

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

João Paulo das Neves Gomes

Graduação em Licenciatura em Física

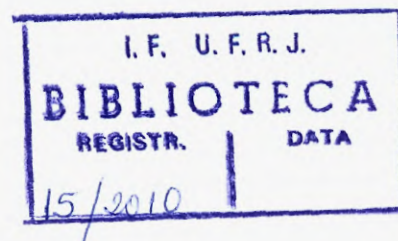
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lígia F. Moreira

# Desvendando os Hologramas

Rio de janeiro

2010

15/2010





## **Agradecimentos:**

Agradeço aos meus pais, Marília e Heitor por ter se dedicado a minha educação e me apoiado em todas as minhas escolhas. As minhas irmãs pela força que sempre me deram. Agradeço a minha paixão Priscilla por me dar inspiração. Agradeço a minha Professora e Orientadora Lígia por ter paciência e por me ensinar como pode ser bonito e divertido aprender e ensinar Física.

## Resumo:

Hologramas ou holografias são representações de imagens em três dimensões de objetos. O surgimento destas imagens foi proporcionado pela aplicação do laser nas melhorias dos microscópios de varredura.

Aqui trabalharemos com estas lindas figuras levando para dentro da sala de aula alguns conceitos de Física Contemporânea poucos comentados no Ensino Médio hoje em dia. Exploraremos as curiosidades dos alunos e mostraremos uma alternativa para mostrar de forma dinâmica e qualitativa os conceitos por trás dos fenômenos da interferência e difração da luz para dentro da escola.

Para este objetivo faremos uma apresentação dos conceitos através de data show, mostraremos cenas de filmes que usam a tecnologia do holografia como forma de comunicação, utilizaremos o software Modellus 4.01 e experimentos práticos de baixo custo para uma maior interação com o aluno, falaremos dos vários tipos de hologramas e da sua história, e para escolas com maiores recursos indicamos um experimento para fazer dentro da sala de aula com os alunos, para aprofundar o conhecimento da formação do holograma.

Exploraremos o interesse turma com as tecnologias dos filmes de ficção científica para criar um clima de curiosidade, que ajudará no despertar o aluno ao conhecimento científico. Mostraremos como tais tecnologias são aplicadas na vida cotidiana das pessoas ou que ainda serão aplicadas em nossas vidas.

Daremos uma abordagem diferente explorando o holograma para propor aos professores uma alternativa de falar de conceitos físicos importantes, interferência e difração da luz, de forma prática e qualitativa, que possibilita o aluno interagir com a matéria sem focar na matemática por trás dos conceitos. Esta, por sua vez, pode ser um fator no qual estes conceitos não são muito comentados em sala de aula, pois não há um amadurecimento do conhecimento das ferramentas matemáticas necessário para abordar tal assunto nesta idade.



# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1 CAPITULO 1 - METODOLOGIA E MATERIAS.....</b>	<b>6</b>
1.1 REFERENCIAL METODOLÓGICO.....	6
1.2 METODOLOGIA UTILIZADA.....	6
1.3 MATERIAIS.....	7
1.3.1 SOFTWARE MODELLUS 4.01.....	8
1.3.2 REDE DE DIFRAÇÃO.....	8
1.3.3 FORMAÇÃO DA IMAGEM.....	9
1.3.4 HOLOGRAMA CD.....	9
1.3.5 REPRODUÇÃO DE UMA IMAGEM HOLOGRÁFICA ATRAVÉS DE UMA PLACA HOLOGRÁFICA.....	10
<b>2 CAPÍTULO 2 - A HISTÓRIA DA HOLOGRAFIA, SUAS APLICABILIDADES E SUAS CLASSIFICAÇÕES.....</b>	<b>12</b>
2.1 A HISTÓRIA E SUAS APLICAÇÕES.....	12
2.2 CLASSIFICAÇÕES.....	18
2.2.1 TIPO DE LUZ PADRÃO PARA VISUALIZAÇÃO.....	18
2.2.2 QUANTIDADE DE FEIXES PARA A FORMAÇÃO.....	18
2.2.3 POR FORMAÇÃO.....	18
<b>3 CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>24</b>

3.1 FORMAÇÃO DE IMAGENS.....	27
3.2 PROPRIEDADES DA LUZ.....	28
3.3 O LASER.....	34
3.4 O HOLOGRAMA.....	36
<b>4 CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO DA AULA.....</b>	<b>39</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DOS VÍDEOS.....	39
4.2 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MODELLUS 4.01.....	39
4.3 REDE DE DIFRAÇÃO.....	40
4.4 FORMAÇÃO DE IMAGEM.....	41
4.5 HOLOGRAMA NO CD.....	42
4.6 MONTAGEM DO KIT LITIHOLO HOLOGRAM KIT.....	43
<b>5 CAPITULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>6 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>47</b>

## INTRODUÇÃO

Uma das mais belas ciências na qual tem como premissa estudar e compreender os fenômenos da natureza trazendo o entendimento do mundo, e assim, a sua manipulação e admiração, a Física deverá, segundo as diretrizes do PCN+ [Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, 1998], ser apresentado aos estudantes de ensino médio de forma a aplicar os conhecimentos ao seu cotidiano. Ela tem uma abrangência notável, envolvendo investigações que vão desde a estrutura elementar da matéria até a origem e evolução do Universo. Usando uns poucos princípios físicos, podemos explicar uma grande quantidade de fenômenos naturais presentes no cotidiano, e compreender o funcionamento das máquinas e aparelhos que estão à nossa volta.

A preocupação da educação é a formação de um cidadão que saiba interagir com o mundo a sua volta, usando e criando ferramentas necessárias para executar as mais diversas tarefas no trabalho e no dia-a-dia. E para este caminho a Física pode e deve apresentar, de uma forma menos matematizada, nos primeiros anos, os conceitos pretendidos, criando assim situações que os estudantes podem futuramente vir a se confrontar.

A idéia de aprendizado da criança, segundo Tolstoi<sup>1</sup>, não pode ser feita através de explicações artificiais, por memorização compulsiva e por repetição. Tolstoi escreve:

*“Temos que admitir que tentamos várias vezes...fazer isso, e que sempre nos deparamos com uma enorme aversão por parte das crianças, o que mostra que estávamos no caminho errado. Esses experimentos me deixaram com a certeza de que é impossível*

---

<sup>1</sup> **Liev Tolstói** (Yasnaya Polyana, 9 de setembro de 1828 — Astapovo, 20 de novembro de 1910) é considerado um dos maiores escritores de todos os tempos. Além de sua fama como escritor, Tolstoi ficou famoso por tornar-se, na velhice, um pacifista, cujos textos e idéias batiam de frente com as igrejas e governos, pregando uma vida simples e em proximidade à natureza.



*explicar o significado de uma palavra... Quando se explica qualquer palavra, a palavra "impressão", por exemplo, coloca-se em seu lugar outra palavra igualmente incompreensível, ou toda uma série de palavras, sendo a conexão entre elas tão ininteligível quanto a própria palavra."*[Tradução Vigotsky, 1989]

O que na verdade a criança precisa é interagir com os novos conceitos aprendidos:

*"Quando ela ouve ou lê uma palavra desconhecida numa frase, de resto compreensível, e a lê novamente em outra frase, começa a ter uma idéia vaga do novo conceito: mais cedo ou mais tarde ela... sentirá a necessidade de usar esta palavra – e uma vez que a tenha usado, a palavra e o conceito lhe pertencem... Mas transmitir deliberadamente novos conceitos ao aluno... é, estou convencido, tão impossível e inútil quanto ensinar uma criança a andar apenas com as leis do equilíbrio."* [Tradução Vigotsky, 1989]

Então, segundo Tolstói, o uso de um novo conhecimento, seja ele uma palavra, uma ferramenta, uma idéia, levará ao domínio deste novo conceito. Usando e desusando, a criança aprende quais as aplicabilidades e poderá assim adaptá-lo ao seu cotidiano.

É o que Vygotsky<sup>2</sup> defendia em seus trabalhos sobre o desenvolvimento do indivíduo, nos quais releva a importância das contribuições da cultura, da interação social e a dimensão histórica do desenvolvimento mental. O estudante apenas irá absorver algum conceito, a partir do uso prático do estudo, procurando por si só as limitações da idéia e observando os fenômenos relacionados.

---

<sup>2</sup> **Lev Semenovitch Vygotsky** ( 17 de Novembro de 1896, Orsha — 11 de Junho de 1934, Moscou) foi um psicólogo bielo-russo, descoberto nos meios acadêmicos ocidentais depois da sua morte, causada por tuberculose, aos 37 anos. Pensador importante, foi pioneiro na noção de que o desenvolvimento intelectual das crianças ocorre em função das interações sociais (e condições de vida).



Este trabalho irá explorar o ensino da Física na prática, utilizando poucos recursos, para falar de um dos fenômenos pouco comentado nas salas de aula, tendo em vista uma abordagem alternativa, e mostrando uma possibilidade de instigar o aluno a fazer suas próprias descobertas a partir de atividades que o convidem a buscar respostas e provoquem sua curiosidade. Iremos utilizar alguns recursos para guiar o estudante em seu aprendizado.

Mostraremos alguns conceitos da Física Contemporânea, não apenas com fórmulas e idéias abstratas, mas tentando focar principalmente, na utilização da prática dos conceitos e levando-os aos seus extremos através da experimentação.

Exploraremos os conceitos físicos necessários para construir um holograma, isto é, uma imagem em um plano bidimensional que é projetada e observada em três dimensões. Os hologramas possuem uma característica única: cada parte deles possui a informação do todo. Assim, um pequeno pedaço de um holograma terá informações de toda a imagem do mesmo holograma completo.

