

Integração entre Óptica e Robótica: atividade prática com o efeito Monga com controle de iluminação via Arduino

Integration between Optics and Robotics: a practical activity with the Monga effect and lighting control via Arduino

G.M. Santos^{*1}, I.B. Catellani¹, M.L.G. Pereira¹, R.T. Santiago², E.V. Bergmann¹

¹Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Física, 87020-900, Maringá, PR, Brasil.

²Instituto Federal do Paraná, 85201-106, Pitanga, PR, Brasil.

Recebido em 30 de janeiro de 2026. Revisado em 05 de junho de 2026. Aceito em 12 de junho de 2026.

Este artigo apresenta uma proposta didática voltada ao Ensino Médio para a exploração de conceitos fundamentais de óptica, utilizando o efeito Monga aliado à automação eletrônica com Arduino. A atividade permite explorar fenômenos como reflexão, transmissão e formação de imagens de forma prática, acessível e de baixo custo. A principal inovação consiste na automatização da alternância da iluminação dos objetos, com controle gradual de intensidade, realizada por meio de potenciômetro ou chaves táteis conectadas ao Arduino, o que favorece transições mais suaves na ilusão óptica. Essa integração entre a robótica e a óptica cria um ambiente interdisciplinar, podendo contribuir para a aprendizagem conceitual e estimular o interesse dos estudantes pela ciência e pela tecnologia.

Palavras-chave: Óptica geométrica, Prática didática, Ilusão óptica, Robótica educacional.

This article presents a didactic proposal aimed at secondary education for the exploration of fundamental concepts of optics, using the Monga effect combined with Arduino based electronic automation. The activity allows the exploration of phenomena such as reflection, transmission, and image formation in a practical, accessible, and low cost way. The main innovation consists in the automation of the alternation of object illumination, with gradual intensity control implemented through a potentiometer or tactile switches connected to the Arduino, which favors smoother transitions in the optical illusion. This integration between robotics and optics creates an interdisciplinary environment, which may contribute to conceptual learning and stimulate students' interest in science and technology.

Keywords: Geometrical optics, Didactic practice, Optical illusion, Educational robotics.

1. Introdução

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que engloba Biologia, Física e Química, tem como objetivo a construção de um conhecimento contextualizado. Esse processo formativo busca preparar os estudantes para tomar decisões, agir de maneira proativa, construir argumentos sólidos, propor alternativas viáveis e utilizar diferentes tecnologias de forma criteriosa [1]. Entretanto, o ensino de Física no Brasil ainda é, muitas vezes, apresentado de forma abstrata e distante do cotidiano dos alunos, o que resulta em aprendizagens pouco significativas, desinteresse pela disciplina e dificuldade em articular teoria e prática, elementos essenciais para a compreensão dos conceitos científicos [2, 3].

A ausência de atividades práticas constitui um dos principais desafios nas aulas de Física. A integração entre teoria e prática pode contribuir significativamente

para a melhoria da aprendizagem, oferecendo apoio para que os alunos compreendam situações concretas do seu cotidiano [4]. Diversas pesquisas destacam que o uso de práticas em sala de aula desempenha um papel fundamental tanto na explicação e exemplificação de conceitos físicos quanto na criação de um ambiente lúdico capaz de despertar o interesse dos estudantes pela disciplina [5–9].

Um exemplo notável de como atividades práticas podem tornar o ensino mais atrativo é a ilusão conhecida como Fantasma de Pepper (*Pepper's Ghost*), popularizado na década de 1860 por John Henry Pepper. Originalmente concebido como um truque de palco, Pepper também o idealizou como uma ferramenta didática para demonstrar princípios fundamentais da óptica, favorecendo a aprendizagem em Física. A técnica produz a ilusão de um objeto flutuar ou surgir em um local, sem que ele esteja fisicamente presente [10, 11]. Com o tempo, essa ilusão ganhou novas aplicações, sendo incorporada em parques de diversões em atrações como a famosa “Monga”, na qual uma mulher parece se transformar em um gorila diante do público.

*Endereço de correspondência: guisawyer@yahoo.com.br

Editor-Chefe: Marcello Ferreira

No contexto do Novo Ensino Médio, os itinerários formativos passaram a incluir áreas como Robótica, Energia e Astronomia [12, 13]. Além disso, existem modelos educacionais que integram o ensino médio ao técnico, como é o caso dos Institutos Federais, que contam com cursos de tecnologia [14]. Essa proposta favorece a interdisciplinaridade, permitindo que os estudantes explorem simultaneamente conceitos de Física e habilidades práticas ligadas ao uso de componentes eletrônicos. O objetivo deste artigo é integrar a robótica à óptica, utilizando o controle da iluminação para explorar a formação de imagens, com base nos fenômenos de reflexão e transmissão da luz.

Embora já existam diversos trabalhos voltados ao ensino de óptica [15–21], este artigo se distingue por unir a fundamentação física da ilusão com a utilização do Arduino no controle da iluminação, apresentando ainda um guia prático para a montagem completa da prática. São destacados os cuidados necessários durante a construção, com ênfase no uso de materiais de baixo custo, muitos deles já incluídos nos kits de Robótica fornecidos pelo estado [22]. Além disso, propomos um roteiro didático a ser aplicado em sala de aula, com o objetivo de, ao final, permitir que os alunos compreendam tanto os conceitos da ilusão óptica quanto os princípios da eletrônica. Esse roteiro pode, ainda, ser utilizado como base para um projeto interdisciplinar de Robótica, com alto potencial para ser apresentado em feiras de Ciências nas escolas, caso o professor deseje aplicar essa abordagem.

