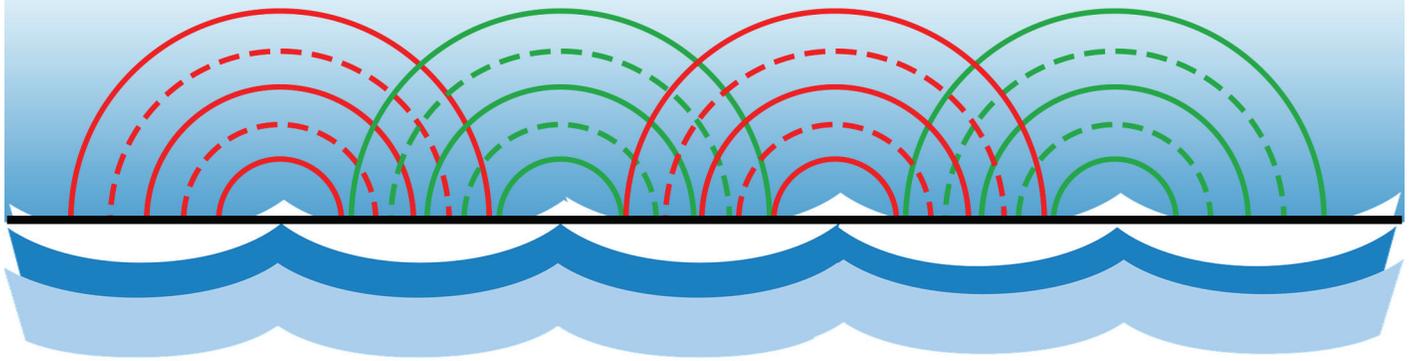


Visualizando a difração e interferência de ondas através do programa *Google Earth*: Discutindo história da ciência e a natureza da luz



.....
Wagner Tadeu Jardim

IFSUDESTEMG, Juiz de Fora, MG,
Brasil

E-mail: wagner.jardim@ifsudestemg.edu.br
.....

Introdução

Muitos pesquisadores defendem a importância de se incluir a História e Filosofia da Ciência (HFC) nos currículos de ensino básico. O objetivo não é incluir tópicos de HFC ou criar uma disciplina à parte, mas trazer elementos significativos desse campo de conhecimento ao ensino, possibilitando trabalhar aspectos relevantes por detrás dos processos de construção do saber científico, trazendo a Natureza da Ciência para a sala de aula [1].

Para contribuir de maneira efetiva para tal propósito, construímos a estratégia de ensino que será apresentada neste artigo. Tal estratégia foi

Pesquisadores defendem a inclusão de tópicos de História e Filosofia da Ciência para trabalhar aspectos relevantes por detrás dos processos de construção do saber científico

aplicada em quatro turmas do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública federal brasileira. Buscamos discutir um tema que sempre instigou a curiosidade humana, a natureza da luz: “onda ou partícula?” nos valendo de um aporte histórico - teorias ópticas de Newton e Huygens e seus desdobramentos - que nos permitisse introduzir em sala de aula, qualitativamente, os conceitos de difração

e interferência de ondas. Todavia, a discussão histórica apresentou algumas fragilidades no que tange à associação feita pelos alunos sobre os modelos corpusculares e ondulatórios aos fenômenos ópticos destacados. Uma questão atribuída a essa dificuldade, e que foi levantada pelos próprios alunos, é que muitas vezes os conceitos trabalhados na disciplina de física se apresentam de forma muito abstrata, o que dificulta sua compreensão. Esse levantamento relativo às dificuldades de abstração nos levou a

reformulação da proposta e a utilização de recursos de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) como suporte ao processo. A seguinte descrição se desenvolveu durante o

estudo do tema *ondulatório*, após o estudo acerca de conceitos básicos da eletricidade e eletromagnetismo (Tabela 1).

Principais pontos sobre natureza da luz no Século XVII explorados em sala de aula

Ao iniciarmos a discussão, questionamos os alunos acerca de “o que é a luz?”. Não tendo os alunos conseguido

Apresentamos uma proposta de ensino acerca da natureza da luz, a partir da História e Filosofia da Ciência, discutindo as concepções vibracionais e corpusculares atribuídas à luz do século XVII ao início do XIX. Como suporte aos conceitos relacionados à Ondulatória, utilizamos o Software *Google Earth*, dentre outros recursos. A estratégia adotada, além de despertar o interesse nos alunos, possibilitou visualizar fenômenos como a difração e interferência de ondas, o que facilitou avançar a discussão até a concepção de luz que se firma no século XIX.