A atividade proposta, além de possuir um conceito profundo de uma matéria que não é habitual no Ensino Médio, tem um resultado muito bonito e curioso. Os hologramas são imagens intrigantes, de profunda beleza, que nos leva a sensação futurista da ciência. Eles são elementos constantes nos filmes e séries de ficção científica, e hoje já podemos usá-lo para comunicação entre pessoas como no filme *Jornadas das Estrelas*, além de ser uma ferramenta muito importante para vários ramos da indústria e da ciência.

A técnica de holografia está crescendo, se diversificando e ganhando importância e utilização no dia-a-dia do homem. Seu estudo está se aprofundando criando perspectivas fantásticas na área do entretenimento e da arte. E por trás desta técnica existem dois conceitos principais: (1) O Fenômeno de Interferência e (2) O Fenômeno da Difração. São estes dois conceitos que pretendo explorar neste trabalho usando a holografia como exemplo para estas novas idéias. Para uma complementação deste trabalho é necessário a utilização de espaço, a interação do



estudante com o experimento e o apoio do colégio, de instituições privadas, e principalmente públicas é de extrema importância para o alcance de nosso propósito.

A educação no Brasil, infelizmente, é carente de investimentos e iniciativas públicas. Antônio Gramsci<sup>3</sup> foi um dos mais importantes e influentes cientistas políticos. Estudou a influência do Estado na educação e seus efeitos sociais, e como o estudo pode influenciar a vida de um indivíduo ou de uma nação. Ele se engaja na idéia do intelectual, aquele que, por seu conhecimento, possui maior poder de influencia na sociedade.

O intelectual tradicional é o literato, o filósofo, o artista e por isso, diz Gramsci, *“os jornalistas, que acreditam serem literatos, filósofos e artistas, também acreditam ser os verdadeiros intelectuais”*, enquanto que modernamente é a formação técnica a que serve como base do novo tipo de intelectual, um construtor, organizador, persuasor, que deve partir *“da técnica-trabalho para a técnica-ciência e a concepção humano-histórica, sem a qual permanece especialista e não se torna dirigente”*. O grupo social emergente, que labuta por conquistar a hegemonia política, almeja conquistar a própria ideologia intelectual tradicional, ao mesmo tempo em que forma seus próprios intelectuais orgânicos. [Mochcovitch, 1988]

A idéia de Gramsci é de que apenas o estudo pode levar um indivíduo a uma ascensão social, se tornar um intelectual ativo na sociedade. E para tal, levar o conhecimento ao maior número de indivíduos é uma necessidade real para a pretensão de crescimento da qualidade de vida de uma nação.

O objetivo deste trabalho é mostrar uma alternativa de abordar alguns conceitos da Física, poucos explorados atualmente na sala de aula, explorando a técnica de holografia através de experimentos, vídeos e software, e criando curiosidade e interesse nos estudantes, para melhor absorção destes conceitos. Para atingirmos

---

<sup>3</sup> **Antonio Gramsci** (Ales, 22 de janeiro de 1891 — Roma, 27 de abril de 1937) foi um político, cientista político, comunista e antifascista italiano.

nosso objetivo criamos um roteiro de aula para explorar principalmente os fenômenos de Interferência e Difração.

## CAPÍTULO 1 - METODOLOGIA E MATERIAS

### 1.1 REFERENCIAL METODOLÓGICO

É o desafio de cada professor fazer com que os alunos façam as suas próprias descobertas a partir de atividades que o convidem a buscar respostas e provoquem sua curiosidade. Podemos aqui colocar um paralelo com os pensamentos de Vygotsky, no qual define *“O aluno não é tão somente o sujeito da aprendizagem, mas, aquele que aprende junto ao outro o que o seu grupo social produz.”*. [www.centrorefeducacional.com.br, Artigo de Vera Lúcia Camara Zacharias]

Também devemos colocar que além da intervenção da Escola e dos docentes na educação do indivíduo, Vygotsky defende a importância da atuação dos outros membros do grupo social na mediação entre a cultura e o indivíduo, pois uma intervenção deliberada desses membros da cultura, nessa perspectiva, é essencial no processo de desenvolvimento, e é este o verdadeiro propósito do nosso trabalho.

### 1.2 METODOLOGIA UTILIZADA

Para falar do holograma ao público jovem tentando induzir a curiosidade natural dos indivíduos sobre a ciência vista em filmes de ficção científica começaremos apresentando trechos de filmes famosos que utilizam o holograma como fonte de interatividade à distância, como Star Wars, Eu Robô, 2008 – Uma odisséia no espaço, entre outros.





**Figura 1: Cena do filme Star Wars.**

Seguimos instigando o aluno a procurar como é o funcionamento desta tecnologia. Mostraremos ao aluno, com o suporte de um software, o fenômeno de interferência de ondas, apresentando de forma qualitativa este conceito, este software deve ser bastante explorado pelo aluno, para fixar as novas idéias. Apresentaremos então uma rede de difração, onde pode ser explorado também o fenômeno de interferência e apresentar o conceito de difração de forma qualitativa. Com estas idéias já apresentadas iremos explorar um experimento de formação de imagem. Após a apresentação destas ideias falaremos do funcionamento de um holograma e propondo no fim um experimento de como construir um holograma em sala de aula. Nesta parte o objetivo será fazer com que os alunos coloquem em prática os conceitos mostrados e interajam diretamente na montagem. E ao fim podemos sugerir uma exposição de hologramas feitos em sala de aula, propondo para os alunos mais interessados um experimento de reprodução de um holograma mais sofisticado através de um filme holográfico.

Este trabalho poderá ser aplicado em salas de aula, feiras de ciências ou nos espaços alternativos, podendo vir acompanhado de um pequeno questionário sobre os principais conceitos adquiridos.

### **1.3 MATERIAIS**

Utilizaremos diversos materiais para a apresentação deste trabalho, faremos uma apresentação de trechos de filmes onde o holograma é utilizado como forma

de comunicação entre pessoas e alguns experimentos didáticos e fáceis de serem feitos.

Os experimentos são muito importantes para o objetivo deste trabalho, que é interagir com o aluno e despertar sua curiosidade sobre a ciência. Utilizaremos o software Modellus para simulação do conceito de interferência de ondas. Mostraremos dois experimentos, a rede de difração, para abordar o conceito de difração, e a formação de imagem, para melhor assimilação dos conceitos. Faremos um holograma para interagir e colocar nossos conceitos em prática, e proporemos um experimento extra-classe para os alunos mais interessados.

### **1.3.1 SOFTWARE MODELLUS 4.01**

Este software será utilizado para simular a interferência entre duas ondas bidimensionais mostrando os conceitos de superposição das ondas. O aluno irá interagir com o programa criado através deste software analisando, por conta própria, as mais diversas respostas nas interações entre duas ondas bidimensionais.

### **1.3.2 REDE DE DIFRAÇÃO**

Neste experimento mostraremos o fenômeno de difração da luz e interferência, obtendo padrões de interferência, mostrando ao aluno a teoria na prática explicando qualitativamente o ocorrido. Precisaremos dos seguintes materiais:

- ✓ Um CD ou um DVD;
- ✓ Um laser;
- ✓ Baterias para o laser.

Em um ambiente de baixa iluminação faremos com que o feixe do laser insira sobre o lado espelhado do CD, refletindo em um anteparo, exemplo uma



parede. Podemos obter a difração, pois há uma densidade de 625 linhas por mm num CD ou de 1.350 l/mm em um DVD<sup>4</sup>.

### 1.3.3 FORMAÇÃO DE IMAGEM

Mostraremos alguns tipos de formação de imagens em 3D, embora não seja um holograma, mas que se forma também por interferência de raios. Para a familiarização do aluno com os conceitos de interferência, utilizamos um equipamento de fácil acesso aos professores o 3-D Mirascope. Este equipamento pode ser adquirido em sites como Amazon.com, atualmente com um custo de US\$9,68, ele contém:

- ✓ Dois espelhos côncavos, sendo um deles com um buraco no centro do espelho;
- ✓ Objeto para a formação da imagem;
- ✓ Manual de instrução.

A montagem será feita como mostra a figura abaixo com o objeto dentro:

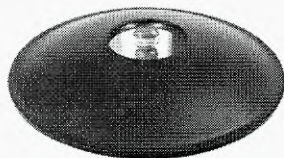


Figura 2: Montagem do 3D-Mirascope

### 1.3.4 HOLOGRAMA CD

Usaremos Também um holograma de absorção que deverá ser feito pelo aluno. Para isto precisaremos de:

- ✓ Papel e caneta ou lápis;

<sup>4</sup> Informação retirada do site [http://www.inpharmix.com/jps/CD\\_spectro.html](http://www.inpharmix.com/jps/CD_spectro.html)

- ✓ Fita durex
- ✓ Uma placa de um material no qual pode ser rabiscado facilmente (neste caso um CD ou uma caixa de CD);
- ✓ Um compasso com duas pontas de metal ( colocar um prego no lugar do grafite).

Procedemos da seguinte maneira: (1) pegamos lápis e papel e desenhamos qualquer figura que quisermos ver no holograma em um papel; (2) posicionamos o CD próximo do desenho e o prendemos com durex para não se moverem e com o compasso rabiscamos, com a ponta de ferro, o CD, seguindo sempre o desenho; (3) repetiremos este último procedimento para várias distâncias do desenho; (4) quando terminarmos colocaremos a placa exposta à luz, e observaremos o seu desenho em três dimensões, um holograma.

