



PEDRO PAULO DE BRITO

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM
MATERIAIS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DA ÓPTICA
GEOMÉTRICA**

Maringá – PR

Setembro/2019



UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Pedro Paulo de Brito

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Hercília Alves Pereira de
Carvalho

Maringá – PR
Setembro/2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

B862a Brito, Pedro Paulo de
Uma abordagem experimental com materiais de baixo custo no ensino da óptica geométrica / Pedro Paulo de Brito. -- Maringá, 2020.
xxiv, 247 fls.: il. color., figs., tabs.

Orientador (a): Prof^a Dr^a Hercília Alves Pereira de Carvalho.
Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2020.

1. Óptica geométrica. 2. Materiais de baixo custo e/ou reaproveitáveis. 3. Aprendizagem significativa. I. Carvalho, Hercília Alves Pereira de orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). III. Título.

CDD 21.ed. 535

Marinalva Aparecida Spolon Almeida - CRB 9/1094

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO
NO ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Pedro Paulo de Brito

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá – UEM, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof^a. Dr^a. Hercília Alves Pereira de Carvalho
(UFPR – Jandaia do Sul/ MNPEF/UEM)

Prof. Dr. Oscar Rodrigues dos Santos
UTFPR – Campo Mourão

Prof^a. Dr^a. Shalimar Calegari Zanata
UNESPAR - Paranavaí/MNPEF/UEM

Maringá – PR
Setembro/2019

DEDICATÓRIA

À minha família

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Tereza da Cruz de Brito e ao meu pai Antônio José de Brito (*in memoriam*) que foram meus mestres, educando, ensinando e conduzindo-me para a sala de aula da vida, bem como a todos da minha família, aos quais dedico todo meu amor e apreço.

À minha orientadora Professora Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho, pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento do presente trabalho e do mestrado como um todo.

À Coordenadora adjunta Professora Dra. Hatsumi Mukai, que auxiliou em todos os momentos. No primeiro ano como coordenadora do MNPEF/Polo UEM e no segundo como coordenadora adjunta. Expresso aqui toda gratidão por sua dedicação, organização, auxílio e os ensinamentos compartilhados durante todo o desenvolvimento do trabalho no âmbito do programa MNPEF.

Ao atual coordenador do Programa de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF/Polo UEM) e professor da disciplina de Eletromagnetismo, Professor Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, a quem espelho-me quanto postura, inteligência, profissionalismo e acima de tudo, amizade e companheirismo.

A todos os professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF/Polo UEM – que colaboraram direta e/ou indiretamente em minha formação acadêmica.

À minha amada esposa Joelma Osorio Martinelli de Brito e minha filha Isabel Martinelli de Brito, minhas fontes de inspiração e acolhimento, formando o suporte necessário para que este projeto pudesse ser concretizado.

Aos meus grandes amigos, Arlete Moreira dos Santos e Felipe Endo Arruda Nitsche, a quem tive o privilégio de conhecê-los durante os estudos do programa MNPEF e também a todos os colegas desta turma.

A toda equipe de Funcionários, Professores e Alunos do Colégio Estadual David Carneiro que sempre me apoiaram. A eles minha gratidão e respeito, pois me instigaram a tornar-me um ser humano e um profissional melhor a cada dia.

A toda equipe de Funcionários, Professores e Alunos do Colégio Estadual do Campo Professora Margarida Franklin Gonsalves e do Colégio Estadual do Campo Affonso Martinez Albaladejo, pelo apoio e contribuições o que resultaram no profissional que sou.

À Professora Leila Cândido de Bonfim Torres, pelo apoio durante minha formação acadêmica em Licenciatura em Matemática. Expresso aqui toda gratidão e apreço por sua dedicação, organização e ensinamentos compartilhados, enquanto coordenadora do Polo UAB/IBAITI-PR.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

EPÍGRAFE

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”

(Isaac Newton)

Sumário

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xxii
Lista de abreviatura	xxii
RESUMO	xxiii
ABSTRACT	xxiv
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
1.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)	5
1.2 Experimentação na Física	6
1.3 Óptica Geométrica	9
1.3.1 O que é a luz?	9
1.3.2 Reflexão da luz.	10
1.3.2.1 Espelhos Planos	12
1.3.2.1.a Associação de Espelhos Planos.....	13
1.3.2.2 Espelhos Esféricos	15
1.3.2.2.a Propriedades dos raios incidentes em espelhos esféricos.....	16
1.3.2.2.b Formação de Imagem em espelhos esféricos	18
1.3.2.3 Equação de Gauss ou Equação dos pontos conjugados.....	23
1.3.3 Refração da Luz: propriedades e exemplos.....	26
1.3.3.1 Índice de Refração	26
1.3.3.2 Leis da refração.....	27
1.3.4 Lentes	35
1.3.4.1 Tipos de Lentes Esféricas	35
1.3.4.2 Comportamento Óptico.....	36
1.3.4.3 Distância focal de uma lente.....	37
1.3.4.4 Propriedades das lentes esféricas.....	38
1.3.4.5 Construção geométrica de imagens	39
1.3.4.5.a Lentes divergentes.....	40
1.3.4.5.b Lentes convergentes.....	40
1.3.5 Formação de Imagem no Olho Humano.....	42
1.3.5.1 O olho humano	42
1.3.5.2 Formação de imagem.....	44
1.3.5.3 Acomodação visual.....	45
1.3.5.4 Anomalias da visão e tipos de lentes para correção	45

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	47
2.1 Metodologia	47
2.1.1 Encaminhamento Metodológico	49
2.1.1.1 Aula 01- Conhecimentos Prévios – Pré-teste	49
2.1.1.2 Aula 02 - Princípios da Óptica Geométrica: cores e luz, decomposição e recomposição do espectro da luz visível	51
2.1.1.3 Aula 03 - Reflexão da luz.....	53
2.1.1.4 Aula 04 – Refração da luz.....	55
2.1.1.5 Aula 05 - Espelhos planos.....	58
2.1.1.6 Aula 06 - Espelhos esféricos	60
2.1.1.7 Aula 07 – Lentes esféricas	63
2.1.1.8 Aula 08 - Olho humano e as anomalias da visão	65
2.1.1.9 Aula 09 – Questionário Avaliativo – PÓS-TESTE.....	67
CAPITULO 3 – APLICAÇÃO DO PE	70
3.1 Público Alvo.....	70
3.2 Relato da Aplicação do PE	71
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES	78
4.1 Análise do Pré-teste e Pós-teste.....	78
4.2 Análise Comparativa	89
4.3 Avaliação das Atividades.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXO I – TERMOS DE AUTORIZAÇÃO	103
APÊNDICE I – GABARITO	106
APÊNDICE II - PRODUTO EDUCACIONAL	118

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Figura ilustrativa do espectro eletromagnético com ênfase na parte do visível.

Figura 1.2- Imagem ilustrativa de uma reflexão regular. Em que: (1) a fonte de luz, (2) raios de luz incidente; (3) superfície refletora; (4) raios de luz refletidos. Em que o ângulo de incidência θ_i é igual ao de reflexão θ_r em relação à normal (N) à superfície.

Figura 1.3 - Desenho esquemático representando um feixe de luz incidindo sobre uma superfície rugosa. Em que: (1) fonte de luz; (2) raio de luz incidente; (3) superfície rugosa e (4) raios refletidos. Sendo θ_i o ângulo de incidência e θ_r o ângulo de reflexão, iguais em relação a normal N à superfície.

Figura 1.4 - Ilustração esquemática representando a formação de imagem (O') de um objeto luminoso (O) num espelho plano visto por um observador (P). E , N é a normal em relação a superfície do espelho.

Figura 1.5 - Imagem fotográfica da formação (a) de infinitas imagens em uma associação de dois espelhos planos em paralelo e (b) de imagem numa associação de dois espelhos planos sob um ângulo $\alpha = 60^\circ$, indicado em vermelho.

Figura 1.6 - Desenho esquemático de um espelho (a) côncavo e (b) convexo. Em que: c indica o centro de curvatura do espelho de raio R , F o foco, V o vértice, β o ângulo de abertura do espelho e e o eixo principal.

Figura 1.7.1 – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide paralelo ao eixo principal (e) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, refletido na direção do foco (f).

Figura 1.7.2 – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide na direção do foco e reflete paralelo ao eixo principal (e) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo.

Figura 1.8 - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide passando pelo centro de curvatura na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, o mesmo retorna pelo centro de curvatura.

Figura 1.9 - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide no vértice do espelho (a) côncavo e (b) convexo, reflete (θ_r) com o mesmo ângulo de incidência (θ_i).

Figura 1.10 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico convexo. Em laranja o raio de luz passando pelo foco (F), em verde passando pelo centro de curvatura (C) e em preto se passasse pelo vértice (V). Em azul o objeto (\overline{AB}) do lado esquerdo e a imagem ($\overline{A'B'}$) do lado direito (atrás) do espelho.

Figura 1.11 - Imagens de exemplos espelhos convexos. (a) espelho saída de garagem de prédio; (b) retrovisor de automóvel.

Figura 1.12 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo. Em que O é o objeto e i a imagem; C centro de curvatura, F o foco, e o vértice (V).

Figura 1.13 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo em que o objeto e imagem estarão situados sobre o centro de curvatura (C), F é o foco e V o vértice.

Figura 1.14 - Desenho esquemático representando um objeto (O), e sua imagem (i) em um esférico côncavo. Em que o objeto e imagem estarão situados entre o centro de curvatura (C) e o Foco Principal (F) e V o vértice.

Figura 1.15 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) está sobre o foco principal (F). A imagem (i) será formada no infinito. Sendo C o centro de curvatura e V o vértice.

Figura 1.16 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) situado entre o foco principal (F) e o vértice (V). Sendo i a imagem formada e C o centro de curvatura.

Figura 1.17 – Fotos de espelhos convexos: (a) espelho bucal odontológico; (b) espelho para maquiagem.

Figura 1.18 - Figura esquemática indicando as definições da relação do sistema cartesiano com a estrutura da OG para a formação da imagem (i) de um objeto (O) situado antes do ponto de curvatura (C). O vértice (V) coincide com a origem do sistema cartesiano (x,y). E o eixo principal (e) com o eixo das abscissas (x).

Figura 1.19: Ilustração esquemática representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro, em que n_1 é o índice de refração do meio 1 e n_2 é o índice de refração do meio 2, θ_i é o ângulo incidente e θ_r é o ângulo de refração em relação a normal N.

Figura 1.20 - Desenho esquemático representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro. Em que: raio incidente (r_i), raio de refração (r_r), reta normal (N) a superfície (S), índice de refração do meio 1 (n_1), índice de refração do meio 2 (n_2), ângulo de incidência (θ_i), ângulo de refração (θ_r). Para 3 situações: (a) $n_1 < n_2$ (b) $n_1 > n_2$ e (c) $n_1 = n_2$.

Figura 1.21 - Imagens ilustrativas do efeito do fenômeno da refração no cotidiano: (a) “canudo quebrado”, aproximando da normal (N); (b) efeito miragem, o asfalto parece molhado em um dia de Sol.

Figura 1.22 – (a) Imagem fotográfica de um prisma óptico e a decomposição da luz branca; (b) um feixe de luz branca e decompondo nas cores: azul e vermelha. N são as normais a superfície do prisma, indicado também o ângulo de incidência (θ_i) e o de reflexão (θ_r) a luz.

Figura 1.23 - (a) Foto de um arco íris; (b) desenho ilustrativo de uma gota de chuva, da refração da luz ao entrar, reflexão interna total e refração da luz ao sair, e (c) Foto de um duplo arco Iris.

Figura 1.24 – Desenho ilustrativo do disco de Newton.

Figura 1.25 – Desenho ilustrativo (a) visualização da moeda quando se coloca água na xícara, e (b) comportamento da luz, com o raio de luz saindo do objeto em azul r_1 e verde r_2 , sendo n_1 o meio onde está o objeto e n_2 o observador, N a normal à superfície, y_1 e y_2 a distância do objeto e da imagem à superfície (dióptro plano) respectivamente, x a distância da normal a posição do objeto (q)/imagem (q’).

Figura 1.26 – Desenhos ilustrativos dos formatos dos tipos de lentes convexas: (a) biconvexa; (b) Plano-convexa e (c) côncavo-convexa e as lentes côncavas: (d) bicôncavas; (e) plano-côncava e a (f) convexo- côncava.

Figura 1.27 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica: (a) convergente e (b) divergente. Sendo F o ponto focal, e em azul o eixo principal.

Figura 1.28 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica sendo A e A' os pontos antiprincipal e F e F' os focos de lente: (a) convergente e (b) divergente. E, a representação de lentes (c) convergentes e (d) divergentes.

Figura 1.29 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente, (a) convergente e (b) divergente, quando incide paralelamente na mesma, passa pelo foco F'.

Figura 1.30 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente, (a) convergente e (b) divergente, quando incide na direção do foco F.

Figura 1.31 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente convergente (a) e divergente (b) quando incide na direção do centro óptico.

Figura 1.32 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente (a) convergente e (b) divergente, quando emerge do ponto antiprincipal (A e A'). Sendo: F e F' os pontos focais.

Figura 1.33 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear (\overline{AB}) colocado diante de uma lente esférica divergente (L), cuja imagem é a $\overline{A'B'}$.

Figura 1.34 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear posicionado antes do ponto antiprincipal objeto A. Sendo L a lente convergente.

Figura 1.35 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear posicionado no ponto antiprincipal objeto A e a imagem i formado no ponto antiprincipal A'. Sendo L lente convergente, e F e F' os pontos focais.

Figura 1.36 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco F. Sendo L a lente convergente e i a imagem, maior e após o ponto antiprincipal.

Figura 1.37 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado sobre o foco F. A imagem i será formada no infinito. A e A' são os pontos antiprincipais objeto e imagem respectivamente, e F' o foco imagem.

Figura 1.38 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica. O objeto linear (O), posicionado entre F e a lente, a imagem (i) se forma entre o foco (F) e o ponto antiprincipal (A).

Figura 1.39 - Imagem esquemática ilustrando um olho humano, seus elementos estão sem proporção entre si e suas cores são ilustrativas.

Figura 1.40 – Figura ilustrativa de como os olhos focam a luz (a) paralelos e de (b) um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.

Figura 1.41 – Ilustração da formação de imagem no olho humano.

Figura 1.42 – Imagem ilustrativa de como se forma a imagem para um olho míope e a direita a imagem sem foco a partir de uma certa distância.

Figura 1.43 – Imagem ilustrativa de como se forma a imagem para olhos com hipermetropia e a direita a imagem sem foco.

Figura 2.1 - Imagem fotográfica do (a) prisma confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes, e (b) Disco de Newton confeccionado pelos alunos.

Figura 2.2 - Desenho esquemático simulando a montagem do experimento de reflexão confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes: (a) Lanterna, (b) Pente e (c) Espelho plano perpendicular ao pente.

Figura 2.3 - Fotografia da montagem do experimento de refração, com a cuba de acrílico semipreenchida com água colorida por um suco artificial e uma luz da caneta *laser* incidida obliquamente.

Figura 2.4 - Fotografia da montagem experimental da associação de espelhos confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes. O objeto é a caixa de fósforos.

Figura 2.5 – Imagem fotográfica da formação de imagem em uma superfície esférica: (a) côncava e (b) convexa. E, em (c) e (d) os desenhos esquemáticos da simulação do comportamento dos raios de luz quando incidem paralelo às superfícies côncava e convexo, respectivamente.

Figura 2.6 – Foto da lente esférica confeccionada pelo autor com garrafa pet.

Figura 2.7 - Imagem fotográfica do protótipo do olho humano confeccionado pelo autor.

Figura 3.1 – Imagem fotográfica (a) do prisma e lanterna sobre a carteira na sala de aula do colégio urbano e (b) a decomposição da luz refletida no solo, obtida por um aluno do campo em sua casa.

Figura 3.2 – Imagem fotográfica (a) do disco de Newton confeccionado por uma das equipes do colégio do campo e (b) o disco girando mostrando a recomposição da cor branca.

Figura 3.3 – Imagem fotográfica: (a) efeito da imagem formado da luz passando através do pente e refletindo no espelho, e (b) das alunas do colégio urbano apresentando sobre reflexão, luz e pente.

Figura 3.4 – Imagem fotográfica do estudante incidindo a luz (a) obliquamente a superfície do líquido e se aproximando da Normal, e em (b) perpendicular à parede da cuba seguindo em linha reta. Em vermelho o trajeto do raio de luz dentro da cuba.

Figura 3.5 – Imagem fotográfica dos alunos apresentando o experimento montado por eles. Em (a) observando o efeito e em (b) interrompendo o fluxo da água com a mão.

Figura 3.6 – Imagem fotográfica dos alunos apresentando o experimento montado por eles. (a) sem visualizar a moeda e (b) visualizando a moeda.

Figura 3.7 - Imagens fotográficas (a) espelho em paralelo e (b) variando o ângulo.

Figura 3.8 – Imagem fotográfica do uso de uma concha como um espelho esférico, em que a vela é o objeto. A sua imagem é virtual e aparece menor e invertida.

Figura 3.9 – Imagem fotográfica: (a) lente construída pelo docente observando o aumento que o mesmo realiza e (b) e a opção levada pelos alunos – um copo com água.

Figura 3.10 – Imagem fotográfica (a) do protótipo do olho construído pelo docente, e em (b) os alunos apresentando a câmara escura (circulada em vermelho) confeccionada por eles.

Figura 4.1 – Imagem fotográfica da resposta da questão 1 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “A luz é parte visível do espectro eletromagnético”.

Figura 4.2 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente a questão 1: O que é luz? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).

Figura 4.3 – Imagem fotográfica da resposta da questão 2 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “desvio da luz de seu curso inicial, como quando aponta-se um laser na água”.

Figura 4.4 – Imagem fotográfica da resposta da questão 2 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “Quando a luz muda de um ambiente para outro interferindo sua direção, fazendo assim mudar de ângulo”.

Figura 4.5 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente à questão 2: O que é refração? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).

Figura 4.6 – Imagem fotográfica da resposta da questão 3 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “Reflexo é algo refletido de algum objeto diante de um espelho”.

Figura 4.7 – Imagem fotográfica da resposta da questão 3 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “A impossibilidade de algo absorver a luz, o que causa sua reemissão [sic]”.

Figura 4.8 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente à questão 3 - O que é reflexão? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).

Figura 4.9 – Imagem fotográfica da resposta da questão 4 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “através da refração da luz do Sol nas partículas de água que decompõem a luz branca do Sol’.

Figura 4.10 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente a questão 4: Como é formado o arco íris? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).

Figura 4.11 – Imagem fotográfica da resposta da questão 5 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “Porque a água diminui a velocidade da luz e com essa alteração [sic] de velocidade de propagação ocorre um desvio de direção original parecendo que o lápis está quebrado”.

Figura 4.12 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana) referente a questão 5: Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?

Figura 4.13 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 6: Qual problema da visão pode ser corrigido com lente divergente? *Item (b) miopia.*

Figura 4.14 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 7: O que o fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia sobre a luz? *Item (c) se propaga em linha reta.*

Figura 4.15 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 8: Ao observar um objeto que não é fonte de luz, ele se apresenta com a cor azul. O objeto parece azul porque: *item (d) reflete a luz azul.*

Figura 4.16 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 9: A Figura A, ilustra uma bola em frente de um espelho plano e m observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada: item (c) atrás do espelho.

Figura 4.17 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 10: A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente. Resposta: item d) imagem imprópria se forma muito longe.

Figura 4.18 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 11: observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno. Resposta: item b) somente se $n_2 > n_1$.

Figura 4.19 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 12: A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente. Resposta: item b) raios convergentes.

Figura 4.20 – Gráfico do aproveitamento versus atividade, comparando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste dos alunos do CEDC (urbana).

Figura 4.21 – Gráfico do aproveitamento versus atividade, comparando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste dos alunos do CECMF (rural).

Figura 4.22 – Gráfico do aproveitamento versus atividade, comparando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste dos alunos do CECMF (rural) com os da CEDC (urbana).

Figura 4.23 – Imagem fotográfica da resposta da questão 1 de quatro alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “*Sim, demonstrar o conceito auxilia na compreensão [sic]*”. “*Sim e muito porque você está vendo oque [sic] ocorre*”; “*Mais ou menos; Tem coisas que eu não consegui compreender, mas tem muitas que são legais.*”; “*Sim*”.

Figura 4.24 – Imagem fotográfica da resposta da questão 2 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “*Sim.*”; “*Sim, se ver Bem [sic] vimos muitas coisas interessantes*”; “*Sim, o exemplo da lâmpada isso agente [sic] vivencia*”; “*Sim*”.

Figura 4.25 – Imagem fotográfica da resposta da questão 3 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “*Sim. O fato de poder ser utilizada para explicar fenômenos [sic] cotidianos o tornam[sic] interessante.*”; “*Sim porque tem coisas que desperta [sic] a curiosidade.*”; “*Sim, têm [sic] algo que despertou muito interesse são coisas legais diferentes em sala de aula que desperta interesse em nós alunos.*”; “*Sim, eu gosto do tema física por mais que eu seja não muito inteligente em relação a matéria física.*”

Figura 4.26 – Imagem fotográfica da resposta da questão 4 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “*Sim. O fato de poder ser utilizada para explicar fenômenos [sic] cotidianos o tornam interessante.*”; “*Sim porque tem coisas que*

desperta [sic] a curiosidade.”; “ Sim, têm [sic] algo que despertou muito interesse são coisas legais diferentes em sala de aula que desperta interesse em nós alunos.”; “Sim, eu gosto do tema física por mais que eu seja não muito inteligente em relação a matéria física.

Figura 4.27 – Imagem fotográfica da resposta da questão 5 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: *“Procurar formar de despertar interesse nos alunos”; “ter mais Debates [sic] e muitas [sic] mais aulas experimentais”; “ Se tivesse mais aulas práticas seria mais legal, aulas pra fora da sala, claro que pra [sic] isso tem que ter colaboração; mas seria muito legal fora da sala.” ; “Continuar com aulas práticas”.*

Figura 4.28 – Imagem fotográfica da resposta da questão 6 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: *“Sim. Além de termos as aulas mais interessantes, ajudaram a compreender melhor o assunto”; “Sim. Por que a gente se interessa mais e [sic] mais legal [sic] não é aquela aula tediosa e [sic] uma aula divertida porque a gente esta [sic] aprendendo e também vendo oque [sic] ocorre”; “ Sim. Com aulas experimentais nós [sic] ajuda a entender melhor o conteúdo”; “Sim, pois vemos o que acontece ou seja temos mais experiência”.*

Figura 4.29 – Imagem fotográfica da resposta da questão 7 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: *“Não”; “Não, as aulas eram tediosas”; Sim, foi uma só. Foi bom, mas aconteceu muitas encrencas.”; “Não”.*

Figura 4.30 – Imagem fotográfica da resposta da questão 8 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: *“Dando exemplos de fenômenos cotidianos e questionando aos alunos como eles poderiam explicar aquilo, incentivando-os a investigar e tentar formular resposta; e depois explicaria o verdadeiro motivo”; “com mais experimentos porque desperta interesses entre os alunos; ”Eu daria muitas aulas práticas, é um meio de o aluno despertar interesse pela aula, além dele entender melhor o conteúdo.”; “Com mais aulas práticas”.*

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Dados dos ângulos, a condição da razão ser par ou ímpar, e o número de imagens N que se formam entre dois espelhos planos.

Tabela 1.2 – Índice de refração (n) de alguns materiais sólido, líquidos e gasosos, a 20°C.

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Distribuição do conteúdo por aula para aplicação do PE.

Quadro 4.1: Transcrição literal de respostas tiradas do pré- teste.

Lista de Abreviatura

CECMF – Colégio Estadual do Campo Margarida Franklin.

CEDC – Colégio Estadual David Carneiro.

DCE – Diretrizes Curriculares Estaduais do Paraná.

EFM – Ensino Fundamental e Médio.

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física.

OG – Óptica Geométrica.

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais.

PE – Produto Educacional.

PR – Paraná.

PSSC – Physical Science Study Committee.

TAS – Teoria de Aprendizagem Significativa.

UEM – Universidade Estadual de Maringá.

URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas.

RESUMO

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Pedro Paulo de Brito

Orientadora:

Prof^ª. Dr^ª. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho fundamenta-se numa proposta didática experimental capaz de promover uma aprendizagem significativa de forma prática e simples. O trabalho experimental se faz necessário para que o educando perceba-se como pesquisador e possa analisar, observar, manipular, testar, comprovar, discutir, compreender, refutar conceitos antigos, reconstruir novos conceitos sobre os fenômenos observados. O espaço ideal para estas práticas é o laboratório, entretanto, raras escolas oferecem este espaço e as que o possuem, na maioria das vezes, não são equipados. A falta de técnicos que auxiliem o professor na preparação das atividades é mais um obstáculo que impossibilita as atividades experimentais no ensino da Física. Com o objetivo de minimizar estes problemas, propomos trabalhar com materiais de baixo custo e/ou reaproveitáveis para ensinar Óptica Geométrica. Na metodologia adotada, o aluno, além de observar diversos fenômenos em experimentos montados pelo professor, produz seu próprio material o que possibilita o desenvolvimento de habilidades experimentais. O PE foi aplicado em 2 instituições de ensino público, uma situada na zona urbana de Guapirama – PR e outra na zona rural da cidade de Ibaiti – PR, de classes sociais economicamente menos favorecidas que se mostraram motivados e entusiasmados para aprender o conteúdo abordado, comparado aos da instituição da área urbana.

Palavras chaves: Óptica Geométrica, Materiais de Baixo Custo e/ou Reaproveitáveis, Aprendizagem Significativa.

Maringá – PR

Setembro/2019

ABSTRACT

AN EXPERIMENTAL APPROACH WITH LOW COST MATERIALS IN THE TEACHING OF GEOMETRIC OPTICS.

Pedro Paulo de Brito

Supervisor:

Prof^ª. Dr^ª. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Master's dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM), as part of the necessary requirements to obtain the title of Mestre em Ensino de Física.

The present work is based on an experimental didactic proposal capable of promoting meaningful learning in a practical and simple way. The experimental work is necessary so that the student can perceive himself as a researcher and can analyze, observe, manipulate, test, prove, discuss, understand, refute old concepts, reconstruct new concepts, about observed phenomena. The ideal space for these practices is the laboratory, however, rare schools offer this space and those who have it, most of the time, are not equipped. The lack of technicians who can help the teacher in the preparation of the activities is another obstacle that makes impossible the experimental activities in the teaching of Physics. In order to minimize these problems, we propose to work with low cost and/or reusable materials to teach Geometric Optics. In the methodology adopted, the student, besides observing several phenomena in experiments setup by the teacher, produces his own material that allows the development of experimental skills. The PE was applied in 2 public education institutions, one located in the urban area of Guapirama - PR and another in the rural school in the city of Ibaiti - PR, of economically less favored social classes who were motivated and enthusiastic to learn the content covered, compared to the institution in the urban area.

Keywords: Geometric Optics; Low Cost and/or Reusable Materials; Meaningful Learning.

Maringá – PR

September/2019

xxiv

INTRODUÇÃO

O ensino de Física, na maioria das vezes, está pautado em uma metodologia expositiva. Raramente adota-se outra, mesmo existindo consenso entre os professores de que a experimentação tem um importante papel na construção de conceitos deste componente curricular.

Ensinar Física é uma atividade desafiadora, há uma crença de que compreender conceitos físicos seja para poucos, porém sabemos que não é verdade. Desta forma, é necessário criar situações que motivem os estudantes a se interessarem por esta área do conhecimento. Nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) há o seguinte destaque:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. (PCN+, 1998).

Embora haja reconhecimento dos profissionais da área sobre a importância da experimentação na aprendizagem do educando, parte das escolas públicas não possui laboratórios para a realização de atividades experimentais.

As poucas que possuem laboratórios adequadamente equipados não são utilizados por falta de material didático (NITSCHE, 2019), e/ou acabam muitas vezes na ociosidade por não haver técnicos que possam auxiliar aos professores na preparação das atividades.

Para contornar este cenário desfavorável para tais atividades, uma das possibilidades apresentada é construir experimentos com materiais de baixo custo e/ou reutilizáveis e que possam ser realizados em sala de aula. Seguindo essa vertente, propõe-se, então, o estudo da Óptica Geométrica (OG) por meio de experimentos que possam ser construídos pelos professores e alunos. Sendo esta, parte da proposta didática do Produto Educacional (PE) do presente trabalho. A outra parte é a metodologia de aplicação.

A escolha do tema está diretamente ligada à importância da visão humana, como uma aplicação da física no cotidiano, mais especificamente no contexto da Óptica Geométrica. É pela percepção de imagens e pela herança de informações coletadas ao longo da vida que compreendemos tudo o que nos cerca. A percepção humana estaria completamente prejudicada se não houvesse luz, pois está intimamente dependente deste fenômeno.

Destaca-se que grande parte dos experimentos foi inspirada em propostas encontradas em artigos e trabalhos publicados em *sites* de instituições de ensino nacionais e periódicos da área¹. Bem como, na metodologia de aplicação, as questões utilizadas são as disponíveis na *internet*² adaptadas e/ou selecionadas de acordo com a maioria das dúvidas dos alunos de anos anteriores.

Ressalta-se que a experimentação por si só não garante aprendizagem, e que ensinar Física mediante os preconceitos estabelecidos devido ao grau de dificuldade de aprendizagem nesta área do conhecimento é um projeto tanto quanto desafiador. Na concepção de SASSERON:

Ensinar Física envolve mais do que desafiar as ideias prévias dos alunos e substituí-las por teorias mais consistentes do ponto de vista científico; é necessário que os estudantes vejam algum sentido no conjunto de teorizações, que compreendam a Física como uma forma diferente de pensar e falar sobre o mundo (SASSERON, 2015, p.250).

Desta forma, temos a percepção de que podemos, com experimentos de baixo custo e/ou reutilizáveis, propor situações que permitam ao estudante relacionar os conceitos da Física com o cotidiano. Além disso, em relação ao uso das atividades experimentais, as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (DCE-PR) destaca o seguinte:

Ao adotar a experimentação e propor atividades experimentais, o professor, mais do que explicar um fenômeno físico, deve assumir uma postura questionadora de quem lança dúvidas para o aluno e permite que ele explicita suas ideias, as quais, por sua vez, serão problematizadas pelo professor (DCE-Paraná- Física, 2008).

Portanto, além de propor uma atividade experimental, faz-se necessário aliar às atividades, uma postura, o debate e ao confronto entre o conhecimento prévio do aluno e o conhecimento científico.

Vindo ao encontro a esse ponto de vista, a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel tem como um dos pilares o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Desta forma, sugere-se que, inicialmente, o professor apresente os aparatos sobre a mesa, em seguida, solicite aos estudantes que relatem sua utilidade, e a partir disso, faz-se um diagnóstico

¹ Periódicos da área da Física encontra-se disponível em: Cadernos Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Física na Escola, Physics, Sociedade Brasileira de Física (SBF), entre outros.

² Partes das questões utilizadas são adaptadas da dissertação de mestrado: ROBERTO. E. V.. *Aprendizagem ativa em óptica geométrica: experimentos e demonstrações investigativas* – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. p. 70 a 132, 2009. E outros, por exemplo do *site*: <<http://brainly.com.br>>

dos conhecimentos prévios do educando. Posteriormente, o estudante tem o momento de observar e manipular cada material apresentado, discutir em grupos (de no máximo cinco estudantes) e, por último, descreva cada detalhe que julgar importante. A partir deste momento, o professor expõe o experimento, relaciona-o com os conhecimentos científicos e introduz situações problemas. Para finalizar, é proposto que o estudante desenvolva algum material relacionado ao tema (experimental ou não) e explique o fenômeno apresentado.

O Produto Educacional (PE) do presente trabalho têm como objetivos:

- Contribuir para que o estudante consiga desenvolver-se como sujeito crítico e adquira conhecimentos científicos que permitam a ele compreender o meio que o cerca;
- Compreender o fenômeno da refração: desvio dos raios de luz, que ocorre na mudança de um meio homogêneo para outro, como por exemplo, entre o ar e a água. Bem como, os processos de reflexão como sendo o fenômeno de retorno da luz para o meio em que se propaga;
- Compreender fenômenos do cotidiano referentes à luz como, por exemplo, a formação do arco-íris, a compreensão das cores e do céu azul, com os fenômenos estudados;
- Compreender a aplicação da OG voltados à visão do olho humano e suas anomalias causadas por diversos fatores patológicos e da idade com correções por meio do uso de lentes;
- Reconhecer a importância da Física no cotidiano;
- Buscar formas para demonstrar e investigar os conhecimentos contidos na OG por meio de diversos experimentos possíveis de serem montados e manipulados pelos próprios estudantes a fim de proporcionar uma aprendizagem significativa;
- Conduzir o educando como sujeito ativo do seu próprio conhecimento. O estudante será frequentemente estimulado a procurar novas informações para, cada vez mais, elevar seu nível de conhecimento relacionando o cotidiano com a teoria.

A apresentação da presente dissertação está organizada da seguinte forma: no Capítulo 1 apresentam-se os referenciais teóricos que sustentam a elaboração e compreensão do PE. São eles: teoria da aprendizagem significativa, experimentação no ensino de Física e conceitos de Óptica Geométrica. Ao Capítulo 2 reservou-se para a apresentação do PE, constando da exposição das atividades que foram desenvolvidas para as aulas. No Capítulo 3 consta a Aplicação do PE. No Capítulo 4 estão apresentados os resultados da análise dos questionários prévios, durante e após realização dos experimentos. Seguida das considerações finais pontuais

sobre a aplicação do PE, e das referências bibliográficas. Apresentam-se no Anexo I, os termos de autorização dos colégios liberando à aplicação do PE.

Fechando o trabalho com dois apêndices: no Apêndice I estão apresentadas as respostas esperadas aos questionários das atividades aplicadas, e no Apêndice II para uso de forma independente do conteúdo da dissertação, o Produto Educacional.

CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentam-se tópicos que dão suporte teórico ao presente trabalho. Iniciando com a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), seguida da Experimentação no Ensino de Física e finalizada com conceitos de Óptica Geométrica.

1.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)

No dicionário³ a palavra aprendizagem é definida como ação, processo, efeito ou consequência de aprender, e aprender como adquirir conhecimento. Assim, a aprendizagem está diretamente relacionada com o processo de aquisição do conhecimento. Várias são as teorias que buscam entender como este processo ocorre, optou-se, neste trabalho, por destacar a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

David Paul Ausubel nasceu em *New York* em 1918, graduou-se em psicologia, medicina e dedicou-se à psicologia educacional propondo uma teoria cognitiva no processo de aprendizagem.

Para Ausubel (Moreira, 1999), há duas maneiras de aprendizagem: a mecânica e a significativa.

- A mecânica é pautada em decorar para fazer, não possui raízes para permanecer gravada no cognitivo do estudante, é a aprendizagem sem atribuição de significados pessoais, não se relaciona a conhecimentos prévios, dessa forma é efêmera. Segundo MOREIRA (1999), a aprendizagem mecânica é um armazenamento arbitrário em sua estrutura cognitiva. É uma educação bancária, pautada em depositar informações do professor para o aluno, numa relação vertical sem qualquer ligação com conhecimentos próprios.
- A aprendizagem significativa é um processo em que há união entre as novas informações àquelas que o estudante já possui. Esses conhecimentos que os indivíduos já possuem na estrutura cognitiva é o que determina a aprendizagem, são denominados por Ausubel de subsunçores, são eles que ancoram os novos conhecimentos. Na ausência destes, deve-se recorrer aos organizadores prévios, que são definidos por MOREIRA:

³Dicionário *Houaiss* da Língua Portuguesa.

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente mais geral e inclusivo do que este. (MOREIRA, 2012, p. 11)

Assim, ao constatar a ausência dos subsunçores é necessário providenciar a organização de conhecimentos prévios para que o novo conhecimento faça sentido para o aluno. Para acontecer à aprendizagem significativa, é fundamental a utilização de material relacionável à estrutura cognitiva do estudante, além da determinação do mesmo em aprender (MOREIRA, 2011).

A interação que relaciona os conhecimentos antigos, próprio, com as novas informações é o conhecimento apreendido por meio da aprendizagem significativa relacionado com o entendimento da linguagem. É essa linguagem que permite a aprendizagem de novos conhecimentos e informações, por meio de contato com outras pessoas, pois não se aprende sozinha (MOREIRA, 2006).

Na próxima seção, apresenta-se a questão do uso de experimentos no processo ensino-aprendizagem de acordo com o PCN.

1.2 Experimentação na Física

Com o lançamento em 1957 do primeiro satélite artificial da Terra, o *Sputnik*, a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) tomou a dianteira na corrida das explorações tecnológicas (BYBEE, 1997; LORENZ, 2008). Este progresso foi atribuído ao avanço tecnológico e científico soviético e à qualidade de seu ensino. Os norte-americanos viram-se pressionados a reverter esta situação desfavorável para a sua hegemonia capitalista. A partir de 1959 vários projetos são propostos para a melhoria do ensino de ciências, um dos mais conhecidos foi o *Physical Science Study Committee*⁴ (PSSC) que marcou profundamente as estratégias no ensino de Ciências. Um ponto de destaque a valorização da experimentação no ensino de Física.

⁴ Comitê de Estudos da Ciência Física, tradução do autor.

Segundo FERREIRA (1978), o grande objetivo das atividades experimentais é representar e ajudar na compreensão das matérias científicas desenvolvidas, tornar o estudo agradável, além de estimular a capacidade de investigação e reflexão dos estudantes. Vários aspectos positivos são proporcionados ao adotar-se a experimentação, possibilitando interações entre os alunos, o trabalho tem caráter colaborativo:

Os alunos devem entender que a atividade científica é uma atividade complexa e construída socialmente. E essa compreensão é atingida a partir do desenvolvimento de investigações de interesse pessoal, mas também centrando-se na aprendizagem de ciências e sobre ciências. (SARAIVA-NEVES, CABALLER e MOREIRA, 2006, p. 389).

A utilização adequada de atividades experimentais desenvolve um ambiente favorável para a assimilação de diversos conceitos científicos. Destaca-se a capacidade que as atividades experimentais possuem de estimular a efetiva participação dos estudantes, aguçando sua curiosidade e interesse, propiciando um ambiente motivador, como destaca Gaspar e Monteiro (GASPAR e MONTEIRO, 2005).

Para SÉRÉ, COELHO e NUNES (2003, p. 31), “[...] as atividades experimentais são enriquecedoras para o aluno, uma vez que elas dão um verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens”

O professor utiliza de atividades experimentais demonstrativas a fim de possibilitar ao estudante um momento de reflexão, pois o estudante observa o fenômeno por meio dos materiais disponíveis e confronta sua observação com os conhecimentos científicos produzidos até o momento.

ZOMPERO e LABURU (2011) destacam que as atividades práticas são fundamentais no processo ensino-aprendizagem, a observação, a manipulação, a busca por materiais científicos que expliquem os fenômenos são necessárias para construção do conhecimento frente ao fenômeno natural estudado.

É importante que o estudante construa seus conhecimentos a partir de dados coletados por ele mesmo comparando-o com dados científicos para que compreenda e estimule a busca de novas informações e que fomente novas teorias.

Além disso, eles destacam que a perspectiva do estudante com base na investigação melhora o aprimoramento do raciocínio e habilidades cognitivas dos estudantes, as atividades experimentais criam nos educandos senso de interação e diálogo, além de aprimorar raciocínios e ampliar o conhecimento científico.

As atividades experimentais contextualizam e possibilitam uma aprendizagem significativa (ZANATTA e LEIRIA, 2018), pois permite que os alunos aprendam a Física diferentemente das formas tradicionais servindo de ponte entre a teoria científica da percepção do fenômeno natural.

Existem diferentes estratégias para o uso da experimentação, tais como: tradicionais, demonstrativas e investigativas. Sendo que (TAHA, LOPES, SOARES, 2016):

- nas tradicionais o aluno realiza os experimentos segundo um roteiro, é centrada na verificação.
- nas demonstrativas, o professor mostra determinado conceito por meio de experiências, o aluno só observa.
- nas investigativas o foco é o aluno como sujeito ativo que elabora hipóteses, realiza os experimentos para testar suas hipóteses e organiza as suas conclusões.

Embora, seja consenso entre os professores que as atividades experimentais têm papel relevante na aprendizagem ela é pouco utilizada, e quando utilizadas não cumprem seu papel de aprendizagem.

BORGES (2002) salienta que a mera introdução de atividades experimentais por si só, sem a análise e sem observações científicas, não satisfaz as necessidades de aprendizagens dos educandos. Porém, quando adequadamente utilizadas elas podem transformar a qualidade da formação científica (Física).

Os trabalhos educacionais pautados em uma metodologia que privilegie a reconstrução do conhecimento, na busca de evoluir teorias, são de grande valia para o educando, pois estimulam a relacionar seus conhecimentos vividos com as grandes construções e definições científicas.

Os estudantes devem ter a noção de que os conhecimentos científicos não estão prontos e acabados, ao contrário, estão em constante reconstrução e a cada nova descoberta é mais uma peça de um enorme quebra-cabeça que se monta sob todas as descobertas científicas.

De acordo com os PCN^s, a experimentação tem papel importante na estruturação do currículo educacional no ensino de ciências, indispensável na promoção de competências e habilidades e para o entendimento dos conceitos físicos.

Apresentado as diversas contextualizações sobre a experimentação e sua importância no processo ensino-aprendizagem, passa-se a apresentar a teoria sobre Óptica Geométrica tema de aplicação do PE, utilizando montagens experimentais construídos com materiais de baixo custo e/ou reutilizáveis.

1.3 Óptica Geométrica

A Óptica é um ramo da Física dedicado ao estudo das leis que regem o estudo da luz e os fenômenos luminosos. A palavra óptica vem do grego *optiké* e significa “relativo à visão”. Ela é dividida em Óptica Física e Óptica Geométrica. Esta sessão foi desenvolvida baseando-se nos seguintes livros textos: HALLIDAY (2009) e NUSSENZVEIG (1998), em nível de Graduação. Bem como os livros de BONJORNO (2001 e 2013) e YAMAMOTO e FUKE (2016), em nível de ensino médio. A seguir, serão destacados os conceitos relativos à Óptica Geométrica tema do presente trabalho.

1.3.1 O que é a Luz?

Diversos cientistas ao longo de toda a história buscaram explicar as características e fenômenos que nos intriga até os dias atuais. Para NEWTON (Isaac Newton – físico e matemático britânico - 1642-1729) a luz era constituída por um fluxo de inúmeros corpúsculos em ritmo contínuo produzido pelas fontes luminosas que se movem continuamente em velocidade altíssima. Defendia também a teoria corpuscular da luz. Teoria essa enunciada em 1675. Por outro lado, HUYGENS (Christiaan Huygens, físico e matemático holandês, 1629-1695), defendia a teoria ondulatória, em que a luz era uma perturbação de um meio hipotético, chamado de éter, na qual transportaria a luz para todos os lados. Estudo esse iniciado em meados de 1653 com outro foco, e sobre a natureza da luz por volta de 1676 (MOURA, 2016).

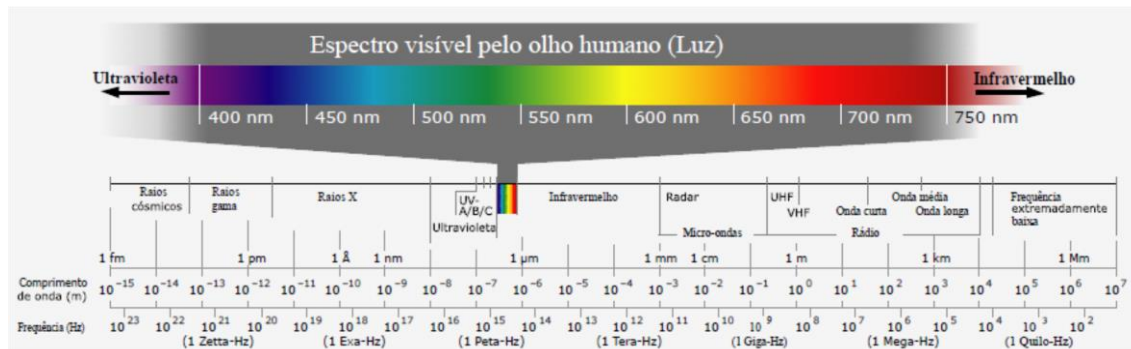
Estas diferentes concepções levantaram muitos questionamentos e dúvidas, a natureza ondulatória foi fortalecida com a observação de interferência por YOUNG (Thomas Young, físico e médico britânico, 1773-1829) em 1800, com o experimento da fenda dupla.

Enquanto que, MAXWELL (James Clerk Maxwell, físico e matemático britânico, 1831-1879) mostrou em 1864 que um raio luminoso é a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, nesta visão a luz é uma onda eletromagnética.

Por outro lado, em 1905, EINSTEIN (Albert Einstein, físico teórico alemão, 1879-1955), explicando o efeito fotoelétrico, propõe que a luz seja uma partícula. Desta forma, a luz configura-se com propagação ondulatória que, ao interagir com a matéria, a troca de energia é dada por propriedades corpusculares.

Portanto, estamos imersos em ondas eletromagnéticas, cuja principal fonte é o Sol. O espectro eletromagnético, em relação ao comprimento de onda, varia de 10^8 m a 10^{-16} m. Sendo que a região compreendida entre 430 nm a 690 nm é a parte do espectro a qual o olho é sensível, esta é a faixa de nosso interesse, a luz visível (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Figura ilustrativa do espectro eletromagnético com ênfase na parte do visível.



Fonte: Wikipedia <https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel>

Independente da faixa espectral a velocidade da luz no vácuo (c) é aproximadamente de 3×10^8 m/s.

Para que possamos visualizar os objetos é necessário que raios luminosos refletidos dos objetos cheguem à retina, de forma que os bastonetes e cones detectem a luz e por meio do nervo óptico as informações cheguem ao cérebro. Esta e outras formações de imagens podem ser compreendidas pelo estudo da Óptica Geométrica que parte da hipótese de que a luz se propaga em linha reta. Fenômenos esses explicados por Huygens.

De acordo com NUSSENZVEIG: “Do ponto de vista ondulatório, a OG é uma aproximação válida para comprimentos de onda muito pequenos em confronto com as dimensões típicas envolvidas” (NUSSENZVEIG, p.6, 2010). Portanto às propriedades da luz visível, de acordo com os fenômenos de reflexão e refração da luz, que serão citados na sequência, constitui-se uma boa aproximação.

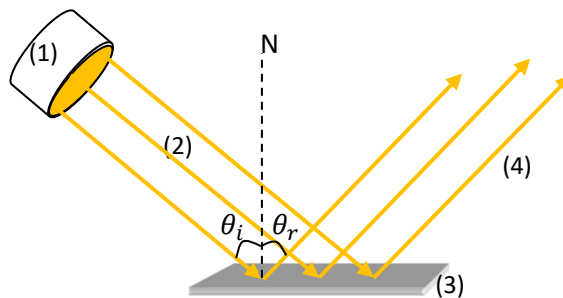
1.3.2 Reflexão da Luz

É um fenômeno que acontece quando raios de luz incidem em uma superfície e retornam para o meio de origem em que se propagava. O fato de enxergarmos os objetos se deve a essa propriedade: a luz incide no objeto que por sua vez a reflete de forma que os raios de luz cheguem aos nossos olhos, e isso também ocorre quando a luz do Sol incide na Lua e esta reflete a luz que atinge a Terra até os nossos olhos.

Esta reflexão pode ser regular ou difusa.

- Reflexão regular: a incidência da luz é sobre uma superfície polida e lisa, e a luz reflete em uma única direção (Figura 1.2). Os feixes são paralelos um em relação ao outro e seguem da mesma forma após incidir na superfície refletora. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão: $\theta_i = \theta_r$. Por exemplo, a imagem de uma luz incidindo no espelho polido e liso.

Figura 1.2 - Imagem ilustrativa de uma reflexão regular. Em que: (1) a fonte de luz, (2) raios de luz incidente; (3) superfície refletora; (4) raios de luz refletidos. Em que o ângulo de incidência θ_i é igual ao de reflexão θ_r em relação à normal (N) à superfície.

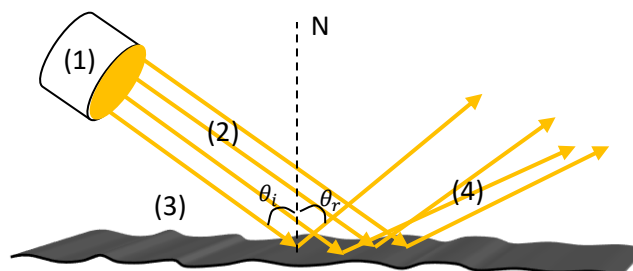


Fonte: o autor.

- Reflexão difusa: a Figura 1.3 ilustra a reflexão difusa que ocorre quando os raios de luz incidem em uma superfície rugosa (irregular), causando um espalhamento nos raios refletidos em direções aleatórias dependendo do ponto onde incidem. Um exemplo é o raio de luz incidindo na água de um rio em que a água não está completamente lisa.

Esclarecendo que os raios incidentes saem da fonte, paralelos um ao outro, mas ao incidir sobre a superfície rugosa emergem em direções diferentes, mas o ângulo de reflexão será igual ao ângulo de incidência, visto que este é medido a partir do eixo normal à superfície entre os dois feixes. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão: $\theta_i = \theta_r$.

Figura 1.3 - Desenho esquemático representando um feixe de luz incidindo sobre uma superfície rugosa. Em que: (1) fonte de luz; (2) raio de luz incidente; (3) superfície rugosa e (4) raios refletidos. Sendo θ_i ângulo de incidência e o θ_r ângulo de reflexão iguais em relação a normal N à superfície.



Fonte: o autor.

E, as Leis da reflexão são:

- **1ª Lei:** o raio incidente, a reta normal (N) perpendicular à superfície refletora e o raio refletido estão no mesmo plano.
- **2ª Lei:** os ângulos de incidência e refletidos são iguais.

Para a compreensão da formação de imagens, é importante esclarecer a definição de ponto imagem. O ponto imagem é o ponto onde os raios de luz emergentes de um sistema óptico se interseccionam. Esses são classificados em: real, virtual ou impróprio.

- a) Ponto Imagem Real (PIR): é quando a imagem se forma do mesmo lado que o espelho, sendo esse o vértice do feixe emergente convergente;
- b) Ponto Imagem Virtual (PIV): é quando a imagem se forma “atrás” do espelho, no vértice do feixe emergente divergente;
- c) Ponto Imagem Impróprio (PI_{∞}): quando a imagem se “forma” no infinito, é o vértice do feixe emergente cilíndrico.

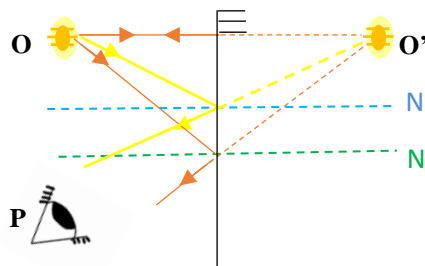
A seguir, apresentam-se os tipos de espelho e a formação de imagens em cada uma delas, respeitando as leis de reflexão. Sendo estes: os planos e esféricos (côncavo e convexo).

1.3.2.1 Espelhos Planos

Na Figura 1.4 está ilustrado o caso de um feixe de luz incidindo num espelho plano, supondo que um objeto luminoso **O** está localizado diante de um espelho plano. Considerando as leis da reflexão, é possível determinar os raios refletidos, prolongando-os para a região “atrás” do espelho todos os raios refletidos (PIV) concentrados em um único ponto convergente, **O'**.

Analisando suas características, vemos que o ponto **O'** é simétrico ao ponto **O** em relação ao espelho, como mostra a Figura 1.4, visto por um observador **P**. Para o mesmo observador no plano incidente dos raios refletidos divergentes, eles ilustram um feixe originário de **O'**, de maneira que a percepção visual é idêntica à que se teria se os raios fossem dele próprio, constituindo uma imagem virtual, portanto, imagem virtual (PIV) ocorre quando não têm raios luminosos emitidos por ela mesma, sendo formados pelos prolongamentos de raios luminosos refletidos de **O** (Ponto objeto real - POR).

Figura 1.4 - Ilustração esquemática representando a formação de imagem (**O'**) de um objeto luminoso (**O**) num espelho plano visto por um observador (**P**). E, N é a normal em relação a superfície do espelho.



Fonte: o autor.

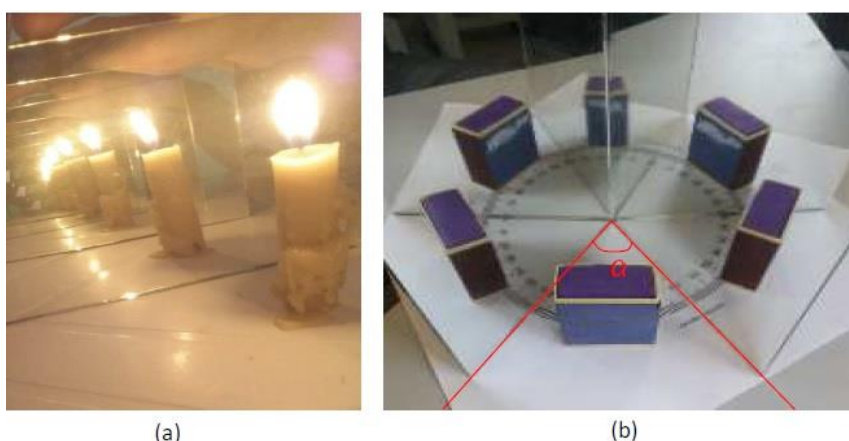
E, se o objeto for extenso, o tamanho da imagem será o mesmo do objeto. Um efeito interessante na formação de imagens em espelhos planos é quando estes são posicionados em uma associação dos mesmos.

1.3.2.1.a Associação de Espelhos Planos

Em alguns hotéis encontramos dois espelhos planos posicionados um frente ao outro, ou seja, as superfícies refletoras estão paralelas. E, quando olhamos vemos muitas imagens formadas nos mesmos, qual o motivo desse efeito ocorrer? Neste caso, a formação de imagens é infinita, devido a infinitas reflexões da luz como ilustra a Figura 1.5 (a).

Quando há um ângulo α entre os dois espelhos planos, unidos por um vértice, a luz refletida pela superfície refletora de um espelho atinge outra superfície refletora de um segundo espelho, originando várias imagens (que depende de α), como ilustrado na Figura 1.5 (b).

Figura 1.5 - Imagem fotográfica da formação (a) de infinitas imagens em uma associação de dois espelhos planos em paralelo e (b) de imagem numa associação de dois espelhos planos sob um ângulo $\alpha = 60^\circ$, indicado em vermelho.



Fonte: arquivo do autor.

A posição do objeto também é importante, e as superfícies refletoras devem estar em posições que permitam que o raio refletido por uma superfície atinja a outra.

A relação entre, N, o número de imagens de um único objeto e, α , o ângulo formado entre os dois espelhos é dado por:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1. \quad (1.1)$$

A Eq. (1.1) é válida em relação à formação de imagens, quando:

- a razão $\frac{360}{\alpha}$ for um número par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos;
- a razão $\frac{360}{\alpha}$ for um número ímpar, somente quando o objeto estiver no plano bissetor⁵ da associação.

Por exemplo, caso o ângulo, α , entre os dois espelhos for de 90° , a razão $\frac{360}{\alpha}$ será igual a 4, sendo este um número par, logo N igual a 3. Significa que formarão 3 imagens. Sendo uma imagem frontal e uma em cada espelho. Isso para qualquer posição do objeto. Que é o mesmo caso da Figura 1.5 (b), embora posicionado no plano bissetor, o número de imagens seria igual em qualquer outro ponto entre os espelhos.

A Tabela 1.1, apresenta o número de imagens respeitadas o fato da razão $\frac{360}{\alpha}$ ser par ou ímpar e a posição do objeto, conforme validade da Equação (1.1).

Tabela 1.1 - Dados do ângulo, a condição da razão ser par ou ímpar, e o número de imagens N que se formam entre dois espelhos planos.

α (°)	Razão ($= \frac{360^\circ}{\alpha}$)	N(imagen(s))
360	1 - ímpar	0
180	2 - par	1
120	3 - ímpar	2
90	4 - par	3
72	5 - ímpar	4
60	6 - par	5
45	8 - par	7

Fonte: o autor.

⁵ Plano que divide o quadrante.

A seguir, apresenta-se a formação de imagens em espelhos esféricos.

1.3.2.2 Espelhos Esféricos

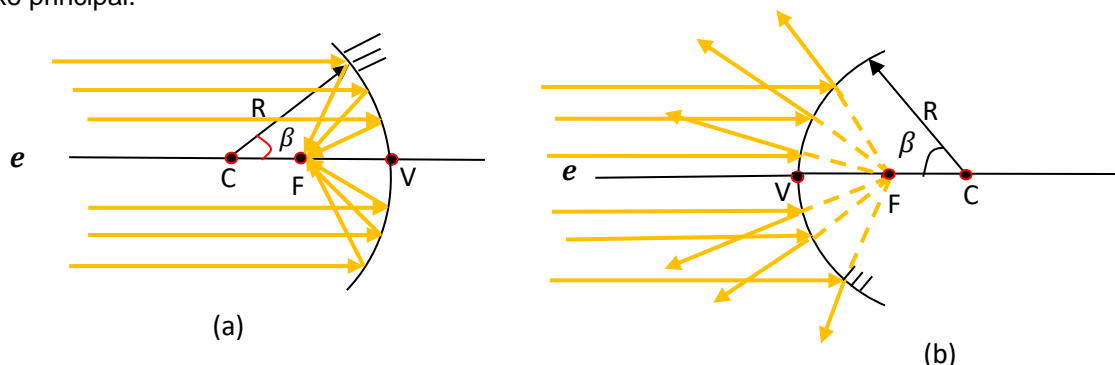
A origem de espelhos esféricos com imagem nítida se deve a Gauss (Johann Carl Friedrich Gauss⁶, matemático, astrônomo e físico alemão (1777-1855) que em seus estudos de óptica, 1840, concluiu que os elementos que compõem o objeto precisam corresponder ao da imagem. Esses elementos são os pontos e retas. Fato este mais fácil de observar em um espelho plano, pois os pontos entre ambos são correspondentes, bem como as retas. No caso de espelhos esféricos Gauss descobriu que isso somente é válido até um determinado ângulo de curvatura, no caso, menor que 10° , os raios incidentes devem ser próximos ao eixo principal e devem ter uma pequena inclinação com relação ao eixo principal (VIANNA, 2019). Condição essa denominada condição de Gauss, e os espelhos confeccionados sob esta condição são chamados de espelhos de Gauss.

O espelho esférico é formado por uma superfície refletora curva semelhante a uma casca esférica. Pode ser côncava ou convexa como representada na Figura 1.6. Seus elementos geométricos são:

- C: o centro de curvatura, ou seja, o centro da casca esférica que originou a concavidade.
- R: raio da curvatura, a medida do raio da casca esférica que originou a concavidade.
- V: vértice do espelho, ponto localizado na região perpendicular entre o eixo principal e o plano vertical externo do espelho, polo da concavidade.
- e: eixo principal, a reta que corta perpendicularmente a região central do plano vertical do espelho.
- β : o ângulo de abertura do espelho.
- F: foco do espelho. No caso do espelho côncavo, o foco é denominado real sendo o ponto onde a luz converge (Figura 1.6 (a) em linhas de cor alaranjada) e no espelho convexo o foco denominado virtual sendo o ponto da qual os feixes de luz divergem (Figura 1.6 (b) linhas de cor alaranjada). A distância focal (f) é a distância do vértice (V) ao ponto focal (F) tal que o raio de curvatura (R) é igual a duas vezes a distância focal (f): $R = 2f$.

⁶ É o mesmo da Lei de Gauss do eletromagnetismo, elaborada em 1835 e publicada em 1867. Fonte: wikipedia <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Gauss>. Acesso em 12/08/2019.

Figura 1.6 – Desenho esquemático de um espelho (a) côncavo e (b) convexo. Em que: C indica o centro de curvatura do espelho de raio R, F o foco, V o vértice, β o ângulo de abertura do espelho e e o eixo principal.



Fonte: o autor

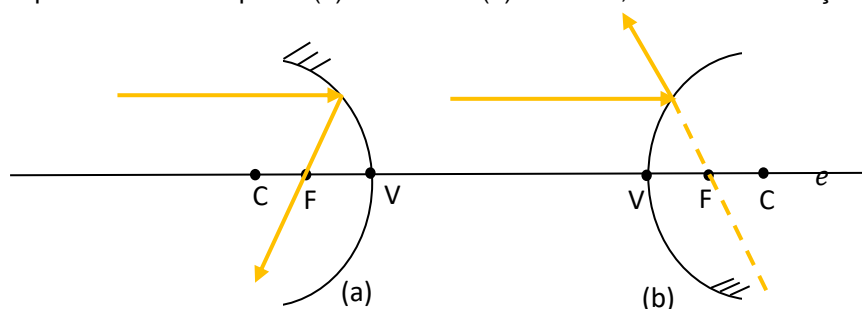
No caso de espelhos esféricos, as imagens reais formam-se do mesmo lado do espelho em que se encontra o objeto, e as imagens virtuais do lado oposto.

1.3.2.2.a Propriedades dos Raios Incidentes em Espelhos Esféricos

De acordo como o raio de luz incide sobre um espelho esférico, segundo as leis de reflexão apresentadas na introdução desta seção 1.3.2, a posição e o tamanho das imagens irão obedecê-las, e são refletidos seguindo três propriedades:

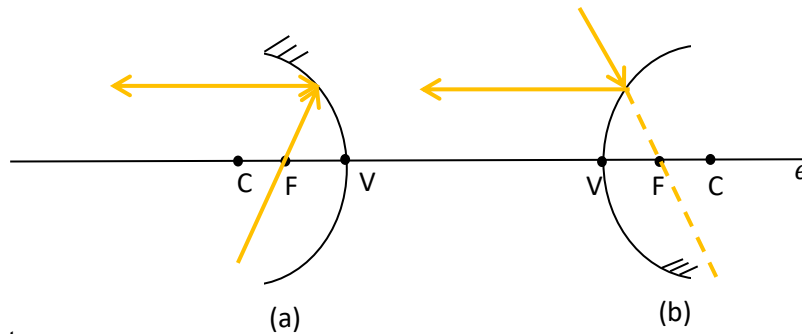
1. Todo raio paralelo ao eixo principal que incide na superfície do espelho passa pelo foco (F), (Figuras 1.7.1: (a) côncavo e (b) convexo). E, todo raio que incide a superfície do espelho passando pelo foco emerge paralelo ao eixo principal (e) (Figuras 1.7.2 (a) côncavo e (b) convexo).

Figura 1.7.1 – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide paralelo ao eixo principal (e) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, refletido na direção do foco (F).



Fonte: o autor

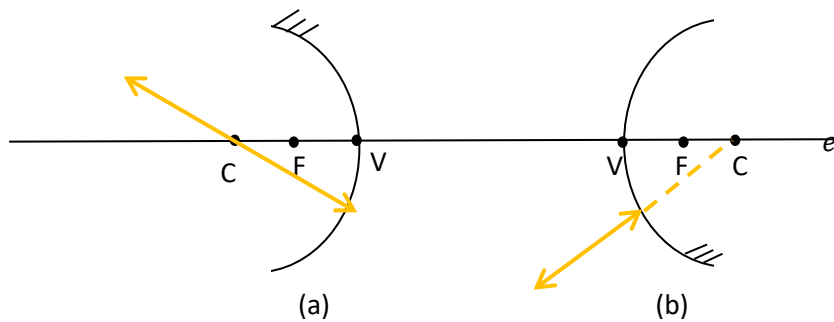
Figura 1.7.2 – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide na direção do foco e reflete paralelo ao eixo principal (e) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo.



Fonte: o autor

2) Todo raio que passa pelo centro de curvatura volta sobre o mesmo (Figura 1.8).

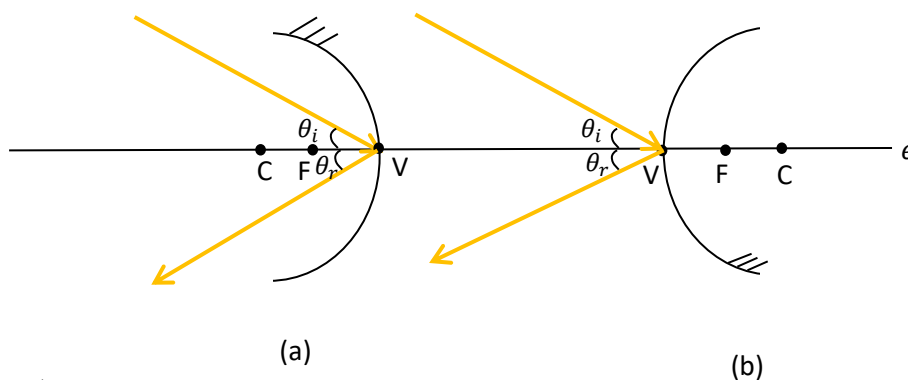
Figura 1.8 - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide passando pelo centro de curvatura na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, o mesmo retorna pelo centro de curvatura.



Fonte: o autor.

3) Todo raio que incide sobre o vértice (V) é refletido em um ângulo igual ao de incidência ($\theta_r = \theta_i$) (Figura 1.9 (a) côncavo e (b) convexo).

Figura 1.9 - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide no vértice do espelho (a) côncavo e (b) convexo, reflete (θ_r) com o mesmo ângulo de incidência (θ_i).



Fonte: o autor.

➤ **CONVENÇÃO DE SINAIS** (NUSSENZVEIG, 2010):

1. A luz (raio de luz) incide da esquerda para a direita e reflete da direita para a esquerda;
2. Para um objeto de tamanho \overline{AB} e imagem $\overline{A'B'}$, a distância objeto imagem são medidas de A para V e A' para V, respectivamente. E será positiva (objeto e/ou imagem reais) quando A e/ou A' estão à esquerda de V e virtuais (negativas) quando à sua direita;
3. A distância focal (f) dada por \overline{FV} , é positiva para F à esquerda de V;
4. O raio de curvatura é \overline{CV} sendo positiva para espelho côncavo;
5. Distâncias verticais são positivas acima do eixo principal (e) e negativas abaixo do mesmo;

Tendo conhecimento de como os raios de luz se comportam quando incidem um espelho esférico e convencionado os sinais, a seguir apresenta-se como se forma uma imagem em um espelho esférico convexo e côncavo.

1.3.2.2.b Formação de Imagem em Espelhos Esféricos

Nesta subseção apresenta-se como a imagem se forma em espelhos esféricos de Gauss. Apresentam-se as características de forma geral e depois a formação da imagem em espelhos convexos por ser de uma única forma e posteriormente as diferentes formações de imagem em espelhos côncavos.

➤ **CARACTERÍSTICAS**

Toda imagem produzida por um espelho esférico tem três características: natureza, posição e tamanho.

- a) Quanto à **sua natureza**, uma imagem pode ser classificada como:
 - **Real:** obtida da intersecção dos próprios raios refletidos, a imagem se forma na frente do espelho;
 - **Virtual:** obtida da intersecção dos prolongamentos dos raios refletidos, a imagem se forma atrás do espelho;
 - **Imprópria:** quando não ocorre a intersecção dos raios refletidos ou de seus prolongamentos, a formação de imagens ocorre no infinito (representado pelo símbolo: ∞).

b) Quanto à **sua posição**, uma imagem pode ser classificada como:

- **Direita** ou direta: objeto e imagem conjugada representada por segmentos orientados para o mesmo sentido, todos para baixo ou todos para cima.
- **Invertida**: imagem conjugada e objeto representado por segmentos orientados de sentido oposto.

c) Quanto ao seu **tamanho/altura**, uma imagem pode ser classificada como:

- **Maior que o objeto** ($\theta_i > 0$);
- **De mesmo tamanho** ($\theta_i = 0$);
- **Menor que o objeto** ($\theta_i < 0$),

em que θ_i é o ângulo de incidência em relação ao eixo principal (e).