Tabela 1. Sequência dos temas de ondulatória trabalhados nas turmas do 3º ano do EM.

Número de aulas (50 min cada)	Conteúdo estudado
2 aulas	• Oscilações e tipos de ondas
3 aulas	• Componentes básicos de uma onda
2 aulas	• Reflexão e refração de ondas
4 aulas	• Presente proposta (difração e interferência de ondas, natureza da luz e das ondas)
3 aulas	• Polarização de ondas, ressonância e fenômenos acústicos
3 aulas	• Fundamentos da relatividade especial e o éter luminífero
3 aulas	• Efeito fotoelétrico e dualidade onda-partícula

formular uma resposta satisfatória acerca da questão levantada, apresentamos a descrição corpuscular do inglês Isaac Newton (1642-1727) e vibracional do Holandês Christiaan Huygens (1629-1695) para a luz na segunda metade do Século XVII, destacando dentre os distintos modelos, suas limitações, poder explicativo e aceitação de cada um [2-4]. Apesar de se tornarem ícones do embate

vibração vs. corpúsculo, buscamos ressaltar que a disputa das teorias de Huygens e Newton não ocorreu de forma tão direta e simples como geralmente é referenciado, nem mesmo contou com apenas esses dois personagens. Além de não terem tanto contato,

seja pessoalmente ou por correspondência, a divulgação de suas obras se deu de maneira diferente e mesmo a forma de abordagem dos fenômenos ópticos foi bastante distinta, “de um lado, Huygens investiu em uma argumentação balizada na geometria e no fenômeno da dupla refração. Do outro, Newton enalteceu o papel dos experimentos e das observações” [4]. A destacar, os estudos desses dois não se atinham aos mesmos objetivos, tendo, por exemplo, Huygens destinado atenção especial aos fenômenos de reflexão, refração e dupla refração, enquanto Newton se dispôs a discutir uma ampla gama de fenômenos. Além disso, ambos os cientistas não destinaram esforços em detalhar de forma aprofundada qual seria a natureza da luz, “... a própria natureza da luz foi assunto controverso e obscuro tanto no *Tratado* [de Huygens] como no *Óptica* [de Newton]. A nenhum dos dois textos pode ser atribuída uma defesa coerente da concepção ondulatória e corpuscular da luz” [4].

Em seu tratado, Huygens atribuiu natureza vibracional¹ para a luz, conseguindo explicar alguns fenômenos relacionados a ela. No entanto, o próprio autor admitiu que não despendeu devida atenção a essa obra, a qual pretendia traduzir para o latim enquanto lhe destinaria maior atenção. “Huygens concebia a luz na forma de uma perturbação mecânica que se propagava através de forças de contato entre corpúsculos” [2]. Devemos nos atentar, no entanto, que sua descrição vibracional não pode ser considerada o que estudamos hoje como teoria ondulatória, o que muitas vezes é feito de forma equivocada. Buscamos destacar junto aos nos-

so alunos do Ensino Médio que o holandês não se utilizou da maioria das características básicas que já havíamos estudado acerca das ondas, não mencionando, por exemplo, frequência de vibração, amplitude, comprimento de onda e período. Nessa linha, buscamos ainda destacar que a defesa de uma concepção vibracional (ondulatória) da luz foi realizada por estudiosos contemporâneos e posteriores a

Huygens e que, em sua maioria, não se apoiaram muito em suas ideias ou apenas citaram-no brevemente, não lhe concedendo posição de destaque em meio a outros trabalhos [4].

O modelo de Newton inferia um tratamento corpuscular para a luz que, além de explicar uma vasta gama de fenômenos observados, ganha aceitação ainda maior por conta do desenvolvimento da química. Todavia, da mesma maneira que Huygens, Isaac Newton não discute em detalhes a natureza da luz, apesar de sua teoria indicar² que ele entendia a luz como sendo composta por partículas materiais que se propagavam no espaço e estariam sujeitos a princípios mecânicos, como forças e colisões. Além disso, a luz seria composta de diversos corpúsculos de luz, e cada qual seria responsável por uma cor. Esses corpúsculos poderiam vir todos de uma mesma cor ou em combinações, assim, a luz verde poderia ser formada por diversos corpúsculos verdes ou pela combinação de amarelos e azuis. Nessa lógica, Newton consegue explicar, por exemplo, a dispersão da luz por prismas. Ao atravessar de um meio para outro, esses corpúsculos estariam submetidos a

forças diferentes e, dessa maneira, os corpúsculos sofreriam desvios diferentes e se separariam. Todavia, “a falta de uma lei universal e satisfatória de força de curto alcance e as dificuldades para explicar os vários fenômenos ópticos de forma unificada fizeram com que a teoria corpuscular, nesse período (Século XIX), passasse a ser fortemente questionada” [3].