2. A Física por Trás da Ilusão: Análise Óptica do Efeito Monga

A prática do efeito Monga tem como finalidade criar a ilusão de que um corpo “se transforma” em outro, alternando entre imagens de dois objetos distintos. Para isso, utilizamos dois objetos, preferencialmente com o mesmo formato, mas de características visuais diferentes, como, por exemplo, duas latas de refrigerante de marcas distintas. Esses objetos funcionam como fontes secundárias, refletindo a luz emitida por fontes primárias, como lanternas, e tornando-se visíveis aos olhos do observador.

Posicionamos os objetos em corredores separados, com uma placa de acrílico inclinada a 45° entre eles. Esse ângulo é crucial para que a luz seja refletida ou transmitida de acordo com o pretendido, de modo que as imagens se formem na mesma linha de visão. Na Figura 1 temos uma vista superior da prática, mostrando a posição dos objetos, do acrílico e das barreiras separando cada objeto.

A alternância na iluminação desses objetos faz com que o observador veja apenas um deles por vez. Em certos momentos, ambos os corpos são iluminados simultaneamente, o que provoca a sobreposição das imagens, criando a ilusão de transformação quando os dois

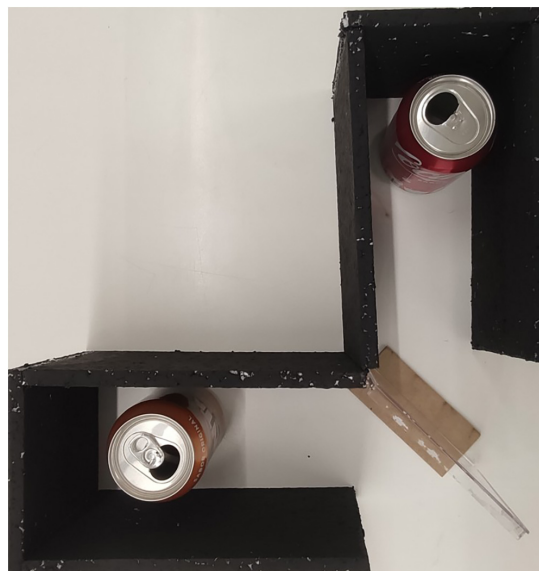


Figura 1: Vista de cima da maquete com os objetos posicionados.

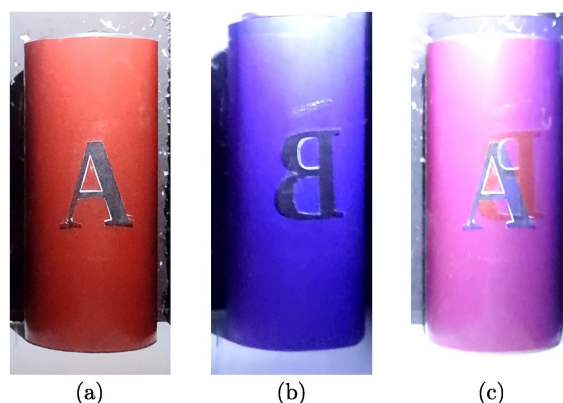


Figura 2: Imagens da prática Monga ilustrado em um vídeo de curta duração, que evidenciam os fenômenos ópticos envolvidos, no qual usamos duas latas de refrigerantes de marcas diferentes [23]. (a) Vemos a imagem da lata Vermelha através do material, gerada pelos raios transmitidos. (b) Imagem refletida da lata da Azul. (c) Sobreposição das duas imagens, quando a lanterna está iluminando um pouco cada corpo.

são observados sucessivamente, conforme ilustrado na Figura 2.

A ilusão resulta da superposição entre a luz transmitida (Figura 2a) e a luz refletida (Figura 2b) pela placa de acrílico. Para o efeito ser convincente, as duas imagens devem ficar aproximadamente alinhadas na direção do observador. Para isso, é fundamental entender como a luz reflete e é transmitida através de um meio transparente. Além disso, é necessário a compreensão de como o posicionamento dos objetos da prática influencia na formação das imagens.

A visualização de um objeto depende dos raios de luz que chegam aos nossos olhos. Esses raios podem ser emitidos diretamente por uma fonte primária, como o

Sol, ou refletidos por uma fonte secundária, como a Lua. Essa distinção é importante porque objetos que atuam como fontes secundárias só podem ser vistos quando iluminados por uma fonte primária, ou seja, na ausência de iluminação, esses objetos não são percebidos.

Dentre os fenômenos ópticos relevantes para nosso estudo, destacam-se a reflexão, a transmissão e a refração [24, 25]. Embora a absorção também aconteça, contribuindo para a perda de intensidade luminosa, ela não será o foco de nossa análise.

Começemos pela imagem observada por transmissão. Quando a luz atravessa uma placa plana de material transparente, sofre refração ao passar do ar para o acrílico e, em seguida, ao passar do acrílico para o ar. Ao emergir no meio externo, o raio luminoso volta a apresentar a velocidade de propagação e o comprimento de onda característicos desse meio, embora sofra um deslocamento lateral em relação à trajetória original, como pode ser observado na Figura 3a [26–28]. Utilizando a lei de Snell e a trigonometria, é possível calcular esse deslocamento que a luz sofre ao atravessar um material. Para tornar o feixe de laser mais visível, pode-se utilizar pó de giz (ou um desodorante) para ajudar no espalhamento da luz. Nesse contexto, o professor pode explorar o conceito de espalhamento para discutir fenômenos como a escuridão do universo, mesmo na presença do Sol, relacionando-o à ausência de meios suficientemente densos para refletir ou espalhar a luz no espaço.

