



**CONFECÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA
CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA PARA
O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO**

Marco Aurélio Duque de Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda.

Recife

2020

**CONFECÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA
CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA PARA
O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO**

Marco Aurélio Duque de Lima

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Pólo 58, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda (DF-UFRPE)
Presidente

Dr. Michael Lee Sundheimer (DF-UFRPE)
Membro Titular Interno

Dr. Pedro Hugo de Figueiredo (DF-UFRPE)
Membro Titular Externo

Recife
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L732c Lima, Marco Aurélio Duque de
 Confecção de lentes esféricas por intermédio de uma cortadora CNC laser: uma aplicação de metodologia ativa para o estudo da Óptica Geométrica no ensino médio / Marco Aurélio Duque de Lima. - 2020.
 139 f. : il.
- Orientador: Antonio Carlos da Silva
 Miranda. Inclui referências e apêndice(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, 2020.
1. Metodologias ativas em ensino de Física. 2. Física experimental. 3. Óptica Geométrica. I. Miranda, Antonio Carlos da Silva, orient. II. Título

CDD 530

Dedico esse trabalho a Deus, a minha esposa Kalina e a toda minha família.

Agradecimentos

Agradeço, antes de tudo, a Deus, pelo dom da vida e por tudo que Ele é. Agradeço também à minha amada esposa Kalina, por todo o companheirismo, dedicação e por estar sempre ao meu lado, me incentivando e me encorajando a romper limites que, por muitas vezes, parecem intransponíveis.

Quero também render meus agradecimentos aos meus pais Argemiro de Lima (*in memorian*) e Joana Duque de Lima (*in memorian*), por todo amor e dedicação que dispensaram a mim, me oferecendo condições de estudar e me tornar um homem de caráter.

Agradeço também aos meus companheiros de turma do mestrado, em especial ao meu amigo e irmão Salatiel Souza, por sempre estar presente, tanto em momentos bons quanto em momentos difíceis da minha vida. Obrigado, meu grande amigo.

Registro também meus sinceros agradecimentos à minha enteada Mariana Almeida Lins, aos amigos Ítalo Rodrigo, Albino Dantas e Matheus Freitas, assim como à Escola Conecta e aos alunos que participaram da aplicação do produto educacional, pela imensurável contribuição que me deram na realização desse trabalho.

Agradeço a todos os professores do MNPEF/UFRPE, pólo 58, pelas imensas contribuições que acrescentaram na minha formação acadêmica, profissional e humana. Em especial, agradeço ao meu orientador, o professor Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda, por ter acreditado e confiado no meu trabalho, além de todas as orientações e palavras de encorajamento.

Por fim, gostaria de agradecer à Sociedade Brasileira de Física, que oportunizou a realização desse mestrado, acrescentando não só a mim, mas a tantos outros colegas espalhados pelo Brasil, uma extensão no currículo, nos proporcionando, com isso, a oportunidade de alçar novos vãos e também poder servir melhor à sociedade.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001”.

CONFEÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA PARA O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO

Marco Aurélio Duque de Lima

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Pólo 58, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Resumo

Esta pesquisa surgiu da necessidade que sentimos, ao longo de mais de duas décadas de atuação na linha de frente da educação, ministrando aulas de Física a estudantes de diferentes faixas etárias, de diferentes níveis cognitivos e sociais, de haver um caráter mais experimental na realização dessas aulas. Com isso, o objetivo desse produto educacional é oferecer uma ferramenta aos docentes da área de Física, a fim de que os mesmos possam aproveitar os avanços tecnológicos que a cada dia mais são inseridos no seio da comunidade educacional. Esse produto educacional traz uma sequência didática que, ancorada nos pensamentos de David Ausubel, valoriza os conhecimentos prévios que os estudantes possuem e proporciona ao docente elementos que podem favorecer o avanço desses conhecimentos, consolidando, assim, uma aprendizagem mais significativa. Nessa sequência didática, cabe aos estudantes elaborar e confeccionar lentes esféricas através de um programa computacional chamado RD WORKS, uma cortadora CNC laser e uma placa de acrílico. Com as lentes confeccionadas, são realizados experimentos, medições e cálculos de distância focal e índice de refração do material que compõe a lente. Com base nas respostas dos estudantes ao pré-teste e ao pós-teste, observamos que houve um significativo progresso no que tange ao conhecimento das lentes esféricas, além de notarmos também que aconteceu um maior interesse pelas aulas e um aguçamento do senso crítico e investigativo, que acreditamos ser de suma importância para o estudo das ciências.

Palavras-chave: Metodologias ativas em ensino de Física. Física experimental. Óptica geométrica.

Abstract

MAKING SPHERICAL LENSES USING A CNC LASER CUTTER: AN APPLICATION OF ACTIVE METHODOLOGY FOR STUDYING GEOMETRIC OPTICS IN HIGH SCHOOL

Marco Aurélio Duque de Lima

Advisor: Prof. PhD. Antonio Carlos da Silva Miranda

Masters Dissertation submitted to the “Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 58”, in the “Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física” (MNPEF), as part of the necessary requirements in the achievement of the Physics Teaching Master’s Degree.

This research arose from the need we felt, over more than two decades of acting in the front line of education, teaching Physics classes to students of different age groups, of different cognitive and social levels, to have a more experimental character in the realization of these classes. Hence, the objective of this educational product is to offer a tool to teachers in the area of Physics, so that they can take advantage of the technological advances that are increasingly inserted within the educational community. This educational product brings a didactic sequence that, anchored in the thoughts of David Ausubel, values the previous knowledge that students have and provides the teacher with elements that can favor the advancement of this knowledge, thus consolidating a more significant learning. In this didactic sequence, it is up to the students to elaborate and make spherical lenses through a computer program called RD WORKS, a CNC laser cutter and an acrylic plate. With the lenses made, experiments, measurements and calculations of focal length and refractive index of the lens material are performed. Based on responses by students to pre and post-tests, we observed that there has been significant progress in terms of knowledge of spherical lenses, in addition to noting that there has been greater interest in classes and a sharpening of the critical and investigative sense, which we believe is of paramount importance for the study of science.

Key-words: Active methodologies in Physics teaching. Experimental Physics. Geometric optics.

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. O Ensino de Física e a Aprendizagem Significativa	15
2.1 Filosofias educacionais e a prática docente.....	15
2.2 Fundamentando a aprendizagem significativa	18
3. Fundamentação Física	22
3.1 Óptica: Conceitos e classificações	22
3.2. Introdução à óptica geométrica	22
3.3. A Refração da luz.....	23
3.3.1. Conceito e implicações	23
3.3.2. Índice de refração de um meio	24
3.3.3. As leis da refração luminosa	25
3.3.4. Ângulo crítico e reflexão interna total	27
3.4. Lentes esféricas.....	28
3.4.1. Conceito.....	28
3.4.2. Classificação das lentes esféricas.....	29
3.4.3. Elementos principais de uma lente esférica	30
3.4.4. Raios luminosos particulares	32
3.4.5 Construção geométrica e características das imagens formadas.....	32
3.4.6. Estudo analítico das lentes esféricas. A equação de Gauss e o aumento linear transversal	35
3.4.7. Equação de Halley	39
4. Metodologia.....	42
4.1 A descrição do produto educacional	42
4.2 A Aplicação do produto educacional	50
5. Resultados e Discussões	60
6. Considerações Finais	74
7. Referências Bibliográficas	78
8. Apêndices.....	81
8.1 Apêndice A – Formulário de pré-teste.....	81

8.2. Apêndice B – Formulário de pós-teste	84
8.3. Apêndice C – Formulário de experimento.....	88
8.4. Apêndice D – O produto educacional.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aprendizagem significativa x aprendizagem mecânica	19
Figura 2: Exemplo de uma luz monocromática e de uma luz policromática.....	24
Figura 3: Exemplo de continuidade óptica	25
Figura 4: Ilustração de uma refração ocorrida pela luz ao atravessar dois meios	26
Figura 5: Refração e reflexão total ocorrida entre a água e o ar.....	27
Figura 6: Ilustrações de lentes de bordas finas e de bordas grossas	29
Figura 7: Raios de luz apresentando comportamentos convergentes e divergentes ao atravessarem lentes diferentes	30
Figura 8: Raios de luz atravessando uma lente pelo centro óptico.....	31
Figura 9: Ponto focal em uma lente convergente e ponto focal em uma lente divergente ...	31
Figura 10: Imagem virtual formada numa lente esférica divergente	33
Figura 11: Formação de uma imagem para um objeto localizado antes do ponto antiprincipal	33
Figura 12: Imagem formada de um objeto localizado sobre o ponto antiprincipal.....	34
Figura 13: Imagem formada de um objeto localizado entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto da lente	34
Figura 14: Imagem imprópria de um objeto localizado sobre o foco principal objeto da lente	35
Figura 15: Imagem imprópria de um objeto localizado sobre o foco principal objeto da lente	35
Figura 16: Lente biconvexa.....	36
Figura 17: Objeto e imagem formada em uma lente convergente	38
Figura 18: Objeto e imagem formada numa lente convergente	39
Figura 19: Raios de curvatura das faces de uma lente biconvexa.....	40
Figura 20: Canetas laser.....	44
Figura 21: Software RD WORKS.....	44
Figura 22: Cortadora CNC laser.....	44
Figura 23: Corte da placa de acrílico.....	44
Figura 24: Alunos respondendo ao pré-teste	51
Figura 25: Estudantes projetando as lentes no software computacional	52
Figura 26: Alunos acompanhando o processo de confecção das lentes na cortadora a laser	52
Figura 27: Conjunto de lentes confeccionadas por cada grupo	53
Figura 28: Estudantes aplicando o experimento em lentes convergentes	54
Figura 29: Estudante marcando o ponto focal da lente no papel milimetrado.....	55

Figura 30: Estudantes usando réguas para achar o ponto focal virtual da lente.....	56
Figura 31: Estudante calculando o índice de refração no formulário de experimento	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Porcentagem de erros e acertos das seis perguntas do pré-teste	64
Gráfico 2: Gráficos mostrando a porcentagem de erros e acertos das seis primeiras perguntas do pós-teste	70

1. Introdução

Na presente dissertação, buscamos desenvolver e fundamentar a construção de um produto educacional, cuja finalidade é tornar mais eficiente e significativo o processo de ensino-aprendizagem. Para tanto, este estudo comporta os pressupostos epistêmicos da teoria da aprendizagem significativa, elaborada por David Ausubel (1968), e da aprendizagem significativa crítica, desenvolvida por Marco Antônio Moreira (2011), ambas passíveis de respaldar uma pedagogia ativa e sua tão necessária efetivação prática.

Nesse sentido, o estudo ora apresentado versa sobre a construção de uma sequência didática e de um produto educacional, elaborados com o fim de elucidar e, por conseguinte, facilitar o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem do aluno. Objetivamos, desse modo, mitigar o hiato existente entre as práticas pedagógicas vigentes e a assimilação de conceitos físicos, principalmente no tocante às lentes esféricas, a fim de contribuir para compreensão do conteúdo abordado.

O ponto de partida de nossa análise é resultado de um primeiro esforço em sistematizar, a partir e estimulado pelas inquietações provocadas pela tarefa diária de ser um professor, os desafios da prática docente, bem como, entre tensões e ambiguidades, compreender a permanência e a transformação dos pressupostos de uma pedagogia de perspectiva tradicional.

Assim, o interesse pela temática surgiu como resultado da trajetória profissional adquirida ao longo dos anos e da identificação de alguns obstáculos referentes à prática docente, principalmente no tocante a um modelo de ensino referenciado na racionalidade técnica e na aprendizagem por repetição.

Para Rosa e Schnetzler (2003), a hegemonia da racionalidade técnica nas práticas pedagógicas configurou-se como uma tradição fortemente arraigada na formação de professores. No entanto, segundo Silva (2004, pp. 54-55), “os professores e as professoras não podem ser vistos como técnicos e burocratas, mas como pessoas envolvidas nas atividades da crítica e do questionamento, a serviço do processo de emancipação e libertação”.

Esse tipo de conduta, técnica, contrapõe-se ao pensamento freiriano, que atenta para a responsabilidade do professor em fornecer as bases para a construção do conhecimento, respeitando a singularidade de cada estudante (FREIRE, 2006). Não obstante, objetivando a superação de tais práticas, uma alternativa proposta por estudiosos da área foi a adoção de uma racionalidade dialógica, pautada no

estímulo à comunicação e à problematização da produção do conhecimento, evidenciando o aspecto político do processo de ensino-aprendizagem (FREIRE, 2001; HERMANN, 1999; MÜHL, 2003a, 2003b).

Considerando o acima exposto, observamos, ao analisar a literatura produzida sobre o tema, que existe atualmente um crescente número de trabalhos desenvolvidos no intuito de investigar a realidade do ensino da física moderna e contemporânea (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001; NARDI, 2009). Nesse sentido, os estudos de Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2009) e de Zanetic (2005) apontam que o ensino de física, se trabalhado de modo transdisciplinar, pode favorecer potencialmente a construção de uma educação “problematizadora” e socialmente comprometida.

Dessa forma, os objetivos da presente pesquisa encontram-se alinhados com a responsabilidade pedagógica de estimular o compromisso social presente nas práticas educacionais. Assim, buscamos: 1) elaborar uma sequência didática e um produto educacional; 2) construir estratégias de ensino e de prática docente que fomentem o desenvolvimento de uma pedagogia ativa; e 3) facilitar a assimilação dos conteúdos relacionados ao ensino de Física no tocante às lentes esféricas.

Sendo assim, o texto se desenvolve em três momentos. Primeiramente, buscamos contextualizar a emergência da pedagogia ativa, privilegiando a análise dos pressupostos epistemológicos e dos impactos dos paradigmas da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1968) e da aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2011), de maneira a explicitar as repercussões do primado de tais perspectivas conceituais na matriz disciplinar das ciências naturais.

No segundo momento, pretendemos fundamentar conceitualmente a construção de nosso produto educacional, através de um breve apanhado teórico, em particular no tocante ao campo da física referente às lentes esféricas, reconhecendo, de antemão, que tal tema não se esgota nos limites disciplinares aqui escolhidos, pelo contrário, é dotado de elevado potencial transdisciplinar à altura desta tão complexa área do conhecimento.

Por fim, nos propomos a descrever a construção do produto educacional aqui apresentado e sua posterior aplicação, bem como os resultados e as discussões por ele suscitado, a fim de contribuir para o desenvolvimento de recursos didáticos adequados à aprendizagem significativa e às práticas pedagógicas potencialmente participativas.

2. O Ensino de Física e a Aprendizagem Significativa

2.1 Filosofias educacionais e a prática docente

O ponto de partida de nossa análise apoia-se na tensão existente entre dois princípios epistemológicos que orientam a prática docente: a visão humanista e a visão tecnocrática (CHAKUR, 1995). De um lado, pressupostos teóricos e pedagógicos que valorizam e reconhecem os estudantes como sujeitos do processo de construção do conhecimento e os professores como facilitadores da aprendizagem. Do outro lado, condutas metodológicas guiadas pelas noções de competência e eficiência, objetivando suprimir uma pretensa ignorância por parte dos alunos, modelando seus comportamentos e estimulando a competição.

Nesse sentido, segundo Barroso (2018), uma das repercussões das práticas docentes orientadas por princípios tecnocráticos foi a dificuldade das instituições formais de ensino em auxiliarem efetivamente o ensino de ciências. Quanto a isso, é importante salientar que:

as competências maiores de um aluno no campo da Física estavam relacionadas à resolução de problemas numéricos em que a dificuldade não estava centrada no conceito Físico e, sim, nas relações matemáticas exigidas, nas operações efetuadas e na criatividade em desenvolver expressões algébricas para atingir resultados. Estas competências, ao serem desenvolvidas, propiciavam a criação de uma mentalidade pragmática em relação à Ciência [...] Além disso, a simples manipulação de equações sem o questionar/dialogar com a teoria Física associada não abre espaço para discussões mais elaboradas, não oportuniza o exercício da argumentação. Pelo contrário, em nome de uma suposta essencialidade de se aprender certas coisas, que na maioria servem apenas para brutalizar o aluno e, se possível, imbecilizar o futuro adulto, não abrem espaço para o essencial na educação. (D'AMBRÓSIO, 1994, p.14)

Diante desse contexto, foi necessário repensar a prática docente, principalmente no que tange ao ensino de física, a fim de implementar uma nova forma de abordagem, norteadas por princípios epistemológicos capazes de fundamentar a construção de uma aprendizagem reflexiva e significativa.

Segundo Melo (2013), esse cenário começa a ser transformado no ano de 1996, devido à aprovação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei 9394/96, que estabelece novos parâmetros curriculares e novas competências para o ensino. Os estudos de Ricardo (2005) apontam que:

um ensino por competências representa, dentro da nova legislação, uma possibilidade de superação do ensino de Física atualmente desenvolvido

nas escolas. Ou seja, quer libertar-se e transcender do ensino tradicional, recheado por conceitos, leis e fórmulas tratados de forma desarticulada em relação ao mundo vivido pelo aluno e pelo professor, com insistência na automatização em resolução de exercícios e na memorização. O que o documento aponta é para uma Física que contribua para a constituição de uma cultura científica no aluno, que lhe possibilite a compreensão de fatos e fenômenos naturais e a relação dinâmica do homem com a natureza. (RICARDO, 2005, p.31)

Nesse contexto, muitos autores, dentre eles Pereira (1999), Fanfani (2007) e Vaillant (2008), atentam para uma possível crise no tocante aos parâmetros que orientam a formação dos professores e sua consequente repercussão em sua prática docente. Assim, o termo crise, ora proposto, refere-se a fortes questionamentos quanto ao processo formativo, causado pela, entre outros fatores, inserção de novas demandas sociais imbricadas no processo de ensino-aprendizagem.

Não podemos falar de crise sem retomar as filosofias educacionais, humanista e tecnocrática, que orientam a práxis docente, uma vez que as mudanças sociais vivenciadas desde os anos 1980 solicitam, cada vez mais, uma “prática educativa contextualizada, atenta às especificidades do momento, à cultura local e ao alunado diverso em sua trajetória de vida e expectativas escolares” (GATTI, 2013, p. 53).

De acordo com Gatti (2013), no plano da atuação efetiva, escolas e professores que firmam o compromisso de construir uma educação verdadeiramente comprometida com a sociedade e com aprendizagens eficazes, educam seus alunos para além das competências e expectativas da vida escolar, preparando-os para exercer plenamente sua cidadania. Essa nova conjuntura social considera a educação como um direito humano e como um bem público, assim como o caminho para a construção de valores humanos. Para a autora:

o papel fundamental da escola é, pois, levar os estudantes a apreender/compreender conhecimentos já produzidos, ao mesmo tempo formando-os em valores para a vida humana. Ou seja, desenvolver ações pedagógicas que propiciem aprendizagens efetivas contribuindo para o desenvolvimento humano-social das crianças e jovens (GATTI, 2013, p. 54).

Isto posto, ponderando sobre o papel da formação escolar, Rodrigues (1991) considera o processo de socialização educacional como indispensável para a transformação de indivíduos em entes culturais, qualidade social inalienável. Esse fato nos leva a refletir sobre as demandas imbricadas nas práticas pedagógicas e,

por conseguinte, na formação dos profissionais que atuam em tal processo, visto que, para atingir o fim último da formação escolar, requer a elaboração e a articulação de formas didáticas capazes de fundamentar de modo eficaz aprendizagens verdadeiramente significativas em grupos heterogêneos de estudantes.

Para Gatti (2013, p. 54), as práticas educacionais possuem valor incomensurável no processo de ensino-aprendizagem, são os “meios pelos quais formamos as novas gerações abrindo-lhes possibilidades de avançar na construção do bem comum, de produzir recriações da cultura e da ciência”. Assim, a autora nos revela, também, que tais práticas se fundamentam em alguns fatores, sendo eles (GATTI, 2013, pp. 54-55):

- Domínio de conhecimentos: quer em áreas de especialidade, quer de natureza pedagógica;
- Sensibilidade cognitiva: capacidade ampliada pela visão dos conhecimentos em seus sentidos lógicos e sociais, em seus contextos, aliados à compreensão das situações de aprendizagem e dos que irão aprender;
- Capacidade de criar relacionamentos didáticos frutíferos: ter repertório para escolhas pedagógico-didáticas, saber lidar com as motivações e as formas de expressão das crianças e jovens;
- Condições de fazer emergir atitudes éticas entre interlocutores.

Dessa forma, a prática educacional transcende o saber memorizante da filosofia tecnocrática e se articula diretamente com a prática social e com a ação política. Segundo Alves (1992, p. 64), “é preciso assumir que a prática é espaço/tempo de surgimento de conhecimentos vitais e de criação, não só de reprodução. É, portanto, necessário dar à prática a dignidade de fato cultural, relevante para o desenvolvimento curricular pretendido”.

Em vista disso, no tópico subsequente, buscamos explicitar algumas teorias pedagógicas, a saber, a teoria da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1968) e a teoria da aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2011), a fim de estabelecer mediações e abordagens teóricas frutíferas à construção de nossa sequência didática e de nosso produto educacional.

2.2 Fundamentando a aprendizagem significativa

Para Carvalho e Sasseron (2018), quando falamos em “ensino de Física e a formação de professores”, intencionamos, em nossa fala, versar sobre os conteúdos programáticos e curriculares estabelecidos para a prática docente desta disciplina, negligenciando, muitas vezes, as relações que os alunos constroem com esse campo do conhecimento. Assim, as autoras reconhecem a inegável importância que o conteúdo disciplinar assume na prática docente, mas também sinalizam para a seriedade e relevância em *como* abordar tal conteúdo no processo de ensino-aprendizagem.

As autoras apontam, ainda, que essa mudança de enfoque demanda, por parte dos docentes, além do domínio dos temas da Física, o conhecimento dos temas de Didática e de Pedagogia, de forma a fundamentar e executar propostas eficazes de ensino dos temas específicos da disciplina.

Como exposto e fundamentado acima, reformas curriculares e crises epistêmicas evidenciaram a importância de repensar as práticas pedagógicas, a fim de que os estudantes sejam reconhecidos como sujeitos sociais e inseridos ativamente nas situações de ensino e na aprendizagem de ciências (MEC, 2017). Consonante a isso, os docentes precisam elaborar estratégias didáticas cujo propósito seja possibilitar a aproximação dos alunos dos conceitos e dos conteúdos disciplinares.

Assim, afastando-se das estratégias de ensino e dos materiais educativos orientados pela filosofia tecnocrática, David Ausubel (1968) propôs alguns pressupostos teóricos sobre a aprendizagem escolar, objetivando, com isso, fundamentar uma nova abordagem das práticas pedagógicas e a construção de uma aprendizagem verdadeiramente significativa. Nesse sentido, a aprendizagem significativa:

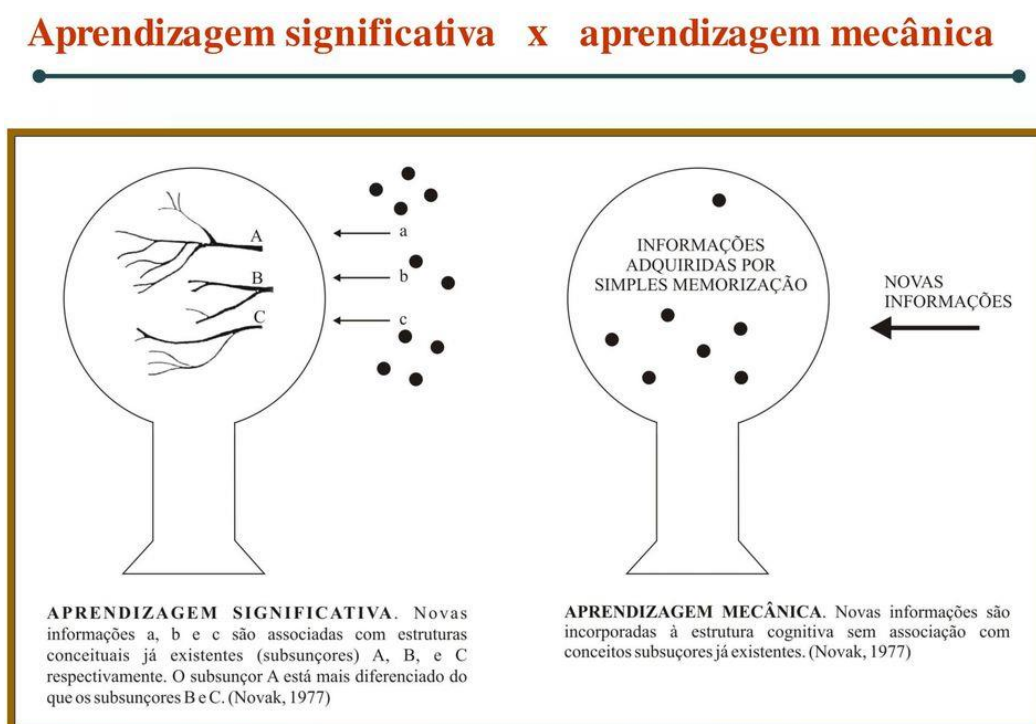
é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-litera) à estrutura cognitiva do aprendiz. É no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito. (MOREIRA; CABALLERO; RODRÍGUEZ, 1997, p. 19)

Dessa forma, o conteúdo disciplinar e as estratégias pedagógicas realizadas dentro da sala de aula devem unir-se aos conhecimentos pré-existentes dos alunos, promovendo e estimulando, com isso, a capacidade de articular conceitos e ideias

novas aos temas anteriormente assimilados, já estabelecidos com clareza e discernimento na estrutura cognitiva. Para Ausubel (et al., 1980, p. 160), “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos”.