Após apresentar o panorama em que se encontravam as duas teorias, enfatizamos que nosso objetivo não seria a de optar por Newton ou Huygens, mesmo

porque os seguidores da tradição corpuscular e vibracional/ondulatória modificaram conceitos e o que se desenvolve em seguida não é uma mera propagação das ideias originais. O intuito foi o de destacar as divergências na ciência e a não linearidade da mesma. Dessa maneira, levantamos que para pensarmos por nós mesmos, discutiríamos o efeito de difração, fenômeno este que não foi descrito por Huygens em seu *Tratado* e que Newton descreveu no seu Livro III [*Optica*], mas

... exceto as especulativas “Questões”, as observações sobre a difração não seguiram passos indutivos simples [...] e Newton sequer apresentou proposições, provavelmente devido a seu estudo tardio do fenômeno... [4].

Visualizando a difração de ondas através do programa Google Earth

Para avançar no embate proposto, ressaltamos que discutiríamos alguns fenômenos ondulatórios e nós mesmos iríamos avaliar qual seria a definição mais razoável para a luz. Todavia, os alunos haviam manifestado anteriormente certa insatisfação quanto à abstração necessária para o estudo de alguns conceitos. Segundo os estudantes, mesmo que se possa imaginar o que ocorre, a visualização efetiva contribui muito para o entendimento dos fenômenos. Tendo em vista essa problemática levantada pelos alunos, buscamos ferramentas que pudessem nos dar suporte para amenizá-la. Encontramos na utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação [6], um caminho que pudesse nos auxiliar a desenvolver a proposta em acordo com a necessidade externada pelos estudantes.

Para discutir a difração de ondas, utilizamos o programa *Google Earth*,³ exibido através de projeção por *data show*, que nos permitiu buscar locais na Terra onde podemos visualizar tal fenômeno ocorrendo com ondas na água. A difração de uma onda é a capacidade que ela tem de contornar um

obstáculo. Podemos perceber esse fenômeno em ondas sonoras quando alguém fala conosco estando em outro cômodo de nossas casas. Nessa situação, se existe uma passagem (porta aberta, por exemplo), mesmo que não estejamos no campo visual de quem fala, conseguimos ouvir,

Em seu tratado, Huygens atribuiu natureza vibracional para a luz, conseguindo explicar alguns fenômenos relacionados a ela. Devemos nos atentar, no entanto, que sua descrição vibracional não pode ser considerada o que estudamos hoje como teoria ondulatória, o que muitas vezes é feito de forma equivocada

O modelo de Newton inferia um tratamento corpuscular para a luz. Todavia, da mesma maneira que Huygens, ele também não discute em detalhes a natureza da luz, apesar de sua teoria indicar que ele entendia a luz como sendo composta por partículas materiais

ou seja, perceber razoavelmente bem as ondas sonoras emitidas pela outra pessoa. Muitos alunos que já haviam escutado algo sobre a luz ser uma onda se manifestaram por não conseguirem exemplificar algum caso em que a difração ocorresse para a luz, ficando, neste momento, em dúvida sobre qual seria o desfecho do embate histórico inicial. Se o que vemos é luz refletida e se a luz fosse uma onda, deveríamos também enxergar a pessoa que nos fala, e não apenas ouvi-la...

Apresentamos então as Figs. 1 e 2 [5], que serviram como primeira ilustração para o efeito. O programa permite que aproximemos a imagem de qualquer lugar do planeta [função zoom], além de proporcionar buscas de localização em diversos períodos de tempo [ícone “mostrar imagens históricas”].

Os alunos se mostraram interessados e foram convidados a conduzir o programa,⁴ buscando pelo globo, outros locais onde pudéssemos visualizar a difração das ondas. Dentre as buscas realizadas pelos alunos, apresentamos alguns exemplos de locais identificados por eles, visualizados em sala e registrados para o presente trabalho (Figs. 3, 4,5 e 6).

