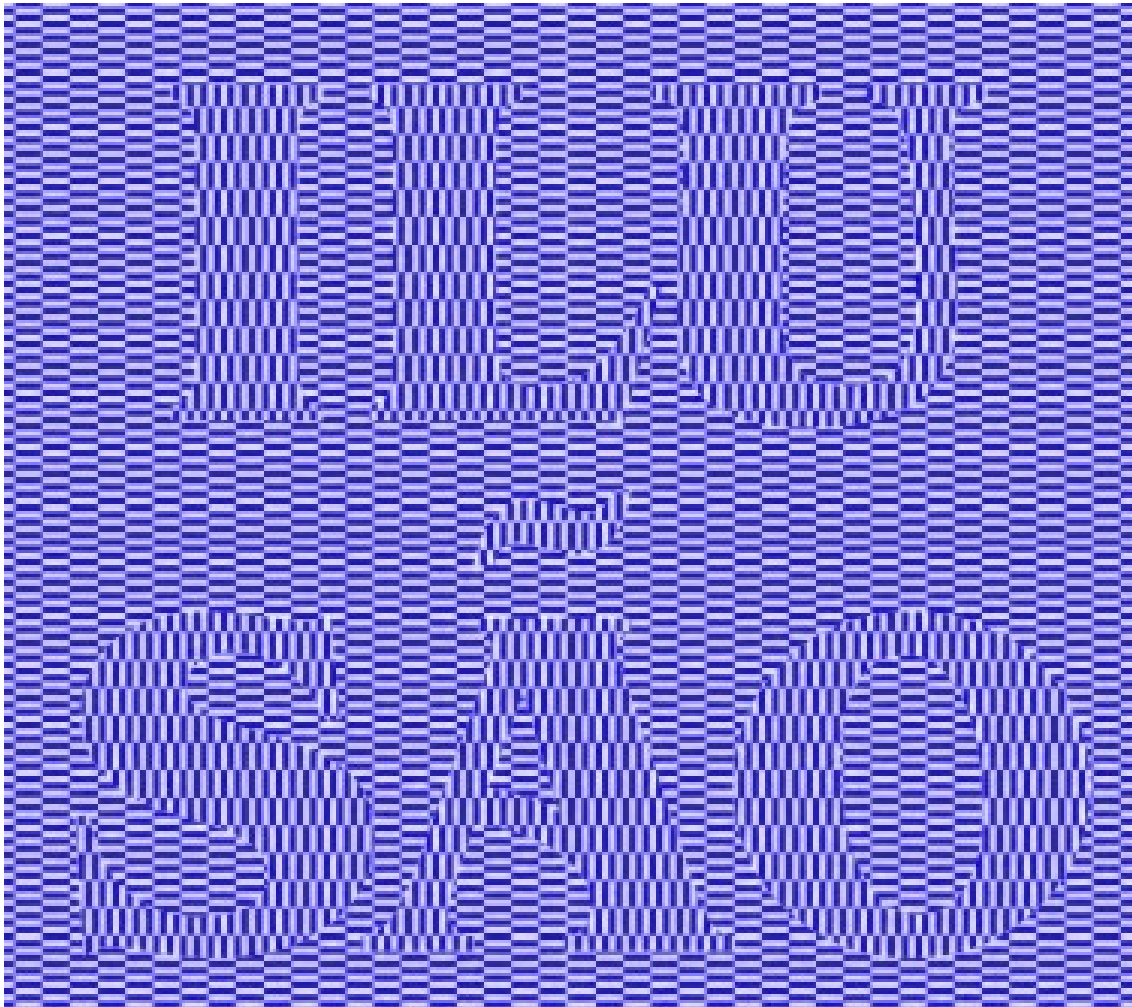


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
DISCIPLINA: METODOLOGIA DO ENSINO DE FÍSICA I – EDM 0425  
PROFESSOR MAURÍCIO PIETROCOLA

## FÍSICA DAS ILUSÕES ÓTICAS



Licenciatura em Física  
Período Tarde – 1º semestre/2004  
Denison Francisco de Oliveira nº USP: 3296862  
Rodrigo Henrique da Silva nº USP: 3681312  
Suelene Silva Mammana nº USP: 1758884

## **Tópico**

Física das ilusões óticas

## **Apresentação**

Muitos fenômenos que acontecem no nosso dia-a-dia enganam nossa mente, fazendo com que imagens que nossos olhos captam não correspondam a realidade. Quando viajamos num dia quente, por exemplo, percebemos que a estrada parece estar encharcada, quando na verdade o que ocorre é um fenômeno físico de refração da luz, que nosso cérebro codifica como sendo uma camada aquosa sobre o asfalto. Sendo assim, é de grande interesse para os alunos de ensino médio estudar os fenômenos físicos da luz que envolve a formação de imagem em nosso cérebro.

## **Justificativa do Tópico**

O módulo foi construído de forma que os conceitos físicos possam ser abordados ludicamente, utilizando figuras que divertem e confundem a nossa mente.

## **Objetivos gerais**

Construir os conceitos básicos de ótica para compreender o processo de formação de imagem pelo olho humano, bem como a interpretação do nosso cérebro.

## **Público Alvo**

Alunos do Ensino Médio

## **Conteúdo Físico**

Natureza da Luz  
Formação de Cores  
Refração  
Olho Humano (questões Físicas)

## Índice

Descrição	Página
<b>i</b> – Apresentação do módulo	02
<b>ii</b> – Índice	03
<b>iii</b> - Quadro síntese do módulo	04
<b>iv</b> – Aula I: Enganando os seus olhos	07
<b>v</b> – Aula II: O que é luz?	12
<b>vi</b> – Aula III: Refração da luz	17
<b>vii</b> – Aula IV e V: Formação de cores e disco de Newton	23 e 24
<b>viii</b> – Aula VI: Funcionamento do olho humano	28
<b>ix</b> – Aula VII: Explicando os seus olhos	35

## Quadro sintético

### Aula I

Descrição	Duração
Apresentação do curso: o que irá se aprender, porque se aprenderá, como será ensinado etc.	10 min
Apresentação e discussão das ilusões de ótica.	20 min
Misturas das cores primárias para a formação de cores secundárias.	15 min
Discussão final sobre aula.	5 min

### Aula II

Descrição	Duração
O professor levanta uma questão acerca da natureza da luz para avaliar as concepções alternativas dos alunos	10 min
Distribuição e leitura do texto da aula 2 que cita trechos da obra <i>Óptica</i> de <i>Isaac Newton</i> e trechos que citam a experiência batizada como “mancha brilhante de Fresnel”.	10 min
Discussão do texto mostrando que os dois cientistas defendiam idéias diferentes sobre a natureza da luz (corpuscular e ondulatória) e mostrar o porquê o modelo ondulatório foi considerado como “melhor” que o modelo corpuscular no século XIX e dar uma breve apresentação do cenário do século XX onde a luz é vista sob a dualidade onda-partícula.	30 min

### Aula III

Descrição	Duração
Apresentação de figuras com exemplos de refração da luz e identificação das concepções que os alunos têm sobre os exemplos apresentados	15 min
Realização de experimentos com lentes e computadores seguida de discussão dos resultados obtidos	20 min
Construção da teoria da refração da luz e estudo de casos especiais	15 min

## **Aula IV**

Descrição	Duração
O professor levanta uma discussão onde o foco está no porquê há diferentes cores de luz e se é possível misturar essas cores.	10 min
O professor distribui material didático e roteiro para realização do experimento de decomposição de luz com um prisma.	20 min
O professor explica o processo de formação dos diferentes espectros obtidos no experimento.	20 min

## **Aula V**

Descrição	Duração
O professor faz uma breve revisão da aula anterior. A partir disso o professor levanta uma discussão se é possível formar um raio de luz branco através da composição de diversas cores	15 min
O professor propõe um experimento que será realizado em grupo pelos alunos. Distribuição do roteiro e do material para confecção do Disco de Newton. O professor soluciona possíveis dúvidas durante a execução do experimento	30 min
Comentários e considerações finais.	05 min

## **Aula VI**

Descrição	Duração
Leitura do texto explicativo sobre as funções das partes do olho humano e identificação das concepções que os alunos têm sobre o processo de formação da imagem no olho e no cérebro	15 min
Discussão sobre o processo de formação da imagem no olho e no cérebro	15 min
Realização de experimentos com lentes convergentes, divergentes e cilíndricas e discussão sobre os defeitos da visão	20 min

## Aula VII

Descrição	Duração
Reapresentar as ilusões da primeira aula e discutir suas causas	25 min
Confecção de óculos 3D para a visualização de ilusões de profundidade	10 min
Apresentação e discussão de mais algumas ilusões não mostradas anteriormente.	10 min
Discussão final sobre aula	5 min

# Aula I

## Tema

Enganando seus olhos

## Objetivo

Apresentar de forma lúdica, divertida e instigante uma introdução aos conteúdos de ótica utilizando ilusões.

## Materiais Necessários

Retro Projetor, Projetor Multimídia ou Apostila para os Alunos  
Três Lanternas e Papel Celofane

## Recursos Instrucionais

Apresentação  
Discussões  
Competição entre os alunos

## Motivação

Apresentar ao aluno os primeiros efeitos de ilusão de Ótica

## Momentos

Descrição	Duração
Apresentação do curso: o que irá se aprender, porque se aprenderá, como será ensinado etc.	10 min
Apresentação e discussão das ilusões de ótica.	20 min
Misturas das cores primárias para a formação de cores secundárias.	15 min
Discussão final sobre aula.	5 min

## Descrição da Aula I

Num primeiro momento o educador apresenta o curso para os alunos. O que será estudado, qual a importância, como será estudado são questões importantes a serem discutidas com os alunos.

Após a apresentação do curso para os alunos, o educador apresenta as ilusões de ótica para os alunos e as discute. Criar um clima de competição entre eles seria importante para aumentar a participação. Ex.: “Vamos ver que acerta qual a ilusão nessa figura.”