➤ ESPELHOS CONVEXOS

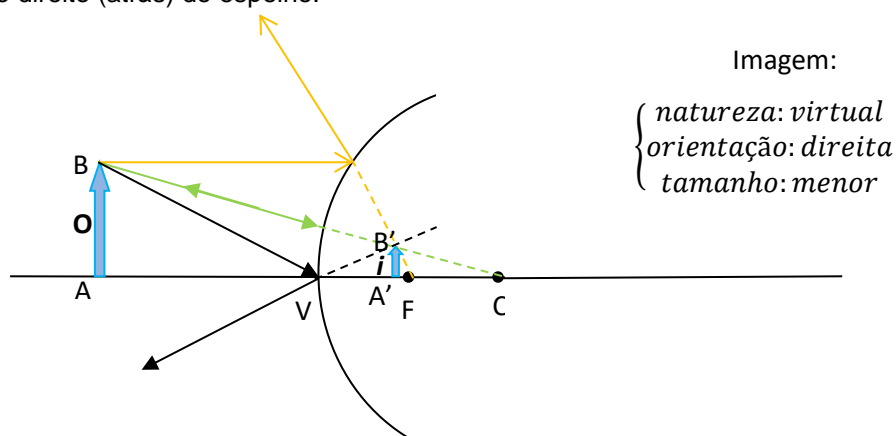
Para os espelhos convexos: independentemente da posição do objeto \overline{AB} disposto diante deste espelho, sua imagem $\overline{A'B'}$ sempre será: virtual, direita e menor que o objeto, Figura 1.10.

Consideraram-se duas possibilidades: a de um raio de luz passando pelo vértice (indicado pela seta em cor preta) bem como, passando pelo centro de curvatura (indicado pela cor verde) a imagem será a mesma.

Na primeira situação, o ângulo de reflexão (θ_r) será o mesmo do ângulo incidente (θ_i), ambos em relação ao eixo principal. E, a imagem terá o tamanho e local definido por seu prolongamento atrás do espelho. No segundo caso também se faz a prolongação do raio de luz que reflete no espelho em direção ao ponto do centro de curvatura, fato esse, devido o raio refletido voltar em sentido oposto e na mesma direção ao de incidência.

As cores dos raios é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

Figura 1.10 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico convexo. Em laranja o raio de luz passando pelo foco (F), em verde passando pelo centro de curvatura (C) e em preto se passasse pelo vértice (V). Em azul o objeto (\overline{AB}) do lado esquerdo e a imagem ($\overline{A'B'}$) do lado direito (atrás) do espelho.



Fonte: o autor

Exemplos de espelhos convexos: espelhos de lojas ou para garagem de prédios, retrovisor de veículos, Figuras 1.11 (a) e (b), respectivamente. O motivo do uso de espelhos convexos no cotidiano é por proporcionar uma ampla visão no mesmo, visto que diminuem a imagem. Outros objetos possuem a mesma propriedade, como o lado externo de uma concha ou colher de superfície refletiva e polida, uma bolha de sabão, bem como o olho humano.

Figura 1.11 – Imagens de exemplos espelhos convexos. (a) espelho saída de garagem de prédio; (b) retrovisor de automóvel.



(a)



(b)

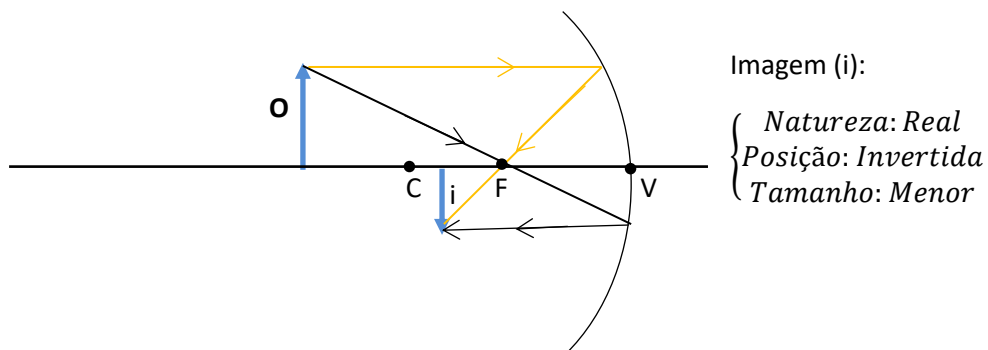
Fontes: (a) <<https://www.americanas.com.br/busca/espelho-convexo>> e (b) <<https://portaldotransito.com.br/noticias/proposta-proibe-colocacao-de-peliculas-que-comprometam-visao-de-retrovisores/>>;

No caso da formação de imagens em espelhos esféricos côncavos apresentam-se a seguir, as cinco possibilidades respeitando as leis e propriedades de reflexão. Nestes exemplos, omitiram-se a indicação de A e B como início e final do tamanho do objeto e de A' e B' para a imagem.

➤ ESPELHOS CÔNCAVOS

- 1) Para objetos situados antes do centro de curvatura C , a imagem será: real, invertida e menor que o objeto, Figura 1.12. A cor do raio é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

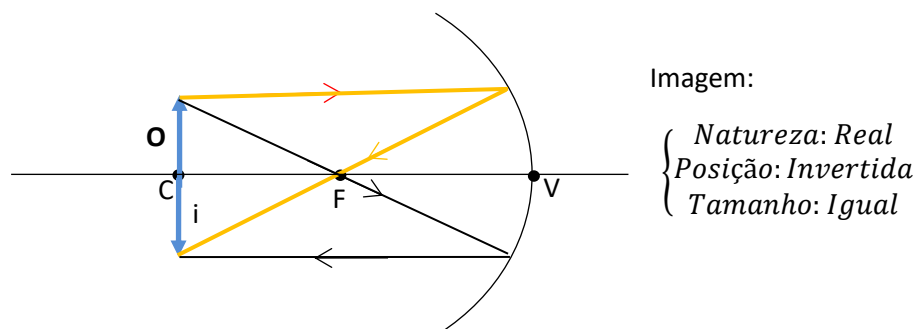
Figura 1.12 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo. Em que O é o objeto e i a imagem; C centro de curvatura, F o foco, e o vértice (V).



Fonte: o autor.

- 2) Para objetos **situados no centro de curvatura C** , a imagem será: real, invertida e igual ao objeto, Figura 1.13. A cor do raio é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

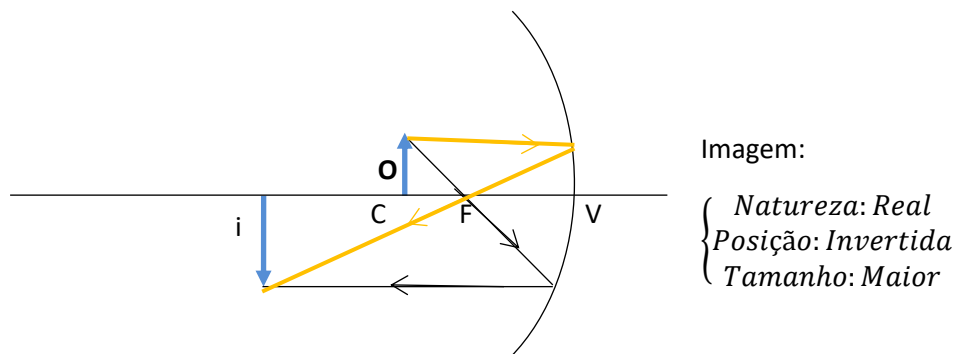
Figura 1.13 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo em que o objeto e imagem estarão situados sobre o centro de curvatura (C), F é o foco e V o vértice.



Fonte: o autor.

- 3) Para objetos situados **entre o centro de curvatura C e o foco principal F** , a imagem será: real, invertida e maior que o objeto, Figura 1.14. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória.

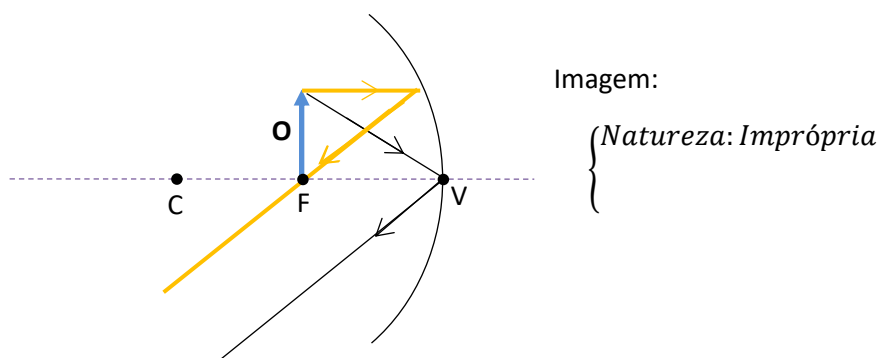
Figura 1.14 - Desenho esquemático representando um objeto (O), e sua imagem (i) em um esférico côncavo. Em que o objeto e imagem estarão situados entre o centro de curvatura (C) e o Foco Principal (F) e V o vértice.



Fonte: o autor.

- 4) Para objetos situados **sobre o foco principal F**, a imagem será: imprópria, os raios convergem no infinito, Figura 1.15. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória.

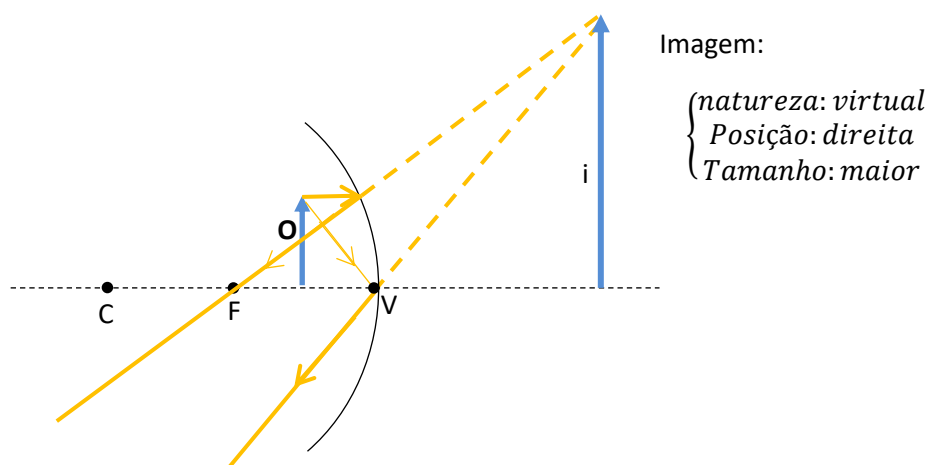
Figura 1.15 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) está sobre o foco principal (F). A imagem (i) será formada no infinito. Sendo C o centro de curvatura e V o vértice.



Fonte: o autor

- 5) Para objetos situados entre o foco principal F e o vértice V, a imagem será: virtual, direita e maior que o objeto, Figura 1.16. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória. Lembrando que o ângulo formado com relação ao eixo principal do raio refletido no vértice deve ser igual a do raio incidente nessa posição em relação ao mesmo eixo.

Figura 1.16 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) situado entre o foco principal (F) e o vértice (V). Sendo *i* a imagem formada e C o centro de curvatura.



Fonte: o autor

Exemplos de espelhos esféricos côncavos: espelho bucal odontológico (este também pode ser feito com espelho plano), espelhos de maquiagem, (Figura 1.17); o lado interno de uma concha ou colher de superfície refletida;

Figura 1.17 – Fotos de espelhos esféricos côncavos: (a) espelho bucal odontológico; (b) espelho para maquiagem.



(a)



(b)

Fontes: (a) <blogdoenem.com.br>; (b) <produto.mercado livre.com.br>.

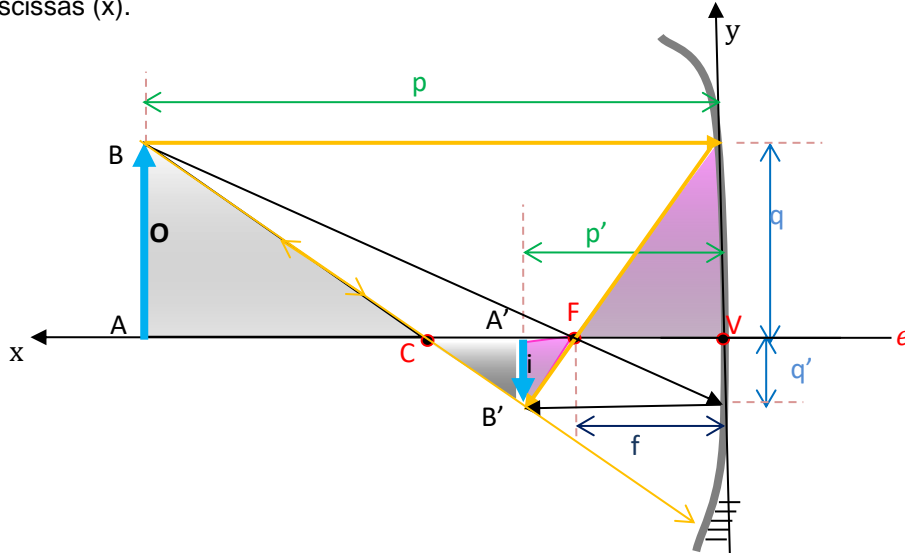
A seguir, vejamos qual é a equação fundamental dos espelhos esféricos.

1.3.2.3 Equação de Gauss ou Equação dos Pontos Conjugados

Para obter a equação de Gauss, primeiro define-se o referencial de Gauss, sendo este um referencial no sistema cartesiano que coincide com a estrutura da OG. Neste, o eixo das abscissas coincide com o eixo principal, aponta positivo para a esquerda, e o eixo das ordenadas

é posicionado sobre o espelho. Sendo a origem $(x,y) = (0,0)$ situado no vértice. Conforme ilustrado na Figura 1.18.

Figura 1.18 - Figura esquemática indicando as definições da relação do sistema cartesiano com a estrutura da OG para a formação da imagem (i) de um objeto (O) situado antes do ponto de curvatura (C). O vértice (V) coincide com a origem do sistema cartesiano (x,y) . E o eixo principal (e) com o eixo das abscissas (x).



Fonte: Figura adaptada da referência (EDUCABRAS, 2018).

Os termos utilizados na Figura 1.18 são:

p : abscissas do objeto a distância da imagem ao vértice no eixo das abscissas;

p' : abscissas da imagem a distância do objeto ao vértice.;

q : ordenada do objeto o tamanho do objeto no caso \overline{AB} ;

q' : ordenada da imagem – o tamanho da imagem, no caso $\overline{A'B'}$,

f : distância focal, a distância do foco F ao vértice (V).

A equação de Gauss relaciona a distância focal (f) com a abscissa da imagem (p'), como ilustra a Figura 1.18. A relação entre o tamanho \overline{AB} e a curvatura C, é dada por um triângulo retângulo do objeto (O). E o referente à imagem (i) é dado por $\overline{A'B'}$ e C, conforme ilustrados em azul. Por semelhança dos triângulos \overline{ABC} e $\overline{A'B'C}$, tem-se que:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'C}} \Rightarrow \frac{q}{p - 2f} = \frac{q'}{2f - p'} \Rightarrow \frac{q}{q'} = \frac{p - 2f}{2f - p'} \quad (1.2a)$$

A relação entre o tamanho \overline{FV} com a ordenada da imagem q , é dada por um triângulo retângulo em cor rosa maior. E, o referente à imagem q' é dado por $\overline{A'B'}$ e F , conforme ilustrados em cor rosa na Figura 1.18, relacionando os triângulos pela sua semelhança:

$$\frac{\overline{A'B'}}{A'F} = \frac{\overline{IV}}{\overline{FV}} \Rightarrow \frac{q'}{p' - f} = \frac{q}{f} \Rightarrow \frac{q}{q'} = \frac{f}{p' - f}. \quad (1.2b)$$

Igualando as equações (1.2 a) e (1.2 b):

$$\frac{p - 2f}{2f - p'} = \frac{f}{p' - f}$$

ou que,

$$\frac{p - 2f}{2f - p'} = \frac{f}{p' - f}. \quad (1.3)$$

A Equação (1.3) fornece a Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}. \quad (1.4)$$

O fator $\frac{1}{f}$ é conhecido como o poder de convergência do espelho (NUSSENZVEIG, 2010).

Exemplo 1.1 - Aplicação da Equação (1.3) - Para o espelho côncavo, objeto e imagem da Figura 1.18, a que distância do vértice do espelho é formada a imagem do objeto, sabendo que o objeto se encontra a 40 cm do vértice, e o espelho tem raio de 30 cm?

Resolução: Sabendo que $f=R/2 = 15$ cm, $p=40$ cm, logo $p'= 24$ cm do vértice.

➤ **Tamanho da Imagem** (NUSSENZVEIG, 2010)

A relação entre a distância da imagem (p') com relação ao objeto (p) fornece a ampliação ou redução de uma imagem:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A < 0 \text{ Imagem Invertida} \\ A > 0 \text{ Imagem Direita} \\ |A| > 1 \text{ Imagem ampliada} \\ |A| = 0 \text{ Imagem igual} \\ 0 < |A| < 1 \text{ Imagem reduzida} \end{array} \right.$$

Exemplo 1.2. No caso do exemplo 1.1, se $A = -0,6$, portanto entre 0 e 1, fornecendo uma imagem reduzida e o sinal negativo indica invertida e de tamanho 0,6 cm.

A seguir, inicia-se a seção sobre o outro fenômeno da luz denominado de refração.

1.3.3 Refração da Luz: propriedades e exemplos

A refração da luz é um fenômeno da alteração da velocidade da luz em sua propagação ao transpor diferentes meios ópticos. Para tal, considera-se que a passagem da luz de um meio homogêneo para outro, levando em consideração que sua refração⁷ seja diferente. Este fenômeno altera a velocidade da luz e desvia o raio de luz de sua trajetória inicial quando sua incidência for obliquamente à superfície. Um caso especial ocorre quando o ângulo de incidência for perpendicular à superfície, nesse caso o raio da luz não sofre variação, ou seja, não sofre desvio.

Esse fenômeno, suas propriedades e exemplos são apresentados nesta seção. Iniciando pelas propriedades da refração.

1.3.3.1 Índice de Refração

É um termo que depende da velocidade da luz no meio refringente, quanto maior a refração, maior o índice de refração. Portanto, o índice de refração é a razão entre a velocidade luz no vácuo (c) em determinado meio e a velocidade da luz no meio (v), $c \sim 3 \times 10^8$ m/s, o índice de refração absoluto (n) é dado por:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (1.5)$$

O índice de refração depende do estado físico do material, se sólido, líquido ou gasoso. Na Tabela 1.2, apresenta-se os índices de refração de algumas substâncias.

⁷ Propriedade de refratar a luz.

Tabela 1.2 – Índice de refração (n) de alguns materiais sólido, líquidos e gasosos, a 20°C.

Substância/material	n
vácuo	1
ar	1,00029
Água	1,33
Glicerina	1,473
Vidro comum	1,50
Acrílico	1,49
Diamante	2,42

Fonte: (HALLIDAY, 2009).

De posse do índice de refração pode-se obter a velocidade com que a luz se propaga no meio, utilizando a Eq. (1.5).

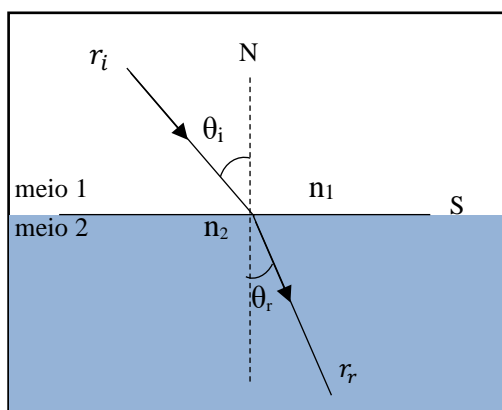
Assim como o fenômeno da reflexão, a refração também possui suas leis.

1.3.3.2 Leis da refração

O astrônomo e matemático Holandês Willebrord SNELL Van Roijen (1580-1626) e o filósofo, físico e matemático Frances René DESCARTES (1596-1650) concluíram que a lei da refração, em que um feixe de luz monocromático se propagando entre diferentes meios e que incida obliquamente sobre o plano de separação, sofre desvio em sua trajetória. Lei esta conhecida desde 1921 por SNELL-DESCARTES.

Para compreender essa lei, considere dois meios 1 e 2, com índice de refração n_1 e n_2 , respectivamente, em que incide um raio de luz de um ângulo θ_i em relação a normal N e θ_r o ângulo do raio refratado. Sendo S a superfície que separa os dois meios (essa fronteira de separação é chamada dióptro plano), conforme indicado na Figura 1.19.

Figura 1.19: Ilustração esquemática representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro, em que n_1 é o índice de refração do meio 1 e n_2 é o índice de refração do meio 2, θ_i é o ângulo incidente e θ_r é o ângulo de refração em relação a normal N .



Fonte: o autor.

A refração da luz segue duas leis:

- **Primeira Lei:** o raio incidente r_i , a normal N e o raio refratado r_r são coplanares⁸.

O raio refratado passa para o outro meio com sua velocidade alterada e

- seu desvio aproxima da normal (N) se $n_2 > n_1$;
- seu desvio afasta da normal (N) se $n_1 > n_2$;
- não sofre desvio se $n_1 = n_2$;
- não sofre desvio se o ângulo de incidência for 90° em relação a superfície de separação dos meios.

DESCARTES propôs a relação entre as velocidades da luz nos meios considerados, sendo proporcional aos senos dos ângulos θ_i e θ_r :

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} . \quad (1.6)$$

Escrevendo esta equação em termos dos índices de refração (Eq. 1.5) chegamos à segunda lei.

Segunda Lei: quando um raio de luz ao passar de um meio para outro, obliquamente, sua refração obedece a uma **lei** conhecida como **Snell-Descartes** dada por:

$$n_1 \text{sen } \theta_i = n_2 \text{sen } \theta_r . \quad (1.7)$$

Com base na lei de Snell-Descartes (Eq. 1.7), considerando a Figura 1.19.

- para $n_1 < n_2 \Rightarrow \theta_i < \theta_r$ para manter a igualdade na Eq. (1.7).

Portanto, o raio de luz ao passar de um meio menos refringente para outro mais refringente, o ângulo de incidência (θ_i) é maior que o ângulo de refração (θ_r) em relação a normal (N) à superfície, ou seja, o raio de luz ao entrar no meio 2, se aproxima da normal (N) (Figura (1.20 (a))).

- para $n_1 > n_2 \Rightarrow \theta_i > \theta_r$.

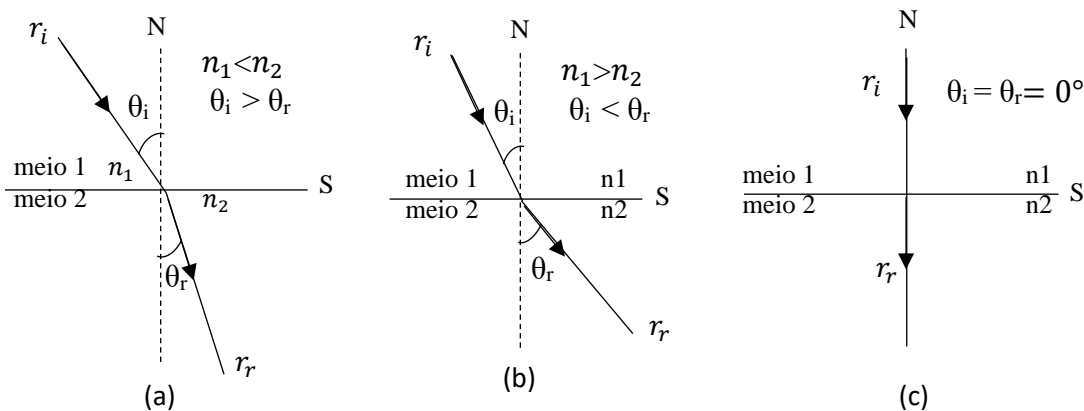
Assim, para o caso de a luz passar de um meio mais refringente para outro menos refringente, o raio de luz se afasta da normal (N) (Figura (1.20 (b))).

⁸ Situam no mesmo plano.

- para $n_1 = n_2 \Rightarrow \theta_i = \theta_r = 0^\circ$.

O raio incidente e o raio refratado estão sobre a normal (N) (Figura (1.20 (c))).

Figura 1.20 - Desenho esquemático representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro. Em que: raio incidente (r_i), raio de refração (r_r), reta normal (N) a superfície (S), índice de refração do meio 1 (n_1), índice de refração do meio 2 (n_2), ângulo de incidência (θ_i), ângulo de refração (θ_r). Para 3 situações: (a) $n_1 < n_2$; (b) $n_1 > n_2$ e (c) $n_1 = n_2$.



Fonte: adaptado da referência (HALLIDAY, 2009).

Exemplos do cotidiano onde se observa o fenômeno da refração:

- 1) Canudo que parece quebrado dentro de um copo com água (Figura 1.21 (a)): este é o mesmo efeito ilustrado na Figura 1.20 (a), em que a luz passa de um meio com índice de refração menor para maior. O raio/feixe/ de luz no caso o canudo se aproxima da normal aparentando estar quebrado.
- 2) Efeito Miragem⁹ – “água” no asfalto em um dia de calor em que o SOL brilha forte: esse é um efeito da mudança de direção da luz (refração) nas camadas de ar com diferentes temperaturas. (Figura 1.21 (b) o efeito apontado com a seta de cor vermelha).
- 3) Decomposição da luz em um prisma óptico: devido ao efeito de dispersão, o índice de refração varia conforme o espectro da luz, e assim ocorre a separação das cores quando refratadas (Figura 1.22 (a)). Efeito semelhante é o Arco-íris. (Figura 1.23).
- 4) Posição aparente do peixe dentro da água ao observá-lo de fora do lago. O processo inverso também é válido, o peixe vendo o observador. Análogo ao fenômeno da Figura 1.25 da profundidade aparente.

⁹ Uma explicação do efeito de forma mais simples encontra-se no site: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/de-que-modo-se-forma-a-miragem/>>

Figura 1.21 - Imagens ilustrativas do efeito do fenômeno da refração no cotidiano: (a) “canudo quebrado”, aproximando da normal (N); (b) efeito miragem, o asfalto parece molhado em um dia de Sol.



(a)



(b)

Fontes: (a) adaptado da referência <http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/fisica/676_fenomenos_opticos/index.html>; (b) .Wikipedia Miragem <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Miragem>>.

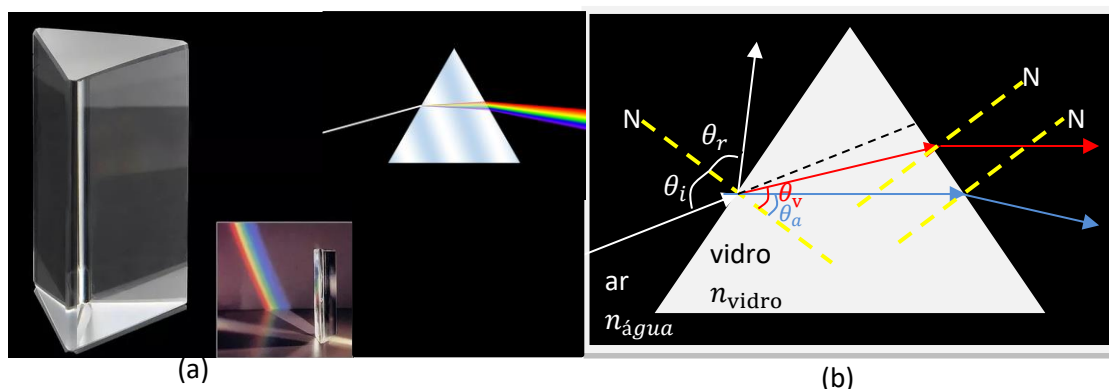
Apresenta-se a seguir, a teoria envolvida no **Prisma Óptico**.

Um prisma óptico é um prisma feito normalmente de vidro, ou outro material transparente como o acrílico. Há 3 tipos de prismas ópticos: dispersivo (refrata a luz), reflexivo (reflete a luz) e os polarizados (separa o feixe de luz)

Vejamos o referente à refração de luz, o **Prisma Dispersivo**. Com aplicabilidade de separar uma luz policromática (luz branca) em 7 feixes de luzes monocromáticas (7 cores diferentes) (Figuras 1.22 (a) e (b)).

Tanto no caso do prisma óptico dispersivo quanto o fenômeno do Arco-íris estão relacionados com o espectro apresentado na Figura 1.1, em que a luz visível possui diversos comprimentos de onda. Dependendo do meio por onde a luz passa, esta, sofre a dispersão causada pela refração do feixe de luz ao passar de um meio para outro para determinado ângulo de incidência.

Figura 1.22 – (a) Imagem fotográfica de um prisma óptico e a decomposição da luz branca; (b) um feixe de luz branca se decompondo nas cores: azul e vermelha. N são as normais a superfície do prisma, indicado também o ângulo de incidência (θ_i) e o de reflexão (θ_r) da luz.



Fontes: (a) Mercado livre- Prisma Óptico; e Wikipédia <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Prisma_\(%C3%B3ptica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Prisma_(%C3%B3ptica))>; (b) cedido por H. Mukai adaptado das referências (FRAGNITO e COSTA, 2010 e CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>).

Quanto menor o comprimento de onda (λ) maior o índice de refração (n), como pode ser visto pela Equação (1.5), visto que a velocidade da luz depende do seu comprimento de onda ($v = \lambda f$, em f é a frequência de oscilação da onda).

A Figura 1.22 (b) ilustra um feixe de luz branca incidindo em um dos vértices do prisma com um ângulo θ_i . Uma parte sofre reflexão de um ângulo θ_r que é igual ao de incidência, e a outra parte, é refratado ao passar do ar para o vidro, representada nas cores azul e vermelha, o mesmo ocorre com as demais cores que a luz branca é composta. Como $n_{\text{água}} < n_{\text{vidro}}$, os feixes refratados (vermelha e azul) se aproximam da normal (N) com ângulos θ_v e θ_a , sendo $\theta_v > \theta_a$.

Quando passam do vidro para o ar, ocorre o oposto, os feixes refratados, azul e vermelho se afastam da normal, abrindo em leque as cores da luz branca com ângulo de abertura maior do que ocorre internamente, mas na mesma sequência de cores. Sendo que a decomposição ocorre em 7 cores: vermelha, laranja, amarelo, verde, azul, índigo (anil) e violeta.

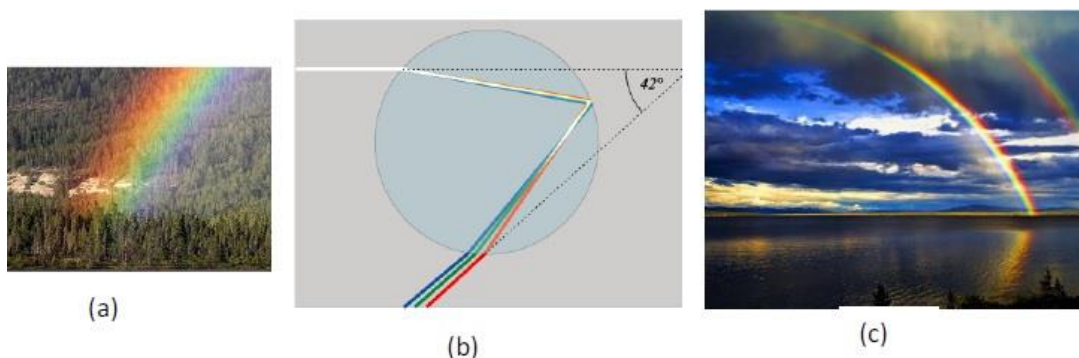
Ligado a essa decomposição da luz branca, está um efeito da natureza que é o Arco-íris (Figura 1.23 (a)). Em que, o Sol está posicionado no lado oposto do centro do Arco-íris, atrás do observador, e a chuva entre o observador e o Arco-íris. Quanto mais o Sol estiver a pino menor o arco da curva, e quanto mais próximo do pôr do Sol maior o arco da curva. Em alguns casos é possível observar o círculo completo¹⁰, para isso o observador deve estar em um local

¹⁰ Uma imagem desse efeito pode ser obtida na referência: <<http://www.astropt.org/2014/10/09/arco-iris-circular/>>.

mais alto do que o local de formação do Arco-íris. Destacando que os raios solares ao incidir nas gotas podem ser considerados paralelos uns em relação ao outro devido à distância ao Sol.

A luz do Sol ao incidir nas gotículas e gotas da chuva sofre o fenômeno da dispersão da luz por: refração quando a luz entra na gota, reflexão total dentro da gota, e nova refração ao sair da gota. Quando o ângulo entre as refrações for de 42° a intensidade das cores é maior (Figura 1.23(b)). Para o Arco-íris duplo (Figura 1.23 (c)) em que no segundo arco as cores são em ordem invertida o ângulo está entre 50° a 53° . Este é formado quando ocorre mais de um processo refração, reflexão total e refração, denominado Arco-íris secundário.

Figura 1.23 - (a) Foto de um Arco-íris; (b) desenho ilustrativo de uma gota de chuva, da refração da luz ao entrar, reflexão interna total e refração da luz ao sair, e (c) Foto de um duplo Arco-íris.



Fonte: (a) e (b) Wikipédia_arco Iris; (c) iGUi ECOLOGIA, 2018.

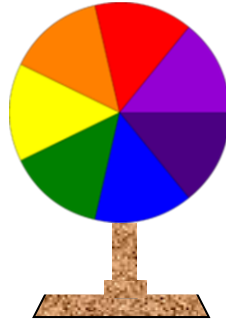
Conforme citado por Figueiredo, Descartes fez um experimento, para descrever o fenômeno do arco íris com uma esfera simulando a gota de água, e descreveu:

“Eu peguei uma caneta e fiz um cálculo acurado do conjunto de raios que incidiam em diferentes pontos do globo de água, para determinar em que ângulos, depois de duas refrações e uma ou duas reflexões eles chegarão ao olho, e então encontrei que após uma reflexão e duas refrações há muito maior número de raios que podem ser vistos em um ângulo de quarenta e um até quarenta e dois graus, do que em qualquer outro ângulo menor, e de que não há nenhum que possa ser visto em um ângulo maior”. É esta concentração de raios perto do menor desvio que dá origem ao arco do Arco-íris. Este raio é denominado de Raio Descartes ou do Arco-íris. (FIGUEIREDO, 2019)

As cores são as mesmas da dispersão em um prisma óptico, e para lembrar a ordem das cores, usam a frase mnemônica: “Vermelho LA VAI Violeta” (Wikipedia _Arco-íris).

Ligado aos experimentos de Descartes, está o de Newton, que em 1666, demonstrou o processo inverso, ou seja, que as 7 cores combinadas parecem branca aos olhos humanos. Para verificar esse efeito, basta confeccionar o disco de Newton (Figura 1.24), e girar o mesmo.

Figura 1.24 – Desenho ilustrativo do disco de Newton.

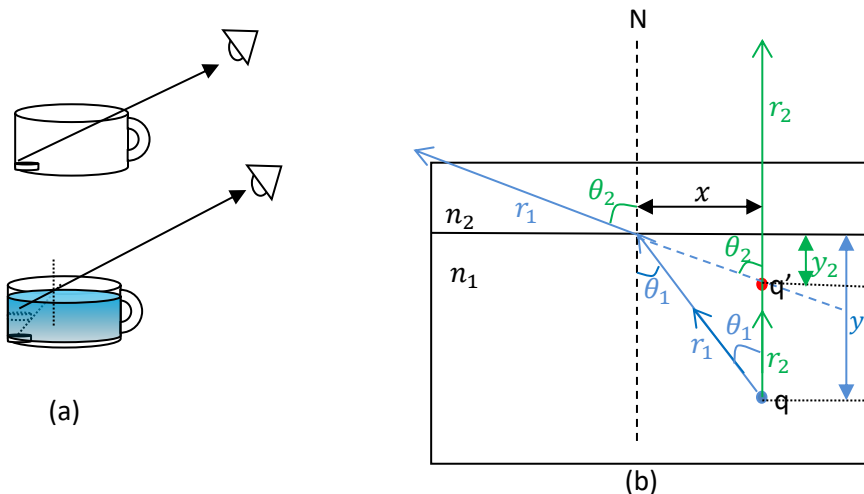


Fonte: adaptado do Wikipedia_Disco de Newton.

E, por último apresenta-se o fenômeno da refração da profundidade aparente.

Este fato apresenta-se no experimento em que se coloca uma moeda em uma xícara, e de determinado ângulo o observador nada vê, ao colocar água na xícara, o mesmo consegue do mesmo ângulo observar a moeda (Figura 2.25 (a)). Também observado na natureza por pescadores que usam lanças para pescar. O peixe parece estar em determinada posição, mas está em outra mais profunda. Esses fenômenos são tratados pela OG. A Figura 2.25 (b) apresenta o comportamento da luz no objeto.

Figura 1.25 – Desenho ilustrativo (a) visualização da moeda quando se coloca água na xícara, e (b) comportamento da luz, com o raio de luz saindo do objeto em azul r_1 e verde r_2 , sendo n_1 o meio onde está o objeto e n_2 o observador, N a normal a superfície, y_1 e y_2 a distância do objeto e da imagem à superfície (dióptro plano) respectivamente, x a distância da normal a posição do objeto (q)/imagem (q').



Fonte: Adaptado da ref. CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>

Utilizando a Lei de Snell-Descartes (Eq. 1.7):

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Considerando que os ângulos são pequenos, $\text{sen } \theta \cong \text{tg } \theta$: $\text{tg } \theta_1 = \frac{x}{y_1}$ e $\text{tg } \theta_2 = \frac{x}{y_2}$,

$$\frac{\frac{y_1}{x}}{\frac{y_2}{x}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Obtém-se que:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

ou considerando as profundidades $y = d$:

$$d_{\text{real}} = d_{\text{aparente}} \frac{n_{\text{objeto}}}{n_{\text{observador}}}. \quad (1.8)$$

Exemplo¹¹ 1.3 - Um peixe situado a uma distância aparente de 1,0 m abaixo da superfície da água, e uma pessoa observando de cima da superfície a 1,50 m, qual é a distância real do peixe do ponto de vista do observador?

Resolução - Utilizando a Eq. (1.7) tem-se que $d_{\text{real}} = 1,0 \text{ m} \frac{1,33}{1} = 1,33 \text{ m}$, da superfície. Logo para o observador deve-se adicionar a essa quantidade a altura em que seus olhos está situado 1,50 m, portanto a 2,83 m.

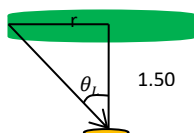
Há também o ângulo limite θ_L da qual ocorre a reflexão total da luz, e isso ocorre quando $\theta_r = 90^\circ$. Obtendo que $n = \frac{1}{\text{sen } \theta_L}$ e reescrevendo-a:

$$\theta_L = \text{arc sen} \left(\frac{1}{n} \right). \quad (1.9)$$

Exemplo¹¹ 1.4 - Qual o ângulo limite para que um pescador não visualize um peixe a uma profundidade de 1,50 m, escondido centralizado embaixo de uma vitória-régia? E qual deve ser o raio da vitória-régia?

Resolução: que o ângulo limite é dado pela Eq. (1.9):

Desenho ilustrativo da relação entre o ângulo limite e o raio da vitória-régia.



$$\theta_L = \text{arc sen} \left(\frac{1}{1,33} \right) = 48,8^\circ.$$

$$\text{tg} (48,8) = \frac{r}{1,50} \Rightarrow r = 1,71 \text{ m}.$$

Na próxima seção, apresenta-se o tema e conteúdo sobre lentes no contexto da Óptica Geométrica.

¹¹ **Fonte:** Adaptado da ref. CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>

1.3.4 Lentes

As lentes são dispositivos ópticos transparentes que funcionam com a propriedade da refração da luz. As mais comuns são: esféricas e do tipo convergentes ou divergentes; ou cilíndricas. O material de sua confecção varia: o mais comum sendo a de vidro/cristal (como as lentes de Layard que eram cristais utilizados como lentes a 721 a.C.), acrílico, policarbonato e resina.

As lentes esféricas caracterizam-se por apresentarem bordas espessas ou finas. São úteis comercialmente em óculos¹² para a correção de anomalias visuais, máquinas fotográficas, telescópio, filmadoras, binóculos, projetores etc. São convergentes quando direcionam a luz para um único ponto, como o caso de óculos e lupas usados para corrigir problemas visuais como a hipermetropia. E, divergentes, quando necessita expandir um feixe de luz ou expandindo o campo visual, cobrir um grande ambiente, como o caso dos olhos mágicos instalados em portas ou lentes de óculos para correção de miopia. No caso de astigmatismo também é utilizada a lente chamada de tórica ou cilíndrica, e não será teoricamente aqui explorado.

1.3.4.1 Tipos de Lentes Esféricas

Os tipos de lentes são classificados em Convergentes e Divergentes. Nas Figuras 1.26 (a) a (f) estão apresentadas o desenho esquemático de cada uma delas e na maioria está também uma imagem fotográfica da lente e seu efeito. Segue a descrição de cada uma delas.







- 1) Convergentes (positivas) – as bordas são mais finas que o centro, e são dos tipos:
 - Biconvexa: duas partes convexas – Figura 1.26 (a);
 - Plano-Convexa: um lado convexo e outro plano – Figura 1.26 (b);
 - Côncavo-Convexa: um lado côncavo e outro convexo – Figura 1.26 (c).

- 2) Divergentes (negativas) – se o centro é mais fino que as bordas e são dos tipos:
 - Bicôncava: 2 lados côncavas – Figura 1.26 (d);
 - Plano-Côncava: 1 lado côncavo e outro plano – Figura 1.26 (e);

¹² O primeiro óculos surgiu no ano I d. C., primeiramente constituídos com um só aro, e sendo que os constituídos de 2 aros de acordo com fatos históricos foi inventado na Alemanha em 1270 e Itália 1280. A citação do uso da palavra óculos, é registrado em 1289, na Itália pela Família Popozo. O aparecimento das hastes para apoio nas orelhas aconteceu o século XVII. Já os bifocais devemos a Benjamim Frankilin quem inventou em 1785, atualmente chamados de multifocais. A produção e indicação por oftalmologistas iniciou em meados dos anos 1800. No Brasil trazido pelos Portugueses, iniciou se a indicação no século XVI. Fonte:< <https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/quem-inventou-os-oculos.html>>.

- Convexo-Côncava: 1 lado convexo e outro côncavo - Figura 1.26 (f).

Figura 1.26 – Desenhos ilustrativos dos formatos dos tipos de lentes convexas e fotos: (a) biconvexa; (b) Plano-convexa e (c) côncavo-convexa e as lentes côncavas: (d) bicôncavas; (e) plano-côncava – de lado e na horizontal e a (f) convexo- côncava.

Lentes Convexas		Lentes Côncavas	
(a)		(d)	
(b)		(e)	
(c)		(f)	

Fonte: elaborado pelo autor baseado na referência YAMAMOTO e FUKU, 2016. As imagens fotográficas foram cedidas por H. Mukai registradas com lentes do lab. de Física Experimental IV do DFI/UEM.

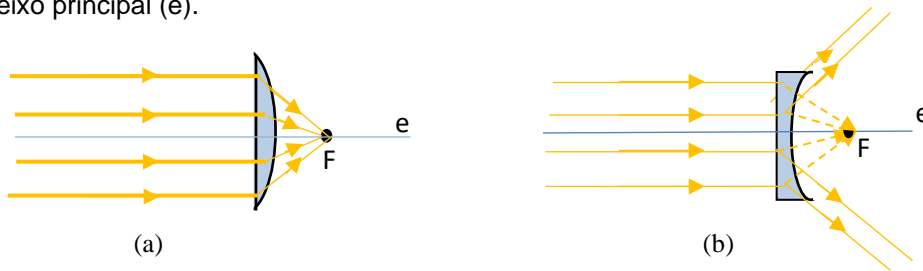
Apresentado os tipos de lentes esféricas convergentes e divergentes, apresenta-se a seguir o comportamento óptico das mesmas.

1.3.4.2 Comportamento Óptico

Ao incidir em uma lente um feixe de luz paralelo ao seu eixo principal, de acordo com sua refração e o tipo da lente, os raios convergem ou divergem:

- Lentes convergentes: são aquelas que aproximam os raios de luz que incidem sobre elas em um único ponto (foco) (Figura 1.27 (a)).
- Lentes divergentes: são aquelas que sofrem dupla refração e divergem os raios de luz que incidem sobre elas (Figura 1.27 (b)).

Figura 1.27 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica: (a) convergente e (b) divergente. Sendo F o ponto focal, e em azul o eixo principal (e).



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

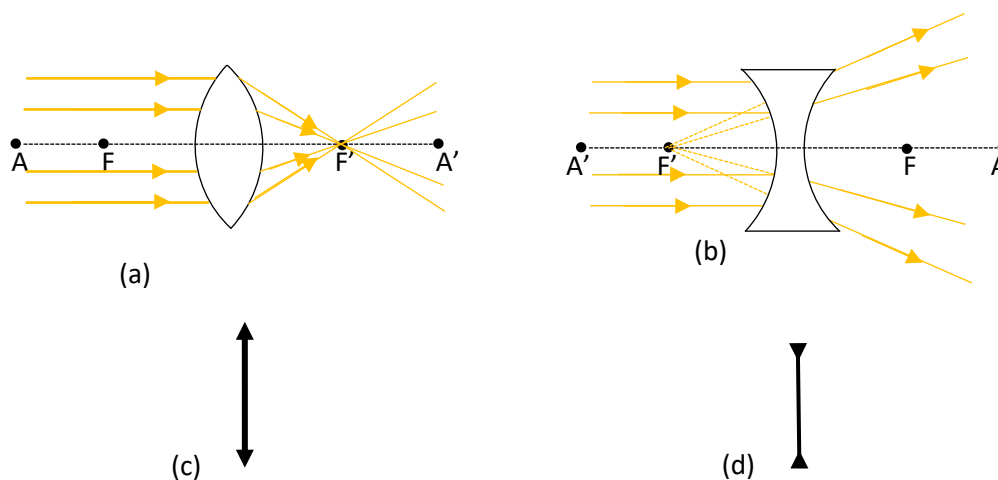
1.3.4.3 Distância Focal de uma Lente

Nas Figuras 1.28 (a) e (b), sobre o eixo principal estão os seguintes pontos:

- Foco (F ou F') é definido como qualquer ponto para o qual converge ou diverge um feixe de luz. A distância focal (f) é a medida do centro óptico até o foco (F ou F') da lente. Esta medida representa a metade da medida do centro da curvatura da lente.
- O ponto antiprincipal (A ou A') refere-se à medida equivalente a $2f$, ou seja, duas vezes a distância entre a medida do foco da lente (F ou F') até a lente.

As Figuras 1.28 (c) e (d) é a representação de lentes convergentes e divergentes, respectivamente.

Figura 1.28 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica sendo A e A' os pontos antiprincipal e F e F' os focos de lente: (a) convergente e (b) divergente. E, a representação de lentes (c) convergentes e (d) divergentes.



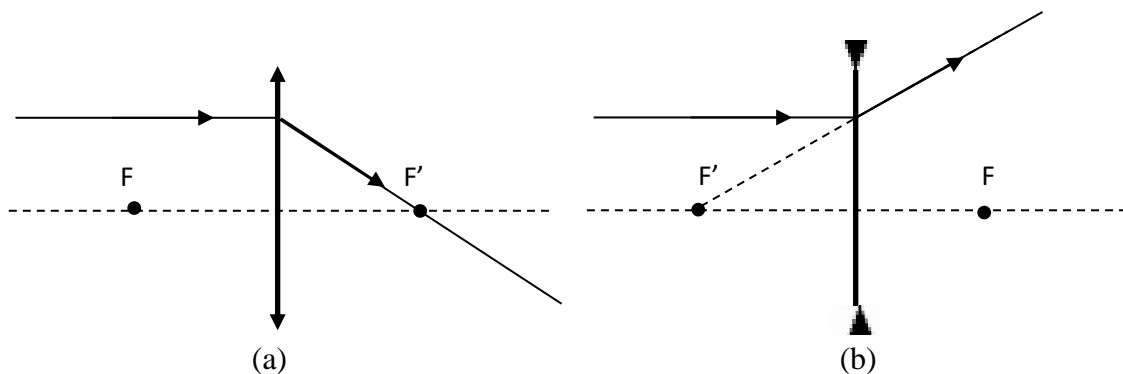
Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

1.3.4.4 Propriedades das Lentes Esféricas

De acordo com a incidência do raio de luz em uma das faces da lente, ele sofrerá refração e emerge na outra face conforme as características a seguir:

- Para um raio incidente paralelo ao eixo principal em uma lente convergente, este emerge na direção do foco principal imagem F' . Em uma lente divergente, este diverge a partir do foco principal imagem F' , Figura 1.29 (a) e (b).

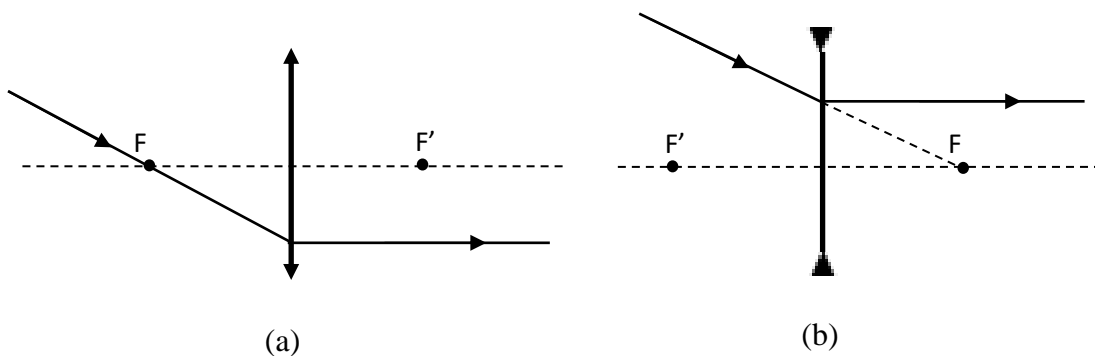
Figura 1.29 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente, (a) convergente e (b) divergente, quando incide paralelamente na mesma, passa pelo foco F' .



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Um raio de luz incidente na direção do foco principal F emerge paralelo ao eixo principal, Figura 1.30 (a) e (b).

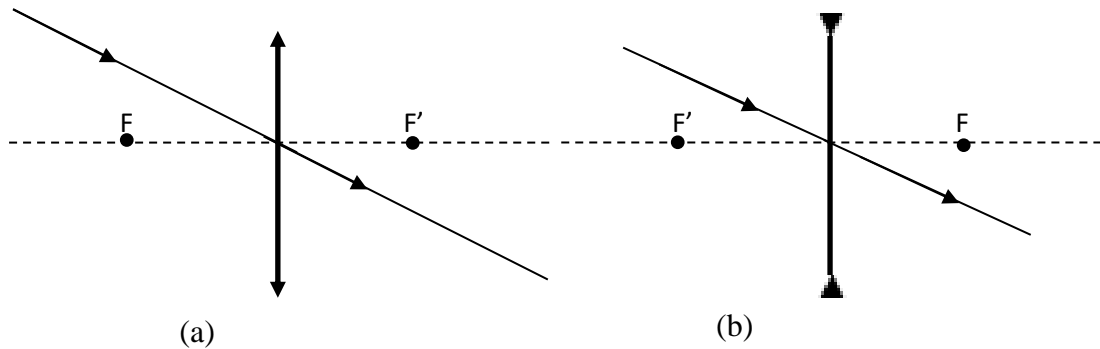
Figura 1.30 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente: (a) convergente e (b) divergente, quando incide na direção do foco F .



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Um raio de luz incidente na direção do centro óptico emerge sem sofrer desvios conforme ilustrado nas Figuras 1.31 (a) e (b).

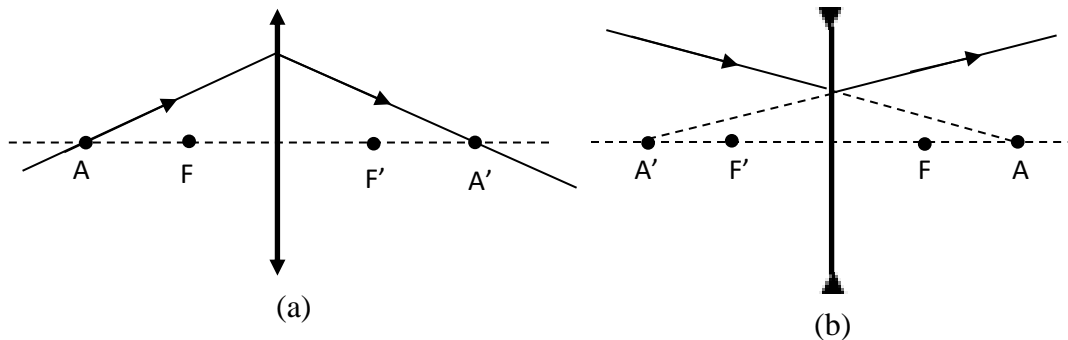
Figura 1.31 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente convergente (a) e divergente (b) quando incide na direção do centro óptico.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- As Figuras 1.32 (a) e (b) ilustram o comportamento de um raio de luz incidente na direção do ponto antiprincipal objeto A em uma lente, emerge na direção do ponto antiprincipal imagem A'.

Figura 1.32 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente (a) convergente e (b) divergente, quando emerge do ponto antiprincipal (A e A'). Sendo, F e F' os pontos focais.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

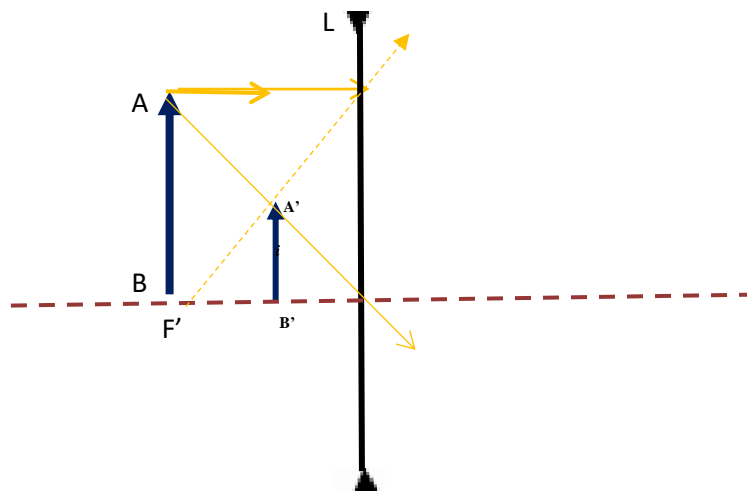
1.3.4.5 Construção Geométrica de Imagens

Nesta subseção apresentam-se a construção geométrica de imagens em lentes divergentes e convergentes. Sendo um tipo de representação para as lentes divergentes e cinco tipos para as lentes convergentes.

1.3.4.5.a Lentes Divergentes

Independentemente da posição do objeto (O), sendo \overline{AB} a sua altura e colocado diante de uma lente L divergente, teremos um único tipo de imagem (i) com $\overline{A'B'}$ de altura e suas características serão: virtual, direita e menor que o objeto, Figura 1.33.

Figura 1.33 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear (\overline{AB}) colocado diante de uma lente esférica divergente (L), cuja imagem é a $\overline{A'B'}$.

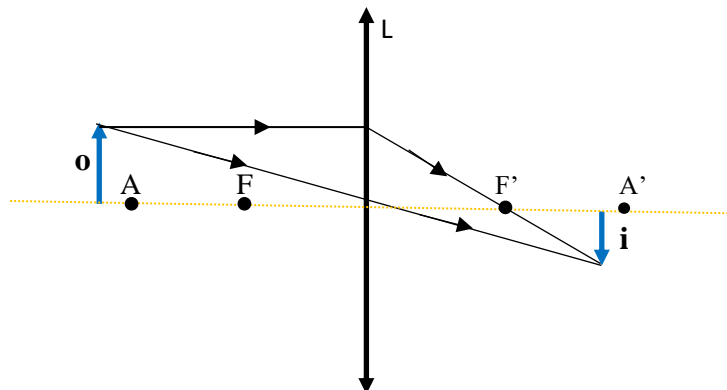


Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

1.3.4.5.b Lentes Convergentes

- Para o objeto O posicionado à esquerda da lente L , antes do ponto antiprincipal objeto A , sua imagem i formada será: real, invertida e menor, Figura 1.34.

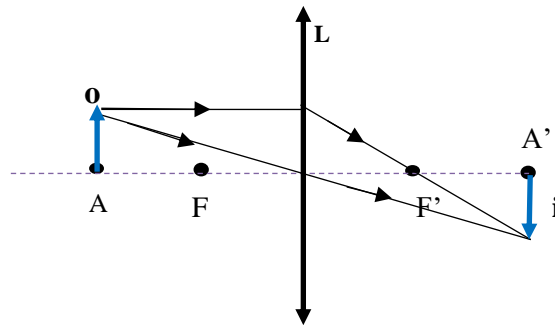
Figura 1.34 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear (O) posicionado antes do ponto antiprincipal objeto A . Sendo L a lente convergente.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016)

- Para o objeto O posicionado no ponto antiprincipal objeto A , a imagem i será: real, invertida e igual ao objeto, formada sobre o ponto antiprincipal imagem A' - Figura 1.35.

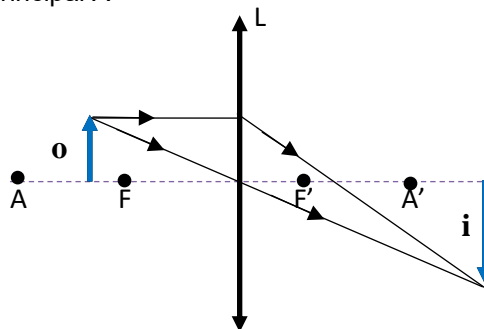
Figura 1.35 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear (O) posicionado no ponto antiprincipal objeto A e a imagem i formada no ponto antiprincipal A' . Sendo L a lente convergente, F e F' os pontos focais.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2006).

- Para o objeto O , posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F , a imagem i se formará após o ponto antiprincipal A' e será: real, invertida e maior que o objeto, Figura 1.36.

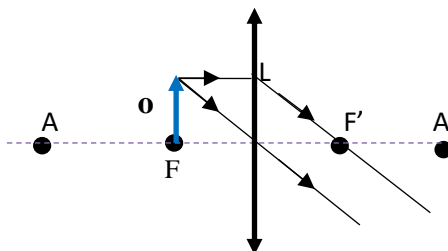
Figura 1.36 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear (O) posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco F . Sendo L a lente convergente e i a imagem, maior e após o ponto antiprincipal A'



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2006).

- Para o objeto O posicionado sobre o foco objeto F , a imagem i será: imprópria, se forma no infinito, (Figura 1.37).

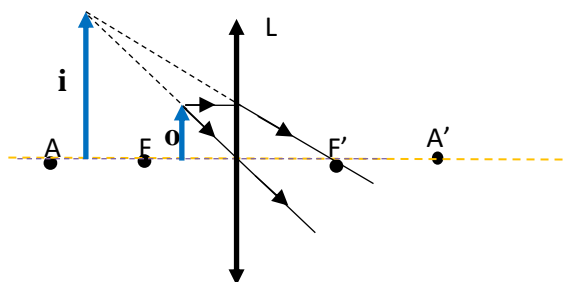
Figura 1.37 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear (O) posicionado sobre o foco F. A imagem *i* será formada no infinito. A e A' são os pontos antiprincipais objeto e imagem respectivamente, e F' o foco imagem.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2006).

- Para o objeto O posicionado entre o foco F e o centro óptico, a imagem *i* será: virtual, direita e maior que o objeto, conforme indicado na Figura 1.38.

Figura 1.38 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica. O objeto linear (O), posicionado entre F e a lente (L), a imagem (*i*) se forma entre o foco (F) e o ponto antiprincipal (A).



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2006).

Apresentado como se formam as imagens em lentes esféricas convergentes e divergentes, na próxima seção será apresentada os principais aspectos do globo ocular, suas anomalias e explorar como a imagem se forma no olho humano.

1.3.5 Formação de Imagem no Olho Humano

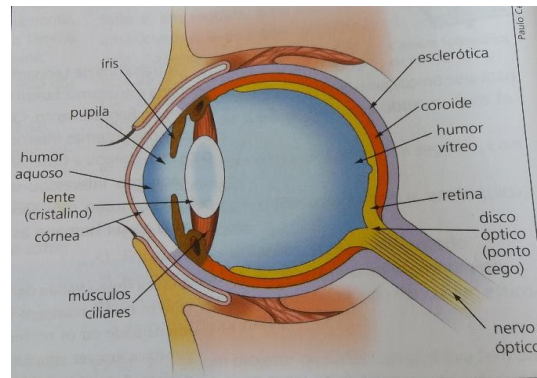
Nesta seção apresentar-se-á a estrutura do globo ocular e algumas anomalias da visão. Bem como alguns tipos de lentes esféricas utilizados em sua correção.

1.3.5.1 O Olho Humano

O motivo da apresentação desta subseção é devido no PE umas das propostas experimentais ter sido a da construção de um protótipo de olho humano e a observação da formação da imagem no mesmo, logo, uma aplicação da compreensão da formação de imagens

em lentes. A estrutura do globo ocular possui um formato praticamente esférico. Os olhos estão alojados em cavidades orbitais da face e apresentando da parte externa para o sentido da cavidade (YAMAMOTO e FUKE, 2016) e é composto por (Figura 1.39):

Figura 1.39 - Imagem esquemática ilustrando um olho humano, seus elementos estão sem proporção entre si e suas cores são ilustrativas.



Fonte: Adaptado da ref. (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Córnea: membrana transparente localizada à frente da íris.
- Íris: parte colorida do olho tem como principal função controlar os níveis e luz que entra nos olhos, similar ao diafragma de uma câmera fotográfica.
- Pupila: é a abertura central da íris, de acordo com a luminosidade ambiente, varia o seu diâmetro, controlando a entrada de luz nos olhos.
- Humor aquoso: líquido transparente que regula a pressão da membrana intraocular.
- Cristalino: estrutura transparente com formato de lente biconvexa, funciona como uma lente sendo capaz de aumentar o grau, para focalizar imagens.
- Músculos ciliares: sua função é sustentar o cristalino e modificar seus raios de curvatura.

Parte posterior:

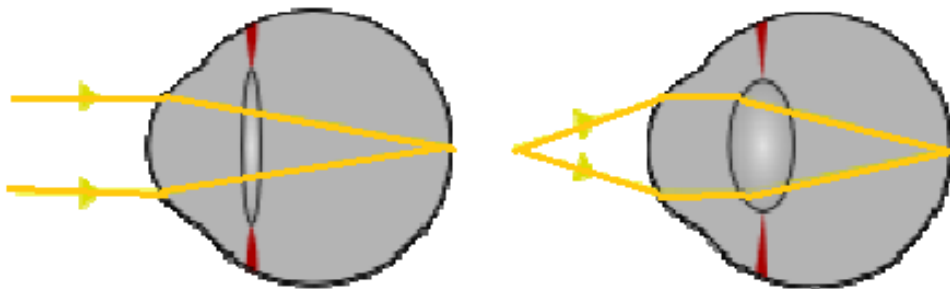
- Esclerótica: membrana opaca que reveste quase todo o globo ocular.
- Coróide: situa-se entre a esclerótica e a retina, sua função é servir como um canal de nutrição da retina.
- Humor vítreo: substância incolor, transparente e gelatinosa, sua função é manter a forma esférica do olho.
- Retina: camada de natureza nervosa, sensível à luz, ligado ao nervo óptico.
- Disco óptico: região de convergência das fibras nervosas que compõe o nervo óptico e a retina.

- Nervó óptico: conjunto de estrutura cuja função é transmitir as sensações luminosas ao cérebro.

1.3.5.2 Formação de Imagem

A imagem é formada no fundo dos olhos (sobre a retina), e a forma como os olhos focam a luz está ilustrada na Figura 1.40 (a) quando a luz chega paralela e, (b) de um único ponto.

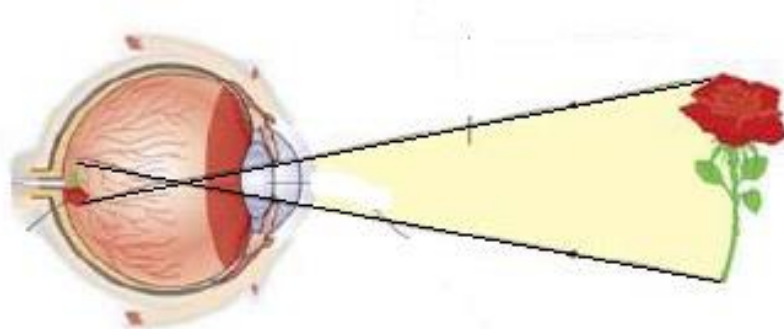
Figura 1.40 – Figura ilustrativa de como os olhos focam a luz: (a) paralelos e de (b) um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.



Fonte: Wikipedia_olho: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Olho>> .

A imagem é normalmente: **real, invertida e menor que o objeto** (Figura 1.40) e formada sobre a retina após passar pelo cristalino que funciona como uma lente biconvexa.

Figura 1.41 – Ilustração da formação de imagem no olho humano.



Fonte: Adaptado da referência, explicatorium_olho humano <<http://www.explicatorium.com/cfq-8/olho-humano.html>>.

1.3.5.3 Acomodação Visual

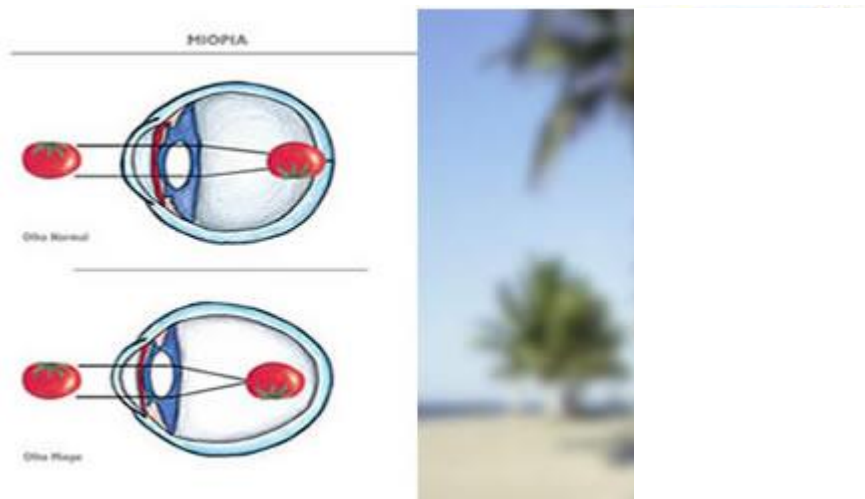
É a variação da distância focal para obter imagens nítidas.

- a mínima distância da visão para que uma pessoa possa ver, é denominado campo mínimo visual, nestas condições, os nervos ciliares estão contraídos ao máximo.
- a máxima distância possível da visão para que uma pessoa possa ver, denominada campo máximo visual, nestas condições, os músculos ciliares estão totalmente relaxados.

1.3.5.4 Anomalias da Visão e Tipos de Lentes para Correção

Miopia: achatamento do globo ocular, perpendicularmente ao seu eixo óptico, o globo ocular é alongado, Figura 1.42. Correção: uso de lentes divergentes.