Após explorarmos o conceito de difração, analisamos as circunstâncias em que o comprimento de onda (λ) em relação à largura do obstáculo (L) nos fornecia a observação do fenômeno. Para isso, utilizamos uma simulação⁵ que permite alterar a frequência da onda produzida (consequentemente⁶ seu λ), bem como a largura das frestas por onde as ondas irão atravessar. Nesse momento da simulação, alguns alunos se manifestaram a favor de um modelo mecânico e corpuscular para a luz, uma vez que, segundo eles, a luz não poderia apresentar o observado. Os alunos conseguiram perceber, no entanto, que se diminuíssemos ou aumentássemos demasiadamente a largura dos obstáculos, a difração cessava. Formalizamos aqui a condição necessária para que ocorra a difração de uma onda. Isto é, para que o fenômeno de difração ocorra, é necessário que o comprimento de onda⁷ (λ) seja da mesma ordem de grandeza do obstáculo a ser contornado. Para o som, essa condição é satisfeita para a maioria dos obstáculos presentes no nosso cotidiano. Podemos observar também, no lado direito da figura, faixas em que as ondas não são visíveis, o que pode ser explicado pelo fato de uma onda estar se sobrepondo à crista da outra, ou seja, o fenômeno de interferência destrutiva.

Simulando o experimento de Young

Para avançar na discussão, falamos sobre Thomas Young (1773-1829) que,

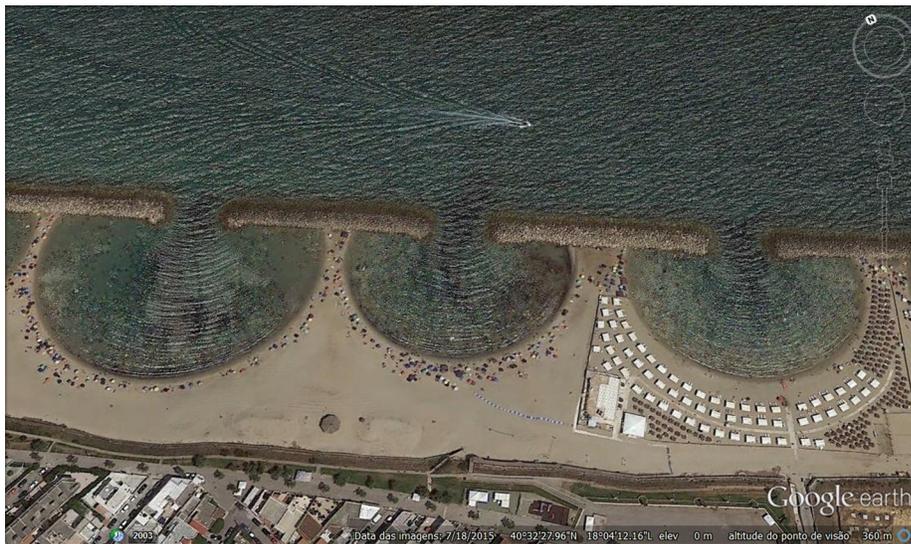


Figura 1. Difração de ondas através de aberturas; Campo di Mare, Itália. Coordenadas: 40°32'26.98"N 18°04'14.47" L.

