

Volume 2 • Módulo 4 • Física • Unidade 7

# Refração e Aplicações

Andreia Mendonça Saguia, Bruno Lazarotto Lago, César Bastos, Fábio Ferreira Luiz, Felipe Mondaini (coordenador), Gabriela Aline Casas, Wellington Wallace Miguel Melo.

## Introdução

Caro professor,

O material a seguir refere-se a um conjunto de atividades que poderão ser utilizados e/ou adaptados, de acordo com sua conveniência; sendo assim, sugestões para o ato de educar no Ensino de Jovens e Adultos (EJA). Ele poderá ser utilizado como um material de consulta com o intuito de complementar as aulas por você preparadas.

Para cada seção, existem atividades que se diferenciam pela maneira como são apresentados os conteúdos, seja por meio de atividades em grupo, experimentos de baixo custo, vídeos ou applets, cabendo ao professor utilizar ou não os recursos ali dispostos.

Nesta Unidade 7 – Refração e Aplicações – procuramos resgatar a curiosidade dos alunos no estudo da Física; para isso, alguns experimentos e atividades em grupo foram escolhidos de modo a explorar os preceitos básicos da ótica. Nesta Unidade, dando sequência ao estudo de ótica, apresentamos alguns experimentos que instigam nossa curiosidade e nos propõem o estudo mais aprofundado do tema.

Esperamos, por meio deste material, atuar ao seu lado com um conjunto de opções que venham a atender a necessidade cada vez mais urgente de um material de qualidade à disposição do professor.

## Apresentação da unidade do material do aluno

Caro professor, apresentamos as características principais da unidade que trabalharemos.

Disciplina	Volume	Módulo	Unidade	Estimativa de aulas para essa unidade
Física	2	4	7	4

Titulo da unidade	Tema
Refração e Aplicações	Óptica geométrica
Objetivos da unidade	
Identificar o fenômeno da refração em alguns casos simples;	
Associar a Lei de Snell à aproximação (ou afastamento) do raio, refratado com relação à normal;	
Esquematizar a construção de imagens em lentes convergentes e divergentes, como função da distância relativa entre o objeto e a lente;	
Relacionar a reflexão interna total ao funcionamento das fibras ópticas;	
Associar a refração e as lentes estudadas a situações reais em que elas podem ser utilizadas, em função de suas propriedades.	
Seções	Páginas no material do aluno
1. Refração	195 a 202
2. Ângulo Limite	203 a 206
3. Lentes	206 a 209
4. Formação de Imagens em Lentes	209 a 214

A seguir, serão oferecidas algumas atividades para potencializar o trabalho em sala de aula. Verifique, portanto, a relação entre cada seção deste documento e os conteúdos do Material do Aluno.

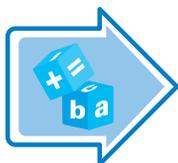
Você terá um amplo conjunto de possibilidades de trabalho.

Vamos lá!

# Recursos e ideias para o Professor

## Tipos de Atividades

Para dar suporte às aulas, seguem os recursos, ferramentas e ideias no Material do Professor, correspondentes à Unidade acima:



### Atividades em grupo ou individuais

São atividades que são feitas com recursos simples disponíveis.



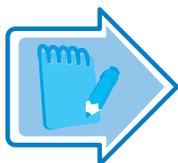
### Ferramentas

Atividades que precisam de ferramentas disponíveis para os alunos.



### Avaliação

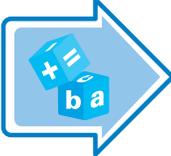
Questões ou propostas de avaliação conforme orientação.



### Exercícios

Proposições de exercícios complementares

## Atividade Inicial

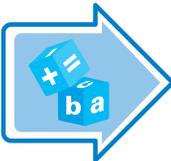
Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Múltiplas Refrações	Gelatina para plantas	A refração da luz é algo fundamental para o nosso cotidiano, desde o uso de lentes em instrumentos ópticos ao uso da propagação da luz em meios homogêneos para as telecomunicações. Nesta atividade inicial, iremos desenvolver uma atividade lúdica.	4 alunos por grupo	45 minutos.

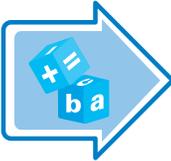
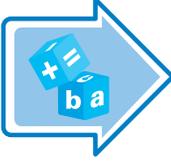
## Seção 1 – Refração

## Seção 2 – Ângulo Limite

Páginas no material do aluno

195 a 206

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Resgate na Praia.	Software GeoGebra e o applet (Fisica_Mod4_Un17_Sec1.ggb) disponível no material anexo do professor.	Através de uma analogia com uma situação de resgate na praia, o conceito de refração pode ser discutido e ilustrado. O applet apresenta duas regiões distintas: a areia da praia e a água. A velocidade do banhista é maior na areia do que na água, de modo que o percurso que minimiza o tempo entre um ponto na areia e um na água não é uma reta. É possível alterar a localização inicial do banhista, o ponto aonde ele quer chegar e o ponto onde ele entra na água. O tempo gasto no percurso é calculado e exibido na tela, bem como o tempo gasto ao longo da reta que une os pontos de partida e de chegada.	O professor interage com toda a turma	15 minutos
	Determinando o índice de refração de um meio homogêneo.	Cuba semicircular (bebedouro de pássaros), laser pointer, alfinetes de cabeças coloridas, papel quadriculado, transferidor, 200ml de água (ou outro meio homogêneo).	Este experimento busca determinar o índice de refração de um determinado meio homogêneo. Usaremos, para tal, a relação de Snell-Descartes: $n_{AR} \cdot \text{sen}(\theta_{AR}) = n_{MEIO} \cdot \text{sen}(\theta_{MEIO})$ .	Grupos de quatro alunos.	45 minutos.

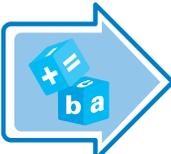
Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Entortando a luz.	Uma garrafa pet de dois litros, meio copinho de café coado, um apontador laser, água suficiente para encher a garrafa, um prego fininho e um balde.	Neste experimento, ilustraremos o fenômeno da reflexão interna total, utilizando um jato de água curvo como uma fibra óptica. Vídeo ilustrando a experiência disponível no material anexo do professor (Mod4-Unid17-Sec2.wmv).	O professor interage com toda a turma.	20 minutos.
	O Copo invisível.	Uma jarra leiteira de vidro transparente, um copo de vidro comum, transparente e arredondado, que caiba na leiteira sem deixar muita folga, um copinho de vidro transparente, que tenha um diâmetro bem menor que o 1º copo (o copo de cachaça, por exemplo, pode ser uma boa opção) e água suficiente para encher o copo e a leiteira de vidro.	Nesta atividade, mostramos como o índice de refração nos permite diferenciar objetos e como podemos usá-lo para tornar objetos invisíveis. Vídeo ilustrando dessa atividade disponível no material anexo do professor (Mod4-Unid17-Sec1-atividade.wmv).	O professor interage com toda a turma.	30 minutos.