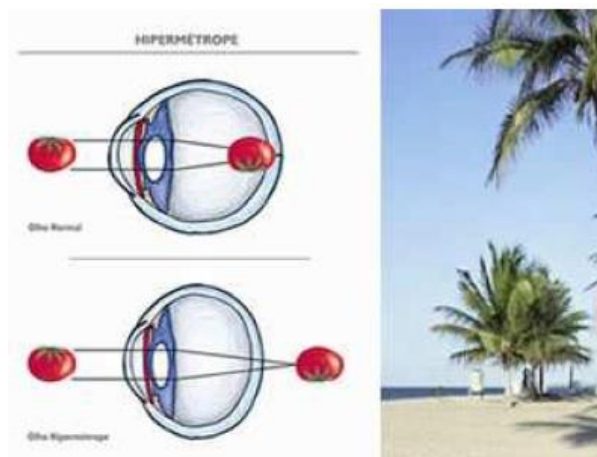
Figura 1.42 – Imagem ilustrativa de como se forma a imagem para um olho míope e a direita a imagem sem foco a partir de certa distância. Até a um palmo dos olhos, normalmente, o míope enxerga nítido.



Fonte: Adaptado da ref. BRASIL ESCOLA <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.html>.

Hipermetropia: achatamento do globo ocular, longitudinal ao seu próprio eixo, o olho é encurtado. De longe enxerga bem (Figura 1.43) e de perto enxerga desfocado semelhante a imagem borrada da Figura 1.42. Correção: Lentes convergentes fará com que a imagem se forme sobre a retina.

Figura 1.43 – Imagem ilustrativa de como se forma a imagem para olhos com hipermetropia enxerga-se bem longe.



Fonte: Adaptado da ref. BRASIL ESCOLA <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.htm>>

Presbiopia: endurecimento do cristalino do olho e, por conseguinte, tem a perda da capacidade da acomodação visual. **Correção:** uso de lentes bifocais - convergentes e divergentes.

Astigmatismo: anomalia na córnea, com raios de curvatura irregulares, o que ocasiona uma visão manchada (sem foco) dos objetos. A **correção** é feita utilizando-se lentes cilíndricas.

Estrabismo: incapacidade de dirigir para um mesmo ponto os eixos ópticos dos olhos; Uso de lentes prismáticas, e dependendo do caso podem ser corrigidas por meio de exercícios visuais.

Catarata: perda de transparência do cristalino do olho, que se torna opaco. Resolvido com cirurgia substituindo o cristalino por uma lente.

Daltonismo: defeito de causas genéticas que impede a percepção de algumas ou todas as cores.

CAPÍTULO 2 – PRODUTO EDUCACIONAL – METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo apresentaremos a sequência metodológica, bem como o desenvolvimento do Produto Educacional do presente trabalho. O PE trata-se de uma metodologia de aplicação de uma série de experimentos, confeccionados com materiais de baixo custo e/ou fácil acesso, para trabalhar questões disponíveis em referências disponíveis na *Internet* baseado em dúvidas dos alunos de anos anteriores.

2.1 Metodologia

Este produto educacional subsidia o trabalho dos tópicos referentes à Óptica Geométrica de modo a possibilitar que o estudante relacione a aprendizagem da óptica na sua vivência para que o conhecimento adquirido possa fazer sentido na compreensão dos fenômenos do cotidiano.

Deste modo, os experimentos têm caráter investigativo que possibilita o reconhecimento do novo (teoria) com o antigo (conhecimentos prévios) a partir do uso de materiais simples e de baixo custo, o que facilita aos estudantes a aquisição desses materiais e a oportunidade de reelaboração dos subsunçores, configurando-se numa aprendizagem significativa. Portanto, o estudante adquire uma postura investigativa, tendo neste material uma forma potencial de desenvolvimento significativo que proporciona uma aprendizagem significativa sobre a Óptica Geométrica.

Os experimentos podem ser reproduzidos e utilizados em qualquer ambiente escolar, pois não requerem espaço específico e pode ser trabalhado na própria sala de aula. O propósito é assegurar a aquisição da aprendizagem significativa que propicie uma postura crítica sobre os aspectos que norteiam a ciência. As atividades foram desenvolvidas em 09 horas aulas (cada hora/aula têm 50 minutos) com alunos do segundo ano do ensino médio.

O Produto Educacional fundamenta-se na valorização da participação do estudante, em que o desenvolvimento de cada experimento é tratado em no máximo quatro etapas:

- 1º – Disponibilização do aparato experimental, aplicação de um questionário para que os alunos escrevam o que sabem sobre seu funcionamento.
- 2º – Manuseio do aparato pelos alunos, com aplicação em paralelo de um questionário sobre os efeitos observados.
- 3º – Por meio do docente realizando junto o experimento e explicando o fenômeno físico, aplicação de um questionário sobre a observação feita por parte dos alunos, pesquisa no livro didático para auxiliar nas resoluções das respostas.

4º – Atividade de pesquisa em que o aluno traga uma proposta teórica ou experimental (com materiais de acesso a sua realidade) que envolva o conteúdo abordado.

No Quadro 2.1 apresenta-se o conteúdo a ser abordado por aula, utilizado na aplicação do PE.

Quadro 2.1 - Distribuição do conteúdo por aula para aplicação do PE.

Atividade/Conteúdo	Número de aulas	Temas	Experimentos
Iniciando com um pré-teste, seguido de um debate.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimentos prévios. 	--
Decomposição da luz, radiação eletromagnética.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir os tipos de fontes de luz; • Discutir os fenômenos da propagação retilínea. 	Prisma óptico; Disco de Newton.
Reflexão da luz.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Leis da reflexão • Conceito de raio de luz incidente e refletido 	Pente reflexivo
Refração da luz.	01	<ul style="list-style-type: none"> • O que é refração; • Leis da refração; • Fenômenos da reflexão total e dispersão. 	Desvio do raio de luz.
Espelhos planos.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de imagens virtuais. 	Associação de espelhos planos
Espelhos esféricos.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de imagens; • Equações matemáticas; • Propriedades de formação de imagens. 	Superfícies refletoras esféricas
Lentes.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Lentes: convergentes e divergentes; • Elementos geométricos de uma lente; • Propriedades de formação de imagens. 	Lentes de aumento
Olho Humano e as anomalias da visão	01	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de imagens dentro do olho; • Problemas visuais. 	Protótipo do olho humano.
Pós-teste	01	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados sobre a evolução da aprendizagem. 	--

Fonte: o autor.

2.1.1 Encaminhamento Metodológico

Nesta seção, apresenta-se o encaminhamento metodológico de aplicação das nove aulas do PE. No Apêndice I está apresentado um gabarito das respostas dos questionários.

2.1.1.1 Aula 01- Conhecimentos Prévios – Pré-Teste

Desenvolvimento - Nesta primeira aula investiga-se por meio de um pré-teste, o conhecimento dos alunos em relação aos conceitos abordados sobre Óptica Geométrica. Na sequência, as questões¹³ do pré-teste aplicado aos alunos.

ATIVIDADE - PRÉ-TESTE.

- 1) O que é luz?
- 2) O que é refração?
- 3) O que é reflexão?
- 4) Como é formado o Arco-íris?
- 5) Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?
- 6) Qual problema da visão pode ser corrigido com uma lente divergente:
 - a) hipermetropia
 - b) miopia
 - c) glaucoma
 - d) catarata
 - e) nenhuma das alternativas anteriores
- 7) O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz:
 - a) é independente quando se propaga.
 - b) é reversível quando se propaga.
 - c) se propaga em linha reta.
 - d) se propaga em linha curva.
 - e) contorna os objetos ao se propagar.
- 8) Ao observar um objeto que não seja a fonte de luz e este se apresenta na cor azul. O objeto parece azul por quê:

¹³ As questões adotadas são adaptadas e/ou selecionadas de bancos de questões disponíveis na *internet*, cujos direitos autorais pertencem a quem as formularam.

- a) refrata a luz azul.
- b) difrata a luz azul.
- c) emite luz azul.
- d) reflete luz azul.
- e) nenhuma das alternativas anteriores.

9) A Figura A ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada:

- a) em frente do espelho.
- b) na superfície do espelho.
- c) atrás do espelho.
- d) não é possível saber.
- e) as informações não são suficientes para determinar.

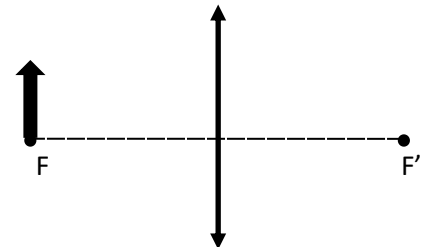
Figura A: Ilustra uma bola e um observador diante de um espelho plano.



10) A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

- a) imagem real, invertida e menor.
- b) imagem real, invertida e igual.
- c) imagem real, invertida e maior.
- d) imagem imprópria se forma muito longe.
- e) imagem virtual, direita e maior.

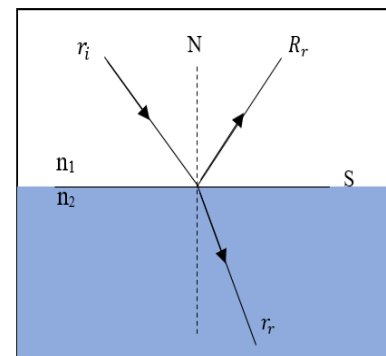
Figura B: Representação de uma lente convergente S.



11) Observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente r_i , refletido R_r e refratado r_r . Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

- a) somente se $n_1 > n_2$.
- b) somente se $n_2 > n_1$.
- c) somente se $n_2 = n_1$.
- d) esta representação não existe.
- e) não depende de n_1 e n_2 .

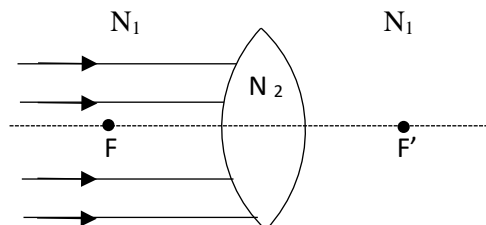
Figura C: Representação de um raio de luz incidente r_i , refletido R_r e refratado r_r uma superfície S de separação e uma reta normal N.



12) A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados $N_1 < N_2$.

- a) () raios divergentes.
- b) () raios convergentes.
- c) () raios paralelos.
- d) () raios bloqueados.
- e) () raios retornando.

Figura D - Desenho esquemático representando um feixe de luz paralelo incidente em uma lente biconvexa de índice de refração N_2 imersa em um meio de índice de refração N_1 .



Considerações: após recolher o teste, promover um debate sobre os temas abordados comentando as dificuldades encontradas durante a resolução do mesmo, a fim de instigá-los e despertar a curiosidade sobre o assunto.

Sugestão: o professor pode pedir aos alunos uma leitura prévia do livro didático¹⁴ adotado neste trabalho ou o livro escolhido pela instituição de ensino que aborde os conteúdos sobre a Óptica Geométrica, para iniciar o contato dos estudantes com materiais científicos que tratam sobre o tema.

2.1.1.2 Aula 02 - Princípios da Óptica Geométrica: cores e luz, decomposição e recomposição do espectro da luz visível

Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental utilizado, o procedimento do experimento e o roteiro de aplicação. Na Figura 2.1 (a), está uma foto do prisma confeccionado pelo autor/docente, e levado para análise experimental dos alunos. O objetivo deste experimento é estudar o fenômeno de dispersão da luz branca: sua decomposição e a sua recomposição no espectro da luz visível. Este último como atividade aos alunos em confeccionar o aparato experimental, no caso, sugerido pelo docente o disco de Newton (Figura 2.1 (b)).

¹⁴Livro didático: Yamamoto, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória / Kazuhito Yamamoto, Luiz Felipe Fuke. -- 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.

Figura 2.1 - Imagem fotográfica do (a) prisma confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes e (b) Disco de Newton confeccionado pelos alunos.



(a)



(b)

Fonte: arquivo do autor.

O prisma foi confeccionado com três lâminas de vidro retangulares laterais e uma triangular como base, coladas com cola de silicone. No Apêndice II – Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados em detalhes, a montagem e procedimento experimental.

2.1.1.2.a Roteiro de Aplicação N° 01 - Prisma Óptico e Disco de Newton

Esta aula foi dividida em 4 etapas. A primeira apresentando o aparato experimental no caso o prisma óptico preenchido com água e uma caneta de luz *laser* e três questões sobre o mesmo, sobre o que acham que irá ocorrer ao incidir a luz no prisma. A segunda, manipular o aparato e responder 4 questões baseadas o que ocorreu durante o experimento, a terceira, com 4 questões do que concluíram com relação a execução experimental podendo fazer uso do auxílio de pesquisa, e a quarta e última etapa a conclusão final baseada em 3 questões sobre o experimento e em comparação com a proposta feita pelo docente com outro aparato experimental, o disco de Newton, confeccionado pelos próprios alunos.

A seguir, seguem as questões¹⁵ das 4 etapas:

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre:

a) A luz irá atravessar o prisma ou o prisma irá bloquear a passagem da luz?

b) O prisma irá interferir ou não na propagação da luz? De que forma, caso sua análise se

¹⁵ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

confirme, isso ocorre?

c) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

a) O que seu grupo notou?

b) Especifique as alterações que seu grupo percebeu?

c) O prisma bloqueou a luz?

d) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

a) Quantas cores o grupo pode perceber?

b) Ilustre em uma folha e descreva o fenômeno:

c) Qual a relação entre a luz branca e o espectro de cores que ela gera em um prisma?

d) Porque a luz se decompõe ao passar pelo prisma?

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

a) Sabendo que as cores que aparece no espectro são: vermelho, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta. Será que é possível reconstituir o fenômeno? De que forma?

b) O professor sugere a construção do disco de Newton e os questiona se funcionaria; após discussões, produzem o disco.

c) O que o grupo notou observando o aparato “Disco de Newton”?

Sugestões: após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma análise no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o estudante consiga compreender o fenômeno da dispersão luz visível.

2.1.1.3 Aula 03 - Reflexão da Luz

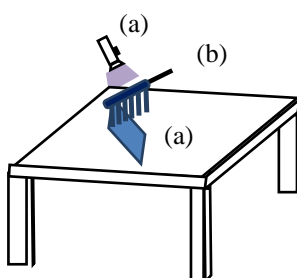
Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre: luz, pente e espelho, bem como o procedimento do experimento e o roteiro de aplicação. O objetivo deste experimento é explorar o processo de reflexão e a trajetória da luz, trabalhando inclusive a formação de sombras. No Apêndice II –

Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados em detalhes, a montagem e procedimento experimental.

2.1.1.3.a Roteiro de Aplicação Nº 02 – Reflexão da luz – Pente Reflexivo

Neste experimento deve-se incidir a luz de uma lanterna (c) de frente a um pente (b) que está perpendicular a um espelho plano (a), conforme ilustrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Desenho esquemático simulando a montagem do experimento de reflexão confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes: (a) lanterna, (b) pente e (c) espelho plano perpendicular ao pente.



Fonte: o autor, adaptado da referência < <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>>.

A seguir apresentam-se as questões¹⁶ referentes a cada uma das etapas da aplicação do experimento. Neste caso foram propostas 3 etapas, sendo: duas questões na Etapa 1, cinco questões na Etapa 2 e duas questões na Etapa 3.

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre os raios de luz quando:

- a) A luz e o pente diante do espelho? Represente os raios de luz geometricamente.
- b) A luz e o espelho obliquamente ao espelho? Represente os raios de luz geometricamente.

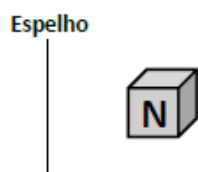
- **Etapa 2 – Depois de manipular a montagem experimental**

- a) O que seu grupo notou em cada caso? Houve reflexão nos dois momentos?
- b) Represente graficamente o fenômeno observado.
- c) Mudou alguma coisa em sua percepção após a observação?
- d) O que podemos aferir sobre os raios de luz quanto à sua propagação?
- e) A imagem formada é direita ou invertida?

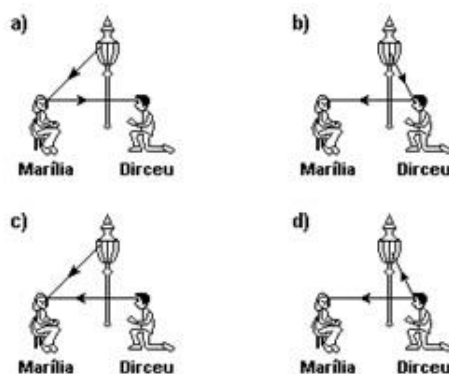
¹⁶ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

a) Determine geometricamente as imagens formadas pelo espelho:



b) (UFMG-2005) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que estão CORRETAMENTE representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.



Fonte: <https://blogdoenem.com.br/luz-camera-optica-fisica-enem/>

Sugestões: após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma leitura no material didático e resolver as atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da reflexão da luz.

2.1.1.4 Aula 04 – Refração da Luz

Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre a incidência de luz de um laser em uma caixa transparente com água. O objetivo é explorar o aparato observando o comportamento da luz ao atravessar dois meios com índices de refração diferentes.

2.1.1.4.a Roteiro de Aplicação N° 03 – Desvio do Raio de Luz

Este aparato experimental foi confeccionado com placas de vidro e coladas com cola de silicone, obtendo como resultado final uma cuba. A água foi tingida com um pó de refresco

para melhor visualizar o feixe de luz provinda de uma caneta laser. Conforme ilustrado na Figura 2.3. No Apêndice II – Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados, a montagem e procedimento experimental, em detalhes.

Figura 2.3- Fotografia da montagem do experimento de refração, com a cuba de acrílico semipreenchida com água colorida por um suco artificial e uma luz da caneta *laser* incidida obliquamente.



Fonte: arquivo do autor.

Nesta aula, as etapas aplicadas foram as 4, sendo que na Etapa 1 abordaram-se 2 questões de conhecimento prévio do que poderia ocorrer somente observando o aparato, na Etapa 2 três questões específicas da realização do experimento, na Etapa 3 foram 4 questões, sendo uma envolvendo cálculo, podendo ser respondida por meio de pesquisa no material didático (livro) e *internet*, e por fim a Etapa 4 uma questão com a proposta de buscar um outro experimento alternativo ao realizado na sala para explorar os mesmos fenômenos.

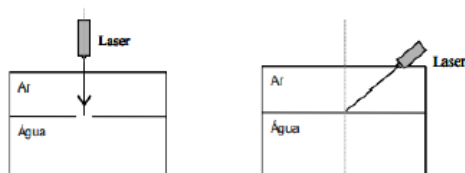
Seguem as questões¹⁷ de cada etapa:

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato: “Incidência de luz de um laser num aquário” sem ligar o laser para explorar os conhecimentos prévios dos alunos.**

Escreva a sua opinião em relação as questões a) e b):

- a) O que acontecerá com a luz quando incidir no aquário?
- b) Analisando duas situações, como mostra a Figura A, determine a propagação do raio de luz.

Figura A: Desenho esquemático representando uma caneta laser apontando o seu feixe de luz em uma caixa transparente com água.

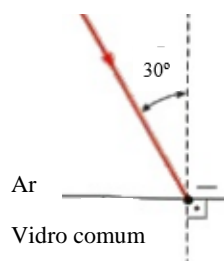


Fonte: adaptado da referência (ROBERTO, 2009).

¹⁷ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**
 - a) Faça um desenho representando o fenômeno observado.
 - b) Por que a luz muda de direção ao entrar no aquário? Esse mesmo efeito aconteceria em outros meios, como o vidro por exemplo? Justifique.
 - c) Pensando no comportamento da luz, como esse fenômeno pode ser explicado?
- **Etapa 3 – Atividades concluintes¹⁸: por meio de pesquisas no material didático e internet.**
 - a) Qual o índice de refração da água? E do ar?
 - b) O que é o fenômeno “refração da luz”?
 - c) O que são meios refringentes?
 - d) Sabe-se que, para o vidro comum o índice de refração da cor violeta é $\frac{39}{20}$ e o da cor vermelha é $\frac{25}{20}$. A Figura B representa um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano formado entre o ar e o vidro comum.

Figura B - Desenho esquemático representando um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano formado entre o ar e o vidro comum.



Seno	Ângulo
0,20	11,5°
0,25	14,5°
0,30	17,5°
0,35	20,5°

Tabela A: Dados de valores seno e seus respectivos ângulos.

Determine com os dados da Tabela A, os ângulos de refração de um raio de luz da radiação vermelha e violeta utilizando a Lei de Snell.

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**
 - a) Depois de conhecer as características da refração da luz: demonstre este efeito de outra forma.

Nota: o professor propõe uma pesquisa na internet em busca de outras maneiras de representar o fenômeno, como o experimento com uma moeda em uma xícara (Figura 2.25) com: água, óleo ou vinagre, para observar a diferença de cada meio.

¹⁸ As questões adotadas são questões disponíveis na *internet*, cujos direitos autorais pertencem a quem as formularam.

Sugestão: após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele proposto. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da refração do raio de luz ao transpor meios distintos.

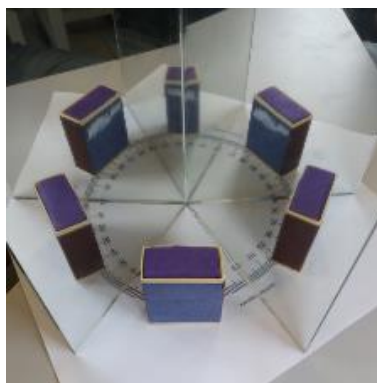
2.1.1.5 Aula 05 - Espelhos Planos

Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre associação de espelhos planos, o procedimento do experimento e o roteiro de aplicação. Objetivo: Trabalhar com formação de imagens em espelhos planos, variando o ângulo entre dois espelhos.

2.1.1.5 a Roteiro de Aplicação N° 04- Associação de Espelhos Planos

Este experimento utiliza-se um papel como base que possui o desenho de um transferidor, dois espelhos planos unidos na lateral e um objeto, no caso uma caixa de fósforos, conforme ilustrado na Figura 2.4. No Apêndice II – Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados em detalhes, a montagem e procedimento experimental.

Figura 2.4 - Fotografia da montagem experimental da associação de espelhos confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes. O objeto é a caixa de fósforos.



Fonte: arquivo do autor.

Na sequência segue as questões¹⁹ a serem abordadas em cada umas das quatro etapas. Sendo que na Etapa 1 consta de 3 questões, a Etapa 2 de 3 questões, a Etapa 3 de 5 questões (sendo 2 objetivas) e a Etapa 4 de 1 questão, com a sugestão da construção de um Periscópio.

¹⁹ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião:

- a) O que acontecerá se um objeto estiver posicionado entre dois espelhos paralelo? Onde aparecerá a sua imagem?
- b) Colocando dois espelhos próximos é possível determinar se aparecerá mais de uma imagem? De que forma isso seria possível?
- c) Qual a sua percepção sobre as imagens formadas em um espelho? Descreva como é possível este fenômeno.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

A Tabela A se refere as questões: a, b e c.

Tabela A - Valores de ângulos e imagens

Ângulo	Imagens
30°	
45°	
60°	
90°	
120°	
180°	

- a) Conte quantas imagens se forma em cada ângulo e preencha a Tabela A.
- b) Analise os resultados e deduza uma equação de formação de imagens.
- c) Qual a explicação das imagens formadas para os espelhos em paralelos.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes²⁰: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Imagine um vaso com flores diante de um espelho plano vertical que pode se mover. O que aconteceria com a imagem do vaso caso o espelho fosse afastado ou aproximado do vaso?
- 2) Se o espelho, inicialmente a 3,5 m do vaso, é afastado a 2 m do mesmo, que distância separa a primeira imagem da segunda?
- 3) Pedro deseja observar uma torre inteira, de 101m de altura, através de um espelho vertical, plano de tamanho 1m, situado a 50 m dela. Qual deve ser a distância mínima

²⁰ As questões adotadas são questões disponíveis na *internet*, cujos direitos autorais pertencem a quem as formularam.

do espelho à qual Pedro deverá ficar?

- a) () 20cm
 - b) () 30cm
 - c) () 40cm
 - d) () 50cm
 - e) () 60cm
- 4) Se você estiver se aproximando perpendicularmente de uma parede espelhada a uma velocidade de 2,5m/s, a sua imagem:
- a) () aumenta de tamanho.
 - b) () diminui de tamanho.
 - c) () afasta de você à velocidade de 2,5 m/s.
 - d) () aproxima-se de você à velocidade de 2,5 m/s.
 - e) () aproxima-se de você à velocidade de 5 m/s.
- 5) Um espelho plano sofre uma rotação de 20° em relação a um eixo que está contido em seu próprio plano. Qual é o ângulo de rotação dos raios refletidos nesse ângulo de giro do espelho?

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

- a) Depois de conhecer as características do espelho, construa algum aparato que possa descrever as leis de reflexão. (sugestão: Construção de um periscópio – por exemplo, a da referência (PERUZZO, 2013, p. 243).

Sugestão: Após debates e discussões dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno de reflexão de imagens em espelhos planos.

2.1.1.6 Aula 06 - Espelhos Esféricos

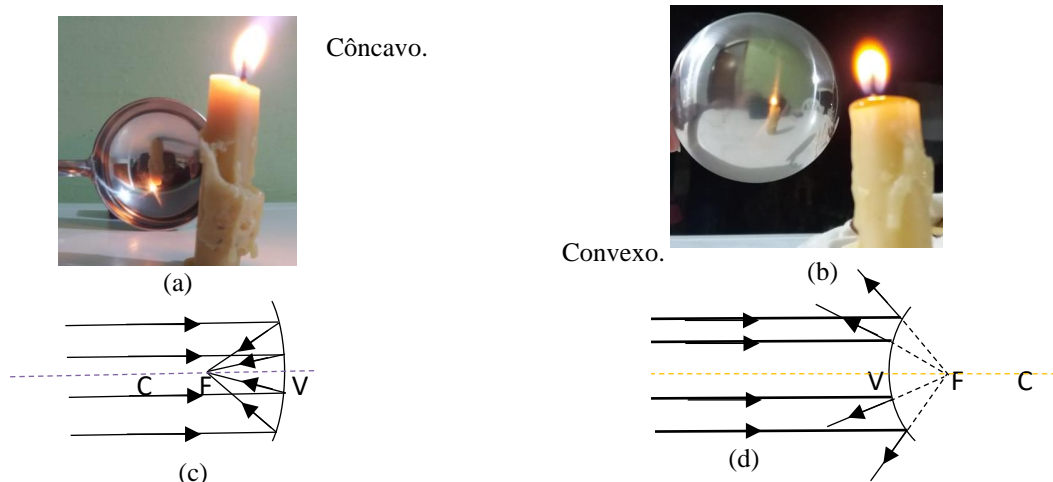
Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental envolvendo o experimento com espelhos esféricos, e o roteiro de aplicação. O objetivo é analisar a formação e as características de imagens em espelhos côncavos e convexos.

Os materiais utilizados para essa montagem experimental é uma concha de superfície polida tanto a interna como a externa, uma vela acesa. No Apêndice II – Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados, a montagem e procedimento experimental, em detalhes.

2.1.1.6.a Roteiro de Aplicação Nº 05 – Superfícies Refletoras Esféricas

Primeiramente posicionar a concha na sua lateral e posicionar a vela a uma distância em que a imagem fique nítida (ir movimentando a vela), conforme ilustrado na Figura 2.5, e se possa observar como ela é refletida. No caso côncavo (Figura 2.5 (a)) a imagem aparece menor e invertida. E, no caso convexo (Figura 2.5 (b)) a imagem também menor, mas direita.

Figura 2.5- Imagem fotográfica da formação de imagem de uma superfície esférica: (a) côncavo e (b) convexo. E, em (c) e (d) os desenhos esquemáticos da simulação do comportamento dos raios de luz quando incidem paralelo às superfícies côncavo e convexo, respectivamente.



Fonte: (a) e (b) arquivos do autor e (c) e (d) o autor.

Seguindo com o procedimento das etapas e questões²¹, na Etapa 1 foram propostas duas questões para saber sobre o conhecimento prévio dos alunos ao ver o aparato experimental, na Etapa 2 quatro questões envolvendo o observado no experimento, na Etapa 3 cinco questões, sendo as duas últimas fechando esta etapa com o desenho geométrico do comportamento da luz e formação da imagem.

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Escreva a sua opinião entre Luz e espelho esférico, para representar os raios de luz em cada caso, e o que veremos desta associação:

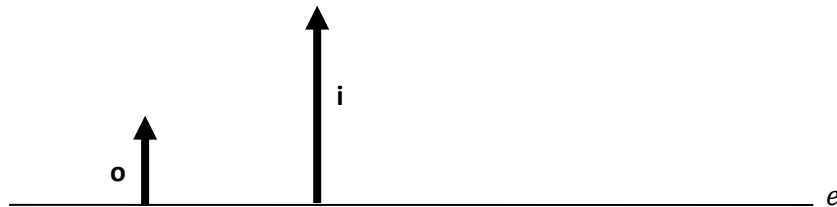
- Diante do espelho côncavo?
- Diante do espelho convexo?

²¹ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**
 - a) O que seu grupo notou em cada caso?
 - b) Represente graficamente o fenômeno observado:
 - c) Mudou sua percepção após a observação?
 - d) O que podemos aferir sobre os raios de luz quanto a sua reflexão?

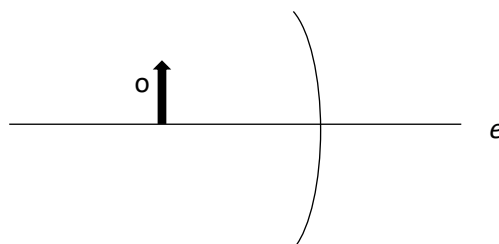
- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**
 - 1) Pesquise sobre o uso dos espelhos esféricos por Arquimedes, em especial durante um ataque sofrido na cidade de Siracusa pela esquadra romana:
 - 2) Ainda sobre o fato histórico citado na questão anterior, o que aconteceria se o espelho usado fosse convexo?
 - 3) Pesquisando no livro didático adotado pelo colégio, demonstre geometricamente o raio de incidência e o refletido representando as quatro propriedades de um espelho esférico.
 - 4) A Figura A representa um objeto o e a sua respectiva imagem i conjugados por um espelho esférico de eixo principal e , utilizar para responder as questões a) e b):

Figura A - Desenho esquemático ilustrando um objeto (o) e sua imagem (i) sobre o eixo principal (e).



- a) Determine a natureza do espelho.
 - b) Obtenha graficamente, os seguintes elementos geométricos do espelho: foco, vértice e centro de curvatura.
- 5) Na Figura B, tem-se um objeto o no eixo principal e de um espelho côncavo. Determine graficamente sua imagem.

Figura B - Desenho esquemático ilustrando um objeto e um espelho côncavo.



Sugestão: Após debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da reflexão das imagens nos espelhos esféricos.

2.1.1.7 Aula 07 – Lentes Esféricas

Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre lentes esféricas e o roteiro de aplicação. O objetivo deste aparato experimental é compreender a formação de imagens em lentes esféricas, como funciona uma lente de aumento, e a função das lentes de correção visual.

2.1.1.7.a Roteiro de Aplicação Nº 06 - Lente de Aumento

Esta lente biconvexa, foi confeccionada pelo autor/professor com partes de uma garrafa pet transparente cristal, cola epóxi e água no seu interior (Figura 2.6). No Apêndice II – Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados, a montagem e procedimento experimental, em detalhes.

Figura 2.6 – Foto da lente esférica biconvexa confeccionada pelo autor com garrafa pet.



Fonte: arquivos do autor, adaptado da referência manual do mundo: <<https://www.youtube.com/watch?v=iGgO82eBsAl>>.

Esta aula abrange 3 etapas para abordagem do aparato experimental no auxílio da compreensão do conteúdo de óptica geométrica. A Etapa 1 foi direcionada ao que ocorre por meio do manuseio da lente com auxílio da luz laser, trabalhando com 3 questões, sobre lentes de aumento, o funcionamento de lente esférica convergente e divergente, e o que ocorre com a incidência de luz sobre a lente. A Etapa 2 constituiu de 4 questões sendo a última com definições diretas, com o auxílio de pesquisa, e a última etapa a sugestão de reproduzirem uma lente com o uso de uma lâmpada transparente com água.

Seguem as questões²² trabalhadas nas 3 etapas:

²² Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 1 – Apresentando a lente pronta e questionar o grupo**

1) Por que objetos vistos através de uma lente têm sua forma e tamanho aumentado?

2) Discuta com seu grupo e elabore uma explicação para justificar o fenômeno

observado através de uma lente:

a) Convergente

b) Divergente

3) Represente graficamente o comportamento do raio de luz ao incidir em uma lente:

convergente e divergente.

- **Etapa 2 – Atividades concluintes²³: por meio de pesquisas no material didático e *internet***

1) Pesquise no livro didático quais são os tipos de lentes esféricas.

2) Diferencie lentes convergentes de divergentes?

3) Defina os conceitos:

a) foco imagem real

b) foco imagem virtual

c) foco objeto real

d) foco objeto virtual

4) Uma lente convergente possui distância focal f . Um objeto o linear e transversal ao plano do mesmo colocado diante da lente sobre seu eixo principal, numa posição entre f e $2f$.

a) construa graficamente a imagem i formada.

b) quais as características dessa imagem?

- **Etapa 3 – Conclusão da aplicação do roteiro**

Depois de conhecer as características das lentes esféricas, construa algum aparato que possa descrever este fenômeno. Por exemplo, a construção de uma lente a partir de uma lâmpada transparente e água (o passo a passo pode ser visto no vídeo: <<https://www.youtube.com/watch?v=AaqbojN7xno>>).

²³ As questões adotadas são questões disponíveis na *internet*, cujos direitos autorais pertencem a quem as formularam

Sugestão: após debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da formação de imagens em lentes esféricas.

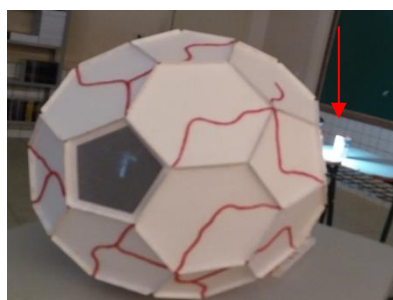
2.1.1.8 Aula 08 - Olho humano e as Anomalias da Visão

Nesta aula, apresenta-se o aparato pronto sobre o olho humano, bem como o roteiro de aplicação. O objetivo do uso deste aparato tem como objetivo principal como a imagem se forma no olho humano e em caso de anomalias o tipo de lente utilizado. No caso somente será explorado as que utilizam lentes esféricas.

2.1.1.8.a Roteiro de Aplicação Nº 07- Protótipo do Olho Humano

Este protótipo, ilustrado na Figura 2.7, foi confeccionado com papel cartão branco e verde, lente biconvexa, papel vegetal, cola e linha vermelha para os detalhes. No Apêndice II – Capítulo 1 está apresentado os materiais utilizados, a montagem e procedimento experimental, em detalhes.

Figura 2.7 - Imagem fotográfica do protótipo do olho humano (42 cm de diâmetro) confeccionado pelo autor. O objeto (indicado com uma seta vermelha) está posicionado a 1,45 m da lente de vergência +3,3 di do protótipo.



(a)



(b)

Fonte: arquivo do autor.

Para aplicação do protótipo do olho, as questões utilizadas em cada etapa são as apresentadas na sequência. Sendo que na Etapa 1, utilizaram-se de dois passos, uma apresentando o protótipo e a outra para os alunos descrever a formação da imagem no mesmo. Na Etapa 2, foram propostas 3 questões abordando a função de três partes do olho: o cristalino, a pupila e a retina. Na Etapa 3, foram propostas 4 questões abrangendo a formação de imagens,

acomodação visual e os tipos de anomalias. E, na Etapa 4, 3 itens são abordados, uma referente as causas das anomalias e o tipo de lente corretiva, reprodução do efeito no olho humano quanto a formação de imagem, no caso sugere-se a câmara escura, e para fechar, que os alunos façam uma entrevista baseando-se em 5 questões, com alguém da área da saúde no município.

Seguem as questões e sugestões para este último experimento:

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato pronto**
 - a) Apresentação do protótipo do olho humano (Fig. 2.7);
 - b) Observação da formação de imagem no anteparo do olho.

- **Etapa 2 – Depois de observar o protótipo do olho**
 - a) Discuta com seu grupo sobre a função do cristalino;
 - b) Discuta com seu grupo sobre a função da pupila;
 - c) Discuta com seu grupo sobre a função da retina.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**
 - a) Descreva geometricamente os raios de luz na formação da imagem na retina;
 - b) Como é a formação de imagens na retina?
 - c) Discuta com seu grupo a definição de “acomodação visual”, “ponto próximo” e “ponto remoto”.
 - d) Faça uma pesquisa bibliográfica buscando informações sobre as causas das anomalias da visão. (Miopia, Hipermetropia, Presbiopia, Astigmatismo, Estrabismo, Catarata e Daltonismo)

- **Etapa 4 – Após as explicações dos problemas visuais e correções**
 - 1) Discuta em seu grupo e preencha a Tabela A:

Tabela A - Dados sobre algumas anomalias da visão, problemas visuais e lentes.

Doença	Problema visuais	Lentes corretiva
Miopia		
Hipermetropia		
Presbiopia		
Astigmatismo		

- 2) A partir dos conhecimentos adquiridos reproduza por meio de outro experimento o fenômeno observado. (Sugestão: Produção de uma câmara escura com caixa de papelão).
- 3) Faça uma entrevista com alguém da área da saúde sobre o tema: **SAÚDE DA VISÃO**.

Questões para a entrevista:

- a) Existem muitos casos de doentes visuais em nossa região?
- b) Quais as principais causas?
- c) Quais as principais recomendações para prevenir-se contra os problemas visuais?
- d) Qual a importância de um acompanhamento médico desde o início do tratamento?
- e) Quais os procedimentos ao diagnosticar um paciente com algum problema visual?
- f) O município possui estrutura para tratar os pacientes?

Sugestões: insira mais questões de acordo com o que se deseja explorar.

2.1.1.9 Aula 09 – Questionário Avaliativo – PÓS-TESTE

Esta aula foi trabalhada com 2 questionários, ou seja, o conteúdo foi dividido em 2 etapas. Parte 1 (aplicada após o experimento de refração), em que as questões envolvem conceitos, sendo estas 5 questões e 2 são objetivas, num total de 7 questões. A segunda parte (aplicada após o experimento do protótipo do olho) contém 4 questões todas objetivas. As questões são as mesmas do Pré-teste, mas não foi mantida exatamente a mesma ordem devida a essa separação.

•Pós-teste (parte 1)

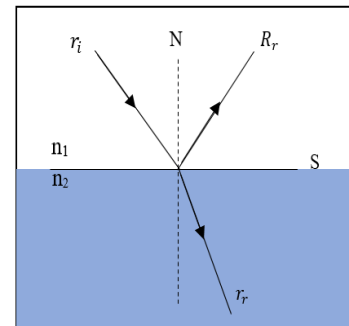
Aluno(a):

nº

- 1) O que é luz em termos da Óptica Geométrica?
- 2) O que é refração?

- 3) O que é reflexão?
- 4) Como é formado o Arco-íris?
- 5) Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?
- 6) O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz:
- a) é independente quando se propaga.
- b) é reversível quando se propaga.
- c) se propaga em linha reta.
- d) se propaga em linha curva.
- e) contorna os objetos ao se propagar.
- 7) Ao observar um objeto que não é fonte de luz e que se apresenta com a cor azul. O objeto parece azul porque:
- a) refrata a luz azul.
- b) difrata a luz azul.
- c) emite luz azul.
- d) reflete luz azul.
- e) nenhuma das alternativas anteriores.
- 8) Observando a Figura A é possível distinguir o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:
- a) somente se $n_1 > n_2$.
- b) somente se $n_2 > n_1$.
- c) somente se $n_2 = n_1$.
- d) esta representação não existe.
- e) não depende de n_1 e n_2 .

Figura A: Representação de um raio de luz incidente r_i , refletido R_r e refratado r_r uma superfície S de separação e uma reta normal



• Pós-teste (parte 2)

Aluno(a): _____ nº _____

- 1) Qual problema da visão pode ser corrigido com lente divergente:
- a) hipermetropia
- b) miopia
- c) glaucoma
- d) catarata
- e) nenhuma das alternativas anteriores

2) A Figura B ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador olhando para o espelho.

A imagem da bola está localizada:

- a) em frente do espelho.
- b) na superfície do espelho.
- c) atrás do espelho.
- d) não é possível saber.
- e) as informações não são suficientes para determinar.

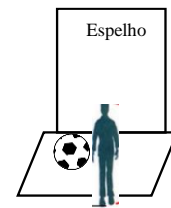


Figura B: uma bola e um observador diante de um espelho plano.

3) A Figura C representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente.

Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

- a) imagem real, invertida e menor.
- b) imagem real, invertida e igual.
- c) imagem real, invertida e maior.
- d) imagem imprópria se forma muito longe.
- e) imagem virtual, direita e maior.

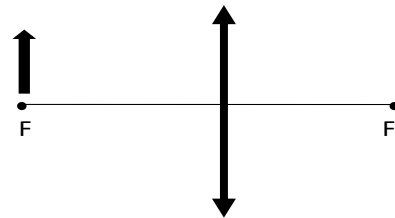


Figura C: lente convergente.

4) A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados $n_1 < n_2$.

- a) raios divergentes.
- b) raios convergentes.
- c) raios paralelos.
- d) raios bloqueados.
- e) raios retornando.

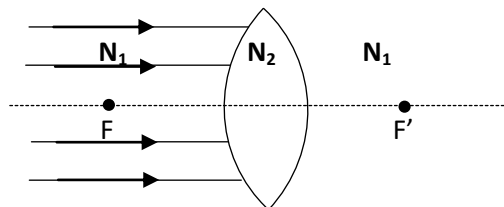


Figura D: raio de luz paralelos incidente numa lente biconvexa

CAPITULO 3 – APLICAÇÃO DO PE

Inicia-se este capítulo com a apresentação do público alvo, a realidade dos mesmos e segue-se com o relato da aplicação do PE dos aspectos principais ocorridas das duas turmas conjuntamente.

3.1 Público Alvo

O Produto Educacional foi desenvolvido com 12 alunos da Colégio Estadual do Campo Margarida Franklin – EFM de Ibaiti -PR e 32 alunos do Colégio Estadual David Carneiro – EFM de Guapirama-PR.

Os estudantes não possuem acesso a materiais tecnológicos para desenvolvimento de atividades de pesquisas científicas, não usam plataformas de ensino e não tem acesso às aulas experimentais em sala de aula ou laboratórios. Segue uma breve descrição da realidade de cada público alvo.

- Os alunos do colégio do campo residem nas proximidades do colégio e suas experiências resumem-se ao trabalho na roça, seus meios tecnológicos para pesquisas são os aparelhos celulares, mas com acesso limitado a *internet*. Não dispõem de muito tempo para os estudos porque precisam trabalhar para ajudar no sustento da família. Os que valorizam a formação educacional anseiam concluir o ensino médio, muitos deles nem sequer pensam nisso. O colégio não possui laboratórios para a realização de atividades experimentais. Não há incentivo para a realização de feira de ciências, porém, esta realidade está mudando.
- Os alunos do Colégio Estadual David Carneiro – EFM de Guapirama-PR, residem na zona urbana e estudam no único colégio da cidade, que inclusive, apresenta estrutura similar o colégio do campo. Os alunos vivenciam a mesma situação, não há laboratórios equipados para a realização de aulas práticas. Diante de tantas dificuldades e falta de materiais para o ensino de Física, o presente trabalho se fez útil e necessário, pois buscou alternativas que utilizam materiais de baixo custo e/ou reciclados para que os mesmos tenham sua primeira experiência com a iniciação científica.

3.2 Relato da Aplicação do PE

A aplicação do PE seguiu a metodologia apresentada no Capítulo 2 em que foram aplicadas uma série de questões a fim de coletar informações que os estudantes possuíam sobre o tema abordado. Após a resolução desse questionário, o professor conduziu debates para que os alunos pudessem relatar e refletir sobre o assunto, os estudantes relataram que não compreenderam termos como: refração, convexo, côncavo, etc. Foi necessário introduzir definições sobre diversas palavras.

Ao longo do debate foram questionados sobre a primeira questão – O que é luz em termos da Óptica Geométrica? – Todos compreendiam que se tratava de algo necessário para a percepção humana, mas poucos souberam responder considerando suas características de radiação de uma onda eletromagnética.

Este debate mostrou-se importante para que todos pudessem expressar suas curiosidades e partilhar seus conhecimentos, trocando experiências, informações, e dados que nem todos possuem. O professor como interlocutor possibilitou a interação entre os indivíduos, tão importante no processo ensino-aprendizagem.

O primeiro experimento sobre o prisma (Figura 3.1 (a)) gerou muita curiosidade. O espectro colorido da luz foi impactante, primeiro atribuíram o fenômeno exclusivamente ao aparato, porém, devidos as discussões, pesquisas e a fenômenos naturais como o Arco-íris, compreenderam que se tratava do fenômeno da decomposição da luz.

Figura 3.1 – Imagem fotográfica: (a) do prisma e lanterna sobre a carteira na sala de aula alunos do colégio urbano e (b) a decomposição da luz refletida no solo obtida por um aluno do campo em sua casa.



(a)



(b)

Fonte: arquivo do autor e imagem cedida pelo aluno.

Os estudantes colocaram o aparato num raio de luz solar e ao observar o grande espectro projetado no chão, como o ilustrado na Figura 3.1 (b), e perceberam que algo estava interferindo na propagação da luz ao transpor aquele aparato composto por vidro e água.

Compreenderam o fenômeno da decomposição da luz, e por meio de pesquisas no material didático eles relacionaram com outros fenômenos como a cor azul do céu.

Uma das propostas do PE é que os alunos fizessem o fenômeno inverso, a recomposição das cores da dispersão do raio de luz por meio da confecção do disco de Newton. O resultado de uma das equipes dos alunos do colégio do Campo (Figura 3.2 (a)) cujo efeito obtido está apresentado na Figura 3.2 (b).

Figura 3.2 – Imagem fotográfica (a) do disco de Newton confeccionado por uma das equipes do colégio do campo e (b) o disco girando mostrando a recomposição da cor branca.



(a)



(b)

Fonte: arquivos do autor e alunos do colégio do campo.

Com a aplicação do experimento: luz e pente (Figura 3.3 (a)), os estudantes puderam observar a simetria da reflexão dos raios de luz ao incidir/colidir um obstáculo, quer seja opaco ou não, tiveram a oportunidade de compreender o Princípio da Reversibilidade da Propagação Retilínea da Luz.

Durante as observações, a luz ambiente prejudicou a observação do fenômeno, porém, não a ponto de impedir sua aplicação, surgiram comentários que sua reprodução teria um melhor efeito no período noturno.

Os estudantes colheram informações referentes ao fenômeno e representaram geometricamente em seu material, compreendendo sobre campo visual de um espelho plano e o processo de reflexão da luz ao incidir numa superfície refletora.

Ao término da aplicação deste experimento, alguns grupos produziram um vídeo do mesmo, porém, feito no período noturno, para melhor observação do fenômeno. Na Figura 3.3 uma foto de um grupo apresentando o vídeo.

Figura 3.3 – Imagem fotográfica: (a) efeito da imagem formado da luz passando através do pente e refletindo no espelho, e (b) das alunas do colégio urbano apresentando sobre reflexão, luz e pente.



(a)



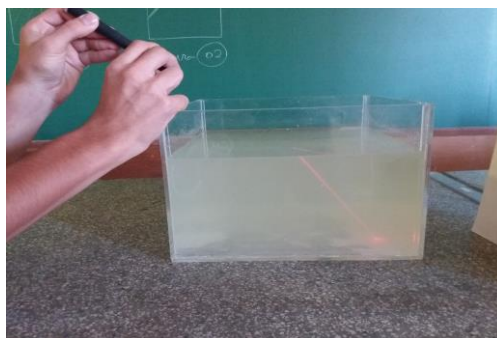
(b)

Fonte: arquivos do autor.

Em relação ao aparato experimental feito com uma caixa de acrílico, água e laser, observaram o desvio de um raio de luz ao atravessar dois diferentes meios de refingências distintos, os estudantes puderam compreender o fenômeno, e por meio de pesquisas, compreenderam que o fenômeno ocorre devido à variação da velocidade da luz entre os ambientes de propagação da luz (Figura 3.4 (a) e (b)).

Muitos estudantes acreditavam que veriam a luz se decompondo na água, quando notaram que a fonte de luz usada era monocromática, perceberam que o fenômeno observado seria o desvio e não a sua decomposição. Concluíram que o meio de transposição exerce influência no raio de luz produzindo o fenômeno da refração.

Figura 3.4 – Imagem fotográfica do estudante incidindo a luz: (a) obliquamente a superfície do líquido e se aproximando da normal, em (b) perpendicular à parede da cuba seguindo em linha reta. Em vermelho o trajeto do raio de luz dentro da cuba.



(a)



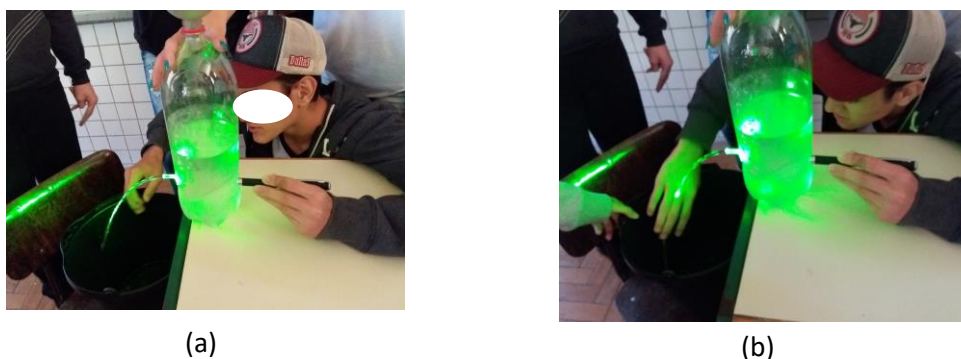
(b)

Fonte: arquivos do autor.

Por meio deste trabalho, alguns estudantes construíram outro experimento de refração por meio de uma garrafa *pet*, água e uma caneta *laser*, puderam observar, por meio da curvatura

do jato de água que saia por meio de um furo na lateral da garrafa, e que o raio de luz da caneta *laser* acompanhava esta curvatura, Figura 3.5 (a) e (b), por meio do efeito de refração. E associaram este funcionamento à tecnologia de transmissão de dados por fibra óptica.

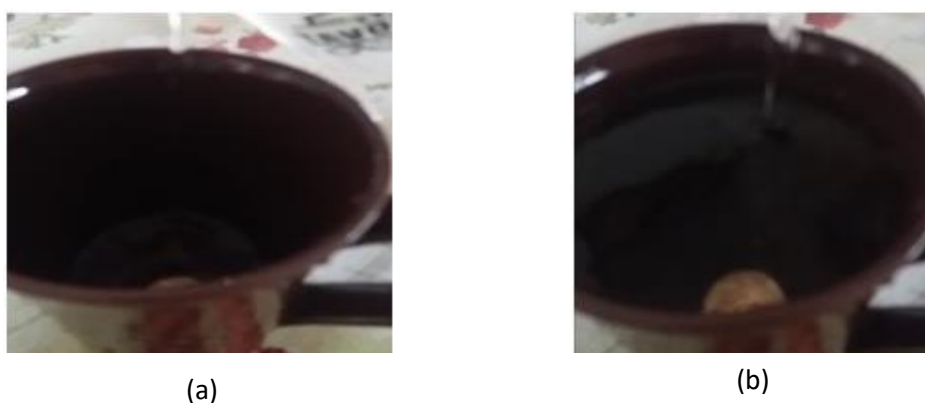
Figura 3.5 – Imagem fotográfica dos alunos apresentando o experimento montado por eles. Em (a) observando o efeito e em (b) interrompendo o fluxo da água com a mão.



Fonte: arquivo do autor.

Outro experimento foi o de profundidade aparente apresentado pelos alunos sobre o fenômeno da refração, em que o aparato consta de uma xícara e uma moeda fixa no fundo da mesma, Figura 3.6 (a), e observar o efeito ao colocar um líquido, Figura 3.6 (b). Foi testado com: água, óleo e vinagre, um ingrediente de cada vez. Com este experimento, puderam compreender que o índice de refração depende do meio de transposição do raio de luz.

Figura 3.6 – Imagem fotográfica dos alunos apresentando o experimento montado por eles. (a) sem visualizar a moeda e (b) visualizando a moeda.



Fonte: arquivos do autor.

No caso do experimento sobre associação de espelhos planos possibilitou a observação da reflexão da luz em associações de superfícies.

A associação de espelhos em paralelo (Figura 3.7 (a)) chamou bastante atenção, instigados a contar quantas imagens surgiram no aparato, à curiosidade foi total. Quiseram ser

o objeto entre os espelhos, até tentaram, mas devido às dimensões do aparato não tiveram uma boa observação.

Os estudantes tiveram a oportunidade de compreender que a formação de imagens ocorre devido a projeção dos raios luminosos oriundos dos corpos e devido a simetria na reflexão da luz ao incidir numa outra superfície refletora polida, formando assim outras imagens. Esta constatação se deu após as observações colhidas entre vários valores angulares de abertura entre os espelhos, os estudantes constataram que a quantidade de imagens depende do ângulo de abertura do mesmo. Tal observação possibilitou a compreensão da equação matemática (Eq. (1.1)) que define a quantidade de imagens formadas por meio da relação 360° dividida pelo ângulo de abertura (Figura 3.7(b)).

Figura 3.7 – Imagens fotográficas (a) espelho em paralelo e (b) variando o ângulo.



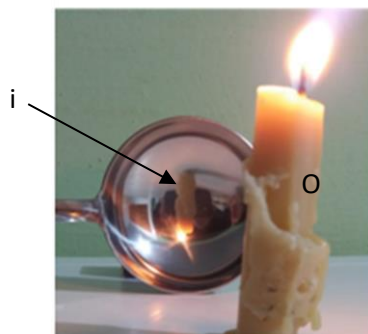
Fonte: arquivos do autor.

Com a conclusão das atividades, foi proposto que os alunos construíssem algum aparato que possibilitasse a utilização de dois ou mais espelhos planos e entre outros trabalhos foi construído um periscópio e uma caixa lanterna para refletir um feixe de luz do Sol dentro da sala de aula. Infelizmente não foi registrado fotos dos mesmos.

O aparato sobre espelhos esféricos possibilitou a compreensão de fenômenos de formação de imagens por meio de superfícies esféricas e ampliação do campo visual muito usado em lojas comerciais para a fiscalização do público (como o apresentado na Figura 1.11(a)). O espelho esférico utilizado foi uma concha de inox (Figura 3.8).

Os estudantes compreenderam como ocorre a formação de imagens nestas superfícies e suas características.

Figura 3.8 – Imagem fotográfica do uso de uma concha como um espelho esférico, em que a vela é o objeto (O). A sua imagem (i) é virtual e aparece menor e invertida indicada pela seta.



Fonte: arquivo do autor.

Como conclusão das observações, os alunos confeccionaram um novo espelho esférico, a partir de uma parte curva de uma garrafa *pet* recoberta com papel laminado, simulando assim uma superfície polida refletora curva. Aparato e resultado não registrado por foto.

Com o aparato experimental que representou uma lente esférica, os estudantes tiveram a oportunidade de trabalhar seus conceitos e associarem ao seu dia-a-dia. O docente propôs um tipo de lente, confeccionada por ele com garrafa *pet*, água e cola, Figura 3.9 (a) e os alunos outra, Figura 3.9 (b) que foi utilizar um copo com água como uma lente, no caso uma lente cilíndrica.

Figura 3.9 – Imagem fotográfica: (a) lente biconvexa construída pelo docente mostrando o aumento que o mesmo realiza e (b) a opção levada pelos alunos – um copo com água.



(a)



(b)

Fonte: arquivos do autor.

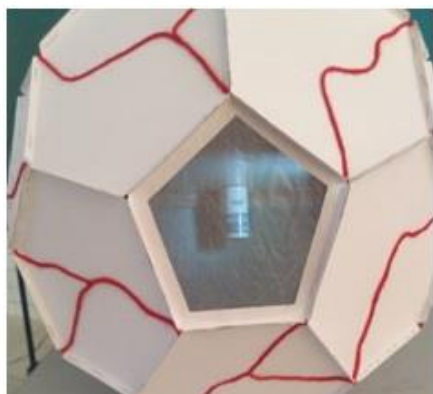
Vários estudantes fazem uso de óculos, fato que contribuiu para investigar o seu funcionamento.

Na resolução do pré-teste, tanto os alunos da zona urbana quanto do campo, acertaram 50% da questão que relacionou os conceitos de lente e visão. No pós-teste, 100% dos estudantes do campo conseguiram resolver corretamente a questão. Como conclusão deste trabalho, alguns

estudantes construíram outras lentes e uma luneta. Além disso, conseguiram relacionar os conceitos trabalhados com equipamentos que fazem parte do seu cotidiano, como o caso de um copo cheio de água, para demonstrar o efeito da luz ao transpor uma lente (Figura 2.38 (b)).

Em relação ao protótipo do olho humano (Figura 2.39 (a)), este permitiu aos estudantes a conhecer de maneira simplificada o funcionamento do olho humano e algumas anomalias da visão. Tiveram a oportunidade de reproduzir um experimento: câmara escura (Figura 2.39 (b)), para investigar a formação de imagens dentro do aparato e associar ao olho humano, compreendendo o seu funcionamento.

Figura 3.10 – Imagem fotográfica: (a) do protótipo do olho construído pelo docente, e em (b) os alunos apresentando a câmara escura (circulada em vermelho) confeccionada por eles.



(a)



(b)

Fonte: arquivo do autor.

Posteriormente, neste trabalho os estudantes pesquisaram em sua comunidade, a fim de conhecer a realidade dos problemas visuais, os casos de problemas e quantidade de indivíduos com alguma anomalia visual, foram entrevistados enfermeiros, técnicos de enfermagem, agentes de saúde e médicos a fim de colher o máximo de informações possíveis sobre o assunto. Puderam esclarecer suas dúvidas com um profissional da área sobre como proceder para prevenção, aonde ir buscar ajuda quando está com algum problema visual e os cuidados que se deve ter para prevenir ao máximo a saúde da visão.

Como docente tenho a informar que aplicar esse produto educacional me permitiu organizar a feira de Ciências com os alunos, com elaboração de textos que estão em edição para deixar como referência para que mais professores possam realizar experimentos em sala de aula.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nas nove aulas de aplicação do Produto Educacional aos alunos dos colégios da zona urbana: Colégio Estadual David Carneiro (CEDC) e da zona rural: Colégio Estadual do Campo Margarida Franklin (CECMF), denominada como colégio do campo.

4.1 Análise do Pré-teste e Pós-teste

Os resultados aqui apresentados são dados pelo conjunto de ambos os colégios. A análise foi feita por questões que foram questionadas iguais ou semelhantes, em um total de 12 questões.

- **Questão 1 - O que é luz?**

Resposta: é uma radiação eletromagnética no espectro do visível.

Por mais que esta questão pareça simples, por ser algo que faça parte do cotidiano e indispensável à vida, poucos alunos conseguiram expressar uma resposta mais próxima do correto.

Grande parte dos alunos usou definições como a extraídas do pré-teste, expressas no Quadro 4.1.

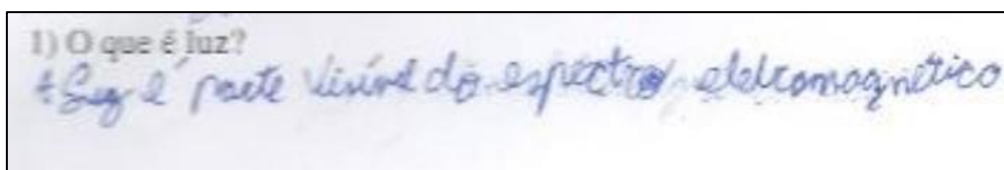
Quadro 4.1: Transcrição literal de resposta tiradas do pré-teste.

Pré-teste	Zona urbana	Zona rural
Questão 1	“A chama que alumia”	“A claridade”

Fonte: o autor

A Figura 4.1 mostra a resposta da turma do colégio da zona urbana (CEDC) após a aplicação do produto educacional.

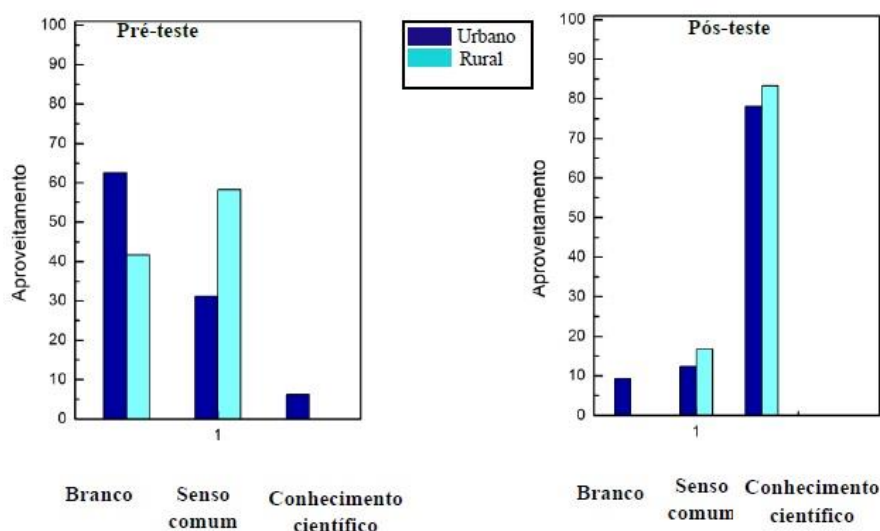
Figura 4.1 – Imagem fotográfica da resposta da questão 1 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “A luz é parte visível do espectro eletromagnético”.



Fonte: arquivo do autor e aluno do Colégio Estadual David Carneiro.

Após a aplicação do produto educacional, a maioria dos estudantes conseguiu expressar corretamente. Destaca-se o melhor desempenho dos alunos da turma zona rural (CECMF), chegando ao percentual de 83,3% de acerto e do colégio da zona urbana (CEDC) 78,1%. A Figura 4.2 sintetiza as respostas obtidas no pré-teste e pós-teste dos alunos de ambas os colégios.

Figura 4.2 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente a questão 1: O que é luz? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).



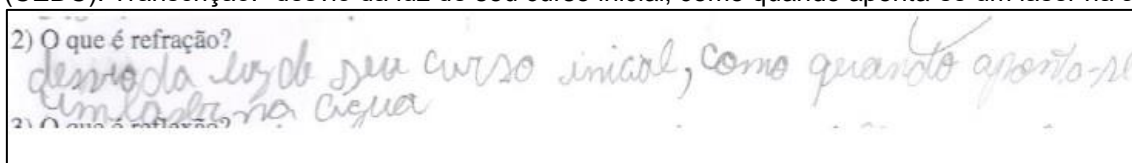
Fonte: o autor.

- **Questão 2 - O que é refração?**

Resposta: É o fenômeno óptico da variação da velocidade da luz, para o observador, ao passar de um meio para outro.

Esta questão gerou dúvidas, alguns alunos comentaram que a palavra estava escrita errada e que deveria ser reflexão. Ou seja, já tinham familiaridade com o termo reflexão. A Figura 4.3 ilustra a resposta de um aluno que entendeu do que se tratava a questão.

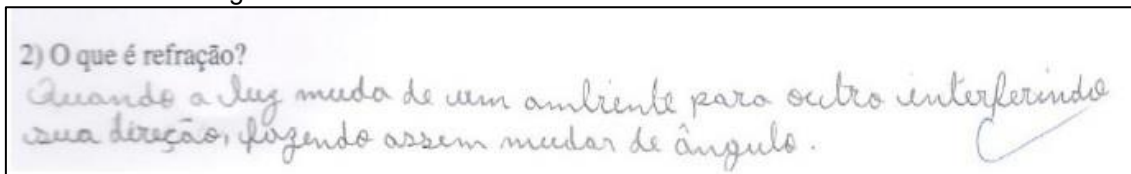
Figura 4.3 – Imagem fotográfica da resposta da questão 2 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “desvio da luz de seu curso inicial, como quando aponta-se um laser na água”.



Fonte: arquivo do autor e aluno do CEDC.

A Figura 4.4 ilustra a resposta de um aluno da zona urbana. Esta resposta foi considerada parcialmente correta, pois faltaram informações complementares como, a relação da alteração da velocidade da luz

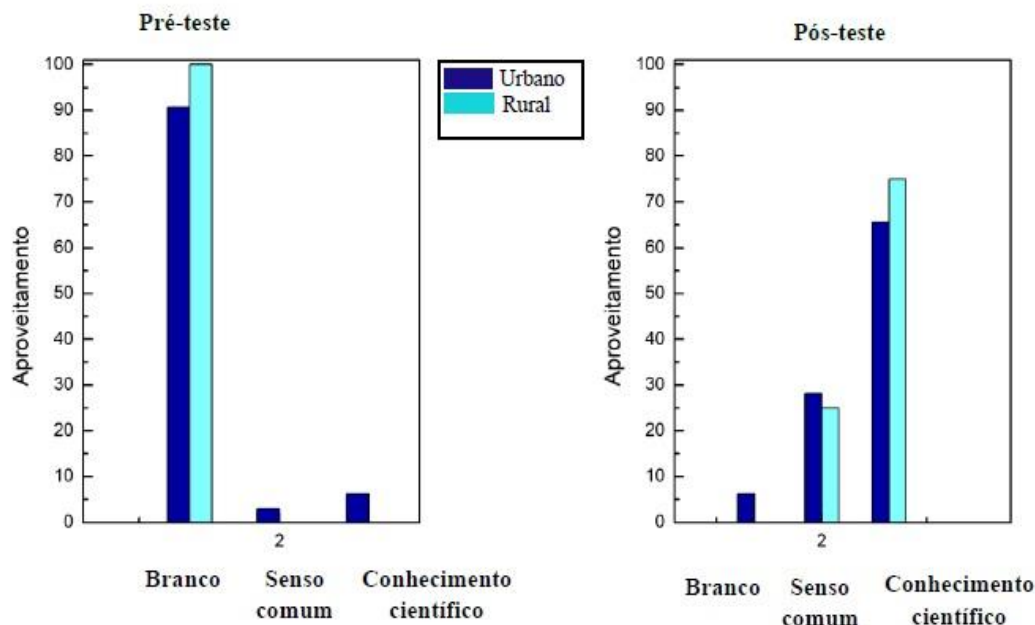
Figura 4.4 – Imagem fotográfica da resposta da questão 2 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “Quando a luz muda de um ambiente para outro interferindo sua direção, fazendo assim mudar de ângulo”.



Fonte: arquivo do autor e aluno do CEDC.

Na Figura 4.5, os resultados obtidos no pré e pós-teste para esta questão. Nove alunos da zona rural, totalizando 75%, responderam de forma correta no pós-teste e da zona urbana 65,6%.

Figura 4.5 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente a questão 2: O que é refração? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).



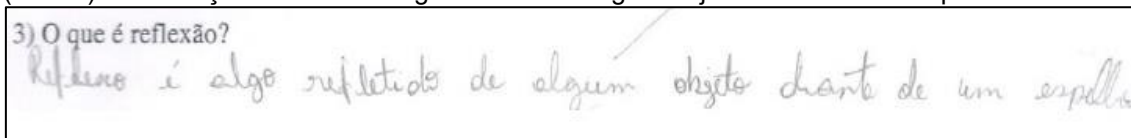
Fonte: o autor.

• **Questão 3 - O que é reflexão?**

Resposta: É o retorno de um feixe de luz ao próprio meio de origem após incidir sobre uma interface que o separa do outro meio.