Isso posto, é importante salientar que, com o intuito de construir uma aprendizagem significativa, o conteúdo assimilado deve relacionar-se de maneira não-arbitrária aos conhecimentos já existentes, subsunçores, na estrutura cognitiva. Assim, objetivando auxiliar a visualização dessa condicionante, apresentamos a figura a seguir:

Figura 1: Aprendizagem significativa x aprendizagem mecânica



Fonte: <<https://docplayer.com.br/14464370-Teoria-de-aprendizagem-de-david-ausubel-mapa-conceitual-e-diagrama-v.html>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

Portanto, quando um novo conteúdo é apresentado pedagogicamente através de um material potencialmente significativo e assimilado de maneira significativa, é possível, por conseguinte, afirmar que os alunos serão capazes de estabelecer relações e organizar hierarquicamente sua rede de conceitos e idéias (MOREIRA; CABALLERO; RODRÍGUEZ, 1997).

Efetivamente, buscamos, portanto, com o nosso produto educacional e com a sequência didática que o engloba, experimentar uma nova forma de abordagem pedagógica que contribua para o enriquecimento da estrutura cognitiva dos estudantes, entendendo-os como o ponto de partida de toda prática docente. Assim, no tocante à construção de recursos pedagógicos para dinamizar o processo de ensino-aprendizagem, observamos que:

Ao construirmos modelos exercita-se a capacidade criativa com objetivos que transcendem o próprio universo escolar. A busca de construir não apenas modelos, mas modelos que incrementem nossas formas de construir a realidade acrescentam uma mudança de qualidade ao conhecimento científico escolar. (PIETROCOLA, 1999, p.12)

Construir modelos de ensino capazes de ir ao encontro da realidade dos estudantes é uma mudança qualitativa no processo de ensino-aprendizagem, passível de promover o desenvolvimento de competências e habilidades conceituais e cognitivas de forma produtiva e agradável tanto para o educador quanto para o educando.

Contudo, para Moreira (2006, p. 11), adquirir conhecimentos de maneira significativa não deve ser o objetivo final das ações educativas, “é importante que a aprendizagem significativa seja também crítica, subversiva, antropológica. Quer dizer, na sociedade contemporânea não basta adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, é preciso adquiri-los criticamente”.

Para tanto, o docente deve guiar-se pelos princípios apresentados a seguir:

- Perguntas em vez de resposta (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas);
- Diversidade de materiais (abandono do material único);
- Aprendizagem pelo erro (é normal errar; aprende-se corrigindo os erros);
- Aluno como perceptor representador (o aluno representa tudo que percebe);
- Consciência semântica (o significado está nas pessoas, não nas palavras);
- Incerteza do conhecimento (o conhecimento humano é incerto, evolutivo);
- Desaprendizagem (às vezes o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico);
- Conhecimento como linguagem (tudo o que chamamos de conhecimento é linguagem);
- Diversidade de estratégias (abandono do quadro-de-giz).

Princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica.

Fonte: MOREIRA, 2006, p. 13.

O último princípio apresentado por Moreira (2006) é o que mais nos interessa aqui, pois se baseia no abandono de práticas educativas tradicionais, representadas simbolicamente no uso do quadro de giz, para a adoção e a diversificação de estratégias didáticas, assim como do estímulo à participação ativa dos estudantes em seu próprio processo de aprendizagem.

3. Fundamentação Física

3.1 A Óptica: Conceitos e classificações

Em seus estudos, os autores Halliday, Resnick e Walker (2016), ao se debruçarem sobre a óptica e suas relações com a Física, pontuam que:

um dos objetivos da física é descobrir as leis básicas que governam o comportamento da luz, como a lei de refração. Um objetivo mais amplo é encontrar aplicações práticas para essas leis; a aplicação mais importante é provavelmente a produção de imagens. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 105)

Ainda, conforme os autores supracitados:

as primeiras imagens fotográficas, produzidas em 1824, eram meras curiosidades, mas o mundo moderno não pode passar sem imagens. Grandes indústrias se dedicam à produção de imagens nas telas dos aparelhos de televisão, computadores e cinemas. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.105).

Como essa pesquisa, em particular, versa sobre o comportamento dos raios luminosos ao atravessarem os sistemas ópticos denominados de lentes esféricas, entendemos que é pertinente começar a fundamentação física trazendo uma abordagem sobre o conceito de óptica geométrica.

Segundo Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 296), a óptica, para efeitos didáticos, divide-se em:

- **Óptica geométrica** - estuda os fenômenos ópticos com enfoque nas trajetórias seguidas pela luz. Fundamenta-se na noção de raio de luz e nas leis que regulamentam seu comportamento.
- **Óptica física** - estuda os fenômenos ópticos que exigem uma teoria sobre a natureza constitutiva da luz.

3.2. Introdução à óptica geométrica

A óptica geométrica, além de analisar o comportamento dos raios luminosos ao se propagarem em certos meios, também estuda o comportamento desses raios ao incidirem em determinados objetos, mudando, assim, o meio de propagação. Cabe, ainda, ao estudo da óptica geométrica vivenciar fenômenos como reflexão,

refração, dispersão e, além disso, esmiuçar o comportamento dos raios de luz em alguns sistemas ópticos como espelhos, prismas e lentes.

As fontes luminosas são aquelas que emitem luz. Porém, vale salientar que nem sempre essas fontes emitem luz própria, podendo, assim, ser divididas em dois grupos, a saber: primárias, quando emitem luz própria; e secundárias, quando emitem luz proveniente de outras fontes. Nesse sentido, se a óptica geométrica trata do comportamento da trajetória da luz através de seus raios luminosos, faz-se necessário tecer uma definição para raios de luz. Para Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 298), o “raio de luz é uma linha orientada que tem origem na fonte de luz e é perpendicular às frentes de luz. Os raios de luz indicam a direção e o sentido de propagação da luz em um meio ou sistema”.

A óptica geométrica é regida por três princípios, que são: o princípio da independência dos raios luminosos, que afirma que um raio de luz não interfere na trajetória de outro raio de luz; o princípio da irreversibilidade dos raios de luz, que afirma que o sentido da trajetória de um raio de luz é reversível; e, por último, o princípio da propagação retilínea, que afirma que nos meios transparentes, homogêneos e isotrópos a luz se propaga em linha reta.

3.3. A Refração da luz

3.3.1. Conceito e implicações

Para dar continuidade a nossa fundamentação teórica acerca da óptica geométrica, trataremos agora do fenômeno denominado refração luminosa. Ramalho Júnior, Nicolau e Toledo (2015, p. 309) definem refração da luz “como a variação de velocidade sofrida pela luz ao passar de um meio de propagação para outro”. No estudo da refração, é importante salientar que as cores das luzes dependem da frequência da onda luminosa. No intervalo de frequências da luz visível, são detectadas as cores: vermelha, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Se todas essas cores forem emitidas ao mesmo tempo, haverá uma sensação da tonalidade branca. De acordo com Biscuola, Doca e Newton (2012), uma:

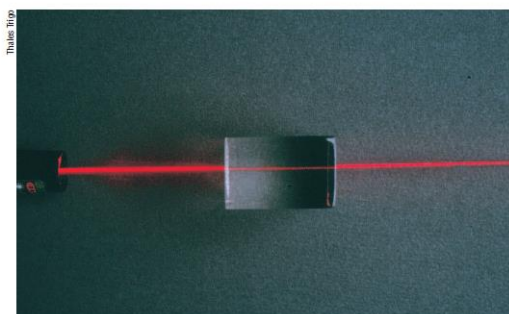
luz monocromática é aquela constituída de ondas eletromagnéticas de uma única frequência, ou seja, de uma única cor, enquanto que uma luz

policromática é aquela constituída de ondas eletromagnéticas de várias frequências distintas, ou seja, de várias cores”. (BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 368)

A figura 2 ilustra dois exemplos de luz monocromática e policromática, vejamos:

Figura 2: Exemplo de uma luz monocromática e de uma luz policromática

a) Luz monocromática



b) Luz policromática



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 368.

3.3.2. Índice de refração de um meio

O índice de refração é uma grandeza física de imensa importância no estudo da óptica geométrica. Para cada meio aonde a luz se propaga, está associado um índice de refração, que determina a relação de refringência nesse meio. O índice de refração de um meio é calculado pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no referido meio, sendo, portanto, uma grandeza adimensional. Pelo exposto, temos:

$$n = \frac{c}{v_{\text{meio}}} \quad (3.1)$$

Onde:

n – Representa o índice de refração do referido meio de propagação da luz.

c – Representa a velocidade de propagação da luz no vácuo.

v – Representa a velocidade de propagação da luz no referido meio.

O índice de refração do vácuo é igual a 1,0, enquanto que, para os demais meios, o índice de refração é um valor maior que 1,0, ou seja, $n > 1,0$.

O índice de refração de um meio material depende da frequência da luz que se propaga, apresentando um valor máximo para a luz violeta e um valor mínimo para a luz vermelha. Um caso curioso é a chamada continuidade óptica, ou seja, quando dois meios possuem o mesmo índice de refração absoluto. No exemplo ilustrado na figura 3, vimos o recipiente da esquerda contendo água e uma barra de vidro imersa nessa água. Como os valores dos índices de refração do vidro e da água são diferentes, esse bastão pôde ser visualizado. No recipiente da direita, foi colocada uma substância conhecida como tetracloroetileno (C_2Cl_4), que possui o mesmo índice de refração do vidro. Nessa situação, os dois meios se comportam como se fossem um único meio, não permitindo, assim, a diferenciação entre o vidro e o tetracloroetileno:

Figura 3: Exemplo de continuidade óptica



Fonte: RAMALHO JÚNIOR; NICOLAU; TOLEDO, 2015, p.310.

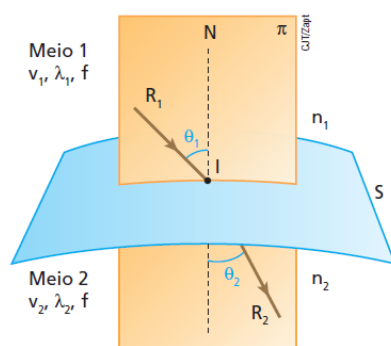
3.3.3. As leis da refração luminosa

Numa refração, temos a presença de alguns elementos, como raio incidente, raio refratado e a reta normal, que recebe esse nome por ter direção perpendicular à superfície de separação entre os dois meios. Nesse momento, cabe um comentário sobre o conjunto dos dois meios onde acontecerá a refração. Esse conjunto de dois meios pode ser separado por superfície plana ou não plana. Esse conjunto de dois meios separados por uma superfície recebe o nome de dióptro. Biscuola, Doca e

Newton (2012, p. 371) definem dióptro como sendo “um sistema de dois meios transparentes de diferentes refringências, que fazem entre si fronteira regular”.

A refração da luz é regida por duas leis. Essas leis versam sobre os elementos presentes em uma refração, como índice de refração dos meios, velocidade de propagação da luz, ângulo de incidência, ângulo de refração, raio incidente, o raio refratado e a reta normal. Para fins elucidativos, observaremos na figura 4 uma ilustração de uma refração ocorrida entre dois meios:

Figura 4: Ilustração de uma refração ocorrida pela luz ao atravessar dois meios



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 371.

Diante do acima exposto, podemos dizer que as leis da refração são duas, a saber:

- **1ª Lei:** O raio incidente I , o raio refratado R e a normal N à superfície de separação, todos pertencem a um mesmo plano.
- **2ª Lei:** (Snell-Descartes): Para cada par de meios e para cada luz monocromática que se refrata, é constante o produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal e o índice de refração do meio em que o raio se encontra.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.2)$$

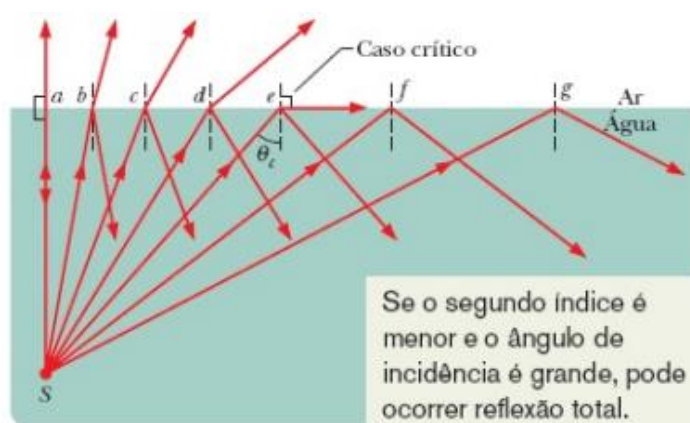
Através da 2ª lei da refração, podemos descrever o comportamento de um raio luminoso ao sofrer uma refração. Ou seja, podemos ter três situações:

1. Quando a luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o raio luminoso se aproxima da normal.
2. Quando a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio luminoso se afasta da normal.
3. Quando a luz incide sobre a reta normal, não há desvio do raio refratado.

3.3.4. Ângulo crítico e Reflexão interna total

Um aspecto importante no estudo da refração da luz é o fato de que em algumas condições a luz pode sofrer reflexão total ao invés de refração. A figura 5 mostra algumas situações que vão ocorrendo com os raios luminosos quando vão sendo alterados os ângulos de incidência:

Figura 5: Refração e reflexão total ocorrida entre a água e o ar



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 70.

O ângulo crítico é atingido quando o ângulo de refração atinge 90° , ou seja, $\theta_2 = 90^\circ$. Então nessa situação o ângulo de incidência θ_1 recebe o nome de ângulo limite ou ângulo crítico, podendo ser determinado pela aplicação da lei de Snell.

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad (3.3)$$

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (3.4)$$

Desta forma, como comentado anteriormente, há condições para que o raio de luz sofra reflexão total. Há duas condições primordiais para um raio de luz sofrer reflexão interna total, a saber:

1ª Condição: O raio luminoso deve incidir de um meio mais refringente para um meio menos refringente, ou seja, $n_1 > n_2$.

2ª Condição: O ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo crítico, ou seja, $\theta_1 > \theta_2$.

No cotidiano, uma das grandes aplicações do fenômeno da reflexão total é o uso das fibras ópticas, principalmente na telefonia.

3.4. Lentes esféricas

3.4.1. Conceito

É inegável a importância das lentes no cotidiano das pessoas. Elas podem ser encontradas em vários equipamentos necessários à sociedade como um todo. Como analisa Biscuola, Doca e Newton (2012):

não se sabe ao certo quando surgiram as primeiras lentes, há relatos de que no século VIII a.C. utilizavam-se determinados cristais polidos capazes de produzir imagens ampliadas de objetos. A partir do século XIII, porém, iniciou-se na Itália a fabricação regular de lentes, destinadas principalmente à correção visual. Teria sido o florentino Salvino D'Armati, em 1285, o primeiro fornecedor do que hoje chamamos de óculos. (BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 411)

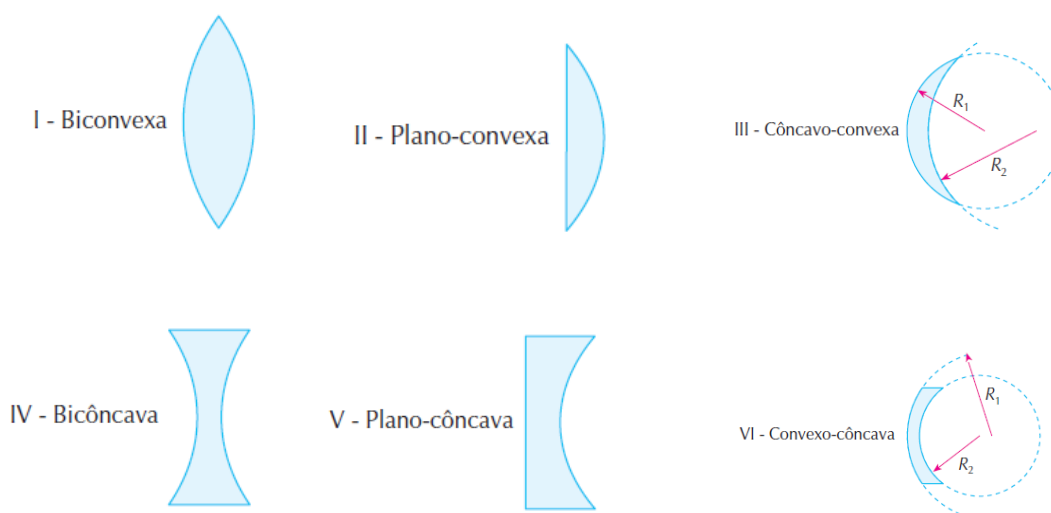
Adiante, iremos analisar algumas definições apresentadas para as lentes. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 128), “lente é um objeto transparente, limitado por duas superfícies refratoras com um eixo central em comum”. Já Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 411) definem especificamente as lentes esféricas como sendo “uma associação de dois dióptros: um necessariamente esférico e o

outro plano ou esférico”. Para Ramalho Júnior, Nicolau e Toledo (2015, p. 345), “as lentes esféricas são sistemas ópticos constituídos por três meios homogêneos e transparentes separados por uma superfície esférica e outra plana ou por duas superfícies esféricas”. Quando à espessura da lente, é desprezível em relação aos raios de curvaturas das suas faces esféricas, essas lentes recebem o nome de lentes delgadas.

3.4.2. Classificação das lentes esféricas

Em relação às bordas, as lentes delgadas se dividem em dois grandes grupos, a saber, as de bordas finas e as de bordas grossas, como ilustra a Figura 6:

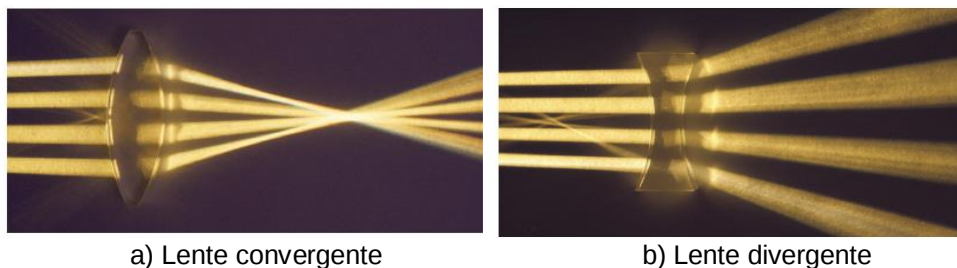
Figura 6: Ilustrações de lentes de bordas finas e de bordas grossas



Fonte: RAMALHO JÚNIOR; NICOLAU; TOLEDO, 2015, p. 346.

Em relação ao comportamento óptico das lentes esféricas, elas se classificam em convergentes ou divergentes. Nas lentes convergentes, os raios que incidem paralelos ao eixo principal da lente, refratam com direções que convergem para um ponto específico. Já nas lentes divergentes, os raios que incidem paralelos ao eixo principal da lente, refratam com direções que divergem, porém os seus prolongamentos convergem para um ponto específico. A figura 7 mostra raios luminosos atravessando uma lente convergente e raios luminosos atravessando uma lente divergente:

Figura 7: Raios de luz apresentando comportamentos convergentes e divergentes ao atravessarem lentes diferentes



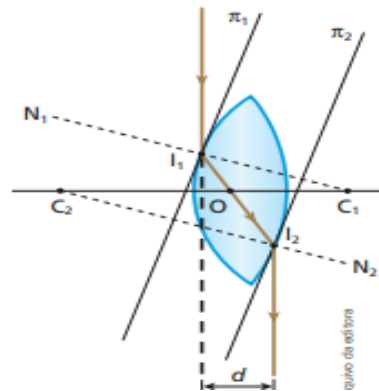
Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 413.

É importante frisar que qualquer lente pode ter comportamento convergente ou divergente. Um dos fatores que determina esse comportamento é a relação entre o índice de refração da lente e o índice de refração do meio onde a lente está imersa. Os autores Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 413) resumem essa relação entre comportamento óptico da lente e índices de refração, como: “se a lente é mais refringente que o meio externo, temos: bordas finas — convergentes; bordas grossas — divergentes. Esse é o caso mais comum. Se a lente é menos refringente que o meio externo, temos: bordas finas — divergentes; bordas grossas — convergentes, sendo esse caso menos comum”.

3.4.3. Elementos de uma lente esférica

a) Centro óptico

Esse ponto é o local da lente onde os raios luminosos que incidem nesse ponto refratam sem sofrer desvio. Nas lentes de faces simétricas, esse ponto corresponde ao centro geométrico da peça. A figura 8 ilustra o centro óptico de uma lente esférica biconvexa:

Figura 8: Raios de luz atravessando uma lente pelo centro óptico

Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 546.

b) Foco principal

Quando um raio de luz atravessa uma lente ele sofre duas refrações, uma em cada face da lente. Como vimos anteriormente, raios luminosos refratados numa lente convergente se cruzam num ponto específico. A esse ponto se dá o nome de ponto focal real, já que é obtido pelo cruzamento efetivo dos raios de luz. Já nas lentes divergentes, o cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados dá-se em um ponto denominado ponto focal virtual. A distância entre cada ponto focal e o centro óptico da lente recebe o nome de distância focal, podendo receber sinal positivo ou negativo, dependendo do tipo de lente em questão. A figura 9a ilustra os raios luminosos se cruzando no ponto focal F_2 de uma lente convergente, enquanto a figura 9b ilustra o cruzamento dos prolongamentos dos raios no ponto focal F_2 :

Figura 9: Ponto focal em uma lente convergente e ponto focal em uma lente divergente**a) Ponto focal real****b) Ponto focal virtual**

Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.130.

c) Pontos antiprincipais

Outro ponto a ser destacado nas lentes esféricas são os chamados pontos antiprincipais, localizados sobre o eixo principal da lente. A distância entre esses pontos antiprincipais e o centro óptico corresponde ao dobro da distância focal da lente. Os raios luminosos que incidirem sobre um ponto principal de uma lente irão se refratar sobre o outro ponto antiprincipal da lente. Esse ponto corresponde ao centro da esfera de onde a lente foi obtida. Então podemos dizer que a distância entre o ponto antiprincipal e o centro óptico da lente corresponde ao raio de curvatura dessa lente.

3.4.4. Raios luminosos particulares

Nas lentes existem alguns raios que possuem comportamentos particulares ao atravessar essas lentes, dependendo da forma que esses raios de luz incidem. Esses raios particulares são de extrema importância para a obtenção da construção geométrica das imagens nas lentes esféricas. Vamos analisar esses raios particulares:

1º raio particular: todo raio luminoso que incide no centro óptico se refrata sem sofrer desvio.

2º raio particular: todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se refrata alinhado com o foco principal real da lente.

3º raio particular: todo raio luminoso que incide alinhado com o ponto antiprincipal objeto se refrata alinhado com o ponto antiprincipal imagem.

4º raio particular: todo raio luminoso que incide sobre o foco principal da lente se refrata de forma paralela ao eixo principal.

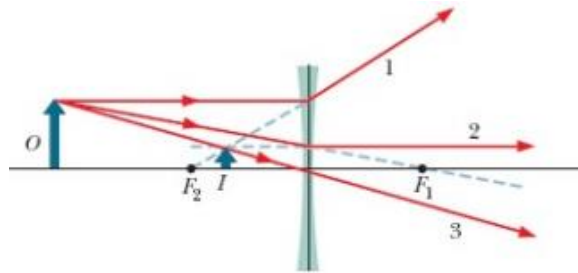
3.4.5 Construção geométrica e características das imagens formadas

1) Lentes divergentes

As características das imagens formadas nas lentes divergentes são sempre as mesmas, independente da posição do objeto. Outro fato é que essas imagens sempre são formadas entre o centro óptico e o foco principal imagem da lente. As

imagens formadas nas lentes divergentes são virtuais, direitas e menores que o objeto. A figura 10 mostra a formação de uma imagem virtual numa lente divergente:

Figura 10: Imagem virtual formada numa lente esférica divergente



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.134.

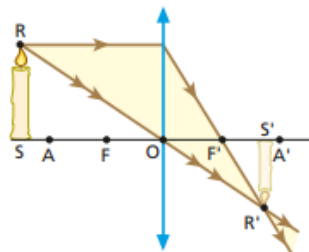
2) Lentes convergentes:

Já nas lentes esféricas convergentes, as características das imagens conjugadas dependem da posição ocupada pelo objeto. Vamos analisar as possíveis características das imagens para pontos distintos de localização do objeto:

1ª posição: Objeto além do ponto antiprincipal objeto.

- Como ilustra a figura 11, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.