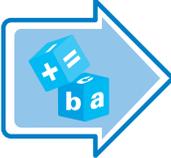
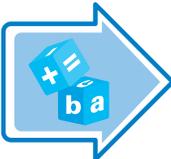
## Seção 3 – Lentes

Páginas no material do aluno

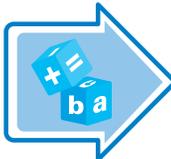
206 a 214

### Seção 4 – Formação de imagens em lentes

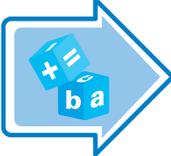
Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Corrigindo a visão.	Software GeoGebra e o applet (Fisica_Mod4_Un17_Sec3.ggb) disponível no material anexo do professor.	Este applet apresenta os conceitos de lentes delgadas aplicadas à correção da formação de imagens em casos de miopia e hipermetropia. O perfil lateral de um globo ocular é apresentado, juntamente com uma lente. Dois raios luminosos paralelos passam pela lente antes de serem defletidos pelo cristalino em direção à retina. É possível alterar a convergência para: antes da retina (botão 'Miopia'), depois da retina (botão 'Hipermetropia') e normal (botão 'Visão normal'). O perfil da lente pode ser alterado através do controle deslizante apresentado.	O professor interage com toda a turma	15 minutos
	Miniprojetor.	Caixa de sapato, lupa, fita adesiva, isopor, celular ou tablet (tela pequena).	Nesta prática experimental, estabeleceremos uma projeção rudimentar onde serão observadas algumas características das lentes delgadas. Usaremos uma lente convergente e, neste caso, obteremos uma projeção invertida da imagem.	Grupos de 4 alunos.	45 minutos.

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Lente esférica de água.	Um pote de vidro transparente e esférico como um aquário (ou um globo protetor de lâmpada), uma vela, fósforo, água suficiente para encher o pote e um texto de jornal.	Neste experimento, mostramos, através do processo de formação da imagem, como um pote esférico de vidro transparente, cheio de água, pode atuar como uma lente convergente.	O professor interage com toda a turma.	30 minutos.
	Produzindo um arco-íris.	Um espelho plano pequeno (aqueles retangulares, de rosto, são uma boa opção), uma lanterna de luz branca e uma bacia com água que caiba o espelho dentro.	Nesta atividade, ilustramos o fenômeno da dispersão da luz produzindo um arco-íris totalmente caseiro. Vídeo ilustrando esta atividade disponível no material anexo do professor (Mod4-Unid17-Sec3-atividade.wmv).	O professor interage com toda a turma.	20 minutos.

## Avaliação

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Lista de Exercícios: Aprendendo sobre Energia	Lápis e papel	A Lista de Exercícios a seguir aborda os tópicos desenvolvidos durante esta Unidade, tais como Refração, Lei de Snell e Lentes Convergentes e Divergentes. Um arquivo contendo a lista de exercícios a seguir está disponível no material anexo do professor.	Atividade Individual	1 aula

## Atividade Inicial

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Múltiplas Refrações	Gelatina para plantas	A refração da luz é algo fundamental para o nosso cotidiano, desde o uso de lentes em instrumentos ópticos ao uso da propagação da luz em meios homogêneos para as telecomunicações. Nesta atividade inicial, iremos desenvolver uma atividade lúdica.	4 alunos por grupo	45 minutos.

### Aspectos operacionais

- Obtenha gelatinas para plantas, se possível as transparentes, e deixe-as de molho na água até alcançarem o diâmetro máximo.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz.



- Repose somente as esferas já em seu diâmetro máximo em um recipiente transparente e faça incidir um feixe de luz em uma das faces do recipiente.



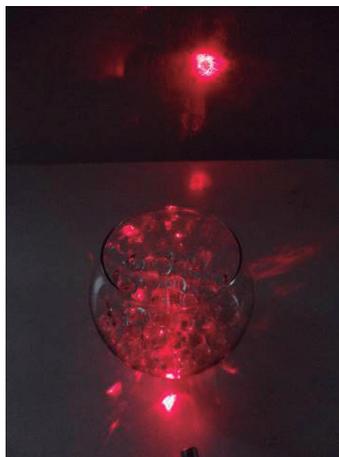
Fonte: Fábio Ferreira Luiz.



---

## Aspectos pedagógicos

- Cada esfera refrata e reflete de maneira distinta, formando uma teia de luz no interior do recipiente; estes fenômenos acontecem em múltiplas direções, alterando por completo a direção do feixe de luz.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Caso possua um laser pointer de cor verde, você poderá estabelecer uma associação entre os dois feixes de luz, um vermelho e um verde, sobre paredes distintas do recipiente.
- Para que as esferas de poliacrilamida alcancem o tamanho máximo, é necessária a imersão em água por, pelo menos, 12 horas.

## Seção 1 – Refração

## Seção 2 – Ângulo Limite

Páginas no material do aluno

195 a 206

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Resgate na Praia.	Software GeoGebra e o applet (Fisica_Mod4_Un17_Sec1.ggb) disponível no material anexo do professor.	Através de uma analogia com uma situação de resgate na praia, o conceito de refração pode ser discutido e ilustrado. O applet apresenta duas regiões distintas: a areia da praia e a água. A velocidade do banhista é maior na areia do que na água, de modo que o percurso que minimiza o tempo entre um ponto na areia e um na água não é uma reta. É possível alterar a localização inicial do banhista, o ponto aonde ele quer chegar e o ponto onde ele entra na água. O tempo gasto no percurso é calculado e exibido na tela, bem como o tempo gasto ao longo da reta que une os pontos de partida e de chegada.	O professor interage com toda a turma	15 minutos

### Aspectos operacionais

- Inicie uma discussão sobre o resgate em uma praia. Algumas perguntas-chave podem ser utilizadas: (i) Onde a velocidade do banhista é maior? (ii) Qual é a menor distância entre dois pontos? (iii) Que fatores são relevantes neste tipo de resgate?
- Os alunos devem se convencer de que: (i) A velocidade é, em geral, maior na areia do que na água; (ii) A menor distância entre dois pontos no espaço euclidiano é a reta; (iii) Neste caso, é preciso chegar o mais rapidamente possível ao ponto onde será feito o resgate, mesmo que através de um caminho mais longo.
- Inicie o applet.
- Peça aos alunos que façam sugestões sobre o caminho a ser seguido.
- Em seguida, deslize o ponto C e veja como o tempo ao longo do percurso ACB varia.
- Encontre o ponto que minimiza o tempo (o tempo mínimo é de 17,13s para a configuração inicial) e enfatiza que, apesar de o caminho ser mais longo do que a reta AB, o banhista ficou mais tempo na região onde sua velocidade é maior (porém, não tempo demais).