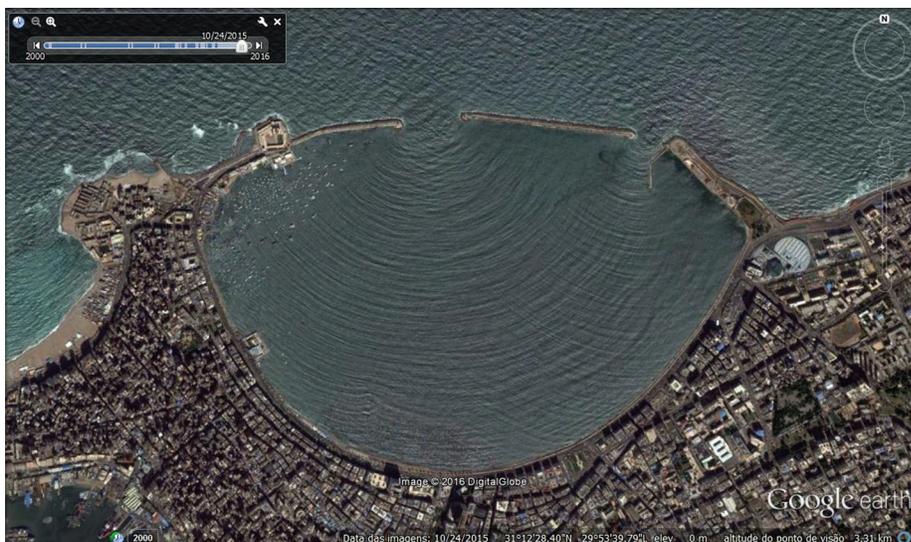


Figura 2. Difração de ondas através de abertura; Alexandria, Egito. Coordenadas: 31°12'25.80" N 29°53'39.94" L.

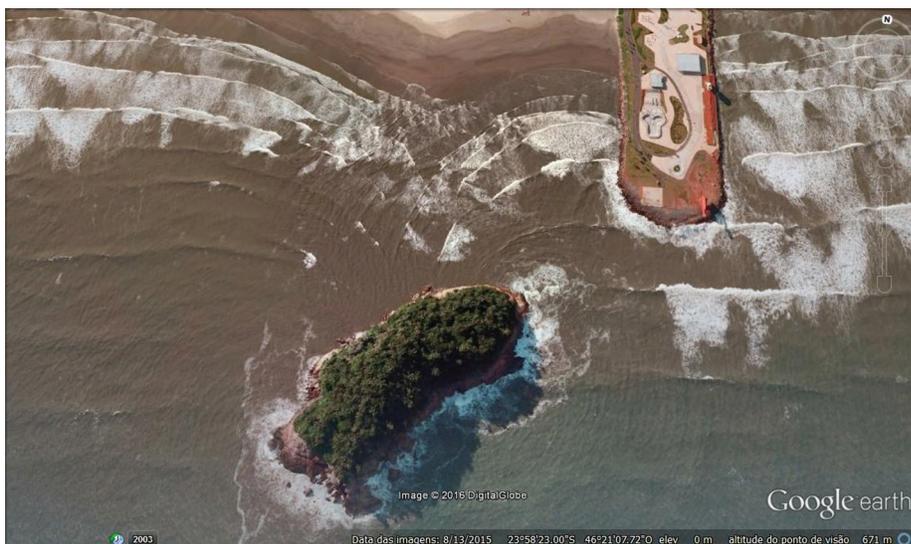


Figura 3. Itararé, São Vicente - SP Brasil. Coordenadas 23°58'24.06"S 46°21'09.02".

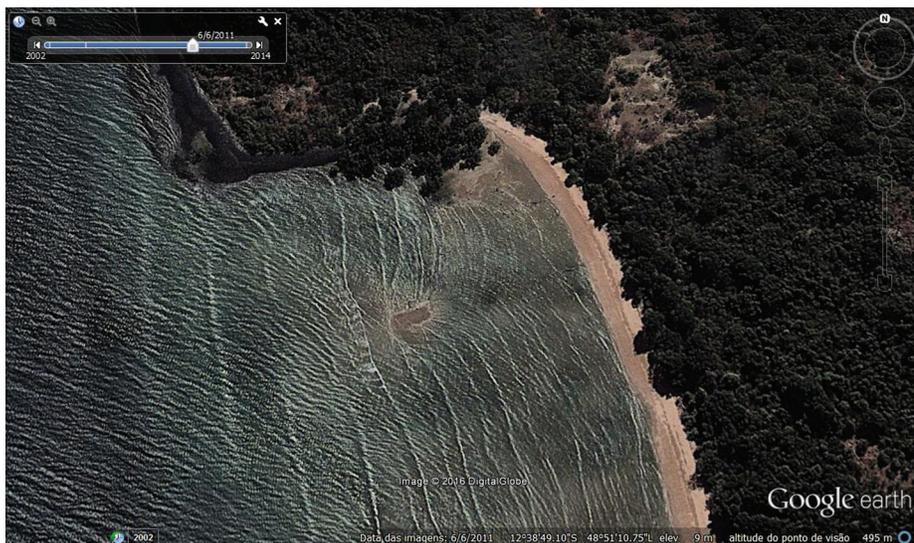


Figura 4. Difração de ondas ao contornar um obstáculo. Madagascar, próximo a Ankazomalemy. Coordenadas: $12^{\circ}38'48.79''$ S $48^{\circ}51'09.69''$ L.

