



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO
MATEMÁTICA

LUIZ CARLOS CARNEIRO GENUINO

**ESTUDO HISTÓRICO DO PRINCÍPIO DA LUZ: CRIAÇÃO DE UMA CARTILHA
PARA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A NATUREZA DOS FENÔMENOS
LUMINOSOS QUE OPUSERAM FERMAT & DESCARTES**

CAMPINA GRANDE/PB

2018

LUIZ CARLOS CARNEIRO GENUINO

ESTUDO HISTÓRICO DO PRINCÍPIO DA LUZ: CRIAÇÃO DE UMA CARTILHA PARA
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A NATUREZA DOS FENÔMENOS LUMINOSOS
QUE OPUSERAM FERMAT & DESCARTES

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba (CCT/UEPB), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Física

Linha de Pesquisa: Metodologia, Didática e Formação do Professor no Ensino de Ciências e Educação Matemática

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Barros

CAMPINA GRANDE/PB

2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

G341e Genuino, Luiz Carlos Carneiro.

Estudo histórico do princípio da luz [manuscrito] : criação de uma cartilha para divulgação científica sobre a natureza dos fenômenos luminosos que opuseram Fermat & Descartes / Luiz Carlos Carneiro Genuino. - 2018.

68 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Marcos Antônio Barros, Coordenação do Curso de Licenciatura em Física - CCTS."

1. Divulgação científica. 2. Ensino de Ciências. 3. Princípios da luz. 4. Filosofia da Ciência.

21. ed. CDD 510.1

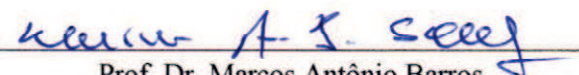
LUIZ CARLOS CARNEIRO GENUINO

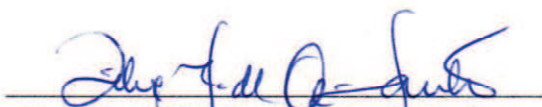
ESTUDO HISTÓRICO DO PRINCÍPIO DA LUZ: CRIAÇÃO DE UMA CARTILHA PARA
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A NATUREZA DOS FENÔMENOS LUMINOSOS
QUE OPUSERAM FERMAT & DESCARTES

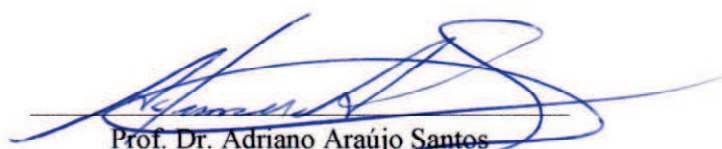
Dissertação apresentada como requisito para a obtenção
do título de Mestre em Ensino de Ciências pelo
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e
Educação Matemática da Universidade Estadual da
Paraíba – UEPB.

Aprovada em 24 de abril de 2018

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Marcos Antônio Barros
PPGCEM/UEPB
Orientador


Prof. Dra. Zélia Maria de Arruda Santiago
UEPB/PPGCEM
Examinadora Interna


Prof. Dr. Adriano Araújo Santos
UNIFACISA
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a DEUS, que me deu o dom da vida e me permite conviver com pessoas que são exemplos de homem, mulher, amor, dignidade, esperança, coragem, determinação e tantos outros atributos; que permitem tornar-me cada vez mais humano.

Aos meus PAIS, por sua coragem e dedicação à criação de seus filhos. Papai, Mamãe (*in memorium*): conseguimos! Sou feliz por ter o privilégio do amor de vocês. Amo-os muito!

A minha esposa ALCICLEIDE PORTO e aos meus filhos: CAIO WINSTHONY, IANADYLLA e WILLGNEY. Sonho realizado, amor materializado, fonte de inspiração. Com vocês aprendo mais a cada dia e, por isso, sou muito feliz. Deus abençoe a todos e conceda as graças necessárias para serem pessoas realizadas, felizes e, sobretudo, dignas!

Ao meu orientador, Professor Doutor MARCOS ANTÔNIO BARROS. Antes de tudo, um profissional que admiro e respeito, pela sabedoria, serenidade, confiança, segurança e pelo profissionalismo com que me orientou. Mais uma vez, obrigado!

Aos Professores Doutores: ADRIANO ARAÚJO SANTOS, ANA PAULA BISPO DA SILVA, FILOMENA MARIA GONÇALVES MOITA, MARCELO GOMES GERMANO, MARIA BETÂNIA FERNANDES, MORGANA LÍGIA DE FARIAS FREIRE, ZÉLIA MARIA DE ARRUDA SANTIAGO, com quem pude compartilhar conhecimentos e de quem pude receber ensinamentos valiosos. Suas generosidades merecem toda a minha admiração e todo o meu respeito. Muito obrigado!

Ao caríssimo Prof. Dr. JOSÉ JOELSON PIMENTEL DE ALMEIDA, sempre prestativo com informações e serviços. Obrigado a todos da coordenação!

A todos amigos que conheci no PPGECM, em especial aos amigos: ALBERTO FERREIRA, ALEXSANDRO DE ALMEIDA, CARLA VALÉRIA, ELSON FERNANDO, JOANA MENARA, JOSÉ NILSON e REJANE MARIA. Que me deram oportunidade de vivenciar exemplos de valorização pessoal e profissional e esperança de que todas as escolas públicas ofereçam uma educação mais justa, humana, democrática e profissional, em que crianças, jovens e adultos, ricos ou pobres sejam todos privilegiados.

Enfim, agradeço a todos que não mencionei aqui, mas que, ao lerem estes agradecimentos, saberão que deram motivos para serem incluídos nesta lista. Muitos me ajudaram direta e indiretamente. Sintam-se homenageados e confortados com meus sinceros agradecimentos.

Ensinar é uma prática social, uma ação cultural, pois se concretiza na interação entre professores e alunos, refletindo a cultura e os contextos sociais a que pertence. (Freire, 1974).

RESUMO

As discussões sobre Fermat (1601-1665) e Descartes (1596 – 1650) em certos textos didáticos são, algumas vezes incompletas, priorizam mais o aspecto matemático em forma de exercícios no final do capítulo de Óptica Geométrica, levando-nos a uma visão distorcida ou errônea dos aspectos teóricos e históricos existentes nas discussões da reflexão e refração da luz. Nesta perspectiva, como objetivo geral, o presente trabalho analisa o relato histórico sobre a natureza dos fenômenos luminosos que opuseram Fermat à Descartes, por meio de suas cartas a Descartes, a Marin Cureau De La Chambre e a outros cartesianos, a partir de 1648, buscando entender se o seu princípio na sua formulação inicial estava fundamentado no contexto científico da época. Para isso, priorizamos a leitura das cartas originais, dos livros “La lumière” de De La Chambre e o “La Dioptrique” de Descartes, além de outras fontes seguras e confiáveis como: Ramos (2010), Moreira (1998), Paty (1998) e outros, para evitar a perpetuação de erros conceituais e históricos. Como ferramenta pedagógica, utilizamos a História e Filosofia das Ciências associada ao uso de atividades experimentais para a melhoria do ensino nos diversos níveis escolares. E para o produto educacional, com os dados obtidos nesse estudo, produzimos um material didático-pedagógico (do tipo Paradidático - Cartilha) que tem como intuito a divulgação segura desse episódio histórico que poderá ser utilizado na sala de aula por professores e servirá também para aqueles que tem o interesse de estudar sobre a temática.

Palavras-chave: Divulgação Científica. Fermat e Descartes. Princípio da Luz. História e Filosofia das Ciências.

ABSTRACT

The discussions about Fermat (1601-1665) and Descartes (1596-1650) in certain didactic texts are sometimes incomplete, prioritizing more the mathematical aspect in the form of exercises at the end of the chapter of Geometric Optics, leading to a distorted view or erroneous of the theoretical and historical aspects existing in the discussions of the reflection and refraction of light. In this perspective, as a general objective, the present work analyzes the historical account of the nature of the luminous phenomena that opposed Fermat to Descartes, through his letters to Descartes, Marin Cureau De La Chambre and other Cartesians, from 1648, trying to understand if its principle in its initial formulation was based on the scientific context of the time. For this, we prioritize the reading of the original letters, the books "La lumière" by De La Chambre and the "La Dioptrique" by Descartes, as well as other reliable and reliable sources such as: Ramos (2010), Moreira (1998), Paty 1998) and others, to avoid the perpetuation of conceptual and historical errors. As a pedagogical tool, we use the History and Philosophy of Sciences associated to the use of experimental activities for the improvement of teaching in the various school levels. And for the educational product, with the data obtained in this study, we produced a didactic-pedagogical material (of the Paradidático-Cartilha type) that aims at the safe dissemination of this historical episode that can be used in the classroom by teachers and will also serve to those who have the interest to study on the subject.

Keywords: Scientific Disclosure. Fermat and Descartes. Principle of Light. History and Philosophy of Sciences.

LISTA DE SIGLAS

AC – Alfabetização Científica

CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

dC – Depois de Cristo

DC – Divulgação Científica

HFC – História e Filosofia das Ciências

NdC – Natureza das Ciências

PCN's – Parâmetros Curriculares Nacionais

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Teoria de Descartes sobre a refração.....	29
Figura 2 – Teoria de Fermat sobre a refração.....	31
Figura 3 – Propagação da luz em dois meios.....	32
Figura 4 – Montagem prática para simular a reflexão da luz.....	62
Figura 5 – Construção geométrica da segunda lei da reflexão da luz.....	63
Figura 6 – Montagem prática para simular a refração da luz.....	64
Figura 7 – Construção geométrica da segunda lei da refração da luz.....	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E A “HFC” NO ENSINO DE CIÊNCIAS	16
2.1 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA (DC)	16
2.1.1 Textos de Divulgação Científica para o Ensino de Ciências.....	19
2.2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	22
3 PRINCÍPIO DE DESCARTES E FERMAT	27
3.1 A IDEIA DE DESCARTES SOBRE A LUZ.....	27
3.2 O PRINCÍPIO DO TEMPO MÍNIMO.....	30
3.3 ANÁLISE DAS CARTAS.....	33
4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	37
4.1 PROCEDIMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO PRODUTO	39
5 CONSIDERAÇÕES	40
REFERÊNCIAS	44
ANEXOS	50

1 INTRODUÇÃO

Quando nos dedicamos ao estudo de questões relacionadas ao ensino de ciências, não precisamos realizar pesquisas muito aprofundadas para nos depararmos com fragilidades presentes no sistema educacional brasileiro. Embora se discuta amplamente a possibilidade e necessidade de inserção de modalidades de ensino mais eficientes, é notável que o ensino das ciências ainda ocorra por meio de uma modalidade tradicional e tecnicista que não vem produzindo bons resultados, fazendo, assim, com que a presença dos alunos e professores na escola deixe de ser uma experiência relevante e produtiva. Há um problema generalizado em todo ensino, então se faz necessário, urgentemente, que surja novas concepções que possam aliviar esse total pesadelo que vivemos.

Segundo Pacca (1984) a preocupação com o ensino de Física é decorrente de uma série de problemas, dentre os quais o autor destaca o uso de conceitos equivocados, fórmulas sem sentido, afirmações irreais e outras ocorrências. No que se refere à prática de ensino do professor de ciências, é possível notar que ainda há presença de práticas inadequadas, como aulas meramente expositivas e supervalorização dos cálculos, onde são apresentados fórmulas, números e resultados, os quais, na maioria das vezes, não possuem significado para o aluno (MASSARANI, L; MOREIRA, I DE C, 2007).

Uma proposta de melhoria para esse ensino foi posta nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino de física (PCN). Este documento elaborado sugere mudanças de cunho técnico-científicas com o intuito de suprimir algumas das necessidades acima citadas. De maneira geral, podemos dizer que esse documento estabelece metas para alcançar uma educação científica de qualidade em todos os níveis pedagógicos. Objetiva-se formar cidadãos contemporâneos que sejam atuantes e capazes de participar ativamente na sociedade em que vivem, desenvolvendo nos alunos um pensamento crítico, investigativo e criativo, além de entender a articulação entre os conteúdos científicos e seus usos sociais, de modo que se possa promover o desenvolvimento de competências visando contribuir com o processo de ensino e aprendizagem (BRASIL, 2000).

Desse modo, ressaltamos a importância da utilização de práticas de ensino diferenciadas e instrumentos didáticos que auxiliam o aluno nesse processo de ensino, que requer o desenvolvimento das habilidades de questionar, criticar e estabelecer ligações entre o que ele aprende em sala de aula e o mundo cotidiano. Paraná (2008), defende que a escola deve ser um espaço de pesquisa, de construção e reconstrução do conhecimento, promovendo a articulação entre o conhecimento elaborado e os temas da vida cidadã. Mais do que

promover a aprendizagem dos conteúdos, o objetivo do ensino de ciências é possibilitar uma mudança de posição do aluno em relação ao conhecimento científico para uma postura mais ativa na busca pelo conhecimento (VILLANI; BAROLLI, 1999).

A exposição dessa realidade nos coloca diante de problemas reais e bem visíveis em todos os níveis de ensino de disciplinas das ciências. Pensando nisso, pesquisadores em ensino de ciências vêm desenvolvendo estudos que vislumbram alternativas para a melhoria do ensino nessa área, nos diversos níveis escolares. Há de fato uma quantidade significativa de abordagens e ferramentas que propõem a concretização de um ensino mais eficiente, ou seja, um conhecimento que leve o aluno a questionar e pensar acerca daquilo que está sendo visto. Portanto, diante das várias possibilidades, estamos apostando no uso da História e Filosofia das Ciências (HFC) associada ao uso de atividades experimentais (anexo II, p.63) como uma possibilidade de ensino para atingir aquilo proposto nos PCN:

“Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas”. (BRASIL, parte III, 2000, p. 24)

Questões relacionadas a diferentes metodologias, abordagens e ferramentas auxiliares no ensino sempre foram assuntos amplamente discutidos. Na área de ensino de ciências, especificamente, isto não é diferente (NARDI 1998). Como já foi mencionado, diante da vastidão de possibilidades de temáticas a serem implementadas com o intuito de melhorar o ensino de ciências, encontra-se a utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC). De uma maneira geral, o uso adequado da história e filosofia da ciência contribui para promover o ensino de forma mais eficiente, uma vez que consegue motivar e atrair os alunos, humanizando o conteúdo ensinado e favorecendo uma melhor compreensão dos conceitos científicos. Essa, por sua vez, reforça sua importância na análise das idealizações científicas, questões sociológicas, como influências de crenças religiosas, o contexto político, social e econômico de sua época, que são grandes carências do ensino técnico de ciências. Desse modo, a HFC estará oferecendo um benefício poderoso ao ensino de ciências (MATTHEWS 1994).

Por outro lado, a utilização dessa abordagem requer um pouco de cautela para evitar as chamadas quase-história ou pseudo-história, pois, como já presenciamos ao longo de nossa

vida acadêmica, essa é uma prática frequente e recorrente em sala de aula. Ao nos debruçarmos sobre estudos nesta perspectiva percebemos que, na maioria das vezes, nosso conhecimento em história das ciências advém dos livros textos que utilizamos em sala de aula, sendo esse material utilizado tanto por aluno quanto por professores, para que ambos acompanhem os conteúdos a serem ministrados.

Se dermos uma olhada, por exemplo, nos livros do Ramalho, fundamentos da física, ele continua nos mostrando o Arquimedes na banheira descobrindo o princípio da flutuação dos corpos; a maçã caindo na cabeça do Newton ao tempo que ele descobre, como num passe de mágica, a lei da gravitação universal, etc. Várias outras situações de uma quase-história podem ser encontradas em outros livros didáticos utilizados nas escolas de ensino médio e, também, em nível universitário. Essas quase-história, como nos alerta Martins (2006), transmitem não somente informações históricas erradas, mas também deturpam totalmente a própria natureza da ciência, gerando mitos.

Contudo, embora haja uma série de pontos positivos para utilização da HFC em sala de aula, percebemos que na prática ainda há um número muito pequeno de materiais elaborados para essa finalidade, induzindo os professores a recorrerem a materiais alternativos que, em um número considerável de vezes, não permitem uma contextualização adequada do conteúdo e ainda transmitem concepções fragmentadas e inadequadas. Assim, sentimos a necessidade de desenvolver uma forma de difundir esse conhecimento de forma mais ampla. Para isso, estamos nos utilizando da Divulgação Científica (DC) como uma oportunidade de discutir mais abertamente sobre os conteúdos e vemos nela uma ferramenta potencial para criação e propagação de materiais didáticos. Materiais esses que, conforme nossa prática diária, são tão necessários.

Apenas para um entendimento inicial acerca da ideia de divulgação científica que estamos adotando, nos apropriamos da definição de Germano e Kulesza (2007) sobre o termo DC, em que o conceito de divulgação pode ser entendido como o ato ou ação de divulgar (do latim *divulgare*, tornar conhecido; propalar, difundir, publicar, transmitir ao vulgo, ou ainda, dar-se a conhecer; fazer-se popular). Essa definição é importante, pois, quando falamos de DC imaginamos que ela é apenas um trabalho voltado para fazer uma simples transmissão do que está sendo realizado nos laboratórios, ou seja, das mais recentes pesquisas e o que há de mais inovador em ciências, entretanto, a divulgação científica está muito além desta prática limitada.