- Por fim, argumente que, segundo o Princípio de Fermat, a luz percorre a distância entre dois pontos ao longo do caminho que minimiza o tempo de percurso. Comente ainda que, ao entrar na água (região onde a velocidade é menor), a trajetória do banhista se aproxima da normal, em acordo com a Lei de Snell.
- Mova os pontos A e B e encontre o novo ponto C que minimiza o tempo de percurso.

## Aspectos pedagógicos

O conceito de refração pode ser bastante abstrato para diversos alunos. Esta analogia serve para ilustrar o efeito de se deslocar em linha reta com diferentes velocidades, com a restrição de chegar ao seu destino no menor tempo possível.

Mostre que se os dois pontos estiverem ao longo da mesma reta vertical, o caminho de menor tempo é a reta que une os dois pontos. Este seria o caso de uma incidência ao longo da normal à interface entre as duas regiões.

### Seção 1 – Refração

### Seção 2 – Ângulo Limite

Páginas no material do aluno

195 a 206

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Determinando o índice de refração de um meio homogêneo.	Cuba semicircular (bebedouro de pássaros), laser pointer, alfinetes de cabeças coloridas, papel quadriculado, transferidor, 200ml de água (ou outro meio homogêneo).	Este experimento busca determinar o índice de refração de um determinado meio homogêneo. Usaremos, para tal, a relação de Snell-Descartes: $n_{AR} \cdot \text{sen}(\theta_{AR}) = n_{MEIO} \cdot \text{sen}(\theta_{MEIO})$ .	Grupos de quatro alunos.	45 minutos.

## Aspectos operacionais

- Serre umas das extremidades da cuba semicircular e uma das laterais da mesma.



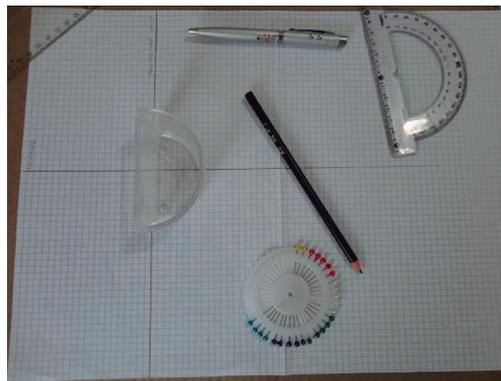
Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Lixe as rebarbas e, com auxílio da cola quente, cole as partes, formando uma cuba semicircular.



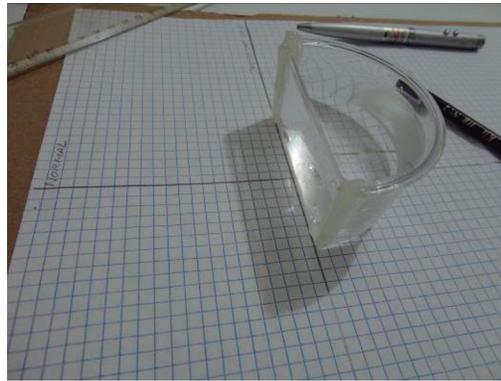
Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Verifique se acontecem vazamentos.
- Estabeleça, no papel quadriculado, um plano cartesiano onde o eixo  $y$ , o eixo das ordenadas, será a nossa normal ( $N$ ), e o eixo  $x$ , o eixo das abscissas, será nossa superfície de separação entre os meios.



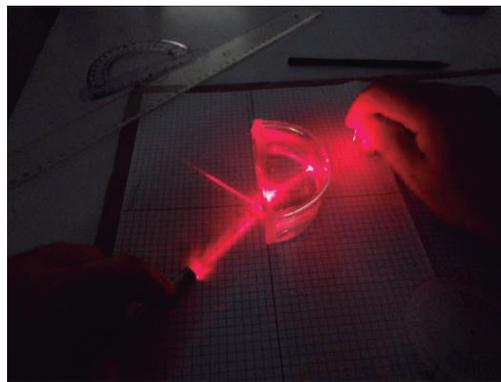
Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Repouse a superfície plana da cuba exatamente sobre o eixo  $x$  do traçado e tente fazer com que o eixo  $y$  corte ao meio a cuba semicircular.

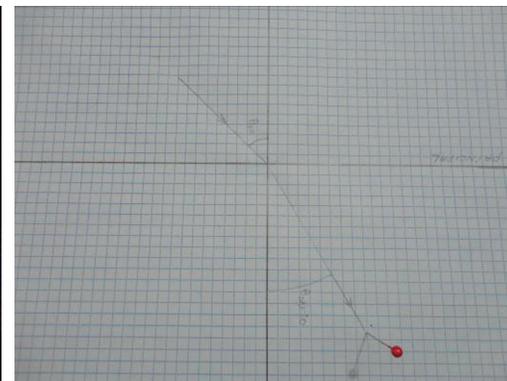
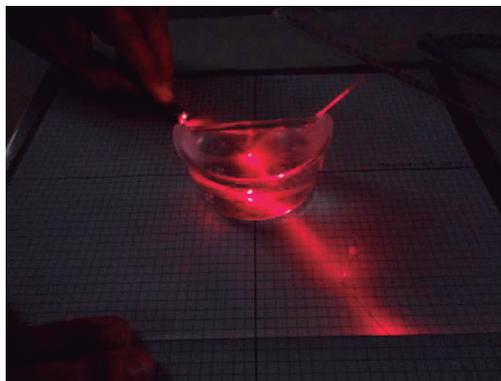


Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Faça incidir sobre a superfície da face plana da cuba um raio de luz; tente posicionar o laser de maneira que o seu feixe luminoso incida sobre a junção entre os eixos (entre a reta normal e a superfície de separação).



- 
- Obtenha o ângulo de incidência (ângulo entre a reta normal e o raio de luz incidente); ainda sem alterar a posição do raio incidente, obtenha o ângulo de refração (ângulo entre a reta normal e o raio de luz refratado).
- Marque, com auxílio dos alfinetes de cabeça colorida, a posição do raio refratado e refletido, e com o transferidor estabeleça os ângulos  $\theta_{AR}$  e  $\theta_{MEIO}$ . Use uma calculadora ou tábua trigonométrica para descobrir os senos de cada ângulo. Aplique-os à lei de Snell-Descartes e determine o índice de refração.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

## Aspectos pedagógicos

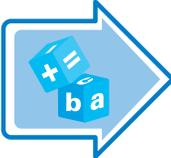
- Este experimento acontece com melhor definição em ambientes escurecidos.
- Ao executar a medida do ângulo de refração, tente posicionar-se na altura do raio refratado ou use o próprio alfinete para vasculhar a posição do raio refratado.
- Caso não possua calculadora, é possível determinar os ângulos de incidência e de refração usando a definição de seno ( $\text{sen} = \text{Cateto Oposto} / \text{hipotenusa}$ ), já que o papel quadriculado (ou milimetrado) auxilia a medição.
- Tente modificar os ângulos de incidência e verifique, para esses novos ângulos, o índice de refração do meio homogêneo. Atente que este índice deve ser o mesmo.