Figura 11: Formação de uma imagem para um objeto localizado antes do ponto antiprincipal

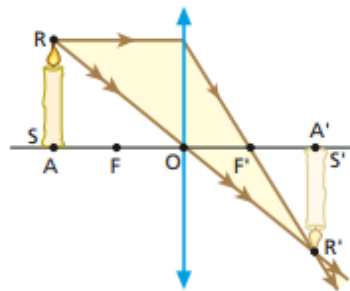


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

2ª posição: Objeto sobre o ponto antiprincipal objeto.

- Como ilustra a figura 12, a imagem formada é real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

Figura 12: Imagem formada de um objeto localizado sobre o ponto antiprincipal

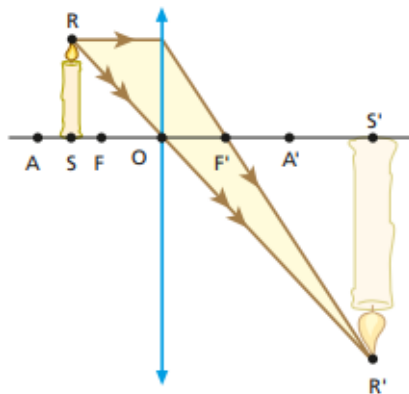


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

3ª Posição: Objeto entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto.

- Como ilustra a figura 13, a imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.

Figura 13: Imagem formada de um objeto localizado entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto da lente

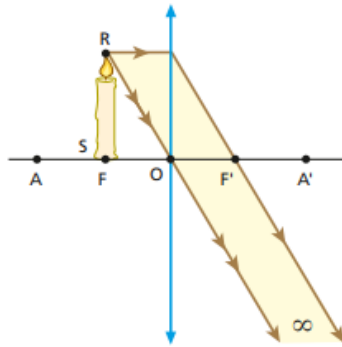


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

4ª Posição: Objeto sobre o foco principal.

- Como ilustra a figura 14, a imagem formada é imprópria.

Figura 14: Imagem imprópria de um objeto localizado sobre o foco principal objeto da lente

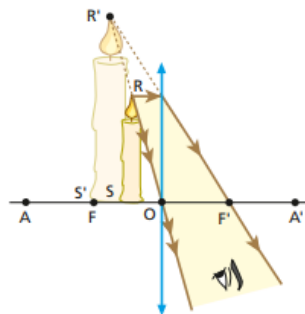


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 554.

5ª Posição: Objeto entre o foco principal e o centro óptico.

- Como ilustra a figura 15, a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.

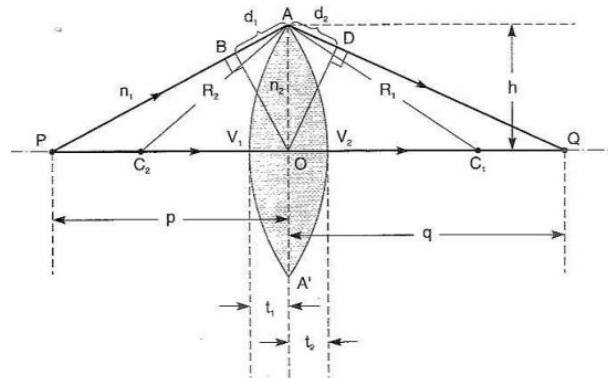
Figura 15: Imagem imprópria de um objeto localizado sobre o foco principal objeto da lente



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 554.

3.4.6. Estudo analítico das lentes esféricas. A equação de Gauss e o aumento linear transversal

Para estudarmos a parte analítica das lentes esféricas, analisemos, como base, a lente biconvexa representada na figura 16:

Figura 16: Lente biconvexa

Fonte: KNIGHT, 2009, p. 28.

Usando o princípio de Fermat, na condição em que o caminho óptico (PAQ), passando pelo topo da lente deve ser igual ao caminho óptico (POQ), passando pelo eixo central da lente. Em outras palavras, a diferença (PAQ) – (POQ) é nula. Essa diferença possui duas componentes, a primeira, seria $n_1 d_1 + n_2 d_2$, já que podemos considerar a distancia PB aproximadamente igual a distancia PO, assim como a distancia DQ aproximadamente igual a distancia OQ. A segunda componente vem através da substituição de n_1 por n_2 através do trecho $\overline{V_1 V_2}$, que é a própria espessura da lente. Logo, essa segunda componente é dada por $+(n_2 - n_1) \overline{V_1 V_2} = +(n_2 - n_1)(t_1 + t_2)$, para a figura 16. Pelo princípio de Fermat, teremos:

$$0 = [\text{PAQ}] - [\text{POQ}] = n_1 (d_1 + d_2) - (n_2 - n_1) (t_1 + t_2) \quad (3.5)$$

Considerando, dentro do triângulo AOP, $AO = h$, teremos:

$$h^2 \cong (p + d_1)^2 - p^2 = 2pd_1 + \underbrace{d_1^2}_{\text{desprezível}} \left\{ d_1 \cong \frac{h^2}{2p} \right. \quad (3.6)$$

De forma análoga, no triângulo AOQ, temos:

$$d_2 \cong \frac{h^2}{2p} \quad (3.7)$$

Notando ainda que $\overline{C_1V_1} = \overline{C_1A} = R_1$, no triângulo retângulo AOC₁, teremos:

$$h^2 = R_1^2 - (R_1 - t_1)^2 = 2R_1t_1 + \underbrace{t_1^2}_{\text{desprezível}} \quad \left\{ \quad t_1 \cong \frac{h^2}{2R_1} \right. \quad (3.8)$$

Como $R_2 < 0$, de forma análoga, no triângulo AOC₂, teremos:

$$t_2 \cong -\frac{h^2}{2R_2} \quad (3.9)$$

Substituindo as relações (3.6), (3.7), (3.8) e (3.9) na relação (3.5), teremos:

$$n_1 \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{q} \right) - (n_2 - n_1) \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = 0 \quad (3.10)$$

Dividindo essa relação por n_1 , chegamos à seguinte relação:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n_{12} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = \frac{1}{f'} \quad (3.11)$$

A forma simplificada dessa relação seria:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (3.12)$$

Essa equação é conhecida como equação de Gauss, em homenagem ao matemático e físico alemão Karl Friedrich Gauss. Analisando as variáveis dessa equação:

p – Distância entre o objeto e o centro óptico da lente.

q – Distância entre a imagem conjugada e o centro óptico da lente.

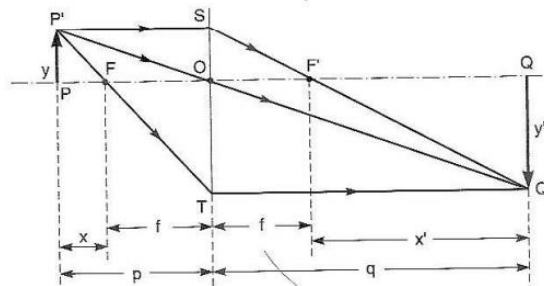
f – Distância focal da lente.

Para essa equação, é adotada a convenção de sinais que se segue:

- Objetos e imagens reais: abscissa positiva ($p > 0$ e $q > 0$).
- Objetos e imagens virtuais: abscissa negativa ($p < 0$ e $q < 0$).
- Lentes convergentes: distância focal positiva ($f > 0$).
- Lentes divergentes: distância focal negativa ($f < 0$).

Outra grandeza que iremos definir é o aumento linear transversal. Para isso, vamos recorrer à figura 17, que mostra um objeto de altura y e a sua respectiva imagem de altura y' , conjugada numa lente convergente:

Figura 17: Objeto e imagem formada em uma lente convergente



Fonte: KNIGHT, 2009, p.30.

Após aplicar a semelhança entre os triângulos $PP'O$ e $QQ'O$, temos:

$$m = +\frac{y'}{y} = -\frac{q}{p} \quad (3.13)$$

Representando por x e x' as distâncias do objeto e da imagem ao foco, respectivamente, teremos:

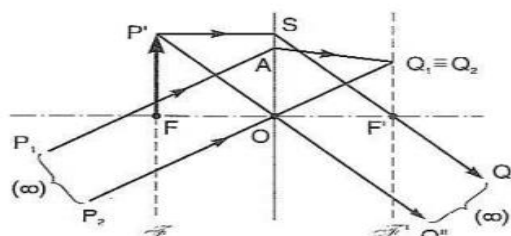
$$m = +\frac{y'}{y} = \frac{x'}{f} = -\frac{f}{x} \quad (3.14)$$

Isso implica em na relação (3.14), que é a forma newtoniana para a equação das lentes delgadas:

$$xx' = f^2 \quad (3.15)$$

Uma das conseqüências dessa relação newtoniana está representada na figura 18. Esse caso indica que para x tendendo a zero, x' tende ao infinito e que para x' tendendo a zero, x tende ao infinito:

Figura 18: Objeto e imagem formada numa lente convergente



Fonte: KNIGHT, 2009, p. 31.

A grandeza física denominada vergência indica de uma forma simplista a capacidade que uma lente possui de desviar raios de luz que nela incidem. Essa grandeza é calculada pelo inverso da distância focal da lente, ou seja:

$$V = \frac{1}{f} \quad (3.16)$$

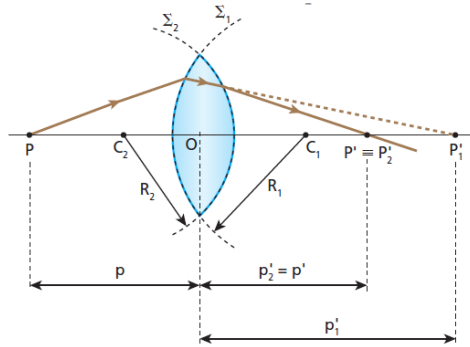
Lentes convergentes possuem focos reais, conseqüentemente vergências positivas, ou seja, $f > 0$ e $V > 0$. Lentes divergentes possuem focos virtuais, conseqüentemente vergências negativas, ou seja, $f < 0$ e $V < 0$. Popularmente se conhece a dioptria como grau. No Sistema Internacional de unidades (SI), a vergência é dada em dioptria(di), que indica o inverso do metro, ou seja, m^{-1} .

3.4.7. Equação de Halley

A equação dos fabricantes das lentes é atribuída ao astrônomo inglês Edmond Halley (1656-1742). Essa equação permite calcular a distância focal (ou a vergência) de uma lente, sendo conhecidos seus índices de refração em relação ao meio externo e os raios de curvatura de suas faces. Essa equação traz uma relação entre a distância focal da lente, índice de refração relativo e raios de curvatura das faces da lente. A notação mais freqüente para os raios de curvatura adota valor positivo para faces convexas e valor negativo para faces côncavas, assim como

para a face plana o raio é infinito. Traremos agora a demonstração da equação de Halley, baseada na figura 19:

Figura 19: Raios de curvatura das faces de uma lente biconvexa



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 433.

Aplicando a equação do dióptro esférico, temos:

$$\frac{n_m}{P} + \frac{n_L}{P'_1} = \frac{n_L - n_m}{R_1} \quad (3.17)$$

$$-\frac{n_L}{P'_1} + \frac{n_m}{P'_2} = \frac{n_L - n_m}{R_2} \quad (3.18)$$

Somando (3.16) e (3.17), temos:

$$\frac{n_m}{P} + \frac{n_m}{P'_2} = (n_L - n_m) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.19)$$

Dividindo-se todos os termos acima por n_m , temos:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \left(\frac{n_L}{n_m} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.20)$$

Aplicando a equação de Gauss:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f} \quad (3.21)$$

Teremos, no final:

$$\frac{1}{f} = (n_{L,m} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.22)$$

Onde:

f – Distância focal da lente.

$n_{L,m}$ – Índice de refração relativo entre a lente e o meio onde ela está inserida.

R_1 - Raio de curvatura da primeira face da lente.

R_2 – Raio de curvatura da segunda face da lente.

4. Metodologia

4.1 A descrição do produto educacional

Esse produto educacional tem como objetivo principal o fornecimento de uma ferramenta que possa auxiliar os professores de Física na abordagem dos temas referentes às lentes esféricas, apresentando uma sequência didática que dialoga entre exposição teórica e comprovação experimental prática.

Acreditamos que essa associação entre teoria e prática produz uma maior eficácia no processo de ensino-aprendizagem da Física. Assim como dito anteriormente, a sequência didática apresentada nesse trabalho versa sobre as lentes esféricas, um objeto de conhecimento que é frequentemente ministrado ao segundo ano do ensino médio da educação básica.

É importante frisar que tanto o número de encontros, quanto o tempo de cada encontro para a aplicação da sequência didática proposta ao longo desse trabalho fica a critério de cada docente. A descrição que se segue é uma sugestão de aplicação da referida sequência didática.

1ª Etapa: explanação inicial sobre a metodologia e aplicação do pré-teste

No início do primeiro encontro, o docente faz uma explanação breve de como será realizada toda a atividade, explicitando como será desenvolvida cada etapa da metodologia e quais os objetivos esperados com essas atividades. Em seguida, com o objetivo de detectar o nível de conhecimento prévio, os alunos são submetidos a um pré-teste, aplicado em formulário específico (anexo no apêndice A), com um tempo de resposta previamente estabelecido pelo docente, sendo composto por seis questões objetivas, abrangendo temas relacionados aos conceitos relativos às lentes esféricas. Após os alunos responderem o pré-teste, o docente faz o recolhimento desse material para posterior análise e comparação com o pós-teste.

2ª Etapa: elaboração e confecção das lentes esféricas

Essa etapa consiste na elaboração e posterior confecção das lentes esféricas. Os alunos são orientados a se reunirem em grupos, onde a quantidade de

integrantes de cada grupo fica a critério do docente que está conduzindo o processo, levando em consideração os fatores limitantes de espaço físico, quantidade total de alunos por sala, quantitativo de aparatos para cada grupo, entre outros.

Cada grupo recebe alguns materiais que serão utilizados durante o experimento. Uma sugestão para os materiais que podem ser entregues são: formulário de experimento (Apêndice C), pelo menos duas canetas laser (Figura 19), folhas de papel milimetrado, caneta esferográfica comum, lápis, borracha, régua e folhas de papel ofício.

Inicialmente, os grupos se dirigem a um microcomputador, onde já se encontram desenhados os círculos que darão origem às lentes, mediante um *software* denominado *RD Works*, ou qualquer outro *software* de vetorização de imagens, como, por exemplo, o *Inkscape*. Esses *softwares* podem ser baixados em qualquer computador. Para dar celeridade ao processo, é interessante que o docente, de forma prévia, já deixe os desenhos prontos na tela dos computadores que serão utilizados pelos alunos. Uma sugestão é desenhar os círculos com intersecções entre si, conforme mostrado na figura 21. Fazendo assim, serão obtidas lentes do tipo plano-convexa, plano-côncava, biconvexa e bicôncava, para posterior aplicação de experimentos. Os valores dos raios de curvatura de cada lente desenhada no *software* devem ser registrados pelos alunos no campo específico do formulário de experimento para posterior utilização nos cálculos dos índices de refração de cada lente confeccionada.

Após o desenho das lentes no computador, esses dados são transmitidos via cabo *USB* para uma cortadora a laser CNC (*Computer Numeric Control*). A figura 22 mostra a foto de uma cortadora CNC com laser a gás carbônico. Nessa cortadora a laser, é colocada uma placa transparente de acrílico ou de qualquer outro material que o docente julgue pertinente, cujas dimensões também ficam a critério do professor, respeitando, obviamente, as especificações de restrições estipuladas pelo fabricante da cortadora.

Na fase de planejamento da aula, é primordial que o docente já tenha feito as simulações para deixar a cortadora previamente programada, de modo que tanto a potência do canhão de laser quanto à velocidade de corte estejam compatíveis com as dimensões das lentes a serem confeccionadas. Na cortadora, o gás carbônico é liberado fazendo com que o canhão de laser corte a placa de acrílico nos formatos

previamente desenhados no *software* computacional. A figura 23 ilustra alguns cortes aleatórios produzidos pela cortadora numa placa de acrílico.

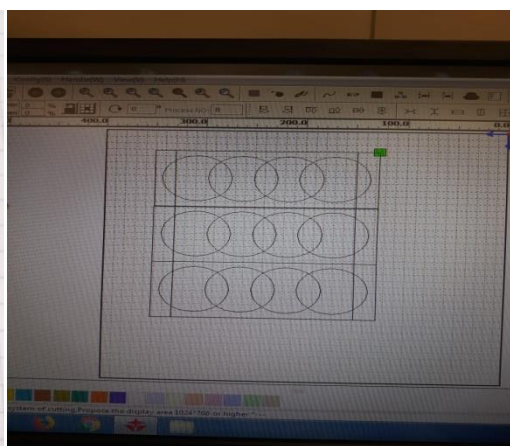
Após a cortadora encerrar o corte das lentes, cada grupo se apropria do seu conjunto de quatro lentes (uma plano – convexa, uma biconvexa, uma plano–côncava e uma bicôncava) e se dirige às bancadas para dar início à aplicação do experimento. Vale salientar que, em um único procedimento de corte, são produzidas várias lentes, favorecendo, assim, o dinamismo da aula.

Figura 20: Canetas laser



Fonte: acervo do autor.

Figura 21: *Software RD WORKS*



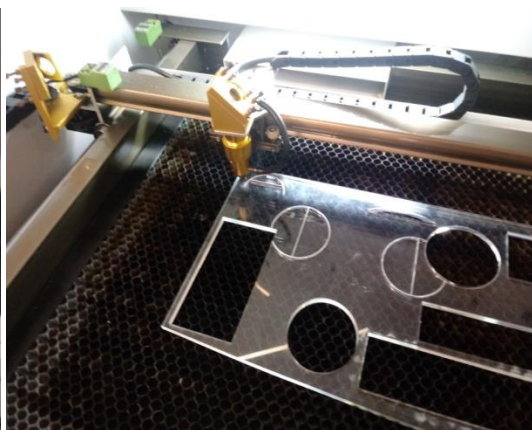
Fonte: acervo do autor.

Figura 22: Cortadora CNC laser



Fonte: acervo do autor.

Figura 23: Corte da placa de acrílico



Fonte: acervo do autor.

3ª Etapa: aplicação do experimento em conjunto com a aula teórica

Na sequência, vem a aplicação do experimento, com o intuito de fazer algumas comprovações e verificações práticas de conceitos relacionados às lentes esféricas. Sugerimos que, durante a realização do experimento, o docente vá, concomitantemente, apresentando os conceitos teóricos, fazendo uma correlação com a observação experimental. Isso dará ao estudante uma significação maior no seu aprendizado, visto que ele verá a comprovação prática em tempo real daquilo que está sendo ministrado de forma teórica. Além disso, nessa etapa do processo o estudante assume uma participação mais ativa, preparando os materiais e executando os experimentos, além de interagir com o docente, podendo, assim, dirimir as suas dúvidas de uma forma mais efetiva e eficaz.

Sobre cada bancada, os grupos devem colocar a folha de papel milimetrado aberto. Inicialmente, sobre o papel milimetrado é colocada a lente do tipo plano – convexa, posicionando a superfície plana da lente sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando, assim, as medições e observações necessárias.

Posteriormente, os grupos posicionam as canetas laser sobre a bancada, de tal forma que essas canetas fiquem paralelas entre si e paralelas ao eixo principal. Após a iluminação ambiente ser ajustada, os lasers são acionados simultaneamente em direção à face plana da lente. Conforme instruções contidas no formulário de experimento, os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos raios emergentes da parte esférica da lente e o ponto central da parte plana da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal do formulário de experimento. Na sequência, a lente do tipo plano-convexa é retirada da bancada, sendo então substituída pela lente do tipo biconvexa. Essa lente biconvexa deve ser posicionada sobre o papel milimetrado de tal forma que o seu ponto central fique sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando, assim, as observações e medições necessárias.

Em seguida, os raios laser, paralelos ao eixo principal, são acionados para uma das faces esféricas da lente e conforme instruções contidas no formulário de experimento os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos raios emergentes da lente e o ponto central da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

É importante lembrar que os conceitos físicos que forem aparecendo mediante a aplicação do experimento devem ser mencionados pelo docente à medida que forem sendo observados. Nesse momento da aula, é interessante que o docente faça uma intervenção interagindo com os alunos acerca de alguns elementos verificados no experimento. Deve fazer comentários a respeito do ponto focal imagem, como sendo o ponto de cruzamento efetivo dos raios refratados, assim como que a distância focal é a distância entre o foco e o centro óptico da lente, além de chamar atenção para o fato que as duas lentes testadas possuem bordas finas e os raios de luz convergiram após atravessá-las. É importante comentar que a convergência não depende apenas das bordas da lente, mas também da relação entre o índice de refração do material da lente e o índice de refração do meio onde ela se encontra.

O próximo passo de cada grupo é substituir a lente biconvexa pela lente do tipo plano côncava, colocando-a sobre o papel milimetrado de tal forma que a superfície plana da lente fique posicionada sobre o ponto zero do papel milimetrado, possibilitando, assim, uma melhor observação e medição das distâncias necessárias. Os lasers, paralelos ao eixo principal, são direcionados para a parte plana da lente e conforme instruções contidas no formulário de experimento os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios emergentes da lente e o ponto central da face plana da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

Na sequência, a lente do tipo plano-côncava deve ser substituída pela lente bicôncava. Essa lente deve ser colocada sobre o papel milimetrado de tal forma que o ponto central da lente fique exatamente sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando assim as observações e medições necessárias. Os lasers são acionados paralelos ao eixo principal na direção de uma das faces da lente e, conforme instruções contidas no formulário de experimento, os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios emergentes da lente e o ponto central da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

Nesse momento, é interessante uma nova intervenção por parte do docente, interagindo novamente com os grupos acerca do ponto focal e da distância focal, agora, sendo ambos de caráter virtual. Outra observação oportuna é mencionar que

apenas o fato de uma lente ter bordas grossas não a faz divergente, mas esse caráter divergente também depende da relação entre o índice de refração do material da lente e do índice de refração do meio onde a lente está inserida. O docente pode concluir essa etapa comentando que, se as lentes do experimento estivessem inseridas num meio cujo índice de refração tivesse um valor maior que o valor do índice de refração do material das lentes, os comportamentos de convergência e de divergência observados teriam sido o oposto do que foi visto.

4ª Etapa: verificação matemática do experimento

O próximo passo da sequência didática é a verificação analítica de alguns aspectos do experimento. Essa etapa tem o objetivo específico de analisar alguns dados colhidos na prática experimental e registrados no formulário de experimento, proporcionando, assim, por parte do estudante, através da aplicação da equação de Halley, a possibilidade de calcular o valor aproximado do índice de refração do material que compõe as lentes confeccionadas.

Os grupos terão a oportunidade de constatar a relação direta entre os resultados da aplicação matemática e os resultados da observação experimental. Isso fará com que haja uma aprendizagem mais sólida e significativa, proporcionando que os estudantes se apropriem dos conceitos com mais fundamentação.

Como mencionado anteriormente, é de extrema importância que o docente, durante todas as etapas do experimento, realize as devidas observações e inserções acerca dos fenômenos observados. Especificamente nesse momento da atividade, é relevante que o docente teça algumas considerações a cerca do conceito de índice de refração de um meio, mostrando a importância dessa grandeza física no cotidiano da sociedade, bem como analisar a equação de Halley, comentando sobre cada um dos elementos dessa equação, bem como da notação de sinais usados, tanto para os valores da distância focal quanto para os valores dos raios de curvatura de cada face das lentes. É essencial que o docente deixe claro que na aplicação da equação de Halley, para faces planas de uma lente, como o raio de curvatura dessa face é infinito, o termo da equação que tenha essa face se torna nulo. Após encontrar esses valores, os grupos devem registrá-los no campo índice de refração da lente, que se encontra no formulário de experimento.

De posse dos valores obtidos para os índices de refração de cada lente experimentada, os grupos devem calcular o valor médio do índice de refração do material que compõe as lentes, fazendo o registro desse valor no campo específico do formulário de experimento. Nesse momento, cabe uma análise dos valores dos índices de refração obtidos para cada lente, fazendo uma comparação com o valor do índice de refração do material utilizado para confeccionar as lentes indicado nos materiais didáticos. Essa análise é pertinente para o docente poder fazer comentários sobre valores discrepantes com a realidade que possam ter sido calculados pelos grupos durante o experimento, procurando compreender em conexão com os alunos quais fatores podem ter influenciado na discrepância desses valores. Após o término dessa etapa, o docente deve fazer o recolhimento do formulário de experimento e submeter cada aluno a um pós-teste (Apêndice B).

5ª Etapa: aplicação do pós-teste e debate de idéias

O pós-teste é uma ferramenta que proporciona ao docente ter uma visão geral dos resultados obtidos com a metodologia aplicada. Nesse instrumento, inicialmente, são repetidas as mesmas seis perguntas do pré-teste, com o intuito de avaliar se houve mudanças significativas após a aplicação das atividades. Em seguida, são propostas três perguntas objetivas sobre as metodologias de ensino tendo como objetivo obter um retorno do aluno acerca do seu pensamento sobre as metodologias ativas de uma forma geral. Por fim, aparece uma pergunta que pede para o aluno relatar com suas palavras as suas impressões e experiências pessoais acerca de toda a metodologia adotada.