Esse deslocamento da luz não é percebido diretamente pelos nossos olhos, o que faz com que ignoremos o desvio ocorrido em sua trajetória. Como resultado, a imagem do objeto parece deslocada em relação à sua posição original, conforme ilustrado na Figura 3b. Quando prolongamos, em linha reta, os raios de luz que chegam aos nossos olhos, encontramos o ponto de convergência onde a imagem é formada. Essa “origem aparente” é o que chamaremos aqui de posição aparente da imagem.

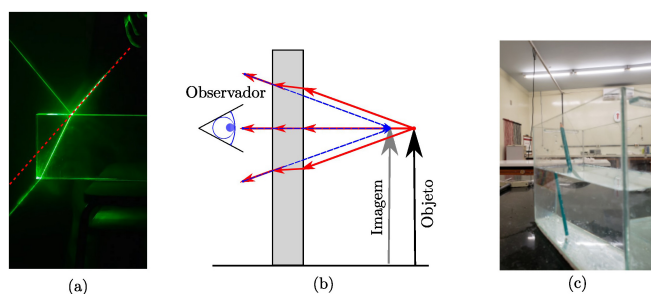


Figura 3: (a) Laser verde incidindo num acrílico ocorrendo a reflexão, transmissão e refração. Uma linha tracejada (em vermelho) foi traçada a partir do raio incidente até o final mostrando o deslocamento em relação ao raio real. (b) Posição aparente do objeto devido a refração da luz. As setas vermelhas representam os raios incidentes do objeto, enquanto as setas azuis tracejadas representam o prolongamento dos raios luminosos e indicam a posição da imagem do objeto. (c) Refração causando a ilusão no lápis.

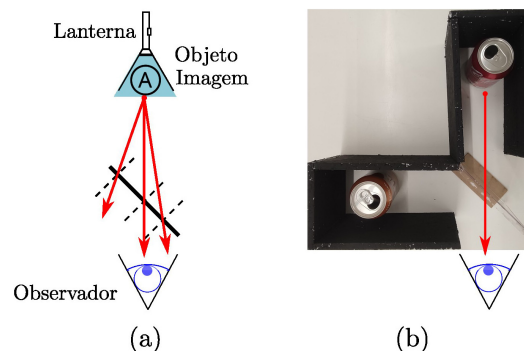


Figura 4: Em (a) e (b) diagramas dos raios saindo do corpo “A” mostrando onde ocorre a formação da imagem.

Esse fenômeno também é observado na posição aparente do Sol e das estrelas no céu, que parecem deslocados devido à refração da luz na atmosfera terrestre. Um exemplo comum para ilustrar esse fenômeno é o conhecido efeito do “lápis torto” em um copo com água: a parte do lápis que está submersa parece dobrada ou quebrada, dependendo do ângulo sob o qual o observador o enxerga. Esse desvio pode ser explicado pela diferença entre os índices de refração da água e do ar, que altera a direção de propagação dos raios de luz ao incidirem obliquamente na superfície de separação entre os meios (Figura 3c).

Aplicando isso na prática da Monga, quando iluminamos exclusivamente o corpo que está na parte superior à direita, que chamaremos de objeto “A”, como ilustrado na Figura 4, ocorre o fenômeno da transmissão da luz. Como o observador está posicionado em um ângulo de 45° em relação ao acrílico, o feixe sofre pequeno deslocamento lateral. No entanto, devido à pequena espessura do acrílico (1 mm), esse deslocamento é praticamente imperceptível, de modo que a imagem é vista no mesmo local onde o objeto se encontra. Dessa forma, a imagem transmitida é percebida quase no mesmo local físico do corpo “A”, mantendo a coerência visual entre o objeto real e a imagem observada.

Passemos agora à formação da imagem observada por reflexão, caso em que a placa de acrílico atua como um espelho plano. Para facilitar a compreensão, consideram-se três raios (em vermelho na Figura 5a) que partem de um mesmo ponto do objeto. Após a reflexão, os raios seguem divergentes, mas seus prolongamentos para trás do espelho (em azul tracejado) se cruzam em um ponto comum, que define a posição da imagem virtual. Desse modo, quando um raio refletido chega aos olhos do observador, a imagem é percebida como se estivesse localizada atrás do espelho.

Ao iluminar exclusivamente o corpo que está no canto inferior à esquerda (Figura 5b), que chamaremos de objeto “B”, os raios luminosos incidem no acrílico e predomina a reflexão na placa. O prolongamento dos raios refletidos (linha azul tracejada) converge em um mesmo ponto, formando a imagem refletida. O reflexo

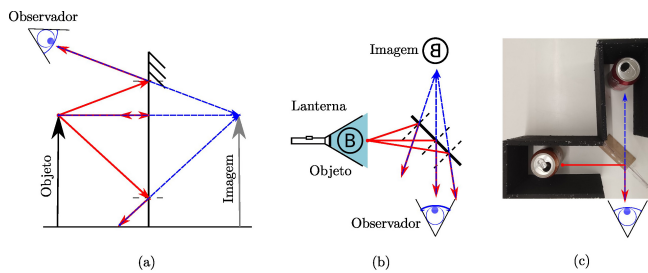


Figura 5: (a) Formação da imagem virtual em um espelho plano. As setas vermelhas representam os raios incidentes e refletidos, enquanto as setas azuis tracejadas correspondem ao prolongamento dos raios refletidos que convergem atrás do espelho, originando a imagem virtual. Em (b) e (c) diagramas dos raios saindo do corpo “B” mostrando onde ocorre a formação da imagem.

forma-se de tal maneira que a imagem do objeto “B” coincide com a posição física do objeto “A”, reforçando a ilusão de transformação. No entanto, como “A” não está sendo iluminado, ele não pode ser visualizado, e é a imagem de “B” que predomina.