### Seção 1 – Refração

### Seção 2 – Ângulo Limite

Páginas no material do aluno

195 a 206

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Entortando a luz.	Uma garrafa pet de dois litros, meio copinho de café coado, um apontador laser, água suficiente para encher a garrafa, um prego fininho e um balde.	Neste experimento, ilustraremos o fenômeno da reflexão interna total, utilizando um jato de água curvo como uma fibra óptica. Vídeo ilustrando a experiência disponível no material anexo do professor (Mod4-Unid17-Sec2.wmv).	O professor interage com toda a turma.	20 minutos.

## Aspectos operacionais

- Para chamar a atenção dos alunos, você pode começar esta atividade com uma conversa sobre fibra óptica. Este cabinho fino e flexível é capaz de ligar continentes (por dentro dos mares, passando por vales e montanhas submarinas), transmitindo dados e voz com excelente qualidade e a altíssimas velocidades. E qual é o fenômeno físico por trás de toda essa tecnologia? A reflexão interna total da luz. A fibra óptica é basicamente formada por um núcleo de vidro (ou outro material polimérico capaz de transmitir luz) revestido por um material com índice de refração menor. Essa característica aliada ao ângulo de incidência conveniente (maior que o ângulo limite) possibilita a transmissão da luz (com quase nenhuma perda) através de reflexões totais sucessivas dentro da fibra.
- Após esta conversa inicial, proponha uma atividade que ilustre de modo interessante o fenômeno da reflexão interna total, tal como ocorre na fibra óptica.
- Siga os passos conforme descritos a seguir.

- Usando o prego fino, faça um furo na parte lateral da garrafa, próximo à sua base.
- Tampe momentaneamente o furinho com o dedo e encha a garrafa de água até um pouco mais da metade; coloque um pouco de café coado (o suficiente para tingir levemente a água) e tampe-a, para que a água não escorra.
- Repouse a garrafa sobre sua mesa e escureça a sala o máximo que você puder.
- Aponte o laser para dentro da garrafa de modo que o feixe de luz passe da água para o ar que está aprisionado dentro da garrafa. O feixe deve incidir na superfície de separação dos dois meios inclinado de um pequeno ângulo em relação à normal (veja a Figura 1).
- Mostre aos alunos que, nessa situação, é possível observar os raios refletido (uma listra dentro da água) e refratado (um pontinho em algum lugar do lado de fora da garrafa) (Veja a Figura 2).
- Agora, vá inclinando o laser de modo a aumentar o ângulo de incidência. Mostre aos alunos que haverá um ângulo limite a partir do qual o raio refratado desaparece, ou seja, o raio incidente é totalmente refletido na superfície água – ar (veja a Figura 3).
- Para tornar a atividade mais interessante, vamos entortar a luz, usando o fenômeno da reflexão interna total.
- Tampe o furinho da garrafa e encha-a de água até o gargalo. Tampe a garrafa, para a água não escorrer pelo furinho, e deixe-a repousando sobre sua mesa.
- Posicione o balde no chão de maneira que quando a garrafa seja aberta, a água, que será lançada num jato curvo, caia dentro dele.
- Escureça a sala o máximo que você puder.
- Abra a garrafa e aponte o feixe de luz do apontador laser por trás da garrafa, direto no furo por onde a água está saindo (veja a Figura 4).
- Observe como a luz acompanha o jato curvo de água.
- Coloque sua mão no meio do jato e mostre aos alunos a presença da luz neste ponto. É como se a luz estivesse sendo carregada pela água.

### **Figuras Ilustrativas**

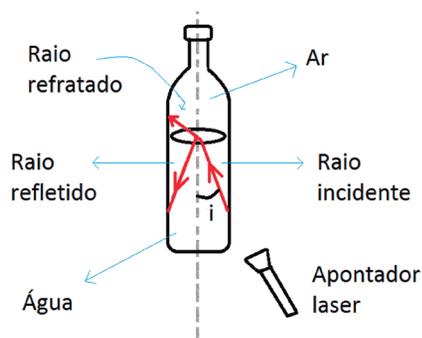


Figura 1

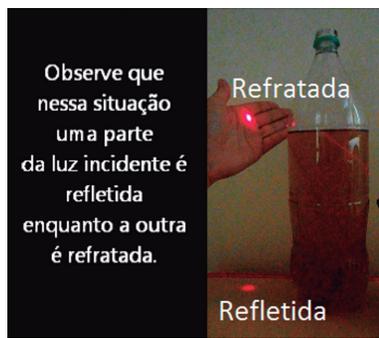


Figura 2



Figura 3

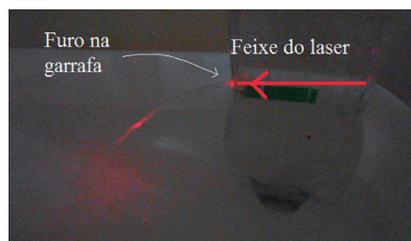


Figura 4

## Aspectos pedagógicos

Aproveite esta atividade para reforçar as condições necessárias para que haja reflexão interna total: 1) a passagem da luz deve se dar do meio mais refringente ( $n_1$ ) para o meio menos refringente ( $n_2$ ) e 2) o ângulo de incidência tem que ser maior que o ângulo limite. Perceba que, no caso de nossa atividade, escolhemos convenientemente a água e o ar para que a primeira condição seja satisfeita (só para lembrar,  $n_1$  da água = 1,33 e  $n_2$  do ar = 1). Em relação à 2ª condição, ela será satisfeita quando  $\text{sen}(i) > (n_2/n_1) \text{sen}(90^\circ)$ , ou seja, quando  $i > 49^\circ$ .

Para ilustrar como a luz é refletida no jato curvo de água, você pode desenhar no quadro um esquema como o mostrado na Figura 5 e ressaltar a semelhança do jato com a fibra óptica. Por último, não deixe de mencionar que o papel do café é simplesmente o de tornar o feixe de laser visível na água.

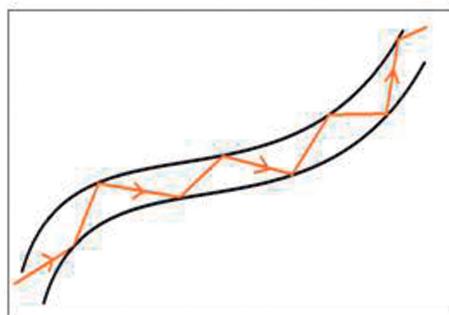


Figura 5

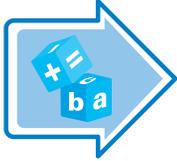
Fonte: Andreia Saguia.

