

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



O ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA APOIADO POR *MOBILE GAMES*

Gustavo Bordignon Franz

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física da Universidade de Brasília, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Marcello Ferreira

Brasília – DF
Julho/2019

Produto Educacional

Apresentação

O presente produto educacional foi desenvolvido com o intuito de auxiliar professores que estejam interessados em experimentar metodologias alternativas para o ensino de óptica geométrica. Ele se fundamenta na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968), em que os fatores mais impactantes no processo de ensino-aprendizagem são os conhecimentos que previamente integram a estrutura cognitiva do estudante. Os conhecimentos prévios servem como apoio para a aprendizagem de novos assuntos de um determinado tema. Esse processo é chamado por Ausubel de subsunção, em que os conhecimentos prévios relevantes para a aprendizagem são chamados de subsunçores. Ao alcançar a aprendizagem significativa, o estudante não deve mais memorizar os conceitos porque será cobrado em algum teste, tudo deve fazer sentido para ele e possuir significado; o conhecimento deve estar à sua disposição a qualquer momento, podendo ser aplicado em diversas situações diferentes das apresentadas pelo professor no processo de ensino-aprendizagem, em diferentes níveis de complexidade e em diversas abordagens conceituais e metodológicas.

O produto educacional foi desenvolvido como sendo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS, proposta por Moreira (2011), em que é sugerida uma estrutura didática teoricamente orientada à aprendizagem significativa. Primeiramente, deve-se escolher o tema a ser trabalhado, identificando tudo o que é necessário para a sua compreensão. Após a escolha do tema, situações que levem o estudante a externalizar seus conhecimentos prévios devem ser elaboradas, pois esse é o ponto de partida para a discussão de novos tópicos de ensino dentro da perspectiva da teoria da aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1968). Situações-problema iniciais são sugeridas em nível introdutório. Em sequência, o conteúdo a ser ensinado é apresentado e discutido e são apresentadas novas situações-problema, em um nível maior de complexidade, e novas discussões são realizadas, com o objetivo de diferenciar os conceitos introduzidos pela nova informação daqueles que o estudante já conhecia previamente. Concluindo a UEPS, são realizadas atividades em uma perspectiva integradora, objetivando a integração dos novos conhecimentos com

os conhecimentos prévios dos estudantes. A avaliação da UEPS é realizada ao longo do processo de ensino-aprendizagem, mas Moreira (2011) também sugere que sejam realizadas avaliações ao final, de tal maneira que o professor possa registrar tudo o que possa ser considerado indício de aprendizagem significativa.

Um dos objetivos específicos que tentou-se alcançar com esse produto foi verificar a possibilidade de uso de *games* comerciais, não concebidos com fins educacionais, no ensino de física. Para aumentar a possibilidade de replicação e uso do produto, um *game* para plataformas móveis foi selecionado, devido ao grande uso de *smartphones* por jovens no Brasil. Com isso, assegura-se uma probabilidade maior de uso do produto educacional sem a necessidade de alterações que possam comprometer sua eficácia. O *game* escolhido chama-se “*Glass*” e foi desenvolvido por cube3rd¹ para a plataforma *Android*. É um jogo do tipo *puzzle*², em que o jogador tem que desviar a trajetória de raios de luz provenientes de uma fonte utilizando refletores planos, lentes convergentes e divergentes, primas e divisores de raios até um receptor. O jogo possui oitenta e um níveis espalhados em nove mundos diferentes, em que cada mundo possui um fenômeno ou instrumento óptico diferente do anterior. O uso do *game Glass* mostrou-se adequado para as situações de ensino-aprendizagem da UEPS. Quando se utiliza um *game* com destinação comercial, são necessárias adaptações para que possa ser utilizado. Não é jogando o *game* por si só que o estudante aprenderá óptica geométrica; ele deve satisfazer critérios necessários para que seja utilizado no ensino, como representar os fenômenos físicos de maneira correta, por exemplo.

O produto foi aplicado, devidamente validado em duas turmas do 2º ano de ensino médio de uma escola particular de Brasília e possui cinco encontros, cada um com uma média de duas aulas de duração. Cada encontro concentra-se em aspectos e fenômenos integrantes da óptica geométrica. A análise dos dados da aplicação do produto sugere que a maioria dos estudantes que participaram de todos os encontros apresentaram indícios de aprendizagem significativa de tópicos de óptica geométrica.

¹ Site do desenvolvedor disponível em: <<http://cube3rd.blogspot.com/>> Acesso em: 30 Jun. 2019.

² Consiste em um tipo de *game* em que o jogador deve resolver um quebra-cabeças.

Conceitos de Óptica Geométrica

1. A natureza da luz

Antes do início do século XIX, a natureza da luz foi objeto de interesse de diversos cientistas. Desde os gregos, que não faziam distinção entre luz e visão (KNIGHT, 2016), passando pelos experimentos de Newton, que acreditava que a luz era composta de partículas, até os de Hooke e Huygens, que sugeriam que a luz era uma onda, a discussão sobre a natureza da luz servia como referência em todas as descobertas e revoluções no estudo da óptica. Mas, foram as contribuições de Thomas Young e seus experimentos de interferência com a luz que consubstanciaram a teoria ondulatória. No final do século XIX, Maxwell e Hertz provaram, então, que a luz se comportava como uma onda eletromagnética (BORN; WOLF, 1980).

No início do século XX, alguns fenômenos relacionados à natureza da luz ainda não podiam ser explicados. Por exemplo, o efeito fotoelétrico, descoberto em um experimento feito por Hertz, acontecia quando a luz incidia sobre uma superfície metálica e, ocasionalmente, elétrons eram ejetados. Os resultados deste experimento mostravam que a energia cinética dos elétrons ejetados era independente da intensidade da luz. Esse fenômeno foi apenas explicado por Einstein em 1905, utilizando o conceito de quantização desenvolvido por Max Planck. O modelo da quantização assume que a energia de uma onda de luz pode ser interpretada como um conjunto descontínuo de partículas, chamadas de fótons. Por causa do progresso no estudo da natureza da luz no século XX, chega-se à conclusão de que a luz não é *stricto sensu* onda ou partícula. A luz apresenta uma natureza dual, comportando-se como onda em algumas situações e como partícula em outras. O que define o comportamento da luz como onda ou partícula é o tamanho dos obstáculos ou aberturas em que a luz atravessa. Se atravessa por uma abertura com tamanho menor do que 0,1 mm de largura, apresenta comportamento ondulatório. Se a abertura possui um tamanho maior do que 0,1 mm, se comporta como partícula (KNIGHT, 2016). Por exemplo, sabe-se que um comportamento associado às ondas é o fenômeno da difração, o espalhamento da onda em todas as direções ao passar através de uma fenda. Em um primeiro momento, pode-se pensar que a luz, sendo um jato contínuo de partículas, não pode apresentar este comportamento, conforme

ilustra a figura 1. Entretanto, Thomas Young mostrou, em 1801, que a luz poderia sofrer não apenas difração, mas também interferência, não havendo dúvida de que a luz é uma onda. No caso do efeito fotoelétrico, a teoria ondulatória previa que a energia dos elétrons deveria depender da intensidade da luz emitida, porém, não era isso que os resultados experimentais mostravam. Apenas considerando a luz como um jato discreto (descontínuo) de partículas seria possível explicar tais resultados. Então, a luz pode sofrer interferência e efeito fotoelétrico, não se limitando a um modelo, mas comportando-os ao mesmo tempo (KNIGHT, 2016; SERWAY; JEWETT, 2004).

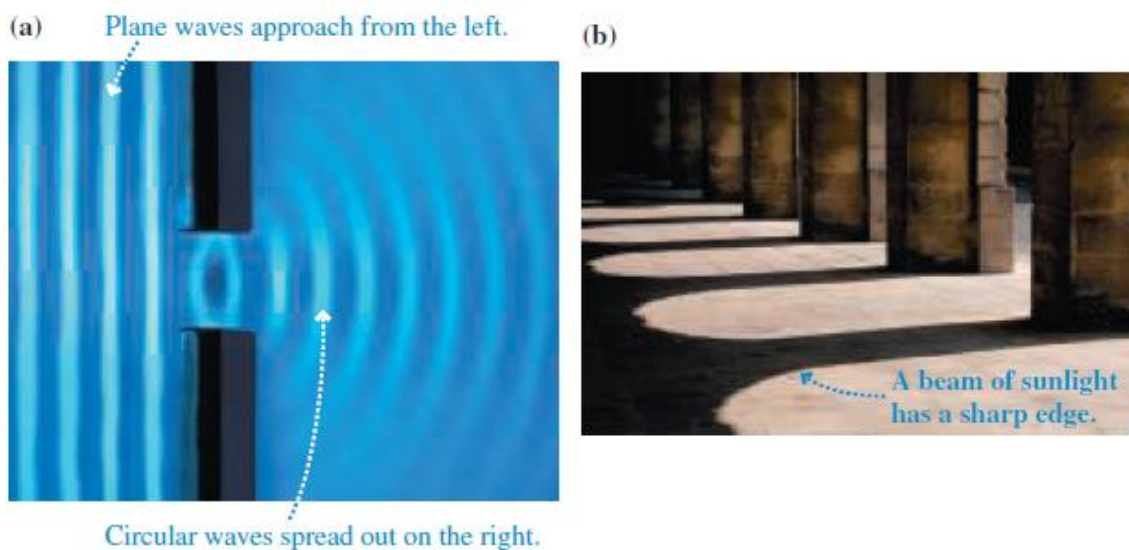


Figura 1: (a) difração de uma onda se propagando na água. (b) a luz não sofre difração ao passar pelos arcos. Os raios de luz estão bem definidos.

Fonte: Knight (2016, p. 931)

2. Velocidade da Luz e Índice de Refração

Segundo Griffiths (2011, p. 227), Maxwell, ao tentar explicar o comportamento de campos eletromagnéticos com as equações que posteriormente receberam seu nome, chegou a um resultado que mostrava que os campos elétrico e magnético se propagavam no espaço por meio de ondas, conhecidas hoje como ondas eletromagnéticas. Tais ondas, segundo Maxwell, propagam-se com uma velocidade correspondente a

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1)$$

onde ε e μ são constantes que dependem do meio de propagação do campo elétrico e magnético. Substituindo os valores das constantes na equação (1), obtém-se o valor da velocidade da luz. Baseado neste resultado que Maxwell desenvolveu a sua teoria eletromagnética da luz.

De acordo com Born e Wolf (1980, p. 11), a luz, ao passar de um meio para outro, sofre uma mudança na sua direção de propagação e na sua velocidade. O índice de refração absoluto “n” de um meio é a razão da velocidade da luz no vácuo e da velocidade da luz no meio e é utilizado para medir o quão refringente um meio pode ser:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

Se dois meios, 1 e 2, possuem índices de refração diferentes, a razão entre eles fornece o índice de refração relativo entre esses dois meios:

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (3)$$

Comparando (2) e (1), temos a formula de Maxwell:

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} \quad (4)$$

3. Raios de Luz

Uma maneira conveniente de representar a propagação da luz é por meio de raios. Sendo a luz uma onda tridimensional, sua propagação a partir de uma fonte possui um formato esférico. Em situações de fronteira, distante da fonte, as frentes de onda assumem um formato próximo a um plano retilíneo. Por isso, neste tipo de situação, usa-se a representação por meio de raios perpendiculares aos planos. Segundo Hecht (2017, p. 107), a representação da luz em forma de raios vem da antiguidade. Um raio é definido como uma linha desenhada no espaço correspondente à direção do fluxo de radiação luminosa, como pode se observar na Figura 2.