Nesta questão, os alunos que responderam usaram do senso comum, vários alunos empregaram a definição de “algo refletido”, como se pode observar na resposta de um aluno da turma da cidade (CEDC) na Figura 4.6.

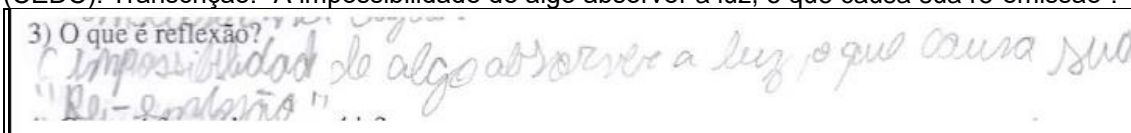
Figura 4.6 – Imagem fotográfica da resposta da questão 3 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “Reflexo é algo refletido de algum objeto diante de um espelho”.



Fonte: arquivos do autor e aluno do CEDC.

A Figura 4.7 ilustra outra resposta explicando de outro ponto de vista, em termos de absorção.

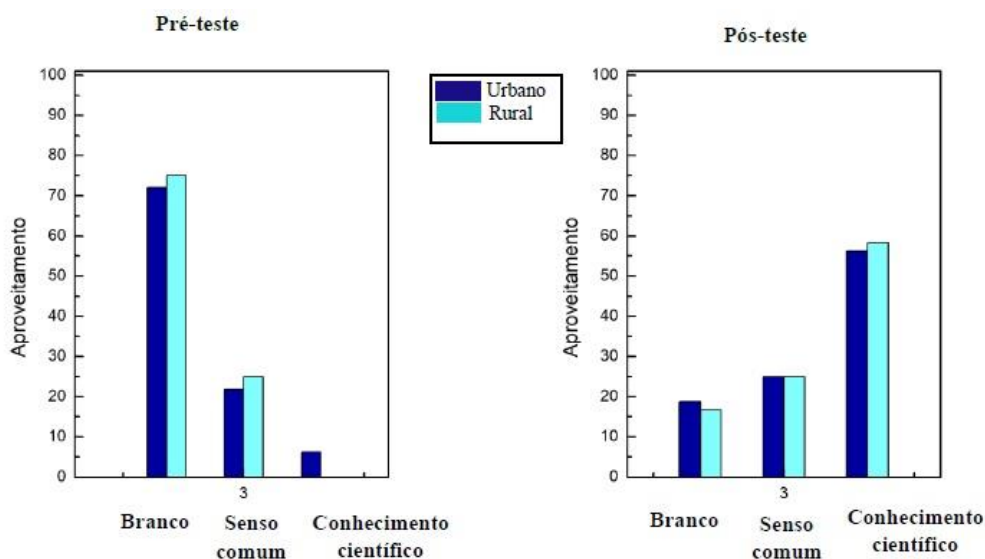
Figura 4.7 – Imagem fotográfica da resposta da questão 3 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “A impossibilidade de algo absorver a luz, o que causa sua re-emissão”.



Fonte: arquivos do autor e aluno do CEDC

A Figura 4.8 (pós-teste) revela que os estudantes da zona urbana obtiveram aproveitamento de 56,2%, e os alunos da zona rural um melhor aproveitamento, perfazendo um total de 58,3%.

Figura 4.8 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente a questão 3: O que é reflexão? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).



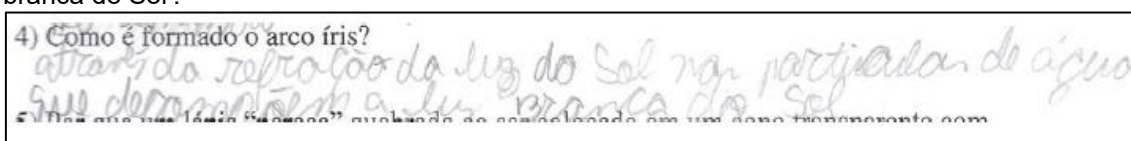
Fonte: o autor

• **Questão 4 - Como é formado o Arco-íris?**

Resposta: O raio de luz solar ao penetrar em uma gota de água sofre o efeito da refração, ocorrendo a decomposição da luz branca, seguida da reflexão total da luz no interior da gota, seguida de uma segunda refração ao sair da gota, apresentando o efeito colorido.

Esta questão despertou bastante curiosidade, pois se trata de um fenômeno conhecido e admirado por todos, entretanto, apenas um estudante expressou as características da formação do Arco-íris, sua resposta está ilustrada na Figura 4.9.

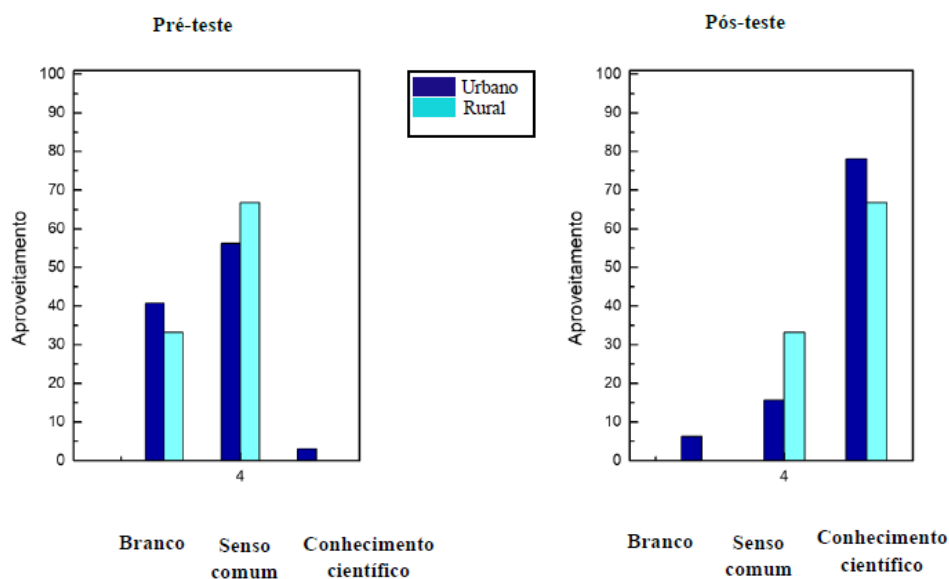
Figura 4.9 – Imagem fotográfica da resposta da questão 4 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “através da refração da luz do Sol nas partículas de água que decompõem a luz branca do Sol”.



Fonte: arquivos do autor e aluno do CEDC.

Esta é a única questão em que o desempenho dos alunos da zona urbana, no pós-teste, superou a da zona rural, obtiveram acerto de 78,1% contra 66,7% dos alunos da zona rural, conforme os resultados da análise da resposta do pré e pós teste da questão 04 apresentados na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste referente a questão 4: Como é formado o Arco-íris? de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana).

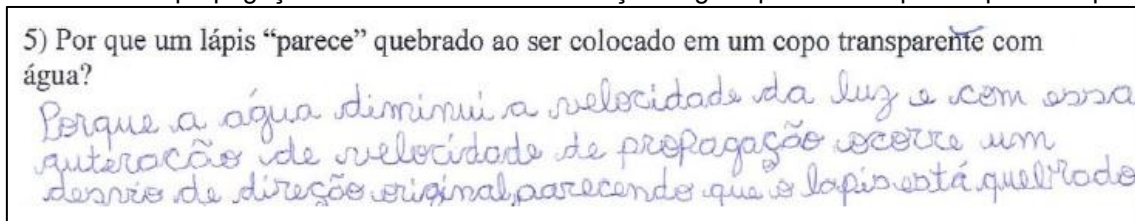


Fonte: o autor.

- **Questão 5 - Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?** Resposta: Devido ao fenômeno da refração da luz. Como a luz se propagou em meios materiais distintos de refrefrências diferentes, ocorre a variação da velocidade da luz, com isso os raios de luz mudam de direção dando a aparência de quebrado.

Esta questão gerou grande curiosidade, porém, o acerto foi mínimo. A Fig. 4.11 explicita um exemplo de resposta no pós-teste.

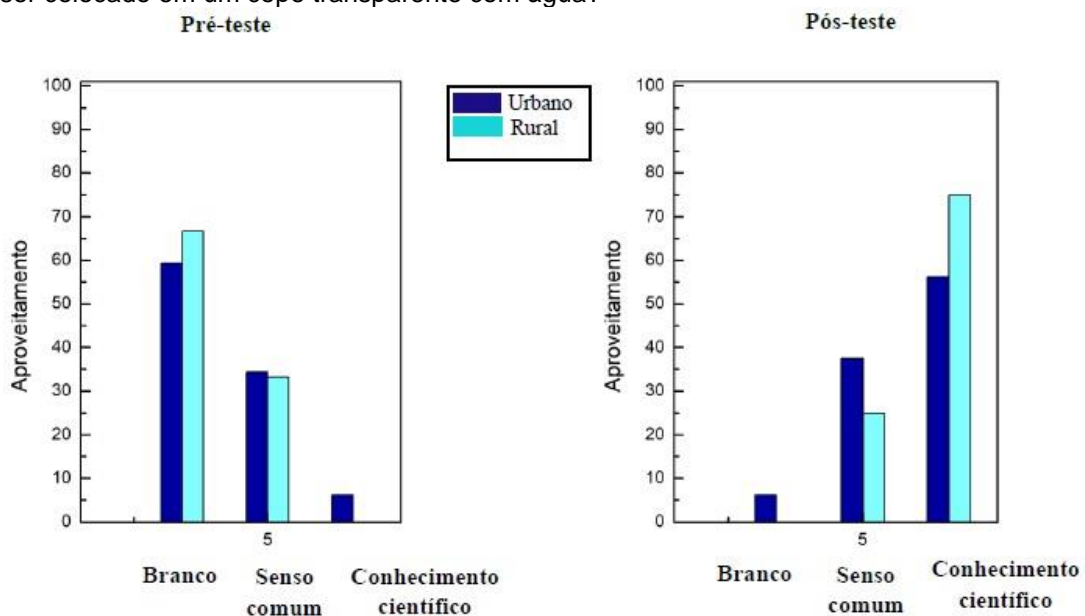
Figura 4.11 – Imagem fotográfica da resposta da questão 5 de um aluno do colégio da zona urbana (CEDC). Transcrição: “Porque a água diminui a velocidade da luz e com essa auteração [sic] de velocidade de propagação ocorre um desvio de direção original parecendo que o lápis está quebrado”.



Fonte: arquivo do autor e aluno(a) do CEDC.

A Figura 4.12 sintetiza os resultados obtidos para esta questão. No pós-teste 56,2% dos estudantes do colégio da zona urbana responderam de forma satisfatória e os alunos do colégio da zona rural um percentual de acerto de 75%.

Figura 4.12 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana) referente a questão 5: Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?



Fonte: o autor.

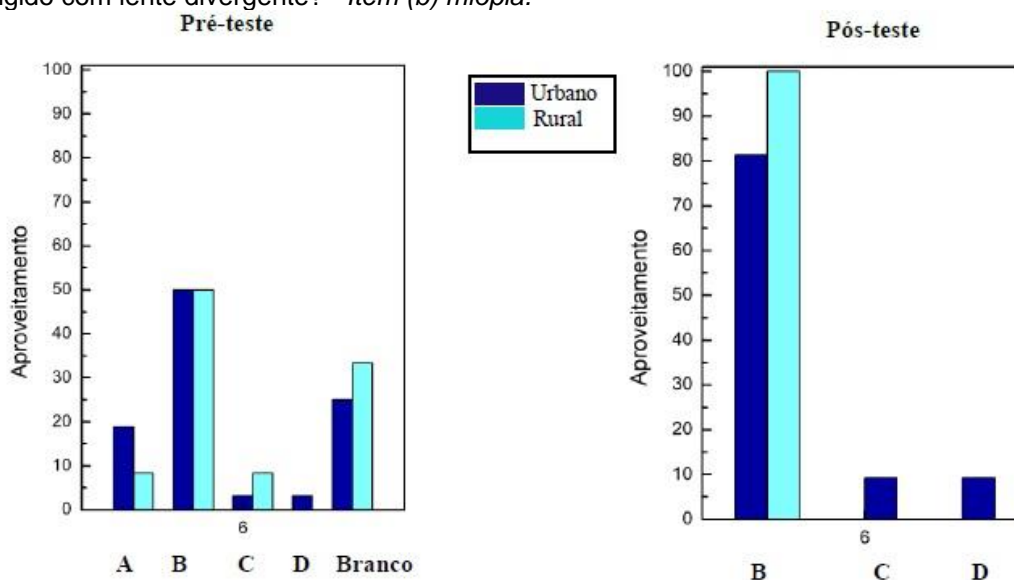
- **Questão 06 - Qual problema da visão pode ser corrigido com lente divergente.**

Resposta: item (b) miopia.

Nesta questão houve bastante envolvimento dos estudantes, uma vez que este problema é conhecido e vivido por vários alunos da turma.

A análise dos resultados referentes ao pré e pós-teste referente à questão 6 está exposto na Figura 4.13.

Figura 4.13 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 6: Qual problema da visão pode ser corrigido com lente divergente? *Item (b) miopia.*



Fonte: o autor.

Analisando o gráfico da questão 6 percebe-se que metade, ou seja, 50% dos alunos, tanto da zona urbana quanto da zona rural, conheciam este problema e responderam corretamente à questão no pré-teste.

No pós-teste, constatou-se que 100% dos alunos da zona rural responderam corretamente, e da zona urbana 81,2%.

Um dos aspectos que se percebeu do interesse dos alunos que envolveu o experimento sobre lentes, como foi constatado durante a aplicação do PE conforme relatado no Capítulo 2, foi que muitos dos alunos usam óculos ou alguém da família utiliza.

- **Questão 7 - O que o fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia sobre a luz?**

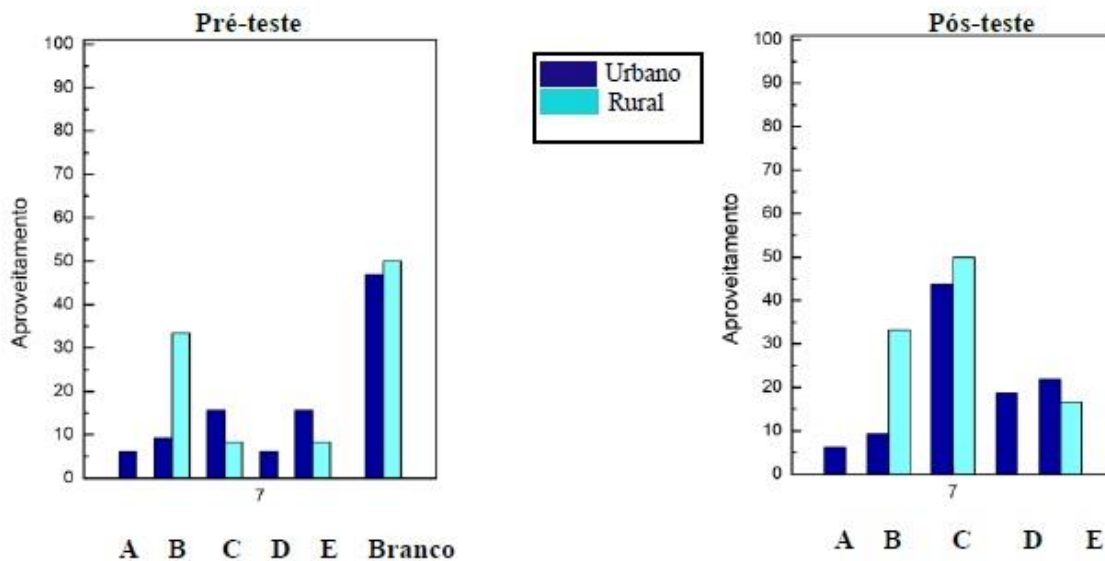
Resposta: item c – a luz se propaga em linha reta.

Este é um efeito da natureza que se ouve falar e observar com seus devidos cuidados. Mas, como se pode observar o índice de acertos no pré-teste foi baixo, quase 50% de ambas as

turmas deixaram em branco, no pós teste ocorreu uma melhora em torno de 40%. Este efeito foi tratado no experimento do pente e o efeito da sombra.

Os resultados da análise da resposta do pré e pós-teste da questão 7 está contido na Figura 4.14.

Figura 4.14 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente à questão 7: O que o fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia sobre a luz? *Item (c) se propaga em linha reta.*



Fonte: o autor

- **Questão 08 - Ao observar um objeto que não é fonte de luz, ele se apresenta com a cor azul. O objeto parece azul, por que:** Resposta: item d) reflete a luz azul.

Nesta questão houve muitas discussões após o pré-teste. Os estudantes tiveram dificuldades em associar a cor do objeto à reflexão da luz. O professor incentivou o debate e depois os questionou:

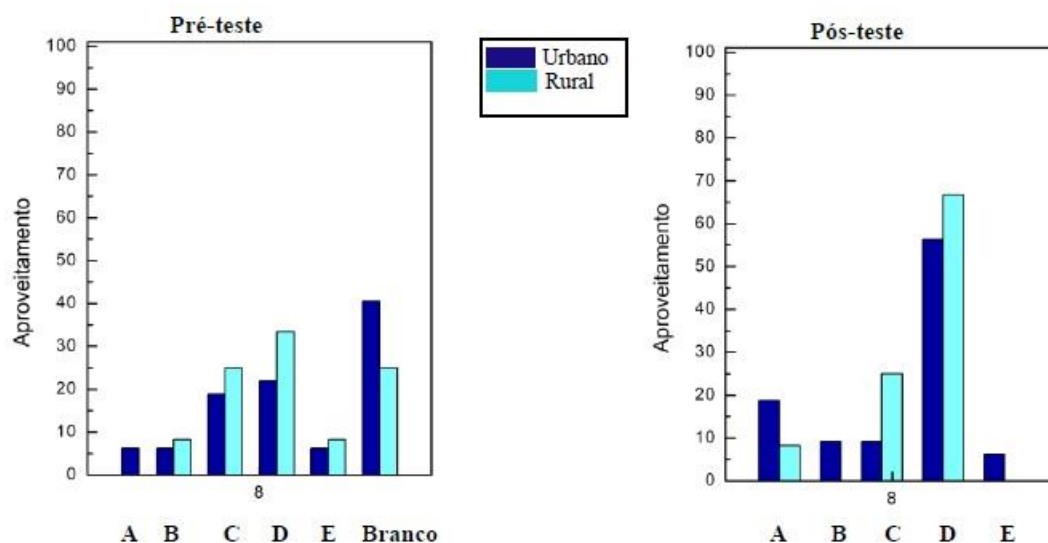
“O que aconteceria se iluminar um objeto tido como azul com uma luz verde? Qual seria a cor do objeto?”

Um aluno respondeu: “- Preto”

Os demais imediatamente questionaram o professor, e ficaram surpresos quando souberam que esta resposta estava correta.

Os resultados da análise da resposta do pré e pós-teste são apresentados na Figura 4.15.

Figura 4.15 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente à questão 8: Ao observar um objeto que não é fonte de luz, ele se apresenta com a cor azul. O objeto parece azul porque: *item (d) reflete a luz azul.*



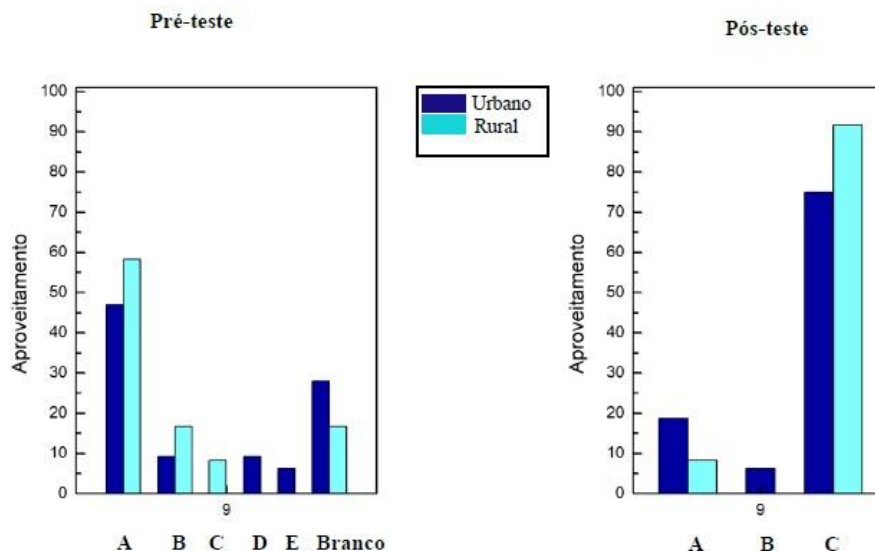
Fonte: o autor.

Observando os gráficos da Figura 4.15, pode-se observar o aumento do número de acertos no pós teste. Sendo que os que haviam mantido em branco passaram a responder.

- **Questão 09 - A figura A ilustra uma bola em frente ao espelho plano e um observador olhando para o espelho. Onde a imagem da bola está localizada?** Resposta: item c) atrás do espelho.

Esta questão mostrou-se extremamente desafiadora. Nenhum aluno da área urbana respondeu corretamente no pré-teste e da área rural apenas um aluno respondeu corretamente. É difícil compreender o que é atrás do espelho. Após a aplicação do PE, os alunos obtiveram uma melhor compreensão. Os resultados da análise da resposta do pré e pós-teste da questão 09 são apresentados na Figura 4.16.

Figura 4.16 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente à questão 9: *A Figura A, ilustra uma bola em frente de um espelho plano e m observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada: item (c) atrás do espelho.*

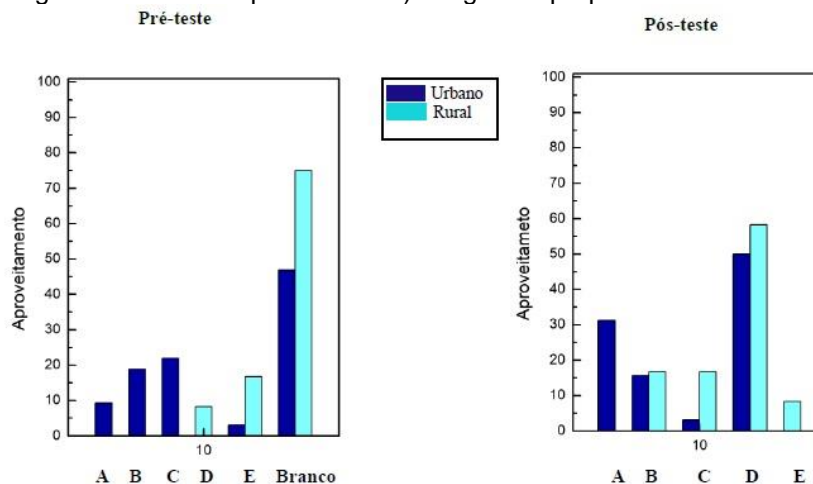


Fonte: o autor.

- **Questão 10 - A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente.** Resposta: item d) imagem imprópria se forma muito longe.

Durante a aplicação do pré-teste, os alunos do colégio da zona urbana se mostraram surpresos com esta questão, pois somente um aluno a respondeu corretamente. Após a aplicação do PE, os alunos passaram a compreender melhor as características de formação de imagem. Os resultados são apresentados na Figura 4.17.

Figura 4.17 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 10: *A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente.* Resposta: item d) imagem imprópria se forma muito longe.



Fonte: o autor.

- **Questão 11: Observando a figura C é possível distinguir o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno.**

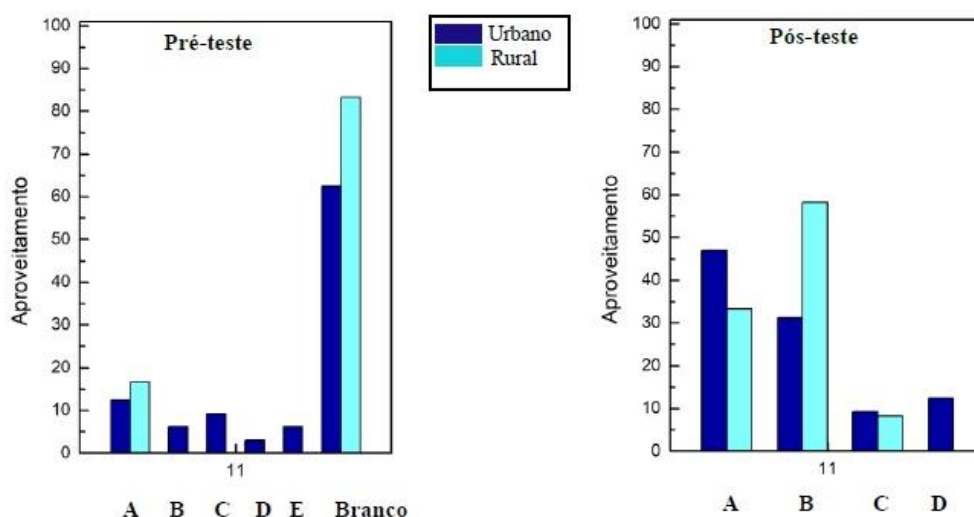
Resposta: item b) somente se $n_2 > n_1$.

Na aplicação do pré-teste, os estudantes da turma da zona rural, não souberam relacionar a imagem com as informações da questão 11, enquanto que na turma do colégio da zona urbana dois alunos marcaram a resposta correta.

Após a aplicação do PE, a maior parte dos alunos da zona rural conseguiu identificar a resposta correta.

Os resultados do pré e pós-teste da questão 11 são mostrados na Figura 4.18.

Figura 4.18 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 11: observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno. Resposta: item b) somente se $n_2 > n_1$.



Fonte: autor

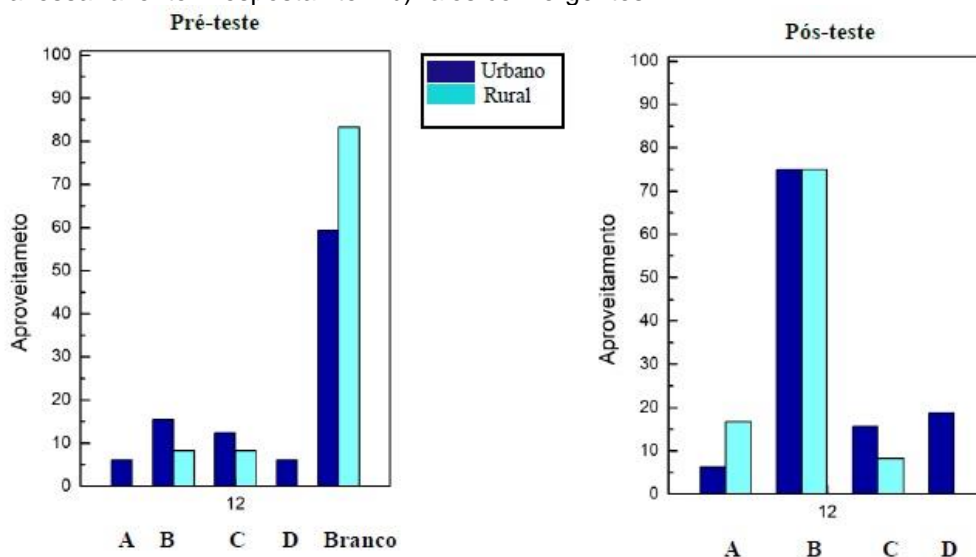
- **Questão 12 - A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente.**

Resposta: item b) raios convergentes.

Esta questão gerou muita discussão, durante o pré-teste e os alunos não sabiam a definição de divergente e convergente. Após a aplicação do Produto Educacional, eles compreenderam as características próprias de cada tipo de lente.

Os resultados da análise da resposta do pré e pós-teste da questão 12 estão na Figura 4.19.

Figura 4.19 – Gráfico apresentando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste de ambas as turmas: CECMF (campo) e CEDC (urbana), referente a questão 12: A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente. Resposta: item b) raios convergentes.

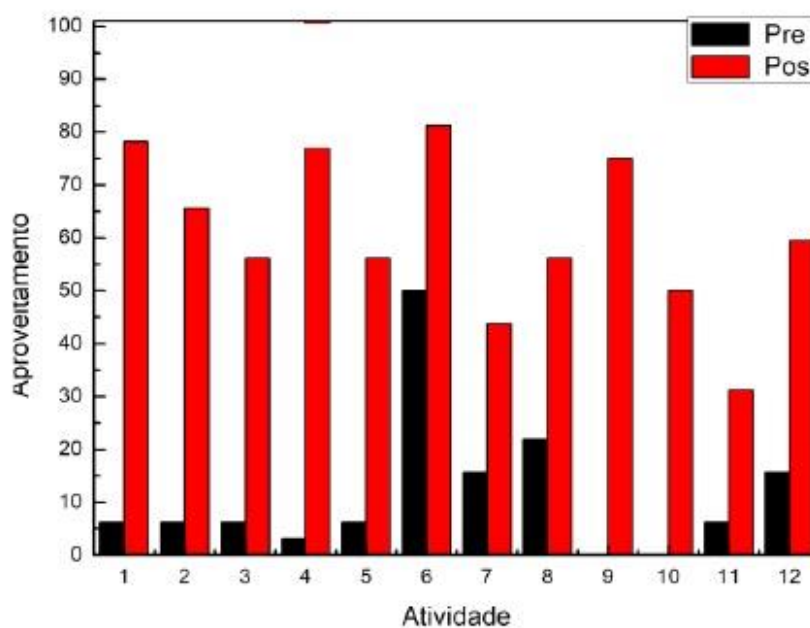


Fonte: o autor

4.2 Análise Comparativa

Nesta seção será analisado o rendimento de cada turma. A Figura 4.20 apresenta as respostas do pré e pós-teste dos estudantes do colégio da zona urbana (CEDC).

Figura 4.20 – Gráfico do aproveitamento versus atividade (por questão) comparando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste dos alunos do CEDC (urbana).

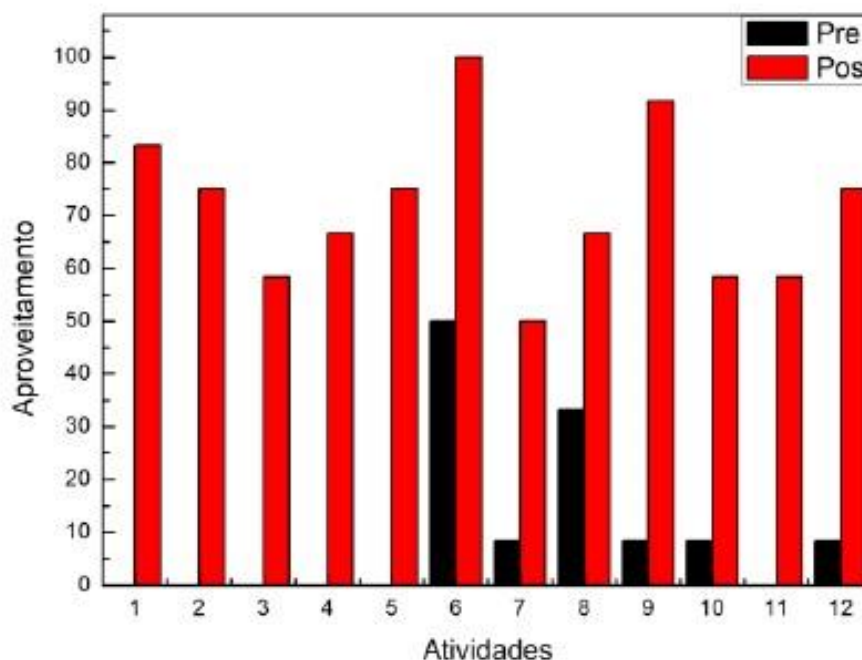


Fonte: o autor.

É notória a evolução dos alunos nesta análise quantitativa. As atividades realizadas mostraram-se de grande valor na aprendizagem dos alunos.

A Figura 4.21 apresenta as respostas do pré e pós-teste dos estudantes do colégio da zona rural.

Figura 4.21 – Gráfico aproveitamento versus atividade (por questão) comparando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste dos alunos do CECMF (rural).



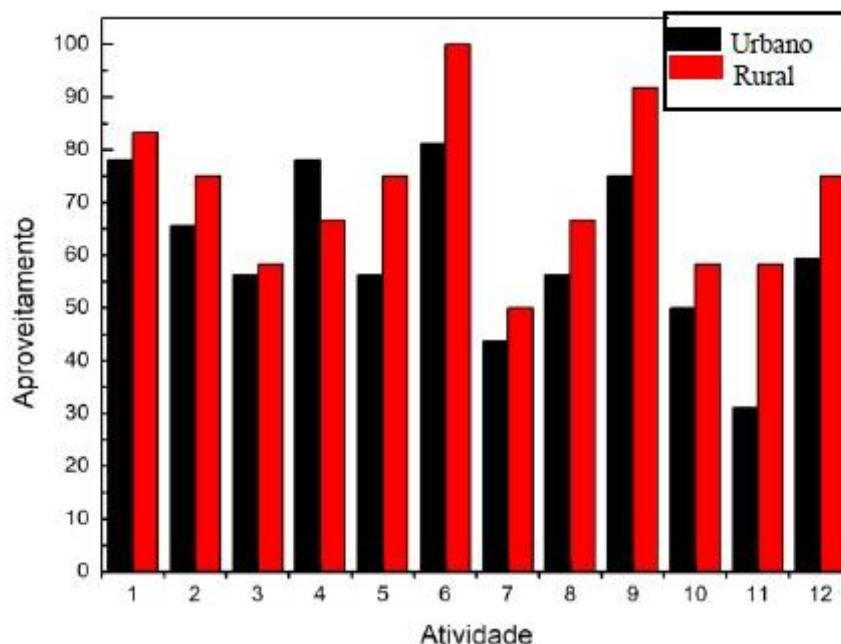
Fonte: o autor.

A evolução dos alunos do Colégio do Campo também é notória com um excelente aproveitamento em todas as questões. Estes resultados mostram a importância das atividades em que os alunos possam construir, testar, avaliar e assim, consolidar o aprendizado.

Apresenta-se na Figura 4.22 o desempenho entre os alunos da zona rural e zona urbana.

É possível verificar que os alunos da zona rural, exceto na questão 4, obtiveram desempenho melhor do que a turma da área urbana. Uma possível explicação seria a quantidade de alunos por turma, no colégio da zona rural de apenas 12 alunos e no colégio da zona urbana 32 alunos. Portanto, na turma da zona rural foi possível maior interação entre aluno e professor.

Figura 4.22 – Gráfico aproveitamento versus atividade (por questão) comparando o resultado da análise do pré-teste e do pós-teste dos alunos do CECMF (rural) com os da CEDC (urbano).



Fonte: o autor.

4.3 Avaliação das Atividades

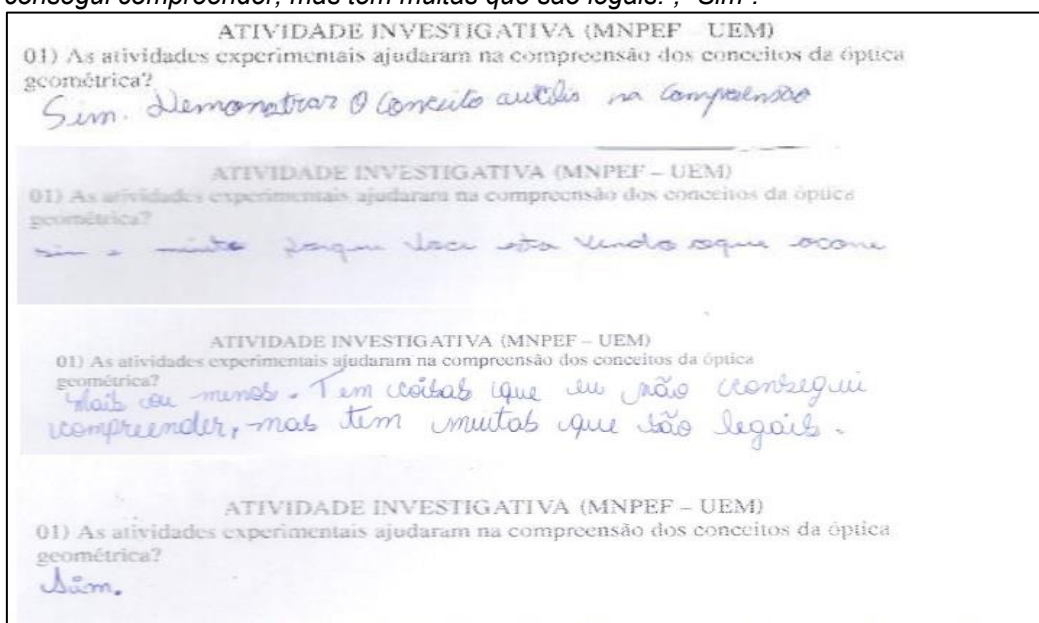
Para avaliar o desenvolvimento e aplicação das atividades foi proposto a realização de um questionário com 8 questões por parte dos alunos, que foi denominado de entrevista final. Este questionário não faz parte do PE, foi aplicado para se ter um *feedback* por partes dos alunos com o objetivo de melhorar cada vez mais a proposta.

- **Questão 1. As atividades experimentais ajudaram na compreensão dos conceitos de óptica geométrica?**

De forma geral, como se pode observar na Figura 4.23, os estudantes enfatizaram que a observação contribuiu para a assimilação dos conceitos. A observação do efeito obtido por meio de experimentos expõe detalhes que contribuem para o aprendizado.

Talvez para o (a) aluno (a) que ficou no “mais ou menos” se possa solicitar uma atividade individual para que a mesma possa compreender o que ainda ficou em dúvida, vemos que o fator tempo para explorar o conteúdo somente em sala de aula influencia no aprendizado.

Figura 4.23 – Imagem fotográfica da resposta da questão 1 de quatro alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Sim, demonstrar o conceito auxilia na compreensão [sic]”. “Sim e muito porque você está vendo o que [sic] ocorre”; “Mais ou menos; Tem coisas que eu não consegui compreender, mas tem muitas que são legais.”; “Sim”.

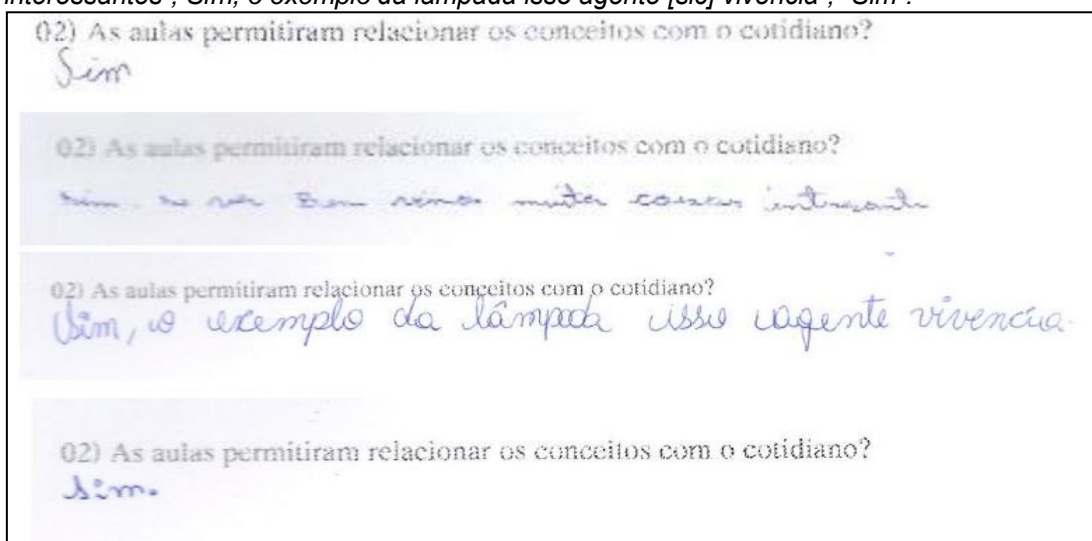


Fonte: arquivos do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

- **Questão 2. As aulas permitiram relacionar os conceitos com cotidiano?**

Em relação a esta questão, mais uma vez, as respostas foram unânimes e demonstraram que a prática ajuda a desenvolver no educando argumentos sólidos frente à teoria estudada, além de auxiliar na compreensão, como nos exemplos apresentados na Figura 4.24 de fotos das respostas dos alunos (as).

Figura 4.24 – Imagem fotográfica da resposta da questão 2 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Sim.”; “Sim, se ver Bem [sic] vimos muitas coisas interessantes”; “Sim, o exemplo da lâmpada isso agente [sic] vivencia.”; “Sim”.



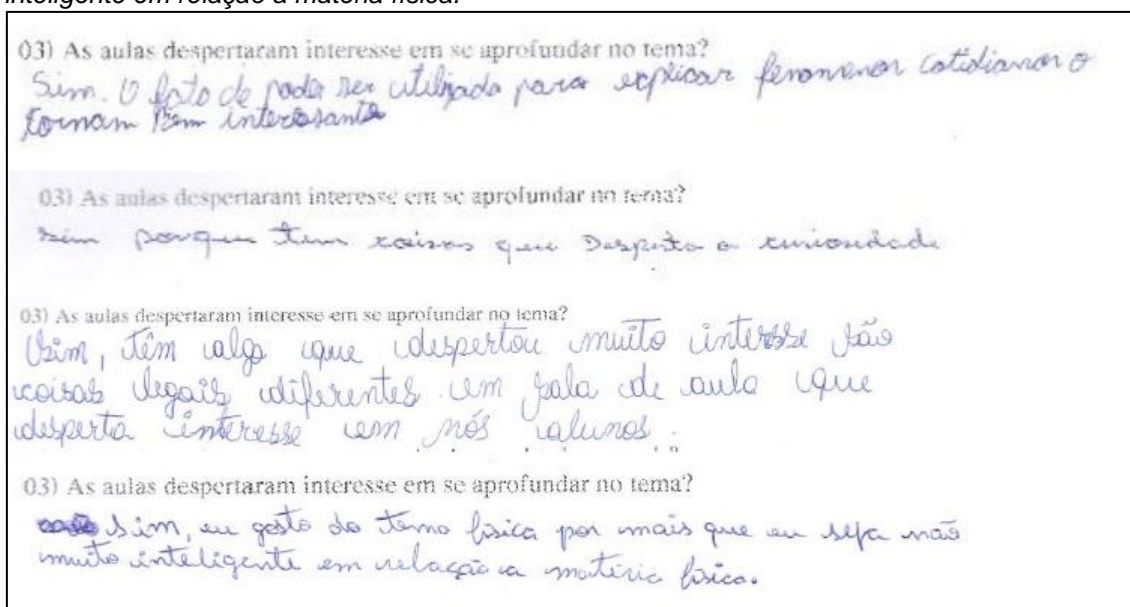
Fonte: arquivos do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

- **Questão 3. As aulas despertaram interesse em se aprofundar no tema?**

Nesta questão percebe-se que a curiosidade é citada como um fator importante na aprendizagem, o que, conseqüentemente, leva ao aprofundamento do conteúdo.

Compreender os conceitos científicos é perceber a Ciência como parte do cotidiano e não algo exclusivo “dos cientistas²⁴”, impossível de se aprender, destinado apenas para gênios. Na Figura 4.25 estão exemplos de respostas à terceira questão.

Figura 4.25 – Imagem fotográfica da resposta da questão 3 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Sim. O fato de poder ser utilizada para explicar fenômenos [sic] cotidianos o tornam Bem [sic] interessante.”; “Sim porque tem coisas que desperta [sic] a curiosidade.”; “Sim, têm [sic] algo que despertou muito interesse são coisas legais diferentes em sala de aula que desperta interesse em nós alunos.”; “Sim, eu gosto do tema física por mais que eu seja não muito inteligente em relação a matéria física.”



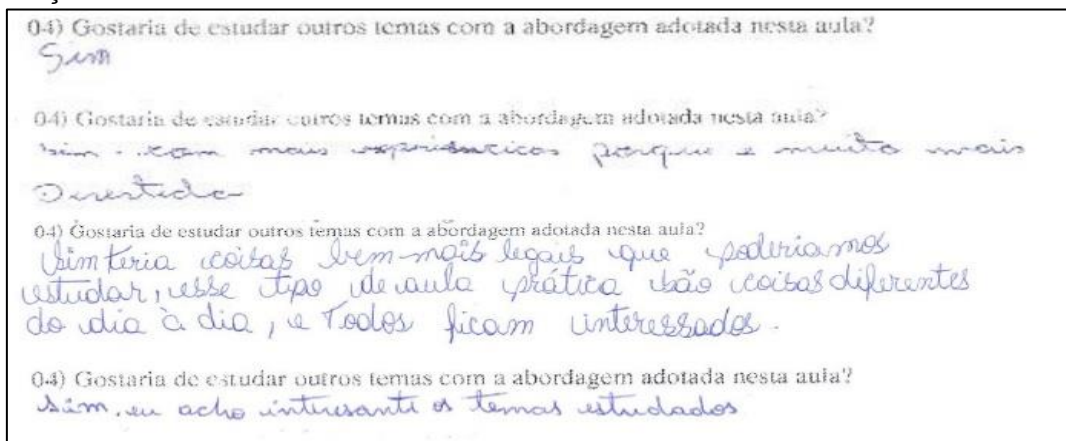
Fonte: arquivo do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

- **Questão 4 – Gostaria de estudar outros temas com a abordagem adotada nessa aula?**

Nesta quarta questão, investigou-se sobre a viabilidade de estudar outros temas com a abordagem adotada no PE. Demonstraram a grande aceitação da metodologia adotada e enfatizaram a importância das atividades práticas, como algo que tornam as aulas mais interessantes. Na Figura 4.26 apresenta algumas das respostas dadas pelos alunos.

²⁴ Definição dada por um estudante quando questionado sobre a importância de estudar ciência, durante os debates pós pré-teste.

Figura 4.26 – Imagem fotográfica da resposta da questão 4 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Sim. O fato de poder ser utilizada para explicar fenômenos [sic] cotidianos o tornam interessante.”; “Sim porque tem coisas que desperta [sic] a curiosidade.”; “ Sim, têm [sic] algo que despertou muito interesse são coisas legais diferentes em sala de aula que desperta interesse em nós alunos.”; “Sim, eu gosto do tema física por mais que eu seja não muito inteligente em relação a matéria física

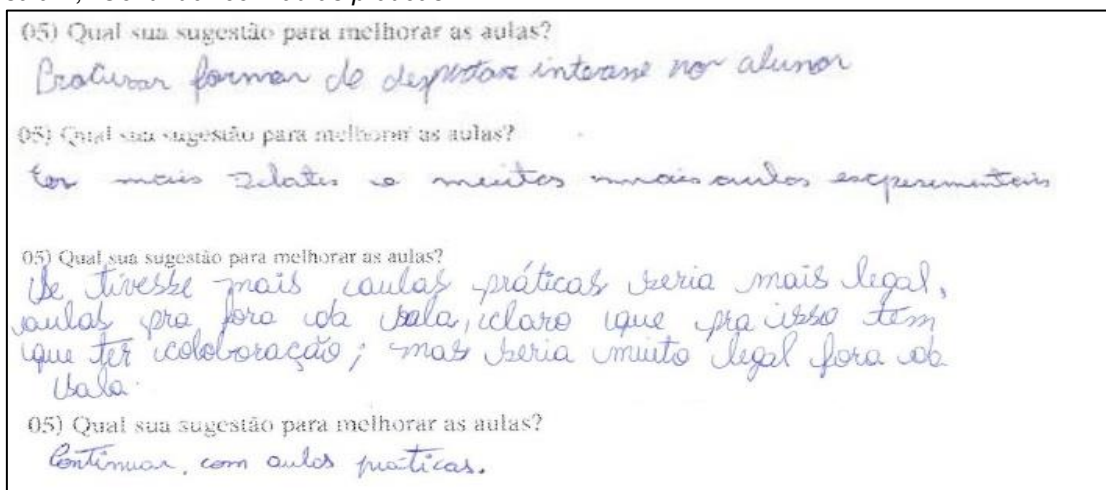


Fonte: arquivo do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

- **Questão 5 – Qual sua sugestão para melhorar as aulas?**

Nesta quinta questão, buscamos colher contribuições para melhorar as aulas. As respostas deixaram claro que as aulas práticas (experimentais) são fundamentais. Mostram a importância de se buscar formas diferenciadas que despertem o interesse do aluno e destacaram ainda a importância dos debates. Selecionaram-se quatro das respostas que estão apresentadas na Figura 4.27.

Figura 4.27 – Imagem fotográfica da resposta da questão 5 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Procurar formar de despertar interesse nos alunos”; “ter mais Debates [sic] e muitas [sic] mais aulas experimentais”; “ Se tivesse mais aulas práticas seria mais legal, aulas pra fora da sala, claro que pra [sic] isso tem que ter colaboração; mas seria muito legal fora da sala.”; “Continuar com aulas práticas”.

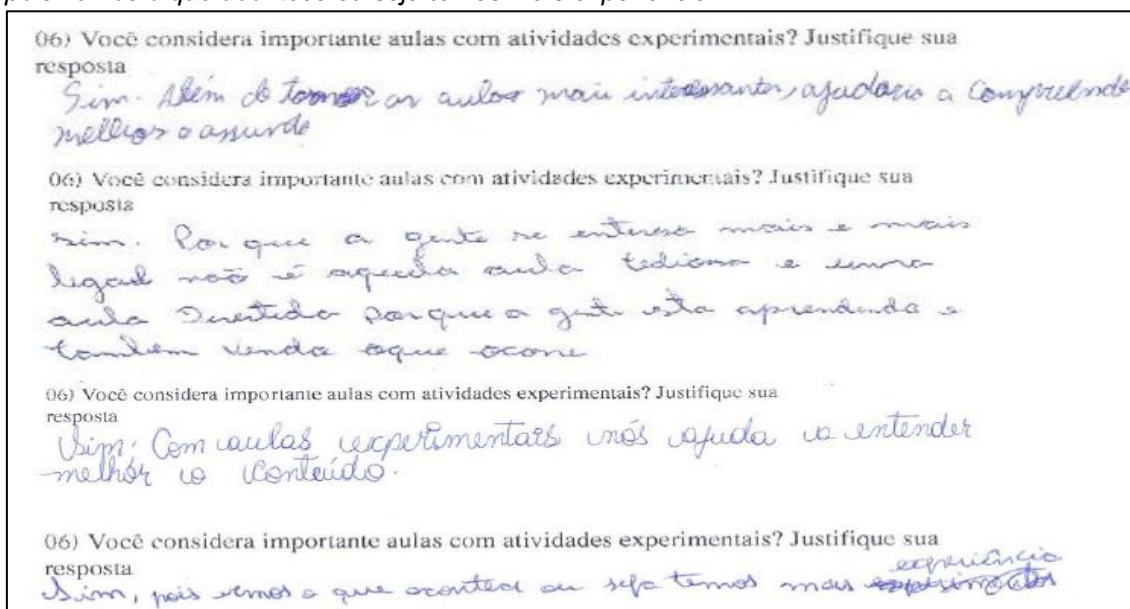


Fonte: arquivo do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

Questão 6 – Você considera importante aulas com atividades experimentais? Justifique sua resposta.

Os estudantes relataram que as atividades experimentais auxiliam na aprendizagem. Para eles, é importante a observação, pois além de facilitar a compreensão torna as aulas mais interessantes. Esse fato pode ser observado nas quatro respostas selecionadas apresentadas na Figura 4.28.

Figura 4.28 – Imagem fotográfica da resposta da questão 6 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Sim. Além de termos as aulas mais interessantes, ajudaram a compreender melhor o assunto”; “Sim. Por que a gente se interessa mais e [sic] mais legal [sic] não é aquela aula tediosa e [sic] uma aula divertida porque a gente está [sic] aprendendo e também vendo o que [sic] ocorre”; “Sim. Com aulas experimentais nós [sic] ajuda a entender melhor o conteúdo”; “Sim, pois vemos o que acontece ou seja temos mais experiência”.



Fonte: arquivo do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

• **Questão 7 – Você teve aula prática no primeiro ano?**

Nesta questão, constatamos que a maioria dos alunos (as) não teve aulas experimentais no primeiro ano, conforme retrata algumas das respostas apresentadas na Figura 4.28, e as que tiveram foram somente uma e segundo o relato de um (a) deles (as) não ocorreu de forma tranquila.

Figura 4.29 – Imagem fotográfica da resposta da questão 7 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Não”; “Não, as aulas eram tediosas”; Sim, foi uma só. Foi bom, mas aconteceu muitas encrencas.”; “Não”.

07) Você teve aulas práticas no primeiro ano?
 Não () Sim mais ou menos de três ao longo do ano _____
 Comente sobre elas: _____

07) Você teve aulas práticas no primeiro ano?
 Não () Sim mais ou menos de três ao longo do ano _____
 Comente sobre elas: *As aulas são tediosas*

07) Você teve aulas práticas no primeiro ano?
 () Não (x) Sim mais ou menos de três ao longo do ano *foi uma só.*
 Comente sobre elas: *foi bom, mas aconteceu muitas encrencas.*

07) Você teve aulas práticas no primeiro ano?
 Não () Sim mais ou menos de três ao longo do ano _____
 Comente sobre elas: _____

Fonte: arquivo do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

Questão 8 – Se você fosse o professor de Física: como você desenvolveria suas aulas?

Ao analisar as respostas observou-se que utilizariam a mesma metodologia com aulas experimentais e exemplos de fenômenos do cotidiano. O que de fato mostra que as atividades foram positivas, conforme ilustra algumas das respostas selecionadas apresentada na Figura 4.30.

Figura 4.30 – Imagem fotográfica da resposta da questão 8 de 4 alunos (as) do colégio da zona urbana (CEDC) e rural (CECMF). Transcrição: “Dando exemplos de fenômenos cotidianos e questionando aos alunos como eles poderiam explicar aquilo, incentivando-os a investigar e tentar formular resposta; e depois explicaria o verdadeiro motivo”; “com mais experimentos porque desperta interesses entre os alunos;” “Eu daria muitas aulas práticas, é um meio de o aluno despertar interesse pela aula, além dele entender melhor o conteúdo.”; “Com mais aulas práticas”.

08) Se você fosse o professor de Física: Como você desenvolveria suas aulas?
Dando exemplos de fenômenos cotidianos e questionando aos alunos como eles poderiam explicar aquilo, incentivando-os a investigar e tentar formular uma resposta; e depois explicaria o verdadeiro motivo

08) Se você fosse o professor de Física: Como você desenvolveria suas aulas?
com mais ~~experimentos~~ experimentos porque desperta interesse entre os alunos

08) Se você fosse o professor de Física: Como você desenvolveria suas aulas?
Eu daria muitas aulas práticas, é um meio de o aluno despertar interesse pela aula, além dele entender melhor o conteúdo.

08) Se você fosse o professor de Física: Como você desenvolveria suas aulas?
com mais aulas práticas.

Fonte: arquivo do autor e questionário respondido pelos alunos (as).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho fundamentou-se em uma proposta que privilegie as atividades experimentais investigativas, a fim de promover uma aprendizagem significativa de forma prática e simples.

Espera-se que o estudante, após o desenvolvimento das atividades, sintam-se estimulados pela Ciência.

A metodologia apoiou-se em atividades simples que podem ser construídas inclusive pelos estudantes e que, se trabalhadas de forma adequada pelo professor, podem promover aprendizagem significativa, construir habilidades de investigação e estimular o aprofundamento dos conceitos que estão em constante construção.

A falta de laboratórios e de *kits* experimentais dificulta a realização de atividades experimentais. Entretanto, como se trata de importante recurso na aprendizagem da Física, uma maneira simples de viabilizar estas atividades é recorrer à produção de experimentos usando materiais de baixo custo ou recicláveis.

Destaca-se ainda que, o experimento por si só não promove aprendizagem logo, é importante que o professor promova debates e reflexões sobre os conceitos estudados, bem como, valorize e crie proximidade entre a aprendizagem e a realidade dos alunos que, na maioria das vezes, percebem a Física como algo distante do seu dia a dia. É preciso romper esta barreira.

Neste trabalho pretendeu-se demonstrar que a simplicidade das atividades permite desconstruir estes preconceitos e driblar os obstáculos (como a falta de materiais e de espaço físico, por exemplo) que dificultam a aprendizagem dos alunos que compõem a escola pública.

Os objetivos traçados foram alcançados, por meio do questionário final constatou-se que houve evolução na construção dos conceitos. Porém para uma análise mais abrangente dos objetivos, faz-se necessário dar continuidade ao trabalho e acompanhar a evolução das turmas à longo prazo.

Em relação ao desempenho, os alunos da zona rural obtiveram melhor aproveitamento, ainda que não haja consenso de que o tamanho da turma influencie na aprendizagem. A turma da zona rural, com 12 alunos, apresentou melhor desempenho que a turma da zona urbana com 32 alunos, o que permitiu sanar as dúvidas individualmente na turma menor.

Outro aspecto importante foi à avaliação dos alunos sobre as atividades, em que a maioria considerou as atividades importantes na sua aprendizagem e que gostariam de ter mais atividades experimentais nas aulas.

Os estudantes tiveram a oportunidade de observar, investigar, manusear e debater sobre os conceitos estudados.

Percebemos que há pontos que podem ser melhorados, porém, as atividades ainda que simples, romperam com a maneira tradicional de ensinar Física e ofereceu ao aluno a oportunidade de desmistificar a Física, desfazendo o conceito atribuído a ela de ser “difícil e inacessível”, conscientizando-se que a natureza e o dia-dia está permeado de questões relacionadas à mesma.

Não somente o processo de aprendizagem foi avaliado, mas o de ensino também. Pois posso afirmar como docente da componente curricular Física, que com as aulas práticas e interligadas ao cotidiano, envolvendo pesquisas e entrevistas, foi uma experiência bastante agradável, as aulas foram leves. Embora mais trabalhosa de elaborar pois necessita-se dedicar mais horas de atividade fora da sala de aula, valeu o tempo dedicado, e que pretendo continuar a utilizar essa metodologia e melhorá-la cada vez mais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. de O. da C.; SOAVE, C. A., ; AZEVEDO, P.. *Concepções alternativas em óptica* - Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007. 74 fs.: il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antônio Moreira, Eliane Ângela Veit, ISSN 1807-2763; v. 18, n.2).

BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. F. S.A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M.; PRADO E. P; CASEMIRO, R.. **Física: termologia, óptica, ondulatória**, 2º ano., 2ª Ed., São Paulo: FTD, 2013.

BONJORNO, R. A.; BONJORNO, J. R.; BONJORNO V.; RAMOS, C. M.. **Física Completa – Volume único**; ensino médio / -- 2. ed -- São Paulo: FTD, 2001.

BYBEE, R.W. (1997). *The Sputnik Era: Why is this Educational Reform Different from All Other Reforms? Symposium Reflecting on Sputnik: Linking the Past, Present, and Future of Education Reform. The National Academy of Sciences. Washington, EUA.* Disponível em: <http://www.nationalacademies.org/sputnik/bybee3.htm> Acesso em: 08 de janeiro de 2017.

BORGES, A. T, *Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências*. Caderno. Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n.3, p.291-313, 2002.

CARRON, W. e GUIMARÃES, O., **As Faces da Física**: volume único -- São Paulo: Moderna, 1997.

DIRETRIZES CURRICULARES DE FÍSICA PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA DO ESTADO DO PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação do Paraná. 2008. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/dce_fis.pdf>. Acesso em 03 de janeiro de 2019.

EDUCABRAS, *Espelhos Esféricos – espelho esférico de Gauss*, 2018. Disponível em: <https://www.educabras.com/vestibular/materia/fisica/optica/aulas/espelhos_esfericos_espelho_esferico_de_gauss> . Acessado em 25/09/2019.

EDBJA- ESCOLA DE EDUCAÇÃO BÁSICA PROF. JOSÉ ARANTES, *Experimentos de Física – 2. Reflexão da Luz - “Pente reflexivo”* – 2009. Disponível em:<<http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/2-reflexao-da-luz.html>>. Acesso em 01 de janeiro de 2017.

FERREIRA, N. C.; LEJBMAN, I. D. G. V.. *Proposta de laboratório para a escola brasileira: um ensaio sobre a instrumentalização no ensino médio de Física*. 1978. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

FIGUEIREDO, O. S.. *Além do Arco íris*, 2019. disponível no site: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/curiosidades-2/arco-iris/>> Acessado em 25 de setembro de 2019.

FRAGNITO H. L. e COSTA, A. C., *Dispersão da Luz por um Prisma*, Unicamp – IFGW, Janeiro 2010. Disponível em <<https://sites.ifi.unicamp.br/hugo/files/2013/12/prism.pdf>>. Acessado em 25 de setembro de 2019.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. de C.. *Atividades Experimentais de Demonstração em Sala de Aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky*. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. , WALKER, J., **Fundamentos de Física, volume 4: Óptica e Física moderna** - tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

iGUi ECOLOGIA, *Como os arco Iris são formados*, 2018. Disponível em: <<https://www.iguiecolgia.com/como-os-arco-iris-sao-formados/>>. Acessado em 25/09/2019.

LORENZ, K. M. *Ação de Instituições Estrangeiras e Nacionais no Desenvolvimento de Materiais Didáticos de Ciências no Brasil: 1960 -1980*. Revista Educação em Questão, Natal, 2008.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB, 1999.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília, Editora da UnB. 185p, 2006.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. Aprendizagem significativa em revista/Meaningful Learnig Review – v1(3), pp. 25 – 46, 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A.. *O que é afinal aprendizagem significativa?* Al final, qué es aprendizaje significativo? Revista Currículum. Espanha: Universidade de La Laguna, v. 25, p. 29-56, março. 2012. Disponível no site:< <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S.. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

NITSCHKE, F. E. A. *Lei de Hooke e conservação de energia: uma proposta experimental aplicada ao primeiro ano do Ensino Médio*. 167 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2019.

NUSSENZVEIG, H. M.. Curso de Física Básica – Vol.4 - **Ótica, Relatividade e Física Quântica** – 1ª edição – São Paulo: Editora Blücher, 1998.

PCN+ - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais FÍSICA. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2018.

PERUZZO, J. **A Física Através de Experimentos: Termodinâmica, Ondulatória e Óptica**. VII Termodinâmica, Ondulatória e Óptica, 1ª edição, Edição autoral, Irani (SC), p. 377, 2013.

ROBERTO, E. V.. *Aprendizagem ativa em óptica geométrica: experimentos e demonstrações investigativas*. 141 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Física – Área de concentração: Física Aplicada) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-05072009-203744/publico/Aprendizagem_ativa.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2018.

SANTOS, M. A.. *Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos*. 133 fs. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016.

SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A.. *Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula – um estudo exploratório*. Investigações em Ensino de Ciências – V11(3), pp.383-401, 2006.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. *O papel da experimentação no ensino da física*. Caderno brasileiro de ensino de física, v. 20, n. 1, abr. 2003.

SASSERON, L. H.. *Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola*. Revista ensaio, Belo Horizonte, v.17 n. especial, p. 49 – 67, 2015.

SOUSA, D. B. de. *Um curso de ótica baseado em experimentos / Daniele Barroso de Sousa*. –

Fortaleza, 59 p; Monografia (Graduação em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, 2010.

TAHA, M. S.; LOPES, C. S. C.; SOARES, E. L.; FOLMER, V. *Experimentação Como Ferramenta Pedagógica Para O Ensino de Ciências. Experiências em Ensino de Ciências*, Uruguaiana/RS, v. 11, n. 1, p. 138-154, 2016.

WIKIPEDIA_ARCO IRIS, *Arco-Íris*, <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arco-%C3%ADris>>. Acessado em 02/0/2019

WIKIPEDIA_DISCO DE NEWTON:, *Disco de Newton*, <https://pt.wikipedia.org/wiki/Disco_de_Newton>; acessado em 25/08/2019;

VIANA, L.B.. “Como são feito os espelhos esféricos?”, disponível em <[https://www.infoescola.com/optica/como-sao-feitos-os-espelhos-esfericos/.](https://www.infoescola.com/optica/como-sao-feitos-os-espelhos-esfericos/)>; Acesso em 12/08/2019.

YAMAMOTO, K. e FUKU, L. F.. **Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória** -- 4.ed -- São Paulo. Editora Saraiva, 2016.

ZANATTA, S. C.; LEIRIA, TALISSON F.. *Uma análise das atividades experimentais publicadas em artigos científicos. Ensino & Pesquisa*, v.16, n.1, 120-149, 2018.

ZOMPERO, A. F.; LABURU, C. E. *Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Ensaio: pesquisa em educação em ciências*, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

ANEXO I – TERMOS DE AUTORIZAÇÃO

Apresentam-se neste anexo, os termos de autorização dos colégios onde foi aplicado o Produto Educacional. Lembrando que foram dois colégios públicos, sendo uma na área urbana, que foi o Colégio Estadual David Carneiro do município de Guapirama – PR e a outra na área rural denominado Colégio Estadual do Campo Margarida Frankilin do município de Ibaiti – PR.



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Maringá, 05 de abril de 2018.

À Direção
Colégio Estadual David Carneiro – Ensino Fundamental e Médio
Rua Brasil, 200 – Centro, Guapirama - Paraná.

Prezada Direção,

Venho por meio deste, apresentar o Pós-Graduando **PEDRO PAULO DE BRITO (RA 49893)**, acadêmico regularmente matriculado no Programa de Pós Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), desde 01/03/2017. Este desenvolve o trabalho intitulado: “**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAL DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA**” sob a orientação da Prof^a Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho.

Nesse sentido, solicitamos a autorização deste colégio para que o Pós-graduando **PEDRO PAULO DE BRITO** possa realizar a sua pesquisa para desenvolver e aplicar seu trabalho de mestrado na turma do segundo ano do Ensino Médio, respeitando o caráter ético e assegurando a preservação da identidade das pessoas participantes.

Esclarecendo que os acadêmicos do MNPEF são professores da rede de ensino que ministram a componente curricular Física ou Ciências, e que o trabalho de mestrado destes deve gerar um Produto Educacional e uma Dissertação explorando a validade de seu produto educacional. Solicitamos assim, a permissão para a divulgação do trabalho desenvolvido incluindo os resultados e suas respectivas conclusões da aplicação do Produto Educacional preservando sigilo e ética.

Por fim, nos colocamos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o desenvolvimento do projeto de pesquisa que está sendo realizado.

Agradecemos vossa compreensão e colaboração.
Atenciosamente,

Prof. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho
Orientadora

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
Coordenador do Programa de Pós-Graduação do
Profissional em Ensino de Física (Polo UEM)

AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO:

Concordo com o solicitado: _____

COLÉGIO ESTADUAL DAVID CARNEIRO
ENSINO FUNDAMENTAL, MÉDIO E NORMAL
FONE/FAX: (43) 3573-1188
E-mail: cpmdavidcarneiro@seed.pr.gov.br
Rua Brasil, 200
CEP 86465-000
Guapirama – Paraná

Av. Colombo, 5.790 – Campus Universitário – CEP 87.020-900 – Bloco G56 – sala 022 – Maringá – PR
Fone: (44) 3011-5900 / e-mail: mnpef_ucem@dfi.uem.br / site: <http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/>



Universidade Estadual de Maringá

Centro de Ciências Exatas

Departamento de Física

Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Maringá, 05 de abril de 2018.

Ao Diretor Sérgio Moraes de Medeiros
Diretor do Colégio Estadual do Campo Margarida Franklin Gonçalves – E.F.M.
Rua Presidente Costa e Silva, 588 – Distrito de Campinhos, Ibaiti, Paraná.

Prezado Diretor

Venho por meio deste, apresentar o Pós-Graduando **PEDRO PAULO DE BRITO (RA 49893)**, acadêmico regularmente matriculado no Programa de **Pós Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)** da **Universidade Estadual de Maringá (UEM)**, desde 01/03/2017. Este desenvolve o trabalho intitulado: **“UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAL DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA”** sob a orientação da Prof^ª Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho.