Esse quadro geral proporcionará ao professor uma visão particular da situação de cada aluno, como também mostrará um cenário geral do nível de conhecimento em que se encontra a turma, suscitando, assim, elementos que podem alicerçar uma intervenção pedagógica individualizada e/ou uma intervenção pedagógica mais ampla, contemplando todos os alunos da turma.

O pós-teste também propicia ao docente entrar em contato com algumas opiniões dos estudantes acerca da metodologia aplicada. Através dessas opiniões, o docente terá um retorno em relação ao sucesso ou não da atividade realizada. Sugerimos que, ao final de todo o processo, o docente faça o encerramento

realizando um debate com os alunos, instigando-os a relatarem verbalmente as suas experiência e percepções pessoais acerca de todo o processo realizado.

É importante frisar que esse tipo de atividade em grupo agrega valores aos alunos, além de favorecer a socialização, a cooperação e o trabalho em equipe, fortalecendo o respeito às contradições e às diferenças, fazendo, assim, com que haja um olhar de valorização maior em relação à pessoa humana. Vale salientar que o exposto na descrição desse produto educacional não tem, de nenhum modo, o objetivo de ofertar uma sequência didática engessada em sua metodologia; muito pelo contrário, a intenção é oferecer aos docentes uma opção que se adapte à sua realidade.

- **Sugestão alternativa da aplicação do produto educacional**

Cabe aqui também uma observação com relação à aplicação dessa sequência didática em ambientes escolares que não possuem o recurso da cortadora a laser, seja por conta da falta de recursos financeiros para a aquisição da máquina, seja por opção do corpo diretivo em não investir nesse tipo de recurso didático.

Sugerimos que o docente faça um planejamento junto à escola para a realização de uma aula de campo, a ser desenvolvida em um local onde possua a cortadora a laser. Vale salientar que essa aula de campo poderia agregar também outras áreas de conhecimento, como a Matemática, a Química, a Biologia, a História, a Sociologia, que teriam aspectos relevantes para discutir em relação à cortadora a laser, trazendo, assim, um caráter interdisciplinar, produzindo no estudante uma aprendizagem mais ampla e significativa.

No que tange ao desenho das lentes no microcomputador, caberia ao docente, mediante as condições existentes, definir se seriam realizadas na própria escola ou durante a aula de campo, visto que o *software* RD Works não está atrelado à presença da cortadora a laser, funcionando, assim, em qualquer computador e em qualquer lugar.

Se o docente optar pelo desenho das lentes no próprio ambiente escolar, esses arquivos seriam salvos e levados no dia da aula de campo, bem como a placa do material para serem confeccionadas as lentes na cortadora a laser. Durante o tempo que a cortadora estivesse fazendo a confecção das lentes, caso o

planejamento seja de uma aula interdisciplinar, os demais docentes poderiam usar esse momento para incluir suas contribuições.

Após a confecção das lentes, dependendo do planejamento que foi proposto, o pré-teste, a aplicação do experimento e o pós-teste poderiam ser realizados no ambiente da aula de campo ou na própria escola. Como sugestão de ambientes que possuem a cortadora a laser e que em determinados dias da semana recebem esse tipo de aula, com entrada franca, podemos citar como exemplo o *Fab Lab*, que possui várias unidades espalhadas pelo Brasil e por todo o mundo, tendo como missão a propagação da cultura *maker*. O Fab Lab faz parte de uma rede mundial de laboratórios de fabricação digital idealizado pelo Instituto de Tecnologia de Massachussets e conta com 80 laboratórios no Brasil. Em Recife, o laboratório fica localizado na rua da Moeda, número 129, no bairro do Recife Antigo, tendo, inclusive, convênios firmados com a rede pública de educação, o que democratiza a utilização desses espaços. Acreditamos que essas aulas *in loco* estimulam nos estudantes um senso mais crítico e investigativo, o que é essencial no estudo e no desenvolvimento das ciências.

4.2 A Aplicação do produto educacional

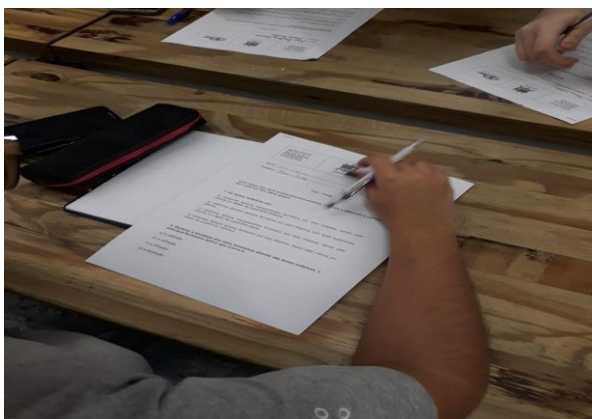
Esse produto educacional foi aplicado a um grupo de quinze alunos da turma do segundo ano do ensino médio da Escola Conecta, localizada na cidade do Recife. Desse grupo de quinze alunos, apenas nove alunos participaram efetivamente de todas as atividades propostas. A faixa etária dos estudantes participantes gira em torno de quinze a dezesseis anos. Esse trabalho aconteceu durante os meses de agosto e setembro do ano de 2019, após prévia autorização da coordenação pedagógica e da direção geral da escola.

- **1ª Etapa: explanação da metodologia e aplicação do pré-teste**

No primeiro encontro, durante os dez minutos iniciais, foram apresentadas aos alunos, por parte do docente, as metodologias que seriam desenvolvidas durante os encontros. Em seguida, cada aluno foi submetido a um pré-teste (Apêndice A), composto por seis questões objetivas abrangendo temas referentes às lentes esféricas. O objeto desse instrumento foi procurar detectar o nível de conhecimentos prévios que os alunos possuíam acerca das lentes esféricas e dos

fenômenos relacionados às mesmas. A figura 24 mostra alguns alunos respondendo ao pré-teste:

Figura 24: Alunos respondendo ao pré-teste



Fonte: acervo do autor.

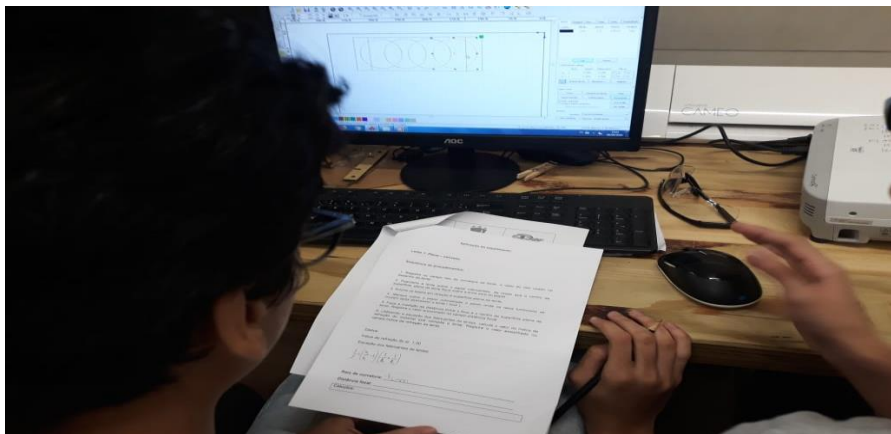
Foi estipulado um tempo máximo de vinte minutos para a resolução do pré-teste. O primeiro aluno entregou o seu formulário depois de seis minutos do início do teste, enquanto que último aluno entregou após nove minutos do início do mesmo.

- **2ª Etapa: elaboração e confecção das lentes**

Após o recolhimento de todos os formulários do pré - teste, os alunos foram instruídos a se dividirem em cinco grupos de três integrantes, de forma aleatória. Nesse momento, cada um dos grupos recebeu um kit de experimento, contendo: duas canetas laser, um formulário de experimento, duas réguas, folhas de papel ofício e folhas de papel milimetrado.

Na sequência, cada grupo foi encaminhado a um microcomputador onde, munidos de caneta e do formulário de experimento, puderam observar o desenho de círculos num programa de vetorização de imagens chamado RD WORKS, conforme a figura 25. Esses círculos possuíam pontos de intersecção, produzindo, assim, formatos diferentes para a confecção das lentes:

Figura 25: Estudantes projetando as lentes no software computacional



Fonte: acervo do autor.

Nesses desenhos, os estudantes observaram que o raio de cada círculo tinha 4 cm, registrando esses valores no campo denominado raio de curvatura do formulário de experimento. Após esse registro ser feito, foi dado o comando no computador, sendo esses dados enviados por intermédio de um cabo *USB* para uma cortadora a laser CNC (*Computer Numeric Control*). Nessa cortadora, foi inserida uma placa de acrílico com dimensões 30 cm x 30 cm x 10 mm. A potência do canhão de laser da cortadora foi ajustada em 100% e sua velocidade de corte em 1,0 mm/s, previamente ajustadas e testadas pelo docente. Após ser dado o comando para o corte, os alunos puderam acompanhar o processo de confecção das lentes mediante o laser a gás carbônico, a placa de acrílico nos formatos que estavam desenhados no computador, conforme mostra a figura 26:

Figura 26: Alunos acompanhando o processo de confecção das lentes na cortadora a laser



Fonte: acervo do autor.

- **3ª Etapa:** aplicação do experimento em conjunto com a aula teórica

A próxima etapa consistiu na verificação experimental de alguns fatores referentes às lentes que foram confeccionadas. Após os cortes na placa de acrílico, cada grupo se apropriou de quatro lentes, sendo uma do tipo plano – convexa, outra do tipo plano – côncava, outra do tipo biconvexa e outra bicôncava, conforme ilustra a figura 27. De posse dessas lentes e dos materiais recebidos previamente, os grupos se dirigiram para suas respectivas bancadas, onde foram orientados pelo docente que toda a metodologia necessária para a realização do experimento fazia-se presente no formulário de experimento (Apêndice C):

Figura 27: Conjunto de lentes confeccionadas por cada grupo

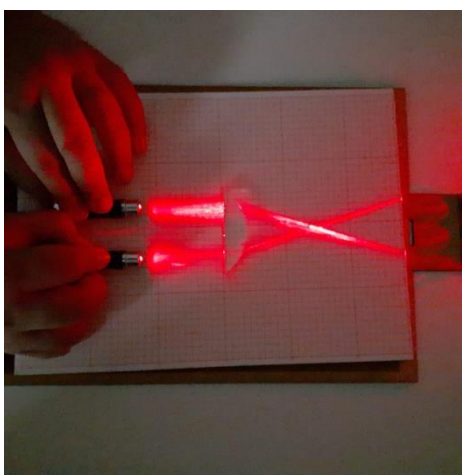


Fonte: acervo do autor.

A primeira instrução fornecida pelo formulário foi a de posicionar o papel milimetrado sobre a bancada e posicionar a lente do tipo plano – convexa sobre o papel, de tal modo que a superfície plana da lente ficasse sobre a linha zero do papel milimetrado. Após a iluminação da sala de aula ter sido ajustada, favorecendo, assim, uma melhor visualização dos raios lasers, um dos alunos, mantendo duas canetas lasers paralelas entre si sobre a bancada, acionou simultaneamente os lasers de forma paralela ao eixo principal e em direção à parte plana da lente, fazendo com que os raios refratados se cruzassem em um ponto específico sobre o papel milimetrado, conforme a figura 28a. Na sequência, os grupos marcaram sobre o papel milimetrado esse ponto de cruzamento dos raios luminosos, conforme a figura 29, e fizeram a medida da distância desse ponto até o centro da superfície plana da lente, registrando esse valor no campo denominado distância focal do formulário de experimento. Em seguida, as lentes do tipo plano - convexas foram substituídas pelas lentes biconvexas, de tal forma que o ponto central da lente foi posicionado sobre a linha zero do papel milimetrado, com a finalidade de uma medição mais precisa.

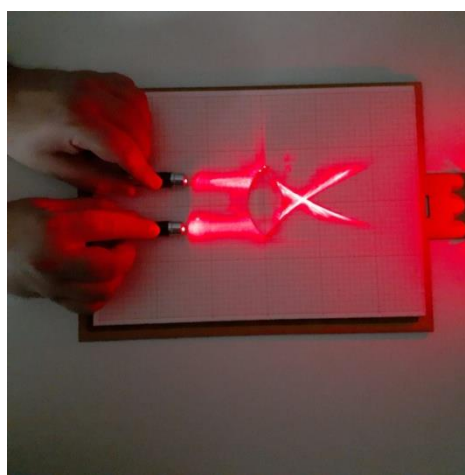
Novamente, a iluminação da sala de aula foi ajustada e um aluno de cada grupo acionou os lasers de forma paralela ao eixo principal em direção a uma das faces da sua lente. Mais uma vez, os alunos puderam perceber que ao atravessarem as lentes os feixes de luz convergiram e se cruzaram em um ponto específico, assim como ilustra a figura 28b. Esse ponto foi marcado sobre o papel milimetrado, assim como a distância desse ponto ao centro da lente foi devidamente medida e registrada no campo correspondente a distancia focal do formulário de experimento. Nesse momento, houve uma intervenção por parte do docente fazendo colocações pertinentes às observações que foram verificadas no experimento. Foi comentado que o ponto de cruzamento dos raios de luz é o foco imagem da lente e que a distância desse ponto ao centro óptico da lente é chamada de distância focal da lente:

Figura 28: Estudantes aplicando o experimento em lentes convergentes



a) Lente plano-convexa

Fonte: acervo do autor.



b) Lente biconvexa

Fonte: acervo do autor.

Esse ponto de cruzamento dos raios foi marcado sobre o papel milimetrado, assim como a distância desse ponto ao centro da lente foi devidamente medida e registrada no campo correspondente à distância focal do formulário de experimento:

Figura 29: Estudante marcando o ponto focal da lente no papel milimetrado



Fonte: acervo do autor.

Outra observação que foi feita dizia respeito ao comportamento dos raios de luz que atravessaram as lentes. Houve uma semelhança em relação às duas lentes observadas, já que ocorreu convergência dos raios refratados, concluíram, então, que se tratava de duas lentes do tipo convergente. Na sequência, as lentes biconvexas foram substituídas pelas lentes do tipo plano – côncavas, fazendo com que a superfície plana ficasse posicionada sobre a linha zero do papel milimetrado.

Após o ajuste da iluminação da sala de aula, cada grupo disparou os lasers, paralelos ao eixo principal, em direção à superfície plana da lente. Observaram nesse momento que os feixes de luz divergiam após atravessar as lentes. O docente orientou os grupos a observarem se tinha algum ponto em que havia cruzamento, tanto entre os raios refratados, quanto entre os prolongamentos desses raios. Após os grupos localizarem o ponto específico de cruzamento entre os prolongamentos dos raios refratados, usaram réguas para fazer o prolongamento dos raios refratados, conforme exemplifica a figura 30, medindo a distância desse ponto de cruzamento até o centro da face plana da lente, registrando o valor dessa medida no campo distância focal do formulário de experimento:

Figura 30: Estudantes usando réguas para achar o ponto focal virtual da lente



Fonte: acervo do autor.

Em seguida, as lentes do tipo plano – côncavas foram substituídas pelas lentes bicôncavas. O centro óptico da lente foi posicionado sobre a linha zero do papel milimetrado. A iluminação da sala foi ajustada e os lasers foram disparados, paralelamente ao eixo principal em direção a uma das faces da lente. Os grupos puderam observar que, novamente, houve uma divergência dos raios que atravessaram a lente, porém mais uma vez houve uma posição específica de cruzamento entre os prolongamentos dos raios refratados. Esse ponto de cruzamento foi marcado sobre o papel milimetrado e sua distância em relação ao centro óptico da lente foi medida e registrada no relatório de experimento.

Nesse momento, houve mais uma intervenção por parte do docente suscitando um debate acerca de algumas observações que foram visualizadas nos experimentos. Primeiro, houve uma pergunta do docente sobre semelhanças e diferenças observadas pelos estudantes no experimento feito em cada lente. Nessa hora, um aluno afirmou que nas duas primeiras lentes houve cruzamento dos próprios raios de luz, enquanto que nas duas últimas lentes houve cruzamento dos prolongamentos dos raios. O docente aproveitou para reforçar o conceito de foco principal objeto e foco principal imagem. Dois alunos comentaram a cerca das “pontas” das lentes serem mais finas ou mais grossas. Então, o docente usou a oportunidade para explicar que as lentes de bordas finas são convergentes e as lentes de bordas grossas são divergentes, porque o índice de refração do acrílico é maior que o índice de refração do ar, que é o meio onde as lentes estão inseridas. Afirmou, ainda, que, se o experimento fosse feito em um meio que tivesse um índice de refração maior que o do acrílico, os comportamentos observados seriam opostos

ao que foi visto, ou seja, as lentes de bordas finas seriam divergentes e as lentes de bordas grossas seriam convergentes. Dessa forma, ficou claro que o comportamento óptico dos raios que atravessam uma lente depende das dimensões das bordas dessas lentes e dos valores relativos do índice de refração da lente e do meio onde ela está inserida.

Após o término da aplicação dos experimentos de verificação prática sobre as lentes esféricas, o docente utilizou a lousa para recapitular cada elemento da equação de Halley, elucidando a importância tanto do índice de refração da lente quanto do índice de refração do meio na qual ela está imersa, lembrando aos alunos que, como o experimento aconteceu com as lentes imersas no ar, o índice de refração do meio deve ser considerado aproximadamente igual a 1,00, informação essa que consta no formulário de experimento.

O docente mostrou também a importância dos raios de curvatura de cada uma das faces das lentes para a aplicação dessa equação, assim como a notação utilizada nos materiais didáticos, tanto para os sinais referentes às distâncias focais, quanto para os sinais referentes aos raios de curvatura das faces da lente. Nesse momento, houve a indagação de um aluno a respeito do valor que usaria na equação para o raio de curvatura da face plana da lente, fazendo com que o professor explicasse que para superfícies planas o raio de curvatura é infinito, o que, na prática, faz com que a fração correspondente à superfície plana se torne zero.

- **4ª Etapa: cálculo do índice de refração do material de cada lente através da equação de Halley.**

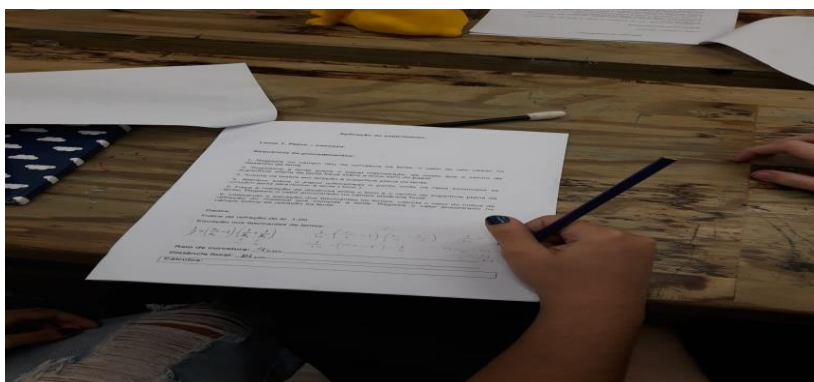
Durante essa etapa, o docente pediu para os grupos pegarem os formulários de experimento e instruiu que utilizassem a equação de Halley, bem como os valores coletados no formulário, para calcularem o índice de refração do acrílico em cada lente que foi produzida. Cada grupo utilizou o espaço específico no formulário de experimento e fez os cálculos referentes ao índice de refração experimental do acrílico, em cada uma das lentes que foram produzidas, como ilustra a figura 31.

Após cada grupo chegar ao valor experimental do índice de refração do acrílico para cada uma das suas lentes, esses valores foram registrados no campo específico do formulário de experimento. Para finalizar, o preenchimento do formulário de experimento os grupos calcularam o valor experimental médio do

índice de refração do acrílico. Esse cálculo foi realizado pela média aritmética entre os valores experimentais do índice de refração para cada uma das quatro lentes. Esse valor experimental médio foi registrado no campo específico do formulário de experimento.

O docente juntamente com os alunos fez uma comparação entre o valor médio experimental do índice de refração do acrílico encontrado por cada grupo e o valor médio do índice de refração do acrílico fornecido pelos livros didáticos. Houve um debate sobre as possíveis causas dos valores encontrados para algumas lentes específicas terem sido bem abaixo do valor médio do acrílico. As hipóteses levantadas pelos alunos foram o excesso de reflexo dos lasers, a proximidade entre as canetas e as lentes, a iluminação inadequada da sala e a mais recorrente, principalmente em se tratando das lentes divergentes, a dificuldade de conseguir encontrar com exatidão o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados. Como nenhum aluno mencionou essa hipótese, o docente levantou a questão de que a equação de Halley é aplicada com precisão para lentes do tipo delgadas, ou seja, em que os valores dos raios de curvaturas de suas faces sejam bem maiores que a espessura da própria lente. Como as lentes foram cortadas com raios de curvaturas de 4 cm, essas lentes não ficaram propriamente delgadas, por isso a discrepância entre os valores do índice de refração do acrílico encontrado para cada lente e o valor real. Discutiremos mais esses resultados no próximo capítulo.

Figura 31: Estudante calculando o índice de refração no formulário de experimento



Fonte: acervo do autor.

- **5ª Etapa: resolução do pós-teste e debate**

Após o docente ter feito o recolhimento de todo o aparato utilizado no experimento, os alunos, de forma individual, foram submetidos a um pós-teste para que o professor pudesse fazer uma diagnose sobre a eficácia ou não das atividades que foram aplicadas, podendo, assim, realizar as intervenções didáticas necessárias para cada estudante e/ou para a turma toda. Foi estipulado um tempo máximo de vinte minutos para a realização desse pós-teste, composto pelas mesmas seis questões objetivas contidas no pré-teste e mais três questões objetivas acerca da visão de cada aluno acerca das metodologias ativas e experimentais, além de uma última pergunta subjetiva onde o aluno teve a oportunidade de registrar sua percepção pessoal sobre todas as etapas desenvolvidas, assim como pôde contribuir com sugestões, elogios e críticas.

Como encerramento geral da sequência didática, o docente mediou um debate com os alunos, fazendo algumas provocações pontuais acerca das atividades que foram aplicadas. Nesse momento, alguns alunos se posicionaram em relação às suas experiências pessoais no tocante à metodologia utilizada e ao seu rendimento individual frente a todo o processo realizado. Relataram os fatores que facilitaram seu aprendizado e também as maiores dificuldades que enfrentaram durante as etapas. Teceremos mais comentários sobre essa etapa no próximo capítulo.

5. Resultados e Discussões

Diante do exposto nos capítulos anteriores, a necessidade de promover e aperfeiçoar metodologias que favoreçam o avanço do ensino e da aprendizagem da Física fundamentou a construção e a análise que fazemos dos dados e das respectivas discussões acerca da aplicação do produto educacional, que se destina esse trabalho.

Essas análises de resultado têm o caráter quantitativo, porém, em certos termos, também possui um caráter qualitativo. Como mencionado na descrição do produto educacional a que se refere esse trabalho, os estudantes foram submetidos à aplicação de um teste prévio de conhecimentos acerca das lentes esféricas e algumas características e fenômenos que são inerentes a esses instrumentos ópticos. Procuramos detectar esses conhecimentos prévios, para que, como afirma Ausubel (1968), a partir desses conhecimentos prévios houvesse um ponto de partida para a construção e solidificação do saber.

Em um segundo momento, iremos analisar a etapa de preparação para os experimentos, onde houve a elaboração das lentes e suas respectivas confecções, tudo isso com a participação efetiva dos estudantes. Em um terceiro momento, iremos analisar a aplicação propriamente dos experimentos, fazendo menção aos procedimentos estabelecidos, aparatos utilizados, observações percebidas, dados coletados e considerações pontuadas. Nesse momento específico, também iremos analisar o preenchimento por parte dos estudantes do formulário de experimento, com suas respectivas anotações, discussões e comprovações.

Em um último momento, iremos fazer a discussão referente à aplicação do pós-teste, onde os estudantes puderam ser confrontados novamente com as mesmas perguntas constantes no pré-teste, com a adição de novas indagações e ainda com um espaço específico para os mesmos relatarem de forma pessoal experiências que tiveram com todas as atividades referentes à sequência didática que se propõe esse trabalho. Ao final dos resultados, procuraremos fazer uma análise geral discutindo acerca dos resultados esperados e dos resultados obtidos com a aplicação desse produto educacional.

Como alguns alunos precisaram se ausentar antes ou durante alguma das atividades propostas na aplicação do produto educacional aqui tratado, achamos mais coerente e racional analisar e discutir apenas os dados e resultados obtidos

pelos nove alunos que participaram de forma efetiva, sem exceção, de todas as etapas da metodologia ora aplicada. Acreditamos que dessa forma teremos elementos mais consistentes e fidedignos para que essa pesquisa atinja um resultado mais real, podendo, assim, contribuir de forma mais relevante para o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem.

- **1ª Etapa: aplicação do pré-teste**

O pré-teste, como mencionado anteriormente, foi elaborado com o objetivo de detectar conhecimentos prévios dos estudantes acerca das lentes esféricas. Esse formulário foi construído com seis perguntas de estrutura objetiva, com indagações relacionadas especificamente ao conceito de lentes esféricas, à classificação das lentes esféricas e ao comportamento dos raios de luz ao atravessarem essas lentes.