A adoção dessa ideia inadequada acerca da DC exclui o enorme campo científico produzido dentro da escola. Isso é prejudicial, pois esse é um local que merece grande

destaque e valor, devendo ser praticado pelos profissionais que lidam diretamente com os agentes construtores do saber. Para este século, é importante resgatar a escola como referência do saber, mas não como um saber fechado teórico e restrito, e sim como um espaço onde a diversidade cultural e o conjunto de informações do mundo que nos cerca possam ser somados à construção e divulgação da ciência. Como afirma Chassot (2003), assim sendo, podemos repensar a escola como um polo de disseminação de informações privilegiadas. O conjunto de fatores, eventos e ações do homem nos processos sociais voltados para produção, a difusão, o ensino e a divulgação do conhecimento científico, constitui as condições para o desenvolvimento de um tipo particular de cultura, de ampla generalidade no mundo contemporâneo, a que se pode chamar de cultura científica.

Pensando nesta possibilidade para o ensino de ciências, imediatamente remetemos às diversas possibilidades de materiais de DC que podemos utilizar. Como exemplo desses materiais, destacamos a utilização de fragmentos de documentos originais, textos de divulgação científica, filmes, documentários, dentre outros vários recursos disponíveis. Com essa breve contextualização inicial, visamos situar o leitor do ideário em que nossa proposta está envolvida. Estamos nos utilizando de elementos da HFC e da DC para construir uma pesquisa e um objeto didático que possam de fato, contribuir para o ensino de ciências.

Para compreender melhor essa proposta, voltamos um pouco no tempo para mostrar os fundamentos de nossa ideia. Adotamos como ponto de partida um trabalho que desenvolvemos na disciplina de História da Física, no curso de Licenciatura em Física da UEPB, no qual fizemos um levantamento histórico sobre o princípio da luz. A partir daí questionamos: Que pontos opuseram Fermat e Descartes sobre a natureza dos fenômenos luminosos? Qual princípio teórico de luz estava fundamentado no contexto científico da época? Para essa atividade, nos limitamos a descrever as perspectivas estudadas por Descartes e Fermat (mesmo não sendo os únicos pesquisadores dessa temática, recorremos a esses nomes por acreditar que nossa proposta está suficientemente estruturada com base em seus estudos). Nesse percurso de formação, constatamos um posicionamento contrário entre as ideias de Descartes e Fermat e, nesse primeiro momento, esse desarranjo entre teorias nos despertou o interesse em aprofundar nossas pesquisas nesse episódio histórico.

Isso ocorria, por exemplo, quando discutíamos a respeito dos fenômenos descritos pela luz, em especial a reflexão e refração descritas e analisadas por Descartes, em sua famosa obra literária a *Dióptrica* (*El tratado de la luz*). Analisamos, também, a famosa divergência surgida na metade do século XVII entre Descartes e Pierre Fermat, de sua importância a favor de Fermat. Dessa forma, nasceu a necessidade de pesquisar e verificar o relato histórico sobre

o Princípio de Fermat através de suas cartas (1648, 1657 e 1662) enviadas a De La Chambre (Marin Cureau), em suas famosas divergências com a lei da refração descrita por Descartes. Posteriormente, em outras cartas a outros cartesianos, como Jacques Rohault em 1658, em que Fermat confirma suas objeções e reflexões à Dióptrica de Descartes. Por isso, entendemos que, só a partir dos originais ou de fontes seguras e confiáveis, é que evitamos a perpetuação de erros conceituais e históricos.

Partindo da análise cuidadosa dessas cartas, buscamos entender se o seu princípio estava bem fundamentado e dentro do contexto científico da época. Com seu princípio, Fermat foi capaz de explicar as leis da reflexão e da refração, além de propor e justificar o uso da minimização do tempo gasto para a luz se propagar de um ponto a outro, acreditando na ideia de que “a natureza faz seus movimentos pelas vias mais simples ou sempre atua pelo caminho mais curto”. Entretanto, esse enunciado feito por Fermat não é novo, pois na antiguidade, a lei de propagação retilínea e a lei da reflexão já tinha sido justificada por Heron de Alexandria (aprox. 10-70 d.C.), a partir da ideia de que o caminho percorrido pela luz é o mais curto possível ao se propagar em um meio homogêneo, fornecendo assim uma explicação para a igualdade entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.

A análise de textos históricos permite-nos constatar, com exatidão, a origem de certas afirmações quando delas quisermos valer-nos como veículo de aprendizagem. É ilustrativo, aqui, lembrar as palavras de Martins:

“Esse tipo de estudo pode contribuir para a formação de uma visão mais adequada acerca da construção do pensamento científico, das contribuições dos cientistas e da própria prática científica; permite que se conheça o processo de formação de conceitos, teorias, modelos, etc. Além disso, pode auxiliar o ensino da própria ciência, tornando-a não apenas mais atraente mas principalmente mais acessível para o aluno, possibilitando uma melhor compreensão de conceitos, modelos e teorias atuais” (MARTINS, 1998, p.18).

Nesse sentido, nosso trabalho, como objetivo geral, analisa o relato histórico sobre a natureza dos fenômenos luminosos que opuseram Fermat à Descartes, por meio de suas cartas a Descartes, a Marin Cureau De La Chambre e a outros cartesianos, a partir de 1648, buscando entender se o seu princípio na sua formulação inicial estava fundamentado no contexto científico da época. Assim, utilizamos os dados obtidos ao longo desse estudo para construir um material didático-pedagógico (do tipo Paradidático - Cartilha) que tem como intuito a divulgação segura desse episódio histórico, o qual poderá ser utilizado na sala de aula por professores e servirá, também, para aqueles que têm o interesse de estudar sobre a temática. Como objetivos específicos, tivemos a intenção de: 1 – Discutir acerca da

importância de se trabalhar episódios na perspectiva teórica e histórica no ensino da Física; 2 – Criar o hábito de levar os alunos a buscarem fontes originais e/ou fontes secundárias de pesquisa de boa qualidade.

Para isso, nosso trabalho, além desta introdução, contempla quatro capítulos. Primeiro integrando a revisão da literatura, onde abordamos o que se tem investigado a respeito da DC e da HFC nos últimos tempos, bem como sua implicação para o ensino das ciências, através do uso de textos de divulgação, que terminam por atrair as pessoas, de um modo geral, para o mundo da ciência, desmitificando-a.

O segundo capítulo, aqui chamado: Princípio de Descartes e Fermat, traz uma discussão histórica entre Fermat, Descartes e posteriormente entre Fermat e alguns cartesianos, sobre a refração e reflexão da luz, na qual há uma crítica vigorosa da demonstração realizada por Descartes, com uma dedução confusa e ausência de uma interpretação física mais convincente ou mais clara, para a época.

Já no terceiro capítulo, correspondente a nossa metodologia, tomamos a abordagem qualitativa como carro chefe, no sentido de delinear uma descrição teórica subjacente, a partir de ferramentas de dados que lhes são peculiares, a exemplo de pesquisa documental. Além disso, buscamos na literatura e em nossa fundamentação teórica, alguns critérios que norteassem a busca pela qualidade científica sobre essa discussão histórica, objetivando a produção de um paradidático, enquanto texto de divulgação científica, com a possibilidade de ser acessível às pessoas. O Mestrado Profissional nos estimula a promover uma mudança qualitativa em nossa formação profissional e nos permite desenvolver materiais alternativos que possibilitam uma abordagem diferenciada.

No quarto capítulo, apresentamos nossas considerações, sinalizando para uma positiva reconstrução de um debate entre dois importantes cientistas do século XVI, Fermat e Descartes, analisando suas cartas e recorrendo a bibliografias secundárias de qualidade, permitindo-nos a entender questões importantes, como por exemplo, situações externas à ciência. Procurando atingir nossos objetivos, esse debate, de forma concisa, mas sem perder o rigor científico, está descrito em um paradidático, com o intuito de desconstruir o conceito de cientista e ciência fechado, linear e imparcial, imposto em diversas salas de aula.

2 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E A “HFC” NO ENSINO DE CIÊNCIAS

2.1 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA (DC)

O termo Divulgação Científica é amplamente citado nas literaturas atuais. Talvez por esse motivo associamos a um assunto completamente novo, que vem sendo inserido recentemente na era tecnológica e científica. Contudo, Moreira e Massarani (2002) afirmam que a divulgação científica não pode ser considerada uma atividade recente, pois ela surgiu atrelada à própria ciência moderna.

Silva (2006) argumenta que no século XVIII os anfiteatros europeus ficavam lotados de pessoas sedentas por conhecer novas máquinas e demonstrações de fenômenos como, por exemplo, pneumáticos, elétricos e mecânicos. As exposições e palestras relacionadas à física, à química ou à medicina, percorriam diversas cidades e, às vezes, diversos países, demonstrando, assim, a curiosidade dos indivíduos em relação aos avanços da ciência e da tecnologia. O autor traz ainda que, neste mesmo século era possível que se encontrassem livros escritos por cientistas, os quais eram destinados ao público em geral, caracterizando o que atualmente denominamos de Divulgação Científica.

Para iniciarmos nossa discussão, levamos em consideração alguns questionamentos recorrentes acerca dessa temática: o que é divulgação científica? Que tipos de materiais/textos se enquadram nessa categoria? Seria apenas uma forma de gênero textual que transforma a linguagem científica em linguagem cotidiana para um público específico/leigo? As pesquisas acerca da temática não nos permitem chegar a uma conclusão exata do que seria a divulgação científica e quais seriam suas finalidades, pois existem argumentos interessantes e opostos acerca dessa temática. Silva (2006) salienta a dificuldade de se categorizar ou definir o que é divulgação científica, devido à grande quantidade de textos envolvidos em diversas atividades de diferentes tipos.

Por esse motivo, delineamos uma possível definição que, a nosso ver, parece bastante plausível. Uma ideia interessante é dada por Bueno (2010) que argumenta sobre a divulgação científica que tem a função de estabelecer condições para a Alfabetização Científica (AC). Outra ideia interessante e que não difere da concepção de Bueno (2010) é dada por Albagli (1996) a qual aponta que a popularização da ciência ou divulgação científica pode ser definida como:

“O uso de processos e recursos técnicos para a comunicação da informação científica e tecnológica ao público em geral. Nesse sentido, a divulgação supõe a tradução de uma linguagem especializada para uma leiga, visando a atingir um público mais amplo” (ALBAGLI, 1996, p. 397).

De acordo com Bueno (2010) para sua realização, a divulgação científica necessita da utilização de recursos, técnicas, processos e produtos (veículos ou canais) para a veiculação de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações ao público leigo. Essa linguagem é, portanto, redefinida para que possa ser apresentada de forma mais acessível ao público ao qual se destina. Ainda de acordo com Bueno (2010), a circulação dessas produções de divulgação científica ocorre por meio de todas as esferas da comunicação. Assim, não ocorre apenas no campo da imprensa, mas também são veiculados por jornais e revistas, livros didáticos, livros de ficção científica, nas aulas de ciências, nas estórias em quadrinhos, nos folhetos de veiculação das áreas de saúde e higiene, documentos de ciência, biografias de cientistas, nos documentários, na televisão, nas rádios, nos centros de ciência e museus.

Na área da Física, podemos citar um exemplo que, certamente, é um dos mais conhecidos. Estamos nos referindo às obras do Stephen Hawking, a qual embora alguns acreditem tratar-se de uma grande e revolucionária teoria, na realidade seu trabalho é uma adaptação de obras já existentes. Ou seja, “Uma breve história do tempo” e “O mundo em uma casca de noz” são produções voltadas para mostrar ao público leigo alguns pontos relevantes da teoria da relatividade geral e especial desenvolvida por Einstein. Portanto, caracterizadas como divulgação científica (MASSARANI E MOREIRA, 2005). Logicamente, não é um livro que qualquer pessoa conseguirá ler com facilidade, mas por ser uma simplificação de um trabalho mais complexo, de acordo com esses autores, se enquadra nesse tipo de publicação.

No que se refere aos meios de divulgação científica, percebemos que a cada dia eles se tornam mais diversificados e disponíveis à maioria das pessoas. No que se refere ao conteúdo, percebe-se uma grande quantidade de materiais destinados à divulgação de assuntos relacionados às ciências e tecnologia. Pensando nisso, surge uma preocupação, pois nem todos estão preparados para lidar com essas informações, exigindo assim um “treinamento” científico, principalmente na população escolar, utilizando-se de instrumentos de divulgação científica, a fim de aproximar o discurso científico e popular, e auxiliar o processo de ensino/aprendizagem.

Analisando os avanços científicos e tecnológicos percebemos que esses têm um impacto importante sobre a sociedade, levando os indivíduos a acreditarem que os avanços técnicos e científicos podem trazer melhorias significativas para sua vida. Assim, as pessoas estão habituadas a esperar que o saber científico possa ser instrumento para o bem-estar social. Faz-se necessário que esses saberes sejam divulgados de forma que atinjam o maior público possível e que a população possa desenvolver um olhar crítico sobre os mesmos.

Para Ivanissevich (2005) a mídia nada mais é do que um negócio, considerada um instrumento fundamental das sociedades atuais, é a responsável pelo futuro da humanidade, pois divulga aquilo que é conveniente. Para este autor, entre as várias tentativas de disseminar o saber científico, por meio de peças teatrais, aulas, filmes, entre outros dessa natureza, a mídia é a ferramenta de disseminação científica de maior poder de alcance. Logo, podemos dizer que: subentende-se que essa desempenha um papel de destaque na alfabetização científica da população leiga.

Assim, na visão de Boalbaki (2014), a divulgação científica não é uma atividade aleatória, mas com finalidades. Para ele, esse *discurso da necessidade*, ou seja, aquilo que o indivíduo necessita saber, não é necessariamente verdade, mas uma manipulação a serviço do Estado que promove políticas públicas e administra sentidos. Entre o que pode ser incluído e excluído do discurso da necessidade, e relacionando-o ao discurso de divulgação científica, destacamos a necessidade de informações sobre as “últimas” descobertas científicas. Em outros termos, o discurso da divulgação científica é justificado pelo discurso da necessidade de informação (seja para o consumo, seja para assumir responsabilidades) diga-se, uma necessidade construída sócio-historicamente.

Nesse sentido, contextualizamos muito brevemente aquilo que vem sendo discutido acerca da temática. O que apresentamos aqui é uma breve definição e alguns argumentos, mas como plano de fundo percebemos que, de fato, o que existe é uma série de lacunas na educação formal e informal em todos os níveis da escola básica. A constante necessidade de buscar recursos e práticas pedagógicas diferentes são indícios claros de uma educação que passa por problemas. Para Boalbaki (2014), nesse contexto a mídia assumiria esse papel de alfabetizar cientificamente a sociedade, portanto, a divulgação científica seria uma “tábua de salvação” da educação, ou melhor, ela teria a “tarefa de ocupar o lugar da falta” de uma educação de qualidade.

Como podemos perceber, existem alguns argumentos interessantes e contrários, que defendem a divulgação científica como algo extremamente útil para disseminação de conhecimento científico e, por outro lado, pode ser interpretada como uma forma de manipulação que utiliza a mídia para divulgar ideias que atendam a interesses políticos. Nosso posicionamento está em consenso com aqueles que defendem a utilização dessa abordagem como uma forma de disseminar conteúdos de forma mais eficiente. Mas, acreditamos ser interessante trazer, mesmo sem grandes aprofundamentos, algumas ideias divergentes para entender um pouco mais sobre a área e quais os posicionamentos mais frequentes a seu respeito.

2.1.1 Textos de Divulgação Científica para o ensino de Ciências

De acordo com Rocha (2010) essa crescente valorização da ciência no mundo atual tem reforçado a ideia da necessidade de uma cultura científica, de forma que o indivíduo participe como cidadão atuante em uma sociedade cada vez mais tecnologizada e informatizada. Entretanto, para que as noções científicas representem subsídios para a formação de sujeitos participantes e críticos é preciso questionar a noção da ciência como conjunto de verdades absolutas. Para isto, faz-se necessário trabalhar com os alunos no sentido de desmistificar o papel da ciência, mostrando que essa constitui um processo permanente de construção, situado historicamente e influenciado por condicionantes sócio-culturais específicos.

De acordo com Salém e Kawamura (1996), geralmente, os textos de divulgação são usados como forma de atrair o leitor para o mundo da ciência, promovendo um contato inicial mais estimulante que poderá, possivelmente, tornar o conhecimento científico acessível; desmistificar a ciência, rompendo com concepções inadequadas e mitos; promover a humanização da ciência, de modo que se possa fazer uma integração com o mundo atual e mostrar a física como uma construção humana. Os textos de divulgação ainda podem ser utilizados para complementar o ensino formal na escola, sendo trazidos para a sala de aula pelo próprio aluno.

A inserção de textos de divulgação científica como um instrumento que auxilia na prática escolar vem sendo realizada há um tempo considerável e é fruto de algumas reflexões de professores de ciências, inseridos no contexto atual da escola brasileira. Essa inserção se faz necessária, para que se pense em questões relacionadas à formação inicial, e continuada dos professores de Ciências e de outras áreas, como é colocado por Santos (2007). De acordo com esse autor, pesquisas no campo do desenvolvimento de currículos de Ciências, voltada para o ensino de ciência-tecnologia-sociedade, apontam vários aspectos que devem ser levados em conta quando se pensa no desenvolvimento de uma educação científica. Pensando nisso, a divulgação científica de maneira geral pode desempenhar um papel relevante para essa educação.

Santos (2007) sugere que o professor de ciência deve contemplar aspectos relacionados à compreensão das limitações da ciência e de como ela se desenvolve, implicando conhecimentos sobre história, filosofia e sociologia da ciência de forma que os estudantes compreendam a natureza da atividade científica; a compreensão das implicações sociais da ciência; o entendimento da ciência como atividade humana, não neutra e distante

dos problemas sociais; o caráter provisório e incerto da ciência e as opiniões controvertidas dos especialistas.

Reforçando essas ideias, os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000) evidenciam a importância de discutirmos os conteúdos a serem trabalhados na disciplina de física do ensino médio, de modo que seja possível aproximá-la dos alunos, possibilitando a estruturação de um conhecimento que contribua para uma melhor compreensão do seu cotidiano. Essa abordagem ganha destaque, pois é uma alternativa que poderá desenvolver atitudes críticas nos alunos, diante de acontecimentos que envolvam conhecimentos científicos e tecnológicos e a tomada de decisões sobre temas relativos à ciência e tecnologia, contribuindo para a formação de cidadãos capazes de se comunicarem, argumentarem, compreenderem e agirem em diferentes situações da vida em sociedade.

Se tratando especificamente da Física, Zanetic (2005) argumenta sobre a visão distorcida e fantasiosa acerca de sua compreensão, pois para ele o cidadão comum costuma ver a física como esotérica, desvinculada da vida cotidiana. Com exceção de experiências isoladas que professores levam para suas salas de aula, decorrentes das pesquisas em ensino de física desenvolvidas no país, geralmente a física é mal ensinada nas escolas. Predominantemente, observa-se que o ensino de física se restringe à memorização de fórmulas aplicadas na solução de exercícios sem qualquer conexão com o cotidiano dos alunos (ZANETIC, 2005).

Nesse sentido, devemos então repensar nossa prática docente, pois, ela não deve se resumir à apresentação de conceitos, leis e fórmulas, desarticulada e vazia de significados, ou seja, deve partir da prática e de exemplos concretos (BRASIL, 2000). Como não há um método infalível, existe a necessidade de tentar encontrar aquela prática que melhor se adapta a cada situação, pois possivelmente, será essa estratégia que garantirá algum sucesso. Por isso, precisamos buscar estratégias para serem trabalhadas em sala de aula que contribuam para construção e reconstrução dos conhecimentos dos alunos e para o desenvolvimento da atitude crítica diante da realidade.

Promover um ensino de Física mais contextualizado possibilitará que os alunos relacionem os seus conhecimentos com os problemas sociais de seu meio próximo e distante, tornando-o um cidadão mais crítico, consciente e atuante em seu contexto. Esta contextualização pode ser trabalhada como recurso didático, para problematizar a realidade vivenciada pelo aluno e então projetar o que se pretende ensinar. Cabe ao professor proporcionar alternativas para que os alunos sintam a necessidade de buscar este conhecimento, mobilizem-se e realizem uma reflexão crítica sobre seus conhecimentos.

A seleção de assuntos de relevância social, cultural e política a serem levados para a sala de aula precisam ser cuidadosamente escolhidas pelos professores, de forma que o centro das discussões favoreça a mobilização do aluno para a aprendizagem de física. “O ensino da Física deve discutir a origem do universo e sua evolução, mas também os gastos da conta de luz, o funcionamento de aparelhos presentes na vida cotidiana.” (BRASIL, 2000, p.233). Para Assis e Teixeira (2003) o uso desses textos possibilitaria o contato do aluno com informações atualizadas sobre ciência e tecnologia, tornando o conhecimento científico mais significativo para eles e formando-os para a ação social responsável.

A discussão sobre a incorporação de textos de divulgação científica como recurso educacional no ensino médio reflete novas tendências curriculares, com novas concepções sobre o ensino de física e sobre a educação científica. Tais tendências apontam para a necessidade de renovação dos conteúdos escolares de física e para a elaboração de metodologias que possibilitem o desenvolvimento cultural dos estudantes, contemplando uma educação para a cidadania e propiciando uma reflexão sobre os valores associados à ciência, às suas motivações e suas consequências na sociedade (RIBEIRO e KAWAMURA, 2006). O contato dos alunos com diferentes textos, com formas de argumentação e pontos de vista variados, com as estruturas peculiares de textos informativos etc. além contribuir para elevar o nível cultural dos alunos (ASSIS e TEIXEIRA, 2003), também pode favorecer o desenvolvimento de habilidades que possibilitem ao aluno interagir de forma crítica com esse material.

Para López *et al* (1996), os textos de divulgação podem ser utilizados em sala de aula de diferentes formas e com diferentes objetivos. Aparecendo como recurso didático, os textos de divulgação podem favorecer a conexão entre os conteúdos estudados e a realidade conhecida dos alunos. Como fonte de aprendizagem, quando os alunos levam para a sala de aula um artigo de divulgação científica, este texto pode ser utilizado para discutir concepções e ideias sobre a natureza da ciência e a atividade científica. Como objeto de estudo, os textos podem ser utilizados para destacar as interações Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), contribuindo para a formação de uma imagem adequada e crítica da física, para reflexões sobre as aplicações e implicações sociais da ciência e tecnologia. Ademais, oportuniza discutir acerca de História e Filosofia da Ciência, contribuindo para desmistificar algumas concepções inadequadas de natureza das ciências, com Tecnologias da Informação e Comunicação, estabelecendo um paralelo entre esses campos do conhecimento.

Nesse sentido, objetivamos, com este tópico, estabelecer uma melhor aproximação do conceito de popularização da ciência e seu uso no ensino de ciências. Ao final desse tópico,

temos consciência da possibilidade de realizar uma revisão conceitual mais aprofundada que nos permitiria reconhecer com maior propriedade diferenças e semelhanças entre os termos: vulgarização da ciência, divulgação científica, alfabetização científica, e popularização da ciência, inadvertidamente utilizados como sinônimos de uma mesma prática. Contudo, como não é esse nosso objetivo principal e pelo fato de estarmos buscando aqui uma breve contextualização, não faremos esse aprofundamento nesse trabalho.

2.2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A utilização da História e da Filosofia da Ciência para a pesquisa em ensino de Ciências, atualmente, possui destaque promissor e tem sido apontada com bastante frequência na literatura especializada da área. Ainda, segundo Assis e Teixeira (2003): O posicionamento favorável à incorporação de elementos históricos e filosóficos no ensino médio possui um número considerável de adeptos, não sendo exagero considerar que esse apoio seja praticamente consensual.

No entanto, há um ponto que merece ser repensado: se existe uma maioria de pesquisadores que têm se mostrado favorável a essa abordagem, por que os professores, principalmente os do ensino médio, dificilmente, incorporam esse tipo de conhecimento em suas práticas? Podemos nos questionar também: Por que a produção de material destinado a essa finalidade é tão escasso e muitos dos materiais existentes são inadequados? Por que essa abordagem ainda enfrenta tantos problemas e dificuldades?

Alguns desses questionamentos enfrentados por professores do nível médio são também conhecidos por pesquisadores da área: a falta de material pedagógico adequado, assim como as dificuldades de leitura e interpretação de texto por parte dos alunos. Seriam apenas esses? Como os professores e futuros professores das disciplinas científicas veem a perspectiva da utilização da HFC no ensino? Em que medida a prática docente, no ensino médio, contempla essa perspectiva? O contato com esse tipo de conteúdo nas licenciaturas leva a uma mudança dessa prática? Quais os principais obstáculos a serem enfrentados, na visão dos professores? Na realidade, como podemos perceber, os questionamentos são muitos, mas não temos respostas precisas para a maioria deles.

Muitos pesquisadores defendem a importância de se incluir a História e Filosofia da Ciência nos currículos de ensino básico, mas vale salientar que o objetivo não é incluir apenas tópicos de HFC, nem criar uma nova disciplina, o intuito é resgatar elementos significativos para o ensino, possibilitando trabalhar aspectos relevantes acerca da Natureza das Ciências (NdC) em sala de aula, como preconizado por Matthews (1994) e Martins (2007). Além disso,

a introdução da HFC no dia-a-dia da sala de aula pode colaborar para um ensino atualizado e de qualidade (ALLCHIN, 2011; GALILI, 2012; FORATO *et al.*, 2011).

Já do ponto de vista mais prático e aplicado a HFC pode ser pensada tanto a nível de conteúdo das disciplinas científicas, quanto como estratégia didática facilitadora na compreensão de conceitos, modelos e teorias. Diversos autores convergem nessa direção, defendendo e expondo razões para a presença da HFC nas salas de aula dos diversos níveis de ensino (GIL PÉREZ, 1993; MATTHEWS, 1994; VANNUCCHI, 1996; PEDUZZI, 2001; EL-HANI, 2006; MARTINS, 2006).

A compreensão de um conceito por meio de um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômica de uma determinada época devem ser levadas em consideração. Tal direcionamento referente à formação dos estudantes entra em acordo com questões anteriormente levantadas em 1959 por C.P. Snow, indicando a necessidade do trabalho interdisciplinar entre o que o autor chamou de “as duas culturas” (SNOW, 1995). Dessa forma, para Galili (2012) a Física faz parte do processo de construção da sociedade e tem forte impacto sobre nosso meio, o que torna essas relações importantes, para pesquisadores, estudantes e professores.

Os pesquisadores que defendem essa prática geralmente o fazem, pois uma das importantes contribuições que a história traz para o ensino de ciências é esclarecer aspectos obscuros em certas teorias científicas e romper com determinados dogmas presentes em livros, textos didáticos e textos de divulgação científica, fortemente presentes em salas de aula, ao passo que a HFC confronta concepções equivocadas que se tem da ciência, tais como o empirismo e indutivismo científico radicais. Assim, a história da ciência valoriza o caráter mutável da ciência, mostrando aos estudantes sua dependência de contextos históricos, sociais e culturais, desfazendo mitos, humanizando “gênios” e ainda mostrando que o conhecimento científico, mesmo que atualmente seja aceito, é passível de erro e suscetível a transformações (SILVA, MARTINS, 2003).

Um dos aspectos interessantes do uso da história da ciência no ensino é esclarecer conceitos ensinados em sala de aula que nem sempre são óbvios e diretos como os livros texto insistem em colocar. Silva (2006) nos mostra um exemplo acerca da teoria eletromagnética. Para ela, o eletromagnetismo geralmente é ensinado de forma bastante abstrata e dogmática com poucas discussões sobre a evolução e significado de seus conceitos e das várias equações matemáticas nele envolvidas.

Mesmo reconhecendo, indiscutivelmente, a importância da HFC para o ensino é importante ter em mente que para um uso eficiente, que faça com que professores e os alunos

consigam abstrair o máximo possível de conhecimentos, é importante levar em consideração algumas questões relevantes, como por exemplo, o cuidado para não ignorar aspectos histórico-filosóficos nem mesmo alterá-los, pois, são daí que são geradas visões distorcidas da ciência. Visões essas baseadas em concepções empíricas indutivistas, passando a ideia de que a ciência seria composta de verdades inquestionáveis (CARVALHO e GIL-PÉREZ, 1998).

Sendo assim, nossa intenção com a proposta de um ensino mais histórico não está relacionada à substituição de uma aula conceitual de física por uma aula de aspectos históricos e filosóficos de determinado episódio, mas à precaução sobre um ensino que propaga a imagem de um conhecimento científico cumulativo e linear, fragmentado, algorítmico, exato e irreal, que enfatiza um produto final da ciência, neutro, descontextualizado, individualista, caracterizado como uma construção de grandes gênios e conhecimento não falível, entre outros elementos. Essa abordagem histórica, segundo Mathews (1994), torna-se mais eficaz, ao apresentar o assunto por meio de uma abordagem que discute o seu surgimento e evolução histórico-conceitual, em oposição à estratégia não integrada, em que o conteúdo da Física é apresentado de forma independente da sua evolução histórica.

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram (BRASIL, parte III, 2000, p. 27).

No que se refere ao ensino de ciências naturais é notável que as práticas pedagógicas realizadas na perspectiva da História e Filosofia da Ciência contribuem sobremaneira para a melhoria do ensino dessas ciências (BASTOS, 2012; PEDUZZI, 2001; MARTINS, 2006). A proposta de inserção da HFC na matriz curricular nas disciplinas das ciências naturais possibilitará um olhar diferenciado com viés a contextualização, na produção de materiais didáticos e fortalecimento do processo de formação do profissional e do cidadão. A busca incessante por respostas às dificuldades enfrentadas no campo educacional tem impulsionado vários pesquisadores no sentido de buscar caminhos que venham contribuir com uma formação docente de qualidade.

Devido às implicações teóricas e práticas da HFC para o ensino de ciências, tornou-se evidente a relevância da dimensão histórica e filosófica na formação de professores de ciências (CARVALHO E GIL PÉREZ, 1998; BRITO *et al.*, 2004; DUARTE, 2004). Assim, a

HFC surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o processo de ensino-aprendizagem da ciência e proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula.

No entanto, a simples consideração de elementos históricos e filosóficos na formação inicial de professores das áreas científicas, ainda que feita com qualidade, não garante a inserção desses conhecimentos nas salas de aula do ensino básico, tampouco uma reflexão mais aprofundada, por parte dos professores, do papel da HFC para o campo da didática das ciências. As principais dificuldades surgem quando pensamos na utilização da HFC para fins didáticos, ou seja, quando passamos dos cursos de formação inicial para o contexto aplicado do ensino e aprendizagem das Ciências.

Desse modo, podemos colocar que há muitas formas de se usar didaticamente a história da ciência. Tal escolha depende do objetivo pedagógico e do público alvo, que pode incluir estudantes de nível médio, estudantes de graduação, professores, etc. Os alunos e/ou os professores podem aprender teorias científicas, conceitos e argumentos, por exemplo, ou discutirem sobre a natureza da ciência e seu método, a relação entre ciência e o contexto social, entre outras coisas. Examinando exemplos históricos, com o distanciamento emocional que isso permite, estudantes e professores podem perceber que, na história, sempre houve discussões e alternativas, e que algumas pessoas já tiveram ideias e dificuldades semelhantes às que ele próprio tem (SILVA, 2006).

A história da ciência tem sido usada de forma bastante distorcida em algumas disciplinas nas aulas tradicionais dos cursos de licenciatura em física. Mesmo quando certas incursões históricas são feitas, elas não passam muitas vezes de meras tentativas de respaldar determinados preconceitos sobre o desenvolvimento de alguns conceitos e teorias. Em geral, segundo Solbes (1999) os recursos históricos são escassos e se restringem a biografias, anedotas e contos, que apresentam erros grosseiros e essas quase-história, como nos alerta Martins (2006), transmitem não somente informações históricas erradas, mas também deturpam totalmente a própria natureza da ciência, a construção e evolução dos conceitos científicos nos alunos, gerando mitos. Whitaker (1979) aponta que as seções históricas de muitos livros e textos de física são extremamente de má qualidade, com a inclusão de erro em simples assuntos de fatos históricos.

Dessa forma, os livros didáticos erram por perpetuarem essa quase-história e pecam por omissão de alguns aspectos históricos inerentes ao desenvolvimento da ciência. Os professores de física em congruência com sua atitude científica devem manter-se críticos em

relação aos livros que tendem a manter por muito tempo textos congelados, sem incorporar o resultado de novas pesquisas. Além de ficar atentos ao aparecimento de novos trabalhos sobre a história da ciência que, muitas vezes, desfazem versões tradicionalmente aceitas é importante ler as obras originais dos autores (fontes primárias).

3 PRINCÍPIO DE DESCARTES E FERMAT

3.1 A IDEIA DE DESCARTES SOBRE A LUZ

Comumente, a descoberta da lei da refração da luz é definida como um acontecimento do período de 1621 e 1625 é atribuída a Willebrod Snell. Segundo os historiadores Mason (1964) e Ronan (2001), Snell descobriu que os senos dos ângulos de incidência e refração sempre mantinham entre si a mesma razão em uma dada superfície de contato entre dois meios, sendo a razão denominada o índice refrativo dessa superfície. Suas ideias vieram a público, pela primeira vez, em 1637, quando Descartes publicou o seu *Discours de La Méthode* com três apêndices, *La Dioptrique*, *Les Météores* e *La Géométrie*.

A Dióptrica possui um papel de destaque nesse trabalho, portanto, nosso maior enfoque será voltado para essa obra em particular. Só para situar o leitor, temporalmente, essa obra foi publicada juntamente com o *Discurso do método*. Esse ensaio é um tratado de óptica, que compreende principalmente uma teoria da refração da luz, a qual estabelece, pela primeira vez a lei do seno, além de conter um estudo sobre novos instrumentos ópticos (cf. Koyré, 1992, p. 11). Ela é composta por discursos (capítulos) com a seguinte ordenação: (1) da luz, (2) da refração, (3) do olho, (4) dos sentidos em geral, (5) das imagens formadas no fundo do olho, (6) da visão, (7) dos meios para aperfeiçoar a visão, (8) das formas dos corpos transparentes que refratam a luz, (9) da descrição das lunetas e, por fim, (10) da metodologia para a elaboração de lentes. Vale salientar que nosso intuito não é descrever detalhadamente cada um desses pontos, mas é importante destacar os pontos estudados por Descartes.

Para Ramos (2010), a dióptrica expõe os fatores que viabilizam à ciência de Descartes examinar o objeto de estudo óptico. Descartes relata que a natureza da luz não é passível de descrição metódica e compreende que essa explicação se torna impertinente, na medida em que não se propõe a realizar a investigação acerca da própria natureza do objeto, mas apenas tratar do modo como é possível descrever a ação da luz mediante a explicação mecânica do movimento. De acordo com Moreira (1998) é possível perceber algumas concepções que Descartes possuía na época que descreveu seu trabalho. De acordo com esse autor, Descartes acreditava que o universo era pleno, não admitindo, em momento algum, a possibilidade da existência do vácuo; para ele, a luz era uma pressão transmitida através de um meio. A definição desse meio descrito por Descartes não aparece com clareza, mas sugere que seja uma matéria muito sutil e que preenche os outros corpos. No que se refere à velocidade, ele a considera como sendo infinita, para ele é uma pressão propagada em um instante. Além disso, ainda admite que a luz atravessasse mais facilmente corpos mais densos.

De acordo com Paty (1998), Descartes possui uma segunda teoria sobre a luz que, particularmente, nos parece bem peculiar, uma vez que faz parte da concepção atual de grande parcela dos alunos. Descartes acreditava que a luz era uma ação (ou pressão) que se transmitia de um objeto para a vista humana através da matéria estreitamente compacta do espaço interposto. Para ele, a ação (ou pressão) da luz proveniente do sol mantinha firme o vórtice do sistema solar face às pressões das estrelas exteriores. Ainda de acordo com Paty (1998), vemos uma interessante interpretação dessa propositura, que nos sugere a ideia de Descartes acerca da luz como algo material, palpável. Para Ramos (2010), a estratégia de Descartes consiste, assim, em fazer uso de hipóteses e analogias, revelando seu caráter determinante para o empreendimento científico.

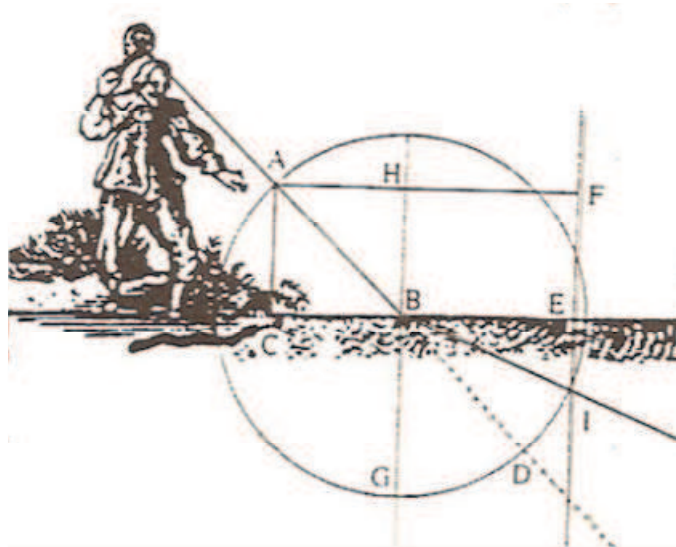
Uma dessas famosas analogias é a do “cego e a bengala” na qual Descartes defende que o cego utilize o movimento da bengala para perceber os objetos a sua volta. Há, também, a analogia do “barril”, na qual ele supõe a existência de um recipiente preenchido de uvas pisadas e com vários orifícios, onde, no interior desse barril, há um conteúdo que ele compara à matéria sutil, o qual, supostamente, preencheria os espaços que antes estavam vazios e a partir do qual ele pretende explicar como a luz pode ser considerada a ação pela qual as partes mais altas dessa matéria tendem para baixo como se fosse em linha reta. Por fim, apresentamos a analogia do “jogo de raquete”, na qual ele pretende comparar o raio luminoso à bola rebatida com força pela raquete. Assim, Descartes concebe a ação da luz por meio das mesmas leis do movimento mecânico.

“A adequação do mundo físico e da luz, apesar de suas diferenças a propósito da matéria - a luz sendo, para ele, imaterial - e da velocidade – a transmissão da luz concebida como instantânea -, é uma identidade de estrutura, que ocasiona um parentesco entre o movimento dos corpos e a transmissão da luz por intermédio de um éter material” (PATY, p. 22, 1998).

Para melhor compreensão utilizemos uma analogia com uma bola de tênis que colide sobre uma superfície dura. Ele sustentava que a *determinação*¹ do movimento muda instantaneamente, mas não a força do movimento, tornando o ângulo de incidência igual ao da reflexão. De mesmo modo, a refração da luz (Figura 1), considera uma bola incidindo sobre a superfície da água, mostrando a decomposição do movimento em componentes, fazendo a suposição da conservação da componente do momento na direção paralela aos dois meios em contato e alterando apenas a componente do movimento vertical.

¹ “Quantidade física resolvida e composta de acordo com a regra do paralelogramo geométrico.” McLaughlin, p.16, 1998.

Figura 1 – Teoria de Descartes sobre a refração



Fonte: (Discours second, p. 17, La Dioptrique).

Descartes realizou três empreendimentos científicos com o intuito de demonstrar o caráter apriorístico da matemática. O último empreendimento científico, quando Descartes utiliza a analogia do deslocamento da bola para compreender o movimento da luz, mostra o modo como ele pretendia estabelecer a lei de refração. Segue-se uma possível explicação do modo como Descartes demonstrou a lei de refração na Dióptrica: de todas as partes do movimento que se podiam imaginar em AB, Descartes escolheu as determinações/ direções AC, perpendiculares à superfície, e AF, paralela. No momento do impacto, conjecturava-se que a superfície impediria a primeira determinação, porém não no caso da segunda. Em outras palavras, o movimento de AC encontraria um obstáculo, sem que fosse necessária a mudança da paralela AF.

A partir dessa cadeia de raciocínios, Descartes descreve o percurso que a bola seguirá depois de colidir com a superfície, desenhando um círculo com centro em B, de raio AB (Figura 1). Como a velocidade da bola não é alterada, se moverá de B até o ponto F na circunferência do círculo no mesmo tempo em que chegará em D. Em seguida, Descartes determina o ponto F baseando-se no pressuposto de que a determinação paralela não muda após a colisão. Diante disso, para Descartes, a bola deverá equidistar de H e cair em linha reta FD paralela à HB e AC.

Observando a imagem (Figura 1) sob a perspectiva de Descartes, podemos perceber que o raio luminoso (BI) tende a mudar de direção em função da diferença de grau de agitação das partes do meio em que se propaga. Sendo assim, embora não discuta claramente sobre velocidade (com esses termos), ele elenca dois tipos para o que atualmente chamamos de

velocidade: uma primeira velocidade é a velocidade de agitação das partes do meio e a segunda velocidade é a de propagação da luz, que segundo ele, é infinita.

Para Ramos (2010), Descartes descobre a lei de refração em meados de 1629, a partir do cálculo da hipérbole que ele atribuiu à construção da forma da anaclástica. A lei de refração é concebida quando Descartes observa que um raio de luz passa de um meio para outro. Ou seja, constata-se que os senos do ângulo de incidência mantem uma razão constante com o seno do ângulo de refração. Cabe destacar que Descartes não fornece explicitamente uma descrição da lei dos senos a partir dos experimentos físicos, sustenta-se que a concepção matemática da lei dos senos foi determinante no empreendimento científico de Descartes.

Sabra (1981) nos alerta que Descartes não chegou à lei dos senos por meio da experimentação, mas pelo uso da matemática em problemas físicos. A dedução feita pelos cartesianos era a de que a luz devia propagar-se mais facilmente num meio mais denso, pois diferentemente de Descartes, eles já possuíam o conhecimento da velocidade finita da luz, através das observações de Römer em 1676. Todas as formulações encontradas na literatura, dando lugar a contradição entre a instantaneidade da luz e o tempo maior ou menor da sua passagem, não são de Descartes, mas dos seus seguidores e comentadores. Todas essas formulações foram contestadas por Pierre de Fermat, conforme evidencia a análise que segue.

3.2 O PRINCÍPIO DO TEMPO MÍNIMO

Fermat conseguiu trazer uma explicação para as leis da reflexão e da refração, além de propor e justificar o uso da minimização do tempo gasto para a luz se propagar de um ponto a outro, acreditando na ideia de que “a natureza faz seus movimentos pelas vias mais simples ou sempre atua pelo caminho mais curto” (FERMAT, 1657, p. 356). De acordo com Moreira (1999), essas ideias de Fermat já haviam sido propostas por Heron de Alexandria, afirmando que a luz segue sempre o caminho mais curto ao se propagar em um meio homogêneo, fornecendo, assim, uma explicação para a igualdade entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.

Após a leitura do “Dioptrique”, Fermat escreve uma carta para Descartes (em setembro de 1637), na qual contesta suas suposições a respeito dos fenômenos da reflexão e refração. Fermat argumentava sobre a decomposição da *determinação* em componentes normal e paralela, pois para ele, poderiam existir em infinitas decomposições. Além disso, afirmava que não havia provas que a componente paralela à superfície se conserva. O teórico ainda chamou a atenção para a confusão na descrição da velocidade, pois não havia clareza em distinguir o que seria “pressão” e “velocidade do movimento”. No que se refere à

apresentação matemática de suas ideias, Fermat não faz críticas a Descartes e vê como plausível sua relação entre os senos para a refração, mas não concorda que haja aumento da velocidade.

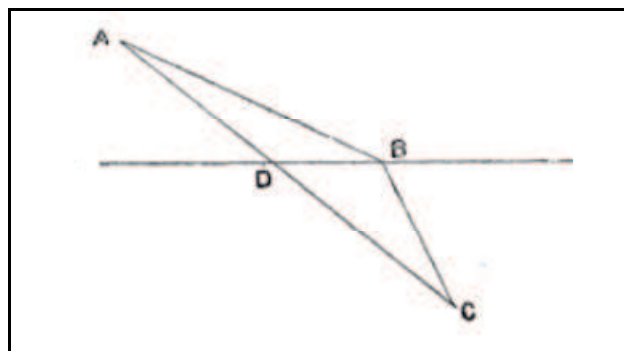
Fermat baseava seu argumento no princípio do tempo mínimo ou de um caminho mais fácil (menor resistência), segundo o qual os fenômenos naturais ocorriam sempre no menor tempo possível. Ele tentou evidenciar que as leis da reflexão e da refração surgiam como consequências necessárias desse princípio, uma vez que se tivesse como pressuposto a mais rápida propagação da luz nos meios rarefeitos. Moreira (1998), nos chama atenção para um ponto importante: ele admite que embora haja similaridade entre as leis de Fermat e Descartes, Fermat leva a uma razão entre os senos que depende diretamente das velocidades e não inversamente como pensava Descartes.

A ideia do caminho mínimo foi lançada, inicialmente, por De La Chambre e, na mesma carta de 1657, Fermat escreve: “Primeiramente, reconheço, convosco, a verdade desse princípio, que a natureza age sempre pelas vias mais curtas.”² (FERMAT, 1657, p. 354).

Para esse estudioso, a refração se reduzia a um problema de geometria:

Dados dois pontos A e C e a reta DB, devemos encontrar um ponto na reta DB a qual se conduz as retas CB e BA, sendo que para minimizar o tempo, a luz busca percorrer uma trajetória maior no meio menos denso, no qual tem velocidade maior (AB) e inversamente percorre uma trajetória menor no meio mais denso, onde terá uma velocidade menor (BC). O ponto B encontrado pela construção deste problema será o ponto onde se fará a refração (FERMAT A DE LA CHAMBRE, 1657, p. 358).

Figura 2 – Teoria de Fermat sobre a refração



Fonte: (Fermat a De La Chambre, 1657, p. 358).

²“Je reconnois premierement avec vous la verite de ce principe, que la nature agit toujours par les voies les plus courtes” (OEUVRES DE FERMAT, CORRESPONDENCE, p.354, 1657).

Para estruturar suas ideias, Pierre de Fermat adaptou a estratégia de Héron para o caso da refração da luz, só que, agora, considerando que a luz toma o caminho que leva *um tempo mínimo*. Na demonstração do seu princípio, ele utiliza como ferramenta matemática, o princípio de máximo e mínimo, para mostrar que a fórmula da refração (lei de Snell) derivada por Descartes era falsa. Em agosto de 1657, Fermat tenta obter o apoio de De La Chambre:

O que me confirma é que, por meio disso, eu entro em diálogo convosco e até mesmo ousa assegurar-vos antecipadamente que, se vós suportais que eu alie um pouco da minha geometria à vossa física, nós faremos um trabalho em comum que nos colocará primeiramente em oposição contra o senhor Descartes e todos os seus amigos³ (FERMAT, 1657. p. 354).

Ilustremos isso tomando como exemplo a refração (figura 3): a luz segue o caminho **AXB** não porque este seja o mais curto (nesse caso, é óbvio que não é), mas sim por ser o mais rápido, e isso, como vimos, tem a ver com as velocidades v_1 e v_2 com que a luz se propaga nos dois meios.

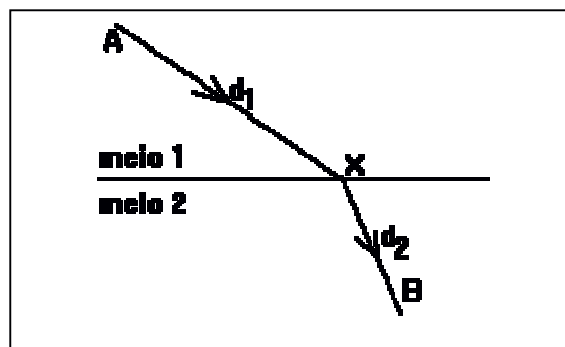


Figura 3: Propagação da luz em dois meios.

O princípio de Fermat pode ser equacionado em função do caminho óptico e das correspondentes velocidades nesses meios. Aproveitando a figura 3 acima, como referência, teremos:

$$t_{AB} = t_{AX} + t_{XB} = \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} \rightarrow c, \text{ como } n = \frac{c}{v}, \text{ obtemos:}$$

$$t_{AB} = \frac{d_1 n_1}{c} + \frac{d_2 n_2}{c} \Rightarrow t_{AB} = \frac{d_1 n_1 + d_2 n_2}{c}$$

Essa última expressão nos mostra que o tempo será mínimo se o caminho óptico ($d_1 \cdot n_1 + d_2 \cdot n_2$) também o for, uma vez que c é uma constante (velocidade da luz no vácuo). A demonstração de que para ir de um ponto a outro, a luz utiliza tempo mínimo fica, então,

³ “Ce qui my confirme est que j’entre par là dans quelque societe d’opinion avec vous, et j’ose même vous assurer par avance que, si vous souffrez que je joigne un peu de ma géométrie á votre physique, nous ferons un travail à frais communs qui nous mettra d’abord en défense contre M. Descartes et tous sés amis” (Fermat, 1657, p. 354).

condicionada a mostrar que, para ir de um ponto a outro, a luz utiliza o menor caminho óptico possível. Essa correlação, é ponte entre o princípio de Fermat e as Leis da Óptica Geométrica. No anexo 2 deste trabalho propomos uma possível simulação para melhor entender o princípio de Fermat.

Uma das discordâncias entre Fermat e os cartesianos era referente à velocidade de propagação da luz nos meios “mais ou menos densos ou rarefeitos”. Como mostramos anteriormente, Fermat supôs que a luz se propagava com uma velocidade menor em meios mais densos (o que é verdade, mas que ia de encontro ao que achavam Descartes e posteriormente Newton).

Ao fazer suas contas, descobriu que o caminho de menor tempo era justamente aquele que satisfazia a lei de Snell-Descartes. Embora não tenha tido um grande sucesso com os cartesianos e, posteriormente, com os newtonianos e a teoria corpuscular, o seu princípio é reconhecido por Huygens (que era cartesiano), o qual, através do seu modelo ondulatório para a luz, chega ao princípio de Fermat. No início do século XIX, o princípio de Fermat é também compatível com a teoria ondulatória proposta por Fresnele foi verificada, experimentalmente, com a comprovação da velocidade da luz menor em meios mais densos por Foucault.

3.3 ANÁLISE DAS CARTAS

Na última carta que Descartes enviou para Fermat, por intermédio de Mersenne, em julho de 1638, ele agradece as contestações feitas, mas não aceita as objeções. Após esse momento, a comunicação entre eles passa a ser através de outros cartesianos, como: Jacques Rohault, Clerselier, Mersenne e De La Chambre. As cartas de Fermat a De La Chambre, escritas entre 1657 até 1662, foram motivadas pela leitura por Fermat do livro de De La Chambre, *La Lumiere*, publicado em 1657. Portanto, essas cartas serão o nosso referencial para a discussão entre Fermat e Descartes, relativa à óptica geométrica.

Em uma das cartas endereçadas à Mydorge, em março de 1638, Descartes estabelece as questões sobre as quais irá tratar para se defender das objeções postas por Fermat. Na primeira questão, Descartes examina a refutação. Na segunda, Descartes expõe a defesa dos argumentos da Dióptrica. Na terceira, examina a obra latina *maximis & minimis* de Fermat. Na quarta, realiza objeções à obra de Fermat. Na quinta, são expostos os argumentos dos defensores de Fermat. Na sexta, Descartes expõe uma resposta aos defensores de Fermat. Na sétima, é exposta uma réplica de Fermat à primeira resposta de Descartes no tocante à Dióptrica (RAMOS, 2010). Ainda de acordo com Ramos (2010) observamos que Descartes examina o raciocínio de Fermat através da construção da tangente da parábola; e, em seguida,

explica que esse raciocínio apenas é válido para a construção da parábola. Ou seja, inútil para a construção analítica da elipse e da hipérbole. Esse fato revela que o método universal não é admitido nos raciocínios matemáticos de Fermat.

Numa dessas cartas a De La Chambre, janeiro de 1662, ele aclama por ter chegado aos mesmos resultados de Descartes, usando o seu princípio do tempo mínimo.

Mas o prêmio do meu trabalho foi extraordinário, o mais imprevisível e o mais feliz que já me aconteceu. Porque, depois de ter passado por todas as equações, multiplicações, antíteses e outras operações de meu método, e de haver por fim concluído o problema – que o senhor pode ver em folha separada -, encontrei que meu princípio fornecia justa e precisamente a mesma proporção das refrações que Descartes havia estabelecido. Fiquei tão surpreso com um evento tão inesperado que a custo sai de meu espanto. Repeti minhas operações algébricas diversas vezes e sempre o sucesso foi o mesmo, ainda que minha demonstração suponha que a passagem da luz pelos corpos densos seja mais difícil que nos corpos menos densos, o que eu creio ser muito verdadeiro e indisputável, embora Descartes suponha o contrário. (MOREIRA, p.155, 1998).

Uma bibliografia secundária que visa discutir o princípio da mínima ação proposto por Maupertuis, em 1744, mostra o conflito entre a suposição de Fermat a respeito da velocidade da luz com a óptica newtoniana daquele período, segundo a qual a luz se move mais facilmente em meios mais refringentes (MARTINS E SILVA, 2007). De acordo com esses autores, as hipóteses levantadas por Fermat e, posteriormente, por Newton, levavam à lei da refração, mas não levavam à mesma relação entre a velocidade da luz e a refração do meio. Portanto, como a física newtoniana era bastante aceita, o seu modelo corpuscular ganhou rapidamente espaço entre a maioria dos físicos franceses, como Biot, Arago, Malus, Laplace entre outros.

Notadamente, outras propostas de mínima ação para a luz foram sendo discutidas por outros físicos, como o Leibniz e o Maupertuis, este último sendo newtoniano e assumindo o modelo corpuscular para a luz. Moreira (1999) nos lembra de que Maupertuis foi um dos primeiros a defender e a divulgar a Física newtoniana na França, além de apresentar um interessante argumento de simetria, similar aos dos cartesianos, para criticar o princípio do tempo mínimo proposto por Fermat (1657). Nessa época, surgiu um empecilho para o princípio do tempo mínimo, pois era sabido que nos espelhos côncavos a luz nem sempre percorria um caminho mínimo. Fermat (1657), então, tentou ajustar o enunciado para poder contornar tal obstáculo, acrescentando:

“O princípio de Física é que a natureza faz seus movimentos pelas vias as mais simples. Ora, a linha direita sendo mais simples do que a circular e do que qualquer outra curva deve-se crer que o movimento do raio que cai sobre a curva se relaciona de preferência com a direita que toca a curva do que com a própria curva”. (FERMAT, 1657, p. 555).

O estudioso, na carta mencionada, vai além e tenta mostrar a De La Chambre como o princípio, agora comum aos dois, poderia ser utilizado para explicar a refração. Para isso, ele faz uma nova modificação, expandido essa ideia, e não fala mais em caminho curto, apenas, mas, admite também um caminho mais fácil. No caso da refração, a luz, para minimizar o intervalo de tempo, percorre um trajeto maior no meio menos denso, no qual tem uma velocidade maior, e percorre uma distância menor no meio mais denso. Mais ainda, ele utiliza, agora, o termo “nosso princípio” ao se dirigir a De La Chambre: “Mas deve-se ir ainda mais longe e encontrar a razão da refração em nosso princípio comum, que é [este]: que a natureza age sempre pelas vias as mais curtas e as mais fáceis” (Fermat, 1657, p. 356).⁴

Posteriormente, nos dois artigos “analyse pour les refractions” e “Synthese pour les refractions”, Fermat referir-se-á a um tempo mínimo.

Com efeito, do mesmo modo que, ao especular sobre os movimentos naturais dos graves, Galileu mede as razões destes tanto pelos tempos que pelo espaço; do mesmo modo, não consideraremos o espaço ou as linhas mais curtas, mas aquelas que podem ser percorridas o mais comodamente e no tempo o mais curto (FERMAT, p. 149 – 156, 1657).⁵

Na afirmação acima, se percebe a preocupação de Fermat com o movimento da luz, dando-lhe uma característica de espaço-tempo, citando, por exemplo, Galileu com a queda dos corpos. Essa é a divergência principal entre ele e Descartes que não considerava o tempo no percurso da luz entre dois pontos e acreditava numa velocidade instantânea para a luz. Mas a principal crítica ao princípio proposto por Fermat se refere à suposição de que a natureza obedece ao princípio das vias mais curtas e simples e, portanto, Clerselier em maio de 1662 argumenta:

Tratar-se-ia de um princípio moral e não físico, de natureza teleológica e, portanto, inaceitável na ótica cartesiana. O princípio colocaria também a natureza em uma indecisão. Por que ela não seguiria a trajetória mais curta, a reta, se segue as vias mais curtas e simples? Qual seria o caminho mais simples: o mais rápido ou o mais curto? E como a natureza sabe o caminho a escolher? E o raio de luz, estando já no ar, como poderá saber para onde se inclinar se meios diferentes (água ou vidro) forem colocados na sua frente? (MOREIRA, p.158, 1998).

⁴ “Mais il faut passer plus outre et trouver la raison de la réfraction dans notre principe commun, qui est que la nature agit toujours par les voies les plus courtes et les plus aisées” (OEUVRES DE FERMAT, CORRESPONDENCE, p.356, 1657).

⁵ “Em effet, de même qu’em speculant sur les mouvements naturels des graves, Galilée em mesure les rapports aussi bien par les temps que par l’espace, de même que ne considérerons pas l’espace ou les lignes les plus courtes, mais celles qui peuvent être parcourrues le plus commodement et dans le temps le plus court” (OEUVRES DE FERMAT, CORRESPONDENCE, p.149-156, 1657).

Pouco depois, Fermat respondeu com ironia e com uma consciente antevisão de que a história da polêmica ainda não estava terminada, mas que, a partir daquele momento, ele abandonava sua pretenciosa incursão pela física, enquanto essencialmente matemático, na tentativa de mostrar que era possível dar um caráter geométrico à refração e chegar à mesma conclusão de Descartes:

Não pretendo nem jamais pretendi ser o confidente secreto da natureza. Ela tem vias obscuras e ocultas que não tentei jamais penetrar; eu apenas havia lhe ofertado um pequeno auxílio de geometria acerca do assunto refração, se ela tivesse necessidade disso. Mas, porque o senhor me assegura que ela pode cumprir suas tarefas sem a geometria e que se contenta com o caminho que Descartes lhe prescreveu, eu abandono de bom coração, em vossas mãos, minha pretensa conquista de física. É suficiente para mim que o senhor me deixe de posse de meu problema de geometria inteiramente puro e in abstracto, por meio do qual se pode encontrar a rota de um móvel que passa por dois meios diferentes e que busca concluir seu movimento da maneira mais rápida possível. (MOREIRA, p.160, 1998).

Finalizando sua carta Fermat citava irônico: “*Quando serà il vero/ Si bello, che si posa a ti preporre?*”⁶. Para decretar em seguida o término das hostilidades, “*em voilà de reste, je croise les armes*”⁷ (MOREIRA, p.160, 1998). Percebe-se nas respostas de Fermat a Clerselier, que havia uma forte fundamentação no que ele defendia, ultrapassando, dessa forma, os limites de compreensão de sua época.

Há uma importante consideração que devemos fazer acerca dessa temática de maneira geral, pois como nos aponta Ramos (2010), o texto de A Dióptrica não pode ser entendido separadamente dos pressupostos metódicos desenvolvidos a partir dos raciocínios matemáticos de Descartes. Deve-se acrescentar, ainda, que a expressão “óptica geométrica” é utilizada para designar-se a óptica cartesiana, uma vez que elementos fundamentais de A Dióptrica, tais como a concepção corpuscular da luz e a ideia de que sua propagação ocorre instantaneamente e em linha reta, continuam exercendo papéis determinantes na óptica pós-cartesiana.

⁶ Quando isso será verdade/ É bonito, o que você repousa colocar no comando? (tradução nossa).

⁷ Aqui descanso, cruzando as armas (tradução nossa).

4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

O intuito deste capítulo é apresentar como o trabalho de pesquisa foi estruturado de modo que os objetivos definidos inicialmente fossem alcançados. Para tanto, apresentaremos, detalhadamente, todas as etapas que foram realizadas.

As atividades, no total de cinco, foram elaboradas com o objetivo de provocar discussões a respeito dos fenômenos analisados, levando-nos a uma reflexão ativa.

Dividimos as atividades da seguinte maneira:

- 1) Leitura (com tradução) e análise das já referidas cartas de Fermat e do livro *El mundo: Tratado de la Luz – Descartes* (fontes primárias) com relação aos fenômenos da reflexão e refração;
- 2) Leituras complementares em artigos (fontes secundárias) a respeito da oposição entre Fermat e Descartes;
- 3) Análise da ideia de Fermat e Descartes, de suas oposições teóricas e descrição do princípio de minimização do tempo;
- 4) Escrita do texto descritivo apontando os objetivos propostos no tópico anterior (Apresentado como nossa fundamentação teórica);
- 5) Construção de um Paradidático (anexo I, p.51), cartilha informativa como ferramenta textual de divulgação científica.

Nas leituras complementares da atividade 2, revisamos a literatura através da base de dados eletrônica SciELO com as palavras chaves da pesquisa. Assim pudemos constatar os artigos que convergiam com a nossa pesquisa.

A pesquisa, portanto, foi desenvolvida numa perspectiva predominantemente qualitativa, uma vez que a mesma lida com aspectos relacionados à aprendizagem histórica e conceitual de fenômenos interpretados diferentemente por dois cientistas. Quando afirmamos que privilegiamos a abordagem qualitativa, fomos buscar alguns fundamentos em Oliveira (2003), que afirma:

A abordagem qualitativa facilita descrever a complexidade de problemas e hipóteses, bem como analisar a interação entre variáveis, compreender e classificar determinados processos sociais, oferecer contribuições no processo das mudanças, criação ou formação de opiniões de determinados grupos e interpretação das particularidades dos comportamentos ou atitudes dos indivíduos (OLIVEIRA, 2003, p. 58).

Como podemos perceber na afirmação acima, não se trata de colher dados para uma análise estatística, mas observações ou inferências sobre o tema abordado que pode se modificar em favor de uma nova concepção, levando em consideração fatores sociais, históricos, etc. Devemos levar em consideração que mesmo tentando ser totalmente imparcial

ao longo das descrições, eventualmente em algum momento é possível que tenhamos apresentado algumas opiniões e posicionamentos pessoais a fim de estabelecer uma ligação entre o texto (original) e nossa realidade.

A abordagem qualitativa desse trabalho está fundamentada na pesquisa documental e bibliográfica. A pesquisa documental se diferencia de outras técnicas pelo método de coleta e análise de dados, que na maioria das pesquisas está pautada na consulta direta às pessoas. Na pesquisa documental essa pesquisa é indireta, como nos aponta Gil (2009):

[...] Há dados que, embora referentes a pessoas, são obtidos de maneira indireta, que tomam a forma de documentos, como livros, jornais, papéis oficiais, registros estatísticos, fotos, discos, filmes e vídeos, que são obtidos de maneira indireta (GIL, 2009, p.147).

É notável, no entanto, a semelhança entre a pesquisa documental e a pesquisa bibliográfica. Semelhança que se distingue apenas pela natureza das fontes pesquisadas: a pesquisa bibliográfica está mais focada em trabalhos secundários; para desenvolver esse tipo de pesquisa, geralmente se utiliza alguns autores discutidos sob o ponto de vista de outros autores. No caso da pesquisa documental atenta para fontes primárias que ainda não tiveram nenhum “tratamento” por parte do pesquisador ou que esse estudo ainda não foi suficientemente evidenciado. Para Lakatos e Marconi:

A característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas no momento em que o fato ou fenômeno ocorre, ou depois (LAKATOS e MARCONI, 2010, p.174).

Portanto, a análise documental consiste em analisar documentos primários e secundários que nos permita estabelecer uma base conceitual segura para identificar os a discussão desenvolvida ao longo dos anos, entre Fermat, Descartes e os cartesianos, até que fosse possível estabelecer ideias de maneira mais concisa, muito próxima do que se conhece atualmente.

Nesse sentido, nos concentramos nos dois questionamentos do segundo parágrafo da página 15 que estão na introdução deste trabalho. Analisando os pontos principais que opuseram Fermat e Descartes descobrimos a importância de se trabalhar episódios na perspectiva teórica e histórica para o Ensino da Física. A partir daí resolvemos construir um produto que estimule o aluno a discutir episódios históricos e desperte o interesse de buscarem fontes originais e/ou fontes secundárias de pesquisa de boa qualidade. Assim, podemos dizer que: com a tradução e leituras das cartas, a montagem da simulação experimental (anexo II) e a cartilha, conseguimos atingir os objetivos do nosso trabalho.

4.1 PROCEDIMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DO PRODUTO

Para elaboração do paradidático já mencionado, que se encontra em anexo I – página 51, estamos levando em consideração alguns aspectos. O primeiro deles é entender que um texto de divulgação científica não é um material que apresenta fortes argumentos científicos, mas é apenas um mediador entre o conhecimento científico da comunidade de especialistas para o público leigo. Isso significa que não há a intenção de fornecer dados técnicos – pelo contrário. As informações presentes nesse gênero textual precisam ser de fácil acesso a qualquer tipo de leitor. Ele deve servir para atualizar o leitor sobre alguma novidade científica e/ou trazer à tona assuntos que ficaram esquecidos por falta de interesse da grande mídia. Também é bastante útil para manter as pessoas atualizadas, sobre assuntos das diversas ciências, diante de uma vasta propagação de estudos científicos.

As principais características dos textos de divulgação científica são:

- Compreende uma prática social pela ação e relação dos sujeitos (professores e alunos) situados em contextos (institucionais, culturais, espaciais, temporais, sociais), e, por sua vez, modifica os sujeitos envolvidos nesse processo.
- Sua divulgação é uma recriação do conhecimento científico para torná-lo acessível ao público-leitor distanciado das ciências, isto é, seus leitores potenciais podem ser leigos em determinados assuntos;
- É um texto reformulado, o qual pode ter sido originado a partir de um artigo ou relatório acadêmico-científico, de uma entrevista ou até mesmo de uma tradução de um texto em língua estrangeira;
- Tem como finalidade informar descobertas que possam contribuir para melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

Sabendo disso, elaboramos algumas etapas para construção da cartilha informativa:

- **Etapa 01** – Escolha do tema com os questionamentos oponentes em Fermat e Descartes.
- **Etapa 02** – Escrevemos um texto relativamente curto, para que não seja cansativo para o leitor. Assim, utilizamos uma boa síntese que não ultrapassou um tamanho máximo de cinco laudas e que proporcionou informações importantes sobre a temática.
- **Etapa 03** – Escrita! Nessa etapa, selecionamos alguns dos pontos mais relevantes que foram abordados em nossa fundamentação teórica, a fim de estabelecer um texto mais compacto, mas que possua boa qualidade conceitual.
- **Etapa 04** – Divulgação da cartilha. Nossa pretensão é divulgar no *google sites* para interessados na temática que procuram novas metodologias de ensino.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse momento de nosso texto, destinamos inicialmente um pequeno espaço para falar sobre nossa formação. Ao longo de toda narrativa aqui exposta, embora haja uma série de estudos, técnicas, métodos e abordagens empregadas em nossa dissertação, existe um “pano de fundo” que orienta nossa pesquisa e nos instiga a elaborar materiais voltados para tornar o ensino de ciências mais eficaz e conceitualmente robusto.

Desse modo, fazer parte de um programa de Mestrado Profissional nos estimula a promover uma mudança qualitativa em nossa formação profissional e nos permite desenvolver materiais alternativos que possibilitam uma abordagem diferenciada. Nesse sentido, encontramos nessa modalidade a possibilidade de formação mais ampla, pois, ao mesmo tempo em que nos instiga a pesquisar sobre a temática, nos exige a produção de materiais pertinentes que servirão de alicerce para situações que vivenciamos em nossa sala de aula.

Entendemos o Mestrado Profissional como uma oportunidade de promover a formação continuada de profissionais que já atuam em sala de aula. Sua intenção não está voltada para formação do pesquisador, mas, destina-se à formação profissional continuada daqueles que já estão em sala de aula. Essa modalidade surgiu no Brasil regulamentada pela Portaria CAPES 80/1998, com o objetivo de qualificar profissionais não apenas para educação, mas para diversos setores da sociedade. Como colocado a seguir:

Profissionais cada vez mais qualificados mesmo para setores que não lidam com a docência ou com a pesquisa de ponta; aumento das titulações no País e transferência de conhecimento científico para as empresas ou para o mercado, com vistas a benefícios da sociedade como um todo, setor público e movimentos sociais (JANINE RIBEIRO, 2005, p.8).

De um modo geral, acreditamos que o Mestrado Profissional aguça o interesse de aprofundamento e evolução dos métodos tradicionais de ensino frente às demandas socioculturais, ao desenvolvimento técnico e científico, bem como para aprimorar o processo ensino-aprendizagem. Comungamos da ideia daqueles que defendem a escolha do magistério por, dentre diversos motivos, nos ofertar a possibilidade de propiciar uma educação de qualidade e contribuir com o processo de formação de cidadãos críticos. Nesse sentido, tendo consciência do papel do Mestrado Profissional e sentindo a necessidade de utilizar abordagens diferenciadas para o ensino de ciências, decidimos empenhar nossos esforços a fim de aliar essa formação ao uso da História e Filosofia das Ciências como uma possibilidade de se produzir um ensino mais eficiente.

Ao longo das discussões sobre HFC aqui apresentadas, percebemos que o papel da história e filosofia da ciência no ensino, apesar de antigo, parece muito distante de ser consensual, o que nos sugere a necessidade de análises mais aprofundadas sobre o tema. O que sabemos ao certo é que o seu papel vai além de um mero instrumento acessório para motivar os alunos ou ajudar a compreender conceitos. A história da ciência deve ser encarada como parte integrante dos conhecimentos necessários à formação científico-cultural dos alunos. Com base em nossa prática vivencial em sala de aula, percebemos que seu papel ainda é falho, já que o maior destaque dado a essa abordagem refere-se a aspectos da natureza dos conceitos científicos. Quando se trata da descrição histórica do fenômeno que se deseja analisar, percebemos que essa ainda aparece de forma fragmentada e construída com base em argumentos fracos que acabam dificultando sua compreensão por criar concepções equivocadas. E em decorrência das fragmentações já citadas, há certa dificuldade em se desenvolver uma discussão mais aprofundada.

Essa utilização da HFC no ensino como uma mudança de prática em sala de aula, que defendemos em nosso trabalho, envolve não somente a oferta de novos conhecimentos, releitura e reestruturação de conteúdos e práticas docentes, mas considera também a utilização de recursos didáticos que auxiliem a transformação didática pedagógica. Nesse sentido, o uso de diferenciados recursos é extremamente importante para que o aluno deixe a posição passiva no ensino e, definitivamente, transforme-se em agente ativo da sua aprendizagem. Para tanto, recursos didáticos, que estimulam atitudes dos sujeitos envolvidos no processo de ensino-aprendizagem, devem ser pesquisados e desenvolvidos a fim de que sejam utilizados no ensino de forma a otimizar a aquisição do conhecimento.

No que se refere ao nosso caso em particular, destacamos que a reconstrução do princípio de Fermat e Descartes por meio da análise das cartas trocadas entre Descartes, Marin Cureau De La Chambre e a outros cartesianos, nos permitiu desenvolver argumentações acerca de sua formulação inicial, bem como sobre o contexto científico da época. Aliado a essa análise de cartas, recorreremos a bibliografias secundárias de qualidade que nos permitiu entender questões importantes, como por exemplo, situações externas à ciência. Nesse sentido, essas ideias estão demonstradas através de um material paradidático que foi idealizado e produzido com o intuito de desconstruir o conceito de cientista e ciência fechado, linear e imparcial, imposto em diversas salas de aula.

Dentre as intenções dessa pesquisa se ressaltou a possibilidade de promover uma articulação entre a história e a Física tendo a História e Filosofia da Ciência como objeto mediador de conhecimentos de assuntos referentes à óptica. Isso foi proposto no produto

educacional, o material paradidático “Dioptrique: uma breve história sobre a luz”. É significativo frisar, também, que, quando elaborarmos o paradidático, utilizamos como alicerce uma teoria que considera os mecanismos da cognição humana. Assim, esse paradidático foi elaborado para estar alinhado ao mecanismo cognitivo do aluno, possibilitando uma otimização na aquisição da informação.

A escolha do título é uma alusão ao trabalho original de Descartes, já citado no texto. A utilização dessa temática em particular se deve ao fato de que em nossa vivência em sala de aula, pois, percebemos que esse é o conteúdo que mais apresenta concepções de senso comum por parte dos alunos, nos apontando a necessidade de promover alguma mudança positiva acerca dessa discussão. As informações apresentadas nesse material paradidático foram construídas de forma que possa motivar o aluno e instiga-lo a pesquisar mais sobre a temática. As informações são desenvolvidas de modo que possa promover a discussão entre o professor e os alunos.

A motivação da nossa pesquisa surgiu ao percebermos que, na maioria das vezes, nosso conhecimento em história das ciências advém dos livros textos que utilizamos em sala de aula, sendo esse material utilizado tanto por aluno quanto por professores, para que ambos acompanhem os conteúdos a serem ministrados. Indo mais além, constatamos que várias situações de uma quase-história podem ser encontradas em livros didáticos utilizados nas escolas de ensino médio e, também, em nível universitário. Portanto, diante das várias possibilidades, apostamos no uso da História e Filosofia das Ciências (HFC) associada ao uso de atividades experimentais como uma possibilidade de ensino para atingir nosso objetivo geral.

Com relação as dificuldades para o desenvolvimento deste trabalho, o levantamento de fontes confiáveis foi uma etapa difícil do estudo. Tivemos que recorrer as fontes originais e traduzi-las para fundamentar nossa pesquisa. Já na revisão da literatura realizamos uma busca através da base de dados eletrônica SciELO com as palavras chaves da pesquisa. Assim pudemos constatar quais artigos convergiam com os objetivos do nosso trabalho e reescrevemos a literatura.

Para trabalhos futuros sugerimos a incorporação de modelos experimentais e simulações, além da nossa pesquisa, na história e filosofia das ciências envolvendo outros cartesianos como: Plank e Bohr, Thomas Edson e Tesla, entre outros. Podendo utilizar materiais virtuais ou manuais para promover o ensino de forma mais eficiente, uma vez que consegue motivar e atrair os alunos, humanizando o conteúdo ensinado e favorecendo uma melhor compreensão dos conceitos científicos.

De maneira geral, estamos bastante satisfeitos com nossa pesquisa, uma vez que ao longo de sua escrita podemos perceber um panorama geral acerca do conteúdo estudado, de seus aspectos históricos, do uso da HFC no ensino e da divulgação de ciência no país. Concluo, portanto, que este trabalho contribuiu de forma significativa para meu enriquecimento pessoal e, sobretudo profissional. Haja vista que a própria construção do material paradidático melhorou minha prática docente. Acreditamos ainda que além de auxiliar na atividade pedagógica, esse material poderá contribuir com a prática de vários outros profissionais.

Então, cabe, por fim, reforçar nosso discurso em defesa da utilização da HFC, bem como a produção e utilização de materiais paradidáticos para que possam ser utilizados em sala de aula. Nossa proposta inicial se deteve apenas a produção do material, mas, desejamos que em pesquisas futuras possamos mostrar os resultados da utilização desse material em sala de aula, como uma forma de avaliar seu impacto para nós professores e para os alunos.

REFERÊNCIAS

- ADAM, C., et TANNERY, P. **Oeuvres de Descarte**. Vol. VI, ré-éd, Librairie Philosophique J. Vrin. Paris, 1996.
- ALBAGLI, S. Divulgação científica : Informação científica para a cidadania ? **Revista ciência e informação**. Brasília. V.25, n.3, p.396-404, set/dez. 1996.
- ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science & Education**, v.95, 2011. p. 518 – 542.
- ASSIS, Alice e TEIXEIRA, Odete P. B. Leitura e física: contribuições de um texto paradidático para o processo de ensino e aprendizagem. In: **Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Curitiba: SBF, 2003.
- BASTOS FILHO, J.B. Qual história e qual filosofia são capazes de melhorar o ensino de Física? In: PEDUZZI, Luiz O. Q., MARTINS André Ferrer P.; HIDALGO, Juliana Mesquita (Org). **Temas de História e Filosofia da Ciência no ensino** – Natal; EDUFRN, (2012).
- BOALBAKI. A.C.F. A divulgação científica e o discurso da necessidade. **Letras, Santa Maria**, v. 24, n. 48, p. 379-396, jan./jun. 2014.
- BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais** – Ensino Médio. Brasília: MEC, 2000.
- BRITO, A. J.; NEVES, L. S.; MARTINS, A. F. P. A História da Ciência e da Matemática na formação de professores. In: NUÑEZ, I.B. E RAMALHO, B.L. (Orgs.). **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática: o novo ensino médio**. Porto Alegre: Sulina, 2004, p. 284-296.
- BUENO, W.C. Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. **Informação & informação**. Londrina, V.15, n. esp, p.1-12, 2010.
- CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 1998.
- CHASSOT, A. Alfabetização Científica: uma possibilidade de inclusão social. In: **Revista Brasileira de Educação**. Número 22. Jan/fev.mar/abr de 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n22/n22a09.pdf> Acessado em maio de 2014.

DESCARTES, R. **El mundo**. Tratado de la luz; edición, introducción, traducción y notas de Salvio Turró – Edición bilingüe. Barcelona. Anthropos; Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, 1989.

DE LA CHAMBRE. **La Lumiere** : A Monseigneur L'Eminentissime Cardinal Mazarim. Chez Iacques D'Allim, ruë Saint Iacques, au coin de le ruë de la Parcheminerie, à l'Image S. Eftienne. Paris, 1662.

DUARTE, M. C. A História da Ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de Ciências. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, 2004, p. 317-331.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C.C. (Org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, p. 3-21.

FERMAT, P. CORRESPONDANCE, p.152-162. Cartas de Fermat a Mersenne, jun. de 1638. **Maxima et Minima**. Analyse pour les réfractions & Synthèse pour les réfraction. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

FERMAT, P. CORRESPONDANCE, p.279. **Cartas de Fermat a De La Chambre**, out. de 1648. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

FERMAT, P. CORRESPONDANCE, p.354 – 359. **Cartas de Fermat a De La Chambre**, agosto de 1657. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

FERMAT, P. CORRESPONDANCE, p.391. **Reflexions ou projet de réponse à la lettre de M. De Fermat qui contient ses objections sur la Dioptrique de M. Descartes, par M. Rohault**. Maio de 1658. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

FERMAT, P. CORRESPONDANCE, p.457. **Cartas de Fermat a De La Chambre**, jan. de 1662. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

FORATO, T.C de M; Pietrocola, M; Martins, R. de A. Historiografia e Natureza da ciência nasala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.28, n 1, 2011. p. 27-59.

GALILI, I. Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science. **Sci & Educ**. 21, 2012. p.1283 – 1316.

GERMANO, M. G.; KULESZA, W. A. Popularização da Ciência: uma revisão conceitual. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v.24, n.1, p.7-25, 2007. Disponível em: <http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/24-1/artpdf/a1.pdf>. Acesso em maio de 2016.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GIL-PÉREZ, D. Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.

IVANISSEVICH, A. A mídia como interprete: como popularizar a ciência com responsabilidade e sem sensacionalismo. In: BOAS, S. V. (org.) **Formação e informação científica: jornalismo para iniciantes e leigos**. São Paulo, Summus, p.13-30, 2005.

KOYRÉ, A. **Considerações sobre Descartes**. Lisboa: Presença, 1992.

LAKATOS, E.M; MARCONI, M.A. **Técnicas de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LÓPEZ, José L. Luján; CERESO, José A. López. Educación CTS en acción: enseñanza secundaria y universidad. In: GARCÍA, Marta I. González; CERESO, José A. López; LÓPEZ, José L. Luján. **Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología**. Madrid: Editorial Tecnos, 1996. p. 225-252.

MARTINS, Lílian Al-Chueyr Pereira. A história da ciência e o ensino da biologia. **Ciência e Ensino**, n.5: 18-21,1998.

MARTINS, R. A. & SILVA, A. P. B. da Maupertuis e o princípio mecânico de ação mínima: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 625-633, 2007.

MARTINS, R. A. A maçã de Newton: história lendas e tolices. In: Silva, C. C.(org.): **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. Ed. Livraria da Física, São Paulo, 2006.

MASON, Stephen F. **História da Ciência: As principais correntes do pensamento científico**. Ed. Globo, Porto Alegre, 1964.

MASSARANI, L. **A divulgação científica no Rio de Janeiro: algumas reflexões sobre a década de 20**. 1998. 177 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) – Instituto

Brasileira de Informação em C & T (IBICT) e Escola de Comunicação/UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

MASSARANI, L.; MOREIRA, I. de C. “A retórica da Ciência: dos artigos originais à divulgação científica”. **Multiciência**, n. 4, 2005. Disponível em: www.unicamp.br/artigos_04.pdf. Acesso em: 05/12/2016.

MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C.; BRITO, F. (Org.). **Ciência e público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Ciência-UFRJ, 2007.

Disponível em: <http://www.casadaciencia.ufrj.br/Publicacoes/terraincognita/ciencia_e_publico/artigos/art01_cienciaeducacao.pdf>. Acesso: 13 jun. 2016.

MATTHEWS, M.R. **Science Teaching** – The role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge, 1994.

McLAUGHLIN, P. O conceito de força de Descartes e sua determinação. In: Saul Fuks. (Org.). **Descartes 400 anos: Um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, p.13-44, 1998.

MOREIRA, I. C. Fermat X Cartesianos: Uma economia na natureza?. In: Saul Fuks. (Org.). **Descartes 400 anos: Um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, p. 145-169, 1998.

_____. Maupertuis (1698-1759) e o Princípio da Mínima Ação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 21, no. 1, Março, 1999.

NARDI, R. e CARVALHO, A.M.P. \Ensino do Conceito de Campo de Força". In: NARDI, R. (Org.). **Pesquisas em Ensino de Física, Escrituras Editora**, 1998, 61

OLIVEIRA, M. M de. **Como fazer projetos, relatórios, monografias dissertações e teses**. Recife, Pe: Edições Bagaço, 2003.

OEUVRES DE FERMAT, CORRESPONDENCE, p.152-162. Cartas de Fermat a Mersenne, jun. de 1638. **Maxima et Minima. Analyse pour les réfractions & Synthèse pour les réfraction**. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

OEUVRES DE FERMAT, CORRESPONDENCE, p.279. **Cartas de Fermat a De La Chambre**, 1648, 1657, 1662 . Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

OEUVRES DE FERMAT, CORRESPONDENCE, p.391. **Reflexions ou projet de réponse à la lettre de M. De Fermat qui contient ses objections sur la Dioptrique de M. Descartes, par M. Rohault.** Maio de 1658. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

PACCA, J. L. A. Entendimento de conceitos e capacidade de pensamento formal. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 23-28, 1984.

PARANÁ/ SEED. Diretrizes Curriculares para a Educação Básica: Ciências. Curitiba, SEED, 2008.

PATY, M. Mathesis universalis e inteligibilidade em Descartes. Trad. em português por Maria Aparecida Corrêa-Paty, **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** (Campinas), Série 3, vol. 8, 1998 (nº1, jan.-jun.), 9-57.

_____. Une métaphysique du mouvement au temps de d'Alembert. La théorie physique du monde du Chevalier François de Vivens. In : KÖLVING, ULLA ET PASSERON, Irène (éds.). **Science, musiques, lumieres.** Mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet, Centre International d'Etude du XVIII è siècle, Ferney-Voltaire (F), p. 59-81, 2002.

PEDDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. cap. 7, p. 151-170.

RAMOS, J.P.S. **Demonstração do movimento da luz no ensaio de óptica de Descartes.** *scientiae studia*, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 421-50, 2010.

RIBEIRO, R. J. O mestrado profissional na política atual da Capes. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, v. 2, n. 4, p. 8-15, 2005.

RIBEIRO, Renata A. & KAWAMURA, Maria R. D. Divulgação científica e ensino de física: intenções, funções e vertentes. In: **Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.** Londrina, PR: SBF, 2006.

ROCHA, M. B. Textos de divulgação científica na sala de aula: a visão do professor de ciências. **Revista Augustus**, nº 29, v. 14, 2010. p. 24-34

RONAN, C. A. **História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge**, vol. 3: da Renascença à revolução científica. Ed. Zahar, Rio de Janeiro, 2001.

SABRA, A. I. Theories of light from Descartes to Newton. London: **Cambridge University Press**, 1981. <http://books.google.com.br/books?id=nB84AAAAIAAJ&hl=pt-BR>; Acessado em 28/10/2017.

SALÉM, S. & KAWAMURA, M.R.D. O texto de divulgação e o texto didático: conhecimentos diferentes? In: **Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física – EPEF**. Águas de Lindóia, SP. (1996)

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**. v.12 n.36 Rio de Janeiro set./dez. 2007.

SILVA, C. C. & MARTINS, R. de A.: A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação** 9(1), 53-65. 2003.

SILVA, H. C. O que é divulgação científica? **Ciência & Ensino**, nº 1, v. 1, 2006. p. 53-59.

SNOW, C. P. **As duas culturas e uma segunda leitura**: uma versão ampliada das duas culturas e a revolução científica. Trad. de Geraldo Gerson de Souza e Renato de Azevedo Rezende Neto. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

SOLBES, J., TRAVER, M. J. La utilizacion de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. **Enseñanza de las ciencias**, 14 (1), p. 103 – 112, 1999.

TAN, A. **Fermat's Principle**. Physics Education, vol. 20, p. 103, 1985.

VANNUCCHI, A. I. **História e Filosofia da Ciência**: da teoria para a sala de aula. 1996. 131f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – modalidade Física) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VILLANI, A. & BAROLLI, E. Patamares Subjetivos de Aprendizagem? **Trabalho submetido à XXII Reunião Annual da ANPED**. (1999).

WHITAKER, M. A. B. **History and quasi-history in physics education**. Part I, Physics education, vol. 14, p. 108 – 112, 1979.

ZANETIC, João. Física e cultura. **Ciência e Cultura**. vol. 57, nº 3, 2005.

ANEXOS

ANEXO I
(CARTILHA PARA DIVULGAÇÃO)

LUIZ CARLOS CARNEIRO GENUINO

MARCOS ANTÔNIO BARROS

DIOPTRIQUE



X



NATUREZA DOS FENÔMENOS LUMINOSOS
OPONENTES EM FERMAT & DESCARTES:
Estudo histórico divulgado em cartilha

Campina Grande-PB
2018

Dioptrique

Luiz Carlos Carneiro Genuino

Marcos Antônio Barros

René Descartes (1596-1650), importante filósofo, físico e matemático francês teve grande destaque por seus trabalhos revolucionários na filosofia, mas destacou-se também por seus trabalhos matemáticos onde sugeriu uma junção entre a álgebra e a geometria, que acabou dando origem a geometria analítica e ao sistema de coordenadas. Além disso, teve importante papel na revolução científica.

Um dos mais famosos trabalhos desenvolvidos por Descartes foi o Dioptrique. Esse ensaio é um tratado de óptica, compreendendo principalmente uma teoria da refração da luz que estabelece, pela primeira vez, a lei do seno, além de conter um estudo sobre novos instrumentos ópticos.

Após a leitura do “Dioptrique”, Fermat (1601-1665) escreve uma carta para Descartes (em setembro de 1637), na qual contesta suas suposições a respeito dos fenômenos da reflexão e refração. Fermat argumentava sobre a decomposição da *determinação* em componentes normal e paralela, pois para ele, poderiam existir em infinitas decomposições. Além disso, afirmava que não havia provas que a componente paralela à superfície se conserva. O teórico ainda chamou a atenção para a confusão na descrição da velocidade, pois não havia clareza em distinguir o que seria “pressão” e “velocidade do movimento”.



Qual a ideia de Descartes sobre a luz?
Por que vemos os objetos?

*Para Descartes, a luz era uma
pressão transmitida através de um
meio*

- Descartes acreditava que a luz era uma **ação** transmitida dos nossos olhos para o objeto.
- Ele não acreditava que fosse possível um ambiente sem nenhuma matéria (vácuo). Para ele, se a luz se propagava, é porque havia um meio que permitia essa propagação.
- Ele admite que os raios que emanam de nossos olhos na direção dos objetos permitem que vejamos os objetos que emanam luz ou que estão sendo iluminados.

Descartes admitia a luz como algo material, algo que se pode tocar e sentir.



Descartes utiliza algumas analogias interessantes para reforçar sua teoria. Dentre essas analogias destacamos uma de suas famosas demonstrações: o exemplo do cego com a bengala.

Para Descartes, o cego pode perceber todo o ambiente em sua volta por meio do toque de sua bengala nos vários lugares do espaço. Isso só é possível porque todo ambiente é composto por um meio material que permite o toque da bengala e a consequente localização do indivíduo.

“É uma identidade de estrutura, que ocasiona um parentesco entre o movimento dos corpos e a transmissão da luz por intermédio de um éter material”



- Vamos exercitar nosso senso investigativo e criativo!
- Nossa missão é compreender como ocorre a reflexão e a refração.

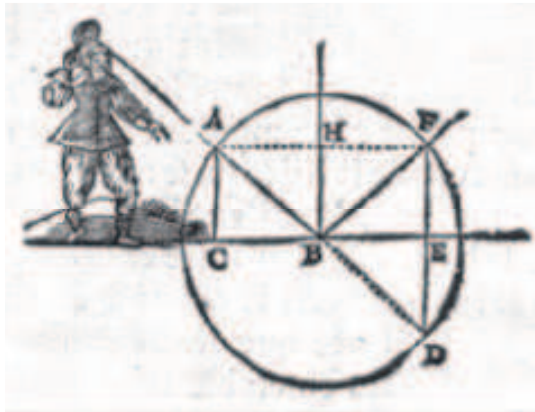
Um exercício mental:

Suponha que você arremessa uma bola de tênis sobre uma superfície dura, como o chão, por exemplo, e posteriormente joga essa mesma bola em uma superfície maleável, como dentro de uma piscina cheia de água. O que acontece?

Embora pareça um exercício simples e sem finalidade, essa atividade pode trazer importantes considerações:

- Imagine a trajetória da bolinha. O que acontece com ela em cada uma das situações?
- O que muda do primeiro para o segundo exemplo?
- A trajetória da luz pode ser interpretada de maneira similar. Que conclusões você consegue tirar de cada uma dessas situações?

Figura 1

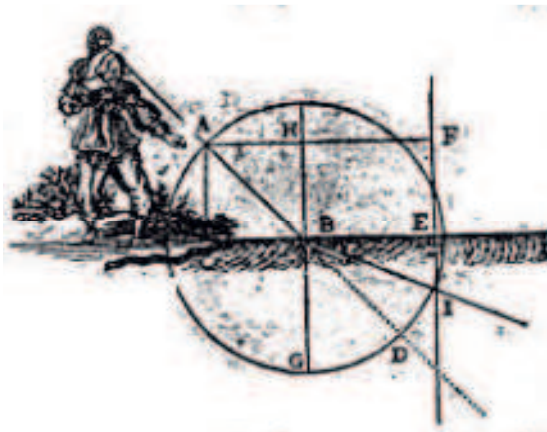


- > De acordo com a figura 1, a bolinha segue a trajetória ABF.
- > Esse é um exemplo de reflexão.

Nessa primeira figura, a bolinha é jogada contra o chão, ou seja, uma superfície dura. Como se pode imaginar, quando essa bolinha atinge o chão, a velocidade e o impacto faz com que a bolinha seja arremessada em uma trajetória oblíqua.



Figura 2



- > De acordo com a figura, a bolinha segue a trajetória ABI.
- > Esse é um exemplo de refração.

Nessa figura, a bolinha é jogada contra uma superfície maleável, ou seja, ela é arremessada na água de uma piscina. Como se pode imaginar, quando essa bolinha atinge a água ela irá afundar, seguindo uma trajetória diferente daquela seguida antes de se chocar na água.

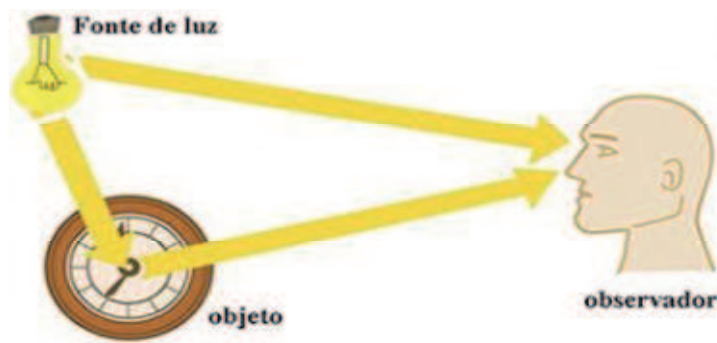


Descartes é realmente genial! Viveu em um período onde não havia equipamentos sofisticados e conseguiu descrever de modo correto todas as ideias acerca da luz que conhecemos atualmente. Além disso, seu trabalho não foi criticado e nem modificado não é mesmo?

Embora Descartes tenha contribuído fortemente para os estudos referentes à luz, seu trabalho sofreu algumas críticas e apresenta inadequações.

Uma importante consideração:

Como se sabe atualmente, os nossos olhos não lançam raios luminosos que se propagam em linha reta até os objetos, mas isso ocorre de modo contrário: Os objetos, ao serem iluminados por qualquer fonte luminosa, emanam raios que chegam aos nossos olhos e nosso cérebro transforma em imagens.



Outro ponto que deve ser destacado são as críticas sofridas por Descartes: Uma das críticas mais fortes às suas ideias foi feita por Fermat.



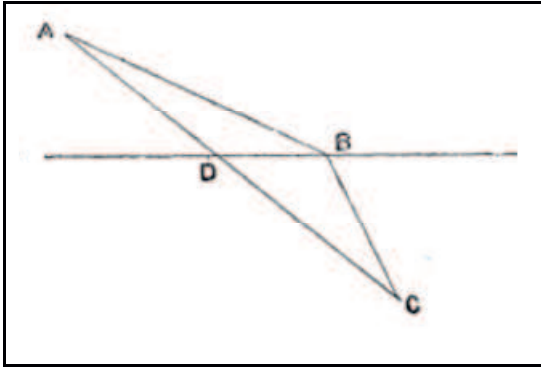
Pierre Fermat era contra a ideia de Descartes sobre a velocidade da luz. Fermat supôs que a luz se propaga com uma velocidade menor em meios mais densos (o que é verdade, mas contrariava as ideias de Descartes).

*Seu pressuposto era a ideia do **tempo mínimo**, ou seja, ele admitia que a trajetória da luz sempre seria aquela em que se levava um menor tempo para ser percorrida, independente do meio no qual se propagava.*

Ao fazer suas contas, descobriu que o caminho de menor tempo era justamente aquele que satisfazia a lei de Snell-Descartes.

Essas ideias de Fermat já haviam sido propostas por Heron de Alexandria. Fermat conseguiu trazer uma explicação para as leis da reflexão e da refração, além de propor e justificar o uso da minimização do tempo gasto para a luz se propagar de um ponto a outro, acreditando na ideia de que a natureza faz seus movimentos pelas vias mais simples ou sempre atua pelo caminho mais curto.

Figura 3



Para estruturar suas ideias, Pierre de Fermat adaptou a estratégia de Héron para o caso da refração da luz, só que, agora, considerando que a luz toma o caminho que leva *um tempo mínimo*.

De acordo com a figura 3: Dados dois pontos A e C e a reta DB, devemos encontrar um ponto na reta DB a qual se conduz as retas CB e BA, sendo que para minimizar o tempo, a luz busca percorrer uma trajetória maior no meio menos denso, no qual tem velocidade maior (AB) e inversamente percorre uma trajetória menor no meio mais denso, onde terá uma velocidade menor (BC). O ponto B encontrado pela construção deste problema será o ponto onde se fará a refração.

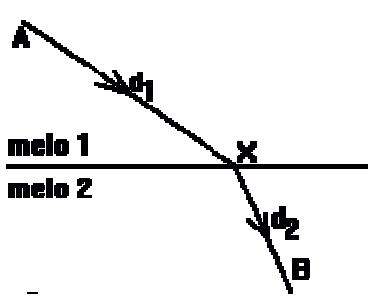
Uma das discordâncias entre Fermat e os cartesianos era referente à velocidade de propagação da luz nos meios “mais ou menos densos ou rarefeitos”. Como mostramos anteriormente, Fermat supôs que a luz se propagava com uma velocidade menor em meios mais densos (o que é verdade, mas que ia de encontro ao que achavam Descartes e posteriormente Newton).



> O princípio de Fermat pode ser equacionado em função do caminho óptico e das correspondentes velocidades nesses meios?

> Ilustremos isso tomando como exemplo a refração (figura 4).

Figura 4



A luz segue o caminho **AXB** não porque este seja o mais curto (nesse caso, é óbvio que não é), mas sim por ser o mais rápido, e isso, como vimos, tem a ver com as velocidades v_1 e v_2 com que a luz se propaga nos dois meios.

Aproveitando a figura 4 acima, como referência, teremos:

$$t_{AB} = t_{AX} + t_{XB} = \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} \rightarrow e, \text{ como } n = \frac{c}{v}, \text{ obtemos:}$$

$$t_{AB} = \frac{d_1 n_1}{c} + \frac{d_2 n_2}{c} \Rightarrow t_{AB} = \frac{d_1 n_1 + d_2 n_2}{c}$$

Essa última expressão nos mostra que o tempo será mínimo se o caminho óptico ($d_1 \cdot n_1 + d_2 \cdot n_2$) também o for, uma vez que c é uma constante (velocidade da luz no vácuo).

A demonstração de que para ir de um ponto a outro, a luz utiliza tempo mínimo (princípio de Fermat) fica, então, condicionada a mostrar que, para ir de um ponto a outro, a luz utiliza o menor caminho óptico possível.

Essa cartilha tem o intuito de informar o leitor sobre algumas questões referentes às concepções da luz defendidas por Descartes.

Nosso intuito não é promover um material completo no que se refere ao seu contexto histórico e didático, mas, apontar algumas questões que certamente servirão de problematização inicial e motivação dos alunos para o estudo da temática supracitada.

Pontos ressaltados no texto como a presença de inadequações e uma valorização exacerbada de alguns autores popularmente intitulados “geniais”, aparece propositalmente no texto para permitir, caso haja interesse, uma discussão de aspectos referentes à História da Ciência bem como aspectos de Natureza das Ciências (NdC).

Nota dos autores

Normalmente as cartilhas usadas para divulgação científica são feitas por ilustradores que preparam um material exclusivo para essa finalidade. Como nosso intuito é focado basicamente no conteúdo, as figuras utilizadas estão disponíveis na internet e podem ser encontradas nos seguintes endereços eletrônicos.

<http://oculos.blog.br/estudante-cria-projeto-de-bengala-eletronica/>

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/luz-visao.htm>

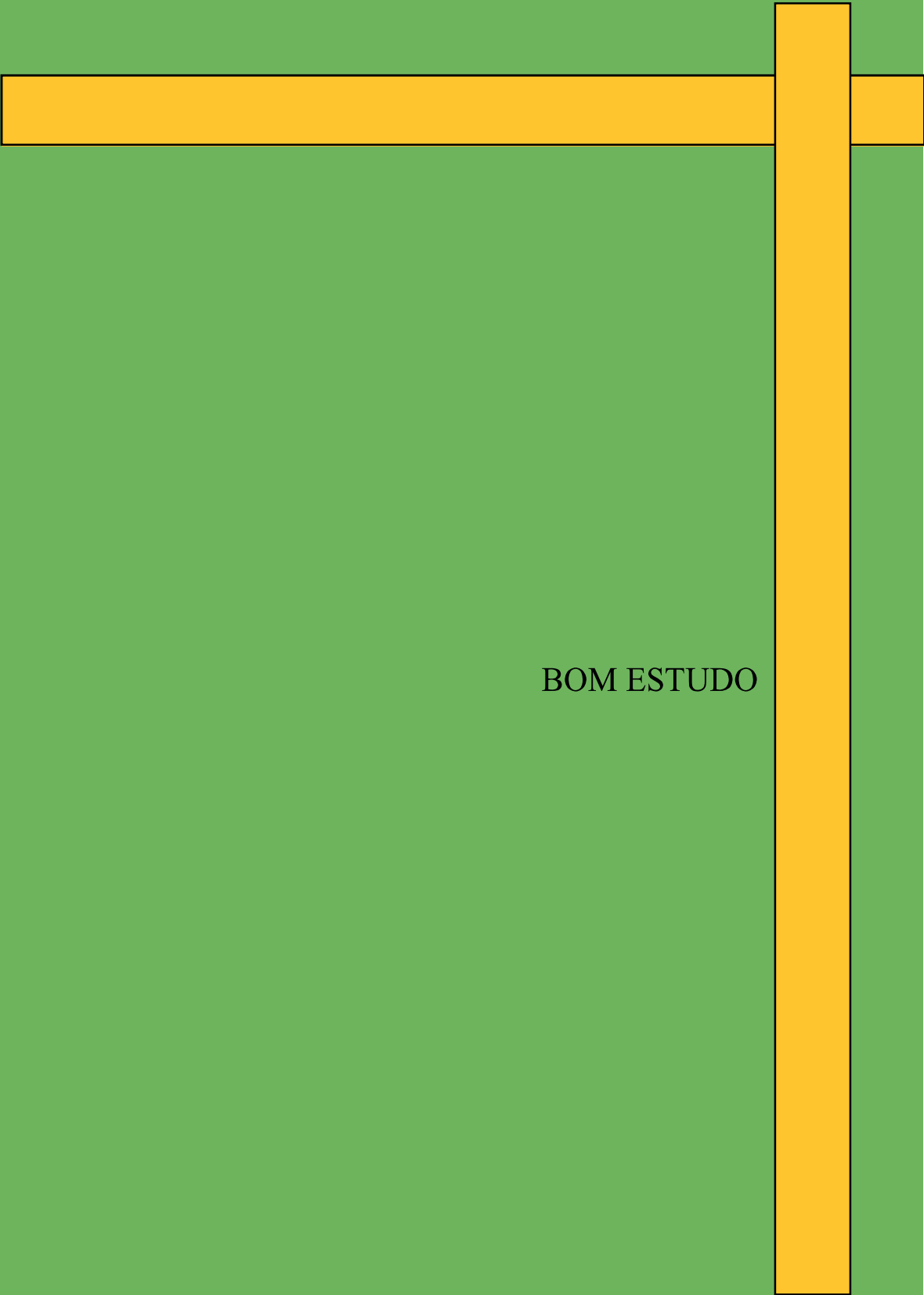
<https://edukavita.blogspot.com.br/2015/07/biografia-de-pierre-de-fermat.html>

<https://cianovocorpo.wordpress.com/2011/01/24/rene-descartes/>

http://entreselos.zip.net/arch2014-01-26_2014-02-01.html

<https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/duvida>

http://www.bibnum.education.fr/mathematiques/geometri_e/les-premiers-livres-de-la-dioptrique-de-descarte



BOM ESTUDO

ANEXO II

(SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL)

O Princípio de Fermat **(e as Leis da Óptica Geométrica)**

Para ilustrar o princípio de Fermat, propomos duas montagens bem simples, no intuito de levar a efeito uma série de simulações — nas quais uma linha de costura representará o trajeto percorrido pela luz — que nos permitirão não só compreender melhor o princípio de Fermat, mas também, a partir deste, demonstrar algumas leis da Óptica Geométrica.

Começamos relembando o próprio enunciado do princípio de Fermat: A luz, para passar de um ponto a outro, leva o menor tempo possível. À primeira vista, é bem verdade, esse enunciado parece vago ou até mesmo vazio de significado. Mas, assim como todos os outros princípios científicos, o princípio de Fermat somente adquire sentido para nós quando podemos percebê-lo em meio a situações concretas. Em parte, porque são os fatos que originam as leis científicas e não o contrário.

O caminho óptico

Assim sendo, vamos lançar mão de um outro conceito da óptica para nos ajudar na percepção do significado do princípio de Fermat: o conceito de caminho óptico da luz, definido como a "extensão do trajeto efetivamente percorrido pela luz em um dado meio multiplicado pelo índice de refração desse meio".

Note que esse conceito se refere à distância percorrida pela luz em um dado meio, enquanto o princípio de Fermat se refere ao tempo gasto pela luz para se propagar. E qual é o conceito físico definido como a relação entre a extensão de um dado trajeto com o tempo gasto para percorrê-lo? A resposta é elementar: é a velocidade.

Na página 32, deste trabalho, vimos a relação entre o tempo mínimo e o caminho óptico da luz. Então, para melhor entender o princípio de Fermat, montamos uma simulação experimental.

Procedimentos da Simulação

Material para montagem prática: uma polia (pequena), linha de costura, dois lápis, um peso (50g de massa), quadro-negro e giz.

Reflexão da luz

Passando para a parte prática, podemos demonstrar as leis da reflexão utilizando a montagem ilustrada abaixo. Partindo de nossas conclusões preliminares, nosso objetivo será encontrar o caminho mais curto possível entre o ponto A (que representa a fonte luminosa, nesta simulação) e o ponto B (que representa o observador), passando por um ponto X (ponto de incidência da luz) localizado sobre o porta-giz MN (que representa a superfície de um espelho plano). Nessa montagem, o quadro negro representa um meio homogêneo e transparente no qual a luz se propaga, e a linha de costura, o trajeto da luz dentro desse meio. Observe a figura 4:

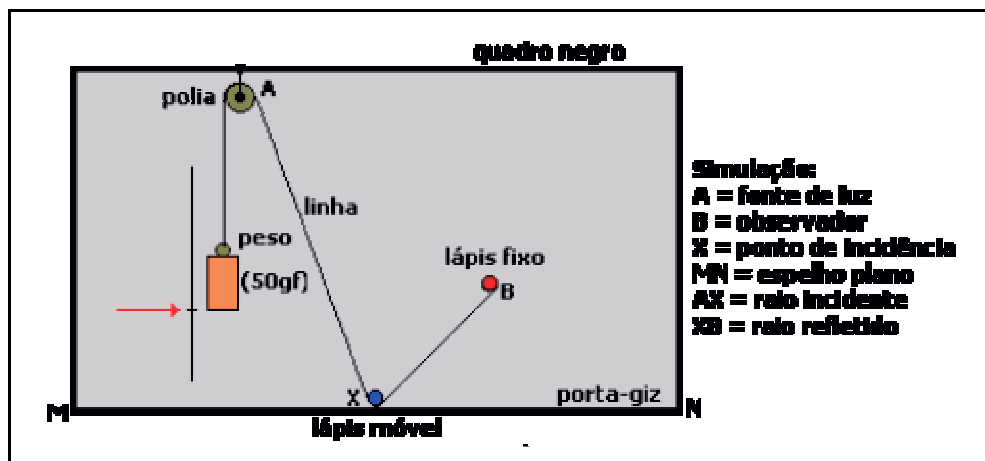


Figura 4: Montagem prática para simular a reflexão da luz

Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_06.asp

Uma polia é fixada na moldura do quadro negro, em A . A linha deve passar pela polia e manter suspenso um peso, em uma das extremidades; a outra extremidade deve ser fixada em B (por meio de um prego pequeno ou mesmo de um lápis, para não danificar o quadro, mas nesse caso alguém terá de ficar segurando o lápis). O lápis móvel X deverá manter a linha sempre encostada no porta-giz MN .

Movendo-se o lápis X na direção MN , o peso desloca-se verticalmente para cima ou para baixo. Uma vez que o comprimento da linha é fixo, o peso alcançará sua posição mais baixa quando no trajeto AXB for utilizado o menor comprimento de linha possível. Para facilitar a determinação da posição mais baixa do peso, pode-se traçar um segmento de reta vertical no quadro negro, de tal modo que o peso se desloque ao longo dele, como ilustramos.

Assim é muito fácil encontrar a posição do lápis móvel X que faça com que o peso encontre sua posição mais baixa em relação à polia. Nessa situação, uma vez que o caminho AXB terá extensão mínima, estaremos justamente simulando a situação que

procurávamos: no equivalente óptico, como a velocidade da luz é a mesma para os trechos AX e BX (mesmo meio de propagação), os tempos para percorrê-los serão mínimos exatamente quando suas extensões forem mínimas.

Encontrada essa posição de X que faz com que o peso fique o mais baixo possível, chegar às leis da reflexão será muito simples. Agora é hora de usar o giz e traçar no quadro negro as linhas AX e BX (uma técnica é esfregar o giz na linha e bater a linha no quadro negro). Feito isso, trace uma linha perpendicular a MN no ponto X . Assim, os trechos AX e BX , bem como a perpendicular a MN em X , estão todos no plano do quadro negro (tomara que essa região do quadro negro de sua sala de aula seja plana!). Essa é a *primeira lei da reflexão*: o raio incidente (representado por AX), a normal à superfície do espelho no ponto de incidência e o raio refletido (BX) pertencem ao mesmo plano.

Vamos agora à segunda lei da reflexão. Tome um ponto qualquer da normal, chamando-o, por exemplo, de P , como na figura 5 (para obter uma construção geométrica de bom tamanho, evite que P fique muito próximo a X). Partindo de P , trace dois segmentos de reta: uma perpendicular a AX , e outra, perpendicular a BX . Medindo esses segmentos, constataremos que o comprimento deles será o mesmo.

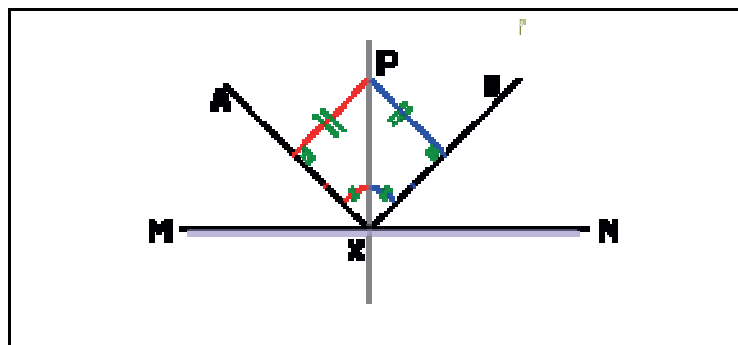


Figura 5: Construção geométrica da segunda lei da reflexão da luz
Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_06.asp

Assim sendo, teremos construído dois triângulos congruentes, pois:

- ambos são triângulos retângulos;
- a hipotenusa é comum aos dois;
- cada um deles tem um cateto cujo comprimento é igual ao de um dos catetos do outro.

Se os dois triângulos são congruentes, então seus ângulos são ordenadamente congruentes. Portanto, os ângulos formados junto ao ponto X são iguais. Essa é a *segunda lei*

da *reflexão*: o ângulo de reflexão obtido é igual ao ângulo de incidência dado. Assumindo o princípio de Fermat, deduzimos as leis da reflexão.

Refração da luz

Na refração, vamos limitar nossa simulação para o seguinte caso: no primeiro meio de propagação (representado pelo quadro negro), o índice de refração será igual a 1 ($n_1 = 1$), e no segundo (a parede da sala de aula), igual a 2 ($n_2 = 2$). Simulações de outros casos também poderão ser preparadas (as diferenças serão pequenas).

Utilizamos o mesmo equipamento do experimento anterior, com ligeira modificação. O ponto fixo B (lápiz ou prego pequeno), agora, deverá ser posicionado abaixo da linha MN , ou seja, na parede abaixo do quadro negro. Veja a figura 6:

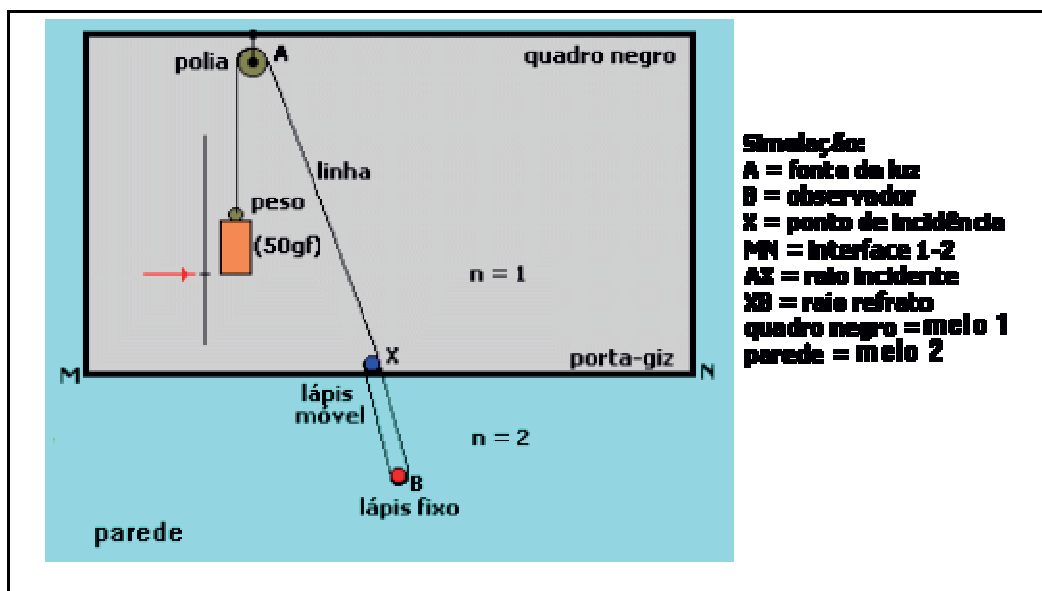


Figura 6: Montagem prática para simular a refração da luz

Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_06.asp

A extremidade livre da linha é agora amarrada no lápis móvel X . A partir daí, passa pelo lápis fixo B , encosta no lápis móvel X e vai para a polia A . Observe que, como o índice de refração do meio abaixo de MN é igual a 2, o caminho óptico nesse meio (representado pelo comprimento total da linha, abaixo do quadro) é o dobro do caminho real (distância de X até B). Nota: se n_2 fosse igual a 3, bastaria amarrar a linha em B , passar por X , voltar a passar por B e retornar tocando X .

Daqui para a frente, basta seguir o mesmo procedimento do experimento anterior: escorregar o lápis móvel ao longo de MN até obter a posição de X , em MN , tal que o peso fique o mais baixo possível em relação à polia (esse procedimento garante que as extensões de

linha requeridas para os percursos AX , XB e BX serão as menores possíveis). Uma vez encontrada essa posição, marque-a no porta-giz (MN).

Feito isso, vamos traçar (no quadro e na parede, seguindo os trechos de linha) os segmentos de reta que representarão o raio incidente (AX) e o raio refratado (BX). Para representar a normal à superfície de separação entre os dois meios de propagação, basta traçar uma perpendicular ao porta-giz (MN) sobre o ponto X . A visualização da primeira lei da refração é imediata: o raio incidente, a normal à superfície de separação no ponto de incidência e o raio refratado pertencem ao mesmo plano.

Passemos para a segunda lei da refração, lembrando uma relação trigonométrica das mais elementares que se fará necessária nesta demonstração: em um triângulo retângulo, o seno de um ângulo é dado pela razão entre o comprimento do cateto oposto a esse ângulo e o comprimento da hipotenusa.

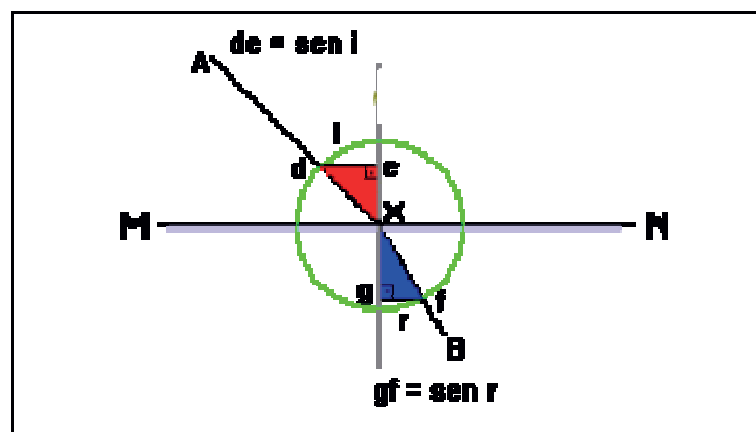


Figura 7: Construção geométrica da segunda lei da refração da luz
 Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_06.asp

Os ângulos que nos interessam, na figura acima, são aqueles formados entre AX e a normal (ângulo de incidência) e entre XB e a normal (ângulo de refração). Com o objetivo de estabelecer uma relação entre eles, traçamos uma circunferência com centro em X , de raio arbitrário (quanto maior for esse raio, mais clara será a construção geométrica, mas cuide para que B fique fora da circunferência). A partir dos pontos em que essa circunferência interceptar AX e XB , traçamos os segmentos DE e GF , perpendiculares à normal.

Pois bem: medindo esses segmentos, constataremos que DE tem o dobro do comprimento de GF (o que é perfeitamente coerente com o fato de n_2 valer o dobro de n_1 , nesta simulação). Assim, podemos escrever: $DE = 2 \times GF$. Desse modo, para estabelecer uma

relação entre o ângulo de incidência DXE e o ângulo de refração GXF , basta lançar mão da relação trigonométrica que mencionamos:

$$\text{sen } DXE = \frac{DE}{DX} \Rightarrow \text{sen } AXE = \frac{2 \cdot GF}{DX} \quad (1)$$

$$\text{sen } GXF = \frac{GF}{XF} \quad (2)$$

Sabemos, ainda, que $DX = XF$, pois ambos representam o raio da circunferência. Assim, chamando de r o raio da circunferência, podemos reescrever as relações 1 e 2 da seguinte maneira:

$$\text{sen } AXE = \frac{2 \cdot GF}{r} \quad (1)$$

$$\text{sen } GXF = \frac{GF}{r} \quad (2)$$

Portanto: $\text{sen } AXE = 2 \times \text{sen } GXF$. Com isso, mostramos experimentalmente que o princípio de Fermat nos conduz à lei de Snell (neste caso, de maneira restrita, para $n_2 = 2 \times n_1$).