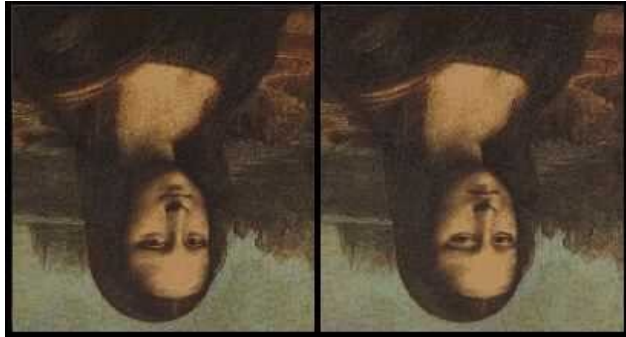
Várias figuras e as perguntas que serão feitas para os alunos estão em anexo.

Lembrando que se evitará ao máximo as explicações de cada ilusão. Isso será feito na última aula.

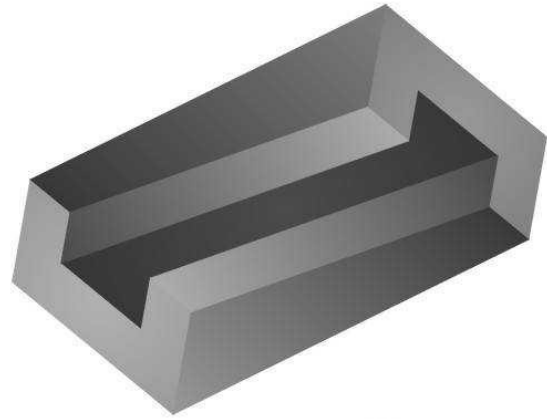
Após essa etapa, será feita experiências com os alunos sobre cores primárias e cores secundárias. A experiência que será feita consiste em usar duas lanternas e papéis celofane nas cores azul, amarelo e vermelho. Tapando uma das lanternas com o papel celofane de cor azul e a outra lanterna com o papel celofane de cor amarela, por exemplo, se projeta a luz das duas lanternas em uma parede branca formando a cor verde. Assim se fará com as outras cores.

Ao final da aula, haverá uma breve discussão sobre o que foi visto na aula.

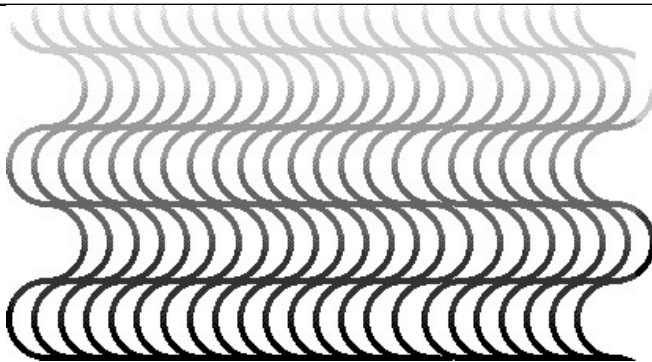




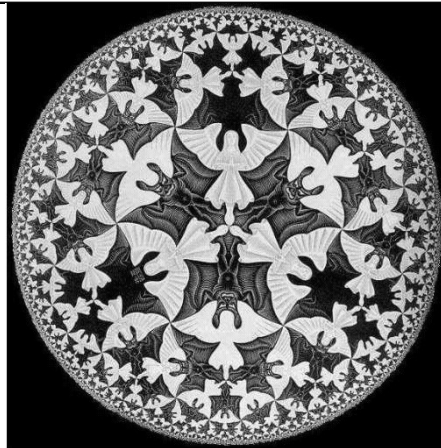
1 - O que há de errado com esta figura?



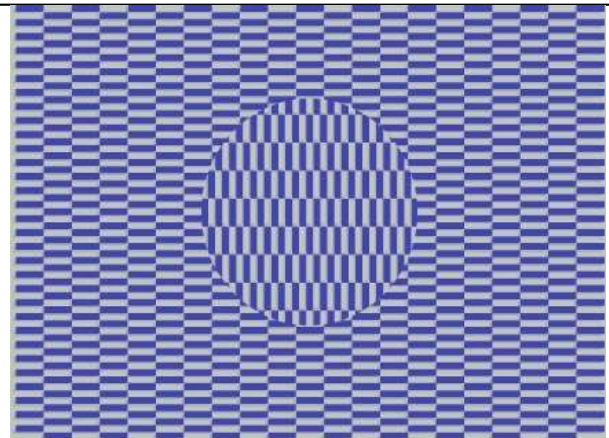
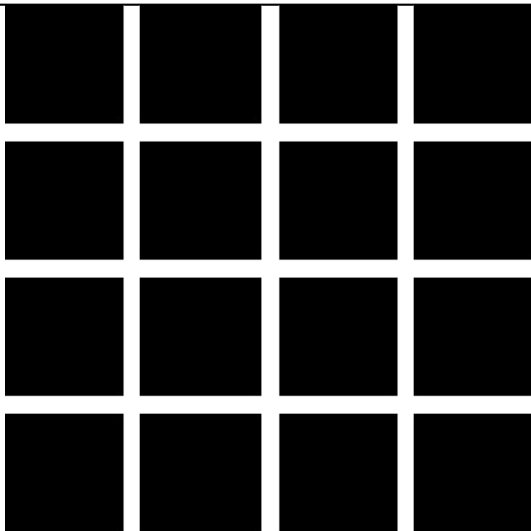
2 - Será que você consegue construir uma coisa assim?

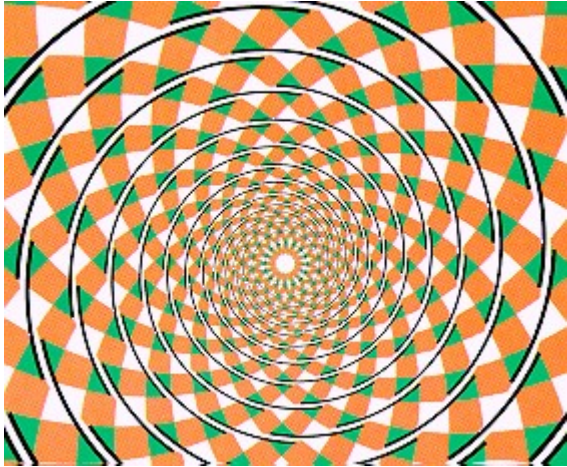


3- As retas horizontais são paralelas?

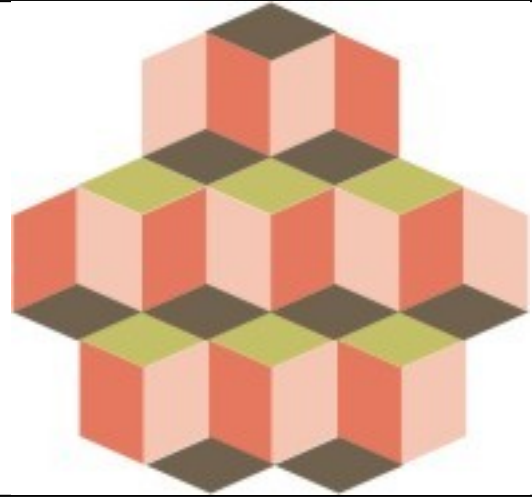


4- O que você vê?

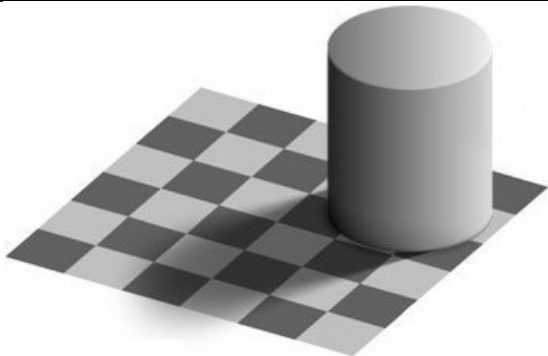




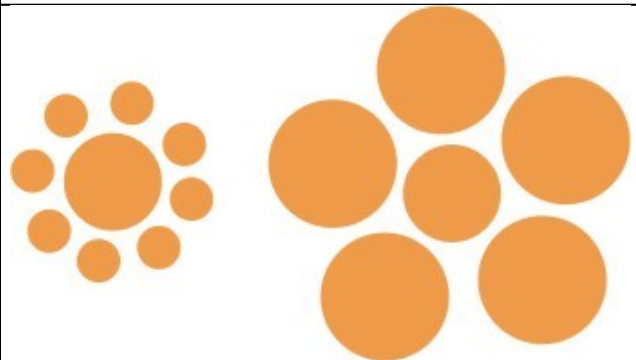
7- Círculos ou espirais?



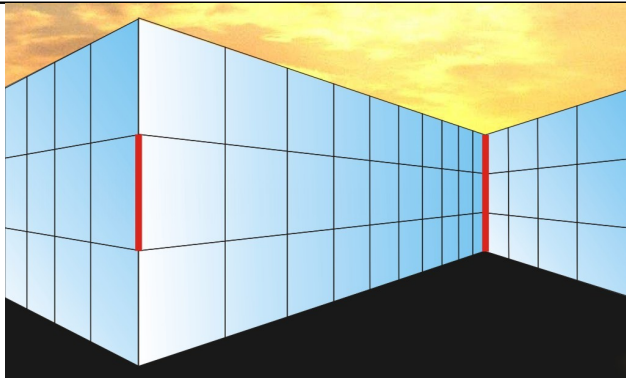
8- qual é a ilusão?



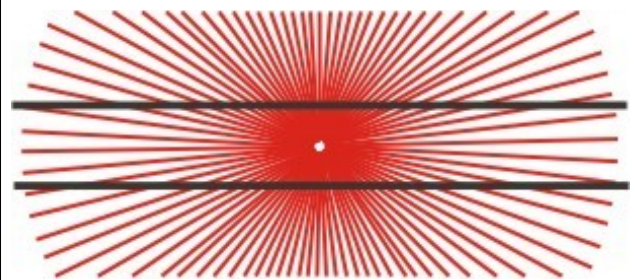
9- Os dois quadrados são da mesma cor?



