

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

SIMULADOR DIDÁTICO DA ACOMODAÇÃO DO OLHO HUMANO

Gustavo Trierveiler Anselmo

Ponta Grossa - Paraná

GUSTAVO TRIERVEILER ANSELMO

SIMULADOR DIDÁTICO DA ACOMODAÇÃO DO OLHO HUMANO

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) polo 35, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Doutor Júlio Flemming Neto

Co-orientador:

Prof. Doutor Antonio Sérgio Magalhães de Castro

Ponta Grossa - Paraná
2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Anselmo, Gustavo Trierveiler

A618 Simulador didático da acomodação do
 olho humano/ Gustavo Trierveiler Anselmo.
 Ponta Grossa, 2016.
 212f.

 Dissertação (Mestrado Profissional em
 Ensino de Física - Área de Concentração:
 Física na Educação Básica), Universidade
 Estadual de Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Júlio Flemming
 Neto.

 Coorientador: Prof. Dr. Antonio Sérgio
 Magalhães de Castro.

 1.Ensino de Física. 2.Olho humano.
 3.Lente flexível. 4.Acomodação do
 cristalino. 5.Ball Lens. I.Flemming Neto,
 Júlio. II. Castro, Antonio Sérgio
 Magalhães de. III. Universidade Estadual
 de Ponta Grossa. Mestrado Profissional em
 Ensino de Física. IV. T.

CDD: 530.07

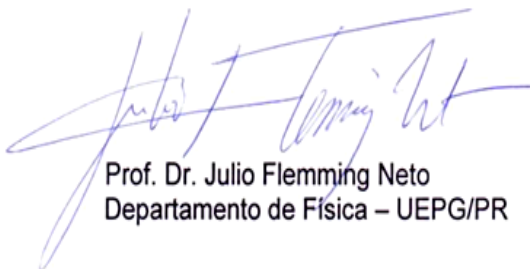
TERMO DE APROVAÇÃO

GUSTAVO ANSELMO TRIVEILLER

"SIMULADOR DIDÁTICO DA ACOMODAÇÃO DO OLHO HUMANO"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Polo 35 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela seguinte banca examinadora.

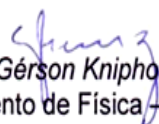
Orientador:



Prof. Dr. Julio Flemming Neto
Departamento de Física – UEPG/PR



Profa. Dra. Sandra Mara Domiciano
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR



Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz
Departamento de Física – UEPG/PR

Ponta Grossa, 09 de setembro de 2016

Dedico a minha mãe que me ensina, não apenas com palavras, mas com suas
atitudes.

Agradecimentos

Agradeço a CAPES e ao Programa do Mestrado Profissional pelo apoio financeiro. Agradeço ao professor Dr. Júlio Flemming Neto por me orientar, proporcionando um grande aprendizado em óptica e na física em geral.

Ao professor Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro, pelas ótimas aulas de física quântica e pelas conversas realizadas nos corredores da UEPG.

Agradeço aos professores da UEPG, que se dedicaram, nos ensinando que podemos fazer a diferença em sala de aula.

Apesar de tudo que ocorreu neste período, agradeço a família da minha ex-esposa, que em muitos momentos fizeram papel de mãe e pai.

RESUMO

Esta dissertação descreve um conjunto de atividades realizadas com o objetivo de facilitar o processo de ensino-aprendizagem sobre a óptica e, principalmente, da acomodação do cristalino humano. O produto educacional gerado, chamado de Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano, explora conceitos de óptica geométrica (raio de luz e refração) dentro da aproximação paraxial e suas aplicações em lentes esféricas. Para isso foi construído um aparato com uma lente flexível, produzida com preservativo masculino feito de látex preenchido com água. O seu formato esférico, com diâmetro de aproximadamente 20 *cm*, foi comparado com o modelo teórico das “ball lens”. Determinamos experimentalmente sua distância focal ($f \cong 16 \text{ cm}$) que, comparado com seu valor teórico, tem uma acurácia de $\sim 10\%$. Por ser flexível, foi possível simular o processo de acomodação do cristalino em dois casos: para feixes de luz divergentes e paralelos, simulando situações com objetos próximos e distantes do observador, respectivamente. Estes conceitos foram abordados conforme a concepção educacional da aprendizagem significativa de David Ausubel. Foram propostos quatro planos de aulas de organizadores prévios (ministrado em oito aulas), um plano de aula de aplicação do simulador didático (três aulas) e dois momentos para aplicação e discussão dos questionários (duas aulas), totalizando 13 aulas. Utilizou-se variados recursos: aulas expositivas, simuladores computacionais, construção de câmara escura, dissecação do olho de boi e aparatos experimentais produzidos pelos alunos. Aliados a materiais de apoio, esses instrumentos facilitaram a aprendizagem dos conteúdos ministrados e o melhor entendimento dos alunos. Isso é comprovado pelos resultados obtidos em 42 questionários aplicados. Destes, 24 foram antes e 18 depois da aplicação do projeto. Houve um aumento de $\sim 200\%$ no número de acertos na segunda etapa. A proposta foi aplicada em uma turma de 39 alunos, onde obtivemos uma aprendizagem significativa de mais 78 % da classe. A ressaltar, também o impacto nos alunos, que se mostraram mais dispostos a aprenderem, exigindo aulas de melhor qualidade, tanto na exposição do conteúdo como na avaliação.

Palavras-chave: Ensino de Física, Olho Humano, Lente Flexível, Acomodação do Cristalino, “Ball Lens”.

ABSTRACT

The Simulator Didactics of Accommodation of the Human Eye is a set of activities that have as objective facilitate the teaching-learning process on optics and, especially, on the process of human accommodation. The educational product explores concepts of geometrical optics (light rays and refraction) in the paraxial approximation and its applications to spherical lenses. Didactic simulator was built with a flexible lens, produced with a latex-made male condom filled with water. Its spherical shape, with a diameter of approximately 20 cm, was compared with the theoretical model of the “ball lens”. We have experimentally determined its focal length ($f \cong 16\text{ cm}$) and compared it with the corresponding theoretical value, obtaining a 10% accuracy. The flexibility feature of this lens gives the possibility to simulate the accommodation process of the eye in two different situations: for diverging and parallel light beams, corresponding to objects near and far from the observer, respectively. These concepts were addressed in the educational spirit of the meaningful learning of David Ausubel. It has been proposed 4 lesson plans from the previous organizers (taught in 8 lessons), 1 lesson plan for application of the didactic simulator (3 lessons) and 2 meetings for application and discussion of the questionnaires (2 lessons), summing up 13 classes. We have used several resources: lectures, computer simulators, construction of one darkroom, dissection of the bull's-eye and a experimental apparatus produced by students. Adding to other support materials, these instruments facilitated the learning of content offered and the better understanding of the students. This is proven by the results obtained in 42 questionnaires applied. Of these, 24 were before and 18 after the application of the project. There has been an increase of ~200% in the number of hits in the second stage. The proposal has been applied in a class of 39 students, where we had a meaningful learning of over 78 % of the class. One should stress also the impact on students, who were more willing to learn, requiring better quality lessons, both in content and evaluation of them.

Keywords: Physics Teaching, Human Eye, Flexible Lens, Accommodation of the Lens, “Ball Lens”.

Sumário

Introdução	11
Capítulo 1	13
1.1 Alguns aspectos sobre o olho humano	13
1.2 Medidas do aparato óptico do olho humano.....	14
1.2 Elementos geométricos do olho humano.....	16
1.2.1 Pontos cardeais – definição	16
1.2.2 Pontos cardeais do olho humano	19
1.2 Córnea e humor aquoso	20
1.2.1 Descrição geral	20
1.2.2 Descrição matemática da convergência da córnea	21
1.3 Cristalino	26
1.3.1 Descrição geral	26
1.3.2 Descrição matemática da convergência do cristalino.....	27
1.3.3 Processo de acomodação	29
1.4 Retina.....	30
1.4.1 Descrição geral.	30
1.4.2 As células fotossensíveis: cones e bastonetes.....	32
Capítulo 2	36
Aprendizagem Significativa de Ausubel	36
2.1 Estrutura Cognitiva.....	37
2.1.1 Influência do professor na estrutura cognitiva do aprendiz.....	38
2.2 Aprendizagem significativa	40
2.2.1 Aprendizagem mecânica versus Aprendizagem significativa	42
2.2.2 Tipos de aprendizagem significativa	44
2.2.3 Aprendizagem por recepção e descoberta.	45
2.2.4 A origem dos subsunçores	45
2.2.5 Organizadores prévios.	46
Capítulo 3	49
Breve análise do ensino de óptica do olho humano	49
3.1 Motivação	49
3.1.1 O produto educacional.....	51
3.2 Estado da arte: estudo do olho humano na física no ensino médio	52
3.2.1 Produtos educacionais existentes.....	53
3.2.2 Livros didáticos	57
3.2.3 Modelos didáticos do olho humano encontradas em vídeos	60
3.2.4 Modelos didáticos do olho humano comerciais	62
3.2.5 Conclusão	63
Capítulo 4	65
Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano	65
4.1 O Simulador Didático	66
4.1.1 A lente flexível	66
4.1.2 Modelo didático em isopor do globo ocular	68
4.1.3 Preparação dos lasers.....	71
4.1.4 Fonte estabilizada de pilhas.....	74
4.1.5 Suportes dos lasers	76
4.2 Organizadores prévios	78
4.2.1 Questionário de verificação.	80

4.2.2 Plano de aula nº 01(1ª aula): Conceito de raio de luz, Reflexão e Refração.	80
4.2.3 Plano de aula nº 02(2ª e 3ª aula): Construção da câmara escura.	83
4.2.4 Plano de aula nº 03(4ª e 5ª aula): Dissecção do olho de boi.	85
4.2.5 Plano de aula nº 04(6ª e 7ª aula): Lentes esféricas.	87
4.3 Plano de aula nº 05 (8ª, 9ª e 10ª aula): Aplicação do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.	90
4.3.1 Elementos geométricos das “ball lens”	99
Capítulo 5	102
Resultados e conclusões	102
5.1 Resultados dos questionários	103
5.1.1 Questão nº 1.	104
5.1.2 Questão nº 02.	107
5.1.3 Questão nº 03.	110
5.1.4 Questão nº 04.	112
5.1.5 Questão nº 05.	115
5.1.6 Questão nº 06.	117
5.1.7 Questão nº 07.	119
5.2 Resultados das aulas dos organizadores prévios	123
5.2.1 Execução do plano de aula nº 01.	123
5.2.2 Execução do plano de aula nº 02.	124
5.2.3 Execução do plano de aula nº 03	125
5.2.4 Execução do plano de aula nº 04.	128
5.3 Execução do plano de aula nº 05 – Uso do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.	129
5.4 Conclusão	133
Referências Bibliográficas.	136
ANEXO - Simulador didático de Acomodação do Olho Humano.	140

Introdução

A dissertação apresenta a construção e a aplicação do produto educacional chamado Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano. O simulador é composto por uma lente flexível feita de preservativo masculino e água, tendo um comportamento de uma lente convergente em forma de esfera (*ball lens*).

Este produto educacional é composto por um conjunto de atividades formado pelo simulador didático e seus organizadores prévios (atividades que antecedem a aplicação do mesmo). Estas atividades utilizam recursos computacionais e experimentais de fácil aquisição, destinados ao manuseio do aluno. Os procedimentos estão descritos por um manual que se encontra no anexo deste trabalho.

Como professor da rede pública, vejo nosso um ensino de física cada vez menos estimulante e produtivo aos alunos. Um dos motivos observados são as poucas aulas que estimulem a participação dos educandos, ou seja, não há uma participação ativa no processo de ensino e aprendizagem. Quando há participação dos estudantes, ela é feita através de aulas experimentais que normalmente são pouca quantidade e, muitas vezes, de má qualidade.

Utilizando a teoria de aprendizagem significativa, produzimos um material que estimula a participação dos alunos, através de aulas teóricas e experimentais. Os alunos produzem todos os aparatos experimentais, que explicam o comportamento da luz dentro do olho humano. São obtidas medidas que são comparadas com os conceitos físicos abordados nas aulas e atividades.

Durante a produção do material foi realizada pesquisas para a confecção da lente flexível e dos outros materiais respeitando a facilidade de acesso e custo de produção. O produto foi aplicado no Colégio Estadual Alberto Gomes Veiga em uma turma de 2ª série do curso Técnico de Portos, composto por 39 alunos. Foram aplicados dois questionários, um antes e outro após a aplicação do produto educacional, analisando os resultados obtidos. Foram feitas análises qualitativas da turma através de entrevistas durante a aplicação do projeto, com o objetivo de acompanhar o desenvolvimento dos alunos.

Esta dissertação é composto por cinco capítulos. O primeiro capítulo aborda as partes do olho humano responsável pela focalização da luz e conversão desta em sinais elétricos, que serão enviados ao cérebro. O segundo capítulo irá apontar os principais pontos da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, abordando seu significado e as vantagens de se utilizar os organizadores prévios. O terceiro capítulo faz um breve estudo do estado da arte do ensino sobre o olho humano e do processo de acomodação em aulas do Ensino Médio. O

quarto capítulo é destinado à descrição do produto educacional, com os procedimentos e os planos de aula e, finalmente, o quinto capítulo apresenta os resultados da aplicação do produto em uma turma de uma escola estadual na cidade de Paranaguá.

Capítulo 1

1.1 Alguns aspectos sobre o olho humano

O *globo ocular* é aproximadamente uma esfera quase totalmente opaca, plástica e resistente preenchida com substâncias gelatinosas transparentes responsáveis, entre outras funções, em manter a forma do olho. Localizado em cavidades no crânio, os dois globos oculares são envolvidos e protegidos por materiais macios feitos de carne e gordura. Sua fixação e rotação são feitas por seis músculos.

O globo ocular é opaco em quase toda sua extensão, exceto pela córnea que é transparente sendo responsável grande parte do poder de refração do olho. Logo após, temos um líquido chamado humor aquoso, seguido por uma lente flexível chamada de cristalino. Em seguida, encontramos o humor vítreo que se apresenta como uma substância gelatinosa e transparente, como mostrado na figura 1.1. Além de responsáveis em manter o formato do olho, os humores apresentam boa capacidade de refratar a luz com índice de refração muito próximo ao da água.

A esclera forma uma membrana opaca que envolve todo o globo ocular. As suas principais funções são as de manter o formato quase esférico e proteger o conteúdo do globo, mantendo a pressão manométrica (aquela acima da pressão atmosférica local) intraocular entre 15 – 30 *mmHg*.

A íris é a mais conhecida, pois nos dá a cor dos olhos. Ela é uma película que expande ou contrai conforme a condição luminosa do ambiente. Logo atrás está a pupila, um orifício no centro da íris que controla a quantidade de luz que passa para a cavidade interna, podendo esta variar seu diâmetro entre 2mm a 8mm para situações de muito ou pouco brilho, respectivamente. A abertura ou contração é feita pelos músculos da íris.

A focalização da imagem ocorre sobre a retina, uma camada transparente muito fina que reveste boa parte da coróide¹. Formada pela ramificação do nervo óptico, ela é muito sensível à luz, em especial na região da fóvea, bastante povoada por células fotossensíveis, os cones e bastonetes.

Iremos apresentar outras informações sobre o nervo óptico, ponto cego, mácula – fóvea e outros dados, de cunho quantitativo, sobre a retina no item 1.4. Logo abaixo, na figura 1.4, temos um esboço com as principais partes que compõe o olho humano.

¹ Camada pigmentada entre a retina e a esclera. Seus pigmentos tem a função de reduzir a reflexão da luz que entra no globo ocular. Além disso, é uma região bastante vascularizada, pois tem a função de nutrir a retina.

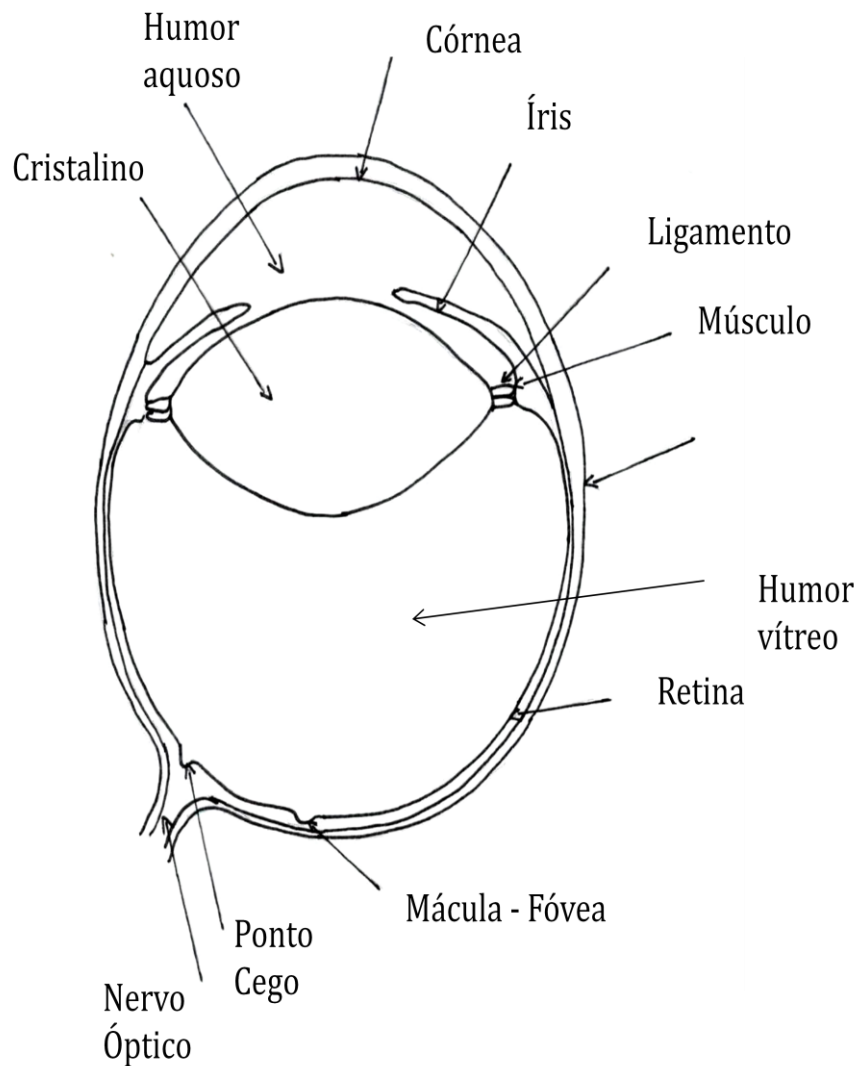


Figura 1.1 Estrutura básica do olho direito. Perspectiva no plano horizontal visto de cima. [Smith, 2007].

O maior interesse de estudo neste capítulo está no sistema óptico do olho humano, que é formado pela córnea, humor aquoso, cristalino e humor vítreo. Apresentaremos dados quantitativos sobre eles, aplicando-os nos modelos teóricos adequadas, descritos a seguir, de tal forma a demonstrar matematicamente a focalização da imagem sobre a retina.

1.2 Medidas do aparato óptico do olho humano.

Vamos listar o índice de refração e dimensões geométricas, como espessura e raio de curvatura, das superfícies ópticas do olho humano. Essas informações podem variar de pessoa para pessoa, principalmente o tamanho do globo ocular e as distâncias entre a córnea e o cristalino [Smith, 2007].

Estes dados serão usados para descrever o efeito da convergência da luz, realizado pela córnea e pelo cristalino em seus respectivos meios.

Córnea	
Lente esférica divergente – do tipo convexa - côncava Raio de curvatura $R_1 = +7,8 \text{ mm}$ Raio de curvatura $R_2 = +6,4 \text{ mm}$ Espessura central $e_1 = 0,6 \text{ mm}$ Índice de refração $n = 1,376$	Diagrama da córnea: mostra duas superfícies esféricas, S₁ (externa) e S₂ (interna). S₁ tem raio de curvatura R₁ e S₂ tem raio de curvatura R₂. A espessura central é e₁. O meio ao redor é ar (Ar).

Tabela 1.1: Algumas informações sobre a córnea. [Smith, 2007].

Cristalino	
Lente esférica convergente² - tipo biconvexa. Raio de curvatura $R_3 \approx +10,1 \text{ mm}$ Raio de curvatura $R_4 \approx -6,1 \text{ mm}$ Espessura central $e_2 = 4,0 \text{ mm}$ Índice de refração $n = 1,386 - 1,436$ Distância entre a córnea e a superfície S₃ de $3,5 \text{ mm}$	Diagrama do cristalino: mostra uma lente biconvexa com superfícies S₃ e S₄. S₃ tem raio de curvatura R₃ e S₄ tem raio de curvatura R₄. A espessura central é e₂. O cristalino está imerso no humor aquoso e vítreo, e é sustentado pelo ligamento e músculo.

Tabela 1.2: Algumas informações sobre o cristalino. [Smith, 2007].

	Dimensões	Índice de refração
Globo Ocular	Diâmetro entre 24 mm e 25 mm	-
Humor aquoso	Espessura central de $3,0 \text{ mm}$	1,336
Humor vítreo	Espessura central de $16,9 \text{ mm}$	1,337

Tabela 1.3 Os valores mudam de indivíduo para indivíduo. [Smith, 2007].

² O cristalino é formado por superfícies esféricas, ou seja, as superfícies S₃ e S₄ não têm raios de curvaturas. Mas para simplificar, podemos aproximá-lo com uma lente esférica biconvexa com raio de curvatura R₃ e R₄.

1.2 Elementos geométricos do olho humano

O olho humano é um sistema óptico complexo e por isso, não pode ser aproximado com os modelos de lentes delgadas (Lentes em que a espessura é muito menor que o raio de curvatura). Porém, é possível aproximar a um sistema óptico paraxial.

A óptica paraxial é estudada para sistema óptico centrado, definidos como aqueles que, apresentam simetria de rotação das superfícies refletoras ou refratoras, em torno de um eixo comum, chamado de eixo óptico principal.

O sistema óptico centrado, na aproximação paraxial, tem como característica que os raios luminosos passam muito próximos ao eixo óptico principal, como também os raios incidentes, os quais fazem um pequeno ângulo com a reta normal à superfície. Estes raios luminosos são chamados de raios paraxiais. No caso da refração, o raio refratado desvia-se em relação à reta normal da superfície, por uma aproximação de lei de Snell.

Apesar da qualidade da imagem depender principalmente do sistema óptico, as teorias de formação de imagens, com aproximações paraxiais, nos fornecem bons resultados. As vantagens dessa abordagem são as que os raios paraxiais se propagam com leis simples, que facilitam a descrição da formação da imagem. Em um sistema real, ocorrem aberrações não previstas pela aproximação paraxial simples. No entanto, elas podem ser reduzidas com a utilização de lentes asféricas e/ou outras compostas por diferentes matérias ao longo de sua extensão.

1.2.1 Pontos cardiais – definição

Inicialmente vamos definir lente e seus tipos. Lente é composta por um meio transparente, homogêneo e isotrópico, delimitado por duas superfícies (dioptra) curvas.

Lentes esféricas é uma lente formada por dioptras esférico, podendo ser ambos esféricos ou um esférico e o outro plano.

Uma lente delgada é aquela em que sua espessura é muito menor que seus raios de curvatura.

Vamos definir vários pontos específicos conhecidos como *pontos cardiais* ou *pontos Gaussianos*. São eles: pontos principais h e h' , pontos focais f e f' e os pontos nodais N e N' .

Planos principais (H e H'): são dois planos conjugados em que a imagem de um objeto situado em um deles está projetada no outro, sendo direita e do mesmo tamanho.

Os planos H e H' , em geral, se comportam como uma superfície de refração aparente onde somente neles há mudanças na trajetória do raio de luz, como visto pela figura 1.2. Seria como se toda refração devido à lente fosse totalmente realizada nos planos principais. Eles

também não são necessariamente simétricos, em relação ao centro óptico, pois dependem do raio de curvatura e cada superfície pode ter valores diferentes como visto na figura 1.3.

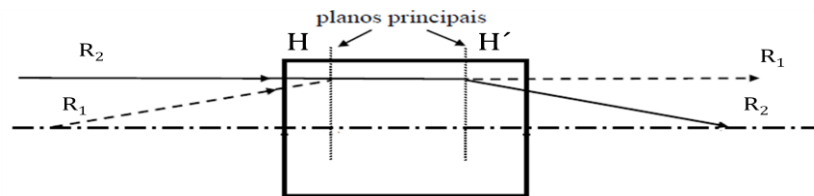


Figura 1.2 Traçado dos raios de luz. Nos planos principais os raios paraxiais sofrem desvio em sua trajetória. [Zilio 2007].

Quanto mais curvado a superfície do dioptro, mais os planos principais se deslocam para fora da lente. Assim a espessura, a forma e o índice de refração n da lente definem os planos H e H' .

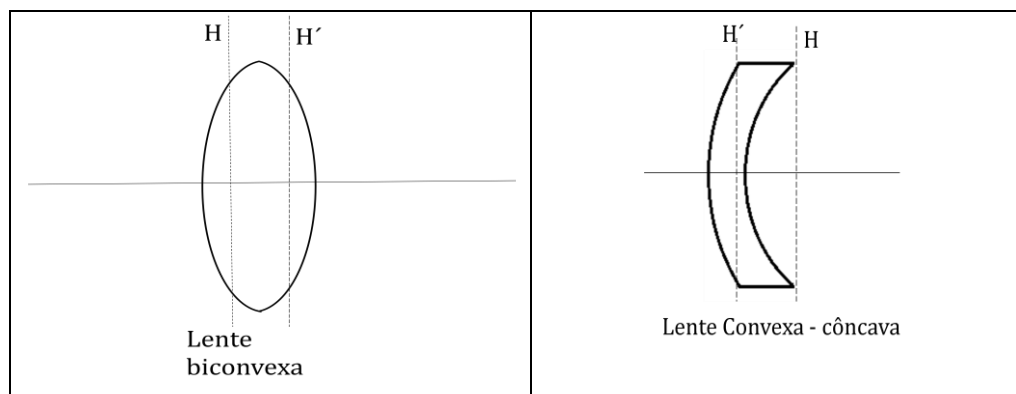


Figura 1.3 Planos principais conjugados H e H' . Quanto menor o raio de curvatura, mais afastado estão os planos principais da lente. Fonte: O autor.

Da localização dos planos H e H' vamos definir o **pontos principais** h e h' dado interseção entre o plano principal e o eixo óptico principal, como mostrado na figura 1.4.

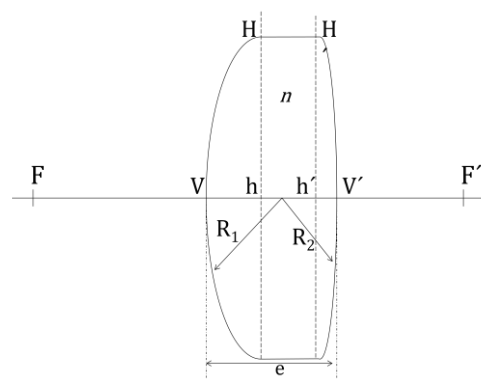


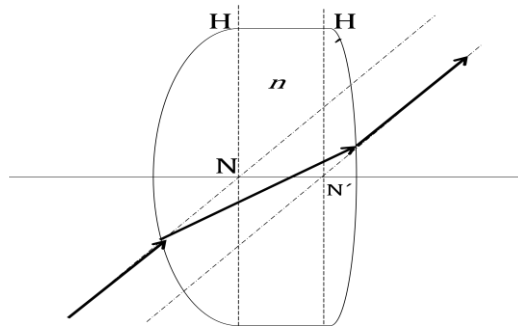
Figura 1.4 Elementos cardiais distâncias focais F e F' como os planos principais (H e H') e pontos principais (h e h'). Fonte: O autor.

Não vamos demonstrar a relação, mas podemos localizar os planos principais H e H' e consequentemente os pontos principais h e h' em relação aos vértices V e V' , caso a lente esteja no ar.

$$Vh = -\frac{fe(n-1)}{R_1n}$$

$$Vh' = -\frac{fe(n-1)}{R_2n}$$

Ponto nodal (N): são dois pontos conjugados no eixo principal em que se um raio incidente passa por um deles, corresponde a um raio de luz emergente que passa pelo outro. Caso o meio que envolva a lente seja o mesmo, os pontos nodais N e N' correspondem aos pontos principais h e h' , respectivamente.



Figuras 1.5 Em lentes no imersa no mesmo meio, os pontos nodais coincidem com os pontos principais e antiprincipais. Fonte: O autor.

Foco: ponto sobre o eixo óptico principal em que todo o raio de luz paralelo ao eixo principal converge ou diverge orientado sobre este ponto. Da mesma forma se um raio de luz incidente passa por este ponto, o raio de luz refratado será paralelo ao eixo óptico principal.

As lentes possuem focos duplos, chamados de **foco objeto** (F) por onde os raios incidentes passam (ou seus prolongamentos) e o **foco imagem** (F') por onde os raios de luz emergentes ou refratados passam ou seus prolongamentos.

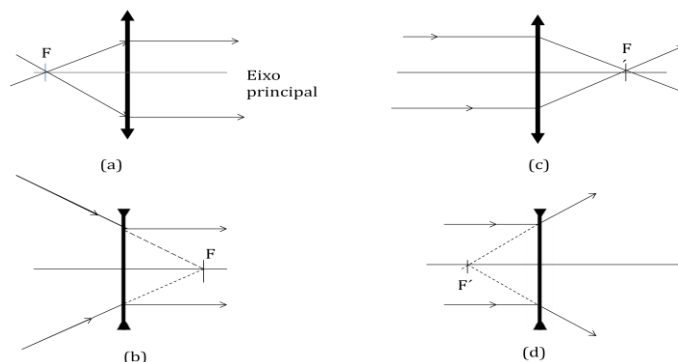


Figura 1.6 Foco objeto F , exemplos (a) e (b), e foco imagem F' , exemplos (c) e (d), nas lentes delgadas convergente e divergente respectivamente. Fonte: O autor.

A localização deste ponto se dá pela distância dos planos principais até o ponto focal chamada de distância focal (f). Analisando a figura 1.4, para uma lente espessa vemos que:

$$f = \overline{FV} + \overline{Vh}$$

$$f' = \overline{F'V'} + \overline{V'h'}$$

A vergência (V) de uma lente é dada pelo inverso da distância focal imagem. A unidade de medida é o dioptrias (di) quando a distância focal é expressa em metros. Ela possui menisco positivo para lentes convergentes e menisco negativo, para lentes divergentes.

$$V = 1/f'$$

1.2.2 Pontos cardeais do olho humano

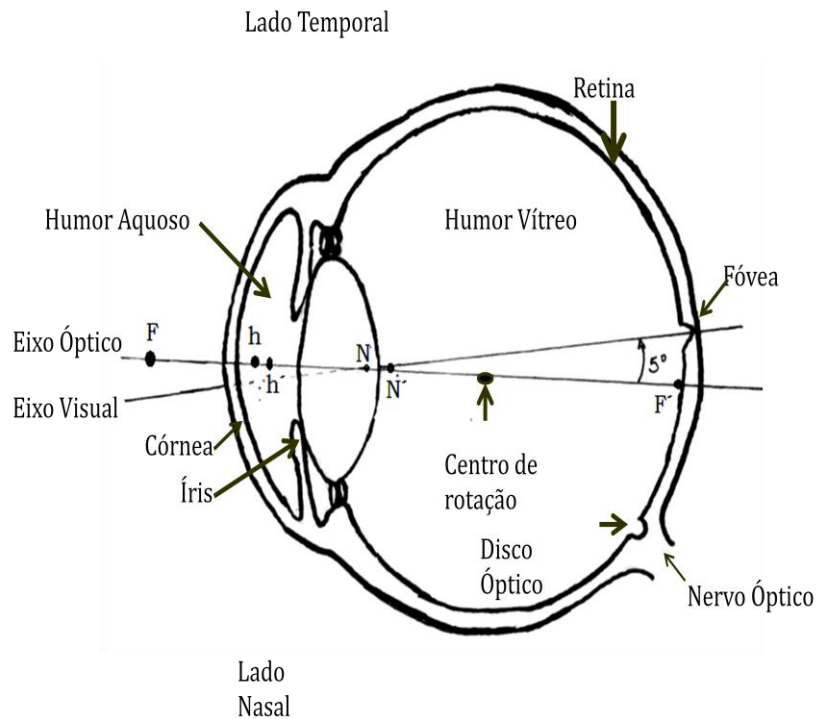


Figura 1.7 Principais elementos ópticos do olho humano – globo ocular direito. [Atchison e Smith, 2000].

Como qualquer sistema óptico, o globo ocular também pode ser caracterizado pelos pontos cardeais. Usando a figura 1.7 vemos que no olho os pontos principais e $h = 1,5$ e $h' = 1,8 \text{ mm}$ e os pontos nodais estão a $N = 7,1 \text{ mm}$ e $N' = 7,4 \text{ mm}$ [Smith, 2007^a] todos situados atrás da córnea. Os pontos nodais e principais não coincidem, pois as superfícies dos dioptros estão inseridas em meios de diferentes índices de refração.

O ponto focal objeto F está a $15,6 \text{ mm}$ do globo ocular e o ponto focal imagem F' está na retina, a $17,1 \text{ mm}$ do ponto nodal N' . Este último ponto possibilita determinar tanto a posição angular como tamanho da imagem na retina. O centro de rotação do globo ocular (ponto fixo, na qual o olho gira em torno si mesmo) está de 13 mm a 16 mm após a retina.

Observando a figura 1.8 temos o eixo visual, uma reta que une o objeto visualizado com a fóvea, região da retina especializada por imagens de alta resolução, passando pelo ponto nodal N' .

Inclinado 5° em relação ao eixo óptico principal, o eixo visual se faz necessário já que o olho, não apresenta perfeita simetria de rotação com os pontos dos centros de curvaturas das quatro superfícies refratoras, (duas formadas pela córnea e duas pelo cristalino, conforme tabelas 1.1 e 1.2); ou seja, os pontos dos centros de curvaturas das superfícies não são colineares. Assim a imagem não é formada sobre o eixo óptico principal, mas sim no eixo visual.

O eixo óptico principal é uma reta que passa muito próximo dos pontos dos centros de curvatura das superfícies refratoras, cortando a retina em um ponto entre a fóvea e o ponto cego (região da retina onde não há sensibilidade à luz). No eixo óptico principal encontramos os pontos cardeais do sistema óptico.

Os pontos nodais N e N' não apresentam posições fixas no eixo óptico principal, devido ao processo de acomodação do cristalino. Por exemplo, com a deformação das superfícies, o cristalino parece uma lente biconvexa com raio de curvatura de aproximadamente $+5,3 \text{ mm}$ [Smith, 2007^a]. Isso faz com que os pontos nodais N e N' se aproximem poucos milímetros em direção à retina.

1.2 Córnea e humor aquoso

1.2.1 Descrição geral

A córnea é caracterizada por uma protuberância e seu formato é mantido pela pressão do humor aquoso. Observando os dados da tabela 1.1, ela pode ser tratada como uma lente esférica divergente espessa (considerando a córnea como sendo somente a película). Isto é devido ao fato que: bordas são mais espessas que o seu centro; por estar envolvida em dois meios (ar e o humor aquoso) que apresentam índices de refração menor que a dela e finalmente, por não ser possível desprezar sua espessura ($e = 0,6 \text{ mm}$), que está muito próxima (~ 10 vezes menor) das medidas dos raios de curvaturas, que formam suas superfícies.

Esta característica divergente da córnea ($V = -6 \text{ di}$), [Britannica, 2006] prejudicaria a qualidade da imagem forma, pois para obter uma imagem nítida, precisamos que os raios de luz sejam convergentes, focalizando-os para a região central da retina. Mas a diferença entre o índice de refração entre a película da córnea ($n = 1,376$) e do humor aquoso ($n = 1,336$) é muito pequena, quando comparada com a superfície de separação entre ar ($n = 1$) e a córnea.

Observando a figura 1.8 e considerando a citação acima, podemos afirmar que a córnea, em conjunto com o humor aquoso, apresenta um menisco positivo, ou seja,

convergente. O efeito refrator, deste conjunto, é superior ($V = +44 \text{ di}$) [hyperphysics, 2016], quando comparada com a película da córnea. Assim, consideramos a córnea (córnea+ humor aquoso) como uma lente convergente.

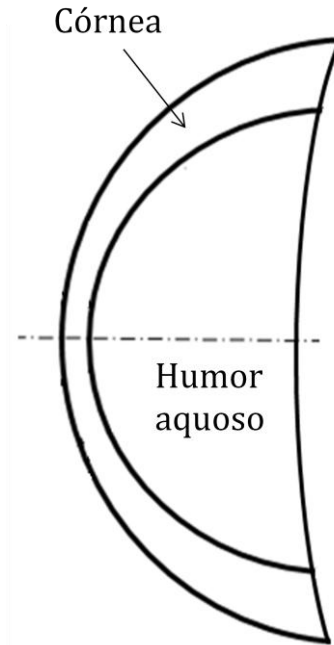


Figura 1.8 Apesar de a córnea ter um menisco negativo (divergente), o conjunto formado com o humor aquoso produz um efeito convergente maior. Fonte: O autor.

Em seguida, vamos demonstrar matematicamente o efeito convergente do conjunto córnea e humor aquoso, utilizando os dados fornecidos nas tabelas acima com as devidas aproximações.

1.2.2 Descrição matemática da convergência da córnea

Iremos considerar uma esfera de raio r de material transparente de índice de refração n . Vamos supor que os raios de luz são provenientes de um ponto luminoso distante, podendo considerá-los paralelos e muito próximos um do outro (raios paraxiais). Assim os ângulos α e β (em radianos) são pequenos podendo-se aproximar aos seus senos e tangentes, a chamada de aproximação de Kepler. Consideraremos que o pequeno arco formado pela as interseções dos dois raios luminosos paralelos é dado pela distância d entre eles [Helene e Helene, 2011].

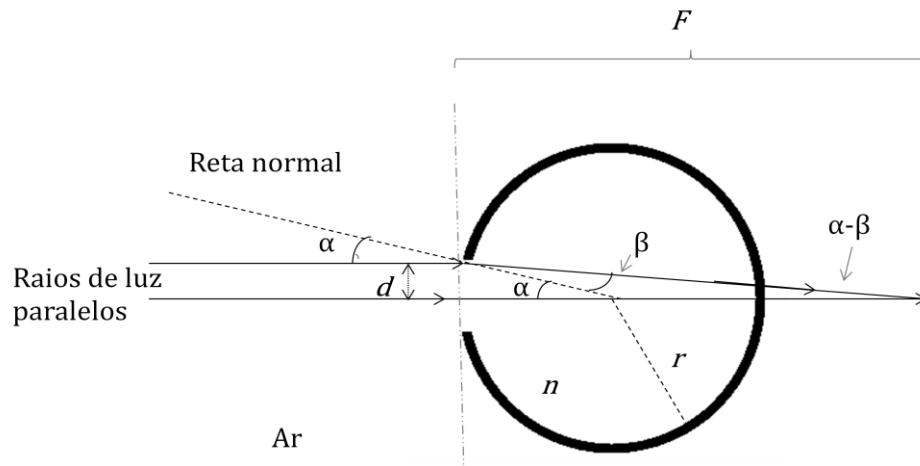


Figura 1.9 Raios de luz paralelos convergindo quando passam por uma esfera com um índice de refração n . [Helene e Helene, 2011].

Usando a lei de Snell obtemos a relação e aplicando as considerações feitas nos ângulos

$$\sin \alpha = n \sin \beta \quad (1)$$

$$\alpha \cong n\beta \quad (2)$$

À distância d pode ser escrita usando os elementos geométricos. A primeira forma é usar o raio r da esfera e o ângulo α formado entre a reta normal e o raio de luz incidente. Outra maneira é através da medida F definido pela distância da superfície esférica (ponto inicial da interseção) até o ponto de encontro do prolongamento do raio luminoso e o ângulo $\alpha - \beta$ do mesmo. Para isso vamos fazer algumas aproximações nas funções seno e tangente.

$$d \cong r\alpha \quad (3)$$

$$d \cong F(\alpha - \beta) \quad (4)$$

Combinado as equações (3) e (4) obtemos

$$r\alpha \cong F(\alpha - \beta) \quad (5)$$

E aplicando equação (2) na equação (5) temos

$$rn\beta \cong F(n\beta - \beta) \quad (6)$$

Simplificando β e isolando F , obtemos a equação.

$$F \cong \frac{n}{n-1} r \quad (7)$$

Essa equação comprova que, quanto menor o raio de curvatura r menor será a distância focal F . Assim, podemos ver o papel fundamental da córnea, que com sua protuberância, tem um raio de curvatura menor que do próprio globo ocular. Nesta aproximação, o olho humano seria formado por duas esferas parcialmente superpostas: a Córnea e o globo [Helene e Helene, 2011].

Se o olho fosse considerado uma simples esfera com raio de 12 mm (que é o raio do globo ocular) e preenchida com material de índice de refração da água ($n = 1,33$) ou dos humores aquoso e vítreo ($n = 1,34$) obteríamos

$$F \cong 47 \approx 48 \text{ mm} \quad (7.a)$$

Para focalizar a imagem no ponto correto, ou seja, no fundo do globo, a uma distância focal $2r$ ($2 \times 12 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$), um simples globo deveria ter um índice de refração $n > 2$. Mas seres vivos não produzem material transparente com valores nesta ordem.

A evolução natural resolveu esse problema, reduzindo o raio de curvatura da primeira superfície de incidência da luz, criando uma segunda esfera que é a protuberância da córnea. Há um pequeno aumento do índice de refração do seu material. Para efeito de comparação, a nova distância focal é de $F = 31,6 \text{ mm}$. [Helene e Helene, 2011]. Apesar da melhora, ainda não se atinge ainda o valor ideal de 24 mm . Para resolver isto, a natureza desenvolveu o cristalino, uma lente flexível responsável por manter a imagem sobre a retina. Igualmente, abaixo iremos comprovar matematicamente a redução citada.

Iremos acrescentar ao primeiro modelo proposto uma lente esférica divergente e espessa, com raio de curvatura menor que a esfera citada. Para descrever seu efeito, precisamos da à equação do dioptro esférico que será comprovada, a partir dos elementos da figura 1.10.

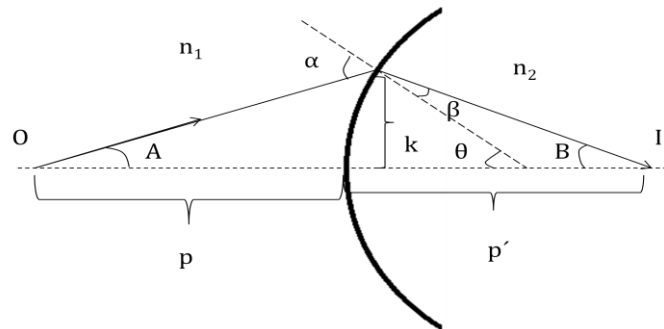


Figura 1.10 Elementos necessários para comprovação da equação do dioptro esférico. Fonte: O autor.

Aplicando a lei de Snell e a aproximação de Kepler obtém

$$\frac{\alpha}{\beta} = n_{2,1} \quad (8)$$

Da figura 4 podemos relacionar os ângulos

$$\alpha = A + \theta \quad (9)$$

$$\theta = B + \beta \quad (10)$$

Aplicando as relações (9) e (10) na equação (8) obtemos

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{A + \theta}{\theta - B}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{A + \theta}{\theta - B}$$

$$(n_2 - n_1)\theta = n_1 A + n_2 B \quad (11)$$

Como os ângulos A e B são pequenos, podemos substituir pela tangente na equação (11).

$$\tan A = \frac{h}{kO} \quad \tan B = \frac{h}{kI} \quad \tan \theta = \frac{h}{kc}$$

$$(n_2 - n_1) \frac{h}{kc} = n_1 \frac{h}{kO} + n_2 \frac{h}{kI} \quad (12)$$

Fazendo a simplificação dos h e considerando as aproximações, chegamos à equação dos dioptro esférico.

$kc \approx$ raio de curvatura R

$kO \approx$ distância entre o objeto a superfície p

$kI \approx$ distância entre a imagem e a superfície p'

$$(n_2 - n_1) \frac{1}{R} = n_1 \frac{1}{p} + n_2 \frac{1}{p'} \quad (13)$$

A equação (13) é geral desde que as grandezas e sinais envolvidos estejam adequados. Por convenção, vamos **considerando a luz incidente da esquerda para a direita**, como na figura 1.8.

$p +$	O objeto O está à esquerda da superfície de separação (objeto real)
$p -$	O objeto O está à direita da superfície de separação (objeto virtual)
$R +$	Superfície convexa
$R -$	Superfície côncava
$p' +$	A imagem I está à esquerda da superfície separação (imagem real)
$p' -$	A imagem I está à direita da superfície de separação (imagem virtual)

Tabela 1.4 convenção dos sinais considerando que a o raio de luz incidente se propague da esquerda para a direita.

Fonte: O autor.

Agora podemos aplicar a equação (13) na nossa lente espessa que representa a córnea. Aplicando a equação (13) e considerando objeto no infinito em um meio de índice de refração $n = 1$, obtemos a distância p_1' da imagem formada na primeira superfície esférica S_1 e com índice de refração n_c da córnea

$$\frac{(n_c - 1)}{R_1} = \frac{n_c}{p_1'} \quad (14)$$

A imagem formada servirá de objeto para a segunda superfície separadas por uma distância e que corresponde à espessura da córnea.

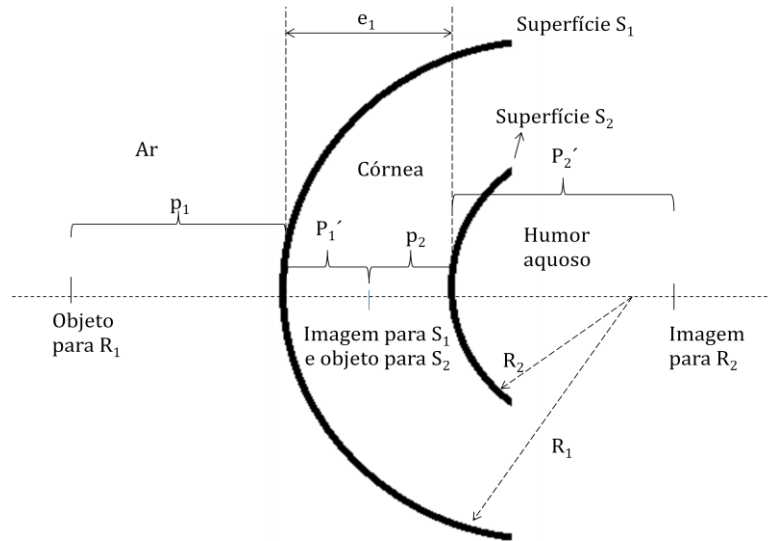


Figura 1.11 Posições objeto e imagem para as duas superfícies S_1 e S_2 . Fonte: O autor.

Podemos observar que a distância p_2 do objeto até a superfície S_2 pode ser dada por

$$p_2 = e_1 - p_1' \quad (15)$$

Aplicando (14) em (15) obtemos

$$p_2 = e_1 - \frac{n_c R_1}{(n_c - 1)} \quad (16)$$

Aplicando a equação do diopetro esférico (13) e substituindo a equação (16) temos

$$\begin{aligned} (n_h - n_c) \frac{1}{R_2} &= n_c \frac{1}{p_2} + n_h \frac{1}{p_2'} \\ (n_h - n_c) \frac{1}{R_2} &= n_c \frac{1}{e_1 - \frac{n_c R_1}{(n_c - 1)}} + n_h \frac{1}{p_2'} \end{aligned} \quad (17)$$

Substituindo os valores das tabelas 1 e 3 na equação (17), calculamos a distância p_2' com que a imagem estaria focalizada após a superfície S_2 .

$$p_2' = 31,6 \text{ mm} \quad (17.a)$$

Posição localizada a direita e para fora do globo ocular. Podemos concluir que a córnea não ainda não é capaz de formar uma imagem nítida, sobre a retina. Mas, a imagem está mais próxima, quando comparada com o primeiro caso, com um olho formado por uma esfera simples (7.a).

Considerando o globo ocular com um diâmetro de 24 mm e que a imagem é formada na retina, em especial na fóvea, a córnea aproxima $16,4 \text{ mm}$ dos 24 mm precisos (48 mm (7.a) – 24 mm do diâmetro do olho); ou seja, $2/3$ necessários para obter uma imagem nítida. [Helene e Helene, 2011]. Assim o olho necessita de outros elementos ópticos para convergir os raios luminosos para o ponto correto. Veremos a seguir que quem realiza esta tarefa é o cristalino.

1.3 Cristalino

1.3.1 Descrição geral

O cristalino é uma lente convergente biconvexa flexível asférica [Smith, 2007^a], isto é, formada por superfícies curvas não esféricas. Ele complementa a convergência da córnea necessária para colocar as imagens na posição focal certa sobre a retina, no caso sobre a fóvea (região da visão central). Como comentado acima, a córnea responde por cerca de 2/3 da convergência total do olho e o cristalino por 1/3 [Smith, 2007].

Outra função importante do cristalino é de manter a imagem sobre a fóvea em função das distâncias do objeto ao observador. Esta função é possível devido à flexibilidade do cristalino, que se comporta como uma lente de foco variável. Isto é possível graças aos músculos do esfíncter, uma estrutura composta por fibras musculares circulares e concêntricas conectadas com ligamentos ao cristalino.

Quando relaxado, o cristalino assume um formato mais plano, focalizando objetos distantes. Quando contraído, a lente assume um formato quase esférico o que possibilita a focalização de objetos próximos. Esse processo é chamado de **acomodação do cristalino**.

O cristalino é composto por numerosas fibras transparentes e envolvido por uma membrana clara e elástica, conforme a figura 1.12. Sua espessura é de 4,0 mm (quando relaxado), mas ela aumenta conforme a idade, devido a constante criação de novas fibras. Com isso, o cristalino fica menos flexível e diminui sua capacidade de focalizar objetos próximos.

Seu índice de refração não é uniforme, variando do centro à borda. Isto se deve ao fato do cristalino ser composto por 2200 camadas de fibras delgadas ou lamelas disposto uma sobre a outra como se fossem cascas de uma cebola. Assim a luz sofre pequenos desvios durante a propagação do raio luminoso, conforme os índices de refração ao longo de sua extensão [Mueller e Rudolph, 1970^a]. Contudo, é comum considerar o índice de refração $n \sim 1,42$.

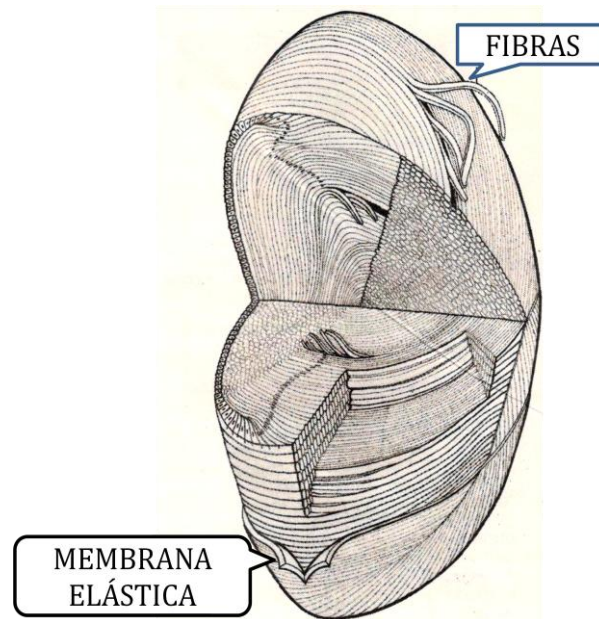


Figura 1.12 Camadas do Cristalino com o passar da idade ele se torna mais espesso e menos flexível. Um homem de 80 anos tem um cristalino com o dobro da espessura que um jovem de 20 anos. [Mueller e Rudolph, 1970³].

É comum comparar o cristalino como uma lente esférica biconvexa, mas isso é uma aproximação. Como citado acima, o cristalino é uma lente formado por superfície asférica com índice de refração variável ao longo da sua extensão, o que proporciona imagens nítidas.

Para entender melhor, vamos fazer um comparativo do cristalino com as lentes comerciais. As de melhor qualidade são asféricas, o que diminui as aberrações esféricas [Gonçalves, 1964]. Pode-se melhorar ainda mais a qualidade das imagens nas lentes múltiplo. Estas são formadas por vidros de diferentes índices de refração, melhorando as aberrações cromáticas, ou seja, aquelas que ocorrem com luz branca. Frequentemente as boas lentes tem uma cobertura chamada de “coating”, cuja função é diminuir o reflexo na interface ar-lente.

No cristalino temos algo semelhante, exceto pelo coating. A superfície asférica combinada com materiais transparentes de diferentes índices de refração produz uma melhor correção nos diversos tipos de aberrações.

1.3.2 Descrição matemática da convergência do cristalino

A seguir iremos descrever o efeito do cristalino na focalização da imagem sobre a retina. Para isso, vamos considerar:

- 1) Os dados sobre o cristalino fornecidos da tabela 1.2.
- 2) A aproximação do cristalino com uma lente esférica biconvexa espessa formado por superfícies com raios de curvatura diferentes entre si.
- 3) O cristalino está relaxado, ou seja, focalizando um objeto distante.

3) As convenções de sinais feitas na tabela 1.4.

4) A distância da imagem focalizada pela córnea de $31,6 \text{ mm}$ que nos servirá de objeto ao cristalino.

A aproximação do cristalino com uma lente esférica se faz necessário, por apresentar conceitos e equações mais simples quando comparadas com as das lentes asféricas. Por isso vamos considerar ambas as superfícies do dioptro do cristalino como esféricas [Helene e Helene, 2011]. Com isso, obtemos as seguintes medidas, como dado pela tabela 1.5.

Distância entre a superfície de raio de curvatura R_3 e o objeto virtual O' $p_3 = -28,1 \text{ mm}$	
Superfície S_3 convexa de Raio de curvatura $R_3 \cong +10,1 \text{ mm}$.	
Índices de refração dos humores aquoso (n_{ha}) e vítreo (n_{hv}) e do cristalino(n_c) $n_{ha} \approx n_{hv} \cong 1,34$ $n_c \cong 1,42$	

Tabela 1.5 Aproximações e os elementos ópticos necessários para determinar a imagem formada pela superfície S_3 .
Fonte: O autor.

Aplicando a equação (13) com os valores da tabela 1.5 nos fornece a distância da imagem p'_3 em relação à superfície S_3

$$(n_c - n_{hv}) \frac{1}{R_3} = n_c \frac{1}{p} + n_{hv} \frac{1}{p'_3}$$

$$(1,42 - 1,34) \frac{1}{+10,1} = 1,34 \frac{1}{-28,1} + 1,42 \frac{1}{p'_3} \quad (18)$$

$$p'_3 = 25,5 \text{ mm} \quad (18.a)$$

Vamos aplicar a mesma relação para a outra superfície que forma o cristalino. Da mesma forma, a imagem gerada pela superfície S_3 será um objeto virtual para a superfície S_4 . Assim temos

Distância entre a superfície de raio de curvatura R_3 e o objeto virtual O'_4 $p_4 = -25,5 \text{ mm}$	
Superfície S_4 côncava de Raio de curvatura $R_4 \cong -6,1 \text{ mm.}$	
Índices de refração dos humores aquoso (n_{ha}) e vítreo (n_{hv}) e do cristalino (n_c) $n_{ha} \cong n_{hv} \cong 1,34$ $n_c \cong 1,42$	

Tabela 1.6 Aproximações e os elementos ópticos necessários para determinar a imagem formada pela superfície S_4 .
Fonte: O autor.

Aplicando os dados da tabela 1.6 e realizando procedimentos análogos a equação (18), obtemos a distância da imagem p'_4 em relação à superfície S_4 .

$$p'_4 = 16,9 \text{ mm}$$

Para encontrar distância da imagem em relação à córnea, devemos somar a distância p'_4 , com a espessura da córnea ($4,0 \text{ mm}$) e mais a distância de separação entre a córnea e o cristalino ($3,5 \text{ mm}$). Isso nos dá o valor de $24,4 \text{ mm}$, ou seja, a imagem está quase focalizada sobre a retina, considerando o diâmetro do globo ocular valendo 24 mm [Atchison e Smith, 2000]. O desvio encontrado é fruto das aproximações adotadas no início deste item, 1.3.2.

1.3.3 Processo de acomodação

O cristalino é capaz de fazer alguns ajustes de focalização, mudando a curvatura de sua superfície pela contração dos músculos ciliares. Este processo é conhecido como acomodação, permitindo com que o observador tenha imagens nítidas na retina para objetos a diferentes distâncias. A espessura do cristalino pode variar no máximo em $0,5 \text{ mm}$ [Mueller e Rudolph, 1970^c]. Reduzindo o raio de curvatura, a distância focal diminui provocando um aumento na convergência. Porém, o poder de acomodação do olho é limitado.

Localizado no eixo visual, o *ponto próximo* (p_P) é a menor distância que o objeto pode distar do olho e ainda sim termos uma imagem nítida na retina. Eixo visual é aquele que passa pela fóvea e a pupila na mesma forma podemos definir o *ponto remoto* (p_R) como a maior distância para termos uma visão nítida. Para um olho normal sem defeitos (também chamado de emétrepe), p_R encontra-se no infinito. A amplitude (a) de acomodação pode ser dada pela relação

$$a = \frac{1}{p_P} - \frac{1}{p_R}$$

Essa amplitude, para o olho emétrepe adulto, $a = 4 \text{ di}$, visto que neste caso $p_P = 25 \text{ cm}$. No entanto, esta distância mínima de visão nítida aumenta com a idade, diminuindo a amplitude de acomodação a . Por exemplo, um jovem de 10 anos tem amplitude de acomodação de $a = 14 \text{ di}$, já um adulto com 25 anos reduz sua capacidade para $a = 10 \text{ di}$ e aos 50 anos para $a = 2,5 \text{ di}$ [Born e Wolf, 1980].

Diferentemente da maior parte dos instrumentos ópticos, o olho humano focaliza modificando a curvatura da sua lente flexível, o cristalino. Isso significa trabalho para os músculos ciliares e constante flexibilidade do cristalino. Como o cristalino perde a flexibilidade, devido ao aumento da espessura, com o passar da idade é comum às pessoas desenvolvam *presbiopia* ou “*vista cansada*”. Isto prejudica a focalização de objetos próximos, justamente onde o processo de acomodação é mais necessário. A correção desta anomalia se faz com o uso de lentes convergentes. É interessante notar também que, a visão dos batráquios e da maioria dos peixes realiza a focalização pelo deslocamento do cristalino e não por mudança de sua curvatura [Helfman, 2009].

1.4 Retina

1.4.1 Descrição geral.

A retina é uma camada fotossensível que reveste o fundo do globo ocular. Ela é responsável por absorver a luz, focalizada sobre a mesma, e convertê-la em sinais elétricos, que serão enviados para o cérebro. [Mueller e Rudolph, 1970^b].

A espessura da retina varia de $600 \mu\text{m}$ perto na região periférica a $50 \mu\text{m}$ na parte central [Atchison e Smith, 2000]. Ela representa 65% da superfície interna do globo ocular.

A retina é formada por inúmeras camadas, como mostrado figura 1.13. Mas entre as principais, temos: camadas de células sensíveis à luz (cones e bastonetes - que serão comentados no item 1.4.2); camadas de fibras nervosas; e camada de epitélio pigmentado que dá suporte biológico as células fotossensíveis.

Esta última camada, também apresenta importância na qualidade da imagem formada na retina. Isto porque ela controla a quantidade de luz refletida e dispersada, dentro do globo ocular [Atchison e Smith, 2000].

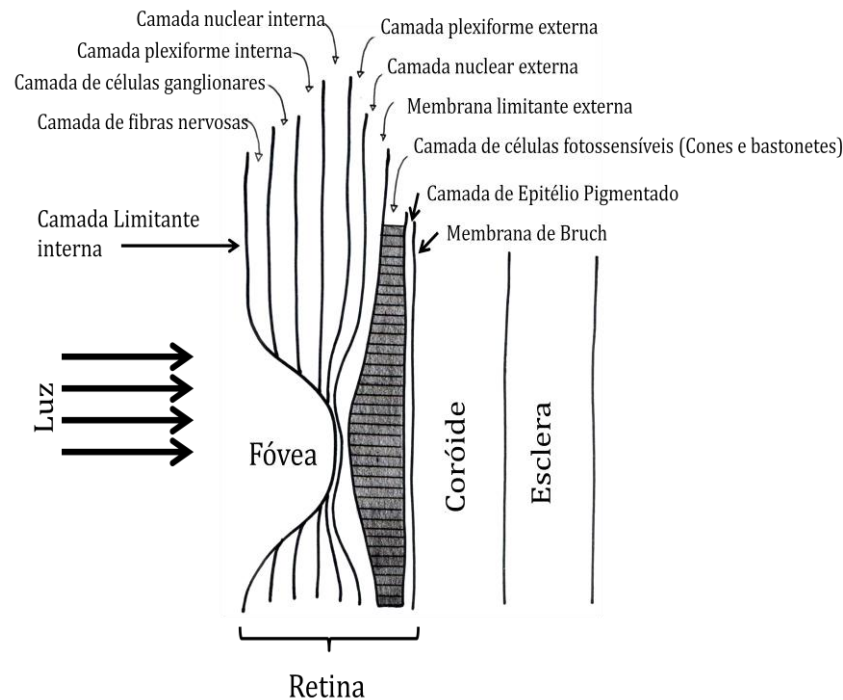


Figura 1.13 Camadas que formam a Retina do olho humano. [Polyak, 1941].

O suprimento de sangue para a retina é feito através do disco óptico (fig. 1.14 (A)). A sua localização está em um ponto a 7° do eixo óptico [Atchison e Smith, 2000], como mostrado na figura 1.15(B).

Atrás no disco óptico encontramos o nervo óptico. Ele é responsável por transmitir os sinais elétricos gerados pelas células fotossensíveis. O nervo óptico tem 5 cm de comprimento, 4 mm^2 de área de secção reta e aproximadamente 1 milhão de fibras nervosas. Em média, cada fibra se liga a 150 células receptoras entre cones e bastonetes [Yarbus, 1967]. Na junção do nervo com a retina não pode haver fotorreceptores. Portanto aí temos uma região da retina não sensível a luz. Ele é chamado de ponto cego do olho.



Figura 1.14 Distância entre o ponto e a seta de 7 cm. Fonte: O autor.

Tampando o olho esquerdo, olhe fixamente para o ponto com o olho direito a 25 cm de distância do papel. Ajuste a distância até a imagem da seta desapareça.

Uma região importante da retina é sua parte central. Ela é densamente povoada por células sensíveis à luz e cerca da metade das fibras oriundas do nervo óptico de encontram lá. É uma região muito pequena, apenas 1% da área total da retina, mas é responsável por gerar as melhores imagens do globo ocular.

Na região central da retina encontramos a mácula. Ela possui diâmetro de $5,5\text{ mm}$ e se encontra na intersecção com o eixo visual (eixo que faz um ângulo de 5° com o eixo óptico) com a retina, como mostrado na figura 1.15 (B) [Atchison e Smith, 2000].

A mácula é caracterizada por uma mancha escura, como mostra a figura 1.15 (A). Isto se deve ao fato dela não possuir vasos sanguíneos e por ser rica com pigmento chamado de xantofila.

No centro da mácula encontramos a fóvea, com diâmetro de $1,5\text{ mm}$. Na parte central da fóvea encontramos a favéola, com diâmetro de $0,40\text{ mm}$. Esta última é responsável pela visão central do olho humano [Yarbus, 1967].

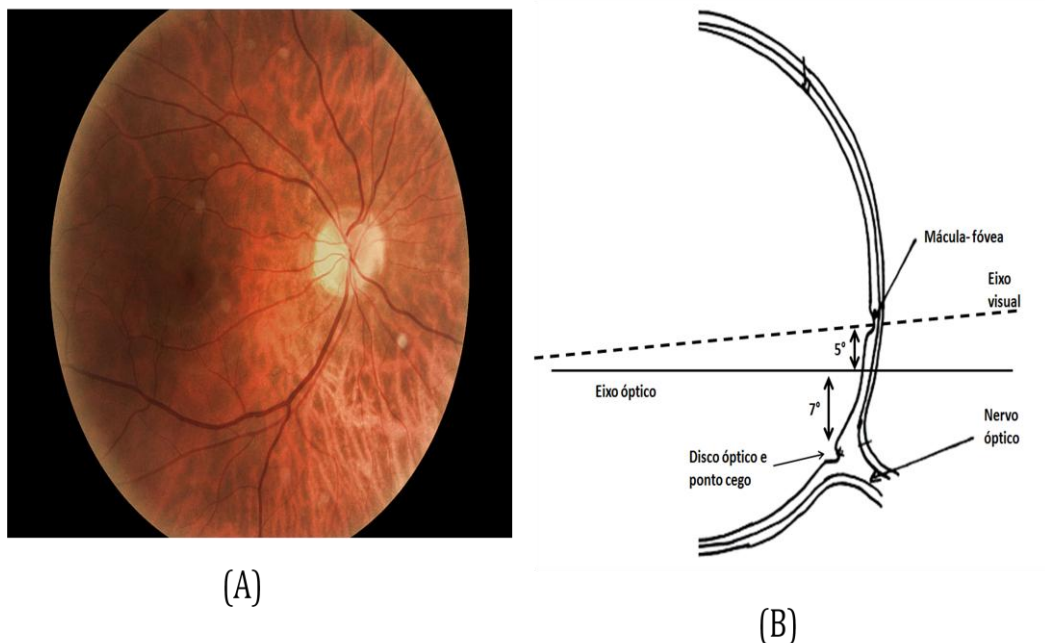


Figura 1.15 Imagens da retina. (A) Na direita, na região clara, temos o disco óptico, região vascularizada onde encontramos o ponto cego. À esquerda, na região mais escura temos a mácula e no seu centro, a fóvea. [Fundus, 2016]. (B) Posição da mácula e do disco óptico em relação ao eixo óptico. Fonte: O autor.