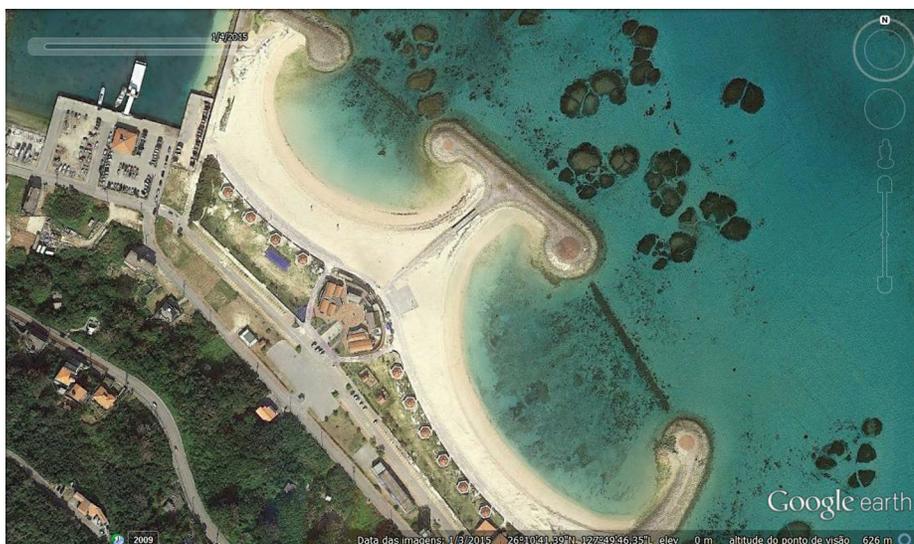


Figura 5. Difração de ondas através de aberturas. Okinawa, Japão. Coordenadas $26^{\circ}10'41.10''$ N $127^{\circ}49'45.28''$ L.

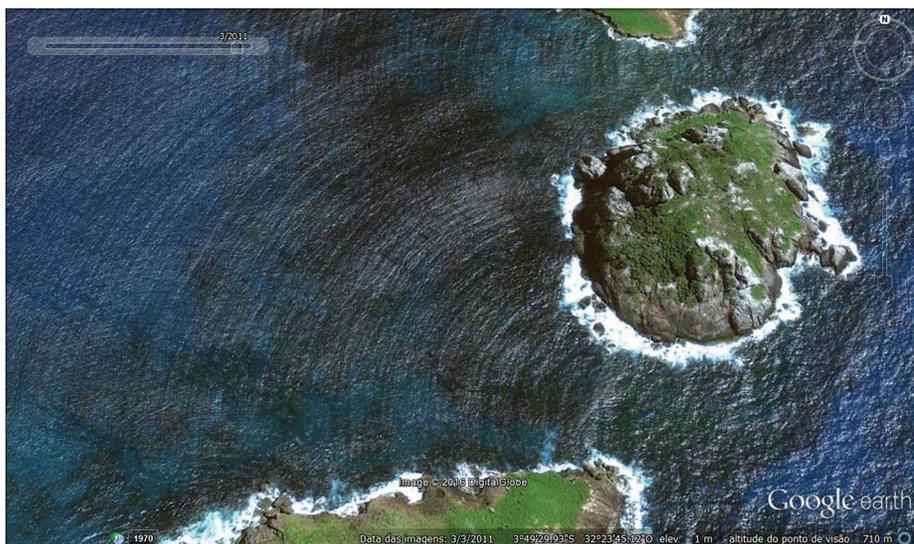


Figura 6. Difração de ondas através de abertura. Próximo a Fernando de Noronha. Coordenadas: $3^{\circ}49'33.23''$ S $32^{\circ}23'40.56''$ O.

em 1800, divulga seus primeiros argumentos a favor de uma concepção ondulatória da luz mencionando o trabalho de Huygens, mas se apoiando muito mais nos estudos realizados por Euler. Nesse contexto onde a teoria corpuscular dos seguidores da tradição Newtoniana era amplamente aceita, defender uma concepção ondulatória não era algo simples. Young, em 1802 publica um trabalho onde defende de maneira mais aberta a natureza da luz como onda. Para isso, ele se estrutura nos trabalhos de Huygens, Euler e mesmo o de Newton. “Enquanto Huygens foi pouco referenciado, Newton ocupou amplo espaço na argumentação de Young. Ele inseriu uma série de trechos do *Óptica* e de outros escritos pelo inglês, sempre com o intuito de fundamentar sua argumentação” [4], possivelmente para não ter suas ideias rejeitadas de prontidão pelos Newtonianos. No intuito de avançar na discussão, ressaltamos que, em meio a esse contexto, Thomas Young, em 1801, realiza um experimento, conhecido como experimento de dupla fenda, que se torna muito famoso (o qual simulamos na sessão anterior), que visava a verificar a difração e interferência da luz.