Nesse sentido, solicitamos a autorização deste colégio para que o Pós-graduando **PEDRO PAULO DE BRITO** possa realizar a sua pesquisa para desenvolver e aplicar seu trabalho de mestrado na turma do segundo ano do Ensino Médio, respeitando o caráter ético e assegurando a preservação da identidade das pessoas participantes.

Esclarecendo que os acadêmicos do MNPEF são professores da rede de ensino que ministram a componente curricular Física ou Ciências, e que o trabalho de mestrado destes deve gerar um Produto Educacional e uma Dissertação explorando a validade de seu produto educacional. Solicitamos assim, a permissão para a divulgação do trabalho desenvolvido incluindo os resultados e suas respectivas conclusões da aplicação do Produto Educacional preservando sigilo e ética.

Por fim, nos colocamos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o desenvolvimento do projeto de pesquisa que está sendo realizado.

Agradecemos vossa compreensão e colaboração.

Atenciosamente,

Prof. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho
Orientadora

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
Coordenador do Programa de Pós-Graduação do
Profissional em Ensino de Física (Polo UEM)

AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO:

Concordo com o solicitado:

Sérgio Moraes de Medeiros
Diretor

Diretor: Sérgio Moraes de Medeiros

Av. Colombo, 5.790 – Campus Universitário – CEP 87.020-900 – Bloco G56 – sala 022 – Maringá – PR
Fone: (44) 3011-5900 / e-mail: mnpef_uem@dfi.uem.br / site: <http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/>

APÊNDICE I – GABARITO

Neste apêndice estão apresentadas as respostas das questões propostas pelo autor no PE na metodologia aplicada, utilizando como estratégia a parte experimental (propostas e confeccionadas pelo docente, bem como outros pelos estudantes), pesquisas, entrevistas. .

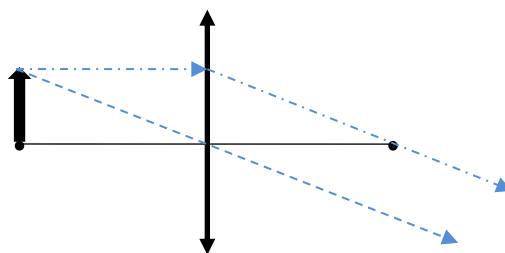
➤ Aula 1 - Pré e Aula 9 - Pós-Teste

- 1 O que é luz? É uma fração do espectro eletromagnético que impressiona os olhos.
- 2 O que é refração? É o fenômeno óptico da variação da velocidade da luz, para o observador, ao passar de um meio material óptico para outro.
- 3 O que é reflexão? É o retorno de um feixe de luz ao próprio meio de origem, após incidir sobre uma interface que o separa do outro meio.
- 4 Como é formado o Arco-íris? Devido à ocorrência de fenômenos como a refração, a decomposição da luz branca, seguida da reflexão total da luz no interior de uma gotícula de água em suspensão na atmosfera.
- 5 Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água? Devido ao fenômeno da refração da luz, como a luz se propagou em meios materiais distintos com refrefrências diferentes, ocorre à variação da velocidade da luz, com isso os raios de luz muda de direção dando a aparência de estar quebrado.
- 6 Qual problema da visão pode ser corrigido com uma lente divergente? Item b – Miopia.
- 7 O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz: item c – se propaga em linha reta.
- 8 Ao observar um objeto que não seja a fonte de luz e este se apresenta na cor azul. O objeto parece azul por quê: item d – Reflete luz azul.
- 9 A Figura A ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada: item c – atrás do espelho.
- 10 A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

Item d – imagem imprópria se forma muito longe.

- 11 Observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente RI, refletido Rr e refratado RR. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

Figura B: Representação de uma lente convergente.



Item b – Somente se $n_2 > n_1$.

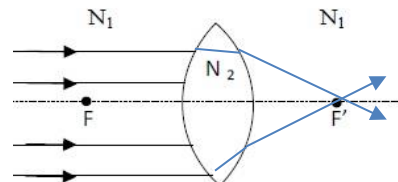
Comentário: o raio refratado (RR) se aproxima da normal.

12 - A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados

$N_1 < N_2$.

Item b - raios convergentes

Figura D - Desenho esquemático representando um feixe de luz paralelo incidente em uma lente biconvexa de índice de refração N_2 imersa em um meio de índice de refração N_1 .



➤ **Aula 2- Princípios da Óptica Geométrica: cores e luz, decomposição e recomposição do espectro da luz visível**

Qual a sua opinião sobre:

a) A luz irá atravessar o prisma ou o prisma irá bloquear a passagem da luz?

Resposta esperada: respondida no item 2 c)

b) O prisma irá interferir ou não na propagação da luz? De que forma, caso sua análise se confirme, isso ocorre?

Resposta esperada: Depende do ângulo de incidência. Se incidir obliquamente irá sofrer um refração ao entrar no prisma e outra ao sair, dispersando em 7 cores.

c) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

Resposta esperada: Espectro da luz visível.

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

a) O que seu grupo notou? Resposta coletiva, e que notaram o espectro da luz visível.

b) Especifique as alterações que seu grupo percebeu? Resposta: O feixe de luz ao atravessar o prisma sofre refração decompondo-o.

c) O prisma bloqueou a luz? Resposta: Não

d) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma? Resposta: A luz é uma onda eletromagnética composta por infinitos raios de luz monocromáticos que ao transpor um prisma ocorre sua decomposição, sendo possível sua percepção mesmo a olho nu.

• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

a) Quantas cores o grupo pode perceber? Resposta: Sete, são elas: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

b) Ilustre em uma folha e descreva o fenômeno. Resposta: desenhar a decomposição observada. Exemplo Figura 1.4.

c) Qual a relação entre a luz branca e o espectro de cores que ela gera em um prisma? Resposta: Um feixe de luz é composto por infinitos raios de luz monocromáticos.

d) Porque a luz se decompõe ao passar pelo prisma? Resposta: Devido ao fenômeno da refração.

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

a) Sabendo que as cores que aparece no espectro são: vermelho, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta. Será que é possível reconstituir o fenômeno? De que forma? Resposta: Espera-se que a resposta sim, com a utilização de um aparato como o disco de Newton.

b) O professor sugere a construção do disco de Newton e os questiona se funcionaria; após discussões, produzem o disco. Resposta: Experimento 1.1.(b) no Apêndice II .

c) O que o grupo notou observando o aparato “Disco de Newton”? Resposta: Espera-se que o grupo visualize a união das cores do disco, aproximando sua tonalidade a cor branca (Figura 3. 2(b)).

➤ Aula 3 – Reflexão da Luz – Pente Reflexivo

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre os raios de luz quando:

a) a luz e o pente diante do espelho, represente os raios de luz geometricamente.

b) A luz e o pente obliquamente ao espelho? Represente os raios de luz geometricamente.

Resposta: Cada aluno irá responder desenhando de acordo com o que imagina que ocorreria.

As respostas corretas estão apresentadas no item b da Etapa 2.

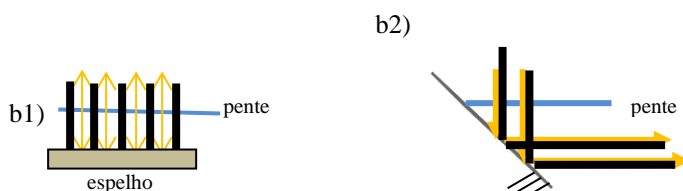
- **Etapa 2 – Depois de manipular a montagem experimental**

a) O que seu grupo notou em cada caso? Houve reflexão nos dois momentos?

A resposta correta seria: sim, houve reflexão nos dois casos referentes a Etapa 1.

b) Represente graficamente o fenômeno observado.

Respostas corretas: b1 – luz e pente diante espelho e b2 – luz e pente obliquamente ao espelho.



Exemplo deste caso: Figura 3.3(a).

O esperado é que o estudante perceba que a superfície espelhada rebate a luz de volta ao meio de propagação. E que esta reflexão obedece a uma simetria, o raio incidente forma um ângulo com a normal e o raio refletido forma o mesmo ângulo (lei da reflexão). De acordo com o ângulo incidente

se obtêm infinitos raios refletidos, ou o ângulo refletido varia de acordo com o incidente até o ponto em que não reflete mais, isso numa incidência a 180°.

c) Mudou alguma coisa em sua percepção após a observação?

Comparação entre a resposta dada na Etapa 1 e o item a) e b) da Etapa 2.

d) O que podemos aferir (verificar) sobre os raios de luz quanto à sua propagação?

Espera-se que responda que o raio de luz ao chocar-se com um obstáculo, muda de direção.

e) A imagem formada é direita ou invertida?

Invertida, pois se sobrepõem uma a outra ficam assimétricas.

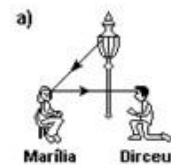
• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

a) Determine geometricamente as imagens formadas pelo espelho:



b) (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que estão CORRETAMENTE representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.

Resposta: item a) A luz incide em Marília que a reflete até os olhos de Dirceu.



➤ **Aula 4 - Refração da Luz - Desvio do Raio de Luz**

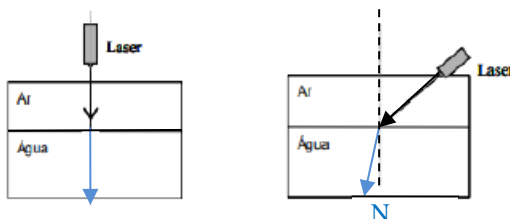
• **Etapa 1 – Apresentando o aparato: “Incidência de luz de um laser num aquário” sem ligar o laser para explorar os conhecimentos prévios dos alunos.**

Qual a sua opinião em relação as questões a) e b):

a) O que acontecerá com a luz quando incidir no aquário? *Opinião pessoal.*

b) Analisando duas situações, como mostra a Figura A, determine a propagação do raio de luz.

Figura A: Desenho esquemático representando uma caneta laser apontando o seu feixe de luz em uma caixa transparente com água.



Opinião pessoal, mas as respostas corretas são, indicados em azul na Figura A:

(a) A luz passa direto quando incidido perpendicular a superfície da água,

(b) quando incidido obliquamente se aproxima da normal (N) .

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

a) Faça um desenho representando o fenômeno observado. Respondido no item b da Etapa 1, Figura A e as equivalentes são Figuras 3.6 (a) e (b).

b) Por que a luz muda de direção ao entrar no aquário? Esse mesmo efeito aconteceria em outros meios, como o vidro, por exemplo? Justifique. Espera-se que o estudante relacione ao fenômeno da **refração**. Compreenda que ocorre em diferentes meios e explique que o vidro e o ar possuem índice de refração diferente, essa diferença de refração produz o mesmo efeito.

c) Pensando no comportamento da luz, como esse fenômeno pode ser explicado? Espera-se que o estudante compreenda o Princípio da Propagação Retilínea da luz, compreenda o comportamento óptico quando a luz passa por meios distintos mudando sua direção. Considerando ainda, a alteração da velocidade da luz (v) pelos meios possuírem refrações diferentes, o que pode ser visto pela Equação (1.5).

• **Etapa 3 – Atividades concluintes, por meio de pesquisas no material didático e internet.**

a) Qual o índice de refração da água? E do ar? O índice de refração da água $n_{\text{água}} = 1,33$; e a do ar $n_{\text{ar}} = 1$.

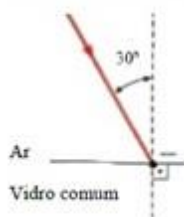
b) O que é o fenômeno “refração da luz”? É um fenômeno óptico em que ocorre a variação de sua velocidade, para o observador, ao passar de um meio material óptico para outro.

c) O que são meios refringentes? É uma propriedade óptica do meio material que informa o grau de dificuldade à passagem da luz.

d) Sabe-se que, para o vidro comum o índice de refração na cor violeta é $\frac{39}{20}$ e o da cor vermelha é $\frac{25}{20}$. A Figura B representa um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano formado entre o ar e o vidro comum. Determine com os dados da Tabela Z, os ângulos de refração de um raio de luz da radiação vermelha e violeta utilizando a Lei de Snell.

A Lei de Snell é a Eq. (1.1), $\theta_1 = 30^\circ$, e $\text{sen } 30^\circ = 0,5$, o índice de refração do ar $n_{\text{ar}} = 1$.

Figura B: Desenho esquemático representando um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano formado entre o ar e o vidro comum.



Seno	Ângulo
0.20	11,5°
0.25	14,5°
0.30	17,5°
0.35	20,5°
0.40	23,5°
0.45	26,5°

Tabela Z: Dados de valores seno e seus respectivos ângulos.

Para o vidro na cor violeta é $n_2 = \frac{39}{20}$.

Substituindo estas informações na Eq. (1.1):
 $1 (\text{sen } 30^\circ) = \left(\frac{39}{20}\right) \text{sen } \theta_2$.

$$\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{20}{39}\right) = \text{sen } \theta_2 \Rightarrow \frac{10}{39} = \text{sen } \theta_2; \theta_2 = 14,5^\circ.$$

Para o vidro na cor vermelha é $n_2 = \frac{25}{20}$.

Substituindo estas informações na Eq. (1.1):
 $1 (\text{sen } 30^\circ) = \left(\frac{25}{20}\right) \text{sen } \theta_2$.

• **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

a) Depois de conhecer as características da refração da luz: demonstre este efeito de outra forma.

Exemplos de aplicação: Experimento da moeda com a xícara ou copo opaco, como o disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/verificando-refracao-luz.htm>> (publicado por Domiciano Marques), ou a do lápis ou canudo quebrado, como o disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1766>> (Portal do Professor/MEC).

➤ Aula 5 - Espelhos Planos – Associação de Espelhos

• Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo

Qual a sua opinião:

- O que acontecerá se um objeto estiver posicionado entre dois espelhos paralelo? Onde aparecerá a sua imagem? Resposta pessoal. O correto seria, a imagem aparecerá “atrás” do espelho.
- Colocando dois espelhos próximos, é possível determinar se aparecerá mais de uma imagem? De que forma isso seria possível? Resposta pessoal. A resposta adequada é: sim, colocando um objeto entre os espelhos.
- Qual a sua percepção sobre as imagens formadas em um espelho? Descreva como é possível este fenômeno. O aluno responderá de acordo com seus conhecimentos prévios, e a resposta adequada é que seja virtual (“atrás” do espelho) e de mesmo tamanho.

• Etapa 2 – Depois de manipular o aparato

A Tabela A se refere às questões: a, b e c.

Tabela A - Valores de ângulos e imagens

Ângulo	Nº Imagens
30°	11
45°	7
60°	5
90°	3
120°	2
180°	1

- Conte quantas imagens se forma em cada ângulo e preencha a Tabela A.

Exemplo das Figuras 1.11.

- Analise os resultados e deduza uma equação de formação de imagens.

Posicionando o objeto na linha do plano bissetor entre os dois espelhos: se os espelhos estão a 180°, N=1; Como o maior ângulo entre os espelhos é de 360°, se dividirmos o máximo por 180°, o valor será igual a 2, mas como o número formado de imagem é igual a 1, temos que subtrair 1 para que N seja igual a 1, no centro, metade para cada espelho;. Tal que: $N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$ em que α é o ângulo formado entre os espelhos. Testando: se os espelhos estão a $\alpha = 360^\circ$, N=0 e formará não forma imagem, pois os espelhos estão com os lados espelhados opostos um ao outro., Esta é a Equação (A.1).

- Qual a explicação das imagens formadas para os espelhos em paralelos.

Nos espelhos em paralelo ocorre a formação de infinitas imagens devido ao efeito da reflexão. Exemplo Figura 1.12.

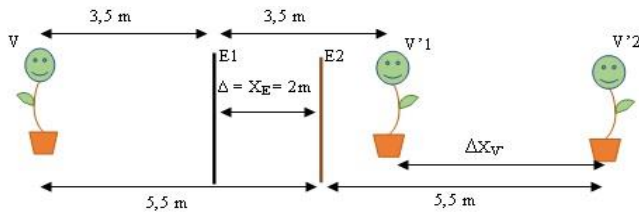
• Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet

a) Imagine um vaso com flores diante de um espelho plano vertical que pode se mover. O que acontece com a imagem do vaso caso o espelho fosse afastado ou aproximado do vaso?

Este se afasta ou se aproxima do vaso acompanhando o movimento do objeto.

b) Se o espelho, inicialmente a 3,5 m do vaso, é afastado a 2 m do mesmo, que distância separa a primeira imagem da segunda?

Figura R.3.1 - Construindo-se a Figura ilustrativa, onde E1 e E2 representa a ilustração das posições do espelho, V é a ilustração do vaso e V'1 e V'2 são as posições das imagens dos vasos.



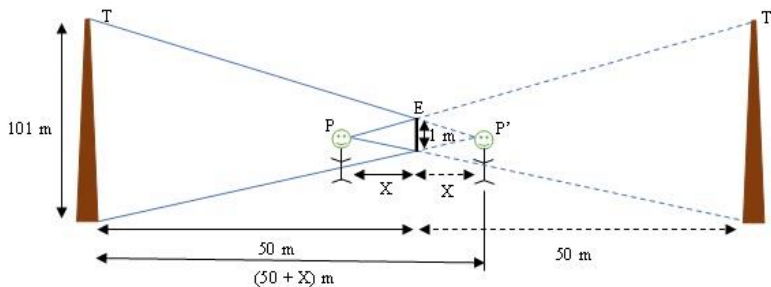
Sabendo que a imagem V'1 situa-se na mesma distância do espelho E1 que o objeto V, afastando o espelho para a direita na posição E2 obtém-se a imagem V'2 em uma nova posição. Logo a distância $\Delta X_{V'}$ entre as posições V'2 e V'1 da imagem é 4 metros como ilustrado na Figura R.3.1. Temos:

$$\Delta X_{V'} = 2 X_E = 2 (2 \text{ m}) = 4 \text{ m}$$

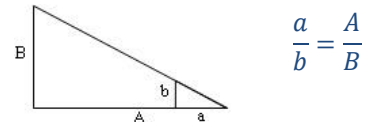
c) Pedro deseja observar uma torre inteira, de 101m de altura, por meio de um espelho vertical, plano de tamanho 1m, situado a 50 m dela. Qual deve ser a distância mínima do espelho à qual Pedro deverá ficar?

Sabendo que a torre possui 101 m de altura e está a 50 m de distância do espelho. Podemos calcular o valor de X por meio de semelhança de triângulo. A Figura R.3.2 ilustra essa situação: O observador (P) vê por um espelho plano a uma distância X dele, uma torre que está a 50 m atrás do observador. De forma que, como ele consegue ver a torre inteira, isto significa que o mesmo vê a imagem a 50 m atrás do espelho. E sua imagem está a X do espelho.

Figura R.3.2 - Figura ilustrativa, em que T é a altura da torre, T' é a altura da imagem da torre, E ilustra o espelho, P o observador e P' a imagem do observador através do espelho E.



Por semelhança de triângulo:



$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B}$$

No caso: $EP'X = TP' (50 + X)$

$\frac{X}{1} = \frac{50+X}{101} \Rightarrow 101 X = 1 (50 + X) \Rightarrow (100 - 1)X = 50 \Rightarrow X = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$. Logo, a resposta é o item d).

d) Se você estiver se aproximando perpendicularmente de uma parede espelhada a uma velocidade de 2,5m/s, a sua imagem. **Resposta:** Devido ao movimento, imagem P' e objeto P, estão se aproximando à mesma velocidade 2,5m/s da parede espelhada Observando a Figura R.3.3, temos:

Figura R.3.3 - Desenho ilustrativo do observador P aproximando-se do espelho E.

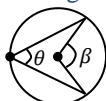


$$V_m = V_P + V_{P'} = 2,5 + 2,5 = 5 \text{ m/s}$$

Portanto a resposta é o item: e) aproxima-se de você com velocidade de 5 m/s

e) Um espelho plano sofre uma rotação de 20° em relação a um eixo que está contido em seu próprio plano. Qual é o ângulo de rotação dos raios refletidos nesse ângulo de giro do espelho?

A rotação de um espelho plano tem como exemplo quando se abre a porta do armário de banheiro. E, é obtido pelo teorema do ângulo inscrito, de que a medida de um ângulo inscrito (θ) é a metade do ângulo central (β): $\theta = \frac{\beta}{2}$, ou que: $\beta = 2\theta$.



No caso da questão, o ângulo de rotação o ângulo inscrito é $\alpha = 20^\circ$ e o ângulo central:

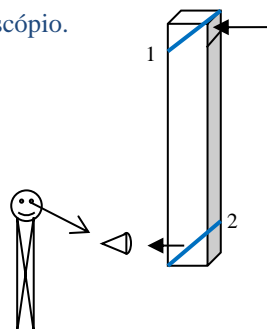
$$\Delta\alpha = 2\alpha = 2(20^\circ) = 40^\circ$$

• **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

a) Depois de conhecer as características do espelho, construa algum aparato que possa descrever as leis de reflexão. (sugestão: Construção de um periscópio).

O periscópio é um instrumento muito utilizado em submarinos, para observar de dentro o que ocorre fora, sem necessitar abrir a escotilha. Esse é constituído de dois espelhos planos, posicionados na diagonal em um tubo (indicados na cor azul na Figura R.3.4). Este pode ser confeccionado com uma caixa de papelão, por exemplo, de pasta dental. Fazendo duas pequenas aberturas em posições opostas, as posições dos espelhos. A superior capta a imagem, e reflete do espelho 1 para o espelho 2 e este para o olho do observador. (PERUZZO, 2013, p.243).

Figura R 3.4- Desenho ilustrativo de um periscópio.



➤ **Aula 06 - Espelhos Esféricos – Superfícies Refletoras Esféricas**

• **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião para Luz e espelho esférico em relação a representar os raios de luz em cada caso, e o que veremos desta associação:

a) Diante do espelho côncavo? b) Diante do espelho convexo? As respostas esperadas são as apresentadas na Figura 2.4 (a) e (b), respectivamente, para o raio de luz incidindo na horizontal e paralelas entre si.

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

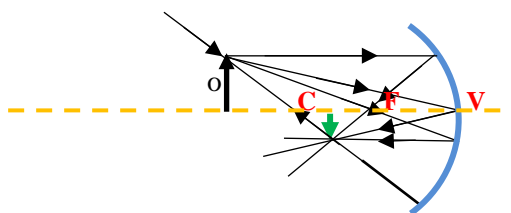
- a) O que seu grupo notou em cada caso? Resposta da observação.
- b) Represente graficamente o fenômeno observado. Gráficos análogos aos da Figura 2.4 (c) e (d).
- c) Mudou sua percepção após a observação? Comparação das respostas dadas na Etapa 1 e Etapa 2.
- d) O que podemos inferir sobre os raios de luz quanto a sua reflexão?

Espera-se que o estudante compreenda que a luz retorna, propagando-se no mesmo meio de origem. Convergingo, divergingo ou paralelos entre si de acordo com a superfície refletora.

• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

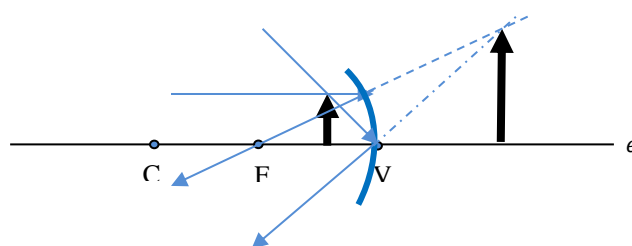
- 1) Pesquise sobre o uso dos espelhos esféricos por Arquimedes, em especial durante um ataque sofrido na cidade de Siracusa pela esquadra romana. Por meio de pesquisas em periódicos e textos históricos, espera-se que o estudante mencione que Arquimedes usou espelhos esféricos para refletir raios de luz com a finalidade de queimar os navios inimigos.
- 2) Ainda sobre o fato histórico citado na questão anterior, o que aconteceria se o espelho usado fosse convexo? Espera-se que o estudante responda que espelhos convexos espalhariam os raios de luz refletidos.
- 3) Pesquisando no livro didático adotado pelo colégio, demonstre geometricamente o raio de incidência e o refletido representando as quatro propriedades de um espelho esférico. As quatro propriedades da reflexão de um espelhos esféricos são: raio de luz paralelo ao eixo principal reflete na direção do foco; raio de luz incidente na direção do foco, reflete paralelamente ao eixo principal; raio de luz incidindo na direção do centro óptico reflete sobre si mesmo e raio incidente na direção do vértice reflete simetricamente., e estão geometricamente representadas na Figura R.4.1.

Figura R.4.1- Desenho esquemático representando raio de luz incidente e refletido em um espelho esférico côncavo.



4) A Figura A representa um objeto o e a sua respectiva imagem i conjugados por um espelho esférico de eixo principal e , utilizar para responder as questões a) e b):

Figura A - Desenho esquemático ilustrando um objeto (o) e sua imagem (i) sobre o eixo principal (e).

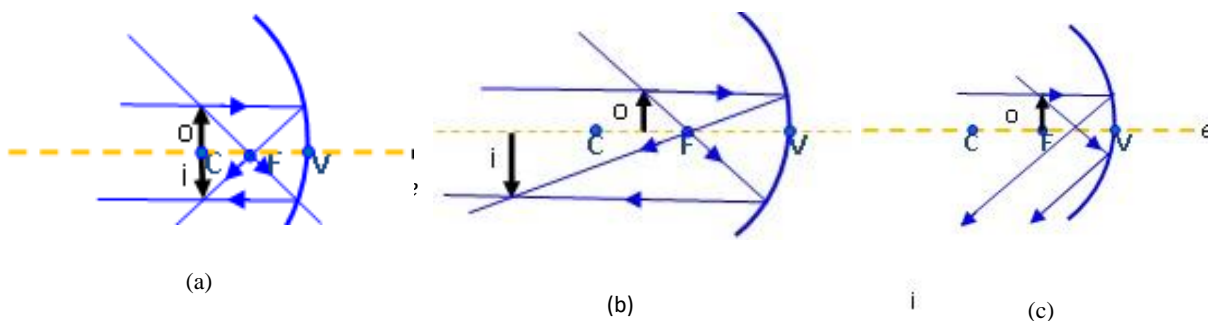


a) Determine a natureza do espelho. Espelho Côncavo, pois o espelho em que a imagem é maior que o objeto, direita, é o côncavo, em que o objeto está posicionado entre o vértice (V) e o foco (F), conforme foi ilustrado na Figura A, em cor azul.

b) Obtenha graficamente, os seguintes elementos geométricos do espelho: foco, vértice e centro de curvatura. Como as características da posição do objeto e imagem representados na Figura A, e sabendo que V é o vértice do espelho, que F o foco e que o objeto está posicionado entre o vértice e o foco, traçando o raio de luz e sua prolongação entre a altura do objeto e da imagem que passa pelo foco, a sua posição é localizada. E sabendo que o raio de curvatura é duas vezes a distância focal (f), localiza-se o ponto do centro de curvatura. O raio que incide do objeto incidindo no vértice reflete com um ângulo igual ao de incidência, e prolongando o mesmo em direção ao objeto, têm-se os raios e suas prolongações (em pontilhado) traçadas na Figura A.

c) Na Figura B, tem-se um objeto o no eixo principal e de um espelho côncavo. Determine graficamente sua imagem. Lembrando que a imagem vai depender da posição do objeto em relação a C , F , e V , além de seu tamanho e se direita ou invertida. Para a imagem direita a única opção é a apresentada na Figura A. No caso de imagens invertidas, além da geometria apresentada na Figura R.4.1 (o objeto antes de C , e a imagem é menor e posicionada entre F e V), há outras 2 possibilidades, apresentadas na Figura R.4.2: (a) sobre o centro de curvatura a imagem terá o mesmo tamanho que o objeto; (b) o objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco, a imagem será maior que o objeto e posicionada antes de C ; e uma última opção (c) é o objeto posicionado sobre F e a imagem se formará no infinito;

Figura R.4.2 - Desenho esquemático representando uma imagem formada por um objeto posicionado: (a) sobre C ; (b) entre o centro óptico (C) e foco (F); (c) sobre o foco (F), em um espelho esférico côncavo.

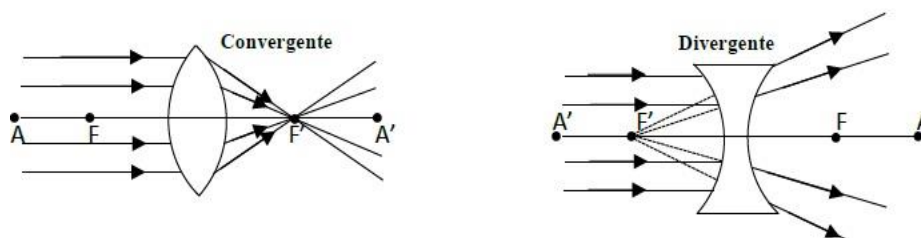


➤ Aula 7 - Lentes Esféricas – Lente de Aumento

- Etapa 1 – Apresentando a lente pronta e questionar o grupo

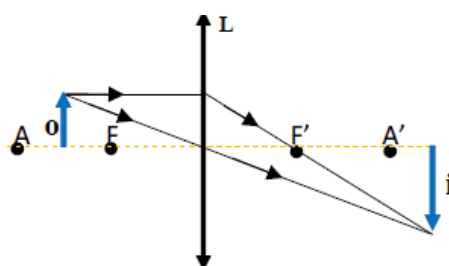
- 1) Por que objetos vistos através de uma lente têm sua forma e tamanho aumentado? Resposta esperada: pela lente ser biconvexa.
- 2) Discuta com seu grupo e elabore uma explicação para justificar o fenômeno observado através de uma lente:
 - a) Convergente b) Divergente Resposta pessoal, mas espera-se que os estudantes compreendam o que é uma lente convergente e divergente.
- 3) Represente graficamente o comportamento do raio de luz ao incidir em uma lente: convergente e divergente. As figuras esquemáticas podem ser as apresentadas como na Figura A.27 (plano-convexa) e plano-convexa, ou de acordo com a Figura R.7.1.

Figura R.7.1- Representação de raios de luz em uma lente (a) biconvexa e (b) bicôncava;



• **Etapa 2 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Pesquise no livro didático quais são os tipos de lentes esféricas. As lentes são classificadas em lentes de bordas finas: biconvexa, plano-convexa, côncavo-convexa e as lentes de bordas espessas: bicôncava, plano-côncava, convexo-côncava. As apresentadas na Figura 1.26.
 - 2) Diferencie lentes convergentes de divergentes? Convergentes: os raios de luz incidente paralelos ao eixo principal sofrem refração, concentrando-se num único ponto: o foco (Figura 1.27 (a)) e Divergentes quando os raios de luz incidente paralelos ao eixo principal sofrem refração e se espalham (Figura 1.27 (b)).
 - 3) Defina os conceitos: a) foco imagem real – É o ponto de convergência dos raios emergentes, considerando uma lente convergente; b) foco imagem virtual – É ponto de prolongamento dos raios emergentes, considerando uma lente divergente; c) foco objeto real – É o ponto onde deve ser colocado o vértice de um feixe cônico de luz para que os raios emergentes sejam paralelos ao eixo principal considerando numa lente convergente; d) foco objeto virtual – É o ponto resultante dos feixes de luz convergem numa lente divergente;
 - 4) Uma lente convergente possui distância focal f . Um objeto o linear e transversal ao plano do mesmo colocado diante da lente sobre seu eixo principal, numa posição entre f e $2f$.
 - a) construa graficamente a imagem i formada. b) quais as características dessa imagem?
- a) Representação geométrica de um objeto O posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F , a imagem i será: real, invertida e maior que o objeto, Figura R.7.2.
- Figura R.7.2-** Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado entre as distâncias f e $2f$ de uma lente convergente.



• **Etapa 3 – Conclusão da aplicação do roteiro**

Depois de conhecer as características das lentes esféricas, construa algum aparato que possa descrever este fenômeno. Por exemplo, a construção de uma lente a partir de uma lâmpada transparente e água.

➤ **Aula 8 - Olho Humano e as Anomalias da Visão – Protótipo do Olho Humano**

• **Etapa 1 – Apresentando o aparato pronto**

- a) Apresentação do protótipo do olho humano (Fig. 2.7);
- b) Observação da formação de imagem no anteparo do olho.

• **Etapa 2 – Depois de observar o protótipo do olho**

- a) Discuta com seu grupo sobre a função do cristalino; Funciona como uma lente biconvexa;
- b) Discuta com seu grupo sobre a função da pupila; Funciona como um diafragma para controlar a intensidade da luz que chega aos olhos.
- c) Discuta com seu grupo sobre a função da retina. Funciona como um anteparo onde a imagem se forma.

• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Descreva geometricamente os raios de luz na formação da imagem na retina; Como representados na Figura 1.40.
- b) Como é a formação de imagens na retina? Real, invertida e menor que o objeto (Figura 1.41).
- c) Discuta com seu grupo a definição de “acomodação visual”, “ponto próximo” e “ponto remoto”. Acomodação visual como o próprio sugere, é a forma como que os músculos dos olhos trabalham para que se tenha uma imagem nítida sobre a retina, sendo assim definida para a variação da distância focal da lente para se obter imagens nítidas na retina; Ponto próximo: mínima distância de visão distinta que uma pessoa pode ter; Ponto remoto: máxima distância de visão distinta que uma pessoa pode ter.
- d) Faça uma pesquisa bibliográfica buscando informações sobre as causas das anomalias da visão. (Miopia, Hipermetropia, Presbiopia, Astigmatismo, Estrabismo, Catarata e Daltonismo). **Miopia:** apresenta como defeito no olho o achatamento do globo ocular, perpendicularmente ao seu eixo óptico, o globo ocular é alongado; **Hipermetropia:** apresenta como defeito o achatamento do globo ocular, longitudinal ao seu próprio eixo, o olho é encurtado; **Presbiopia:** apresenta como defeito o endurecimento da lente do olho e por conseguinte, tem a perda da capacidade da acomodação visual; **Astigmatismo:** apresenta um defeito na córnea, com raios de curvatura irregulares, o que ocasiona uma visão manchada dos objetos; **Estrabismo:** apresenta como defeito a incapacidade de dirigir para um mesmo ponto os eixos ópticos dos olhos; **Catarata:** defeito causado pela perda de transparência da lente do olho, que se torna opaco. **Daltonismo:** defeito de causas genéticas que impede a percepção de algumas ou todas as cores.

• **Etapa 4 – Após as explicações dos problemas visuais e correções**

- 1) Discuta em seu grupo e preencha a Tabela A:

Tabela A - Dados sobre algumas anomalias da visão, problemas visuais e lentes corretivas.

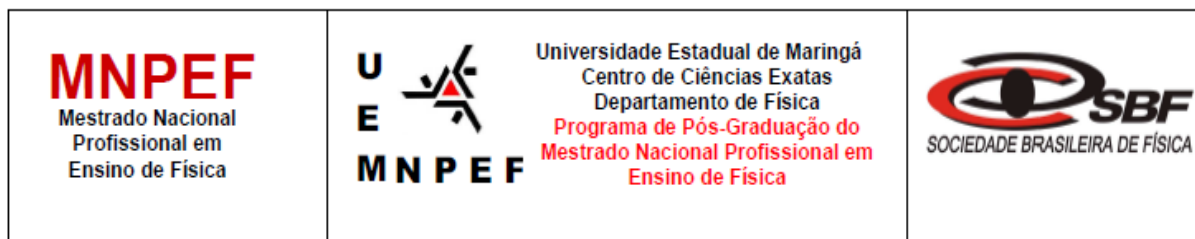
Doença	Problema visuais	Lentes corretiva
Miopia	olho alongado – foco após a (atrás da) retina	Lentes esféricas divergentes - bicôncava
Hipermetropia	olho encurtado – foco antes (na frente) da retina	Lentes esféricas convergentes - biconvexa
Presbiopia	Cristalino endurecido – imagem se forma após a (atrás da) retina.	Lentes convergentes como na hipermetropia
Astigmatismo	Córnea ou lente não simetricamente curva – imagem desfocada – não nítida (borrada)	Lentes cilíndricas convergentes

- 2) A partir dos conhecimentos adquiridos reproduza por meio de outro experimento o fenômeno observado. (Sugestão: Produção de uma câmara escura com caixa de papelão). A produção de uma câmara escura, pode ser feita com lata vazia com tampa de leite em pó, achocolatado, como uma máquina fotográfica, disponível no site: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/fotografia-3/fotografando-com-uma-lata/>> de autoria de A. C. Costa. Ou feita com uma caixa de sapato com tampa, disponível no site: <<http://ramec.mec.gov.br/tv-escola/455-sala-de-professor-o-astronomo-vermeer/file>> ministério da educação RAMEC.

- 3) Faça uma entrevista com alguém da área da saúde sobre o tema: **SAÚDE DA VISÃO**. Questões para a entrevista:
- a) Existem muitos casos de doentes visuais em nossa região? *A resposta depende do local da entrevista.*
 - b) Quais as principais causas? *A resposta depende do local da entrevista.*
 - c) Quais as principais recomendações para prevenir-se contra os problemas visuais? *Podemos citar alguns como: muito tempo observando ou lendo em telas de computador e celular, sem iscar; uso de óculos de sol não apropriados com lente de má qualidade; coçar os olhos, aumenta a pressão, pois torna a córnea e fibra ocular mais elástica.*
 - d) Qual a importância de um acompanhamento médico desde o início do tratamento? *Normalmente recomenda-se que faça o retorno no mínimo 1 vez ao ano.*
 - e) Quais os procedimentos ao diagnosticar um paciente com algum problema visual? *Levar ao oftalmologista*
 - f) O município possui estrutura para tratar os pacientes? *A resposta depende do local da entrevista*

APÊNDICE II - PRODUTO EDUCACIONAL

Neste apêndice está apresentado o Produto Educacional. Este está com a paginação na sequência da dissertação por ser um apêndice do mesmo. Estará disponível uma versão do PE separado no *site* tanto do MNPEF/SBF, e na página do MNPEF/UEM/DFI com a paginação readequada.



PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico

UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DA
ÓPTICA GEOMÉTRICA

Pedro Paulo de Brito

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Maringá - PR

Setembro/2019

Apresentação

O presente Produto Educacional (PE) fundamenta-se em uma proposta para a aplicação de atividades experimentais de óptica geométrica em sala de aula. O diferencial está na seleção de experimentos cujos aparatos experimentais são construídos com materiais simples e de baixo custo. Contornando assim, a questão da falta de aparatos experimentais bem como de espaço físico, proporcionando um incentivo à docência em buscar alternativas e sair da zona de conforto em somente ministrar aulas teóricas.

O interessante desta proposta é que ao realizar a pesquisa para fazer um levantamento, observa-se que há na literatura e disponíveis na internet uma gama de experimentos, e o adequado é selecionar àqueles próximos a realidade dos alunos.

No caso deste PE, cujo público alvo foi estudantes tanto da área rural, quanto da área urbana, optou-se por buscar experimentos que envolva o conteúdo da óptica geométrica que auxiliasse a explicar efeitos da natureza e próximos ao cotidiano deles, como: Arco-íris, céu azul, como se vê um objeto que não emite luz, como entender a formação de imagens em um espelho plano, como funciona uma lente de aumento, o papel das lentes corretivas de visão, entre outros. Podendo assim, ser utilizado para todos os tipos de público alvo.

Nessa proposta espera-se que o estudante possa:

- Expor seus conhecimentos, relatando o que ele já sabe sobre o assunto;
- Observar o experimento, manipular e tirar conclusões dos fenômenos físicos observados;
- Saber reproduzir os mesmos conceitos físicos de diferentes formas utilizando outros experimentos;
- Ter autonomia, para investigar e produzir os próprios materiais de pesquisas.

E, em relação ao papel do professor que ele busque formas para demonstrar e investigar o conhecimento de óptica geométrica por meio de diversos experimentos confeccionados e manipulados pelos próprios estudantes. Além disso, conduzir o educando como sujeito ativo da sua própria aprendizagem, todo momento é estimulado a procurar novas informações para cada vez mais elevar seu nível de conhecimento, relacionando a sua vivência com o conhecimento científico.

Desta forma, espera-se que o presente Produto Educacional venha a contribuir para uma aprendizagem significativa no estudo da óptica geométrica, a fim de que o estudante compreenda as informações científicas sobre a dispersão e decomposição da luz, assim como

seu comportamento ao transpor diferentes meios (fenômeno da refração), compreenda os efeitos de reflexão, perceba o comportamento da luz ao incidir em espelhos planos e esféricos, compreenda seu comportamento em lentes esféricas, e também o funcionamento do olho humano com os problemas que dificultam a visão e as possíveis correções por meio de lentes.

A metodologia aqui adotada possui de 3 a 4 etapas, em que inicialmente, o professor apresenta os materiais experimentais já prontos sobre a mesa e solicita aos estudantes relatem o que imaginam ser aqueles materiais e respondam um questionário organizador do raciocínio (2 a 3 questões). Posteriormente, o estudante tem um momento para observar e manipular cada material experimental apresentado, discutir em grupos de no máximo cinco estudantes e responder um conjunto de questões organizadoras a observação. Na terceira etapa conduzindo para a conclusão, os alunos respondem algumas questões em que podem se auxiliar em pesquisa seja no livro didático e/ou via *internet*. Para finalizar, é proposto que o estudante desenvolva algum experimento que tenha o mesmo princípio e explique o fenômeno estudado.

Como avaliação, sugere-se um pré-teste antes de aplicar a metodologia acima descrita e um pós-teste após a mesma.

Deixo assim esta contribuição para o processo ensino-aprendizagem, e agradeço a todos os autores e criadores dos experimentos sugeridos e adaptados neste trabalho.

Este material estará disponível para download na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série pelo docente interessado.

Maringá, setembro de 2019.

Pedro Paulo de Brito

SUMÁRIO

Introdução	123
1- Roteiros Experimentais.....	125
1.1.1 - Roteiro do Experimento 1a – Prisma Óptico.....	125
1.1.2 - Roteiro do Experimento 1b – Disco de Newton.....	128
1.2 - Roteiro do Experimento 02 – Pente Reflexivo.....	130
1.3 - Roteiro do Experimento 03 – Desvio do raio de luz.....	132
1.4 - Roteiro do Experimento 04 – Associação de espelhos planos	134
1.5 - Roteiro do Experimento 05 – Superfícies refletoras esféricas	136
1.6 - Roteiro do Experimento 06 – Lentes de aumento	139
1.7 - Roteiro do Experimento 07 – Protótipo do olho humano.....	142
2- Aplicação do Produto Educacional.....	146
2.1- Plano Geral de Aula	148
2.2- Encaminhamento Metodológico	149
2.2.1- Aula 01 – Conhecimentos Prévios.....	149
2.2.2 - Aula 02 – Princípios a Ótica Geométrica: cor e luz, decomposição e recomposição no espectro da luz visível	153
2.2.3 – Aula 03 - Reflexão da luz	157
2.2.4 – Aula 04 - Refração da luz.....	160
2.2.5 – Aula 05 - Espelhos Planos	163
2.2.6 – Aula 06 - Espelhos Esféricos	168
2.2.7 – Aula 07 - Lentes Esféricas.....	173
2.2.8 – Aula 08 - Olho humano e as anomalias da visão.....	177
2.2.9 – Aula 09 - Questionário Avaliativo - PÓS-TESTE	180
Considerações Finais	184
Referências Bibliográficas	185
Apêndice A – Material de Apoio – Óptica Geométrica.....	186

Introdução

A Óptica é o ramo da Física dedicado ao estudo das leis que regem o estudo da luz e os fenômenos luminosos. A palavra óptica vem do grego *optiké* e significa “relativo à visão”. Ela é dividida em Óptica Física (OF) e Geométrica (OG). A primeira estuda o comportamento ondulatório da luz (difração) e a segunda, assunto do presente PE, estuda o comportamento dos raios de luz (reflexão e refração).

O primeiro instrumento óptico que alavancou esse estudo foi a invenção do telescópio, em 1609, por Galileu Galilei. Enquanto que, James Clerk Maxwell, mostrou em 1864 que um raio luminoso é a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, nesta visão a luz é uma onda eletromagnética.

Portanto, estamos imersos em ondas eletromagnéticas, cuja principal fonte é o Sol. O espectro eletromagnético, em relação ao comprimento de onda, varia de 10^8 m a 10^{-16} m. Sendo que a região compreendida entre 430 nm a 690 nm é a parte do espectro a qual o olho é sensível, esta é a faixa de nosso interesse, a luz visível. Independente da faixa espectral a velocidade da luz no vácuo (c) é aproximadamente de 3×10^8 m/s.

Para que possamos visualizar os objetos é necessário que raios luminosos refletidos dos objetos cheguem à retina, de forma que os bastonetes e cones detectam a luz e por meio do nervo óptico as informações chegam ao cérebro. Esta e outras formações de imagens podem ser compreendidas pelo estudo da Óptica Geométrica que parte da hipótese de que a luz se propaga em linha reta.

Este e outros comportamentos da luz é o conteúdo abordado neste PE por meio de roteiros experimentais de experimentos selecionados para esse fim.

A estrutura de trabalho está baseada na Teoria de Aprendizagem de David Ausubel (MOREIRA, 2011), que consiste de um processo que valoriza experiências anteriores escolares e pessoais do educando. Nesse processo, as informações recém adquiridas ancoram-se nas pré-existentes, o que torna o novo conhecimento permanente e não transitório. Esses conhecimentos pré-existentes determinam a aprendizagem e são denominados por Ausubel de subsunçores.

Na ausência destes, deve-se recorrer aos organizadores prévios, que são definidos por MOREIRA:

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma

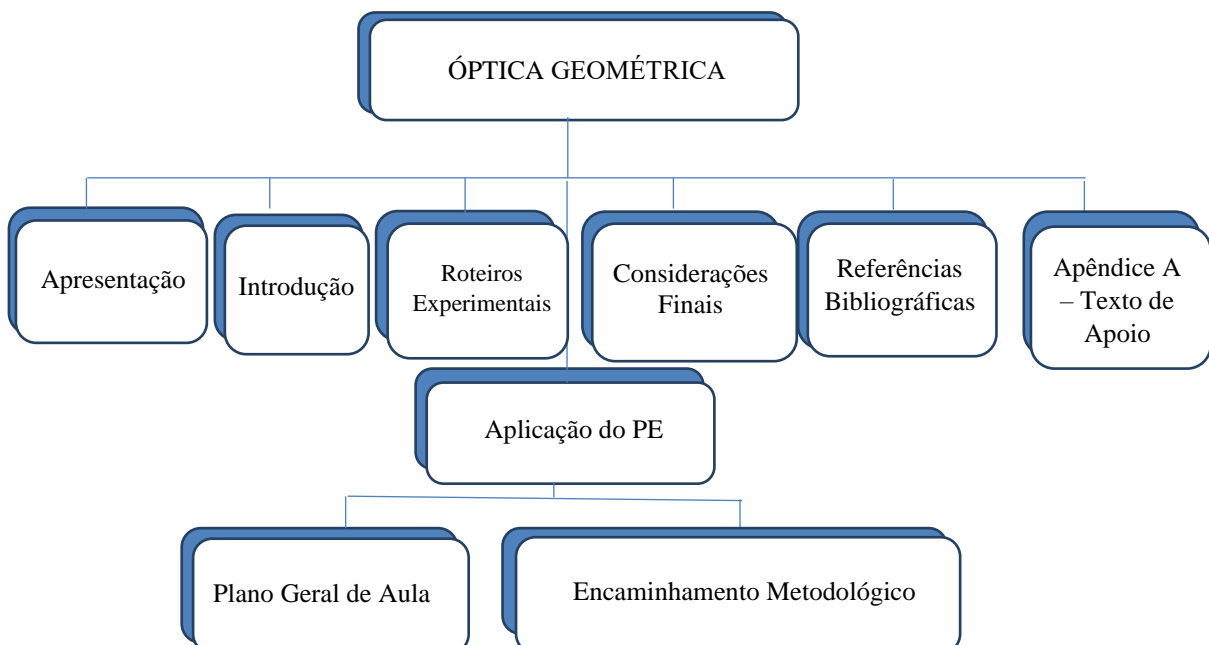
situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente mais geral e inclusivo do que este. (MOREIRA, 2012, p. 11)

Assim, quando constatado a ausência dos subsunçores, torna-se necessário providenciar a organização de conhecimentos prévios para que a nova informação faça sentido para o aluno. Para que ocorra à aprendizagem significativa é fundamental a utilização de material relacionável à estrutura cognitiva do estudante, além da determinação do mesmo em aprender (MOREIRA, 2011). Nesta perspectiva, entende-se a importância da proposição de atividades em que o aluno sintá-se incluído no processo ensino/aprendizagem.

Portanto, a partir da premissa de sujeito participativo, procuramos apresentar este PE de forma que o professor seja o intermediador que utiliza os experimentos para demonstrar e concede ao estudante a oportunidade de pesquisar e desenvolver o próprio material para representar e compreender o fenômeno estudado. Assim, o estudante apropria-se de métodos de investigação, de maneira simples e acessível, permitindo-lhe estudar e compreender o modo de fazer Ciência.

Com o propósito de uma visualização da estrutura do presente texto, apresenta-se o organograma na Figura 01.

Figura 01: Organograma da apresentação do Produto Educacional



Fonte: o autor.

1- Roteiros Experimentais

Neste capítulo será apresentado um roteiro para a construção dos aparatos experimentais, que serão utilizados no Capítulo 2. Este roteiro contém os materiais utilizados, descrição e montagem dos experimentos, em um total de 8 experimentos, abrangendo diferentes tópicos dentro da Óptica Geométrica: decomposição da luz (via prisma óptico), recomposição do espectro colorido da luz (via disco de Newton), reflexão da luz (via: pente, luz e espelho plano), refração da luz (via cuba transparente, água e fonte de luz), espelhos planos (por meio da combinação de espelhos planos), Espelhos esféricos (por meio de superfícies refletoras esféricas), lentes esféricas (via lente de garrafa pet e água) e anomalias na formação de imagem no olho (por meio de um protótipo de olho).

Inicia-se com os experimentos relacionados à decomposição e recomposição do espectro da luz visível. Posteriormente relacionados à sua propriedade de reflexão (espelhos planos e esféricos) e refração, lentes e por último a aplicação das lentes no olho humano, relacionado à visão e anomalias (lentes corretivas).

1.1.1 – Roteiro do Experimento 1a - Prisma Óptico²⁵

A escolha de iniciar por este experimento foi para direcionar a compreensão sobre fenômenos relacionados à refração, por meio da decomposição de luz. Explorando primeiramente os conceitos de uma onda (a eletromagnética) e sua velocidade de propagação alterada ao passar de um meio a outro.

1.1.1.1 – Objetivos

- Confeção de um prisma óptico a partir de placas retangulares de vidro e água.
- Representar o fenômeno da dispersão da luz.

1.1.1.2 – Materiais Utilizados

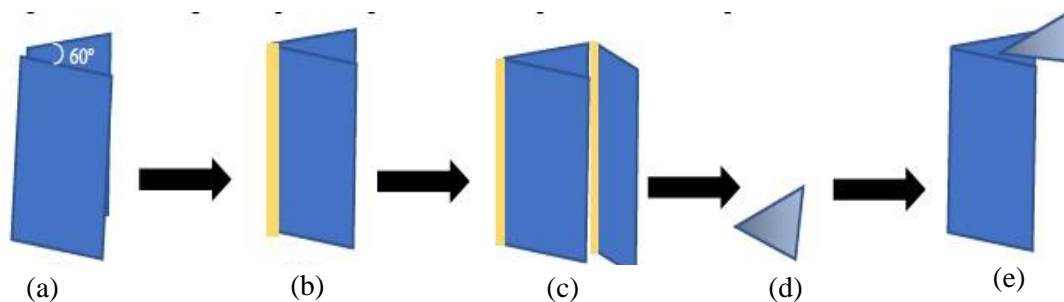
- 3 placas de vidro com as seguintes dimensões (8 x 20) cm.
- 1 placa de vidro triangular 10 cm cada lado.
- 1 bisnaga (50 g) de silicone.
- Água suficiente para encher o prisma.
- 1 transferidor.
- 1 caneta *laser*.

1.1.1.3 – Montagem do Aparato Experimental

²⁵ Proposto por Newton em 1666.

- Junte duas placas de vidro (Figura 1.1 (a)) de modo que faça entre elas um ângulo de 60° , formando um triângulo equilátero (ângulos congruentes).
- Passe o silicone na junção entre elas (Figura 1.1 (b)).
- Junte a terceira placa de modo a fechar o sólido formando um triângulo, colando-a com o silicone (Figura 1.1 (c)).
- Cole a base (placa triangular), Figura 1.1 (d), do prisma também com a cola de silicone (Figura 1.1 (e)).
- Espere a cola secar

Figura 1.1 – Figura ilustrativa apresentando as etapas da montagem experimental do prisma: (a) posicionando três lâminas em um ângulo de 60° entre elas, formando um triângulo equilátero; (b) colando as placas, (c) colando a terceira face do prisma, (d) placa triangular de plástico, e (e) colando a base e fechando o prisma.



Fonte: o autor

Na Figura 1.2 está uma foto do prisma pronto.

Figura 1.2 – Imagem fotográfica do prisma pronto. Parte externa feita com placas de vidro e dentro água



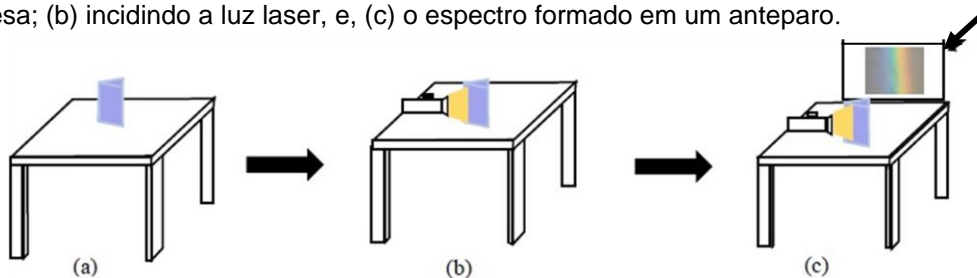
Fonte: o autor

1.1.1.4 – Procedimento Experimental

- Coloque água até quase atingir a sua borda (Figura 1.2).
- Posicione o prisma sobre uma superfície plana (mesa) (Figura 1.3 (a)).

- Incida um feixe de luz com uma lanterna em um dos lados do prisma (Figura 1.3 (b)).
- Descreva o que observou com o feixe de luz após atravessar o prisma e atingir o anteparo (Figura 1.3 (c)).
- Relacione com a teoria estudada, justificando o efeito observado.

Figura 1.3 – Desenho ilustrando as etapas da execução experimental. (a) prisma com a água sobre a mesa; (b) incidindo a luz laser, e, (c) o espectro formado em um anteparo.



Fonte: o autor

1.1.1.5 – Resultados Esperados

Ao incidir a luz em um ângulo diferente de zero, observa-se a decomposição (dispersão) da luz branca (Figura 1.4).

Este é o efeito que visualizamos em um espectroscópio²⁶ para a luz natural, ou de lâmpadas, sem que seja necessário incidir um feixe de luz diretamente.

Figura 1.4 – Imagem fotográfica de um espectro de luz branca decomposta.



Fonte: arquivos do autor cedido ao mesmo por um aluno.

1.1.1.6 – Explicações

Este aparato permite que o educando visualize a decomposição da luz. Compreenda que a luz é uma fração visível de uma onda eletromagnética, e que um raio de luz é composto por diferentes frequências desta onda, e passivo de se decompor. Sua decomposição é possível fazendo com que este feixe de luz ultrapasse dois diferentes meios de propagação, neste caso, o ar, a água e o ar. Com isso a

²⁶ Um exemplo é o elaborado e divulgado pela SBF em 2015, disponível no site: <<https://www.youtube.com/watch?v=RNNbrXI5iys>>.

explicação referente a características de um raio de luz despertou novas curiosidades possibilitando uma nova percepção dos fenômenos naturais como um arco-íris (Figura A.23, e explicações nos exemplos da subseção A.3.2 do texto de apoio apresentado no Apêndice A).

1.1.2 – Roteiro do Experimento 1b – Disco de Newton

Com o propósito da união do espectro colorido da luz retornando a cor branca. A sugestão é que os alunos construam um dispositivo capaz de representar a junção do espectro colorido, transformando-o numa cor única, branca, assim como percebemos a cor da luz visível. Neste caso sugere-se a construção de um disco de Newton com os materiais que tenham disponíveis e o uso de sua criatividade.

1.1.2.1 – Objetivos

- Confeccionar um disco de Newton.
- Obter a cor da luz visível.
- Representar a união do espectro colorido.

1.1.2.2 – Materiais Utilizados

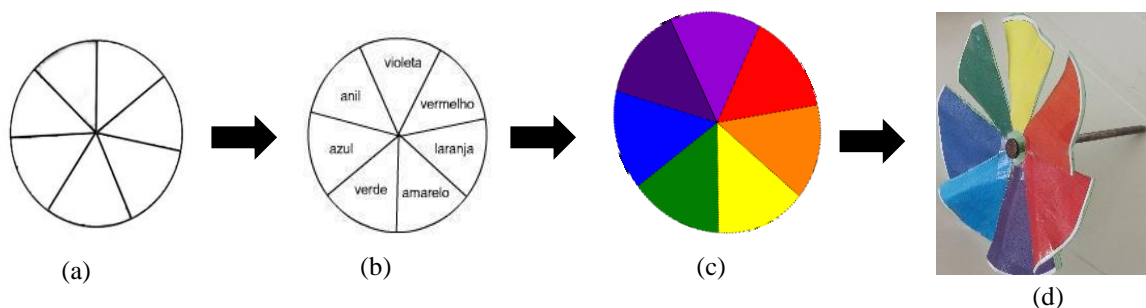
- 1 garrafa pet transparente de 2 L.
- ½ folha sulfite.
- Lápis de cor ou tinta nas cores: vermelho, amarelo, anil, azul, verde, alaranjado e violeta, se utilizar tinta diretamente no plástico da garrafa fazer uma base com tinta branca fosca.
- 1 fita adesiva.
- 1 prego 17x21 dimensões: (2,7 x 41,46)mm para fixar em uma madeira, caso não consiga segurar;
- Tesoura.
- Régua.
- Compasso.
- Lápis.

1.1.2.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Faça um círculo na folha sulfite utilizando o compasso, diâmetro de 12 a 14 cm - Divida-o, marcando com o auxílio de um lápis, em sete partes iguais (Figura 1.5 (a)).
- Pinte cada parte com um uma cor diferente na seguinte sequência: vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta (Figura 1.5 (b)).
- Corte a garrafa pet de modo a aproveitar o corpo central tal modo que possa abrir e ter um retângulo.

- Neste retângulo, corte um disco de mesmo tamanho do disco colorido (Figura 1.5 (c)) para servir de base.
- Prenda o disco colorido na base com fita adesiva.
- Recorte o disco dividindo suas cores.
- Separe as raias de cores, torcendo cada uma, se necessário aqueça levemente perto do furo, o aspecto é o da Figura 1.5 (d).
- Faça um furo no centro, passe o prego por este furo, de modo que permita segurá-lo, e de forma que o disco gire livremente ao dar impulso com a outra mão no mesmo, ou deixar girar como um cata-vento (apare as rebarbas em volta do furo se necessário) (Figura 1.5 (d)).

Figura 1.5: Descrição das etapas da montagem do disco de Newton.



Fonte: o autor.

1.1.2.4 – Procedimento Experimental

- Segure na extremidade livre do prego.
- Impulsione com uma das mãos o disco, colocando-o a girar.
- Anote o que observou.
- Relacione com a teoria estudada, justificando o efeito observado.

1.1.2.5 – Resultado Esperado

Ao girar o disco (Figura 1.6 (a) em destaque), quanto maior a velocidade mais a tonalidade do lado colorido ficará na cor branca (Figura 1.6 (b)), tornando possível visualizar a recomposição do espectro da luz visível.

Figura 1.6 – Imagem fotográfica (a) do disco de Newton confeccionado por uma das equipes do colégio do campo Margarida Franklin – Ibaiti – PR, e (b) o disco girando mostrando a recomposição da cor branca.



Fonte: arquivos do autor.

1.1.2.6 – Explicação

Este aparato permite a visualização de união/recomposição do espectro colorido da luz novamente em uma única cor: a branca.

Utilizado como reconstrução da decomposição da luz, o disco de Newton foi capaz de possibilitar a percepção da agregação das diferentes frações do espectro da luz visível.

Pode-se utilizar um ventilador portátil para o aumento da sua rotação, basta colar o disco colorido com a fita adesiva no centro das hélices e ligá-lo ou direcioná-lo contra o vento produzido pelo ventilador. Tomando os devidos cuidados, pois a hélice pode causar danos físicos.

A próxima subseção trata-se de uma das propriedades da luz que é a de reflexão da luz utilizando um espelho plano e uma lanterna.

1.2 – Roteiro do Experimento 02 – Pente Reflexivo²⁷

A fim de observar o fenômeno da reflexão da luz, este aparato simples, permite a visualização e manipulação dos reflexos da luz sobre uma superfície plana (espelho). Este experimento é denominado pente reflexivo proposto e disponível, por exemplo, no site: <<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt03.htm>>.

1.2.1 – Objetivos

- Compreender o processo de reflexão da luz.
- Observar a reflexão da luz através de sombras produzida por um pente.

²⁷ Mudança da propagação da luz desde que incida em um ângulo diferente de zero graus em relação a superfície incidente.

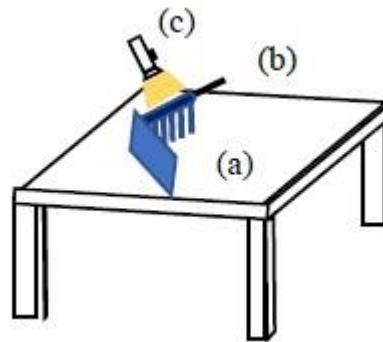
1.2.2 – Materiais Utilizados

- 1 espelho plano.
- 1 bloco de madeira do tamanho do espelho.
- 1 lanterna.
- 1 pente.

1.2.3 – Montagem Experimental

- Cole o espelho no bloco de madeira.
- Em uma sala preferencialmente escura, posicione o espelho perpendicularmente ao plano de uma mesa (Figura 1.7 (a)).
- Segure o pente perpendicular à borda do espelho (Figura (1.7 (b))).
- Posicione a lanterna perpendicularmente à posição do pente (Figura 1.7 (c)).

Figura 1.7 – Desenho esquemático simulando a montagem experimental do experimento de reflexão.



Fonte: o autor.

1.2.4 – Procedimento Experimental

- Aponte a lanterna para o espelho com o pente entre o espelho e a lanterna.
- Ligue a lanterna que se encontra na posição indicada na Figura 1.7 (c).
- Observe o que ocorre com o feixe de luz que parte da lanterna.
- Anote suas observações.

1.2.5 – Resultado Esperado

A luz ao passar pelo pente produz sombras sobre a superfície (mesa), quando atingem o espelho são rebatidas para o mesmo meio de propagação, Figura 1.8. Este fenômeno é chamado de reflexão tendo como característica o ângulo de incidência ser igual ao ângulo de reflexão.

Figura 1.8 – Imagem fotográfica do efeito da luz passando pelo pente e refletindo no espelho.



Fonte: arquivos do autor.

1.2.6 – Explicação

Este experimento permite visualizar o fenômeno da reflexão da luz, o retorno da luz para o meio de propagação após ser desviado por um obstáculo.

Utilizando um transferidor para auxiliar nas observações, é possível verificar que o valor do ângulo de incidência é o mesmo valor do ângulo de reflexão.

A próxima sessão está ligada a propriedade de refração da luz.

1.3 – Roteiro do Experimento 03 – Desvio do Raio de Luz²⁸

A proposta deste experimento²⁹ é para observar a mudança de direção da luz ao atravessar meio distintos, num sistema onde seja possível observar a trajetória da luz sendo desviada do seu curso inicial, ou seja, a mudança de direção de luz causada pelo fenômeno da refração.

1.3.1 – Objetivos

- Compreender o fenômeno da refração da luz.
- Analisar a propagação da luz em diferentes meios de propagação: água e ar.
- Analisar os índices de refrações da água e do ar.

1.3.2 – Materiais Utilizados

- 1 caixa de plástico, acrílico ou aquário de vidro, transparentes.
- 1 caneta *laser*.

²⁸ Refração da luz é a mudança de direção da luz gerada pela alteração de sua velocidade. Ocorre quando a luz passa por diferentes meios de propagação com diferentes refringências.

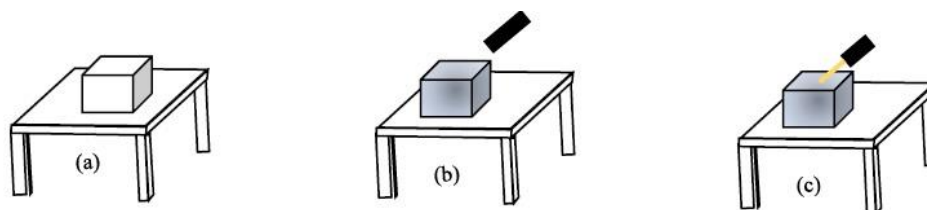
²⁹ Refração da luz numa caixa de acrílico. Este fenômeno está representado e disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=KVCsXivtn18>>.

- Água suficiente para encher a caixa.
- Pó de refresco para colorir a água e facilitar a visualização do feixe de luz.
- 1 colher de pau ou plástico, importante que o material ao risque a cuba.

1.3.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Coloque a caixa de plástico, acrílica ou um aquário de vidro, sobre uma mesa e encha de água (Figura 1.9 (a)).
- Adicione o pó de refresco para colorir a água (Figura 1.9 (b)).
- Misture bem o pó de refresco com a água com uma colher de pau ou plástico, até que fique bem homogêneo.

Figura 1.9 – Desenho Ilustrativo do experimento de refração: (a) caixa sobre a mesa, (b) com água + suco em pó dissolvido e (c) Incidindo a luz.



Fonte: o autor

1.3.4 – Procedimento Experimental

- Posicione a caneta *laser* (Figura 1.9 (c)), a certa distância da caixa.
- Incida a luz na superfície lateral da caixa.
- Observe a trajetória da luz, dentro da caixa e fora da caixa, do lado oposto ao de incidência.

1.3.5 – Resultados Esperados

Ao incidir o raio de luz da caneta *laser* na caixa de plástico com água, é possível visualizar a mudança de direção do raio de luz devido à diferença do índice de refração entre o ar e a água do recipiente.

Quando incidir o raio de luz perpendicularmente ao plano da água, verifica-se que não ocorre mudança de direção do raio de luz como percebemos na Figura 1.10 (a), mas quando a incidência é num grau $> 0^\circ$ com a normal como na Figura 1.10 (b), nota-se uma variação na direção do raio de luz ao propagar-se no segundo meio.

Figura 1.10 – Imagem fotográfica do efeito da luz passando pelo pente e refletindo no espelho.



(a)



(b)

Fonte: arquivos do autor.

1.3.6 – Explicação

Demonstrou-se que um feixe de luz ao incidir e atravessar a interface entre dois meios com diferentes refrações, ocorre uma alteração na direção de propagação do mesmo. Este estudo permitiu que o educando pudesse compreender que diferentes meios refringentes podem alterar a velocidade de propagação da luz. A teoria a refração e leis e propriedades estão apresentadas na seção A.3 no texto de apoio no Apêndice A.

O próximo experimento trata da formação de imagens em espelhos planos, envolvendo a reflexão da luz (seção A.2).

1.4 – Roteiro do Experimento 04 - Associação de Espelhos Planos³⁰

A proposta deste experimento é demonstrar que associando dois espelhos planos é possível visualizar a formação de mais de uma imagem, de acordo com o ângulo entre os espelhos, sendo possível observar a reflexão das próprias imagens.