1.4.2 As células fotossensíveis: cones e bastonetes

Como visto anteriormente, temos uma camada formada por células receptoras de luz. Elas absorvem a energia luminosa e convertem-na em pulsos elétricos que irão ser transmitidos pelo nervo óptico, ao cérebro.

Estas células são de dois tipos: cones e bastonetes. Elas são bastante parecidas, porém o bastonete diferencia-se pelo formato mais longo, como visto na figura 1.16 (A). Também ocorrem em proporções diferentes dependendo da região da retina e, devido a sua semelhança, se tornam difíceis sua distinção.

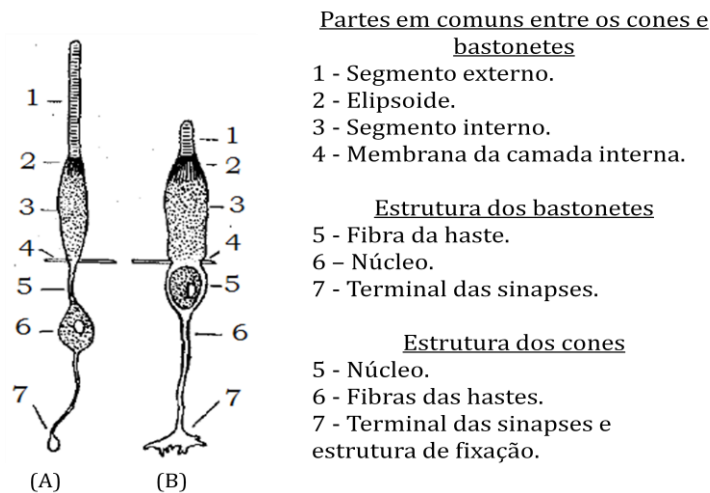


Figura 1.16 Células fotossensíveis da retina e suas partes. (A) Bastonetes e (B) Cones. [Averbakh, 1940].

Existem cerca de 130 milhões de células bastonetes na retina. Sua maior concentração é na região encontrada na mácula, em volta da fóvea. O diâmetro dos bastonetes é de aproximadamente de $0,002 \text{ mm}$ [Yarbus, 1967].

A quantidade de células cones na retina é menor, aproximadamente 7 milhões, e sua concentração mas com maior concentração pela região central da fóvea. Seu diâmetro varia de $0,001 \text{ mm}$ a $0,004 \text{ mm}$ [Poyak, 1941] dependendo da posição na retina. Podemos verificar a distribuição das células cones e bastonetes ao longo em torno da fóvea, no gráfico 1.1.

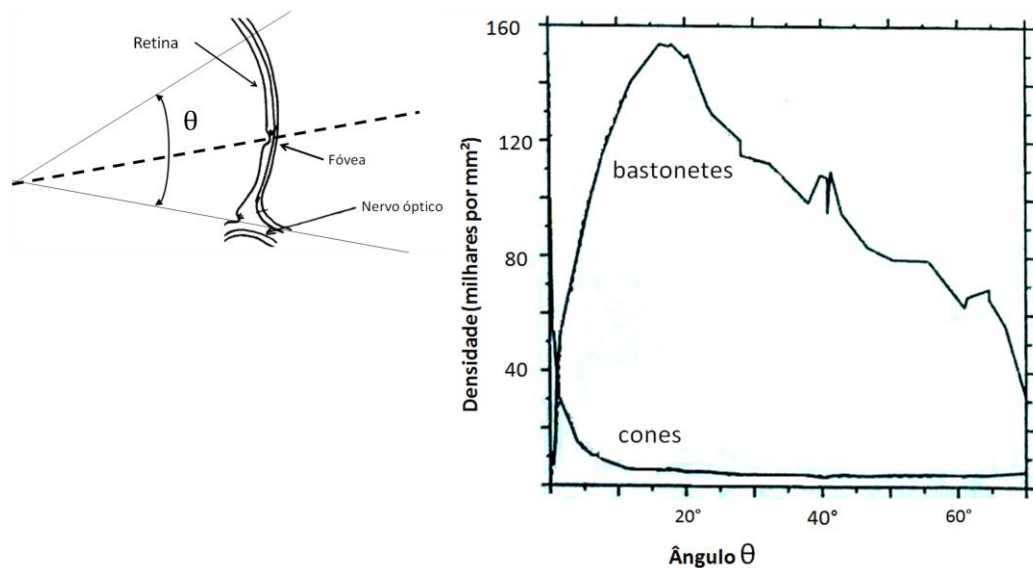


Gráfico 1.1 Densidade de cones e bastonetes na retina. [Osterberg, 1935].

Os bastonetes são mais sensíveis à luz quando comparados com cones, ou seja, eles são especializados em absorver baixos níveis de luminosidade. Isto ocorre devido as diferentes combinações com a rede neural, onde é possível combinar até 100 bastonetes para cada caminho neural conectada ao cérebro. Este procedimento torna as células mais sensíveis à luz, mas prejudica a resolução espacial [Atchison e Smith, 2000].

Nos cones, a combinação de células é bem menor, ou seja, existem menos cones para cada caminho da rede neural. Isto possibilita uma alta resolução espacial, mas há necessidade de alta intensidade luminosa. Os cones se adaptam mais rapidamente a mudanças nos níveis de intensidade luminosa em comparação aos bastonetes.

Os bastonetes contêm pigmentos fotossensíveis com sensibilidade espectral máxima para comprimento de onda de 510 nm na faixa do azul-esverdeado. Os cones contêm três pigmentos fotossensíveis com sensibilidade espectral máxima para comprimentos de onda de $440, 540$ e 590 nm . Eles são responsáveis pela percepção das cores [Yarbus, 1967].

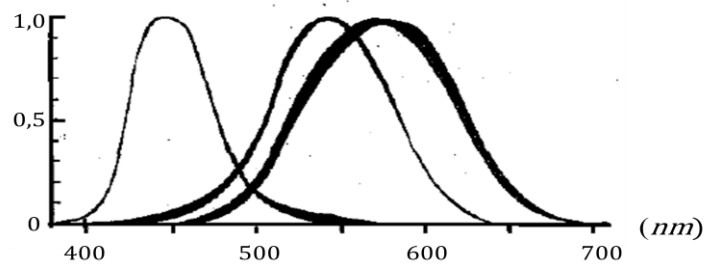


Gráfico 1.2 Curva de sensibilidade das células cones. [Bongard e Smirow, 1955].

Podemos observar a sensibilidades das células fotossensíveis em condições de iluminação crepuscular. Nesta situação, apenas os bastonetes são acionados e tendemos a enxergar os objetos observados com tons azulados, faixa de luz em que os bastonetes são mais sensíveis.

A fóvea contém 1% do número total de células cones, concentrado em apenas 0,1% da superfície total da retina, ou seja, há aí uma densidade de cones cerca de 10 vezes maior que no restante da retina. Assim, a fóvea é capaz de gerar imagens com alta resolução, desde que haja boa luminosidade.

No centro da fóvea encontramos a favéola. Com diâmetro de $0,40\text{ mm}$, ela é formada exclusivamente de células cones. A favéola concentra 0,005% do número total de cones. O diâmetro destas células varia de $1,0$ a $1,5\text{ }\mu\text{m}$ e estão distante entre si em $2,5\text{ }\mu\text{m}$. É essa região da fóvea que é responsável em gerar as melhores imagens.

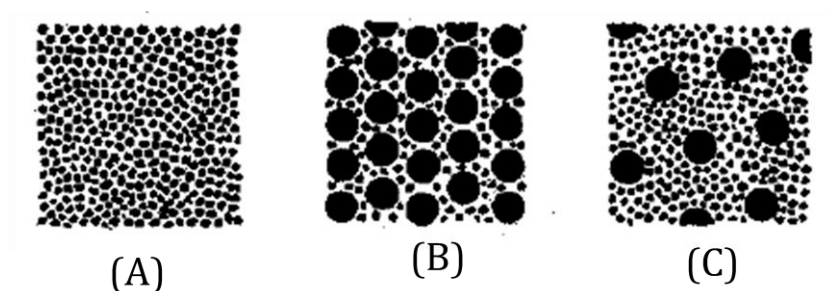


Figura 1.17 Distribuição dos bastonetes e cones na retina. (A) concentração de células cones na favéola. (B) bastonetes (pontos pequenos) e os cones (pontos grandes) representação da distribuição dos receptores a $0,8\text{ mm}$ do centro da fóvea. (C) Distribuição dos cones e bastonetes a $3,0\text{ mm}$ do centro da fóvea. [Averbakh, 1940].

Esta qualidade de imagem é dada pela alta concentração de células cones com menor diâmetro e camadas de menor espessura sobre os receptores. Lembrando que, metade das fibras neurais está concentrada nesta região sendo que cada célula ganglionar, formadora no nervo óptico, se conecta a uma célula cone.

A sensibilidade da retina diminui à medida que nos distanciamos da fóvea. Por isso, sempre tentamos manter a imagem de nosso interesse sobre a região mais sensível.

A região periférica da córnea é formada praticamente por bastonetes. Como vimos anteriormente, estas células são mais sensíveis à faixa de luz que corresponde ao azul, assim esta região não tem a capacidade de visualizar cores, como a região central da retina.

A combinação de células bastonetes por fibras nervosas tende a aumentar, quando se afastamos da região central da retina. Por isso, a região periférica não tem a capacidade de gerar imagens com boa nitidez, mas em compensação, apresenta alta sensibilidade em situações de baixa luminosidade e na percepção de objetos em movimento [Yarbus, 1967].

Capítulo 2

Aprendizagem Significativa de Ausubel

David Ausubel é médico-psiquiatra de formação, mas dedicou sua carreira à psicologia da educação. Quando se aposentou voltou para a psiquiatria. Nos últimos anos de sua vida, Ausubel, se dedicou a escrever novos livros falecendo em 2008.

A divulgação das teorias de David Ausubel é feita principalmente por Joseph D. Novak, empresário e professor da Universidade de Cornell, ele tem feito a divulgação, elaboração e aprimoramento das teorias de aprendizagem significativa. Assim hoje, seria mais adequado falar na teoria de Ausubel e Novak [Moreira, 1999].

Ausubel é reconhecido por estudar a influência, da estrutura cognitiva do aluno, na sua aprendizagem. Esta característica pode ser justificada pela citação retirada de uma das suas obras:

“Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia da educação a um único princípio, eu formularia este: de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante consiste no que o aluno já sabe. Investigue-se isso e ensine-se ao aluno de forma consequente” [Ausubel, 1968].

Uma ideia interessante e simples em teoria, mas complexa, de ser executada na prática [Moreira, 1983^a]. Analisando alguns elementos da proposta teórica de Ausubel, percebemos que a proposição “no que o aluno já sabe” se refere a sua estrutura cognitiva, ou seja, a própria forma que um determinado objeto cognoscível está organizado em sua mente, em certo momento.

Esta organização, de acordo com Ausubel, facilita uma aprendizagem significativa ao aluno. Ela não é um simples pré-requisito, como que para entender física precisamos saber matemática, ou como nas universidades, em que, para saber de Cálculo II precisamos passar pelo Cálculo I. Ausubel se refere a pontos importantes da estrutura cognitiva do educando [Moreira, 1983^a], como por exemplo, a hierarquização organizada dos conceitos (no topo da hierarquia temos conceitos com alto grau de generalização, abrangem conceitos mais específicos, menos inclusivos) [Penteado, 1980].

O termo “investigue-se” também é uma tarefa árdua. Isto quer dizer que temos que mapear toda uma estrutura cognitiva do aluno, ou seja, identificar toda a hierarquização dos conceitos, ideias, proposições e as conexões entre si. Algo que é muito difícil de averiguar em testes convencionais [Moreira, 1983^a]. Esse processo de investigação exige um esforço

cooperativo, entre vários profissionais especialistas na área de educação, como pedagogos e psicólogos educacionais.

O termo “ensine-se ao aluno” quer dizer que devemos ensinar de acordo com o resultado do mapeamento da estrutura cognitiva do educando. Novamente, parece simples, mas é uma tarefa nada fácil, pois significa identificar os organizadores básicos, que devem ser ensinados na disciplina, e usar recursos e/ou princípios que facilitem a aprendizagem de maneira significativa [Moreira, 1983^a].

Neste capítulo vamos apresentar as duas principais proposições, que de acordo com o Ausubel, fundamentam sua teoria de aprendizagem: a estrutura cognitiva e a aprendizagem significativa.

2.1 Estrutura Cognitiva

Ausubel é conhecido por sua visão cognitivista investigando como ela afeta, o aprendizado do aluno. A estrutura cognitiva preexistente no aprendiz leva em consideração o conjunto de ideias e, principalmente, as propriedades organizacionais. Assim, além da própria definição, a forma como está arranjada esses conceitos, de um conteúdo específico, na cabeça do aluno, e como essa estrutura organizada, se integra com aquilo que deseja ser ensinado [Moreira, 1999]. Este é, para Ausubel, o principal fator que influencia na aprendizagem do aluno [Penteado, 1980].

Se a estrutura cognitiva do educando está organizada e clara, a aprendizagem é bastante facilitada, ou seja, a qualidade e a clareza da organização do conhecimento é a principal variável no processo de ensino aprendizagem. Assim, para Ausubel, o fator que mais predomina na aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe.

Para Ausubel, a estrutura cognitiva está organizada de forma hierárquica, onde os conceitos mais inclusivos, com alto grau de generalizações, estão no topo compreendendo aqueles conceitos ou proposições, com pouco poder de inclusão.

Podemos comparar essa organização cognitiva, como se fosse uma pirâmide invertida, onde que a base seria os conceitos ou ideias mais amplos, com alto poder de abstração, vão compreendendo ou envolvendo aqueles com menor poder de abrangência [Penteado, 1980].

Novos conceitos ou ideias podem ser absorvidos ou rejeitados, desde que os conceitos mais relevantes e inclusivos estejam claros, bem elaborados, estáveis e pré-dispostos na

estrutura cognitiva do educando. Estes funcionam como um ponto de ancoragem aos novos conceitos. Estas “ideias-âncora” são chamadas de “subsunçores³”.

As variáveis que são importantes na estrutura cognitiva do aluno [Ausubel, 1968], ou seja, que facilitam uma aprendizagem significativa e mais eficiente são: 1) a disponibilidade, no aprendiz, dos conceitos âncoras relevantes, com um bom nível de abstrações e generalizações; 2) a similaridade ou diferenças dos conceitos e princípios usados no material de aprendizagem; 3) estabilidade e clareza dos conceitos - âncora.

Como mostramos no início, Ausubel é conhecido por sua visão cognitivista, mas isso não significa que outros tipos de aprendizagem não sejam contemplados. Podemos citar a aprendizagem afetiva que leva consideração às emoções, como alegria ou ansiedade. Algumas experiências afetivas levam a algumas experiências cognitivas, assim é entendido que a aprendizagem afetiva se manifesta simultaneamente com a aprendizagem cognitiva. Outro exemplo, como a aprendizagem psicomotora, também há alguma aprendizagem cognitivista, através da obtenção de habilidades psicomotoras [Moreira, 1999].

2.1.1 Influência do professor na estrutura cognitiva do aprendiz

As matérias do currículo escolar, para Ausubel, consistem em um conjunto de conceitos verdadeiros que devem ser organizados de forma hierárquica, ou seja, conceitos com maior poder de generalizações (como os conceitos de campos e força na física), com o menor poder de abrangência (campos elétricos e magnéticos, força de atrito e tração, fatos, datas e etc.).

A tarefa da escola é identificar esses conceitos mais abrangentes e criar meios que facilitem uma aprendizagem significativa. Com isso o aluno estará apto a aplicar esse conhecimento, conceitos e ideias em outras situações, que extrapolam suas aplicações originais. Isto desenvolve novas habilidades e ainda mais avançadas, como a análise (observar minuciosamente algo, utilizando algum método) e a síntese (a partir de um modelo ou caso mais simples expandindo para processos ou situações mais complexos).

O professor tem papel fundamental neste processo, que é de diagnosticar os conceitos e estruturas necessárias, como também de utilizá-las para uma aprendizagem mais significativa. Assim vamos listar 4 passos, de responsabilidade do professor, necessários no processo de ensino aprendizagem, de acordo com Moreira [Moreira, 1983^b].

³ A palavra “subsunçor” não existe na língua portuguesa. Ela é uma tentativa de aportuguesar a “subsumer” original da língua inglesa. Seria equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador. [Moreira, 1999]

Na primeira etapa, o professor deve identificar quais conceitos realmente são abrangentes, ou seja, quais conteúdos que, com segurança, são relevantes para se tornarem subsunçores na estrutura cognitiva do aprendiz. Os conceitos com maior poder de generalizações e de integração devem ser organizados de forma hierárquica e de forma progressiva, abrangendo os menos inclusivos; ou seja, o professor deve identificar os conceitos mais importantes da sua matéria. Para isso, devemos fazer um mapeamento da estrutura conceitual do conteúdo e organizá-lo, se preocupando com a qualidade e não com a quantidade.

A estrutura conceitual quando ensinada e assimilada pela estrutura cognitiva do educando, transforma-se em um sistema de processamento de informações, uma espécie de mapa que pode ser usado na solução de outros problemas [Penteado, 1980]. Isto é, ela é a principal etapa, responsável por permitir ao aluno, a aplicação dos conceitos aprendidos em sala de aula para o mundo a sua volta.

Na segunda etapa, o educador deve identificar quais os subsunçores relevantes para a aprendizagem do conteúdo. Isso não é o tradicional pré-requisito, mas sim para identificar proposições relevantes ou os subsunçores, que o educando deve ter disponível, para que o conteúdo seja ensinado.

Veja que isso é muito maior um serviço burocrático, mas sim de reconhecer quais os conceitos que vão servi de ponto de ancoragem, para as novas proposições e que devem estar disponíveis na estrutura cognitiva do educando. Mostramos aqui, novamente, a necessidade do mapeamento da estrutura conceitual do conteúdo.

No terceiro passo, o professor deve identificar os subsunçores existentes no educando e compará-los, com aqueles necessários para o ensino do conteúdo proposto. Novamente, cabe frisar que não é um simples pré-teste, com o intuito de identificar conhecimento de conteúdos específicos prévios, mas sim de mapear a estrutura cognitiva do educando.

Esse mapeamento se faz usando um conjunto de vários recursos, como pré-testes, entrevistas com questões que identifiquem subsunçores necessários, etc. Um dos recursos mais conhecidos da teoria de aprendizagem de Ausubel são os mapas conceituais. Estes são diagrama hierárquico com certas regras (por exemplo, uso de palavras de ligação) de modo que a configuração mostre como o aluno vê a relação entre os conceitos ou partes dos conteúdos.

No quarto passo, o professor deve utilizar recursos e princípios que facilitem a transmissão da estrutura conceitual do conteúdo para a estrutura cognitiva do educando de forma significativa, ou seja, através de significados claros, estáveis e transferíveis.

Vale ressaltar que não é uma imposição ao aluno e a sua estrutura cognitiva, mas sim uma forma de facilitar a aquisição e fornecer significados aos novos conceitos. Temos dois tipos de significados: o primeiro é o significado lógico que é dado pela estrutura conceitual, preparado pelos professores e outros especialistas da área, do conteúdo que se pretende ensinar; o segundo é o significado psicológico que é criado pelo aluno.

O aprendizado ocorre quando há compartilhamento de significados entre o professor e aluno até que haja significados em comuns. Isso faz com que a estrutura conceitual da matéria de ensino faça parte da estrutura cognitiva do aluno, sem ter a característica de imposição.

2.2 Aprendizagem significativa

O conceito de aprendizagem significativa é o termo bastante conhecido da teoria de aprendizagem de Ausubel. Este conceito visa demonstrar como

essa nova informação se relaciona com a estrutura cognitiva pré-existente no indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando o novo conceito é sustentado pela estrutura cognitiva do aluno, quando este é relevante. Mas isso acontece quando esta, na qual foi ancorada a nova ideia, sofre modificações, ou seja, não é apenas um anexo, mas sim uma nova estrutura cognitiva.

Este aprendizado significativo é carregado de significado, como era de se esperar, mas com significados não superficiais, mas com interação entre as estruturas cognitivas do educando com a estrutura conceitual na matéria a ser ensinada. Neste processo, o novo conhecimento ganha significado, mas os subsunçores ou ponto de ancoragem do novo conhecimento também ganhou um novo significado.

Destacamos que, para Ausubel, o aluno tem que estar predisposto a aprender de maneira significativa de forma não literal e não arbitrária, ou seja, que a sua intenção seja de pensar e refletir sobre o conteúdo de forma substantiva não apenas de memorizar [Moreira, 1999].

Para uma aprendizagem significativa o material tem um papel fundamental neste processo, pois deve permitir uma interação substantiva e sem memorização. Assim, a aprendizagem cognitivista não se restringe apenas a influência direta dos conceitos, mas a atributos relevantes induzidos pelo material de apoio. Há um processo de interação, onde os conceitos mais relevantes e inclusivos, os subsunçores, que se relacionam com o material que funciona como ponto de ancoragem. Isto causa uma modificação no subsunçor original [Moreira, 1999].

Outra questão, alçada por Ausubel, é que o material é potencialmente significativo para aquele aluno em particular, ou seja, a aquisição de significados com o auxílio do material de apoio, ocorre naquele ser humano específico. Não podemos afirmar que ele será significativo para o restante da humanidade, como mostrado na citação feita por Ausubel.

“Portanto, para que ocorra realmente a aprendizagem significativa, não basta que o novo material seja não arbitrário e substancialmente relacionável a correspondente ideias relevantes, no sentido abstrato do termo (à ideias pertinentes que alguns seres humanos poderiam aprender em circunstâncias apropriadas). É necessário também que tal conteúdo ideativo esteja disponível na estrutura cognitiva daquele aprendiz em particular” [Ausubel, 1968].

É possível chegar à conclusão de que como a cultura, classe social, ocupação, ou seja, os conhecimentos gerais do indivíduo interferem no processo de aprendizagem [Penteado, 1980].

A aprendizagem significativa ocorre por interação e não por simples associação ou absorção, entre os aspectos abrangentes da estrutura cognitiva do aluno com o novo conteúdo. Há uma integração não literal e substancial, colaborando para elaboração, diferenciação e estabilidade dos subsunçores existentes, na estrutura cognitiva do educando. Este é um processo interativo e dinâmico, fazendo com que os dois conhecimentos (estrutura cognitiva e novo conceito) se modifiquem.

Para ilustrar, Ausubel apresenta um exemplo de uma sílaba sem sentido, como LUD [Ausubel, 1968]. Vemos que cada letra individualmente apresenta um significado, mas quando juntas não faz sentido. Não podemos trocá-las por letras equivalentes ou associá-las com alguma estrutura cognitiva de alguém.

Isto não acontece quando apresentamos o conceito de triângulo equilátero. “triângulo equilátero é um triângulo com os três lados iguais”. Em sua estrutura cognitiva, o aluno já sabe que um triângulo é uma figura geométrica formada por três lados e que ele pode associar que o triângulo equilátero é um caso particular. Assim a estrutura pré-existente no aluno serviu de ancoradouro para um novo conceito e o conceito de triângulo equilátero, para o educando foi transcrito para “o triângulo equilátero é aquele triângulo que tem os três lados iguais”.

Outros dois exemplos são mencionados por Moreira, como mostra as citações abaixo, que apresenta como um conceito novo, se relaciona e modifica com um conceito mais abrangente, que está disponível na estrutura cognitiva do educando:

“Em física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo, como a força e o campo eletromagnético. Entretanto neste processo de ancoragem da nova informação modifica o conceito subsunçor...

conforme novos conceitos fossem aprendidos de maneira significativa, isso resultaria num crescimento nos subsunçores iniciais... mais elaborados, mais inclusivos e mais capazes de servir de subsunçores para novas informações relativas a força e campo, ou correlatas”[Moreira, 1999].

“Quando uma criança toma contato, pela primeira vez, com um mapa de seu estado ou de seu país, mapa para ela é esse mapa e ponto final. Mas na escola vai ser apresentada a outros mapas ou a uma diferenciação de mapas, como mapa político, mapa geográfico, mapa mundial e por aí vai. Cada vez que aparece um novo mapa o conhecimento prévio sobre mapas é acionado, permitindo dar significado ao novo mapa e “melhorando” o conceito de mapa. Esse processo continua por muito tempo, com muitos mapas, até chegar, por exemplo, a mapas muito diferentes daqueles primeiros mapas como é o caso de mapas mentais e mapas conceituais.” [Moreira, 2016].

2.2.1 Aprendizagem mecânica versus Aprendizagem significativa

Na aprendizagem mecânica ou automática, conforme Ausubel, as novas informações relacionam de forma arbitrária e linear, ou seja, prevalece à memorização de informações. Ela não trás qualquer significado para o aprendiz e com pouca interação com a estrutura cognitiva do educando.

A aprendizagem mecânica não atua em um “vácuo cognitivo”, mas é caracterizado por **algum tipo de processo de associação** e não por **interação**, como no sentido usado na aprendizagem significativa, na estrutura cognitiva do educando [Moreira, 1983^a].

Segundo Ausubel, o relacionamento arbitrário e literal entre a nova informação com o subsunçor da estrutura cognitiva acarreta alguns problemas. Além de apenas uma simples associação entre as partes, à retenção da nova informação na memória é pouco eficiente, ou seja, a informação é lembrada por um curto período de tempo, ao menos que, seja reforçada pelo uso contínuo.

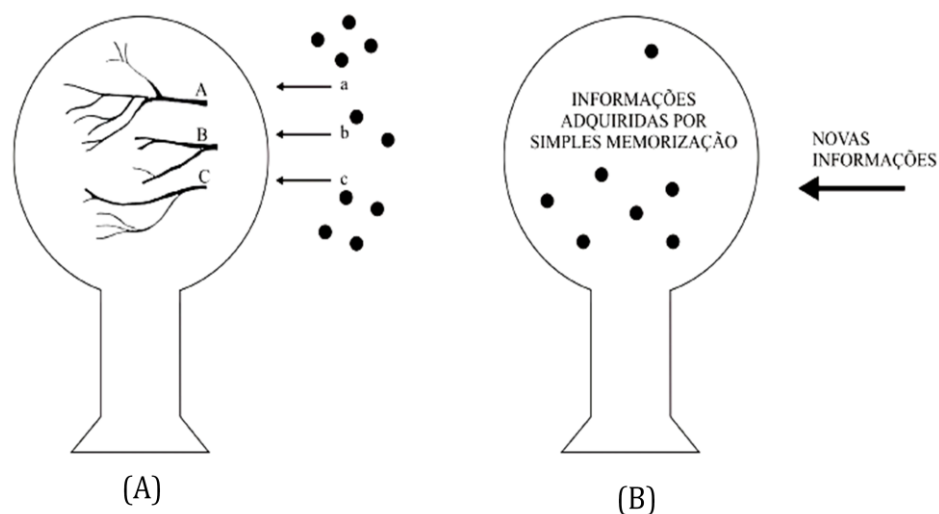


Figura 2.1(A) Aprendizagem Significativa. Os subsunçores A, B e C já existentes na estrutura cognitiva, podemos reparar que A é mais abrangente e com maior poder de generalizações que os subsunçores C e B (ordenado de forma crescente). As novas informações a, b e c interagem com a estrutura original, modificando-a. (B) Aprendizagem

Mecânica. As novas informações são simplesmente armazenadas, não há interação com os subsunçores existentes [Novak, 1977].

Isso não quer dizer que na aprendizagem significativa não iremos esquecer, mas o processo para relembrar o conteúdo é mais simples e fácil. Portanto lendo ou retomado o conteúdo, o indivíduo irá recordar, pois este faz parte da estrutura cognitiva. Podemos resumir em uma frase “sensação de que sabe, mas não lembra” [Moreira, 2016¹].

Aprendizagem mecânica é mais susceptível a interferência do material que foi aprendido anteriormente [Penteado, 1980], ou seja, por ser um conhecimento que não está integrado a estrutura cognitiva, mas sim associado, sua retirada ou modificação acontece de forma mais fácil e menos questionável.

Ausubel, na verdade, não estabelece uma distinção entre os aprendizados significativos e mecânicos, ou seja, uma dicotomia (divisão entre dois elementos de significados opostos), mas sim como um processo continuum, ou seja, não consiste em ou aprendizagem significativa ou aprendizagem mecânica. Há uma zona de progressividade, um “mais ou menos” [Moreira, 2016] entre as duas, com a possibilidade de um ensino potencialmente significativo. Isto é observado na citação de Moreira e mostrado na figura 2.2.

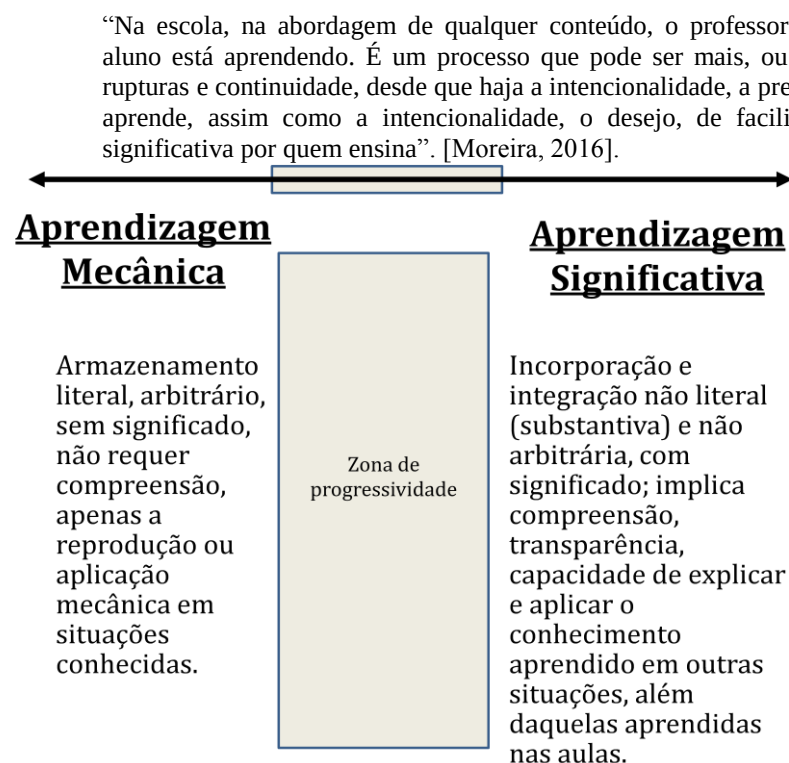


Figura 2.2 As consequências entre as aprendizagens significativas e mecânicas. [Moreira, 2016¹]

Como exemplo, podemos citar a seguinte situação: a memorização de fórmulas está no extremo deste continuum, o que seria a aprendizagem mecânica, enquanto o entendimento

e as relações entre conceitos estariam na outra ponta, o que seria a aprendizagem significativa [Moreira, 1983^a].

2.2.2 Tipos de aprendizagem significativa

Para Ausubel, temos três níveis de aprendizagem significativa: a representacional, de conceitos e proposicional.

A aprendizagem representacional, que é quando o indivíduo atribui significado a símbolos. Esta é considerada base para as outras aprendizagens, por isso é a principal forma com que crianças aprendem sobre o mundo a sua volta. Neste processo ocorrem dois padrões de estimulação: o primeiro é visual do objeto e o segundo é ter ouvido o nome que identifica o objeto.

No decorrer da experiência com o ambiente, o indivíduo percebe que nomes distintos são atribuídos a diferentes objetos, como também a objetos da mesma classe possuem o mesmo nome. Assim ele percebe que o som da palavra é muito próximo da imagem e como consequência, desvinculando o estímulo, ou seja, a necessidade de ver o objeto para associar a palavra [Penteado, 1980].

A aprendizagem de conceitos, onde esses símbolos adquirem conceitos mais abstratos, representando eventos e objetos. É de certa forma uma aprendizagem representacional, mas ela é mais geral e designada por cada cultura [Moreira, 1983^b].

Nesta aprendizagem o significado denotativo (sentido real) do conceito passa a se transformar em um significado conotativo (sentido figurado). Isso está relacionado com reações pessoais que o conceito provoca no indivíduo, dependendo das experiências particulares com a classe dos objetos [Penteado, 1980].

E, por último, temos a aprendizagem proposicional onde existe o aprendizado de ideias com a composição de palavras que formam proposições, ou seja, vão além dos significados [Moreira, 2016]. Ela ocorre quando a sentença a ser ensinada se relaciona e interage com a estrutura cognitiva já existente, ou seja, com o subsunçor.

“A tarefa é aprender o significado das palavras que está além da soma dos significados das palavras ou conceitos que compõe a proposição” [Moreira, 1999].

Como vimos, a estrutura cognitiva é hierarquizada, assim a proposição é formada por uma ideia composta, expressa por uma oração verbal que contém tantos significados denotativos quanto conotativos das palavras. A nova informação incluída implica em ideais mais amplas e gerais que aquela existente na estrutura cognitiva. Por tanto, a aprendizagem representacional é pré-requisito para uma aprendizagem proposicional [Moreira, 1983^b].

2.2.3 *Aprendizagem por recepção e descoberta.*

Descrevemos anteriormente a diferença entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica, mas não podemos confundi-las por uma aprendizagem por descoberta ou por aprendizagem por recepção.

Na aprendizagem por recepção, o conteúdo é aprendido na sua forma final, ou seja, pronto. Não exige do aluno nenhuma descoberta, mas apenas que aprenda e recorde do conteúdo passado. Já na aprendizagem por descoberta, o conteúdo não é dado na sua forma final, exigindo que o educando descubra o conteúdo principal [Penteado, 1980].

É tentador afirmar que a aprendizagem significativa ocorre por descoberta, como a aprendizagem mecânica ocorre por recepção, mas isso não é verdade. Segundo Ausubel apud Moreira, a aprendizagem por descoberta não é necessariamente significativa, pois o conceito tem que interagir com os conceitos relevantes da estrutura cognitiva, ou seja, com os subsunçores [Moreira, 1983^b].

Isso significa que tanto a aprendizagem por recepção como por descoberta, pode ser significativa ou mecânica, dependendo da forma como a novo conceito ou ideia é armazenado na estrutura cognitiva do aluno. Moreira explica essa afirmação com um exemplo.

“A solução de um quebra-cabeça por ensaio e erro é um tipo de aprendizagem por descoberta em que a solução é incorporada de maneira arbitrária a estrutura cognitiva, e, portanto, aprendido mecanicamente. Por outro lado, uma lei física pode ser aprendida significativamente sem que o aluno tenha que descobri-la. Ele pode receber a lei “pronta” e ser capaz de compreendê-la e utilizá-la significativamente, desde que tenha em sua estrutura cognitiva os subsunçores adequados” [Moreira, 1983a].

A aprendizagem por recepção, do ponto de vista psicológico, é menos complexa que a aprendizagem por descoberta. Esta última predomina quando há uma avançada maturidade cognitiva do educando. Assim, aprendizagem por recepção ou por descoberta não representa uma dicotomia, podendo ocorrer simultaneamente na mesma tarefa e se posicionando ao longo de um continuum, como ocorre na aprendizagem significativa e mecânica.

A melhor técnica de aprendizagem é aquela que proporciona uma aprendizagem significativa, e para isso, ela deve utilizar os subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva do aluno.

2.2.4 *A origem dos subsunçores*

Uma possibilidade é que os subsunçores são construídos através da aprendizagem mecânica, quando as novas informações se tornam relevantes e parte da estrutura cognitiva,

mesmo que sejam pouco elaborados. A partir disso vão se tornando mais elaborados, capazes de ancorar novas informações [Moreira, 1999].

Podemos fazer outra pergunta, de aonde vêm os primeiros subsunçores? A aquisição de significados vem de maneira gradual e peculiar a cada indivíduo. Em crianças se dá pela formação de conceitos, que é um tipo de aprendizagem por descoberta, envolvendo a criação de hipóteses e generalizações em situações específicas.

Na idade escolar, a criança, já apresenta subsunçores adequados para que ocorra a aprendizagem significativa por recepção, havendo a assimilação por conceitos, (ocorre quando há interação entre a estrutura pré-existente com os novos conceitos) [Moreira, 1983^a]. Este processo predomina na criança, em idade escolar, e também na fase adulta, de acordo com Ausubel.

“Uma vez que significados iniciais são estabelecidos para signos ou símbolos de conceitos, através do processo de formação de conceitos, novas aprendizagens significativas darão significados adicionais a estes signos ou símbolos e novas relações, entre os conceitos anteriormente adquiridos, serão estabelecidas” [Ausubel, 1968].

2.2.5 Organizadores prévios.

Para Ausubel, podemos usar organizadores prévios como uma forma de manipular a estrutura cognitiva do aluno, para facilitar a aprendizagem. Para isso, usamos materiais introdutórios, antes de apresentar a matéria, apontando alguns aspectos gerais do conteúdo. Este serve de ponte cognitiva entre aquilo que o aluno sabe com o que deve saber [Moreira, 1999].

Os organizadores prévios consistem em informações genéricas e abstratas que servem de ancoragem para conceitos mais específicos. Este, como o conteúdo, pode ser organizado de várias formas: uma afirmação, parágrafo descrito, uma pergunta, uma demonstração, filmes, textos, pesquisa desenvolvida pelos alunos, etc. [Penteado, 1980].

Estes materiais devem ter nível maior de abstração que o próprio conteúdo que se pretende ensinar. Assim ele não é um simples resumo, mas sim um conceito mais abrangente que transformará em subsunçor para um conteúdo mais específico.

Caso o material não seja familiar ao educando, utilizamos um organizador “expositório” (exibir) [Moreira, 1983^a] promovendo subsunçores próximos. Justificamos seu uso, pois conteúdos logicamente significativos incorporam-se e se tornam mais estáveis à estrutura cognitiva do educando, na medida em que estes são assumidos por ideias mais abrangentes [Penteado, 1980].

Se a nova informação é familiar ao educando, utilizamos um organizador “comparativo” que possibilita a integração entre os novos conceitos com os subsunçores similares disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Quando este já está estabelecido de forma adequada, os organizadores comparativos mostram diferenças e semelhanças entre ambas às ideias, melhorando a discriminação e facilitando a aprendizagem e a retenção dos conteúdos específicos [Penteado, 1980].

Portanto, o organizador prévio consiste em completar o espaço entre, o que o educando já sabe com aquilo que ele precisa saber da nova informação, para que este possa ser aprendido de forma significativa. Isto é feito através de um conjunto de ideias que devem ser organizadas e planejadas para a incorporação estável, como também, para a retenção dos conceitos mais detalhados que devem ser aprendidos. Além disso, o organizador prévio tem a capacidade de aumentar o discernimento entre o novo material e os subsunçores estabelecidos na estrutura cognitiva do aluno.

Como exemplo, vamos citar um estudo conduzindo por Ausubel apud Moreira, onde o objetivo era estudar sobre as propriedades metalúrgicas do aço carbono e como organizador prévio foi usado um material introdutório sobre ligas metálicas, suas vantagens e desvantagens.

“...o material de aprendizagem era tratava das propriedades metalúrgicas do aço carbono, foi usado como organizador “expositório” um texto introdutório que enfatiza as principais diferenças e similaridades entre metais e ligas metálicas, as suas respectivas vantagens e limitações a as razões de fabricação e uso de ligas metálicas. Esta passagem introdutória continha informações relevantes para o material de aprendizagem, porém foi apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Além disso, foi cuidadosamente construída para não conter informações sobre o próprio material de aprendizagem, pois não é essa a finalidade de um organizador prévio.” [Moreira, 1983^a].

Podemos concluir que o organizador prévio tem como principal função estabelecer uma ponte entre os subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aluno, com aqueles desejados. Ou seja, esta estratégia é um facilitador para a aprendizagem significativa. Assim, Penteado, citar as principais razões para utilizarmos os organizadores prévios.

- “1) A importância de o aluno ter, na sua estrutura cognitiva, ideias já disponíveis, que possam vir a ser relacionada com as ideias do conteúdo a ser aprendido;”
- “2) A vantagem de se usar ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina como ideia âncora: sua inerente estabilidade, seu grande poder explanatório e sua capacidade integrativa;”
- “3) O organizador identifica o conteúdo já existente na estrutura cognitiva e indica, explicitamente, sua relevância para o novo material.” [Penteado 1980].

Não podemos deixar de mencionar o quanto a aprendizagem para Ausubel é individualizada e pessoal. Ela exige um trabalho de investigação, o que possibilita a utilização

de técnicas e ferramentas eficientes, por parte dos profissionais que estão envolvidos com a educação do aprendiz.

Isto não exige mudanças radicais no ensino ou o uso de recursos tecnológicos avançados, mas sim, a utilização de métodos mais eficientes que estão ligadas ao cotidiano da escola.

A sala de aula, apesar de muitas críticas, está voltada para uma aprendizagem receptiva, mas que para Ausubel, é uma das formas mais eficientes de aprendizagem quando o objetivo é adquirir um conhecimento claro, estável e organizado.

Capítulo 3

Breve análise do ensino de óptica do olho humano

3.1 Motivação

Tudo começa como uma angústia pessoal, nas rodas de conversa com colegas de trabalho, sobre o quanto está difícil ensinar, principalmente física, aos nossos estudantes. Esse problema foi relatado no meu Plano de Trabalho, entregue durante o processo seletivo na escolha dos candidatos do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 35 UEPG:

“Como professor, nestes 10 anos de experiência, vejo um ensino médio que está perdendo a identidade e o que resta da pouca qualidade. Mas a situação mais grave é o baixo interesse nas ciências exatas, frequentemente taxada de difícil e complicada. Isto implica em uma elitização no estudo, onde hoje o nosso jovem tem acesso à escola, mas como no passado, continua não tendo acesso à educação”.

“Confesso que estou cansado de ouvir soluções e pedagogos com suas “pedagogias de gabinete” onde a teoria e a prática estão em patamares diferentes. As novas propostas de ensino são interpretadas como um jogo de “caça as bruxas”, onde que existe um único culpado: o professor”.

“Reconheço que a formação e qualidade do educador são vitais e fazem parte do processo de melhoria na educação, mas precisamos de políticas públicas e pessoas que realmente pensem no amplo contexto do sistema educacional”.

A física tem sido vista pelos educando como sendo algo difícil devido à sua abstração e matematização excessiva, como abordado tradicionalmente nos problemas e exercícios proposto em livros, apostilas e pelos próprios educadores. A aprendizagem se transforma em treinamento e memorização com a finalidade de passar no vestibular.

Sabemos que a linguagem matemática é umas das formas que a física utiliza pra expressar os modelos, mas ela está distante do interesse e praticidades dos alunos, ou seja, não é significativa.

O desinteresse dos alunos em aprender física tem, entre outras causas, o não entendimento das linguagens tanto da língua portuguesa como da matemática, além da falta de compreensão, dos significados de modelos e conceitos.

O uso de modelos para explicar as teorias e fenômenos da natureza, de modo geral, é bastante simplificado no ensino médio. Estes modelos se aplicam em casos muito específicos

e sem praticidade, onde o objetivo maior é encontrar um valor numérico utilizando uma equação, sem o devido valor ao seu significado físico.

A simplificação, muitas vezes, não se encaixa com o senso comum do aluno, leva-o ao entendimento errado dos conceitos, a uma ciência absoluta e sem conexões com outras áreas. Mas o que é pior, que com o método de aprendizagem ineficiente, a habilidade de solucionar, raciocinar e tomar atitudes do indivíduo é prejudicada, afetando a solução ou seu posicionamento como cidadão, em problemas que vão além da escola.

Outro fator que explica o desinteresse na física é tratar o aluno, como mero receptor e reprodutor do conhecimento, desprezando aquilo que ele já sabe. No ensino médio, o educando tem a necessidade de ser protagonista, propor ideias, questionar e ser questionado com fundamentação teórica adequada. Isso ajuda a compreender a intenção daquilo que está sendo proposto em sala de aula, que é a transposição o saber aprendido na escola para o mundo em volta estudante.

As aulas, em geral, exploram as fraquezas dos alunos, pois há falta de discussão dos conceitos, leis, teoremas e teorias da física, relacionando dados quantitativo e qualitativo, ou seja, não há discussão de resultados ou relacionamento entre equações e teoria, mas sim a simples mecanização das fórmulas matemáticas.

As causas do baixo interesse nos estudos das ciências do ensino médio, de acordo com Marcos Antônio Moreira [Moreira, 1983^a], podem ser justificadas por:

1. O estudo das ciências no ensino fundamental se baseia em fenômenos biológicos, transferindo toda a responsabilidade de explicar a linguagem e os métodos utilizados, nas poucas aulas de física do ensino médio. Isso faz com que o aluno construa uma motivação negativa em relação à física.
2. Falta de preparo e/ou formação dos professores tanto no domínio de conteúdo quando de metodologia de aprendizagem afetam consideravelmente a qualidade do ensino. Em alguns casos, mesmo dominando o conteúdo e sabendo transmiti-lo da maneira correta, alguns professores dificultam o ensino da física por uma questão de “reforço social”, ou seja, o prestígio com os educandos e entre os colegas de trabalho aumenta quando os alunos, mesmo estudando bastante, tiram notas baixas.
3. Possíveis causas, o excessivo número de alunos, redução da carga horária das disciplinas de ciências e a falta de atividades de laboratório, pois quando existe, o método de ensino experimental é inadequado e pouco significativo aos alunos.

Marcos Antônio Moreira termina escrevendo:

“Por que os alunos não gostam de física? Provavelmente porque, em geral, o tipo de ensino que recebem (talvez independentemente dos recursos instrucionais utilizados) é inadequado” [Moreira, 1983a].

O problema da falta de interesse dos alunos não é exclusivo da física, tão pouco da ciência. Mas o eixo ciências exatas, é o grupo de matérias em que os educando apresentam maiores dificuldades, contribuindo para a desistência da escola e eventuais prejuízos na vida educacional, social e econômica do indivíduo e de todos em torno de si.

Com a “educação para todos” promovida pelos programas governamentais há uma grande demanda de vagas nas escolas que possuem estruturas físicas, administrativas defasadas, com mentalidades e procedimentos inadequados, em frente à necessidade educacional brasileira. O que afeta drasticamente a qualidade do ensino.

Logicamente tem coisas que podemos reivindicar e cobrar, mas a formação dos professores deve sim acompanhar as novas tendências, sem perder o foco no conhecimento e na arte de ensinar.

Para isso, devemos ter boas condições de trabalho, recursos didáticos e uma carga horária adequada, para um bom andamento das atividades escolares. Mas o maior fator mais impactante que afeta diretamente na qualidade da educação, é a formação do professor. Ou seja, o profissional da educação deve ter formação adequada na graduação e, ser e estar sendo incentivado a refletir sobre seus métodos, com formações continuadas ao longo de sua carreira.

3.1.1 O produto educacional

Olhando o que podemos fazer em sala de aula, como professor, pensamos na necessidade de resgatar o prestígio de aprender, simplificada na frase “Aprender a Aprender”.

Mas como fazer isso? No nosso entendimento, o aluno deve ser protagonista no processo de ensino e aprendizagem. Vemos que tanto o nosso educando como o educador, é carente de produzir, de concretizar ideias, de comparar resultados e modelos teóricos.

Com base na participação do aluno, vamos propor um projeto para o ensino de óptica geométrica com o estudo do olho humano, promovendo a construção de um simulador didático. Este produto é formado por uma lente flexível que enfatiza o processo de acomodação do cristalino. Vamos utilizar a aproximação teórica dos raios de luz paraxiais,

com um diferencial: além de simular raios de luz paralelos ao eixo óptico principal, como geralmente é abordado no ensino médio, simularemos situações com raios de luz divergentes.

Como organizador prévio, previsto na teoria de aprendizagem de Ausubel, será proposta uma série de atividades como a construção de uma câmara escura, estudo dos conceitos e elementos ópticos usando recursos computacionais, dissecação do olho de boi e classificação das imagens (natureza, orientação e tamanho) usando uma lente de retroprojeto.

Essas atividades têm como objetivo potencializar a criação dos subsunçores, necessários para que as aproximações e teorias apresentadas, sejam mais significativas aos alunos. Além disso, a forma de apresentação e execução, dessas atividades incentivam a observação, a discussão e criação de hipóteses dos fenômenos físicos apresentados.

O produto proposto irá explorar os limites teóricos, problematização e construção de conceitos físicos. Isso faz com que os alunos confirmem, refutem e/ou confrontem ideias previamente concebidas, promovendo a construção de um novo conhecimento.

3.2 Estado da arte: estudo do olho humano na física no ensino médio

Vamos iniciar fazendo uma análise de três produtos educacionais, que promovem o estudo da óptica do olho humano e que estão disponíveis na internet: dois artigos da Revista Brasileira do Ensino de Física e uma sequência didática produzida pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP). Selecionamos estes materiais por sua relevância e potencial aplicabilidade em sala de aula.

Em seguida vamos analisar dois livros didáticos. Não iremos nos aprofundar, pois estamos mais interessados nas propostas de atividades que oferecem apoio pedagógico e metodológico ao trabalho do professor. O livro, apesar da sua importância, potencializa essa ação, dando ao educador suporte teórico às discussões promovidas em sala de aula.

Em seguida, vamos analisar vídeos disponíveis no site de compartilhamento “youtube” que abordem o nosso tema de estudo. Em especial vamos destacar quatro vídeos: um simulador caseiro que se destaca pela utilização de uma lente flexível, outro vídeo que mostra uma experiência que estuda o olho humano apresentada em uma feira de ciências, e outros dois pequenos filmes que, usando modelos didáticos comerciais do olho humano, fazem um breve estudo da anatomia do olho humano.

Ao final vamos destacar dois modelos didáticos comerciais do olho humano, um que simula o processo de acomodação do olho, com uma lente flexível, e outro que mostra a formação da imagem na retina usando lentes fixas.

3.2.1 Produtos educacionais existentes

O artigo “SDCO - Simulador didático do cristalino ocular” [Guedes, Braun e Rizzatti, 2000] descreve um aparato experimental semelhante ao nosso produto educacional, pois utiliza uma lente flexível que simula o efeito da compressão dos músculos ciliares sobre o cristalino.

A lente proposta é de fabricação caseira, com materiais de fácil acesso e manuseio. Ela é feita dos seguintes materiais: mangueiras flexíveis, sifões de borrachas, suportes, discos de PVC transparente (usado em forno de micro-ondas) e cola. O aparato experimental, preenchido com água, simula o processo de acomodação do cristalino, como mostrado na figura 3.1 abaixo.

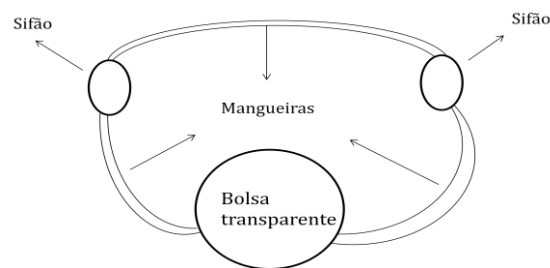


Figura 3.1 SDCO fabricado com materiais simples, este aparato, simula a mudança de formato do cristalino [Guedes, Braun e Rizzatti, 2000].

Uma bolsa feita com os discos de PVC e preenchida com água se torna uma lente convergente, que representa o cristalino. A compressão feita pelos músculos ciliares sobre ele é simulada pela compressão dos dois sifões.

No artigo foram propostas duas aplicações do SDCO, usando feixes de luz provenientes de lasers: a primeira com um feixe de raios paralelos e a segunda com feixe de luz divergente. Estes dois casos procuram explicar, respectivamente, as situações de um objeto distante e de um objeto próximo ao olho.

Usando um anteparo como retina e o feixe luminoso de raios paralelos, se posiciona o SDCO até que haja convergência dos raios de luz refratados, em um único ponto. Sem mexer na posição do SDCO modificamos o feixe de luz de paralelo para divergente e notamos que os raios luminosos não convergem no mesmo ponto. Assim apertando os sifões, deixamos a bolsa com um formato mais curvo, pois reduzimos o raio de curvatura de suas superfícies, possibilitando a luz convergir novamente para um único ponto.

Os procedimentos e os materiais do aparato experimental são de fáceis entendimentos e acesso, e ilustra de forma lúdica o processo de acomodação, mas não temos uma proposta didática consistente. Não foi mencionada a possibilidade de realizar medições e compará-las com algum modelo teórico, tornando o aparato mais informativo e demonstrativo. As

grandezas físicas que devem ser mensuradas e discutidas e isto, no ambiente escolar, devem ser oportunizadas aos alunos.

O segundo artigo analisado “Alguns aspectos da óptica do olho humano” [Helene e Helene, 2011] usa uma lente fixa para construir um modelo didático do olho humano. De acordo com o autor, foi utilizada uma abordagem progressista. Este artigo descreve um panorama geral do globo ocular, as partes mais importantes e aplica conceitos de óptica geométrica para explicar o comportamento da luz dentro do olho humano.

Em um primeiro momento, é feita uma introdução sobre o olho de modo geral, explicando sua importância para os animais e os diferentes tipos encontrados na natureza. Discuti o processo evolutivo e sua importância no desenvolvimento do olho humano.

Em seguida são abordadas e explicadas as principais funções das partes que constituem o globo ocular. Mas é dada maior ênfase aos elementos ópticos do olho humano e as aproximações, como a esfericidade das superfícies dos dióptros e dos índices de refração, necessária para se adequar ao modelo proposto. São fornecidos dados qualitativos, mas principalmente subsídios quantitativos, como raios de curvatura das superfícies, índices de refração e dimensões do globo ocular.

Logo após, são descritas algumas aproximações. Inicialmente considera-se o olho como uma esfera simples com um pequeno orifício, uma câmara escura. O autor chegou à conclusão que não seria possível diferenciar dois pontos entre si a uma distância menor de 5 m, ou seja, não teríamos acuidade visual suficiente para distinguir as teclas do teclado de um computador ou copos em uma prateleira. As dimensões do furo e da câmara escura são os mesmos encontrados, respectivamente, na pupila e do globo ocular humano.

Em seguida foi proposto que preenchesse a esfera com um líquido transparente com índice de refração igual aos humores líquido e vítreo com valores próximos ao índice de refração da água ($n = 1,330$ para $\lambda = 589,29 \text{ nm}$) [Zajac, 2003].

Utilizando a lei de Snell e dos raios paraxiais chegaram a uma equação que localiza o ponto focal do sistema óptico proposto. Em comparação com o olho, o ponto focal estaria a uma distância duas vezes maior que o diâmetro do globo ocular de um ser humano, mas mesmo assim melhoraria a acuidade visual.

Foi acrescentada uma superfície transparente e abaulada, ou seja, com menor raio de curvatura, na frente do orifício da esfera descrita anteriormente. Utilizando a equação dos dióptro esférico, e substituindo os valores dos raios de curvatura das superfícies e do índice de refração da córnea, foi possível determinar que o ponto focal.

Concluiu-se que o ponto focal aproximou-se em $\frac{3}{4}$ da distância necessária para colocá-lo na região correta da retina. Assim chegando à conclusão que a córnea é responsável por grande parte do poder de convergência do olho humano e melhora consideravelmente a imagem produzida.

Na explicação de como o olho é capaz de criar uma imagem de ótima qualidade, o artigo explica que, através do cristalino, é possível posicionar a imagem produzida em uma região especial da retina, a fóvea. Usando a mesma equação do diopetro esférico e os dados da posição da imagem gerada pela córnea e os dados do cristalino, é possível determinar o ponto focal que coincidem próximo (não é exato devido o as aproximações levadas em consideração) no fundo do olho, na retina.

Assim o artigo constrói boa fundamentação tanto teórica como matemática, do comportamento da luz dentro do globo ocular com linguagem acessível. Ao final ele propõe um modelo didático do olho humano, usando uma esfera maciça de vidro de 5 cm de diâmetro, papel alumínio e material translúcido (saco plásticos branco de embalagens).

O modelo do olho humano é feito cobrindo-se a metade da esfera com papel alumínio e fazendo um pequeno furo ao seu centro, simulando o orifício da pupila. A outra metade é coberta com material translúcido, simulando o comportamento da luz dentro do aparato óptico do olho humano.

A imagem produzida é real e invertida em relação ao objeto, projetada sobre o fundo da esfera, no lado oposto da pupila sobre o material translúcido. O artigo propõe algumas aplicações, como por exemplo, o uso das lentes convergentes e divergentes para simular a correção dos problemas de visão, respectivamente, de pessoas com hipermetropia e miopia.

Outra possibilidade de discussão, proposta pelos autores do artigo é explorar a qualidade da imagem em função do tamanho do orifício. Eles chegaram a conclusão que, quando não há correção óptica, o melhor recurso é reduzir o tamanho da pupila melhorando a qualidade da imagem, mas em compensação a luminosidade da figura projetada é prejudicada. Da mesma forma, o inverso também acontece quanto maior o orifício pior será a qualidade da imagem.

Vemos que neste artigo, houve uma preocupação com a construção de um modelo teórico eficiente que explicasse o comportamento da luz dentro do globo ocular. Este modelo tem o caráter demonstrativo, não favorecendo a possibilidade de tirar medidas experimentais. Também não houve a explanação de uma metodologia de ensino e aplicação mais consistente do experimento.

O terceiro documento analisado foi disponibilizado pela Faculdade de Educação da USP. A sequência didática “Óptica do olho humano” [Pietrocola, 2010] tem como objetivo mostrar a formação da imagem no olho humano utilizando experimentos simples e aplicando os conceitos da óptica geométrica. O público alvo são alunos do ensino médio.

São 6 aulas com três propostas de atividades experimentais: a construção de duas câmaras escuras, uma simples e outra com lente, e um terceiro experimento que reproduz a convergência da luz dentro do olho humano, usando um kit de óptica da FUNBEC⁴.

O primeiro experimento utiliza uma câmara escura feita com lata de tomate, daquelas com um furinho no meio da tampa, usando papel vegetal como anteparo para a projeção das imagens. A imagem formada não é tão nítida, mas mostra que ela é invertida e real. Lembrando que uma câmara escura é uma primeira aproximação que podemos fazer do olho humano. O furinho desempenha o papel da pupila e a lata representando a esclera opaca.

A segunda câmara escura usa com globo de luminária leitoso de PVC, que faz o papel do globo ocular, e uma lupa, que representa o conjunto córnea + humor aquoso + cristalino, principais responsáveis pela convergência da luz. Esta experiência mostra de maneira simples, a estrutura do globo ocular e a região onde se forma a imagem.

A terceira experiência usa luz artificial com fendas que subdividem a luz em feixes paralelos entre si. Desta forma, o aluno pode observar claramente como é efetuada a convergência da luz e sua focalização final na retina. Nos dois experimentos anteriores, os feixes também são paralelos (pois o objeto está no infinito), mas não facilmente visualizados como tal. Use-se também um desenho esboçando-se o do olho humano para melhor compreensão.

O material dá todo um suporte teórico, com linguagem simples e acessível. Disponibiliza um mapa conceitual sobre a luz, que explora os conceitos da óptica geométrica, assim como da óptica física e quântica. Há também um texto de apoio, que comenta sobre os problemas de visão [Pietrocola, 2010] e o correspondente prejuízo no rendimento escolar e duas figuras: uma que mostra com detalhes as partes do olho humano, com uma boa resolução, e o segundo que é um desenho planificado do olho humano que destaca, principalmente, os contornos do globo ocular, na qual será usada no terceiro experimento.

⁴ Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências teve origem na Universidade de São Paulo. Fundação Privada e recebendo pouco apoio do governo, sua principal renda era a venda de kits de ciências para a população em geral, durante as décadas de 60, 70 e 80.

A coleção “Os cientistas” foi seu ponto auge, onde que cada lançamento continha a biografia e um kit experimental relacionado com o cientista. Influenciou gerações e teve um importante papel na divulgação da ciência para as massas, pois além da qualidade, estava disponível em locais de fácil acesso, como nas bancas de jornal e revista.

O material dá suporte ao professor, sugestões de planos de aulas, cronogramas e roteiros experimentais, fornecendo assim amparo pedagógico com metodologia de como aplicar o projeto em sala de aula.

3.2.2 Livros didáticos

Nos livros atuais do ensino médio são feitas as seguintes abordagens sobre o olho humano: partes do globo ocular, processo de acomodação e das principais problemas de visão como a miopia e a hipermetropia.

Nos livros mais antigos é comum ter um capítulo especial só para o olho humano, como o livro, do antigo científico, de Dalton Gonçalves [Gonçalves, 1964]. De maneira mais qualitativa, ele aborda pontos relevantes como o processo de acomodação do cristalino, ponto cego, ângulo visual, acuidade visual, sensação de relevo, além das partes, funções e doenças do olho humano.

Usando nível de escrita e matematização adequados para alunos do ensino médio, Dalton Gonçalves consegue relacionar os conteúdos de óptica apresentados anteriormente, com o funcionamento do olho humano.

Na maioria dos livros contemporâneos analisados, encontramos o modelo de raios de luz paraxiais (feixe formados por raios de luz muito próximos e com pequeno ângulo θ em relação ao eixo óptico principal) sendo usado para explicar os fenômenos ópticos. As vantagens deste modelo, já comentado no capítulo 1, são muitas, mas o problema é a forma como isso é mostrado e ensinado ao estudante. É ministrado como algo sempre verdadeiro e válido para quaisquer situações em óptica. Não há exploração dos limites de validade da teoria ou a discussão, de maneira adequada com os alunos, sobre a aproximação de Kepler.

A aproximação de Kepler significa que a curvatura, das lentes esféricas que compõe o sistema, é tão pequena que podemos aproximar o ângulo θ (ângulo entre o raio de luz e o eixo óptico principal) com o valor de seu seno. ($\sin\theta \approx \theta$).

Outra característica é a abordagem usada para formar as imagens na retina. Em geral, explica-se utilizando somente em uma situação: com raios de luz paralelos entre si e ao eixo principal, simulando um objeto distante do olho humano.

Mas com objetos próximos, essa aproximação não é adequada, pois os raios de luz fazem um ângulo com o eixo óptico principal do aparato óptico, caracterizando um feixe de raio de luz divergente. Estas abordagens levam o aluno a entender que as imagens formadas na retina são sempre explicadas com raios de luz paralelos.

Vamos citar dois livros didáticos para ensino médio, de autores bastante conhecidos da área: “Física: História e Cotidiano” [Bonjorno e Clinton, 2005] e “Compreendendo a Física” [Gaspar, 2014^a]. O Primeiro é um livro usado na rede de ensino privado e o outro está disponível para escolha na escola pública, através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do Ministério de Educação e Ciência (MEC).

O livro “Física: História e Cotidiano” [Bonjorno e Clinton, 2005] é mais destinado aos alunos que desejam se preparar para os concursos de vestibulares. Apresenta um conteúdo mais enxuto e com exercícios dos principais processos seletivos do Brasil.

Ele faz um esboço da estrutura do olho humano, nomeando as principais partes (Figura 3.2^a). Cita a acomodação do cristalino, abordando que há variação de distância focal, através de compressão deste órgão.

Os autores fazem uma aproximação do cristalino como uma lente convergente delgada, mostrando a convergência da luz na retina (Figura 3.2^b). Comentam as funções da retina e da íris. Abordam as doenças mais comuns da vista, como a miopia, hipermetropia, presbiopia, astigmatismo e estrabismo.

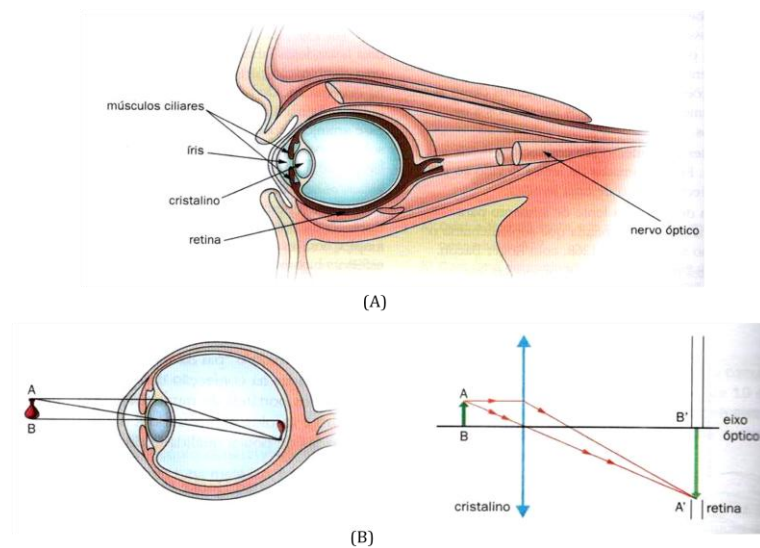


Figura 3.2: (A) Esboço das partes do olho humano (B) Comparação do cristalino com uma lente delgada de convergente. [Bonjorno e Clinton, 2005^a].