## Seção 1 – Refração

## Seção 2 – Ângulo Limite

Páginas no material do aluno

195 a 206

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	O Copo invisível.	Uma jarra leiteira de vidro transparente, um copo de vidro comum, transparente e arredondado, que caiba na leiteira sem deixar muita folga, um copinho de vidro transparente, que tenha um diâmetro bem menor que o 1º copo (o copo de cachaça, por exemplo, pode ser uma boa opção) e água suficiente para encher o copo e a leiteira de vidro.	Nesta atividade, mostramos como o índice de refração nos permite diferenciar objetos e como podemos usá-lo para tornar objetos invisíveis. Vídeo ilustrando dessa atividade disponível no material anexo do professor (Mod4-Unid17-Sec1-atividade.wmv).	O professor interage com toda a turma.	30 minutos.

### Aspectos operacionais

- Refração é a mudança de direção que a luz sofre ao passar de um meio onde sua velocidade de propagação é  $v_1$  para outro meio onde sua velocidade é  $v_2$ . Este desvio que a luz sofre ao atravessar a interface que separa dois meios com índices de refração diferentes pode dar origem a uma série de efeitos visualmente interessantes. Aqui mostraremos um desses efeitos em que um copo de vidro desaparece, misteriosamente, ao ser imerso num recipiente com água. Parece mágica, mas, a física explica.
- A montagem experimental é bastante simples. Siga os passos conforme descritos a seguir.
- Coloque o copo vazio dentro da leiteira e encha-o vagarosamente com água. Balance o copo e mostre aos alunos a imagem dele dentro da leiteira.
- Agora encha mais o copo e deixe a água transbordar e encher também a leiteira. Acrescente a água aos poucos e vá mostrando aos alunos que a parte submersa do copo torna-se invisível (veja a Figura 1).
- Encha a leiteira de água até que o copo fique totalmente submerso e completamente invisível.

#### Figura ilustrativa

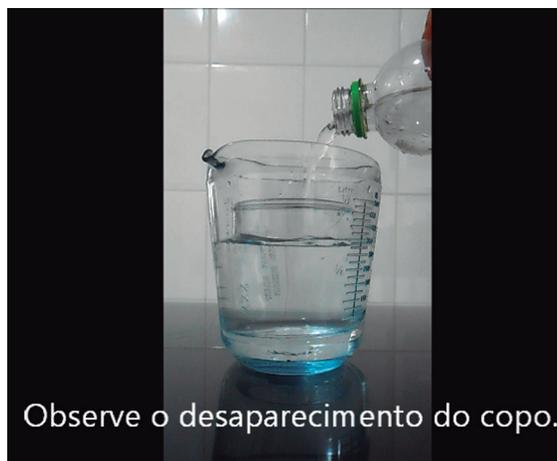


Figura 1  
Fonte: Andreia Saguia.

## Aspectos pedagógicos

Após a parte lúdica da atividade, com certeza os alunos vão se interessar em saber por que a parte submersa do copo torna-se invisível. Para tornar clara a explicação desse efeito de invisibilidade, você pode, nesse momento, realizar a segunda parte do experimento. Retire o copo de dentro da leiteira e coloque o copinho de cachaça. Encha o copinho de água e mostre aos alunos que, nesse caso, é possível ver o copo pequeno dentro da leiteira. Observe, no entanto, que a imagem do copinho aparecerá aumentada (mais gorda) em relação ao seu tamanho real. Isso ocorre porque os raios de luz que incidem na água são refletidos pelo copinho e sofrem refração ao passar da água ( $n_1 = 1,33$ ) para o ar ( $n_2 = 1,0$ ). Esse desvio da luz está ilustrado na Figura 2 a seguir (vista aérea do arranjo experimental). Veja que a água da leiteira funciona como uma lente de aumento, fornecendo uma imagem aumentada do copinho.

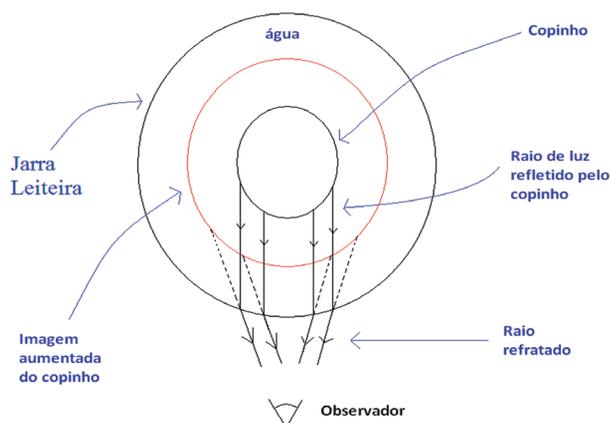


Figura 2  
Fonte: Andreia Saguia.

A mesma explicação vale para o 1º copo que inserimos na leiteira. O copo fica invisível porque a luz refletida por ele sofre refração ao passar da água para o ar. Como o copo e a leiteira possuem formatos e diâmetros próximos, a água da leiteira (que age como uma lente de aumento) projeta a imagem do copo sobre o vidro da leiteira. As imagens do copo e da leiteira se confundem (viram uma só) e o copo fica aparentemente invisível. Se você inclinar o copo dentro da leiteira, tornará aparente parte de seu contorno (para mais detalhes, consulte: Cad. Bras. Ens. Fís., v. 94 21, n. 1: p. 94-97, abr. 2004).

Por último, é interessante notar que para que haja feixe refratado é necessário que o índice de refração dos meios 1 e 2 sejam diferentes ( $n_1 \neq n_2$ ). Quando  $n_1 = n_2$ , dizemos que há continuidade óptica; nesse caso, não há luz refletida e também não há mudança na direção da luz ao mudar de meio. Por exemplo, quando colocamos um pote de vidro da marca Pirex (um tipo de vidro borossilicato) dentro de um recipiente contendo um óleo vegetal, como o de canola ou girassol, o pote Pirex desaparece dentro do óleo. A invisibilidade do pote ocorre porque tanto o vidro Pirex quanto o óleo vegetal possuem índice de refração  $n \approx 1,47$ ; como consequência, a luz que passa pelo óleo não sofre desvio ao incidir sobre o pote, tornando-o invisível. Uma experiência muito semelhante a essa (e também com um efeito muito legal) pode ser realizada com bolinhas de hidrogel (o pacotinho custa R\$ 1,50 em qualquer loja de utilidades ou jardinagem). Basta submergir as bolinhas num recipiente contendo água e esperar alguns minutos. Em pouco tempo, será possível observar seu completo desaparecimento dentro da água.