O deslocamento causado pela refração não compromete significativamente a imagem observada por transmissão. Já para a imagem formada por reflexão é importante que o meio transparente utilizado seja o mais fino possível a fim de minimizar a separação entre as reflexões geradas em suas duas interfaces. Isso ocorre porque parte da luz é refletida tanto na primeira interface (ar/acrílico) quanto na segunda (acrílico/ar), formando duas imagens distintas cuja separação aumenta com a espessura do acrílico. Em materiais muito finos (Figura 6), como uma capa de CD, essas imagens praticamente se sobrepõem, e a ilusão se mantém nítida; já em placas mais espessas (Figura 7), a separação entre elas se torna perceptível, fazendo com que a ilusão perca nitidez e pareça desfocada.

Além da escolha adequada do meio transparente, outro aspecto essencial para garantir a qualidade da ilusão é o controle da iluminação. Como cada objeto deve predominar isoladamente em certos instantes, é necessário instalar barreiras entre eles, de modo que a

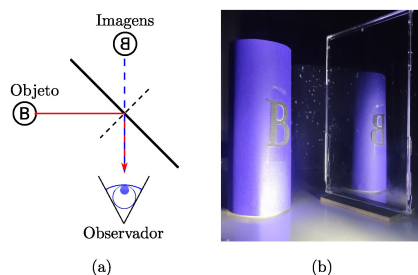


Figura 6: (a) Reflexões nas interfaces de um meio transparente de 1 mm, gerando duas imagens sobrepostas. (b) Imagens obtidas com uma placa de acrílico de 1 mm, onde a duplicação não é perceptível.

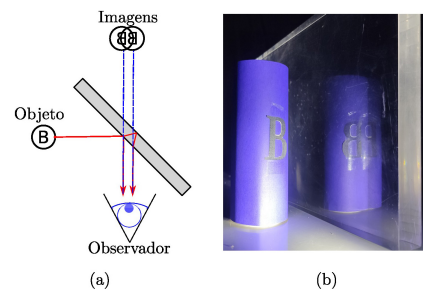


Figura 7: (a) Reflexões nas interfaces de um meio transparente de 30 mm, resultando em imagens deslocadas. (b) Imagens obtidas com uma placa de acrílico de 30 mm, evidenciando a separação das reflexões.

luz não atinja o outro. Esse cuidado assegura que apenas uma imagem seja formada de cada vez e que, durante a transição, as duas imagens se sobreponham de forma controlada, produzindo a transformação característica da ilusão.

A iluminação ambiente deve ser cuidadosamente controlada, pois a parcela transmitida costuma ser bem maior do que a parcela refletida. Isso acontece porque, ao atravessar o acrílico, uma maior quantidade de luz é transmitida diretamente, enquanto uma fração menor é refletida na superfície. Se o ambiente não for adequadamente controlado, a imagem transmitida pode se sobrepor à refletida, tornando apenas o objeto transmitido visível e prejudicando a ilusão de transformação. Portanto, é essencial realizar a prática em um ambiente com pouca luminosidade externa.

3. Automatizando a Iluminação com o Arduino

Nesta seção, apresentamos a automatização da iluminação da prática com Arduino, em duas configurações: controle por potenciômetro e controle por chaves táteis. Utilizaram-se LEDs brancos de alto brilho de 10 mm, dispostos em pares em cada compartimento para intensificar a luminosidade. Inicialmente, analisamos as limitações do controle apenas com potenciômetro e, em seguida, introduzimos o Arduino como solução para uma transição luminosa mais suave e precisa. Os códigos utilizados estão disponíveis nos Apêndices A e B, e as simulações no *Tinkercad* [29] podem ser acessadas no repositório do *GitHub* [30].

3.1. Controle da iluminação apenas com potenciômetro

Inicialmente, testamos uma solução simples para o controle da iluminação, utilizando apenas LEDs, resistores, um potenciômetro e uma fonte de 5 V, com o objetivo de ilustrar as limitações dessa abordagem. Nessa configuração, o potenciômetro atua como divisor de tensão, fornecendo ao terminal central uma tensão variável entre 0 V e 5 V.

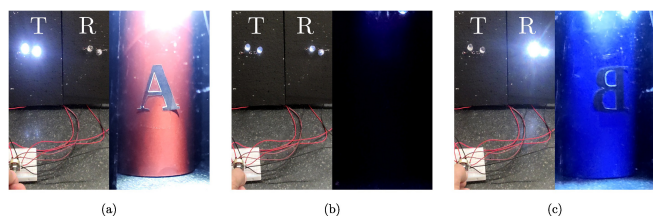


Figura 8: Imagens da iluminação (esquerda) com os LEDs que formam as imagens transmitidas (T) e refletidas (R), e a imagem formada (direita). (a) Somente os LEDs da imagem transmitida acesos. (b) Transição das imagens, com iluminação quase idêntica nos LEDs. (c) Somente os LEDs da imagem refletida acesos. Ilustração de um vídeo de curta duração [32].

Entretanto, os LEDs possuem uma tensão mínima de condução (*forward voltage*, V_f), de aproximadamente 2,7 V para LEDs brancos [31]. Assim, abaixo desse limiar, a corrente é muito pequena e o LED permanece apagado, enquanto acima dele ocorre o acendimento com variação de brilho não linear.

Como consequência, essa abordagem não produz uma transição luminosa contínua entre os compartimentos. Surge uma faixa de ajuste em que ambos os LEDs permanecem apagados ou com baixa luminosidade, comprometendo a sobreposição das imagens necessária ao efeito Monga, como ilustrado na Figura 8.

Essa limitação motiva o uso de estratégias de controle mais adequadas, como o uso do Arduino.