No capítulo analisado, é comentado sobre o processo de acomodação do cristalino. Os autores utilizam 2 figuras (Fig. 3.3), onde que é possível ver um aumento na espessura no cristalino quando o objeto é aproximado ao olho. Vemos que a imagem formada na retina é traçada usando os raios de luz divergentes, mas não há menção para qual situação se aplica.

Vemos também que nas figuras a luz sofre refração somente no cristalino. Isso se deve ao fato da aproximação do olho com uma lente delgada convergente, ocorrendo refração somente nos planos principais do aparato óptico.

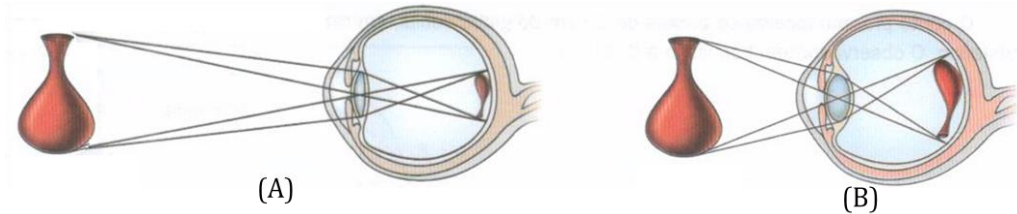


Figura 3.3 O desenho ilustra o aumento do cristalino com a aproximação do objeto. Vemos também que a refração dos raios de luz incidentes ocorre no cristalino. [Bonjorno e Clinton, 2005^b].

No final do capítulo, temos as sugestões de experimentos da unidade. Apresenta experiências simples, mas com bom potencial de aprendizado, pois deixa perguntas abertas aos alunos que executarem tais atividades. Sobre óptica, temos 2 experimentos, um sobre espectros com prisma e outro sobre projeção de imagens reais.

O segundo livro analisado foi o “Compreendendo a Física” [Gaspar, 2014^a]. Este livro tem uma abordagem mais conceitual, prevalecendo a leitura de textos e a resolução de questões abertas.

Ele descreve com detalhes as principais partes do olho humano, utilizando argumentos qualitativos e alguns quantitativos com linguagem acessível. Além disso, esboça o olho com maior detalhamento usando figuras e fotos bem coloridas e em diferentes perspectivas (fig. 3.4).

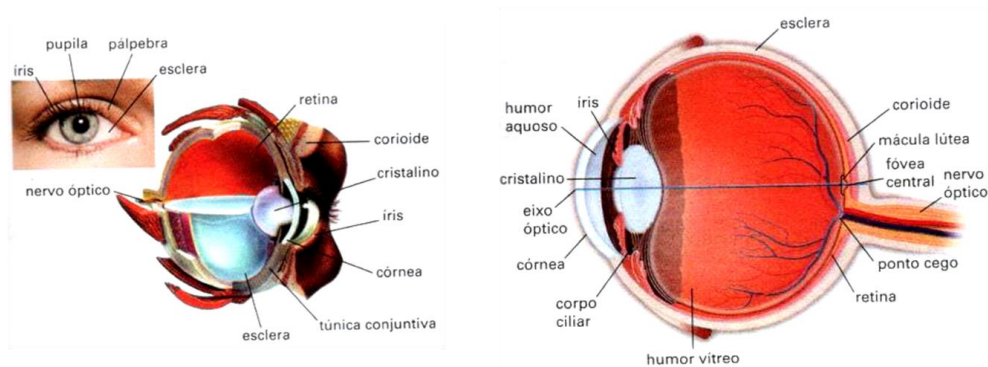


Figura 3.4 Diferentes perspectivas do esboço do olho humano usado pelo autor. [Gaspar, 2014^a].

O autor fala sobre o processo de acomodação do cristalino, fornecendo alguns dados quantitativos, como por exemplo, o valor do índice de refração médio e a sua variação ao longo da sua extensão.

No subtítulo defeitos da visão, o autor mostra a formação de imagens utilizando os modelos de feixe de luz paralelos e divergentes. Para isso, parte da definição das distâncias do ponto remoto e ponto próximo do olho humano.

Utilizando duas ilustrações, como é visto na fig. 3.5, o autor relaciona a distância do objeto com o tipo do feixe luminoso. Na primeira figura, o autor mostra a formação da imagem usando feixe de luz paralelo, relaciona com o ponto distante ($P \rightarrow \infty$) e comenta que o cristalino está relaxado. Na segunda figura, o autor mostra a formação da imagem usando feixe de raios de luz divergentes, relaciona com o ponto próximo (d_o) e comenta que o cristalino está em máxima contração.

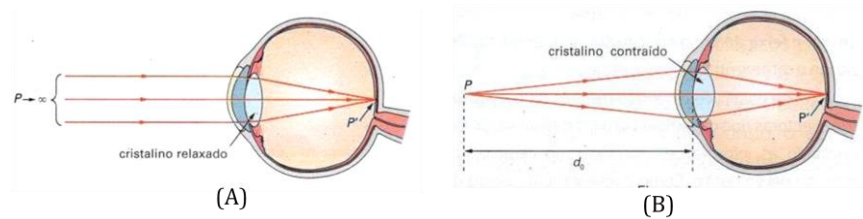


Figura 3.5 Apesar de não estar escrito, o autor mostra relaciona o tipo de feixe de luz com a distância do objeto. [Gaspar, 2014^b].

O autor explica, com bom aprofundamento, os defeitos mais comuns da visão e os procedimentos necessários para corrigi-los. Também sugere algumas atividades experimentais de óptica geométrica com lentes fixas, mas nenhuma delas relacionada diretamente com o olho humano.

3.2.3 Modelos didáticos do olho humano encontradas em vídeos

O compartilhamento vídeos na internet é um bom meio de divulgação das propostas didáticas, pois além do fácil acesso, podemos analisar materiais de outros lugares do mundo.

O vídeo “Accommodation of the lens in our eye” [Muguli, 2016] mostra um modelo caseiro do olho humano e apresenta algumas semelhanças com o nosso produto educacional, pois utiliza uma lente flexível. A autora do vídeo usa um desenho do olho humano com um furo no meio, que representa a pupila, um saco plástico transparente preenchido com água que simula o cristalino e um fundo branco que faz o papel da retina.

Usando cabides, ela pendura e posiciona em sequência, o desenho do olho humano, a lente flexível e o anteparo. Uma imagem é projetada no anteparo quando uma vela, que serve de objeto, é posta na frente e no centro do desenho.

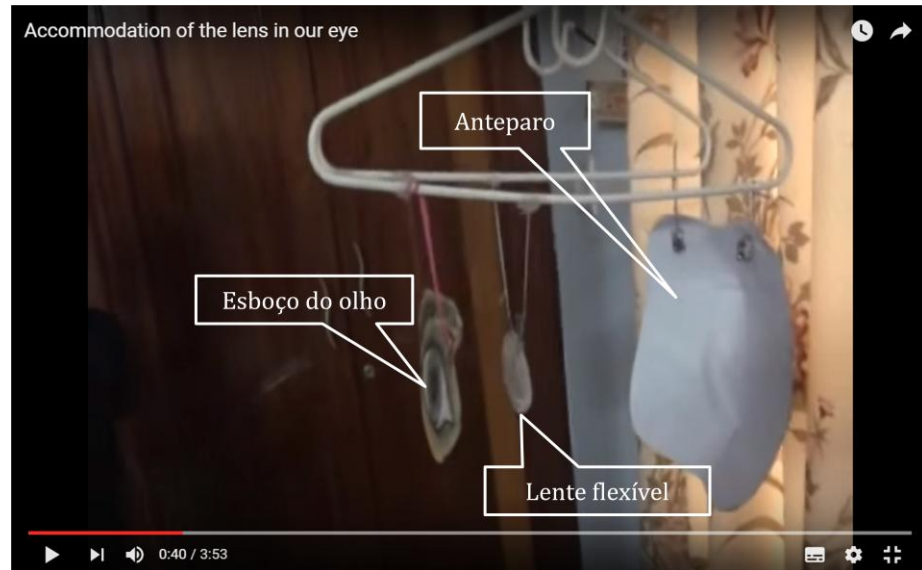


Figura 3.6: Principais partes do simulador do olho humano. No desenho, a seta mostra a localização do furo, que faz o papel da pupila. Os elementos do simulador ficam suspensos, o que facilita ajustes de distâncias para melhor focalizar as imagens no anteparo. [Muguli, 2016].

Inicialmente, a autora afirma simular o processo de acomodação do olho, preenchendo a lente flexível com água e aproximando a vela ao desenho do olho. Ela discute o tamanho da imagem projetada, que é ampliada, e relaciona isso, com a distância entre objeto e esboço do simulador.

Em seguida, usando uma seringa, a autora retira água da bolsa, simulando o relaxamento do cristalino. E da mesma forma que antes, ela aproximou a vela ao simulador projetando uma imagem, mas menor que no caso anterior.

Temos que lembrar que o cristalino não tem a função de ampliar a imagem, mas sim de mantê-la sobre uma região especial da retina, na fóvea.

Neste caso, a autora não mudou a distância do objeto, no caso a vela, o que passou a sensação de que o cristalino tem o efeito de apenas uma lupa. A lente do cristalino se ajusta em função da distância do objeto para manter a imagem sobre a retina, ou seja, a posição da imagem é fixa, mas a ponto focal do cristalino é variável.

Outro vídeo pesquisado “Modelo de olho humano - Feira de Ciências CBNB 2013” [Lacerda,2016]. As autoras usam um aquário com água que simula o cristalino e duas folhas de papel que representam a pupila e a retina.

Usando uma vela, as autoras mostram e explicam que a imagem é formada na retina e, para isso, utilizam o aparato experimental. Elas também simulam e discutem os problemas de visão mais comuns, como a miopia e a hipermetropia. Não há como simular o processo de acomodação do cristalino porque a lente é fixa.

Outros vídeos “Human A&P: Anatomy of the Eye”[Danny, 2016] e “112 Eye Anatomy” [Colleybiology, 2016] usam modelos didáticos comerciais que permitem a visualização e a desmontagens de seus vários componentes. A vocação destes modelos é mais dirigida para a apresentação do olho humano por parte do professor e não comenta nada sobre o processo de acomodação do olho humano, menos voltada para uma interação direta do aluno com o experimento.

3.2.4 Modelos didáticos do olho humano comerciais

Vamos apresentar dois modelos didáticos do olho humano. São equipamentos que simulam a formação da imagem na retina, mas usam lentes de diferentes tipos: uma lente flexível e outra um conjunto de lentes fixas.

A primeira descrição é do “Modelo anatômico do olho humano” [Scientific, 2016]. Ele se destaca por usar uma lente flexível de silicone e um sistema de seringas, que simula a compressão do cristalino pelos músculos ciliares. Esse sistema permite focalizar a imagem de um objeto em diferentes posições, sem alterar as posições da lente ou do anteparo onde a imagem é formada.

O modelo faz o ajuste da imagem, modificando a espessura da lente comprimindo ou relaxando-a com o auxílio de um sistema pneumático formado pelas seringas, como ocorre no processo de acomodação do olho humano.

O modelo trás a proposta de simular as principais doenças do olho humano e dá a possibilidade de fazer a correção utilizando um conjunto de lentes esféricas que vem junto com o kit. Além disso, temos um anteparo no fundo do modelo que faz o papel da retina, onde é possível visualizar dois círculos que representam a mácula e o ponto cego do olho humano.

Atualmente este protótipo é vendido por mais US\$ 800 (base 2016) no site da empresa. Eles também fornecem a reposição da lente flexível por mais de US\$ 200 (base 2016)

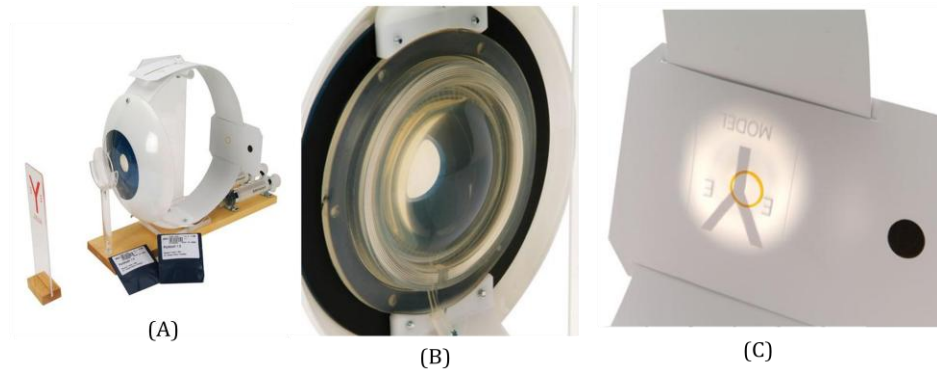
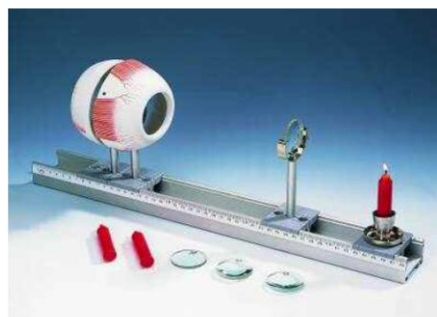


Figura 3.7 (A) Visão geral do equipamento. Vemos o sistema pneumático que simula o processo de acomodação do cristalino. Há também, uma lente esférica para corrigir algum problema de visão simulado. (B) A lente flexível que simula o cristalino. (C) Detalhe da imagem real e invertida formada na retina, em especial sobre a mácula, representada pelo círculo amarelo. Há também o ponto cego representado pelo círculo preto. [Scientific, 2016].

A segunda descrição é o “Modelo funcional do olho humano” [Roma,2016], vendido por um site de Portugal, aparato experimental usa lentes fixas de diferentes distâncias focais para simular a formação da imagem na retina. O interessante deste kit é que apresenta propostas de utilização em aulas. São propostas que exploram a formação de imagens na retina, doenças da visão e o uso de lentes corretivas em um total de oito experimentos. Não foi encontrado o valor de venda do equipamento.



(A)

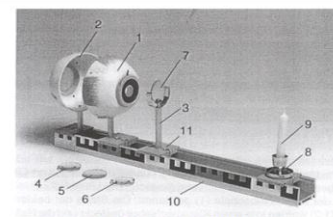


Fig. 4 O modelo funcional do olho humano.

O modelo é composto pelas seguintes peças:

- 1- Reprodução de metade do olho com diafragma de iris ajustável e suporte de lente.
- 2- Reprodução de metade do olho com abertura em vidro fosco, mácula amarela e cega.
- 3- Suporte para lente
- 4- Lente biconvexa S1 ($f=65\text{mm}$)
- 5- Lente biconvexa S2 ($f=80\text{mm}$)
- 6- Lente biconvexa S2 ($f=300\text{mm}$)
- 7- Lente biconcava B1 ($f=200\text{mm}$)
- 8- Suporte para vela
- 9- Vela (2x)
- 10- Calha com 50cm de comprimento
- 11- Cursor (4x)
- 12- Pés suporte para calha
- 13- Instruções

(B)

Figura 3.8 (A) Aparato experimental do modelo funcional do olho humano. (B) Peças que vem junto com o kit experimental. O conjunto possibilita a focalização da imagem na retina em diferentes posições do objeto, com as trocas das lentes fixas que vem no kit. [Roma,2016].

3.2.5 Conclusão

Com base na pesquisa no sites de busca (Google, Google Acadêmico,) e de compartilhamento de vídeos (youtube), não foram encontradas propostas didáticas iguais ao nosso produto educacional.

Podemos considerar nosso trabalho como sendo inédito, pois mesmo nas revistas e artigos em educação, foram encontrados muitos poucos trabalho sobre o simulador didático do processo de acomodação do olho humano. Nosso produto se estaca, pois além de explorar

o processo de acomodação do cristalino, ele aborda informações qualitativas e quantitativas da óptica geométrica, utilizando como base o olho humano.

O produto proposto tem preço e materiais acessíveis e, o mais importante, ele não tem um caráter demonstrativo. Foi pensada para o ser manuseado pelo estudante. A interação com o produto é feita através de observações, hipóteses e medidas, o que possibilita ao estudante tirar suas próprias conclusões.

A maioria das propostas didáticas sobre o olho humano tem a vocação demonstrativa, qualitativas e são formadas por lentes fixas. Outro ponto a ser considerado é o modelo teórico utilizado. Vamos explorar tanto feixe de luz paralelo (o que é normalmente abordado) quantos raios de luz divergentes (o que podemos considerar inovador). Além disto, os raios de luz divergentes são mais adequados, para explica imagens formados por objetos que estão próximos a vista humana.

Capítulo 4

Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano

No capítulo anterior foi mostrado, que há poucos trabalhos e modelos didáticos que utilizam lentes flexíveis e que simulam o processo de acomodação do cristalino. Na sua grande maioria, são atividades experimentais que usam várias lentes fixas que são trocadas conforme a distância do objeto. Isto simula o efeito que o processo de acomodação do cristalino causa na formação da imagem sobre a retina.

Também vimos a necessidade de melhorar a qualidade das aulas de física. Nosso estudante sente a necessidade no sentido de manusear, medir e propor ideias, ou seja, os alunos desejam ser protagonistas, querem participar do processo de ensino e aprendizagem como sendo um agente ativo.

Pensando nisto, o nosso produto educacional é um modelo didático do olho humano que simula o processo de acomodação do cristalino. Ele usa uma lente flexível barata e acessível feita de preservativo masculino preenchida com água.

A metodologia e os direcionamentos metodológicos presentes no manual de aplicação do produto foram pensados na interação do modelo com o aluno. Isto se faz através de atividades que incentivam os alunos a fazerem medidas, pesquisas, criarem hipóteses, questionarem e serem questionado sobre o tema que está sendo abordado.

Além disso, o produto educacional permite explorar as lentes delgadas como espessas, como é o caso do cristalino do olho humano, tanto com feixes de luz paralelos como divergentes. Ele permite discutir os limites do modelo teórico e a validade dentro do modelo didático proposto.

Vamos repartir a descrição do nosso produto educacional em três partes: inicialmente, vamos descrever a construção do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano. Em seguida, comentaremos sobre os organizadores prévios, que dão suporte ao melhor entendimento do modelo. E, finalmente, detalharemos a aplicação do simulador didático na sala de aula.

O produto didático, o Simulador didático de Acomodação do Olho Humano, é formado por 11 aulas das quais: uma aula para aplicação do questionário de verificação, sete aulas de organizadores prévios, duas aulas para aplicação do simulador e finalmente uma aula

para *feedback* dos alunos em relação a aplicação do simulador e aplicação do questionário de verificação novamente.

4.1 O Simulador Didático

Vamos descrever nosso simulador começando pela lente flexível, seguida pela a construção dos outros elementos que estão listados na tabela 4.1. Os materiais utilizados são comprados em lojas de materiais de construção, lojas de presentes e centros comerciais populares, como os “camelôs”. A fabricação de outros elementos usam materiais recicláveis como, por exemplo, os suportes, que utilizam frascos de desodorantes “*roll-on*” vazios e imãs de *hard disk* (HD) encontrados em lojas de manutenção de computadores.

Materiais	
• Suportes; • Lasers preparados; • Fonte estabilizada; • Fita métrica de costureira; • Pires; • Calços de madeira (pedaços de ripa ou sarrafo com espessuras, respectivamente, de 2 cm ou 1 cm); • Modelo em isopor do olho humano; • Régua; • Preservativo masculino; • Fita crepe ou adesiva; • Caixa ou anteparo para a luz do laser.	

Tabela 4.1. Lista de material utilizado para construir o simulador didático. Fonte: O autor.

4.1.1 A lente flexível

O nosso simulador usa uma lente flexível feita de preservativo masculino de látex que podem ser comprados em diferentes comércios ou adquiridos gratuitamente na rede pública de saúde.

Foram feitas pesquisas para confeccionar uma lente flexível barata e resistente. Uma das nossas opções foram as bexigas usadas para aniversário, mas elas não atendiam nossas necessidades. Foram apenas encontramos bexigas coloridas, e mesmo a de cor branca, torna a lente flexível opaca.

O preservativo masculino foi escolhido por ser resistente, transparente, barato, mas principalmente por ser flexível. Aconselhamos o uso de preservativo do tipo “ultra resistente”,

pois o preservativo da rede pública é do tipo “sensitite”, fabricados em látex mais fino e deixa a lente um pouco mais mole, o que pode dificultar o manuseio.

Como o preservativo vem com um lubrificante, é necessário retirar o excesso. Para isso, desenrolamos o preservativo e lavamos em água corrente e, eventualmente, junto com uma gota de detergente. Ele ainda deve ter um pouco de lubrificante, porque isso evita que o preservativo fique opaco em contato com o ar.

Em seguida, o preservativo é preenchido com água, tomando um formato quase esférico, com um diâmetro de aproximadamente de 20 *cm*. É necessário dar um nó na ponta aberta ao mesmo tempo em que se estica o látex do preservativo, sem romper. Isso faz com que a lente melhore seu formato esférico e também a deixando um pouco mais firme.

A lente não precisa ter um tamanho exato, mas também não poderá ser muito pequena, pois dificulta a utilização do modelo teórico dos raios paraxiais, ou muito grande, pois o látex do preservativo não consegue manter um formato próximo de uma esfera. Uma forma simples de verificar se seu tamanho está adequado, é segurá-la com uma das mãos com os dedos bem afastados uns dos outros como mostra a figura 4.1.

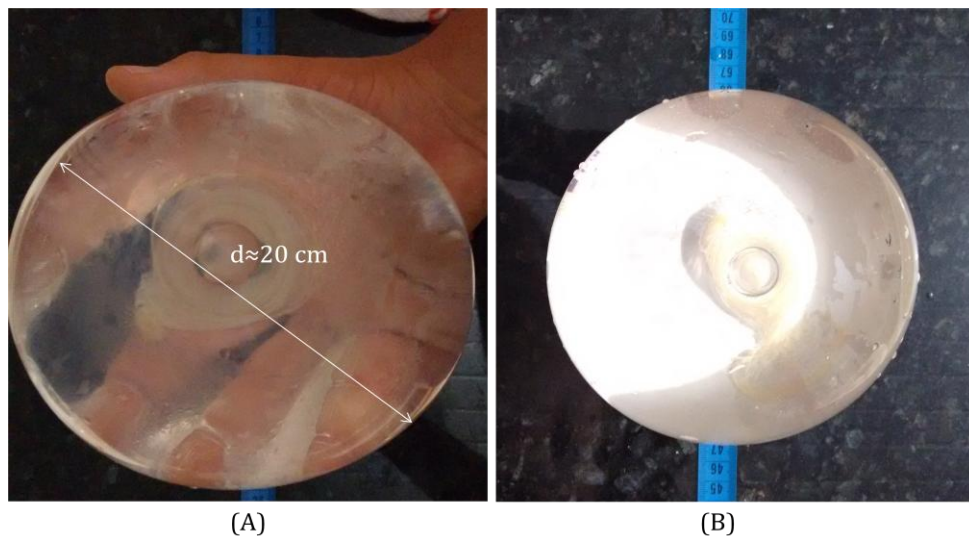


Figura 4.1 Lente flexível feita de preservativo masculino. (A) Ela tem aparência brilhosa, devido ao lubrificante. Em detalhe o tamanho da lente que pode ser medida, segurando-a com uma das mãos com os dedos bem abertos. (B) Usando uma fita métrica e apoiando a lente sobre um suporte, um pires, por exemplo, é possível medir o diâmetro da lente. Fonte: O autor.

A lente será usada conforme a posição mostrada na figura 4.1(B), apoiada sobre um pequeno prato (pires). A parte do reservatório do preservativo deverá ficar voltada para cima, e a parte aberta, onde está o nó, deve estar voltada para baixo, escondida entre o pires e a lente.

4.1.2 Modelo didático em isopor do globo ocular

O nosso modelo do olho humano é confeccionado em isopor e pintado com tinta para tecido. Para isso, usamos um desenho que mostre em detalhes as principais partes do olho humano. Abaixo, na tabela 4.2, temos a lista de materiais utilizados na construção do modelo didático do olho humano.

Lista de materiais	
• Um hemisfério de isopor oca de 250 mm; • Um hemisfério de isopor oca de 200 mm (apenas para medida); • Canetinha, faca ou estilete para marcar e corta o isopor; • Tinta para artesanato (PVA, acrílico ou Tecido) de várias cores; • Pincéis de artesanato. (chato mais largo (nº 24) e outros mais finos para os detalhes (nº 0 e nº 8)).	

Tabela 4.2 Lista e imagens dos materiais utilizados na confecção do modelo. As cores podem ser das mais variadas, desde que se destaquem a chamem a atenção do aluno. Fonte: O autor.

Vamos construir uma parte do globo ocular com isopor. Ela representa principalmente, a parte por trás do cristalino, que é preenchida com o humor vítreo. Para isso é importante cortar a parte que se encaixa o cristalino.

Usando o hemisfério maior de isopor (250 mm de diâmetro) vire-a de cabeça para baixo apoiando-a sobre uma superfície plana, por exemplo, sobre uma mesa, deixando a parte abaulada para cima. Localize o topo deste hemisfério através de uma marcação que se diferencia do resto da superfície do hemisfério. Colocamos a outro hemisfério menor de isopor (200 mm de diâmetro) com a parte abaulada para cima, sobre o topo do hemisfério maior, como mostra a figura 4.2 (A).

Em seguida, risque a hemisfério maior com o contorno feito pela menor, usando uma canetinha. Corte sobre o risco, dividindo a hemisfério maior em duas calotas de tamanhos diferentes.



Figura 4.2 (A) Sobreposição das semiesferas. É importante que superfície externa da semiesfera menor esteja apoiada tanto na superfície de apoio como no centro da semiesfera maior. (B) corte feito com uma faca ou estilete. Fonte: O autor.

A calota menor que sobrou também será usada. A calota maior será a base inferior do globo ocular e podemos representar um pedaço da parte superior do olho com a calota menor, conforme a figura 4.3.



Figura 4.3: A calota que sobrou será aproveitada para fazer a parte superior do olho, visto de cima para baixo. Na foto da esquerda temos uma ideia de como será a maquete do olho humano. Fonte: O autor.

Vamos pintar as principais partes do olho humano. Para isso, devemos usar tintas a base de água como, por exemplo, as tintas para tecido. Tintas a base de solventes, como “thinner” ou acetona encontrada em latas de tintas “spray” dissolvem o isopor.

Outro passo importante é polir as superfícies do isopor. É aconselhável que se lixe com folha de granulação bem fina, como por exemplo, lixa para massa nº 220.

Outra opção é usar uma esponja multiuso de louça, aquelas que têm dois lados, o amarelo para louça mais delicada e a outra parte mais abrasiva, geralmente da cor verde, usada para limpar e arear panelas. Devemos passar o lado mais abrasivo da esponja na superfície externa do hemisfério de isopor, até que fique com uma superfície mais lisa e uniforme possível. Para melhorar ainda mais a superfície do modelo, podemos passar algumas camadas de fundo branco deixando secar e lixando novamente.

Usando tintas a base de água, vamos pintar as principais partes do olho humano usando como base um esboço do olho humano. Para isso, podemos usar desenhos de livros, imagens da internet, etc., usando cores vivas que se destacam no globo ocular. Sugerimos duas imagens, uma de autoria própria e outra retirada da Wikipédia [Rhcastilhos, 2016] de domínio público.

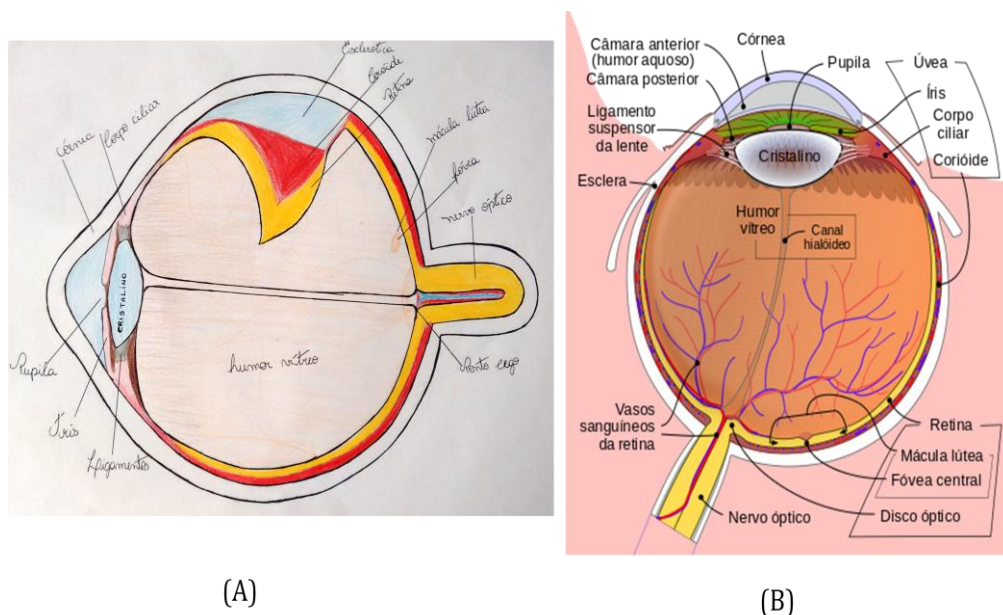


Figura 4.4 (A) sugestão feita pelo autor. Fonte: O autor. (B) Imagem da Wikipédia. Ambas as imagem se destacam pelas cores vivas. Isto ajuda a chamar atenção do aluno. [Rhcastilhos, 2016].

Temos que lembrar que vamos pintar a parte do fundo do globo ocular (considerando a córnea como a parte frontal do olho humano), ou seja, a retina com seus vasos sanguíneos na parte interna, e a esclerótica e os músculos responsáveis pela movimentação do globo ocular, na parte externa. O globo ocular tem várias camadas, como mostrado no capítulo1, e por esse motivo, vamos representar as três principais do globo ocular: a esclera, o coriódio e a retina, como são mostrados na figura 4.5. Vamos detalhar as principais partes internas (esclera, coriódio, retina e papila do nervo óptico) e externas (músculos oculares, responsáveis pela movimentação do globo ocular) pintadas do olho humano.

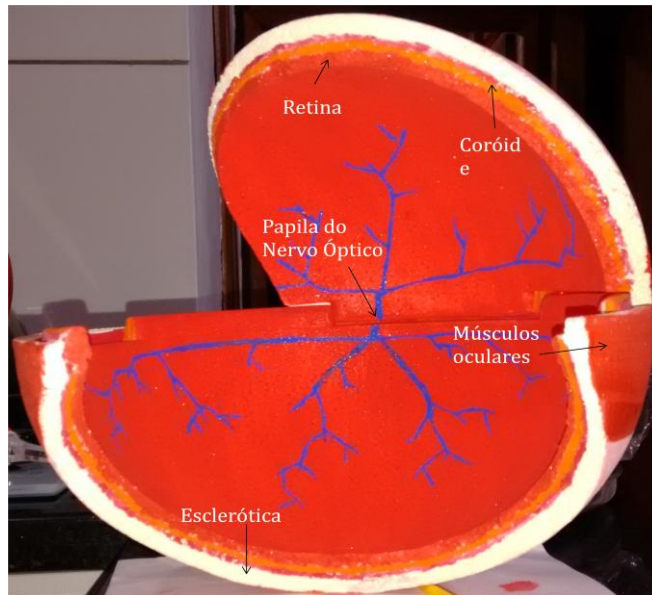


Figura 4.5 Olho depois de pintado. Representação das principais partes. [Mueller e Rudolph, 1970^b].

4.1.3 Preparação dos lasers

Vamos produzir feixes de luz usando lasers de diodo, de 4,5 V, na cor vermelha. Eles foram escolhidos por serem baratos, por produzirem um feixe de luz com raios quase paralelos com pouca divergência e são fáceis de encontrar. São vendidos em centro de comercio popular, os “camelôs”, ao custo de US\$ 1,0 (base de 2016).

Os lasers escolhidos tem comprimento de onda entre 630 – 650 nm, conhecidos comercialmente como “caneta apontador de laser vermelho” com aproximadamente 7cm de comprimento. Vamos substituir suas pilhas do tipo botão por uma fonte externa. Isto é necessário, pois os equipamentos irão funcionar por um longo tempo e, geralmente com as pilhas que vêm no conjunto, os lasers permanecem pouco tempo ligado.

Vamos descrever os procedimentos para um laser, mas no nosso projeto precisaremos de dois. Será necessário repetir os mesmos passos no segundo laser. Abaixo, na tabela 4.3, vamos listar os materiais utilizados.

Lista de materiais	
• 2 lasers do mesmo modelo, que usem 3 pilhas (4,5 V) do tipo botão; • 4 pedaços fio fino (0,10 mm² usados em eletrônica) flexíveis de 30 cm cada de duas cores diferentes; • 2 arruela de 2 cm de diâmetro; • Cola selante; • Um bastão de cola quente do mais fino (1,0 cm de diâmetro); • Lixa, faca, alicate.	

Tabela 4.3 A cola usada é uma borracha sintética de alta aderência. Usada para unir diferentes metais e plásticos. Os cabos elétricos utilizados são finos e flexíveis e são encontrados em eletrônicas e lojas de som. Fonte: O autor.

Vamos conectar os polos positivo e negativo dos lasers com a fonte externa, descrita a seguir, usando cabos elétricos finos e preenchendo o lugar vazio, das pilhas-botão retiradas, com bastão de cola quente. Isso ajuda a manter os fios conectados nos polos corretos e evita um possível curto circuito.

Para isso, vamos encaixar o bastão de cola quente, sem forçá-lo, no lugar das pilhas marcando e cortando-o com auxílio de uma faca. Em seguida, usando o pedaço de bastão de cola cortado, vamos marcar a posição final das pilhas no corpo do laser, fazendo um corte com auxílio da faca, como mostrado na figura 4.6.



Figura 4.6 Como o corpo da caneta é feita de alumínio, podemos cortá-lo sem maiores dificuldades. Fonte: O autor.

Posteriormente, vamos preparar os cabos nos terminais do laser, retirando 1 *cm* do isolante elétrico, de cada pedaço de fio, de ambas as pontas. Cada laser utilizará dois cabos de cores diferentes para melhor identificação do polo positivo e negativo, pois os lasers de diodo são polarizados. É importante manter o mesmo padrão de cores de polarização em ambos os lasers, para facilitar na hora de realizar o experimento.

Passe o par de fios pelo corte feito no corpo do laser, conectando um dos fios na mola do fundo do equipamento, enrolando-o com auxílio de um palito ou algo parecido. Puxe para fora o outro cabo um pouco além da parte já descascada, como mostra a figura 4.7(A). É importante averiguar se não há contato entre os polos, vendo se a mola que representa o polo negativo, não está se encostando ao corpo do laser, que é normalmente o polo positivo. Em seguida, com cuidado, coloque o pedaço de bastão de cola de modo que pressione a mola no fundo do laser. Faça a conexão também do polo positivo, prensando a parte descascada do fio entre a parede do laser e o pedaço do bastão de cola.

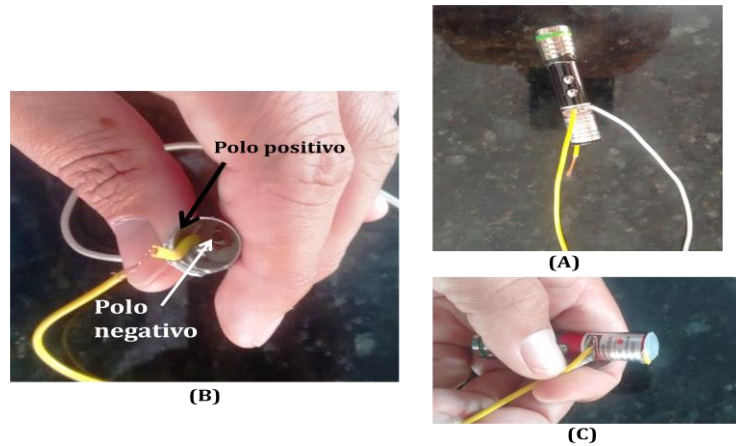


Figura 4.7 (A) cabos sendo passado pelo orifício feito no corpo do laser. (B) detalhe do fio enrolado no polo negativo, que neste caso é uma mola. Tomar cuidado para que não haja curto circuito. (C) introduzindo o bastão de cola previamente cortado e terminando de fazer a conexão do fio com o polo positivo. Fonte: O autor.

Muitas vezes, com os lasers, os produtos têm embutidos outras funções. É comum virem com uma lanterna de led que pode ficar acesa continuamente ou de forma intermitente. Estamos interessados somente na função laser, assim, para melhor utilização durante o experimento, vamos travar o botão de acionamento da função interessada fixando um pedaço de fita isolante ou empurrando o botão por baixo do encaixe.

Em seguida vamos colar a arruela com a cola selante. Para isso devemos lixar, até atingir o metal, e limpar tanto a arruela como a parte do corpo do laser, onde ela será fixada. O local sugerido é no lado oposto dos botões e mais ao centro do corpo do laser.

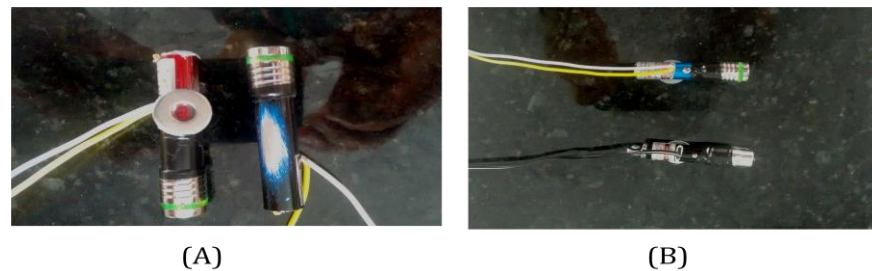


Figura 4.8 (A) Detalhes da preparação das superfícies para serem coladas. É importante observar que não há necessidade de usar muita cola, pois poderá formar uma protuberância na parte central da arruela. (B) Lasers prontos dos dois modelos encontrados e utilizados no mercado. Nos dois modelos utilizados não existem diferença de funcionamento, somente do seu corpo. Fonte: O autor.

No produto proposto sugerimos um feixe luminoso formado por 2 raios de luz, mas nada impede que possamos usar um número maior de lasers. Mas com isso, o custo de produção do equipamento pode aumentar, pois a nossa proposta é que todos os alunos tenham acesso ao produto, seja de forma individual ou em pequenos grupos. Cabe ao professor e a instituição de ensino avaliar o melhor custo-benefício.

4.1.4 Fonte estabilizada de pilhas

Os lasers são muito sensíveis às variações de tensão, por este motivo precisamos de uma fonte elétrica bem estabilizada de 4,5 V, podendo ser ligada à rede elétrica. Esta fonte elétrica de qualidade, geralmente, é cara, pois seus componentes devem suportar variações, surtos e quedas de tensão elétrica, comuns nas redes de distribuição energia elétrica.

Devido ao custo, essas fontes elétricas não são adequadas à nossa proposta, pois prejudica a ideia inicial de um produto educacional acessível e de baixo custo. Assim foi decidido usar 3 pilhas do tipo AA, de 1,5 V cada, ligadas em série, porque são: baratas, fáceis de encontrar, fornecem uma autonomia de aproximadamente 3 horas com 2 lasers ligados simultaneamente e principalmente, fornecem uma tensão contínua e estável. Para usá-las podemos utilizar um suporte para 3 pilhas do tipo AA, mas isto não é muito comum de se encontrar no comércio. Geralmente são vendidos suportes para 2 ou 4 pilhas, necessitando adaptá-los para a quantidade desejada.

Podemos construir uma fonte simples com cano e conexões de PVC. Ela pode ser usada para outros experimentos de física. Dependendo da construção, é possível obter várias tensões múltiplas de 1,5 V, o que será o nosso caso, pois não a queremos apenas para esta atividade. Abaixo na tabela 4.4, vamos listar os materiais necessários.

Lista de materiais	
• 15 cm de comprimento de cano de PVC de 20 mm de diâmetro para água fria; • 3 pilhas comuns do tipo AA; • 2 tampões para cano 20 mm de diâmetro de PVC para água fria; • 30 cm de fio rígido 2,5 mm² de área de seção reta; • Duas garras jacarés de cores diferentes; • Soldador estanho; • Fio de estanho para solda; • Pasta de limpeza para solda estanho; • Alicates e serra para cortar cano de PVC.	

Tabela 4.4 Lista de materiais e ferramentas necessárias para a montagem da fonte estabilizada de 4,5 V. Fonte: O autor.

As pilhas podem ter pequenas diferenças de comprimento, dependendo do fabricante, e por esse motivo é necessário colocá-las em série e medir seu comprimento.

Com essa medida, cortamos o cano de PVC com 1 cm a menos do comprimento. No nosso caso, o comprimento das 3 pilhas foi de 14 cm e assim, cortamos o cano de PVC com 13 cm. Para obter os diferentes valores de tensão elétrica que possamos desejar (1,5 V; 3,0 V e 4,5 V), é só abrir uma fenda de 2 cm de comprimento a cada 3 cm no cano, como mostrado

na figura 4.9. Assim teremos acesso aos terminais dos polos positivos e negativos das pilhas. Nas extremidades é aconselhável retirar as rebarbas usando uma lixa ou lima.



Figura 4.9 Podemos abrir as fendas usando outras ferramentas, como serra mármore elétrica, desde que se tome todos os cuidados e que se use equipamentos de proteção individual, como óculos. Fonte: O autor.

Em seguida temos que preparar os terminais de contato com a pilha. Isso se faz utilizando 15 cm de fio rígido, retirando seu material isolante e enrolando 5 cm de umas das suas extremidades, formando um disco. Logo após, dobre o restante do fio formando um ângulo de 90° com o disco recém-formado, como mostrado da figura 4.10 (A) e (B). Para formar o disco, dobre e corte os condutores no tamanho correto utilizando o alicate. Precisaremos dois destes terminais.

Na sequência é necessário furar bem no centro o tampão de PVC. Para isso, podemos usar o próprio terminal produzido anteriormente, aquecendo-o com uma chama na sua extremidade reta, perfurando o tampão bem no centro. Logo após, dobramos 90° como mostrado figura 4.10 (C).

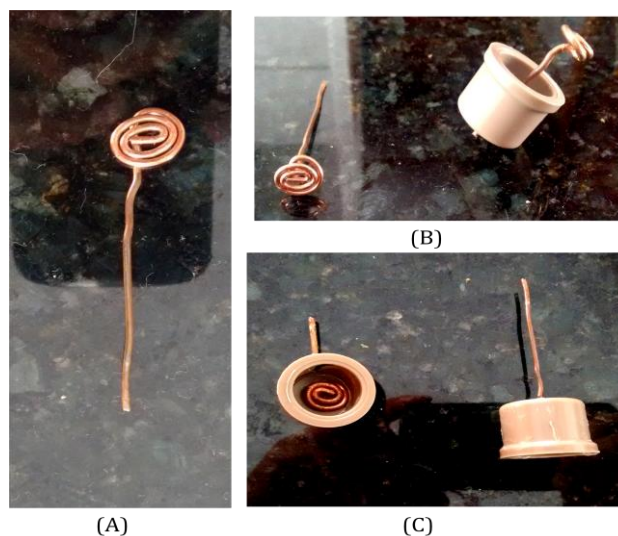


Figura 4.10 (A) Cabo elétrico enrolado até formar um disco. (B) Dobra-se o cabo com ângulo de 90° em relação ao plano do disco. (C) Terminal colocado no centro do tampão. Em seguida dobre-o fazendo um ângulo de 90°. Fonte: O autor.

Agora é só montar a fonte elétrica colocando as pilhas em série dentro do tubo e encaixando os tampões preparados. Para obter diferentes tensões é só introduzir, entre as pilhas, um pedaço de fio descascado com um das extremidades achatado na ponta. Também podemos usar um pedaço de fio rígido para fabricar um suporte simples, como mostrado na figura 4.11 (A).

Para facilitar as conexões dos cabos elétricos, soldamos garras jacarés na extremidade oposta do disco. Para isso usamos um soldador de estanho e fio de estanho para solda. Para obter uma solda de melhor qualidade use pasta de limpeza, que elimina impurezas das superfícies que irão ser soldadas. Solde as duas garras jacarés de cores diferentes, uma cor para cada tampão. Para o nosso caso, escolhemos a cor vermelha para o polo positivo e a cor preta para o polo negativo da bateria, como está mostrado na figura 4.11(B).



(A)



(B)

Figura 4.11 (A) A fonte de pilhas com saída de várias tensões. No intervalo entre fios consecutivos são fornecidos 1,5 V e nas extremidades temos 4,5 V. **(B)** Solda das garras jacarés. É importante limpar as superfícies que irão ser soldadas usando a pasta de limpeza, passando o soldador quente em seguida para evaporá-la. É importante aquecer bem tanto o condutor como a garra jacaré, para evitar soldas “frias”. Mas tomando cuidado para não danificar o tampão ou a capa de proteção da garra jacaré. Fonte: O autor.

4.1.5 Suportes dos lasers

Vamos fazer os suportes dos lasers. O sistema proposto utiliza uma junta esférica (“ball joint”), que se movimenta para todos os lados, feita com frasco de desodorante “roll-on”. A vantagem deste suporte, além do baixo custo, é permitir grande liberdade de alinhamento com feixes de raios de luz lasers. A fixação dos lasers ao suporte é feita através de ímãs, colhidos de HDs de computadores desativados. Na tabela 4.5 vamos listar os materiais necessários.

Materiais	
• 2 Frascos vazios de desodorantes “roll-on” da mesma marca e modelo; • Cola selante; • Lixa; • Arame, alicate; • Ímãs retirados de HDs sem uso.	

Tabela 4.5 Lista de materiais para a produção dos suportes. É recomendado que a altura do frasco de desodorante usado seja menor que 10 cm. Isso facilita o ajuste da posição do cristalino didático em relação ao feixe de luz dos lasers. Fonte: O autor.

Retire os ímãs do HD, tenha cuidado na hora de abri-los, pois são bem vedados e muitas vezes exigem chaves de diferentes formatos. Em geral os ímãs são colados em suportes dentro do HD. Para retirá-los necessita-se de uma chave de fenda, aplicando-se pressão entre a junção do suporte e do próprio ímã. Caso precise, use um martelo. Após retirá-los, divida-os no meio.

No frasco de “roll-on”, verifique se a esfera do frasco está bem justa no seu encaixe. Caso contrário, use um pedaço de arame e alicate faça um anel na base e encaixe, apertando até o ponto ideal. A esfera do “roll-on” deve permitir uma movimentação justa para todos os lados.

Agora lixe e limpe a região onde irá ser colada uma das metades do ímã. É importante que a superfície esteja livre de sujeira ou resíduos, para melhor fixação da cola, tanto na esfera de “roll-on” quanto na superfície do ímã.

Como os frascos de desodorantes são leves, é aconselhável preenche-lo com argamassa. Para isso, fazemos um pequeno furo na lateral, com auxílio de uma faca ou furadeira, preenchendo seu conteúdo com argamassa de assentar piso, pois sua composição é feita com cimento e agregados de granulações bem finas. Para colocar a argamassa dentro do frasco podemos usar um saco de confeiteiro improvisado com um saco plástico cortada em uma das pontas.



(A)



(B)

Figura 4.12 (A) Os ímãs colados nos suportes. (B) Detalhe dos orifícios usados para preencher os frascos. Isto aluda a dar peso aos suportes facilitando seu uso. Os arames amarrados na base do encaixe do “roll-on” ajudam a firmar as bolinhas do frasco. Fonte: O autor.

Lembrando que o modelo do olho de isopor, os lasers adaptados, a construção dos suportes e da fonte estabilizada de pilha devem ter sido preparados anteriormente, isto é, o tempo de organização e preparos destes aparatos experimentais não são contabilizados nos planos de aula.

É importante que os alunos participem da construção destes, pois é um momento de interação entre professor e aluno, algo fundamental no processo de ensino e aprendizagem.

Isto não significa fazer tudo em sala, pois grandes partes dos processos de construção demandam bastante tempo e por isso devem ser feitos como atividades para casa. Mas orientar e organizar tais processos em períodos de contraturno e/ou levar isso em consideração no planejamento escolar é necessário para que os educandos possam ter um bom desempenho e solucionar dúvidas durante a confecção dos aparatos.

É importante uma atenção especial na construção das fontes estabilizadas e da preparação dos lasers. Por oferecem riscos de acidentes (no caso do suporte que mexem com serras e colas com produto químicos potencialmente prejudiciais e aos lasers que podem causar danos aos olhos) é importante o professor estar acompanhando atentamente a fabricação.

4.2 Organizadores prévios

Nosso objetivo é proporcionar uma aprendizagem significativa, ou seja, as novas ideias devem estar relacionadas com o conhecimento ou algum aspecto relevante da estrutura cognitiva do educando, de maneira não literal ou arbitrária.

Esse conhecimento, conceito, proposição ou ideia já existente na estrutura cognitiva do aluno é chamado de subsunçor. Ele é capaz de servir de ancoradouro para uma nova informação, tornando-a mais significativa. Isto ocorre porque tanto o subsunçores existentes como as novas informações são diferentes, ou seja, como a aprendizagem foi significativa, tanto os conhecimentos prévios como as novas informações foram modificadas pelo educando, formando ou tornando um novo subsunçor.

O material de apoio (por exemplo: livro texto) é uma importante forma de proporcionar uma aprendizagem significativa ao educando. Ele deve ser relacionável ou incorporado [Moreira, 1983] à estrutura cognitiva do educando. Esse material é chamado de potencialmente significativo.

Mas o que fazer quando não existem os subsunçores necessários para a aprendizagem ser significativa? Ausubel propõe atividades chamadas de organizadores prévios que desenvolvem ou criam os subsunçores necessários para a ancoragem dos novos conhecimentos.

Os organizadores prévios são materiais introdutórios com um nível de abstração e generalizações até mais alto do que o conteúdo em si que está querendo ser transmitido. Esta estratégia é uma maneira de manipular ou manusear a estrutura cognitiva do educando para

proporcionar uma aprendizagem significativa. Tem como objetivo promover uma ligação entre aquilo que o educando já sabe com aquilo que está sendo proposto a ensinar de um modo significativo.

Com isso, parte referente aos organizadores prévios do nosso produto é composta por cinco momentos: quatro planos de aulas, que correspondem aos nossos organizadores prévios, que antecedem a utilização do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano e um questionário de verificação, que será aplicado antes de depois da aplicação do produto. Houve a necessidade que criar tal estratégia, pois de modo geral, os alunos vêm com concepções errôneas ou fragilizadas sobre o conceito de luz e principalmente sobre os modelos teóricos da óptica geométrica.

Esta constatação foi comprovada pela aplicação de um questionário com perguntas sobre a propagação e representação do raio de luz. Também foram feitas perguntas sobre fontes de luz e a posição e formação da imagem dentro do olho humano.

Os conceitos de óptica geométrica abordada, tanto no questionário como nos organizadores prévios, são essenciais na hora de fundamentar ou explicar, a formação da imagem no olho humano e justificar a necessidade, do processo de acomodação do cristalino.

Os quatro planos de aulas estão mesclados entre aulas expositivas e aulas experimentais. Todos eles têm material de apoio ao estudante e encaminhamento metodológico ao professor. Os planos de aula estão divididos em: **competências e habilidades** sejam desenvolvidas nos alunos tanto em um contexto geral como também específico do conteúdo abordado; **momento de incentivação** que motiva o interesse do aluno pelo conteúdo exposto introduzindo através, sempre que possível, de uma questão chave que pode estar associada ao seu cotidiano; **momento de desenvolvimento** que enfatiza o conteúdo a ser trabalhado, como também descreve os caminhos e a forma com que a matéria deve ser abordada pelo professor; e **momento da síntese integradora** onde o aluno se envolve no processo de aprendizagem através de atividades propostas e organizadas, dentro de um novo contexto, pelo professor. Para isso, ele utiliza elementos da aula para combinar ou construir partes do conteúdo, que muitas vezes não ficaram claras anteriormente ao aluno.

Em seguida, vamos descrever o questionário e os planos de aulas utilizados nesta etapa. Vamos fazer uma descrição mais geral com alguns pontos importantes das competências e habilidades desejadas como também dos momentos de incentivação, desenvolvimento e síntese integradora dos planos de aulas utilizados dos organizadores prévios. O manual do produto educacional encontra-se no anexo desta dissertação.

4.2.1 Questionário de verificação.

Este questionário foi elaborado usando sete questões das quais, cinco abertas e duas objetivas. Ele foi aplicado no início e ao final do projeto. Nosso objetivo com ele foi identificar aquilo que o educando conhecia sobre o raio de luz e a formação de imagem no olho humano.

As cinco questões utilizadas do tipo abertas permitem, com que os educandos respondam esboçando ou usando as próprias palavras. Neste formato foram elaboradas três perguntas discursivas: uma questão sobre a orientação trajetória dos raios luminosos, uma questão sobre fontes de luz e uma questão sobre o processo de acomodação do cristalino. Para esboçar foram pedidas duas perguntas: uma questão adaptada do vestibular do ano de 2005 da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e uma questão para desenhar a formação e a posição da imagem na retina do olho humano.

As questões objetivas proporcionam comparação e análise mais crítica sobre o conteúdo. Das duas questões objetivas utilizadas temos: uma questão que questiona o educando sobre o caminho percorrido pela luz quando se visualiza um objeto qualquer e uma questão da prova do Enem do ano de 2015 que faz uma analogia entre a câmara escura com o olho humano.

4.2.2 Plano de aula nº 01(1ª aula): Conceito de raio de luz, Reflexão e Refração.

Este momento é composto por uma aula de 50 minutos. O plano de aula enfatiza a compreensão dos conceitos de raio de luz e os fenômenos de reflexão e refração, identificando grandezas envolvidas e as leis que regem os fenômenos ópticos. A aula é expositiva com a demonstração de simples experiência e uso do simulador Phet manipulado pelo professor.

O professor inicia a aula fazendo uma experiência simples: colocando um lápis dentro de um copo com água. Ele movimenta o lápis, dentro do copo, e pede aos alunos que observem a aparente quebra da sua imagem. O professor demonstra que esse efeito na imagem do lápis depende o ângulo de inserção dentro do copo.

No plano de aula é proposto que o professor aborde inicialmente os seguintes conceitos: raio de luz e sua representação, fenômenos ópticos da reflexão e refração, a velocidade de propagação da luz e o índice de refração de um material transparente. Para isso, ele utiliza o material disponível e as ferramentas dos planos de aula, como a projeção de

imagens e a utilização do simulador virtual Phet “Curvando a Luz⁵”. As figuras enfatizam fenômeno da refração da luz de duas formas, nas concepções da óptica geométrica e física. O simulador também explora dois modelos, mas demonstra tanto o fenômeno da refração quando da reflexão.

A vantagem do simulador, em relação às imagens projetadas, é manipular os índices de refração e os ângulos do raio incidente modificando assim, o ângulo refratado e a intensidade de luz refletida.

Em destaque na figura 4.13 temos as duas imagens (A) e (B) encontradas no plano de aula e mais duas imagens (C) e (D) do simulador utilizado. Todas mostram o desvio do raio de luz refratado, proposto nos modelos teóricos da óptica geométrica e da óptica física, respectivamente.

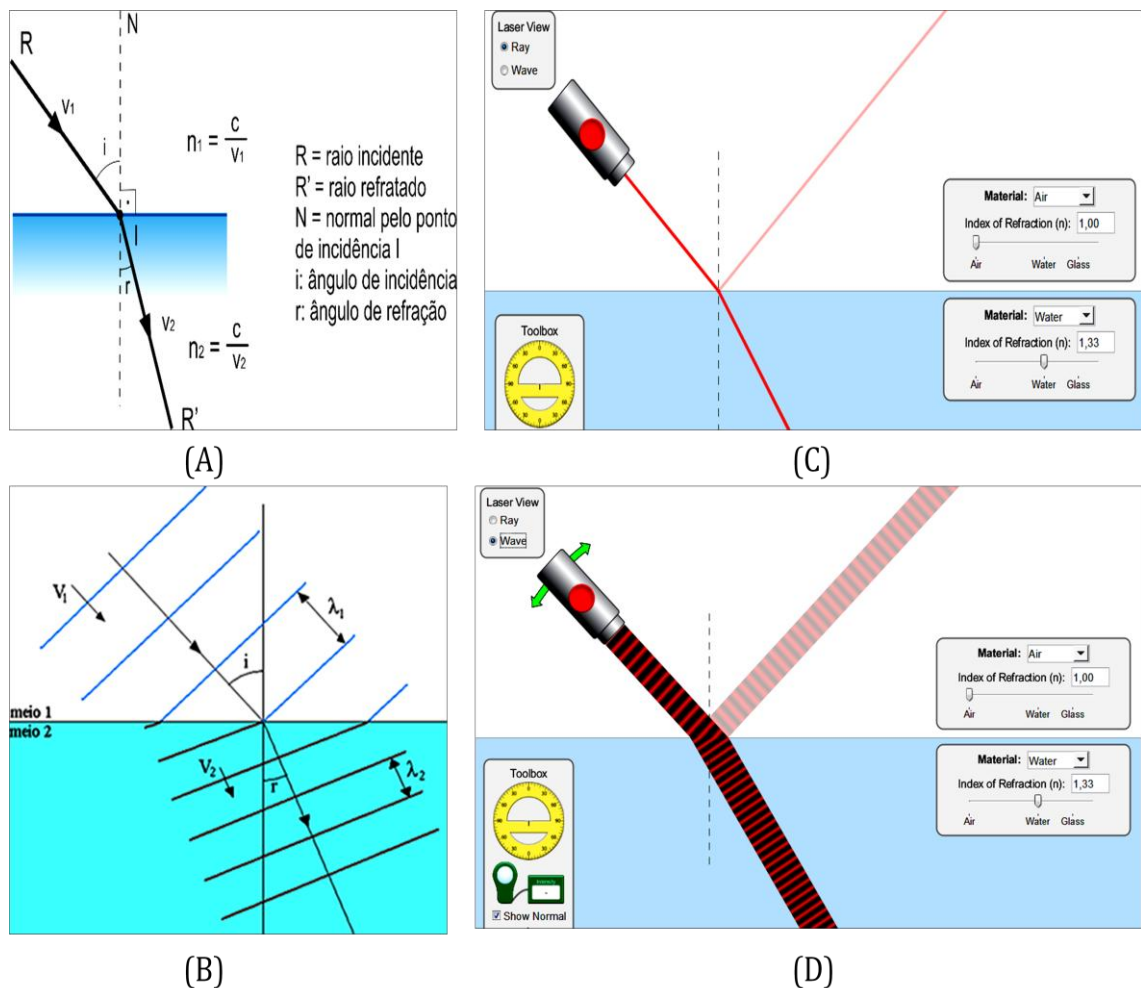


Figura 4.13 (A) Refração de um raio de luz (óptica geométrica). Em destaque e as partes envolvidas grandezas envolvidas. (B) Refração de uma frente de onda (óptica física). Em destaque a variação do comprimento de onda em função da mudança da velocidade ao passar pelo meio 2. (C) Imagem do simulador Phet representando a luz como um raio luminoso. Vemos que a luz é parcialmente refletida e a outra parte é refratada. (D) Imagem do simulador Phet representando a luz como uma onda. Usando o simulador podemos variar o ângulo de incidência do raio de luz. Fonte: O autor.

⁵ Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/bending-light> acessado em 27/05/2016

Seguindo o plano de aula, o professor deve abordar a aproximação da lei de Snell – Descartes, relacionando-a com o ângulo refratado, a velocidade de propagação da luz no meio e o índice de refração do material.

O material didático disponibiliza uma tabela, como mostra a tabela 4.6, com o índice de refração para diferentes materiais para um comprimento de onda específico de 5×10^{14} Hz. O professor deve explicar este aspecto, comentando que o índice de refração muda conforme a frequência (cor) do raio luminoso.

Material	n
Gases a 0°C e 1 atm	
Hidrogênio	1,00013
Ar	1,00029
Dióxido de carbono	1,00045
Líquidos a 20°C	
Água	1,33
Alcool etílico	1,36
Glicerina	1,47
Benzeno	1,51
Sólidos a 20°C	
Quartzo fundido	1,46
Poliestireno	1,49
Vidro comum	1,52
Diamante	2,42

Tabela 4.6 Os valores utilizados no material de apoio. Valores de índices de refração para a luz monocromática com frequência de 5×10^{14} Hz. Fonte: O autor.

Na síntese integradora, o professor faz três perguntas para a turma: a primeira sobre a possibilidade de ter uma posição em que a imagem do lápis não esteja quebrada; a segunda se trocasse a água por outro líquido existiria diferença na imagem formada; e terceira como explicar a formação do arco-íris com o conceito de refração. As respostas esperadas se encontram no plano de aula.

Neste momento o professor deve aproveitar para sanar possíveis dúvidas sobre o conteúdo ministrado. É importante o educador analisar se os conceitos apresentados foram entendidos pela turma, podendo fazer algumas perguntas a turma sobre aquilo que foi ministrado.

Ao final da aula o professor deve pedir aos alunos que respondam as perguntas que se encontram no final do material de apoio. A resolução pode ser feita durante a aula ou como atividade para casa, dependendo do tempo disponível.

O professor deve organizar, no final desta aula, a construção da câmara escura, prevista no plano de aula nº 02. Ele deve pedir aos alunos que tragam os materiais necessários para a confecção. Como são três modelos de câmara escura, é importante que o professor

organize, tanto a sala como as propostas, por grupos. Isto possibilita que cada grupo, se organize e traga os materiais corretos.

Como tarefa de casa, o professor deve pedir aos educandos duas pesquisas: uma sobre a câmara escura, com ênfase no seu funcionamento e aplicação, e a outra sobre o olho humano, com ênfase nas suas principais partes e formação da imagem na retina.

4.2.3 Plano de aula nº 02(2ª e 3ª aula): Construção da câmara escura.

Este momento é planejado para duas aulas de 50 minutos. O professor deve ter planejado atividades junto com os alunos, em uma aula anterior. Dependendo do número de alunos em sala é aconselhável distribuí-los em equipes, em que cada uma delas, fique responsável por trazer os materiais e pela confecção de um modelo da câmara escura proposta. Essa atividade poderá ser feita em casa, mas é desejável fazê-la em sala de aula. Isso porque muitos alunos têm dúvidas, na hora de manusear os materiais e as ferramentas usadas e o professor pode saná-las nesta hora. Além disso, é uma forma de interagir com o aluno, um momento importante no processo de ensino aprendizagem.

Nas competências e habilidades se deseja que o aluno consiga construir a câmara escura e relacione com elementos geométricos que a descrevem (profundidade da câmara escura, tamanho da imagem, distância e o tamanho do objeto) e associe a qualidade da imagem, com o tamanho do orifício por onde a luz passa. É desejável que o educando comparece e aponte semelhanças da câmara escura construída, com o olho humano.

No momento de incentivação o professor deve perguntar a turma como o olho é capaz de formar e visualizar imagens nítidas, como também, a capacidade de focalizar imagens em diferentes distâncias.

No momento de desenvolvimento, os alunos irão construir a câmara escura, conforme previamente organizado. Cada equipe irá construir um dos três modelos sugeridos.

Durante a construção, que leva aproximadamente 30 minutos, é aconselhável a presença do professor para ajudar, tirar dúvidas e orientar sobre o funcionamento do equipamento.

São três modelos de câmara escura sugeridos: o primeiro utiliza duas latas de massa de tomate de abertura fácil, onde apenas se retira um selo ficando um pequeno buraco na tampa, inspirada na proposta “Óptica do olho humano” [Pietrocola, 2010]; o segundo modelo é uma câmara escura feito de tubo de batatinha [Ferraz, 2016] como mostra a figura 4.14 (B), com um segundo tubo feito de papel cartão preto inserido dentro do tubo de batatinha; e terceiro modelo utiliza duas latas de refrigerante de alumínio encaixadas uma na outra. Este último

apresenta como diferencial em relação aos outros modelos de câmara escura a facilidade de adquiri-las.

O processo de construção dos três modelos das câmaras escuras é semelhante, como por exemplo, o papel vegetal para anteparo e um furo central em uma das extremidades. Mas algumas apresentam vantagens como, por exemplo, a segunda câmara escura. Ela pode aumentar ou diminuir o tamanho da imagem projetada sobre o anteparo, pois podemos modificar a distância entre o furo e o anteparo, como mostra a figura 4.14 (B).

Na terceira experiência é aconselhável escurecer as paredes internas com tinta ou um papel cartão escuro, pois o alumínio tem paredes internas polidas, refletindo a luz e prejudicando a imagem vista.