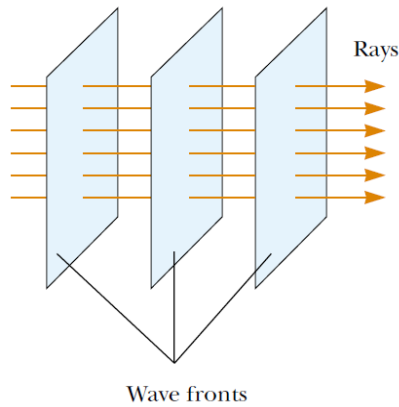


Figura 2: Raios de luz perpendiculares às frentes de onda

Fonte: Serway e Jewett (2004, p. 1097)

4. Reflexão e Refração

Ainda de acordo com Born e Wolf (1980, p. 37), quando uma onda eletromagnética plana incide sobre a superfície entre dois meios distintos, ela se separa em duas ondas: uma que é transmitida ao longo do segundo meio e outra que é refletida de volta para o primeiro meio.

Suponha que uma onda plana se propaga em uma direção no espaço especificada pelo vetor unitário $\mathbf{s}^{(i)}$. Ao incidir sobre a superfície entre dois meios, ela é transmitida na direção com vetor unitário $\mathbf{s}^{(t)}$ no segundo meio e refletida na direção do vetor unitário $\mathbf{s}^{(r)}$. Na interface entre os dois meios, a variação do tempo dos campos secundários, de reflexão e transmissão, é igual à variação do tempo no campo primário de incidência. Equacionando os argumentos das funções de onda para um ponto \mathbf{r} , na interface entre os meios, $z = 0$, tem-se que:

$$t - \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{s}^{(i)}}{v_1} = t - \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{s}^{(r)}}{v_1} = t - \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{s}^{(t)}}{v_2} \quad (5)$$

Sendo que v_1 e v_2 são as velocidades de propagação da onda nos dois meios. Já que $\mathbf{r} \equiv x, y, 0$ podemos reescrever (5) em termos das coordenadas “x” e “y” na interface entre os meios:

$$\frac{s_x^{(i)}}{v_1} = \frac{s_x^{(r)}}{v_1} = \frac{s_x^{(t)}}{v_2} \quad e \quad \frac{s_y^{(i)}}{v_1} = \frac{s_y^{(r)}}{v_1} = \frac{s_y^{(t)}}{v_2} \quad (6)$$

As relações acima demonstram que as ondas transmitida e refletida se encontram no mesmo plano da onda incidente, como pode ser observado na figura 3.

Tendo um plano xz como plano de incidência e adotando θ_i , θ_r e θ_t como os respectivos ângulos que $\mathbf{s}^{(i)}$, $\mathbf{s}^{(r)}$ e $\mathbf{s}^{(t)}$ fazem com o plano z, temos que

$$\begin{aligned}
s_x^{(i)} &= \sin \theta_i, & s_y^{(i)} &= 0, & s_z^{(i)} &= \sin \theta_i \\
s_x^{(r)} &= \sin \theta_r, & s_y^{(r)} &= 0, & s_z^{(r)} &= \sin \theta_r \\
s_x^{(t)} &= \sin \theta_t, & s_y^{(t)} &= 0, & s_z^{(t)} &= \sin \theta_t
\end{aligned} \tag{7}$$

Utilizando as relações em x de (6) e substituindo em (7), temos que

$$\frac{\sin \theta_i}{v_1} = \frac{\sin \theta_r}{v_1} = \frac{\sin \theta_t}{v_2} \tag{8}$$

Uma vez que, observando a figura 3, $\sin \theta_r = \sin \theta_i$ e $\cos \theta_r = -\cos \theta_i$ temos que

$$\theta_r = \pi - \theta_i \tag{9}$$

Este resultado, juntamente com a relação (6), constituem a lei da reflexão.

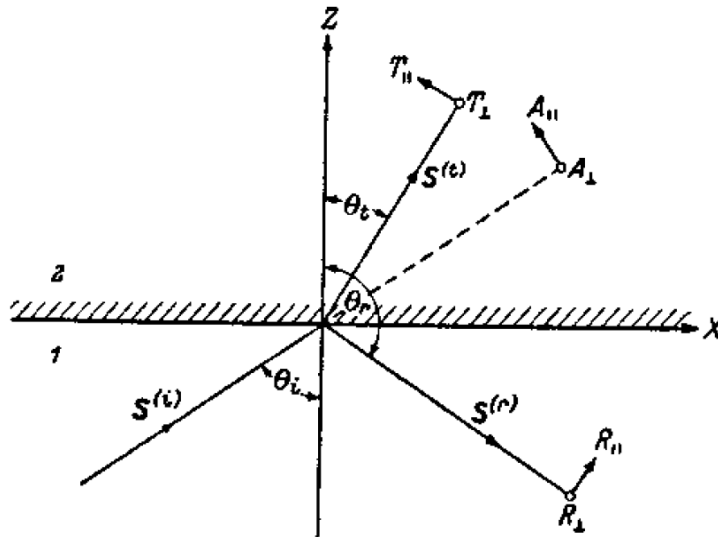


Figura 3: Refração e reflexão de uma onda plana.

Fonte: Born e Wolf (1980, p. 38)

Segundo Hecht (2017, p. 107), a lei da reflexão já era conhecida pelos gregos e pode ser deduzida ao observar a luz sendo refletida pela superfície de um espelho. Se a organização atômica de um material possui irregularidades menores do que o comprimento de onda de uma luz incidente no material, os raios de luz são refletidos com a mesma fase. Neste caso, a reflexão é especular (Figura 4a). Por outro lado, se as irregularidades na superfície do material são da ordem do comprimento de onda da luz incidente, os raios de luz refletidos serão refletidos em todas as direções, causando a reflexão difusa (Figura 4b). Vale a pena ressaltar que a reflexão difusa e a especular são extremos, a reflexão da luz na maioria dos objetos é algo entre estes tipos de reflexão.

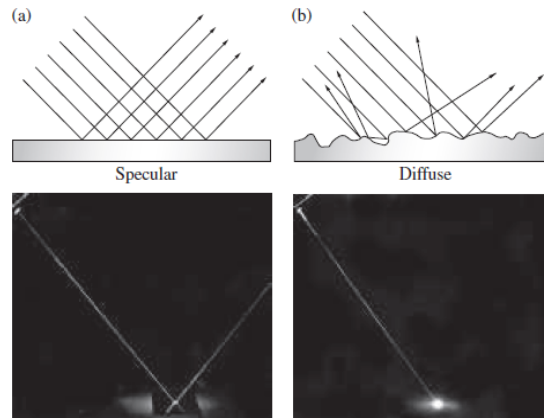


Figura 4: (a) reflexão especular e (b) reflexão difusa.

Fonte: Hecht (2017, p. 108)

Suponha agora que uma onda plana se propagando em um meio “i” incida na interface entre os meios “i” e “t”, como é possível observar na Figura 5.

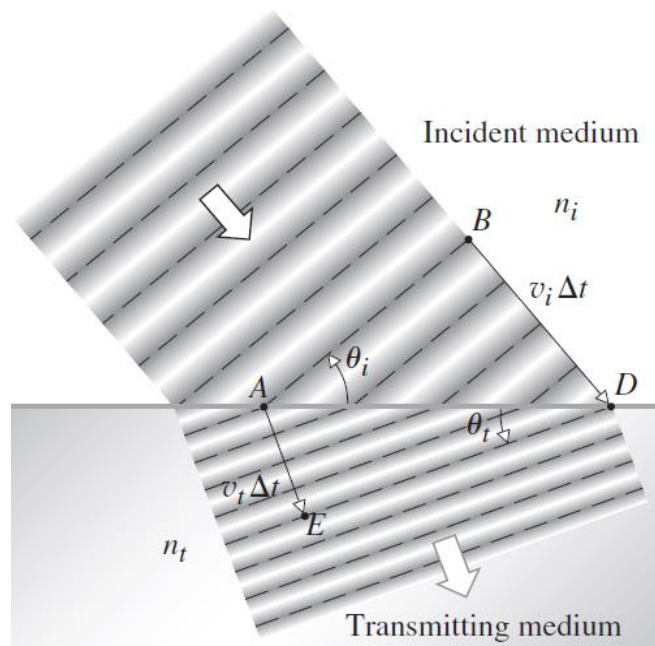


Figura 5: Esquema da refração de uma onda plana

Fonte: Hecht (2017, p. 108)

Sendo Δt o intervalo de tempo que uma extremidade da onda leva para ir do ponto B para o ponto D com velocidade v_i , a outra extremidade já se encontra no ponto E, onde possui velocidade v_t , os triângulos ABD e AED compartilham a mesma hipotenusa \overline{AD} . Tem-se, então

$$\sin \theta_i = \frac{\overline{BD}}{\overline{AD}} \text{ e } \sin \theta_t = \frac{\overline{AE}}{\overline{AD}} \quad (10)$$

$$\frac{\sin \theta_i}{BD} = \frac{\sin \theta_t}{AE} \quad (11)$$

Mas $\overline{BD} = v_i \Delta t$ e $\overline{AE} = v_t \Delta t$, então

$$\frac{\sin \theta_i}{v_i} = \frac{\sin \theta_t}{v_t} \quad (12)$$

Multiplicando os dois lados da relação acima pela velocidade da luz “c”, podemos estabelecer uma relação entre os senos dos ângulos e os respectivos índices de refração dos dois meios:

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (13)$$

A expressão (13), juntamente com (6), constituem a lei da refração. (13) é conhecida como lei de Snell-Descartes.

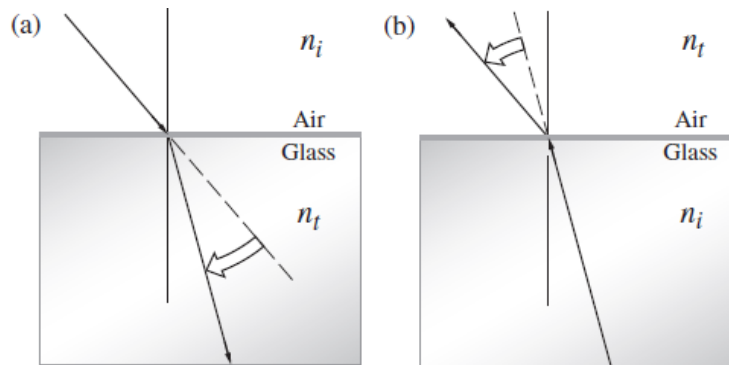


Figura 6: (a) meio i com índice de refração menor do que o meio t e (b) meio i com índice de refração maior do que o meio t.