### Seção 3 – Lentes

Páginas no material do aluno

206 a 214

### Seção 4 – Formação de imagens em lentes

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Corrigindo a visão.	Software GeoGebra e o applet (Fisica_Mod4_Un17_Sec3.ggb) disponível no material anexo do professor.	Este applet apresenta os conceitos de lentes delgadas aplicadas à correção da formação de imagens em casos de miopia e hipermetropia. O perfil lateral de um globo ocular é apresentado, juntamente com uma lente. Dois raios luminosos paralelos passam pela lente antes de serem defletidos pelo cristalino em direção à retina. É possível alterar a convergência para: antes da retina (botão 'Miopia'), depois da retina (botão 'Hipermetropia') e normal (botão 'Visão normal'). O perfil da lente pode ser alterado através do controle deslizante apresentado.	O professor interage com toda a turma	15 minutos

## Aspectos operacionais

- Inicie uma breve discussão sobre os dois tipos de problemas visuais que serão abordados (miopia e hipermetropia).
- Pergunte sobre quais são os fatores relevantes em cada caso. Na miopia, os principais fatores são: excesso de convergência do cristalino e/ou globo ocular muito alongado, de modo que os raios convergem antes da retina. No caso da hipermetropia, os raios convergem depois da retina, em geral, devido à baixa convergência do cristalino e/ou ao comprimento reduzido do globo ocular.
- Peça aos alunos que discutam qual tipo de lente deve ser utilizado em cada caso. Nos casos de miopia, a lente deve ser divergente. Já as lentes divergentes são utilizadas em casos de hipermetropia.
- Inicie o applet. Mova o controle deslizante 'Lente' e veja que uma lente convergente ou divergente faz com que uma pessoa com visão normal tenha problemas ao focalizar objetos.
- Acione os botões 'Hipermetropia' ou 'Miopia' e deslize o controle da lente até corrigir o defeito na formação de imagens na retina.

## Aspectos pedagógicos

Este applet apresenta dois raios paralelos. Estes raios podem ser encarados como provenientes de um objeto pontual que se encontra longe do observador. Não devem ser encarados como provenientes de um objeto extenso localizado próximo do observador.

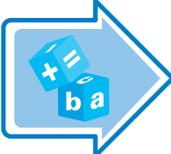
Outro aspecto importante, que deve ser ressaltado, é o tamanho da lente utilizada. Em geral, as lentes convergentes, por exemplo, são apresentadas como sendo construídas a partir da junção de duas calotas esféricas. Isso faz com que os alunos não percebam que basta um pedaço da lente para se obter os efeitos ópticos desejados.

### Seção 3 – Lentes

### Seção 4 – Formação de imagens em lentes

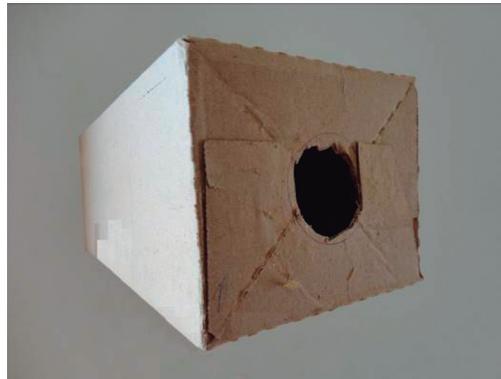
Páginas no material do aluno

206 a 214

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Miniprojetor.	Caixa de sapato, lupa, fita adesiva, isopor, celular ou tablet (tela pequena).	Nesta prática experimental, estabeleceremos uma projeção rudimentar onde serão observadas algumas características das lentes delgadas. Usaremos uma lente convergente e, neste caso, obteremos uma projeção invertida da imagem.	Grupos de 4 alunos.	45 minutos.

## Aspectos operacionais

- Em uma das faces da caixa de sapato, recorte uma circunferência do diâmetro da lente ou do suporte da lente da lupa.



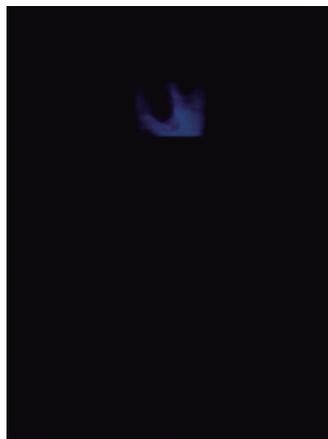
Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Fixe a lente ou a lupa na face recortada.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

- Estabeleça uma espécie de suporte móvel para o celular ou tablet. Este deve ficar na mesma altura da lente.
- Procure uma posição adequada para a melhor projeção, tanto o posicionamento interno do celular ou tablet quanto a distância entre a caixa (lente) e o anteparo.



Fonte: Fábio Ferreira Luiz.

## Aspectos pedagógicos

- Alguns celulares ou tablets, os mais modernos, possuem a propriedade de exibir a imagem invertida (sem o controle autorrotação). Este é um caso em que o professor poderá estabelecer um objeto já invertido ser exibido de maneira direita no anteparo.
- É importante salientar as propriedades das lentes esféricas e suas utilizações no dia a dia.
- É muito importante o escurecimento da sala.

### Seção 3 – Lentes

Páginas no material do aluno

**206 a 214**

### Seção 4 – Formação de imagens em lentes

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Lente esférica de água.	Um pote de vidro transparente e esférico como um aquário (ou um globo protetor de lâmpada), uma vela, fósforo, água suficiente para encher o pote e um texto de jornal.	Neste experimento, mostramos, através do processo de formação da imagem, como um pote esférico de vidro transparente, cheio de água, pode atuar como uma lente convergente.	O professor interage com toda a turma.	30 minutos.

## Aspectos operacionais

- Poucas pessoas se dão conta, mas as lentes convergentes estão presentes numa grande quantidade de instrumentos ópticos. Por exemplo, elas podem ser encontradas nas lupas, óculos, microscópios, câmera fotográfica, projetores, lunetas e até no olho humano. Basicamente, as lentes convergentes são utilizadas quando se deseja obter uma imagem ampliada do objeto a ser observado; no entanto, dependendo da distância em que o objeto se encontra, pode-se criar uma série de imagens com características bem diferentes.
- No século XVIII, quando ainda não existia luz elétrica, era comum usar-se potes de vidro com formato esférico cheios de água para focar a luz da vela. Dizem, não sei se é lenda, que rendeiras e bordadeiras, por exemplo, usavam este artifício para obter maior luminosidade em suas áreas de trabalho.
- Depois de toda essa motivação, que tal utilizar o pote de vidro para ilustrar o processo de formação da imagem por uma lente convergente? É fácil, siga os passos conforme descritos abaixo.
- Encha o pote esférico com água e deixe-o repousando sobre uma mesa próxima a uma parede. A parede servirá de anteparo para a imagem da chama da vela.
- Acenda a vela e escureça a sala o máximo que você puder.
- Agora, explore as seguintes situações:

1) Posicione a vela à distância de uns 15 cm do pote (o pote deve ficar entre a vela e a parede). Mova a vela no sentido de afastamento do pote até que se possa ver a chama da vela projetada na parede (veja a Figura 1 abaixo). Observe que a imagem da chama aparecerá invertida (mova a vela para cima e para baixo, esquerda e direita, e note que a imagem se moverá no sentido oposto);

2) Afaste e aproxime a vela do pote e mostre aos alunos como o tamanho da imagem ( $I$ ) se modifica em relação ao tamanho real da chama ( $O$ ). Numa lente convergente, se  $O$  estiver após  $2F$ , onde  $F$  é a distância focal da lente, então  $I < O$ ; se  $O$  estiver exatamente em  $2F$ , então,  $I = O$ ; por último, se  $O$  estiver entre  $2F$  e  $F$ ,  $I > O$ ;

3) Agora, aproxime bastante a vela do pote (cuidado para não esquentar demais o pote e ele acabar se partindo) e note que, a partir de um determinado ponto, a imagem da chama desaparece do anteparo. Este ponto é o foco da lente;

4) Apague a vela e acenda a luz da sala. Posicione uma folha de jornal (ou livro) bem próximo do pote e leia o texto através da água. Observe que, nesse caso, a lente de água se comporta como uma lente de aumento (veja a Figura 2).