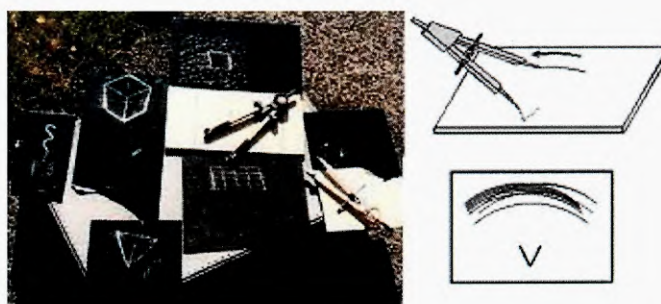


Figura 3: montagem do Holograma de Absorção em uma superfície.

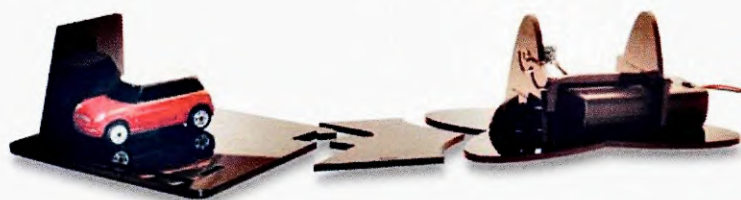
### 1.3.5 REPRODUÇÃO DE UMA IMAGEM HOLOGRÁFICA ATRAVÉS DE UMA PLACA HOLOGRÁFICA

Conhecendo de perto o que é a interferência de luz e difração, usaremos estes princípios para a construção do nosso holograma. E para isto utilizaremos um kit onde possui todas ferramentas necessárias para obter uma imagem holográfica, neste caso escolhemos o Litiholo Hologram Kit, atualmente vendido por US\$99,00, ele contém:

- ✓ Um laser de Diodo;

- ✓ 20 placas holográficas (2.0 Instant hologram) de 2" x 3";
- ✓ Um suporte para o laser;
- ✓ Um suporte separador;
- ✓ Um suporte para a placa holográfica;
- ✓ Baterias;
- ✓ Objeto para o holograma;
- ✓ Manual de instrução.

A montagem será feita como mostra a figura abaixo:



**Figura 4: Montagem do Litiholo Hologram Kit.**



## CAPÍTULO 2 - A HISTÓRIA DA HOLOGRAFIA, SUAS APLICABILIDADES E SUAS CLASSIFICAÇÕES

### 2.1 A HISTÓRIA E SUAS APLICAÇÕES

Em 1947 tentando melhorar as imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura, Dennis Gabor<sup>5</sup> finalizou o mais importante estudo de sua carreira culminando no conceito teórico de holografia. A aplicação de sua descoberta se diversificou após o advento do laser, uma fonte de luz coerente. Por este trabalho Gabor ganhou o prêmio Nobel de Física em 1971.

Com o objetivo de melhorar a microscopia eletrônica de varredura, Gabor começou o seu trabalho buscando uma alternativa no conceito de frente de onda. Uma frente de onda carrega a informação de intensidade e direção de um objeto iluminado. Ele queria formar uma imagem utilizando a interferência entre dois feixes de luz, um proveniente do objeto de que queira a imagem, e o outro chamado de feixe padrão. Quando a imagem fica registrada em um filme, podemos vê-la tridimensionalmente e de cores variadas iluminando com um feixe de luz em certos ângulos. [ Bagnato,2008]

O grande problema para a melhor utilização do holograma era a dificuldade de se obter dois feixes de luz coerentes necessários para a obtenção do padrão de interferência. Com o surgimento do laser, a utilização da holografia, esta forma de registrar uma imagem tridimensional, se expandiu para a utilização nas indústrias, nas artes, na pesquisa, nas telecomunicações entre outras.

No comércio, o holograma é utilizado em cartões de créditos, em selos, entre outros como uma forma anti-fraude. É uma solução barata e segura de se obter tal proteção, devido ao seu padrão de cores. Podemos verificar isto em uma nota de R\$

---

<sup>5</sup> **Dennis Gabor** (Budapeste, 5 de Junho de 1900 — Londres, 9 de Fevereiro de 1979) foi um físico britânico. Recebeu o Nobel de Física de 1971, pela invenção e aperfeiçoamento do método holográfico.



20,00 (vinte reais), quando iluminamos a faixa holográfica da nota, podemos notar as diferentes cores que aparecem em determinados ângulos de visão, assim como no cartão de crédito onde podemos olhar uma pomba ou o globo em três dimensões. O padrão de cores que observamos quando os iluminamos é o que propicia a autenticidade do documento. A principal inovação do uso do holograma nesta área é o holograma animado, onde em cada holograma pode conter mais de 100 imagens, que colocados em seqüência formando uma animação. O alto número de imagens no holograma é uma arma contra a pirataria.<sup>6</sup>



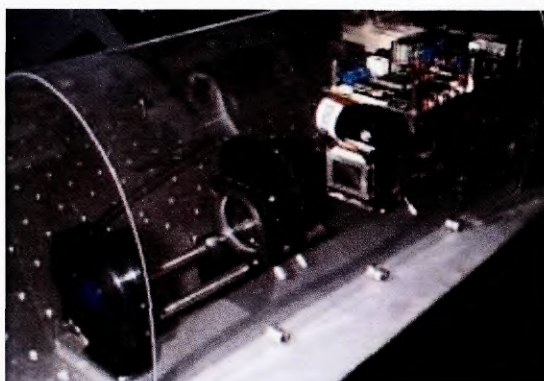
**Figura 5:** Nota de R\$ 20,00

Com os avanços das pesquisas, o uso do holograma está se intensificando e abrindo caminho em várias áreas tecnológicas. A pinça ótica, instrumento muito utilizado nos laboratórios mais avançados, foi aperfeiçoada com a introdução do holograma. Estas pinças são utilizadas nas estruturas nano métricas deslocando cada partícula nano métrica para o lugar desejado, utilizando a luz como impulso para as partículas. Ao utilizar o holograma como uma pinça ótica, cientistas das Universidades de Glasgow, Escócia, e Oxford, Inglaterra, conseguiram deslocar as nano partículas tridimensionalmente e com uma precisão muito maior.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Informações recolhidas no site Inovação Tecnológica, [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br).

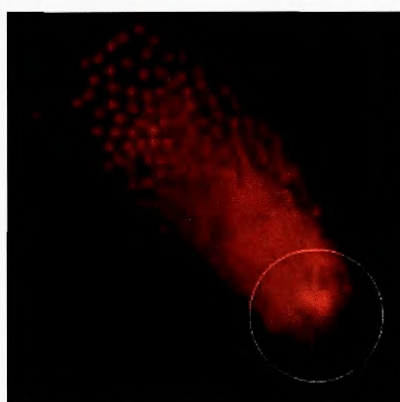
<sup>7</sup> Informações recolhidas no site Inovação Tecnológica, [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br).





**Figura 6: Lente Óptica**

Uma das técnicas mais recentes para a montagem de biochips e nano máquinas é a padronagem eletrocinética rápida, que se baseia no uso do laser e do holograma. Assim como a pinça ótica, esta técnica favorece o posicionamento das partículas, mas também se aplica a um conjunto de partículas diferentes, onde somente se quer ordenar um tipo delas. A separação e o posicionamento de partículas são essenciais para a análise biológica de amostras médicas ou do meio ambiente.<sup>8</sup>



**Figura 7: Padronagem eletrocinética rápida, construção de Biochips.**

Na arte, o holograma está presente devida a sua grande beleza, tendo como o principal representante brasileiro, o artista plástico **Eduardo Kac**. Kac introduziu a holografia em suas obras em 1983 criando o que ele denominou de holopoesias. Em 1985 expos os seus holopoemas no Museu da Imagem e do Som de São Paulo e

---

<sup>8</sup> Informações recolhidas no site Inovação Tecnológica, [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br).

recebeu prêmio de aquisição do Salão Nacional de Artes Plásticas, no Rio de Janeiro, o primeiro de muitos prêmios, revolucionando o conceito de arte digital em todo o mundo. Em 1992, o MIT, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, possuía um museu dedicado a estes tipos de trabalhos “Museum of Holography”, (Museu da Holografia), fundada por Rosemary Jackson Smith, que foi fundamental na introdução da arte e ciência da holografia para o público em geral. Hoje O MIT Museum continua a expor e a adquirir os trabalhos artísticos desta área.<sup>9</sup>



**Figura 8: Holograma exposto no MIT Museum.**

Mas a maior contribuição do holograma é, com certeza, na área do entretenimento com inúmeras aplicações audiovisuais. Há inúmeras ferramentas neste ramo que utilizam a tecnologia do holograma. Pesquisadores da Universidade de Cambridge, Inglaterra, descobriram uma forma de gerar imagens holográficas a partir de um projetor de pequenas dimensões. Usa-se um holograma, que é projetado na mini-tela interna, a seguir, um feixe de laser é focalizado sobre a tela transparente, espalhando a luz, sem a necessidade de lentes. O resultado pôde ser prestigiado na rede CNN no dia 04 de Novembro de 2008, onde o âncora Wolf Blitzer, no CNN Election Center em Nova York, convocou a repórter Jessica Yellin diretamente de Chicago para comentar a respeito da vitória do democrata Barack Obama, eleito o novo presidente dos EUA, e usando um recurso holográfico ao vivo em pleno estúdio, “materializou” a repórter, sendo assim a primeira rede de TV a usar tal recurso.

---

<sup>9</sup> Informações recolhidas no site do MIT, <http://web.mit.edu>.





Figura 9: Cobertura da rede americana CNN sobre vitória de Barack Obama em 2008.