Fonte: Hecht (2017, p. 110)

Quando $n_i < n_t$, o raio de luz refratado tem um ângulo, em relação a uma reta normal à interface entre os dois meios, menor do que o raio incidente. O oposto também acontece, quando $n_i > n_t$, o raio refratado possui um ângulo maior em relação à normal do que o raio incidente, como pode ser observado na Figura 6 (HECHT, 2017).

4.1. Reflexão Interna Total

Quando a luz passa para um meio com índice de refração menor do que o que contém os raios incidentes, o ângulo de refração é maior do que o ângulo de incidência. Se o ângulo de incidência for aumentando gradualmente, chegará um momento em que o ângulo de refração será de noventa graus e, para ângulos de incidência maiores, a luz não será mais transmitida para outro meio, sendo refletida totalmente.

De acordo com Knight (2016, p. 969), quando o ângulo de refração é de noventa graus, o ângulo de incidência é chamado de ângulo crítico e pode ser deduzido a partir de (14), fazendo $\theta_t = 90^\circ$. O ângulo crítico é dado por

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_t}{n_i}\right) \quad (14)$$

A reflexão interna total possui diversas aplicações em tecnologia, desde binóculos até fibra óptica, que é utilizada em comunicações e na medicina (KNIGHT, 2016).

4.2. Dispersão da luz

De acordo com Serway e Jewett (2004, p. 1109), uma propriedade importante do índice de refração de um meio é que o seu valor varia de acordo



Figura 7: Arco-íris e sua reflexão em um lago.

Fonte: Web³

com o comprimento de onda da luz. Quanto maior o comprimento de onda, menor o índice de refração; assim, por exemplo, uma luz de cor violeta sofre uma refração mais acentuada do que uma luz vermelha. Esse desvio da luz de acordo com a sua cor é conhecido como dispersão, pois um raio de luz branca se dispersa em todas as cores ao refratar. O fenômeno da dispersão da luz foi

³ Rainbow and Rainbow Reflection over a large lake. Disponível em: <<https://www.goodfreephotos.com/other-landscapes/rainbow-and-rainbow-reflection-over-a-large-lake.jpg.php>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

descrito por Newton e pode ser observado na natureza por meio de uma de suas manifestações mais poéticas: o arco-íris (Figura 7). Quando a luz solar incide em uma gotícula de água, ela dispersa e reflete internamente na gota, passando da água para o ar em uma segunda refração. Essa segunda refração é mais acentuada e separa mais os raios de cores diferentes, formando o arco-íris. Um modelo para explicar o arco-íris foi feito por René Descartes, que considerou a luz do sol adentrando uma gota esférica de água, sendo refratada duas vezes (HUGGINS, 1999).

4.3. Lentes Esféricas

Segundo Knight (2016, p. 972), uma lente é um objeto construído com material transparente que utiliza a refração da luz em superfícies curvas para formar uma imagem a partir de raios divergentes.

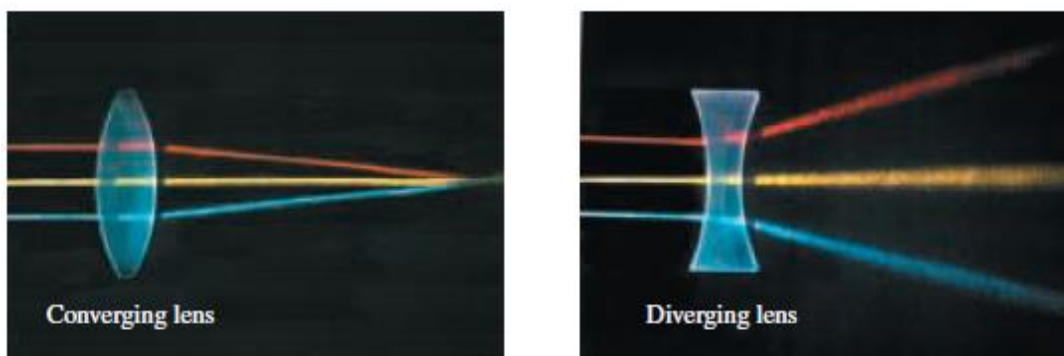


Figura 8: Dois tipos de lentes esféricas

Fonte: Knight (2016)

Na figura 8, estão representados dois tipos de lentes muito comuns. Na lente da esquerda, chamada de lente convergente, os raios de luz paralelos se encontram em um certo ponto após atravessarem a lente. Este ponto é conhecido como ponto focal e a distância entre o ponto focal e a lente é a distância focal. Na lente da direita, chamada de lente divergente, os raios de luz, inicialmente paralelos, afastam-se do eixo óptico da lente. O raio de luz que incide sobre o centro da lente não muda de direção ao refratar.

As lentes esféricas podem ser classificadas como lentes de bordas grossas e de bordas finas, como pode se observar na figura 9.

Tanto as lentes de bordas grossas, quanto as de bordas finas, podem ser convergentes ou divergentes. O que define a natureza da convergência ou divergência de tais lentes é o seu índice de refração em relação ao do meio em

que está inserido. Se o índice de refração relativo entre lente e meio é maior do que 1, ou seja, se a lente possui maior índice de refração do que o meio, as lentes de bordas finas são convergentes e as de bordas grossas divergentes. No caso contrário, em que o índice de refração do meio é maior do que o da lente, as lentes de bordas finas são divergentes e as de bordas grossas são convergentes.

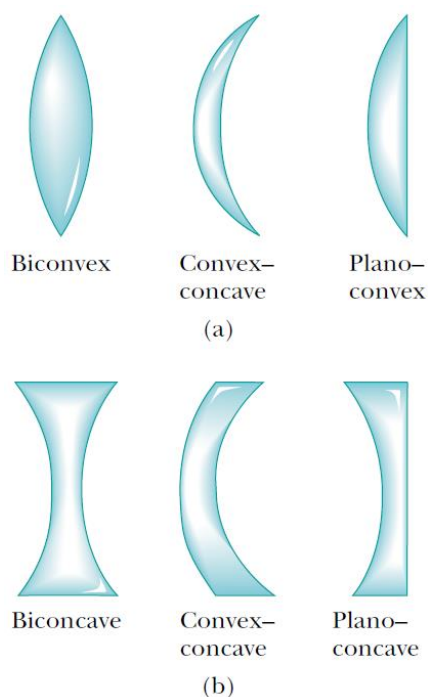


Figura 9: Tipos de lentes esféricas. Bordas finas (a), da esquerda para a direita: Biconvexa, côncavo-convexa e plano-convexa. Bordas grossas (b), da esquerda para a direita: Bicôncava, convexo-côncava e plano-côncava.

Fonte: Serway e Jewett (2004, p. 1145)

Na prática, a maioria das lentes possui uma espessura muito pequena, quase desprezível, é por isso que, no estudo da formação de imagem em lentes esféricas, é comum considerar que as lentes são delgadas, ou seja, que possuem espessura desprezível. O estudo analítico das lentes delgadas é conhecido como óptica gaussiana.

A figura 10 mostra, esquematicamente, a formação da imagem em uma lente convergente, em que “o” é a distância do objeto de altura A até a lente, “i” é a distância entre a lente e a imagem de altura B e “ f ” é a distância focal da lente.

Observando a figura 10b, é possível estabelecer uma relação de semelhança entre o triângulo de maior base ($i+o$) e altura ($A+B$) e outro de menor base (o) e menor altura (A):

$$\frac{A}{o} = \frac{A+B}{(o+i)} \rightarrow \frac{(A+B)}{A} = \frac{(o+i)}{o} \quad (15)$$

Na figura 10c, outro triângulo é formado, podendo também ser estabelecida uma relação de proporcionalidade entre os lados do maior e do menor triângulo:

$$\frac{A}{f} = \frac{A+B}{i} \rightarrow \frac{(A+B)}{A} = \frac{i}{f} \quad (16)$$

Combinando (16) e (17) e dividindo o resultado por i , temos que

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o} \quad (17)$$

A equação (18) é a equação das lentes delgadas, também conhecida como equação de Gauss (HUGGINS, 1999).

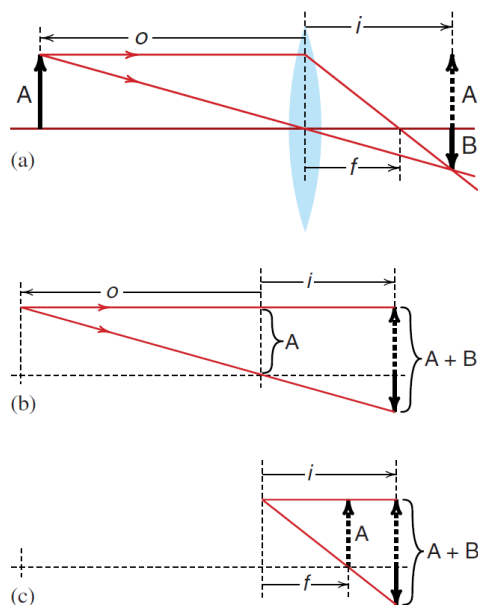


Figura 10: formação da imagem em uma lente delgada convergente

Fonte: Huggins (1999, p. 25)

3.5. Espalhamento da luz

Segundo Hecht (2017, p. 96), os processos de transmissão, reflexão e refração da luz são apenas manifestações macroscópicas do espalhamento da luz que ocorre em um nível submicroscópico. O espalhamento da luz consiste

na absorção e reemissão da luz por elétrons que se encontram nos átomos e moléculas que constituem os materiais.

Quando a luz viaja em um meio material, como o ar, as moléculas que o compõem se comportam como osciladores, as quais tem suas eletrosferas excitadas por fótons incidentes. As moléculas, então, absorvem o fóton e emitem imediatamente outro fóton com mesma frequência e comprimento de onda. Este processo é chamado de espalhamento elástico. Como as moléculas estão orientadas de maneira arbitrária, os fótons são espalhados em todas as direções (HECHT, 2017).

As amplitudes de vibração dos estados excitados e a amplitude da luz espalhada aumentam de acordo com a frequência, pois todas as moléculas possuem ressonâncias eletrônicas na faixa do ultravioleta. Quanto mais próxima a frequência de oscilação com a de ressonância, maior é a resposta do oscilador. Desta maneira, a luz violeta sofre mais espalhamento, seguida da luz azul, verde, amarela e assim por diante. Assim, um raio de luz que atravessa um gás deve apresentar uma luz majoritariamente vermelha no fim do espectro, enquanto a luz espalhada será na sua maioria azul, já que a luz solar não apresenta muita luz violeta em comparação com a azul (HECHT, 2017).

Plano de Aula - 1º Encontro⁴

1. Identificação

Nível de ensino	<i>Médio</i>
Ano	<i>2º</i>
Docente responsável	<i>Gustavo Bordignon Franz</i>
Modalidade	<i>Presencial</i>
Área do conhecimento	<i>Física</i>
Tema da aula	<i>Óptica Geométrica</i>
Título (Tópico) da aula	<i>Avaliação de Conhecimentos Prévios e Refração da luz</i>
Duração prevista	<i>80 min (2h/a de 40 min cada)</i>

2. Problema

Descobrir qual é o material utilizado na obra de Rashad Alakbarov, a partir da medida da velocidade da luz ao atravessá-lo.