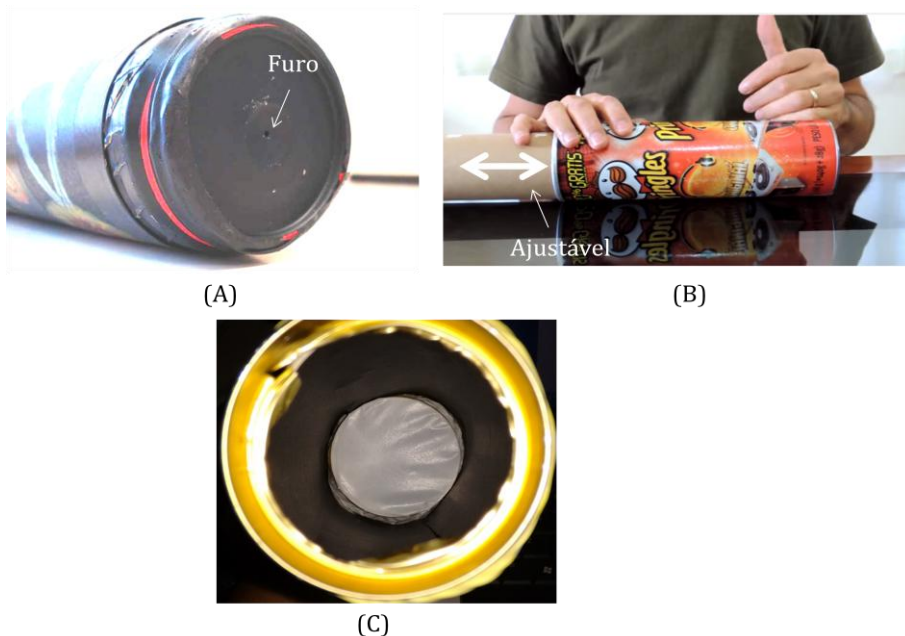


Figura 4.14 (A) Câmara escura feita com lata de tomate. Em destaque tampa com furinho [Pietrocola, 2010]. (B) Câmara escura feita com tudo de batatinha frita. O tamanho da imagem pode mudado, quando se movimentar o tubo de papel cartão [Ferraz, 2016]. (C) Câmara escura feita de latinha de alumínio. Na imagem o papel cartão preto envolvendo a superfície interna da lata e ao fundo o papel vegetal que serve de anteparo para projeção da imagem.

Fonte: O autor.

Na síntese integradora o professor pede para que os alunos observem e digam as diferenças entre as imagens, caso existam, sem e depois com o papel vegetal como anteparo. Em seguida, ele pede para classificá-la como direita ou invertida e virtual ou real.

Logo após, o professor pergunta para turma qual a relação entre a câmara escura e o olho humano. Por último, usando a pesquisa realizada sobre câmara escura e projetando a imagem da figura 4.15(A), que se encontra no anexo deste plano de aula. Em seguida, o professor pede aos educandos que tracem os raios luminosos, de tal modo, que justifique o tamanho e a posição invertida da imagem observada, com a câmara escura, pelos estudantes.

Ao final os estudantes devem propor, usando o material pesquisado com aquilo visto em sala, uma relação matemática que explique as proporções entre tamanhos de imagens e objetos com as suas respectivas distâncias.

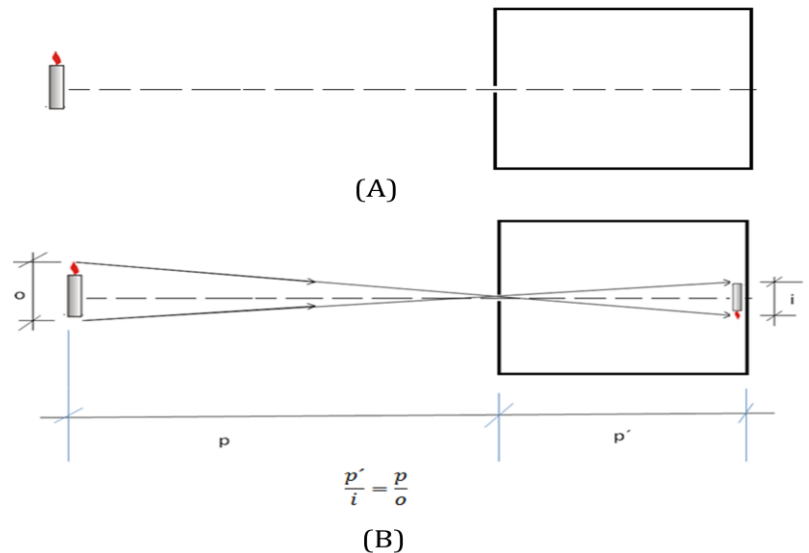


Figura 4.15 (A) imagem a ser projetada. O professor deve construir o conceito junto com os alunos usando a pesquisa feita pelos mesmos. (B) A resposta esperada. É importante o professor mostrar a semelhança dos triângulos formados pelos raios de luz vindo das extremidades do objeto e que de cruzam no orifício da câmara escura e se projetam no fundo da mesma. Fonte: O autor.

Em sala, os alunos devem fazer os exercícios proposto no anexo, no final do plano de aula. São 2 exercícios de aplicação da relação matemática encontrada, da figura 4.15 (B). O primeiro usando dados hipotéticos fornecidos pelo exercício e o segundo dados coletados da câmara escura construída (tamanho máximo da imagem que pode ser projetada no anteparo e profundidade da câmara escura) para se determinar a altura de um objeto a uma distância determinada.

Ao final o professor deve pedir uma pesquisa sobre Lentes esféricas, enfatizando os tipos em relação às suas superfícies (convergente e divergente) e como pela espessura (Delgada e espessa). Além disso, o professor deve pedir aos educando que tragam também, a pesquisa sobre o olho humano, pedida anteriormente.

4.2.4 Plano de aula nº 03(4ª e 5ª aula): Dissecção do olho de boi.

Este momento é planejado para 2 aulas de 50 minutos e está fundamentado no artigo “Abrindo o Olho” [Saba e Epiphanyo, 2001]. O professor deve pedir, aos alunos, para que tragam as pesquisas: sobre o olho humano, com um esboço e identificação das principais partes, e sobre lentes esféricas, pedida na aula anterior.

As competências e habilidades desenvolvidas pelas atividades são de identificar e comparar os desenhos e pesquisas feitas, do olho humano e das lentes esféricas, com o olho de boi que está sendo dissecado, encontrando semelhanças e diferenças entre elas.

Uma das competências e habilidades desenvolvidas é do trabalho em equipe no laboratório. É importante conversa, em uma aula anterior, com os alunos sobre algumas regras de vestimentas e de comportamento, pois afinal, a turma irá manipular material com risco biológico e manusear ferramentas cortantes. Assim é fundamental, que os alunos conduzam os procedimentos conforme orientações do roteiro e do professor com cuidado para evitar acidentes.

Para conseguir as unidades de olho de boi, é necessários encontrar um abatedouro de gado e pedir a instituição de ensino, um ofício pedindo a doação do material para dissecação dentro do ambiente escolar. Nele deve constar quem será responsável pela retirada e pelo descarte do material após o uso. No nosso caso, o frigorífico pediu para que devolvessem restos e aquilo que não fosse utilizado para que, eles mesmos, descartassem de maneira adequada conforme a legislação sanitária vigente. Abaixo na figura 4.16, segue ofício utilizado.

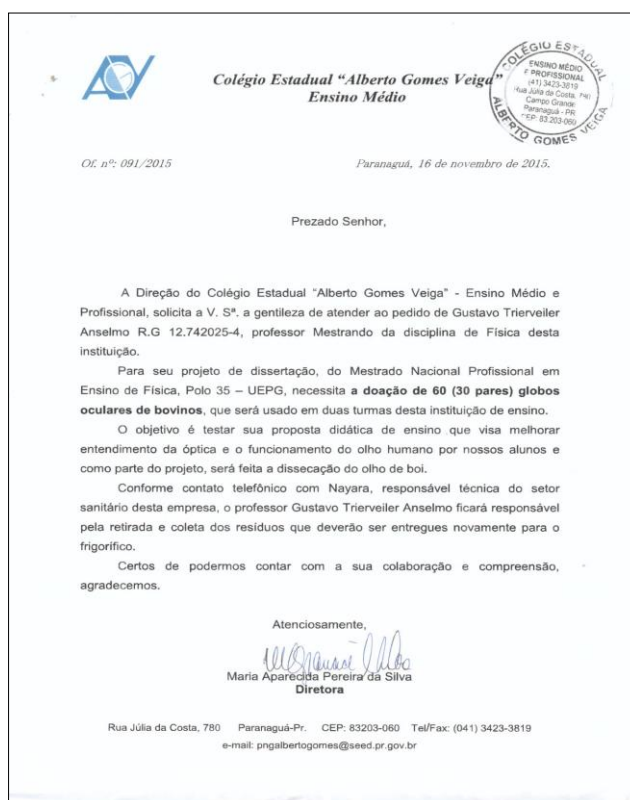


Figura 4.16 Ofício mandado ao frigorífico pedindo a doação de 60 unidades de olhos. Fonte: O autor.

As ferramentas utilizadas são fáceis de encontrar e são elas: pinças, bandeja ou prato descartável, tesoura com ponta e bisturi ou Gilette (caso não consiga o bisturi). Novamente, é

importante pedir cuidado aos alunos na hora de manusear os instrumentos cortantes e limpeza dos locais de trabalho.

Em relação aos procedimentos de dissecação, caso o professor tenha dúvidas, está totalmente descrito no artigo de fundamentação destas aulas. Mas caso tenha maiores dúvidas, o professor pode assistir vários vídeos no site de compartilhamento do youtube. Por exemplo, indicamos o pequeno filme com o título “Dissecação do olho de boi” [Kleuton, 2016] e aprender os procedimentos corretos para a prática.

No momento de incentivação o professor deve pedir aos alunos que indiquem, usando globo ocular fornecido, onde a imagem é formada e como é transmitida ao cérebro?

No momento de desenvolvimento, o professor deve distribuir o roteiro que se encontra anexo, a este plano de aula. Nele tem os procedimentos da dissecação do olho de boi que devem ser seguidos, bem como as observações a serem feitas. Por exemplo, a atividade pede ao aluno que olhe pelo cristalino, uma seta que está impressa no roteiro. Ele observar que a imagem da seta é invertida. É pedido também que o aluno que identifique a lente, classifique-a como divergente ou convergente, e se ela seria considerada delgada ou espessa, justificando sua resposta.

Em outro momento o professor deve pedir aos educandos que identifique e as nomeiem as principais partes do olho de boi. Isso deve ser feito escrevendo os nomes, em pedaços de papel, colocando-as ao lado das partes dissecadas.

Na síntese integradora, o plano prevê a resolução das perguntas por parte dos alunos. O professor deve auxiliar as equipes ouvindo e promovendo perguntas aos alunos e principalmente, incentivando o uso do material de pesquisa pedido.

4.2.5 Plano de aula nº 04(6ª e 7ª aula): Lentes esféricas.

Este momento contempla até 2 aulas de 50 minutos cada. Estas aulas são compostas por experimentos demonstrativos e aulas teóricas sobre lentes esféricas. Será dada ênfase a definição e localização dos elementos ópticos geométricos e a classificação das imagens.

As competência e habilidades desenvolvidas são de identificar, conceituar e compreender grandezas físicas relevantes sobre lentes esféricas. Devemos associá-las ao um modelo teórico adequado, mas entendendo as suas aproximações e limitações.

O professor deve disponibilizar e projetar o material de apoio que se encontra no anexo desta aula. Nele encontramos os elementos geométricos como as grandezas físicas necessárias para aplicar um modelo teórico de lentes esféricas com sistema óptico centrado

com raios paraxiais (raios de luz próximos ao eixo óptico principal, paralelos entre si ou fazendo um pequeno ângulo com o eixo óptico principal).

No momento de incentivação, o professor começa com uma afirmação sobre a capacidade das lentes de produzirem imagens que estão com diferentes distâncias ou tamanhos, em relação a lente como também ao objeto. O professor pergunta a turma se seria possível, colocar um objeto na frente de uma lente, e não gerar qualquer tipo imagem.

No momento de desenvolvimento da aula, o professor deve apresentar as classificações das lentes, nomenclatura, como também os elementos geométricos que definem um sistema centrado de uma lente, o modelo de raios paraxiais e sobre as aberrações e como reduzi-las.

O professor deve destacar a definição de lente delgada (a espessura é muito pequena em comparação com os raios de curvatura das superfícies esféricas, e assim desprezada) e espessa (o diâmetro da lente é da mesma ordem que os raios de curvatura das superfícies esféricas). Também é importante enfatizar a equação dos fabricantes de lentes, tanto para lentes espessas e delgadas, e as convenções de sinais associadas.

Como recurso didático, o professor necessitará de cópias do material de apoio, projetor, computador e uma lente esférica. No computador iremos usar, além do arquivo do material de apoio, um simulador Phet “Geometric Optics 2.05⁶”. Neste simulador é possível alterar dados do objeto, como suas posições em relação à lente esférica, e visualizar os caminhos dos raios de luz paraxiais.

Além disso, é possível alterar características físicas da lente esférica, como índice de refração e raios de curvaturas de suas superfícies, determinar o eixo óptico principal e tirar medidas das posições e distâncias usando uma régua, podendo compará-las ao modelo teórico das lentes delgadas.

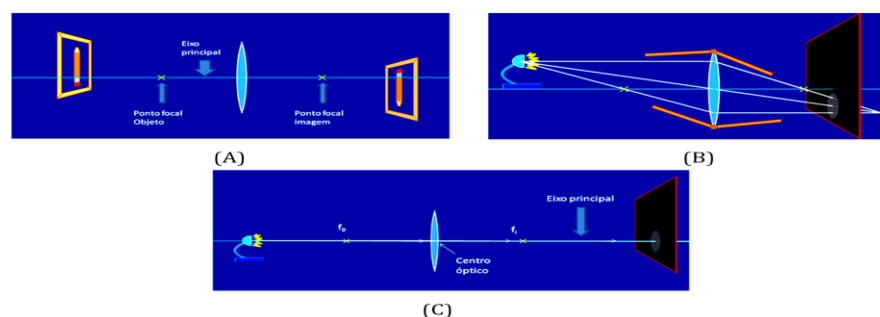


Figura 4.17 Simulador Phet usando uma lente convergente delgada. (A) Uso do simulador para mostrar alguns dos elementos ópticos importantes. (B) A convergência da luz em alguns pontos importantes, como no ponto focal e pelo centro óptico, por onde não há desvio. (C) Forma de identificar o eixo óptico principal, não há desvio do feixe de luz. Fonte: O autor.

⁶ Disponível em <http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.html> acessado em 30/05/2016.

Ao final deste momento, o professor deve comentar sobre as classificações das imagens (real ou virtual, direita ou invertida e maior ou menor ou igual em relação ao objeto). É importante que o professor utilize o material de apoio, pois encontramos um quadro explicativo. Nele apresentamos às classificações das imagens, em função das distâncias do objeto a lente, como também, em relação aos pontos focais e pontos antiprincipais da lente esférica delgada, como mostrado na tabela 4.7.

	• Lente Convergente. • Imagem Real, Invertida e menor. • Objeto a uma grande distância do centro óptico (maior que duas vezes a distância focal). • Aplicado em câmara fotográfica e vista humana.
	• Lente Convergente. • Imagem Real, Invertida e Igual. • Objeto a uma distância duas vezes maior que a distância focal. • Aplicado em Máquina fotocopadora (“Xerox”)
	• Lente Convergente. • Imagem Real, Invertida e Maior. • Objeto a uma distância menor que duas vezes a distância focal. • Aplicado em Projetores de Slide e filmes.
	• Lente Convergente. • Objeto sobre o foco objeto. • Imagem imprópria (formada no infinito). • Aplicado em Holofotes e conjunto óptico dos faróis de veículos.
	• Lente Convergente. • Imagem Virtual, Direita e Maior. • Objeto entre o foco e o centro óptico O. • Aplicado na correção da hipermetropia e como lente de aumento, por exemplo, Lupa.
	• Lente Divergente. • Imagem Virtual, Direita e Menor. • Objeto pode estar a qualquer distância da lente. • Aplicado na correção da miopia

Tabela 4.7 Classificação das imagens para lentes esférica delgadas. Fonte: O autor.

Ao final o professor comenta sobre os principais problemas da visão e como corrigi-las usando lentes esféricas do tipo convergente e divergente.

Na síntese integradora o professor irá utilizar uma lente esférica côncava – convexa, retirada de algum retroprojektor que não esteja mais funcionando, e uma lâmpada com uma seta de papel, como mostrado na figura 4.18 (A).

Neste momento, o professor irá fazer perguntas a turma, como a nomenclatura e classificação da lente esférica utilizada (convergente ou divergente e delgada ou espessa). Usando a seta feita de papel, anexada à lâmpada, e a lente, como na figura 4.18 (A), o professor irá pedir aos alunos que identifiquem e classifiquem as imagens, como descrito na tabela 4.7, produzidas pelo conjunto (lâmpada + lente), como mostra as figuras 4.18 (B) e (C).

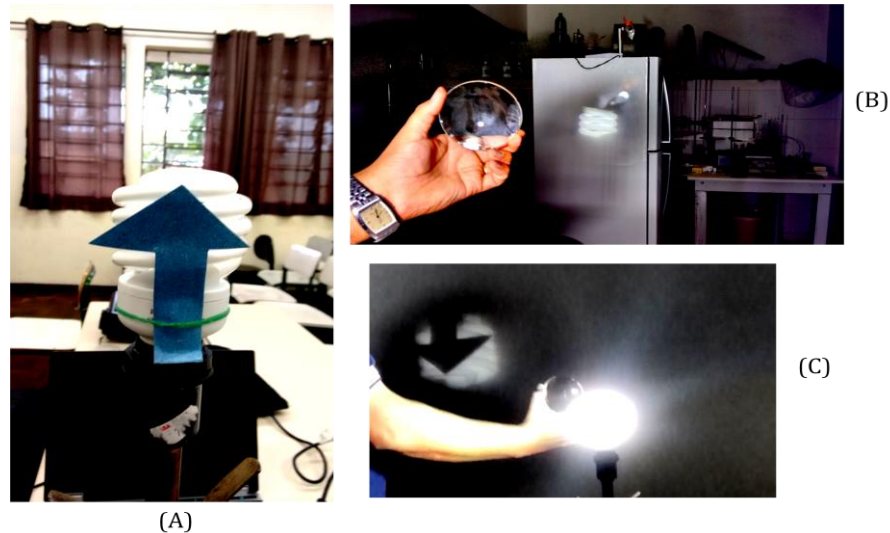


Figura 4.18 (A) Lâmpada com a seta. Fica mais fácil a visualização da imagem formada pela lente de retroprojektor. (B) e (C) imagem real (por ser projetada), invertida e maior que em relação à orientação e ao tamanho do objeto. Fonte: O autor.

Ao final, o material apresenta alguns exercícios sobre a determinação e a classificação das imagens utilizando método gráfico. Para isso, o professor deve fazer um exercício, como exemplo, de como determinar as características da imagem (classificação, posições no eixo óptico principal e tamanho da imagem em relação ao objeto) fornecida por uma lente esférica. O restante dos exercícios, o professor deve pedir aos alunos que façam em casa, para ser corrigido em aula posterior.

O professor deve avisar os alunos sobre a atividade experimental do plano de aula nº 05, enfatizando a importância de trazerem os materiais produzidos anteriormente. Assim, caso haja necessidade, o professor deve analisar a possibilidade de uma segunda aula, como prevista neste plano de aula, para responder dúvidas e fazer as correções necessárias das atividades realizadas.

4.3 Plano de aula nº 05 (8ª, 9ª e 10ª aula): Aplicação do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.

Esta etapa está planejada para o período de três aulas de 50 minutos, divididas em duas aulas para a execução da atividade e uma para a discussão ou “feedback” dos resultados

obtidos. A turma será dividida previamente em equipes conforme a necessidade do professor e cada uma delas terá um simulador didático disponível.

É importante lembrar que todos os aparatos experimentais, já devem estar disponíveis aos alunos, ou seja, este plano de aula não contempla a produção do modelo de isopor do globo ocular, da fonte externa e dos suportes e lasers.

Discutiremos o plano de aula nº 05, pois os quatro primeiros planos são destinados aos organizadores prévios. Vamos comentar os pontos mais importantes e relevantes na aplicação do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.

Descreveremos o plano de aula com uma estrutura dividida em (a justificativa desta divisão foi descrita no item 4.2):

- (A) Competências e habilidades.
- (B) Momento de incentivação.
- (C) Momento de desenvolvimento.
- (D) Momento de síntese integradora.

O professor deverá pedir anteriormente aos alunos, que tragam os aparatos experimentais confeccionados, isto é, o modelo em isopor e os suportes para os lasers. Além disso, os alunos devem trazer: três pilhas do tipo AA, pires ou pequeno prato para apoiar a lente, calços de madeira para nivelar esta última com o feixe luminoso e um anteparo, por exemplo uma caixa de sapato.

É importante que o professor deixe claro que estes materiais descritos anteriormente são de responsabilidade dos alunos. Casos especiais, como os alunos de baixa renda, devem ser analisados separadamente e junto com o corpo administrativo do colégio.

Por outro lado, o professor deverá disponibilizar o kit com os materiais, disposto na tabela 4.8, assim como preservativos masculinos, fita adesiva para fixação da fita métrica à mesa ou bancada de trabalho, roteiros para as equipes e detergente para limpeza das mãos como também, caso precise, para retirar o excesso de lubrificante do preservativo.

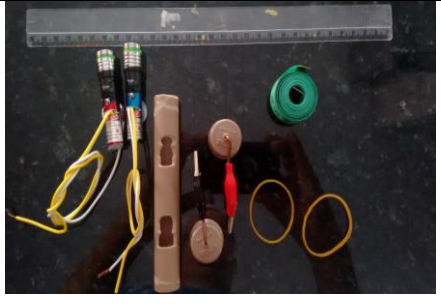
Kit	
• 2 lasers preparados previamente • 1 Fita métrica de costureira • 1 régua de 30 cm • 1 fonte elétrica de pilha • 2 elásticos do tipo usado para enrolar dinheiro	

Tabela 4.8 Kit que o professor deve ter preparado antes da atividade. Fonte: O autor.

Os roteiros, que se encontram no anexo do plano de aula, foram elaborados de tal forma que o aluno reflita e discuta com os colegas e com o professor sobre os procedimentos que estão sendo executados. Isto ocorre através de perguntas que são respondidas na sequência e durante a execução de tais ações, retomando conhecimentos que foram debatidos nas aulas dos organizadores prévios.

Dentre as competências e habilidades (item A da tabela anterior) proposta, temos as seguintes:

1. Entender sobre o processo de acomodação do olho humano e reproduzi-lo usando o simulador.
2. Compreender o modelo de raios paraxiais com feixe de luz paralelo ou divergente.
3. Relacionar um modelo teórico de lentes que possa descrever com boa precisão o processo de focalização da imagem sobre a retina.
4. Encontrar e localizar no Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano os elementos ópticos do modelo teórico utilizado, como os pontos focais e o eixo óptico principal.
5. Entender as aproximações e limitações do simulador em comparação com o olho humano.

No momento de incentivação (item B da tabela anterior) o professor pergunta aos alunos: porque o olho humano não é capaz de focalizar simultaneamente objetos próximos e longínquos? Neste momento o professor deve ouvir as respostas, mas não respondê-las, mas deixar um suspense no ar. Essa questão será respondida no final da atividade.

No momento do desenvolvimento (item C da tabela anterior) explicaremos sobre a aplicação do simulador didático em sala de aula. Todos os aparatos experimentais disponíveis (os materiais da tabela 4.1, a lente flexível conforme instruções do item 4.1.2, e roteiros, que se encontram no anexo desse plano de aula) devem estar disponibilizados aos alunos.

Vamos encontrar o eixo óptico principal da nossa lente flexível, representando-o com uma fita métrica. Para isso, esticamos e fixamos a fita métrica sobre a mesa ou bancada de trabalho com o auxílio de uma fita adesiva. Em seguida, centramos e alinhamos a lente flexível sobre a fita métrica, conforme a figura 4.19.

A fita métrica foi escolhida por ser fácil de encontrar e por ser uma boa alternativa para marcar as posições e determinar as medidas, como diâmetro da lente e a distância focal da lente, necessárias para o desenvolvimento da atividade.

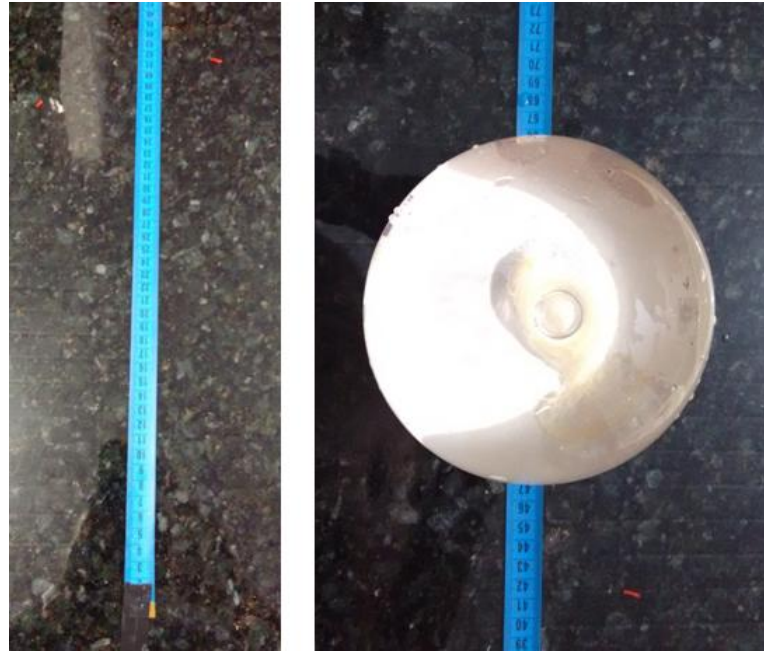


Figura 4.19 representação do eixo óptico da lente flexível. Fonte: O autor.

Em seguida conectamos os 2 lasers aos seus suportes como também a fonte de energia, lembrando que eles são polarizados e caso sejam ligados com polarização invertida podem sofrer danos.

No roteiro o aluno é questionado, a respeito de encontrar o eixo principal da nossa lente usando a fita métrica para isso. No plano de aula nº 04, vemos que o eixo principal pode ser encontrado incidindo o feixe de luz na lente, de forma que ele não sofra desvio. Assim, o aluno deve alinhar um dos lasers sobre a fita métrica deixando-o paralelo tanto no plano vertical (Altura) como horizontal (mesma linha da fita métrica).

Para fazer os ajustes fino na altura do laser, o aluno pode movimentar a junta esférica. Usando a régua, medimos a altura, em relação à mesa de trabalho, do feixe luminoso próximo ao laser e à lente flexível. Assim se as medidas forem iguais significa que o feixe do laser está paralelo à fita métrica. O alinhamento está mostrado na figura 4.20.

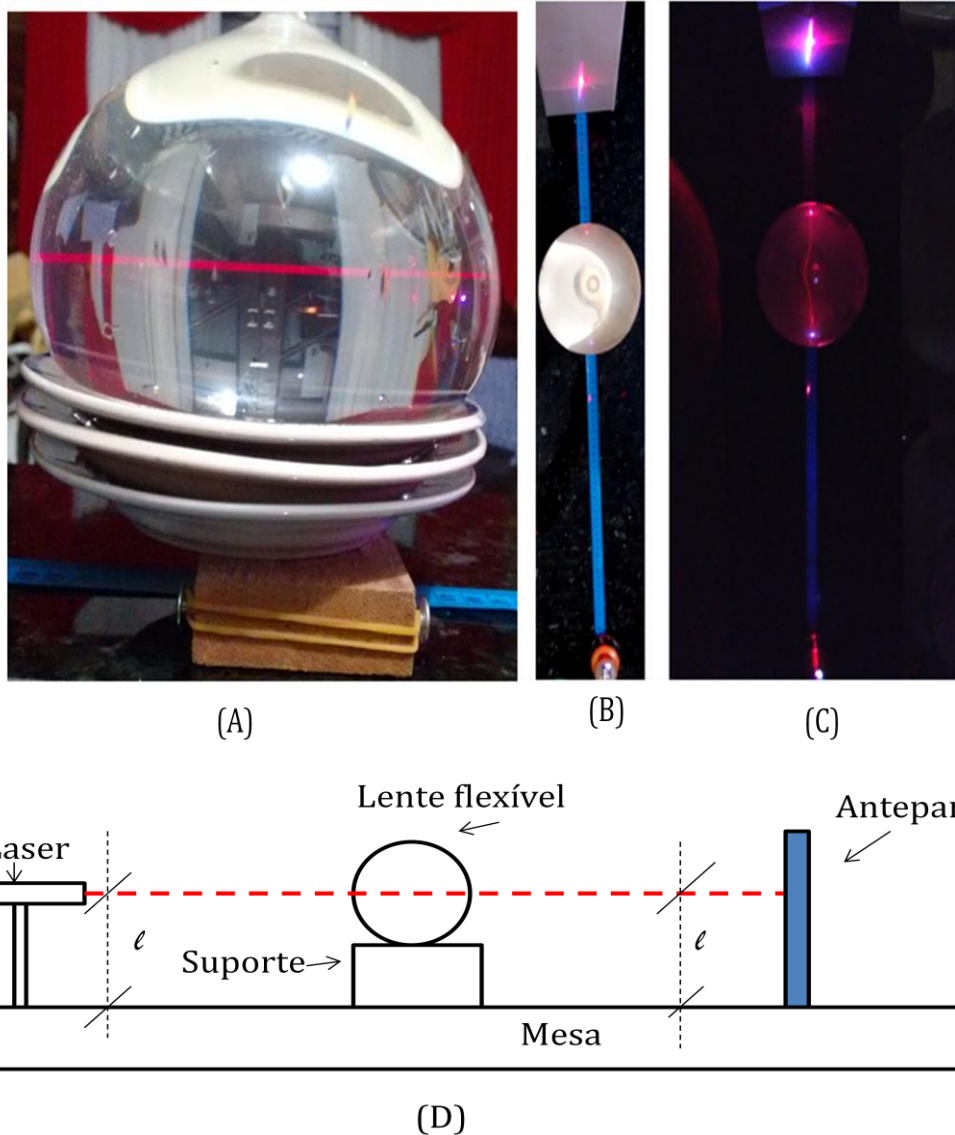


Figura 4.20 Fita métrica alinhada com o eixo óptico principal. (A) O ajuste da altura é muito limitado no suporte. Para isso podemos usar calços de madeira. Vemos também que a luz está sofrendo um leve desvio no plano vertical, o que pode ser desprezado. Fonte: O autor. (B), (C) e (D) O feixe de luz está paralelo à fita métrica. Vemos que o feixe de luz não sofre desvio mantendo-se alinhado com a fita métrica. Fonte: O autor.

Logo após, o roteiro da atividade experimental questiona o aluno se a lente flexível utilizada é convergente ou divergente pedindo para que se justifique a resposta. Em seguida, a atividade experimental propõe o aluno pensar sobre uma maneira de se determinar a distância focal da nossa lente de forma experimental. Para ajudar, o roteiro fornece a seguinte dica: *“Todo o raio incidente que esteja paralelo ao eixo óptico principal cruza com ponto focal”*.

O roteiro indica que para determinar experimentalmente a distância focal da nossa lente, precisamos de um feixe de luz paralelo ao eixo óptico principal. Usando a régua e os elásticos, como simples marcadores, alinhamos ambos os lasers tanto vertical como horizontalmente, de tal forma que fiquem paralelos à fita métrica, como mostrado na figura 4.21. Vamos produzir dois feixes de luz paralelos ao eixo óptico principal, formado por dois

lasers, um a direita e outro a esquerda da fita métrica. Isto é realizado da seguinte maneira. A altura de cada um dos lasers é medida perto deles e depois longe deles. As alturas devem coincidir. Analogamente, para o alinhamento horizontal; ou seja, perto e longe dos lasers as distâncias de cada feixe com relação ao meio da fita métrica devem coincidir.

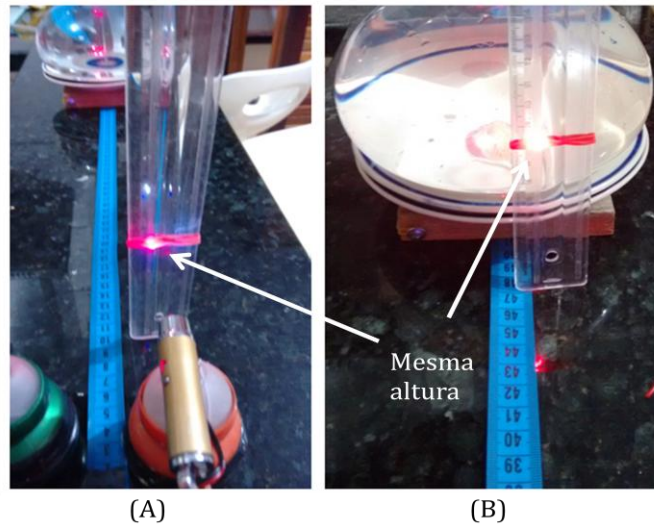


Figura 4.21 Alinhamento dos Lasers. (A) e (B) Usando a régua e o elástico, alinhamos o feixe usando como referência a fita métrica. Figura mostrando o alinhamento do laser da direita. Fonte: O autor. (C) e (D) Alinhamento do laser da esquerda. Fonte: O autor.

Usando o anteparo e a marcação da fita métrica é possível encontrar a posição do ponto focal da lente, já que nossa lente é convergente e os raios de luz paralelos convergem para um ponto focal, como mostrado na figura 4.22.

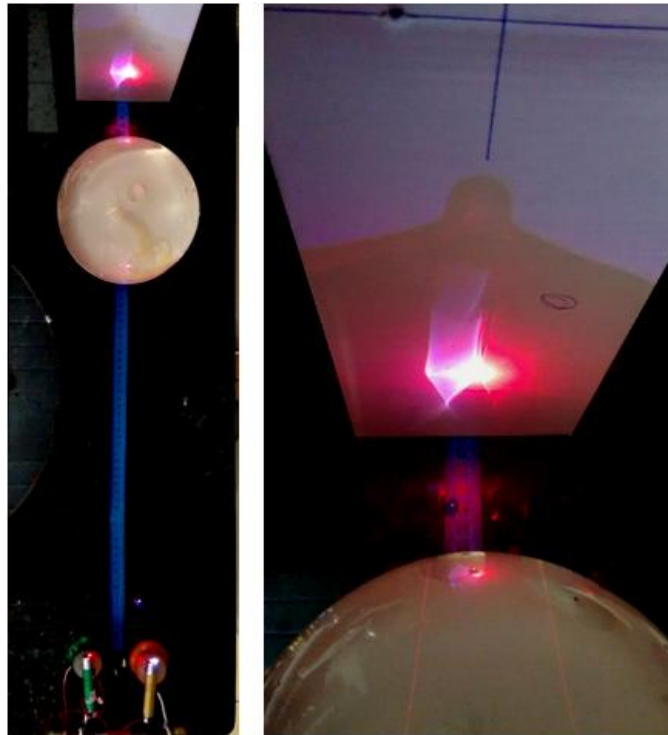
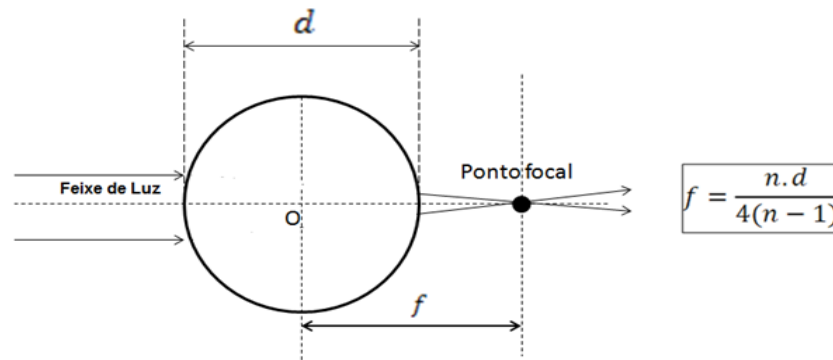


Figura 4.22 A convergência dos raios luminosos incidentes, passando pelo ponto focal. Fonte: O autor.

Sem mexer no experimento, pois iremos tirar alguns dados, o roteiro faz a seguinte afirmação aos alunos: a possibilidade de atribuir um modelo que se encaixe na lente flexível e que seria possível utilizar a equação dos fabricantes de lentes, desde que respeitando as características de forma e dimensões físicas da lente flexível. Em seguida a atividade experimental questiona: desta forma, precisamos considerar a lente da atividade como sendo delgada ou espessa? Justifique a sua resposta.

Em seguida, a atividade propõe um modelo mais adequado ao formato e dimensões da lente flexível do simulador, chamada de “ball lens” (Vamos discutir o modelo teórico delas no próximo subtítulo 4.3.1). O modelo fornece as grandezas e as equações relevantes utilizadas, como ilustrado na figura 4.23.

Neste momento é importante que o professor oriente cada equipe, explicando o modelo utilizado e mostrando a localização dos elementos ópticos. É importante discutir as aproximações realizadas, como por exemplo, a esfericidade da nossa lente em comparação ao que o modelo teórico proposto.



Onde:

f = distância focal *

n = índice de refração da lente. No nosso caso $n_{\text{água}} = 1,33$

d = espessura da lente*

**As unidades da distância focal e espessura da lente devem ser as mesmas, pois o índice de refração é adimensional.*

Figura 4.23 Modelo teórico e fornecido a atividade experimental. Fonte: O autor.

Em seguida, o roteiro contém duas questões para que, a partir dos dados obtidos, os alunos determinem: o valor da distância focal experimental e teórica, e a acurácia ou exatidão da medida (o quão próximo a medida experimental se aproxima do valor teórico). Os alunos também são questionados sobre os significados destes resultados.

A atividade propõe aos alunos o desafio de deduzir, a partir da equação dos fabricantes de lentes, a equação utilizada nas “ball lens”. Essa questão foi colocada como um desafio e não é obrigatória, pois o tempo pode ser curto para algumas equipes, devido à precisão necessária para executar a atividade.

Além disso, temos alunos em salas que gostam de saber a origem das equações. É uma forma de oferecer atividades para equipes que são mais rápidas, evitando assim a ociosidade de seus integrantes. Como elas são optativas, respeita-se também equipes que tenham maiores dificuldades na execução da atividade, que demanda mais tempo.

São feitas mais três questões qualitativas sobre o olho humano, que demandam o manuseio efetivo do aparato. A primeira pede aos alunos que encaixem o modelo de isopor do globo ocular na lente, pelo qual os lasers irão atravessar. Desloca-se o globo de forma a alterar a distância deste até a lente, para obter-se na retina a imagem mais nítida possível. A segunda questão pede para analisar a fidelidade deste aparato didático com o olho humano de verdade, pedindo aos alunos que apontem semelhanças e diferenças. Finalmente, a terceira pergunta pede para que as equipes simulem experimentalmente, duas doenças do olho

humano: a miopia e a hipermetropia. Isto é possível afastando ou aproximando, respectivamente, o modelo do globo ocular da lente flexível.

O momento da síntese integradora (item D da tabela anterior) corresponde a uma situação que exige a presença do professor junto a equipe. Esta etapa é importante, pois é uma das formas de averiguar se a aprendizagem foi significativa ou não. O professor deve comentar que os modelos de raios paralelos, representam a formação de uma imagem com um objeto muito distante do globo ocular, como foi simulado anteriormente. Mas que em uma situação com objeto próximo ao olho, o modelo mais adequado é dos raios com feixe divergente.

Neste momento o professor aproxima os lasers à lente flexível e diverge o feixe de luz, como mostrado na figura 4.24, e estes não convergem mais para a retina do globo didático. Ele deve perguntar aos alunos a última questão da aula (e que está no roteiro): o que se pode fazer para focalizar a imagem novamente na retina? É esperado é que eles respondam que seja necessária a deformação no cristalino didático. Ou seja, que se processe a denominada acomodação do olho. O professor pede aos alunos que simulem isso usando o aparato didático e descrevam o que foi feito no espaço destinado do roteiro.



Figura 4.24 Feixe de luz divergente que simula a incidências de raios luminosos de um objeto próximo a vista. Fonte: O autor.

Ao final da atividade é importante que o professor peça aos alunos que organizem o local de trabalho e entreguem seus relatórios preenchidos.

Convém lembrar que o plano de aula está contemplando duas aulas para a execução e uso do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano e mais uma aula destinada principalmente para a análise dos resultados e parecer do professor. Assim a terceira

e última aula previstas, deve ser usada para comentar os resultados obtidos junto aos alunos para dirimir possíveis dúvidas.

Ao final desta aula, o professor deve aplicar o mesmo questionário do início do projeto, para poder fazer um comparativo entre antes e depois do projeto. Essa é uma das formas de averiguar a eficiência do projeto.

4.3.1 Elementos geométricos das “ball lens”

São lentes em formato de esferas (bolas) utilizadas no acoplamento de sinal de fibras ópticas para fibra óptica ou/e de fibra óptica para emissor ou detector de luz. Elas são fabricadas a partir de um único substrato de vidro podendo colimar ou focalizar os feixes de luz, geralmente provenientes de lasers [Edmundoptics, 2015].

Os elementos mais importantes, que caracterizam as “ball lens”, como mostrado na figura 4.25, são: o diâmetro da esfera (D), diâmetro do feixe de luz (d), distância focal efetiva (f), distância focal externa da lente (F) e o índice de refração (n) do vidro.

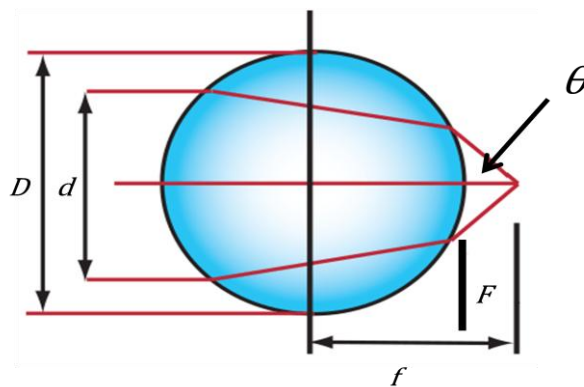


Figura 4.25 Os elementos mais importantes das *ball lens*. Neste caso o plano principal corta o centro da lente, assim a distância focal efetiva será centro da esfera até o ponto em que os raios de luz. [Edmundoptics, 2015].

Podemos deduzir a relação que determina a distância focal efetiva, a partir da equação dos fabricantes de lentes

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)D}{nR_1R_2} \right] \quad (1)$$

De tal forma que R_1 e R_2 são os raios das superfícies esféricas. Utilizando as convenções de sinais, da tabela 1.4, na figura 4.26, temos:

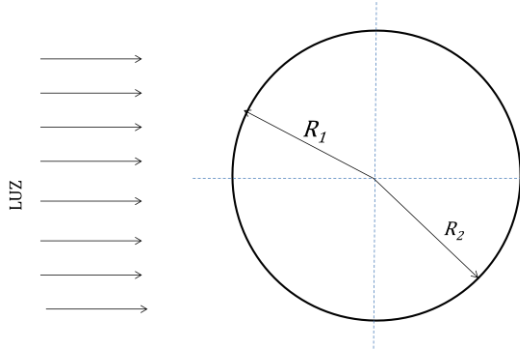


Figura 4.26 Raios das superfícies que compõe a lente. A convenção de sinal parte do princípio que a luz se propaga da esquerda para a direita

R_1 – Pois, em relação à luz, esta é uma superfície convexa.

R_2 – Pois, em relação à luz, esta é uma superfície côncava.

$$|R_1| = |R_2| = R$$

$$R = \frac{D}{2}$$

Aplicando os dados acima na equação (1), obtemos:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{1}{R} - \left(-\frac{1}{R} \right) - \frac{(n-1)2R}{nR.R} \right] \quad (2)$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{2}{R} - \frac{(n-1)2}{nR} \right] \quad (3)$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{2}{R} - \frac{2}{R} + \frac{2}{nR} \right] \quad (4)$$

$$f = \frac{nR}{2(n-1)} \quad (5)$$

Deixando a equação (5), em função do diâmetro D da lente, obtemos

$$f = \frac{nD}{4(n-1)} \quad (6)$$

A distância focal em relação à superfície externa à lente F

$$F = f - \frac{D}{2} \quad (7)$$

Para colimar a luz, definimos abertura numérica (NA) de um sistema óptico. Este número adimensional caracteriza a gama de ângulos nos quais o sistema pode receber ou emitir luz.

Este valor está em função dos diâmetros D e d e do índice de refração n . Assim

$$NA = n \sin \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + 4 \left(\frac{nD}{4d(n-1)} \right)^2}} \quad (8)$$

No limite paraxial, ou seja, $d/D \ll 1$ a abertura numérica, pode ser apresentada

$$NA = \frac{2d(n-1)}{nD} \quad (9)$$

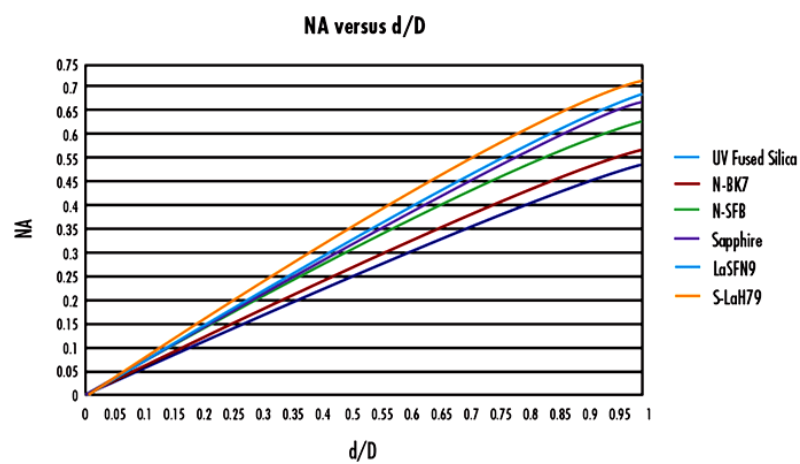


Gráfico 4.1 Abertura numérica (NA) em função do diâmetro das ball lens. Curvas para diferentes tipos de vidros. [Edmundoptics, 2015].

Capítulo 5

Resultados e conclusões

Neste capítulo vamos analisar os resultados obtidos, referentes à aplicação do produto educacional, o Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano. Foram usados questionários e outras atividades, todas disponíveis no produto educacional, respondidas pelos educandos. Também para a análise de resultados, foram comentadas conversas entre o professor e alunos (feitas após a aplicação do segundo questionário) como também as observações do professor aplicador do projeto.

O projeto foi aplicado no Colégio Estadual Alberto Gomes Veiga localizado na cidade de Paranaguá, PR. A Turma escolhida foi a 2ª série do curso integrado Técnico em Portos, composta por 39 alunos, com idades entre 15 e 16 anos.

O professor, autor e aplicador deste produto educacional, acompanha a turma desde o primeiro ano e pretende continuar (com de fato está ocorrendo) como professor até o final do terceiro ano. Apesar de apresentar um perfil mais agitado, ela é considerada, pelo professor aplicador, uma turma interessada e participativa. Eles se envolvem ativamente nos projetos propostos, tanto da disciplina de física como outros, do ambiente escolar.

As atividades foram desenvolvidas entre o mês de novembro e dezembro de 2015, em um total de 13 aulas, duas aulas a mais que previstas. Elas foram distribuídas em 6 momentos: 2 aulas (1 aula antes e 1 aula depois) para aplicação dos questionários mais 11 aulas de aplicação do projeto. Lembrando que estas aulas não levam em consideração o tempo de construção dos aparatos experimentais, como descrito no capítulo anterior.

Foram realizadas atividades de construção dos aparatos, dissecação do olho de boi, pesquisa e coleta de dados experimentais. Além disso, foram ministradas aulas de discussões e de exposições de conteúdos e resultados das atividades realizadas. Foram usados recursos didáticos variados, como simuladores e projeções de imagens.

Inicialmente vamos discutir os dados obtidos dos questionários, analisando as respostas dos educandos, antes e depois da aplicação do projeto. Em conjunto com este, vamos comentar conversas e impressões entre os envolvidos e algumas imagens, com respostas dos questionários, que justificam nossas conclusões.

Em seguida comentaremos as aulas dos organizadores prévios como da aplicação do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano. Vamos discutir os

principais resultados obtidos com o projeto em conjunto com imagens, impressões dos alunos e do professor aplicador.

Ao final concluiremos sobre as atividades desenvolvidas, seu impacto na melhora na qualidade de educação e os possíveis trabalhos futuros sobre o tema.

5.1 Resultados dos questionários

Antes de iniciar o projeto, foi entregue um questionário com algumas perguntas sobre a luz. Nosso objetivo era saber o que eles sabiam sobre os fenômenos ópticos. Como vimos no capítulo 4, ele é composto por sete questões divididas entre perguntas objetivas, dissertativas e algumas cuja a resposta dependem de um desenho. Essas perguntas constam também no manual em anexo.

Com isso, foi possível descrever um perfil, um panorama geral, da estrutura cognitiva dos estudantes antes e depois da aplicação do projeto. Além disso, o questionário, em conjunto com os outros dados e observações, mostra a eficiência do projeto e seu impacto na aprendizagem do aluno, constatando se foi significativa ou não.

Apesar do questionário não ser a forma ideal, ele fornece algumas informações relevantes sobre a luz e disponíveis na mente dos estudantes. Como visto no capítulo 2, sobre a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, deveríamos mapear a estrutura cognitiva de cada estudante e com isso propor atividades adequadas para cada um, mas isso se torna inviável na quantidade de educando daquela turma. Mesmo assim, foi possível averiguar qual a concepção geral os educandos desta turma, têm sobre a propagação e representação do raio de luz e como o olho humano consegue visualizar os objetos.

Para reforçar essas informações obtidas com o primeiro questionário, o professor conversou com os alunos sobre o que eles conheciam sobre a luz, sem responder perguntas, apenas ouvindo suas respostas.

No segundo questionário, o professor também conversou com a turma, após todos os estudantes terem respondido e entregues seus questionários. Algumas duplas ou indivíduos que erraram a respostas de algumas perguntas, principalmente aquelas objetivas, foram chamados para conversar reservadamente, para que pudéssemos entender o motivo da resposta errônea.

Ao total, foram analisados 42 questionários divididos em duas etapas: antes e após a aplicação do projeto, respondido tanto em dupla como individual, conforme a tabela 5.1. Foi dado um tempo de aproximadamente uma aula para cada etapa e durante a sua resolução, não

houve intervenção do professor. Durante este tempo os alunos discutiram entre si as questões e não usaram qualquer fonte de pesquisa.

	Número total de questionários	Número de questionários respondidos em dupla	Número de questionários respondidos individualmente
Antes da aplicação do simulador.	24	15	9
Depois da aplicação do simulador.	18	4	14

Tabela 5.1. Número de questionários analisados. Total de alunos presentes antes e após a aplicação do projeto: 39 e 22 estudantes respectivamente. Fonte: O autor.

A primeira etapa da aplicação dos questionários foi feita no dia 05 de novembro de 2015 e todos os alunos estavam presentes. A segunda etapa foi aplicada no dia 15 de dezembro com 22 alunos presentes e, por este motivo, a maioria dos questionários foram respondidos individualmente, apesar de não ser ideal para melhor análise dos resultados.

Aplicamos o mesmo questionário nas duas etapas do projeto, ou seja, antes e depois da aplicação do produto educacional sem um aviso explícito aos alunos. Isto torna possível uma melhor análise dos padrões de respostas. Montamos gráficos e discutimos os resultados obtidos, antes e depois da aplicação do projeto, para cada pergunta.

5.1.1 Questão nº 1.

“(UFMG Adaptado) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Desenhe a trajetória do(s) raio(s) de luz que permitam que Dirceu veja a Marília.”

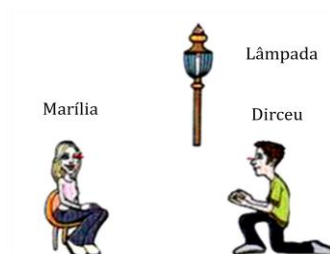
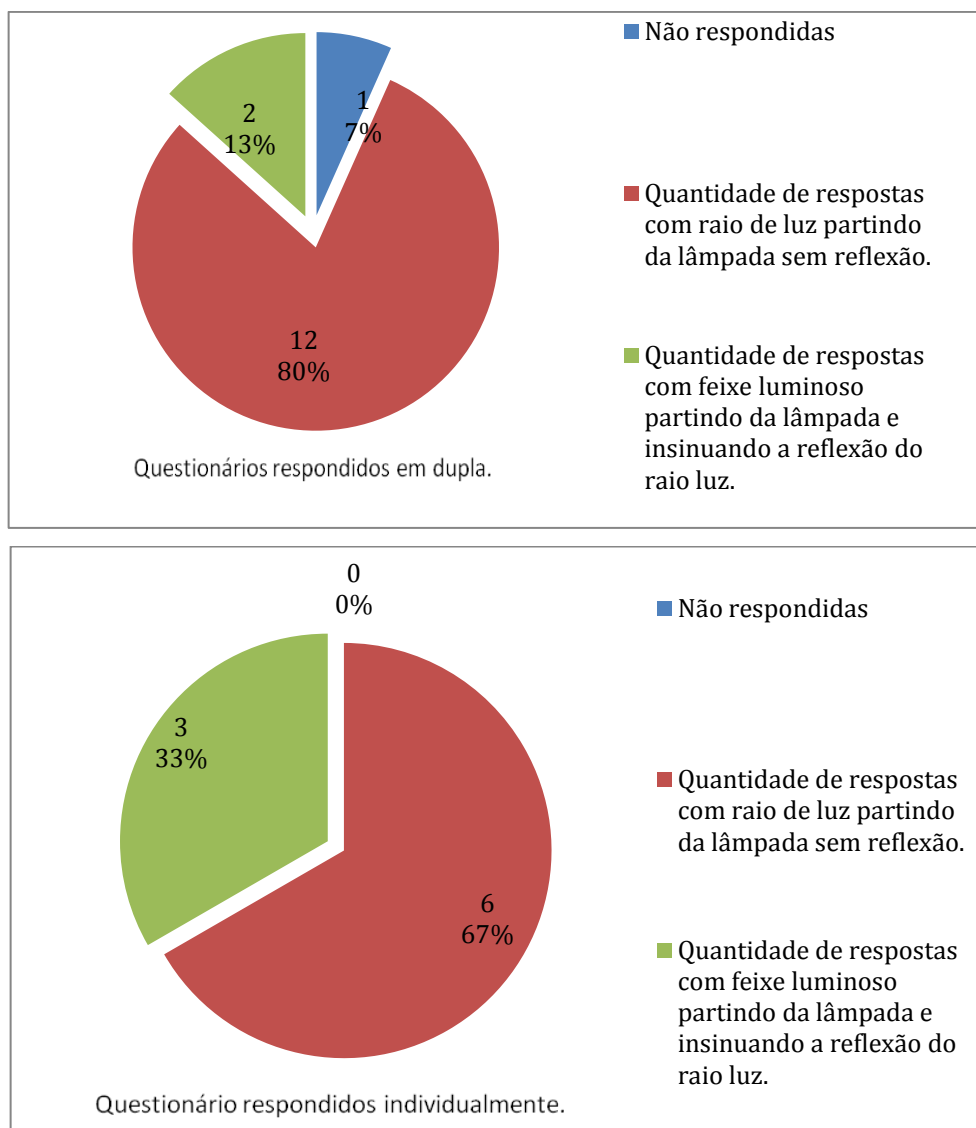


Figura 5.1 Desenho da questão nº 1 do questionário
(Adaptado de UFMG-2002)

O gráfico 5.1 mostra a quantidade de respostas, antes de aplicar o projeto, divididas em função de três padrões observados:

- Quantidade de questionários com questão não respondida.
- Número de alunos que esboçaram o feixe luminoso partindo da fonte primária (lâmpada) sem reflexão na personagem Marília.
- Número de alunos que esboçaram o raio luminoso, partindo da fonte primária, e indicando que existe reflexão na personagem Marília e que, de alguma forma, chega aos olhos do personagem Dirceu.



Gráficos 5.1 Número de resposta antes da aplicação do projeto. Total de questionários analisados: 24. Fonte: O autor.

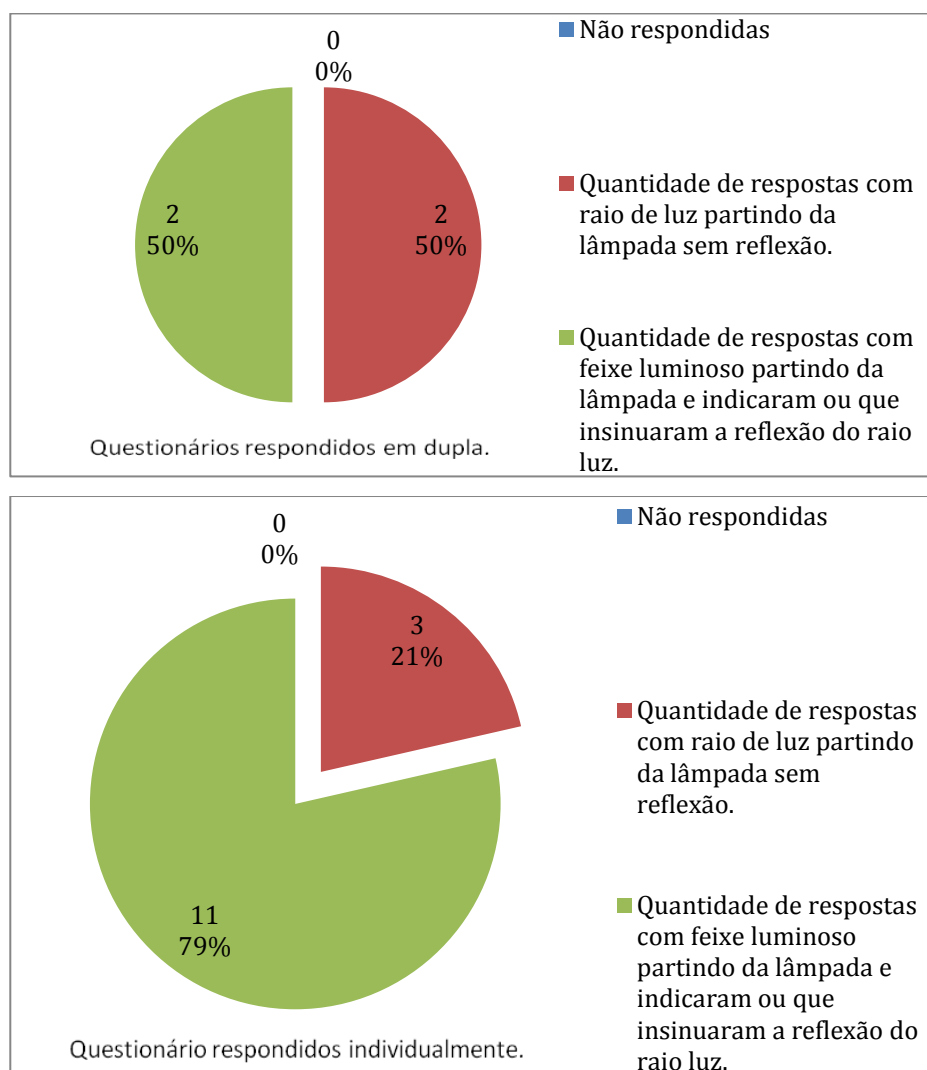
Na concepção geral dos alunos, antes de aplicar o projeto e durante conversa com os mesmos, a luz é energia que está associada a aquecimento, como o sol que ilumina e aquece. Sobre a representação da luz, eles têm noção sobre raio de luz, na qual, eles a esboçam através de retas ou riscos que partem de uma fonte de luz primária, com mostra a figura 5.2 (A).

Vemos que a grande maioria entende que o raio de luz é gerado pela lâmpada, mas poucos dão o indicativo que a Marília é uma fonte secundária de luz e que, para Dirceu a veja, é necessário que ela reflita luz na direção de seus olhos, como mostra a figura 5.2 (B).



Figura 5.2 Algumas respostas dos questionários. (A) Exemplo do esboço feito pelos alunos dos raios de luz. (B) Indicação da reflexão da luz no personagem Marília, que possibilita o personagem Dirceu a veja. (Adaptado de UFMG-2002)

O gráfico 5.2 mostra a quantidade de respostas, após aplicação do projeto. Após a aplicação do projeto, vemos um aumento de 13% para 50%, nos questionários em dupla e de 33% para 79%, nos questionários respondidos de forma individual. Relembrando que o acerto significa que o raio de luz, emitido pela lâmpada, reflete na “Marília” e se dirige ao “Dirceu”.



Gráficos 5.2 Número de respostas depois da aplicação do projeto. Total de questionários analisados 18. Fonte: O autor.

Do total de acertos da segunda etapa, 18 entre questionários respondidos em dupla e individualmente, uma pequena parte das respostas (4 ao total), os alunos utilizaram a representação de setas dos raios luminosos, como mostrado na figura 5.3 (A). Os restantes (14 respostas) indicaram ou insinuaram o caminho percorrido pela luz, mas sem indicar o sentido de propagação, como mostrados na figura 5.3 (B) e (C).

Quando questionado pelo professor, este último grupo de alunos, afirmou que a luz faz o caminho segundo o sentido “lâmpada→Marília→Dirceu”. Assim concluímos que os educandos sabiam o caminho e o sentido tomado pela luz, o que consideramos mais relevante. Apenas, não representaram da forma convencional.

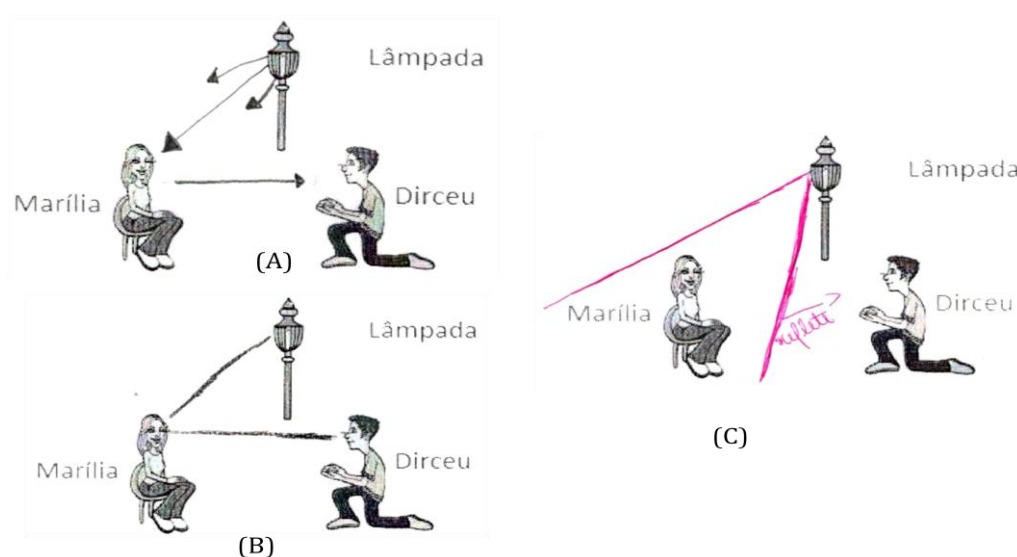


Figura 5.3 Exemplo de alguns resultados obtidos após a aplicação do projeto. (A) Representação dos raios de luz esboçada, como convencional, em alguns questionários. (B) e (C) Maiorias dos alunos indicaram que houve reflexão de luz na personagem Marília. (Adaptado de UFMG-2002)

5.1.2 Questão nº 02.

“Desenhe a imagem da flecha vista pelo olho respeitando o sentido, a posição e o tamanho dela no globo ocular. Use a figura ao lado”.

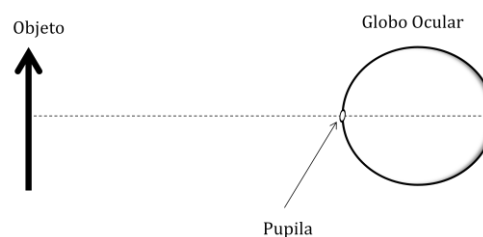
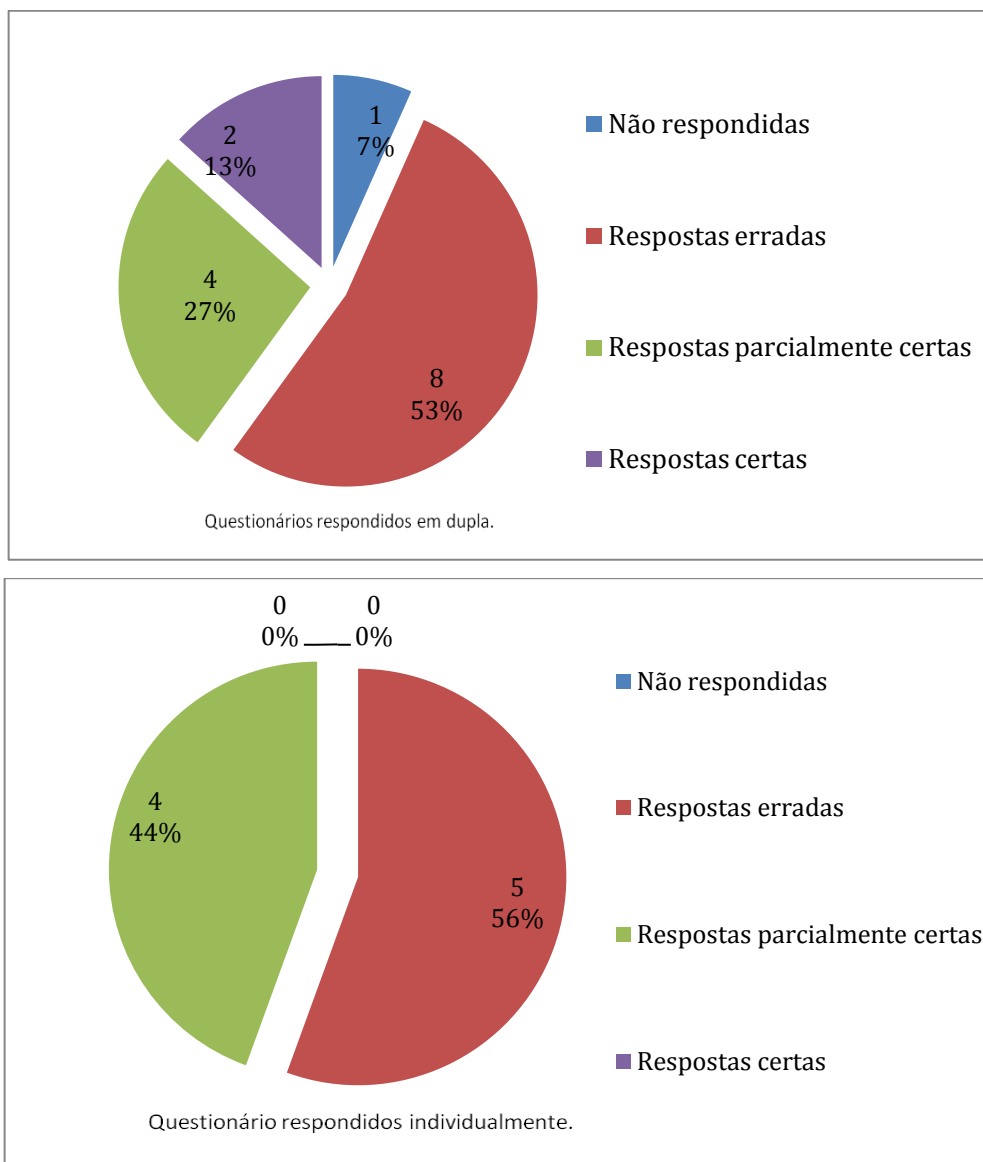


Figura 5.4 Desenho da questão nº 2 do questionário. Fonte: O autor.