Tais perguntas foram pensadas em relação à abordagem de pontos que frequentemente suscitam maiores dúvidas por parte dos estudantes. Com isso, a intenção é que tais dúvidas sejam dirimidas durante a aplicação da fase experimental.

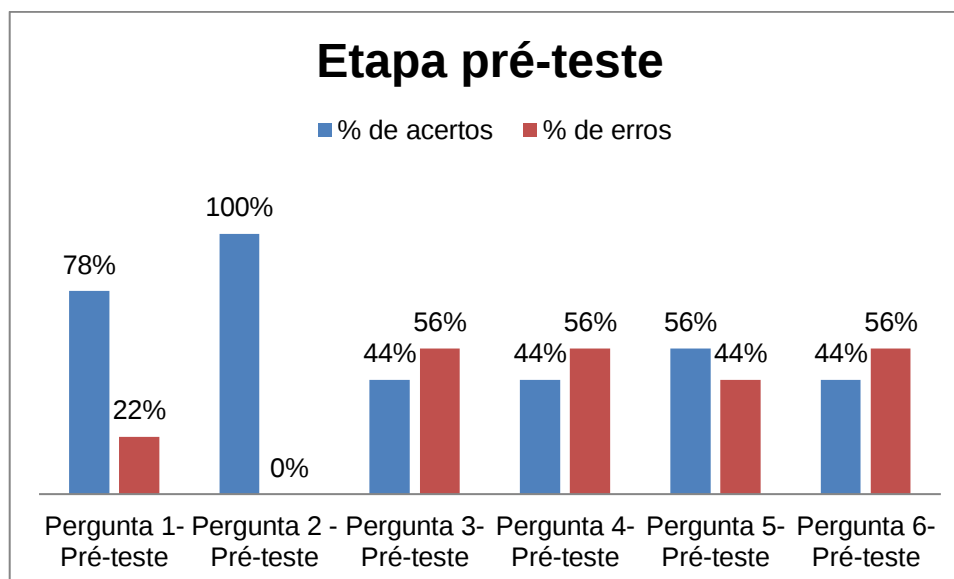
- **1ª Pergunta:** a primeira pergunta indagava a respeito do conceito de lentes esféricas, onde as alternativas oscilavam em torno de dióptros planos e dióptros esféricos para as faces das lentes. A intenção era saber se o estudante tinha a noção prévia que uma lente esférica precisa ter, no mínimo, uma de suas faces esférica. Analisamos que esse fator foi percebido pela maioria dos alunos, atingindo um total de aproximadamente 78% de respostas corretas.
- **2ª Pergunta:** a segunda pergunta indagava a respeito do principal fenômeno óptico que acontece quando os raios de luz atravessam as lentes esféricas. Essa pergunta visava detectar a observação prévia dos estudantes acerca do fenômeno da refração luminosa. As alternativas apresentavam outras opções de fenômenos, como a reflexão, a difração e a absorção. Identificamos que todos os alunos tinham a ciência que o fenômeno preponderante era o da refração luminosa, ou seja, 100% dos estudantes acertaram esse item.

- **3ª Pergunta:** a terceira indagação versava sobre que fato caracteriza uma lente ser convergente. As alternativas apresentavam opções que mostravam o caráter das dimensões das bordas das lentes e opções que apresentavam a relação entre o índice de refração da lente e o índice de refração do meio onde ele está inserido. O objetivo dessa pergunta era detectar se os estudantes tinham o conhecimento prévio de que o fator que determina uma lente ter caráter convergente não é apenas o fato de suas bordas serem finas, mas também observar a relação entre os índices de refração da lente e do meio onde ela está inserida. Observamos que aproximadamente 56% dos alunos assinalaram que a lente para ser convergente deve ter bordas finas e aproximadamente 44% dos alunos assinalaram que para uma lente ser convergente depende de uma relação entre o índice de refração da lente e do índice de refração do meio que favoreça a convergência.
- **4ª Pergunta:** essa indagação segue a linha da pergunta anterior, porém com relação às lentes esféricas divergentes. As alternativas também traziam opções que oscilavam entre as dimensões das bordas das lentes e a relação entre os índices de refração da lente e do meio de inserção dessa lente. Da mesma forma que na 3ª pergunta, a intenção dessa indagação era detectar se o estudante entendia previamente que aquilo que caracteriza o caráter convergente ou divergente de uma lente não é apenas o fator de dimensões de suas bordas e sim a relação entre os índices de refração da lente e do meio de inserção da mesma. Assim como na pergunta anterior, aproximadamente 56% dos alunos assinalaram alternativas referentes apenas às dimensões das bordas das lentes, enquanto que aproximadamente 44% dos estudantes assinalaram a alternativa que mencionava a relação entre os índices de refração da lente e do meio de inserção da mesma. Algo que chamou atenção foi o fato de, apesar de ter havido mesma porcentagem nas perguntas 3 e 4, o grupo ter sido diferente.
- **5ª Pergunta:** essa indagação era acerca do comportamento óptico esperado pelos raios de luz ao atravessar uma lente convergente, de forma que os raios incidentes tenham sido paralelos ao eixo principal da lente. Essa pergunta possuía o objetivo de detectar se previamente o estudante tinha

conhecimento que, ao incidirem paralelamente ao eixo principal de uma lente convergente, esses raios vão convergir para um ponto específico de cruzamento, e, ainda, se conhecia o nome desse ponto. As alternativas traziam opções que falavam a respeito do cruzamento efetivo dos raios de luz e do cruzamento dos prolongamentos desses raios. Outras opções que constavam nas alternativas eram acerca do nome desse ponto de cruzamento. Nessa pergunta, houve certo equilíbrio em relação às respostas, já que aproximadamente 56% dos estudantes assinalaram a resposta certa, enquanto que aproximadamente 44% assinalaram uma alternativa errada.

- **6ª Pergunta:** essa indagação tinha o mesmo caráter da 5ª pergunta, porém com ênfase nas lentes divergentes. Essa pergunta tinha o objetivo de detectar previamente se o estudante tinha o conhecimento que ao incidirem paralelamente ao eixo principal de uma lente divergente, esses raios divergem, porém seus prolongamentos de cruzam em um ponto chamado foco virtual da lente. As demais alternativas traziam opções que mostravam que o cruzamento era dos próprios raios de luz, e ainda traziam outros nomes para esse ponto de cruzamento. Nessa pergunta, também tivemos um percentual de aproximadamente 56% de respostas certas e de aproximadamente 44% de respostas erradas. Vale ressaltar que, mesmo sendo as mesmas porcentagens de acertos e erros nas perguntas 5 e 6, esses grupos não corresponderam aos mesmos alunos. O gráfico 1 mostra os gráficos referentes aos percentuais de acertos e erros por parte dos estudantes, para cada pergunta do pré-teste.

Nos gráficos a seguir, pode-se observar como se deram os percentuais de erro e de acertos nos questionamentos realizados na etapa pré-teste:

Gráfico 1: Porcentagem de erros e acertos das seis perguntas do pré-teste

Fonte: produzido pelo autor.

- **2ª Etapa: elaboração e confecção das lentes**

Na segunda etapa, os estudantes se reuniram em três grupos com três integrantes, grupos esses que foram chamados de A, B e C, respectivamente. Essa etapa teve um caráter mais de socialização entre os estudantes, que puderam observar os desenhos das lentes no software, podendo, assim, distinguir formatos diferentes para a posterior confecção dessas lentes na cortadora a laser. Vale ressaltar que, no *software*, os valores dos respectivos raios das figuras já estavam previamente determinados pelo docente, mas não haveria nenhum impedimento em alterar esses valores a qualquer tempo. Foi observada a interação entre os três componentes de cada grupo, bem como as diferentes percepções acerca dos formatos das lentes ao serem projetadas no computador, além de interesses bem diferentes em relação ao processo de confecção das lentes, em que uns tiveram muita curiosidade em ver a máquina trabalhando enquanto outros ficaram mais dispersos.

- **3ª Etapa: a aplicação do experimento**

Na terceira etapa, buscamos analisar a aplicação prática dos experimentos envolvendo as lentes esféricas. Como foi mencionado na aplicação desse produto

educacional, cada grupo se apropriou de quatro lentes esféricas e de alguns materiais necessários para a aplicação do experimento. A essência principal dessa etapa foi a verificação experimental de conceitos teóricos sobre as lentes esféricas. Para isso, elaboramos um formulário intitulado de *formulário de experimento*, que teve por objetivo orientar os grupos acerca das etapas do experimento, bem como de coletar dados do experimento que pudessem ser utilizados para o cálculo do índice de refração do material que compõe a lente. Cálculo esse que foi realizado através da equação de Halley. Todas as lentes utilizadas nos experimentos foram confeccionadas com um raio de curvatura igual a 4 cm.

Grupo A:

Esse primeiro grupo teve uma percepção muito satisfatória em relação ao ponto de cruzamento dos raios luminosos nas lentes convergentes e divergentes. Também entenderam com facilidade que nas lentes de bordas finas houve convergência efetiva dos raios de luz e nas lentes de bordas grossas houve convergência dos prolongamentos dos raios refratados.

Não houve nenhuma dificuldade por parte desse grupo na aplicação do experimento de nenhuma das quatro lentes testadas. Em relação ao preenchimento do formulário de experimento, também não houve dificuldades. Ao testar a primeira lente encontraram uma distância focal igual a +14 cm, sobre o papel milimetrado. Na segunda lente, foi registrada uma distância focal igual a +8 cm; na terceira lente, uma distância focal de -10 cm; e na quarta lente, uma distância focal de -16 cm. Vale ressaltar que para as lentes divergentes houve uma dificuldade maior para achar o foco sobre o papel milimetrado, pois precisava de uma projeção em relação aos prolongamentos dos raios refratados.

Em seguida, o grupo utilizou a equação de Halley para calcular o índice de refração do acrílico em cada lente. O grupo também não teve dificuldade de entender que o sinal algébrico dos raios de curvatura das faces das lentes podem ser positivos ou negativos, isso dependendo do formato de cada face da lente.

Para a primeira lente, o grupo encontrou um valor de 1,28 para o índice de refração do acrílico, enquanto que para a segunda lente foi calculado um valor de 1,25, para a terceira lente um valor de 1,40 e para a última lente um valor de 1,125. Ao final, o grupo calculou um valor médio para o índice de refração do acrílico,

baseado nos quatro valores anteriores, encontrando um valor médio de 1,26. Houve, por parte de um dos componentes desse grupo, um questionamento sobre a discrepância tão acentuada no valor encontrado para a lente bicôncava. Essa aluna afirmou que essa discrepância deve ter ocorrido pela dificuldade que encontraram em achar com mais precisão o foco dessa lente, já que precisavam projetar os prolongamentos dos raios refratados. O docente então explicou que esse fato também contribuiu, porém outros fatores também contribuíram, principalmente pelo fato da lente não ser totalmente delgada.

Grupo B:

Esse grupo apresentou mais dificuldade com relação ao desenrolar desta etapa, pois teve problemas na montagem dos materiais para a realização do experimento. Notamos certa desorganização ao dividir as tarefas na aplicação dos experimentos, fato que ocasionou o surgimento de várias dúvidas e questionamentos feitos ao docente, concernente à realização da atividade. O professor orientou o grupo a consultar o formulário de experimento, já que, nesse formulário, constava toda a sequência de procedimentos necessária para a realização da atividade proposta.

Para a primeira lente, o grupo obteve uma distância focal igual +14 cm, sobre o papel milimetrado. Para a segunda lente, o valor obtido para a distância focal foi de +9,5 cm, para a terceira lente a distância focal medida foi de -12,5 cm, enquanto que para a quarta lente a distância focal encontrada foi de -19 cm.

Em seguida, o grupo realizou, através da equação de Halley, o cálculo do índice de refração do acrílico, para cada lente testada. Nesses cálculos, houve algumas intervenções por parte do docente com relação a equívocos matemáticos que os alunos estavam cometendo em seus cálculos.

Depois de terminados os cálculos, o grupo registrou no formulário de experimento os valores encontrados para o índice de refração de cada lente. Para a primeira lente, foi encontrado um índice de refração igual a 1,30; para a segunda lente, foi encontrado um valor de 1,20; para a terceira lente, foi encontrado um valor de 1,32; e, para a quarta lente, foi encontrado um valor de 1,10. No final do formulário de experimento, o grupo calculou e registrou em campo específico o valor médio das quatro medidas obtidas para o índice de refração do acrílico, encontrando um valor médio de 1,23. Mais uma vez observamos uma discrepância nos

resultados referentes às quatro lentes, principalmente em relação à quarta lente. Novamente entendemos que essa discrepância foi influenciada por alguns fatores, dentre eles, a dispersão de parte da luz ao atravessar a lente, a imprecisão no método utilizado para medir a distância focal, principalmente nas lentes do tipo plano-côncavas e nas bicôncavas, pois os estudantes utilizaram réguas para achar as projeções dos prolongamentos dos raios refratados. Destacamos também o fato o fato das lentes não serem totalmente delgadas.

Grupo C:

O terceiro grupo teve inicialmente dificuldade em entender a aplicação do experimento, mas, após uma explanação do docente, o grupo assimilou as etapas que deveriam seguir sem maiores dificuldades. Na primeira lente, o grupo obteve uma distância focal de +13 cm, sobre o papel milimetrado. Para a segunda lente, foi encontrada uma distância focal de +6,5 cm, enquanto que, para a terceira lente, foi encontrada uma distância focal de -11 cm, e, para a quarta lente, uma distância focal de -14 cm.

Através da equação de Halley, o grupo calculou o valor do índice de refração do acrílico para cada uma das lentes. Para as duas primeiras lentes, o valor do índice de refração encontrado foi de 1,30, enquanto que para a terceira lente o valor encontrado foi de 1,36; e, para a quarta lente, um valor igual a 1,10. Ao final do formulário, o grupo calculou e registrou em campo específico o valor médio das quatro medições, encontrando um valor de 1,25. Como aconteceu com os dois primeiros grupos, também houve uma diferença considerável em relação aos valores encontrados, em especial na quarta lente, ou seja, na lente bicôncava.

Analisando os dados apurados pelos três grupos, concluímos que, de forma geral, houve um erro sistêmico em relação aos valores encontrados para o índice de refração do acrílico, principalmente em relação à lente bicôncava. Era esperado que houvesse uma discreta diferença entre os valores encontrados para cada lente, mas não tão discrepante como ocorreu, já que todas elas são feitas do mesmo material. Outra análise pertinente de fazer consiste na diferença que houve entre os valores médios encontrados por cada grupo e o valor do índice de refração do acrílico apresentado pelos materiais didáticos, que gira em torno de 1,49. Como mencionado anteriormente, entendemos que essa diferença ocorreu por alguns fatores referentes aos procedimentos experimentais, tanto em relação à elaboração das lentes, que

poderiam ser mais delgadas, quanto a imprecisões na aplicação e na medição experimental por parte dos alunos.

4ª Etapa: aplicação do pós-teste

A quarta etapa a ser analisada será a de aplicação do pós-teste. Nesse formulário, foram apresentadas aos estudantes seis perguntas idênticas ao pré-teste, para o docente poder fazer um paralelo sobre a apreensão ou não de alguns conceitos referentes ao estudo aplicado. Além disso, tinham mais três perguntas que objetivava avaliar a opinião pessoal de cada aluno em relação às contribuições que aulas experimentais e metodologias ativas podem proporcionar no processo de aprendizado de Física, além de uma questão subjetiva, onde o aluno podia dar a sua opinião em relação ao produto que foi aplicado.

A seguir, faremos a análise dos dados obtidos nesse instrumento denominado de pós - teste:

- **1ª Pergunta:** o que chamou atenção em relação a essa primeira pergunta é que, enquanto no pré-teste aproximadamente 78% dos estudantes assinalaram a resposta correta acerca da definição de uma lente esférica, no pós-teste 100% dos alunos assinalaram a resposta correta. Constatamos, então, que após a aplicação do experimento, concomitantemente com a aula expositiva, houve um entendimento geral de que as lentes esféricas precisam ter pelo menos uma de suas faces em formato esférico.
- **2ª Pergunta:** com relação à segunda indagação, não houve nenhuma modificação em relação ao pré-teste, ou seja, de forma geral todos os estudantes já entendiam que o principal fenômeno óptico presente nas lentes que são atravessadas por raios luminosos é o da refração luminosa. Houve totalidade de acertos, tanto no pré-teste quanto no pós-teste.
- **3ª Pergunta:** a 3ª pergunta, como dissemos na análise do pré-teste, fazia alusão ao comportamento óptico de uma lente esférica convergente. Durante o pré-teste, houve uma porcentagem de aproximadamente 56% dos estudantes que desconheciam ou tinham dúvidas de que as condições necessárias para uma lente ser convergente não dependem somente das

dimensões de suas bordas, mas também da relação entre o índice de refração do material da lente e o índice de refração do meio onde ela está inserida. No pós-teste, observamos que esse percentual foi invertido em relação ao pré-teste, ou seja, aproximadamente 44% dos estudantes continuaram a desconhecer ou ter dúvidas sobre esse fato, enquanto que aproximadamente 56% dos estudantes assinalaram o item que dizia que também a uma dependência dos índices de refração. Com esses resultados, houve a conclusão de que precisaria de uma intervenção posterior por parte do docente, trazendo mais elementos para consolidar essa parte específica do conteúdo.

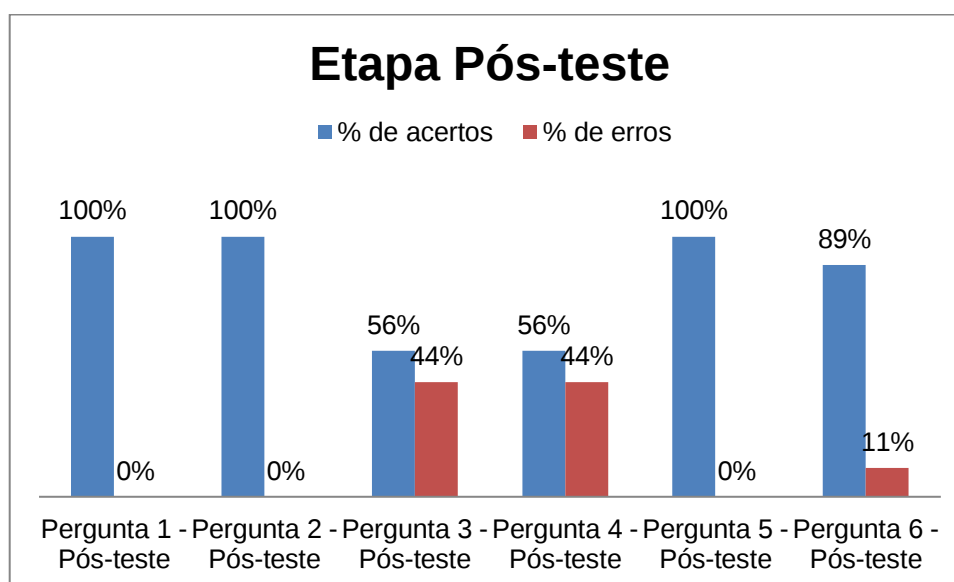
- **4ª Pergunta:** a quarta pergunta era na mesma linha da terceira pergunta, só que desta feita com o enfoque voltado para o comportamento óptico em lentes esféricas divergentes. Enquanto no pré-teste houve uma porcentagem de aproximadamente 44% dos estudantes que assinalaram o item que diziam que a divergência dependia também dos índices de refração, e aproximadamente 56% dos estudantes desconheciam ou tinham dúvidas a esse respeito, no pós-teste, houve uma inversão desses valores percentuais. Esses resultados obtidos na quarta pergunta só corroboram com a conclusão de que se devia fazer uma intervenção específica sobre esse ponto do conteúdo. Outro comentário que gostaríamos de fazer é o fato de que, mesmo não havendo questionamento de nenhum estudante durante o pré-teste nem durante o pós-teste, os resultados sinalizam que pode ter havido, também, por parte do docente, uma elaboração não muito clara das alternativas que compuseram a terceira e a quarta pergunta. Embora concordemos que poderia ter havido uma alternativa mais clara em sua elaboração, não entendemos que esse fato não trouxe prejuízo à metodologia desenvolvida nem à análise dos seus resultados obtidos.
- **5ª Pergunta:** como dito anteriormente, a quinta pergunta faz menção ao comportamento dos raios luminosos ao atravessarem uma lente convergente, paralelamente ao eixo principal dessa lente. No pré-teste, aproximadamente 56% dos estudantes entendiam que os raios emergentes da lente iriam convergir para um único ponto, chamado de foco real, enquanto que no pós-

teste 100% dos alunos tiveram esse entendimento. Concluímos, então, que a aplicação do experimento ajudou a consolidar esse conhecimento.

- **6ª Pergunta:** essa pergunta era a respeito ao comportamento dos raios de luz ao atravessarem uma lente esférica divergente, paralelamente ao eixo principal dessa lente. Enquanto que no pré-teste o percentual de acertos foi de aproximadamente 56% dos estudantes, no pós-teste essa porcentagem atingiu aproximadamente 83% dos estudantes. Concluímos, então, que houve um discreto avanço com relação ao entendimento acerca da convergência dos prolongamentos dos raios luminosos emergentes da lente, bem como do nome e do caráter específico desse ponto.

A seguir, apresentamos o gráfico, que ilustra os percentuais de acertos e erros dos seis primeiros questionamentos realizados aos alunos pós-teste:

Gráfico 2: Gráficos mostrando a porcentagem de erros e acertos das seis primeiras perguntas do pós-teste



Fonte: produzido pelo autor.

- **7ª Pergunta:** esse item indagava a opinião de cada estudante em relação à ajuda das atividades desenvolvidas no seu aprendizado sobre as lentes esféricas. A alternativa A dizia que as atividades ajudaram muito na compreensão do assunto; a alternativa B dizia que as atividades

desenvolvidas ajudaram em parte na compreensão do assunto; enquanto que a alternativa C dizia que as atividades desenvolvidas não ajudaram a compreender o assunto apresentado. Nesse item, todos os alunos assinalaram que as atividades desenvolvidas ajudaram muito na compreensão do funcionamento das lentes esféricas.

- **8ª Pergunta:** esse item indagava se o estudante julgava como positiva a utilização de experimentos nas aulas de Física e se a utilização de tais experimentos aumentava o seu interesse em relação às aulas. A alternativa A dizia que avaliava como positiva e trazia mais interesse nas aulas; a alternativa B dizia que julgava como positivo, mas não aumentava o seu interesse pelas aulas; a alternativa C dizia que não julga como positivo, mas aumentava o seu interesse pelas aulas; enquanto que a alternativa D dizia que nem avaliava como positivo e nem aumentava o seu interesse pelas aulas. Observamos que todos os alunos assinalaram a alternativa A, ou seja, todos julgam como positivo o uso de experimentos nas aulas de Física, além de considerarem que esses experimentos aumentam o interesse deles em relação às aulas.
- **9ª Pergunta:** essa indagação versava sobre o uso das metodologias ativas no processo de ensino e aprendizagem. O item pedia a opinião dos alunos sobre a eficácia de atividades em que o estudante desempenha uma participação ativa no processo de ensino-aprendizagem. A alternativa A dizia que acha proveitosa, pois facilita o aprendizado, a alternativa B dizia que não acha proveitosa, pois dificulta o aprendizado, enquanto que a alternativa C dizia que é indiferente, pois não interfere no aprendizado. Nesse item, todos os estudantes assinalaram a alternativa A, ou seja, todos acham as metodologias ativas proveitosas, pois, segundo eles, favorece o aprendizado.

Com base nas respostas obtidas nas perguntas 7, 8 e 9, podemos perceber que há uma inquietação por parte dos estudantes no tocante às aulas puramente tradicionais. Todos os estudantes questionados foram unânimes em aprovar as metodologias ativas e afirmar que as mesmas favorecem o aprendizado, bem como, servem de um agente motivador nas referidas aulas. Por fim, foi pedido que cada

aluno fizesse um breve comentário acerca das experiências pessoais concernentes às atividades desenvolvidas na aplicação do referido produto educacional.

Nesse sentido, gostaríamos de destacar alguns comentários registrados:

“Me ajudou bastante a aprender o conteúdo e entender mais sobre lentes, além de ter me divertido”.

Estudante 1

“Achei interessante e legal, porque nunca imaginei que poderia utilizar os conceitos que vi em sala de um jeito real, porque na sala só tive a ideia e na experiência realmente vi. Foi bom porque entendi melhor o assunto pela aplicação”.

Estudante 2

“Bom, pelo fato de termos praticado a aula sinto que, além de divertido, pela interação com os lasers nas lentes, podemos aprender com mais facilidade sei o foco é dos prolongamentos dos raios ou do encontro das luzes e como calcular o índice de refração da lente”.

Estudante 3

“Bom, fazer esse experimento onde nós mesmos confeccionamos as próprias lentes além do entendimento melhor, nos mostra na prática. Achei sensacional e divertida”.

Estudante 4

“Uma experiência nova com uma pitada de sabedoria”.

Estudante 5

“Foi muito legal e interessante sair da teoria e ir para a prática, isso ajuda muito no entendimento do conteúdo”.