10- Qual dos dois círculos centrais é maior?



11- Qual das linhas vermelhas é maior?



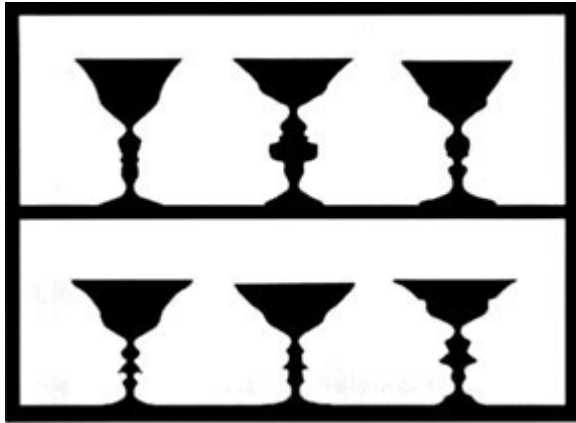
12- As linhas pretas são retas?



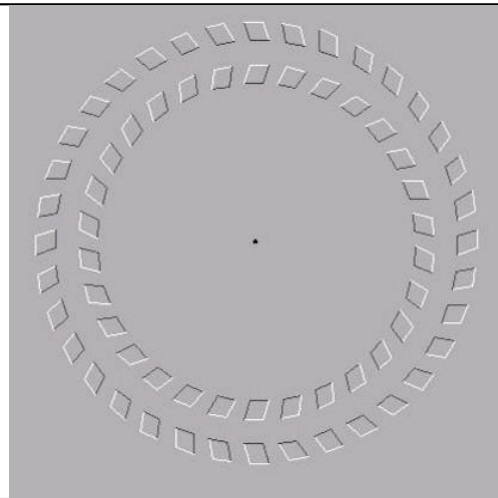
13 – O que você vê?



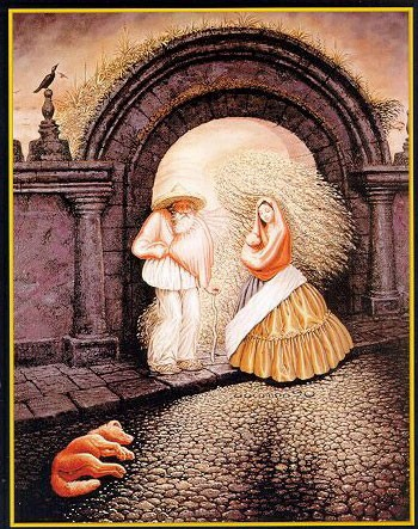
14 – Como fazer para vermos a bandeira nas cores corretas?



15 – Cálice?



16 – Tudo está girando...



17 – O homem, a mulher e o velho!

AMARELO AZUL LARANJA  
PRETO VERMELHO VERDE  
ROXO AMARELO VERMELHO  
LARANJA VERDE PRETO  
AZUL VERMELHO ROXO  
VERDE AZUL LARANJA

18 – diga rápido. Diga as cores e não as palavras.

## Aula II

### Tema

O que é luz ?

### Objetivo

Contextualização histórica do desenvolvimento do conhecimento acerca da natureza da luz (teoria ondulatória e corpuscular).

### Motivação

O aluno tem a oportunidade de aprender como os cientistas chegaram às concepções da natureza da luz e quais hipóteses e evidências que estes se utilizaram para formular suas teorias.

### Conteúdo Físico Enfocado

Natureza corpuscular e ondulatória da luz.

### Recursos Instrucionais a Serem Utilizados

Textos históricos.

### Momentos da Aula

Descrição	Duração
O professor levanta uma questão acerca da natureza da luz para avaliar as concepções alternativas dos alunos	10 min
Distribuição e leitura do texto da aula 2 que cita trechos da obra <i>Óptica</i> de <i>Isaac Newton</i> e trechos que citam a experiência batizada como “mancha brilhante de Fresnel”.	10 min
Discussão do texto mostrando que os dois cientistas defendiam idéias diferentes sobre a natureza da luz (corpuscular e ondulatória) e mostrar o porquê o modelo ondulatório foi considerado como “melhor” que o modelo corpuscular no século XIX e dar uma breve apresentação do cenário do século XX onde a luz é vista sob a dualidade onda-partícula.	30 min

## **Comentários Finais**

Com esta aula pretendemos dar uma breve explicação de como as concepções acerca da natureza da luz se desenvolveram no decorrer dos séculos XVIII, XIX e início do século XX.

Ao final desta aula esperamos que os alunos sejam capazes de argumentar a respeito da natureza dual da luz.

## Descrição da Aula II

### Introdução

Esta aula procura desenvolver a noção da natureza da luz, passando pelo modelo corpuscular, ondulatório e chegando à dualidade onda-partícula.

A importância de se conhecer a natureza da luz nos ajuda a entender melhor os processos relacionados à luz que estão tão presentes no nosso dia a dia, como por exemplo, o fato de existir diferentes tipos de lâmpadas, o forno de microondas os rádios e televisores.

### Atividade 1 – *Um pouco de História*

Esta primeira atividade propõe que os alunos leiam um texto, com trechos de textos históricos, onde fica clara a visão que alguns cientistas tinham.

Como sabemos no século XVIII o modelo dominante para explicar a luz era modelo corpuscular, que foi desenvolvido por Newton. Devido ao prestígio que Newton tinha alcançado com o sucesso do *Principia*, sua teoria corpuscular para explicar a luz foi muito bem aceita. Porém, no começo do século XIX, com os experimentos de Thomas Young e Augustin Fresnel essa visão começa a mudar, fazendo com que os cientistas passem a considerar a teoria ondulatória da luz melhor, pois essa teoria apresenta uma explicação mais clara dos fenômenos.

O professor distribui o texto aos alunos e lê, em voz alta, fazendo comentários acerca do texto.

## Material Didático do Aluno – Aula II

### Trechos de Textos Históricos

“Todos os corpos fixos não emitem luz e brilham quando são aquecidos além de um certo grau? E essa emissão não é efetuada pelos movimentos vibratórios de suas partes?...”\*

“Não é o fogo um corpo aquecido a tal ponto que emite luz em abundância? Pois o que é o ferro incandescente senão fogo? E o que é brasa senão madeira incandescente?”\*

“Não é a chama um vapor, uma fumaça ou uma exalação aquecidos até a incandescência, isto é, que ficam tão quentes que brilham?...”\*

“Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham?...”\*

Das questões acima fica evidente, “para seus contemporâneos e para os outros cientistas posteriores, que Newton defendia a teoria corpuscular da luz... Durante o século XVIII o modelo corpuscular ou balístico da luz foi o dominante... Nas duas primeiras décadas do século XIX a situação mudou radicalmente com o advento dos trabalhos de Young e Fresnel, que introduziram os conceitos de interferência de ondas e de que a luz é constituída por vibrações transversais á direção de propagação...”<sup>1</sup>

Uma “fonte para a crença num modelo corpuscular da luz foi a invariância das propriedades da luz, em especial a permanência da cor.”<sup>1</sup>

Em 1802 Thomas Young publica um trabalho no qual explica os fenômenos de difração e interferência a partir de uma teoria ondulatória da luz.

*A lei é que onde quer que duas porções da mesma luz chegem ao olho por diferentes caminhos, provindas exatamente ou quase, da mesma direção, a luz fica mais intensa quando a diferença dos caminhos é um múltiplo de um certo comprimento, e menos intensa no estado intermediário entre as porções que interferem; e este comprimento é diferente para luz de diferentes cores (Young, 1802)<sup>2</sup>*

Entre os anos de 1815 e 1819 Augustin J. Fresnel trabalhou no desenvolvimento da teoria ondulatória da luz. Ele propôs que a luz era uma seqüência de pulsos igualmente espaçados num meio (o éter).

No ano de 1819 a *Académie de Sciences* da França promoveu um concurso que daria um prêmio para quem conseguisse explicar o fenômeno da difração. A maioria dos membros da comissão julgadora era constituída por cientistas que defendiam o modelo corpuscular da luz, dentre eles estava Poisson, um reconhecido físico-matemático da época. “Durante o julgamento, Poisson percebeu que, segundo a teoria de Fresnel, no centro da sombra de um pequeno disco difrator deveria haver um ponto luminoso, o que parecia improvável. Um experimento foi logo realizado e Fresnel pôde comprovar a existência deste ponto, que

passou a ser conhecido como “ponto de Poisson”!<sup>3</sup> . Este experimento veio a declarar aparente vitória da teoria ondulatória sobre a corpuscular, a partir desse momento mais e mais cientistas começaram a adotar o modelo ondulatório para luz e praticamente abandonaram o modelo corpuscular.

No ano 1860 o físico James Clerk Maxwell, que trabalhava nas áreas de eletricidade e magnetismo, selou a validade da teoria ondulatória da luz quando mostrou que a luz é uma onda eletromagnética, ou seja, ele mostrou que a luz é na verdade uma variação de campos elétricos e magnéticos. Como curiosidade vale dizer que a teoria do eletromagnetismo de Maxwell é uma das mais bem sucedidas teorias da física.

Esse domínio da teoria ondulatória durou até o início do século XX quando Einstein e outros cientistas iniciaram a chamada física quântica. Einstein propôs que a luz era constituída de fótons, partículas que carregam energia. Louis de Broglie propôs que toda partícula que se movimenta com uma certa velocidade se comporta como uma onda, ou seja, uma partícula com momento linear diferente de zero tem as propriedades de uma onda (comprimento de onda, frequência etc). Com isso tivemos comprovado que a luz se comporta em alguns aspectos como onda e em outros aspectos como partícula; com esse comportamento dual os físicos criaram o termo “dualidade onda-partícula”.