3. Objetivos

- Discutir a influência da luz e de seus fenômenos na concepção de obras de arte contemporâneas.
- Refletir, a partir das percepções dos estudantes, o papel do estudo dos efeitos da luz na produção artística contemporânea.

4. Metodologia

Este encontro é dividido em duas aulas de 40 (quarenta) minutos cada. Na primeira delas, será proposta a situação-problema 1, em nível introdutório, levando-se em conta aspectos mais gerais da refração da luz. Pressupõe-se o seguinte desenvolvimento:

- a) apresentar aos alunos, por projeção multimídia, duas tomadas da pintura do artista contemporâneo Rashad Alakbarov, que integrou a exposição de artistas do Azerbaijão na galeria de arte *Phillips de Pury & Company*, em Londres (Figura 1), que utiliza a luz como principal meio de construção artística;
- b) investigar a opinião dos alunos sobre elementos constitutivos a obra, especialmente no que diz respeito a propriedades ópticas;

⁴ Elaborado com base em Ferreira e Filho (2019).

c) as imagens servirão como organizadores prévios para o ensino da refração da luz, pois mostram, de maneira geral e não inclusiva, duas situações em que a refração da luz é utilizada em contextos artísticos distintos;

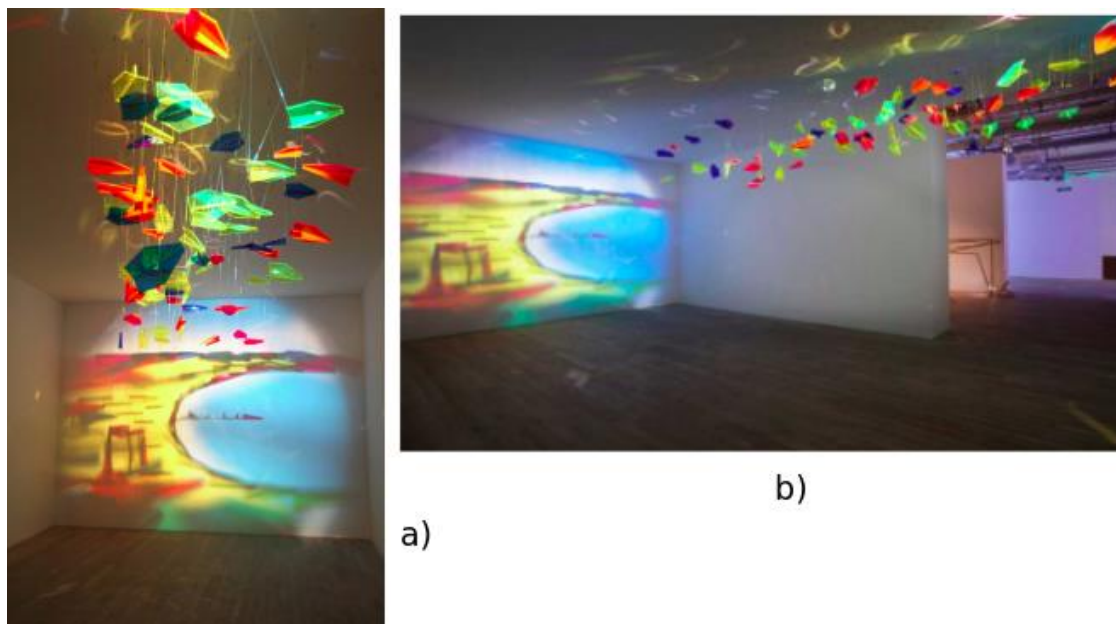


Figura 1: Obra de Rashad Alakbarov. a) vista de frente. b) vista lateral.

Fonte: Web⁵

d) dois conjuntos de imagens serão projetadas em *datashow* para os estudantes, que se reunirão em grupos colaborativos, estimando-se um tempo aproximado de 20 (vinte) minutos para cada atividade de discussão;

e) ao final, como trabalho de retomada e síntese, e após a contemplação das obras pelos alunos, o professor pedirá que os estudantes produzam um descritivo de construção de uma obra similar, explicando como é possível obter os mesmos efeitos visuais que podem ser observados na imagem. Os descritivos devem conter um esquema de formação da imagem, materiais necessários e procedimentos de montagem da obra;

f) o professor pode mediar o processo de resolução da situação-problema, fazendo perguntas acerca da natureza dos materiais que compõem os materiais nas imagens, sobre a possibilidade da imagem corresponder a um tamanho maior do que os mesmos, sobre a influência do tipo de fonte de luz utilizada na composição das obras e sobre os raios de luz que são desviados. O professor

⁵ Rashad Alakbarov's Paintings Live in the Shadows of the Objects That Created Them. Disponível em: <<https://www.core77.com/posts/21613/Rashad-Alakbarovs-Paintings-Live-in-the-Shadows-of-the-Objects-That-Created-Them>> Acesso em 25 Jan. 2019.

deve salientar que os estudantes não devem se preocupar com um rigor científico na produção do material, devendo, por óbvio, utilizar suas próprias expressões verbais habituais;

g) após 15 (quinze) minutos do início da atividade, o professor recolherá os descritivos produzidos pelos grupos para análise posterior. Durante a realização desta primeira etapa da situação-problema, o professor deverá ficar atento às falas dos estudantes, buscando compreender como eles percebem as imagens que lhes foram mostradas;

h) apresentar uma nova imagem aos alunos (fotografias feitas pela fotógrafa Suzanne Saroff, que utiliza copos de água em sua série “Perspectiva”, para criar efeitos de fragmentação de imagens, como pode ser observado na Figura 2), novamente por projeção multimídia;



Figura 1: Fotografia de Suzanne Saroff

Fonte: Website da fotógrafa⁶

i) nesta etapa, os estudantes contemplariam a nova imagem para, em seguida, responderem aos seguintes questionamentos, em grupos colaborativos, do professor acerca de sua formação: “O que faz com que a imagem fique distorcida desta forma?”; “Por que as imagens nos copos possuem tamanhos diferentes?”; “Por que, ao passar pela água, a luz se comporta de maneira diferente?”; “Quais são os meios de propagação da luz presentes nesta

⁶ Suzanne Saroff – Disponível em <<https://www.hisuzanne.com/>> Acesso em 25 Jan. 2019.

imagem?"; "O que a água e o ar, por exemplo, tem de diferentes como meios de propagação da luz?";

j) o professor anotará algumas das respostas dos estudantes no quadro e as registrará em meios próprios para posterior análise. É interessante que o professor não interfira na discussão dos questionamentos, nesta etapa, para não influenciar nas respostas dadas pelos estudantes. Mesmo com alguns possíveis equívocos nas falas dos estudantes, a discussão destas questões é importante para visualizar de que maneira os fenômenos luminosos presentes na imagem são percebidos pelos estudantes;

k) o professor, então, pedirá que, em uma folha separada, cada grupo represente graficamente como a luz se propaga na situação da fotografia. Para facilitar o desenvolvimento dessa atividade, será desenhado esquema da situação e solicitado aos estudantes que nele representem os raios de luz ao passar do ar para a água e ao retornar para o ar, como mostra a Figura 3;

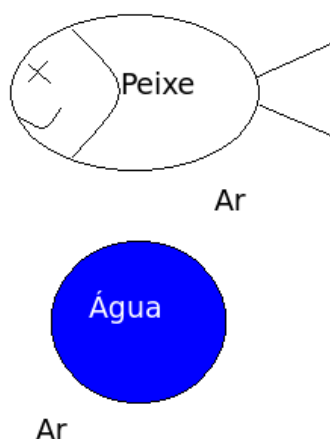


Figura 3: Sugestão de esquema da situação da fotografia.

Fonte: Elaborado pelo Autor

l) ao término da primeira aula, o professor recolherá todas as atividades realizadas pelos estudantes;

m) espera-se que, nas atividades realizadas na primeira aula, os estudantes percebam que o meio em que a luz se propaga influencia na sua propagação de alguma maneira. Não se espera, entretanto, que os alunos tenham a incorreta percepção de que a grandeza que varia de um meio para outro seja a velocidade da luz. Caso este conceito apareça, ele será indicativo de falhas no subsunçor e no avanço hierárquico da aprendizagem, pressupondo

a adoção de estratégias complementares e reorientadoras dos problemas de ensino aprendizagem;

n) na segunda aula, o professor rediscutirá a situação-problema 1, apresentando o vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=W0VvsM2vawU>) de uma experiência em que são colocadas duas setas, grafadas em um pequeno pedaço de papel e em frente a um copo, que é então preenchido com água, a partir do que é possível observar a mudança de orientação das setas quando a luz passa pela água;

o) o professor, então, terá oportunidade de investigar com os alunos hipóteses e discutir como ocorre o desvio dos raios de luz na situação do vídeo, já que, para compor imagens como as das figuras exibidas na primeira aula, o artista se aproveita do fenômeno da refração da luz, algo que acontece também no vídeo. A seguir, solicitará que os estudantes, baseando-se no que foi discutido, representem o desvio dos raios de luz nas situações das obras de arte;

Tabela 1: Índice de refração de alguns meios materiais.

Meio material	Índice de refração (n)
ar	1,00
água	1,33
vidro	1,50
glicerina	1,90
álcool etílico	1,36
diamante	2,42
acrílico	1,49

Fonte: Web⁷

p) o professor discutirá sobre as causas do desvio sofrido pela luz ao trocar de meio, mostrando o que é a grandeza física chamada o índice de refração absoluto e sua relação com a velocidade da luz em diferentes meios. Mostrará que, ao passar de um meio menos refringente para um mais refringente, um raio de luz se aproxima da reta normal, pois a velocidade de propagação no meio mais refringente é menor. Mostrará como é feito o cálculo do índice de refração relativo entre dois meios diferentes e efetuará o cálculo do

⁷ Disponível em: <<http://www.usp.br/massa/2013/qfl2453/pdf/coloquiorefratometria-2013.pdf>> Acesso em: 30 Jun. 2019.

índice de refração relativo entre o ar e a água. Após esta discussão, será solicitado aos alunos que descubram qual é o material das peças utilizadas na montagem presente na Figura 1, sabendo que a velocidade da luz no material é correspondente a $2,01 \times 10^8$ m/s e tendo a disposição uma tabela, como a da Tabela 1, contendo alguns meios materiais e seus respectivos índices de refração.

4. Recursos necessários

Quadro, pincel, projetor multimídia e computador.

5. Proposta de Avaliação

Entre a primeira e a segunda aula, o professor analisará as atividades entregues na primeira aula, buscando evidências de que as imagens, como organizadores prévios, resgataram ou introduziram os subsunçores necessários para a segunda aula na estrutura cognitiva dos estudantes.

Na atividade do item e)/f), procura-se investigar a presença dos seguintes subsunçores: (I) desvio da luz; (II) princípio da propagação retilínea da luz; (III) interferência do meio material na propagação da luz; (IV) ordem “fonte-objeto-anteparo” na formação de uma imagem; (V) fontes de luz.