1.4.1 - Objetivos

- Compreender o fenômeno da reflexão da luz.
- Analisar a propagação retilínea da luz.
- Variar o ângulo entre os espelhos.
- Observar a quantidade de imagens formadas.

1.4.2 – Materiais Utilizados

- 2 espelhos planos de tamanhos iguais.
- 1 transferidor impresso em papel sulfite ou um transferidor normal.

³⁰ Um exemplo deste experimento encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OVINyEUmzls>>.

- 1 caixa de fósforos.
- 1 fita adesiva.

1.4.3 – Montagem Experimental

- Cole os espelhos com a fita adesiva (Figura 1.11 (a)).
- Coloque um transferidor impresso em papel sulfite sobre a mesa; Ou marcar os ângulos em uma folha e colocar o papel sobre a mesa;
- Dispor o conjunto sobre o transferidor com um determinado ângulo de abertura entre os mesmos.
- Coloque a caixa de fósforos diante dos espelhos (Figura 1.11 (b)).

1.4.4 – Procedimento Experimental

- Posicione os espelhos, por exemplo, sob um ângulo de 60° .
- Posicione a caixa de fósforos diante dos espelhos (Figura 1.11 (b)).
- Observe a formação de imagens nos espelhos.
- Altere os ângulos entre os espelhos, por exemplo, sob um ângulo de 90° .
- Anote suas observações.

1.4.5 – Resultados Esperados

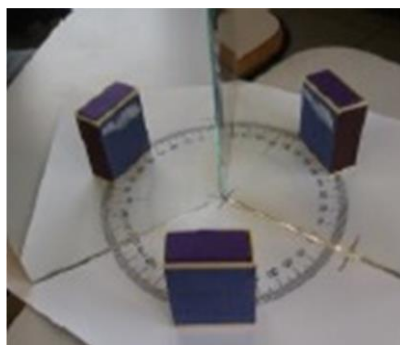
Este arranjo com dois espelhos permite que o estudante perceba que, alterando o ângulo entre dois espelhos, muda a quantidade de imagens projetadas pelo sistema, com isso foi perceptível que a quantidade de imagens está intimamente ligada ao ângulo entre os espelhos.

Ao observar as imagens formadas sob o ângulo de 60° (Figura 1.11 (a)) nota a formação de 5 imagens, sob o ângulo de 120° (Figura 1.11(b)) 3 imagens (uma delas não visível na foto, a que fica no vértice dos espelhos).

Figura 1.11– Imagem fotográfica da montagem do aparato experimental: (a) espelhos posicionados de 60° , e (b) espelhos posicionados de 120° .



(a)



(b)

Fonte: arquivos do autor

1.4.6 – Explicação

Neste experimento da associação de dois espelhos permite para demonstrar a formação de imagens. A associação de espelho ocorre quando há combinação de imagens.

São ocasionadas pela luz refletida de um espelho ao atingir um segundo espelho. Confrontando o ângulo de abertura dos espelhos e a quantidade de imagens formadas, por meio da equação:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1.$$

válida quando:

- a razão $\frac{360}{\alpha}$ for um número par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos;
- a razão $\frac{360}{\alpha}$ for um número ímpar, somente quando o objeto estiver no plano bissetor³¹ da associação.

Outra posição interessante de posicionar os espelhos é colocar um paralelo ao outro e entre os mesmos colocar um objeto. Formam-se infinitas imagens, como a ilustrada na Figura 1. 12.

Figura 1.12 – Imagem fotográfica da montagem do aparato experimental dos espelhos em paralelo sendo a vela o objeto.



Fonte: arquivos do autor.

Ainda na parte da reflexão da luz, o próximo experimento trata da formação de imagens em superfícies esféricas.

1.5 – Roteiro do Experimento 05 – Superfícies Refletoras Esféricas³²

Este experimento demonstra o comportamento dos raios de luz ao incidir em superfícies esféricas – no caso, côncava e convexa, referente a espelhos esféricos.

³¹ Plano que divide o quadrante.

³² Um exemplo deste experimento encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GunKGMcquHk>> para superfícies côncava e disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mIYNF2dnORM>> para superfícies convexas.

1.5.1 – Objetivos

- Compreender o comportamento de reflexão da luz em superfícies esféricas.
- Analisar a mudança de direção da propagação da luz.
- Compreender as propriedades de formação de imagens em superfícies esféricas.
- Observar as características de formação de imagens.

1.5.2 – Materiais Utilizados

- 1 concha de aço inox.
- 1 vela.
- Fósforo

1.5.3 – Montagem Experimental

- Coloque a concha sobre uma mesa e fixe com uma fita adesiva pelo seu cabo;
- Acenda a vela e posicione a vela acesa a frente da concha;
- A montagem experimental está representada na Figura 1.13.

Figura 1.13 - Imagens ilustrativas simulando a montagem experimental do experimento de superfícies esféricas.

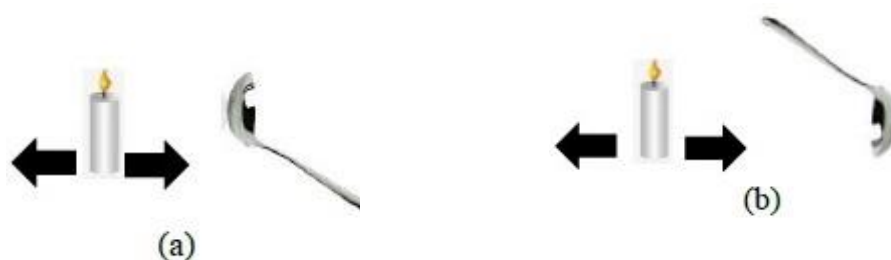


Fonte: o autor. Figura ilustrativa da vela extraída e disponível em: https://pt.pngtree.com/freepng/lighted-candles-hand-painted_1963969.html, e a figura ilustrativa da concha extraída e disponível em: <http://koizaschic.com.br/produto/concha-inox/>.

1.5.4 – Procedimento Experimental

- Posicione a vela acesa diante da concha (Figura 1.14 (a)), e movimente a vela afastando ou aproximando da concha até observar uma imagem nítida e anote a imagem formada.
- Posicione a vela acesa diante da concha (Figura 1.14 (b)), e movimente a vela afastando ou aproximando da concha até observar uma imagem nítida e anote a imagem formada.
- Compare com as imagens formadas na situação ilustrada na Figura 1.15(a) e 1.15 (b).
- Anote o que ocorre com a imagem quando aproxima a vela da concha ilustrada na Figura 1.14 (a) e na Figura 1.14 (b).
- Anote o que ocorre com a imagem quando afasta a vela da concha ilustrada na Figura 1.14 (a) e na Figura 1.14 (b).

Figura 1.14 – Imagem fotográfica do movimento a ser feito com o objeto no caso a vela em relação a concha representando (a) espelho esférico côncavo e (b) espelho esférico convexo.



Fonte: arquivos do autor.

1.5.5 – Resultados Esperados

O raio da fonte de luz (vela) incidente na superfície esférica (concha) será refletido com o mesmo ângulo do raio incidente.

A imagem formada obedecerá às propriedades de formações de imagens em superfícies esféricas (Figura 15 (a) côncavo e (b) convexo).

Figura 1.15- Desenho esquemático simulando os raios paralelos de luz incidindo sobre superfícies esféricas.



Fonte: o autor.

Um exemplo de resultado de imagem formada na concha está apresentado na Figura 1.16. Este é o caso de um espelho côncavo.

Figura 1.16 - Imagem fotográfica da imagem (i) de um objeto (o – vela) formado na concha, virtual, menor e invertida.



Fonte: arquivos do autor.

1.5.6 – Explicação

Um raio de luz ao incidir numa superfície esférica obedece às seguintes características (teoria na seção A.2.2):

- Os raios de luz incidentes, refletidos e a reta normal são coplanares no ponto de incidência.
- O ângulo de incidência e reflexão são iguais em relação à normal à superfície.
- Um feixe de luz paralelo ao eixo principal numa superfície côncava converge num mesmo ponto denominado foco principal.
- Um feixe de luz incidindo em uma superfície convexa irá divergir, porém, seus prolongamentos possuem um mesmo ponto em comum chamado de foco principal virtual.

O próximo experimento trata do comportamento da luz em lentes esféricas.

1.6 – Roteiro do Experimento 06 - Lentes de Aumento³³

Este experimento simula o comportamento da luz ao incidir duas superfícies refrativas, pois desvia o raio de luz de sua trajetória inicial. A refração é o fenômeno cuja característica é a mudança de direção do raio de luz propagado ao atravessar diferentes meios. Sua manipulação permite observar imagens de objetos muito pequenos como num microscópio ou muito distante em um telescópio, realizando um aumento do objeto visualizado.

1.6.1 – Objetivos

- Observar o comportamento da luz ao atravessar diferentes meio homogêneos de refração distinta.
- Manipular os raios de luz.
- Compreender o funcionamento de lentes de aumento.
- Compreender a função dos óculos corretivos da visão.
- Analisar a formação de imagens através de lentes esféricas.

1.6.2 – Materiais Utilizados

- 2 canetas laser.
- 1 garrafa *pet* transparente de 2 L.
- 1 bisnaga (10g) cola epóxi.
- 1 caneta, marcador permanente ponta fina.

³³ Um exemplo deste experimento encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Xt1mfLLEAGA>>.

- 1 recipiente com água até a metade, com tamanho o suficiente para colocar a mão.
- 1 objeto circular em torno de 8 cm de diâmetro.

1.6.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Recorte dois pedaços circulares de 0,05m de diâmetro da região abaixo do gargalo da garrafa *pet* (Figura 1.17 (a)), a fim de aproveitar o aspecto oval da garrafa. Para cortar duas partes iguais, coloque algo circular do lado interno (no caso uma um rolo de fita isolante - Figura 1.17 (a) e (b) - e faça o contorno com uma caneta de quadro branco e corte com a tesoura, repita mais uma vez de forma que terá as duas partes da lente.

Figura 1.17 - Desenho esquemático marcando com caneta a garrafa para cortar as laterais da lente esférica.



(a)

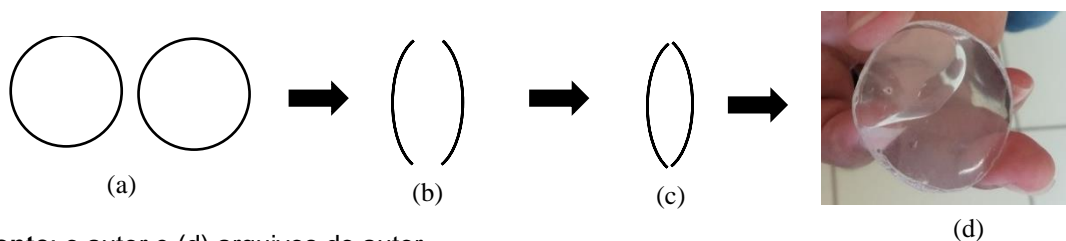


(b)

Fonte: Manual do mundo, site: <<https://www.youtube.com/watch?v=iGgO82eBsAI>>.

- Misture sobre um papel, um pouco do conteúdo de cada bisnaga da cola com um palito.
- Posicione as laterais da lente conforme indicado na Figura 1.18 (b). Passe cola epóxi nas bordas das peças.
- Cole-as de modo que a parte oval fique para fora, formando uma peça delgada (Figura 1.18 (c)).
- Espere secar a cola, e verifique se há vazamentos, para isso mergulhe a lente dentro de um recipiente com água e aperte, marque com a caneta onde está vazando, enxugue e passa cola (prepare mais se necessário) no local;
- Deixe-a secar, faça um furo com uma agulha próximo à borda, mergulhe na água, aperte e solte, de forma a preenchê-la completamente de água. A Figura 1.18 (d) apresenta a lente pronta.

Figura 1.18 - Desenho esquemático simulando a montagem experimental das lentes esféricas.

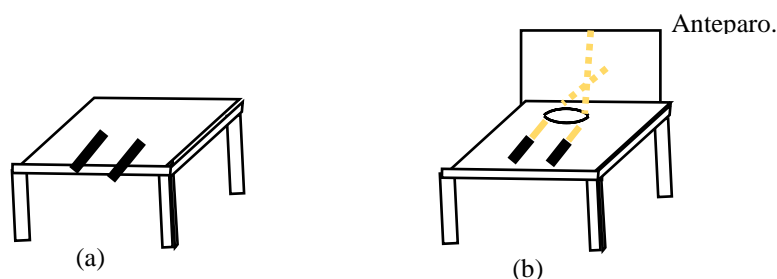


Fonte: o autor e (d) arquivos do autor.

1.6.4 – Procedimento Experimental

- Aproxime a lente sobre um texto de um livro e observe a variação do tamanho das letras.
- Posicione sobre uma mesa as duas canetas laser paralelas uma a outra na largura da lente (Figura 1.19 (a)).
- Ligue as canetas laser e posicione a lente (segure) de forma que os feixes de luz incidam na linha mediana da lente, se necessário, apoiar as canetas sobre um livro, (Figura 1.19 (b)).
- Movimente a lente até encontrar o ponto focal entre o anteparo e as canetas laser.
- Observe o que ocorre com o feixe de luz.
- Anote suas observações.

Figura 1.19- Desenho esquemático simulando a montagem experimental da lente e as



Fonte: o autor.

1.6.5 – Resultados Esperados

Ao observar por meio de uma lente é possível notar uma variação nas imagens. O feixe de luz ao transpor uma lente (côncava ou convexa) sofre uma refração, mudança de direção de propagação, redirecionando a luz.

As Figuras 1.20 (a) ilustram uma lente côncava. A imagem da Figura 1.20 (b) ilustra dois raios de luz que convergiram ao transpor diferentes meios refringentes e divergindo na sequência, isso ocorre pelo copo com água representar uma lente cilíndrica.

Figura 1.20 – Imagens fotográfica ilustrando lentes convergentes (a) e (b) esféricas e (c) cilíndrica, as setas em amarelo indicam os raios de luz incidindo no copo, e é possível ver a sua convergência e divergência após passar pelo copo.



Fonte: (a) Arquivos do autor, e (b) sugerido por um aluno e arquivos do autor.

1.6.6 – Explicação

Este experimento ilustra ao estudante, o funcionamento, por exemplo, de óculos corretivo, equipamentos de pesquisas astronômicas, câmeras digitais e lupas. As lentes esféricas e cilíndricas são sistemas ópticos constituídos por três meios transparentes homogêneos, possuindo em seus pares de fronteiras (faces da lente) ao menos uma superfície esférica ou cilíndrica.

Quando um feixe de luz incide sobre uma lente, caracterizamos como convergente, quando raios paralelos de luz são refratados e direcionados para um único ponto, ou divergente, quando os raios de luz paralelos entre si são refratados e divergem a partir de um único ponto. Teoria completa sobre tipos de lentes esféricas e formação de imagens está na seção A.4.

Visto como funciona uma lente convergente, o próximo experimento tratará do protótipo do olho humano, no contexto da OG.

1.7 – Roteiro do Experimento 07 - Protótipo do Olho Humano³⁴

Este experimento visa ilustrar as características de um olho humano a partir de uma maquete.

1.7.1 – Objetivos

- Conhecer o funcionamento do olho humano.
- Relacionar os conhecimentos interdisciplinares entre Arte, Português Biologia e a Física.
- Compreender como forma-se a imagem dentro do olho.
- Conhecer as doenças visuais.

³⁴ Trabalho inspirado na dissertação de mestrado: SANTOS, M. A.. Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos. 133 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016. disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=dissertacao/conhecendo-o-olho-humano-um-prot%C3%B3tipo-usado-para-o-ensino-de-f%C3%ADsica-voltado-para>>.

- Conscientizar sobre os cuidados para prevenção de doenças visuais.

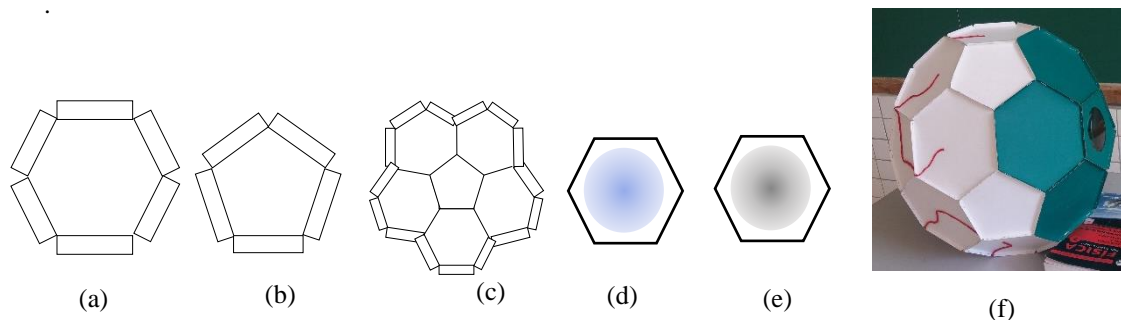
1.7.2 – Materiais Utilizados

- 3 folhas de papel cartão branco.
- 1 folha de papel cartão verde.
- 2 m de linha de crochê vermelho.
- 1 tesoura.
- 1 estilete.
- 1 grampeador.
- 1 lente biconvexa, com 9 cm de diâmetro, e vergência de + 3,3 di.
- 1 folha de papel vegetal.
- 1 fita adesiva.
- 10g de cola branca.

1.7.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Recorte 20 hexágonos (para formar um icosaedro truncado) de lado 0,10 m, faça uma aba 0,007 m e recorte as pontas (Figura 1.21 (a)).
- Recorte 12 pentágonos de lado 0,10 m, faça uma aba 0,007m e recorte as pontas (Figura 1.21 (b)).
- Grampeie as peças umas às outras (Figura 1.21(c)).
- Selecione uma peça e recorte-a para fixar uma lente (Figura 1.21 (d) lado pintado em verde escuro).
- Selecione uma peça do lado oposto à lente e recorte-a para fixar o papel vegetal (Figura 1.21 (e)).
- Represente a corrente sanguínea com a linha de crochê, colando aleatoriamente (Figura 1.21 (f)).
- O protótipo pronto possui 0,42 m de diâmetro (Figura 1.21 (f));
- Posicione uma fonte secundária de luz iluminada (objeto) diante do protótipo do olho.

Figura 1.21 – Desenhos ilustrativos do passo a passo da montagem do protótipo do olho humano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.7.4 – Procedimento Experimental

- Realize este experimento preferencialmente numa sala com pouca luz.
- Acenda a fonte luminosa diante da lente e encontre o ponto focal da lente do protótipo, aproximando ou afastando (Figura 1.22 (a)).
- Observe no lado oposto do protótipo (papel vegetal) (Figura 1.22 (b)).
- Observe o que surgiu no anteparo (papel vegetal).
- Anote suas observações.

Figura 1.22 - Desenho esquemático simulando o experimento do protótipo do olho humano.

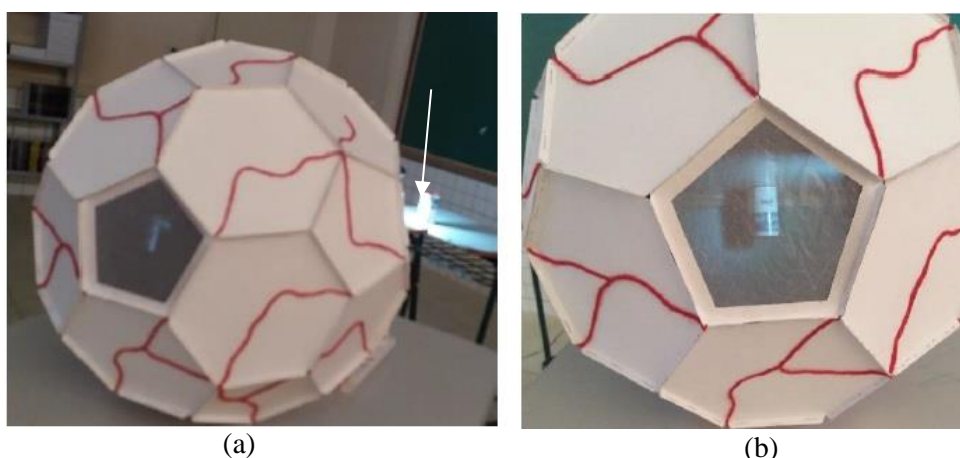


Fonte: Desenho ilustrativo de um icosaedro truncado disponível em: http://www.notapositiva.com/old/pt/trbestbs/matematica/10_solidos_platonicos_d.htm. Adaptada pelo autor.

1.7.5 – Resultados Esperados

O estudante poderá observar a formação de imagens (Figura 1.23 (a) e (b)) no anteparo (papel vegetal) a mais ou menos 1,45 m de distância da lente do protótipo do olho humano. Espera-se que compreenda o funcionamento de um olho humano, desde a passagem da luz pela retina, até a formação de imagem no cristalino.

Figura 1.23 - Imagem fotográfica do protótipo mostrando (a) o olho e indicado, com uma seta em branco, o objeto (este se encontra em torno de 1,45 m da lente do protótipo), e em (b) em destaque a imagem formada no anteparo (papel vegetal) representando a retina.



Fonte: arquivos do autor.

1.7.6 – Explicação

Analisando o olho de maneira simplificada, nota-se que é um órgão responsável pela percepção da luminosidade.

A luz penetra nos órgãos do sistema visual, formando a imagem na retina (maiores detalhes na seção A.5), que funciona como um filtro de coleta de imagens. Estas imagens são transmitidas ao cérebro por meio de pulsos eletromagnéticos. O cérebro interpreta e traduz tais informações nas imagens.

2 – Aplicação do Produto Educacional

Neste capítulo apresentaremos sequência metodológica, incluindo a sugestão de aplicação deste Produto Educacional, utilizando como estratégia os aparatos experimentais confeccionados pelo docente por meio dos roteiros apresentado no Capítulo 1 .

Lembrando que, este produto educacional subsidia tópicos referentes à Óptica Geométrica (Apêndice A) de modo a possibilitar que o estudante relacione a aprendizagem da óptica na sua vivência para que o conhecimento adquirido possa fazer sentido na compreensão dos fenômenos do cotidiano.

Deste modo, os experimentos têm caráter investigativo que possibilita o reconhecimento do novo (teoria) com o antigo (conhecimentos prévios) a partir do uso de materiais simples e de baixo custo, o que facilita aos estudantes a aquisição desses materiais e a oportunidade de reelaboração dos subsunçores (Ausubel, 1982), configurando-se numa aprendizagem significativa. Portanto, o estudante adquire uma postura investigativa, tendo neste material uma forma potencial de desenvolvimento significativo que proporciona uma aprendizagem significativa sobre a Óptica Geométrica.

Os experimentos podem ser reproduzidos e utilizados em qualquer ambiente escolar, não requerem espaço específico e pode ser trabalhado na própria sala de aula. O propósito é assegurar a aquisição da aprendizagem significativa que propicie uma postura crítica sobre os aspectos que norteiam a ciência. As atividades foram desenvolvidas em 09 horas aulas (cada hora/aula têm 50 minutos) com alunos do segundo ano do ensino médio.

O produto educacional fundamenta-se na valorização da participação do estudante, a aplicação de cada experimento é tratada em no máximo quatro etapas:

- 1º – Disponibilização do aparato experimental, aplicação de um questionário para que os alunos escrevam o que sabem sobre seu funcionamento.
- 2º – Manuseio do aparato pelos alunos, com aplicação em paralelo de um questionário sobre os efeitos observados.
- 3º – Por meio do docente realizando junto o experimento e explicando o fenômeno físico, aplicação de um questionário sobre a observação feita por parte dos alunos, pesquisa no livro didático para auxiliar nas resoluções das respostas.
- 4º – Atividade de pesquisa em que o aluno traga uma proposta teórica ou experimental (com materiais de acesso a sua realidade) que envolva o conteúdo abordado.

No Quadro 2.1 apresenta-se o conteúdo a ser abordado por aula, utilizado na aplicação do PE.

Quadro 2.1 - Distribuição do conteúdo por aula para aplicação do PE.

Atividade/Conteúdo	Número de aulas	Temas	Experimentos
Iniciando com um pré-teste, seguido de um debate.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimentos prévios. 	-----
Decomposição e recomposição da luz, espectro eletromagnético.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir os tipos de fontes de luz; • Discutir os fenômenos da propagação retilínea. 	Prisma óptico; Disco de Newton.
Reflexão da luz.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Leis da reflexão • Conceito de raio de luz incidente e refletido 	Pente reflexivo.
Refração da luz.	01	<ul style="list-style-type: none"> • O que é refração; • Leis da refração; • Fenômenos da reflexão total e dispersão. 	Desvio do raio de luz.
Espelhos planos.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de imagens virtuais. 	Associação de espelhos.
Espelhos esféricos.	01	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de imagens; • Equações matemáticas; • Propriedades de formação de imagens. 	Superfícies refletoras esféricas.
Lentes	01	<ul style="list-style-type: none"> • Lentes: convergentes e divergentes; • Elementos geométricos de uma lente; • Propriedades de formação de imagens. 	Lentes de aumento
Olho Humano e as anomalias da visão	01	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de imagens dentro do olho; • Problemas visuais. 	Protótipo do olho humano.
Questionário Avaliativo - Pós-teste	01	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados sobre a evolução da aprendizagem. 	-----

Fonte: o autor.

2.1 – Plano Geral de Aula

Cada procedimento experimental se encaixará neste plano geral de aulas.

Componente Curricular: Física

Série: 2° - Ensino Médio

Carga horária: 09 horas-aulas

Conteúdo estruturante: Eletromagnetismo

Conteúdo básico: A Natureza da Luz

Conteúdo específico: Óptica Geométrica

Objetivo Geral:

- Contribuir para que o estudante compreenda a luz como uma fração da radiação eletromagnética, situada entre as radiações de altas e baixas energias, cujas características e comportamento sugerem um caráter ora corpuscular, ora ondulatório, dependendo de como se dá sua interação com a matéria.
- Compreender o fenômeno de desvio dos raios de luz, a refração, que ocorre na mudança de um meio homogêneo para outro, como por exemplo, entre o ar e a água. Os processos de reflexão como sendo o fenômeno de retorno da luz para o meio em que se propaga.
- Compreender fenômenos do cotidiano referentes a luz como a formação do arco-íris, a compreensão das cores e do céu azul com os fenômenos estudados.

Objetivos Específicos:

- Por meio de experimentos, conceba e compreenda os fenômenos luminoso e manipule materiais passivos de representar tais fenômenos afim de compreender os temas abordados nas diretrizes curriculares do Paraná e nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's)³⁵ de Física.
- Compreenda as características da luz, e seus efeitos, o comportamento do olho humano e suas anomalias causadas por diversos fatores patológicos e da idade com correções através de lentes.

³⁵ PCN+ - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais FÍSICA. <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2018.

- Reconhecer a importância da Física em seu cotidiano, identificando, compreendendo as características e o comportamento da luz interagindo em cada ambiente, e em diferentes objetos, bem como o comportamento do olho humano.

Justificativa

Neste produto educacional é feito o uso de uma série de experimentos confeccionados com materiais simples de baixo custo, a fim de promover uma postura crítica no estudante e que perceba-se como cientista e compreenda como é fazer ciência.

O papel do professor é criar condições favoráveis para que o estudante sinta-se à vontade e desafiado a buscar conhecimento a fim de melhorar seu nível de aprendizado. Desenvolver a cultura da investigação teórica e física como ferramenta de confronto entre o seu saber e aquilo que se investiga, contribuindo para o aprimoramento da ciência.

Deste modo, espera-se que o estudante não seja apenas espectador nas aulas de Físicas, mas sim um colaborador que desenvolve seus próprios aparatos a fim de manipular e compreender os fenômenos estudados. O professor terá um papel importante como orientador e colaborador neste processo.

Materiais Didáticos

- Livro didático utilizado pela instituição de ensino.
- Aparato experimental.
- Materiais para manipulação dos estudantes (lápiz, borracha, caneta, cartolina, papelão, cola, pincel, vidro, papel sulfite, lápis de cor, lentes, espelhos planos e esféricos, água, caixa de plástico ou acrílico, caneta laser, fita adesiva).
- Quadro negro.
- Giz.

2.2 - Encaminhamento Metodológico

Nesta seção, apresenta-se o encaminhamento metodológico de aplicação das nove aulas e do PE.

2.2.1 – Aula 01- Conhecimentos Prévios

- **Desenvolvimento** - Explicação pelo professor sobre a percepção do mundo que se adquire por meio de nossos sentidos da visão. Referenciando que o segmento da Física que estuda a luz

é a Óptica. O professor deve aplicar uma atividade investigativa que identifique os conhecimentos prévios dos estudantes, sobre os conceitos da Óptica Geométrica.

Nesta primeira aula investiga-se por meio de um pré-teste³⁶, o conhecimento dos alunos em relação aos conceitos abordados sobre óptica geométrica. Esta contém 5 questões dissertativas e 7 questões objetivas. As questões forem selecionadas dentro do contexto a ser abordado em sala de aula, assim como foram selecionados os experimentos.

2.2.1.1 Atividade - PRÉ-TESTE

- 1) O que é luz?
- 2) O que é refração?
- 3) O que é reflexão?
- 4) Como é formado o Arco-íris?
- 5) Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?
- 6) Qual problema da visão pode ser corrigido com uma lente divergente:
 - a) hipermetropia
 - b) miopia
 - c) glaucoma
 - d) catarata
 - e) nenhuma das alternativas anteriores
- 7) O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz:
 - a) é independente quando se propaga.
 - b) é reversível quando se propaga.
 - c) se propaga em linha reta.
 - d) se propaga em linha curva.
 - e) contorna os objetos ao se propagar.
- 8) Ao observar um objeto que não seja a fonte de luz e este se apresente na cor azul. O objeto parece azul por quê:
 - a) refrata a luz azul.

³⁶ As questões adotadas são adaptadas e/ou selecionadas de bancos de questões disponíveis na *internet*, cujos direitos autorais pertencem a quem as formularam.

- b) difrata a luz azul.
- c) emite luz azul.
- d) reflete luz azul.
- e) nenhuma das alternativas anteriores.

9) A Figura A ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada:

- a) em frente do espelho.
- b) na superfície do espelho.
- c) atrás do espelho.
- d) não é possível saber.
- e) as informações não são suficientes para determinar.

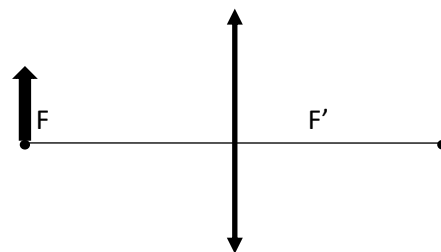
Figura A: Ilustra uma bola e um observador diante de um espelho plano.



10) A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

- a) imagem real, invertida e menor.
- b) imagem real, invertida e igual.
- c) imagem real, invertida e maior.
- d) imagem imprópria se forma muito longe.
- e) imagem virtual, direita e maior.

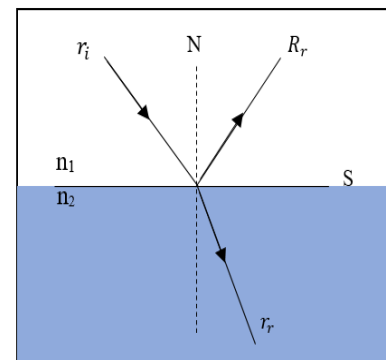
Figura B: Representação de uma lente convergente.



11) Observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente r_i , refletido R_r e refratado r_r . Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

- a) somente se $n_1 > n_2$
- b) somente se $n_2 > n_1$.
- c) somente se $n_2 = n_1$.
- d) esta representação não existe.
- e) não depende de n_1 e n_2 .

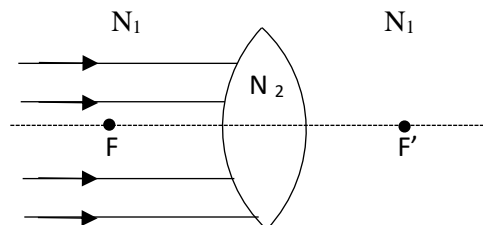
Figura C: Representação de um raio de luz incidente r_i , refletido R_r e refratado r_r uma superfície S de separação e uma reta normal N.



12) A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados $N_1 < N_2$.

- a) () raios divergentes.
- b) () raios convergentes.
- c) () raios paralelos.
- d) () raios bloqueados.
- e) () raios retornando.

Figura D - Desenho esquemático representando um feixe de luz paralelo incidente em uma lente biconvexa de índice de refração N_2 imersa em um meio de índice de refração N_1 .



Considerações: após recolher o teste, promover um debate sobre os temas abordados comentando as dificuldades encontradas durante a resolução do mesmo, a fim de instigá-los e despertar a curiosidade sobre o assunto.

Sugestão: o professor pode pedir aos alunos uma leitura prévia do livro didático³⁷ adotado neste trabalho ou o livro escolhido pela instituição de ensino que aborde os conteúdos sobre a Óptica Geométrica, para iniciar o contato dos estudantes com materiais científicos que tratam sobre o tema.

2.2.1.1 – Gabarito nº 01 – Questionário Prévio - Aula 01

- 1 – O que é luz? É uma fração do espectro eletromagnético que impressiona os olhos.
- 2 – O que é refração? É o fenômeno óptico da variação da velocidade da luz, para o observador, ao passar de um meio material óptico para outro.
- 3 – O que é reflexão? É o retorno de um feixe de luz ao próprio meio de origem, após incidir sobre uma interface que o separa do outro meio.
- 4 – Como é formado o Arco-íris? Devido à ocorrência de fenômenos como a refração, a decomposição da luz branca, seguida da reflexão total da luz no interior de uma gotícula de água em suspensão na atmosfera.
- 5 – Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água? Devido ao fenômeno da refração da luz, como a luz se propagou em meios materiais distintos com refringências diferentes, ocorre à variação da velocidade da luz, com isso os raios de luz muda de direção dando a aparência de estar quebrado.

³⁷Livro didático: Yamamoto, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória / Kazuhito Yamamoto, Luiz Felipe Fuke. -- 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.

6 - Qual problema da visão pode ser corrigido com uma lente divergente? Item b – Miopia.

7 - O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz: item c – se propaga em linha reta.

8 – Ao observar um objeto que não seja a fonte de luz e este se apresenta na cor azul. O objeto parece azul por quê: item d – Reflete luz azul.

9 - A Figura A ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada: item c – atrás do espelho.

10 – A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

Item d – imagem imprópria se forma muito longe.

11 - Observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente RI, refletido Rr e refratado RR. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

Item b – Somente se $n_2 > n_1$.

Comentário: o raio refratado (RR) se aproxima da normal.

12 - A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados $N_1 < N_2$.

Item b - raios convergentes

Figura B: Representação de uma lente convergente.

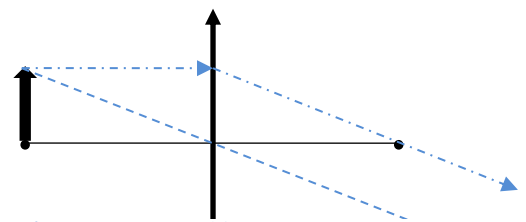
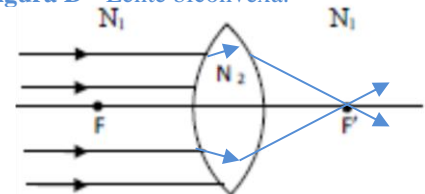


Figura D - Lente biconvexa.



2.2.2 – Aula 02- Princípios da Óptica Geométrica: cores e luz, decomposição e recomposição espectro da luz visível

Considerando a luz no contexto do espectro eletromagnético percebe-se que está presente num intervalo situado entre as radiações de altas e baixas energias, cujas características e comportamento sugerem um caráter corpuscular e/ou ondulatório, dependendo de como se dá sua interação com a matéria.

Sua frequência é compreendida na ordem de 10^{-14} HZ com velocidade aproximada de 3×10^8 m/s.

Ao observar o espectro das ondas eletromagnéticas, sua radiação é percebida por meio do olho humano como sendo uma luz branca, este espectro por sua vez, é composto por ondas com frequências diferentes que vai do vermelho até o violeta. Para compreender a visão, devemos considerar que as células fotossensíveis do olho, captam a radiação da luz visível refletidos pelos objetos e as enviam para o cérebro como sinais eletromagnéticos, as células neurológicas as identificam e compreende como imagens.

É possível verificar que a luz branca é uma combinação das diferentes ondas luminosas visíveis, basta fazê-la atravessar um meio refrativo transparente, com isso aparecerá vários raios de luz com diferentes cores. Esta separação ocorrerá devido à diferença do índice de refração entre os dois meios homogêneos.

Nesta aula, apresenta-se o aparato utilizado, e o roteiro de aplicação. Na Figura 2.1, está a foto do prisma proposto neste PE, e que seja levado para análise experimental dos alunos. O objetivo deste experimento é estudar o fenômeno de dispersão da luz branca: sua decomposição e como atividade aos alunos fica a sua recomposição no espectro da luz visível por meio do disco de Newton.

Figura 2.1 - Imagem fotográfica do prisma confeccionado pelo autor e apresentado aos estudantes.



Fonte: arquivo do autor.

2.2.2.1 Roteiro de Aplicação N° 01 – Prisma Óptico e Disco de Newton

Esta aula foi dividida em 4 etapas. A primeira apresentando o aparato experimental no caso o prisma óptico preenchido com água e uma caneta de luz laser e três questões sobre o mesmo, sobre o que acham que irá ocorrer ao incidir a luz no prisma. A segunda, manipular o aparato e responder 4 questões baseadas no que ocorreu durante o experimento, a terceira com 4 questões do que concluíram com relação à execução experimental podendo fazer uso do auxílio de pesquisa e a quarta e última etapa a conclusão final baseada em 3 questões sobre o experimento e em comparação com a proposta feita pelo docente com outro aparato experimental, o disco de Newton, confeccionado pelos próprios alunos.

A seguir seguem as questões³⁸ das 4 etapas:

- **Etapa 1 – Apresentar o Aparato e Questionar o Grupo**

Qual a sua opinião sobre:

- a) A luz irá atravessar o prisma ou o prisma irá bloquear a passagem da luz?
- b) O prisma irá interferir ou não na propagação da luz? De que forma, caso sua análise se confirme, isso ocorre?
- c) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

- **Etapa 2 – Depois de Manipular o Aparato – Ver Procedimento Experimental do Roteiro do Experimento 1, Capítulo 1.**

- a) O que seu grupo notou?
- b) Especifique as alterações que seu grupo percebeu?
- c) O prisma bloqueou a luz?
- d) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

- **Etapa 3 – Atividades Concluintes: Por Meio de Pesquisas no Material Didático e Internet**

- a) Quantas cores o grupo pode perceber?
- b) Ilustre em uma folha e descreva o fenômeno:
- c) Qual a relação entre a luz branca e o espectro de cores que ela gera em um prisma?
- d) Porque a luz se decompõe ao passar pelo prisma?

- **Etapa 4 – Conclusão da Aplicação do Roteiro**

- a) Sabendo que as cores que aparece no espectro são: vermelho, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta. Será que é possível reconstituir o fenômeno? De que forma?
- b) O professor sugere a construção do disco de Newton e os questiona se funcionaria; após discussões, produzem o disco (Experimento 1.1b).
- c) O que o grupo notou observando o aparato “Disco de Newton”?

Sugestões: após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma análise no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o estudante consiga compreender o fenômeno da dispersão luz visível.

³⁸ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

2.2.2.2 Gabarito nº 02 – Questionários Aula 02

Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo

Qual a sua opinião sobre:

- a) A luz irá atravessar o prisma ou o prisma irá bloquear a passagem da luz?

Resposta esperada: respondida no item 2 c)

- b) O prisma irá interferir ou não na propagação da luz? De que forma, caso sua análise se confirme, isso ocorre?

Resposta esperada: Depende do ângulo de incidência. Se incidir obliquamente irá sofrer um refração ao entrar no prisma e outra ao sair, dispersando em 7 cores.

- c) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

Resposta esperada: Espectro da luz visível.

• Etapa 2 – Depois de manipular o aparato

- a) O que seu grupo notou? Resposta coletiva, e que notaram o espectro da luz visível.

- b) Especifique as alterações que seu grupo percebeu? Resposta: O feixe de luz ao atravessar o prisma sofre refração decompondo-o.

- c) O prisma bloqueou a luz? Resposta: Não

- d) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma? Resposta: A luz é uma onda eletromagnética composta por infinitos raios de luz monocromáticos que ao transpor um prisma ocorre sua decomposição, sendo possível sua percepção mesmo a olho nu.

• Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet

- a) Quantas cores o grupo pode perceber? Resposta: Sete, são elas: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

- b) Ilustre em uma folha e descreva o fenômeno. Resposta: desenhar a decomposição observada. Exemplo Figura 1.4.

- c) Qual a relação entre a luz branca e o espectro de cores que ela gera em um prisma? Resposta: Um feixe de luz é composto por infinitos raios de luz monocromáticos.

- d) Porque a luz se decompõe ao passar pelo prisma? Resposta: Devido ao fenômeno da refração.

• Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro

- a) Sabendo que as cores que aparece no espectro são: vermelho, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta. Será que é possível reconstituir o fenômeno? De que forma? Resposta: Espera-se que a resposta sim, com a utilização de um aparato como o disco de Newton.

- b) O professor sugere a construção do disco de Newton e os questiona se funcionaria; após discussões, produzem o disco. Resposta: Experimento 1.1.b.

- c) O que o grupo notou observando o aparato “Disco de Newton”? Resposta: Espera-se que o grupo visualize a união das cores do disco, aproximando sua tonalidade a cor branca (Figura 1.6).

2.2.3 – Aula 03 – Reflexão da Luz

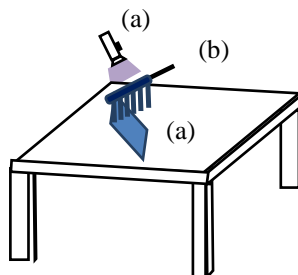
É um fenômeno que acontece quando raios de luz incidem em uma superfície plana refletora, ou seja, desviam para o mesmo meio de onde se propagaram. A teoria encontra-se no texto de apoio, seção A.2.

Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre: luz, pente e espelho, bem como o procedimento experimental (disponível passo a passo na seção 1.2) e o roteiro de aplicação nº 02. O objetivo deste experimento é explorar o processo de reflexão e a trajetória da luz, trabalhando inclusive a formação de sombras.

2.2.3.1 Roteiro de Aplicação nº 02 – Refração da Luz - Pente Refletivo

Neste experimento deve-se incidir a luz de uma lanterna (c) de frente a um pente (b) que está perpendicular a um espelho plano (a), conforme ilustrado na Figura 2.3

Figura 2.3 - Desenho esquemático simulando a montagem do experimento de reflexão confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes: (a) Lanterna, (b) Pente e (c) espelho plano perpendicular ao pente.



Fonte: o autor, adaptado da referência < <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>>

A seguir apresentam-se as questões³⁹ referentes a cada uma das etapas da aplicação do experimento. Neste caso foram propostas 3 etapas, sendo: 2 questões na Etapa 1, 5 questões na Etapa 2 e duas questões na Etapa 3.

³⁹ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre os raios de luz quando:

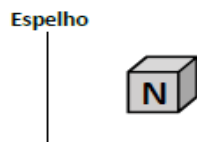
- a) A luz e o pente diante do espelho? Represente os raios de luz geometricamente.
- b) A luz e o espelho obliquamente ao espelho? Represente os raios de luz geometricamente.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato experimental - Ver Procedimento Experimental do roteiro do experimento 03, Capítulo 1.**

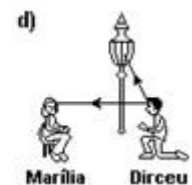
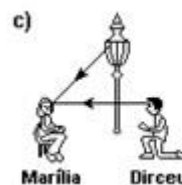
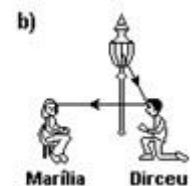
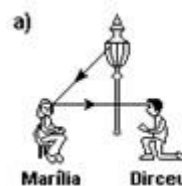
- a) O que seu grupo notou em cada caso? Houve reflexão nos dois momentos?
- b) Represente graficamente o fenômeno observado.
- c) Mudou alguma coisa em sua percepção após a observação?
- d) O que podemos aferir sobre os raios de luz quanto à sua propagação?
- e) A imagem formada é direita ou invertida?

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

(a) Determine geometricamente as imagens formadas pelo espelho:



b) (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que estão CORRETAMENTE representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.



Sugestões: após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma leitura no material didático e resolver as atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da reflexão da luz.

2.2.3.2 Gabarito nº 03 – Questionários Aula 03

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre os raios de luz quando:

- a) a luz e o pente diante do espelho, represente os raios de luz geometricamente.
- b) A luz e o pente obliquamente ao espelho? Represente os raios de luz geometricamente.

Resposta: Cada aluno irá responder desenhando de acordo com o que imagina que ocorreria.

As respostas corretas estão apresentadas no item b da Etapa 2.

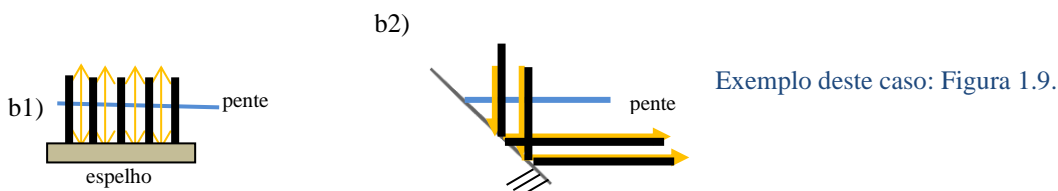
- **Etapa 2 – Depois de manipular a montagem experimental**

- a) O que seu grupo notou em cada caso? Houve reflexão nos dois momentos?

A resposta correta seria: sim, houve reflexão nos dois casos referentes a Etapa 1.

- b) Represente graficamente o fenômeno observado.

Respostas corretas: b1 – luz e pente diante o espelho e b2 – luz e pente obliquamente ao espelho.



O esperado é que o estudante perceba que a superfície espelhada rebate a luz de volta ao meio de propagação. E que esta reflexão obedece a uma simetria, o raio incidente forma um ângulo com a normal e o raio refletido forma o mesmo ângulo (lei da reflexão). De acordo com o ângulo incidente se obtêm infinitos raios refletidos, ou o ângulo refletido varia de acordo com o incidente até o ponto em que não reflete mais, isso numa incidência a 180° .

- c) Mudou alguma coisa em sua percepção após a observação?

Comparação entre a resposta dada na Etapa 1 e o item a) e b) da Etapa 2.

- d) O que podemos aferir (verificar) sobre os raios de luz quanto à sua propagação?

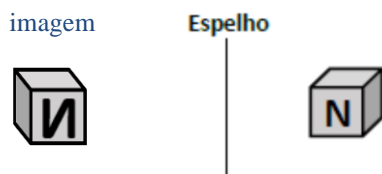
Espera-se que responda que o raio de luz ao chocar-se com um obstáculo, muda de direção.

- e) A imagem formada é direita ou invertida?

Invertida, pois se sobrepor uma a outra ficam assimétricas.

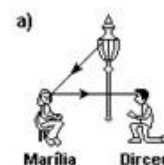
- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Determine geometricamente as imagens formadas pelo espelho:



b) (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que estão CORRETAMENTE representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.

Resposta: A luz incide em Marília que a reflete até os olhos de Dirceu.



2.2.4 – Aula 04 – Refração da Luz

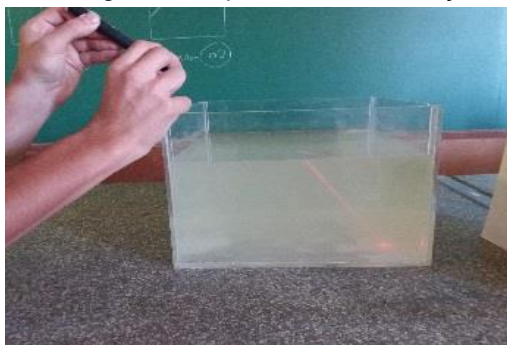
A refração da luz é um fenômeno observado quando ocorre a passagem da luz entre meios homogêneos. Sendo que, quando os meios possuem refringências diferentes o raio de luz muda de direção em relação à normal na superfície que os separa, fato esse descoberto por Snell e Descartes em 1921. Assunto esse detalhado na seção A.3.2.

Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental utilizado sobre a incidência de luz de um laser em uma caixa transparente com água contendo pó de refresco artificial dissolvido no mesmo. O objetivo é explorar o aparato observando o comportamento da luz ao atravessar dois meios com índices de refração diferentes.

2.2.4.1 - Roteiro de Aplicação Nº 04 – Refração – Desvio do Raio de Luz

Este aparato pode ser confeccionado com placas de vidro coladas com cola de silicone, obtendo como resultado final uma cuba, ou adquirir um aquário já pronto, ou uma cuba de acrílico, ou plástico transparente. A água foi tingida com um pó de refresco para melhor visualizar o feixe de luz provinda de uma caneta laser. Conforme ilustrado na Figura 2.4. No Capítulo 1 apresentam-se no roteiro do experimento 04, em detalhes, os materiais utilizados, a montagem experimental, bem como o procedimento experimental.

Figura 2.4 - Fotografia da montagem do experimento de refração.



Fonte: arquivo do autor.

Nesta aula, as etapas aplicadas foram as 4, sendo que na Etapa 1 abordaram-se 2 questões de conhecimento prévio do que poderia ocorrer somente observando o aparato, na Etapa 2 três questões específicas da realização do experimento, na Etapa 3 foram 4 questões, sendo uma envolvendo cálculo, podendo ser respondida por meio de pesquisa no material didático (livro) e internet, e por fim a Etapa 4 uma questão com a proposta de buscar um outro experimento alternativo ao realizado na sala para explorar os mesmos fenômenos.

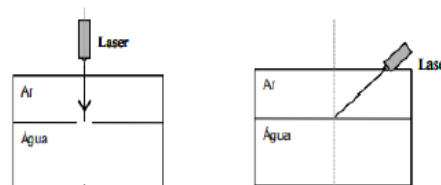
Seguem as questões⁴⁰ de cada etapa.

• **Etapa 1 – Apresentando o aparato: “Incidência de luz de um laser num aquário” sem ligar o laser para explorar os conhecimentos prévios dos alunos.**

Qual a sua opinião em relação as questões a) e b):

- O que acontecerá com a luz quando incidir no aquário?
- Analisando duas situações, como mostra a Figura A, determine a propagação do raio de luz.

Figura A: Desenho esquemático representando um caneta laser apontando o seu feixe de luz em uma caixa transparente com água.



Fonte: Adaptado da referência ROBERTO, 2009.

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

- Faça um desenho representando o fenômeno observado.
- Por que a luz muda de direção ao entrar no aquário? Esse mesmo efeito aconteceria em outros meios, como o vidro, por exemplo? Justifique.
- Pensando no comportamento da luz, como esse fenômeno pode ser explicado?

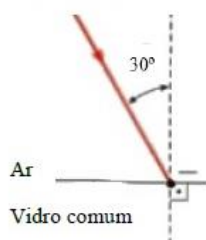
• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- Qual o índice de refração da água? E do ar?
- O que é o fenômeno “refração da luz”?
- O que são meios refringentes?
- Sabe-se que, para o vidro comum o índice de refração a cor violeta é $\frac{39}{20}$ e o da cor vermelha é $\frac{25}{20}$. A Figura B representa um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano

⁴⁰ Adaptado da referência (ROBERTO, 2009).

formado entre o ar e o vidro comum. Determine com os dados da Tabela Z, os ângulos de refração de um raio de luz da radiação vermelha e violeta utilizando a Lei de Snell.

Figura B: Desenho esquemático representando um feixe de luz branca incidindo no dioptro plano formado entre o ar e o vidro comum.



Seno	Ângulo
0,20	11,5°
0,25	14,5°
0,30	17,5°
0,35	20,5°
0,40	23,5°
0,45	26,5°

Tabela Z: Dados de valores seno e seus respectivos ângulos.

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

- a) Depois de conhecer as características da refração da luz: demonstre este efeito de outra forma.

Nota: o professor propõe uma pesquisa na internet em busca de outras maneiras de representar o fenômeno, como o experimento com uma moeda em uma xícara com: água, óleo ou vinagre, para observar a diferença de cada meio.

Sugestão: após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele proposto. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da refração do raio de luz ao transpor meios distintos.

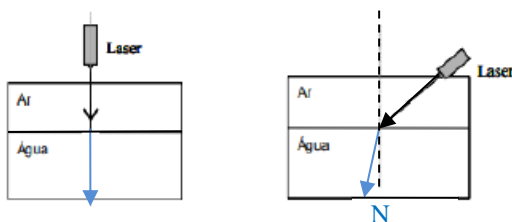
2.2.4.2 – Gabarito nº 04 – Questionários Aula 04

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato: “Incidência de luz de um laser num aquário” sem ligar o laser para explorar os conhecimentos prévios dos alunos.**

Qual a sua opinião em relação as questões a) e b):

- a) O que acontecerá com a luz quando incidir no aquário? *Opinião pessoal.*
- b) Analisando duas situações, como mostra a Figura A, determine a propagação do raio de luz.

Figura A: Desenho esquemático representando uma caneta laser apontando o seu feixe de luz em uma caixa transparente com água.



Opinião pessoal, mas as respostas corretas são, indicados em azul na Figura A:

- (a) A luz passa direto quando incidido perpendicular a superfície da água,
- (b) quando incidido obliquamente se aproxima da normal (N).

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

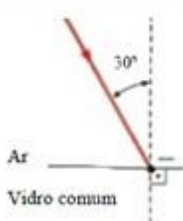
- a) Faça um desenho representando o fenômeno observado. Respondido no item b da Etapa 1, Figura A e as equivalentes são Figuras A.20 (a) e (c).
- b) Por que a luz muda de direção ao entrar no aquário? Esse mesmo efeito aconteceria em outros meios, como o vidro, por exemplo? Justifique. Espera-se que o estudante relacione ao fenômeno da **refração**. Compreenda que ocorre em diferentes meios e explique que o vidro e o ar possuem índice de refração diferente, essa diferença de refringência produz o mesmo efeito.
- c) Pensando no comportamento da luz, como esse fenômeno pode ser explicado? Espera-se que o estudante compreenda o Princípio da Propagação Retilínea da luz, compreenda o comportamento óptico quando a luz passa por meios distintos mudando sua direção. Considerando ainda, a alteração da velocidade da luz (v) pelos meios possuírem refringências diferentes, o que pode ser visto pela Equação (A.5).

• **Etapa 3 – Atividades concluintes, por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Qual o índice de refração da água? E do ar? O índice de refração da água $n_{\text{água}} = 1,33$; e a do ar $n_{\text{ar}} = 1$.
- b) O que é o fenômeno “refração da luz”? É um fenômeno óptico em que ocorre a variação de sua velocidade, para o observador, ao passar de um meio material óptico para outro.
- c) O que são meios refringentes? É uma propriedade óptica do meio material que informa o grau de dificuldade à passagem da luz.
- d) Sabe-se que, para o vidro comum o índice de refração na cor violeta é $\frac{39}{20}$ e o da cor vermelha é $\frac{25}{20}$. A Figura B representa um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano formado entre o ar e o vidro comum. Determine com os dados da Tabela Z, os ângulos de refração de um raio de luz da radiação vermelha e violeta utilizando a Lei de Snell.

A Lei de Snell é a Eq. (A.7), $\theta_1 = 30^\circ$, e $\text{sen } 30^\circ = 0,5$, o índice de refração do ar $n_{\text{ar}} = 1$.

Figura B: Desenho esquemático representando um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano formado entre o ar e o vidro comum.



Senos	Ângulo
0.20	11,5°
0.25	14,5°
0.30	17,5°
0.35	20,5°
0.40	23,5°
0.45	26,5°

Tabela Z: Dados de valores seno e seus respectivos ângulos.

Para o vidro na cor violeta é $n_2 = \frac{39}{20}$. Substituindo estas informações na Eq. (A.7):
 $1 (\text{sen } 30^\circ) = \left(\frac{39}{20}\right) \text{sen } \theta_2$.

$$\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{20}{39}\right) = \text{sen } \theta_2 \Rightarrow \frac{10}{39} = \text{sen } \theta_2; \theta_2 = 14,5^\circ.$$

Para o vidro na cor vermelha é $n_2 = \frac{25}{20}$. Substituindo estas informações na Eq. (A.7):
 $1 (\text{sen } 30^\circ) = \left(\frac{25}{20}\right) \text{sen } \theta_2$.

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

a) Depois de conhecer as características da refração da luz: demonstre este efeito de outra forma.

Exemplos de aplicação: Experimento da moeda com a xícara ou copo opaco, como o disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/verificando-refracao-luz.htm>> (publicado por Domiciano Marques), ou a do lápis ou canudo quebrado, como o disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1766>> (Portal do Professor/MEC).

2.2.5 – Aula 05 - Espelhos Planos

Juntar dois espelhos com uma fita adesiva de modo que uma parte fique fixa e a outra móvel, a fim de variar o ângulo entre os espelhos. Após diversas observações os estudantes devem compreender que o número de imagens formadas depende do ângulo α entre os dois espelhos, e pode ser obtida por intermédio da Equação (A.1).

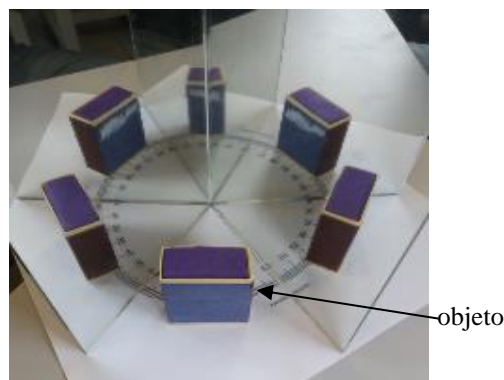
Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre associação de espelhos planos, o roteiro de aplicação e o gabarito das questões das etapas de aplicação. Objetivo: Trabalhar com formação de imagens em espelhos planos, variando o ângulo entre dois espelhos.

2.2.5.1 Roteiro de Aplicação Nº 03 – Associação de Espelhos Planos

Este experimento utiliza-se um papel como base que possui o desenho de um transferidor, dois espelhos planos unidos na lateral e um objeto, no caso uma caixa de fósforos, conforme ilustrado na Figura 2.5.

No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 05, os materiais utilizados, a montagem experimental, e o procedimento experimental, detalhados.

Figura 2.5 - Fotografia da montagem experimental da associação de espelhos confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes.



Fonte: arquivo do autor.

Na sequência segue as questões⁴¹ a serem abordadas em cada uma das quatro etapas. Sendo que na Etapa 1 consta de 3 questões, a Etapa 2 de 3 questões, a Etapa 3 de 5 questões (sendo 2 objetivas) e a Etapa 4 de 1 questão, com a sugestão da construção de um Periscópio.

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião:

- a) O que acontecerá se um objeto estiver posicionado entre dois espelhos paralelos? Onde aparecerá a sua imagem?
- b) Colocando dois espelhos próximos é possível determinar se aparecerá mais de uma imagem? De que forma isso seria possível?
- c) Qual a sua percepção sobre as imagens formadas em um espelho? Descreva como é possível este fenômeno.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato - Ver Procedimento Experimental do roteiro do experimento 05, Capítulo 1.**

A Tabela A se refere às questões: a, b e c.

Tabela A - Valores de ângulos e imagens

Ângulo	Imagens
30°	
45°	
60°	
90°	
120°	
180°	

- a) Conte quantas imagens se forma em cada ângulo e preencha a Tabela A.
- b) Analise os resultados e deduza uma equação de formação de imagens.
- c) Qual a explicação das imagens formadas para os espelhos em paralelos.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Imagine um vaso com flores diante de um espelho plano vertical que pode se mover. O que aconteceria com a imagem do vaso caso o espelho fosse afastado ou aproximado do vaso?

⁴¹ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- 2) Se o espelho, inicialmente a 3,5 m do vaso, é afastado a 2 m do mesmo, que distância separa a primeira imagem da segunda?
- 3) Pedro deseja observar uma torre inteira, de 101m de altura, através de um espelho vertical, plano de tamanho 1m, situado a 50 m dela. Qual deve ser a distância mínima do espelho à qual Pedro deverá ficar?
 - a) () 20cm
 - b) () 30cm
 - c) () 40cm
 - d) () 50cm
 - e) () 60cm
- 4) Se você estiver se aproximando perpendicularmente de uma parede espelhada a uma velocidade de 2,5m/s, a sua imagem:
 - a) () aumenta de tamanho.
 - b) () diminui de tamanho.
 - c) () afasta de você à velocidade de 2,5 m/s.
 - d) () aproxima-se de você à velocidade de 2,5 m/s.
 - e) () aproxima-se de você à velocidade de 5 m/s.
- 5) Um espelho plano sofre uma rotação de 20° em relação a um eixo que está contido em seu próprio plano. Qual é o ângulo de rotação dos raios refletidos nesse ângulo de giro do espelho?

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

- a) Depois de conhecer as características do espelho, construa algum aparato que possa descrever as leis de reflexão. (sugestão: Construção de um periscópio).

Sugestão: Após debates e discussões dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno de reflexão de imagens em espelhos planos.

2.2.5.2 Gabarito nº 05 – Questionários Aula 06

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião:

- a) O que acontecerá se um objeto estiver posicionado entre dois espelhos paralelo? Onde aparecerá a sua imagem? *Resposta pessoal. O correto seria, a imagem aparecerá “atrás” do espelho.*

- b) Colocando dois espelhos próximos, é possível determinar se aparecerá mais de uma imagem? De que forma isso seria possível? *Resposta pessoal. A resposta adequada é: sim, colocando um objeto entre os espelhos.*
- c) Qual a sua percepção sobre as imagens formadas em um espelho? Descreva como é possível este fenômeno. O aluno responderá de acordo com seus conhecimentos prévios, e a resposta adequada é que seja virtual (“atrás” do espelho) e de mesmo tamanho.

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

A Tabela A se refere às questões: a, b e c.

Tabela A - Valores de ângulos e imagens

Ângulo	Nº Imagens
30°	11
45°	7
60°	5
90°	3
120°	2
180°	1

- a) Conte quantas imagens se forma em cada ângulo e preencha a Tabela A.

Exemplo das Figuras 1.11.

- b) Analise os resultados e deduza uma equação de formação de imagens.

Posicionando o objeto na linha do plano bissetor entre os dois espelhos: se os espelhos estão a 180°, N=1; Como o maior ângulo entre os espelhos é de 360°, se dividirmos o máximo por 180°, o valor será igual a 2, mas como o número formado de imagem é igual a 1, temos que subtrair 1 para que N seja igual a 1, no centro, metade para cada espelho;. Tal que: $N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$ em que α é o ângulo formado entre os espelhos. Testando: se os espelhos estão a $\alpha = 360^\circ$, N=0 e formará não forma imagem, pois os espelhos estão com os lados espelhados opostos um ao outro., Esta é a Equação (A.1).

- c) Qual a explicação das imagens formadas para os espelhos em paralelos.

Nos espelhos em paralelo ocorre a formação de infinitas imagens devido ao efeito da reflexão. Exemplo Figura 1.12.

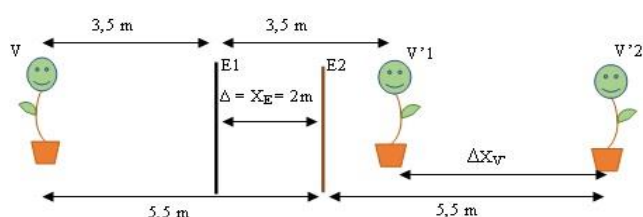
• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- a) Imagine um vaso com flores diante de um espelho plano vertical que pode se mover. O que acontece com a imagem do vaso caso o espelho fosse afastado ou aproximado do vaso?

Este se afasta ou se aproxima do vaso acompanhando o movimento do objeto.

- b) Se o espelho, inicialmente a 3,5 m do vaso, é afastado a 2 m do mesmo, que distância separa a primeira imagem da segunda?

Figura R.3.1 - Construindo-se a Figura ilustrativa, onde E1 e E2 representa a ilustração das posições do espelho, V é a ilustração do vaso e V'1 e V'2 são as posições das imagens dos vasos.



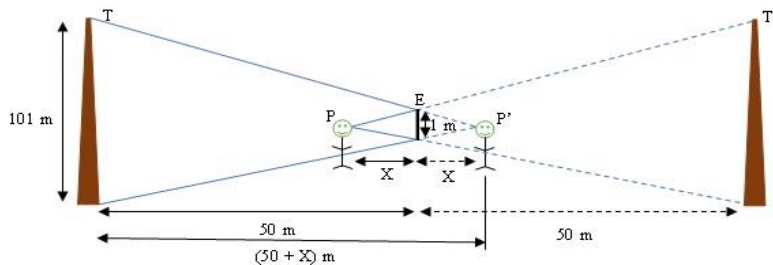
Sabendo que a imagem V'1 situa-se na mesma distância do espelho E1 que o objeto V, afastando o espelho para a direita na posição E2 obtém-se a imagem V'2 em uma nova posição. Logo a distância $\Delta X_{V'}$ entre as posições V'2 e V'1 da imagem é 4 metros como ilustrado na Figura R.3.1. Temos:

$$\Delta X_{V'} = 2 X_E = 2 (2 \text{ m}) = 4 \text{ m}$$

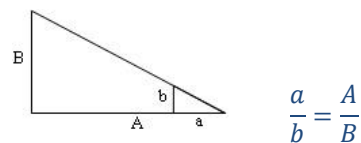
c) Pedro deseja observar uma torre inteira, de 101m de altura, por meio de um espelho vertical, plano de tamanho 1m, situado a 50 m dela. Qual deve ser a distância mínima do espelho à qual Pedro deverá ficar?

Sabendo que a torre possui 101 m de altura e está a 50 m de distância do espelho. Podemos calcular o valor de X por meio de semelhança de triângulo. A Figura R.3.2 ilustra essa situação: O observador (P) vê por um espelho plano a uma distância X dele, uma torre que está a 50 m atrás do observador. De forma que, como ele consegue ver a torre inteira, isto significa que o mesmo vê a imagem a 50 m atrás do espelho. E sua imagem está a X do espelho.

Figura R.3.2 - Figura ilustrativa, em que T é a altura da torre, T' é a altura da imagem da torre, E ilustra o espelho, P o observador e P' a im



Por semelhança de triângulo:



No caso: $EP \cdot X = TP' (50 + X)$

$\frac{X}{1} = \frac{50+X'}{101} \Rightarrow 101 X' = 1 (50 + X) \Rightarrow (100 - 1)X = 50 \Rightarrow X = 0,5 m = 50 cm$. Logo, a resposta é o item d).

d) Se você estiver se aproximando perpendicularmente de uma parede espelhada a uma velocidade de 2,5m/s, a sua imagem. **Resposta:** Devido ao movimento, imagem P' e objeto P, estão se aproximando à mesma velocidade 2,5m/s da parede espelhada Observando a Figura R.3.3, temos:

Figura R.3.3 - Desenho ilustrativo do observador P aproximando-se do espelho E.

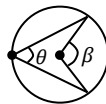
$$V_m = V_P + V_{P'} = 2,5 + 2,5 = 5m/s.$$



Portanto a resposta é o item: e) aproxima-se de você com velocidade

e) Um espelho plano sofre uma rotação de 20° em relação a um eixo que está contido em seu próprio plano. Qual é o ângulo de rotação dos raios refletidos nesse ângulo de giro do espelho?

A rotação de um espelho plano tem como exemplo quando se abre a porta do armário de banheiro. E, é obtido pelo teorema do ângulo inscrito, de que a medida de um ângulo inscrito (θ) é a metade do ângulo central (β): $\theta = \frac{\beta}{2}$, ou que: $\beta = 2\theta$.