A General Eletric está em fase final de um estudo que utiliza a holografia como forma de armazenar dados gerando assim, uma mídia com capacidade de 100 DVD ou 20 mídias de Blu-ray, algo em torno de 500GB. Na holografia os dados são armazenados em padrões de luz codificados em um material sensível a luz. Os hologramas funcionam como espelhos microscópicos que refletem padrões de luz quando o laser se projeta sobre eles. Esta tecnologia, além de aumentar a capacidade de armazenamento de dados em um disco, é mais barata do que o Blu-ray, que custa \$1,00 por giga de armazenamento, enquanto esta nova mídia custa em torno de \$0,10 por giga.<sup>10</sup>



Figura 10: Ilustração da mídia holográfica.

Estes avanços tecnológicos presentes em nossas vidas foi possibilitado pelo desenvolvimento da holografia, que se ramificou em vários tipos de técnicas de

<sup>10</sup> Reportagem do The New York Times publicada em 26 de Abril de 2009, **G.E.'s Breakthrough Can Put 100 DVDs on a Disc.**

construção de hologramas. Existem várias técnicas de registro holográfico, baseadas em dois tipos de holografia:

- **Holograma de transmissão:** No registro de um holograma de transmissão, o feixe objeto e o feixe referência juntam-se do mesmo lado do filme holográfico.

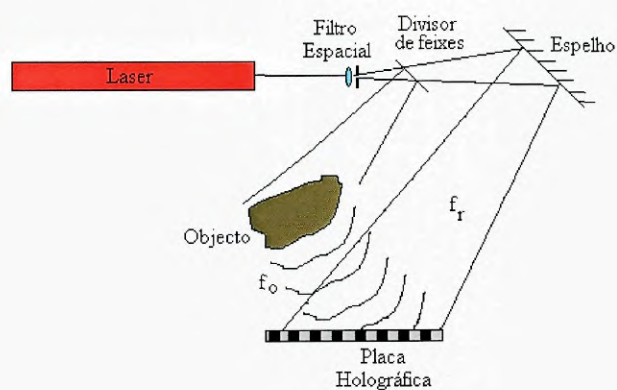


Figura 11

- **Holograma de reflexão:** No registro de um holograma de reflexão ou holograma Denisyuk, o feixe objeto e o feixe referência juntam-se, vindo de lados opostos do filme holográfico.

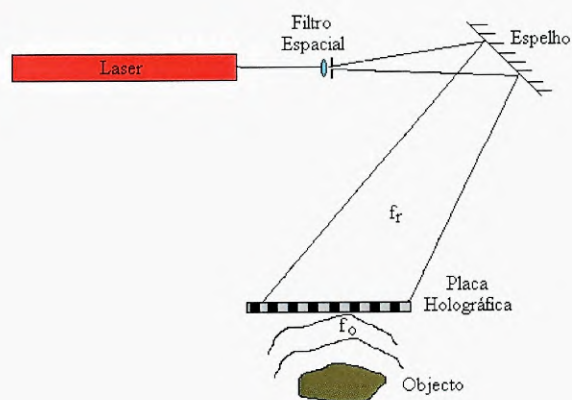


Figura 12

## 2.2 CLASSIFICAÇÕES

Podemos então classificá-los pelo processo de formação do holograma, pelo tipo de luz padrão para visualização e pela quantidade de feixes para a formação.

Primeiramente temos algumas definições:

- **Holograma mestre** - Qualquer holograma que produz uma imagem da qual outro holograma é feito.
- **Holograma de transmissão** - Qualquer holograma que é visível através da passagem de luz através dele, em direção ao lado do observador. Hologramas de transmissão são feitos ao se permitir que tanto o feixe referência quanto o feixe objeto atinjam o mesmo lado da placa.

### 2.2.1 Tipo de luz padrão para visualização:

- **Holograma de transmissão de luz branca** - Qualquer holograma de transmissão que pode ser mostrado usando-se luz branca comum.
- **Holograma de transmissão regular** - Holograma de transmissão visível com a luz laser.

### 2.2.2 Quantidade de feixes para a formação:

- **Holograma de feixe simples** - Um holograma feito com um feixe que atua tanto como referência como feixe de iluminação do objeto.
- **Holograma de múltiplas exposições** - Holograma formado por dois ou mais feixes referência ou ângulos.

### 2.2.3 Por formação:

- **Holograma de Fresnel** - Outro nome para o holograma comum. Definido como um holograma formado com o objeto localizado próximo ao meio de registro.



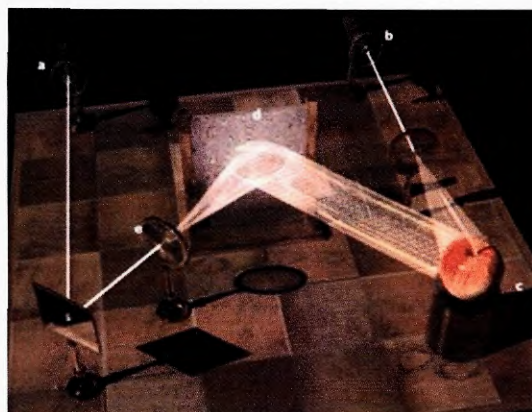


Figura 13: Holograma de Transmissão.

- **Holograma de absorção** - Holograma formado em um material que adquire certa densidade em resposta a uma exposição. Quando o holograma é iluminado, parte da luz que não é absorvida é difratada na formação da imagem.



Figura 14: Holograma de Absorção.

- **Holograma arco-íris** - Holograma de transmissão de imagem plana feito pela restrição da iluminação vertical de um holograma-mestre para produzir uma fenda horizontal, no sentido de compensar a dispersão cromática quando a cópia é vista com luz branca. A paralaxe vertical é sacrificada, entretanto. O holograma é assim chamado pelo fato de que a imagem é visível em cada cor do arco-íris, que muda à medida que a visão vertical muda. Também chamado de holograma Benton, devido ao seu inventor.



Figura 15: Holograma Arco-íris.

- **Holograma cópia** - Outro termo para holograma de imagem plana, ou qualquer holograma de segunda geração produzido a partir de um holograma-mestre. Uma cópia de contato é produzida ao se colocar uma placa em contato com a original.



Figura 16: Holograma Cópia.

- **Holograma de fase** - Um meio através do qual a informação é armazenada como resultado do deslocamento de fase entre duas frentes de onda (como o são todos os hologramas). Um holograma de fase-amplitude armazena informação como resultado dos deslocamentos de fase que manifestam elas próprias como variações em amplitude. Um holograma de fase pura armazena o deslocamento de fase como resultado das variações do índice refrativo no material.



- **Holograma em linha** - Holograma de Gabor. Feito pelo posicionamento do objeto e do feixe referência ao longo do mesmo eixo, resultando em uma configuração prática apenas na criação de hologramas de transparências.

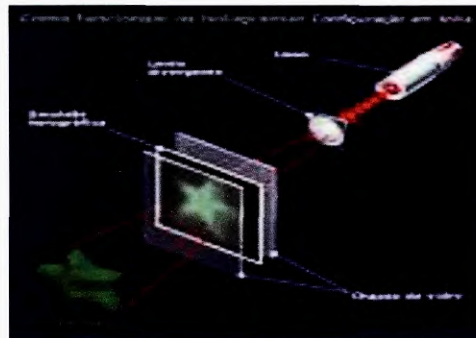


Figura 17: Holograma em Linha.

- **Holograma gerado por computador** - Holograma sintético produzido usando-se um plotter de computador. Uma estrutura binária é produzida em uma grande escala e então fotograficamente reduzida num dado meio. A técnica permite a produção de formas tridimensionais não-existent.



Figura 18: Holograma gerado por computador.

- **Holograma de imagem focada** - Holograma de imagem plana de pequena distância feita através do uso de uma lente para focalizar uma imagem



diretamente no plano do filme. Algumas vezes também usado como outro termo para holograma de diafragma aberto.

- **Holograma plano** - Holograma no qual as franjas são maiores em relação à espessura da emulsão, assim a maior parte da interferência é registrada sobre a superfície do holograma.
- **Holograma de 360 graus** - Holograma feito através da exposição do material de registro que circunda completamente um objeto.

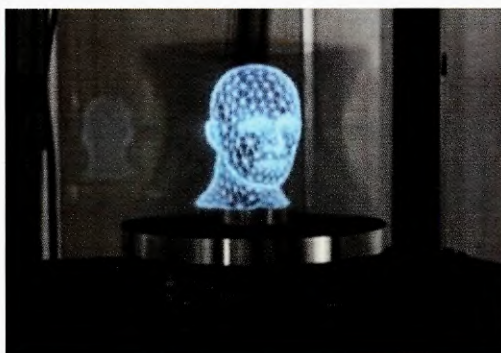


Figura 19: Holograma de 360 graus.

- **Holograma de Leslie** - Tipo particular de estereograma holográfico feito através do uso de imagens projetadas sobre uma tela de gravação seqüenciada de hologramas em faixas usando-se uma placa fixa e uma máscara com uma fenda móvel.





## CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A óptica é o estudo dos fenômenos luminosos, e para tal é necessário algumas definições e apresentações de algumas propriedades.

Primeiramente, fontes luminosas são corpos que emitem luz, e para o nosso estudo podemos definir raio luminoso como linhas orientadas que representam, graficamente, a direção e sentido da propagação da luz. O conjunto de raios de luz é chamado de feixe de luz ou feixe luminoso.

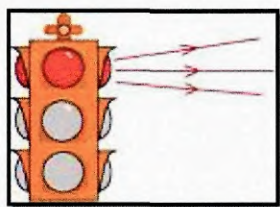


Figura 21: Feixe de luz ou feixe luminoso.