Para reproduzir a ideia por detrás da montagem de Young, utilizamos um laser de luz verde⁸ ($\lambda = 532$ nm) e apontamos o feixe para a parede (Fig. 8). Posicionando um fio de cabelo (cedido por uma das alunas) em frente à saída do feixe luminoso, verificamos, na parede, o padrão da Fig. 9, que é exatamente o mesmo apresentado na simulação. Ao passar pelo fio de cabelo (que serve como o obstáculo central da Fig. 7), o feixe se divide em dois feixes independentes que se difratam e se interferem. Podemos notar o surgimento de uma linha tracejada, ou franjas de interferência. No traço, a ausência de luz representa a interferência destrutiva, e os pontos luminosos, a interferência construtiva.

Aqui comentamos que não verificamos o fenômeno de difração para a luz visível no dia a dia por conta de seu comprimento de onda que é muito pequeno (aproximadamente entre 400 nm e 750 nm) em relação aos obstáculos a serem contornados, resgatando as conclusões acerca do efeito de difração discutidas anteriormente na simulação. Para os alunos, o fenômeno de interferência em conjunto com o de difração, não poderia ser explicado caso a luz fosse composta, segundo um comentário, de “bolinhas de matéria”, alterando as suposições lançadas ao iniciarem os trabalhos com o simulador.

Conclusão

A proposta tinha o intuito de se uti-

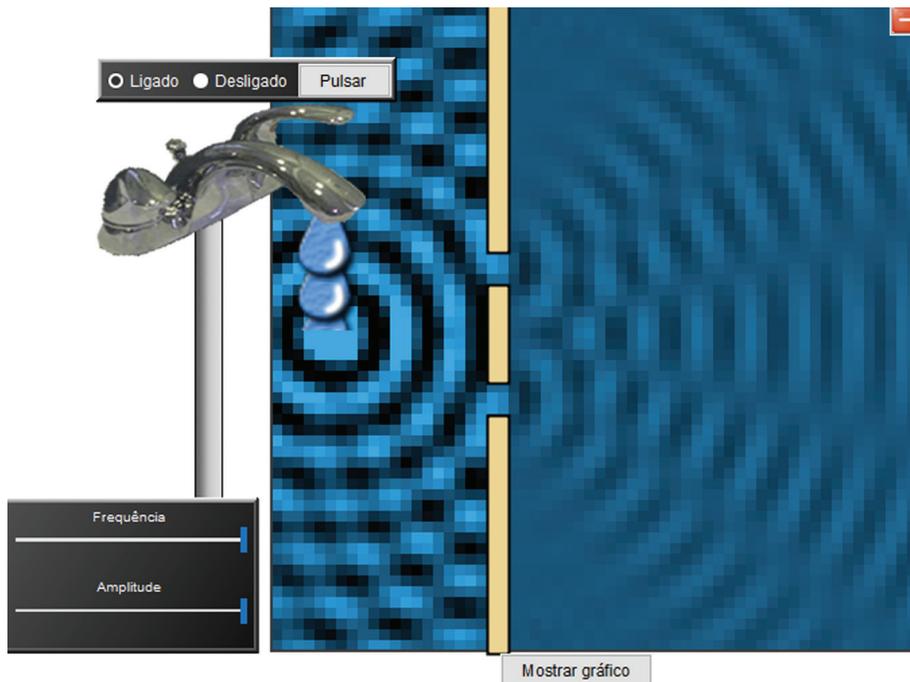


Figura 7. Simulação; difração e interferência de ondas.