## Referências

\* Óptica, Isaac Newton, trad. e notas: André K.T. Assis, EDUSP, São Paulo, 1996 (original 1704)

1 Apresentação do livro \* acima, por André K.T Assis.

2 Citado por Osvaldo Pessoa Jr. , História da Física no século XIX, apostila do curso “Tópicos Especiais de Ensino, Filosofia e História das Ciências” UFBA, 2001

3 História da Física no século XIX, Osvaldo Pessoa Jr. , apostila do curso “Tópicos Especiais de Ensino, Filosofia e História das Ciências” UFBA, 2001



## Aula III

### Tema

Refração da luz

### Objetivo

Construir o conceito de refração dos raios luminosos quando a luz atravessa dois meios de propriedades distintas, realizando experimentos em sala de aula. Para isto, os alunos se reunirão em grupos e realizarão experiências com material didático previamente preparado.

### Recursos Instrucionais

Material didático (figuras de refração da luz, kit de propagação da luz através de lentes, kit de ângulo limite e kit de reflexão total)

Utilização de computadores (simulação da lei de Snell-Descartes)

Trabalhos em grupo

Apresentação de esquemas de configurações de raios luminosos

Discussões

### Motivação

Compreender o desvio dos raios luminosos quando a luz passa por dois meios de propriedades distintas

### Momentos

Descrição	Duração
Apresentação de figuras com exemplos de refração da luz e identificação das concepções que os alunos têm sobre os exemplos apresentados	15 min
Realização de experimentos com lentes e computadores seguida de discussão dos resultados obtidos	20 min
Construção da teoria da refração da luz e estudo de casos especiais	15 min

## **Descrição da aula III**

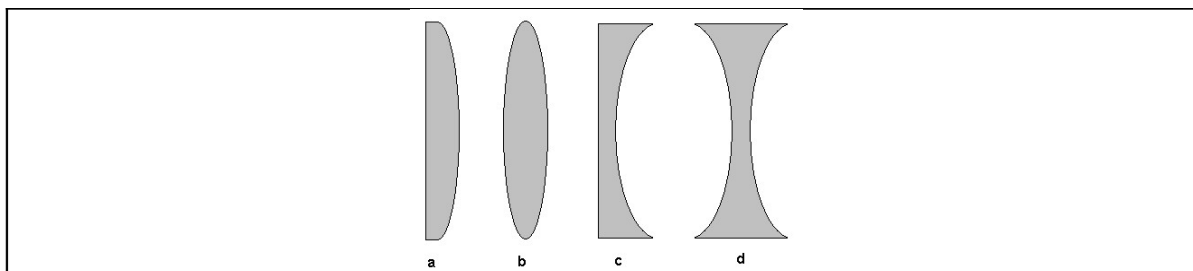
### **Introdução**

Esta aula procura construir o conceito de refração da luz quando esta passa por dois meios com propriedades diferentes, admitindo que os alunos já tenham construído os conceitos de propagação e de reflexão da luz em aulas anteriores. A motivação desta aula é compreender as imagens nas figuras apresentadas e descrever a propagação dos raios luminosos através das lentes disponibilizadas em sala de aula. O objetivo desta aula será atingido por meio da realização de trabalhos em grupo, analisando figuras, realizando experimentos com lentes côncavas e lentes convexas, bem como fazendo simulação da lei de Snell-Descartes, utilizando computadores. O objetivo maior desta aula é construir o conceito de refração da luz para poder compreender o funcionamento do olho humano, que será assunto abordado na aula seguinte. Sabe-se que o olho humano é um complexo sistema óptico, apresentando, por exemplo, a córnea e o cristalino do olho como sendo lentes convergentes com focalização variável, por onde a luz passa e sofre refração, justificando a necessidade de se abordar previamente o conceito de refração da luz. A duração da aula para atingir os objetivos previamente estabelecidos é de 50 minutos.

### **Descrição dos momentos da aula**

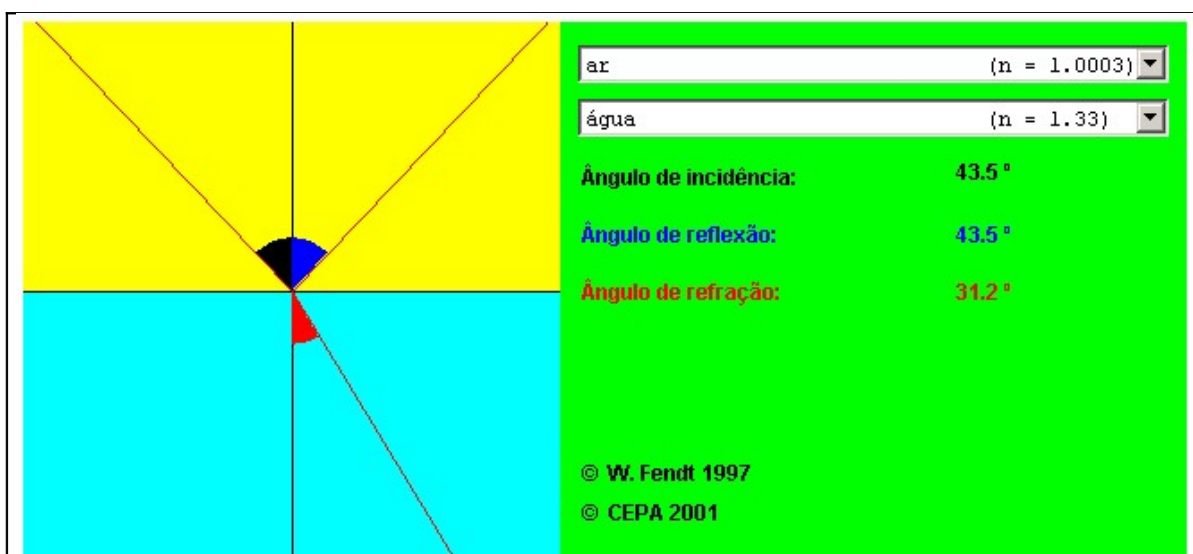
1) Neste primeiro momento da aula, os alunos se reunirão em grupos para analisar algumas figuras que serão apresentadas a eles (anexo no final da aula). A idéia é obter uma descrição da propagação dos raios luminosos através dos dois meios com propriedades diferentes e identificar qual é a explicação que eles têm sobre o desvio dos raios luminosos quando atravessam os dois meios distintos. No final deste momento da aula é feita uma discussão sobre os resultados obtidos por cada grupo.

2) O momento seguinte da aula constitui na realização de experimentos com lentes côncavas, bicôncavas, convexas e biconvexas. Para isto são disponibilizados kits com material didático para cada grupo da sala de aula. Este kit é composto de um conjunto de lentes de cada tipo (figura 02), de uma ponteira laser e de um frasco com talco. É solicitado que os alunos analisem a propagação do raio luminoso do laser através das lentes e na região de saída da lente, espalhando talco nesta região para facilitar o acompanhamento da trajetória do raio luminoso. Uma breve descrição da trajetória dos raios luminosos para cada tipo de lente é solicitada no experimento para cada grupo.



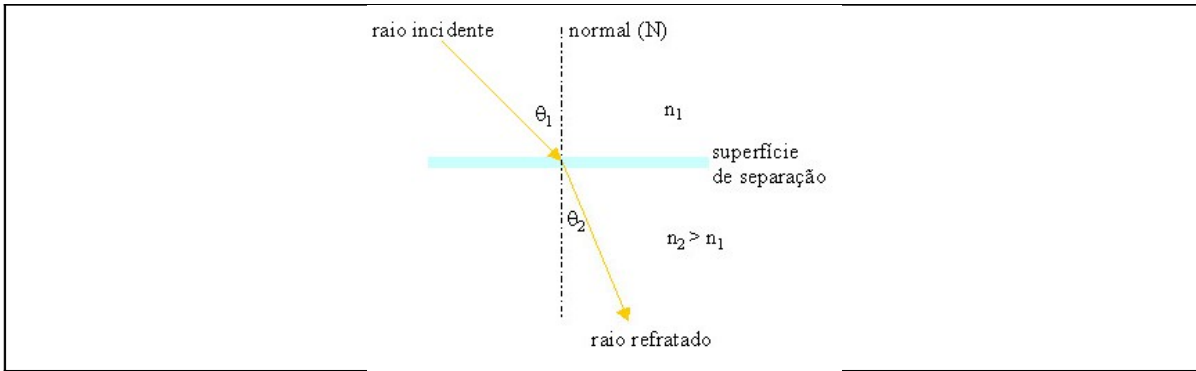
**Figura 02** – Lentes esféricas, a) convexa, b) biconvexa, c) côncava e d) bicôncava

Em seguida os alunos devem simular os raios refletidos e refratados, utilizando um programa de computador. Escolhendo os dois meios de propagação da luz e definindo o ângulo de incidência com o auxílio do mouse, eles visualizam a localização dos raios refratados e refletidos. Os ângulos dos raios de incidência, refletidos e refratados são mostrados na tela. Um esquema de uma das telas do programa de simulação é descrito na figura 03. No final desta atividade é feita uma discussão dos resultados obtidos por cada grupo de trabalho.