O gráfico 5.3 mostra a quantidade de respostas, antes de aplicar o projeto, divididas em função de 4 padrões observados:

- i. Questão não respondida.
- ii. Respostas com desenhos sem coerência com a pergunta ou errada.

- iii. Respostas com desenhos com a orientação correta da imagem da fecha (invertida), mas com sua posição e tamanho (na retina) errada; ou seja, parcialmente certas.
- iv. Respostas que representaram corretamente a orientação, tamanho e posição da imagem na retina.



Gráficos 5.3 Números de respostas, antes da aplicação do projeto. Total de questionários analisados: 24. Fonte: O autor.

Grande parte dos alunos não sabia como a imagem era formada dentro do olho humano e colocou respostas sem coerência, como mostrado na figura 5.4 (A), com raios de luz que saíam da visão ou com imagens fora de posição e de orientação.

Nas respostas parcialmente certas, os alunos sabiam e afirmaram oralmente que a imagem era invertida e dentro do olho, como mostra a figura 5.4 (B), mas não conseguiam justificar sua resposta. Por isso, desenharam a imagem com altura muito fora da proporção e longe da retina.

Apenas poucos alunos sabiam que a imagem era invertida, representando os raios luminosos da maneira correta, como mostrado na figura 5.4 (C). Em conversa com os alunos após a aplicação da primeira etapa, eles entenderam que os raios de luz se cruzam pela pupila até atingir o fundo do olho.

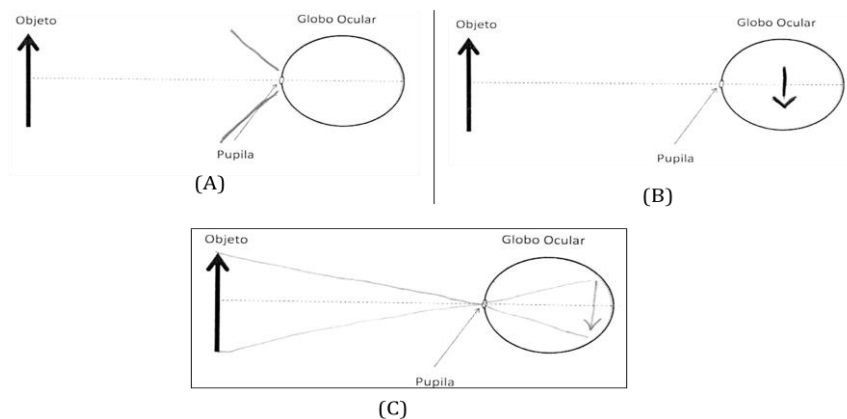
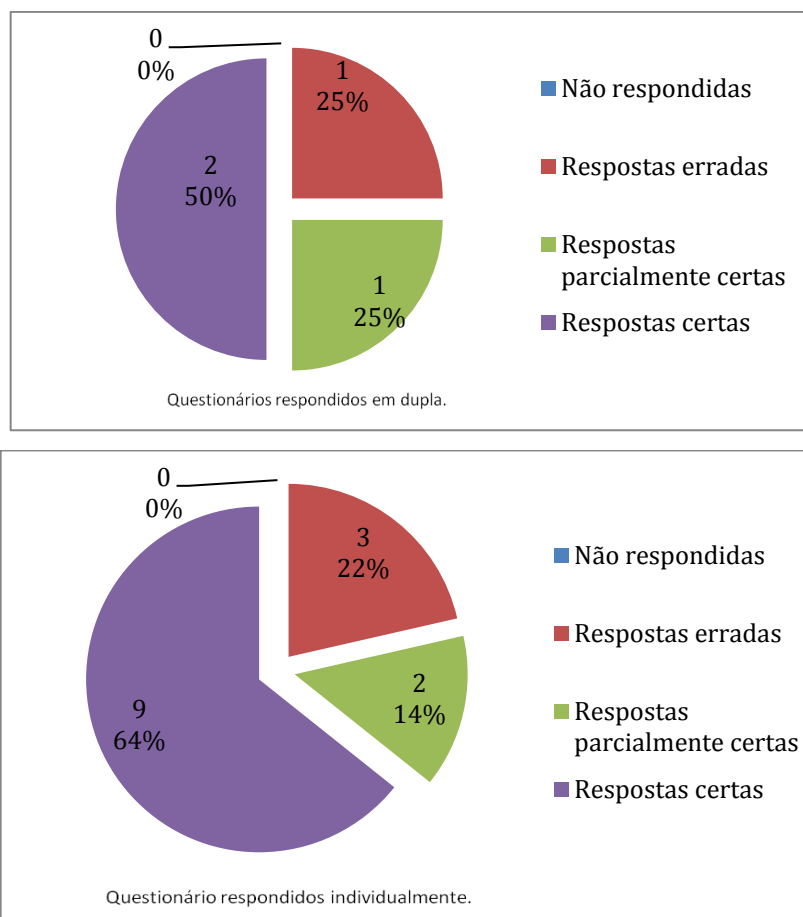


Figura 5.4 Exemplo de respostas. (A) Um dos erros mais comuns, os raios de luz se encontravam na pupila, mas não havia continuação ou vinha de forma arbitrária. (B) o esboço da seta estava na orientação correta (invertida), mas sua posição e tamanho estavam errados. (C) Uma das respostas considerada certa, apesar da falta de precisão do desenho. Fonte: O autor.

O gráfico 5.4 mostra a quantidade de respostas, após aplicação do projeto. Nesta situação, observamos um aumento na quantidade de respostas certas (de 13% para 50% para os questionários respondidos em dupla e de 0% para 64% para os questionários respondidos individualmente). Esse aumento foi caracterizado por uma melhor representação da imagem da flecha no fundo do olho. Os alunos tomaram cuidado com a orientação, tamanho e com a posição da imagem na retina, como mostrado na figura 5.5.



Gráficos 5.4 Número de respostas depois da aplicação do projeto. Total de questionários analisados: 18. Fonte: O autor.

Nesta etapa, nenhuma resposta teve o esboço dos raios de luz provenientes da flecha, cruzando pela pupila e formando a imagem sobre a retina. Em conversa com estes alunos, eles afirmaram que o problema não questionava isto, mas que eles sabiam que os raios de luz das extremidades da flecha, se cruzaram na pupila e projetando sua imagem na retina. Sobre o tamanho desta, eles sabiam que existia uma proporção, caso o olho fosse comparado com uma câmara escura.

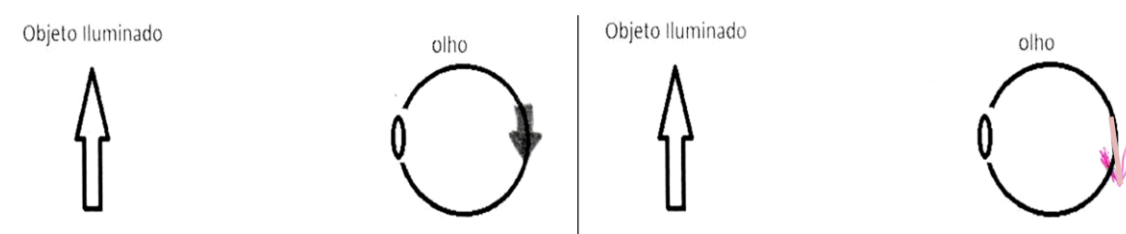


Figura 5.5 A representação da imagem da seta no fundo do olho, após a aplicação do projeto. Fonte: O autor.

5.1.3 Questão nº 03.

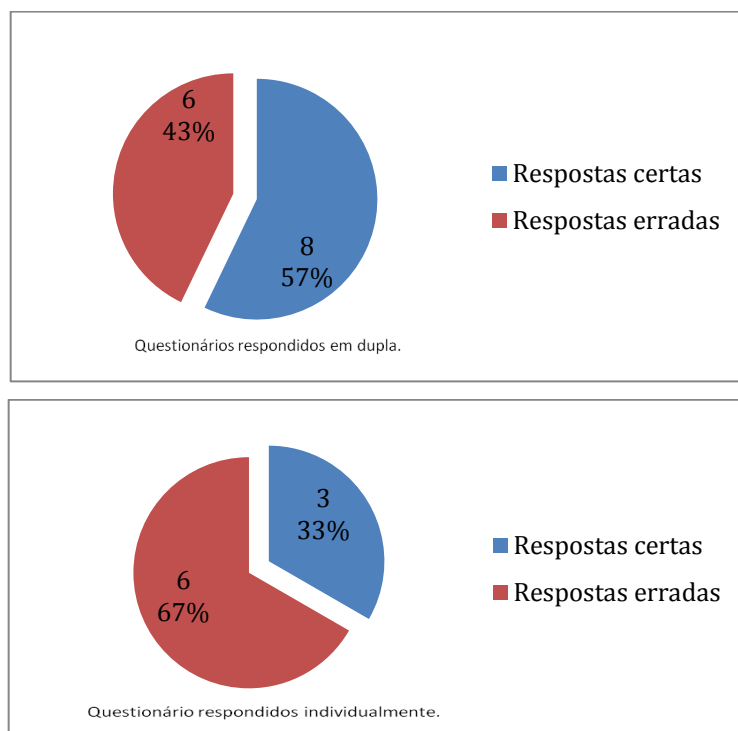
“Para que você possa ver uma flor colocada em um vaso é necessário que:

- Somente que os sinais nervosos passem dos olhos até o cérebro.*

- b) *Que a luz de uma lâmpada, por exemplo, reflita na flor, chegue até os olhos e seja transmitida ao cérebro por sinais elétricos através do nervo óptico.*
- c) *Que a flor seja iluminada, bastando isto para vê-la.*
- d) *Os raios de luz que saiam de seus olhos e chegue até a flor.*
- e) *Que os olhos emitam raios luminosos refletindo na flor chegando novamente aos olhos. Essa informação é transmitida para o cérebro através de pulsos nervosos pelo nervo óptico.”*

Nesta questão a alternativa correta era a “b”. Em conversa com os alunos, antes de aplicar o projeto, a maioria deles, sabia que precisamos de luz para enxergar, mas não conseguiam explicar o caminho que ela percorria para que isso pudesse acontecer.

Os gráficos 5.5 e 5.6 mostra a quantidade de respostas certas e erradas antes e depois, respectivamente, da aplicação do projeto. Vemos um aumento significativo no número de questionários corretos em ambos os grupos de alunos analisados (de 57% para 75% para os questionários respondidos em dupla e de 33% para 100% para os questionários respondidos individualmente). Em conversa com a dupla de alunos que errou na segunda etapa, eles ficaram discutindo entre as alternativas “b” e “e” e chegaram à conclusão que não prestaram a devida atenção na questão.



Gráficos 5.5 Número de respostas antes da aplicação do projeto. Total de questionários analisados: 24. Fonte: O autor.

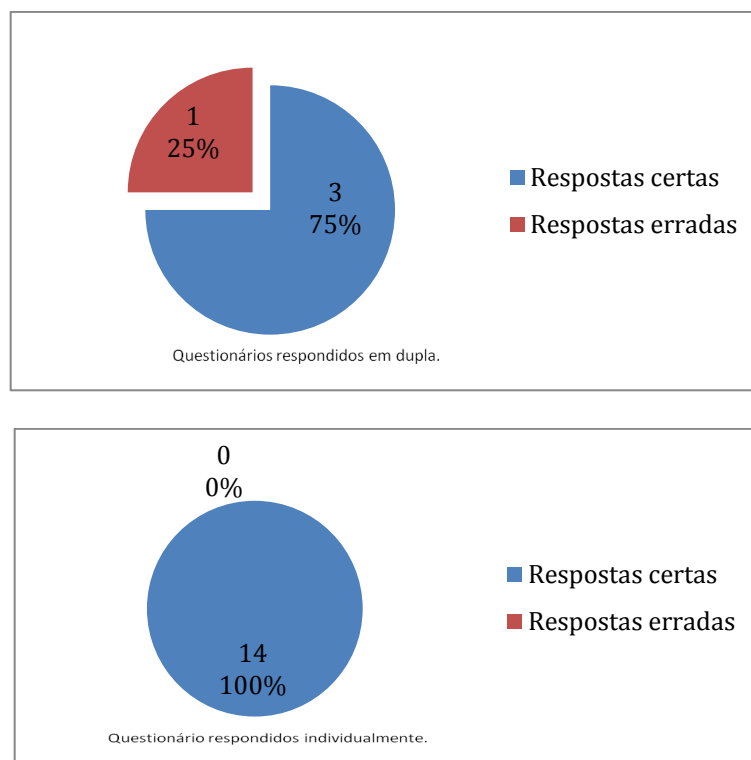


Gráfico 5.6 Número de respostas depois da aplicação do projeto. Total de questionários analisados: 18. Fonte: O autor.

5.1.4 Questão nº 04.

“É possível que a luz faça curva ou mude sua trajetória? Você poderia citar um exemplo ou situação?”

O gráfico 5.7 mostra a quantidade de respostas em função de 5 padrões observados, antes de aplicar o projeto:

- i. Não respondidos ou não sabiam.
- ii. Respostas negativas, ou seja, que não era possível a luz mudar de direção.
- iii. Respostas afirmativas. Na justificativa da resposta houve a intenção de explicar e exemplificar utilizando o conceito da reflexão da luz.
- iv. Respostas afirmativas. Na justificativa da resposta houve a intenção de explicar e exemplificar utilizando o conceito da refração da luz.
- v. Respostas afirmativas. Na justificativa da resposta houve a intenção de explicar e exemplificar utilizando tanto o conceito da reflexão ou refração.

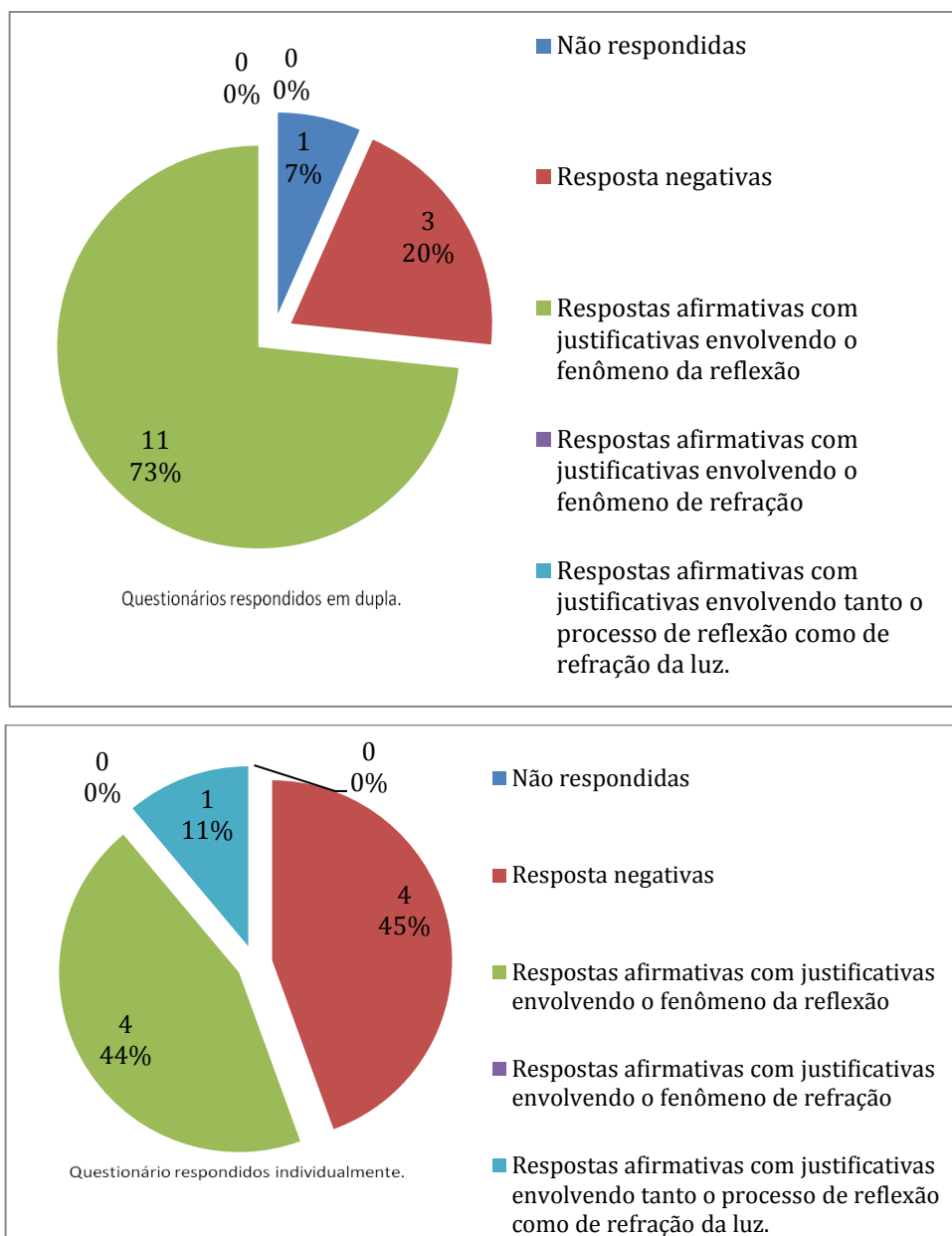


Gráfico 5.7 Número de respostas de antes da aplicação do projeto. Total de questionários analisados 24. Fonte: O autor.

Diferentes das perguntas anteriores, esta não apresenta uma respostas certa ou errada. Nosso objetivo era de averiguar o entendimento dos alunos sobre fontes e fenômenos luminosos (refração e reflexão).

Os grupos de alunos que negaram a possibilidade da luz mudar sua trajetória justificaram que ela só pode se propagar em linha reta. Os outros grupos de alunos que afirmaram essa possibilidade justificaram suas respostas baseadas principalmente na reflexão da luz, usando como exemplo o espelho. O restante, exceto aqueles que não responderam ou negaram, não usaram o termo refração, mas justificaram utilizando, como exemplo, o que ocorre com a luz quando incide no espelho ou em uma superfície de vidro.

O gráfico 5.8 mostra a quantidade de respostas, após aplicação do projeto, utilizando os mesmos parâmetros do gráfico anterior.

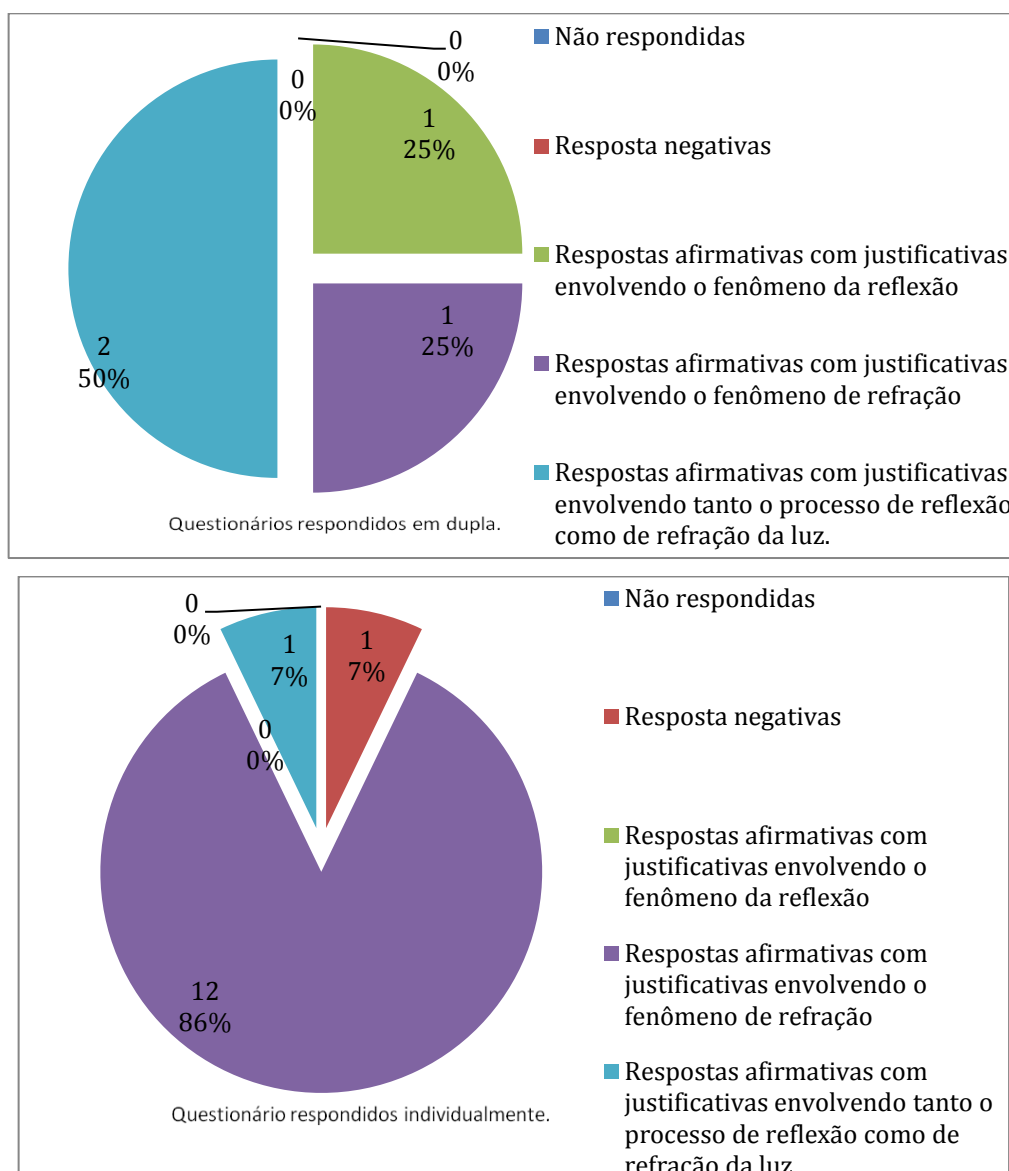


Gráfico 5.8 Número de respostas depois da aplicação do projeto. Total de questionários analisados 18. Fonte: O autor.

Nas respostas analisadas, observamos o uso do termo “refração”, “curvar” e “desvio” na trajetória da luz para justificar a resposta da questão. Houve aumento de respostas que usam a refração da luz de 0% para 25% para os questionários respondidos em dupla e de 0% para 86% para os questionários respondidos individualmente. Isso ficou comprovado em conversa com os educandos, onde eles afirmaram que a luz pode sofrer desvios quando muda de meio. Para exemplificar, a maioria dos alunos citaram a lente esférica e o funcionamento da fibra óptica.

5.1.5 Questão nº 05.

“Se um colega filosofa e diz “Todos somos fontes de luz”. Analisando no aspecto da Física, ele está certo? Justifique”.

O gráfico 5.9 mostra a quantidade de respostas em função de 3 parâmetros observados, antes de aplicar o projeto:

- i. Não respondidos ou com respostas inconclusivas.
- ii. Respostas negativas.
- iii. Respostas positivas.

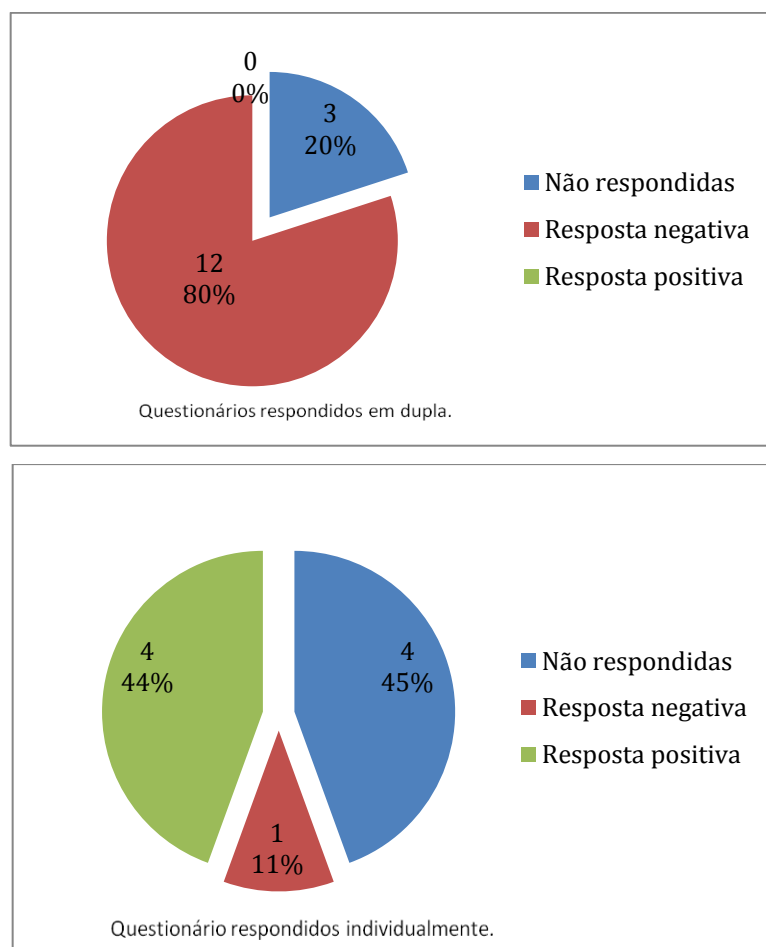


Gráfico 5.9 Quantidade de respostas antes da aplicação do projeto. Total de questionários analisados 24. Fonte: O autor.

A maioria das respostas negativas não levavam em consideração os tipos de fontes de luz, a primária e secundária, ou seja, os alunos não levaram em consideração a reflexão da luz, oriundos de corpos ou objetos que não geram luz própria. A justificativa mais comum foi que apenas objetos que geram luz (fonte primária) poderiam ser vistos.

O gráfico 5.10 mostra a quantidade de respostas, após aplicação do projeto, utilizando os mesmos parâmetros do gráfico anterior.

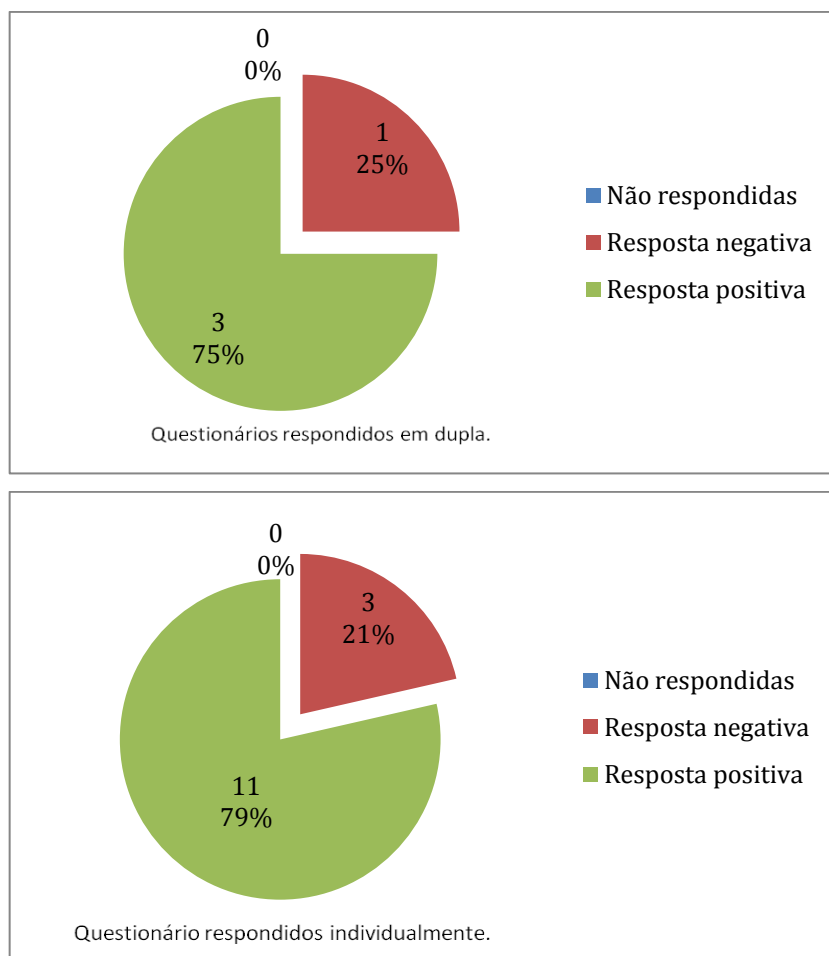


Gráfico 5.10 Quantidade de respostas depois da aplicação do projeto. Total de questionários analisados 18. Fonte: O autor.

Novamente nesta questão, não há respostas certas ou erradas, mas sim em averiguar o entendimento dos alunos sobre fontes luminosas, utilizando outro contexto.

Todas as respostas positivas (de 0% para 75% para os questionários respondidos em dupla e de 44% para 79% para os questionários respondidos individualmente) justificaram que somos fontes secundárias de luz (inclusive utilizando este termo) justificando que a luz é emitida por uma fonte primária de luz e que é refletida pelo objeto visto.

Porém, as respostas negativas também foram justificadas utilizando o conceito de fonte de luz secundária. Neste grupo de alunos vemos que existe a possibilidade deste conceito ter sido assimilado de forma “arbitrária e literal” (no sentido de Ausubel), ou seja, através da aprendizagem mecânica.

Temos que lembrar que estamos fazendo a aplicação do projeto em um grupo grande de alunos (39) e que a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel preza pela a individualidade e pela estrutura cognitiva de cada aluno. Assim podemos considerar normal termos um percentual de alunos que não aprenderam de forma “significativa”.

A impressão do professor aplicador, durante conversa com os alunos, é que esses alunos não conseguiram entender de forma adequada a pergunta e assim se confundiram com a resposta.

5.1.6 Questão nº 06.

“(ENEM) Entre os anos de 1028 e 1038, Alhazen (ibn AL-Haytham; 965-1040 d.c) escreveu sua principal obra, o Livro da Óptica, que, com base em experimento explicava o funcionamento da visão e outros aspectos da ótica, por exemplo, o funcionamento da câmara escura. O livro foi traduzido e incorporado aos conhecimentos científicos ocidentais pelos europeus. Na figura, retirada dessa obra, é representada a imagem invertida de edificações em um tecido utilizado como anteparo.

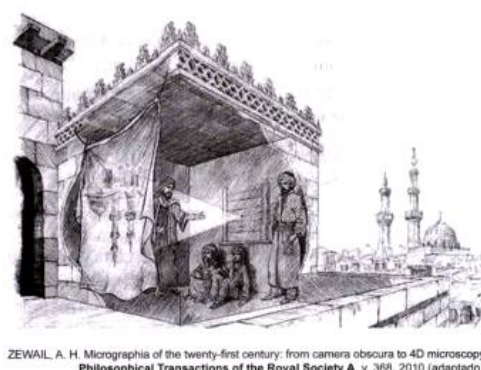


Figura 5.6 Figura do Livro de Óptica de Alhazen utilizada no questionário. (Enem - 2015).

Se fizermos uma analogia entre a ilustração e o olho humano, o tecido corresponde ao(s):

- a) Iris.
- b) Retina.
- c) Pupila
- d) Córnea.
- e) Cristalino”

Nesta questão a alternativa correta é a “b”. Antes da aplicação do projeto, as respostas dos alunos eram aleatórias, ou seja, eles assinalaram qualquer uma, por não saberem a resposta. Isto foi confirmado durante conversa com a turma, logo após a aplicação da primeira etapa do questionário.

Após a aplicação do projeto, houve melhora nos acertos (de 47% para 75% para os questionários respondidos em dupla e de 33% para 79% para os questionários respondidos individualmente). O grupo de alunos que errou na segunda etapa concentrou a respostas na alternativa “e” (Cristalino). Eles comentaram, durante conversa com o professor, que se lembraram da lente flexível do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano e fizeram a associação errônea. Este grupo também justificou que a questão era

muito longa, o que prejudicou a interpretação do enunciado. Isto talvez indique que os educandos têm dificuldades tanto em Física quanto em Português.

O grupo de alunos que acertaram na segunda etapa confirmou, em conversa com o professor, que o olho pode ser comparado de forma sucinta com uma câmara escura. Eles justificaram pelo fato da imagem ser invertida e por ser formada no fundo na retina.

Os gráficos 5.11e 5.12 mostram a quantidade de respostas certas e erradas antes e depois, respectivamente, da aplicação do projeto.

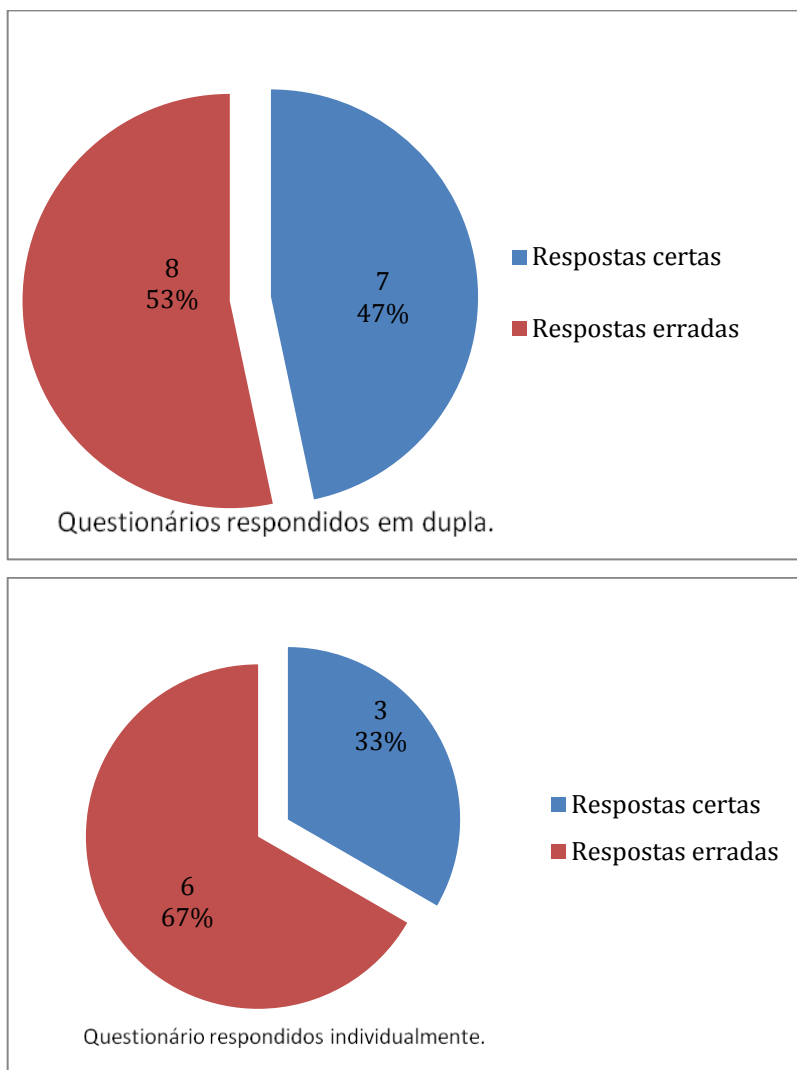


Gráfico 5.11 Quantidade de respostas certas e erradas, antes de aplicar o projeto. Total de questionários analisados: 24. Fonte: O autor.

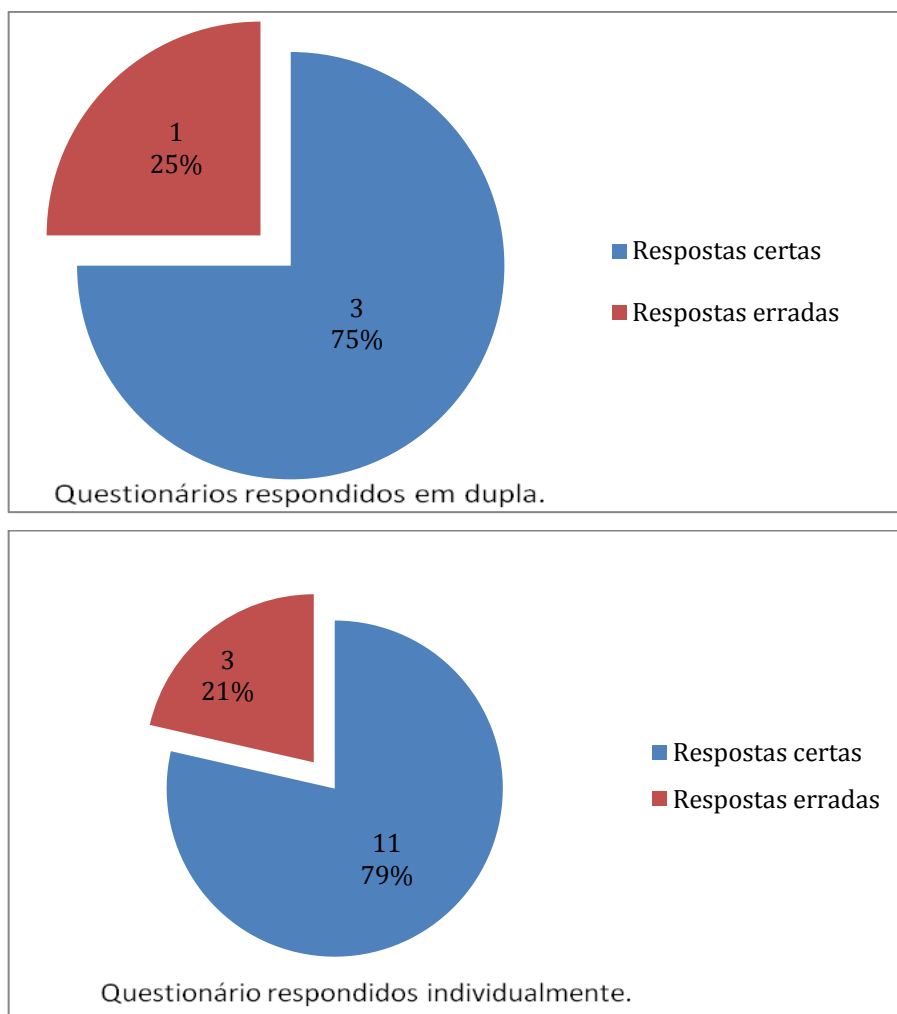


Gráfico 5.12 Quantidade de respostas certas e erradas, antes de aplicar o projeto. Total de questionários analisados: 18. Fonte: O autor.

5.1.7 Questão nº 07.

“É possível focalizar simultaneamente um objeto longe e outro perto? Para que se entenda melhor, aproxime um de seus dedos na linha dos olhos a uma distância de aproximadamente de 30 cm e tente enxergar, com nitidez, seu dedo e um objeto distante, como, por exemplo, o quadro. Caso a resposta seja negativa, como o olho ajusta o foco, para essas duas situações?”

O gráfico 5.13 mostra a quantidade de respostas em função de 4 parâmetros observados ao aplicar os questionários:

- i. Não respondidas.
- ii. Respostas afirmativas
- iii. Respostas negativas, mas sem justificativa que envolva o processo de acomodação.
- iv. Respostas negativas, mas com justificativa que envolva o processo de acomodação.

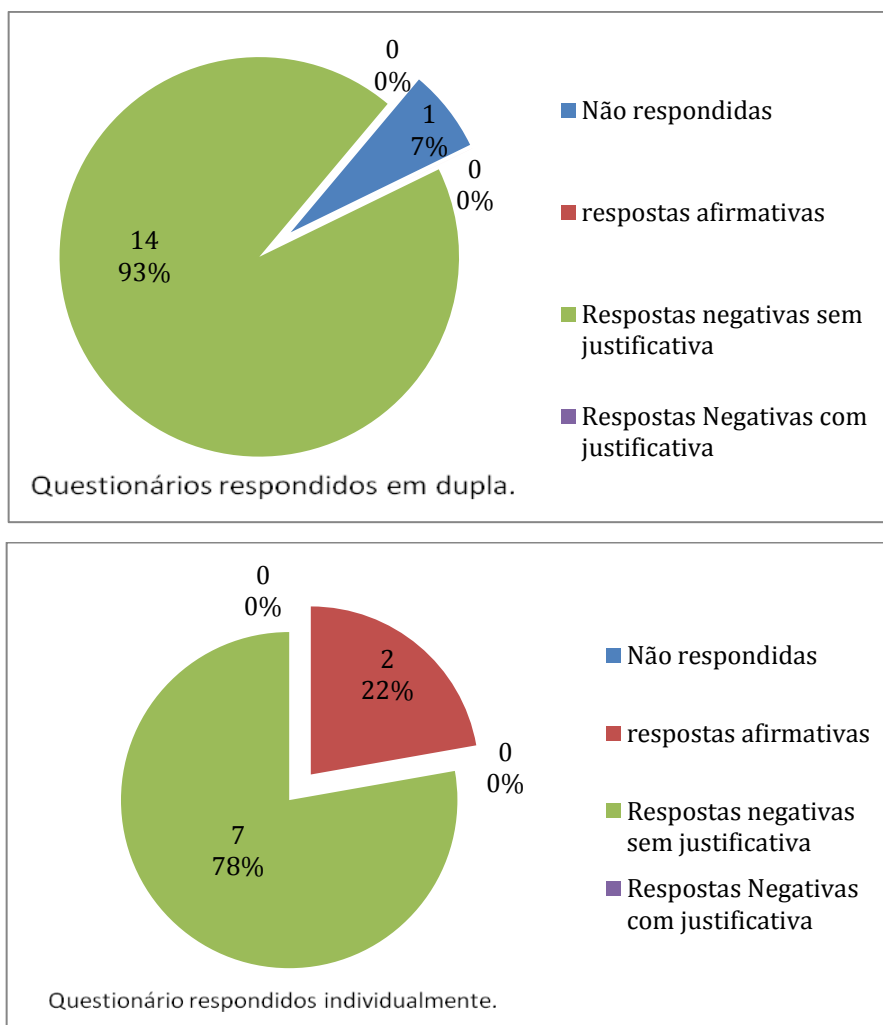


Gráfico 5.13 Quantidade de respostas, antes de aplicar o projeto. Total de questionários avaliados: 24. Fonte: O autor.

Nesta pergunta, a maioria dos alunos fez a experiência descrita no problema e justificaram suas respostas, simplesmente escrevendo que era impossível enxergar com nitidez e simultaneamente em ambas as situações. Apenas um questionário justificava o processo de ajuste de foco, explicando que havia músculos que contraíam ou relaxavam o globo ocular, mas sem mencionar a deformação do cristalino.

O gráfico 5.14 mostra a quantidade de respostas, após aplicação do projeto, utilizando os mesmos parâmetros do gráfico anterior.

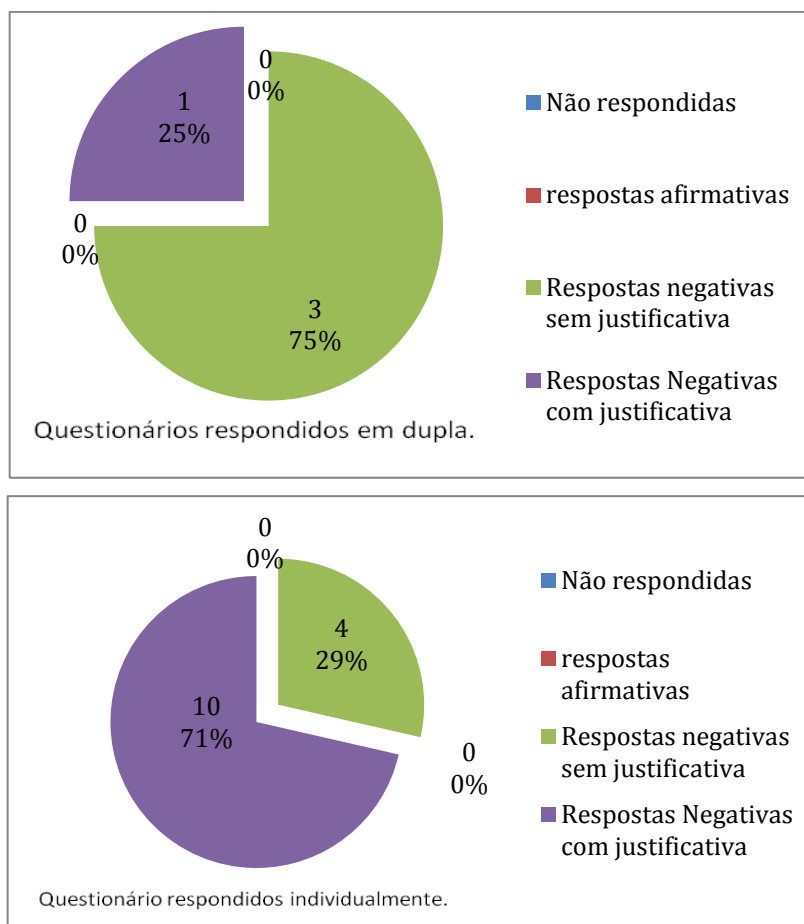


Gráfico 5.14 Quantidade de respostas, depois da aplicação do projeto. Total de questionários avaliados: 18. Fonte: O autor.

Todas as respostas afirmaram que não era possível focalizar com nitidez dois objetos distantes um do outro, sendo a resposta ideal. O maior avanço foi na qualidade das respostas com justificativas. Durante conversas com os alunos, logo após a aplicação do questionário, ficou claro que eles entenderam como a imagem é focalizada no olho humano, e que isso se dá pelo processo de acomodação do cristalino.

As respostas dos educando, no questionário, também confirmou o que foi dito. Eles utilizaram termos como “contração” e “relaxamento” do cristalino, indicando que houve o processo de acomodação. Dois exemplos de respostas são mostrados na figura 5.7.

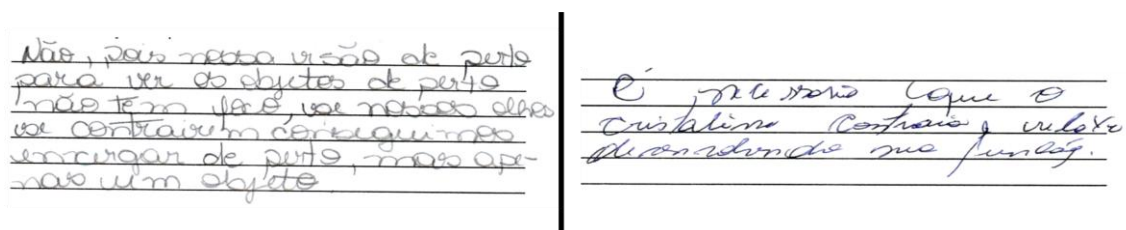


Figura 5.7 Resposta de duas duplas. Elas compreenderam o processo de acomodação do olho, após a aplicação do projeto. Fonte: O autor.

Analisando os 14 questionários individuais da segunda etapa, podemos concluir uma aprendizagem significativa de 78%, com média de acertos de aproximadamente 11, ou seja, alunos que conseguiram entender o processo de acomodação, os conceitos de lentes, os elementos e modelos estudados na óptica geométrica de forma significativa.

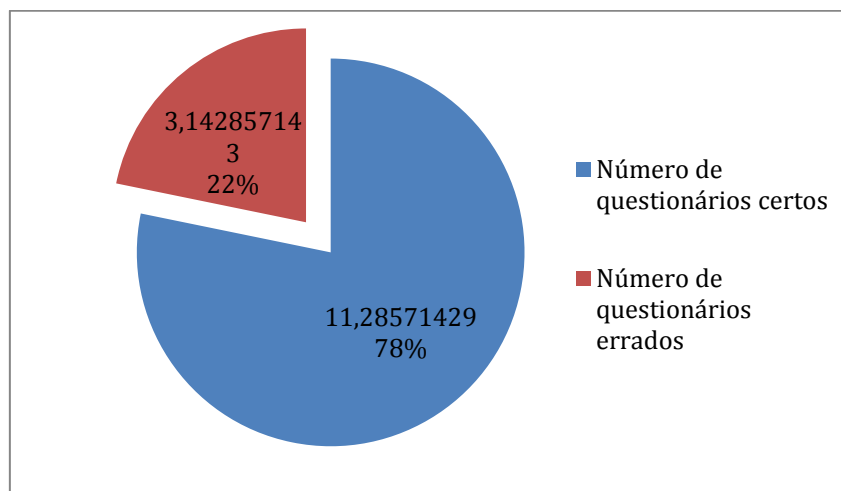


Gráfico 5.15 Média de questionários respondidos individualmente. Número de questionários analisados: 14. Fonte: O autor.

Os questionários foram divididos em respostas satisfatórias (aquelas que mostraram aprendizagem, apresentando uma resposta lógica, utilizando algum conceito apresentado) e respostas inadequadas (respostas erradas e/ou com respostas sem coerência com a pergunta). Foram analisados apenas os questionários individuais devido ao maior número de amostras, apesar de não ser considerado ideal.

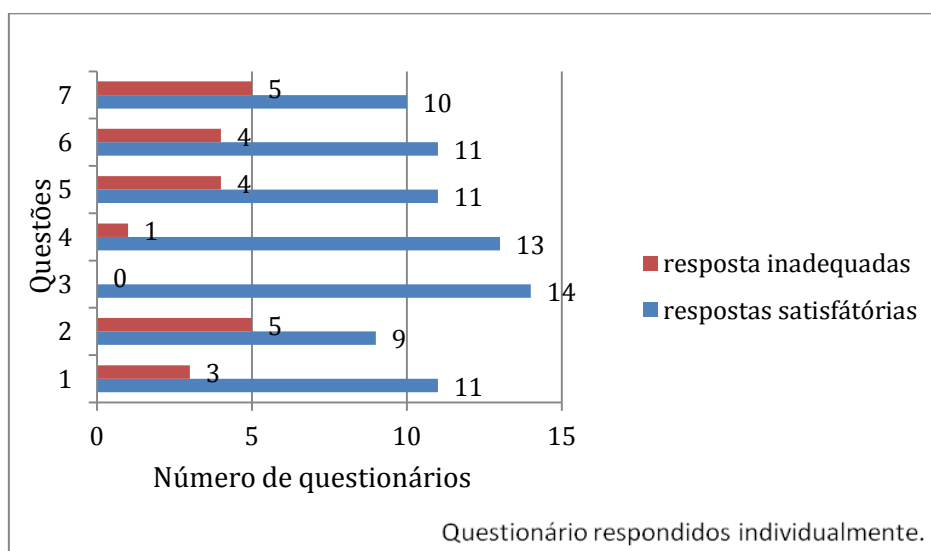


Gráfico 5.16 Número de acertos e erros em relação aos exercícios dos questionários. Número de questionários analisados: 14. Fonte: O autor.

Analisando os dados obtidos antes e depois da aplicação do projeto fica evidente a evolução na aprendizagem dos alunos. É importante saber que eles não foram avisados sobre

a aplicação do projeto e não houve acesso à pesquisa. Assim podemos ter um panorama geral e concluir que houve um aprendizado significativo usando como base as observações do professor, entrevistas com os alunos e respostas dos questionários.

5.2 Resultados das aulas dos organizadores prévios

5.2.1 Execução do plano de aula nº 01.

Este plano de aula foi executado em uma aula de 50 minutos, como previsto. Foram expostos os primeiros conceitos de óptica, como raio de luz, reflexão e principalmente a refração. Foram usados os recursos didáticos descritos no plano de aula e o texto em anexo a ele.

Os alunos fizeram muitas perguntas, entre elas, sobre a fibra óptica. O professor respondeu a indagação utilizando simulador computacional (Figura 5.8) que tinha à sua disposição (algo que não foi previsto no plano de aula).

Próximo ao término da aula foi organizado a construção da câmara escura, como prevista no plano de aula 01 e 02. A sala foi dividida em grupos de no máximo quatro alunos e cada equipe ficou com uma, das três propostas sugeridas.

Como tarefa de casa, o professor pediu duas pesquisas aos educandos, necessárias para as próximas aulas: uma sobre a câmara escura e a outra sobre o olho humano.

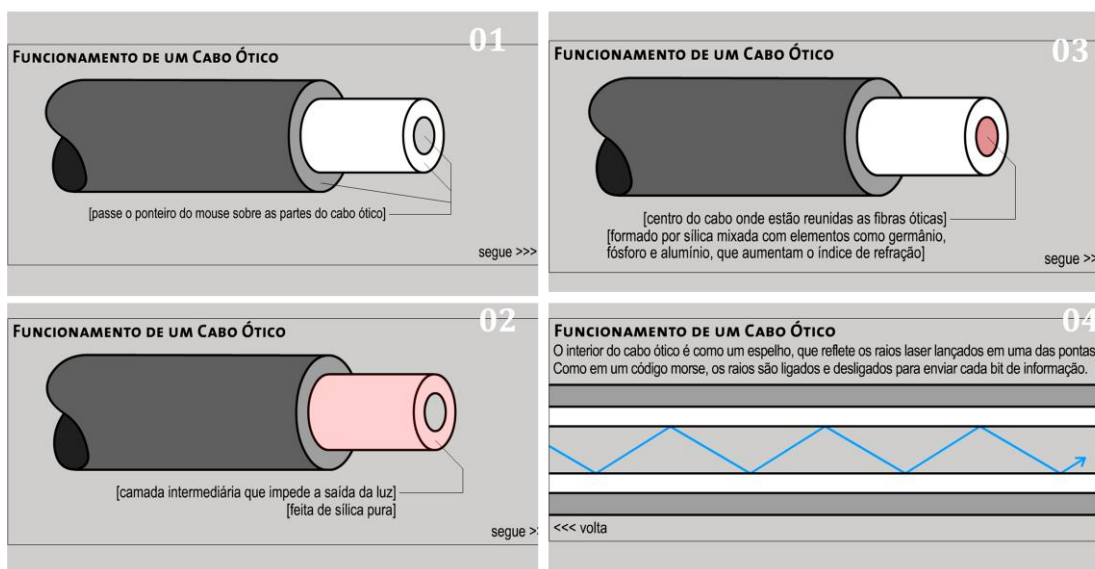


Figura 5.8 Sequência de imagens que mostra o funcionamento do simulador de fibra óptica. Fonte: O autor.

No anexo do plano de aula, tinham 03 exercícios que foram deixados, para cada aluno, como atividade para casa. Elas foram corrigidas na aula posterior.

5.2.2 Execução do plano de aula nº 02.

Este plano foi ministrado em três aulas, uma aula a mais que prevista. Foram entregues as três propostas de construção de câmara escura, como organizada na aula anterior. As câmaras escuras foram sendo construída conforme o roteiro distribuído. O professor a todo o momento foi orientando e ajudando na confecção. A figura 5.9 mostra o processo de construção e dois modelos produzidos pelos estudantes.

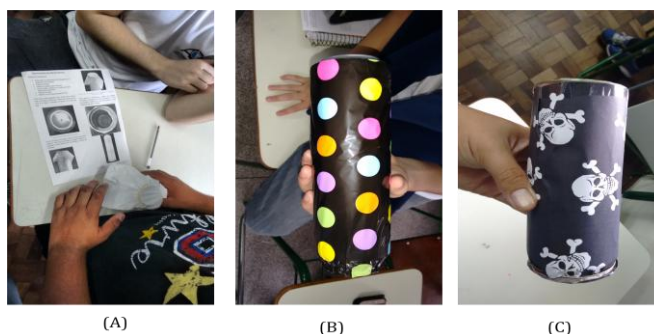


Figura 5.9 (A) alunos construindo a câmara escura usando os roteiros fornecidos. (B) e (C) os resultados da produção, respectivamente, câmara escura com lata de refrigerante e com lata de massa de tomate. Fonte: O autor.

Em seguida o professor pediu para que os alunos observassem as imagens geradas pela câmara escura. Eles ficaram maravilhados pelo fato delas serem invertidas, como previsto na pesquisa realizada pelos educandos.

O professor seguiu conforme o plano de aula, incentivando as perguntas e indagando os estudantes. Com isso, foi sendo construído o modelo teórico, que explicava a formação de imagens no equipamento, utilizando o material pesquisado e aquilo que foi observado.

Seguindo o plano de aula foi entregue a atividade, que estava anexa ao plano de aula. Ela era composta por perguntas que, utilizavam tanto a pesquisa quanto os dados obtidos da câmara escura. Os alunos responderam as questões, discutindo entre si e com o professor.

O resultado foi satisfatório, os alunos responderam as perguntas com poucas dificuldades, conseguindo entender os conceitos físicos e matemáticos envolvidos. Isto foi verificado através das conversas e das atividades respondidas pelos alunos, como mostrado na figura 5.10 e 5.11 (A).

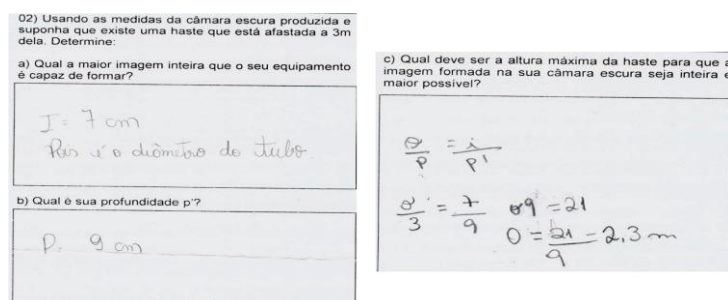


Figura 5.10 A questão nº 02, da atividade planejada para esta aula, respondida por uma das equipes de alunos. Eles conseguiram relacionar o modelo teórico com o equipamento produzido por eles. Fonte: O autor.

Enquanto os alunos respondiam as questões teóricas, uma das equipes perguntou se podiam fazer outro tipo câmara escura, usando caixa de papelão. O professor autorizou e pediu que os mesmo trouxessem na aula posterior, o que ocorreu, como mostra a figura 5.11. Foram discutidas perguntas sobre a qualidade das imagens obtidas, funcionamento e sua relação com o modelo teórico.

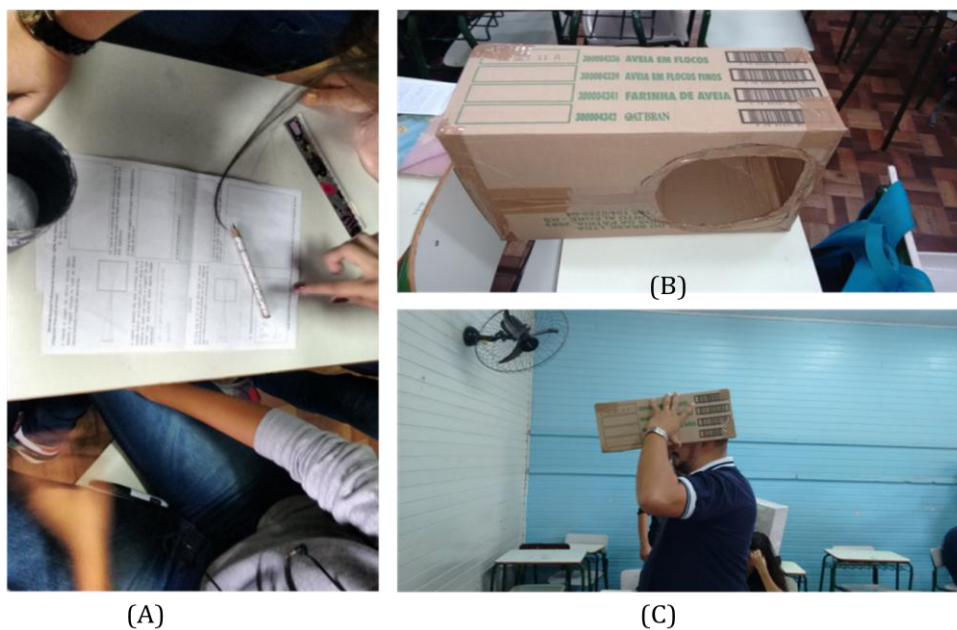


Figura 5.11 (A) Execução da atividade escrita sobre câmara escura. (B) e (C) Câmara escura de papelão produzida por uma das equipes. Fonte: O autor.

Ao final da aula o professor falou sobre a próxima atividade, que seria a dissecação do olho de boi, explanando as normas de laboratório, os cuidados e vestimentas apropriadas.

Foi pedida pesquisa sobre lentes esféricas e que os educando trouxessem a pesquisa sobre o olho humano (em especial o esboço do olho humano) como solicitado anteriormente.

5.2.3 Execução do plano de aula nº 03

Este plano foi executado em duas aulas de 50 minutos, como planejado. Os alunos foram instruídos sobre as normas e os procedimentos, antes de iniciar a dissecação do olho de boi. A turma foi dividida em equipes de no máximo três pessoas. Cada uma recebeu: duas unidades de globos oculares bovinos, um bisturi, uma tesoura, uma bandeja e um roteiro com os procedimento, que se encontrava no anexo do plano de aula.

Após a entrega dos roteiros, o professor executou a leitura do mesmo, junto com os educandos. Eles realizaram os procedimentos, como mostra figura 5.12, e pedindo, quando necessário, o auxilio ao professor. Como material de apoio, os alunos trouxeram suas pesquisas sobre lentes esféricas e olho humano, como solicitado. Dois exemplos são mostrados na figura 5.13.



Figura 5.12 Dissecação do olho de boi. Fonte: O autor.

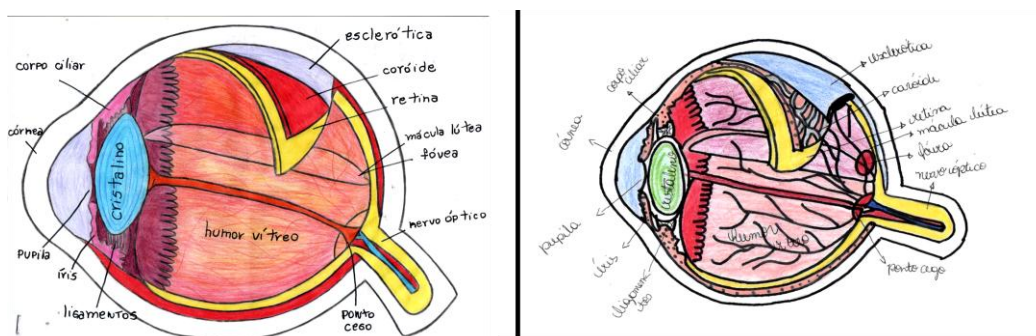


Figura 5.13 Desenhos produzidos pelos alunos e utilizados como material de apoio. Fonte: O autor.

Em momentos oportunos, o professor pausava a execução dos procedimentos de dissecação e pedia atenção da turma para discutir aquilo que estava sendo visto.

Durante a execução da atividade, o professor respondeu perguntas realizadas pelos educandos. As principais questões levantadas foram sobre as funções de cada parte identificada do olho de boi. Para respondê-las, o professor induziu os alunos, para que, comparassem aquilo que estava sendo observado com a pesquisa sobre o olho humano.

Em um dos procedimentos, o roteiro pedia que os educandos observassem alguma imagem, através do cristalino do olho de boi. Eles ficaram deslumbrados com a flexibilidade da lente e pelo fato da imagem ser invertida, como mostrado na figura 5.14 (A). Situação prevista em suas pesquisas.

Durante a aula foram apontadas semelhanças e discrepâncias entre o olho de boi e o humano. Além disso, foi levantada uma discussão da importância deste sentido, na vida das

peessoas. Um momento de bastante aprendizado e de trocas de conhecimento entre professor e aluno.

O Roteiro tinha algumas perguntas que foram sendo respondidas ao longo da execução dos procedimentos. Novamente, os alunos responderam as perguntas sem maiores dificuldades.

Foi observado pelo professor que, os alunos conseguiram comparar o cristalino com o modelo teórico das lentes esféricas. Eles também distinguiram a lente espessa de uma lente delgada. Além disso, os educandos entenderam que o cristalino não é o único responsável pela refração da luz dentro do globo ocular. Estas conclusões foram baseadas nas conversas, com os educando, e nas respostas das questões do roteiro, como mostradas na figura 5.14.