O estudo da óptica ganhou força durante o fim do século XVII com Christiaan Huygens<sup>11</sup>, com sua publicação do “*Traité de la lumière*”, (Tratado sobre a luz), de 1690. Por este tratado Huygens defendeu a teoria ondulatória da luz, isto é, o comportamento da luz como uma onda, contendo assim suas propriedades. Este tratado foi um marco, pois antes dele todo o estudo sobre a luz era considerando uma teoria corpuscular.

Em 1704, Isaac Newton<sup>12</sup> publicou a sua mais importante obra sobre óptica, “*Opticks*”, um estudo sobre a luz e suas propriedades, onde expõe algumas idéias, entre elas, a junção de uma teoria corpuscular e a reflexão, refração e a dispersão da

<sup>11</sup> **Christiaan Huygens** (Haia, Países Baixos, 14 de Abril de 1629 - Haia, 8 de Julho de 1695) foi um matemático, astrônomo e físico neerlandês.

<sup>12</sup> **Sir Isaac Newton** (Woolsthorpe, 4 de Janeiro de 1643 — Londres, 31 de Março de 1727) foi um cientista inglês, mais reconhecido como físico e matemático, embora tenha sido também astrônomo, alquimista, filósofo natural e teólogo.



luz. Este foi o primeiro trabalho que tentava explicar alguns fenômenos ópticos usando as teorias corpusculares e ondulatórias combinadas.

No século seguinte, com os trabalhos de Thomas Young<sup>13</sup> e Augustin Fresnel<sup>14</sup> sobre os efeitos de interferência e difração, a comunidade científica se voltou para a aceitação da teoria ondulatória da luz, que explicava muitos fenômenos observados naquela época. Agora a luz era tratada como um fenômeno puramente ondulatório.

Em 1861, o físico e matemático James Clerk Maxwell<sup>15</sup> apresentou uma teoria detalhada da luz como um efeito eletromagnético, após formular as equações básicas do campo eletromagnético. Maxwell descreveu como é feita a propagação da luz, através das variações dos campos elétricos e magnéticos. Esta teoria se confirmou após as experiências feitas por Heinrich Rudolf Hertz<sup>16</sup> em 1888, sobre os campos eletromagnéticos, onde comprovou que a velocidade de propagação da luz é igual a propagação dos campos, possuem os mesmos comportamentos, e demonstrou as propriedades de refração, reflexão e polarização, todas observadas na luz.

Porém, nestas séries de experimentos, Hertz se deparou com o efeito fotoelétrico. Este fenômeno só foi explicado em 1905 por Albert Einstein<sup>17</sup> usando a teoria corpuscular, onde a luz conteria partículas chamadas de fótons. A partir desta explicação de Einstein, toda a comunidade científica se voltou para a teoria da dualidade onda-partícula da luz, onde a luz se comporta em determinadas situações como uma onda e em outras como partícula.

---

<sup>13</sup> **Thomas Young** (Milverton, 13 de junho de 1773 — Londres, 10 de maio de 1829) foi um físico, médico e egiptólogo britânico.

<sup>14</sup> **Augustin-Jean Fresnel** (Broglie, 10 de maio de 1788 — Ville-d'Avray, 14 de julho de 1827) foi um físico francês. É considerado o fundador da óptica moderna.

<sup>15</sup> **James Clerk Maxwell** (Edimburgo, 13 de Junho de 1831 — Cambridge, 5 de Novembro de 1879) foi um físico e matemático britânico. Ele é mais conhecido por ter dado a sua forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica.

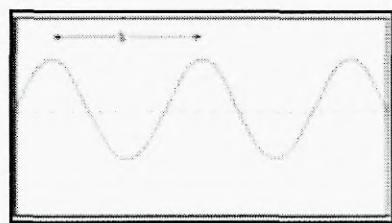
<sup>16</sup> **Heinrich Rudolf Hertz** (Hamburgo, 22 de Fevereiro de 1857 — Bonn, 1 de Janeiro de 1894) foi um físico alemão que demonstrou a existência da radiação eletromagnética criando aparelhos emissores e detectores de ondas de rádio.

<sup>17</sup> **Albert Einstein** (Ulm, 14 de Março de 1879 — Princeton, 18 de Abril de 1955) foi um físico alemão radicado nos Estados Unidos mais conhecido por desenvolver a teoria da relatividade. Recebeu o Nobel de Física de 1921 pela correta explicação do efeito fotoelétrico



Depois deste apanhado histórico podemos definir algumas propriedades que um raio de luz possui:

- Comprimento de onda ( $\lambda$ );
- Frequência ( $\nu$ );
- Período ( $P$ )
- Intensidade ( $I$ );
- Direção e sentido de propagação.



**Figura 22: Comprimento de onda.**

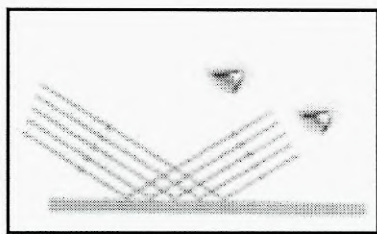
A frequência do raio de luz ou o seu comprimento de onda define o espectro do raio, isto é, a sua cor.

Uma fonte luminosa, como vimos, é todo corpo que emite luz, e conforme as propriedades dos feixes de luz que são emitidos, as fontes podem ser monocromáticas, todos os raios luminosos possuem a mesma frequência, ou policromáticas, quando os raios constituintes não possuem as mesmas frequências.

Todo o raio de luz possui uma propagação retilínea facilmente observada pela sombra de um objeto. Quando um raio de luz do Sol, por exemplo, ilumina um vaso, a sua sombra ganha o formato do objeto iluminado, demonstrando a propagação retilínea da luz. Esta propriedade é muito importante para a formação de imagens.

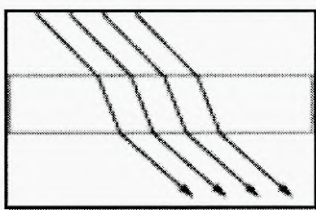
Outra propriedade importante para o nosso estudo é a reflexão e a refração da luz. Reflexão é o fenômeno no qual observamos um raio de luz em um meio, digamos o

ar, não penetrar em outro meio, digamos uma chapa de metal, assim dizemos que este raio foi refletido.



**Figura 23: Reflexão da luz.**

Refração da luz é o fenômeno de mudança da velocidade da luz quando passa de um meio para outro.

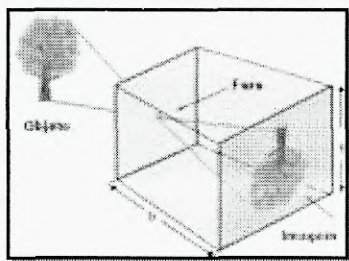


**Figura 24: Refração da luz.**

### **3.1. FORMAÇÃO DE IMAGENS**

Para entender como uma imagem é formada analisaremos a câmara escura, que consiste em uma caixa fechada, onde uma das faces é constituída por um pedaço de papel semitransparente, e na face oposta possui um pequeno orifício.





**Figura 25: Câmara escura.**

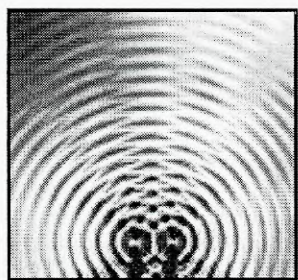
Quando se coloca um objeto na frente deste orifício e o iluminamos, os raios refletidos por ele irão atravessar o orifício e iluminar o papel semitransparente carregando toda a informação do objeto, como mostra a figura. Este é o funcionamento da câmera fotográfica.

### **3.2. PROPRIEDADES DA LUZ**

Como vimos anteriormente, a luz é tratada como uma onda-partícula e possui algumas propriedades interessantes:

1. **O princípio de Fermat:** de todos os caminhos possíveis para ir de um ponto a outro, a luz segue aquele que é percorrido no tempo mínimo. O que nos leva a propagação retilínea da luz.
2. **Interferência:**

Como a luz pode ser tratada como uma onda, então, podemos analisar quando dois raios luminosos se encontram como um encontro entre duas ondas. Assim, seja os raios luminosos 1 e 2, eles possuem um comprimento de onda, frequência, amplitude, direção e sentidos próprios.



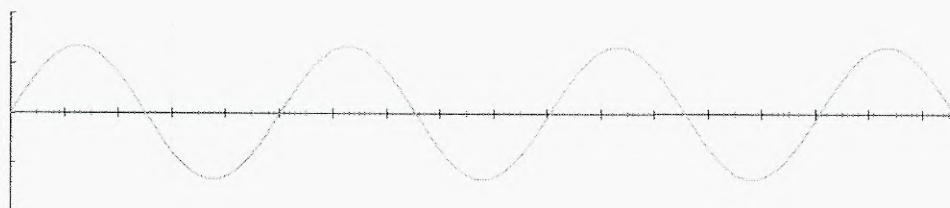
**Figura 26: Interferência.**

Quando colocamos uma onda sobre a outra, isto é, quando elas se encontram, há uma soma de onda fazendo com que os vales e as cristas se sobreponham. Embaixo segue dois casos especiais.