## Figuras ilustrativas

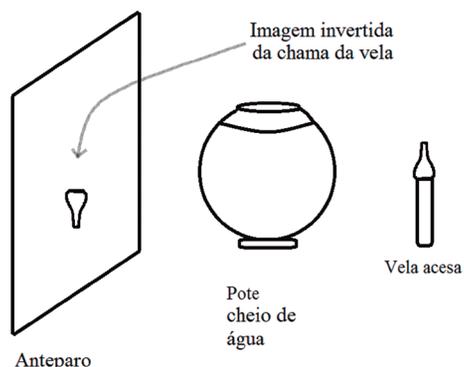


Figura 1  
Fonte: Andreia Saguia.



Figura 2

## Aspectos pedagógicos

Este experimento pode servir de base para uma boa discussão sobre refração e formação de imagem numa lente convergente. Por exemplo, partindo de um diagrama como o mostrado na Figura 3 abaixo, você pode mostrar como os raios luminosos da chama da vela se inclinam ao passar do ar para a água (aproximam-se da normal  $N1$ ) e depois para o ar novamente (afastam-se da normal  $N2$ ) até formar a imagem invertida no anteparo. Observe que a esfera de água atua como uma lente, focando a luz que passa através dela e formando uma imagem invertida do outro lado.

Também vale a pena ressaltar que quando o objeto se encontra muito próximo da lente (a uma distância menor que  $F = F'$ ), a lente não consegue inclinar os raios de luz o suficiente para fazê-los se cruzarem para formar a imagem (só para constar, no caso de uma esfera perfeita  $F = 2a$ , onde  $a$  é o raio da esfera). No entanto, quando olhamos para este objeto através da água (como no caso da Figura 2), enxergamos a imagem do objeto nitidamente e aumentada de tamanho. Isso ocorre porque a lente dos nossos olhos completa a inclinação dos raios, formando a imagem sobre a nossa retina. Nessa situação, a lente esférica de água atua como uma lente de aumento.

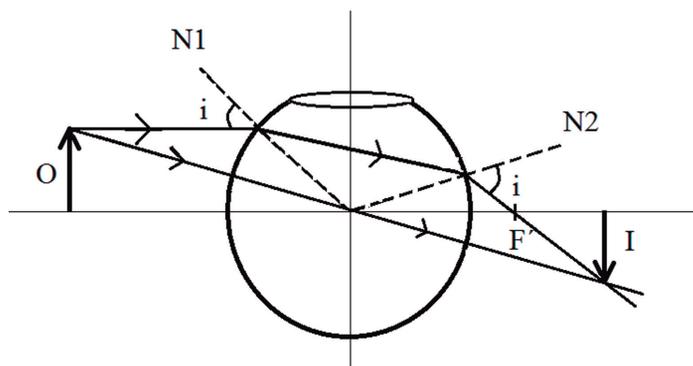


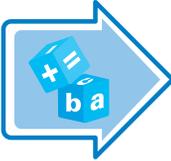
Figura 3  
Fonte: Andreia Saguia.

## Seção 3 – Lentes

Páginas no material do aluno

206 a 214

### Seção 4 – Formação de imagens em lentes

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Produzindo um arco-íris.	Um espelho plano pequeno (aqueles retangulares, de rosto, são uma boa opção), uma lanterna de luz branca e uma bacia com água que caiba o espelho dentro.	Nesta atividade, ilustramos o fenômeno da dispersão da luz produzindo um arco-íris totalmente caseiro. Vídeo ilustrando esta atividade disponível no material anexo do professor (Mod4-Unid17-Sec3-atividade.wmv).	O professor interage com toda a turma.	20 minutos.

### Aspectos operacionais

- Todos nós ficamos maravilhados quando somos surpreendidos, num dia chuvoso, com a presença de um arco-íris. Mas como será que eles se formam? De onde vêm aquelas cores tão bonitas que nos deixam impressionados? E por que eles só aparecem em lugares úmidos, como nas proximidades de uma cachoeira ou de chafarizes, e no céu, em dias chuvosos? Para ilustrar o fenômeno da dispersão da luz tal como a que gera o arco-íris, proponha aos alunos a atividade conforme descrita a seguir.
- Comece enchendo a bacia plástica com água. Coloque-a sobre uma mesa próxima a uma parede. A parede servirá de anteparo, o arco-íris será projetado sobre ela.
- Posicione o espelho um pouco inclinado dentro da bacia, com a face refletora virada para a parede. O espelho não precisa ficar totalmente submerso (veja a Figura 1).
- Escureça a sala o máximo que você puder.
- Agora ligue a lanterna e direcione o feixe de luz para a parte do espelho que se encontra submersa. O feixe de luz deve incidir na água e depois no espelho.
- Vá inclinando a lanterna e o espelho delicadamente até que se possa observar a formação do arco-íris na parede (veja a Figura 2).

## Figuras Ilustrativas



Figura 1  
Fonte: Andreia Saguia.

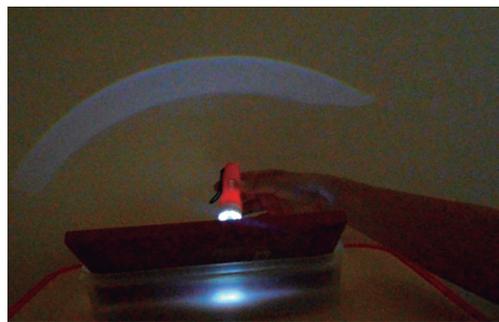


Figura 2

## Aspectos pedagógicos

Essa atividade é muito interessante porque envolve um fenômeno físico curioso do nosso cotidiano. Ao final da atividade, vale a pena chamar a atenção dos alunos para alguns aspectos desse fenômeno. Por exemplo: a luz branca é, na verdade, o resultado da junção de várias cores. Cada cor possui uma velocidade diferente na água (o vermelho, por exemplo, caminha mais rápido que o azul). Como consequência, quando a luz branca incide sobre a água, os raios luminosos penetram nela e são refratados com inclinações diferentes (o azul, por exemplo, sofre maior inclinação que o vermelho), o que provoca a separação das cores. Dizemos, nesse caso, que o feixe de luz branca sofre dispersão, abrindo-se num leque colorido. O feixe de luz colorido, dentro da água, é refletido no espelho, sofre novo processo de refração ao passar da água para o ar até ser projetado na parede como um lindo arco-íris.

