e irá passar pelo estágio de espelhos e motor que criará um cilindro de luz. Este estágio é constituído por disco pequeno de metal com um furo no centro, apoiado sobre suportes que possibilitem a passagem do laser no centro onde está o furo, assim como ilustra a figura 2.



**Figura 2 – Vista lateral do estágio de tratamento da fonte luminosa, onde se situam:**

- 1 – Fonte puntiforme de laser;**
- 2 – Motor sobre o suporte com a correia que gira o disco;**
- 3 – Disco de metal contendo os dois espelhos presos, sobre o suporte.**

Este disco, ao girar em alta velocidade, provocada pelo motor de corrente contínua através de correia, faz o feixe que passou pelo centro se refletir em 90 graus no primeiro espelho indo para o segundo espelho, situado na borda do disco, que faz também uma reflexão de 90 graus, constituindo assim o cilindro de luz. Formado o cilindro, a luz continua em sua trajetória até se encontrar com a lente esférica, onde será possível a visualização dessa trajetória conforme visto anteriormente na figura 1. Tudo isso porque o aparato estará envolvido sob uma caixa transparente acrílica onde o meio de propagação do laser será fumaça de gelo seco, possibilitando assim a visualização da trajetória da luz. A figura 3 nos dá uma idéia geral do projeto.



**Figura 3 – Perfil do projeto.**

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em algumas circunstâncias, podemos considerar, com boa aproximação, que as ondas se propagam em linha reta, são bloqueadas por obstáculos e projetam sombras bem definidas. É necessário, apenas, que os obstáculos e essas ondas – como espelhos ou lentes – tenham dimensões muito maiores que o seu comprimento de onda. A ótica geométrica trata desse comportamento particular das ondas de luz e é o assunto que caracteriza este projeto. Se imaginarmos um feixe de luz interceptado por uma superfície plana de vidro, sabemos que parte da luz incidente é refletida pela superfície (da ordem de 5%), isto é, se propaga, em feixe, para fora da superfície, como se tivesse se originado naquela superfície. A outra parte é refratada, isto é, se propaga como um feixe através da superfície para dentro do vidro. A menos que o feixe incidente seja perpendicular ao vidro, a luz sempre muda a direção de sua trajetória quando atravessa uma superfície. Por isso dizemos que o feixe incidente é “desviado” na superfície. Assim, quando um feixe de luz, consistido em componentes com diferentes comprimentos de onda (a luz do sol, por exemplo), incide numa superfície de separação de dois meios, os componentes do feixe são separados por refração e se propagam em direções diferentes. Esse efeito é chamado de dispersão cromática, onde ‘dispersão’ significa a separação dos comprimentos de onda, ou cores, e ‘cromática’ significa a associação da cor ao seu comprimento de onda. Neste projeto a fonte de luz utilizada é proveniente de apenas uma cor, o vermelho, que possui comprimento de onda de 650nm e atravessará uma lente delgada.

Uma lente é um objeto transparente com duas superfícies refratoras cujos eixos centrais coincidem; o eixo comum é o eixo central da lente. Quando uma lente está imersa no ar, a luz se refrata do ar para o interior da lente, atravessa a lente e depois se refrata de volta para o ar. Se, inicialmente, os raios de luz forem paralelos ao eixo central da lente, como neste projeto, e ela os fizer convergir, diz-se que é uma **lente convergente**. Se, ao contrário, a lente os fizer divergir, então é uma lente divergente.

A figura 4 mostra uma lente convergente delgada. Os raios que incidem nessa lente paralelamente ao seu eixo central se refratam duas vezes.

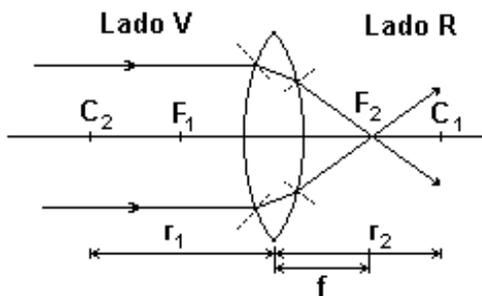


Figura 4 – Lente convergente delgada

Essa dupla refração faz os raios convergirem para o ponto  $F_2$ , o foco real, na distância focal  $f$ . Os pontos  $C_1$  e  $C_2$  na figura são os centros de curvatura, respectivamente da primeira (à esquerda) e da segunda superfícies (à direita). No lado R está  $C_1$ , então  $r_1$  é positivo; no lado V está  $C_2$ , então  $r_2$  é negativo. Utilizando a equação a seguir é possível notar que a distância focal  $f$ , para uma lente convergente, é positiva.

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Onde  $n$  é o índice de refração do material que compõe a lente, que no caso é o vidro, e possui valor 1,52. Este valor é obtido pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no vidro.