Figura 8. Feixe de luz monocromática verde projetado sobre a parede em ambiente de baixa iluminação.

lizar apenas do aporte histórico para se discutir a natureza da luz em sala de aula. No entanto, algumas inserções baseadas nas TICs surgiram com base nas angústias levantadas pelos próprios alunos. Assim, construímos essa sequência de trabalho, utilizando ferramentas simples e que despertaram o interesse dos estudantes. A experiência se mostrou muito enriquecedora para o ambiente escolar, pois, da mesma maneira que diversos cientistas associavam modelos corpusculares e ondulatórios/vibracionais para descrever a luz, o programa *Google Earth* e demais recursos permitiram aos alunos interagirem de maneira efetiva, se tornando parte da reflexão construída e conduzindo as observações realizadas até a conclusão alcançada no momento descrito: a luz tem

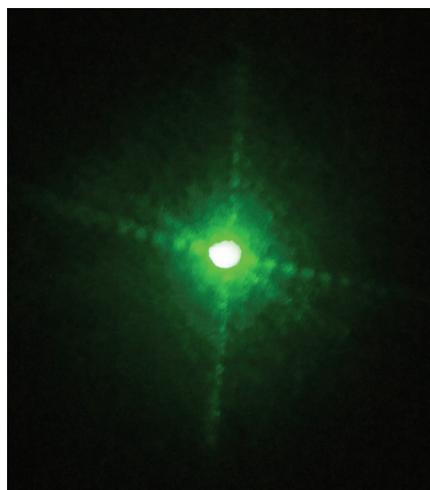


Figura 9. Franjas de Interferência formada por difração e interferência da luz.

comportamento ondulatório.

Vale ressaltar que, ao final do processo, quando os alunos estavam convencidos de que a luz deveria ser descrita como onda, eles externaram de maneira geral em seu discurso e em uma avaliação aplicada, que a descrição ondulatória da luz proposta por Euler e posteriormente por Young naquele contexto não poderiam ser equivalentes à apresentada por Huygens no Século XVII, pois as ideias sofreram modificações e reformulações, sendo apoiadas em alicerces distintos. Acreditamos, assim, ter conseguido trazer para sala de aula elementos de natureza da ciência que supõem a construção do conhecimento científico de maneira não

linear e apenas acumulativa. Finalizamos a discussão, nesse momento, ressaltando que nas aulas de física moderna (Tabela 1) voltaríamos a rediscutir a natureza da luz.

Notas

¹Não devemos confundir com o conceito de onda eletromagnética. No contexto em questão, Huygens fez analogia às ondas sonoras, todavia, para ele, a luz necessitaria de outro meio que não o ar; esse meio seria o éter, que deveria permeiar todo o espaço.

²Utilizamos a palavra “indica”, pois Newton nunca deixou totalmente explícito o que entendia pela luz; todavia, diversos seguidores de sua teoria, tais como John Harris e John Rowning, fizeram essa interpretação. Existem fenômenos nas obras de Newton que não seriam compatíveis com a ideia de luz como matéria.

³O programa pode ser baixado gratuitamente <http://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/> e instalado no computador.

⁴Como o tempo de busca por locais onde o efeito de difração é visível pode ser longo, recomendamos que o professor, de antemão, já tenha à sua disposição coordenadas de alguns locais, tais como as que apresentamos no presente trabalho, para que isso possa poupar tempo de aula.

⁵Essa e outras simulações sobre outros conteúdos científicos podem ser acessadas gratuitamente em <http://phet.colorado.edu/pt>.

⁶A relação básica “velocidade = comprimento de onda \times frequência”, já havia sido trabalhada com os alunos.

⁷As características básicas de uma onda, tais como amplitude, comprimento de onda, velocidade e frequência, bem como o fenômeno de interferência, já haviam sido trabalhadas na aula anterior.

⁸O laser de luz monocromática vermelha permite a mesma visualização. Todavia entre as duas opções, escolhermos a luz verde por conta de o equipamento apresentar maior potência, facilitando a visualização do fenômeno.

Referências

- [1] H.R.A. Silva e A. Guerra, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **32**, 378 (2015).
- [2] F.W.O. Silva, Revista Brasileira de Ensino de Física **29**, 149 (2007).
- [3] C.C. Silva e B.A. Moura, Revista Brasileira de Ensino de Física **30**, 1602 (2008).
- [4] B.A. Moura, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **33**, 111 (2016).
- [5] F. Logiurato, arXiv:1201.0001v1 [physics.ed-ph].
- [6] J.P. Da Ponte, Revista Iberoamericana de Educación **24**, 63 (2000).