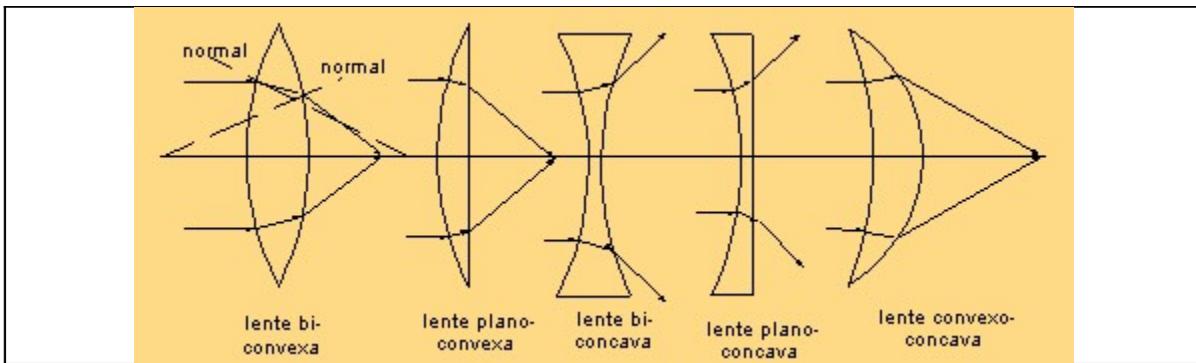


**Figura 03** – Esquema de uma das telas da simulação dos raios refletidos e refratados  
[http://www.walter-fendt.de/ph11br/refraction\\_br.htm](http://www.walter-fendt.de/ph11br/refraction_br.htm)

3) A teoria da refração da luz é calmamente construída aproveitando ao máximo os resultados obtidos pelos alunos. As regras de propagação de raios luminosos através de dois meios com propriedades distintas e através de lentes são apresentadas (figura 04 e 05). O conceito de foco é cuidadosamente apresentado para a sala neste momento.



**Figura 04** – Esboço de propagação de raios de luz na interface de dois meios  
<http://educar.sc.usp.br/optica/refracao.htm#lei>

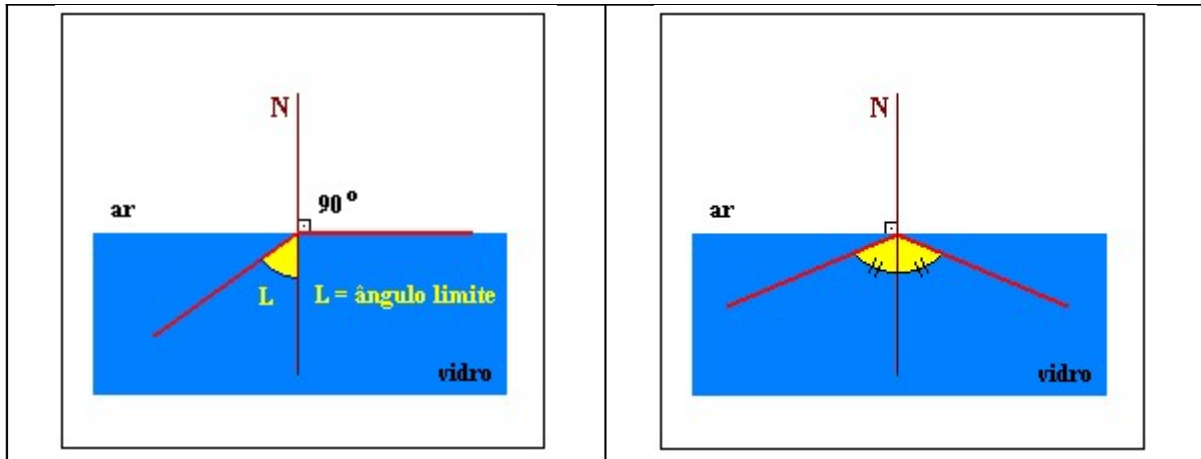


**Figura 05** – Esquema de propagação dos raios através das lentes  
<http://camaraescura.no.sapo.pt/tecnicas/optica/optica1.htm>

A lei de Snell-Descartes (equação 01) é apresentada como sendo uma das ferramentas utilizadas no cálculo dos ângulos de reflexão e de refração no programa de simulação utilizado. O conceito de índice de refração é apresentado, neste momento, como sendo um parâmetro constante da lei apresentada.

**Equação 01** -  $\text{sen } \theta_1 / \text{sen } \theta_2 = n_{21} = n_2 / n_1$  (Lei de Snell-Descartes)

Configurações especiais de propagação de raios luminosos através de dois meios com propriedades distintas são apresentadas. O conceito de ângulo limite e de reflexão total são cuidadosamente introduzidos, fazendo um experimento de demonstração para a sala, utilizando os kits de ângulo limite e de reflexão total. Um esboço das configurações dos raios luminosos nestas situações específicas (figura 06) é feito no quadro negro para elucidar a discussão.



**Figura 06** – Configurações de refração da luz: **a)** ângulo limite e **b)** reflexão total  
[http://geocities.yahoo.com.br/galileon/1/ang\\_lim/anglimite.htm](http://geocities.yahoo.com.br/galileon/1/ang_lim/anglimite.htm)

Todos os conceitos estudados são resumidos no final da aula e uma abertura para esclarecimento de dúvidas é feita.

Em seguida, um momento para esclarecimento de dúvidas é aberto e em seguida a aula é finalizada.

## Material Didático do Aluno – Aula III

### Exemplos de Figuras de Difração



Figura 01 - Figuras com exemplos de refração da luz

<http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica8/optica/refracao.htm>

<http://www.fisica.ufc.br/tintim10.htm>

[http://www.conviteafisica.com.br/home\\_fisica/improviso\\_sala\\_de\\_aula/luz/refracao\\_luz.htm](http://www.conviteafisica.com.br/home_fisica/improviso_sala_de_aula/luz/refracao_luz.htm)

## Aula IV e V

### Aula IV

#### Tema

Formação de cores

#### Objetivo

Apresentar aos alunos o processo de formação de cores.

#### Motivação

O aluno aprende o processo de formação de cores através de um experimento simples e que causa uma bela impressão visual.

#### Conteúdo Físico Enfocado

Decomposição da luz.

#### Recursos Instrucionais a Serem Utilizados

Discussões  
Experimento com prisma

#### Momentos da Aula

Descrição	Duração
O professor levanta uma discussão onde o foco está no porquê há diferentes cores de luz e se é possível misturar essas cores.	10 min
O professor distribui material didático e roteiro para realização do experimento de decomposição de luz com um prisma.	20 min
O professor explica o processo de formação dos diferentes espectros obtidos no experimento.	20 min

## **Aula V**

### **Tema**

Disco de Newton

### **Objetivo**

Fixação do conteúdo abordado na última aula, processo de formação de cores, através de atividade experimental.

### **Motivação**

Construção de um experimento simples e muito interessante que é visto, pelos estudantes como um brinquedo.

### **Conteúdo Físico Enfocado**

Formação da luz branca através da “mistura” de cores.

### **Recursos Instrucionais**

Material para confecção do experimento (cartolina, tesoura, giz de cera, lápis de cor, compasso etc.)

Roteiro para realização do experimento

### **Momentos da Aula**

Descrição	Duração
O professor faz uma breve revisão da aula anterior. A partir disso o professor levanta uma discussão se é possível formar um raio de luz branco através da composição de diversas cores	15 min
O professor propõe um experimento que será realizado em grupo pelos alunos. Distribuição do roteiro e do material para confecção do Disco de Newton. O professor soluciona possíveis dúvidas durante a execução do experimento	30 min
Comentários e considerações finais.	05 min



## Descrição das Aulas IV e V

### Introdução

Esta aula introduz ao aluno o processo de formação de cores através da decomposição da luz e da das cores primárias.

Esperamos que após esta aula o aluno seja capaz de formular e responder questões básicas relativas à cores, como por exemplo “Por quê o céu é azul?” ou “Por quê vejo diferentes tonalidades de uma mesma cor ?”.

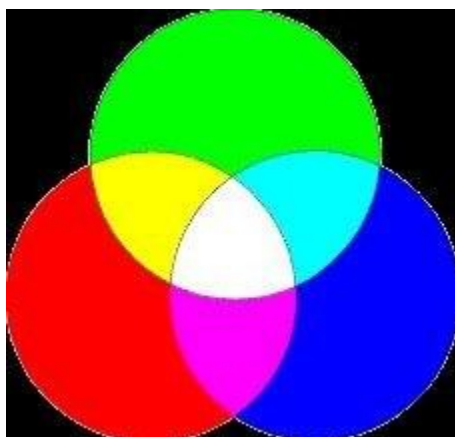
### Formação de cores

A luz proveniente de fontes como o Sol ou uma lâmpada e, na verdade um conjunto de várias cores misturadas ou superpostas. O que chamamos de luz branca é a mistura de todas as cores. Quando decompomos a luz solar com um prisma ou quando olhamos para um arco-íris observamos a formação de um espectro contínuo de cores, onde estão as seguintes cores: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Ainda que obtemos sete cores com a decomposição da luz solar, podemos obter todas as cores através da combinação de três cores: azul, verde e vermelho. Chamamos essas cores de cores primárias.

Podemos representar a soma das cores primária da seguinte forma:

Azul + Vermelho =	Magenta
Azul + Verde =	Turquesa
Vermelho + Verde =	Amarelo
Vermelho + Verde + Azul =	Branco



É bom lembrar que o prisma apenas separa as cores, o espectro formado pelo prisma é característica exclusiva da fonte que emitiu a luz e não uma característica do prisma.

Poderíamos nos perguntar o porquê vemos um objeto com uma determinada cor sendo que a luz do Sol é branca e ainda é a composição de todas as cores.

Quando a luz atinge um objeto, parte dela é absorvida e parte é refletida. Dependendo da superfície ou da tinta que reveste o objeto, parte da luz incidente é refletida.

Assim, um carro vermelho é vermelho porque absorveu todas as cores e refletiu apenas a cor vermelha. Por sua vez, se o carro for vermelho isso significa que o carro está refletindo, além do amarelo incidente, as componentes verde e vermelha da luz, que somadas resultam no amarelo.

Com isso já podemos saber qual é a cor da roupa mais apropriada para usar nos dias ensolarados.