Indicadores da presença dos subsunçores, a partir de itens presentes no descritivo produzido pelos estudantes:

- (I) e (III) – Qualquer representação, gráfica ou escrita, da mudança na direção de propagação de raios de luz ao atravessar um objeto;
- (II) – Representação de raios de luz se propagando em trajetória retilínea bem definida, contendo direção e sentido da propagação;
- (IV) – Disposição da fonte de luz, objeto e anteparo na representação da formação da pintura. Dois casos esperados – (a) se a ordem é correta e apresenta todos os elementos e (b) se a ordem é correta, porém, apenas fonte e objeto são representados. No caso (b), uma retomada da formação de uma imagem real é necessária no decorrer das próximas aulas;
- (V) – presença de qualquer tipo de fonte de luz primária, lâmpada ou fogo por exemplo, no esquema de formação da imagem.

A atividade descrita em i) tem como objetivo verificar a existência de conexão entre os subsunçores da primeira atividade na estrutura cognitiva. Nas respostas das perguntas “O que faz com que a imagem fique distorcida desta

forma?”, “Por que as imagens nos copos possuem tamanhos diferentes?” e “Por que, ao passar pela água, a luz se comporta de maneira diferente?”, espera-se notar a percepção do desvio da luz como consequência da mudança de meio material, a partir das falas dos estudantes durante a mediação. Espera-se também, a partir das respostas da questão “O que a água e o ar, por exemplo, tem de diferentes como meios de propagação da luz?” a inconexão da velocidade da luz como propriedade distinguível entre os meios, provavelmente a maioria das respostas oscilará em torno da densidade ou estrutura química dos meios materiais. A pergunta “Quais são os meios de propagação da luz presentes nesta imagem?” tem como objetivo expor a clareza com que os meios são identificados a partir de uma imagem. Espera-se que a maioria dos estudantes responda que os únicos meios existentes são o ar e a água, desprezando os recipientes de vidro que contém a água como dispositivos capazes de causar desvio nos raios de luz.

Na atividade descrita em k), espera-se que os estudantes realizem dois tipos de representação dos raios de luz:

1. Os raios de luz emergem do peixe e passam do ar para a água sem desvio, ocorrendo apenas na mudança da água para o ar;
2. Os raios de luz emergem do peixe passam do ar para a água e, novamente, da água para ar apresentando desvio nas duas mudanças de meio de material.

No caso de 1, infere-se que a interação da nova informação, proveniente da mediação em i) e da apresentação da Figura 3, com os subsunçores criou significados na estrutura cognitiva preexistente dos estudantes, porém, ainda são necessárias novas experiências e confronto de ideais para que ocorra a ressignificação do fenômeno da refração da luz. No caso de 2, pode-se inferir que ocorreu a reconciliação integrativa dos subsunçores referentes ao desvio da luz e aos meios materiais, que se recombinaaram, cansando a compreensão do fenômeno da refração da luz.

A atividade sugerida em o) serve para verificar se houve diferenciação progressiva na forma de representação da refração da luz. Espera-se que após a discussão do vídeo ocorra a interação entre as novas informações e os subsunçores, já modificados previamente pelas primeiras discussões. Desta maneira, os estudantes devem representar corretamente o desvio dos raios de

luz na mudança de meio de propagação da luz. Um indicador da diferenciação progressiva neste caso é a comparação entre a produção em o) e k). Espera-se que haja uma diferença notável entre as duas representações, pois em o) os estudantes são confrontados com novas informações, ancoradas no que foi feito em k) para a formulação de novos significados.

Em p) ocorre a conclusão da situação-problema 1, com a identificação do material das peças utilizadas na pintura do artista Rashad Alakbarov. Espera-se que os estudantes concluam que o material é acrílico, com índice de refração igual a 1,49.

Ao final da segunda aula, os estudantes deverão produzir em casa um mapa mental online no site www.popplet.com contendo palavras que possuam alguma relação com o que foi observado no decorrer das atividades e mediado pelo professor em sala de aula. Esse mapa mental deve ser enviado até o fim do dia. Espera-se que os estudantes conectem conceitos-chave acerca da refração da luz, como meio material, desvio da luz, índice de refração, entre outros. Pode-se ter uma noção da estrutura cognitiva dos estudantes ao fim do primeiro encontro. Quanto maior é o número de ligações entre diferentes conceitos, melhor é o entendimento do estudante acerca das relações entre esses conceitos e, conseqüentemente, mais significativa é a sua aprendizagem.

Plano de Aula - 2º Encontro⁸

1. Identificação

Nível de ensino	<i>Médio</i>
Ano	<i>2º</i>
Docente responsável	<i>Gustavo Bordignon Franz</i>
Modalidade	<i>Presencial</i>
Área do conhecimento	<i>Física</i>
Tema da aula	<i>Óptica Geométrica</i>
Título (Tópico) da aula	<i>Leis da Refração e ângulo crítico</i>
Duração prevista	<i>80 min (2h/a de 40 min cada)</i>

2. Problema

Como descobrir qual é o melhor modelo de fibra óptica na hora de se instalar uma internet por fibra? (Determinar os materiais que constituem uma fibra óptica com menor ângulo crítico.)

3. Objetivos

- Discutir a física presente no *mobile game* “Glass”, com base nas observações feitas por estudantes ao jogá-lo.
- Discutir a influência das leis da refração no desaparecimento de um peixe em um aquário esférico.

4. Metodologia

Este encontro é composto por duas aulas, cada uma com duração de 40 (quarenta) minutos. Na segunda aula, é introduzida a situação-problema 2, com grau de inclusividade maior do que a situação-problema 1. Sugere-se os seguintes passos para o desenvolvimento do encontro:

a) o professor organizará os estudantes em grupos colaborativos, garantido que cada grupo contenha pelo menos um *smartphone* com o *mobile game Glass*⁹ instalado. Cada grupo será encarregado de resolver uma etapa do *game*, sendo que nas etapas é possível observar diversos conceitos que foram e serão ensinados como, por exemplo, reflexão da luz em espelhos planos,

⁸ Elaborado com base em Ferreira e Filho (2019).

⁹ *Game de smartphone* lançado em 2014 pela empresa Cube3rd. Se trata de um jogo de quebra cabeças, em que o objetivo principal é conectar raios de luz emitidos por uma fonte até um receptor. Para isso, o jogador dispõe, em cada nível, de dispositivos ópticos para mudar a trajetória dos raios de luz.

refração da luz em lentes convergentes e divergentes, ângulo limite e reflexão total da luz;

b) as etapas do *game* assumem papel de organizador prévio, pois apresentam, de maneira geral e não inclusiva, aspectos acerca da refração da luz que serão discutidos nos próximos encontros, como lentes esféricas e dispersão da luz em prismas, por exemplo;

c) cada grupo deverá resolver uma etapa diferente do *game*, sendo que o número total de etapas resolvidas depende do número de grupos formados. Desta forma, sugere-se que sejam indicadas etapas, alternando-se entre os mundos *Convergence* e *Divergence*, que são constituídos por 8 (oito) etapas distintas, com nível de dificuldade gradual. Para melhor visualização do grau de dificuldade de cada etapa, um solucionário pode ser acessado em <<https://game-solver.com/glass-puzzle-game-by-cube3rd-solutions/>>;

d) os estudantes deverão identificar todos os objetos utilizados para mudar a trajetória da luz e formular teorias para explicar o seu funcionamento. Também devem mostrar quais conceitos da óptica geométrica são utilizados para compreender os fenômenos observados dentro do *game* e se existe algum equívoco na física presente no *game*;

e) uma pequena apresentação das conclusões do grupo ao resolver a etapa do *game* será feita para o professor, que atentarà às falas dos estudantes, exigindo-se mais acuidade conceitual em relação à forma como se conduziu discussão análoga no encontro anterior e registrando-se, nos devidos meios, cada apresentação para posterior análise;

f) ao fim da atividade, o professor discutirá as leis da refração com os estudantes, retomando uma etapa do *game* como exemplo, identificando a reta normal, o raio incidente, refletido e seus respectivos ângulos. Mostrarà também, no âmbito do *game*, a lei de Snell-Descartes e seu diagrama usual de representação da interface entre dois meios, ressaltando que um ângulo de incidência de noventa graus não causa refração da luz. Mostrarà, também, a importância da segunda lei da refração como método de determinação, a partir do índice de refração, de materiais desconhecidos.

g) após esta discussão, o professor solicitarà que os estudantes descubram, a partir da projeção multimídia da etapa “*Divergence_1*” (Figura 4), qual seria o material que compõe um dos meios observados no *game* (dado um

conjunto conhecido de materiais discriminados por seus índices de refração), quando o raio de luz verde emerge da lente divergente, assumindo que o ângulo de incidência é de 30 graus e o de refração é de 60 graus, e por que o raio de luz vermelho não sofre desvio ao emergir da lente;

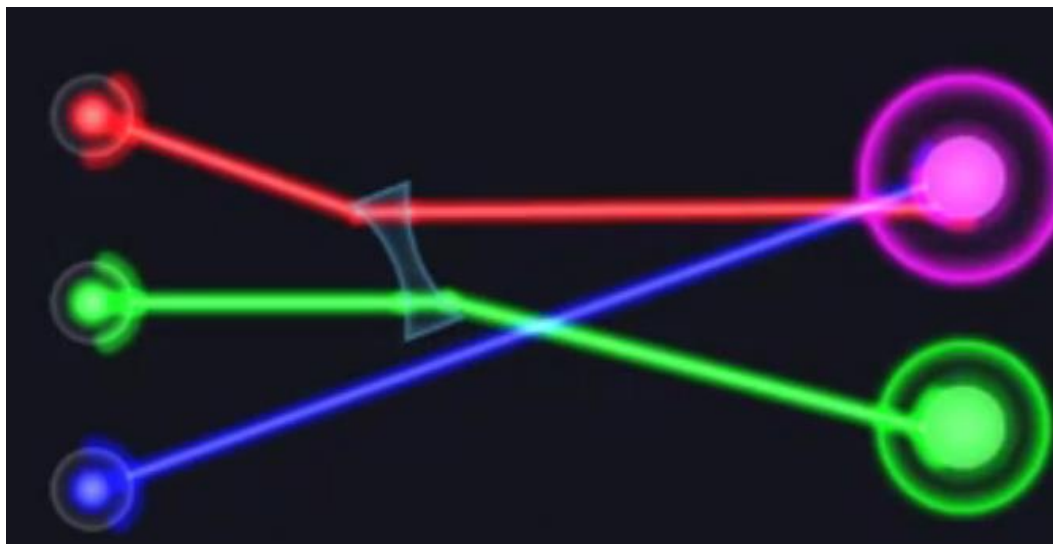


Figura 4: Etapa *Divergence_1* do *mobile game Glass*.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

h) na segunda aula, será proposta a situação-problema 2 em nível mais alto de complexidade, levando-se em conta que a aprendizagem significativa é progressiva. O professor apresentará o vídeo (http://youtu.be/FO5v_tQANZE), retirado da dissertação de mestrado de Lopes (2014), intitulada “Refração e o Ensino de Óptica”. O vídeo mostra um peixe se movendo dentro de um aquário esférico, quando se aproxima das laterais do aquário desaparece e volta a aparecer quando se move em direção ao centro.

i) o professor, então, solicitará que, em uma folha separada, os estudantes, organizados em trios, representem graficamente como a luz se propagaria na situação do vídeo. Para facilitar o desenvolvimento dessa atividade, será desenhado um esquema da situação e solicitado aos estudantes que nele representem os raios de luz que chegam aos olhos do observador, como mostra a Figura 5.

j) ao fim da atividade, o professor recolherá as representações gráficas feitas pelos estudantes, para posterior análise.

k) o professor, então, discutirá com os estudantes o fenômeno da reflexão total da luz, retomando a etapa *divergence_2* do *game*, na qual o fenômeno da reflexão total em uma lente divergente é observado. Mostrará as condições necessárias para que a reflexão total da luz aconteça e mostrará como é feita a determinação do ângulo crítico. Solicitará, então, que os estudantes refaçam, em uma folha separada a atividade proposta em h) e que a entreguem ao professor, para posterior análise.