A luz que incidir na lente da figura 4, vindo da direita para a esquerda, passará pelo foco real  $F_1$ , no lado esquerdo da lente. Para uma lente delgada, os pontos focais  $F_1$  e  $F_2$  estão simetricamente situados em relação à lente. Ela é uma lente cuja espessura é pequena, comparada à distância objeto ( $p$ ), à distância imagem ( $i$ ), ou a qualquer um dos raios de curvatura da lente. Para tais lentes, estas grandezas estão relacionadas pela seguinte equação:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

A figura 5 mostra o objeto  $O$  além do ponto focal  $F_1$  de uma lente convergente. A lente forma uma imagem real invertida  $I$  do objeto, no lado  $R$  da lente. Com o objeto colocado entre o ponto focal  $F_1$  e a lente, a lente forma uma imagem virtual  $I$  direita, no lado  $V$  da lente. A ampliação lateral  $m$  é dada pela razão entre o tamanho  $I$  e o tamanho  $O$ .

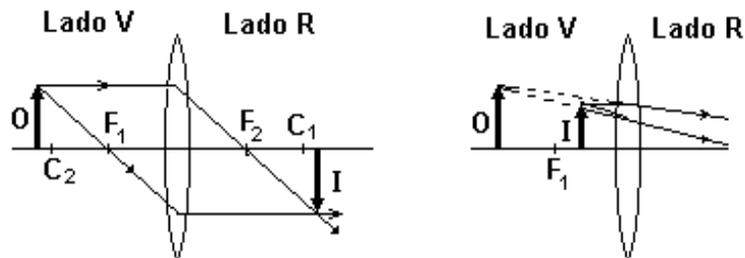


Figura 5 – Trajetória dos raios através da lente

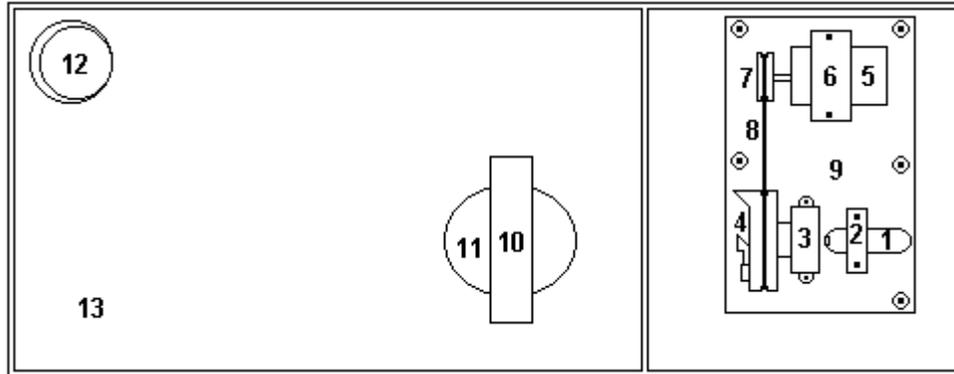
De olho nas ilustrações, podemos determinar graficamente a imagem de qualquer ponto objeto traçando dois raios quaisquer, dos 3 especiais:

1. Um raio paralelo ao eixo central da lente, passará pelo ponto focal  $F_2$ ;
2. Um raio que passa pelo ponto focal  $F_1$  sairá da lente paralelo ao eixo central;
3. Um raio que incide diretamente no centro da lente passa através dela sem ser desviado porque nesse local os dois lados da lente são quase paralelos.

A imagem do ponto está na interseção dos dois raios especiais escolhidos. Em geral, as imagens dos dois pontos de um objeto são suficientes para determinar a imagem do objeto.

## CONCLUSÃO

Da idealização até o término da execução do projeto foram 3 semanas, incluindo adaptações e testes realizados conforme ia sendo construído. O layout final teve algumas alterações mediante as dificuldades que iam aparecendo e sua visualização fica melhor apresentada pela figura 6, onde são identificados os objetos que o compõe.



**Figura 6 – Layout final do projeto**

1. Fonte de laser semiconductor (vermelho);
2. Suporte para o laser com ajuste de altura e direcionamento, incluindo o botão que liga o laser;
3. Suporte do disco de alumínio, que prende o rolamento do disco;
4. Disco de alumínio contendo 2 espelhos em  $45^\circ$  ajustáveis, que formam o cilindro de laser;
5. Motor CC – 6v – 3000rpm;
6. Suporte do motor;
7. Polia de alumínio para transmissão da rotação;
8. Correia de transmissão da rotação;
9. Suporte do conjunto de geração;
10. Suporte e lente delgada convergente;
11. Base do suporte da lente com ajuste de altura;
12. Recipiente para a colocação de gelo-seco;
13. Base de madeira que sustenta o projeto.

De maneira geral, este projeto deve ser utilizado por pessoas que queiram mostrar na prática a trajetória da luz ao atravessar uma lente, numa aula que pode ser feita simplesmente em sala de aula, em qualquer nível da educação.

PROFESSOR ORIENTADOR: Dr. Omar Teschke