## Material Didático do Aluno – Aula IV

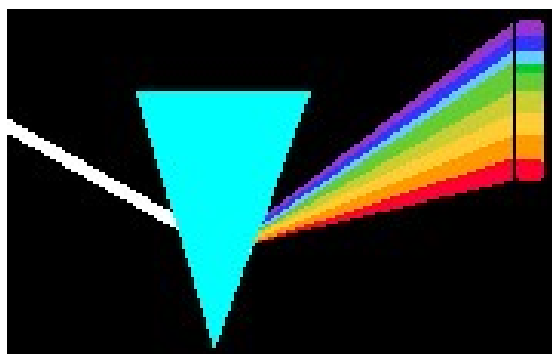
### Roteiro para realização do experimento: *Decomposição da Luz*

#### Material

Prisma  
Diferentes tipos de lâmpada:  
Lâmpada incandescente  
Lâmpada de tungstênio-halogênio  
Lâmpada fluorescente  
Lâmpada vapor de mercúrio  
Câmara escura

#### Como Fazer

- 1- Posicionar o prisma dentro da câmara escura de tal forma que o espectro seja formado no fundo da câmara.
- 2- Posicionar a câmara escura de tal forma que a luz que emerge das lâmpadas incida sobre a fenda da câmara escura.
- 3- Anotar o que acontece com os espectros para cada tipo de lâmpada.
- 4- Posicionar a fenda de tal forma que a luz solar possa entrar na fenda
- 5- Anote o que aconteceu com o espectro
- 6- Escreva em uma folha separada, para entregar, as diferenças dos espectros para cada tipo de lâmpada e para a luz solar.



## Material Didático do Aluno - Aula V

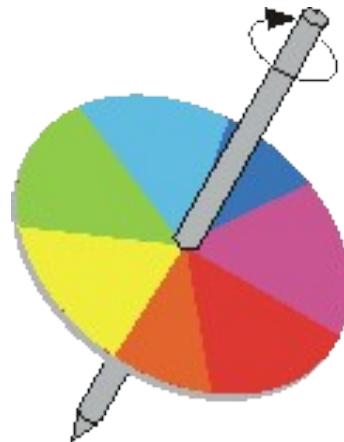
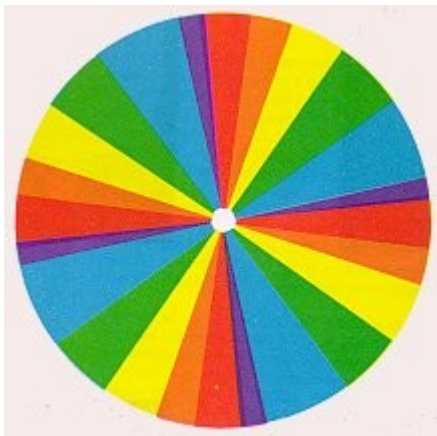
### Roteiro para a realização do experimento: *Disco de Newton*

#### Material

Cartolina branca  
Lápis de cor ou giz de cera  
Tesoura  
Compasso  
Transferidor  
Régua

#### Como Fazer

- 1- Desenhe na cartolina, com o compasso, um círculo de 7 cm de raio e recorte este círculo.
- 2- Faça 21 divisões no círculo, a cada  $17,1^\circ$ , com o auxílio de um transferidor.
- 3- Pinte cada divisão, sucessivamente, com as cores vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta (nesta ordem). Note que cada cor se repetirá 3 vezes.
- 4- Fure o disco no centro e fixe um lápis.
- 5- Rode o disco, como se este fosse um pião, e observe o que acontece com as cores do disco.
- 6- Anote em uma folha o que aconteceu e dê uma possível explicação para o que foi observado.



## Aula VI

### Tema

Funcionamento do olho humano

### Objetivo

Compreender o funcionamento do olho humano e o processo de formação da imagem. Para isto, os alunos se reunirão em grupos para analisar material didático composto por um texto que descreve as funções das diversas partes do olho humano e participarão de discussão sobre o processo de formação da imagem no olho e no cérebro. Em seguida eles farão um experimento com lentes convergentes, divergentes e cilíndricas para discutir os defeitos da visão.

### Recursos Instrucionais

Material didático (texto que descreve a função das diversas partes do olho humano, kit com lentes convergentes, divergentes e cilíndricas)

Trabalhos em grupo

Discussões

Exposições complementares

### Motivação

Compreender os defeitos da visão.

### Momentos

Descrição	Duração
Leitura do texto explicativo sobre as funções das partes do olho humano e identificação das concepções que os alunos têm sobre o processo de formação da imagem no olho e no cérebro	15 min
Discussão sobre o processo de formação da imagem no olho e no cérebro	15 min
Realização de experimentos com lentes convergentes, divergentes e cilíndricas e discussão sobre os defeitos da visão	20 min

## **Descrição da aula IV**

### **Introdução**

Esta aula procura auxiliar os alunos a compreenderem o funcionamento do olho humano e o processo de formação da imagem no olho e no cérebro. A motivação desta aula é compreender os defeitos da visão, que é um assunto que faz parte do cotidiano dos alunos. O objetivo desta aula será atingido, utilizando a leitura de um texto didático sobre as funções das diversas partes do olho humano, realizando discussão sobre o processo de formação de imagens no olho e no cérebro e realizando experimentos com lentes convergentes, divergentes e cilíndricas para analisar os defeitos da visão. A duração da aula para atingir os objetivos previamente estabelecidos é de 50 minutos.

### **Descrição dos momentos da aula**

1) Neste primeiro momento da aula, os alunos se reunirão em grupos para analisar um texto didático (anexo no final da aula) que descreve o funcionamento das diversas partes do olho humano. A idéia é obter explicações sobre o processo de formação da imagem no olho, levando em consideração a função de cada parte do sistema óptico do olho descrita no texto. A finalidade maior deste momento da aula é identificar qual é a explicação que eles têm sobre o processo de inversão da imagem formada pelo sistema óptico do olho.

2) O momento seguinte da aula constitui na discussão sobre o processo de formação da imagem no olho e no cérebro. Inicialmente será ressaltado para os alunos que o funcionamento detalhado dos mecanismos envolvidos na visão humana é bastante complicado e não totalmente compreendidos<sup>1</sup>. Cada parte do olho será discutida com detalhe, utilizando o auxílio de esquemas no quadro, do ponto de vista, do seu funcionamento e de sua contribuição para a formação da imagem no sistema óptico do olho. Primeiramente será dada uma atenção especial à função da córnea e do cristalino do olho, que funcionam como lentes elásticas, que tem a função de refratar a luz e focalizá-la na região da retina. Em seguida toda a atenção será dada ao funcionamento da retina que é a região de formação da imagem óptica. Para detalhar o funcionamento da retina será abordado que a presença de fotorreceptores, cerca de 7 milhões de cones e 120 milhões de bastonetes, faz com que a luz seja captada e a imagem formada nesta região. Neste momento será evidenciado que estes fotorreceptores estão interligados entre si e ligados à várias células, formando uma complicada malha de interligação que se liga ao cérebro por cerca de 1 milhão de fibras nervosas. Este feixe de fibras, chamado de nervo óptico, transmite os sinais elétricos ao cérebro que constrói uma imagem, que é uma sensação psicológica. Os sinais elétricos referentes aos lados direito e esquerdo de cada retina são ligados respectivamente aos lados direito e esquerdo do cérebro. Assim, devido à inversão de imagem na retina, todas as informações referentes ao lado direito do campo visual são enviadas ao lado esquerdo do cérebro. Será ressaltado aos alunos que a imagem formada no cérebro é proveniente de uma sensação psicológica e pode não corresponder à imagem óptica formada na retina. Em seguida, alguns efeitos visuais como o ponto cego do olho,

gerado pela presença do nervo óptico, e a inibição lateral, gerada pela atenuação do sinal elétrico em algumas regiões da retina, serão discutidos por serem efeitos responsáveis por algumas ilusões de óptica interessantes. Os recursos da visão para avaliar a profundidade de objetos, que em alguns casos também geram ilusões de ópticas, relacionados à acomodação do olho, paralaxe dos objetos movimentando a cabeça, avaliação por perspectiva, luminosidade e cores de objetos serão discutidos. Num passo seguinte é dado início à discussão sobre alguns mecanismos de formação de imagens em três dimensões pelo cérebro, ressaltando que este assunto será retomado em aulas futuras. O primeiro exemplo de formação de imagens em três dimensões abordado será a convergência dos olhos. É explicado que devido à paralaxe, as imagens ópticas formadas nas retinas dos dois olhos não são iguais e o cérebro constrói uma imagem tridimensional que é uma sensação psicológica de natureza diferente da imagem óptica real da retina. O segundo exemplo que será abordado relaciona-se com a utilização de pares de fotografias com cores diferentes para cada desenho, formando imagens em três dimensões no cérebro. Finalmente este momento da aula é finalizado, ressaltando que o cérebro aprende a construir as imagens desde pequeno e que às vezes ele se “engana” na construção de algumas imagens, que podem não corresponder à realidade.