3.2. Controle da iluminação com potenciômetro e Arduino

Para superar as limitações do controle direto por tensão, utilizamos o Arduino em conjunto com um potenciômetro (Figura 9). Nesse arranjo, o potenciômetro é conectado entre o 5 V e o GND, com o terminal central ligado à entrada analógica A0 do Arduino. A tensão na entrada analógica varia em função da resistência ajustada pelo potenciômetro, fornecendo uma leitura digital entre 0 e 1023 [33].

Esses valores são escalonados pela função `map()`, mapeando-os para a faixa de 0 a 255, e aplicados aos

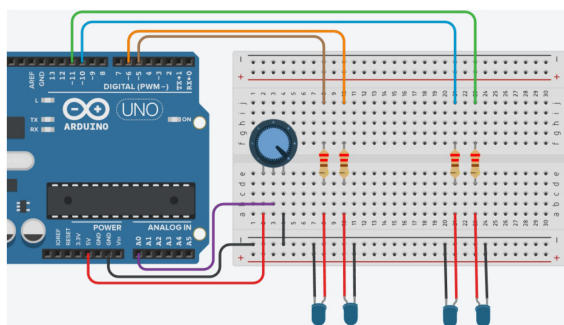


Figura 9: Esquema feito no *Tinkercad* usando um potenciômetro para fazer a alternância de iluminação.

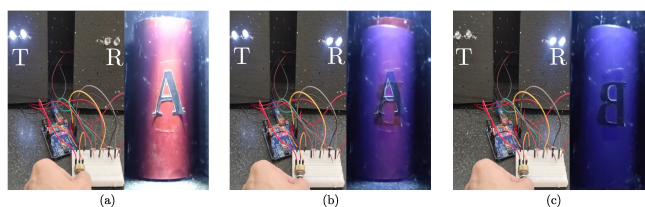


Figura 10: Imagens da iluminação (esquerda) com os LEDs que formam as imagens transmitidas (T) e refletidas (R), e a imagem formada (direita). (a) Somente os LEDs da imagem transmitida acesos. (b) Transição das imagens, com iluminação quase idêntica nos LEDs. (c) Somente os LEDs da imagem refletida acesos. Ilustração de um vídeo de curta duração [34].

LEDs por meio de pinos com modulação por largura de pulso (PWM). No Arduino Uno, esses pinos são identificados pelo símbolo ~, e sua função é simular uma saída analógica por meio da técnica de modulação de largura de pulso, permitindo o uso da função `analogWrite()`.

Dessa forma, é possível controlar a intensidade luminosa de forma contínua: enquanto um conjunto de LEDs aumenta de brilho, o outro diminui na mesma proporção. Isso elimina a região de baixa intensidade observada anteriormente e garante uma transição suave entre as imagens, conforme mostrado na Figura 10.

3.3. Controle por chave tátil

Nesta configuração, a alternância da iluminação é realizada por meio de duas chaves táteis, também conhecidas como botões (*push button*), conforme ilustrado na Figura 11. As entradas são configuradas com `INPUT_PULLUP`, de modo que o pino permanece em nível alto quando o botão não está pressionado e passa a nível baixo quando é acionado.

Ao pressionar um dos botões, o Arduino executa uma transição gradual entre os conjuntos de LEDs utilizando portas PWM. Para isso, emprega-se um laço de repetição que ajusta progressivamente a intensidade luminosa, enquanto o outro conjunto é reduzido na mesma proporção.

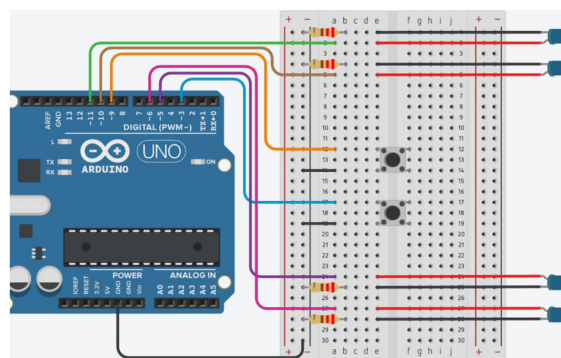


Figura 11: Esquema feito no *Tinkercad* usando duas chaves para fazer a alternância de iluminação.

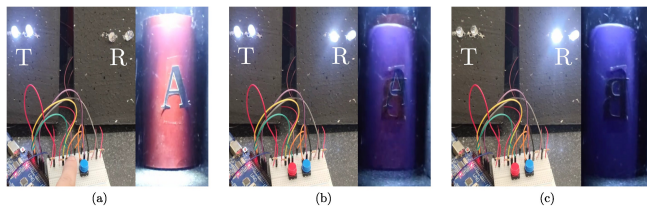


Figura 12: Imagens da iluminação (esquerda) com os LEDs que formam as imagens transmitidas (T) e refletidas (R), e a imagem formada (direita). (a) Somente os LEDs da imagem transmitida acesos. (b) Transição das imagens, com iluminação quase idêntica nos LEDs. (c) Somente os LEDs da imagem refletida acesos. Ilustração de um vídeo de curta duração [35].

Para tornar essa variação perceptível, utiliza-se um pequeno intervalo de tempo entre as etapas da transição. Além disso, define-se uma condição inicial em que um conjunto de LEDs está aceso e o outro apagado.

Essa abordagem permite alternar a iluminação de forma controlada e reproduzível, mantendo a continuidade da transição luminosa necessária para a formação do efeito Monga, como mostrado na Figura 12.

3.4. Materiais utilizados

Os materiais empregados na montagem do circuito de iluminação podem ser divididos em dois grupos: materiais comuns às duas configurações e componentes específicos de cada prática.

- Arduino Uno;
- 4 LEDs brancos de alto brilho de 10 mm;
- 4 resistores de 220 Ω ;
- Jumper (fios);
- Protoboard;
- Potenciômetro de 10 k Ω (apenas para 1ª prática);
- 2 chaves táteis (*push buttons*) (apenas para 2ª prática).