Estudante 6

“Apreendi muito, pois me ajudou a aprender e compreender mais sobre o assunto e ter experiências reais com o assunto”.

Estudante 7

Esses exemplos de relatos mostram a tônica do sentimento dos estudantes após a realização de todas as etapas da sequência didática em questão. Esses relatos também vêm corroborar com a conclusão de que os estudantes, em sua

grande maioria, aprovam a aplicação das metodologias ativas e desfrutam de um maior índice de aprendizado, quando são submetidos a essas metodologias. Aliado a isso, sentem-se mais motivados a participar das aulas, pois também são aguçados no seu senso investigativo, o que é de suma importância para o estudo e aprimoramento das ciências.

6. Considerações finais

Conforme apresentado ao longo deste estudo, o objetivo do referido produto educacional é proporcionar aos docentes, que, cada vez mais, ingressam na comunidade escolar, uma forma alternativa de aproveitar as tecnologias como uma ferramenta parceira no processo de ensino e aprendizagem da Física. Após mais de duas décadas atuando como docente na área de Física, em vários ambientes escolares, de diversos níveis sociais e variadas faixas etárias, percebemos que há um crescente desinteresse de grande parte dos estudantes pelo estudo da Física. Muitos deles indagam a respeito da utilização de conceitos físicos e fórmulas matemáticas em suas vidas cotidianas e em seus anseios profissionais futuros.

Nesse tempo que estamos militando na linha de frente da sala de aula, também pudemos observar vários debates e inúmeras tentativas de mudanças na educação. Algumas dessas tentativas de mudança com uma enorme carga teórica bem sucedida, porém com pouca eficácia e aplicabilidade prática, trazendo em suas concepções um caráter extremamente utópico para a realidade enfrentada pelos centros educacionais.

É inegável que, com o avanço das tecnologias a sala de aula, vem durante os últimos anos passando por transformações consideráveis. Hoje, o estudante com o seu aparelho celular possui o mundo em tempo real em suas mãos, enquanto que o docente, muitas vezes, ainda munido apenas de pincel e lousa tenta concorrer com todo esse aparato disponível ao estudante no momento da aula.

Por outro lado, algumas empresas, ou mesmo docentes, prometem soluções mágicas de aprendizado, oferecendo uma gama de tecnologias em ambientes virtuais, muitas vezes sem nenhum rigor conceitual e até mesmo praticando falta de ética, onde o maior interesse é o número de acessos e curtidas para que haja um lucro financeiro maior. Entendemos que a educação é um processo lento e de construção contínua onde o docente tem um papel primordial na construção desse processo. Aliado a isso, a educação também contribui de forma decisiva na formação social e na construção do caráter de cada indivíduo.

Dessa forma, com base nessas constantes e velozes mudanças que vêm atravessando a educação, idealizamos a pesquisa que culminou neste produto educacional. Ao longo de nossa jornada profissional, notamos que cada vez mais as tecnologias estão sendo aprimoradas para de alguma forma servir às comunidades

educacionais. Paralelamente, empresas vêm a cada dia investindo mais em pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias que possam ser úteis ao processo de aprendizado.

Apesar dos investimentos, principalmente nas escolas públicas, ainda não acompanham as demandas do incremento de tais tecnologias, de alguma forma já sentimos um sensível avanço em algumas áreas. A Física como ciência natural precisa ser demonstrada de forma experimental.

Por tudo isso, pensamos numa sequência didática que pudesse aliar a aula expositiva tradicional com uma ferramenta tecnológica que, dentro ou fora do ambiente escolar, pudesse ser utilizada para verificar experimentalmente processos que ocorrem nas lentes esféricas. Aliado a isso, colocamos o processo de ensino-aprendizagem centrado no estudante, dando mais dinamismo e significado ao aprendizado.

Segundo Araújo e Abib (2003):

de modo convergente a esse âmbito de preocupações, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente. Nesse sentido, no campo das investigações nessa área, pesquisadores têm apontado em literatura nacional recente a importância das atividades experimentais. (ARAÚJO; ABIB, 2003, p.176)

Corroborando com o que foi dito, nos estudos de Gaspar e Monteiro (2005), é feita uma referência ao uso das aulas experimentais. Vejamos:

as atividades experimentais de demonstração em sala de aula, tanto quanto as atividades tradicionais de laboratório realizadas por grupos de alunos com orientação do professor, apresentam dificuldades comuns para a sua realização, desde a falta de equipamentos até a inexistência de orientação pedagógica adequada. No entanto, alguns fatores parecem favorecer a demonstração experimental: a possibilidade de ser realizada com um único equipamento para todos os alunos, sem a necessidade de uma sala de laboratório específica, a possibilidade de ser utilizada em meio à apresentação teórica, sem quebra de continuidade da abordagem conceitual que está sendo trabalhada e, talvez o fator mais importante, a motivação ou interesse que desperta e que pode predispor os alunos para a aprendizagem. (GASPAR; MONTEIRO, 2005, pp. 227-228)

Notamos claramente durante o desenvolvimento da aplicação desse produto educacional que houve mais envolvimento e interesse por parte dos estudantes participantes. Além do aprimoramento das relações interpessoais entre os estudantes, já que grande parte das atividades foi realizada em grupos de três estudantes, onde eles precisaram dividir tarefas e tomadas de decisões,

fortalecendo, assim, a habilidade de escutar o outro e respeitar as opiniões contrárias.

Ademais, observamos por parte de alguns estudantes o desejo de se aprofundar no campo científico, havendo um aguçamento no interesse investigativo em relação aos fenômenos naturais. Acreditamos que um dos desafios e uma das obrigações de um docente de ciências é promover o despertar nos discentes desse caráter investigativo, ou seja, é necessário suscitar estratégias que possam colaborar com o nascimento desse sentimento crítico e investigativo.

Os docentes, cientistas e pesquisadores, muitas vezes, dependem de pequenas atitudes que os motivem e despertem esse caráter elucidativo, principalmente daqueles que ainda estão cursando a educação básica. Em sala de aula, somos bastante indagados quando ministramos os conteúdos de óptica geométrica, pois muitos estudantes não entendem certos conceitos, pelo fato de nunca terem conhecido de perto os instrumentos apresentados nessas aulas. Nesse sentido, fenômenos ópticos ficam bem mais simples de serem entendidos quando são apresentados na prática experimental.

Constatamos de forma clara e transparente que houve uma assimilação bem maior dos conceitos relacionados às lentes esféricas, que foram desenvolvidas através das etapas propostas nesse produto educacional, do que conceitos anteriores que esses mesmos estudantes foram expostos durante o ano letivo, porém, de forma exclusivamente teórica, ou seja, sem comprovação experimental do que estava sendo ensinado.

Diante do que foi apresentado e exposto na análise dos dados e nas discussões, avaliamos como positiva a aplicação de nosso produto educacional, pois houve um visível progresso por parte dos estudantes submetidos à sequência didática proposta, além do fato de terem alcançado uma significação maior em seus índices de aprendizado, sobretudo pelo fato do docente ter aliado, concomitantemente, a aula expositiva com a aplicação do experimento, o que julgamos ser de um enorme ganho para o processo de ensino-aprendizagem da Física.

A partir dos depoimentos coletados dos alunos que participaram desta pesquisa, é possível perceber que uma aula que envolve e motiva o discente no processo de ensino-aprendizagem deve ultrapassar as barreiras de uma didática tradicional. Sendo assim, seguindo as premissas de Freire (2001; 2006), faz-se

necessário promover um aprendizado de fato, envolvendo os discentes com aulas práticas, que promovam um saber crítico que ultrapasse as barreiras da educação bancária ainda tão vigente em muitas escolas. Nesse sentido, a metodologia ativa aqui proposta para as aulas sobre Óptica serve como um agente motivador para a participação dos alunos em sala de aula.

Dessa forma, perspectiva-se, diante do sucesso do desenvolvimento da sequência didática aqui empreendida com os alunos participantes da pesquisa, que tecnologias acessíveis dentro e fora do ambiente escolar, como é o caso da cortadora CNC laser, possam ser aliadas do professor de Física em sua prática docente. Ademais, espera-se que a sequência didática por nós proposta seja uma ferramenta disponível para aulas de óptica geométrica no ensino médio.

Assim, tendo em vista a afirmação de Araújo e Abib (2003) de que as atividades experimentais no ensino de Física se revelam mais promissoras em relação à construção da aprendizagem se comparadas às atividades profissionais, propomos aqui um trabalho em sala de aula que, a partir da prática, discuta a teoria. Ademais, como a proposta possui questionamentos gradativos a serem feitos pré e pós-teste, os saberes desenvolvidos pelos alunos poderão ser melhor aproveitados, pois eles estarão, o tempo inteiro, participando da aula de modo ativo, sentindo-se parte de todo o processo de ensino-aprendizagem.

No decorrer do desenvolvimento das atividades sequenciadas anteriormente descritas, foi possível observar uma maior eficiência do método aqui proposto para a apreensão dos conceitos relacionados a lentes esféricas se comparada à assimilação dos conteúdos de Física por meio de estratégias tradicionais. Dessa forma, a partir do produto educacional desenvolvido, espera-se contribuir para facilitar e dinamizar as aulas dessa disciplina, principalmente na esfera da educação pública, onde, com frequência, observam-se poucos recursos tecnológicos disponíveis. Sendo assim, propomos aulas com uma cortadora CNC laser, que pode ser facilmente acessada no Fab Lab, que possui convênio com a rede pública de ensino e cerca de 80 laboratórios de fabricação digital no Brasil. Desse modo, a tecnologia sugerida aqui, além de ser uma boa ferramenta para o ensino de Óptica, é acessível aos professores de Física brasileiros e pode ser utilizada em sala de aula.

7. Referências Bibliográficas

ALVES, Nilda. (Org.). **Formação de professores: pensar e fazer**. Vol. 30. 11ª ed. São Paulo: Cortez, 1992.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, n. 2, junho, 2003.

AUSUBEL, David; HANESIAN, Helen; NOVAK, Joseph. **Educationalpsychology: a cognitiveview**. New York: Holt/ Rinehartand Winston, 1968.

_____. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BARROSO, Marta; RUBINI, Gustavo; SILVA, Tatiana da. **Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, vol. 40, nº 4, jun., 2018.

BISCUOLA, Gualter José; DOCA, Ricardo Helou; NEWTON, Villas Bôas. **Tópicos de Física – Vol. 1**. 21ª ed. São Paulo: Saraiva Didático, 2012.

_____. **Tópicos de física**. Vol. 2. 19ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Secretariada Educação Básica, 2017. Disponível em: < <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/>>. Acesso em: 23. Fev. 2019.

_____. **LDB – Leis de Diretrizes e Bases. Lei nº 9.394**. 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/tvescola/leis/lein9394.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa de; SASSERON, Lucia Helena. **Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores**. Estudos avançados, vol. 94, n. 32, pp. 43-55, set./dez., 2018.

CHAKUR, Cilene Ribeiro de Sá Leite. **Fundamentos da Prática Docente: Por uma Pedagogia Ativa**. Paidéia, FFCLRP-USP, Ribeirão Preto, vol. 9, n. 9, pp. 37-56, fev/Ago, 1995.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. **Ciências, informática e sociedade: uma coletânea de textos**. Brasília, 1994.

FANFANI, Emilio Tenti. **La condición docente: análisis comparado de la Argentina, Brasil, Perú y Uruguay**. Buenos Aires: Siglo XXI, 2007.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2001.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2006.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. **Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: Uma análise segundo referencial da teoria de Vygotsky**. Investigações em Ensino de Ciências, vol.10, n. 2, pp. 227-254, ago., 2005.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Aurélio. **Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória**. Investigações em Ensino de Ciências, vol. 6, n.1, pp. 29-56, 2001.

GATTI, Bernadete Angelina. **Educação, escola e formação de professores: políticas e impasses**. Educar em Revista, Curitiba, Brasil, n. 50, p. 51-67, out./dez. 2013. Editora UFPR.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Vol. 4. Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HERMANN, Nadja. **Validade em educação**. Intuições e problemas na recepção de Habermas. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1999.

KNIGHT, Randall. **Física 2: uma abordagem estratégica**. Trad. Iuri Duquia Abreu. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

MELO, F.R.L.S. (org.). **Inclusão no ensino superior: docência e necessidades educacionais especiais**. Natal: EDUFRRN, 2013, pp. 83-104.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barretto. **A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. Ciênc. educ. Bauru, 2009, vol.15, n.3, pp.557-580.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa subversiva**. Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, p. 33-45, 2006.

_____. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

_____. **Aprendizagem Significativa Crítica**. 2. ed. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2010.

MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRÍGUEZ, M.L. (orgs.). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. Burgos, España, pp. 19-44, 1997.

MÜHL, Eldon Henrique. **Habermans: ação pedagógica como agir comunicativo**. Passo Fundo: UPF, 2003a.

_____. Educação e emancipação: construção e validação consensual do conhecimento pedagógico. In: MÜHL, E. H.; FAVERO, A. A.; DALBOSCO, C. A. (Orgs.). **Filosofia, educação e sociedade**. Passo Fundo: Editora UPF, 2003b. p. 61-72.

NARDI, Roberto. **Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ienci>>. Acesso em: ago de 2019.

PEREIRA, Júlio Emilio Diniz. **Licenciaturas e as novas políticas educacionais para a formação docente.** Educação e Sociedade, Campinas, vol. 20, n. 68, dez., pp. 109-125, 1999. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/es/v20n68/a06v2068.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

PIETROCOLA, M. **Construção e Realidade:** realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. Investigação de Ciências, Porto Alegre, v. 04, n. 03, 1999. Disponível em:< <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; NICOLAU, Gilberto Ferraro; TOLEDO, Paulo Antônio de Toledo. **Fundamentos da Física.** Vol. 2. São Paulo: Moderna Plus, 2015.

RICARDO, Elio Carlos. **Competências, interdisciplinaridade e contextualização:** dos Parâmetros Curriculares Nacionais a uma compreensão para o ensino de ciências. 2005. 257f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

RODRIGUES, Neidson. **Responsabilidade do estado e da sociedade.** Tecnologia educacional, Rio de Janeiro, vol. 20, n. 101, pp. 12-19, 1991.

ROSA, M. I. de F. P. dos S.; SCHNETZLER, R. P. **A investigação-ação na formação continuada de professores de ciências.** Ciência & Educação, Bauru, vol. 9, n. 1, ago, pp. 27-39, 2003.

SILVA, Tomaz Tadeu. **Documentos de identidade:** uma introdução às teorias do currículo. 2ª ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

VAILLANT, D. Los docentes en primer plano. *In:* VAILLANT, D.; CUBA, S. **Profesión docente en Latinoamérica:** una agenda pendiente y cuatro retos emergentes. Lima: PREAL, 2008, pp. 13-18.

ZANETIC, João. **Física e cultura.** Ciência e Cultura, São Paulo, vol. 57, n. 3, jul./set., pp. 21-24, 2005.

8. Apêndices

8.1. Apêndice A – Formulário de pré-teste



Aluno:

Professor:

Pré-Teste

Com base nos seus conhecimentos prévios assinale a alternativa correta em cada um dos itens abaixo.

1. As lentes esféricas são:

- a) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.
- b) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros com suas superfícies planas.
- c) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície plana.
- d) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.

2. Durante a travessia dos raios luminosos através das lentes esféricas, o principal fenômeno óptico que ocorre é:

- a) a reflexão

- b) a refração
- c) a difração
- d) a absorção

3. O que determina uma lente esférica ser convergente é o fato dela:

- a) ter bordas grossas.
- b) ter bordas finas.
- c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a convergência.
- d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a divergência.

4. O que determina uma lente esférica ser divergente é o fato dela:

- a) ter bordas grossas.
- b) ter bordas finas.
- c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a convergência.
- d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a divergência.

5. Após raios de luz incidir numa lente esférica convergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

- a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

6. Após raios de luz incidir numa lente esférica divergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

- a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

8.2. Apêndice B – Formulário de pós-teste



Aluno: _____

Professor: _____

Pós-teste

1. As lentes esféricas são:

- a) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.
- b) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros com suas superfícies planas.
- c) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície plana.
- d) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.

2. Durante a travessia dos raios luminosos através das lentes esféricas, o principal fenômeno óptico que ocorre é:

- a) a reflexão
- b) a refração
- c) a difração
- d) a absorção

3. O que determina uma lente esférica ser convergente é o fato dela:

- a) ter bordas grossas.
- b) ter bordas finas.
- c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a convergência.
- d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a divergência.

4. O que determina uma lente esférica ser divergente é o fato dela

- a) ter bordas grossas.
- b) ter bordas finas.
- c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a convergência.
- d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida que favoreça a divergência.

5. Após raios de luz incidir numa lente esférica convergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

- a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

6. Após raios de luz incidir numa lente esférica divergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

- a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

- b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

7. Você julga que todas as atividades desenvolvidas nesses encontros te ajudaram a compreender melhor o funcionamento das lentes esféricas?

- a) sim, ajudaram muito.
- b) sim, ajudaram mais ou menos.
- c) não, não me ajudaram.

8. Você avalia como positivo a utilização de experimentos nas aulas de física? Os experimentos fazem você ter mais interesse pela aula?

- a) sim, avalio como positivo e fico com mais interesse na aula.
- b) sim, avalio como positivo, mas não aumenta o meu interesse pela aula.
- c) não avalio como positivo, mas aumenta meu interesse na aula.
- d) não avalio como positivo e não aumenta meu interesse na aula.

9. Qual a sua opinião sobre esse tipo de atividade, onde o aluno tem participação ativa no processo de ensino-aprendizagem?

- a) acho muito proveitosas, pois facilita o aprendizado.
- b) não acho proveitosa, pois dificulta o aprendizado.
- c) acho que é indiferente, pois não interfere no aprendizado.

10. Faça um breve comentário relatando suas experiências pessoais sobre as atividades que foram desenvolvidas.

8.3. Apêndice C – Formulário de experimento



Formulário de experimento

Grupo:

Professor: _____

Materiais utilizados:

Aplicação do experimento:

Lente 1: Plano – convexa.**Sequência de procedimentos:**

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da superfície plana da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à superfície plana da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da superfície plana da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 2: Biconvexa.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à uma das superfícies esféricas da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 3: Plano-côncava.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da superfície plana da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à superfície plana da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os prolongamentos dos raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da superfície plana da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 4: Bicôncava.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.

2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção a uma das superfícies esféricas da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os prolongamentos dos raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Conclusão:

Com base nas suas observações e cálculos indique o valor médio experimental do índice de refração do material que compõe as lentes, fazendo a média aritmética entre os valores encontrados para cada lente.

Valor médio do índice de refração:

8.4. Apêndice D – O produto educacional



CONFECÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA PARA O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO

Marco Aurélio Duque de Lima

O PRODUTO EDUCACIONAL

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva
Miranda.

Recife
2020

1. Apresentação

Prezado (a) colega professor (a), este trabalho nasceu da necessidade que verificamos, ao longo de mais de duas décadas atuando na linha de frente do ensino de Física, de se adotar um caráter mais experimental nas aulas, e, em específico, no ensino da óptica geométrica. Com base nessa necessidade, apresentamos uma sequência didática, que, amparada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968), tem por objetivo principal disponibilizar uma ferramenta que possa auxiliar os docentes durante suas aulas sobre lentes esféricas, de modo que a apresentação expositiva dos conceitos possa dialogar, em tempo real, com a verificação experimental prática.

Ademais, essa sequência didática fundamenta-se nas metodologias ativas, nas quais o estudante passa a ter um papel de maior protagonismo durante o processo didático, proporcionando uma aprendizagem bem mais significativa e consolidada. Vale salientar, ainda, que a intenção desse produto educacional não é constituir um modelo engessado em sua metodologia, mas sim oferecer um recurso que permite adaptações conforme as necessidades de onde, por ventura, ele for aplicado.

Esta sequência didática foi dividida em cinco etapas, nas quais os estudantes são submetidos a um pré-teste (anexo no apêndice A) e a um pós-teste (anexo no apêndice B), para a comparação do domínio e da assimilação dos conteúdos referentes às lentes esféricas, antes e após a aplicação do experimento. Os estudantes também confeccionam lentes esféricas, submetendo-as à incidência de raios lasers, verificando, assim, o comportamento óptico desses raios ao atravessarem as lentes. Em seguida os estudantes fazem algumas constatações matemáticas acerca do experimento, em formulário próprio (anexo no apêndice C), através da utilização da equação de Halley, com o objeto de calcular o índice de refração do material que compõe as lentes.

Destarte, este produto educacional é parte integrante da dissertação de mestrado do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), sediada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, pólo 58, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física. “O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001”. Essa dissertação se intitula:

“CONFECÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA PARA O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO”, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda.

2. Fundamentação teórica

3.1 A Óptica: Conceitos e classificações

Em seus estudos, os autores Halliday, Resnick e Walker (2016), ao se debruçarem sobre a óptica e suas relações com a Física, pontuam que:

um dos objetivos da física é descobrir as leis básicas que governam o comportamento da luz, como a lei de refração. Um objetivo mais amplo é encontrar aplicações práticas para essas leis; a aplicação mais importante é provavelmente a produção de imagens. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 105)

Ainda, conforme os autores supracitados:

as primeiras imagens fotográficas, produzidas em 1824, eram meras curiosidades, mas o mundo moderno não pode passar sem imagens. Grandes indústrias se dedicam à produção de imagens nas telas dos aparelhos de televisão, computadores e cinemas. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.105).

Como essa pesquisa, em particular, versa sobre o comportamento dos raios luminosos ao atravessarem os sistemas ópticos denominados de lentes esféricas, entendemos que é pertinente começar a fundamentação física trazendo uma abordagem sobre o conceito de óptica geométrica.

Segundo Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 296), a óptica, para efeitos didáticos, divide-se em:

- **Óptica geométrica** - estuda os fenômenos ópticos com enfoque nas trajetórias seguidas pela luz. Fundamenta-se na noção de raio de luz e nas leis que regulamentam seu comportamento.
- **Óptica física** - estuda os fenômenos ópticos que exigem uma teoria sobre a natureza constitutiva da luz.

3.2. Introdução à óptica geométrica

A óptica geométrica, além de analisar o comportamento dos raios luminosos ao se propagarem em certos meios, também estuda o comportamento desses raios ao incidirem em determinados objetos, mudando, assim, o meio de propagação. Cabe, ainda, ao estudo da óptica geométrica vivenciar fenômenos como reflexão,

refração, dispersão e, além disso, esmiuçar o comportamento dos raios de luz em alguns sistemas ópticos como espelhos, prismas e lentes.

As fontes luminosas são aquelas que emitem luz. Porém, vale salientar que nem sempre essas fontes emitem luz própria, podendo, assim, ser divididas em dois grupos, a saber: primárias, quando emitem luz própria; e secundárias, quando emitem luz proveniente de outras fontes. Nesse sentido, se a óptica geométrica trata do comportamento da trajetória da luz através de seus raios luminosos, faz-se necessário tecer uma definição para raios de luz. Para Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 298), o “raio de luz é uma linha orientada que tem origem na fonte de luz e é perpendicular às frentes de luz. Os raios de luz indicam a direção e o sentido de propagação da luz em um meio ou sistema”.

A óptica geométrica é regida por três princípios, que são: o princípio da independência dos raios luminosos, que afirma que um raio de luz não interfere na trajetória de outro raio de luz; o princípio da irreversibilidade dos raios de luz, que afirma que o sentido da trajetória de um raio de luz é reversível; e, por último, o princípio da propagação retilínea, que afirma que nos meios transparentes, homogêneos e isotrópos a luz se propaga em linha reta.

3.3. A Refração da luz

3.3.1. Conceito e implicações

Para dar continuidade a nossa fundamentação teórica acerca da óptica geométrica, trataremos agora do fenômeno denominado refração luminosa. Ramalho Júnior, Nicolau e Toledo (2015, p. 309) definem refração da luz “como a variação de velocidade sofrida pela luz ao passar de um meio de propagação para outro”. No estudo da refração, é importante salientar que as cores das luzes dependem da frequência da onda luminosa. No intervalo de frequências da luz visível, são detectadas as cores: vermelha, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Se todas essas cores forem emitidas ao mesmo tempo, haverá uma sensação da tonalidade branca. De acordo com Biscuola, Doca e Newton (2012), uma:

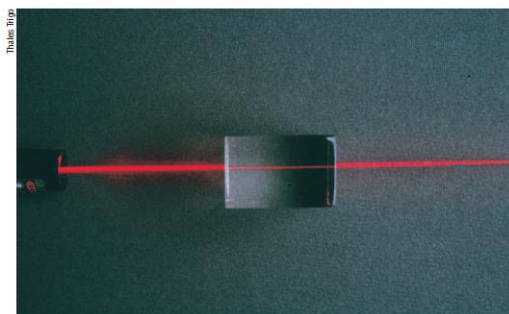
luz monocromática é aquela constituída de ondas eletromagnéticas de uma única frequência, ou seja, de uma única cor, enquanto que uma luz

policromática é aquela constituída de ondas eletromagnéticas de várias frequências distintas, ou seja, de várias cores” (BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 368).