**3)** Neste último momento da aula, os defeitos da visão serão abordados ressaltando que os problemas da visão referem-se à focalização incorreta dos objetos. Em seguida, alguns kits com lentes convergentes, divergentes e cilíndricas são distribuídos para os grupos de alunos e uma atividade é proposta. É sugerido que os alunos utilizem as lentes convergentes, divergentes e cilíndricas para analisar quais lentes ampliam, diminuem ou deformam imagens de figuras quando rotacionadas. Em seguida é feita uma breve discussão sobre os resultados obtidos deste experimento. Espera-se que os alunos tenham concluído que:

- a) As lentes que aumentam a imagem são as convergentes
- b) As lentes que diminuem a imagem são as divergentes
- c) As lentes que deformam a imagem quando rotacionadas são as cilíndricas

Novamente é ressaltado aos alunos que os defeitos da visão estão relacionados com dificuldades na focalização dos objetos na região da retina. É mencionada a existência dos três tipos de defeitos da visão mais comuns:

- a) dificuldade de focalização de objetos próximos (hipermetropia)
- b) dificuldade de focalização de objetos distantes (miopia)
- c) dificuldade de focalização de objetos em direções específicas (astigmatismo)

Num passo seguinte é proposto que os alunos sugiram quais lentes seriam utilizadas para corrigir as dificuldades de visão de objetos relacionadas acima. Espera-se que após uma análise dos resultados obtidos no experimento com as lentes e das diferentes dificuldades de focalização dos objetos apresentadas, os alunos sozinhos possam concluir quais lentes devam ser utilizadas para corrigir cada defeito da visão. Porém espera-se que alguns grupos de alunos possam cometer um erro, bem comum, como por exemplo:

- a) as lentes que aumentam a figura (convergente) são para corrigir dificuldade de focalização de objetos distantes (miopia)

Por conseguinte estes mesmos grupos irão concluir erroneamente que:

- b) as lentes que diminuem a figura (divergente) são para corrigir dificuldade de focalização de objetos próximos (hipermetropia)

Com a finalidade de esclarecer os defeitos da visão e suas correções, uma discussão é promovida com os alunos, por meio de esquemas na lousa, com a finalidade de

compreender cada caso, em detalhes. Após a discussão, espera-se que os alunos possam esclarecer as dúvidas e concluir, juntamente com o professor que:

- a) no caso da hipermetropia, o indivíduo não enxerga bem de perto, mas enxerga bem de longe. Com esta habilidade o indivíduo vai procurar acomodar o olho para afastar os objetos, já que ele enxerga bem de longe. Este procedimento faz com que a imagem acabe se formando “atrás” da retina, porque o indivíduo tentou afastar o objeto. Neste caso este indivíduo precisa de uma lente convergente que feche os raios luminosos para focalizá-los, um pouco mais “perto”, na região correta da retina.
- b) no caso da miopia, o indivíduo não enxerga bem de longe, mas enxerga bem de perto. Com esta habilidade o indivíduo vai procurar acomodar o olho para aproximar os objetos, já que ele enxerga bem de perto. Este procedimento faz com que a imagem acabe se formando “antes” da retina, porque o indivíduo tentou aproximar o objeto. Neste caso este indivíduo precisa de uma lente divergente que abra os raios luminosos para focalizá-los, um pouco mais “afastados”, na região correta da retina.
- c) no caso do astigmatismo, o indivíduo não enxerga bem em determinadas direções. A lente cilíndrica é utilizada, neste caso, para focalizar os raios luminosos nestas determinadas direções que apresentam falta de nitidez para o indivíduo.

Uma discussão adicional é feita para apresentar o defeito da visão, chamado de presbiopia, que é a falta de acomodação do cristalino do olho com o envelhecimento de um indivíduo, gerando uma dificuldade de focalização de objetos próximos. Neste momento da aula, espera-se que os alunos sozinhos sugiram que uma lente convergente deva ser utilizada para corrigir a presbiopia devido ao fato deste defeito da visão apresentar as mesmas características da hipermetropia.

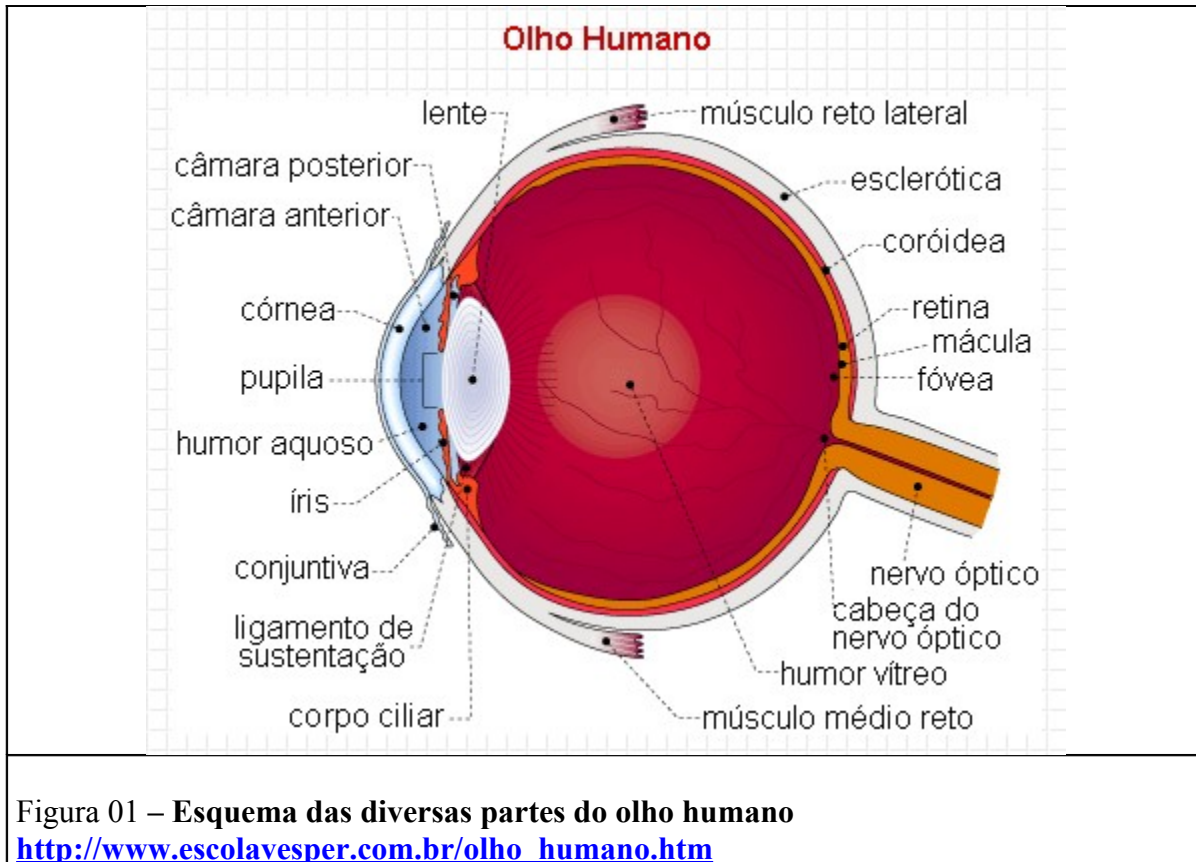
Finalmente, é aberto um momento final da aula para reforço do assunto discutido e para esclarecimento de dúvidas, que ainda possam existir. Em seguida a aula é finalizada.

## **Referências**

1 - Vuolo, José Henrique – Visão Humana – Editora do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2<sup>a</sup>., 1999.



## Material Didático do Aluno – Aula VI



Enquanto a visão é um processo complicado, o olho apenas recebe a luz. A primeira função dos olhos é focalizar a luz. Seu funcionamento é como o de uma câmera fotográfica, onde os raios de luz penetram pela córnea, que possui um grande poder de focalização. A íris regula a quantidade de luz que entra nos olhos, aumentando ou diminuindo o tamanho da pupila (abertura central da íris). A luz então viaja através do cristalino, que faz o ajuste fino na focalização sobre a retina, localizada na parte posterior do olho, atuando como se fosse o filme da câmera. A retina transforma a luz em impulsos elétricos, que são levados pelo nervo óptico até o cérebro. Para enxergarmos bem, os raios de luz necessitam ser precisamente focalizados sobre a retina.

As principais partes do olho humano são:

**A córnea:** é a parte da frente do olho, onde vemos o branco do olho e a íris. A córnea é transparente e esférica.

**O cristalino:** é uma lente gelatinosa, elástica e convergente que focaliza a luz que entra no olho, formando imagens na retina. A distância focal do cristalino é modificada por movimentos de um anel de músculos, os músculos ciliares, permitindo ajustar a visão para

objetos próximos ou distantes. Isso se chama de acomodação do olho à distância do objeto. A convergência correta do cristalino faz com que a imagem de um objeto, formada na retina, fique nítida e bem definida. Se for maior ou menor que a necessária, a imagem fica fora de foco, como se costuma dizer. A imagem é real e invertida mas isso não tem importância já que todas as imagens também são invertidas e o cérebro se adapta a isso desde o nascimento. Na figura esquemática abaixo, o cristalino (lente) está inicialmente ajustado para uma dada distância do objeto. Se o objeto se aproxima, a imagem perde a nitidez. Para recuperá-la o cristalino se acomoda, aumentando a convergência, isto é diminuindo a distância focal.

**A íris:** é aquela parte circular que dá a cor do olho. É opaca mas tem uma abertura central, a pupila, por onde entra a luz. O diâmetro da pupila varia automaticamente com a intensidade da luz ambiente: no claro ela é estreita e no escuro se dilata. Seu diâmetro pode passar de 2 mm a 8 mm, aproximadamente.

**A retina:** é nela que se formam as imagens das coisas que vemos. A retina é composta de células sensíveis à luz, os cones e os bastonetes. Essas células transformam a energia luminosa das imagens em sinais nervosos que são transmitidos ao cérebro pelo nervo ótico. Normalmente, as imagens dos objetos que olhamos diretamente formam-se na região da retina bem na linha que passa pela pupila e pelo centro do cristalino, isto é, pelo eixo do globo ocular. Essa região, chamada de fóvea, é rica de cones, que são as células mais sensíveis à visão das cores. No resto da retina praticamente só tem bastonetes que são menos sensíveis às cores mas são mais sensíveis à baixa intensidade de luz. Na semi-obscuridade são os bastonetes que se encarregam de nossa visão: por isso se diz que à noite todos os gatos são pardos. Na posição de onde sai o nervo ótico fica o chamado ponto cego. Nesse ponto não existem cones nem bastonetes e uma imagem que se forme sobre ele não é vista. Para comprovar isto faça o seguinte teste: feche seu olho esquerdo e, fixando a cruz com o olho direito, mova a cabeça para frente e para trás até que o círculo preto desapareça. Isso se dá quando a imagem do círculo preto cai sobre o ponto cego.



## Aula VII

### Tema

Explicando aos seus olhos

### Objetivo

Finalizar todas as discussões sobre ótica, apresentando explicações (quando forem possíveis) sobre as ilusões já apresentadas na aula inicial.