4. Montagem da Atividade

A estrutura que suportará os objetos pode ser construída com materiais acessíveis, como isopor, papelão, madeira (MDF), acrílico escuro ou até impressão 3D

(disponível em [30]). Dentre essas opções (apresentadas na Figura 13), o isopor e o papelão se destacam por serem mais baratos e fáceis de manusear. Nesta seção, apresentamos a montagem utilizando isopor, mas a adaptação para outros materiais é simples, conforme os recursos disponíveis.

Os materiais utilizados nesta prática foram: uma folha de isopor com 10 mm de espessura, empregada na construção das paredes e do teto; uma régua para medições; um pincel para quadro branco ou permanente para marcações; um estilete para cortar o isopor; uma estrutura de acrílico, representada por uma capa de CD/DVD, com 1 mm de espessura e dimensões de 120 mm $\times$ 140 mm (largura $\times$ altura), que atuou como meio óptico; cola para isopor; tinta preta aplicada com pincel; e duas latas de refrigerante de marcas diferentes, mas com dimensões idênticas, que serviram como objetos.

Para iluminar cada objeto individualmente, é essencial garantir que a luz atinja apenas um deles. Isso exige a criação de compartimentos que impeçam que a luz de um LED alcance o outro objeto. O tamanho das divisórias depende das dimensões dos objetos escolhidos, e os muros laterais devem ser ligeiramente maiores que os objetos para impedir que a luz de um compartimento alcance o outro, evitando interferências na ilusão.

As divisórias foram confeccionadas com isopor de 10 mm. Com auxílio da régua e do pincel, marcaram-se as dimensões necessárias. Foram preparadas oito peças de isopor: quatro para os muros laterais (200 $\times$ 150 mm), duas para o fundo (120 $\times$ 150 mm) e duas para o teto (120 $\times$ 210 mm). Após o corte, toda a superfície foi pintada de preto, como mostrado na Figura 14a. As peças foram unidas com cola de isopor, conforme apresentado na Figura 14b, deixando o teto removível para facilitar a posição dos objetos. A capa de CD/DVD foi fixada em uma base de madeira para garantir estabilidade (Figura 14c).

O posicionamento das latas e do acrílico é crucial para que as imagens formadas pela reflexão e transmissão coincidam, garantindo o efeito da ilusão óptica. Uma forma prática de organizar a disposição é unir as estruturas sobre uma base quadrada (linha tracejada), posicionando os objetos nas extremidades de uma diagonal e o acrílico na outra, como ilustrado na Figura 15.

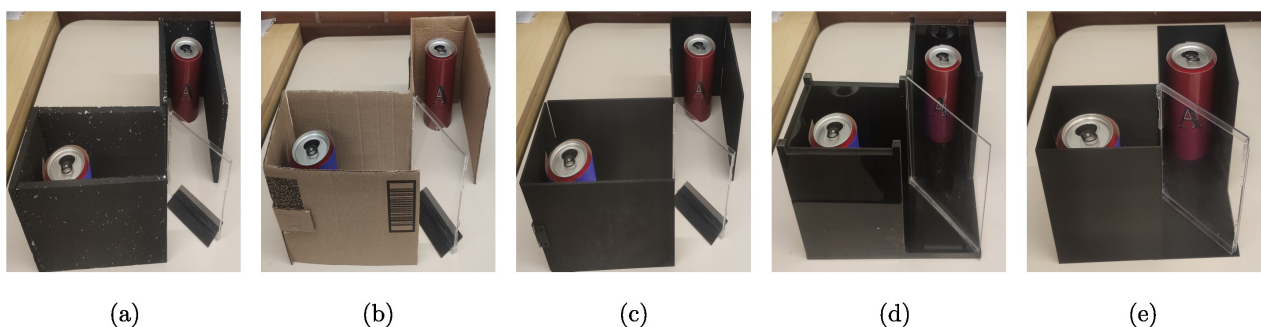


Figura 13: Estruturas feitas de (a) isopor, (b) papelão, (c) madeira MDF, (d) acrílico e (e) impressora 3D.

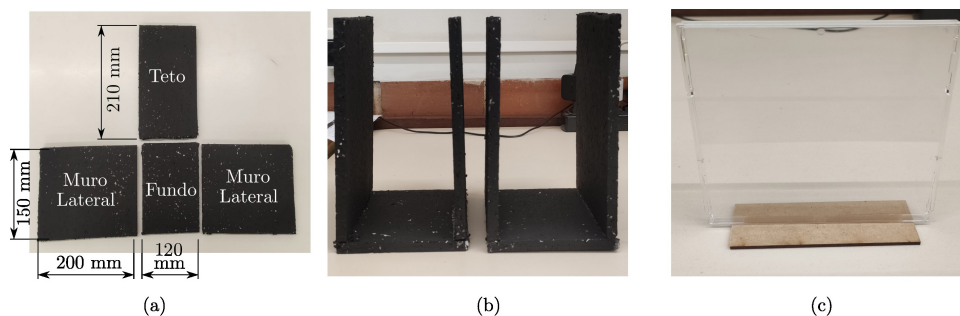


Figura 14: (a) Dimensões das divisórias que farão parte do compartimento para o objeto. (b) Os dois compartimentos com os isopores colados. (c) Acrílico colado numa base de madeira.