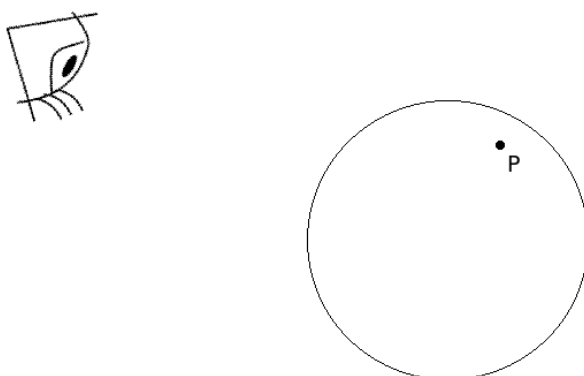


Figura 5: Esquema de representação da situação do vídeo. P é o ponto onde o peixe se localiza.

Fonte: Elaborado pelo autor.

l) a seguir, será apresentado o vídeo (https://www.youtube.com/watch?v=0MwMkBET_5l) do canal “*engineerguy*”, que mostra o funcionamento de cabos de fibra óptica, uma aplicação tecnológica do fenômeno da reflexão total da luz. Com base no vídeo, o professor discutirá brevemente com os estudantes alguns usos da fibra óptica e solicitará que eles descubram que materiais podem ser utilizados nas camadas externas e internas para fabricar uma fibra óptica com o menor ângulo crítico, tendo como base uma tabela com alguns meios materiais e seus respectivos índices de refração (Tabela 1). Conforme os estudantes concluem que materiais deverão ser utilizados para resolver o problema, o professor os questionará sobre a possibilidade real de criar uma fibra óptica com os materiais fornecidos.

m) após o recolhimento das atividades, o professor discutirá com os estudantes que tipos de materiais que são razoáveis na construção de fibras ópticas e para que caminhos converge esta indústria atualmente.

5. Recursos necessários

Pincel, quadro, projetor multimídia, computador e tablets ou *smartphones* (para os alunos).

6. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

A atividade proposta em d) e e) tem como objetivo identificar, na estrutura cognitiva prévia dos estudantes, evidências da presença de subsunçores que serão utilizados como ancoragem para o ensino das leis da refração. Desta maneira, espera-se que, em suas falas, os estudantes utilizem expressões verbais com linguagem mais técnica para explicar a refração da luz do que a observada no primeiro encontro. Procura-se investigar a presença dos seguintes subsunçores: (I) interfaces entre meios materiais; (II) lentes esféricas; (III) refração da luz.

Indicadores de presença dos subsunçores na fala dos estudantes:

- (I) e (III) – Se os estudantes falarem que a luz desvia, ou refrata, ao passar de um meio para outro. Espera-se que este subsunçor esteja presente na estrutura cognitiva dos estudantes, devido ao que foi discutido e mediado no primeiro encontro.
- (II) – Se um dos dispositivos que é utilizado para alterar a trajetória da luz é identificado como lente. Espera-se que os estudantes não façam distinção entre lentes convergentes e divergentes.

Na atividade g), é esperado que os estudantes descubram que o meio material é o ar, com índice de refração aproximadamente igual a 1. Caso isto ocorra, infere-se que a ancoragem da nova informação nos subsunçores causou a diferenciação progressiva na compreensão do fenômeno da refração da luz. Espera-se que alguns estudantes tenham dificuldade em realizar a atividade e, provavelmente, não descubram que o meio material é o ar. Neste caso, a nova informação interagiu com os subsunçores, porém, ainda são necessárias mais discussões acerca do tema em diferentes contextos para que ocorra a ressignificação da lei de Snell-Descartes. Também se espera que a maioria dos estudantes perceba que o raio vermelho não sofre desvio ao emergir da lente por ser perpendicular à superfície.

Na atividade em i), espera-se que a maioria dos estudantes represente raios de luz que não atingem os olhos do observador. Espera-se também que não consigam representar devidamente que uma parcela dos raios é refletida,

pois ainda não assimilaram a informação acerca do fenômeno da reflexão total da luz. Entretanto, espera-se que os raios de luz sejam representados com trajetórias retilíneas e que sofram desvio ao passar da água para o ar, evidenciando que as discussões do primeiro encontro ainda estão presentes em sua estrutura cognitiva. Já a retomada da atividade i), após a discussão em k), tem como objetivo verificar se houve diferenciação progressiva do fenômeno da reflexão total da luz. Espera-se que após a discussão da etapa do *game* ocorra a interação entre as novas informações e os subsunçores, modificados previamente pela atividade presente em i). Assim, os estudantes devem representar uma parcela dos raios de luz refletindo totalmente dentro do aquário. Um indicador da diferenciação progressiva neste caso é a comparação entre as produções em i) e k). Espera-se que haja uma diferença notável entre as duas representações, pois em k) os estudantes são confrontados com novas informações, ancoradas no que foi feito em i) para a formulação de novos significados.

Em l), espera-se que os estudantes concluam que a fibra óptica que produz o menor ângulo crítico é composta com diamante na camada externa e glicerina na camada interna.

Plano de Aula - 3º Encontro¹⁰

1. Identificação

Nível de ensino	<i>Médio</i>
Ano	<i>2º</i>
Docente responsável	<i>Gustavo Bordignon Franz</i>
Modalidade	<i>Presencial</i>
Área do conhecimento	<i>Física</i>
Tema da aula	<i>Óptica Geométrica</i>
Título (Tópico) da aula	<i>Dispersão e Espalhamento da luz</i>
Duração prevista	<i>80 min (2h/a de 40 min cada)</i>

2. Problema

Por que o céu é azul durante a maior parte do dia e vermelho quando o sol está se pondo?

3. Objetivos

Refletir acerca da influência da refração da luz no processo de formação de arco-íris.

Discutir a relação dos fenômenos luminosos com a coloração do céu.

4. Metodologia

Este encontro é composto por duas aulas, cada uma com duração de 40 (quarenta) minutos. Pressupõe-se os seguintes passos para o desenvolvimento:

a) o professor organizará os estudantes em grupos colaborativos, garantido que cada grupo contenha pelo menos um *smartphone* com o *mobile game* “*Glass*” instalado. Cada grupo será encarregado de resolver uma etapa do *game*, sendo que nas etapas é possível observar diversos conceitos que serão ensinados como, por exemplo, o fenômeno da dispersão da luz.

b) as etapas do *game* assumem papel de organizador prévio, pois introduzem aos estudantes, de maneira geral e não inclusiva, aspectos a respeito dos fenômenos luminosos.

¹⁰ Elaborado com base em Ferreira e Filho (2019).

c) cada grupo ficará encarregado de solucionar uma etapa do *game*, constituinte do mundo “Dispersion”. As questões estão dispostas em nível gradual de dificuldade.

d) os estudantes deverão identificar o dispositivo utilizado para separar os raios de luz, formulando teorias para explicar o funcionamento deste dispositivo.

e) após decorridos 15 (quinze) minutos do início da atividade, os estudantes devem realizar breves apresentações das teorias formuladas para o professor.

f) após esta atividade inicial, o professor discutirá com os estudantes o fenômeno da dispersão da luz, comentando acerca da relação entre o desvio sofrido por cores distintas e sua respectiva velocidade de propagação e raios de luz monocromáticos.

g) ao fim da discussão, o professor realizará uma adaptação da demonstração sugerida em Axt, R. (1990). Laboratório caseiro: Dispersão da luz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 7(3), 225-226. Nesta demonstração, um espelho côncavo é imerso em uma bacia com água e, com a lanterna de um celular localizado fora da água, ilumina-se o espelho submerso. Por causa da dupla refração, ar-água e água ar, é possível observar a dispersão da luz da lanterna projetada no teto da sala de aula, que deve estar com as luzes desligadas para melhor visualização.

h) o professor, durante a demonstração, solicitará que os estudantes respondam os seguintes questionamentos em uma folha separada: (1) Por que o fenômeno observado apenas acontece quando o espelho está imerso na água? (2) Qual é o tipo de raio de luz proveniente da lanterna do celular?

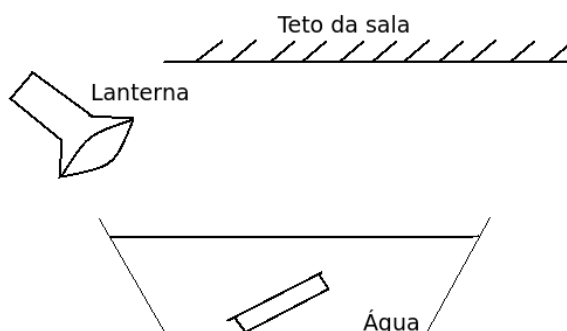


Figura 6: esquema do experimento a ser representado no quadro

Fonte: elaborado pelo autor

i) também será solicitado que os estudantes representem graficamente os raios de luz na situação da demonstração, tendo como base um esquema desenhado no quadro pelo professor, Figura 6.

j) ao término da primeira aula, o professor recolherá todas as atividades realizadas pelos estudantes.

k) na segunda aula, o professor retoma inicialmente a discussão da primeira aula, complementando com informações acerca da formação do arco-íris.

l) é solicitado que os estudantes, em uma folha separada, representem a dispersão dos raios de luz em uma gota de água. Para facilitar o desenvolvimento dessa atividade, será desenhado um esquema da situação, Figura 7.