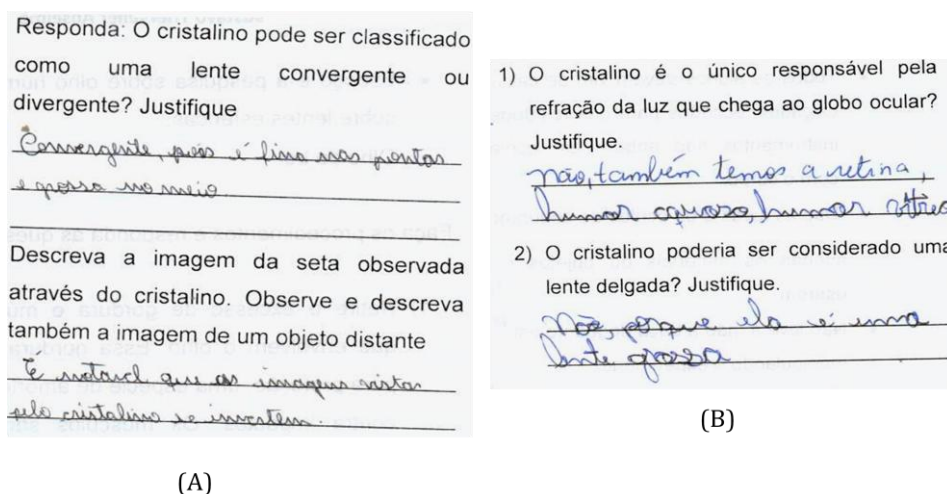


Figura 5.14 Pergunta e repostas entre os procedimentos. (A) Questão posterior ao 3º procedimento. (B) Questão posterior ao 7º e último procedimento. Fonte: O autor.

O professor pediu aos estudantes, que separassem as principais partes do olho de boi e nomeando-as, usando pequenos pedaços de papel, com mostrado na figura 5.15. Logo após, foram feitas as limpezas dos equipamentos e a organização do espaço utilizado.



Figura 5.15 Nomeação das principais partes do olho de boi. Fonte: O autor.

Durante conversa com os alunos, eles disseram que não esperavam um procedimento deste, em uma aula de física. Eles também comentaram que, o fato de manusearem os instrumentos e o objeto de dissecação contribuiu significativamente no seu aprendizado. Também foi observada uma expectativa dos educando em realizar a atividade. Isto foi comprovado pelo comparecimento de TODOS nestas aulas, mesmo sendo realizadas, em um período de contraturno.

Eles realmente conseguiram reconhecer e compreender as partes do olho humano e suas relações com as lentes esféricas e o fenômeno de refração. Eles criaram um novo conhecimento resultado da interação: daquilo que eles conheciam, com os conteúdos que foram pesquisados e com aquilo que foi observado, na prática de dissecação. Assim, podemos concluir que houve aprendizagem significativa nos alunos.

5.2.4 Execução do plano de aula nº 04.

Este plano foi aplicado em duas aulas, como previsto. Nesta aula foi exposto o conteúdo de lentes esféricas, suas aplicações e limitações do modelo teórico.

Usando o texto de apoio e os recursos didáticos, ambos sugeridos no plano de aula, o professor discutiu o modelo teórico, mostrou os elementos geométricos e as equações. A partir disso, foram construídas e classificadas as imagens geradas, por uma lente convergente (natureza: real ou virtual; orientação: direita ou invertida; tamanho em relação ao objeto: maior, menor ou igual). Para isso, foi utilizado o simulador PHET.

O professor enfatizou a importância dos elementos ópticos, com as devidas aproximações, para melhor entendimento das imagens geradas, pelas lentes esféricas. O professor levantou discussão sobre o sistema óptico do olho humano, principalmente sobre a córnea e o cristalino. Ele fez uma analogia com as lentes esféricas apontando semelhanças e diferenças.

Para melhor entendimento sobre as classificações de imagens, o professor mostrou imagens produzidas a partir da lente convergente. Retirado de um retroprojetor sem uso, a lente tinha, como objeto, uma lâmpada com uma seta de papel fixa a ela, como mostrado na figura 5.16. As imagens reais foram projetadas na parede, alterando a distância da lente a lâmpada.

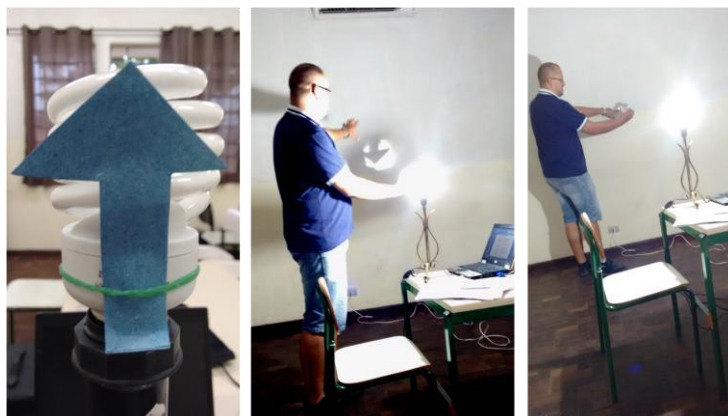


Figura 5.16 Objeto utilizado (lâmpada com a seta de papel) e a imagem produzida. Fonte: O autor.

Os exercícios propostos no plano de aula foram entregues aos alunos, como previsto. Fizemos a primeira atividade como exemplo e o restante foram deixados como tarefa de casa, sendo feita a sua correção na próxima aula.

Além da correção, neste segundo encontro, foram organizados e combinados os detalhes finais para a próxima atividade, que usará o principal aparato do produto educacional, o Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.

5.3 Execução do plano de aula nº 05 – Uso do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.

Este plano foi cumprido em 3 aulas consecutivas, como previsto. O professor explicou o objetivo do experimento, que era simular o comportamento da luz (convergência dos raios luminosos) e o processo de acomodação do cristalino.

Lembrando que, os alunos produziram os suportes necessários para fixação dos lasers e construíram o modelo do globo ocular, como mostrados na figura 5.17. Essas atividades foram sendo orientadas pelo professor e confeccionadas em período de contraturno e também nas residências dos alunos. Este tempo não está contabilizado nas aulas deste plano.



Figura 5.17 Suporte construído e alguns modelos do globo ocular feito em isopor. Fonte: O autor.

No dia destinado a aplicação do Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano, professor distribuiu um kit contendo lasers, fonte de energia, roteiro da atividade experimental e outros equipamentos necessários para a execução das atividades, como mostra a figura 5.18.



Figura 5.18 Kits distribuídos às equipes. Lasers, régua, fita métrica, elásticos. Fonte: O autor.

No primeiro momento, o objetivo era usar um preservativo masculino, preenchido com água, e determinar a distância focal experimentalmente e comparando com o modelo teórico adequado (*ball lens*).

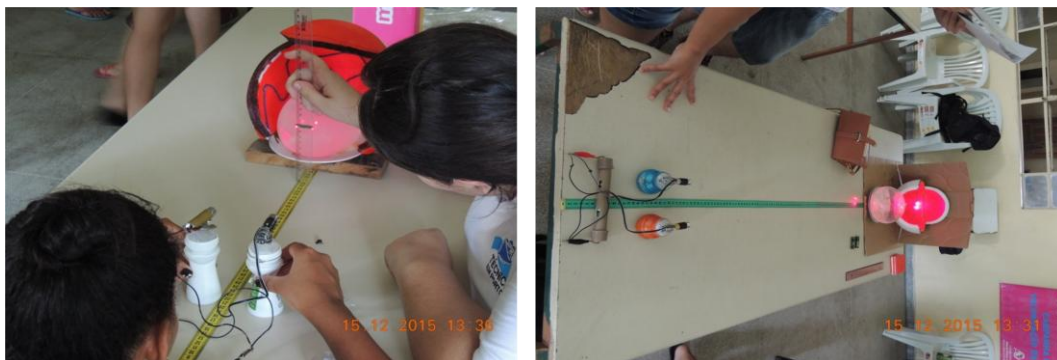
A lente flexível construída é uma boa aproximação com o cristalino, que simula a capacidade do mesmo em desviar o feixe de luz e de se adaptar a distancia focal, conforme a distância do objeto, mantendo a imagem produzida na aposição correta da retina.



Figura 5.19 A lente flexível produzida pelos alunos. O feixe de luz paralelo sofrendo refração. Fonte: O autor.

Ao total foram montadas 10 equipes, em média, com quatro pessoas cada. Durante a execução dos procedimentos, descritos nos roteiros, o professor foi orientando a montagem do simulador didático.

O professor também explicou a relação dos elementos ópticos com os utensílios fornecidos. Como exemplo, podemos citar a localização do eixo principal, representado pela fita métrica, através do alinhamento feixe de lasers, ajustado com auxílio da regra, elástico e dos suportes com juntas esféricas.



(A)

(B)

Figura 5.20 (A) Os alunos alinhando os feixes de laser para criar um feixe de luz paralelo ao eixo principal (no caso em relação à fita métrica). (B) A fita métrica representa o eixo óptico principal com escala apropriada para localizar a posição do ponto focal, medir o diâmetro da lente. Fonte: O autor.

O roteiro continha questões que foram sendo respondidas, ao longo dos procedimentos. Agora, iremos destacar algumas delas e suas respostas.

Todas as equipes quando perguntada sobre a lente flexível (se ela era convergente ou divergente e se era delgada ou espessa) reponderam que a lente, no simulador, era convergente e espessa. Os alunos justificaram suas respostas por aquilo que foi observado (na convergência dos feixes de lasers) e pelo o diâmetro da ball lens, que era só, duas vezes maior que o raio, com mostra a figura 5.21.

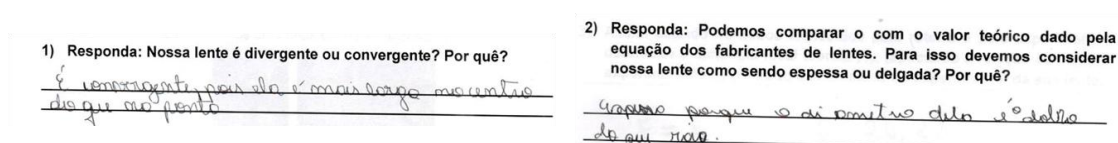


Figura 5.20 A resposta dada pelos alunos com relação a pergunta que pede as características da lente flexível.

Os alunos encontraram a distância focal f da lente flexível, de forma experimental (usando as posições na fita métrica) e teórica (usando a equação das ball lens). O valor de $f \sim 16 \text{ cm}$, tanto teórico como experimental, com erro percentual de acurácia, médio de 10% entre as equipes. Mas tivemos grupos que obtiveram valores de 4.9%, como mostra a figura 5.22.

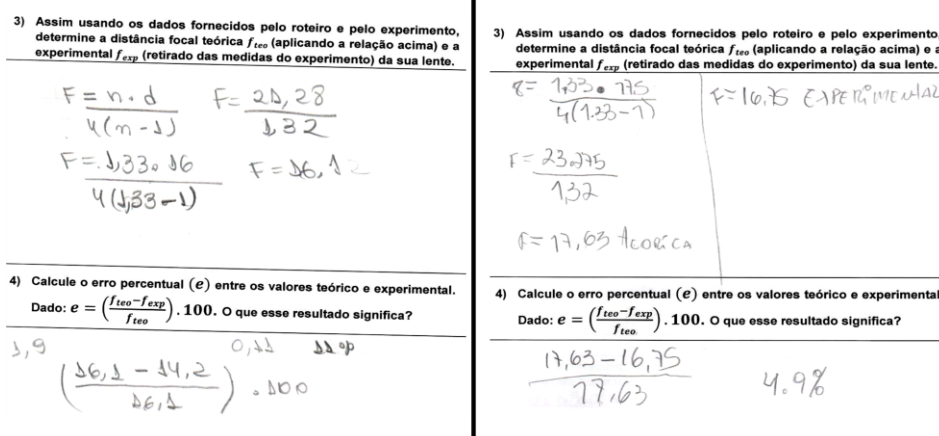


Figura 5.22 Dois exemplos de valores experimentais e teóricos encontrados pelos educandos, com seu valor de erro da acurácia encontrado. Fonte: O autor.

Os alunos foram questionados, pelo professor, se os valores obtidos eram coerentes. Eles justificaram que sim e que os erros obtidos, se dava pelas aproximações feitas, (a lente utilizada se aproxima de uma esfera) e por erros de medida. Isto mostra que os educando entenderam a aproximação do modelo real com o teórico. Além disso, de alguma forma, eles observaram que a ciência, não é formada por valores exatos e absolutos.

No roteiro da atividade experimental, tinha uma questão que perguntava sobre a fidelidade, do modelo proposto com um olho humano de verdade. Todas as equipes responderam que tinham semelhanças.

Os alunos justificaram suas respostas que, mesmo ocorrendo o fenômeno da refração, os valores obtidos (distância focal) não seriam proporcionais ao olho de verdade. Faltavam outras partes, como córnea, humores vítreo e aquoso que também contribuiriam para o desvio da luz no globo ocular. Isto foi verificado nas respostas a pergunta do roteiro, como mostra a figura 5.23, quanto em conversa com os educandos.

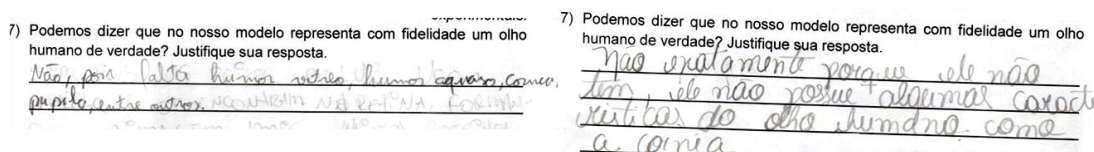


Figura 5.23 Algumas respostas dos alunos. É possível ver que eles entendem que isso é um modelo, que se aproxima de um olho de verdade. Fonte: O autor.

Os alunos também simularam situações das doenças mais comuns do olho humano, a hipermetropia e a miopia. Para isso, eles mexeram na posição do modelo em isopor do globo ocular, aproximando ou afastando da lente flexível. As respostas foram sendo anotadas no roteiro e algumas delas estão sendo mostrada na figura 5.24.

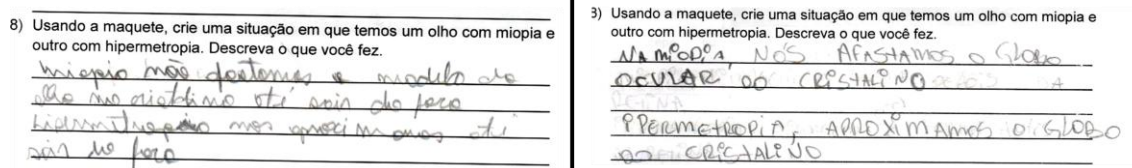


Figura 5.24 Algumas respostas dos alunos, de como simular as duas principais doenças do olho humano. Fonte: O autor.

Na última pergunta o professor iria fazer um questionamento para cada equipe. Ele afirmava que o modelo e os procedimentos realizados eram para focalizar um objeto distante do olho. Em seguida, o professor movimentou os feixes luminosos, aproximando-os da lente flexível e os divergiu, fazendo-os incidir na lente flexível. Ele afirmou que agora, simulou uma situação com um objeto próximo, observado pelos olhos.

Em seguida, o professor perguntou aos educandos: “O que o olho tem que fazer para focalizar novamente, os feixes de luz sobre a retina?” todos responderam que era preciso comprimir o cristalino, no nosso caso a lente flexível. Eles executaram a ação em seguida.

Neste momento, os educando entenderam o processo de acomodação. Durante conversas com os mesmo, alguns alunos comentaram que as câmaras fotográficas também fazem o ajuste de foco, mas de outra maneira, modificando a posição da lente. Já, o nosso olho, modifica o “formato da lente”. Duas respostas dos alunos são mostradas na figura 5.25

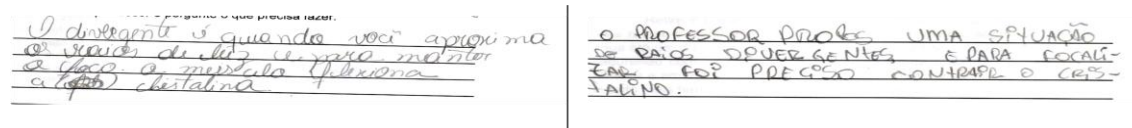


Figura 5.25 Algumas respostas dos alunos. Eles entenderam que para o olho se ajustar as diferentes distâncias, pois os raios luminosos tendem a ser divergentes, ele precisa realizar o processo de acomodação. Fonte: O autor.

Ao final da aula foi organizada a sala e dito que na próxima aula vamos discutir os resultados obtidos. Após a aplicação dos questionários, como descrito anteriormente, o professor comentou os resultados obtidos, chamando as equipes para melhor averiguar seu entendimento do conteúdo. O professor fez considerações e suas impressões elogiando a turma pelo empenho e esforço nesta atividade.

5.4 Conclusão

O Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano, desenvolvido e aplicado, é uma atividade experimental que explica o processo de acomodação do olho humano. Nele, o aluno é protagonista, ou seja, é ele quem mede, mexe e monta todo o procedimento. Isto fica de acordo com nossa proposta de um aluno atuante.

Durante a aplicação deste projeto, percebemos o quão significativo foi o aprendizado aos alunos. Isso foi percebido nas atividades realizadas, pois eles discutiam entre si, possíveis

soluções de problemas que surgiam ou que foram propostos. O professor, durante estas aulas, fez seu papel de intermediador, de proporcionar uma aprendizagem significativa aos estudantes.

As conversas do professor com os alunos, durante e após alguns meses a aplicação do produto, colaboraram para esta conclusão. Eles ainda comentam a respeito da câmara escura, da dissecação do olho de boi e da lente flexível com a capacidade de desviar a luz.

O projeto proporcionou a análise de modelos teóricos e sua relação com o experimento, tão pouco explorados no ensino de física, apesar do conhecimento físico ser baseado em modelos. As atividades proporcionaram reflexão dos educandos, com perguntas que os induziam a fazer comparativos entre o modelo teórico da óptica geométrica com aquilo que estava sendo visto e medido, no Simulador Didático da Acomodação do Cristalino do Olho Humano.

Assim concluímos a importância dos estudantes de realizar medidas e comparem resultados, de forma não arbitrária e não mecânica. Queremos que eles percebam que a ciência é uma construção, baseada em modelos e que, ela não é tão exata como se pensa, ou seja, uma ciência absoluta. Os modelos físicos têm limitações, que devem ser conhecidas para uma melhor aplicabilidade de seus conceitos.

Como dito antes, os resultados obtidos pelas atividades e as conversas com os alunos chegamos à conclusão, que o aprendizado dos conteúdos, propostos aos alunos, foi significativo. Este resultado está aliado com o material de apoio do simulador, que induz o aluno a pensar e refletir sobre o que estava sendo apresentado.

O impacto do produto não foi apenas de aprendizado, mas também de postura dos alunos. Há uma maior motivação da turma pelos estudos, pois sou professor novamente deles, no ano letivo de 2016. Percebo que estão se empenhando nas atividades que envolvem principalmente, a ciência. A maioria deles quer fazer cursos superiores na área científica, fato que não era visto anteriormente. Eles estão mais participativos nas aulas e com isso, podemos propor atividades de melhor qualidade, com maior profundidade.

Além da aplicação produto, foi possível notar o impacto causado pela entrada da instituição universitária dentro do âmbito escolar. Isto motivou os alunos a conversarem e se interessarem mais em continuar seus estudos, seguindo para cursos superiores. Além disso, o peso da instituição dá ao trabalho realizado seriedade, melhorando a participação dos alunos, e conseqüentemente, seu próprio aprendizado.

Na turma que foi aplicada o projeto, há uma maior pressão, neste ano letivo de 2016, sobre os professores. Eles querem aulas de melhores tanto nas atividades como no conteúdo,

ou seja, os alunos querem qualidade. Por isso, meus colegas professores também estão desenvolvendo atividades, dentro de suas áreas, que possam melhorar a qualidade da educação. Vemos que o projeto contribuiu para este fato.

A aplicação do produto educacional não mobilizou apenas a turma na qual foi aplicado o projeto, mas a escola inteira, pois as atividades chamavam a atenção das outras salas. Devido à movimentação dos equipamentos e aparatos do simulador, fez com que as outras turmas cobrassem de seus professores, atividades semelhantes e diferentes, como da turma do projeto.

Vemos que apesar de todo o impacto positivo e o sucesso que o projeto obteve, ele precisa ser melhorado. Inicialmente precisamos aperfeiçoar as formas e técnicas de mapeamento da estrutura cognitiva dos alunos. Para isso, o produto deve englobar outras ferramentas de diagnóstico, como o uso de mapas conceituais.

Além disso, as teorias de aprendizagem de Ausubel levam em consideração aspectos relevantes do indivíduo, ou seja, o professor deve conhecer bem o educando. Mas como fazer isso, com a realidade da educação no país, com salas com 40 alunos, com as altas cargas horárias dos profissionais da educação e com os restritos números de aulas semanais? Só vemos uma solução, precisamos de técnicas que sejam adequadas para grande público. Elas poderiam tornar a aprendizagem mais eficiente, abrangendo um número maior de alunos.

Analisando toda a trajetória, o produto educacional e curso do mestrado, vemos o quanto é importante à qualificação do professor. Infelizmente com o tempo, nós profissionais da educação básica, perdemos o rumo, devido a tantos problemas e desgostos que enfrentamos no desafio de educar nossos jovens. O mestrado é importante, pois renova nossos conhecimentos, mas principalmente mostra que não estamos sozinhos nesta jornada.

Referências Bibliográficas

[Ausubel, 1968] **David P. Ausubel, Joseph D. Novak, Helen Hanesian.** *Educational Psychology: A Cognitive View*. Editora Holt, Rinehart & Winston, New York, 2ª edição, 1968.

[Atchison e Smith, 2000] **David A. Atchison e George Smith.** *Optics of the Human Eye*. Editora Butterworth-Heinemann Ltd. 2000, 1ª edição.

[Averbakh, 1940] **Mikhail I. Averbakh.** *Ophthalmological Sketches*. Editora da Academia de Ciências da URSS, Moscow-Leningrad, 1940, 2ª edição.

[Born e Wolf, 1980] **Max Born e Emil Wolf.** *Principles of Optics*. Editora Pergamon Press, 1991, 6ª edição. Pág. 234.

[Bongard e Smirow, 1955] **M.M. Bongard e M.S. Smirow.** *Determination of curves of spectrum sensitivity of the receptors of the eye according to curves of structure*. Revista Doklady Akademii Nauk, URSS, 1955, págs. 102 a 106.

[Bonjorno e Clinton, 2005^a] **Regina A. Bonjorno, Valter Bonjorno, José R. Bonjorno e Clinton M. Ramos.** *Física: História e cotidiano, ensino médio*. Volume único, Coleção Delta, editora FTD, São Paulo, 2ª edição, 2005. Pág. 390.

[Bonjorno e Clinton, 2005^b] **Regina A. Bonjorno, Valter Bonjorno, José R. Bonjorno e Clinton M. Ramos.** *Física: História e cotidiano, ensino médio*. Volume único, Coleção Delta, editora FTD, São Paulo, 2ª edição, 2005. Pág. 391

[Britannica, 2006] **eye human** – Encyclopedia Britannica - Britannica Ultimate Reference Suite 2012 DVD .

[Colleybiology, 2016] “**112 Eye Anatomy**”. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=1Y-HghqvGtg>> acessado em 08/05/2016.

[Danny, 2016] “**Human A&P: Anatomy of the Eye**”. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=TXFt1Ikl_I> acessado em 08/05/2016

[Edmundoptics, 2015] **Edmund Optics / América.** Optics and optical instruments annual catalog / 2015. Pág. 80.

Obs: Também disponível em <<http://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/optics/understanding-ball-lenses/>> acessado em 20/06/2016.

[Ferraz, 2016] “**Câmara Escura com Tubo de Batatinha**”. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=OOXV0tA1F6w>> acessado em 08/05/2016.

[Fundus, 2016] Fundus Photo Antha. Imagem de domínio público. Disponível em <<https://en.wikipedia.org/wiki/Retina#/media/File:FundusPhotoAntha.jpg>> acessado em 30/05/2016.

[Gaspar, 2014^a] **Alberto Gaspar**. *Compreendendo a Física*. Volume 2, editora Ática, São Paulo, 2ª edição, 2014. Pág. 149.

[Gaspar, 2014^b] **Alberto Gaspar**. *Compreendendo a Física*. Volume 2, editora Ática, São Paulo, 2ª edição, 2014. Pág. 150.

[Gonçalves, 1964] **Dalton Gonçalves**. *Física do científico e do vestibular*. Volume 4, editora Ao livro técnico S. A, Rio de Janeiro, 1ª edição, 1964. Págs. 216-224.

[Guedes, Braun e Rizzatti, 2000] **André F. Guedes, Luci F. M. Braun e Mara R. Rizzatti**. Simulador Didático do Olho Humano. *Revista Brasileira do Ensino de Física*, v.22, nº 1, Março de 2000, pág 137 a 139.

[Helene e Helene, 2011] **Otaviano Helene, André F. Helene**. *Alguns Aspectos da Óptica do olho Humano*. *Revista brasileira de ensino de Física*, v.33, n.4, 2011, p.3312-1 a 3312-3312-8,

[Helfman, 2009] **Gene S. Helfman, Bruce B. Collette, Douglas E. Facey, Brian W. Bowen**. *The Diversity Of Fishes: Biology, Evolution and Ecology*. Editora Wiley-Blackwell. 2ª edição, 2009.

[hyperphysics, 2016] **The Human Eye**. Disponível em <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/eyescal.html>> acessado em 30/05/2016.

[kleuton, 2016] **Dissecação do olho de boi**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=_dIDKsPt0zk> acessado em 28/05/2016.

[Lacerda, 2016] “**Modelo de olho humano - Feira de Ciências CBNB 2013**”. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=uidUFxpHMHM>> acessado em 08/05/2016.

[Moreira, 1983^a] **Marcos A. Moreira**. *Uma abordagem cognitivista ao ensino da física*. Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, 1ª edição, 1983. Págs. 10 a 54.

[Moreira, 1983^b] **Marcos A. Moreira**, *Uma abordagem cognitivista ao ensino da física*. Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, 1ª edição, 1983. Págs. 55 a 60.

[Moreira, 1999] **Marcos A. Moreira**. *Teorias de Aprendizagem*. Editora Pedagógica e Universitária, São Paulo, 1ª edição, 1999, págs. 151 a 165.

[Moreira, 2016] **Marcos A. Moreira e Neusa T. Massoni**. *Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/físicas*. UFRGS - Instituto de Física, Porto Alegre, 2016, 1ª versão. Pág. 44 a 48.

[Moreira, 2016¹] **Marcos A. Moreira**. Apresentação e fala do próprio autor no curso “Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídio para a organização de sequências de ensino e aprendizagem em ciências”. Ofertado entre os dias 17 a 19 de março de 2016, pelo departamento de física da Universidade Estadual de Ponta Grossa, da cidade Ponta Grossa, PR.

[Mueller e Rudolph, 1970^a] **Conrad G. Muller e Mae Rudolph**. *Luz e Visão*. Editora Livraria José Olympio. Rio de Janeiro, RJ, 1970, 1ª edição. Pág. 50 a 56.

[Mueller e Rudolph, 1970^b] **Conrad G. Muller e Mae Rudolph**. *Luz e Visão*. Editora Livraria José Olympio. Rio de Janeiro, RJ, 1970, 1ª edição. Pág. 76 a 84.

[Mueller e Rudolph, 1970^c] **Conrad G. Muller e Mae Rudolph**. *Luz e Visão*. Editora Livraria José Olympio. Rio de Janeiro, RJ, 1970, 1ª edição. Pág. 57 a 63.

[Muguli, 2016] “Accommodation of the lens in our eye”. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=j1Xuzw80ugg>> acessado em 08/05/2016.

[Novak, 1977] Joseph D. Novak. *A Theory of education*. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1977.

[Penteado, 1980] **Wilma M.A. Penteado**. *Psicologia e Ensino*. Editora Papervivros, São Paulo, 1ª edição, 1980. Págs. 59 a 83.

[Pietrocola, 2010] **Allan F. do E. Santo, Gabriel O. Steinicke, Sílvia H. A. Saito, Calebe Simões, Maurício Pietrocola**. *Óptica do olho humano. Metodologia do ensino de física*. Universidade de São Paulo – Instituto de Física, 2010.

Obs: Disponível em <<http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/192/Sequencia%20didatica%20optica%20do%20olho%20humano%202010.pdf>>. Acessado em 08/05/2016.

[Polyak, 1941] **S. L Polyak**. *The Retina*. Impresso pela The University of Chigago, Chigago, Illinois, 1941, 1ª edição.

[Rhcastilhos, 2016] “**Diagrama esquemático do olho humano**” Disponível em <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg> acessado em 22/05/2016.

[Roma, 2016] “**Modelo funcional do olho humano**”. Produto da empresa J.Roma. Disponível em <http://www.jroma.pt/PDFS/Manual_W11851.pdf> acessado em 08/05/2016.

[Saba e Epiphanio, 2001] **Marcelo M. F. Saba e Ivan Dalla Valle Epiphanio**. Abrindo o Olho. *Revista Física na Escola*, v.2, n.2, pág. 16 a 18, 2001.

Obs: Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a05.pdf>> acessado em 28/05/2016.

[Scientific, 2016] “**Modelo anatômico do olho humano**”. Produto da empresa 3B Scientific. Disponível em <https://www.3bscientific.com.br/olho-funcional-w16002,p_30_4129.html#1> acessado em 08/05/2016.

[Smith, 2007] **Warren J. Smith**. *Modern Optical Engineering*. Editora The MCGraw-Hill Companies. Carlsbad CA, 2007, 4ª edição.

[Smith, 2007^a] **Warren J. Smith**. *Modern Optical Engineering*. Editora The MCGraw-Hill Companies. Carlsbad CA, 2007, 4ª edição. Pág. 127.

[Zilio, 2007] **Sérgio Carlos Zilio**. *Desenho e Fabricação Óptica*. Universidade de São Paulo - Instituto de Física de São Carlos, 2007, Pág. 4.

Obs: Disponível em < <http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book2/Desenho-Fabricacao-Otica.pdf> >. Acesso em 10 de abril de 2016

[Zajac, 2003] **Alfred Zajac e Eugene Hecht**. *Optics, Fourth Edition*. Pearson Higher Education, 2003.

[Yarbus, 1967] **Alfred L. Yarbus**. *Eye Movements and Vision*. Institute for Problems of Information Transmission/ Academy of Sciences of the USSR, Moscow. Editora Plenum Press. New York, 1967. Págs. 5 a 10.

ANEXO - Simulador didático de Acomodação do Olho Humano

Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano.

Autor: Gustavo Trierveiler Anselmo

Sumário

Apresentação	1
Introdução teórica	3
Plano de aula nº 01 - Refração da luz.	7
1.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:	7
1.2 MOMENTOS DA AULA	7
1.2.1 Incentivação.....	7
1.2.1 Desenvolvimento	8
1.2.3 Síntese Integradora	8
1.3 Objetos Educacionais	9
1.4 Referências	9
1.5 Anexo	11
Plano de aula nº 02 - Refração da luz.	16
2.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:	16
2.2 MOMENTOS DA AULA	16
2.2.1 Incentivação.....	16
2.2.2Desenvolvimento	16
2.2.3 Síntese Integradora	17
2.3 Objetos Educacionais	19
2.4 Referências	19
2.5 Anexo	20
Plano de aula nº 03 – Dissecção do olho de boi.	25
3.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:	25
3.2 MOMENTOS DA AULA	25
3.2.1 Incentivação.....	25
3.2.2 Desenvolvimento	25
3.2.3 Síntese Integradora	26
3.3 Objetos Educacionais	26
3.4 Referências	27
3.5 Anexo.	28
Plano de aula nº 04 – Lentes esféricas.	32
4.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:	32
4.2 MOMENTOS DA AULA	32
4.2.1 Incentivação.....	32
4.2.2 Desenvolvimento	32
4.2.3 Síntese Integradora	36
4.3 Objetos Educacionais	37
4.4 Referências	37
4.5 Anexo.	38
Plano de aula nº 05 – Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano.	48
5.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES	48
5.2 MOMENTOS DA AULA	48
5.2.1 Incentivação.....	48
5.2.2 Desenvolvimento	49
5.2.3 Síntese integradora	50
5.3 Objetos Educacionais	51
5.4 Referências	51
5.5 Anexo	52

5.5.1 Confeção dos aparatos experimentais.....	52
5.5.1 Roteiro da atividade experimental.....	60
Anexo	66

Apresentação

Este manual descreve a montagem e a utilização de um aparato experimental, que simula o processo de acomodação do olho humano. O Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano é composto principalmente por uma lente flexível, feita de preservativo masculino de látex, preenchida com água.

O produto educacional explora conceitos de óptica geométrica em abordagens teóricas como experimentais, o que possibilita uma análise crítica dos limites dos modelos teóricos utilizados. Isto faz com que o aluno participe ativamente das discussões e resoluções das atividades propostas.

O simulador didático é destinado ao manuseio do aluno, ou seja, é ele que irá construir todos os aparatos experimentais e realizar as medições, conforme proposto. Isto se faz importante, já que o aluno se torna protagonista das ações e sua aprendizagem se torna potencialmente mais significativa.

Neste manual foi escrito usando a aprendizagem significativa de David Ausubel. Ele afirma que para uma aprendizagem mais eficiente, os educandos devem ter os subsunçores adequados para que o novo conhecimento, para que fique ancorado nesta estrutura cognitiva pré-existente. Caso os alunos não o tenham precisamos organizar atividades, chamadas de organizadores prévios, que promovam a criação destes subsunçores.

Os quatros primeiros planos de aula são as atividades dos organizadores prévios, composta por duas aulas teóricas e duas aulas práticas. As aulas teóricas exploram os conceitos de óptica geométrica como o raio de luz, o fenômeno da refração e as lentes esféricas. As aulas práticas permitem ao aluno a construção de câmara escura e a dissecação de um olho de boi.

Todas as atividades propõe a utilização dos mais variados recursos didáticos, por exemplo, a utilização de simuladores computacionais e a demonstração de algumas experiências simples, como a projeção de imagens utilizando uma lente de um retroprojeter sem uso.

O quinto e último plano de aula, contém todas as orientações para a confecção e montagem do Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano, bem como os roteiros para a aplicação em sala de aula. O aparato experimental proporciona o aluno a medir e comparar resultados obtidos de forma experimental e teórica, em conjunto com questões que proporcionam ao educando a refletir sobre aquilo que está sendo feito.

Para acompanhar o desenvolvimento dos alunos, sugerimos que o professor faça a mediação entre o material de apoio e o aluno. Para verificar o desenvolvimento dos educandos, no anexo deste material há um questionário composto por sete perguntas, que o professor deve ser aplicado antes e logo após o uso deste produto educacional. Nas duas etapas, o professor deve usar o mesmo questionário sem aviso prévio aos educandos.

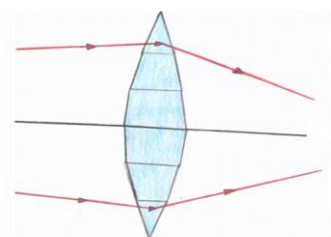
Assim o manual proposto é um conjunto de atividades bastante amplo que explora, além do processo de acomodação do cristalino, o estudo de alguns conceitos da óptica geométrica utilizando como base o olho humano.

Introdução teórica

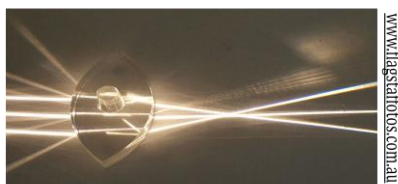
Lente esférica.

Meio transparente limitado por duas superfícies curvas e esféricas ou uma curva esférica e a outra plana. As superfícies de separação entre a lente e o meio são chamadas de dioptro.

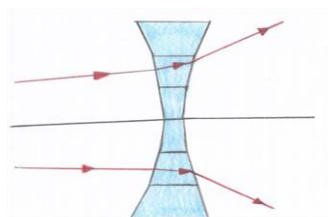
As lentes esféricas são identificadas pela a espessura da sua borda em relação ao centro. Elas são do tipo: borda grossa e borda fina. Normalmente as lentes são constituídas por um material com índice de refração maior que o meio que ela está imersa. Partindo disto, temos que as lentes de borda fina são convergentes e as lentes de borda grossa são divergentes.



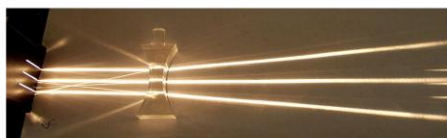
Lente convergente



1

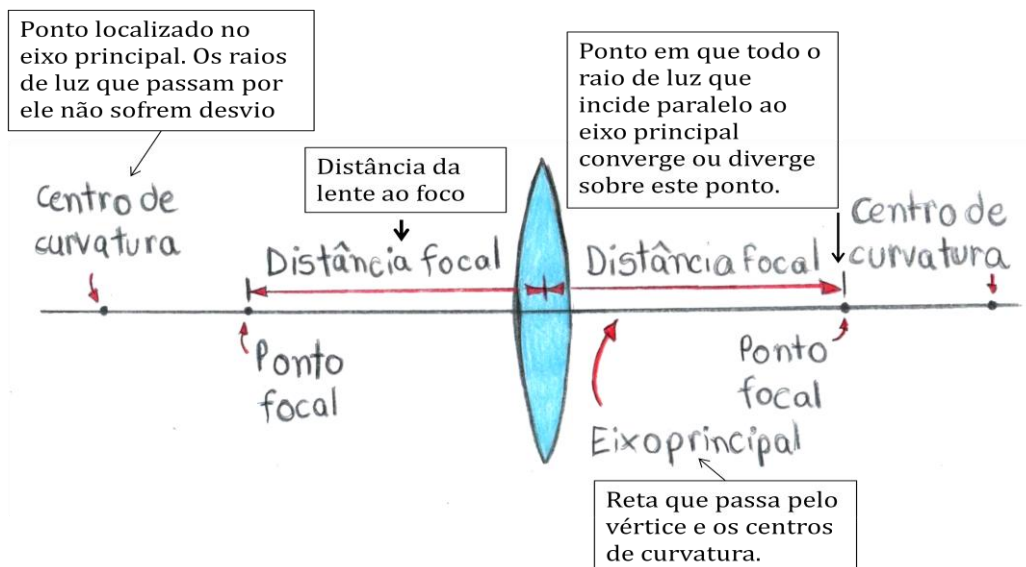


Lente divergente



2

Elementos geométricos.

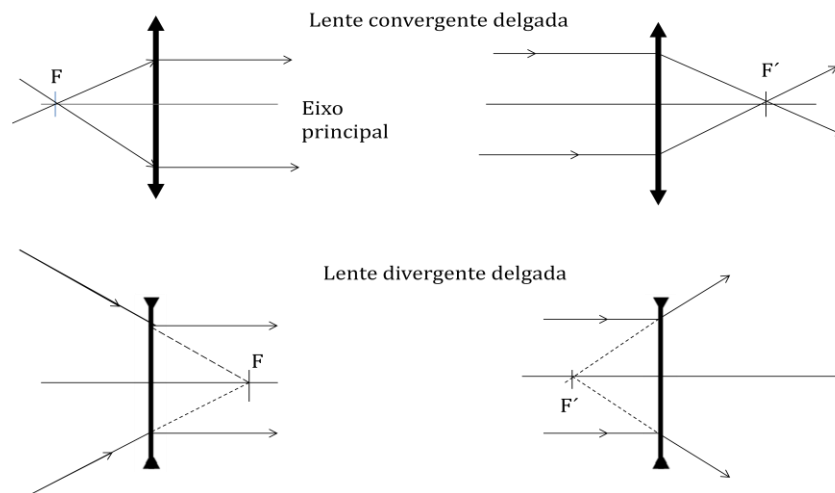


¹ Disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/File:Large_convex_lens.jpg acessado em 03/07/2016.

² Disponível em https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Concave_lens.jpg acessado em 03/07/2016.

As lentes esféricas são consideradas delgadas quando sua espessura é muito pequena comparada com o raio de curvatura das superfícies que a limita. Suas representações estão mostradas na figura abaixo.

As lentes esféricas apresentam focos duplos chamados de: Foco imagem F' (a imagem se forma no infinito) e foco objeto F (a imagem está no infinito). No caso das lentes delgadas, as distâncias focais são iguais.



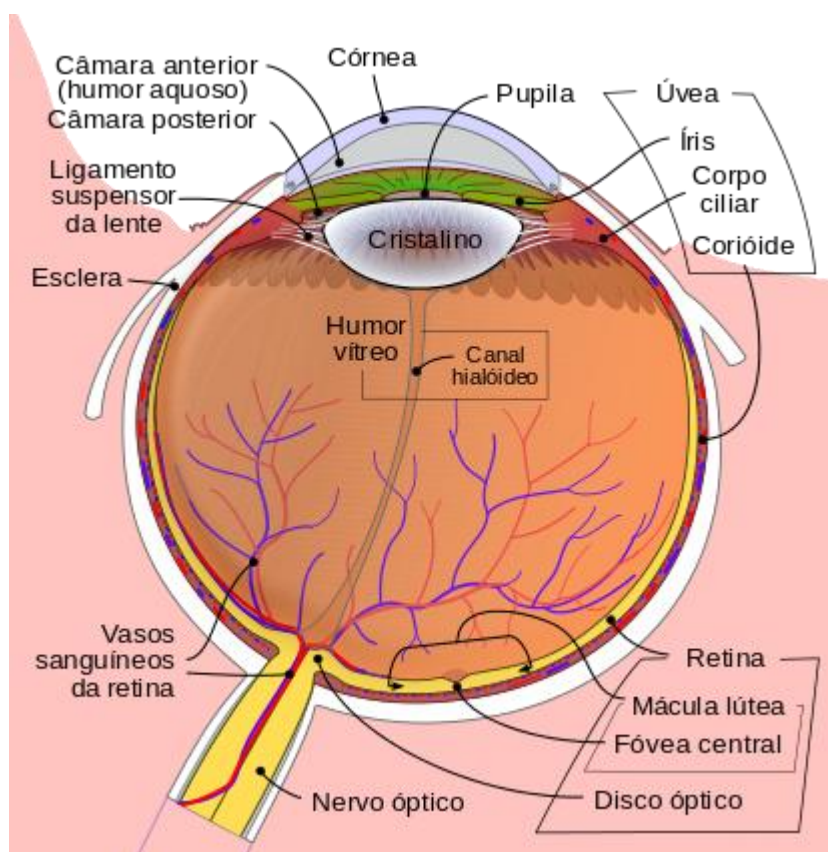
Representação das lentes delgada convergente e divergente e seus focos [Trierveiler, 2016].

Equações.

Podemos determinar as distâncias focais f de duas maneiras, através dos raios de curvatura ou através das posições dos objetos e das imagens. Para uma lente delgada temos:

$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ tal que, n é o índice de refração da lente e R_1 e R_2 são os raios de curvatura das superfícies do dioptra. Sinal positivo ($R > 0$) para superfícies convexas. Sinal negativo ($R < 0$) para superfícies côncavas.	$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ Tal que p é a distância do objeto a lente e p' é a distância da imagem a lente.
---	---

Olho humano.



Esboço da estrutura do olho humano.³

O olho humano tem um diâmetro de 24 *mm*. Ele é preenchido por duas substâncias transparente: o humor aquoso e o humor vítreo. Além de manter a forma do globo ocular, elas apresentam índice de refração próximo ao da água, o que lhe confere a capacidade de refratar luz.

A luz incide primeiramente na córnea. Uma película, saliente convexa, que em conjunto com o humor aquoso, é responsável por 2/3 da capacidade de refração do olho humano.

Em seguida encontramos a íris, uma película que se expande e contrai junto com a pupila. Esta última faz o controle da luminosidade que entra no olho humano, através um orifício de abertura regulável.

Logo após, encontramos o cristalino. Ele é uma lente flexível transparente responsável por colocar e manter a imagem formada sobre a retina. O cristalino tem alta

³ “Diagrama esquemático do olho humano” Disponível em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg acessado em 22/05/2016.

capacidade convergir a luz, devido a seu formato de lente convergente biconvexa e seu índice de refração mais elevado, quando comparado com os humores aquoso e vítreo.

Por ser flexível, o cristalino tem a capacidade de modificar sua curvatura e com isso, sua distância focal. A deformação da sua superfície é feita através dos músculos ciliares. Este processo, chamado de acomodação, é muito importante, pois faz com que, a imagem de nosso interesse fique mantida sobre a retina.

A retina é responsável por capturar a luz, que é focalizada sobre ela, convertê-la e enviá-la ao cérebro, através do nervo óptico. Ela se encontra no fundo do globo ocular revestindo mais de 65 % da sua superfície interna.

A retina é formada principalmente por células fotorreceptoras chamadas de cones e bastonetes. Os cones estão mais concentrados na região central da retina e são responsáveis pelas melhores imagens, desde que haja condições adequadas de luminosidade. Por este motivo, o cristalino ajusta a distância focal com a intenção de para manter imagem sobre esta região mais sensível. Os bastonetes estão mais concentrados na região periférica da retina. Eles são mais sensíveis à percepção do movimento e a condições de baixa luminosidade, mas em compensação não são capazes de gerar imagens de alta resolução.

Plano de aula nº 01 - Refração da luz.

IDENTIFICAÇÃO:

COLÉGIO: _____

CURSO: _____

DISCIPLINA: _____

SÉRIE/ANO LETIVO: _____

CARGA HORÁRIA: 01 HORA/AULA (50 MIN)

ASSUNTO: Raio de luz, reflexão e refração da luz.

1.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:

- a. Compreenda o conceito de raio de luz, reflexão e refração e associe como uns dos fenômenos da luz.
- b. Reconheça a refração da luz utilizando os conhecimentos para explicar, por exemplo, a formação do arco-íris, a cor do céu, o desvio na direção da luz, entre outros.
- c. Identificar as grandezas físicas presentes da refração se familiarizando com a nomenclatura da refração e a Lei de Snell – Descartes.
- d. Utilizar linguagem simbólica (esquemas, tabelas e expressões matemáticas), na interpretação da refração.

1.2 MOMENTOS DA AULA

1.2.1 Incentivação

O tempo estimado é de 5 minutos. Com um copo transparente cheio de água com um lápis dentro, o professor deve perguntar cada pergunta de forma pausada e ouvindo a resposta dos educandos: Porque o lápis parece quebrar? Existe alguma posição que o lápis pareça estar inteiro? Caso afirmativo, quais os fatores que influenciam na formação da imagem?

1.2.1 Desenvolvimento

Tempo estimado para esta etapa é de 25 minutos. A aula deve ser dinâmica com trocas de informações entre o professor e aluno, aproveitando elementos do momento de incentivação, como as respostas e pergunta dos alunos.

A aula deve ser expositiva usando as figuras e o texto de apoio, ambos disponíveis no anexo deste plano de aula. É aconselhável a projeção do material para toda a turma e disponibilizar cópias para todos os educandos, caso seja possível.

O professor deve expor o conteúdo, utilizando as figuras do material didático, os conceitos de raio de luz, reflexão e principalmente da refração. Ele deve mostrar a mudança (desvio) de direção na trajetória da luz, quando esta passa de um meio para outro, mostrando as grandezas envolvidas e suas leis.

Para facilitar o aprendizado dos conceitos envolvido, o professor deve utilizar o simulador “Phet - Curvando a Luz”⁴. Neste simulador é possível mudar os índices de refração e o ângulo de incidência, analisando o comportamento da luz refrata tanto no modelo da óptica geométrica (Raio de luz) como física (Ondas eletromagnéticas).

Logo em seguida, o professor deve conceituar índice de refração, associá-lo a velocidade de propagação, ao ângulo de refração e finalmente a Lei de Snell-Descartes.

O professor deve mostrar a tabela de índices de refração n , disponível no texto de apoio, explicando seu significado com relação, à velocidade da luz e desvio do raio refratado. Ele deve enfatizar que esses os valores n , variam conforme a frequência. Caso o professor ache necessário, ele pode fazer uma explicação rápida sobre frequência e sua relação com as cores.

1.2.3 Síntese Integradora

Este momento foi estimado para o tempo de 20 minutos. O professor deve perguntar a turma:

- **É possível colocar o lápis na água, de tal forma que sua imagem não parece estar quebrada?**

Resposta esperada: Sim, incidindo o lápis perpendicularmente a superfície da água.

⁴ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/bending-light (acessado em 28 de setembro de 2015).

- **A experiência mostrada só poderia ocorrer com a água? Se trocar água por outro líquido, por exemplo, detergente incolor ou vaselina líquida, existiria diferença na imagem formada?**

Resposta esperada: Sim, devido à diferença de índice de refração dos líquidos.

Comentário: *Pode ser mostrado fazendo a experiência, comparando dois recipientes preenchidos com líquidos diferentes (água e detergente ou água e vaselina líquida).*

- **Como a formação do arco-íris pode ser explicada usando a refração?**

Resposta esperada: usando a tabela de índice de refração, podemos perceber que ela é para uma determinada luz monocromática, ou seja, para certo valor de frequência de luz. Como a luz branca do sol é composta por um conjunto de cores, ou seja, por diferentes frequências, cada cor refrata sobre ângulos diferentes, dispersando o feixe de luz.

Logo após, os alunos devem responder as questões disponíveis no anexo. Dependendo do tempo e da necessidade do professor, poderá pedir como atividade para casa.

Como tarefa de casa, o professor deve pedir duas pesquisas: uma sobre câmara escura, com ênfase no seu funcionamento e aplicação; e a outra sobre o olho humano enfatizando as principais partes e a processo de formação da imagem na retina.

O professor deve organizar a turma para a construção dos três modelos de câmara escura, prevista no próximo plano de aula. A sala pode ser organizada em equipes, sendo que cada uma, ficará responsável por providenciar os materiais conforme o modelo escolhido.

1.3 Objetos Educacionais

- Aparato experimental
- Simulador virtual Phet.
- Quadro giz e/ou projetor.

1.4 Referências

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. Porto Alegre. Editora: Bookman, 9ª Edição, 2002.

BONJORNO E CLINTON. **Física, História e Cotidiano - Coleção Delta**. São Paulo. Volume Único, Editora da FTD. 2ª edição, 2005.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. São Paulo. Volume 2. Editora Ática. 2ª edição, 2014.

GONÇALVES, Dalton. **Física do Científico ao Vestibular**. Rio de Janeiro. Editora Ao Livro Científico. 1964.

[Trierveiler, 2016] **Gustavo Trierveiler Anselmo**. *Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano*. Dissertação de mestrado submetida na Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

1.5 Anexo

Raio de luz.

O raio de luz é o caminho percorrido pela luz. Ele não tem um significado real, mas uma representação em forma de seta simplifica o estudo da óptica geométrica.

Fontes de luz.

Fonte de luz é tudo que pode ser visualizado pelos olhos. Necessariamente, o objeto não precisa gerar luz, mas precisa refletir.

Temos dois tipos de fontes de luz: A Primária em que o objeto gera luz, como nas lâmpadas e estrelas (Sol); A secundária em que o objeto reflete luz de uma fonte primária, como nos livros, planetas e satélites (Lua).

As fontes luminosas podem ser extensas ou pontuais. Uma lâmpada fluorescente de 1 m é uma fonte extensa, enquanto um led pode ser considerado como pontual.

A distância da fonte luminosa também pode definir se ela é uma fonte extensa ou pontual. O farol de um carro é considerado extenso a uma distância de 40 cm, mas pontual a 100 m. Assim, uma fonte pontual é quando podemos desprezar as dimensões da fonte luminosa em função da distância de quem observa.

Reflexão da luz.

É um dos principais fenômenos da luz. Quando um raio de luz incidente r atinge a superfície conforme um ângulo de incidência θ_1 , ele reflete sobre um ângulo de reflexão θ_1' . Como observado na figura abaixo, $\theta_1 = \theta_1'$. Ambos os ângulos em relação à reta normal N (Reta perpendicular à superfície de reflexão). Graças a este fenômeno, todos os objetos iluminado são uma fonte de luz.

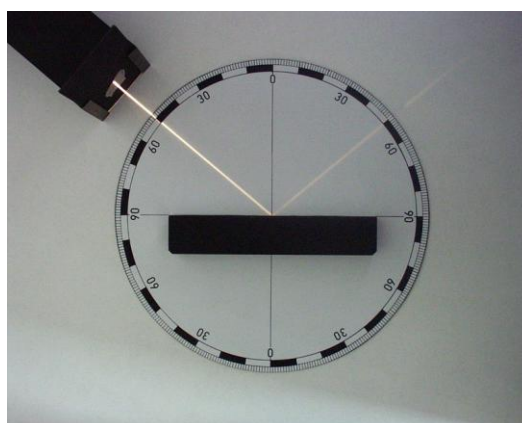


Figura 1 Reflexão da luz⁵

⁵ Disponível em

[https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_\(physics\)#/media/File:F%C3%A9nyvisszaver%C5%91d%C3%A9s.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_(physics)#/media/File:F%C3%A9nyvisszaver%C5%91d%C3%A9s.jpg). Acessado em 30/05/2015.

A reflexão obedece três princípios básicos.

1. A luz se propaga em linha reta, desde que os meios sejam isotrópicos e homogêneos. Isto significa que se a luz mudar de meio, ou este não apresentar às mesmas características a luz pode mudar de direção.
2. Os raios de luz são independente um do outro. Quando um é interceptado pelo outro, eles continuam a se propagar como se nada tivesse acontecido.
3. O caminho ou trajetória de um raio de luz não depende do sentido de propagação.

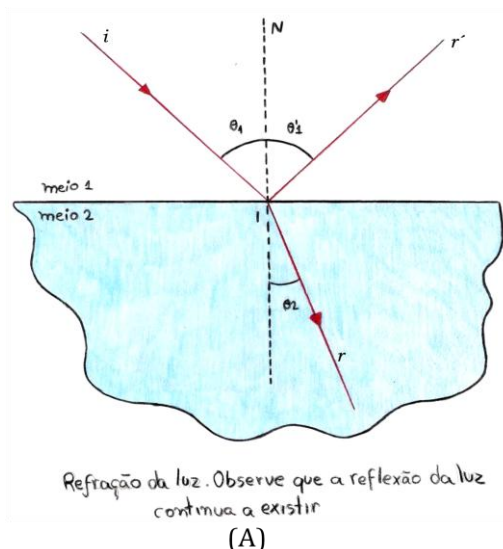
A reflexão pode ser regular: aquela que ocorre em superfícies polidas; e reflexão difusa decorrida das imperfeições da superfície de reflexão.

Refração da luz.

Na figura abaixo temos um caso típico de refração de um raio de luz que incide em uma superfície de separação e sofre uma mudança na sua direção de propagação.

O raio de luz incidente i faz um ângulo incidente θ_1 com a reta normal N . Da mesma forma, o raio de refração r faz um ângulo de refração θ_2 , ambos em relação à reta normal.

Na realidade os fenômenos de reflexão e refração ocorrem simultaneamente. Uma parte da luz incidente a superfície de separação (dióptro) é refletida e o restante é refratado. A parcela de luz para cada fenômeno depende do ângulo de incidência e do índice de refração, que será definido a seguir.



(B)

Figura 2 (A) Reflexão e refração do raio de luz. (B) Reflexão e refração em um lago⁶

⁶ Disponível em

[https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_\(physics\)#/media/File:Mount_Hood_reflected_in_Mirror_Lake,_Oregon.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_(physics)#/media/File:Mount_Hood_reflected_in_Mirror_Lake,_Oregon.jpg) acessado em 30/05/2015.

A representação acima se baseia na natureza corpuscular da luz, proposta por Newton, onde seria composta por partículas ou corpúsculos, chamada de modelo Corpuscular.

Abaixo temos outra hipótese inspirada no modelo ondulatório da luz defendido por Huygens no século XVIII. Neste as grandezas físicas velocidade de propagação e o comprimento de onda mudam quando passam de um meio para outro. Assim a frequência é mantida constante, pois afinal, quando um feixe de luz vermelho muda de meio, ela continua sendo vermelha.

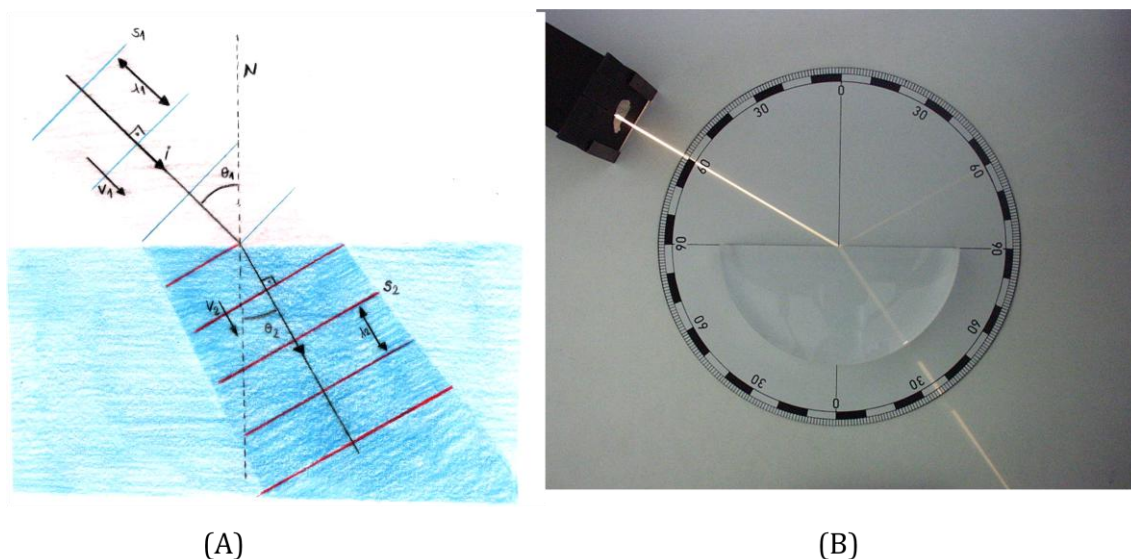


Figura 3 (A) Refração de uma frente de onda. (B) Refração de raio de luz e um pouco de luz refletida⁷. Em ambos os casos, a luz refratada desvia sua trajetória.

Em ambas as explicações a velocidade de propagação muda e nos casos acima $v_1 > v_2$. Para melhor compreensão, indicamos o simulador “Phet - Curvando a Luz.”⁸.

Índice de refração ou refringência

O Índice de refração absoluto n , de um meio homogêneo, para uma determinada luz monocromática, é dado pela razão entre o valor da velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz (v) no meio em questão.

$$n = \frac{c}{v}$$

⁷ Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Refraction#/media/File:F%C3%A9ny%20t%C3%B6r%C3%A9s.jpg> acessado em 30/05/2015.

⁸ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/bending-light (acessado em 30/05/ de 2015).

Podemos concluir que n implica em quantas vezes a velocidade da luz no vácuo é maior que a velocidade do meio. Além disso, como é definido por duas grandezas físicas iguais, é **adimensional**, ou seja, não possui unidade.

Abaixo temos a tabela para de índice de refração para luz monocromática de frequência de 5×10^{14} Hz.

Material	n
Gases a 0°C e 1 atm	
Hidrogênio	1,00013
Ar	1,00029
Dióxido de carbono	1,00045
Líquidos a 20°C	
Água	1,33
Álcool etílico	1,36
Glicerina	1,47
Benzeno	1,51
Sólidos a 20°C	
Quartzo fundido	1,46
Poliestireno	1,49
Vidro comum	1,52
Diamante	2,42

[Trierweiler, 2016]

Leis da Refração

A refração é considerada por duas leis:

- O raio incidente i , raio refratado r e a reta normal N à superfície de separação, em geral, pertencem no mesmo plano.
- O produto do índice de refração n_1 (meio do raio de luz incidente) e o seno do ângulo de incidência ($\text{sen}\theta_1$) como também o produto do índice de refração n_2 (meio do raio luz refratado) e o seno do ângulo de refração ($\text{sen}\theta_2$) é uma constante.

A relação é conhecida como Lei de Snell – Descartes

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

Exercícios.

- Se um raio de luz incide normalmente em uma superfície de separação de dois meios, ele não sofre desvio. Isto significa que não houve refração? Explique.

2. As piscinas parecem mais rasas que realmente são. Explique o motivo usando conceito de refração.
3. (Enem) Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para físgar um peixe em um lago com águas tranquilas o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe. Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz
 - a) Refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
 - b) Emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
 - c) Espalhados pelo peixe são refletidos pela superfície da água.
 - d) Emitidos pelos olhos do índio são espalhados pela superfície da água.
 - e) Refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.

Plano de aula nº 02 - Refração da luz.

IDENTIFICAÇÃO:

COLÉGIO: _____

CURSO: _____

DISCIPLINA: _____

SÉRIE/ANO LETIVO: _____

CARGA HORÁRIA: 02 HORA/AULA (50 MIN)

ASSUNTO: Formação da imagem em uma câmara escura.

2.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:

- a) Construir uma câmara escura (conhecida Pin Hole.).
- b) Entenda o funcionamento da câmara escura e associe com o olho humano.
- c) Relacione o tamanho da câmara escura (profundidade) da câmara escura com a altura da imagem formada.
- d) Relacione a quantidade de luz e o tamanho do orifício com a nitidez da imagem.

2.2 MOMENTOS DA AULA

2.2.1 Incentivação

Este momento está planejado para um tempo de 5 minutos. O professor deve perguntar aos alunos: *A visão é um dos sentidos mais importante do ser humano. Através dela exploramos o mundo a nossa volta, reconhecendo cores, formados, idealizando distâncias. Mas como a imagem é formada a imagem no olho humano? Como nosso pequeno olho, com um pequeno orifício, a nossa pupila, é capaz de formar imagens?*

2.2.2 Desenvolvimento

O Tempo estimado é de 70 minutos divididos em: 30 minutos na construção do equipamento e 40 na resolução dos exercícios propostos. O professor pode organizar os alunos em grupos ou trabalhar de forma individual, dependendo da necessidade do educador. Temos que lembrar que esta atividade deve ter sido organizada antes, distribuindo para cada equipe, um dos três modelos da câmara escura. Isto se faz necessário, para que os educando se organizem, já que é sua a responsabilidade de trazer os materiais necessários para sua construção da câmara escura.

O professor deve distribuir o roteiro que se encontra em anexo, deste plano de aula. Ele deve orientar a construção da câmara escura conforme o tipo escolhido. É importante que o professor participe da montagem do aparato, como também com que os alunos façam em sala de aula. Isto se faz importante, já que em geral, surgem dúvidas na montagem e é um momento, do professor, de discutir a função de cada parte ou passo na construção da câmara escura.

Foi sugerido três modelos de câmara escura: a primeira é feita com lata de massa de tomate (aquela com um furinho na tampa) baseada na proposta Óptica do olho humano; a segunda com um tubo de batatinha baseado em um vídeo no site “youtube” e o terceiro feito de latinha de alumínio.

Após a construção, o professor deve pedir aos alunos, que observem as imagens formadas pelo equipamento, analisando o tamanho e a orientação da mesma. É aconselhável que eles observem objetos bem iluminados.

O professor deve discutir com os educando a qualidade da imagem formada pelo o aparato. Em geral, os alunos tentem a aumentar o orifício para que fique mais clara, mas isso prejudica a nitidez da mesma.

Em seguida o professor deve entregar uma atividade, que se encontra no anexo deste plano de aula. Os exercícios são de aplicação matemática, baseada em medidas tiradas do próprio experimento, como profundidade e tamanho de imagem.

Como tarefa de casa o professor deve pedir, aos alunos, uma pesquisa sobre lentes esféricas, enfatizando seus tipos (convergente e divergente) e espessuras (Delgada ou espessa). Além disso, o professor deve solicitar aos alunos que tragam o material pesquisado sobre o olho humano, principalmente com um esboço claro e simples das partes do olho humano.

O professor também deve comentar sobre a dissecação do olho de boi que será feita na próxima aula. É importante o professor comente sobre as regras de laboratório e de vestimentas descritas no plano de aula 03.

2.2.3 Síntese Integradora

Tempo estimado 25 minutos. O professor deve pergunta a turma pausadamente, esperando a resposta de cada questionamento.

Observe a imagem formada primeiramente com e depois sem papel manteiga. Existe diferença entre as duas situações? Sobre a imagem formada, qual é a sua orientação, direita ou invertida? Real ou virtual? Justifique.

Resposta esperada: Sem papel vegetal vemos apenas a luz que atravessa o pequeno orifício da câmara escura. Com o papel manteiga, as imagens observadas estão de ponta cabeça, ou seja, invertida. Isto deve ao cruzamento dos raios luminosos, que incidem pelo orifício da câmara escura. Como a imagem precisa ser projetada para ser vista, ela é uma imagem real.

Usando a pesquisa sobre olho humano pedida na aula anterior, qual a semelhança entre o olho e a câmara escura? Cite pontos e elementos.

Resposta esperada: O orifício da câmara escura pode ser comparado com a pupila do olho humano. O que diferencia do furo da câmara escura é que, a pupila é um orifício ou diafragma de ajuste variável.

A retina pode ser comparada com o anteparo formado pelo papel vegetal.