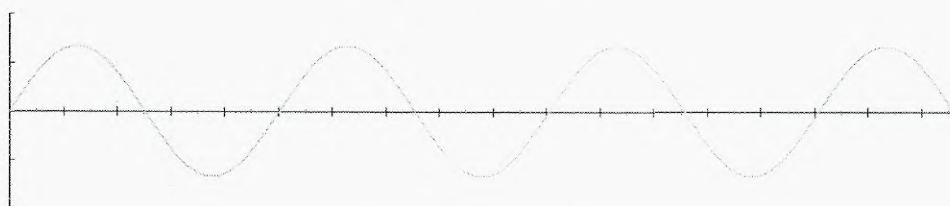
**a. Interferência Construtiva:**

Quando o vale 1 se encontra com o vale 2, eles aumentam a depressão resultante, assim como as cristas aumentam a crista resultante. Nestes casos chamamos de interferência Construtiva.

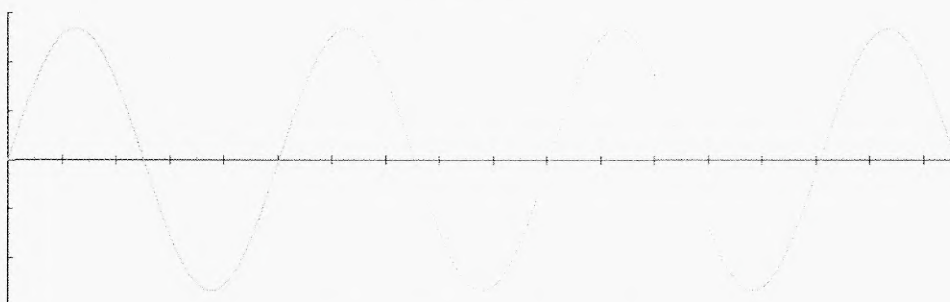




**Figura 27: Onda A**



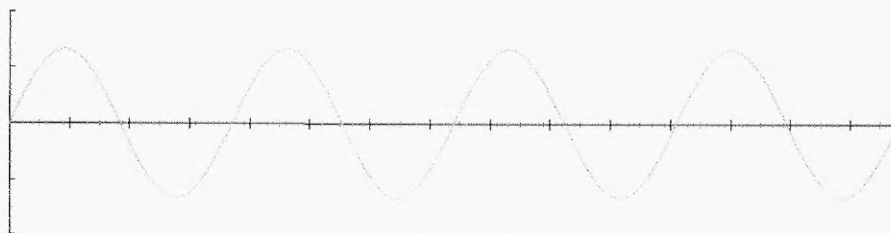
**Figura 28: Onda B**



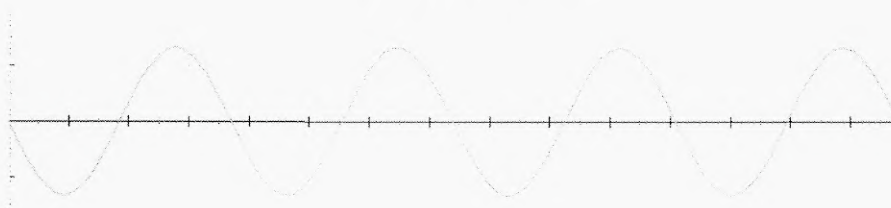
**Figura 29: Onda A + B**

**b. Interferência Destrutiva:**

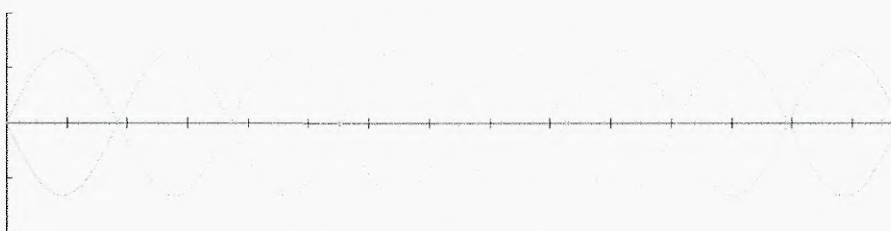
Quando um vale encontra uma crista, um preencherá o espaço do outro, resultando no repouso. Neste caso chamamos de interferência destrutiva.



**Figura 30: Onda A**



**Figura 31: Onda B**



**Figura 32: Onda A + B**

### 3. Coerência de Raios Luminosos:

Dizemos que dois raios de luz são coerentes quando possuem o mesmo comprimento de onda, a mesma frequência, amplitude, direção e sentido de propagação, e ainda a mesma fase. Isto é, quando dois raios idênticos saem de um ponto os vales, cristas e nós coincidem no espaço.

Quando dois raios de luz coerentes se encontram há o fenômeno de interferência, ela poderá ser construtiva ou destrutiva, dependendo do caminho óptico (distância que um raio de luz percorre( $L$ )) que cada raio percorreu, do ponto onde é gerado ao ponto de encontro entre os raios. Podemos escrever a diferença dos caminhos ópticos como  $L_1 - L_2 =$



$n\lambda$  (onde  $\lambda$  é o comprimento de onda do raio de luz) chegaremos que para qualquer  $n \in \mathbb{I}$  a interferência é construtiva e para  $n = n' + \frac{1}{2}$ , onde  $n' \in \mathbb{I}$  a interferência será destrutiva.

#### 4. Difração:

Para entender o que é difração precisamos do conhecimento do Princípio de Huygens, que diz que cada ponto de uma frente de onda comporta-se como uma fonte puntiforme, gerando ondas secundárias.

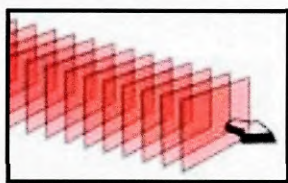


Figura 33: Frente de onda.

Daí vem a definição de frente de onda, que é o lugar geométrico onde um conjunto de pontos do meio são alcançados no mesmo instante pela mesma fase de uma onda, isto é, cristas ou vales.

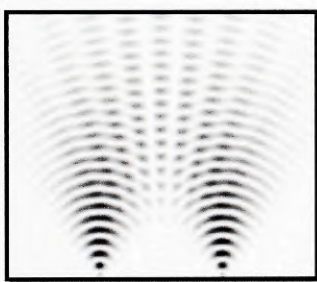
A difração é o desvio do raio luminoso devido a um orifício muito pequeno, na ordem do comprimento de onda da luz, ou por um objeto.



Figura 34: Difração.

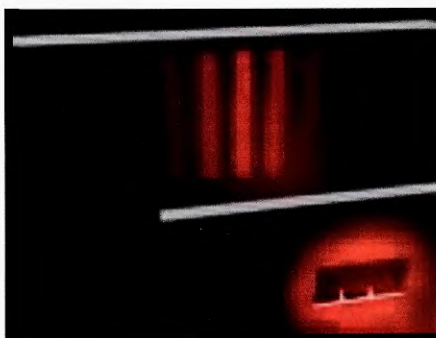
Quando fazemos com que dois raios difratados se encontrarem, o resultado será uma interferência construtiva e destrutiva. Quando ainda usamos dois raios coerentes podemos visualizar, nas regiões onde uma crista encontra com um vale, a anulação das ondas, isto é, uma região

onde um raio de luz anula o outro. Podemos analisar este fenômeno usando uma frente de onda que ultrapassa dois orifícios, quando a frente de onda ultrapassa o orifício, para cada um ocorrerá o efeito da difração. Este espalhamento dos raios luminosos se cruzará e ocorrerá a interferência entre eles. Desta interferência resultarão regiões claras, interferência construtiva, e regiões escuras, interferência destrutiva. Estas regiões são chamadas de franjas ou zonas de Fresnel.



**Figura 35: Interferência por difração.**

Podemos ver melhor estas regiões de interferência na figura abaixo:



**Figura 36: Padrão de interferência causada por duas frestas.**



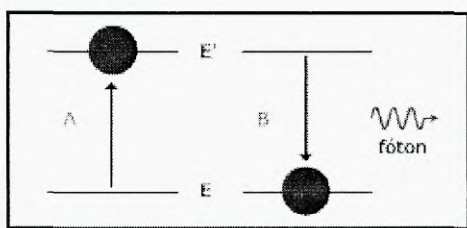
### 3.3. O LASER

O Laser (Light Amplified by Stimulated Emission Radiation) é uma luz emitida num único comprimento de onda, isto é, uma luz monocromática, capaz de caminhar numa única direção, com pouco desvio, e o principal, é uma fonte de luz coerente.

Esta tecnologia só foi capaz de se tornar realidade com os estudos dos físicos Max Planck, alemão, o dinamarquês Niels Bohr e Albert Einstein. Utilizando a constante encontrada por Planck em 1899, e o estudo do efeito fotoelétrico de Einstein, Niels Bohr introduziu no modelo do átomo de Rutherford, junto com dois postulados:

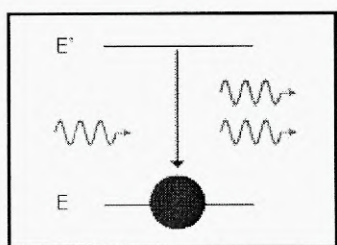
- Os elétrons giram em torno do núcleo, em trajetórias circulares bem definidas, e nesse movimento de rotação, não há emissão de energia;
- Quando um elétron passa de uma órbita para outra, ocorre emissão ou absorção de certa quantidade de energia.

Como verificado por Einstein, o fóton carrega certa quantidade de energia, que são transportados em pacotes chamados quanta. Então quando um fóton com um quantum de luz colide com um elétron, toda a energia é transferida, isto é, a menor quantidade de energia transferível é a de um quantum. Quando um elétron absorve certa energia de um fóton ele consegue saltar para um nível mais alto de energia, dizemos que ele está num estado excitado. Porém o elétron tende a voltar naturalmente para o nível de energia mais baixa, ou sua órbita original, ou fundamental, neste caso ocorre um decaimento, mas para isto terá que libera a energia excedente, e isto é feito em forma de fótons.