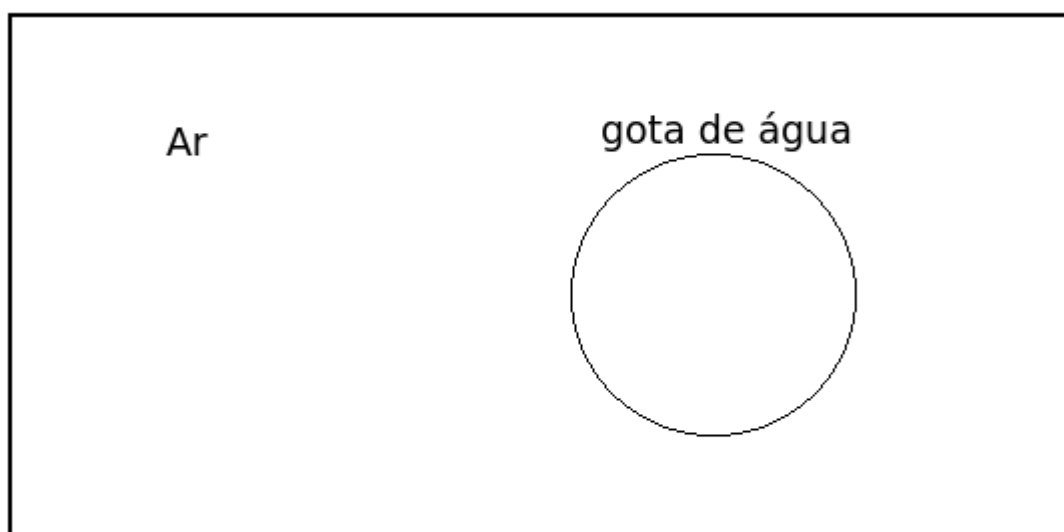


Figura 7: Representação da gota de água.

Fonte: Elaborado pelo autor

m) na sequência, o professor pergunta aos estudantes: “por que o céu é azul?”. Então, atentar-se-á para as respostas dos estudantes, registrando-as nos meios necessários para posterior análise.

n) em sequência a essa mediação inicial, será realizado o experimento descrito em Ortiz, A. J., Laburú, C. E., & da Silva, O. H. M. (2010). Proposta simples para o experimento de espalhamento Rayleigh. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27(3), 599-608. Neste experimento, uma lanterna é posicionada em frente a um recipiente transparente contendo uma solução de

água com algumas gotas de leite e ligada. Pode-se observar que a luz, ao atravessar o recipiente, possui uma cor azulada. Se um anteparo for colocado atrás do recipiente, uma luz mais avermelhada pode ser observada. Caso o professor não tenha os recursos necessários para a realização do experimento, poderá mostrar o vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=sDcWsx00O48>, em que um experimento semelhante é realizado.

o) apoiando-se na realização do experimento, o professor discutirá com os estudantes o fenômeno do espalhamento da luz.

p) após a discussão, o professor retoma a pergunta lançada no começo da aula, com um detalhe complementar: além da coloração do céu em um dia sem nuvens, os estudantes devem explicar por que o céu assume uma coloração avermelhada no nascer e pôr do sol. Os estudantes devem anotar as suas teorias em uma folha separada, que será entregue ao professor no término da aula.

5. Recursos necessários

Pincel, quadro, projetor multimídia, computador, Tablets ou *smartphones* (para os alunos), lanterna, bacia, espelho côncavo,

6. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

A atividade em d) e e) tem como objetivo introduzir o conceito de prisma, dispersão da luz e luz monocromática e policromática. Espera-se que os estudantes identifiquem que os raios de luz são separados em raios de cores diferentes ao atravessar pelo prisma, introduzindo a noção de dispersão da luz. Nas explicações contendo estes elementos, infere-se que os subsunçores necessários para o ensino da dispersão da luz estão presentes na estrutura cognitiva dos estudantes.

A atividade em h) e i) é realizada logo após uma breve discussão sobre dispersão da luz. Espera-se que os estudantes percebam que a dispersão da luz aconteça apenas quando houver refração da luz, ou seja, espera-se que, como resposta da questão (1), a maioria dos estudantes respondam que é devido à refração da luz na água. Também é esperado que na questão (2), os estudantes identifiquem que a luz é policromática, semelhante à luz do sol, pois ela se dispersa ao refratar. Em ambas respostas esperadas em h), pode-se inferir que a estrutura cognitiva dos estudantes, previamente modificada por causa de d) e e) interagiu com as novas informações, causando a diferenciação progressiva

do conceito de dispersão da luz. Em i) se espera que as representações sejam apresentadas, em sua maioria, de três maneiras diferentes:

- Caso 1: Os raios de luz provenientes da lanterna se dispersam na primeira refração, ar-água, refletem no espelho e aumentam o espaçamento entre si na segunda refração, água-ar. Neste caso, pode-se inferir que ocorreu a reconciliação integrativa dos subsunçores referentes a luz monocromática e a refração da luz, que se recombinaram, causando a compreensão do fenômeno da dispersão da luz.
- Caso 2: Os raios de luz provenientes da lanterna se dispersam apenas na primeira ou na segunda refração. Neste caso, infere-se que a interação da nova informação com os subsunçores criou significados na estrutura cognitiva preexistente dos estudantes, porém, ainda são necessárias novas experiências e confronto de ideias para que ocorra a ressignificação do fenômeno da dispersão da luz.
- Caso 3: Os raios de luz não dispersam nas refrações, mas sim ao refletirem no espelho. Neste caso, o estudante não reconfigurou sua estrutura cognitiva preexistente em nenhuma das atividades anteriores. São necessárias novas discussões a respeito da dispersão da luz.

Em l), espera-se que os estudantes representem corretamente a dispersão dos raios de luz na gota de água, compreendendo como é formado o arco-íris.

Na proposta de situação-problema 3, em m), espera-se que, nesta atividade inicial, os estudantes apresentem muitas noções equivocadas a respeito da coloração do céu durante o dia, provavelmente apoiadas no senso comum. Esta atividade tem como objetivo verificar se os estudantes possuem alguma explicação prévia, mesmo que equivocada, para a coloração azul do céu em sua estrutura cognitiva.

Após a realização do experimento em o), a atividade em p) tem como objetivo investigar se as discussões causaram a assimilação do fenômeno do espalhamento da luz. Espera-se que os estudantes consigam explicar a coloração do céu nas duas situações propostas, tendo em vista que a nova

informação, apresentada em o), interaja com a estrutura cognitiva dos estudantes, apoiando-se no conhecimento prévio dos fenômenos luminosos, alterando-o.

Plano de Aula - 4º Encontro¹¹

1. Identificação

Nível de ensino	<i>Médio</i>
Ano	<i>2º</i>
Docente responsável	<i>Gustavo Bordignon Franz</i>
Modalidade	<i>Presencial</i>
Área do conhecimento	<i>Física</i>
Tema da aula	<i>Óptica Geométrica</i>
Título (Tópico) da aula	<i>Lentes esféricas e óptica da visão</i>
Duração prevista	<i>120 min (3h/a de 40 min cada)</i>

2. Problema

Que tipo de lente uma pessoa deve utilizar para corrigir defeitos da visão como miopia e hipermetropia?

3. Objetivos

Refletir acerca do uso de lentes esféricas na correção de problemas da visão.

4. Metodologia

Este encontro é composto por três aulas, cada uma com duração de 40 (quarenta) minutos. Pressupõe-se os seguintes passos para o desenvolvimento:

- o professor mostrará para os alunos, por meio de projeção multimídia, duas etapas do *game Glass*, onde é possível observar uma lente do tipo divergente e outra do tipo convergente;
- durante a projeção das duas etapas, *Convergence_0* e *Divergence_0*, Figura 8, o professor solicitará que os estudantes diferenciem o desvio sofrido pelos raios de luz ao passar em uma lente convergente e em outra divergente, registrando as respostas nos devidos meios;
- após esta mediação introdutória e considerando que aprendizagem é progressiva, o professor discutirá sobre os tipos de lentes esféricas que existem, as condições para que uma lente seja considerada convergente

¹¹ Elaborado com base em Ferreira e Filho (2019).

ou divergente e os elementos geométricos que formam uma lente esférica;

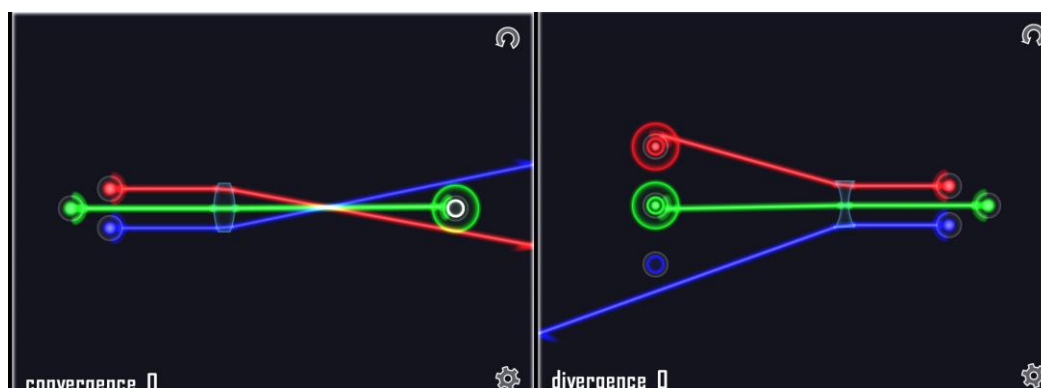


Figura 8: Etapas Convergence_0 e Divergence_0

Fonte: Elaborado pelo Autor

- d) após esta mediação introdutória e considerando que aprendizagem é progressiva, o professor discutirá sobre os tipos de lentes esféricas que existem, as condições para que uma lente seja considerada convergente ou divergente e os elementos geométricos que formam uma lente esférica;
- e) em seguida à discussão, o professor solicitará que os estudantes, organizados em grupos colaborativos, identifiquem, em uma folha separada e no âmbito do *game*, se a lente esférica ou o meio possui o maior índice de refração;
- f) ao fim da primeira aula, o professor recolherá todas as atividades;
- g) na segunda aula, o professor retomará os assuntos discutidos na primeira aula. Considerando a diferenciação progressiva, o aplicativo de *smartphone* “*Ray Optics*” será utilizado para discutir o processo de formação de imagem em lentes esféricas, destacando os aspectos geométricos da formação da imagem;
- h) em sequência a esta discussão inicial, o professor mostrará, por meio de projeção multimídia, um objeto localizado em frente a uma lente divergente, Figura 9, e solicitará que os estudantes, organizados em grupos colaborativos e em uma folha separada, determinem as características da imagem formada nesta situação;

- i) após a realização da atividade, o professor discutirá brevemente a determinação das características da imagem de maneira analítica, por meio da equação de Gauss;
- j) ao final da segunda aula, o professor recolherá todas as atividades realizadas;

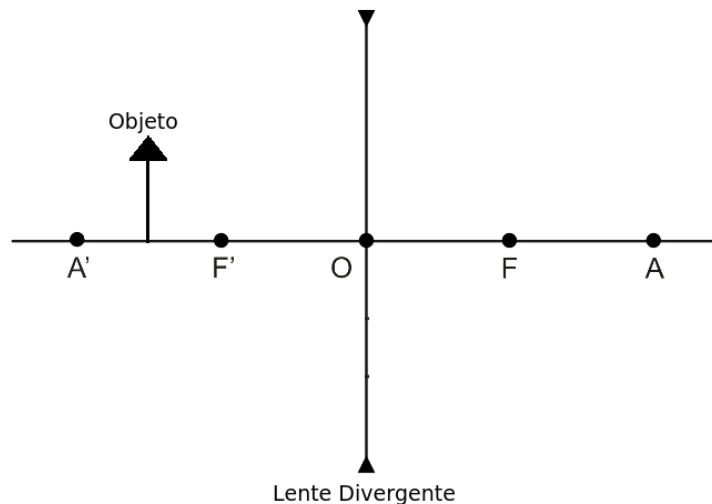


Figura 9: Objeto em frente a uma lente divergente.