Usando a imagem da câmara escura no anexo*, desenha a imagem formada no fundo da câmara escura ilustrando o trajeto dos raios de luz.

** O professor pode disponibilizar a figura para os alunos ou projetar no quadro, riscando e traçando os raios luminosos.*

Resposta esperada:

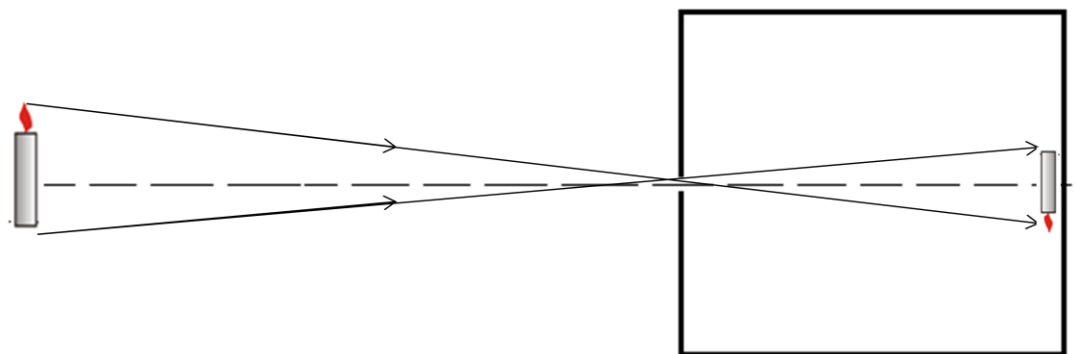


Figura 2.1 Trajeto dos raios luminosos para formar a imagem dentro da câmara escura.

Usando o desenho dos raios luminosos, feito na questão anterior, seria possível calcular a altura ou a distância do objeto que originou a imagem? De que forma? Caso seja possível, existe alguma relação matemática?

Resposta esperada: podemos ver que existe uma semelhança dos triângulos formados entre a altura do objeto (o) e a distância com a câmara escura (p) com outro triângulo formado entre a altura da imagem (i) e a profundidade da câmara (p').

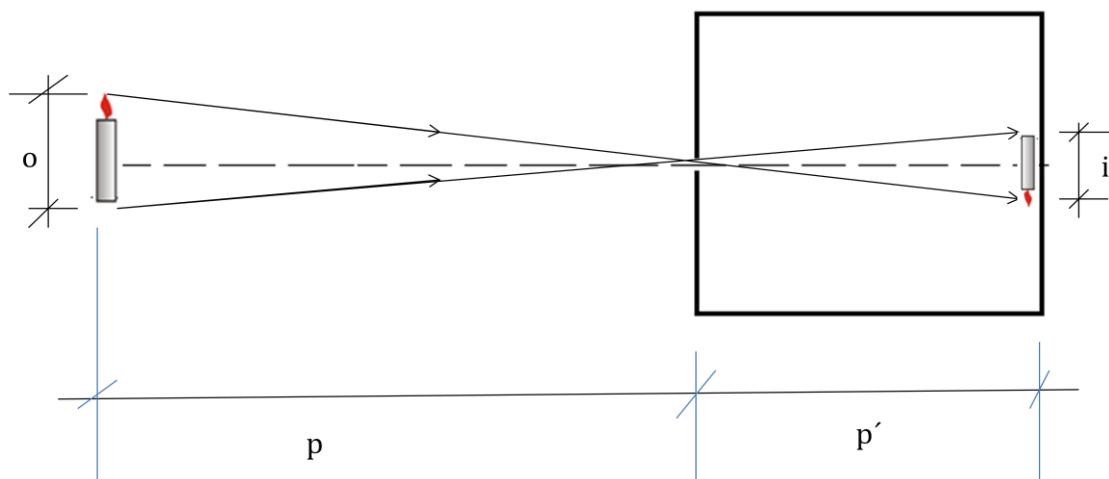


Figura2. 2 Medidas relevantes na câmara escura.

$$\frac{p'}{i} = \frac{p}{o}$$

2.3 Objetos Educacionais

- Aparato experimental
- Quadro giz e/ou projetor.
- Computador
- Material para a construção da câmara escura.

2.4 Referências

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. Porto Alegre. Editora: Bookman, 9ª Edição, 2002.

BONJORNO E CLINTON. **Física, História e Cotidiano - Coleção Delta**. São Paulo. Volume Único, Editora da FTD. 2ª edição, 2005.

GASPAR, Alberto. *Compreendendo a Física*, São Paulo. Volume 2. Editora Ática. 2ª edição, 2014.

PIETROCOLA, Mauricio; SANTO, Allan F. E.; SIMÕES, Calebe; STEINICKE, Gabriel O.; SAITO, Silvia H. **Óptica do Olho Humano**, Metodologia do Ensino de Física I, São Paulo, USP, 2010. Disponível em <http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/192/Sequencia%20didatica%20optica%20do%20olho%20humano%202010.pdf> acessado em 15 de outubro de 2015.

[Trierveiler, 2016] **Gustavo Trierveiler Anselmo**. *Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano*. Dissertação de mestrado submetida na Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

2.5 Anexo

Câmara Escura (*Pin Hole*)⁹.

Material Necessário:

- Uma lata de molho de tomate (aquelas com um furinho na tampa);
- Um pedaço de cartolina ou papel cartão preto;
- Um pedaço de Papel seda;
- Um abridor de latas;
- Tesoura;
- Fita adesiva e cola.

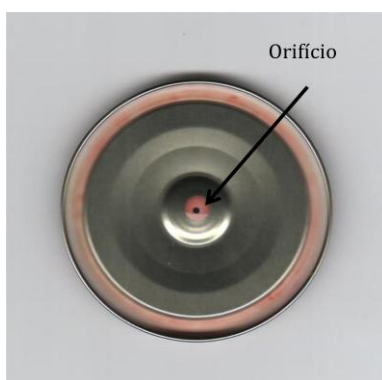


Figura 2.3 Detalhe da tampa de massa de tomate.

Construção:

Retire o fundo das duas latas de extrato de tomate, com um abridor de latas. Tome cuidado, pois o abridor deixará rebarbas na lata. Com um alicate, estas rebarbas podem ser amassadas ou retiradas.

Corte um quadrado de papel seda com aproximadamente 12 cm de lado. Em seguida, cubra com o papel seda, sem deixar dobras, uma das latas no lugar da tampa. A fixação deve ser feita com elástico ou fita adesiva. Fixe, com fita adesiva, a tampa da outra lata no seu devido lugar.

Devemos escurecer as paredes da latinha para melhor visualização das imagens. Para isso, pinte com tinta preta ou faça um tubo com papel preto que se encaixe no interior de ambas as latas, como mostra a figura 2.4.

⁹ Atividade baseada na proposta da Óptica do olho humano. Disponível em <http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/192/Sequencia%20didatica%20optica%20do%20olho%20humano%20010.pdf> acessado em 15 de outubro de 2015.

Em seguida, encaixe as latas formando um único tubo. Isto deve ser feito de tal forma que, o fundo da lata com tampa se encaixe com a base que foi coberta com o papel.

Para unir e manter a integridade do conjunto recorte um retângulo de cartolina com altura excedendo 3 cm do perímetro da lata por 20 cm de largura. Agora envolva o conjunto com o retângulo de cartolina, fixando com cola ou fita adesiva. Caso queira você pode enfeitar sua câmara escura.



Figura 2.4 Detalhe da posição do papel seda e das paredes escuras.

Câmara escura com tubo de batatinha¹⁰

Materiais Utilizados

- Tubo de batatinha
- Papel cartão preto
- Fita adesiva
- Papel seda
- Pequeno prego
- Tesoura, martelo ou algo para furar o tubo.

Pegue o tubo de batatinha cilíndrica, pode ser aquela do rosto com bigode, retire sua tampa e faça um pequeno furo no fundo (base inferior do cilindro) do tubo.

Com o papel cartão faça um tubo, enrolando a parte escura voltada para dentro, que se encaixe dentro do tubo de batatinha e o prenda com fita adesiva. Em um dos lados deste tubo de papel cartão, prenda o Papel seda e com fita adesiva.

¹⁰ Atividade baseada no site de compartilhamento de vídeo “youtube”. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=OOXV0tA1F6w> acessado em 15 de outubro de 2015.

Encaixe os tubos. O lado do tubo com papel vegetal deve ser encaixado dentro do tubo de batatinha. Assim é possível ajustar a profundidade da câmara escura para focalizar melhor a imagem obtida.

Câmara escura com lata de alumínio.

Materiais necessários

- Duas latas de alumínio de refrigerante ou qualquer outra bebida.
- Papel seda.
- Elásticos usados para dinheiro.
- Papel cartão, cartolina ou qualquer outro papel para embrulhar.
- Abridor de latas
- Martelo e um prego pequeno e fino.

Você pode usar qualquer tubo, neste caso vamos usar uma lata de alumínio. Faça um pequeno furo com um prego e martelo no centro no fundo da lata.



Figura 2.4 Furo feito com prego.

Com um abridor de latas, retire a tampa da parte superior. Recorte um pedaço de Papel seda e o prenda no lado aberto com um elástico, esses de dinheiro.



Figura 2.5 Papel manteiga funciona como anteparo para a projeção da imagem.

Para ajudar a visualização melhor da imagem formada encaixe outra lata, que foi recortada o tanto o fundo e como sua tampa. Em seguida, faça o revestimento do conjunto com papel ou outro material que achar melhor, como mostra a figura abaixo.

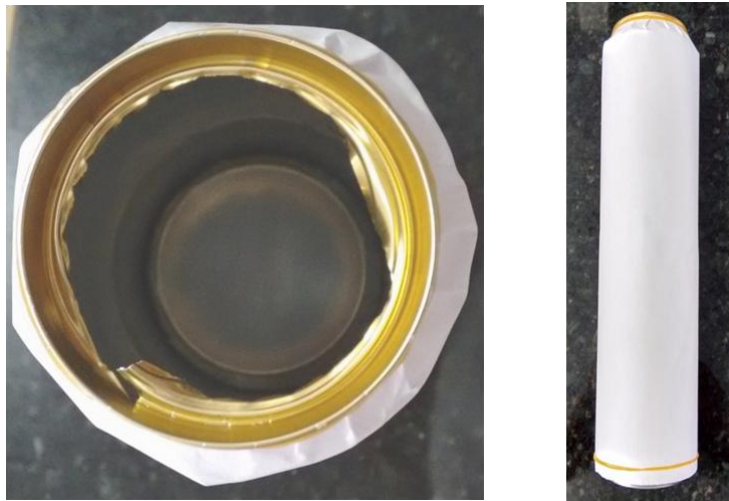


Figura 2.6 Detalhe do papel vegetal. Esse tudo ajuda a visualizar melhor a imagem projetada no papel manteiga.

Para melhorar a desempenho da sua câmara escura, pinte o interior com uma tinta preta ou faça um tubo com papel preto que se encaixe no interior de ambas as latas.

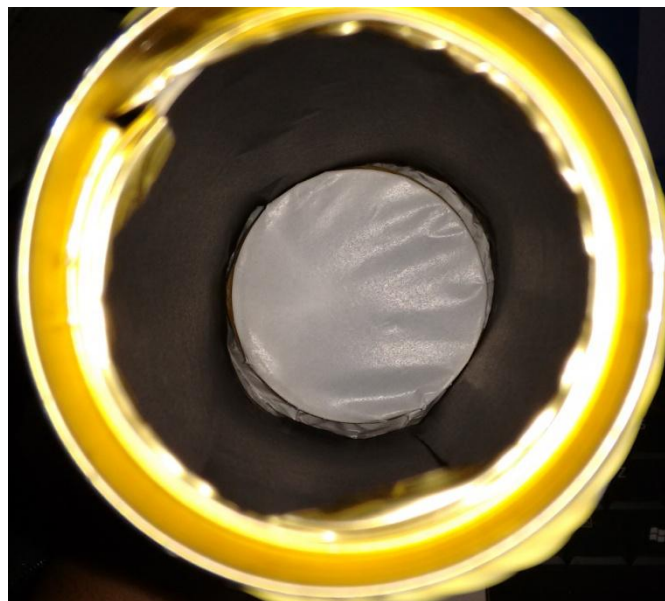
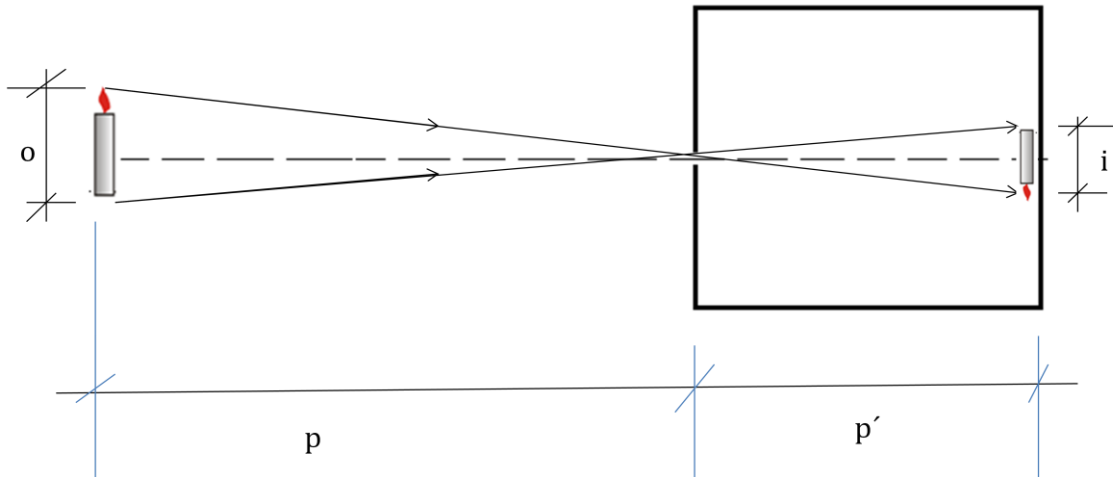


Figura 2.7 Laterais escuras. Facilita a visualização das imagens.

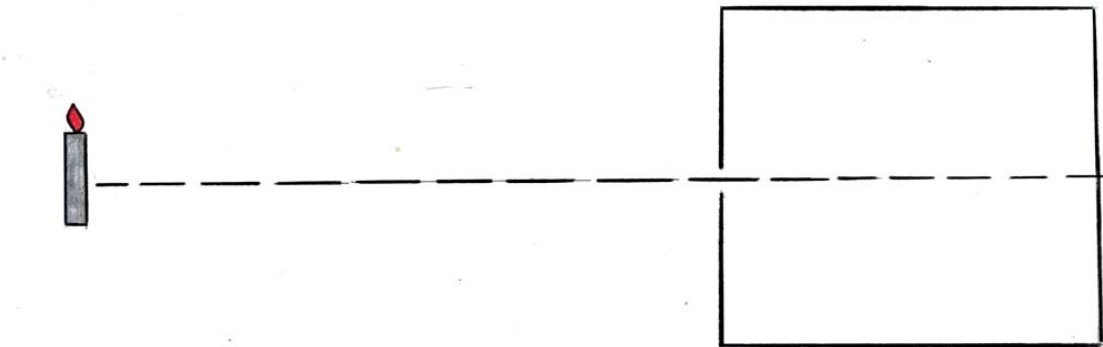
Exercícios

01. Uma vela de 10 cm de altura está diante de uma câmara escura de orifício de profundidade de 20 cm. Sabendo que a distância entre a vela e a câmara escura de 10 cm.



- Determine o tamanho da imagem formado.
 - Qual o novo tamanho da imagem, caso a vela se aproxime da câmara escura em 4 cm.
02. Usando as medidas da câmara escura produzida e suponha que existe uma haste que está afastada a 3m dela. Determine:
- Qual a maior imagem inteira que o seu equipamento é capaz de formar?
 - Qual é sua profundidade?
 - Qual deve ser a altura máxima da haste para que a imagem formada na sua câmara escura seja inteira e maior possível?

Desenhos para projeção



Plano de aula nº 03 – Dissecação do olho de boi.

IDENTIFICAÇÃO:

COLÉGIO: _____

CURSO: _____

DISCIPLINA: _____

SÉRIE/ANO LETIVO: _____

CARGA HORÁRIA: 02 HORA/AULA (50 MIN)

ASSUNTO: Estudo das partes do olho humano

3.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:

- a) Trabalhar de forma organizada no laboratório
- b) Identifique e as partes que compõe o olho.
- c) Compreenda a função das principais partes do olho humano
- d) Identifique e compreenda as semelhanças e diferenças entre o olho de boi e do ser humano.

3.2 MOMENTOS DA AULA

3.2.1 Incentivação

Tempo estimado 10 minutos. O professor deve organizar a turma em equipes conforme achar adequado. Neste momento o professor deve conversar com os alunos sobre algumas regras de organização de trabalho e no cuidado com objetos cortantes.

Logo após, o professor deve entregar o olho de boi com os materiais necessários, perguntando para a turma: *Observando este olho, você conseguiria dizer onde é formada a imagem e por onde ela é enviada ao cérebro?*

3.2.2 Desenvolvimento

Essa atividade foi sugerida pelo artigo *Abrindo o Olho, Dissecando um olho de boi para entender melhor a óptica do olho humano*¹¹, de Marcelo Saba e Ivan Epiphanyo. O Artigo se encontra no anexo deste manual didático. Vamos seguir as instruções e procedimentos da atividade. O professor pode entregar um roteiro com as

¹¹ Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a05.pdf> acessado em 15 de outubro de 2015.

ordens dos procedimentos, explicando e pedindo para que o aluno as executem. O roteiro está no anexo deste plano de aula.

Na aula anterior, o professor deve pedir aos alunos venham com calçados fechados e calças. Isto é para reduzir o risco de cortes, com o bisturi, e contaminação por material de risco biológico (olho de boi).

Em cada procedimento o professor deve discutir com os alunos, as partes dissecadas do olho apontando as principais características. Além disso, o professor deve induzir os educando a comparar, aquilo que está sendo visto com as pesquisas do olho humano e lentes esféricas, pedidas anteriormente.

Os procedimentos de dissecação devem ser seguidos como está no roteiro. O professor deve chamar atenção sobre o cristalino. Com o auxílio do material de pesquisa, os alunos devem identificar e caracterizar o cristalino quanto ao seu tipo (divergente ou convergente) e espessura (delgada como espessa).

Caso o professor tenha dúvidas, existem vários vídeos sobre dissecação do olho de boi. Como sugestão encontra-se alguns links nas referências deste plano de aula.

Para adquirir os olhos de boi, é necessário pedir que o colégio faça um ofício requisitando para um frigorífico ou abatedouro. O modelo do documento de encontra no anexo deste plano de aula.

O interessante salientar que devemos ter um local adequado para descarte material após o uso. A vigilância sanitária do município ou o próprio frigorífico que o forneceu, podem indicar ou receber o material após o uso.

O professor deve lembrar-se de separar um tempo para a limpeza e organização do local e dos materiais usados.

3.2.3 Síntese Integradora

Os alunos devem responder as perguntas que se encontram no roteiro. Caso necessário, o professor pode auxiliá-los a encontrar a resposta.

3.3 Objetos Educacionais

- Aparato experimental.
- Quadro giz e/ou projetor.

3.4 Referências

HEWITT, Paul G., **Física conceitual**. Porto Alegre. Editora: Bookman, 9ª Edição, 2002.

BONJORNO E CLINTON, **Física, História e Cotidiano - Coleção Delta**. São Paulo. Volume Único, Editora da FTD. 2ª edição, 2005.

GASPAR, Alberto, Compreendendo a Física, São Paulo. Volume 2. Editora Ática. 2ª edição, 2014.

¹SABA, Marcelo M.F; EPIPHANIO, Ivan D. V. **Abrindo o olho. Dissecando um olho de boi para entender a óptica do olho humano**. Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a05.pdf> acessado em 15 de outubro de 2015.

Dissecação do olho e boi. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=dIDKsPt0zk> acessado em 15 de outubro de 2015.

[Trierveiler, 2016] **Gustavo Trierveiler Anselmo**. *Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano*. Dissertação de mestrado submetida na Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

3.5 Anexo.

Roteiro - Dissecando o olho do boi.

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Orientações para a atividade: ATENÇÃO!!!!!!

- Todos os alunos devem estar com calça e calçados fechados, para que resíduos e instrumentos não entrem em contato com o corpo.
- Use as luvas e os óculos de segurança, caso haja.
- TOME CUIDADO COM OS INSTRUMENTOS CORTANTES. NÃO É HORA DE BRINCAR.
- Deixem em seu local de trabalho apenas os materiais ou objetos que for usar.
- Não leve a mão a boca enquanto estiver manipulando o experimento.
- Proibido comer ou beber durante o experimento.
- Organize seu local de trabalho, lavando e destinando em local adequado os resíduos e objetos descartáveis.

Essa atividade foi sugerida pelo artigo *Abrindo o Olho, Dissecando um olho de boi para entender melhor a óptica do olho humano*¹, de Marcelo Saba e Ivan Epiphany.

Materiais:

- Bandeja ou prato descartável.
- Duas pinças
- Bisturi, tesoura com ponta ou Gillette.
- Olho de boi

Faça os procedimentos e responda as questões.

Retire o excesso de gordura e músculos que envolvem o olho. Essa gordura serve para proteção, uma espécie de amortecedor contra impactos. Os músculos são para movimentação e no caso, **são 4 músculos**. Agora responda, o olho humano é formado por quantos músculos?

Retire a córnea. Para isso, faça um corte leve e contínuo em volta da íris, rodeando o olho. Ao cortar a córnea, você notará que um líquido, chamado de humor aquoso, sai de dentro dela. *“Esse líquido mantém a pressão que dá a forma à córnea. Observe a íris, diafragma composto de músculos que mudam o diâmetro da pupila, controlando a quantidade de luz que entra no olho... A íris do boi é sempre marrom. Ou seja, não existem bois de olhos verdes ou azuis. Além disso, a sua pupila é oval, e não circular como a nossa”*.^{**}”

Retire o cristalino observe o seu formato e o tipo de lente. Coloque-o aproximando a seta abaixo e observe a imagem formada.



Responda: O cristalino pode ser classificado como uma lente convergente ou divergente? Justifique.

Descreva a imagem da seta observada através do cristalino. Observe e descreva também a imagem de um objeto distante.

Em seguida *“Observe o humor vítreo. Ele é uma espécie de massa gelatinosa que preenche a parte interna do olho, definindo a sua forma. Ele também é responsável por manter a retina fixada no fundo do olho. Isto é muito importante, pois, se a retina se dobrar, o sinal que chegará ao cérebro será confuso”*.^{**}”

“Corte o globo ocular pela metade. Observe, no fundo do olho, uma película vastamente irrigada por vasos sanguíneos. É a retina. Ela é como o filme fotográfico do olho. Está preso em um ponto chamado ponto cego, pois nele não há receptores sensíveis à luz. Nesse ponto, passa o feixe de nervos que formam o nervo óptico, que leva as informações ao cérebro”.^{**}”

“Observe o tapete atrás da retina. O tapete é uma camada azul-esverdeada brilhante e colorida que reflete de volta para a retina a luz que já passou por ela. Ele permite ao boi enxergar melhor no escuro. O farol de um carro faz brilhar os olhos do gato, pois ele também tem essa camada refletora no fundo do olho. O ser humano não possui o tapete: o fundo do nosso olho é preto e absorve a luz que passa pela retina”.^{**}”

Responda

- 1) O cristalino é o único responsável pela refração da luz que chega ao globo ocular? Justifique.

2) O cristalino poderia ser considerado uma lente delgada? Justifique.

**Artigo “Abrindo o olho” Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a05.pdf> acessado em 15 de outubro de 2015.

Logotipo da
instituição

Colégio _____

Of. nº: ____/____

Paranaguá, 16 de novembro de 2015.

Prezado Senhor,

A Direção do _____,
solicita a V. S^a. a gentileza de atender ao pedido de _____
R.G _____, professor da disciplina de Física desta instituição.

Para uma aula de dissecação, o professor desta instituição necessita a
doação de _____ pares de globos oculares de boi, que será usado em
_____ turmas desta instituição de ensino.

O objetivo é testar sua proposta didática de ensino que visa melhorar
entendimento da óptica e o funcionamento do olho humano por nossos alunos
e como parte do projeto, será feita a dissecação do olho de boi.

Conforme contato telefônico com _____, responsável técnica do
setor sanitário desta empresa, o professor _____
ficará responsável pela retirada e coleta dos resíduos que deverão ser
entregues a vigilância sanitária ou novamente para o frigorífico.

Certos de podermos contar com a sua colaboração e compreensão,
agradecemos.

Atenciosamente,

Diretora

Plano de aula nº 04 – Lentes esféricas.

IDENTIFICAÇÃO:

COLÉGIO: _____

CURSO: _____

DISCIPLINA: _____

SÉRIE/ANO LETIVO: _____

CARGA HORÁRIA: 02 HORA/AULA (50 MIN)

ASSUNTO: Lentes esféricas, lentes delgadas e espessas.

4.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES:

- a) Apresentar o princípio de funcionamento das lentes esféricas.
- b) Diferencie lentes esféricas convergentes e divergentes.
- c) Entenda o conceito de lentes delgadas, suas limitações e a aproximação com uma lente espessa.
- d) Identificar as grandezas físicas relevantes e os elementos geométricos das lentes esféricas.
- e) Determinada as imagens formadas pelas lentes.
- f) Compreenda as equações associadas às lentes esféricas como também as convenções de sinais.

4.2 MOMENTOS DA AULA

4.2.1 Incentivação

Tempo estimado é de 5 minutos. O professor deve comentar: *As Lentes são à base dos instrumentos ópticos. Elas são usadas para modificar imagens, ou seja, é possível variar tamanhos ou à distância da mesma, em relação aos objetos que deu a sua origem. É possível colocar um objeto na frente de uma lente e não obter imagens? Justifique a resposta.*

4.2.2 Desenvolvimento

O tempo estimado é de 60 minutos divididos em: 40 minutos de explicação e 20 minutos de resolução e correção de exercício. O professor deve apresentar definindo lente esférica, destacando suas fases curvas e esféricas chamadas de diopetro.

Logo em seguida, o professor deve classificar as lentes esféricas de acordo com suas bordas (convergente ou divergente) como também apresentar o conceito de lentes delgadas. Usando as figuras no material de apoio, que se encontra no anexo deste plano de aula, o professor deve mostrar a nomenclatura das lentes.

Em seguida, o professor deve explicar sobre os elementos geométricos, como eixo principal, ponto focal dos lados objetos e imagens. Em seguida, ele deve apresentar aos alunos, as a equação dos fabricantes de lentes, com a convenção de sinais de lentes divergentes e convergentes.

Logo após, o professor deve apresentar o conceito de lentes delgadas esféricas enfatizando sua aproximação com lentes espessas. Ele deve expor os principais elementos geométricos, como a distância focal da lente, a distância do objeto a lente e a distância imagem a lente. Além disso, o professor mostrar a relação destas distâncias com o tamanho da imagem.

Para representar a formação das imagens em uma lente convergente. Podemos usar o simulador “Phet – geometric Optics¹²”. É possível baixar o aplicativo em *flash* e rolar sem conectar a internet.

Nele podemos mostrar os elementos discutidos anteriormente. Mexendo no objeto mostramos como são formadas as imagens e como classificá-las conforme a distância focal. Usando a régua “rules” é possível medir a distância focal e localizar. No anexo está disponível classificações das imagens em lentes convergentes.

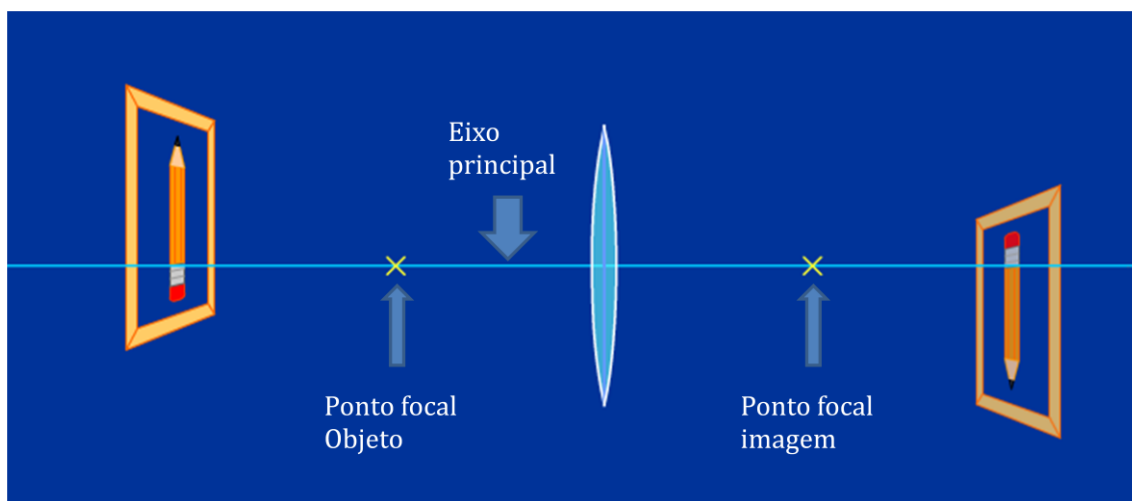


Figura 4.1 Simulador Phet. Elementos geométricos.

¹² Disponível em http://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_en.html. Acessado em 15 de outubro de 2015.

Marcando a opção “Screen”, o professor deve mostrar que todo o raio de luz paralelo ao eixo principal irá sair pelo foco e caso incida sobre ele não sofrerá desvio, permanecendo alinhado com o eixo.

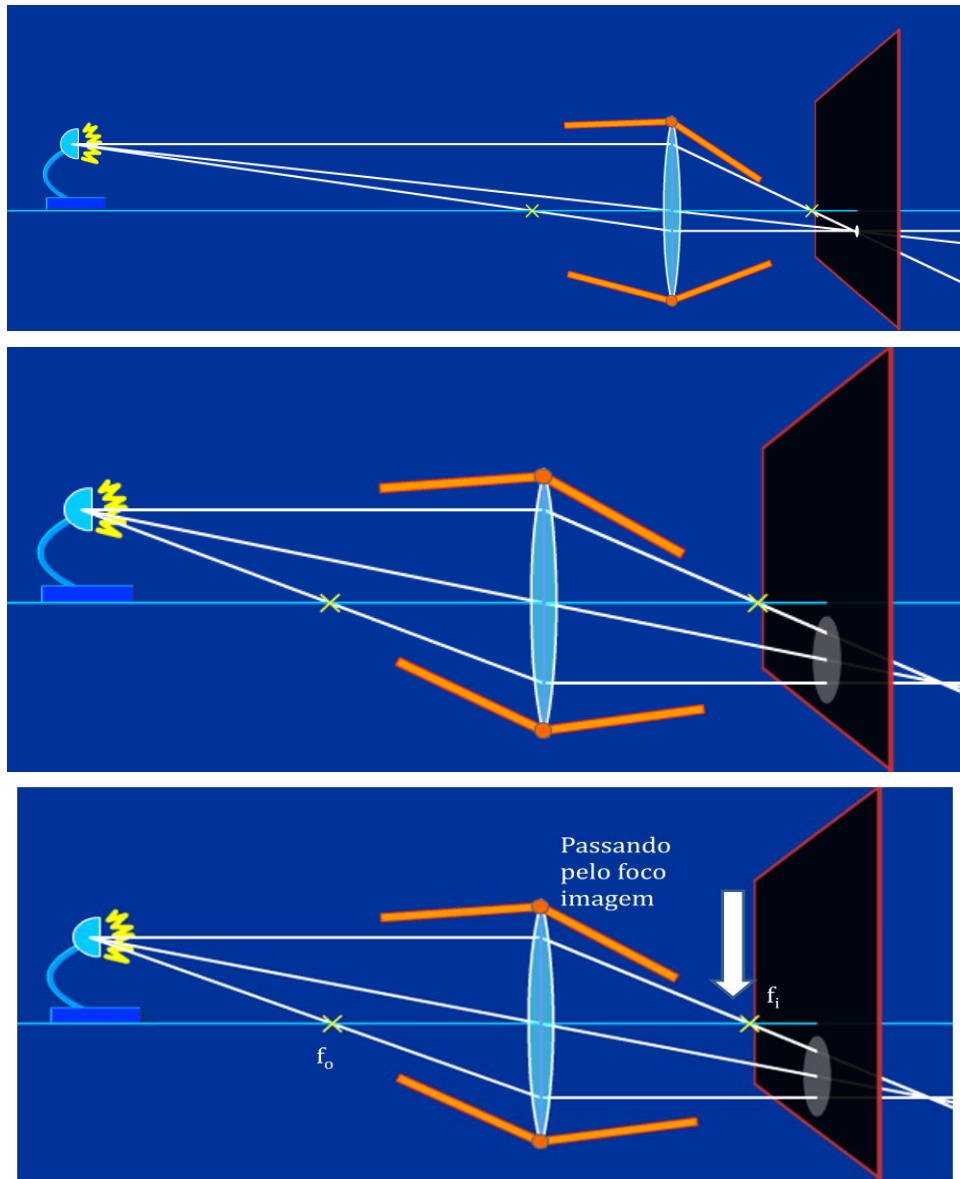


Figura 4.2 Raio de luz chegando paralelo ao eixo principal e refratando para o ponto focal. [Trierveiler, 2016]

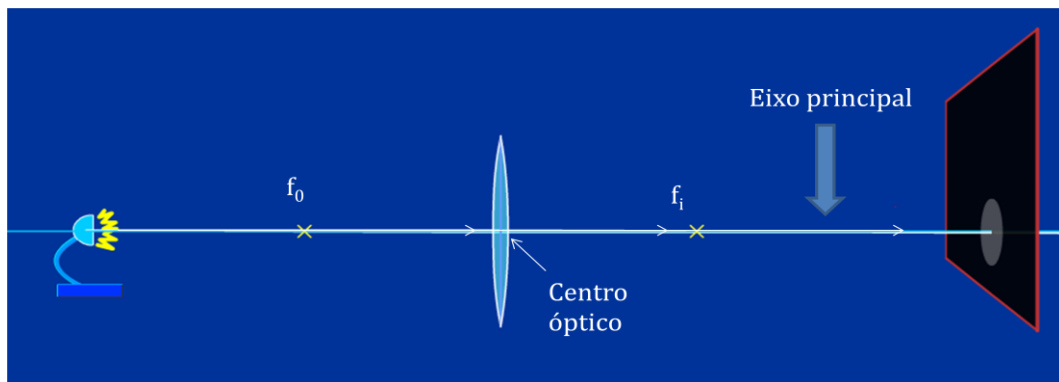
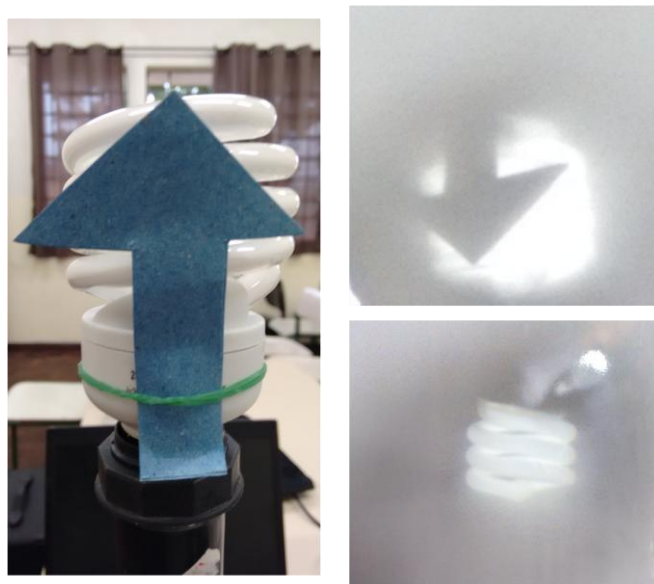


Figura4.3 Raio de luz sobrepondo no eixo principal passando pelo centro óptico. Não há desvio. [Trierveiler, 2016]

No simulado tem a opção para mudar os valores raio de curvatura e índice de refração. É importante que o professor varie estas medidas, para mostrar a sua relação com a imagem formada.

Em seguida o professor deve explicar a classificação da imagem em relação ao tamanho, orientação e natureza. Para isso, o professor pode usar o material de apoio, que tem as regras para a construção das imagens, com o auxílio do simulador. O professor deve contextualizar, comentando as aplicações destas imagens. Estas informações encontram-se no material de apoio.

Para melhor entendimento das imagens formadas pelas lentes esféricas, o professor pode usar uma lente esférica convergente, que pode ser retirada do ajuste de foco de um projetor sem uso. Como objeto, o professor deve levar uma lâmpada acesa instalada com um bocal, mostrando as diferentes imagens formadas pela lente.



O professor deve abordar os problemas de visão mais comuns: Miopia, Hipermetropia, Astigmatismo e a Presbiopia. O conteúdo deve ser discutido apontando as causas destas anomalias. No material de apoio, tem algumas imagens que podem ser usadas para auxiliar na explanação no conteúdo.

Por fim, o professor deve construir graficamente imagens em diferentes situações, mudando as posições dos objetos, em relação à lente, e/ou variando a distância focal da lente. Alguns exemplos estão disponíveis no anexo desta aula. É importante que o educador faça pelo menos um exemplo, deixando o restante como tarefa de casa e corrigindo na próxima aula.

4.2.3 Síntese Integradora

Tempo estimado é de 25 minutos. O Professor deve perguntar aos alunos, durante o uso do simulador (perguntando antes e mostrando com o simulador depois) e no momento que estiver demonstração das imagens formadas pela lente esférica (pergunta final). O professor pergunta:

A lente do simulador é convergente ou divergente?

Resposta esperada: Convergente.

Aumentando o raio de curvatura da lente do simulador, os raios de luz refratados, se aproximam ou se afastam da lente? Por quê?

Resposta esperada: Se aproximam, pois há mudanças das retas normais que são parâmetros para o ângulo de refração.

Podemos concluir que quanto maior o raio de curvatura da lente do simulador, mais a luz refrata? Justifique.

Resposta esperada: Não. O ângulo de refração é o mesmo, pois este depende da frequência de luz incidida e dos índices de refração da lente em relação ao meio. O que muda é a direção da reta normal.

Sem mexer no raio de curvatura e aumentar o índice de refração da lente do simulador, a luz irá se aproximar ou se afastar da lente? E o ângulo de refração aumenta ou diminui? Por quê?

Resposta esperada: Aumentando o índice de refração, irá reduzir o ângulo de refração, se aproximando da reta normal e consequentemente se aproximando da lente.

Qual relação que podemos propor entre o índice de refração e a distância focal?

Resposta esperada: Quanto maior o índice de refração, menor a distancia focal.

Qual a relação entre raio de curvatura e índice de refração com a posição da imagem formada?

Resposta esperada: Quanto menor o raio de curvatura e maior o índice de refração, mais próximo à imagem se forma da lente.

A lente do projetor é classificada como convergente ou divergente? Qual seu nome?

Resposta esperada: Convergente. Sua nomenclatura: côncava – convexa.

4.3 Objetos Educacionais

- Aparato experimental
- Quadro giz.
- Projetor e computador.
- Lente de Retroprojektor

4.4 Referências

HEWITT, Paul G., **Física conceitual**. Porto Alegre. Editora: Bookman, 9ª Edição, 2002.

BONJORNO E CLINTON, **Física, História e Cotidiano - Coleção Delta**. São Paulo. Volume Único, Editora da FTD. 2ª edição, 2005.

GASPAR, Alberto, *Compreendendo a Física*, São Paulo. Volume 2. Editora Ática. 2ª edição, 2014.

<http://www.hospitaldeolhos.net/especialidades-astigmatismo.asp> acessado em 05 de dezembro de 2015.

<http://mundomulheres.com/problemas-de-visao-mais-comuns/> acessado em 05 de dezembro de 2015.

[Trierveiler, 2016] **Gustavo Trierveiler Anselmo**. *Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano*. Dissertação de mestrado submetida na Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

4.5 Anexo.

Lentes esféricas

É uma boa aplicação da lei da refração. São formadas por duas calotas esféricas ou uma superfície plana com a interseção de uma esfera.

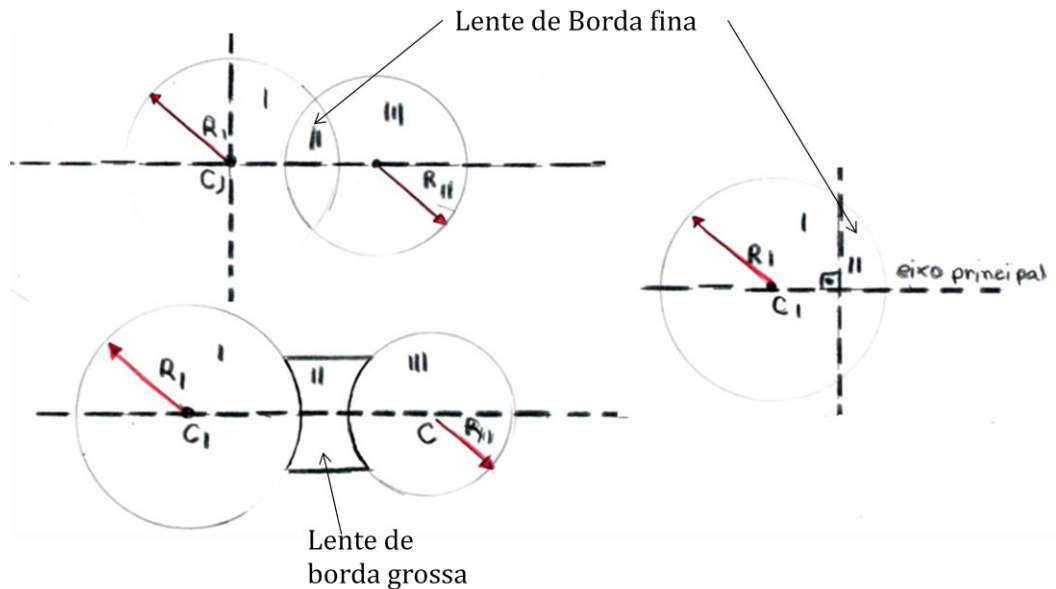


Figura 1 Combinação de esferas que formam as lentes esféricas.

Vamos analisar um caso usual, onde o **meio refringente da lente é maior que o meio refringente do meio**. Temos dois tipos de lentes: borda fina e de borda grossa, em relação à espessura do centro.

As lentes são ser nomeadas conforme seu formato. O nome tem origem, conforme a superfície vista (côncava ou convexa) nomeando inicialmente aquela que possui maior raio de curvatura.

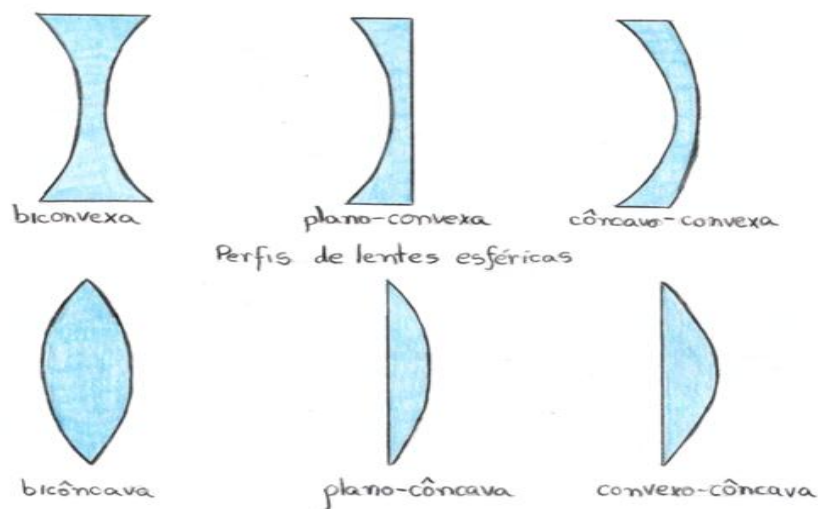


Figura 2 Observe os nomes das lentes esféricas. As lentes de borda grossa terminam com a palavra convexa e as lentes de borda fina com a palavra côncava.

Analisando o comportamento óptico das lentes, as lentes de borda fina convergem a luz, por isso são chamadas de **Lentes Convergentes**. Já as lentes de borda grossa divergem o feixe de luz, assim são chamadas de **Lentes Divergentes**.

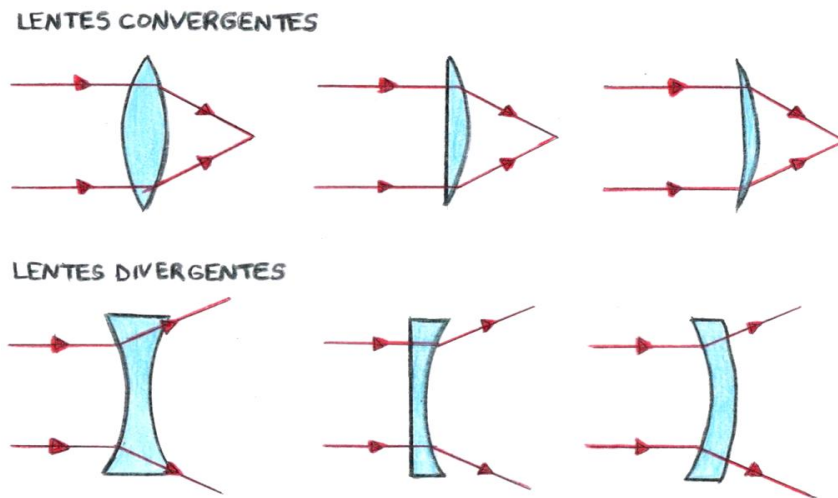


Figura 3 Lembrando que este comportamento é válido para lentes formadas com material mais refringente que o meio que ela está inserida.

A espessura da lente influencia na nitidez das imagens, pois os raios de luz não convergem para o mesmo ponto de imagem, ou seja, a luz que esteja mais afastada do eixo principal converge em pontos ligeiramente diferentes. Esse problema é chamado de aberrações ou defeitos das lentes.

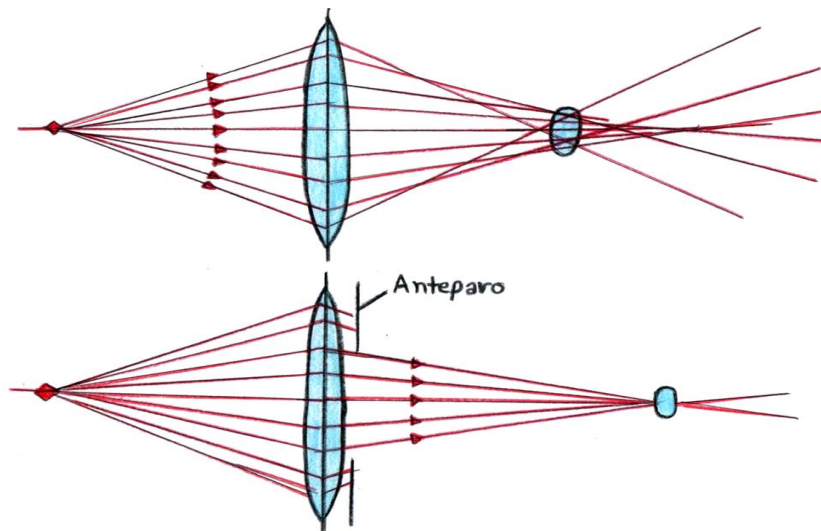


Figura 4 Raios de luz sobre o eixo principal se concentram em pontos pouco diferentes uns dos outros. Para evitar isso, podemos colocar um anteparo na parte mais externas da lente, mas em compensação reduz a quantidade de luz que forma a imagem.

Para evitar isso, as lentes devem respeitar as condições de estigmatismo de Gauss:

- As lentes devem ser **delgadas**, ou seja, devem ter espessuras muito pequenas em relação às distâncias consideradas.

- Os raios incidentes devem ser paraxiais, ou seja, sua inclinação em relação ao eixo principal deve ser muito pequena.

Elementos ópticos

Alguns elementos fundamentais são necessários para a descrição das lentes. O **eixo principal** é uma linha que passa pelos dois centros de curvatura de suas superfícies.

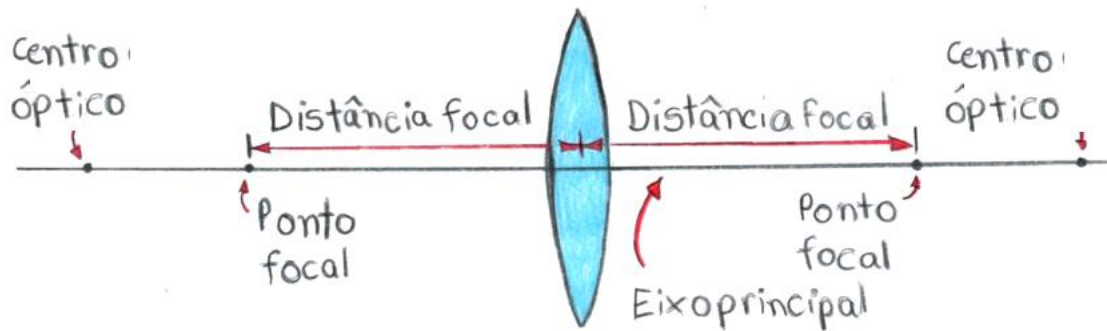
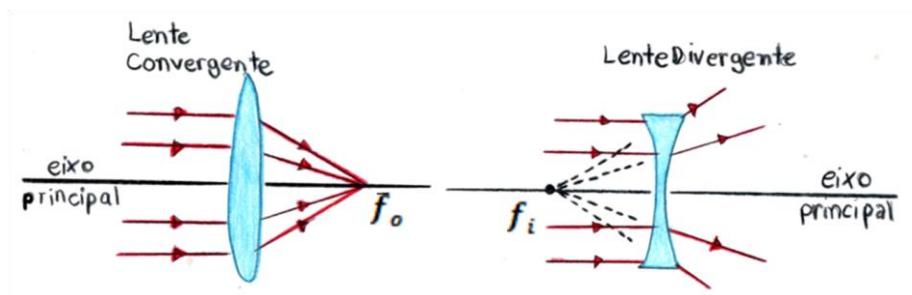


Figura 5 Elementos principais de uma lente esférica.

O **foco** é um ponto do eixo principal onde os raios luminosos convergem para esta posição. Isto é válido para uma lente convergente e caso o feixe luminoso esteja com raios de luz paralelos ao eixo principal. Em uma lente divergente, a luz que incide paralela ao eixo principal, diverge orientada pelo ponto focal.

Figura 6 Convergência e divergência dos raios luminosos das lentes delgadas. Observe que todos os raios de luz convergem ou se alinham sobre o mesmo ponto.

A lente apresenta focos duplos, chamados de foco objeto f_o e foco imagem f_i . A distância entre a superfície da lente e o ponto focal é chamada de distância focal. Em uma lente delgada, os dois focos estão à mesma distância na lente.



O centro óptico é centro de curvatura das superfícies dos dioptróps que formam a lente. Ele está localizado no eixo principal. Os raios de luz que o atravessam não sofrem desvio. A figura abaixo mostra este efeito e a representação das lentes delgada convergente e divergente.

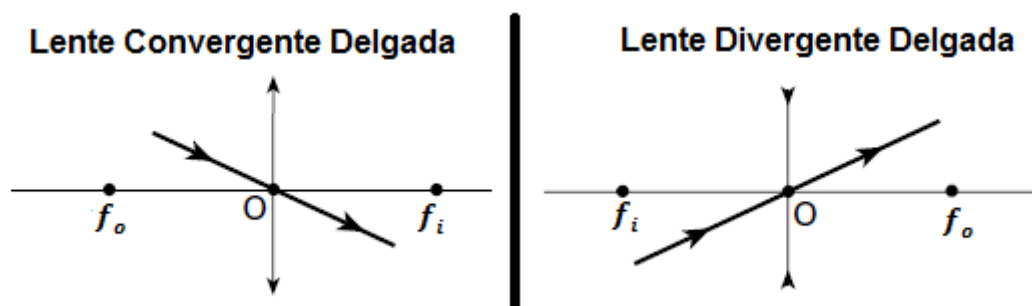
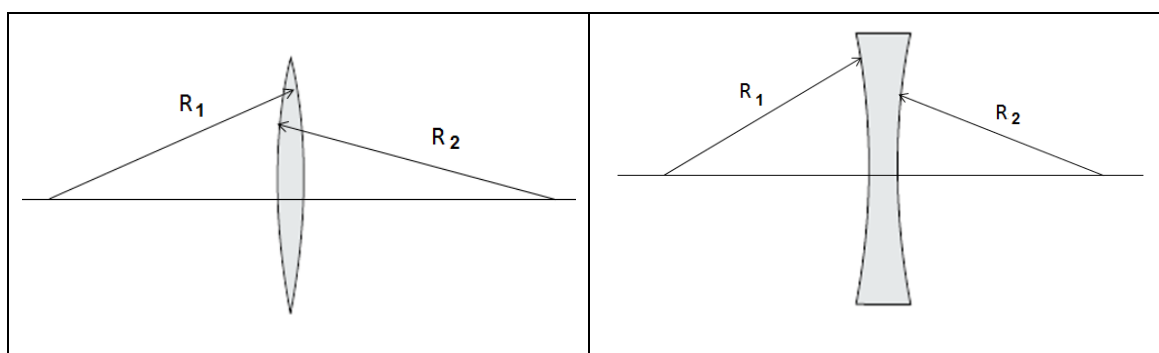


Figura 7 Representação de lentes delgadas. Observe que o raio de luz não sofre desvio ao passar pelo ponto O.

Existe uma relação entre as distâncias do ponto focal e do centro de curvatura, ambos em relação à lente. Para uma lente delgada, a distância do centro óptico a lente é duas vezes maior que a distância focal.

Equação dos Fabricantes de Lentes.

Conhecida também como Equação de Halley. Ela relaciona a distância focal com os raios de curvaturas. Para uma Lente espessa, ou seja, não delgada, é:



$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_{meio}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{(n-1) \cdot d}{n R_1 R_2} \right)$$

Onde

$P = \frac{1}{f}$ que é chamada de *Potência da Lente*.

n = índice de refração da lente

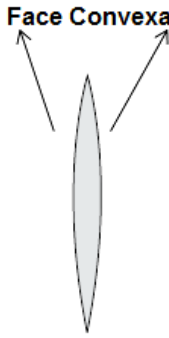
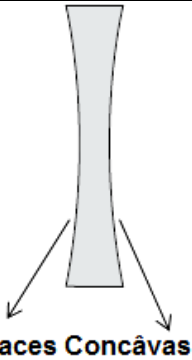
n_{meio} = índice de refração do meio que a lente está inserida.

R_1, R_2 raio das superfícies esféricas que formam a lente esférica

d = A espessura da lente.

- A potência da Lente é medida em dioptrias (D) desde que a distância focal seja em metros. A dioptria é erroneamente relacionada com “os graus” dos óculos.

É importante salientar que existe uma convenção de sinais. Assim:

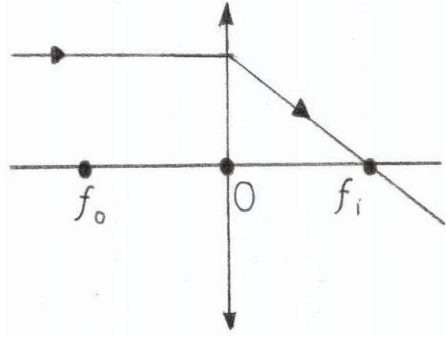
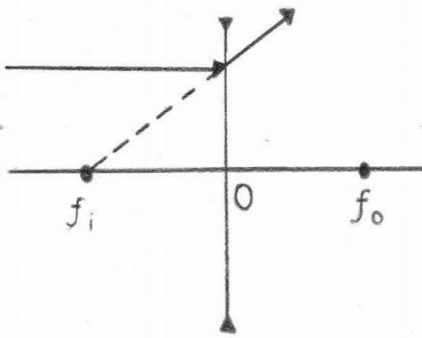
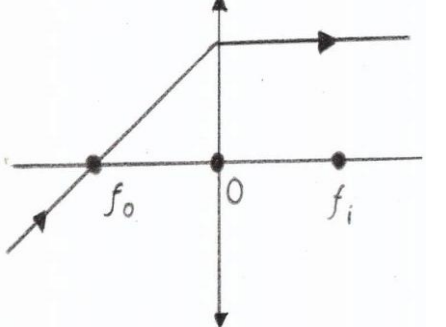
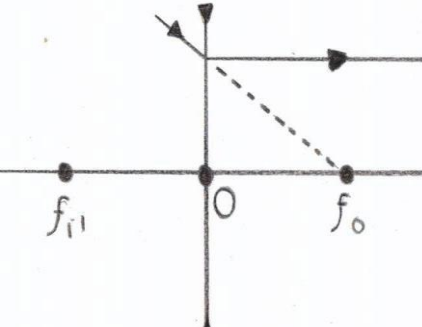
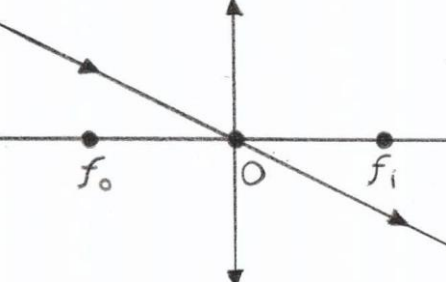
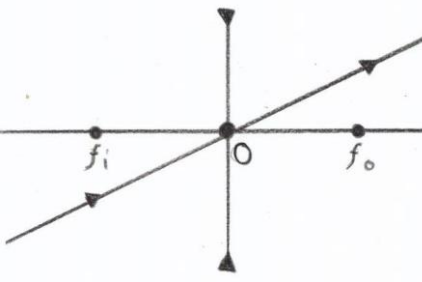
	
Sinal positivo ($R > 0$) para superfícies convexas. Para Lentes Convergentes a distância focal $f > 0$ (<i>positivo</i>).	Sinal negativo ($R < 0$) para superfície côncava. Para Lentes Divergentes a distância focal $f < 0$ (<i>negativo</i>).

Para uma lente delgada ($d \cong 0$) inserida no ar ($n = 1$), substituindo na equação acima, obtemos:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Construção e Classificação das Imagens

Algumas regras para a construção das imagens.

“Todo o raio incidente que esteja paralelo ao eixo principal, refrata e passa ou se alinha com foco.”		
“Todo o raio incidente que passa pelo foco objeto, refrata e sai paralelo ao eixo principal.”		
“Todo o raio incidente que passa pelo centro óptico O, refrata, mas não sofre desvio.”		

Abaixo temos a formação e classificação da imagem conforme as regras acima.

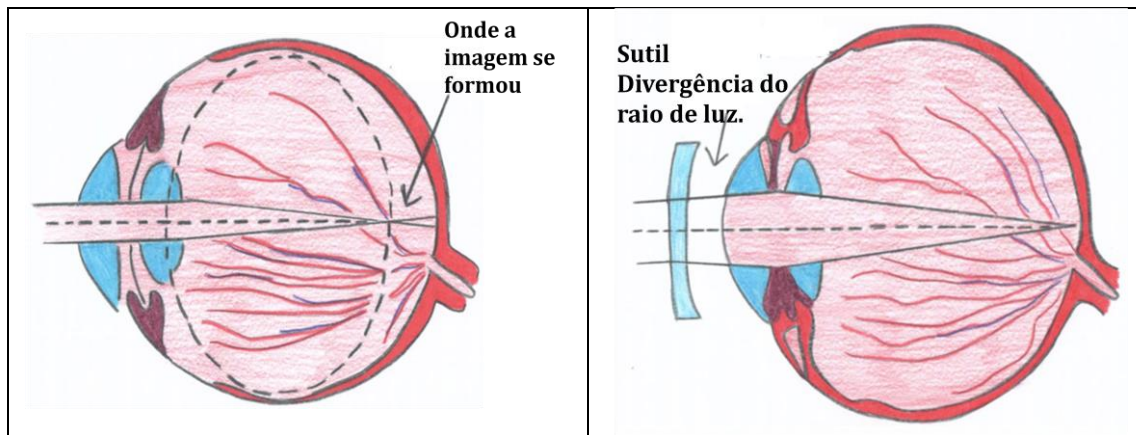
	• Lente Convergente. • Imagem Real, Invertida e menor. • Objeto a uma grande distância do centro óptico (maior que duas vezes a distância focal). • Aplicado em câmara fotográfica e vista humana.
	• Lente Convergente. • Imagem Real, Invertida e Igual. • Objeto a uma distância duas vezes maior que a distância focal. • Aplicado em Máquina fotocopadora ("Xerox")
	• Lente Convergente. • Imagem Real, Invertida e Maior. • Objeto a uma distância menor que duas vezes a distância focal. • Aplicado em Projetores de Slide e filmes.
	• Lente Convergente. • Objeto sobre o foco objeto. • Imagem imprópria (formada no infinito). • Aplicado em Holofotes e conjunto óptico dos faróis de veículos.
	• Lente Convergente. • Imagem Virtual, Direita e Maior. • Objeto entre o foco e o centro óptico O. • Aplicado na correção da hipermetropia e como lente de aumento, por exemplo, Lupa.
	• Lente Divergente. • Imagem Virtual, Direita e Menor. • Objeto pode estar a qualquer distância da lente. • Aplicado na correção da miopia

Problemas de Visão

Uma das aplicações da óptica é a correção dos problemas de visão, que em geral, utiliza lentes esféricas. Elas proporcionam melhor produtividade e qualidade de vida. Abaixo citemos alguns problemas e como corrigi-las.

Miopia

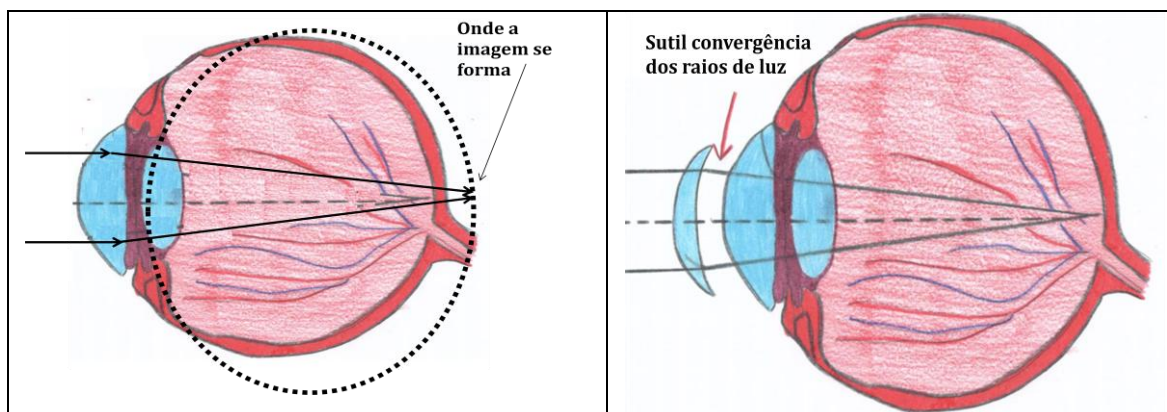
Essa anomalia causa falta de nitidez em imagens de objetos distantes do olho, ou seja, objetos tendendo ao infinito. Assim a imagem é formada antes da retina. O globo ocular do míope é mais alongado longitudinal que o normal. Esse problema é corrigido com o uso de lentes divergentes.



Hipermetropia

Ao contrario da miopia, essa anomalia causa a falta de nitidez em objetos próximos ao olho, aproximadamente 25 cm. Isso é causado pelo encurtamento longitudinal do globo ocular.

Para focalizar melhor a imagem na retina, os músculos ciliares tem que fazer muita força sobre o globo ocular, provocando dor de cabeça e dificuldades de fazer leituras mais longas. Esse problema é resolvido usando lentes convergentes



Astigmatismo

Essa anomalia faz com que a imagem formada seja embaçada independente da distância. Isso é causado por irregularidades na superfície da córnea, pois ela é mais oval que o normal. Isto faz com que os raios de luz não se focalizem em um único ponto.

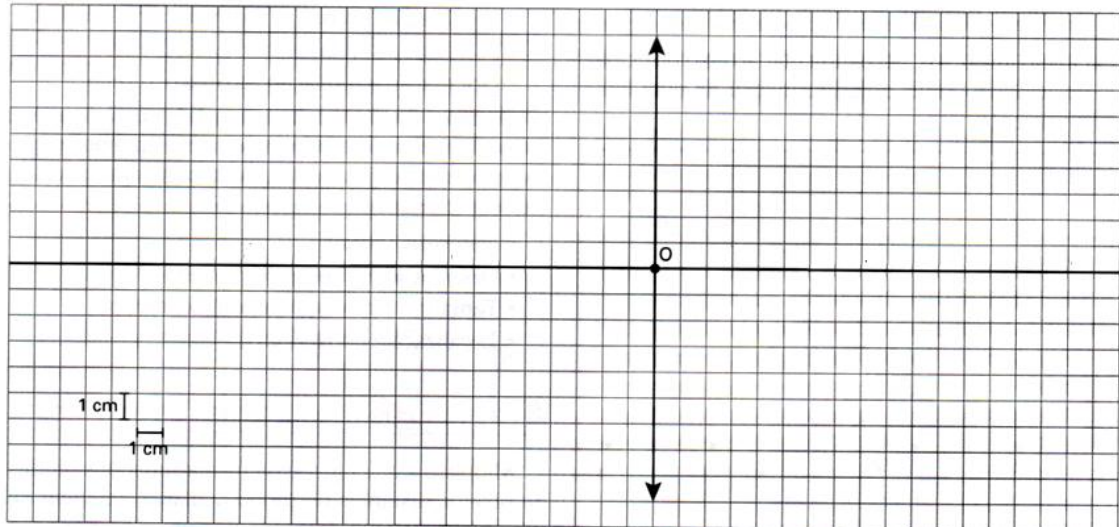
Esse problema geralmente vem junto com a miopia e a hipermetropia sendo resolvido com o uso de lente tóricas ou cilíndricas.