### Materiais Necessários

Retro Projetor, Projetor Multimídia ou Apostila para os Alunos  
Papel Celofane

### Recursos Instrucionais

Apresentação  
Discussões

### Motivação

Esclarecer os efeitos de ilusão de ótica utilizando os conhecimentos adquiridos no curso.

### Momentos

Descrição	Duração
Reapresentar as ilusões da primeira aula e discutir suas causas	25 min
Confecção de óculos 3D para a visualização de ilusões de profundidade	10 min
Apresentação e discussão de mais algumas ilusões não mostradas anteriormente.	10 min
Discussão final sobre aula	5 min

## **Descrição da aula VII**

O educador deverá reapresentar as ilusões da primeira aula e, quando for possível, explicará a causa da ilusão. (ver anexo da 1ª aula)

Logo após as explicações serão apresentadas mais algumas ilusões de profundidade. Para visualizar algumas delas será necessário um filtro nos olhos (um verde e um vermelho), para isso o educador confeccionará com os alunos uns óculos 3D. Na verdade basta o aluno recortar um pedaço de papel celofane vermelho e um verde, para que esses sejam colocados na frente dos olhos. Para evitar demora, não será necessário a confecção da armação dos óculos.

## **Material Didático do Aluno – Aula VII**

### **Ilusões de Ótica**

As ilusões de ótica indicam uma segmentação entre a percepção de algo e da concepção desta outra realidade, a ordem de percepção não influencia a compreensão de algumas imagens. Principalmente nos últimos 20 anos, os cientistas mostraram um progresso na área Ótica. As ilusões causam surpresa quando são percebidas de formas diferentes e até um certo tipo de divertimento.

As ondas de luz penetram no olho então entram em celas de foto receptiva na retina. A imagem formada na retina é plana, contudo, percebemos forma, cor, profundidade e movimento. Isso ocorre porque nossas imagens de retina, se em uma imagem 2D ou 3D, são representações planas em uma superfície encurvada. Para qualquer determinada imagem na retina, há uma variedade infinita de possíveis estruturas tridimensionais.

Porém, nosso sistema visual normalmente se conforma com a interpretação correta. Quando um engano é cometido, uma ilusão de ótica acontece. Esta arte que mexe com nosso inconsciente nos deixando por momentos sem saber o que está ocorrendo, ou até por longos períodos refletimos sobre uma ilusão apresentada.

Algumas ilusões trabalham exatamente no fato de sermos juntamente com os macacos os únicos seres que percebem a noção de largura, altura e profundidade; uma das explicações para este fato é que temos os olhos na frente da cabeça e não dos lados como na maioria dos animais.

A percepção que uma pessoa tem do mundo exterior de seu olho não depende apenas do órgão da visão, mas também de suas emoções, seus motivos, suas adaptações, etc. A Psicofísica estuda estas percepções e mostra que o mesmo estímulo físico pode produzir percepções muito variadas.

### **Tipos de ilusões de ótica:**

#### **Ambíguas**

As imagens ambíguas, sempre contém mais de uma cena na mesma imagem. Seu sistema visual interpreta a imagem em mais de um modo. Embora a imagem em sua retina permaneça constante, você nunca vê uma mistura estranha das duas percepções sempre é uma ou a outra.

#### **Escondidas**

São imagens que a primeira vista não apresentam nenhum significado, mas depois de observar você irá se surpreender.

#### **Impossíveis**

Sensacionais imagens que inexplicavelmente parecem normais, mais se repararmos bem, são impossíveis.

### **Letras**

Nossos olhos realmente nos enganam, aqui você descobrirá várias formas e tipos de letras que enganam nossa vista.

### **Após Efeito**

São imagens que depois de visualizadas revelam novas cenas.

### **Anáglifas 3D**

São figuras ou cenas que, submetidas a filtros coloridos, apresentam diversos níveis de profundidade, quase exatamente o que nossos olhos enxergam quando as vê. A visão em três dimensões (ou estereoscópica) depende muito do fato de possuímos dois olhos (visão binocular). Você pode verificar que, ao fechar um de seus olhos, perderá grande parte da noção das distâncias entre os objetos. Isso ocorre porque os dois olhos captam a imagem do mesmo objeto de posições diferentes, devido à distância entre os olhos. Essas duas imagens são superpostas no cérebro, o que dá a sensação de 3D.

### **Estereogramas**

Esse efeito, que não passa de uma fascinante ilusão de ótica, pode ser obtido graças à capacidade que nossos olhos têm de enxergar, como se estivessem em diversas profundidades, imagens repetidas horizontalmente, dispostas em distâncias levemente alteradas.

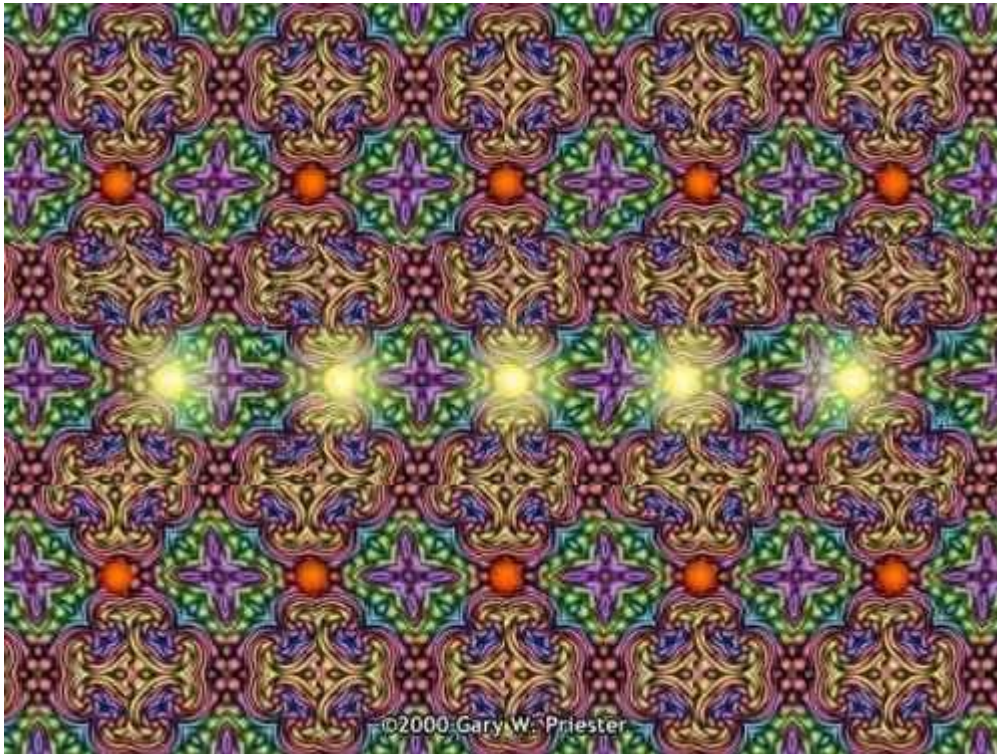
### **Arte**

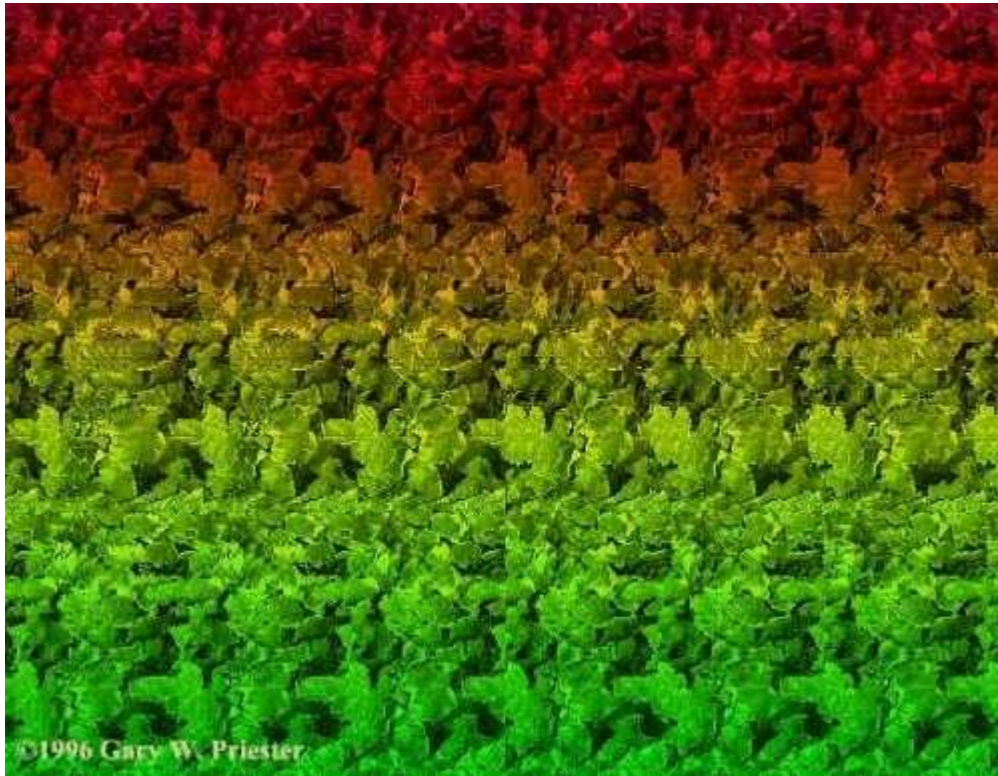
São obras publicadas de artistas consagrados com maravilhosas ilusões de óptica.

## **Ilusões em 3D**



# Estereogramas





## Referências

- Revista Super Interessante, Abril 2004, Seção Super Zoom por Elisa Menezes
- <http://www.portaldaretina.com.br/ilusoes/index.asp>
- John Rowan Wilson, Biblioteca Científica Life, Livraria José Olympio Editora, 1969