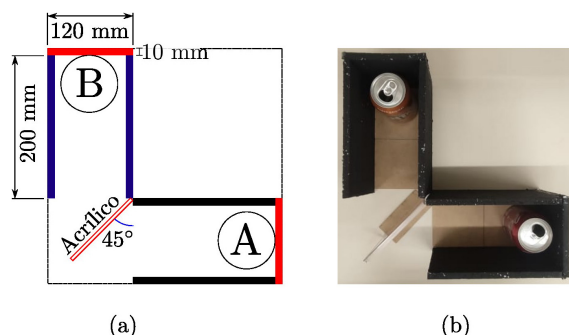


Figura 15: Vista de cima (a) com as medidas e (b) foto da maquete.

No teto de isopor, foram feitos dois furos para passagem dos fios dos LEDs. O posicionamento dos LEDs deve permitir que iluminem a frente do objeto, não diretamente acima. Posicionando os LEDs no centro do teto, com os objetos próximos ao muro do fundo, obtém-se iluminação adequada.

5. Explorando a Monga no Ensino

No ensino de óptica, o efeito da Monga oferece uma maneira prática e visual de ilustrar conceitos de reflexão e transmissão da luz. Ele permite que os alunos compreendam qualitativamente esses fenômenos de forma acessível e diretamente observável. Esta seção propõe um roteiro didático para auxiliar o professor na execução dessa prática.

O roteiro foi planejado para ser aplicado em dois dias, com aulas de 1h e 40 minutos de duração, estruturado com base nos três momentos pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento [36].

5.1. Dia 1: Problematização inicial e organização do conhecimento

1º Momento: problematização inicial

O professor inicia a aula apresentando a ilusão da Monga já montado, utilizando uma lanterna como fonte de iluminação. O objetivo dessa abordagem inicial é despertar

o interesse dos alunos e possibilitar a visualização inicial do fenômeno.

A partir dessa demonstração, o professor pode propor questionamentos como:

- Por que vemos apenas um objeto de cada vez?
- Qual a função do acrílico?
- Por que a ilusão depende da iluminação?
- As posições dos objetos são importantes?

Nesse momento, o professor deve incentivar os alunos a exporem suas ideias e hipóteses, sem corrigi-las imediatamente, favorecendo a construção de um ambiente investigativo.

2º Momento: organização do conhecimento

Após a problematização, o professor apresenta as duas formas de automação da iluminação com Arduino. Durante a explicação, é importante:

- Mostrar o código do Arduino (Apêndice A e B);
- Explicar sua lógica de funcionamento (Seção 3);
- Apresentar o circuito na protoboard (Figuras 9 e 11);
- Exibir simulações no Tinkercad [30].

Os alunos são então divididos em grupos, de modo que algumas equipes trabalhem com o potenciômetro e outras com as chaves táteis, realizando a montagem do circuito. Nesse primeiro momento, o objetivo consiste em montar o circuito e verificar se os LEDs alternam a iluminação conforme o funcionamento previsto.

Antes de iniciar a prática propriamente dita, é fundamental que o professor organize o ambiente e prepare todos os materiais necessários. Os alunos devem ser orientados sobre o passo a passo para realizar a montagem.

Durante esse processo, o professor deve atuar como mediador, observando a sala e auxiliando os grupos de forma estratégica, oferecendo suporte e esclarecendo dúvidas quando necessário, sem, no entanto, interferir na autonomia dos estudantes. O objetivo principal é promover um ambiente de aprendizado prático, no qual os alunos sejam incentivados a seguir o roteiro, desenvolvendo habilidades de observação, organização e execução de tarefas em grupo.

Ao final do primeiro dia, espera-se que os alunos tenham compreendido o funcionamento básico do circuito de automação da iluminação, verificado seu comportamento e reunido os conhecimentos necessários para, no segundo dia, realizar a montagem completa da prática e analisar a formação das imagens no efeito da Monga.

5.2. Dia 2: Aplicação do Conhecimento

3º Momento: Aplicação do Conhecimento

No segundo dia, o professor introduz os conceitos necessários para a compreensão do fenômeno, como reflexão e transmissão da luz.

Em seguida, os alunos realizam a montagem completa da prática, incluindo o circuito elétrico e a estrutura física.

Com a prática montada, o professor retoma os mesmos questionamentos da aula anterior e propõe novas situações para análise, tais como:

- Por que o acrílico é colocado a 45° ?
- O que acontece se esse ângulo for alterado?
- Por que a alternância da iluminação é importante para a formação da ilusão?

Os alunos podem testar essas hipóteses na prática, realizando modificações na montagem e analisando os efeitos observados.

Na sequência, o professor promove uma discussão coletiva, incentivando os alunos a relacionarem o fenômeno com situações do cotidiano, como o reflexo em janelas durante a noite ou em portas de vidro, conforme ilustrado na Figura 16.

Por fim, o professor pode destacar aplicações tecnológicas e artísticas do efeito, evidenciando sua utilização em produções audiovisuais, como nos filmes “Esqueceram de Mim” e “O Senhor dos Anéis”, bem como em apresentações musicais, como as de Michael Jackson, nas quais essa técnica é empregada como efeito especial [37, 38].



Figura 16: (a) Em um ambiente interno iluminado, o vidro se comporta como um espelho. (b) Em um ambiente externo escuro, o vidro se comporta como um meio transparente.



Figura 17: Captura de tela de uma cena do filme “Esqueceram de Mim”, ilustrando a utilização do efeito Monga [37].

Isso evidencia como um princípio físico relativamente simples pode ser explorado de forma criativa para a produção de efeitos visuais impactantes, conforme exemplificado na Figura 17.

6. Considerações Finais

A prática da Monga, constitui uma ferramenta didática eficaz para o ensino de conceitos fundamentais de óptica no Ensino Médio. Sua implementação, baseada em materiais de baixo custo e de fácil aquisição, possibilita que professores explorem fenômenos como reflexão, transmissão e formação de imagens de maneira prática e acessível, promovendo uma aprendizagem mais conectada ao cotidiano dos estudantes.