No caso da questão, o ângulo de rotação o ângulo inscrito é $\alpha = 20^\circ$ e o ângulo central:

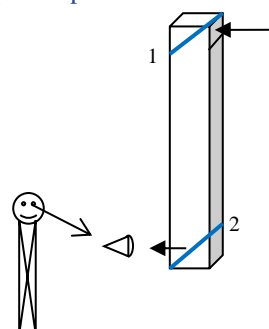
$$\Delta\alpha = 2\alpha = 2 (20^\circ) = 40^\circ$$

• Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro

a) Depois de conhecer as características do espelho, construa algum aparato que possa descrever as leis de reflexão. (sugestão: Construção de um periscópio).

O periscópio é um instrumento muito utilizado em submarinos, para observar de dentro o que ocorre fora, sem necessitar abrir a escotilha. Esse é constituído de dois espelhos planos, posicionados na diagonal em um tubo (indicados na cor azul na Figura R.3.4). Este pode ser confeccionado com uma caixa de papelão, por exemplo, de pasta dental. Fazendo duas pequenas aberturas em posições opostas, as posições dos espelhos. A superior capta a imagem, e reflete do espelho 1 para o espelho 2 e este para o olho do observador. (PERUZZO, 2013, p.243).

Figura R 3.4- Desenho ilustrativo de um periscópio.

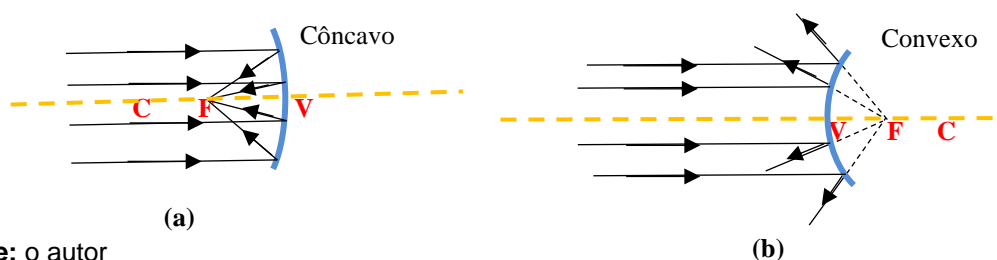


2.2.6 – Aula 06 – Espelhos Esféricos

A superfície refletora utilizada será uma concha de aço inox, que será utilizada como um espelho esférico, formadas por superfícies refletoras curva semelhante a uma casca. Podem ser côncavos ou convexos e seus principais elementos são: vértice (V), foco (F) e centro da curvatura (C) como exemplificado na Figura 2.4.

Incidindo um feixe de luz paralelo ao eixo principal em um espelho côncavo, percebe-se que os raios de luz convergem num único ponto denominado foco principal real. Incidindo os mesmos raios de luz num espelho convexo, nota-se que seus raios divergem, porém, seus prolongamentos possuem um único ponto em comum chamado de foco principal virtual como mostra a Figura 2.6.

Figura 2.6 - Desenho esquemático simulando os raios paralelos de luz incidindo sobre superfícies esféricas.



Fonte: o autor

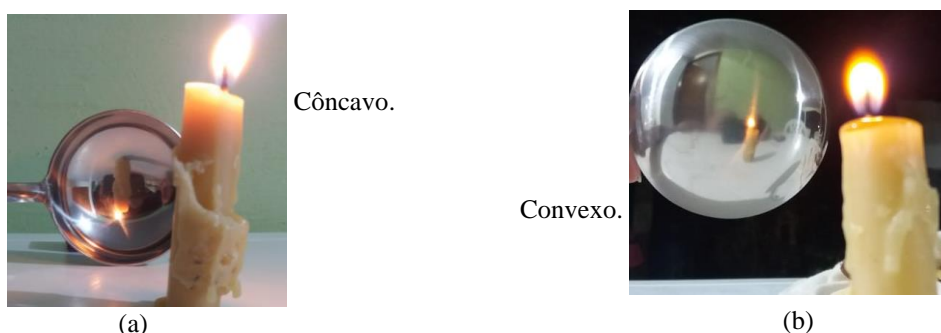
Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental envolvendo o experimento com espelhos esféricos, e o roteiro de aplicação. O objetivo é analisar a formação e as características de imagens em espelhos côncavos e convexo.

Os materiais utilizados para essa montagem experimental é uma concha de superfície polida tanto a interna como a externa, representando os espelhos, convexo e côncavo, respectivamente e uma vela acesa é o objeto.

2.2.6.1 Roteiro de Aplicação N° 06 – Superfícies Refletoras Esféricas

Primeiramente posicionar a concha na lateral e posicionar a vela a uma distância em que a imagem fique nítida (ir movimentando a vela) – Ilustrado na Figura 1.15, e se possa observar como ela é refletida (Figuras 2.7). No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 06, os materiais utilizados em detalhes e a montagem experimental, contendo também o procedimento experimental.

Figura 2.7 – Imagens fotográficas (a) Imagem formada em um espelho côncavo (lado interno da concha) e em (b) no espelho convexo (lado externo da concha).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo com o procedimento das etapas e questões⁴², na Etapa 1 foram propostas duas questões para saber sobre o conhecimento prévio dos alunos ao ver o aparato experimental, na Etapa 2 quatro questões envolvendo o observado no experimento, na Etapa 3 cinco questões, sendo as duas últimas fechando esta etapa com o desenho geométrico do comportamento da luz e formação da imagem.

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião para Luz e espelho esférico:

Representar os raios de luz em cada caso, e o que veremos desta associação:

- a) Diante do espelho côncavo?
- b) Diante do espelho convexo?

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

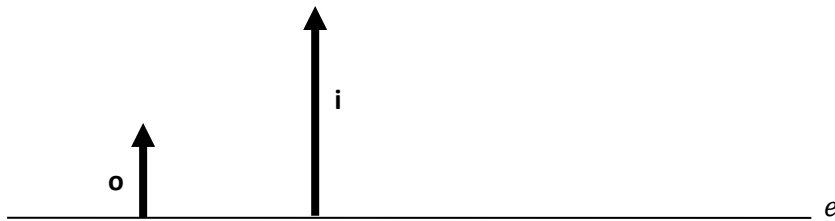
- a) O que seu grupo notou em cada caso?
- b) Represente graficamente o fenômeno observado:
- c) Mudou sua percepção após a observação?
- d) O que podemos aferir sobre os raios de luz quanto a sua reflexão?

⁴² Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Pesquise sobre o uso dos espelhos esféricos por Arquimedes, em especial durante um ataque sofrido na cidade de Siracusa pela esquadra romana:
- 2) Ainda sobre o fato histórico citado na questão anterior, o que aconteceria se o espelho usado fosse convexo?
- 3) Pesquisando no livro didático adotado pelo colégio, demonstre geometricamente o raio de incidência e o refletido representando as quatro propriedades de um espelho esférico.
- 4) A Figura A representa um objeto o e a sua respectiva imagem i conjugados por um espelho esférico de eixo principal e , utilizar para responder as questões a) e b):

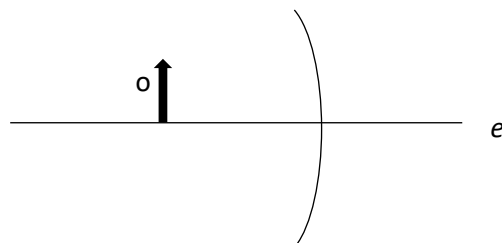
Figura A - Desenho esquemático ilustrando um objeto (o) e sua imagem (i) sobre o eixo principal (e).



- a) Determine a natureza do espelho.
- b) Obtenha graficamente, os seguintes elementos geométricos do espelho: foco, vértice e centro de curvatura.

5) Na Figura B, tem-se um objeto o no eixo principal e de um espelho côncavo. Determine graficamente sua imagem.

Figura B - Desenho esquemático ilustrando um objeto e um espelho côncavo.



Sugestão: Após debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da reflexão das imagens nos espelhos esféricos.

2.2.6.2 – Gabarito nº 07 – Questionários Aula 07

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião para Luz e espelho esférico em relação a representar os raios de luz em cada caso, e o que veremos desta associação:

a) Diante do espelho côncavo? b) Diante do espelho convexo? As respostas esperadas são as apresentadas na Figura 2.6, para o raio de luz incidindo na horizontal e paralelas entre si.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

a) O que seu grupo notou em cada caso? Resposta da observação.

b) Represente graficamente o fenômeno observado. Gráficos análogos aos da Figura 2.6.

c) Mudou sua percepção após a observação? Comparação das respostas dadas na Etapa 1 e Etapa 2.

d) O que podemos inferir sobre os raios de luz quanto a sua reflexão?

Espera-se que o estudante compreenda que a luz retorna, propagando-se no mesmo meio de origem. Convergingo, divergindo ou paralelos entre si de acordo com a superfície refletora.

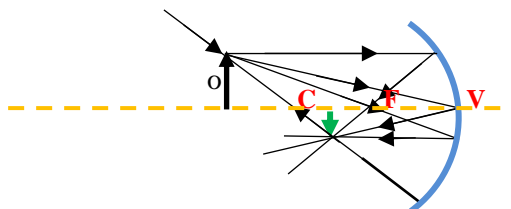
- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

1) Pesquise sobre o uso dos espelhos esféricos por Arquimedes, em especial durante um ataque sofrido na cidade de Siracusa pela esquadra romana. Por meio de pesquisas em periódicos e textos históricos, espera-se que o estudante mencione que Arquimedes usou espelhos esféricos para refletir raios de luz com a finalidade de queimar os navios inimigos.

2) Ainda sobre o fato histórico citado na questão anterior, o que aconteceria se o espelho usado fosse convexo? Espera-se que o estudante responda que espelhos convexos espalhariam os raios de luz refletidos.

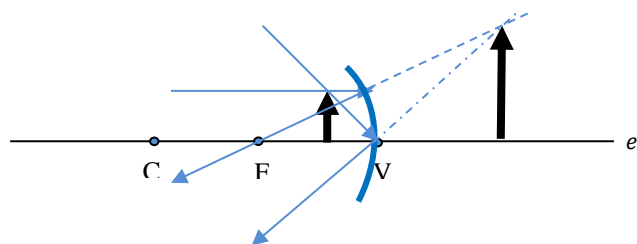
3) Pesquisando no livro didático adotado pelo colégio, demonstre geometricamente o raio de incidência e o refletido representando as quatro propriedades de um espelho esférico. As quatro propriedades da reflexão de um espelhos esféricos são: raio de luz paralelo ao eixo principal reflete na direção do foco; raio de luz incidente na direção do foco, reflete paralelamente ao eixo principal; raio de luz incidindo na direção do centro óptico reflete sobre si mesmo e raio incidente na direção do vértice reflete simetricamente., e estão geometricamente representadas na Figura R.4.1.

Figura R.4.1- Desenho esquemático representando raio de luz incidente e refletido em um espelho esférico côncavo.



4) A Figura A representa um objeto o e a sua respectiva imagem i conjugados por um espelho esférico de eixo principal e , utilizar para responder as questões a) e b):

Figura A - Desenho esquemático ilustrando um objeto (o) e sua imagem (i) sobre o eixo principal (e).

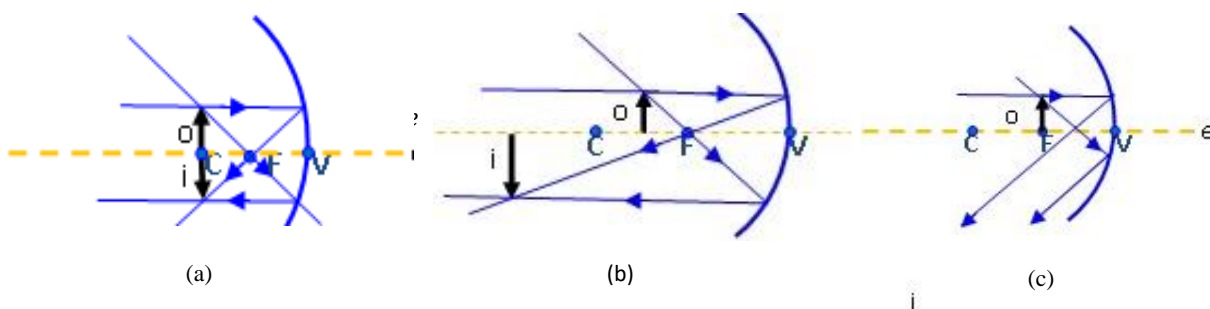


a) Determine a natureza do espelho. Espelho Côncavo, pois o espelho em que a imagem é maior que o objeto, direita, é o côncavo, em que o objeto está posicionado entre o vértice (V) e o foco (F), conforme foi ilustrado na Figura A, em cor azul.

b) Obtenha graficamente, os seguintes elementos geométricos do espelho: foco, vértice e centro de curvatura. Como as características da posição do objeto e imagem representados na Figura A, e sabendo que V é o vértice do espelho, que F o foco e que o objeto está posicionado entre o vértice e o foco, traçando o raio de luz e sua prolongação entre a altura do objeto e da imagem que passa pelo foco, a sua posição é localizada. E sabendo que o raio de curvatura é duas vezes a distância focal (f), localiza-se o ponto do centro de curvatura. O raio que incide do objeto incidindo no vértice reflete com um ângulo igual ao de incidência, e prolongando o mesmo em direção ao objeto, têm-se os raios e suas prolongações (em pontilhado) traçadas na Figura A.

c) Na Figura B, tem-se um objeto *o* no eixo principal *e* de um espelho côncavo. Determine graficamente sua imagem. Lembrando que a imagem vai depender da posição do objeto em relação a C, F, e V, além de seu tamanho e se direita ou invertida. Para a imagem direita a única opção é a apresentada na Figura A. No caso de imagens invertidas, além da geometria apresentada na Figura R.4.1 (o objeto antes de C, e a imagem é menor e posicionada entre F e V), há outras 2 possibilidades, apresentadas na Figura R.4.2: (a) sobre o centro de curvatura a imagem terá o mesmo tamanho que o objeto; (b) o objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco, a imagem será maior que o objeto e posicionada antes de C; e uma última opção (c) é o objeto posicionado sobre F e a imagem se formará no infinito;

Figura R.4.2 - Desenho esquemático representando uma imagem formada por um objeto posicionado: (a) sobre C; (b) entre o centro óptico (C) e foco (F); (c) sobre o foco (F), em um espelho esférico côncavo.



2.2.7 – Aula 07 – Lentes Esféricas

As lentes esféricas caracterizam-se por apresentarem bordas espessas ou finas. São úteis comercialmente em óculos para a correção de anomalias visuais, máquinas fotográficas, telescópio, filmadoras, binóculos. São convergentes quando direcionam a luz para um único

ponto, como o caso de óculos e lupas usados para corrigir problemas visuais como a hipermetropia. Divergentes, quando necessita expandir um feixe de luz ou expandindo o campo visual, cobrir um grande ambiente, como o caso dos olhos mágicos instalados em portas de lojas ou supermercados ou lentes de óculos para correção de miopia.

No Quadro A.26 estão apresentadas desenhos ilustrativos do formato de lentes esféricas côncavas e convexas.

Assim como nos espelhos esféricos, podemos classificar as lentes como convexas (bordas delgadas) ou côncavas (bordas espessas).

Incidindo em uma lente um feixe de luz paralelo ao seu eixo principal, de acordo com sua refração e o tipo da lente, podemos observar raios convergentes ou divergentes. A teoria sobre lentes está apresentada na seção A.4.

Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental sobre lentes esféricas e o roteiro de aplicação. O objetivo deste aparato experimental é compreender a formação de imagens em lentes esféricas, como funciona uma lente de aumento, e a função das lentes de correção visual.

2.2.7.1 Roteiro de Aplicação Nº 06 - Lente de Aumento

Esta lente foi confeccionada pelo autor com partes da garrafa pet transparente cristal, cola epóxi e água no seu interior (Figura 2.8). No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 07, os materiais utilizados em detalhes e a montagem experimental, contendo também o procedimento experimental.

Figura 2.8 – Foto da lente esférica biconvexa confeccionada pelo autor com garrafa *pet*.



Fonte: arquivos do autor, adaptado da referência manual do mundo, <
<https://www.youtube.com/watch?v=iGgO82eBsAI>>.

Esta aula abrange 3 etapas para abordagem da montagem experimental no auxílio da compreensão do conteúdo de óptica geométrica. A Etapa 1 foi direcionada ao que ocorre por

meio do manuseio da lente e auxílio da luz laser, trabalhando com 3 questões, sobre lentes de aumento, e o funcionamento de lente esférica convergente e divergente e o que ocorre com a incidência de luz sobre a lente. A Etapa 2 constituiu de 4 questões sendo a última com definições diretas, com o auxílio de pesquisa, e a última etapa a sugestão de reproduzirem uma lente com o uso de uma lâmpada transparente com água.

Seguem as questões⁴³ trabalhadas nas 3 etapas:

- **Etapa 1 – Apresentando a lente pronta e questionar o grupo**
 - a) Por que objetos vistos através de uma lente têm sua forma e tamanho aumentado?
 - b) Discuta com seu grupo e elabore uma explicação para justificar o fenômeno observado através de uma lente:
 - b₁) Convergente
 - b₂) Divergente
 - c) Represente graficamente o comportamento do raio de luz ao incidir em uma lente: convergente e divergente.

- **Etapa 2 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**
 - 1) Pesquise no livro didático quais são os tipos de lentes esféricas.
 - 2) Diferencie lentes convergentes de divergentes?
 - 3) Defina os conceitos:
 - a) foco imagem real
 - b) foco imagem virtual
 - c) foco objeto real
 - d) foco objeto virtual
 - 4) Uma lente convergente possui distância focal f . Um objeto o linear e transversal ao plano do mesmo colocado diante da lente sobre seu eixo principal, numa posição entre f e $2f$.
 - a) construa graficamente a imagem i formada.
 - b) quais as características dessa imagem?

⁴³ Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 3 – Conclusão da aplicação do roteiro**

Depois de conhecer as características das lentes esféricas, construa algum aparato que possa descrever este fenômeno. Por exemplo, a construção de uma lente a partir de uma lâmpada transparente e água.

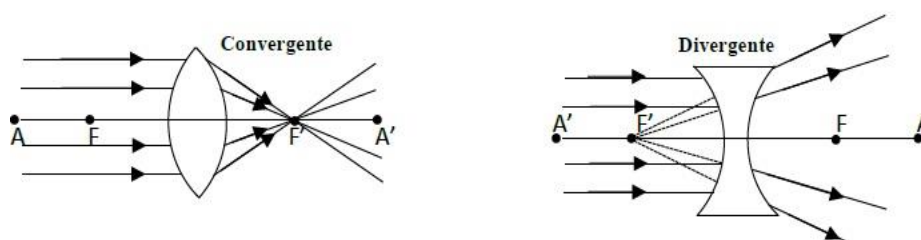
Sugestão: após debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da formação de imagens em lentes esféricas.

2.2.7.2 - Gabarito nº 07 – Questionários Aula 07

- **Etapa 1 – Apresentando a lente pronta e questionar o grupo**

- 1) Por que objetos vistos através de uma lente têm sua forma e tamanho aumentado? Resposta esperada: pela lente ser biconvexa.
- 2) Discuta com seu grupo e elabore uma explicação para justificar o fenômeno observado através de uma lente:
 - a) Convergente
 - b) DivergenteResposta pessoal, mas espera-se que os estudantes compreendam o que é uma lente convergente e divergente.
- 3) Represente graficamente o comportamento do raio de luz ao incidir em uma lente: convergente e divergente. As figuras esquemáticas podem ser as apresentadas como na Figura A.27 (plano-convexa) e plano-convexa, ou de acordo com a Figura R.7.1.

Figura R.7.1- Representação de raios de luz em uma lente (a) biconvexa e (b)



- **Etapa 2 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Pesquise no livro didático quais são os tipos de lentes esféricas. As lentes são classificadas em lentes de bordas finas: biconvexa, plano-convexa, côncavo-convexa e as lentes de bordas espessas: bicôncava, plano-côncava, convexo-côncava. As apresentadas no Quadro 02.
- 2) Diferencie lentes convergentes de divergentes? Convergentes: os raios de luz incidente paralelos ao eixo principal sofrem refração, concentrando-se num único ponto: o foco (Figura A.27 (a)) e Divergentes quando os raios de luz incidente paralelos ao eixo principal sofrem refração e se espalham (Figura A.27 (b)).
- 3) Defina os conceitos: a) foco imagem real – É o ponto de convergência dos raios emergentes, considerando uma lente convergente; b) foco imagem virtual – É ponto de prolongamento dos raios emergentes, considerando uma

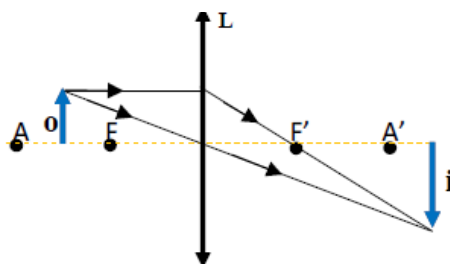
lente divergente; c) foco objeto real – É o ponto onde deve ser colocado o vértice de um feixe cônico de luz para que os raios emergentes sejam paralelos ao eixo principal considerando numa lente convergente; d) foco objeto virtual – É o ponto resultante dos feixes de luz convergem numa lente divergente;

4) Uma lente convergente possui distância focal f . Um objeto o linear e transversal ao plano do mesmo colocado diante da lente sobre seu eixo principal, numa posição entre f e $2f$.

a) construa graficamente a imagem i formada. b) quais as características dessa imagem?

a) Representação geométrica de um objeto O posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F , a imagem i será: real, invertida e maior que o objeto, Figura R.7.2.

Figura R.7.2- Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado entre as distâncias f e $2f$ de uma lente convergente.



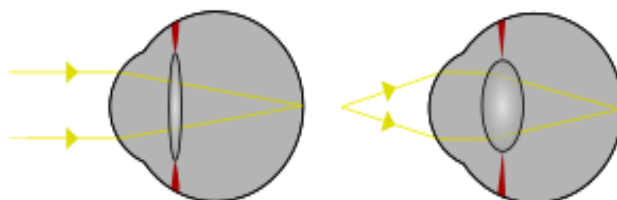
• **Etapa 3 – Conclusão da aplicação do roteiro**

Depois de conhecer as características das lentes esféricas, construa algum aparato que possa descrever este fenômeno. Por exemplo, a construção de uma lente a partir de uma lâmpada transparente e água.

2.2.8 – Aula 08 - Olho Humano e as Anomalias da Visão

A estrutura do globo ocular possui um formato praticamente esférico. A imagem é formada no fundo dos olhos (sobre a retina), e a forma como os olhos focam a luz está ilustrada na Figura 2.9 (a) quando a luz chega paralela e, (b) de um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.

Figura 2.9 – Figura ilustrativa de como os olhos focam a luz: (a) paralelos e de (b) um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.



Fonte: Wikipedia_olho: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Olho>> .

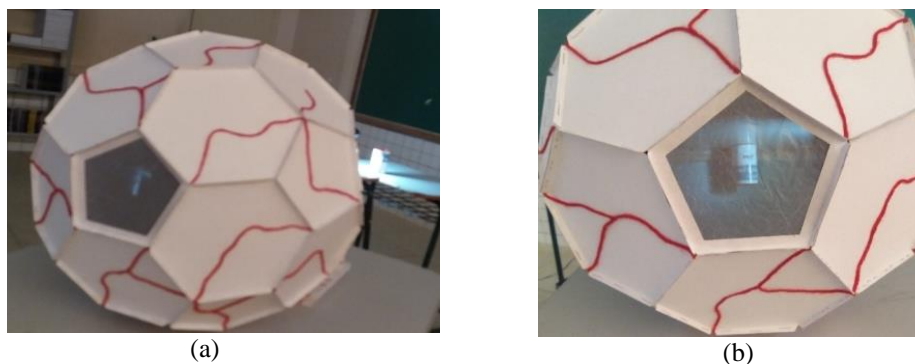
A imagem é normalmente: **real, invertida e menor que o objeto** e é formada sobre a retina após passar pelo cristalino que funciona como uma lente biconvexa.

Nesta aula, apresenta-se o aparato pronto sobre o olho humano, bem como o roteiro de aplicação. O objetivo do uso deste aparato tem como objetivo principal como a imagem se forma no olho humano e em caso de anomalias o tipo de lente utilizado. No caso somente será explorado as que utilizam lentes esféricas.

2.2.8.1 - Roteiro de Aplicação Nº 08 - Protótipo do Olho Humano

Este protótipo, ilustrado na Figura 2.10, foi confeccionado com papel cartão branco e verde, lente biconvexa, papel vegetal, cola e linha vermelha para os detalhes. No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 08, os materiais utilizados em detalhes e a montagem experimental, contendo também o procedimento experimental.

Figura 2.10 - Imagem fotográfica do protótipo do olho humano confeccionado pelo autor.



Fonte: arquivo do autor.

Para aplicação do protótipo do olho, as questões utilizadas em cada etapa são as apresentadas na sequência. Sendo que na Etapa 1, utilizaram-se de dois passos, uma apresentando o protótipo e a outra para os alunos descrever a formação da imagem no mesmo. Na Etapa 2, foram propostas 3 questões abordando a função de três partes do olho: o cristalino, a pupila e a retina. Na Etapa 3, foram propostas 4 questões abrangendo a formação de imagens, acomodação visual e os tipos de anomalias. E, na Etapa 4, 3 itens são abordados, uma referente as causas das anomalias e o tipo de lente corretiva, reprodução do efeito no olho humano quanto a formação de imagem, no caso sugere-se a câmara escura, e para fechar, que os alunos façam uma entrevista baseando-se em 5 questões, com alguém da área da saúde no município.

Seguem as questões e sugestões para este último experimento:

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato pronto**
 - a) Apresentação do protótipo do olho humano (Fig. 2.10);
 - b) Observação da formação de imagem no anteparo do olho.

- **Etapa 2 – Depois de observar o protótipo do olho**
 - a) Discuta com seu grupo sobre a função do cristalino;
 - b) Discuta com seu grupo sobre a função da pupila;
 - c) Discuta com seu grupo sobre a função da retina.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**
 - a) Descreva geometricamente os raios de luz na formação da imagem na retina;
 - b) Como é a formação de imagens na retina?
 - c) Discuta com seu grupo a definição de “acomodação visual”, “ponto próximo” e “ponto remoto”.
 - d) Faça uma pesquisa bibliográfica buscando informações sobre as causas das anomalias da visão. (Miopia, Hipermetropia, Presbiopia, Astigmatismo, Estrabismo, Catarata e Daltonismo)

- **Etapa 4 – Após as explicações dos problemas visuais e correções**
 - 1) Discuta em seu grupo e preencha a Tabela A.

Tabela A - Dados sobre algumas anomalias da visão, problemas visuais e lentes corretivas.

Doença	Problema visuais	Lentes corretiva
Miopia		
Hipermetropia		
Presbiopia		
Astigmatismo		

- 2) A partir dos conhecimentos adquiridos reproduza por meio de outro experimento o fenômeno observado. (Sugestão: Produção de uma câmara escura com caixa de papelão).
- 3) Faça uma entrevista com alguém da área da saúde sobre o tema: **SAÚDE DA VISÃO**.
 Questões para a entrevista:
 - a) Existem muitos casos de doentes visuais em nossa região?
 - b) Quais as principais causas?
 - c) Quais as principais recomendações para prevenir-se contra os problemas visuais?
 - d) Qual a importância de um acompanhamento médico desde o início do tratamento?

- e) Quais os procedimentos ao diagnosticar um paciente com algum problema visual?
 f) O município possui estrutura para tratar os pacientes?

Sugestões: insira mais questões de acordo com o que se deseja explorar.

2.2.8.2 – Gabarito nº07 – Questionário da Aula 08

• **Etapa 1 – Apresentando o aparato pronto**

- a) Apresentação do protótipo do olho humano (Fig. 2.10);
 b) Observação da formação de imagem no anteparo do olho.

• **Etapa 2 – Depois de observar o protótipo do olho**

- a) Discuta com seu grupo sobre a função do cristalino; Funciona como uma lente biconvexa;
 b) Discuta com seu grupo sobre a função da pupila; Funciona como um diafragma para controlar a intensidade da luz que chega aos olhos.
 c) Discuta com seu grupo sobre a função da retina. Funciona como um anteparo onde a imagem se forma.

• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- b) Descreva geometricamente os raios de luz na formação da imagem na retina; Como representados na Figura 2.10.

b) Como é a formação de imagens na retina? Real, invertida e menor que o objeto.

c) Discuta com seu grupo a definição de “acomodação visual”, “ponto próximo” e “ponto remoto”. Acomodação visual como o próprio sugere, é a forma como que os músculos dos olhos trabalham para que se tenha uma imagem nítida sobre a retina, sendo assim definida para a variação da distância focal da lente para se obter imagens nítidas na retina; Ponto próximo: mínima distância de visão distinta que uma pessoa pode ter; Ponto remoto: máxima distância de visão distinta que uma pessoa pode ter.

d) Faça uma pesquisa bibliográfica buscando informações sobre as causas das anomalias da visão. (Miopia, Hipermetropia, Presbiopia, Astigmatismo, Estrabismo, Catarata e Daltonismo). **Miopia:** apresenta como defeito no olho o achatamento do globo ocular, perpendicularmente ao seu eixo óptico, o globo ocular é alongado; **Hipermetropia:** apresenta como defeito o achatamento do globo ocular, longitudinal ao seu próprio eixo, o olho é encurtado; **Presbiopia:** apresenta como defeito o endurecimento da lente do olho e por conseguinte, tem a perda da capacidade da acomodação visual; **Astigmatismo:** apresenta um defeito na córnea, com raios de curvatura irregulares, o que ocasiona uma visão manchada dos objetos; **Estrabismo:** apresenta como defeito a incapacidade de dirigir para um mesmo ponto os eixos ópticos dos olhos; **Catarata:** defeito causado pela perda de transparência da lente do olho, que se torna opaco. **Daltonismo:** defeito de causas genéticas que impede a percepção de algumas ou todas as cores.

• **Etapa 4 – Após as explicações dos problemas visuais e correções**

- 1) Discuta em seu grupo e preencha a Tabela A:

Tabela A - Dados sobre algumas anomalias da visão, problemas visuais e lentes corretivas.

Doença	Problema visuais	Lentes corretiva
Miopia	olho alongado – foco após a (atrás da) retina	Lentes esféricas divergentes - bicôncava
Hipermetropia	olho encurtado – foco antes (na frente) da retina	Lentes esféricas convergentes - biconvexa
Presbiopia	Cristalino endurecido – imagem se forma após a (atrás da) retina.	Lentes convergentes como na hipermetropia
Astigmatismo	Córnea ou lente não simetricamente curva – imagem desfocada – não nítida (borrada)	Lentes cilíndricas convergentes

- 2) A partir dos conhecimentos adquiridos reproduza por meio de outro experimento o fenômeno observado. (Sugestão: Produção de uma câmara escura com caixa de papelão). A produção de uma câmara escura, pode ser feita com lata vazia com tampa de leite em pó, achocolatado, como uma máquina fotográfica, disponível no site:

<<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/fotografia-3/fotografando-com-uma-lata/>> de autoria de A. C. Costa. Ou feita com uma caixa de sapato com tampa, disponível no site: < <http://ramec.mec.gov.br/tv-escola/455-sala-de-professor-o-astronomo-vermeer/file>> ministério da educação RAMEC.

3) Faça uma entrevista com alguém da área da saúde sobre o tema: **SAÚDE DA VISÃO**. Questões para a entrevista:

- a) Existem muitos casos de doentes visuais em nossa região? A resposta depende do local da entrevista.
- b) Quais as principais causas? A resposta depende do local da entrevista.
- c) Quais as principais recomendações para prevenir-se contra os problemas visuais? Podemos citar alguns como: muito tempo observando ou lendo em telas de computador e celular, sem iscar; uso de óculos de sol não apropriados com lente de má qualidade; coçar os olhos, aumenta a pressão, pois torna a córnea e fibra ocular mais elástica.
- d) Qual a importância de um acompanhamento médico desde o início do tratamento? Normalmente recomenda-se que faça o retorno no mínimo 1 vez ao ano.
- e) Quais os procedimentos ao diagnosticar um paciente com algum problema visual? Levar ao oftalmologista
- f) O município possui estrutura para tratar os pacientes? A resposta depende do local da entrevista

2.2.9 – Aula 09 – Questionário Avaliativo – PÓS-TESTE

Esta aula foi trabalhada com 2 questionários, ou seja, o conteúdo foi dividido em 2 etapas. Parte 1 (aplicada após o experimento de refração), em que as questões envolvem conceitos, sendo estas 5 questões e 2 são objetivas, num total de 7 questões. A segunda parte (aplicada após o experimento do protótipo do olho) contém 4 questões todas objetivas. As questões são as mesmas do Pré-teste, mas não foi mantida exatamente a mesma ordem devida a essa separação. O gabarito é o mesmo do Gabarito nº01 de acordo com a questão.

•Pós-teste (parte 1)

Aluno(a): _____ nº _____

- 1) O que é luz em termos da Óptica Geométrica?
- 2) O que é refração?
- 3) O que é reflexão?
- 4) Como é formado o Arco-íris?
- 5) Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?
- 6) O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz:
 - a) () é independente quando se propaga.
 - b) () é reversível quando se propaga.

- c) se propaga em linha reta.
- d) se propaga em linha curva.
- e) contorna os objetos ao se propagar.

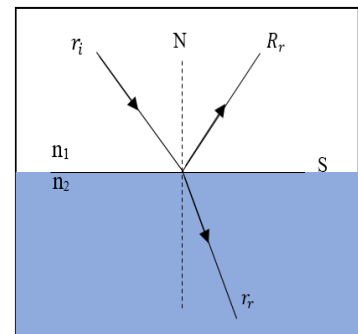
7) Ao observar um objeto que não é fonte de luz e que se apresenta com a cor azul. O objeto parece azul porque:

- a) refrata a luz azul.
- b) difrata a luz azul.
- c) emite luz azul.
- d) reflete luz azul.
- e) nenhuma das alternativas anteriores.

8) Observando a Figura A é possível distinguir o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

- a) somente se $n_1 > n_2$.
- b) somente se $n_2 > n_1$.
- c) somente se $n_2 = n_1$.
- d) esta representação não existe.
- e) não depende de n_1 e n_2 .

Figura A: Representação de um raio de luz incidente r_i , refletido R_r e refratado r_r uma superfície S de separação e uma reta normal N .



• Pós-teste (parte 2)

Aluno(a): _____ n° _____

1) Qual problema da visão pode ser corrigido com lente divergente:

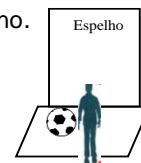
- a) hipermetropia
- b) miopia
- c) glaucoma
- d) catarata
- e) nenhuma das alternativas anteriores

2) A Figura B ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador olhando para o espelho. A imagem da bola está localizada:

- a) em frente do espelho.

- b) () na superfície do espelho.
- c) () atrás do espelho.
- d) () não é possível saber.
- e) () as informações não são suficientes para determinar.

Figura B: uma bola e um observador diante de um espelho plano.



3) A Figura C representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

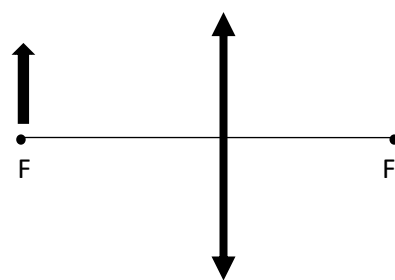


Figura C: lente convergente.

- a) () imagem real, invertida e menor.
- b) () imagem real, invertida e igual.
- c) () imagem real, invertida e maior.
- d) () imagem imprópria se forma muito longe.
- e) () imagem virtual, direita e maior.

4) A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados $n_1 < n_2$.

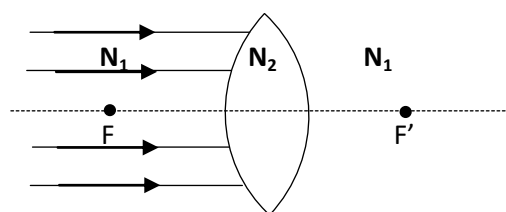


Figura D: raio de luz paralelos incidente numa lente biconvexa

- a) () raios divergentes.
- b) () raios convergentes.
- c) () raios paralelos.
- d) () raios bloqueados.
- e) () raios retornando.

Encerrando assim, a aplicação do PE. As questões apresentadas são sugestões, bem como a ordem apresentada do conteúdo. Cada aula pode ser ministrada individualmente sem ser sequencial. Os roteiros experimentais apresentados no Capítulo 1, também podem ser aplicados independentemente. Ao analisar as questões, sugere-se observar se as respostas são decoradas (aprendizagem do tipo mecânica) ou se realmente entenderam o fenômeno físico envolvido (aprendizagem significativa). Sugere-se que no caso de detectar que foi mecânica propor uma atividade investigativa para que o aluno se envolva na elaboração do aparato experimental e compreenda, tornando o aprendizado significativo.

Considerações Finais

O presente trabalho fundamenta-se em uma proposta didática que tem como princípio a promoção da aprendizagem significativa de forma prática e simples. Espera-se que o estudante seja estimulado pela e para a ciência, e com isso, desmistifique o paradigma de que o aprender/fazer Física é atividade competente apenas para cientistas ou pessoas consideradas intelectualmente superiores.

Os experimentos descritos nesse trabalho derrubam a tese de que o fazer Física no espaço escolar está atrelado à existência de laboratórios super equipados, ainda que esse seja o ideal de todo o professor de escola pública, é necessário contornar a falta deles, pois o educando não pode passar pela escola sem receber e dar suas contribuições. Fica, portanto, comprovado que é possível ensinar Física com alternativas às aulas expositivas tão presentes no ensino de Física.

A importância do estudo participativo cabe ao professor oferecer além deste material, outros caminhos para que o estudante consiga desenvolver todo o seu potencial.

Por fim, espera-se que o presente trabalho contribua para uma aprendizagem significativa e que o acesso seja pleno.

Referências Bibliográficas

- AUSUBEL, D. P. A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.
- BONJORNO, Clinton, Eduardo Prado, Casemiro. Componente curricular: Física. Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano. -- 2. ed. -- São Paulo: FTD, 2013.
- EXPERIMENTOS DE FÍSICAS. <http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/2-reflexao-da-luz.html>. Acesso em 01 de janeiro de 2017.
- MOREIRA, M.A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. Aprendizagem significativa em revista/Meaningful Learnig Review – v1(3), pp. 25 – 46, 2011.
- MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Al final, qué es aprendizaje significativo? Revista Qurriculum. Espanha: Universidade de La Laguna, v. 25, p. 29-56, março. 2012. Disponível no site: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>
- NUSSENZVEIG, H. M.. Curso de Física Básica – Vol.4 / H. Moysés Nussenzveig – 1ª edição – São Paulo: Editora Blucher, 1998.
- PCN+ - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais FÍSICA. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf. Acesso em 20 de julho de 2018.
- PERUZZO, J. A Física Através de Experimentos: Termodinâmica, Ondulatória e Óptica. V.II / Jucimar Peruzzo. Irani (SC): 2013.
- ROBERTO, E. V.. *Aprendizagem ativa em óptica geométrica: experimentos e demonstrações investigativas*. 141 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Física – Área de concentração: Física Aplicada) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.
- SANTOS, M. A.. *Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos*. 133 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016.
- YAMAMOTO, K.. Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória / Kazuhito Yamamoto, Luiz Felipe Fuke. -- 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.

Apêndice A – Texto de Apoio – Óptica Geométrica

A Óptica é um ramo da Física dedicado ao estudo das leis que regem o estudo da luz e os fenômenos luminosos. A palavra óptica vem do grego *optiké* e significa “relativo à visão”. Ela é dividida em Óptica Física e Óptica Geométrica. Esta sessão foi desenvolvida baseando-se nos seguintes livros textos: HALLIDAY (2009), NUSSENZVEIG (1998), e em nível de graduação e YAMAMOTO e FUKE (2006) e BONJORNO (2001 e 2013) em nível de ensino médio. A seguir, serão destacados os conceitos relativos à Óptica Geométrica tema do presente trabalho.

A.1 O Que é a Luz?

Diversos cientistas ao longo de toda a história buscaram explicar as características e fenômenos que nos intriga até os dias atuais. Para NEWTON (Isaac Newton – físico e matemático britânico - 1642-1729) a luz era constituída por um fluxo de inúmeros corpúsculos em ritmo contínuo produzido pelas fontes luminosas que se movem continuamente em velocidade altíssima. Defendia também a teoria corpuscular da luz. Teoria essa enunciada em 1675. Por outro lado, HUYGENS (Christiaan Huygens, físico e matemático holandês, 1629-1695), defendia a teoria ondulatória, em que a luz era uma perturbação de um meio hipotético, chamado de éter, na qual transportaria a luz para todos os lados. Estudo esse iniciado em meados de 1653 com outro foco, e sobre a natureza da luz por volta de 1676 (MOURA, 2016).

Estas diferentes concepções levantaram muitos questionamentos e dúvidas, a natureza ondulatória foi fortalecida com a observação de interferência por YOUNG (Thomas Young, físico e médico britânico, 1773-1829) em 1800, com o experimento da fenda dupla.

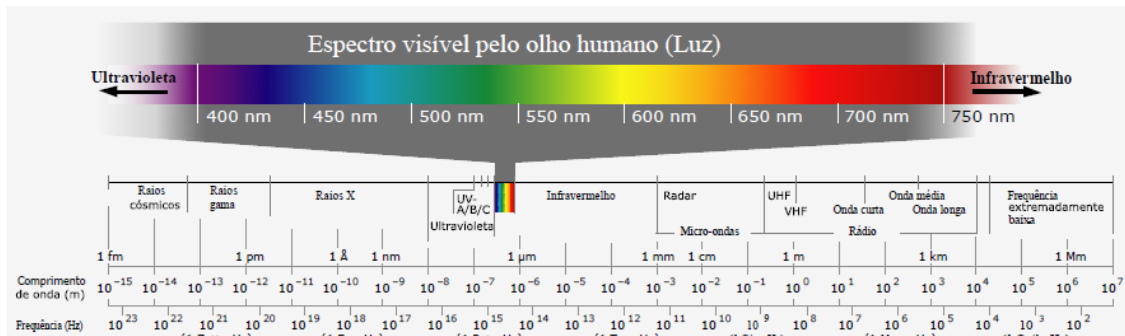
Enquanto que, MAXWELL (James Clerk Mawell, físico e matemático britânico, 1831-1879) mostrou em 1864 que um raio luminoso é a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, nesta visão a luz é uma onda eletromagnética.

Por outro lado, em 1905, EINSTEIN (Albert Einstein, físico teórico alemão, 1879-1955), explicando o efeito fotoelétrico, propõe que a luz seja uma partícula. Desta forma, a luz configura-se com propagação ondulatória que, ao interagir com a matéria, a troca de energia é dada por propriedades corpusculares.

Portanto, estamos imersos em ondas eletromagnéticas, cuja principal fonte é o Sol. O espectro eletromagnético, em relação ao comprimento de onda, varia de 10^8 m a 10^{-16} m. Sendo

que a região compreendida entre 430 nm a 690 nm é a parte do espectro a qual o olho é sensível, esta é a faixa de nosso interesse, a luz visível (Figura A.1).

Figura A.1 - Figura ilustrativa do espectro eletromagnético com ênfase na parte do visível.



Fonte: Wikipedia <https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel> .

Independente da faixa espectral a velocidade da luz no vácuo (c) é aproximadamente de 3×10^8 m/s.

Para que possamos visualizar os objetos é necessário que raios luminosos refletidos dos objetos cheguem à retina, de forma que os bastonetes e cones detectem a luz e por meio do nervo óptico as informações cheguem ao cérebro. Esta e outras formações de imagens podem ser compreendidas pelo estudo da Óptica Geométrica que parte da hipótese de que a luz se propaga em linha reta. Fenômenos esses explicados por Huygens.

De acordo com NUSSEZVEIG: “Do ponto de vista ondulatório, a OG é uma aproximação válida para comprimentos de onda muito pequenos em confronto com as dimensões típicas envolvidas” (NUSSENZVEIG, p.6, 2010). Portanto às propriedades da luz visível, de acordo com os fenômenos de reflexão e refração da luz, que serão citados na sequência, constitui-se uma boa aproximação.

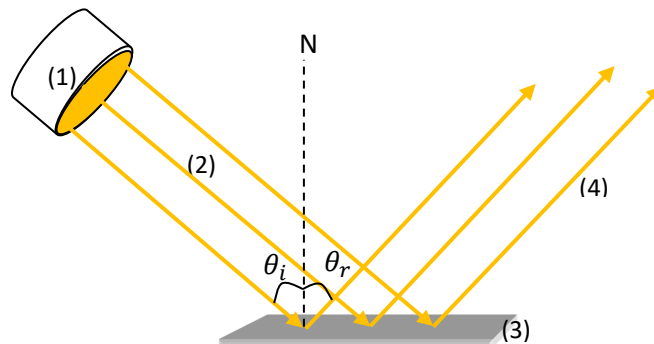
A.2 Reflexão da Luz

É um fenômeno que acontece quando raios de luz incidem em uma superfície e retornam para o meio de origem em que se propagava. O fato de enxergarmos os objetos se deve a essa propriedade: a luz incide no objeto que por sua vez a reflete de forma que os raios de luz cheguem aos nossos olhos, e isso também ocorre quando a luz do Sol incide na Lua e esta reflete a luz que atinge a Terra até os nossos olhos.

Esta reflexão pode ser regular ou difusa.

- Reflexão regular: a incidência da luz é sobre uma superfície polida e lisa, e a luz reflete em uma única direção (Figura A.2). Os feixes são paralelos um em relação ao outro e seguem da mesma forma após incidir na superfície refletora. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão: $\theta_i = \theta_r$. Por exemplo, a imagem de uma luz incidindo no espelho polido e liso.

Figura A.2 - Imagem ilustrativa de uma reflexão regular. Em que: (1) a fonte de luz, (2) raios de luz incidente; (3) superfície refletora; (4) raios de luz refletidos. Em que o ângulo de incidência θ_i é igual ao de reflexão θ_r em relação à normal (N) à superfície.

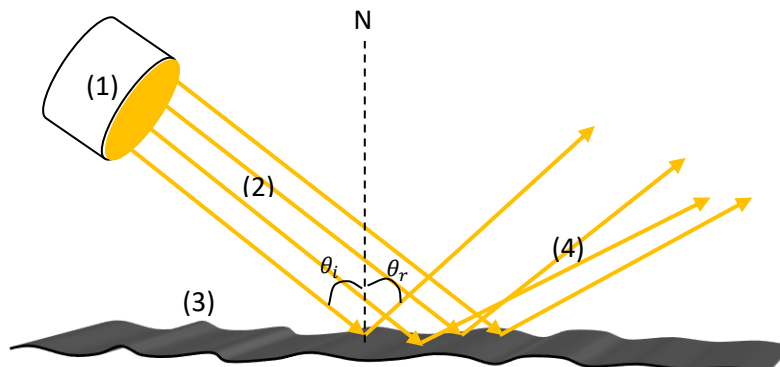


Fonte: o autor.

- Reflexão difusa: a Figura A.3 ilustra a reflexão difusa que ocorre quando os raios de luz incidem em uma superfície rugosa (irregular), causando um espalhamento nos raios refletidos em direções aleatórias dependendo do ponto onde incidem. Um exemplo é o raio de luz incidindo na água de um rio em que a água não está completamente lisa.

Esclarecendo que os raios incidentes saem da fonte, paralelos um ao outro, mas ao incidir sobre a superfície rugosa emergem em direções diferentes, mas o ângulo de reflexão será igual ao ângulo de incidência, visto que este é medido a partir do eixo normal à superfície entre os dois feixes. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão: $\theta_i = \theta_r$.

Figura A.3 - Desenho esquemático representando um feixe de luz incidindo sobre uma superfície rugosa. Em que: (1) fonte de luz; (2) raio de luz incidente; (3) superfície rugosa e (4) raios refletidos. Sendo θ_i ângulo de incidência e o θ_r ângulo de reflexão iguais em relação a normal N à superfície.



Fonte: o autor.

E, as Leis da reflexão são:

- **1ª Lei:** o raio incidente, a reta normal (N) perpendicular à superfície refletora e o raio refletido estão no mesmo plano.
- **2ª Lei:** os ângulos de incidência e refletidos são iguais.

Para a compreensão da formação de imagens, é importante esclarecer a definição de ponto imagem. O ponto imagem é o ponto onde os raios de luz emergentes de um sistema óptico se interseccionam. Esses são classificados em: real, virtual ou impróprio.

- a) Ponto Imagem Real (PIR): é quando a imagem se forma do mesmo lado que o espelho, sendo esse o vértice do feixe emergente convergente;
- b) Ponto Imagem Virtual (PIV): é quando a imagem se forma “atrás” do espelho, no vértice do feixe emergente divergente;
- c) Ponto Imagem Impróprio (PI_{∞}): quando a imagem se “forma” no infinito, é o vértice do feixe emergente cilíndrico.

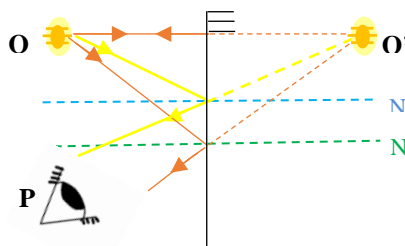
A seguir, apresentam-se os tipos de espelho e a formação de imagens em cada uma delas, respeitando as leis de reflexão. Sendo estes: os planos e esféricos (côncavo e convexo).

A.2.1 Espelhos Planos

Na Figura A.4 está ilustrado o caso de um feixe de luz incidindo num espelho plano, supondo que um objeto luminoso **O** está localizado diante de um espelho plano. Considerando as leis da reflexão, é possível determinar os raios refletidos, prolongando-os para a região “atrás” do espelho todos os raios refletidos (PIV) concentrados em um único ponto convergente, **O'**.

Analisando suas características, vemos que o ponto **O'** é simétrico ao ponto **O** em relação ao espelho, como mostra a Figura A.4, visto por um observador **P**. Para o mesmo observador no plano incidente dos raios refletidos divergentes, eles ilustram um feixe originário de **O'**, de maneira que a percepção visual é idêntica à que se teria se os raios fossem dele próprio, constituindo uma imagem virtual, portanto, imagem virtual (PIV) ocorre quando não têm raios luminosos emitidos por ela mesma, sendo formados pelos prolongamentos de raios luminosos refletidos de **O** (Ponto objeto real - POR).

Figura A.4 - Ilustração esquemática representando a formação de imagem (**O'**) de um objeto luminoso (**O**) num espelho plano visto por um observador (**P**). **E**, **N** é a normal em relação a superfície do espelho.



Fonte: o autor.

E, se o objeto for extenso, o tamanho da imagem será o mesmo do objeto. Um efeito interessante na formação de imagens em espelhos planos é quando estes são posicionados em uma associação dos mesmos.

A.2.1.1 Associação de Espelhos Planos

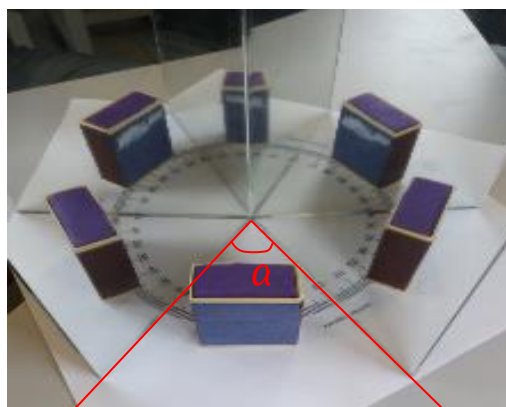
Em alguns hotéis encontramos dois espelhos planos posicionados um frente ao outro, ou seja, as superfícies refletoras estão paralelas. E, quando olhamos vemos muitas imagens formadas nos mesmos, qual o motivo desse efeito ocorrer? Neste caso, a formação de imagens é infinita, devido a infinitas reflexões da luz como ilustra a Figura A.5 (a).

Quando há um ângulo α entre os dois espelhos planos, unidos por um vértice, a luz refletida pela superfície refletora de um espelho atinge outra superfície refletora de um segundo espelho, originando várias imagens (que depende de α), como ilustrado na Figura A.5 (b).

Figura A.5 - Imagem fotográfica da formação (a) de infinitas imagens em uma associação de dois espelhos planos em paralelo e (b) de imagem numa associação de dois espelhos planos sob um ângulo $\alpha = 60^\circ$, indicado em vermelho.



(a)



(b)

Fonte: arquivo do autor.

A posição do objeto também é importante, e as superfícies refletoras devem estar em posições que permitam que o raio refletido por uma superfície atinja a outra.

A relação entre, N, o número de imagens de um único objeto e, α , o ângulo formado entre os dois espelhos é dado por:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1. \quad (A.1)$$

A Eq. (A.1) é válida em relação à formação de imagens, quando:

- a razão $\frac{360}{\alpha}$ for um número par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos;
- a razão $\frac{360}{\alpha}$ for um número ímpar, somente quando o objeto estiver no plano bissetor⁴⁴ da associação.

Por exemplo, caso o ângulo, α , entre os dois espelhos for de 90° , a razão $\frac{360}{\alpha}$ será igual a 4, sendo este um número par, logo N igual a 3. Significa que formarão 3 imagens. Sendo uma imagem frontal e uma em cada espelho. Isso para qualquer posição do objeto. Que é o mesmo caso da Figura A.5 (b), embora posicionado no plano bissetor, o número de imagens seria igual em qualquer outro ponto entre os espelhos.

A Tabela A.1, apresenta o número de imagens respeitadas o fato da razão $360/\alpha$ ser par ou ímpar e a posição do objeto, conforme validade da Equação (A.1).

Tabela A.1 - Dados do ângulo, a condição da razão ser par ou ímpar, e o número de imagens N que se formam entre dois espelhos planos.

α ($^\circ$)	Razão ($= \frac{360^\circ}{\alpha}$)	N(imagem(ns))
360	1 - ímpar	0
180	2 - par	1
120	3 - ímpar	2
90	4 - par	3
72	5 - ímpar	4
60	6 - par	5
45	8 - par	7

Fonte: o autor.

⁴⁴ Plano que divide o quadrante.

A seguir, apresenta-se a formação de imagens em espelhos esféricos.

A.2.2 Espelhos Esféricos

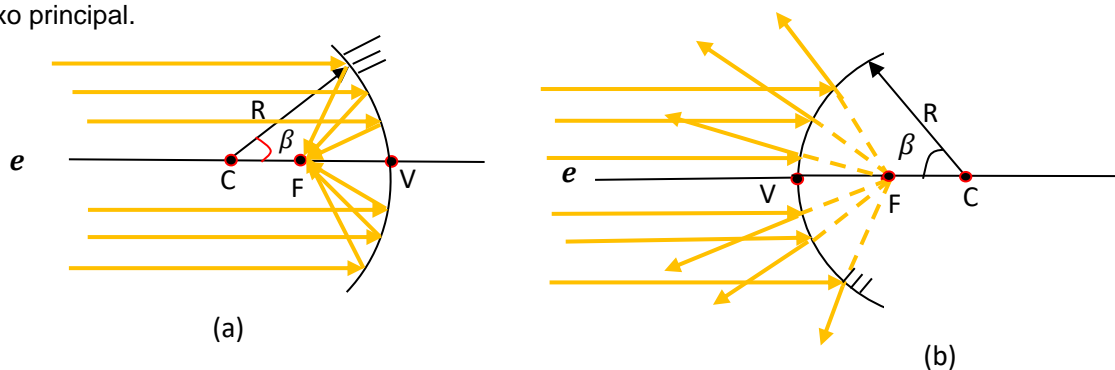
A origem de espelhos esféricos com imagem nítida se deve a Gauss (Johann Carl Friedrich Gauss⁴⁵, matemático, astrônomo e físico alemão (1777-1855) que em seus estudos de óptica, 1840, concluiu que os elementos que compõem o objeto precisam corresponder ao da imagem. Esses elementos são os pontos e retas. Fato este mais fácil de observar em um espelho plano, pois os pontos entre ambos são correspondentes, bem como as retas. No caso de espelhos esféricos Gauss descobriu que isso somente é válido até um determinado ângulo de curvatura, no caso, menor que 10° , os raios incidentes devem ser próximos ao eixo principal e devem ter uma pequena inclinação com relação ao eixo principal (VIANNA, 2019). Condição essa denominada condição de Gauss, e os espelhos confeccionados sob esta condição são chamados de espelhos de Gauss.

O espelho esférico é formado por uma superfície refletor curva semelhante a uma casca esférica. Pode ser côncava ou convexa como representada na Figura A.6. Seus elementos geométricos são:

- C: o centro de curvatura, ou seja, o centro da casca esférica que originou a concavidade.
- R: raio da curvatura, a medida do raio da casca esférica que originou a concavidade.
- V: vértice do espelho, ponto localizado na região perpendicular entre o eixo principal e o plano vertical externo do espelho, polo da concavidade.
- e: eixo principal, a reta que corta perpendicularmente a região central do plano vertical do espelho.
- β : o ângulo de abertura do espelho.
- F: foco do espelho. No caso do espelho côncavo, o foco é denominado real sendo o ponto onde a luz converge (Figura A.6 (a) em linhas de cor alaranjada) e no espelho convexo o foco denominado virtual sendo o ponto da qual os feixes de luz divergem (Figura A.6 (b) linhas de cor alaranjada). A distância focal (f) é a distância do vértice (V) ao ponto focal (F) tal que o raio de curvatura (R) é igual a duas vezes a distância focal(f): $R= 2f$.

⁴⁵ É o mesmo da Lei de Gauss do eletromagnetismo, elaborada em 1835 e publicada em 1867. Fonte: wikipedia < https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Gauss>. Acesso em 12/08/2019.

Figura A.6 – Desenho esquemático de um espelho (a) côncavo e (b) convexo. Em que: C indica o centro de curvatura do espelho de raio R, F o foco, V o vértice, β o ângulo de abertura do espelho e e o eixo principal.



Fonte: o autor

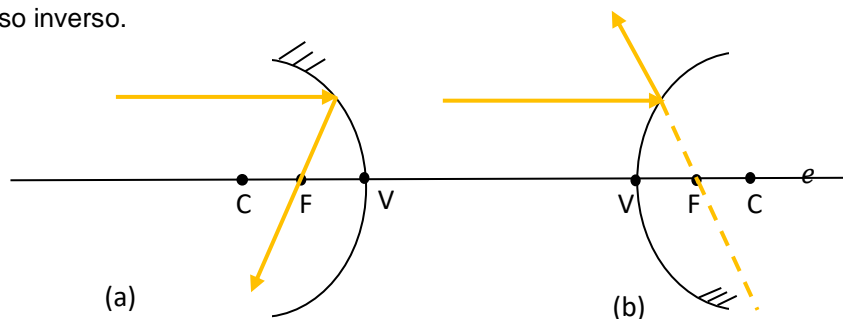
No caso de espelhos esféricos, as imagens reais formam-se do mesmo lado do espelho em que se encontra o objeto, e as imagens virtuais do lado oposto.

A.2.2.1 Propriedades dos Raios Incidentes em Espelhos Esféricos

De acordo como o raio de luz incide sobre um espelho esférico, segundo as leis de reflexão apresentadas na introdução desta seção A.2, a posição e o tamanho das imagens irão obedecê-las, e são refletidos seguindo três propriedades:

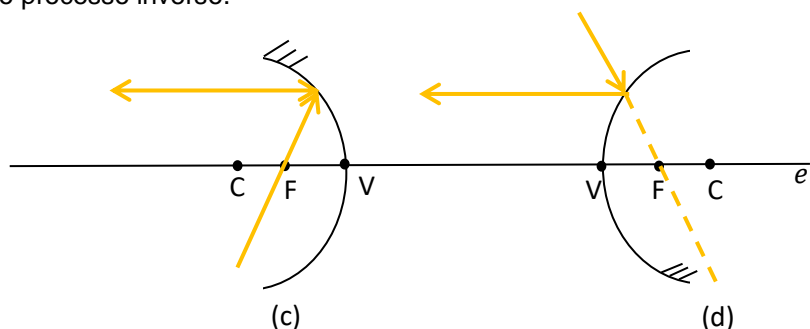
- 1) Todo raio paralelo ao eixo principal que incide na superfície do espelho passa pelo foco (F), (Figuras A.7.1 (a) côncavo e (b) convexo). E, todo raio que incide a superfície do espelho passando pelo foco emerge paralelo ao eixo principal (e) (Figuras A.7.2 (c) côncavo e (d) convexo).

Figura A.7.1 – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide paralelo ao eixo principal (e) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, passa pelo foco (F). Em (c) côncavo e (d) convexo, o processo inverso.



Fonte: o autor

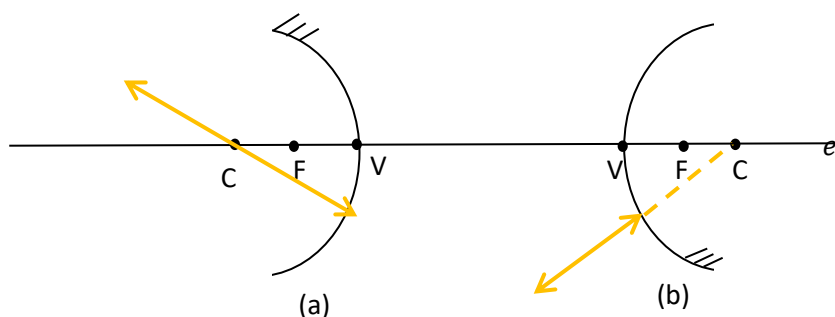
Figura A.7.2 – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide paralelo ao eixo principal (e) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, passa pelo foco (F). Em (c) côncavo e (d) convexo, o processo inverso.



Fonte: o autor.

2) Todo raio que passa sobre o centro de curvatura volta pelo mesmo (Figura A.8).

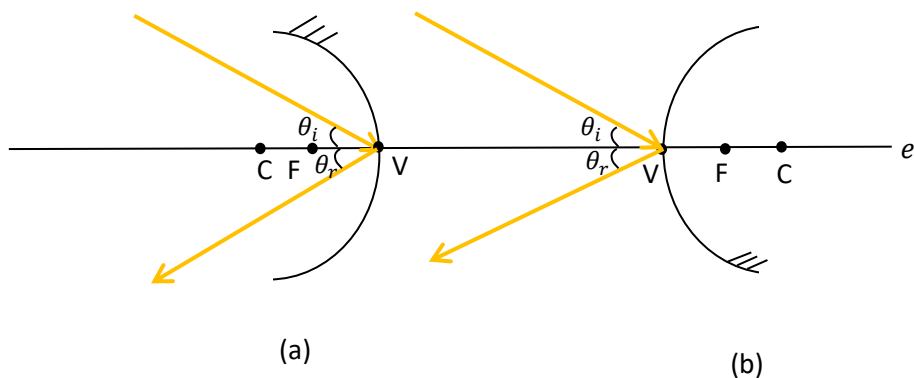
Figura A.8 - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide passando pelo centro de curvatura na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, o mesmo retorna pelo centro de curvatura.



Fonte: o autor.

3) Todo raio que incide sobre o vértice (V) é refletido em um ângulo igual ao de incidência ($\theta_r = \theta_i$) (Figura A.9 (a) côncavo e (b) convexo).

Figura A.9 - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide no vértice do espelho (a) côncavo e (b) convexo, reflete (θ_r) com o mesmo ângulo de incidência (θ_i).



Fonte: o autor.

➤ **CONVENÇÃO DE SINAIS** (NUSSENZVEIG, 2010):

- 1) A luz (raio de luz) incide da esquerda para a direita e reflete da direita para a esquerda;
- 2) Para um objeto de tamanho \overline{AB} e imagem $\overline{A'B'}$, a distância objeto imagem são medidas de A para V e A' para V, respectivamente. E será positiva (objeto e/ou imagem reais) quando A e/ou A' estão à esquerda de V e virtuais (negativas) quando à sua direita;
- 3) A distância focal (f) dada por \overline{FV} , é positiva para F à esquerda de V;
- 4) O raio de curvatura é \overline{CV} sendo positiva para espelho côncavo;
- 5) Distâncias verticais são positivas acima do eixo principal (e) e negativas abaixo do mesmo;

Tendo conhecimento de como os raios de luz se comportam quando incidem um espelho esférico e convencionado os sinais, a seguir apresenta-se como se forma a imagem em um espelho esférico convexo e côncavo.

A.2.2.2 Formação de Imagem em Espelhos Esféricos

Nesta subseção apresenta-se como a imagem se forma em espelhos esféricos de Gauss. Apresentam-se as características de forma geral e depois a formação da imagem em espelhos convexos por ser de uma única forma e posteriormente as diferentes formações de imagem em espelhos côncavos.

➤ **CARACTERÍSTICAS**

Toda imagem produzida por um espelho esférico tem três características: natureza, posição e tamanho.

- a) Quanto à **sua natureza**, uma imagem pode ser classificada como:
 - **Real:** obtida da intersecção dos próprios raios refletidos, a imagem se forma na frente do espelho;
 - **Virtual:** obtida da intersecção dos prolongamentos dos raios refletidos, a imagem se forma atrás do espelho;
 - **Imprópria:** quando não ocorre a intersecção dos raios refletidos ou de seus prolongamentos, a formação de imagens ocorre no infinito (representado pelo símbolo: ∞).

b) Quanto à **sua posição**, uma imagem pode ser classificada como:

- **Direita** ou direta: objeto e imagem conjugada representada por segmentos orientados para o mesmo sentido, todos para baixo ou todos para cima.
- **Invertida**: imagem conjugada e objeto representado por segmentos orientados de sentido oposto.

c) Quanto ao seu **tamanho/altura**, uma imagem pode ser classificada como:

- **Maior que o objeto** ($\theta_i > 0$);
- **De mesmo tamanho** ($\theta_i = 0$);
- **Menor que o objeto** ($\theta_i < 0$),

em que θ_i é o ângulo de incidência em relação ao eixo principal (e).

➤ **ESPELHOS CONVEXOS**

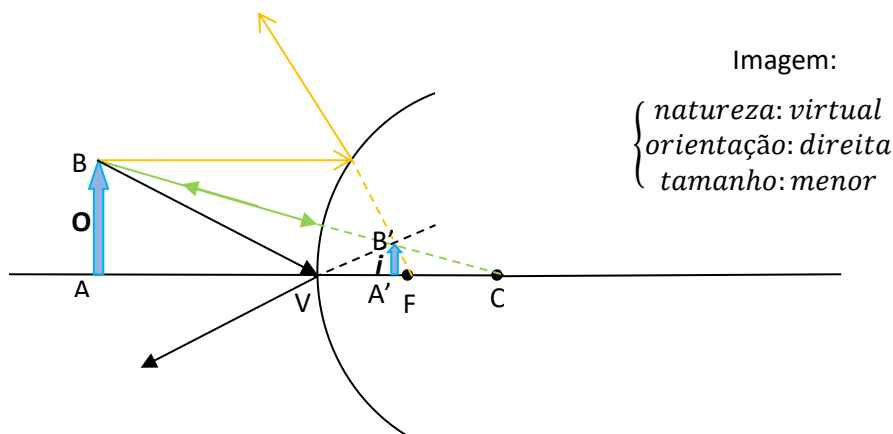
Para os espelhos convexos: independentemente da posição do objeto \overline{AB} disposto diante deste espelho, sua imagem $\overline{A'B'}$ sempre será: virtual, direita e menor que o objeto, Figura A.10.

Consideraram-se duas possibilidades: a de um raio de luz passando pelo vértice (indicado pela seta em cor preta) bem como, passando pelo centro de curvatura (indicado pela cor verde) a imagem será a mesma.