A figura 1 ilustra dois exemplos de luz monocromática e policromática, vejamos:

Figura 1: Exemplo de uma luz monocromática e de uma luz policromática

a) Luz monocromática



b) Luz policromática



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 368.

3.3.2. Índice de refração de um meio

O índice de refração é uma grandeza física de imensa importância no estudo da óptica geométrica. Para cada meio aonde a luz se propaga, está associado um índice de refração, que determina a relação de refringência nesse meio. O índice de refração de um meio é calculado pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no referido meio, sendo, portanto, uma grandeza adimensional. Pelo exposto, temos:

$$n = \frac{c}{v_{\text{meio}}} \quad (3.1)$$

Onde:

n – Representa o índice de refração do referido meio de propagação da luz.

c – Representa a velocidade de propagação da luz no vácuo.

v – Representa a velocidade de propagação da luz no referido meio.

O índice de refração do vácuo é igual a 1,0, enquanto que, para os demais meios, o índice de refração é um valor maior que 1,0, ou seja, $n > 1,0$.

O índice de refração de um meio material depende da frequência da luz que se propaga, apresentando um valor máximo para a luz violeta e um valor mínimo para a luz vermelha. Um caso curioso é a chamada continuidade óptica, ou seja, quando dois meios possuem o mesmo índice de refração absoluto. No exemplo ilustrado na figura 2, vimos o recipiente da esquerda contendo água e uma barra de vidro imersa nessa água. Como os valores dos índices de refração do vidro e da água são diferentes, esse bastão pôde ser visualizado. No recipiente da direita, foi colocada uma substância conhecida como tetracloroetileno (C_2Cl_4), que possui o mesmo índice de refração do vidro. Nessa situação, os dois meios se comportam como se fossem um único meio, não permitindo, assim, a diferenciação entre o vidro e o tetracloroetileno:

Figura 2: Exemplo de continuidade óptica



Fonte: RAMALHO JÚNIOR; NICOLAU; TOLEDO, 2015, p.310.

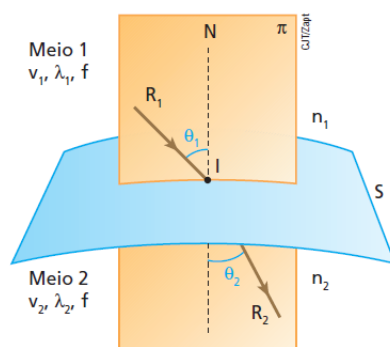
3.3.3. As leis da refração luminosa

Numa refração, temos a presença de alguns elementos, como raio incidente, raio refratado e a reta normal, que recebe esse nome por ter direção perpendicular à superfície de separação entre os dois meios. Nesse momento, cabe um comentário sobre o conjunto dos dois meios onde acontecerá a refração. Esse conjunto de dois meios pode ser separado por superfície plana ou não plana. Esse conjunto de dois meios separados por uma superfície recebe o nome de dióptro. Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 371) definem dióptro como sendo “um sistema de dois meios transparentes de diferentes refringências, que fazem entre si fronteira regular”.

A refração da luz é regida por duas leis. Essas leis versam sobre os elementos presentes em uma refração, como índice de refração dos meios,

velocidade de propagação da luz, ângulo de incidência, ângulo de refração, raio incidente, o raio refratado e a reta normal. Para fins elucidativos, observaremos na figura 3 uma ilustração de uma refração ocorrida entre dois meios:

Figura 3: Ilustração de uma refração ocorrida pela luz ao atravessar dois meios



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 371.

Diante do acima exposto, podemos dizer que as leis da refração são duas, a saber:

- **1ª Lei:** O raio incidente I , o raio refratado R e a normal N à superfície de separação, todos pertencem a um mesmo plano.
- **2ª Lei:** (Snell-Descartes): Para cada par de meios e para cada luz monocromática que se refrata, é constante o produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal e o índice de refração do meio em que o raio se encontra.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.2)$$

Através da 2ª lei da refração, podemos descrever o comportamento de um raio luminoso ao sofrer uma refração. Ou seja, podemos ter três situações:

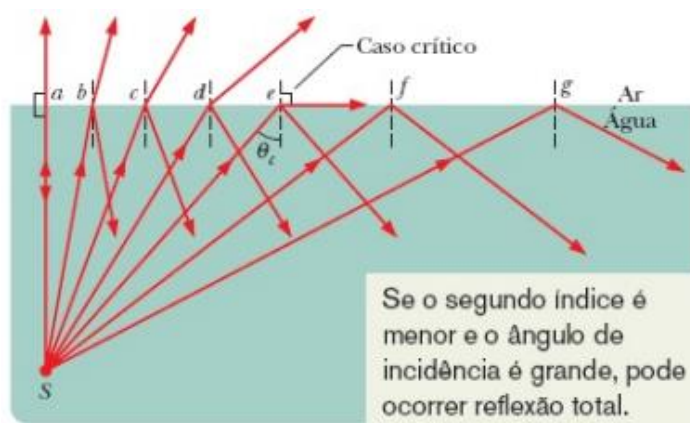
1. Quando a luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o raio luminoso se aproxima da normal.
2. Quando a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio luminoso se afasta da normal.

3. Quando a luz incide sobre a reta normal, não há desvio do raio refratado.

3.3.4. Ângulo crítico e Reflexão interna total

Um aspecto importante no estudo da refração da luz é o fato de que em algumas condições a luz pode sofrer reflexão total ao invés de refração. A figura 4 mostra algumas situações que vão ocorrendo com os raios luminosos quando vão sendo alterados os ângulos de incidência:

Figura 4: Refração e reflexão total ocorrida entre a água e o ar



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 70.

O ângulo crítico é atingido quando o ângulo de refração atinge 90° , ou seja, $\theta_2 = 90^\circ$. Então nessa situação o ângulo de incidência θ_1 recebe o nome de ângulo limite ou ângulo crítico, podendo ser determinado pela aplicação da lei de Snell.

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad (3.3)$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (3.4)$$

Desta forma, como comentado anteriormente, há condições para que o raio de luz sofra reflexão total. Há duas condições primordiais para um raio de luz sofrer reflexão interna total, a saber:

1ª Condição: O raio luminoso deve incidir de um meio mais refringente para um meio menos refringente, ou seja, $n_1 > n_2$.

2ª Condição: O ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo crítico, ou seja, $\theta_1 > \theta_2$.

No cotidiano, uma das grandes aplicações do fenômeno da reflexão total é o uso das fibras ópticas, principalmente na telefonia.

3.4. Lentes esféricas

3.4.1. Conceito

É inegável a importância das lentes no cotidiano das pessoas. Elas podem ser encontradas em vários equipamentos necessários à sociedade como um todo. Como analisa Biscuola, Doca e Newton (2012):

não se sabe ao certo quando surgiram as primeiras lentes, há relatos de que no século VIII a.C. utilizavam-se determinados cristais polidos capazes de produzir imagens ampliadas de objetos. A partir do século XIII, porém, iniciou-se na Itália a fabricação regular de lentes, destinadas principalmente à correção visual. Teria sido o florentino Salvino D'Armati, em 1285, o primeiro fornecedor do que hoje chamamos de óculos. (BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 411)

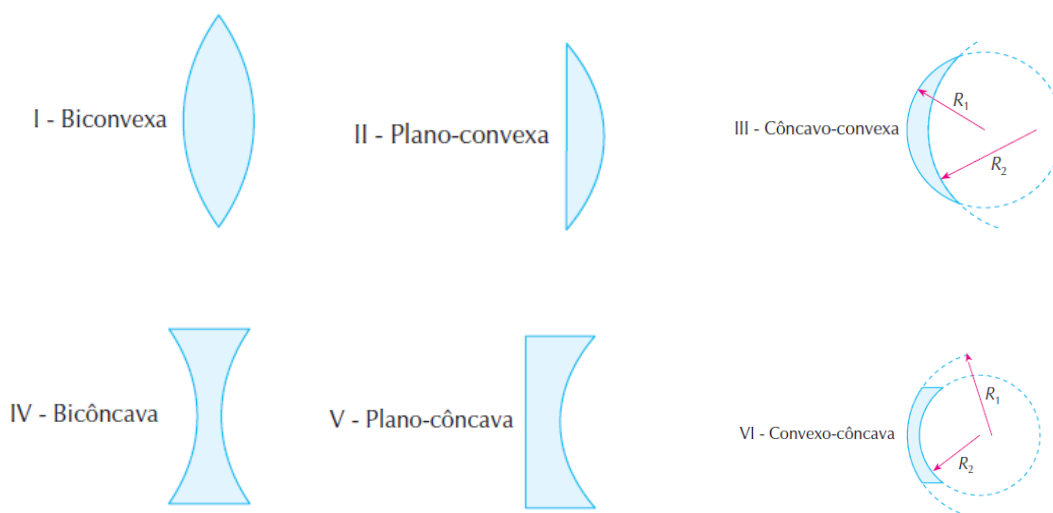
Adiante, iremos analisar algumas definições apresentadas para as lentes. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 128), “lente é um objeto transparente, limitado por duas superfícies refratoras com um eixo central em comum”. Já Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 411) definem especificamente as lentes esféricas como sendo “uma associação de dois dióptros: um necessariamente esférico e o outro plano ou esférico”. Para Ramalho Júnior, Nicolau e Toledo (2015, p. 345), “as lentes esféricas são sistemas ópticos constituídos por três meios homogêneos e

transparentes separados por uma superfície esférica e outra plana ou por duas superfícies esféricas”. Quando à espessura da lente, é desprezível em relação aos raios de curvaturas das suas faces esféricas, essas lentes recebem o nome de lentes delgadas.

3.4.2. Classificação das lentes esféricas

Em relação às bordas, as lentes delgadas se dividem em dois grandes grupos, a saber, as de bordas finas e as de bordas grossas, como ilustra a figura 5:

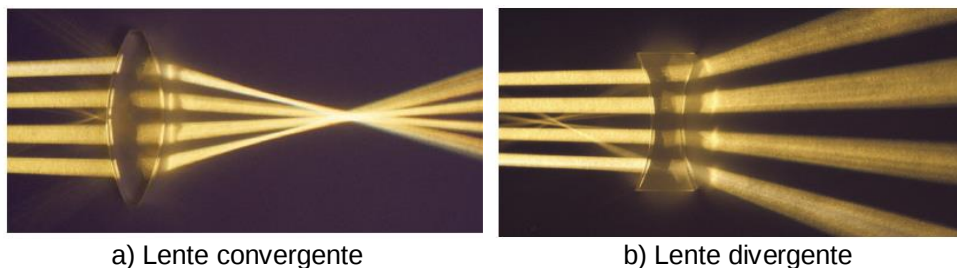
Figura 5: Ilustrações de lentes de bordas finas e de bordas grossas



Fonte: RAMALHO JÚNIOR; NICOLAU; TOLEDO, 2015, p. 346.

Em relação ao comportamento óptico das lentes esféricas, elas se classificam em convergentes ou divergentes. Nas lentes convergentes, os raios que incidem paralelos ao eixo principal da lente, refratam com direções que convergem para um ponto específico. Já nas lentes divergentes, os raios que incidem paralelos ao eixo principal da lente, refratam com direções que divergem, porém os seus prolongamentos convergem para um ponto específico. A figura 6 mostra raios luminosos atravessando uma lente convergente e raios luminosos atravessando uma lente divergente:

Figura 6: Raios de luz apresentando comportamentos convergentes e divergentes ao atravessarem lentes diferentes



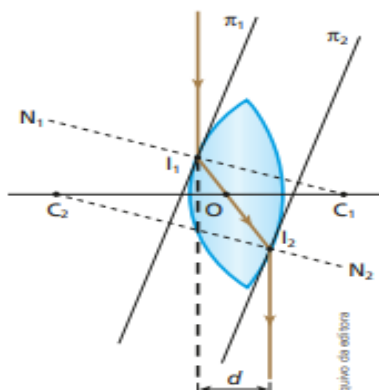
Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 413.

É importante frisar que qualquer lente pode ter comportamento convergente ou divergente. Um dos fatores que determina esse comportamento é a relação entre o índice de refração da lente e o índice de refração do meio onde a lente está imersa. Os autores Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 413) resumem essa relação entre comportamento óptico da lente e índices de refração, como: “se a lente é mais refringente que o meio externo, temos: bordas finas — convergentes; bordas grossas — divergentes. Esse é o caso mais comum. Se a lente é menos refringente que o meio externo, temos: bordas finas — divergentes; bordas grossas — convergentes, sendo esse caso menos comum”.

3.4.3. Elementos de uma lente esférica

a) Centro óptico

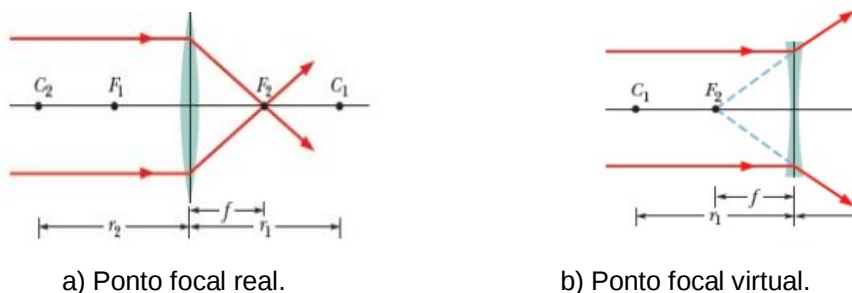
Esse ponto é o local da lente onde os raios luminosos que incidem nesse ponto refratam sem sofrer desvio. Nas lentes de faces simétricas, esse ponto corresponde ao centro geométrico da peça. A figura 8 ilustra o centro óptico de uma lente esférica biconvexa:

Figura 7: Raios de luz atravessando uma lente pelo centro óptico

Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 546.

b) Foco principal

Quando um raio de luz atravessa uma lente ele sofre duas refrações, uma em cada face da lente. Como vimos anteriormente, raios luminosos refratados numa lente convergente se cruzam num ponto específico. A esse ponto se dá o nome de ponto focal real, já que é obtido pelo cruzamento efetivo dos raios de luz. Já nas lentes divergentes, o cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados dá-se em um ponto denominado ponto focal virtual. A distância entre cada ponto focal e o centro óptico da lente recebe o nome de distância focal, podendo receber sinal positivo ou negativo, dependendo do tipo de lente em questão. A figura 8a ilustra os raios luminosos se cruzando no ponto focal F_2 de uma lente convergente, enquanto a figura 8b ilustra o cruzamento dos prolongamentos dos raios no ponto focal F_2 :

Figura 8: Ponto focal em uma lente convergente e ponto focal em uma lente divergente

Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.130.

c) Pontos antiprincipais

Outro ponto a ser destacado nas lentes esféricas são os chamados pontos antiprincipais, localizados sobre o eixo principal da lente. A distância entre esses pontos antiprincipais e o centro óptico corresponde ao dobro da distância focal da lente. Os raios luminosos que incidirem sobre um ponto principal de uma lente irão se refratar sobre o outro ponto antiprincipal da lente. Esse ponto corresponde ao centro da esfera de onde a lente foi obtida. Então podemos dizer que a distância entre o ponto antiprincipal e o centro óptico da lente corresponde ao raio de curvatura dessa lente.

3.4.4. Raios luminosos particulares

Nas lentes existem alguns raios que possuem comportamentos particulares ao atravessar essas lentes, dependendo da forma que esses raios de luz incidem. Esses raios particulares são de extrema importância para a obtenção da construção geométrica das imagens nas lentes esféricas. Vamos analisar esses raios particulares:

1º raio particular: todo raio luminoso que incide no centro óptico se refrata sem sofrer desvio.

2º raio particular: todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se refrata alinhado com o foco principal real da lente.

3º raio particular: todo raio luminoso que incide alinhado com o ponto antiprincipal objeto se refrata alinhado com o ponto antiprincipal imagem.

4º raio particular: todo raio luminoso que incide sobre o foco principal da lente se refrata de forma paralela ao eixo principal.

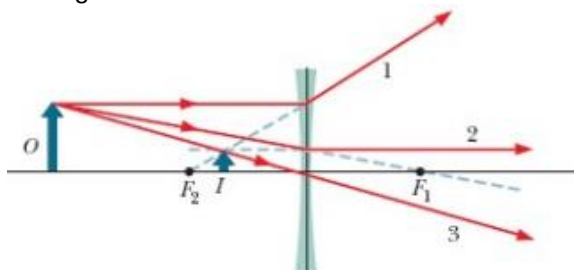
3.4.5 Construção geométrica e características das imagens formadas

3) Lentes divergentes

As características das imagens formadas nas lentes divergentes são sempre as mesmas, independente da posição do objeto. Outro fato é que essas imagens sempre são formadas entre o centro óptico e o foco principal imagem da lente. As

imagens formadas nas lentes divergentes são virtuais, direitas e menores que o objeto. A figura 9 mostra a formação de uma imagem virtual numa lente divergente:

Figura 9: Imagem virtual formada numa lente esférica divergente



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.134.

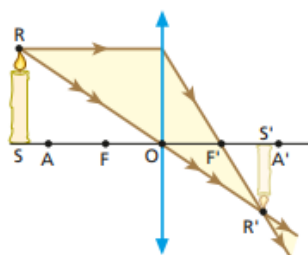
4) Lentes convergentes:

Já nas lentes esféricas convergentes, as características das imagens conjugadas dependem da posição ocupada pelo objeto. Vamos analisar as possíveis características das imagens para pontos distintos de localização do objeto:

1ª posição: Objeto além do ponto antiprincipal objeto.

- Como ilustra a figura 10, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.

Figura 10: Formação de uma imagem para um objeto localizado antes do ponto antiprincipal

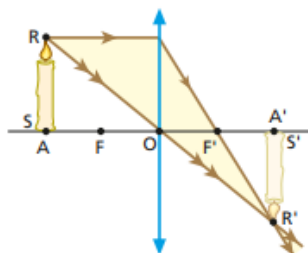


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

2ª posição: Objeto sobre o ponto antiprincipal objeto.

- Como ilustra a figura 11, a imagem formada é real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

Figura 11: Imagem formada de um objeto localizado sobre o ponto antiprincipal

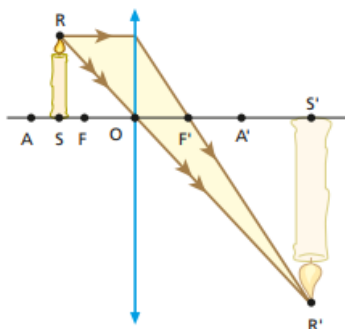


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

3ª Posição: Objeto entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto.

- Como ilustra a figura 12, a imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.

Figura 12: Imagem formada de um objeto localizado entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto da lente

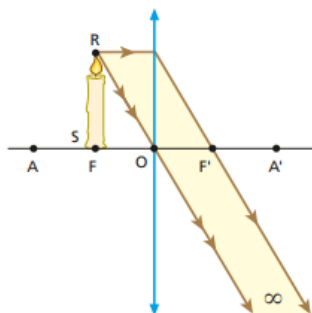


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

4ª Posição: Objeto sobre o foco principal.

- Como ilustra a figura 13, a imagem formada é imprópria.

Figura 13: Imagem imprópria de um objeto localizado sobre o foco principal objeto da lente

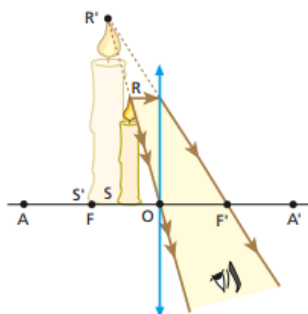


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 554.

5ª Posição: Objeto entre o foco principal e o centro óptico.

- Como ilustra a figura 14, a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.

Figura 14: Imagem virtual formada de um objeto localizado entre o foco principal objeto e o centro óptico da lente

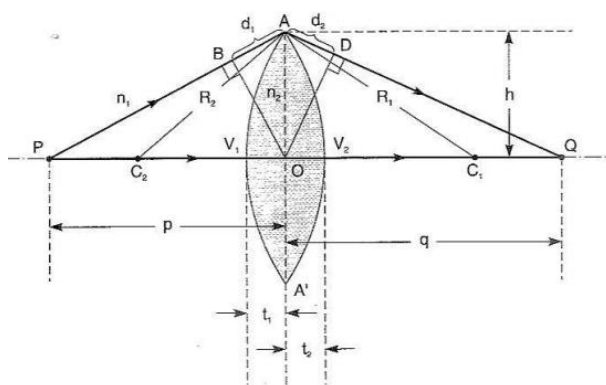


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 554.

3.4.6. Estudo analítico das lentes esféricas. A equação de Gauss e o aumento linear transversal

Para estudarmos a parte analítica das lentes esféricas, analisemos, como base, a lente biconvexa representada na figura 15:

Figura 15: Lente biconvexa



Fonte: KNIGHT, 2009, p. 28.

Usando o princípio de Fermat, na condição em que o caminho óptico (PAQ), passando pelo topo da lente deve ser igual ao caminho óptico (POQ), passando pelo eixo central da lente. Em outras palavras, a diferença (PAQ) – (POQ) é nula. Essa diferença possui duas componentes, a primeira, seria $n_1 d_1 + n_2 d_2$, já que podemos

considerar a distancia PB aproximadamente igual a distancia PO, assim como a distancia DQ aproximadamente igual a distancia OQ. A segunda componente vem através da substituição de n_1 por n_2 através do trecho $\overline{V_1 V_2}$, que é a própria espessura da lente. Logo, essa segunda componente é dada por $+(n_2 - n_1) \overline{V_1 V_2} = +(n_2 - n_1)(t_1 + t_2)$, para a figura 16. Pelo principio de Fermat, teremos:

$$0 = [PAQ] - [POQ] = n_1 (d_1 + d_2) - (n_2 - n_1) (t_1 + t_2) \quad (3.5)$$

Considerando, dentro do triângulo AOP, $AO = h$, teremos:

$$h^2 \cong (p + d_1)^2 - p^2 = 2pd_1 + \underbrace{d_1^2}_{\text{desprezível}} \left\{ d_1 \cong \frac{h^2}{2p} \right. \quad (3.6)$$

De forma análoga, no triângulo AOQ, temos:

$$d_2 \cong \frac{h^2}{2p} \quad (3.7)$$

Notando ainda que $\overline{C_1 V_1} = \overline{C_1 A} = R_1$, no triângulo retângulo AOC₁, teremos:

$$h^2 = R_1^2 - (R_1 - t_1)^2 = 2R_1 t_1 + \underbrace{t_1^2}_{\text{desprezível}} \left\{ t_1 \cong \frac{h^2}{2R_1} \right. \quad (3.8)$$

Como $R_2 < 0$, de forma análoga, no triângulo AOC₂, teremos:

$$t_2 \cong -\frac{h^2}{2R_2} \quad (3.9)$$

Substituindo as relações (3.6), (3.7), (3.8) e (3.9) na relação (3.5), teremos:

$$n_1 \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{q} \right) - (n_2 - n_1) \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = 0 \quad (3.10)$$

Dividindo essa relação por n_1 , chegamos à seguinte relação:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = \frac{1}{f'} \quad (3.11)$$

A forma simplificada dessa relação seria:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (3.12)$$

Essa equação é conhecida como equação de Gauss, em homenagem ao matemático e físico alemão Karl Friedrich Gauss. Analisando as variáveis dessa equação:

p – Distância entre o objeto e o centro óptico da lente.

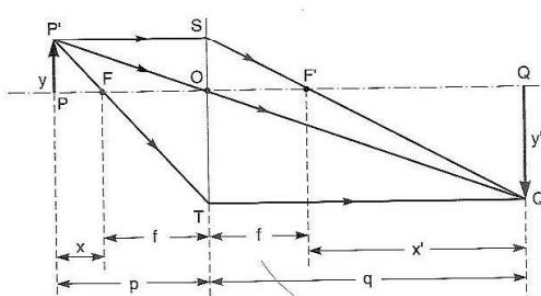
q – Distância entre a imagem conjugada e o centro óptico da lente.

f – Distância focal da lente.

Para essa equação é adotada a convenção de sinais que se segue:

- Objetos e imagens reais: abscissa positiva ($p > 0$ e $q > 0$).
- Objetos e imagens virtuais: abscissa negativa ($p < 0$ e $q < 0$).
- Lentes convergentes: distância focal positiva ($f > 0$).
- Lentes divergentes: distância focal negativa ($f < 0$).

Outra grandeza que iremos definir é o aumento linear transversal. Para isso, vamos recorrer à figura 16, que mostra um objeto de altura y e a sua respectiva imagem de altura y' , conjugada numa lente convergente:

Figura 16: Objeto e imagem formada numa lente convergente

Fonte: KNIGHT, 2009, p. 30.