**Figura 37: Excitação (A) e Decaimento (B) do elétron.**

Existe também outro processo que ocorre no sistema atômico que é a emissão estimulada. Quando o elétron está no estado excitado, ele irá decair para a sua órbita natural, porém este processo por si só é muito lento, mas quando há um estímulo externo podemos antecipar este decaimento. Este estímulo externo pode ser um fóton, que neste processo não será absorvido, porém somente aquele que possui a energia igual aquela que levou o elétron a ficar no estado excitado. Assim que ocorre o decaimento a energia liberada em forma de fóton é exatamente igual aquela que pode estimulá-lo, gerando um fóton com as mesmas propriedades do excitante.



**Figura 38: Geração de um fóton.**

Em um material que possui elétrons excitados, os fótons que resultam deste processo de emissão estimulada irão perturbar outros eletros excitados, produzindo assim uma grande concentração de fótons replicados, formando o laser com todas as suas propriedades.



### 3.4. O HOLOGRAMA

Holograma é uma imagem de um objeto em três dimensões podendo estar gravada em um plano ou projetada num espaço. Eles são formados basicamente pela interferência dos feixes luminosos, sendo que um dos feixes carrega as informações do objeto e o outro, chamado feixe de referência, serve para formar os padrões de interferência. Na região de encontro dos feixes é onde se forma a imagem.

Porém para construir estes padrões de interferência, ou pelo menos encontrar a região onde será formado o holograma, devemos tomar conhecimento do experimento de Michelson<sup>18</sup> e Morley<sup>19</sup>, como base, formulado para provar a existência do éter, porém demonstrou que a luz propaga-se independente ao meio.

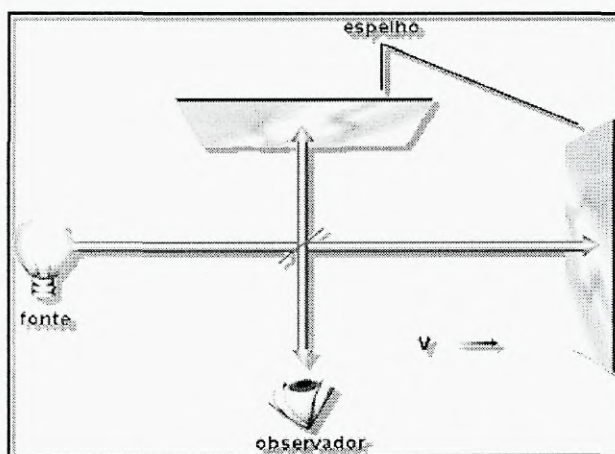
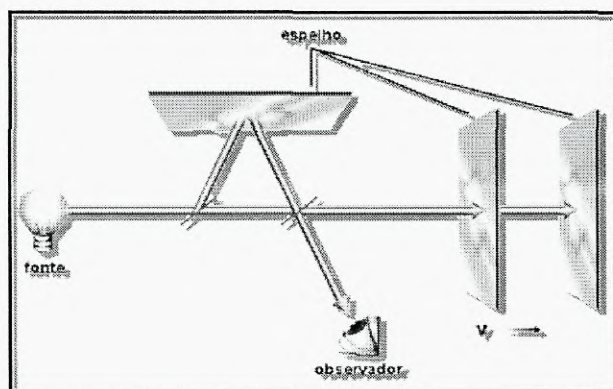


Figura 39: Interferômetro de Michelson-Morley.

A idéia do experimento é mostrar que se estamos mergulhados em um meio em movimento, como se pensava sobre o éter, a luz que chega ao olho do observador iria se deslocar na direção do movimento do meio. O que não ocorreu.

<sup>18</sup> **Albert Abraham Michelson** (Strzelno, 19 de dezembro de 1852 — Califórnia, 9 de Maio de 1931) foi um físico nascido na Polônia e naturalizado americano foi o primeiro cientista americano a receber o Nobel de Física, em 1907, por suas contribuições no estudo da luz.

<sup>19</sup> **Edward Williams Morley** (29 de janeiro de 1838 - 24 de fevereiro de 1923) foi um cientista americano famoso pelo experimento de Michelson-Morley.



**Figura 40: Movimento da luz devido ao meio.**

Apesar de não ter sucesso para provar a existência do éter, este experimento teve uma repercussão muito grande na física levando a novas teorias sobre a luz. Para o nosso trabalho este experimento nos mostra a interferência de dois feixes luminosos coerentes. Percorrendo o caminho da luz, nós temos: (1) a saída de um feixe de luz da fonte; (2) depois é dividida pela primeira vez em dois feixes de luz pelo divisor de luz; (3) os feixes de luz caminham até os espelhos e são refletidos; (4) eles regressão ao divisor de luz, um no sentido para baixo e o outro no sentido para esquerda (na figura 40); (5) os feixes de luz são desviados para baixo causando interferência um no outro, e assim podemos observar este padrão de interferência.

Então, aplicando ao nosso holograma, quando iluminamos um objeto o feixe incidente é refletido, passando assim a conter as informações do mesmo. Conseguindo a interferência com outro feixe de luz coerente obtemos um padrão que contém, também, as informações do objeto. Ao registrar este padrão de interferência em um filme, podemos, posteriormente, reconstruir a imagem do objeto com uma iluminação apropriada.

A imagem resultante é uma imagem tridimensional do objeto iluminado chamado de holograma, que do grego “holos” e “gramma” significa “a mensagem toda”. Gabor conseguiu terminar seus estudos em 1947, e somente 15 anos mais tarde, com o advento do laser, a sua técnica pôde ser colocada em prática, e é reconhecida pela



série de aplicabilidade nas indústrias e nas artes, de um modo geral, como vimos anteriormente.

## **CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO DA AULA**

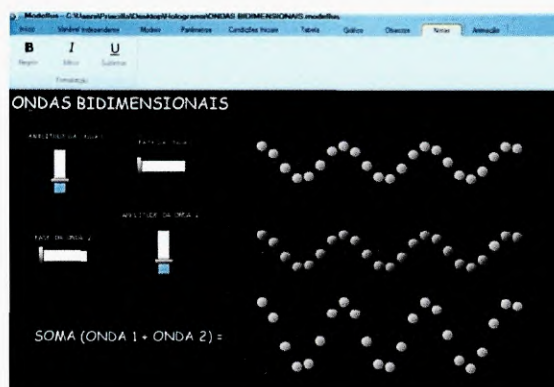
### **4.1 APRESENTAÇÃO DOS VÍDEOS:**

Para aguçar a curiosidade dos alunos propomos começar a aula mostrando vídeos de filmes de ficção científica e até entrevistas ao vivo onde aparece a utilização do Holograma. Podemos provocar o interesse do aluno com algumas perguntas:

- Essa tecnologia realmente é possível?
- Como ela funciona?
- Quais os conceitos físicos estão por traz desta tecnologia?
- Onde mais podemos observar os hologramas?
- Quais são as utilidades atualmente do holograma?

### **4.2 UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MODELLUS 4.01:**

Este software é utilizado nas salas de aulas para auxiliar o professor em sua tarefa de passar conhecimento para os alunos de forma qualitativa e dinâmica. Fizemos um programa que mostra a interação de duas ondas onde podemos mexer com duas variáveis da onda, sua amplitude e sua fase. Ajustando cada uma destas variáveis podemos obter e demonstrar visualmente os efeitos de interferência construtiva e destrutiva. O ideal seria o manuseio do software pelos alunos divididos em grupos para que debatam sobre o fenômeno e levem a demonstração aos seus extremos fazendo várias combinações das variáveis expostas. Experimento idealizado para escolas que possuam laboratório de informática, há também a possibilidade de o professor dividir a turma em grupos maiores e manusear o programa com cada grupo separadamente.



**Figura 41: Programa sobre Interferência no software Modellus.**

Podemos averiguar a assimilação e incentivar os alunos a utilizar o programa de formas diferentes com as seguintes perguntas:

- O que acontece com a soma das duas ondas quando ajustamos as variáveis (fase e amplitude):
  - Fases iguais e amplitudes iguais;
  - Fase da onda 1 = 0 e fase da onda 2 próximo de 3,14, com amplitudes iguais, e com amplitudes diferentes? Porquê?
- É possível obter uma linha somando as duas ondas? Como?
- É possível obter uma onda com amplitude maior que a de cada onda?
- Qual os valores das amplitudes e das fases de cada onda para obter uma onda de maior amplitude possível?

### 4.3 REDE DE DIFRAÇÃO:

Usando a rede de difração obtida com um DVD é possível demonstrar o fenômeno da difração junto com o fenômeno de interferência, onde podemos visualizar padrões de interferência com regiões escuras (interferência destrutiva) e claras (interferência construtiva). Podemos trabalhar o conceito de difração e interferência da luz com as seguintes perguntas:

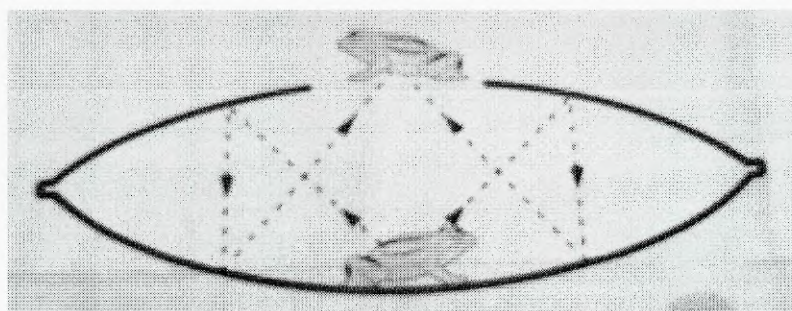
- Porque aparecem regiões escuras entre as claras?