Na primeira situação, o ângulo de reflexão (θ_r) será o mesmo do ângulo incidente (θ_i), ambos em relação ao eixo principal (e), e a imagem (i) terá o tamanho e local definido por seu prolongamento atrás do espelho. No segundo caso também se faz a prolongação do raio de luz que reflete no espelho em direção ao ponto do centro de curvatura, fato esse, devido o raio refletido voltar em sentido oposto e na mesma direção ao de incidência.

Na Figura A.10, as cores dos raios é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

Figura A.10 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico convexo. Em laranja o raio de luz passando pelo foco (F), em verde passando pelo centro de curvatura (C) e em preto se passasse pelo vértice (V). Em azul o objeto (\overline{AB}) do lado esquerdo e a imagem ($\overline{A'B'}$) do lado direito (atrás) do espelho.



Fonte: o autor

Exemplos de espelhos convexos: espelhos de lojas ou para garagem de prédios, retrovisor de veículos, Figuras A.11 (a) e (b), respectivamente. O motivo do uso de espelhos convexos no cotidiano é por proporcionar uma ampla visão no mesmo, visto que diminuem a imagem. Outros objetos possuem a mesma propriedade, como o lado externo de uma concha ou colher de superfície refletiva e polida, uma bolha de sabão, bem como o olho humano.

Figura A.11 – Imagens de exemplos espelhos convexos. (a) espelho saída de garagem de prédio; (b) retrovisor de automóvel.



(a)



(b)

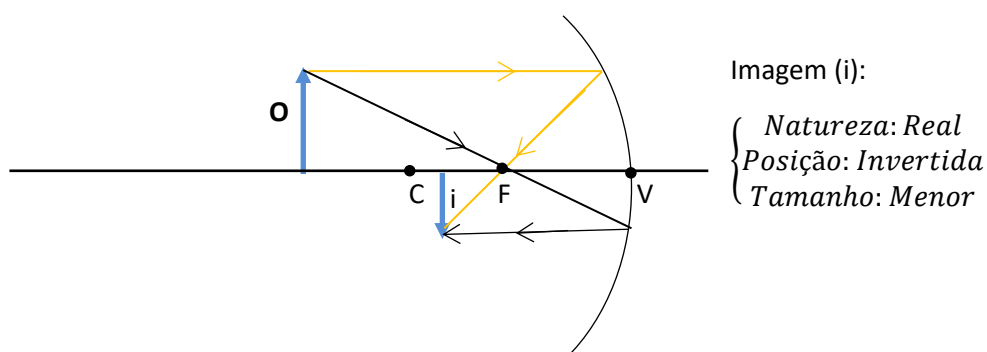
Fontes: (a) <<https://www.americanas.com.br/busca/espelho-convexo>> e (b) <<https://portaldotransito.com.br/noticias/proposta-proibe-colocacao-de-peliculas-que-comprometam-visao-de-retrovisores/>>;

No caso da formação de imagens em espelhos esféricos côncavos apresentam-se a seguir, as cinco possibilidades respeitando as leis e propriedades de reflexão. Nestes exemplos, omitiram-se a indicação de A e B como início e final do tamanho do objeto e de A' e B' para a imagem.

➤ ESPELHOS CÔNCAVOS

- 1) Para objetos situados antes do centro de curvatura C , a imagem será: real, invertida e menor que o objeto, Figura A.12. A cor do raio é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

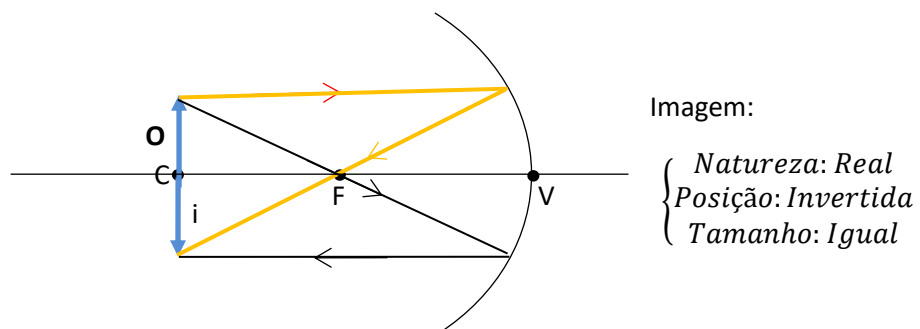
Figura A.12 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo. Em que O é o objeto e i a imagem; C centro de curvatura, F o foco, e o vértice (V).



Fonte: o autor.

- 2) Para objetos **situados no centro de curvatura C** , a imagem será: real, invertida e igual ao objeto, Figura A.13. A cor do raio é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

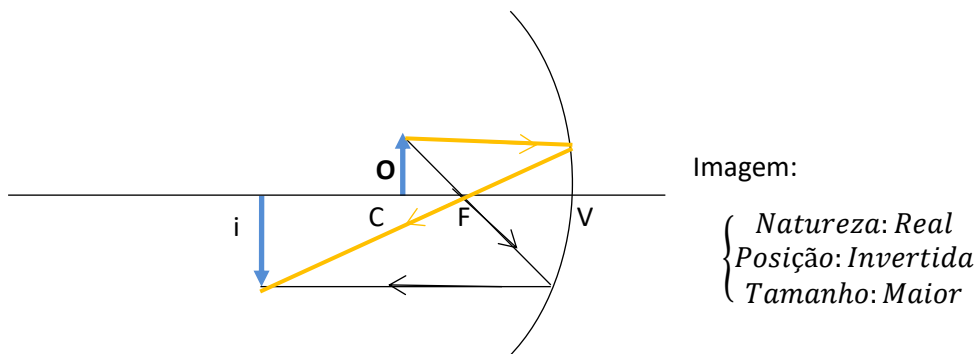
Figura A.13 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo em que o objeto e imagem estarão situados sobre o centro de curvatura (C), F é o foco e V o vértice.



Fonte: o autor.

- 3) Para objetos situados **entre o centro de curvatura C e o foco principal F** , a imagem será: real, invertida e maior que o objeto, Figura A.14. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória.

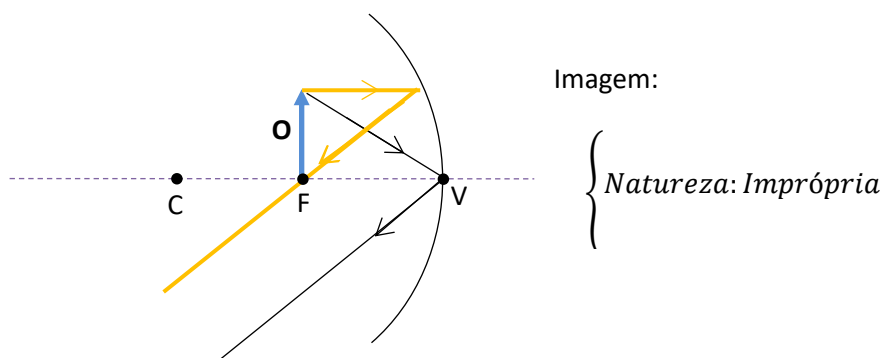
Figura A.14 - Desenho esquemático representando um objeto (O), e sua imagem (i) em um esférico côncavo. Em que o objeto e imagem estarão situados entre o centro de curvatura (C) e o Foco Principal (F) e V o vértice.



Fonte: o autor.

- 4) Para objetos situados **sobre o foco principal F**, a imagem será: imprópria, os raios convergem no infinito, Figura A.15. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória.

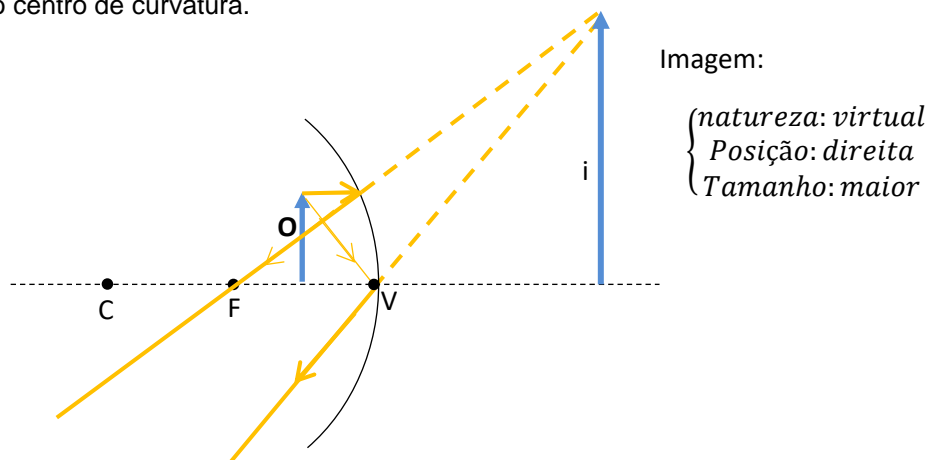
Figura A.15 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) está sobre o foco principal (F). A imagem (i) será formada no infinito. Sendo C o centro de curvatura e V o vértice.



Fonte: o autor

- 5) Para objetos situados entre o foco principal F e o vértice V, a imagem será: virtual, direita e maior que o objeto, Figura A.16. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória. Lembrando que o ângulo formado com relação ao eixo principal do raio refletido no vértice deve ser igual a do raio incidente nessa posição em relação ao mesmo eixo.

Figura A.16 - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) situado entre o foco principal (F) e o vértice (V). Sendo i a imagem formada e C o centro de curvatura.



Fonte: o autor

Exemplos de espelhos esféricos côncavos: espelho bucal odontológico (este também pode ser feito com espelho plano), espelhos de maquiagem, (Figura A.17); o lado interno de uma concha ou colher de superfície refletida;

Figura A.17 – Fotos de espelhos esféricos côncavos: (a) espelho bucal odontológico; (b) espelho para maquiagem.



(a)



(b)

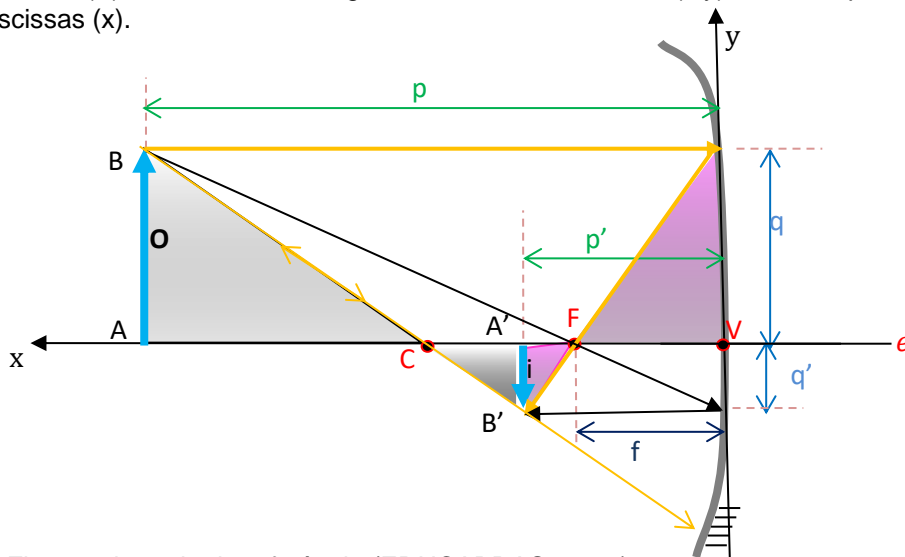
Fontes: (a) <blogdoenem.com.br>; (b) <produto.mercado livre.com.br>.

A seguir, vejamos qual é a equação fundamental dos espelhos esféricos.

A.2.2.3 Equação de Gauss ou Equação dos Pontos Conjugados

Para obter a equação de Gauss, primeiro define-se o referencial de Gauss, sendo este um referencial no sistema cartesiano que coincide com a estrutura da OG. Neste, o eixo das abscissas coincide com o eixo principal, aponta positivo para a esquerda, e o eixo das ordenadas é posicionado sobre o espelho. Sendo a origem $(x,y) = (0,0)$ situado no vértice. Conforme ilustrado na Figura A.18.

Figura A.18 - Figura esquemática indicando as definições da relação do sistema cartesiano com a estrutura da OG para a formação da imagem (i) de um objeto (O) situado antes do ponto de curvatura (C). O vértice (V) coincide com a origem do sistema cartesiano (x,y). E o eixo principal (e) com o eixo das abscissas (x).



Fonte: Figura adaptada da referência (EDUCABRAS, 2018).

Os termos utilizados na Figura 1.18 são:

p : abscissas do objeto a distância da imagem ao vértice no eixo das abscissas;

p' : abscissas da imagem a distância do objeto ao vértice.;

q : ordenada do objeto o tamanho do objeto no caso \overline{AB} ;

q' : ordenada da imagem – o tamanho da imagem, no caso $\overline{A'B'}$,

f : distância focal, a distância do foco F ao vértice (V).

A equação de Gauss relaciona a distância focal (f) com a abscissa da imagem (p'), como ilustra a Figura A.18. A relação entre o tamanho \overline{AB} e a curvatura C, é dada por um triângulo retângulo do objeto (O). E o referente à imagem (i) é dado por $\overline{A'B'}$ e C, conforme ilustrados em azul. Por semelhança dos triângulos $\overline{AB} C$ e $\overline{A'B'} C$, tem-se que:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'C}} \Rightarrow \frac{q}{p - 2f} = \frac{q'}{2f - p'} \Rightarrow \frac{q}{q'} = \frac{p - 2f}{2f - p'}. \quad (A. 2a)$$

A relação entre o tamanho \overline{FV} com a ordenada da imagem q , é dada por um triângulo retângulo em cor rosa maior. E, o referente à imagem q' é dado por $\overline{A'B'}$ e F, conforme ilustrados em cor rosa na Figura A.18, relacionando os triângulos pela sua semelhança:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F}} = \frac{\overline{IV}}{\overline{FV}} \Rightarrow \frac{q'}{p' - f} = \frac{q}{f} \Rightarrow \frac{q}{q} = \frac{f}{p' - f}. \quad (\text{A.2b})$$

Igualando as equações (A.2 a) e (A.2 b):

$$\frac{p - 2f}{2f - p'} = \frac{f}{p' - f}$$

ou que,

$$\frac{p - 2f}{2f - p'} = \frac{f}{p' - f}. \quad (\text{A.3})$$

A Equação (A.3) fornece a Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}. \quad (\text{A.4})$$

O fator $\frac{1}{f}$ é conhecido como o poder de convergência do espelho (NUSSENZVEIG, 2010).

Exemplo A.1 - Aplicação da Equação (A.3) - Para o espelho côncavo, objeto e imagem da Figura A.18, a que distância do vértice do espelho é formada a imagem do objeto, sabendo que o objeto se encontra a 40 cm do vértice, e o espelho tem raio de 30 cm?

Resolução: Sabendo que $f=R/2 = 15$ cm, $p=40$ cm, logo $p'= 24$ cm do vértice.

➤ **Tamanho da Imagem** (NUSSENZVEIG, 2010)

A relação entre a distância da imagem (p') com relação ao objeto (p) fornece a ampliação ou redução de uma imagem:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A < 0 \text{ Imagem Invertida} \\ A > 0 \text{ Imagem Direita} \\ |A| > 1 \text{ Imagem ampliada} \\ |A| = 0 \text{ Imagem igual} \end{array} \right.$$

Exemplo A.2. No caso do exemplo 1.1, se $A = -0,6$, portanto entre 0 e 1, fornecendo uma imagem reduzida e o sinal negativo indica invertida e de tamanho 0,6 cm.

A seguir, inicia-se a seção sobre o outro fenômeno da luz denominado de refração.

A.3 Refração da Luz: propriedades e exemplos

A refração da luz é um fenômeno da alteração da velocidade da luz em sua propagação ao transpor diferentes meios ópticos. Para tal considera-se que a passagem da luz de um meio homogêneo para outro, levando em consideração que sua refração⁴⁶ seja diferente. Este fenômeno altera a velocidade da luz e desvia o raio de luz de sua trajetória inicial quando sua incidência for obliquamente à superfície. Um caso especial ocorre quando o ângulo de incidência for perpendicular à superfície, neste caso o raio da luz não sofre variação, ou seja, não sofre desvio.

Este fenômeno, suas propriedades e exemplos são apresentados nesta seção. Iniciando pelas propriedades da refração.

A.3.1 Índice de Refração

É um termo que depende da velocidade da luz no meio refringente, quanto maior a refração, maior o índice de refração. Portanto, o índice de refração é a razão entre a velocidade da luz no vácuo (c) em determinado meio e a velocidade da luz no meio (v), $c \sim 3 \times 10^8$ m/s, o índice de refração absoluto (n) é dado por:

$$n = \frac{c}{v} . \quad (\text{A. 5})$$

O índice de refração depende do estado físico do material, se sólido, líquido ou gasoso. Na Tabela A.2, apresenta-se os índices de refração de algumas substâncias.

Tabela A.2 – Índice de refração (n) de alguns materiais sólido, líquidos e gasosos, a 20°C.

Substância/material	n
vácuo	1
ar	1,00029
Água	1,33
Glicerina	1,473
Vidro comum	1,50
Acrílico	1,49
Diamante	2,42

Fonte: (HALLIDAY, 2009).

⁴⁶ Propriedade de refratar a luz.

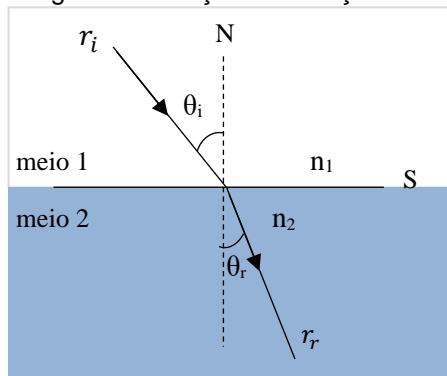
De posse do índice de refração pode-se obter a velocidade com que a luz se propaga no meio, utilizando a Eq. (A.5). Assim como o fenômeno da reflexão, a refração também possui suas leis.

A.3.2 Leis da Refração

O astrônomo e matemático Holandês Willebrord SNELL Van Roijen (1580-1626) e o filósofo, físico e matemático Frances René DESCARTES (1596-1650) concluíram que a lei da refração, em que um feixe de luz monocromático se propagando entre diferentes meios e que incida obliquamente sobre o plano de separação, sofre desvio em sua trajetória. Lei esta conhecida desde 1921 por SNELL-DESCARTES.

Para compreender essa lei, considere dois meios 1 e 2, com índice de refração n_1 e n_2 , respectivamente, em que incide um raio de luz de um ângulo θ_i em relação a normal N e θ_r o ângulo do raio refratado. Sendo S a superfície que separa os dois meios (essa fronteira de separação é chamada dióptro plano), conforme indicado na Figura A.19.

Figura A.19: Ilustração esquemática representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro, em que n_1 é o índice de refração do meio 1 e n_2 é o índice de refração do meio 2, θ_i é o ângulo incidente e θ_r é o ângulo de refração em relação a normal N.



Fonte: o autor.

A refração da luz segue duas leis:

- **Primeira Lei:** o raio incidente r_i , a normal N e o raio refratado r_r são coplanares⁴⁷.
O raio refratado passa para o outro meio com sua velocidade alterada e
- seu desvio aproxima da normal (N) se $n_2 > n_1$;
- seu desvio afasta da normal (N) se $n_1 > n_2$;
- não sofre desvio se $n_1 = n_2$;

⁴⁷ Situam no mesmo plano.

- não sofre desvio se o ângulo de incidência for 90° em relação a superfície de separação dos meios.

DESCARTES propôs a relação entre as velocidades da luz nos meios considerados, sendo proporcional aos senos dos ângulos θ_i e θ_r :

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} . \quad (\text{A. 6})$$

Escrevendo esta equação em termos dos índices de refração (Eq. A.5) chegamos à segunda lei.

- **Segunda Lei:** quando um raio de luz ao passar de um meio para outro, obliquamente, sua refração obedece a uma lei conhecida como **Snell-Descartes** dada por:

$$n_1 \text{sen } \theta_i = n_2 \text{sen } \theta_r . \quad (\text{A. 7})$$

Com base na lei de Snell-Descartes (Eq. A.7), considerando a Figura A.19:

- para $n_1 < n_2 \Rightarrow \theta_i < \theta_r$ para manter a igualdade na Eq. (A7).

Portanto, o raio de luz ao passar de um meio menos refringente para outro mais refringente, o ângulo de incidência (θ_i) é maior que o ângulo de refração (θ_r) em relação a normal (N) à superfície, ou seja o raio de luz ao entrar no meio 2, se aproxima da normal (N) (Figura (A.20 (a))).

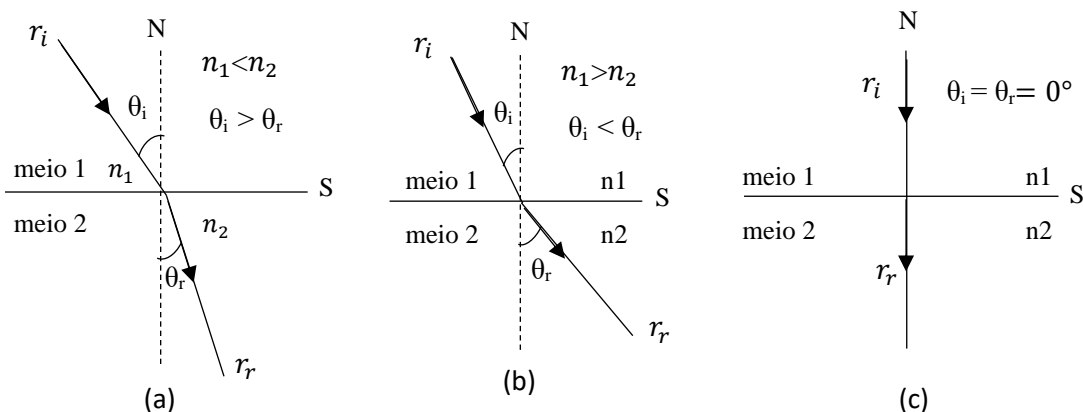
- para $n_1 > n_2 \Rightarrow \theta_i > \theta_r$.

Assim, para o caso da luz passar de um meio mais refringente para outro menos refringente, o raio de luz se afasta da normal (N) (Figura (A.20 (b))).

- para $n_1 = n_2 \Rightarrow \theta_i = \theta_r = 0^\circ$.

O raio incidente e o raio refratado estão sobre a normal (N) (Figura (A.20 (c))).

Figura A.20 - Desenho esquemático representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro. Em que: raio incidente (r_i), raio de refração (r_r), reta normal (N) a superfície (S), índice de refração do meio 1 (n_1), índice de refração do meio 2 (n_2), ângulo de incidência (θ_i), ângulo de refração (θ_r). Para 3 situações: (a) $n_1 < n_2$; (b) $n_1 > n_2$ e (c) $n_1 = n_2$.



Fonte: adaptado da referência (HALLIDAY, 2009).

Exemplos do cotidiano onde se observa o fenômeno da refração:

- 1) Canudo que parece quebrado dentro de um copo com água (Figura A.21 (a)): este é o mesmo efeito ilustrado na Figura A.20 (a), em que a luz passa de um meio com índice de refração menor para maior. O raio/feixe/ de luz no caso o canudo se aproxima da normal aparentando estar quebrado.
- 2) Efeito Miragem⁴⁸ – “água” no asfalto em um dia de calor em que o SOL brilha forte: esse é um efeito da mudança de direção da luz (refração) nas camadas de ar com diferentes temperaturas. (Figura A.21 (b) o efeito apontado com a seta de cor vermelha).
- 3) Decomposição da luz em um prisma óptico: devido ao efeito de dispersão, o índice de refração varia conforme o espectro da luz, e assim ocorre a separação das cores quando refratadas (Figura A.22 (a)). Efeito semelhante é o Arco-íris Figura A.22.
- 4) Posição aparente do peixe dentro da água ao observá-lo de fora do lago. O processo inverso também é válido, o peixe vendo o observador. Análogo ao fenômeno da Figura A.25 da profundidade.

⁴⁸ Uma explicação do efeito de forma mais simples encontra-se no site: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/de-que-modo-se-forma-a-miragem/>>

Figura A.21 - Imagens ilustrativas do efeito do fenômeno da refração no cotidiano: (a) “canudo quebrado”, aproximando da normal (N); (b) efeito miragem, o asfalto parece molhado em um dia de Sol.



Fontes: (a) adaptado da referência <http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/fisica/676_fenomenos_opticos/index.html> ; (b) .Wikipedia Miragem <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Miragem>>.

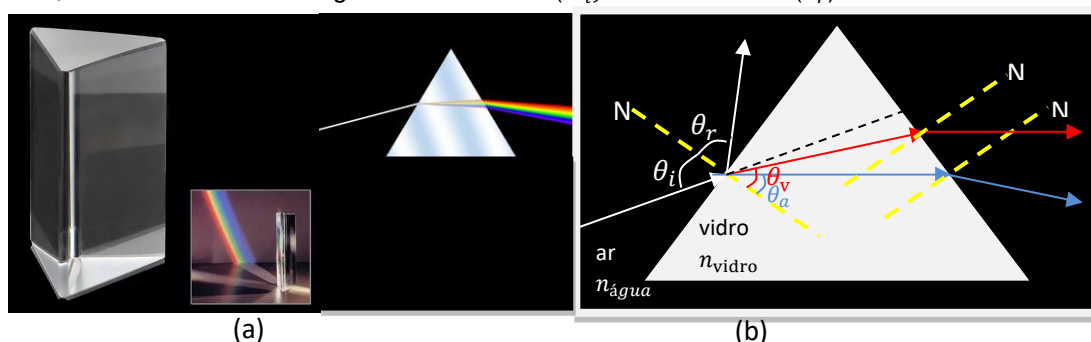
Apresenta-se a seguir, a teoria envolvida no **Prisma Óptico**.

Um prisma óptico é um prisma feito normalmente de vidro, ou outro material transparente como o acrílico. Há 3 tipos de prismas ópticos: dispersivo (refrata a luz), reflexivo (reflete a luz) e os polarizados (separa o feixe de luz)

Vejamos o referente à refração de luz, o Prisma Dispersivo. Com aplicabilidade de separar uma luz policromática (luz branca) em 7 feixes de luzes monocromáticas (7 cores diferentes) (Figuras A.22 (a) e (b)).

Tanto no caso do prisma óptico dispersivo quanto o fenômeno do Arco-íris estão relacionados com o espectro apresentado na Figura A1.1, em que a luz visível possui diversos comprimentos de onda. Dependendo do meio por onde a luz passa, esta dispersão causada pela refração do feixe de luz ao passar de um meio para outro para determinado ângulo de incidência.

Figura A.22 – (a) Imagem fotográfica de um prisma óptico e a decomposição da luz branca; (b) um feixe de luz branca se decompondo nas cores: azul e vermelha. N são as normais a superfície do prisma, indicado também o ângulo de incidência (θ_i) e o de reflexão (θ_r) da luz.



Fontes: (a) Mercado livre- Prisma Óptico; e Wikipédia <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Prisma_\(%C3%B3ptica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Prisma_(%C3%B3ptica))>; (b) cedido por H. Mukai adaptado das referências: FRAGNITO e COSTA, 2010 e CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>.

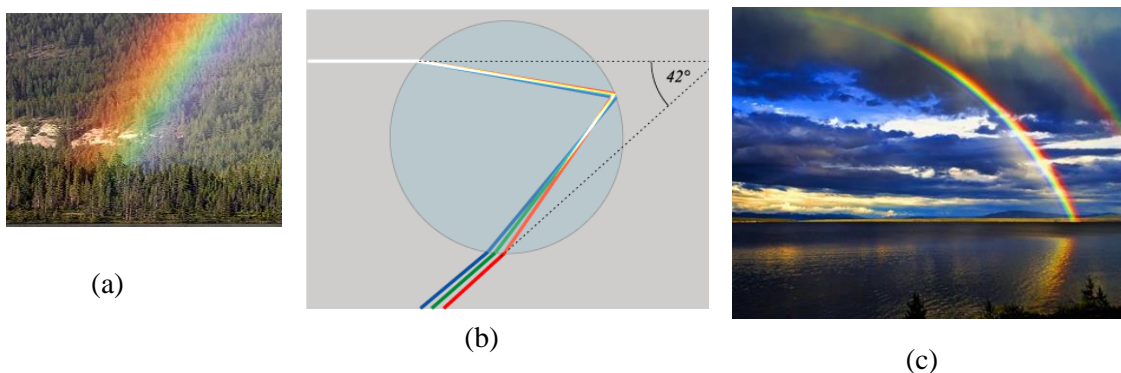
Quanto menor o comprimento de onda (λ) maior o índice de refração (n), como pode ser visto pela Equação (A.5), visto que a velocidade da luz depende do seu comprimento de onda ($v = \lambda f$, em f é a frequência de oscilação da onda).

A Figura A.22 (b) ilustra um feixe de luz branca incidindo em um dos vértices do prisma com um ângulo θ_i . Uma parte sofre reflexão de um ângulo θ_r que é igual ao de incidência, e a outra parte, é refratado ao passar do ar para o vidro, representada nas cores azul e vermelha, o mesmo ocorre com as demais cores que a luz branca é composta. Como $n_{\text{água}} < n_{\text{vidro}}$, os feixes refratados (vermelha e azul) se aproximam da normal (N) com ângulos θ_v e θ_a , sendo $\theta_v > \theta_a$.

Quando passam do vidro para o ar, ocorre o oposto, os feixes refratados, azul e vermelho se afastam da normal, abrindo em leque as cores da luz branca com ângulo de abertura maior do que ocorre internamente, mas na mesma sequência de cores. Sendo que a decomposição ocorre em 7 cores: vermelha, laranja, amarelo, verde, azul, índigo (anil) e violeta.

Ligado a essa decomposição da luz branca, está um efeito da natureza que é o Arco-íris (Figura A.23 (a)). Em que, o Sol está posicionado no lado oposto do centro do Arco-íris, atrás do observador, e a chuva entre o observador e o Arco-íris. Quanto mais o Sol estiver a pino menor o arco da curva, e quanto mais próximo do pôr do Sol maior o arco da curva. Em alguns casos é possível observar o círculo completo⁴⁹, para isso o observador deve estar em um local mais alto do que o local de formação do Arco-íris. Destacando que os raios solares ao incidir nas gotas podem ser considerados paralelos uns em relação ao outro devido à distância ao Sol.

Figura A.23 - (a) Foto de um Arco-íris; (b) desenho ilustrativo de uma gota de chuva, da refração da luz ao entrar, reflexão interna total e refração da luz ao sair, e (c) Foto de um duplo Arco-íris.



Fonte: (a) e (b) Wikipédia_Arco-íris; (c) iGUi ECOLOGIA, 2018.

A luz do Sol ao incidir nas gotículas e gotas da chuva sofre o fenômeno da dispersão da luz por: refração quando a luz entra na gota, reflexão total dentro da gota, e nova refração ao

⁴⁹ Uma imagem desse efeito pode ser vista na referência: <<http://www.astropt.org/2014/10/09/arco-iris-circular/>>.

sair da gota. Quando o ângulo entre as refrações for de 42° a intensidade das cores é maior (Figura A.23(b)). Para o Arco-íris duplo (Figura A.23 (c)) em que no segundo arco as cores são em ordem invertida o ângulo está entre 50° a 53° . Este é formado quando ocorre mais de um processo refração, reflexão total e refração, denominado arco íris secundário.

Conforme citado por Figueiredo, Descartes fez um experimento, para descrever o fenômeno do Arco-íris com uma esfera simulando a gota de água, e descreveu:

“Eu peguei uma caneta e fiz um cálculo acurado do conjunto de raios que incidiam em diferentes pontos do globo de água, para determinar em que ângulos, depois de duas refrações e uma ou duas reflexões eles chegarão ao olho, e então encontrei que após uma reflexão e duas refrações há muito maior número de raios que podem ser vistos em um ângulo de quarenta e um até quarenta e dois graus, do que em qualquer outro ângulo menor, e de que não há nenhum que possa ser visto em um ângulo maior”. É esta concentração de raios perto do menor desvio que dá origem ao arco do Arco-íris. Este raio é denominado de Raio Descartes ou do Arco-íris. (FIGUEIREDO, 2019)

As cores são as mesmas da dispersão em um prisma óptico, e para lembrar a ordem das cores, usam a frase mnemônica: “Vermelho LA VAI Violeta” (Wikipedia _arco Iris).

Ligado aos experimentos de Descartes, está o de Newton, que em 1666, demonstrou o processo inverso, ou seja, que as 7 cores combinadas parecem branca aos olhos humanos. Para verificar esse efeito, basta confeccionar o disco de Newton (Figura A.24), e girar o mesmo.

Figura A.24 – Desenho ilustrativo do disco de Newton.



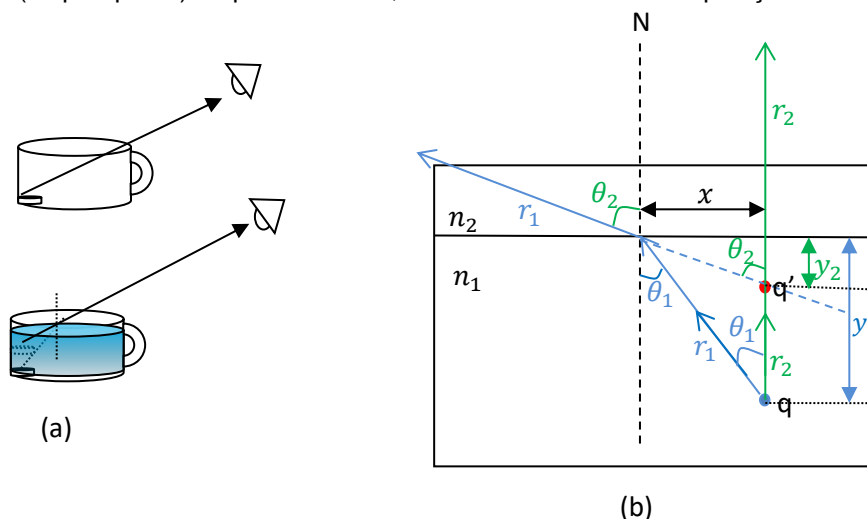
Fonte: adaptado do Wikipedia_Disco de Newton.

E, por último apresenta-se o fenômeno da refração da profundidade aparente.

Este fato apresenta-se no experimento em que se coloca uma moeda em uma xícara, e de determinado ângulo o observador nada vê, ao colocar água na xícara, o mesmo consegue do mesmo ângulo observar a moeda (Figura A.25 (a)). Também observado na natureza por pescadores que usam lanças para pescar. O peixe parece estar em determinada posição, mas

está em outra mais profunda. Esses fenômenos são tratados pela OG. A Figura A.25 (b) apresenta o comportamento da luz no objeto.

Figura A.25 – Desenho ilustrativo (a) visualização da moeda quando se coloca água na xícara, e (b) comportamento da luz, com o raio de luz saindo do objeto em azul r_1 e verde r_2 , sendo n_1 o meio onde está o objeto e n_2 o observador, N a normal a superfície, y_1 e y_2 a distância do objeto e da imagem à superfície (dióptro plano) respectivamente, x a distância da normal a posição do objeto (q)/imagem (q').



Fonte: Adaptado da ref. CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>.

Utilizando a Lei de Snell-Descartes (Eq. a.7), $\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$. Considerando que os ângulos são pequenos, $\text{sen } \theta \cong \text{tg } \theta$: $\text{tg } \theta_1 = \frac{x}{y_1}$ e $\text{tg } \theta_2 = \frac{x}{y_2}$, $\frac{y_1}{x} = \frac{n_2}{n_1}$. Obtém-se que: $\frac{y_1}{y_2} = \frac{n_2}{n_1}$, ou considerando as profundidades $y = d$:

$$d_{real} = d_{aparente} \frac{n_{objeto}}{n_{observador}}. \quad (A. 8)$$

Exemplo A.3⁵⁰ - Um peixe situado a uma distância aparente de 1,0 m abaixo da superfície da água, e uma pessoa observando de cima da superfície a 1,50 m, qual é a distância real do peixe do ponto de vista do observador?

Resolução - Utilizando a Eq. (A.7) tem-se que $d_{real} = 1,0 \text{ m} \frac{1,33}{1} = 1,33 \text{ m}$, da superfície. Logo para o observador deve-se adicionar a essa quantidade a altura em que seus olhos está situado 1,50m, portanto a 2,83 m.

Há também o ângulo limite θ_L da qual ocorre a reflexão total da luz, e isso ocorre quando $\theta_r = 90^\circ$. Obtendo que $n = \frac{1}{\text{sen } \theta_L}$ e reescrevendo-a:

$$\theta_L = \text{arc sen} \left(\frac{1}{n} \right). \quad (A. 9)$$

⁵⁰ **Fonte:** Adaptado da ref. CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>.

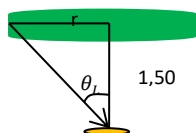
Exemplo A.4²⁰ - Qual o ângulo limite para que um pescador não visualize um peixe a uma profundidade de 1,50 m, escondido centralizado embaixo de uma vitória-régia? E qual deve ser o raio da vitória-régia?

Resolução: que o ângulo limite é dado pela Eq. (A.9):

Desenho ilustrativo da relação entre o ângulo limite e o raio da vitória-régia.

$$\theta_L = \text{arc sen} \left(\frac{1}{1,33} \right) = 48,8^\circ .$$

$$\text{tg} (48,8) = \frac{r}{1,50} \Rightarrow r = 1,71 \text{ m}.$$



Na próxima seção, apresenta-se o tema e conteúdo sobre lentes no contexto da Óptica Geométrica.

A.4 LENTES

As lentes são dispositivos ópticos transparentes que funcionam com a propriedade da refração da luz. As mais comuns são: esféricas e do tipo convergentes ou divergentes; cilíndricas. O material de sua confecção varia: o mais comum sendo a de vidro/cristal (como as lentes de Layard que eram cristais utilizados como lentes a 721 a.C.), acrílico, policarbonato e resina.

As lentes esféricas caracterizam-se por apresentarem bordas espessas ou finas. São úteis comercialmente em óculos⁵¹ para a correção de anomalias visuais, máquinas fotográficas, telescópio, filmadoras, binóculos, projetores etc. São convergentes quando direcionam a luz para um único ponto, como o caso de óculos e lupas usados para corrigir problemas visuais como a hipermetropia. E, divergentes, quando necessita expandir um feixe de luz ou expandindo o campo visual, cobrir um grande ambiente, como o caso dos olhos mágicos instalados em portas ou lentes de óculos para correção de miopia. No caso de astigmatismo também é utilizada a lente chamada de tórica ou cilíndrica, e não será teoricamente aqui explorado.

⁵¹ O primeiro óculos surgiu no ano I d. C., primeiramente constituídos com um só aro, e sendo que os constituídos de 2 aros de acordo com fatos históricos foi inventado na Alemanha em 1270 e Itália 1280. A citação do uso da palavra óculos, é registrado em 1289, na Itália pela Família Popozo. O aparecimento das hastes para apoio nas orelhas aconteceu o século XVII. Já os bifocais devemos a Benjamim Frankilin quem inventou em 1785, atualmente chamados de multifocais. A produção e indicação por oftalmologistas iniciou em meados dos anos 1800. No Brasil trazido pelos Portugueses, iniciou se a indicação no século XVI. Fonte:< <https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/quem-inventou-os-oculos.html>> Acesso: 25/09/2018.



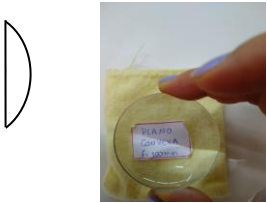
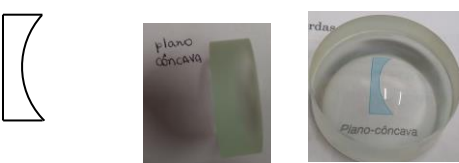
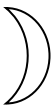

A.4.1 Tipos de Lentes Esféricas

Os tipos de lentes são classificados em Convergentes e Divergentes. Nas Figuras A.26 (a) a (f) estão apresentadas o desenho esquemático de cada uma delas e na maioria está também uma imagem fotográfica da lente e seu efeito. Segue a descrição de cada uma delas.

- 1) Convergentes (positivas) – as bordas são mais finas que o centro, e são dos tipos:
 - Biconvexa: duas partes convexas – Figura A.26 (a);
 - Plano-Convexa: um lado convexo e outro plano – Figura A.26 (b);
 - Côncavo-Convexa: um lado côncavo e outro convexo – Figura A.26 (c).

- 2) Divergentes (negativas) – se o centro é mais fino que as bordas e são dos tipos:
 - Bicôncava: 2 lados côncavas – Figura A.26 (d);
 - Plano-Côncava: 1 lado côncavo e outro plano – Figura A.26 (e);
 - Convexo-Côncava: 1 lado convexo e outro côncavo - Figura A.26 (f).

Figura A.26 – Desenhos ilustrativos dos formatos dos tipos de lentes convexas e fotos: (a) biconvexa; (b) Plano-convexa e (c) côncavo-convexa e as lentes côncavas: (d) bicôncavas; (e) plano-côncava – de lado e na horizontal e a (f) convexo- côncava.

Lentes Convexas		Lentes Côncavas	
(a)		(d)	
(b)		(e)	
(c)		(f)	

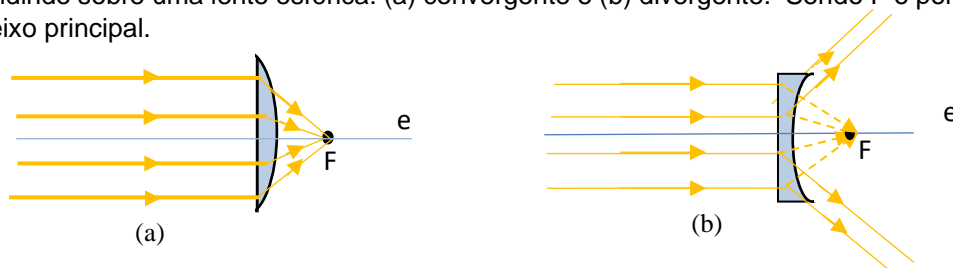
Fonte: elaborado pelo autor baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016). As imagens foram cedidas por H. Mukai registradas com lentes do lab. de Física Experimental IV do DFI/UEM.

1.4.2 Comportamento Óptico

Ao incidir em uma lente um feixe de luz paralelo ao seu eixo principal, de acordo com sua refração e o tipo da lente, os raios convergem ou divergem:

- Lentes convergentes: são aquelas que aproximam os raios de luz que incidem sobre elas em um único ponto (foco) (Figura A.27 (a)).
- Lentes divergentes: são aquelas que sofrem dupla refração e divergem os raios de luz que incidem sobre elas (Figura A.27 (b)).

Figura A.27 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica: (a) convergente e (b) divergente. Sendo F o ponto focal, e em azul o eixo principal.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

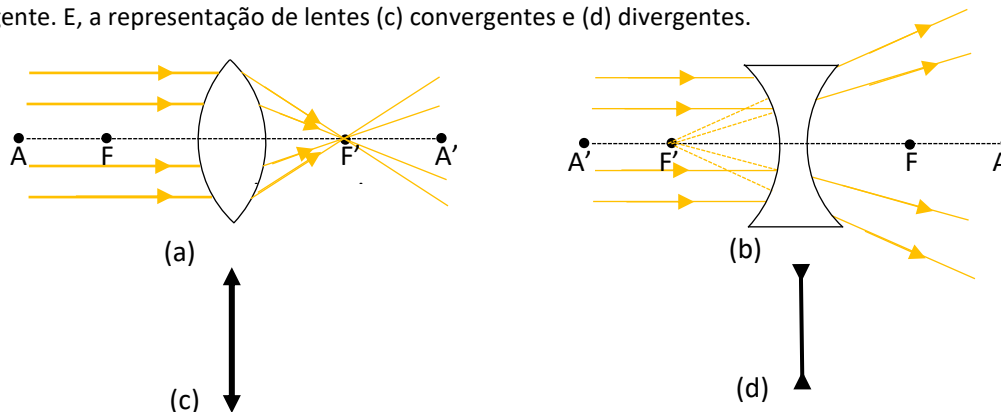
A.4.3 Distância Focal de Uma Lente

Nas Figuras A.28 (a) e (b), sobre o eixo principal estão os seguintes pontos:

- Foco (F ou F') é definido como qualquer ponto para o qual diverge ou converge um feixe de luz. A distância focal (f) é a medida do centro óptico até o foco (F ou F') da lente. Esta medida representa a metade da medida do centro da curvatura da lente.
- O ponto antiprincipal (A ou A') refere-se à medida equivalente a $2f$, ou seja, duas vezes a distância entre a medida do foco da lente (F ou F') até a lente.

As Figuras A.28 (c) e (d) é a representação de lentes convergentes e divergentes, respectivamente.

Figura A.28 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica sendo A e A' os pontos antiprincipal e F e F' os focos de lente: (a) convergente e (b) divergente. E, a representação de lentes (c) convergentes e (d) divergentes.



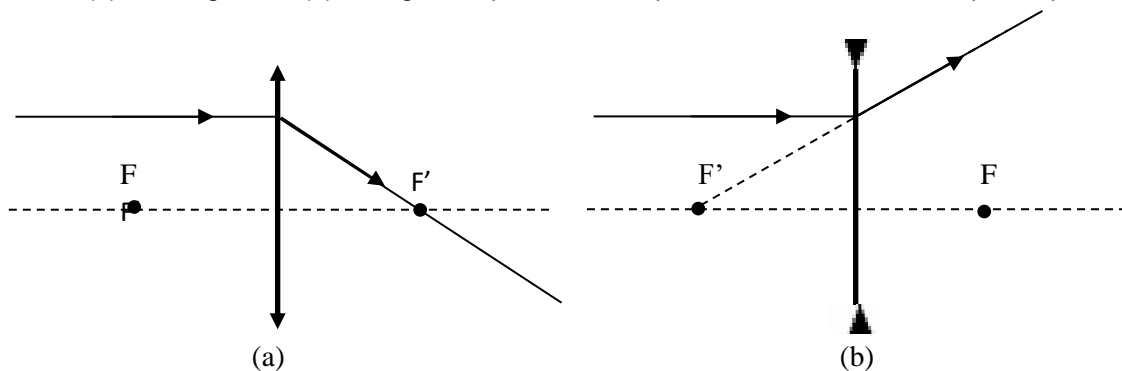
Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

A.4.4 Propriedades das Lentes Esféricas

De acordo com a incidência do raio de luz em uma das faces da lente, ele sofrerá refração e emerge na outra face conforme as características a seguir:

- Para um raio incidente paralelo ao eixo principal em uma lente convergente, este emerge na direção do foco principal imagem F' . Em uma lente divergente, este diverge a partir do foco principal imagem F' , Figura A.29 (a) e (b).

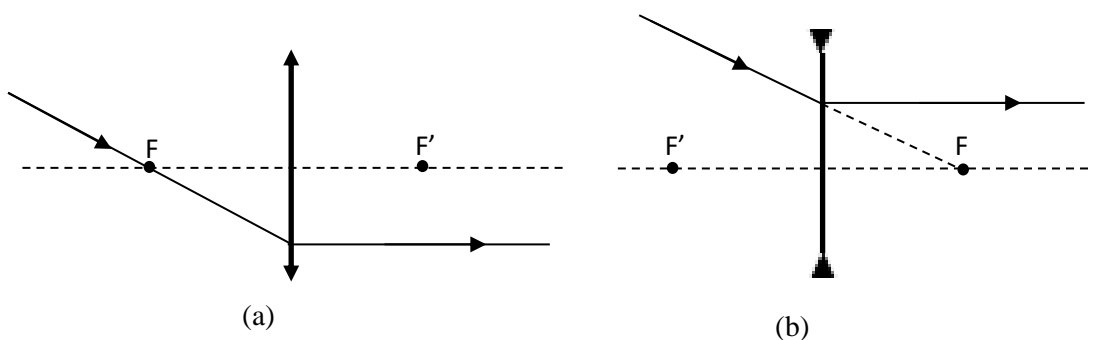
Figura A.29 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente, (a) convergente e (b) divergente, quando incide paralelamente na mesma, passa pelo foco F' .



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Um raio de luz incidente na direção do foco principal F emerge paralelo ao eixo principal, Figura A.30 (a) e (b).

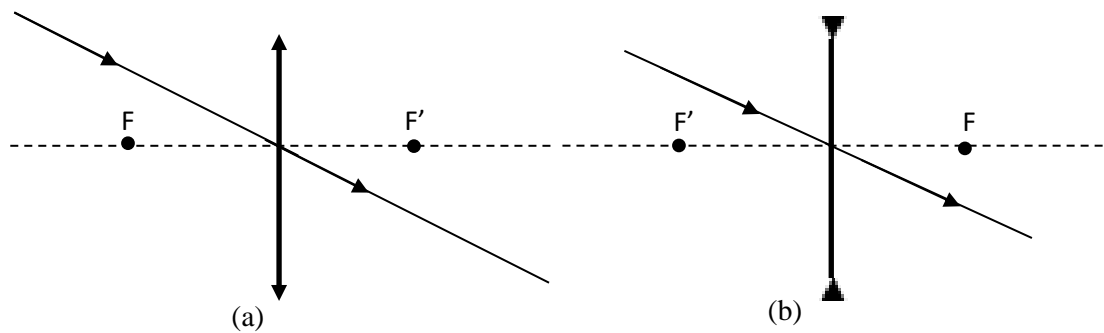
Figura A.30 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente: (a) convergente e (b) divergente, quando incide na direção do foco F .



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Um raio de luz incidente na direção do centro óptico emerge sem sofrer desvios conforme ilustrado nas Figuras A.31 (a) e (b).

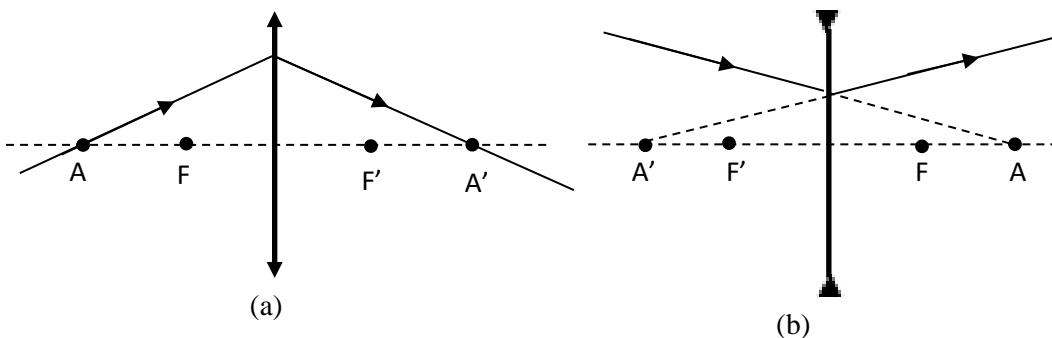
Figura A31 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente convergente (a) e divergente (b) quando incide na direção do centro óptico.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

- As Figuras A.32 (a) e (b) ilustram o comportamento de um raio de luz incidente na direção do ponto antiprincipal objeto A em uma lente, emerge na direção do ponto antiprincipal imagem A'.

Figura A.32 - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente (a) convergente e (b) divergente, quando emerge do ponto antiprincipal (A e A'). Sendo, F e F' os pontos focais.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

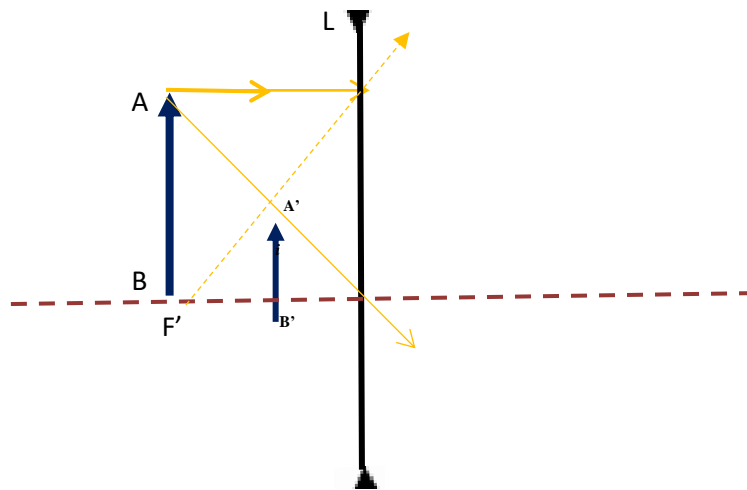
A.4.5 Construção Geométrica de Imagens

Nesta subseção apresentam-se a construção geométrica de imagens de tamanho $\overline{A'B'}$ em lentes divergentes e convergentes, para um objeto extenso de tamanho \overline{AB} . Sendo um tipo de representação para as lentes divergentes e cinco tipos para as lentes convergentes.

A.4.5.1 Lentes Divergentes

Independentemente da posição do objeto (O), sendo \overline{AB} a sua altura e colocado diante de uma **lente L divergente**, teremos um único tipo de imagem (i) com $\overline{A'B'}$ de altura e suas características serão: **virtual, direita e menor** que o objeto, Figura A.33.

Figura A.33 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear (\overline{AB}) colocado diante de uma lente esférica divergente (L), cuja imagem é a $\overline{A'B'}$.

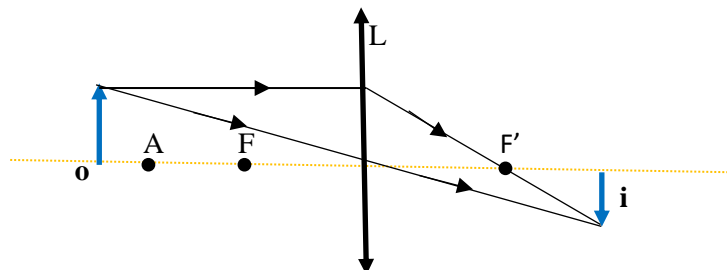


Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

A.4.5.2 Lentes Convergentes

- Para o objeto O posicionado à esquerda da lente L , antes do ponto antiprincipal objeto A , sua imagem i formada será: real, invertida e menor, Figura A.34.

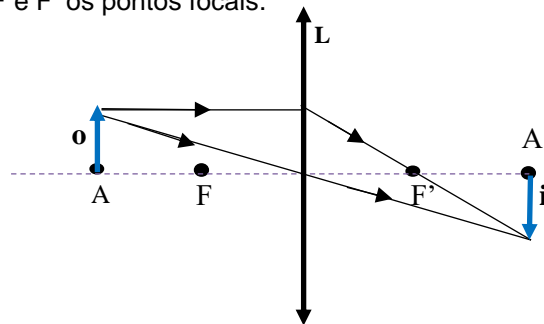
Figura A.34 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear posicionado antes do ponto antiprincipal objeto A . Sendo L a lente convergente.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Para o objeto O posicionado no ponto antiprincipal objeto A , a imagem i será: real, invertida e igual ao objeto, formada sobre o ponto antiprincipal imagem A' - Figura A.35.

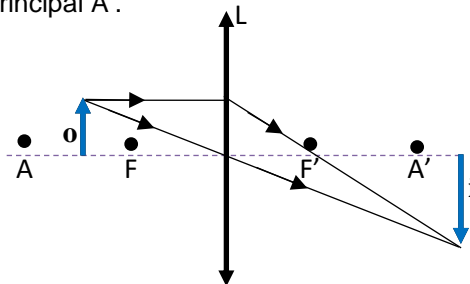
Figura A.35 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico (O) de um objeto linear posicionado no ponto antiprincipal objeto A e a imagem i formada no ponto antiprincipal A' . Sendo L a lente convergente, e F e F' os pontos focais.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2006).

- Para o objeto O , posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F , a imagem i se formará após o ponto antiprincipal A' e será: real, invertida e maior que o objeto, Figura A.36

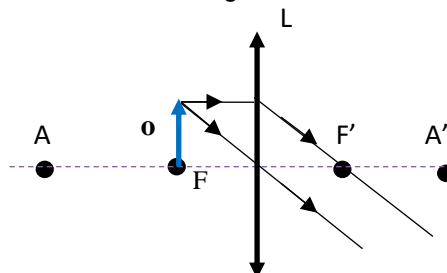
Figura A.36 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco F . Sendo L a lente convergente e i a imagem invertida, maior e após o ponto antiprincipal A' .



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2006).

- Para o objeto O posicionado sobre o foco objeto F , a imagem i será: imprópria, se forma no infinito, (Figura A.37).

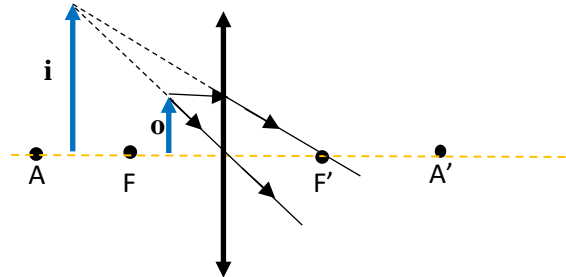
Figura A.37 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear (O) posicionado sobre o foco F . A imagem i será formada no infinito. A e A' são os pontos antiprincipais objeto e imagem respectivamente, e F' o foco imagem.



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2006).

- Para o objeto O posicionado entre o foco F e o centro óptico, a imagem i será: virtual, direita e maior que o objeto, conforme indicado na Figura A.38.

Figura A.38 - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica. O objeto (O), posicionado entre F e a lente, a imagem (i) se forma entre o foco (F) e o ponto antiprincipal (A).



Fonte: baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2006).

Apresentado como se formam as imagens em lentes esféricas convergentes e divergentes, na próxima seção será apresentada os principais aspectos do globo ocular, suas anomalias e explorar como a imagem se forma no olho humano.

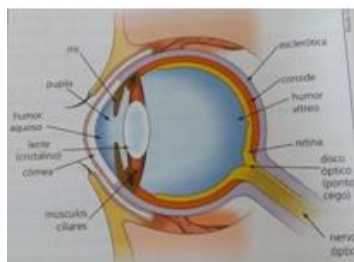
A.5 Formação de Imagem no Olho Humano

Nesta seção apresentar-se-á a estrutura do globo ocular e algumas anomalias da visão. Bem como alguns tipos de lentes esféricas utilizados em sua correção.

A.5.1 O Olho Humano

O motivo da apresentação desta subseção é devido no PE umas das propostas experimentais ter sido a da construção de um protótipo de olho humano e a observação da formação da imagem no mesmo, logo, uma aplicação da compreensão da formação de imagens em lentes com fatos do cotidiano. A estrutura do globo ocular possui um formato praticamente esférico. Os olhos estão alojados em cavidades orbitais da face e apresentando da parte externa para o sentido da cavidade (Yamamoto e Fuke, 2016), e é composto por (Figura A.39).

Figura A.39 - Imagem esquemática ilustrando um olho humano, seus elementos estão sem proporção entre si e suas cores são ilustrativas.



Fonte: Adaptado da ref. (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

- Córnea: membrana transparente localizada à frente da íris.
- Íris: parte colorida do olho tem como principal função controlar os níveis e luz que entra nos olhos, similar ao diafragma de uma câmera fotográfica.
- Pupila: é a abertura central da íris, de acordo com a luminosidade ambiente, varia o seu diâmetro, controlando a entrada de luz nos olhos.
- Humor aquoso: líquido transparente que regula a pressão da membrana intraocular.
- Cristalino: estrutura transparente com formato de lente biconvexa funciona como uma lente sendo capaz de aumentar o grau, para focalizar imagens.
- Músculos ciliares: sua função é sustentar o cristalino e modificar seus raios de curvatura.

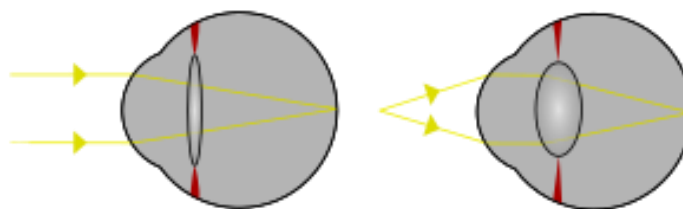
Parte posterior:

- Esclerótica: membrana opaca que reveste quase todo o globo ocular.
- Coroide: situa-se entre a esclerótica e a retina, sua função é servir como um canal de nutrição da retina.
- Humor vítreo: substância incolor, transparente e gelatinosa, sua função é manter a forma esférica do olho.
- Retina: camada de natureza nervosa, sensível à luz, ligado ao nervo óptico.
- Disco óptico: região de convergência das fibras nervosas que compõe o nervo óptico e a retina.
- Nervo óptico: conjunto de estrutura cuja função é transmitir as sensações luminosas ao cérebro.

1.5.2 Formação de Imagem

A imagem é formada no fundo dos olhos (sobre a retina), e a forma como os olhos focam a luz está ilustrada na Figura A.40 (a) quando a luz chega paralela e, (b) de um único ponto.

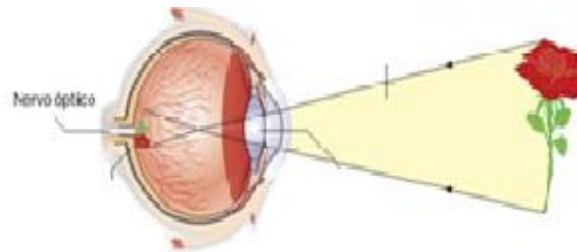
Figura A.40 – Figura ilustrativa de como os olhos focam a luz: (a) paralelos e de (b) um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.



Fonte: Adaptado da ref. Wikipedia_olho: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Olho>> .

A imagem é normalmente: **real, invertida e menor que o objeto** (Figura A.40) e formada sobre a retina após passar pelo cristalino que funciona como uma lente biconvexa.

Figura A.41 – Ilustração da formação de imagem no olho humano.



Fonte: Adaptado da ref. explicatorium_olho humano < <http://www.explicatorium.com/cfq-8/olho-humano.html>> , acesso 10/10/2019.

1.5.3 Acomodação Visual

Acomodação visual é a variação da distância focal para obter imagens nítidas.

- A mínima distância da visão para que uma pessoa possa ver, é denominada **campo mínimo visual**, nestas condições, os nervos ciliares estão contraídos ao máximo.
- A máxima distância possível da visão para que uma pessoa possa ver, denominada **campo máximo visual**, nestas condições, os músculos ciliares estão totalmente relaxados.

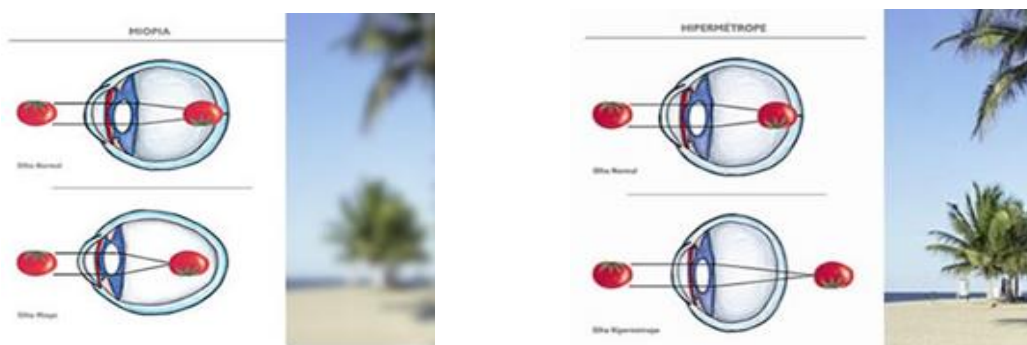
A.5.4 Anomalias da Visão e Tipos de Lentes para Correção

Citam-se as sete anomalias mais conhecidas, onde se forma a imagem, o motivo e como se corrige quando possível por meio de lentes:

Miopia: achatamento do globo ocular, perpendicularmente ao seu eixo óptico, o globo ocular é alongado. A imagem se forma “atrás” da retina, Figura A.42 (a). Correção: uso de lentes divergentes, no caso a bicôncava.

Hipermetropia: achatamento do globo ocular, longitudinal ao seu próprio eixo, o olho é encurtado (Figura A.42 (b)). Correção: Lentes convergentes, a biconvexa, esta fará com que a imagem se forme sobre a retina.

Figura A.42 – Imagem ilustrativa de como se forma a imagem para (a) um olho normal e um míope e como o míope visualiza uma imagem longe embaçado como apresentado, e perto nítido e (b) um olho normal e outro com hipermetropia, enxerga nítido a longa distância e embaçado perto.



Fonte: Adaptado da ref. Brasil escola <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.html>>, acesso: 11/10/2019.

Presbiopia: conhecida popularmente de vista cansada, é o endurecimento do cristalino do olho e, por conseguinte, tem a perda da capacidade da acomodação visual. A imagem de forma atrás da retina. Com isso dificulta enxergar de perto. **Correção:** uso de lentes convergentes, assim como a hipermetropia.

Astigmatismo: anomalia na córnea, com raios de curvatura irregulares, o que ocasiona uma visão manchada (sem foco) dos objetos. A **correção** é feita utilizando-se lentes cilíndricas.

Estrabismo: incapacidade de dirigir para um mesmo ponto os eixos ópticos dos olhos; Uso de lentes prismáticas, e dependendo do caso podem ser corrigidas por meio de exercícios visuais.

Catarata: perda de transparência do cristalino do olho, que se torna opaco. Resolvido com cirurgia substituindo o cristalino por uma lente.

Daltonismo: defeito de causas genéticas que impede a percepção de algumas ou todas as cores.

REFERÊNCIAS

BONJORNO, C.; PRADO, E. C.. Componente curricular: Física. Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano. -- 2. ed. -- São Paulo: FTD, 2013.

BONJORNO, R. A.; BONJORNO, J. R.; BONJORNO V.; RAMOS, C. M.. **Física Completa – Volume único**; ensino médio / -- 2. ed -- São Paulo: FTD, 2001.

EDUCABRAS, ESPELHOS ESFÉRICOS - ESPELHO ESFÉRICO DE GAUSS, 2018, Disponível em: <https://www.educabras.com/vestibular/materia/fisica/optica/aulas/espelhos_esfericos_espelho_esferico_de_gauss> . Acessado em 25/09/2019.

ESCOLA DE EDUCAÇÃO BÁSICA PROF. JOSÉ ARANTES, **Experimentos de Física – 2. Reflexão da Luz - “Pente reflexivo”** – 2009. Disponível em: <<http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/2-reflexao-da-luz.html>>. Acesso em 01 de janeiro de 2017.

FIGUEIREDO, O. S.. Além do Arco íris, 2019. disponível no site: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/curiosidades-2/arco-iris/>> Acessado em 25 de setembro de 2019.

FRAGNITO H. L. e COSTA, A. C., Dispersão da Luz por um Prisma, Unicamp – IFGW, Janeiro 2010. Disponível em <<https://sites.ifi.unicamp.br/hugo/files/2013/12/prism.pdf>>. Acessado em 25 de setembro de 2019.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. , WALKER, J., **Fundamentos de Física, volume 4: Óptica e Física moderna** - tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

iGUi ECOLOGIA, Como os arco Iris são formados, 2018. Disponível em: <<https://www.iguiecologia.com/como-os-arco-iris-sao-formados/>>. Acessado em 25/09/2019.

MOURA, B. A., Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias, para a luz, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 1, p. 111-141, abr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p111>

NUSSENZVEIG, H. M.. Curso de Física Básica – Vol.4 - **Ótica, Relatividade e Física Quântica** – 1ª edição – São Paulo: Editora Blücher, 1998.

SANTOS, M. A.. Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos. 133 fs. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016.

WIKIPEDIA_ARCO IRIS, Arco-Íris, < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arco-%C3%ADris>>. Acessado em 02/0/2019

WIKIPEDIA_DISCO DE NEWTON, Disco de Newton, <https://pt.wikipedia.org/wiki/Disco_de_Newton>; acessado em 25/08/2019;

YAMAMOTO, K., FUKUE, L. F., **Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória** - 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.