Presbiopia

Conhecida como vista cansada, a sua causa está associada na perda de flexibilidade do cristalino, devido o aumento da sua espessura com o passar da idade. Por isso, há uma redução na capacidade de do cristalino em realizar o processo de acomodação, dificultando a visualização nítida de objetos próximos. Como na hipermetropia, a presbiopia é corrigida com o uso de lentes convergentes.

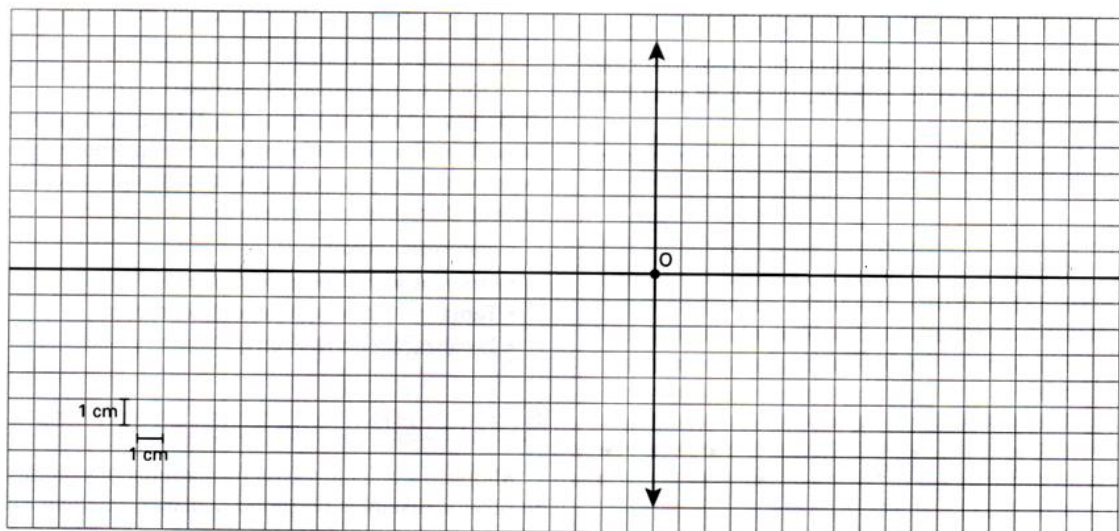
Exercícios

01. Que tipo de lentes pode ser usado para formar imagem real? E para uma imagem virtual?
02. Usando os dados fornecidos nos exemplos abaixo, construa graficamente as imagens e as classifique-as.
 - a) Objeto de 3 cm de altura que se encontra a 15 cm de uma lente convergente delgada de distância focal de 5 cm



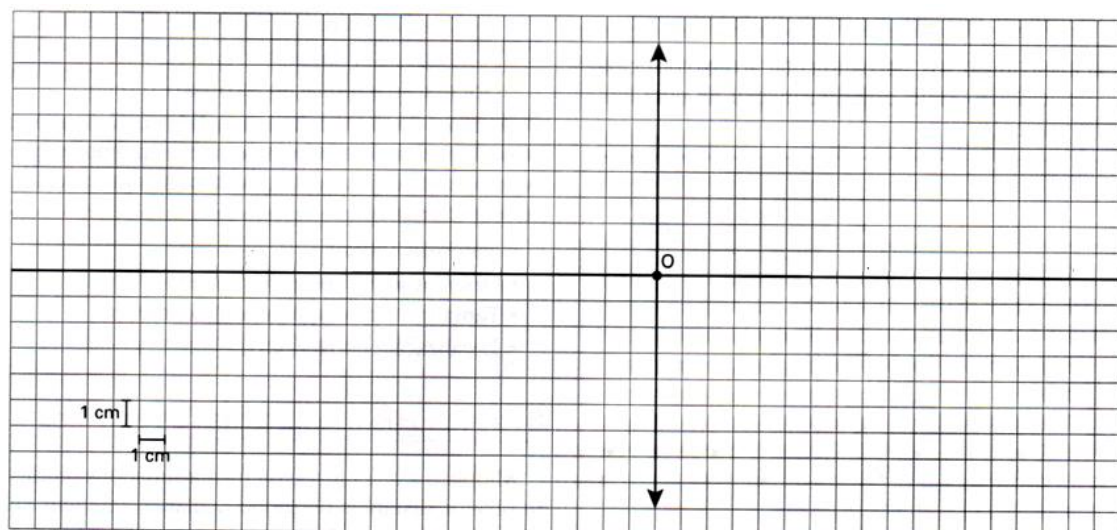
Classificação da imagem: _____

- b) Objeto de 3 cm de altura que se encontra a 8 cm de uma lente convergente delgada de distância focal de 6 cm.



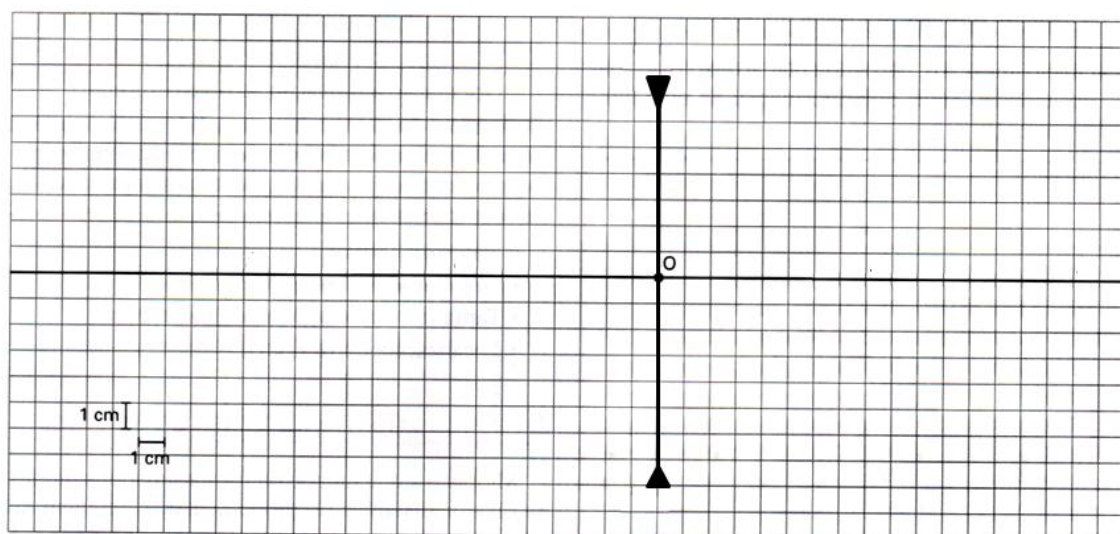
Classificação da imagem: _____

- c) Um objeto de 3 cm de altura que se encontra a 5 cm diante de uma lente convergente delgada de distância focal de 8 cm.



Classificação da imagem: _____

- d) Um objeto de 5 cm de altura que se encontra a 8 cm de distância do centro óptico de uma lente divergente delgada de distância focal de 5 cm.



Plano de aula nº 05 – Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano.

IDENTIFICAÇÃO:

COLÉGIO: _____

CURSO: _____

DISCIPLINA: _____

SÉRIE/ANO LETIVO: _____

CARGA HORÁRIA: 03 HORA/AULA (50 MIN)

ASSUNTO: Distância focal de uma lente esférica, simulador do olho humano e acomodação do cristalino.

5.1 COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

- a) Construa um modelo que seja capaz de reproduzir a convergência dos raios luminosos dentro do olho humano.
- b) Entenda a formação da imagem dentro do olho humano, através de feixe de luz de raios paralelos e divergentes relacionando-os, respectivamente, com um objeto distante e próximo ao globo ocular.
- c) Associe a lente usada pelo simulador com o cristalino do olho humano.
- d) Aplique a equação dos fabricantes de lentes e encontre a distância focal da lente usada, comparando-a com o valor experimental.
- e) Reproduza o processo de acomodação do olho humano.

5.2 MOMENTOS DA AULA

5.2.1 Incentivação

Tempo estimado é de 5 minutos. O professor deve perguntar a turma: “Como sabemos não é possível focalizar, com nitidez e simultaneamente, um objeto próximo e outro distante do olho humano, ou seja, nós focalizamos imagem para uma situação de cada vez, mas nunca as duas ao mesmo tempo. Por quê?”. Em seguida, após ouvir as respostas, o professor comenta “*Iremos representar descobrir como é possível, utilizando o simulador proposto*”.

5.2.2 *Desenvolvimento*

O tempo estimado é de 70 minutos. O professor deve ter organizado previamente, todos os aparatos experimentais, que são: modelo em isopor do globo ocular, lasers modificados, suportes dos lasers e fonte de alimentação. O tempo de construção destes equipamentos não está contabilizado neste planejamento. Mas os procedimentos da sua fabricação estão disponíveis no anexo deste plano de aula.

O professor deve organizar os alunos em equipes. Cada grupo deve ficar responsável pela confecção dos aparatos e pelo manuseio do simulador (operação e coleta de dados).

O objetivo é construir uma lente flexível, feito com um preservativo masculino de látex, para simular o processo de acomodação do cristalino. Os alunos irão simular duas situações: para objetos distantes, com feixe de luz paralelo ao eixo principal e para objetos próximos, com um feixe de luz divergente.

O feixe de luz será produzido com lasers, conectados a fontes de pilhas e instalados em suportes construídos com desodorante “roll on”, que nos fornece uma livre movimentação para as principais direções.

Os alunos devem seguir a montagem do Simulador conforme orientação descrita no roteiro, que se encontra no anexo deste plano de aula. O professor deve auxiliar na montagem dos aparatos, caso precise. É importante que o educador chame a atenção dos alunos para a localização do eixo principal e alinhamento dos lasers.

Inicialmente, o roteiro pede aos alunos que determinem as distâncias focais experimental (através das marcações no eixo principal) e teórico (com o modelo das “ball lens”) da lente flexível. No roteiro há perguntas que instigam o aluno a fazer um comparativo entre o simulador didático e o olho humano de verdade. Isto é, o aluno é induzido a pensar sobre as limitações do aparato experimental e as aproximações com o modelo teórico proposto.

Além encontrar estes valores, os alunos irão simular as duas principais do olho humano: a miopia e a hipermetropia. Para isso, os alunos devem deslocar o modelo de isopor do globo ocular. Assim é possível simular o alongamento ou encurtamento longitudinal do globo ocular representando, respectivamente, a miopia e a hipermetropia.

Na última questão, os alunos devem simular o processo de acomodação do olho humano. Para isso, eles deverão comprimir a lente flexível no eixo horizontal da lente, representando o trabalho realizado pelos músculos ciliares.

5.2.3 Síntese integradora

Tempo estimado desta etapa é de 25 minutos. O professor deve pedir para que os alunos respondam as perguntas do roteiro, auxiliando-os quando necessário.

A questão última questão do roteiro, pede para que chame o professor. Ele deve aproximar o feixe de lasers em direção à lente e divergindo-os, como mostrado na figura 5.1.



Figura 5.1 Divergindo os raios luminosos. [Trierveiler, 2016]

O professor fazer o seguinte comentário: “Quando utilizamos feixe de luz paralelo, estamos simulando a focalização da imagem sobre a retina, para um objeto distante do globo ocular. Agora, mudamos para um feixe de luz divergente, que representa os raios de luz proveniente de um objeto próximo ao olho humano”.

“Como estamos vendo nesta situação, os raios luminosos do laser não estão mais convergindo na retina e conseqüentemente, o mesmo ocorre quando estamos visualizando algo próximo. O que o olho tem que fazer para focalizar novamente a imagem sobre a retina?”

Resposta esperada: deforma o cristalino.

E o professor deve pedir a equipe: “*Este processo é chamado de acomodação. Represente-o usando o simulador didático e descreva o que vocês fizeram no espaço reservado da questão 9*”.

Ação esperada: que os alunos pressionem a lente pela lateral, fazendo o papel de músculo ciliar.

Até aqui utilizamos 2 aulas. A terceira aula do plano será usada para discutir os resultados encontrados pela turma e solucionar possíveis dúvidas.

5.3 Objetos Educacionais

- Aparato experimental
- Roteiro

5.4 Referências

HEWITT, Paul G., **Física conceitual**. Porto Alegre. Editora: Bookman, 9ª Edição, 2002.

BONJORNO E CLINTON, **Física, História e Cotidiano - Coleção Delta**. São Paulo. Volume Único, Editora da FTD. 2ª edição, 2005.

GASPAR, Alberto, Compreendendo a Física, São Paulo. Volume 2. Editora Ática. 2ª edição, 2014.

Guedes, André F., BRAUN Luci F. e RIZZATTI, Mara R. **Simulador Didático do Cristalino Ocular**. Porto Alegre PUC, Publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 22, nº 1, ano de 2000. Disponível em http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_137.pdf acessado em 05 de dezembro de 2015.

[Trierveiler, 2016] **Gustavo Trierveiler Anselmo**. *Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano*. Dissertação de mestrado submetida na Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

5.5 Anexo

5.5.1 Confecção dos aparatos experimentais

Confecção do modelo em isopor do globo ocular.

Material.

- Um hemisfério de isopor oco de 250 mm.
- Um hemisfério de isopor oco de 200 mm (apenas para medida)
- Canetinha, faca ou estilete para marcar e corta o isopor.
- Tinta para artesanato (PVA, acrílico ou Tecido) de várias cores.
- Pincéis de artesanato. (chato mais largo (nº 24) e outros mais finos para os detalhes (nº 0 e nº 8)).



Figura 5.2 Imagens de alguns materiais e sugestões de cores de tinta [Trierveiler, 2016]

Procedimentos.

Vamos construir o nosso olho humano usando um hemisfério de isopor, representando principalmente a parte de trás do globo ocular, onde se encontra a retina.

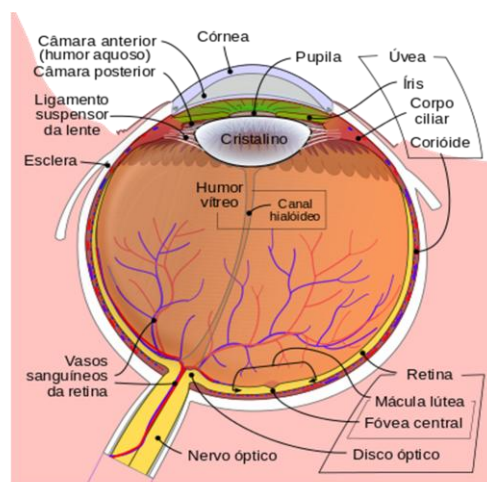
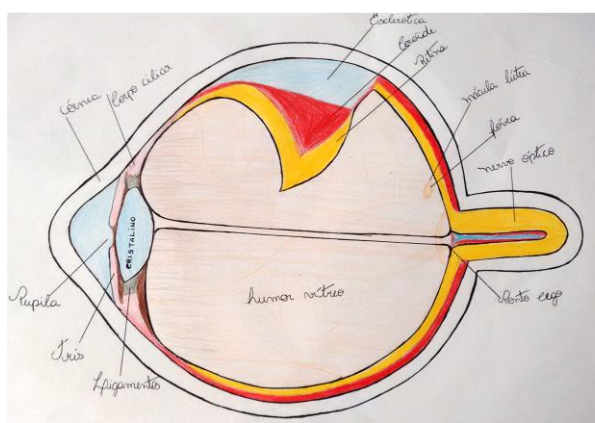
Vamos fazer o espaço destinado ao cristalino do nosso olho. Para isso, vire o hemisfério maior de isopor de cabeça para baixo. Sobreponha o hemisfério menor sobre o maior como está representado na figura 5.3.



Figura 5.3 Risque a bola maior usando como base o contorno da bola menor e a corte. [Trierveiler, 2016]



Assim já podemos pintar as principais partes do olho humano. Estamos sugerindo dois esboços do olho humanos, como mostrado na figura 5.5. É possível usar os desenhos produzidos pelos próprios alunos. O mais importante é usar cores vivas que destacam as principais partes do globo ocular.



¹³ “Diagrama esquemático do olho humano” Disponível em [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic diagram of the human_eye_pt.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg) acessado em 22/05/2016.

Temos que lembrar que vamos pintar da parte do fundo para frente. Iremos representar as principais camadas do globo ocular: a retina, a coróide e a esclera.

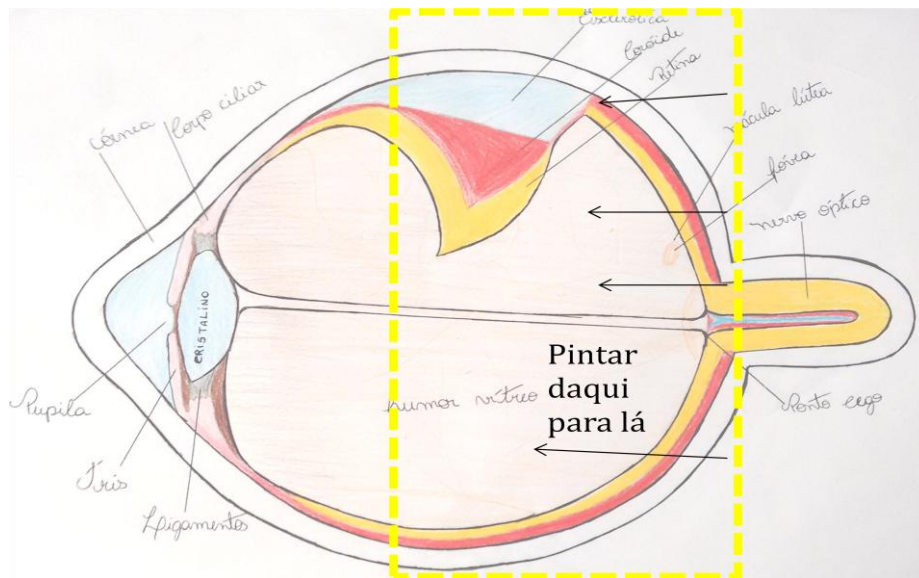


Figura 5.6 Pintar a bola de isopor do fundo do olho para frente.

No lado externo, temos que representar os seis músculos oculares responsáveis pela movimentação do olho. Ao final temos as principais partes que compõe o olho humano.

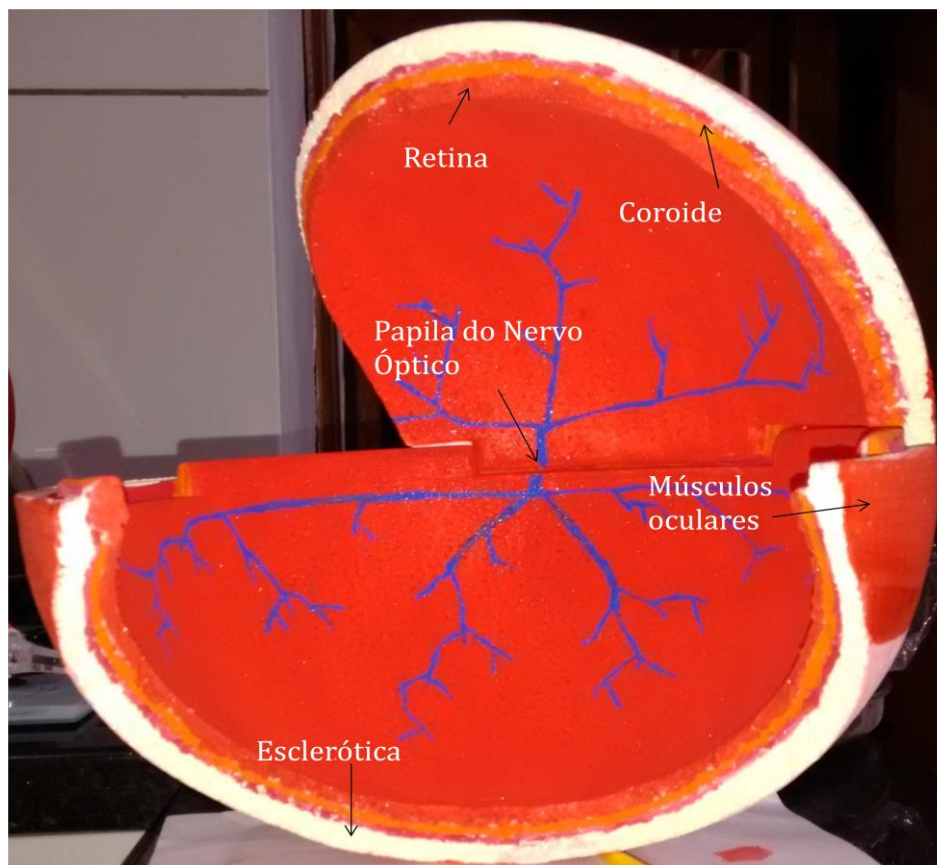


Figura 5.7 Imagens do olho depois de pintado [Trierveiler, 2016].

Construção dos suportes para os lasers

Materiais • 2 Frascos vazios de desodorantes <i>Roll on</i> da mesma marca e modelo. • Cola selante comprada em materiais de construção • Lixa • Arame, alicate • Imãs retirados de um HD sem uso.	
--	--

Figura 5.8 Em destaque o frasco de desodorante e a cola usada para colar os imãs na esfera do *roll on* [Trierveiler, 2016].

Procedimentos

Retire os imãs do HD, tendo cuidado na hora de abrir, pois são bem vedados e muitas vezes exigem chaves de diferentes formatos. Em geral os imãs são colados com seus suportes, assim para retirá-los use uma chave de fende aplicando pressão ou se preciso use um martelo. Logo após, divida ao meio.

No Roll on, veja se a esfera do frasco está bem justa do seu encaixe. Caso contrário, use um pedaço de arame e alicate faça um anel na base encaixe apertando até o ponto ideal. A bola do “Roll on” deve permitir uma movimentação justa.

Agora lixe e limpe a região onde irá ser colado um das metades do imã. É importante que a superfície esteja livre de sujeira ou resíduos para melhor fixação da cola tanto na esfera de *roll on* quanto na superfície do imã.



Figura 5.9 Os imãs colados nos suportes. [Trierveiler, 2016].

Como os frascos são leves, é aconselhável fazer um pequeno furo na lateral e preenche-los com argamassa, usada para assentar piso.



Figura 5.10 Detalhe dos orifícios usados para preencher os frascos. Isto aluda a dar peso aos suportes facilitando seu uso. Os arames amarrados na base do encaixe do roll on ajudam a firmar as bolinhas do frasco. [Trierveiler, 2016].

Adaptação dos lasers.

Lista de materiais	
• Dois lasers do mesmo modelo, que usem três pilhas (4,5 V) do tipo botão. • 4 pedaços fio fino (0,10 mm² usados em eletrônica) flexíveis de 30 cm cada de duas cores diferentes. • 2 arruela de 2 cm de diâmetro. • Cola selante. • Um bastão de cola quente do mais fino (1,0 cm de diâmetro) • Lixa, faca, alicate.	

Figura 5.11 Lista de material [Trierveiler, 2016].

Iremos fazer os procedimentos descritos nos dois lasers. Vamos trocar as pilhas que vem no conjunto por uma fonte externa. Encaixe o bastão de cola, marque e corte na marcação, Em seguida usando o pedaço cortado como medida marque e corte a lateral do corpo do laser, como mostrado na figura 5.12.

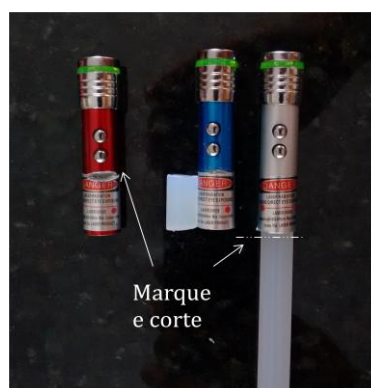


Figura 5.12 Corte do bastão de cola e no corpo do laser. [Trierveiler, 2016].

Agora vamos fazer a conexão elétrica nos terminais dos lasers. Para isso descasque as pontas dos condutores e faça a conexão com os polos dos lasers, passando pelo orifício aberto, como mostra a figura 5.13 (A). Em geral o polo negativo é uma mola que se encontra no fundo do corpo do laser e o polo positivo é o corpo lateral do mesmo. (B).

Para fixar os condutores nos polos, enrole a parte descascada do condutor na mola (Polo negativo) e usando o pedaço de bastão, presse o outro condutor nas paredes do corpo do laser, como mostrado na figura 5.13 (C). É importante que o bastão fique bem justo e que não haja curto.

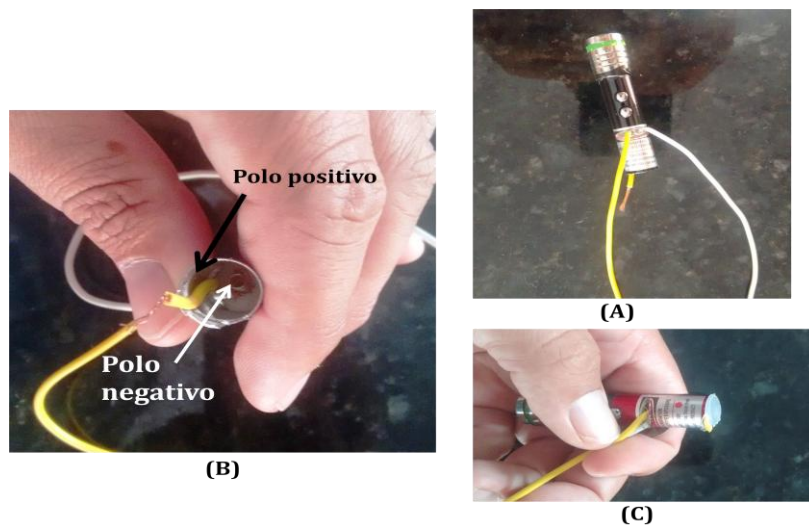


Figura 5.13 Conexão elétrica dos lasers. [Trierveiler, 2016].

Em geral, os lasers encontrados têm outras funções que não serão usadas no simulador. Para facilitar o manuseio na hora do uso, identifique o botão que aciona a função lasers e o trave usando fita isolante.

Em seguida, lixe o lado oposto que contém os botões, limpe a superfície e cole a arruela, com a cola selante, como mostrado na figura 5.14.

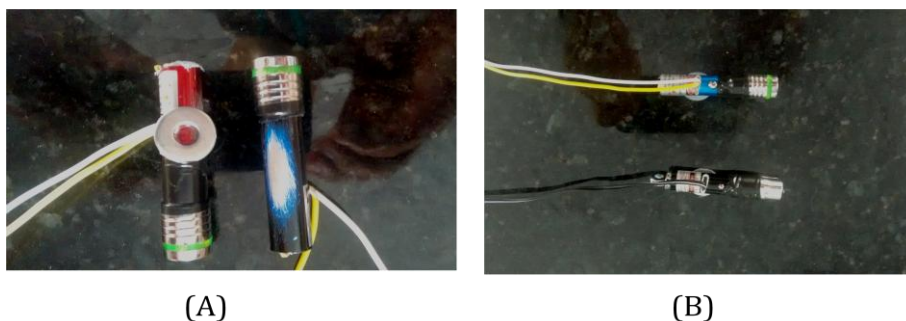


Figura 5.14 As superfícies que deveram ser coladas devem estar livre de impurezas. [Trierveiler, 2016].

Fonte de pilha estabilizada

Os lasers são muito sensíveis a variações de tensões. Assim vamos construir uma fonte de pilha estável e barata que pode ser usada inclusive em outros experimentos. Abaixo, na figura 5.15 vamos listar os materiais necessários:

Lista de materiais	
• 15 cm de comprimento de cano de PVC de 20 mm de diâmetro para água fria. • 3 pilhas comuns do tipo AA. • 2 tampões para cano 20 mm de diâmetro de PVC para água fria. • 30 cm de fio rígido 2,5 mm² de área de seção reta. • Duas garras jacarés de cores diferentes • Soldador estanho. • Fio de estanho para solda. • Pasta de limpeza para solda estanho • Alicates e serra para cortar cano de PVC.	

Figura 5.15 Lista de material e ferramentas necessárias [Trierveiler, 2016].

Vamos construir uma fonte para 4,5 V, usando três pilhas do tipo AA. Vamos medir o comprimento das três pilhas, colocando-as em sequência, como mostra a figura 5.16. Em seguida, corte o cano de PVC com um comprimento um cm menor, que a medida obtida. Para ter acesso a várias tensões, caso queira, abra orifícios entre as pilhas. Sugestões de medidas estão sendo mostradas na figura abaixo.



Figura 5.16 O Tamanho das pilhas podem mudar conforme o fabricante [Trierveiler, 2016].

Vamos fazer os terminais elétricos da fonte. Para isso, retire o isolante elétrico do fio rígido e o enrole com o auxílio do alicate (Fig. 5.17 (A)). Em seguida, fure o centro tampão de PVC, aquecendo a ponta do fio que não foi enrolada, e fixe e dobre o terminal elétrico, como mostrado na figura 5.17 (B) e 5.17 (C).

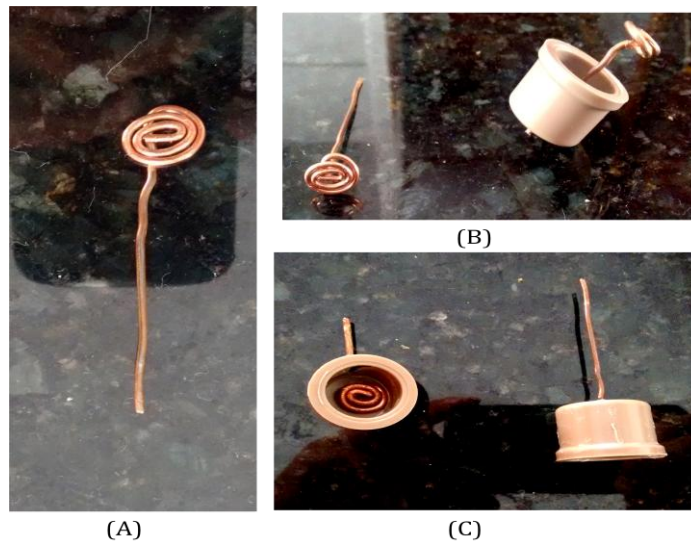


Figura 5.17 fabricação do terminal elétrico [Trierveiler, 2016].

Para obter as diferentes tensões é só colocar um pedaço de fio de cobre com a ponta amassada entre as pilhas através dos orifícios abertos no PVC. Para melhorar o contato elétrico e identificar os polos negativo e positivo, podemos soldar garras jacarés de cores diferentes, como mostrado na figura 5.18.

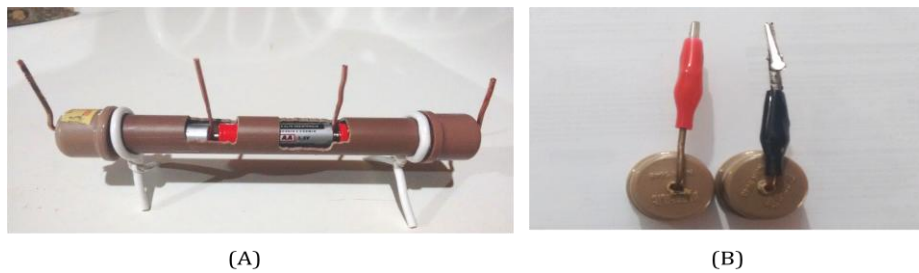


Figura 5.18 Fonte elétrica montada. [Trierveiler, 2016].

5.5.1 Roteiro da atividade experimental

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Aluno: _____ n° 2ª _____

Materiais	
• Preservativo masculino do tipo Ultra Resistente de preferência • Detergente • Água • Suportes • Lasers preparados • Fonte estabilizada. • Fita métrica de costureira • Pires • Calços de madeira • Modelo em isopor do olho humano • Régua • Fita crepe ou adesiva • Caixa ou anteparo para a luz do laser	

Figura 1 Tabela de materiais [Trierweiler, 2016].

Montando o aparato experimental

Preparando a lente flexível (Cristalino)

Retire o preservativo masculino da embalagem e o lave com água para o excesso de lubrificante. Caso necessário, use uma gota de detergente. É importante que o preservativo ainda tenha uma fina película de lubrificante.

Logo em seguida o encha com água até um diâmetro de aproximadamente de 20 cm, ou do tamanho da palma da mão. Amarre a ponta esticando até o máximo possível, sem estourar, para obter o formato mais esférico possível.

Preparando o experimento

Estique a fita de costureira sobre uma mesa e a prenda com um pedaço de fita. Ela será nosso eixo principal. Coloque a lente flexível sobre um pires e o posicione de tal forma que a fita métrica passe bem no centro dela, como mostra a figura 2. É importante que ela fique sobre um número de medida bem definido para facilitar a leitura.

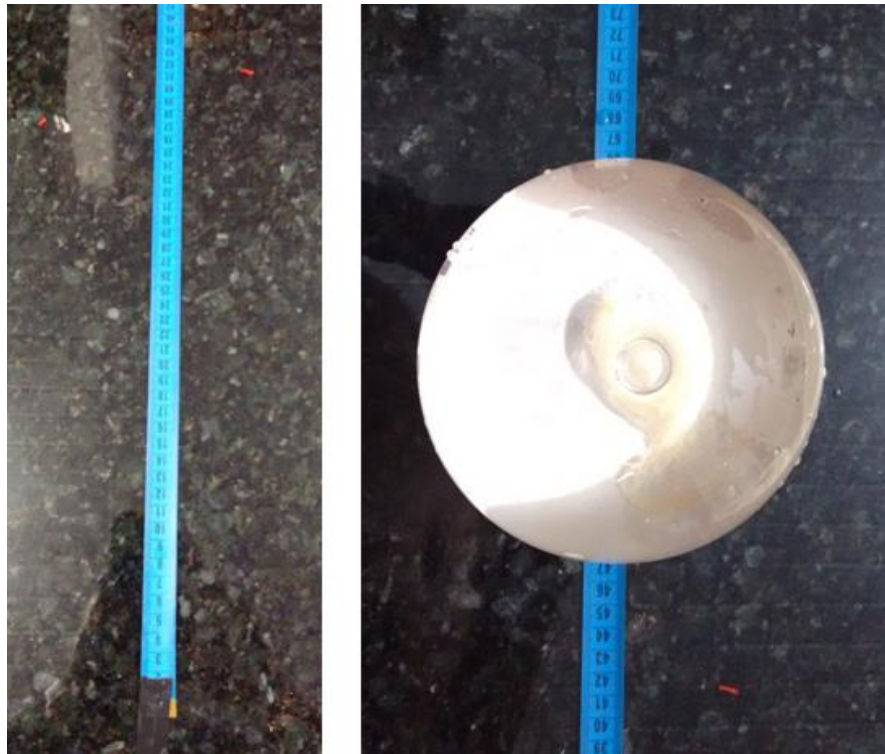


Figura 2 Fita métrica que será nosso eixo principal e o posicionamento da lente em relação à fita métrica [Trierveiler, 2016].

Logo em seguida prepare os suportes e coloque os lasers, ligando-os na fonte de energia, como mostra a figura 3.

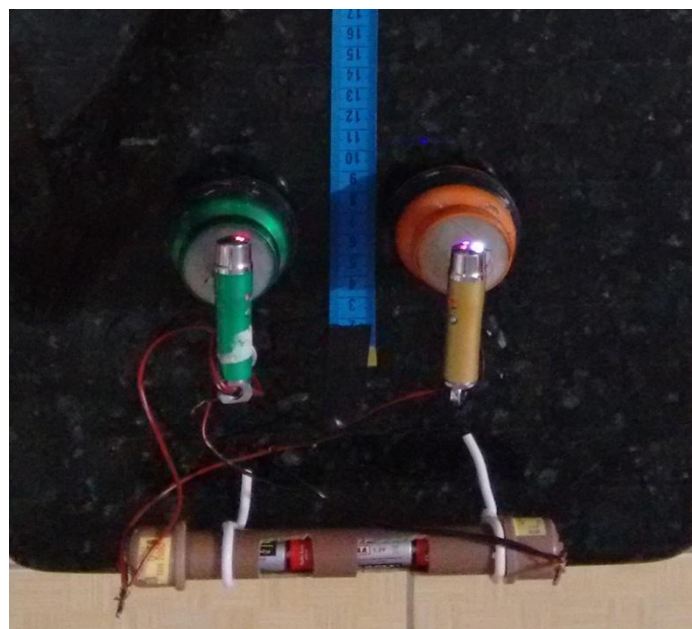


Figura 3 Instalação dos lasers. [Trierveiler, 2016].

Agora pense: Como podemos achar o eixo principal da nossa lente?

A luz não sofre desvio quando está sobre o eixo principal. Assim é preciso incidir o feixe do laser na lente e posicioná-la, de tal forma que, a luz não sofra desvio.

Para isso, precisamos de um feixe de luz paralelo a fita métrica (eixo principal), que representará o eixo principal. Portanto, precisamos ajustar o feixe de luz tanto no eixo vertical e horizontal.

Com o auxílio de uma regra e um elástico, medimos e marcamos altura próxima ao feixe de luz laser e depois perto da lente, sendo necessário que ambas sejam iguais, como mostra a figura 4. Caso contrário, ajustamos movimentando a junta esférica do suporte. Devemos deixar o laser alinhado com a fita.

Com a altura correta, colocamos um dos lasers com suporte sobre a fita métrica com seu feixe ao longo dela. Devemos ajustar a altura da lente com auxílio de pires ou calços.

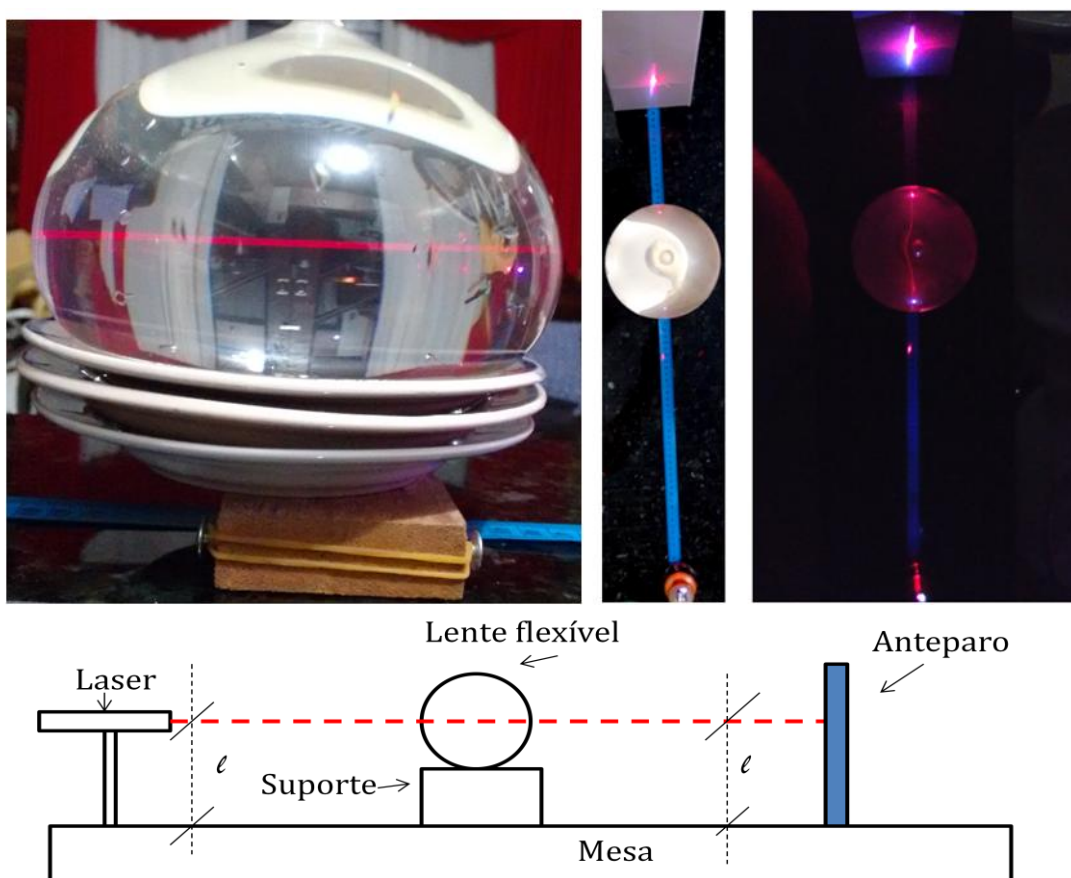


Figura 4. Na imagem da esquerda ajustando a altura da lente em relação ao feixe luminoso. Podemos perceber que a luz sofre muito pouco desvio. Na imagem direita, com um auxílio de um anteparo. [Trierveiler, 2016].

1) Responda: Nossa lente flexível é divergente ou convergente? Por quê?

Agora pense: Como podemos determinar a distância focal da nossa lente de maneira experimental?

Podemos usar a primeira regra de construção de imagens vista na aula anterior. “*Todo o raio incidente que esteja paralelo ao eixo principal, refrata passando pelo foco*”.

Assim precisamos de um feixe de raios paralelos ao eixo principal. Para isso, alinhamos novamente, mas agora os dois eixos: vertical e horizontal. Usando a régua e o elástico, alinhamos o feixe luminoso, de tal forma que, o feixe do laser fique próximo e paralelo à fita métrica ou, neste caso, ao nosso eixo principal, como mostra a figura 5. Devemos fazer isso em ambos os feixes.

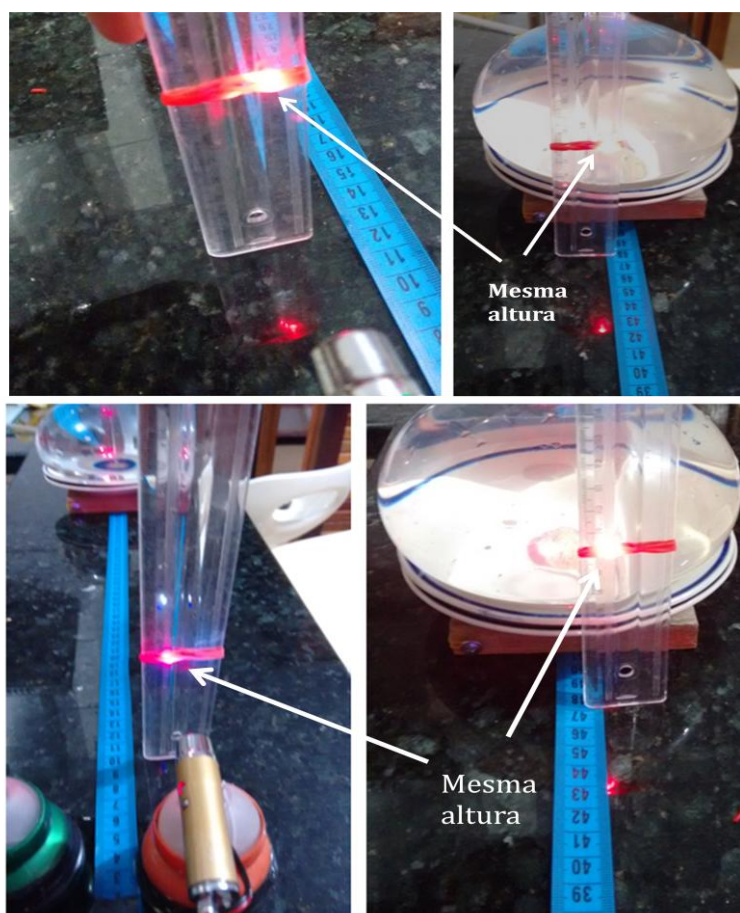


Figura 4: Fazendo o alinhamento da altura dos feixes luminosos. Assim teremos feixes de luz paralelos ao eixo principal ou neste caso, a fita métrica. [Trierveiler, 2016].

Como nossa lente é convergente, os raios luminosos irão passar pelo ponto focal do eixo principal. Usando o anteparo podemos encontrar a posição em relação à fita métrica, que os dois raios de luz se coincidem. Este ponto é o ponto focal.

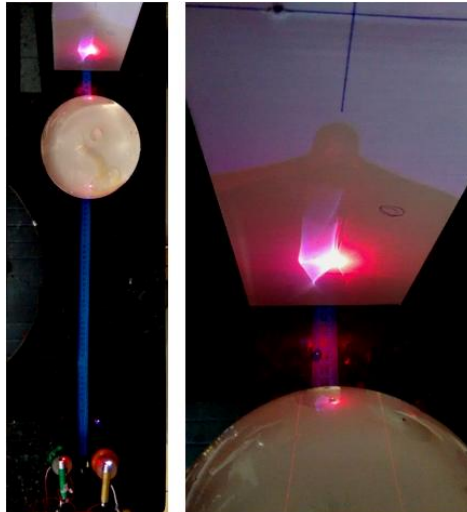
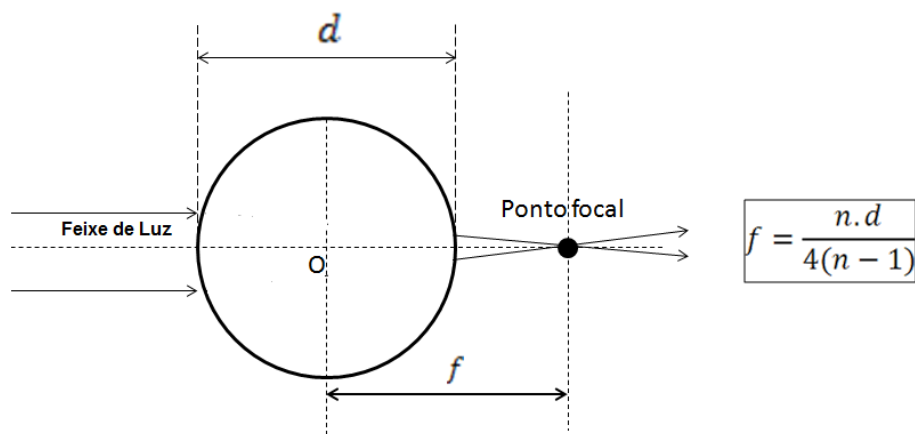


Figura 5: convergência dos raios de luz [Trierveiler, 2016].

Atenção: não mexa nas posições dos equipamentos do experimento!!!!!!

2) Responda: Podemos atribuir a nossa lente com um modelo teórico e determinar a distância focal com a equação dos fabricantes de lentes. Para isso devemos considerar nossa lente como sendo espessa ou delgada? Por quê?

A lente produzida pode ser comparada com uma *Ball Lenses*, usadas em detectores e em transmissão de fibras ópticas. A relação para determinar sua distância focal f é dada por:



[Trierveiler, 2016].

Onde:

f = distância focal *

n = índice de refração da lente. No nosso caso $n_{\text{água}} = 1,33$

d = espessura da lente*

**As unidades da distância focal e espessura da lente devem ser as mesmas, pois o índice de refração é adimensional.*

3) Assim usando os dados fornecidos pelo roteiro e pelo experimento, determine a distância focal teórica f_{teo} (aplicando a relação acima) e a experimental f_{exp} (retirado das medidas do experimento) da sua lente.

4) Calcule a exatidão ou a acurácia (e) entre os valores teórico e experimental.

Dado: $e = \left(\frac{f_{teo} - f_{exp}}{f_{teo}} \right) \cdot 100$. O que esse resultado significa?

5) Desafio: Usando a equação dos fabricantes de lentes e as regras de sinais dos raios que formam as lentes, prove a relação matemática das *Ball Lenses* citada acima.

6) Sem mexer nas posições dos equipamentos do aparato experimental, insira seu modelo em isopor do olho humano posicionando de forma que se obtenha a imagem mais nítida possível de um objeto. Como você fez isso?

Daqui em diante você pode mexer no posicionamento dos aparatos experimentais.

7) Podemos dizer que no nosso modelo representa com fidelidade um olho humano de verdade? Justifique sua resposta.

8) Crie uma situação em que temos um olho com miopia e outro com hipermetropia. Descreva o que você fez.

9) Chame o professor e pergunte o que precisa fazer.

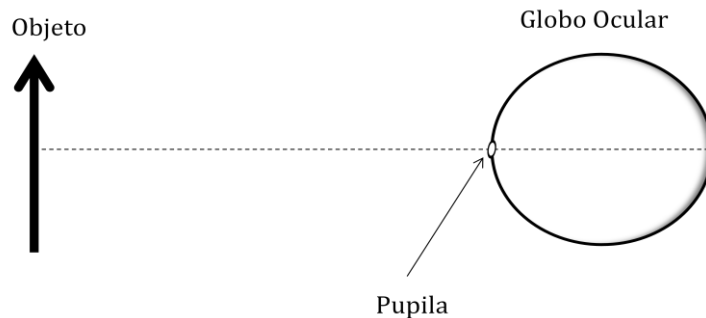
Anexo

Questionário do Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano.

01. (UFMG Adaptado) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Desenhe a trajetória do(s) raio(s) de luz que permitam que Dirceu veja a Marília.



02. Desenhe a imagem da seta vista pelo olho respeitando o sentido, a posição e o tamanho dela no globo ocular. Use a figura abaixo.



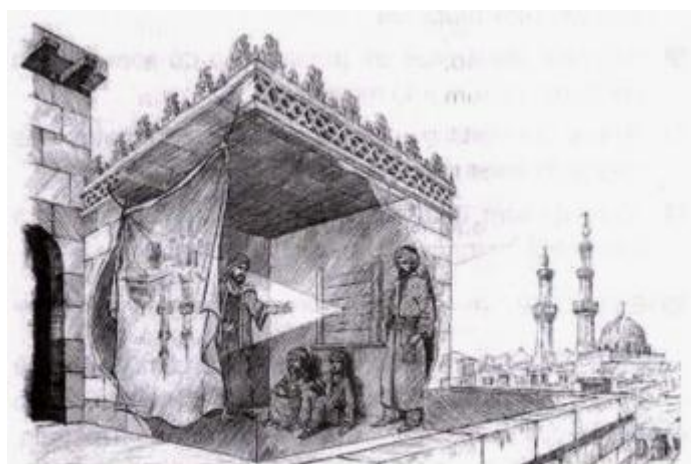
03. Para que você possa ver uma flor colocada em um vaso é necessário que:

- a) Somente que os sinais nervosos passem dos olhos até o cérebro.
- b) Que a luz de uma lâmpada, por exemplo, reflita na flor chegue até os olhos e seja transmitida ao cérebro por sinais elétricos através do nervo óptico.
- c) Que a flor seja iluminada, bastando isso para vê-la.
- d) Os raios de luz que saiam de seus olhos e chegue até a flor.
- e) Que os olhos emitam raios luminosos refletindo na flor chegando novamente aos olhos. Essa informação é transmitida para o cérebro através de pulsos nervosos pelo nervo óptico.

04. É possível que a luz faça curva ou mude sua trajetória? Você poderia citar um exemplo ou situação?

05. Se um colega filosofa e diz “Todos somos fontes de luz”. Analisando no aspecto da Física ele está certo? Justifique.

06. (ENEM) Entre os anos de 10258 e 1038, Alhazen (ibn AL-Haytham; 965-1040 d.c) escreveu sua principal obra, o Livro da Óptica, que, com base em experimento explicava o funcionamento da visão e outros aspectos da ótica, por exemplo, o funcionamento da câmara escura. O livro foi traduzido e incorporado aos conhecimentos científicos ocidentais pelos europeus. Na figura, retirada dessa obra, é representada a imagem invertida de edificações em um tecido utilizado como anteparo.

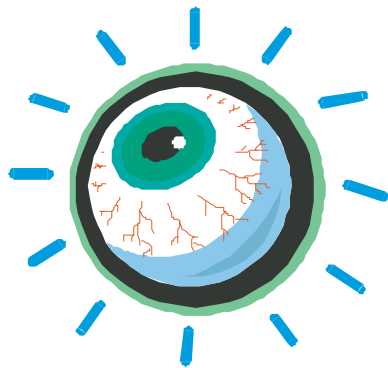


ZEWAIL, A. H. Micrographia of the twenty-first century: from camera obscura to 4D microscopy. Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 368, 2010 (adaptado).

Se fizermos uma analogia entre a ilustração e o olho humano, o tecido corresponde ao(s)

- | | |
|-----------|---------------|
| a) Iris. | d) Córnea. |
| b) Retina | e) Cristalino |
| c) Pupila | |

07. É possível focalizar simultaneamente um objeto longe e outro perto? Para que entenda melhor, aproxime um de seus dedos na linha dos olhos a uma distância de aproximadamente de 30 cm e tente enxergar com nitidez seu dedo e um objeto distante, como, por exemplo, o quadro ao mesmo tempo. Como o olho se ajusta para essas duas situações?



Abrindo o Olho

Dissecando um olho de boi para entender a óptica do olho humano

.....
Marcelo M. F. Saba
Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais
saba@dge.inpe.br
.....

Ivan Dalla Valle Epiphanyo
Clube de Ciências Quark
.....

O desenvolvimento da óptica geométrica teve como motivação, assim como algumas outras áreas da física, a necessidade de ampliar a potencialidade do ser humano e suprir algumas de suas limitações. Os binóculos e lunetas são exemplos do primeiro caso e os óculos do segundo. Uns ampliaram a capacidade do olho humano, outros corrigiram algumas de suas debilidades. Este artigo descreve sucintamente esses aspectos e sugere uma atividade muito interessante, que ilustra os princípios de funcionamento do olho e suas partes principais por meio da dissecação de um olho de boi.

Suas potencialidades

O olho humano é um sensor poderosíssimo. Em parceria com o cérebro, capta as imagens que desvendam o mundo exterior com todas as suas formas, relevos, cores e movimentos. É capaz de focalizar objetos situados a vários quilômetros de distância ou a um palmo da nossa face. Pode visualizar objetos sob luminosidade de um sol intenso ou na penumbra de um quarto escuro. E, apesar de ser comparável às máquinas fotográficas no que se refere ao princípio de funcionamento, a sua versatilidade é bem superior.

Na máquina fotográfica para capturarmos objetos muito pouco iluminados é preciso o auxílio de um *flash* ou a utilização de filmes muito sensíveis; já o olho humano possui uma capacidade incrível de enxergar em situações de muito baixa luminosidade. Experiente, por exemplo, entrar em uma sala muito pouco ilumi-

nada. A princípio você não enxergará nada. Porém, após 10 minutos, estará vendo vários objetos que antes eram impossíveis de enxergar. Espere 30 minutos e você estará com uma sensibilidade 10 mil vezes maior do que quando entrou na sala. Nessas situações, ou à noite, as células sensíveis às cores, chamadas de cones, não respondem, e a formação da imagem fica a cargo dos bastonetes. A imagem não possuirá cores, mas apenas tons de cinza. Por isso, dizemos que a noite todos os gatos são pardos.

No olho, como na máquina fotográfica, a luz que provém de um objeto externo passa por um sistema de lentes, formando sobre um anteparo uma imagem invertida. No olho, esse conjunto de lentes é formado basicamente pela córnea e pelo cristalino, e o anteparo é a retina, que possui milhões de neurônios sensíveis à luz, também chamados de fotorreceptores.

Na máquina fotográfica, as lentes possuem curvaturas fixas (distância focal constante). Assim, para que a imagem se forme corretamente sobre o filme, temos que mover as lentes para frente ou para trás. No olho, isto não é preciso.

A córnea, membrana transparente na frente do olho, possui uma forma de calota esférica graças à pressão exercida pelo humor aquoso. Como as lentes das máquinas fotográficas, possui uma curvatura fixa e, junto com o humor aquoso, é responsável por 80% do processo de formação da imagem sobre a retina. Como não é irrigada por vasos sanguíneos, seu transplante não apresenta problemas de rejeição. Atualmente, cirurgias com

Um experimento de fácil realização em sala de aula, a dissecação de um olho de boi pode ajudar os estudantes de física a entender o mecanismo da visão humana e, também, compreender melhor alguns conceitos de óptica.

laser estão “torneando” a córnea para eliminar o uso de lentes corretivas.

O cristalino é uma lente biconvexa convergente que, ao contrário das lentes utilizadas nas máquinas fotográficas, possui curvatura variável. É formado por várias camadas transparentes que deslizam umas sobre as outras. Ele se encontra preso por fortes ligamentos aos músculos ciliares, que controlam sua curvatura, variando sua distância focal. Isto permite ao olho focalizar sobre a retina a imagem de objetos a grandes ou pequenas distâncias. O processo de mudança de curvatura é chamado de acomodação. O olho normal consegue, por meio da acomodação, observar objetos a partir de 25 cm de distância. Com o avanço da idade, a perda dessa flexibilidade limita o poder de focalização do olho, ocorrendo a conhecida “vista cansada”, tecnicamente conhecida como presbiopia.

Para tirar uma foto, procuramos segurar a máquina fotográfica com a maior firmeza possível. No entanto, o olho, ao observar algo, não fica parado. Pequenos movimentos trêmulos ocorrem involuntariamente. Esses movimentos imperceptíveis têm duas funções. Primeiro, evitam que uma mesma região da retina fique exposta por um longo período a uma luz intensa. Se isto acontecesse, as células fotorreceptoras perderiam temporariamente a sua sensibilidade. Segundo, permitem que a imagem que recai sobre o ponto cego da retina, região de convergência dos nervos ópticos e, portanto, insensível à luz, seja captada por células sensíveis adjacentes.

Suas debilidades

Os olhos, chamados por alguns filósofos de *janela da alma*, nem sempre retratam o mundo exterior com fidelidade. O homem, no seu eterno desejo de conhecer melhor o mundo, procurou desde há muitos séculos, encontrar, quando preciso, uma maneira de “consertar” essa importante via de acesso à realidade externa. Assim surgiram os óculos.

Apesar da tremenda importância que os óculos têm, principalmente para quem os utiliza, não se sabe ao

certo quem os inventou. Marco Polo relata a sua existência na China já em 1270. Porém, os chineses afirmam que os óculos têm origem árabe. Os primeiros óculos eram feitos a partir de lentes convergentes para a correção da presbiopia. Os míopes tiveram ainda que esperar quase 300 anos para terem a vista corrigida.

Os primeiros óculos não eram como os de hoje, com hastes que se dobram e se apoiam sobre as orelhas. Este só apareceram no século XVIII. Também não havia muita ciência envolvida na escolha da lente apropriada. Era necessário tentar uma lente após outra, até achar a que mais conviesse.

Hoje em dia, os oftalmologistas sabem com precisão qual o grau da lente necessária para corrigir a visão. O grau da lente é dado em dioptrias, que é numericamente igual ao inverso da sua distância focal em metros. Será negativo se a lente for divergente (bordas espessas e região central delgada). Será positivo se a lente for convergente (bordas delgadas e região central espessa).

O míope possui o globo ocular alongado. Conseqüentemente, a imagem se forma antes da retina. É capaz de enxergar nitidamente apenas objetos muito próximos. Para que a imagem se forme corretamente sobre a retina, é preciso diminuir a convergência dos raios luminosos. Por isso, o míope utiliza lentes divergentes.

Para o hipermetrópe, que possui o globo ocular menos profundo que o normal, a imagem se forma depois da retina. Assim, para aumentar a convergência dos raios, os hipermetropes usam lentes convergentes. Sem elas, apenas objetos distantes são vistos com nitidez.

Já os astigmatas possuem um defeito na córnea. Esse defeito impossibilita a formação de imagens nítidas, independentemente da distância do objeto. Isso ocorre por que a córnea não apresenta uma curvatura esférica. A córnea do astigmata parece com uma bola de rugby ou de futebol americano, sendo portanto incapaz de formar uma imagem pontual a partir de um objeto pontual. A palavra astigmatismo, derivada do grego (a =

não, stigma = ponto), indica essa incapacidade.

Instruções para dissecar um olho de boi

O olho de boi possui várias semelhanças com o olho humano e a sua observação pode ajudar muito o entendimento de como o nosso próprio olho funciona. Se você não é da área de biológicas e nunca dissecou nada, não se assuste; o que a princípio pode parecer repugnante se converte rapidamente em uma atividade fascinante.

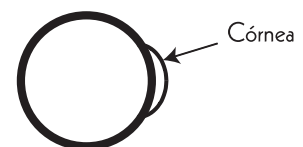
Material

- Bandeja ou prato fundo descartável
- Pinças (duas)
- Bisturi, estilete ou uma pequena tesoura
- Olho de boi (procure junto ao açougueiro ou em um abatedouro)

Procedimento

1. Retire o excesso de gordura e músculos que existe em torno do olho. A gordura serve de proteção ao olho contra impactos. Os músculos são responsáveis pela sua movimentação. O olho do boi possui apenas 4 músculos, enquanto que o do ser humano possui 6. Quando queremos ver um objeto com mais detalhes, posicionamos o nosso olho de forma que a imagem se forme sobre uma região da retina chamada fóvea. Nessa região, a densidade de células nervosas é maior, permitindo uma visão com maior nitidez.

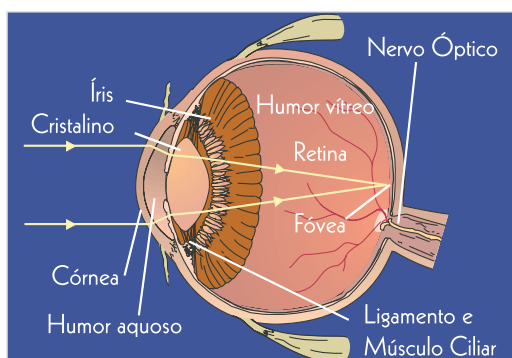
2. Retire a córnea. Podemos perceber a existência da nossa própria córnea da seguinte maneira: feche o olho, coloque o dedo sobre a pálpebra e movimente o olho de um lado para outro. Você perceberá uma protuberância.



Ao cortar a córnea, você notará que um líquido chamado humor aquoso sai de dentro dela. Esse líquido mantém a pressão que dá a forma à

córnea. Observe a íris, diafragma composto de músculos que mudam o diâmetro da pupila, controlando a quantidade de luz que entra no olho. O diâmetro da pupila no ser humano varia de 1,5 mm a 8 mm. Essa variação não é instantânea. Isso pode ser percebido facilmente se, de frente para um espelho apagarmos e acendermos a luz ambiente. A íris do boi é sempre marrom. Ou seja, não existem bois de olhos verdes ou azuis. Além disso, a sua pupila é oval, e não circular como a nossa.

3. Retire o cristalino. Veja através dele objetos distantes. Eles aparecerão de cabeça para baixo. O cristalino é

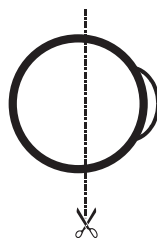


Esquema dos principais componentes do olho humano.

uma lente convergente. Observe traços pretos ao redor dele. São os ligamentos que presos aos músculos ciliares, variam o tamanho da lente. Coloque o cristalino sobre um papel com algo escrito. Veja como ele funciona como uma lente de aumento.

4. Observe o humor vítreo. Ele é uma espécie de massa gelatinosa que preenche a parte interna do olho, definindo a sua forma. Ele também é responsável por manter a retina fixada no fundo do olho. Isto é muito importante pois, se a retina se dobra, o sinal que chegará no cérebro será confuso.

5. Corte o globo ocular pela metade. Observe, no fundo do olho, uma película vastamente irrigada por vasos sanguíneos. É a retina. Ela é como o filme fotográfico do olho. Está presa em um ponto chamado ponto cego, pois nele não há receptores sensíveis à luz. Nesse ponto, passa o feixe de nervos que formam o nervo óptico, que leva as informações ao cérebro.



6. Observe o *tapete* atrás da retina. O tapete é uma camada azul-esverdeada brilhante e colorida que reflete de volta para a retina a luz que já passou por ela. Ele permite ao boi enxergar melhor no escuro. O farol de um carro faz brilhar os olhos do gato pois ele também tem essa camada refletora no fundo do olho. O ser humano não possui o tapete: o fundo do nosso olho é preto e absorve a luz que passa pela retina.

Sites com mais informações e experiências sobre a visão

Experiências

<http://www.fisica.ufc.br/oti3.htm>
<http://www.exploratorium.edu/snacks/iconperception.html>

Animação (applet) mostrando como a imagem se forma sobre a retina

http://users.erols.com/renau/eye_applet.html

Mais informações

<http://www.fisica.ufc.br/tintim4.htm>
<http://library.thinkquest.org/C001464/cgi-bin/view.cgi>



A Água não Derrama...

Material

- copo com água
- balão de aniversário (inflado até uns 10 cm de diâmetro)

Procedimento

Molhe a borda do copo com o dedo umedecido e mantenha encostado nela o balão. Vire o copo com a boca para baixo e solte suavemente o balão.

Observe que

Nem o balão cai, nem a água

derrama!

Explicação

A pressão da água e do ar (de cima para baixo) contidos no copo é igual à pressão atmosférica (de baixo para cima) sobre o balão, de modo que o equilíbrio é mantido, e a água não derrama!

Tópicos de discussão

- pressão atmosférica
- pressão hidrostática de líquidos

Francisco Catelli e Simone Pezzini
 fcatelli@ucs.tche.br
 Universidade de Caxias do Sul - RS