- Porque tantas faixas claras aparecem?
- Quais as relações dos caminhos ópticos entre os raios de luz para que apareçam regiões de franjas escuras e claras?

#### 4.4 FORMAÇÃO DE IMAGEM:

A imagem produzida neste equipamento desperta a curiosidade do aluno, por ser a construção de uma imagem real usando apenas dois espelhos côncavos e um objeto. O espelho superior possui um orifício por onde os raios de luz penetram na base do espelho inferior, onde se localiza o objeto, como mostra o objeto abaixo.



**Figura 42: Formação de Imagem.**

Os raios de luz refletem no objeto seguindo para o espelho superior, depois inferior, e por fim, se encontram na abertura superior e o padrão de interferência destes raios refletidos cria a imagem 3-D do objeto. Para complementar este experimento podemos passar um questionário para associar a formação de imagens com os conhecimentos adquiridos de interferência e difração:

- Porque quando aproximamos o nosso olhar na direção do buraco paralelamente a superfície de apoio do aparato a imagem começa a desaparecer?
- Qual conceito físico pode explicar a formação desta imagem?
- Você poderia desenhar os raios que sofrem interferência e assim explicar a formação da imagem na direção contrária?



Figura 43: 3-D Mirascope

#### 4.5 HOLOGRAMA NO CD:

Este experimento deve ser feito em dupla ou em trio, podendo explorar a criatividade dos alunos expondo os trabalhos dos grupos na classe ou na própria escola. Para explicar a formação deste holograma podemos abordar fazendo um desenho do zoom no CD quando os raios de luz o atingem, mostrando as ranhuras feitas e a reflexão de cada raio. Em cima deste desenho podemos fazer alguns questionamentos aos alunos para guiá-los a explicação da formação destas imagens:

- Porque dizemosque cada parte de um holograma possui a informação do todo?
- Porque podemos ver o objeto se mexer com o movimento do CD?



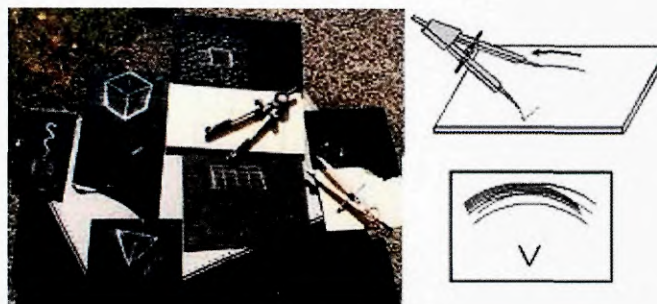


Figura 44: Holograma CD

Após esta abordagem podemos falar sobre a história do holograma e seus vários tipos, mostrando um acervo de fotos e vídeos facilmente encontrados na internet.

#### 4.6 MONTAGEM DO KIT LITIHOLO HOLOGRAM KIT:

Num segundo momento é possível aprofundar o conhecimento dos alunos mais interessados sobre a holografia com o Litiholo Hologram Kit onde o professor terá a oportunidade de explicar a formação da imagem causada pela diferença do caminho ótico dos feixes do laser. Um dos feixes ilumina o objeto, e assim, carrega com si, toda a informação do objeto iluminado. Conseguindo a interferência com outro feixe de luz coerente, através da diferença do caminho óptico entre os raios, obtemos um padrão de interferência. Ao registrar este padrão em placa holográfica plana, podemos, posteriormente, reconstruir a imagem do objeto com uma iluminação apropriada.





Figura 45: Litiholo Hologram Kit

A imagem resultante é uma imagem tridimensional do objeto, e ela só poderá ser reproduzida com a iluminação apropriada. Podemos aprofundar o conhecimento dos alunos sobre a matéria questionando da seguinte forma:

- O que são raios de luz coerentes? Porque são importantes para a formação do holograma?
- Qual a importância da diferença de caminho óptico para a formação da imagem holográfica?
- Porque é necessária uma iluminação apropriada para a visualização deste holograma?

## CAPITULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de instigar a curiosidade dos alunos através de um conteúdo atual, o holograma, para ajudar a abordagem de dois conceitos poucos comentados no Ensino Médio atualmente, este trabalho apresenta uma abordagem alternativa dos fenômenos de interferência e difração. A montagem deste roteiro de aula é bastante viável para trazer para dentro de uma sala de aula, precisando apenas de tempo de preparo, a ajuda de um software gratuito e materiais comuns no dia a dia do aluno, e para uma escola com maiores recursos é indicado um kit de montagem de um holograma que os alunos podem fazer em sala de aula.

O roteiro começa com as apresentações de vídeos, facilmente encontrados em sites que compartilham estes tipos de arquivos como o youtube.com. Esta abordagem é importante para aguçar a curiosidade e a atenção dos alunos para o conteúdo que será apresentado. Hoje em dia a maioria das escolas dispõe de equipamentos dentro das salas de aulas para mostrar este tipo de material. Caso a escola não ofereça nenhum equipamento para realizar estas amostras, poderá ser mostrado pelo notebook do próprio professor, ou até mesmo emprestado.

Com os experimentos apresentados no roteiro o professor pode explorar os conceitos físicos para apresentar de forma mais qualitativa. Assim, a absorção das principais idéias será mais rápida e fácil, deixando para depois uma abordagem mais matemática do assunto de mais difícil assimilação dos alunos nesta faixa de idade.

Houve uma tentativa de construir um holograma em uma fotografia de baixo custo para a implantação no ensino de Física nas escolas. Encontramos muitas dificuldades. Primeiramente precisamos de uma base estável, usamos uma base de madeira sustentada com apoios de borracha e areia, para absorver os impactos externos. Usamos um laser de frequência verde, espelhos e lentes divergentes, e para registrar os padrões de interferência utilizamos filme fotográfico comum.



Depois de algumas tentativas e estudos, concluímos que precisaríamos de um filme que contenha de 1.500 a 3.000 partes por milímetro de definição, para poderem captar mudanças muito pequenas da luz, e dependendo da definição precisamos de até 5 segundos de exposição da luz no filme. Os filmes mais utilizados para a construção de um holograma são: filmes ou placas à base de haleto de prata, de gelatina bicromatada e de fotopolímeros, que são difíceis de serem encontrados no mercado brasileiro. Este foi a principal dificuldade encontrada.

O objetivo total do presente trabalho foi alcançado, pois foi verificado que é possível abordar assuntos como a interferência e a difração da luz poucos comentados no ensino médio hoje em dia, utilizando poucos recursos, porém de forma dinâmica e participativa com os alunos.

## BIBLIOGRAFIA

- Bagnato, V. S. ; **Laser e suas Aplicações em Ciência e Tecnologia**; Instituto de Física de São Paulo – USP; Editora Livraria da Física, 2008.
- Da Luz, A. M. R. e Álvares, B. A.; **Curso de Física - Volume 2**; Terceira Edição – São Paulo – Editora: Harbra Ltda – 1993.
- França, M. S. J. ; Artigo: **Esculturas de Luz**; Revista Super Interessante – Junho de 1998;
- Gramsci, A.; **Os Intelectuais e a Organização da Cultura**; Primeira Edição – Rio de Janeiro – Editora: Civilização Brasileira – 1968.
- Jeong, T. H. e Dick, A. B.; **Laser Holography – Experiments You Can Do... From Edison**; Depatment of Physics – Lake Forest College- Illinois – EUA – ditadora: Thomas Alva Edison Foundation, Incorporated – 1987.
- Luzzani, J.J. e Moreira W.L. ; Artigo: **Interferometry and Holography with Diode Laser Light**; UNICAMP: Universidade de Campinas – São Paulo – SP – Dezembro de 1998.
- [2]Mochcovitch, L. G.; **Série Princípios: Gramsci e a Escola**; Primeira Edição – São Paulo – Editora Ática – 1988.
- Nussenzveig H.M.; **Curso de Física Básica – Volume 4**; Primeira Edição – Terceira Reimpressão – São Paulo – Editora: Edgard Blücher, 2004.
- **PCN+ - Ensino Médio: Orientação Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**; MEC: Ministério da Educação.
- Ramalho, F. J., Ferraro, N. G. e Soares, P. A. T.; **Os Fundamentos da Física – Volume 2**; Sexta Edição – São Paulo – Editora: Moderna – 1993.
- Rocha, M. G. ; Roteiro de Experiência: **Interferômetro de Precisão**; LADIF – UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ – Julho de 1994.
- Souza, C. E. R., Amon, M. C. I. e Muramatsu, M. ; Apostila: **Formação de Imagens por Holografia: Construção de Holograma Feito à Mão**; SNEF2009: Simpósio Nacional de Ensino de Física – UFES: Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória – ES.



- <http://www.herbario.com.br/dataherbfotografia06/holografia.htm>;
- <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/meta.php?meta=Holografia>;
- <http://www.universia.com.br/mit>;
- <http://info.abril.com.br/noticias/ti/holografia-coloca-100-dvds-em-um-disco-27042009-12.shl>;
- <http://web.mit.edu/museum/collections/holography.html>;
- [http://super.abril.com.br/superarquivo/1988/conteudo\\_111028.shtml](http://super.abril.com.br/superarquivo/1988/conteudo_111028.shtml);
- <http://www.eba.ufmg.br/hololab>;
- [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1971/gabor-autobio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1971/gabor-autobio.html);
- [http://litiholo.com/hologram\\_kits.htm](http://litiholo.com/hologram_kits.htm);
- <http://youtube.com>.