## Avaliação

Tipos de Atividades	Título da Atividade	Material Necessário	Descrição Sucinta	Divisão da Turma	Tempo Estimado
	Lista de Exercícios: Aprendendo sobre Energia	Lápis e papel	A Lista de Exercícios a seguir aborda os tópicos desenvolvidos durante esta Unidade, tais como Refração, Lei de Snell e Lentes Convergentes e Divergentes. Um arquivo contendo a lista de exercícios a seguir está disponível no material anexo do professor.	Atividade Individual	1 aula

---

## Aspectos operacionais

Para o momento de avaliação, sugerimos a utilização do último tempo de aula destinado à Unidade 7. A seguir, apresentamos sugestões para a avaliação das habilidades pretendidas nesta Unidade.

- Faça um resumo sobre os conteúdos trabalhados durante a Unidade. Se desejar, utilize o resumo elaborado nesse material;
- Estimule os alunos a fazerem os exercícios listados a seguir.

---

## Aspectos pedagógicos

- É interessante selecionar alguns exercícios para resolver com os alunos, para que estes tenham uma primeira orientação a respeito de como solucioná-los. Os demais devem ser feitos pelos próprios alunos.
- Após a resolução das questões, proponha uma discussão sobre as soluções encontradas.
- Possivelmente, aparecerão soluções divergentes. Pondere as equivocadas, ressaltando onde reside o erro.

### Lista de Exercícios - Refração e aplicações

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO

(PUCCAMP 2004) A luz visível é a fonte de energia da qual dependem as plantas e, por conseguinte, todos os seres vivos. As radiações ultravioleta e infravermelha, que estão fora da faixa visível, podem também ter importância biológica.

1. A velocidade da luz, no vácuo, vale aproximadamente  $3,0 \cdot 10^8$  m/s. Para percorrer a distância entre a Lua e a Terra, que é de 3,9.10<sup>5</sup> km, a luz leva:

- a) 11,7 s
- b) 8,2 s
- c) 4,5 s
- d) 1,3 s
- e) 0,77 s

2. (CESGRANRIO 93) O fenômeno óptico que melhor explica o fato de termos a impressão de que por alguns capilares do braço flui sangue de cor azul é denominado:

- a) reflexão

- b) difração
- c) refração
- d) espelhismo
- e) interferência

3.(FGV 2006) O professor pede aos grupos de estudo que apresentem à classe suas principais conclusões sobre os fundamentos para o desenvolvimento do estudo da Óptica Geométrica.

GRUPO I - Os feixes de luz podem apresentar-se em raios paralelos, convergentes ou divergentes.

GRUPO II - Os fenômenos de reflexão, refração e absorção ocorrem isoladamente e nunca simultaneamente.

GRUPO III - Enquanto num corpo pintado de preto fosco predomina a absorção, em um corpo pintado de branco predomina a difusão.

GRUPO IV - Os raios luminosos se propagam em linha reta nos meios homogêneos e transparentes.

São corretas as conclusões dos grupos

- a) I e III, apenas.
- b) II e IV, apenas.
- c) I, III e IV, apenas.
- d) II, III e IV, apenas.
- e) I, II, III e IV.

4.(Mackenzie 99) Um raio luminoso monocromático, ao passar do ar (índice de refração =1,0) para a água, reduz sua velocidade em 25%. O índice de refração absoluto da água para esse raio luminoso é de aproximadamente:

- a) 1,2
- b) 1,3
- c) 1,4
- d) 1,5
- e) 1,6

5.(PUCCAMP 98) Considere as afirmações acerca da refração da luz.

I. Ela somente ocorre com desvio dos raios luminosos.

II. O raio refratado se aproxima da normal no meio mais refringente.

III. A refração somente ocorre do meio menos refringente para o mais refringente.

IV. No meio mais refringente a velocidade da luz é menor.

São corretas SOMENTE

a) I e II

b) I e III

c) I e III

d) II e IV

e) III e IV

6.(PUCCAMP 99) Os tamanhos do Sol e da Lua são aparentemente maiores quando próximos ao horizonte do que na posição acima de nossas cabeças. Isso é explicado pelo fato de

a) o índice de refração do ar atmosférico aumentar com a sua densidade.

b) a luz atravessar mais rapidamente os meios densos.

c) a luz se propagar do meio mais refringente para o menos refringente.

d) a luz proveniente do astro no horizonte sofrer reflexão total na atmosfera.

e) a transparência do ar variar com a cor da luz incidente.

7.(PUCCAMP 2000) O texto a seguir tem quatro expressões maiúsculas que se referem ao fenômeno de reflexão da luz ou ao fenômeno de refração da luz.

"Estamos numa manhã ensolarada. A LUZ DO SOL ATRAVESSA A ÁGUA DA PISCINA,(1) ILUMINANDO O FUNDO (2) que parece estar mais acima. Na sala, a luz do sol, que PASSA PELA VIDRAÇA, (3) é ESPALHADA PELAS PAREDES BRANCAS, (4) tornando a sala ainda mais clara.

A reflexão da luz é o fenômeno principal correspondente às expressões

a) 1 e 2

b) 1 e 3

c) 2 e 3

d) 2 e 4

e) 3 e 4

8.(PUCMG 2007) Assinale a afirmativa correta.

- a) Os fenômenos de reflexão e refração não ocorrem simultaneamente, apenas isoladamente.
- b) Se colocarmos um espelho comum sob a luz solar, ele não se aquece, pois toda luz é refletida, não sendo absorvida nenhuma parcela de energia radiante incidente.
- c) O astigmatismo é um defeito do sistema óptico responsável pela formação de uma imagem pontual, mesmo que o objeto seja extenso.
- d) Um meio óptico perfeito é aquele no qual o único fenômeno que ocorre é o da refração.

9.(UDESC 97) Em um dia quente, ao percorrermos uma estrada asfaltada, temos a impressão de que ela está "molhada" à nossa frente. Tal fenômeno é consequência da:

- a) polarização da luz;
- b) refração da luz;
- c) difração da luz;
- d) dispersão da luz;
- e) interferência da luz.

### **Gabarito:**

Resposta da questão 1: [D]

Resposta da questão 2: [C]

Resposta da questão 3: [C]

Resposta da questão 4: [B]

Resposta da questão 5: [D]

Resposta da questão 6: [A]

Resposta da questão 7: [D]

Resposta da questão 8: [D]

Resposta da questão 9: [B]