Fonte: Elaborado pelo autor

- k) o professor iniciará a terceira aula mostrando o vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=PFtVO-A7M5E>), que tem papel de organizador prévio, pois, de maneira geral e não inclusiva, introduz os estudantes à anatomia do olho humano, que servirá de subsunçor (partes que integram o olho) para a ancoragem dos defeitos da visão;
- l) em sequência ao vídeo, o professor discutirá com os estudantes como o cristalino do olho humano pode ser interpretado como uma lente convergente e como a imagem é formada na retina;
- m) como intuito de diversificar a discussão do item anterior, o vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=6YxffFmi4Eo>) será reproduzido para os estudantes. O vídeo explica de maneira visual e simples como a imagem é formada na retina e quais são os defeitos da visão¹²;
- n) após as discussões iniciais provocadas pelos vídeos, o professor mostrará, por meio de projeção multimídia, um esquema de formação de

¹² Caso os estudantes se interessem por outros defeitos da visão, como presbiopia e astigmatismo, sugere-se que o professor consulte Knight (2016, p. 1002) para mais detalhes.

imagem em um olho humano com miopia e um outro com hipermetropia, Figura 10;

- o) será solicitado que os estudantes, organizados em grupos colaborativos, formulem teorias para explicar qual tipo de lente que seria mais adequado para corrigir cada tipo de defeito da visão, representando os raios de luz em cada caso e registrando em uma folha separada;
- p) ao final da aula, o professor recolherá todas as atividades;

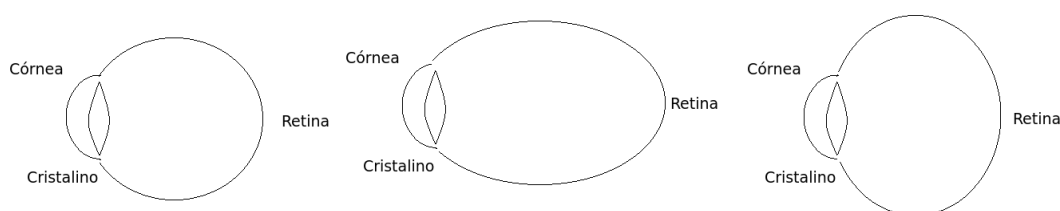


Figura 10: esquema do olho humano a ser mostrado à turma pelo professor, à esquerda, um olho sem nenhum tipo de defeito da visão; ao centro, um olho com miopia; à direita, com hipermetropia.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5. Recursos necessários

Pincel, quadro, projetor multimídia, computador.

6. Proposta de Avaliação (com referencial teórico)

Espera-se que na atividade proposta em b), os estudantes consigam diferenciar uma lente convergente de uma divergente a partir do padrão de refração de luz criado por ambas. Entretanto, não se espera que a linguagem técnico-científica seja utilizada pelos estudantes, uma vez que estes assuntos ainda não foram discutidos.

A atividade proposta em d) serve para determinar se houve interação entre a nova informação na qual os estudantes foram expostos e sua estrutura cognitiva. Espera-se que a maioria dos estudantes afirme que a lente esférica no *game* possui maior índice de refração que o meio. Caso isto não aconteça, serão necessárias discussões futuras acerca desse assunto.

Em g), o intuito da atividade é buscar evidências da diferenciação progressiva. Aqui, em uma situação ideal, espera-se que a maioria dos estudantes consiga representar corretamente a imagem formada pela lente divergente. Entretanto, caso a maioria não consiga, o professor poderá, logo

após a atividade, realizar uma nova discussão sobre a formação das imagens em lentes esféricas.

Em n) se espera que a maioria dos estudantes consigam perceber que as lentes divergentes são apropriadas para corrigir a miopia e as convergentes para a hipermetropia. Caso o que é esperado não aconteça, o professor retomará a discussão sobre lentes esféricas e defeitos da visão.

Plano de Aula - 5º Encontro¹³

1. Identificação

Nível de ensino	<i>Médio</i>
Ano	<i>2º</i>
Docente responsável	<i>Gustavo Bordignon Franz</i>
Modalidade	<i>Presencial</i>
Área do conhecimento	<i>Física</i>
Tema da aula	<i>Avaliação da UEPS</i>
Duração prevista	<i>40 min</i>

2. Objetivos

Avaliar, de maneira geral, a eficácia da UEPS

3. Metodologia

Esse é o encontro final da UEPS e tem como foco central uma avaliação dos encontros, por meio de perguntas direcionadas aos alunos que devem ser respondidas individualmente e de maneira discursiva. Sugere-se que sejam feitos para os estudantes os seguintes questionamentos:

Questão 1: Por que, ao observar o fundo de uma piscina quando estamos na sua beirada, ela parece ser mais rasa do que realmente é?

Questão 2: Por que um peixe em um aquário esférico desaparece quando se aproxima das laterais do aquário?

Questão 3: Explique, com as suas palavras, como funciona uma fibra óptica.

Questão 4: Por que as nuvens são brancas?

Questão 5: Por que a água concentrada em grandes quantidades, nos oceanos por exemplo, apresenta uma cor azul?

Questão 6: Qual é a lente que deve ser utilizada por uma pessoa que não consegue ver o seu amigo que se encontra do outro lado de uma rua?

4. Recursos Necessários

Pincel, quadro, projetor multimídia.

¹³ Elaborado com base em Ferreira e Filho (2019).

5. Proposta de Avaliação

A questão 1 tem como função identificar indícios de que se, após a aplicação da UEPS, os estudantes aprenderam significativamente o fenômeno da refração da luz.

A questão 2 e 3, tem como função verificar indícios da aprendizagem significativa do fenômeno da reflexão total da luz e uma de suas principais aplicações tecnológicas.

A questão 4 e 5 tenta encontrar indícios da aprendizagem significativa do fenômeno da dispersão da luz.

A questão 6 tem como função identificar se houve indícios da aprendizagem significativa das lentes esféricas e suas aplicações na correção de problemas da visão.

Referências

- ANDERSON, J. L.; BARNETT, M. Learning physics with digital game simulations in middle school science. *Journal of science education and technology*, v. 22, n. 6, p. 914-926, 2013.
- AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P.; ROBINSON, F. G. *School learning: An introduction to educational psychology*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.
- AXT, R. Laboratório caseiro: Dispersão da luz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 7, n. 3, p. 225-226, 1990.
- BORN, M.; WOLF, E. *Principles of Optics*, 6. ed. Cambridge: Cambridge UP, 1980.
- BRASIL. Orientações Curriculares Para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf> Acesso em 28 abr. 2019.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf> Acesso em 28 abr. 2019.
- CLARK, D. B.; NELSON, B. C.; CHANG, H. Y.; MARTINEZ-GARZA, M.; SLACK, K.; D'ANGELO, C. M. Exploring Newtonian mechanics in a conceptually-integrated digital game: Comparison of learning and affective outcomes for students in Taiwan and the United States. *Computers & Education*, v. 57, n. 3, p. 2178-2195, 2011.
- COSTA, O. S.; RAMOS, E. M. F. Jogos eletrônicos e Ensino de Física: estudo de algumas possibilidades. *Revista de Enseñanza de la Física*, v. 27, n. 2, p. 559-565, 2015.
- DINIZ, R. T. *Usando a experimentação no ensino potencialmente significativo de óptica geométrica*. 2016. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda.
- DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e para o escrito: apresentação de um procedimento. In.: SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. *Gêneros orais e escritos na escola*. [Tradução e organização ROJO, R.; CORDEIRO, G. S.] Campinas: Mercado de Letras, 2004.
- FERREIRA, A. S. P. O jogo angry birds space como ferramenta pedagógica para o ensino de física: Estudo aplicado na EEEFM Pedro Targino da Costa Moreira em Cacimba de Dentro-PB. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, Universidade Estadual da Paraíba, Arana.
- FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S. Proposta de plano de aula para o ensino de física. *Physicae Organum*, v. 5, n. 1, p. 39-44, Brasília, 2019.
- GALVÃO, A. P. N. C. *Gamificação no Scratch como recursos para aprendizagem potencialmente significativa no ensino da Física: lançamento de projéteis*. 2017. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá.

GEE, J. P. Bons videogames e boa aprendizagem. *Perspectiva*, v. 27, n. 1, p. 167-178, 2009.

GOWIN, D.B. *Educating*. Ithaca: Cornell University Press, 1981.

GRIFFITHS, D. J. *Eletrodinâmica*. 3. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J; BIASI, R. S. *Fundamentos de Física*, volume 4: óptica e física moderna. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HECHT, E. *Optics*. 5. ed. Harlow: Pearson Education, 2017.

HUGGINS, E. R. *Physics 2000*. New Hampshire: Moose Mountain Digital Press, 1999.

JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models*. Cambridge: Harvard University Press, 1983.

KNIGHT, R. D. *Physics for scientists and engineers: a strategic approach with modern physics*. 4. ed. Boston: Pearson Education, 2016.

LOPES, E. B. *Refração e o ensino de óptica*. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

MEIRELLES, F. S. *Pesquisa Anual do Uso de TI*, 2018. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/ensinoeconhecimento/centros/cia/pesquisa>. Acesso em 10 abr. 2018

MOHANTY, Soumya D.; CANTU, Sergio. Teaching introductory undergraduate physics using commercial video games. *Physics Education*, v. 46, n. 5, p. 570, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A. *Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física: a teoria de aprendizagem de David Ausubel como sistema de referência para a organização do ensino de ciências*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, M.A. *Aprendizagem significativa crítica*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005.

MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

NOVAK, J. D. *A theory of education*. Ithaca: Cornell University Press, 1977.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B.; VALADARES, C. *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

OLIVEIRA, J. R. *Games Digitais: Uma Abordagem de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio*. 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília

ORTIZ, A. J., LABURÚ, C. E., & da SILVA, O. H. M. Proposta simples para o experimento de espalhamento Rayleigh. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.27, n. 3, p. 599-608, 2010.

PRENSKY, M. Nativos digitais, imigrantes digitais. *On the horizon*, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2001.

RIBOLDI, B. M. *A construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game A slower speed of light*. 2016. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de

Ensino de Física) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

SERWAY R. A.; JEWETT J. W. *Physics for Scientists and Engineers*. 6. ed. Thomson Brooks: Cole, 2004.

STUDART, N. Simulação, games e gamificação no ensino de Física. *Simpósio Nacional de Ensino de Física*. v. 21, p. 1-17. Uberlândia, 2015.

SUN, C. T.; YE, S. H.; WANG, Y. J. Effects of commercial video games on cognitive elaboration of physical concepts. *Computers & Education*, v. 88, p. 169-181, 2015.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. *Récherches en Didactique des Mathématiques*, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VYGOTSKY, L. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

ZAHAILA, W. D. P. *Atividades experimentais virtuais usando o game Portal 2*. 2017. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do ABC, Santo André.