Após aplicar a semelhança entre os triângulos PP'O e QQ'O, temos:

$$m = +\frac{y'}{y} = -\frac{q}{p} \quad (3.13)$$

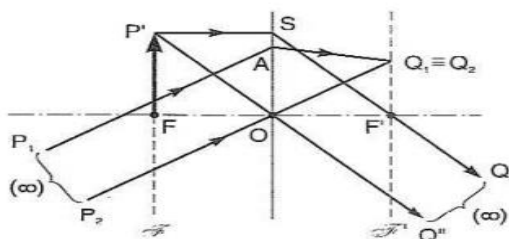
Representando por x e x' as distâncias do objeto e da imagem ao foco, respectivamente, teremos:

$$m = +\frac{y'}{y} = \frac{x'}{f} = -\frac{f}{x} \quad (3.14)$$

Isso implica em na relação (3.14), que é a forma newtoniana para a equação das lentes delgadas:

$$xx' = f^2 \quad (3.15)$$

Uma das conseqüências dessa relação newtoniana está representada na figura 17. Esse caso indica que para x tendendo a zero, x' tende ao infinito e que para x' tendendo a zero, x tende ao infinito:

Figura 17: Plano focal objeto e plano focal imagem

Fonte: KNIGHT, 2009, p.31.

A grandeza física denominada vergência indica de uma forma simplista a capacidade que uma lente possui de desviar raios de luz que nela incidem. Essa grandeza é calculada pelo inverso da distância focal da lente, ou seja:

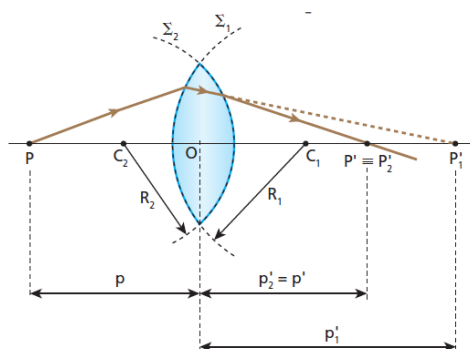
$$V = \frac{1}{f} \quad (3.16)$$

Lentes convergentes possuem focos reais, consequentemente vergências positivas, ou seja, $f > 0$ e $V > 0$. Lentes divergentes possuem focos virtuais, consequentemente vergências negativas, ou seja, $f < 0$ e $V < 0$. Popularmente se conhece a dioptria como grau. No Sistema Internacional de unidades (SI), a vergência é dada em dioptria(di), que indica o inverso do metro, ou seja, m^{-1} .

3.4.7. Equação de Halley

A equação dos fabricantes das lentes é atribuída ao astrônomo inglês Edmond Halley (1656-1742). Essa equação permite calcular a distância focal (ou a vergência) de uma lente, sendo conhecidos seus índices de refração em relação ao meio externo e os raios de curvatura de suas faces. Essa equação traz uma relação entre a distância focal da lente, índice de refração relativo e raios de curvatura das faces da lente. A notação mais freqüente para os raios de curvatura adota valor positivo para faces convexas e valor negativo para faces côncavas, assim como para a face plana o raio é infinito. Traremos agora a demonstração da equação de Halley, baseada na figura 18:

Figura 18- Raios de curvatura das faces de uma lente biconvexa



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 433.

Aplicando a equação do dióptro esférico, temos:

$$\frac{n_m}{P} + \frac{n_L}{P'_1} = \frac{n_L - n_m}{R_1} \quad (I) \quad (3.17)$$

$$-\frac{n_L}{P'_1} + \frac{n_m}{P'_2} = \frac{n_L - n_m}{R_2} \quad (II) \quad (3.18)$$

Somando (3.16) e (3.17), temos:

$$\frac{n_m}{P} + \frac{n_m}{P'_2} = (n_L - n_m) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.19)$$

Dividindo-se todos os termos acima por n_m , temos:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \left(\frac{n_L}{n_m} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.20)$$

Aplicando a equação de Gauss:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f} \quad (3.21)$$

Teremos, no final:

$$\frac{1}{f} = (n_{L,m} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.22)$$

Onde:

f – Distância focal da lente.

$n_{L,m}$ – Índice de refração relativo entre a lente e o meio onde ela está inserida.

R_1 - Raio de curvatura da primeira face da lente.

R_2 – Raio de curvatura da segunda face da lente.

3. Metodologia

Esse produto educacional tem como objetivo principal o fornecimento de uma ferramenta que possa auxiliar os professores de Física na abordagem dos temas referentes às lentes esféricas, apresentando uma sequência didática que dialoga entre exposição teórica e comprovação experimental prática.

Acreditamos que essa associação entre teoria e prática produz uma maior eficácia no processo de ensino-aprendizagem da Física. Assim como dito anteriormente, a sequência didática apresentada nesse trabalho versa sobre as lentes esféricas, um objeto de conhecimento que é frequentemente ministrado ao segundo ano do ensino médio da educação básica.

É importante frisar que tanto o número de encontros, quanto o tempo de cada encontro para a aplicação da sequência didática proposta ao longo desse trabalho fica a critério de cada docente. A descrição que se segue é uma sugestão de aplicação da referida sequência didática.

1ª Etapa: explanação inicial sobre a metodologia e aplicação do pré-teste

No início do primeiro encontro, o docente faz uma explanação breve de como será realizada toda a atividade, explicitando como será desenvolvida cada etapa da metodologia e quais os objetivos esperados com essas atividades. Em seguida, com o objetivo de detectar o nível de conhecimento prévio, os alunos são submetidos a um pré-teste, aplicado em formulário específico (Apêndice A), com um tempo de resposta previamente estabelecido pelo docente, sendo composto por seis questões objetivas, abrangendo temas relacionados aos conceitos relativos às lentes esféricas. Após os alunos responderem o pré-teste, o docente faz o recolhimento desse material para posterior análise e comparação com o pós-teste.

2ª Etapa: elaboração e confecção das lentes esféricas

Essa etapa consiste na elaboração e posterior confecção das lentes esféricas. Os alunos são orientados a se reunirem em grupos, onde a quantidade de integrantes de cada grupo fica a critério do docente que está conduzindo o processo, levando em consideração os fatores limitantes de espaço físico, quantidade total de alunos por sala, quantitativo de aparatos para cada grupo, entre outros.

Cada grupo recebe alguns materiais que serão utilizados durante o experimento. Uma sugestão para os materiais que podem ser entregues são: formulário de experimento (Apêndice C), pelo menos duas canetas laser (Figura 19), folhas de papel milimetrado, caneta esferográfica comum, lápis, borracha, régua e folhas de papel ofício.

Inicialmente, os grupos se dirigem a um microcomputador, onde já se encontram desenhados os círculos que darão origem às lentes, mediante um *software* denominado *RD Works*, ou qualquer outro *software* de vetorização de imagens, como, por exemplo, o *Inkscape*. Esses *softwares* podem ser baixados em qualquer computador. Para dar celeridade ao processo, é interessante que o docente, de forma prévia, já deixe os desenhos prontos na tela dos computadores que serão utilizados pelos alunos. Uma sugestão é desenhar os círculos com intersecções entre si, conforme mostrado na figura 20. Fazendo assim, serão obtidas lentes do tipo plano-convexa, plano-côncava, biconvexa e bicôncava, para posterior aplicação de experimentos. Os valores dos raios de curvatura de cada lente desenhada no *software* devem ser registrados pelos alunos no campo específico do formulário de experimento para posterior utilização nos cálculos dos índices de refração de cada lente confeccionada.

Após o desenho das lentes no computador, esses dados são transmitidos via cabo *USB* para uma cortadora a laser CNC (*Computer Numeric Control*). A figura 21 mostra a foto de uma cortadora CNC com laser a gás carbônico. Nessa cortadora a laser, é colocada uma placa transparente de acrílico ou de qualquer outro material que o docente julgue pertinente, cujas dimensões também ficam a critério do professor, respeitando, obviamente, as especificações de restrições estipuladas pelo fabricante da cortadora.

Na fase de planejamento da aula, é primordial que o docente já tenha feito as simulações para deixar a cortadora previamente programada, de modo que tanto a potência do canhão de laser quanto à velocidade de corte estejam compatíveis com as dimensões das lentes a serem confeccionadas. Na cortadora, o gás carbônico é liberado fazendo com que o canhão de laser corte a placa de acrílico nos formatos previamente desenhados no *software* computacional. A figura 22 ilustra alguns cortes aleatórios produzidos pela cortadora numa placa de acrílico.

Após a cortadora encerrar o corte das lentes, cada grupo se apropria do seu conjunto de quatro lentes (uma plano – convexa, uma biconvexa, uma plano–

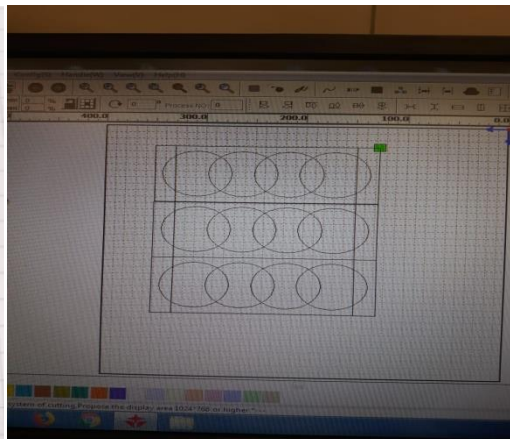
côncava e uma bicôncava) e se dirige às bancadas para dar início à aplicação do experimento. Vale salientar que, em um único procedimento de corte, são produzidas várias lentes, favorecendo, assim, o dinamismo da aula.

Figura 19: Canetas laser



Fonte: acervo do autor.

Figura 20: Software Rd Works



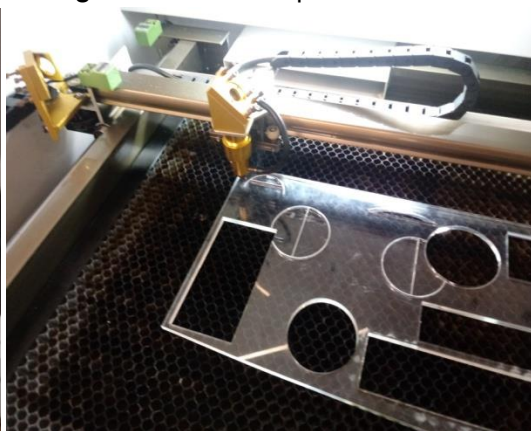
Fonte: acervo do autor.

Figura 21- Cortadora CNC laser



Fonte: acervo do autor.

Figura 22- Corte da placa de acrílico



Fonte: acervo do autor.

3ª Etapa: aplicação do experimento em conjunto com a aula teórica

Na sequência, vem a aplicação do experimento, com o intuito de fazer algumas comprovações e verificações práticas de conceitos relacionados às lentes esféricas. Sugerimos que, durante a realização do experimento, o docente vá, concomitantemente, apresentando os conceitos teóricos, fazendo uma correlação com a observação experimental. Isso dará ao estudante uma significação maior no

seu aprendizado, visto que ele verá a comprovação prática em tempo real daquilo que está sendo ministrado de forma teórica. Além disso, nessa etapa do processo o estudante assume uma participação mais ativa, preparando os materiais e executando os experimentos, além de interagir com o docente, podendo, assim, dirimir as suas dúvidas de uma forma mais efetiva e eficaz.

Sobre cada bancada, os grupos devem colocar a folha de papel milimetrado aberto. Inicialmente, sobre o papel milimetrado é colocada a lente do tipo plano – convexa, posicionando a superfície plana da lente sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando, assim, as medições e observações necessárias.

Posteriormente, os grupos posicionam as canetas laser sobre a bancada, de tal forma que essas canetas fiquem paralelas entre si e paralelas ao eixo principal. Após a iluminação ambiente ser ajustada, os lasers são acionados simultaneamente em direção à face plana da lente. Conforme instruções contidas no formulário de experimento, os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos raios emergentes da parte esférica da lente e o ponto central da parte plana da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal do formulário de experimento. Na sequência, a lente do tipo plano-convexa é retirada da bancada, sendo então substituída pela lente do tipo biconvexa. Essa lente biconvexa deve ser posicionada sobre o papel milimetrado de tal forma que o seu ponto central fique sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando, assim, as observações e medições necessárias.

Em seguida, os raios laser, paralelos ao eixo principal, são acionados para uma das faces esféricas da lente e conforme instruções contidas no formulário de experimento os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos raios emergentes da lente e o ponto central da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

É importante lembrar que os conceitos físicos que forem aparecendo mediante a aplicação do experimento devem ser mencionados pelo docente à medida que forem sendo observados. Nesse momento da aula, é interessante que o docente faça uma intervenção interagindo com os alunos acerca de alguns elementos verificados no experimento. Deve fazer comentários a respeito do ponto focal imagem, como sendo o ponto de cruzamento efetivo dos raios refratados, assim como que a distância focal é a distância entre o foco e o centro óptico da

lente, além de chamar atenção para o fato que as duas lentes testadas possuem bordas finas e os raios de luz convergiram após atravessá-las. É importante comentar que a convergência não depende apenas das bordas da lente, mas também da relação entre o índice de refração do material da lente e o índice de refração do meio onde ela se encontra.

O próximo passo de cada grupo é substituir a lente biconvexa pela lente do tipo plano côncava, colocando-a sobre o papel milimetrado de tal forma que a superfície plana da lente fique posicionada sobre o ponto zero do papel milimetrado, possibilitando, assim, uma melhor observação e medição das distâncias necessárias. Os lasers, paralelos ao eixo principal, são direcionados para a parte plana da lente e conforme instruções contidas no formulário de experimento os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios emergentes da lente e o ponto central da face plana da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

Na sequência, a lente do tipo plano-côncava deve ser substituída pela lente bicôncava. Essa lente deve ser colocada sobre o papel milimetrado de tal forma que o ponto central da lente fique exatamente sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando assim as observações e medições necessárias. Os lasers são acionados paralelos ao eixo principal na direção de uma das faces da lente e, conforme instruções contidas no formulário de experimento, os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios emergentes da lente e o ponto central da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

Nesse momento, é interessante uma nova intervenção por parte do docente, interagindo novamente com os grupos acerca do ponto focal e da distância focal, agora, sendo ambos de caráter virtual. Outra observação oportuna é mencionar que apenas o fato de uma lente ter bordas grossas não a faz divergente, mas esse caráter divergente também depende da relação entre o índice de refração do material da lente e do índice de refração do meio onde a lente está inserida. O docente pode concluir essa etapa comentando que, se as lentes do experimento estivessem inseridas num meio cujo índice de refração tivesse um valor maior que o valor do índice de refração do material das lentes, os comportamentos de convergência e de divergência observados teriam sido o oposto do que foi visto.

4ª Etapa: verificação matemática do experimento

O próximo passo da sequência didática é a verificação analítica de alguns aspectos do experimento. Essa etapa tem o objetivo específico de analisar alguns dados colhidos na prática experimental e registrados no formulário de experimento, proporcionando, assim, por parte do estudante, através da aplicação da equação de Halley, a possibilidade de calcular o valor aproximado do índice de refração do material que compõe as lentes confeccionadas.

Os grupos terão a oportunidade de constatar a relação direta entre os resultados da aplicação matemática e os resultados da observação experimental. Isso fará com que haja uma aprendizagem mais sólida e significativa, proporcionando que os estudantes se apropriem dos conceitos com mais fundamentação.

Como mencionado anteriormente, é de extrema importância que o docente, durante todas as etapas do experimento, realize as devidas observações e inserções acerca dos fenômenos observados. Especificamente nesse momento da atividade, é relevante que o docente faça algumas considerações a cerca do conceito de índice de refração de um meio, mostrando a importância dessa grandeza física no cotidiano da sociedade, bem como analisar a equação de Halley, comentando sobre cada um dos elementos dessa equação, bem como da notação de sinais usados, tanto para os valores da distância focal quanto para os valores dos raios de curvatura de cada face das lentes. É essencial que o docente deixe claro que na aplicação da equação de Halley, para faces planas de uma lente, como o raio de curvatura dessa face é infinito, o termo da equação que tenha essa face se torna nulo. Após encontrar esses valores, os grupos devem registrá-los no campo índice de refração da lente, que se encontra no formulário de experimento.

De posse dos valores obtidos para os índices de refração de cada lente experimentada, os grupos devem calcular o valor médio do índice de refração do material que compõe as lentes, fazendo o registro desse valor no campo específico do formulário de experimento. Nesse momento, cabe uma análise dos valores dos índices de refração obtidos para cada lente, fazendo uma comparação com o valor do índice de refração do material utilizado para confeccionar as lentes indicado nos materiais didáticos. Essa análise é pertinente para o docente poder fazer

comentários sobre valores discrepantes com a realidade que possam ter sido calculados pelos grupos durante o experimento, procurando compreender em conexão com os alunos quais fatores podem ter influenciado na discrepância desses valores. Após o término dessa etapa, o docente deve fazer o recolhimento do formulário de experimento e submeter cada aluno a um pós-teste (Apêndice B).

5ª Etapa: aplicação do pós-teste e debate de idéias

O pós-teste é uma ferramenta que proporciona ao docente ter uma visão geral dos resultados obtidos com a metodologia aplicada. Nesse instrumento, inicialmente, são repetidas as mesmas seis perguntas do pré-teste, com o intuito de avaliar se houve mudanças significativas após a aplicação das atividades. Em seguida, são propostas três perguntas objetivas sobre as metodologias de ensino tendo como objetivo obter um retorno do aluno acerca do seu pensamento sobre as metodologias ativas de uma forma geral. Por fim, aparece uma pergunta que pede para o aluno relatar com suas palavras as suas impressões e experiências pessoais acerca de toda a metodologia adotada.

Esse quadro geral proporcionará ao professor uma visão particular da situação de cada aluno, como também mostrará um cenário geral do nível de conhecimento em que se encontra a turma, suscitando, assim, elementos que podem alicerçar uma intervenção pedagógica individualizada e/ou uma intervenção pedagógica mais ampla, contemplando todos os alunos da turma.

O pós-teste também propicia ao docente entrar em contato com algumas opiniões dos estudantes acerca da metodologia aplicada. Através dessas opiniões, o docente terá um retorno em relação ao sucesso ou não da atividade realizada. Sugerimos que, ao final de todo o processo, o docente faça o encerramento realizando um debate com os alunos, instigando-os a relatarem verbalmente as suas experiência e percepções pessoais acerca de todo o processo realizado.

É importante frisar que esse tipo de atividade em grupo agrega valores aos alunos, além de favorecer a socialização, a cooperação e o trabalho em equipe, fortalecendo o respeito às contradições e às diferenças, fazendo, assim, com que haja um olhar de valorização maior em relação à pessoa humana. Vale salientar que o exposto na descrição desse produto educacional não tem, de nenhum modo, o objetivo de ofertar uma sequência didática engessada em sua metodologia; muito

pelo contrário, a intenção é oferecer aos docentes uma opção que se adapte à sua realidade.

- **Sugestão alternativa da aplicação do produto educacional**

Cabe aqui também uma observação com relação à aplicação dessa sequência didática em ambientes escolares que não possuem o recurso da cortadora a laser, seja por conta da falta de recursos financeiros para a aquisição da máquina, seja por opção do corpo diretivo em não investir nesse tipo de recurso didático.

Sugerimos que o docente faça um planejamento junto à escola para a realização de uma aula de campo, a ser desenvolvida em um local onde possua a cortadora a laser. Vale salientar que essa aula de campo poderia agregar também outras áreas de conhecimento, como a Matemática, a Química, a Biologia, a História, a Sociologia, que teriam aspectos relevantes para discutir em relação à cortadora a laser, trazendo, assim, um caráter interdisciplinar, produzindo no estudante uma aprendizagem mais ampla e significativa.

No que tange ao desenho das lentes no microcomputador, caberia ao docente, mediante as condições existentes, definir se seriam realizadas na própria escola ou durante a aula de campo, visto que o *software* RD Works não está atrelado à presença da cortadora a laser, funcionando, assim, em qualquer computador e em qualquer lugar.

Se o docente optar pelo desenho das lentes no próprio ambiente escolar, esses arquivos seriam salvos e levados no dia da aula de campo, bem como a placa do material para serem confeccionadas as lentes na cortadora a laser. Durante o tempo que a cortadora estivesse fazendo a confecção das lentes, caso o planejamento seja de uma aula interdisciplinar, os demais docentes poderiam usar esse momento para incluir suas contribuições.

Após a confecção das lentes, dependendo do planejamento que foi proposto, o pré-teste, a aplicação do experimento e o pós-teste poderiam ser realizados no ambiente da aula de campo ou na própria escola. Como sugestão de ambientes que possuem a cortadora a laser e que em determinados dias da semana recebem esse tipo de aula, com entrada franca, podemos citar como exemplo o *Fab Lab*, que possui várias unidades espalhadas pelo Brasil e por todo o mundo, tendo como

missão a propagação da cultura *maker*. O Fab Lab faz parte de uma rede mundial de laboratórios de fabricação digital idealizado pelo Instituto de Tecnologia de Massachussets e conta com 80 laboratórios no Brasil. Em Recife, o laboratório fica localizado na rua da Moeda, número 129, no bairro do Recife Antigo, tendo, inclusive, convênios firmados com a rede pública de educação, o que democratiza a utilização desses espaços. Acreditamos que essas aulas *in loco* estimulam nos estudantes um senso mais crítico e investigativo, o que é essencial no estudo e no desenvolvimento das ciências.

4. Referências Bibliográficas

AUSUBEL, David; HANESIAN, Helen; NOVAK, Joseph. **Educationalpsychology: a cognitiveview**. New York: Holt/ Rinehartand Winston, 1968.

BISCUOLA, Gualter José; DOCA, Ricardo Helou; NEWTON, Villas Bôas. **Tópicos de Física** – Vol. 1. 21ª ed. São Paulo: Saraiva Didático, 2012.

_____. **Tópicos de física**. Vol. 2. 19ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Vol. 4. Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

KNIGHT, Randall. Física 2: uma abordagem estratégica. Trad. Iuri Duquia Abreu. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; NICOLAU, Gilberto Ferraro; TOLEDO, Paulo Antônio de Toledo. **Fundamentos da Física**. Vol. 2. São Paulo: Moderna Plus, 2015.

5. Apêndices

5.1. Apêndice A - Formulário do pré-teste



Aluno:

Professor:

Pré – Teste

Com base nos seus conhecimentos prévios, assinale a alternativa correta em cada um dos itens abaixo.

1. As lentes esféricas são:

- a) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.
- b) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros com suas superfícies planas.
- c) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície plana.
- d) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.

2. Durante a travessia dos raios luminosos através das lentes esféricas, o principal fenômeno óptico que ocorre é:

- a) a reflexão
- b) a refração
- c) a difração

d) a absorção

3. Uma lente esférica é convergente, quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o índice de refração do meio onde ela está inserida.

4. Uma lente esférica é divergente, quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

5. Após raios de luz incidir numa lente esférica convergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

6. Após raios de luz incidir numa lente esférica divergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

- a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

5.2. Apêndice B - Formulário do pós-teste



Aluno:

Professor:

Pós – Teste

1. As lentes esféricas são:

- a) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.
- b) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros com suas superfícies planas.
- c) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície plana.
- d) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.

2. Durante a travessia dos raios luminosos através das lentes esféricas, o principal fenômeno óptico que ocorre é:

- a) a reflexão
- b) a refração
- c) a difração
- d) a absorção

3. Uma lente esférica é convergente quando:

- a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

4. Uma lente esférica é divergente quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

5. Após raios de luz incidir numa lente esférica convergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

6. Após raios de luz incidir numa lente esférica divergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

- a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

7. Você julga que todas as atividades desenvolvidas nesses encontros te ajudaram a compreender melhor o funcionamento das lentes esféricas?

- a) sim, ajudaram muito.
- b) sim, ajudaram mais ou menos.
- c) não, não me ajudaram.

8. Você avalia como positivo a utilização de experimentos nas aulas de física? Os experimentos fazem você ter mais interesse pela aula?

- a) sim, avalio como positivo e fico com mais interesse na aula.
- b) sim, avalio como positivo, mas não aumenta o meu interesse pela aula.
- c) não avalio como positivo, mas aumenta meu interesse na aula.
- d) não avalio como positivo e não aumenta meu interesse na aula.

9. Qual a sua opinião sobre esse tipo de atividade, onde o estudante possui participação ativa no processo de ensino-aprendizagem?

- a) acho muito proveitosas, pois facilita o aprendizado.
- b) não acho proveitosa, pois dificulta o aprendizado.
- c) acho que é indiferente, pois não interfere no aprendizado.

10. Faça um breve comentário relatando suas experiências pessoais acerca das atividades que foram desenvolvidas.

5.3. Apêndice C - Formulário de experimento

		
---	---	---

Formulário de experimento

Grupo:

Professor: _____

Materiais utilizados:

Aplicação do experimento:

Lente 1: Plano-convexa.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da superfície plana da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à superfície plana da lente.

4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da superfície plana da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 2: Biconvexa.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da lente fique sobre a linha zero do papel.

3. Acione os lasers em direção a uma das superfícies esféricas da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 3: Plano-côncava.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.

2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da superfície plana da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à superfície plana da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os prolongamentos dos raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da superfície plana da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 4: Bicôncava.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção a uma das superfícies esféricas da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os prolongamentos dos raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Conclusão:

Com base nas suas observações e cálculos, indique o valor médio experimental do índice de refração do material que compõe as lentes, fazendo a média aritmética entre os valores obtidos para cada lente.

Valor médio do índice de refração: