

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

## **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.

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!

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.

G341n Genuino, Luiz Carlos Carneiro.  
Natureza dos fenômenos luminosos oponentes em Fermat & Descartes [manuscrito] : Estudo histórico divulgado em cartilha / Luiz Carlos Carneiro Genuino. - 2018.  
14 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. Princípio da Luz. 3. História das Ciências. 4. Filosofia das Ciências.

21. ed. CDD 510.1

# 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.

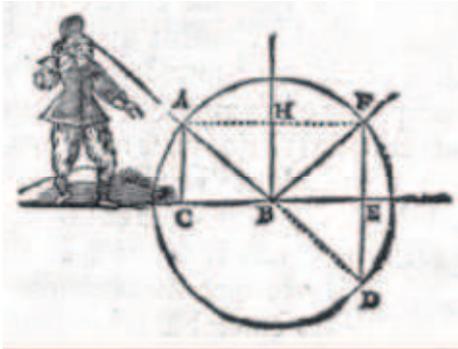
### *Um exercício mental:*

*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



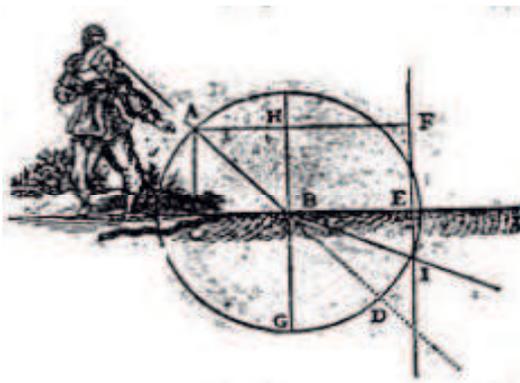
De acordo com a figura 1, a bolinha segue a trajetória ABF.

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.

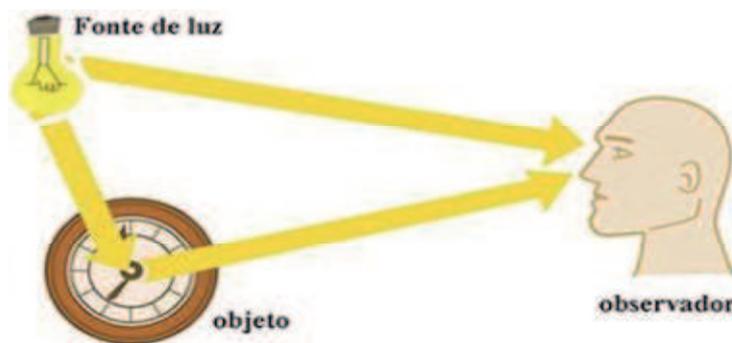


Descartes é realmente genial! Viveu em um período onde não havia equipamentos sofisticados e conseguiu descrever de modo correto todas as ideias acerca da luz que conhecemos atualmente. Além disso, seu trabalho não foi criticado e nem modificado não é mesmo?

*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.



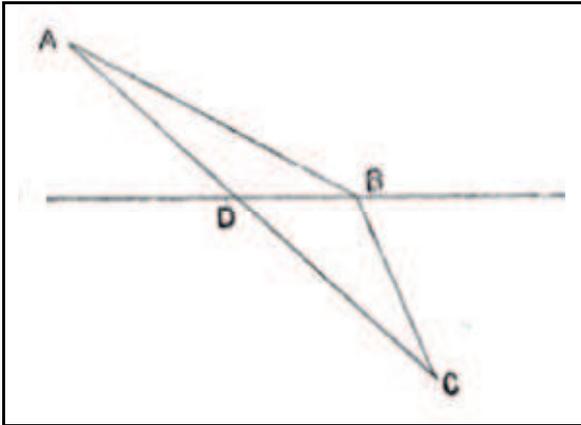
Pierre Fermat era contra a ideia de Descartes sobre a velocidade da luz. Fermat supôs que a luz se propaga com uma velocidade menor em meios mais densos (o que é verdade, mas contrariava as ideias de Descartes).

*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.

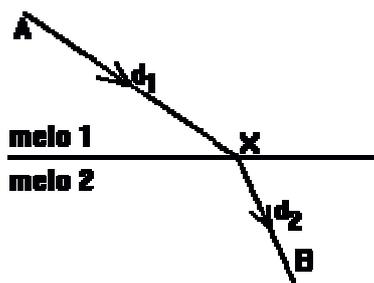
*Uma das discordâncias entre Fermat e os cartesianos era referente à velocidade de propagação da luz nos meios “mais ou menos densos ou rarefeitos”. Como mostramos anteriormente, Fermat supôs que a luz se propagava com uma velocidade menor em meios mais densos (o que é verdade, mas que ia de encontro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

$$t_{AB} = t_{AX} + t_{XB} = \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} \rightarrow \text{e, como } n = \frac{c}{v}, \text{ obtemos:}$$
$$t_{AB} = \frac{d_1 n_1}{c} + \frac{d_2 n_2}{c} \Rightarrow t_{AB} = \frac{d_1 n_1 + d_2 n_2}{c}$$

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

## REFERÊNCIAS

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 Mazarin. Chez Jacques D'Allim, rue Saint Jacques, au coin de la rue de la Parcheminerie, à l'Image S. Etienne. Paris, 1662.

FERMAT, P. CORRESPONDANCE, p.152-162. Cartas de Fermat a Mersenne, jun. de 1638. **Maxima et Minima**. Analyse pour les réfractons & 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.

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.

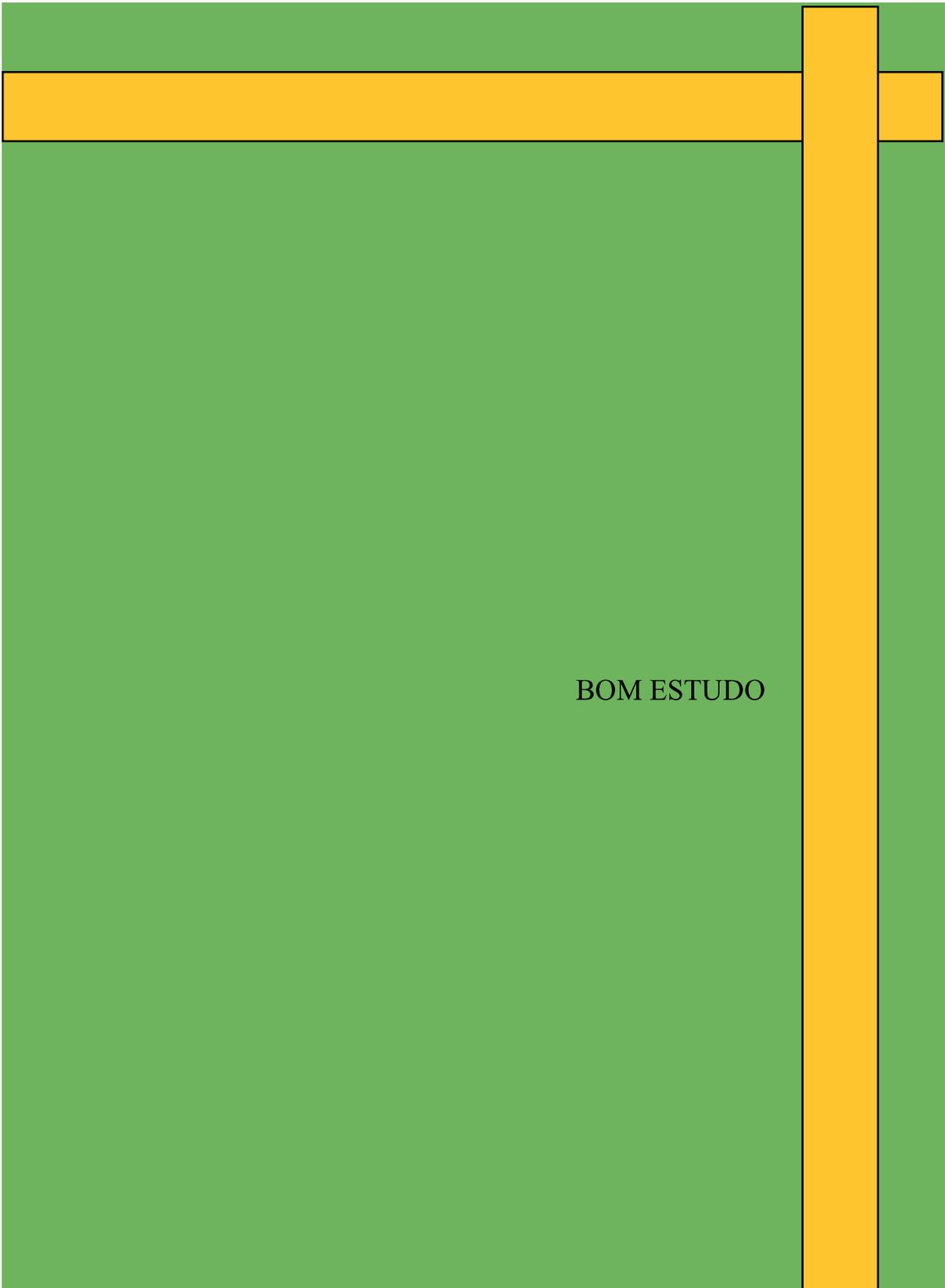
MOREIRA, I. C. Fermat X Cartesianos: Uma economia na natureza?. In: Saul Fuks. (Org.). **Descartes 400 anos: Um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, p. 145-169, 1998.

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

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.

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.

SABRA, A. I. Theories of light from Descartes to Newton. London: **Cambridge University Press**, 1981. <http://books.google.com.br/books?id=nB84AAAIAAJ&hl=pt-BR>; Acessado em 28/10/2017.



BOM ESTUDO