A proposta torna o aprendizado da óptica geométrica mais atrativo ao articular teoria e prática em um contexto lúdico e visualmente impactante. Essa abordagem favorece a curiosidade científica e o engajamento dos alunos, ao mesmo tempo em que contribui para a compreensão qualitativa dos fenômenos ópticos. A simplicidade e a flexibilidade da montagem da atividade prática reforçam o potencial dessa metodologia como alternativa viável para suprir a carência de atividades práticas no ensino de Física, especialmente em contextos educacionais com recursos limitados.

Além disso, a incorporação da Robótica por meio da automatização do controle da iluminação com o uso do Arduino amplia as possibilidades pedagógicas. A integração entre óptica e eletrônica cria um ambiente interdisciplinar que aproxima os estudantes tanto dos fundamentos da Física quanto da programação e do funcionamento de circuitos, áreas previstas nos itinerários formativos do Novo Ensino Médio. Esse recurso tecnológico enriquece a experiência, tornando a ilusão mais fiel ao fenômeno original e estimulando habilidades práticas ligadas à experimentação e à resolução de problemas.

Espera-se, portanto, que este trabalho incentive outros educadores a adotar práticas semelhantes em suas aulas,

contribuindo para a disseminação de metodologias que valorizem a interação dos alunos com os conceitos científicos. A prática da Monga, aliado ao uso do Arduino, não apenas ilustra princípios fundamentais da óptica, mas

também demonstra como a ciência pode ser apresentada de maneira criativa, acessível e instigante, promovendo um aprendizado mais profundo e integrado para os alunos.

Material Suplementar

Apêndice A. Código para usar o Arduino com o Potenciômetro

```

1 #define Led1 10    // Define a variavel Led1 a porta digital 10 (PWM)
2 #define Led2 11    // Define a variavel Led2 a porta digital 11 (PWM)
3 #define Led3 6     // Define a variavel Led3 a porta digital 6  (PWM)
4 #define Led4 5     // Define a variavel Led4 a porta digital 5  (PWM)
5
6 void setup() {
7   pinMode(Led1, OUTPUT);    // Declara a porta do Led1 como sendo saida
8   pinMode(Led2, OUTPUT);    // Declara a porta do Led2 como sendo saida
9   pinMode(Led3, OUTPUT);    // Declara a porta do Led3 como sendo saida
10  pinMode(Led4, OUTPUT);    // Declara a porta do Led4 como sendo saida
11 }
12
13 void loop() {
14   int valor = analogRead(A0);    // Faz a leitura do potenciometro e converte para
    valores de 0 a 255
15   int Int_Led12 = map(valor, 0, 1023, 0, 255);    // Define e atualiza a variavel de
    intensidade do Led1 e Led2
16   int Int_Led34 = map(valor, 0, 1023, 255, 0);    // Define e atualiza a variavel de
    intensidade do Led3 e Led4
17   analogWrite(Led1, Int_Led12);    // Acende o Led1 com uma intensidade Int_Led12
18   analogWrite(Led2, Int_Led12);    // Acende o Led2 com uma intensidade Int_Led12
19   analogWrite(Led3, Int_Led34);    // Acende o Led3 com uma intensidade Int_Led34
20   analogWrite(Led4, Int_Led34);    // Acende o Led4 com uma intensidade Int_Led34
21 }

```

Código 1: Controle de dois LEDs com potenciômetro no Arduino

Apêndice B. Código Arduino para controle de LEDs com duas chaves táteis

```

1 #define Led1 10    // Define a variavel Led1 a porta digital 10 (PWM)
2 #define Led2 11    // Define a variavel Led2 a porta digital 11 (PWM)
3 #define Led3 6     // Define a variavel Led3 a porta digital 6  (PWM)
4 #define Led4 5     // Define a variavel Led4 a porta digital 5  (PWM)
5
6 #define Bot12 9     // Define a variavel Bot12 a porta digital 9 (PWM) Controla os LEDs 1
    e 2
7 #define Bot34 3     // Define a variavel Bot34 a porta digital 3 (PWM) Controla os LEDs 3
    e 4
8
9 void setup(){
10  pinMode(Led1, OUTPUT);    // Declara a porta do Led1 como sendo saida
11  pinMode(Led2, OUTPUT);    // Declara a porta do Led2 como sendo saida
12  pinMode(Led3, OUTPUT);    // Declara a porta do Led3 como sendo saida
13  pinMode(Led4, OUTPUT);    // Declara a porta do Led4 como sendo saida
14  pinMode(Bot12, INPUT_PULLUP);    // Declara a porta do Bot12 como sendo entrada
15  pinMode(Bot34, INPUT_PULLUP);    // Declara a porta do Bot34 como sendo entrada
16  digitalWrite(Led1, 255);    // Inicialmente o Led1 fica ligado no maximo
17  digitalWrite(Led2, 255);    // Inicialmente o Led2 fica ligado no maximo
18  digitalWrite(Led3, 0);    // Inicialmente o Led3 fica apagado
19  digitalWrite(Led4, 0);    // Inicialmente o Led4 fica apagado
20 }

```

```

21
22 void loop(){
23     int i=0;
24
25     if(digitalRead(Bot12)==0 && digitalRead(Led1)==0){ // Condições para acender o Led1 e
        Led2
26         for(i=0; i<= 100; i++){
27             int Int_Led12= map(i, 0, 100, 0, 255); // Define e atualiza a variável de
                intensidade do Led1 e Led2
28             int Int_Led34= map(i, 0, 100, 255, 0); // Define e atualiza a variável de
                intensidade do Led3 e Led4
29             analogWrite(Led1, Int_Led12); // Acende o Led1 com uma intensidade Int_Led12
30             analogWrite(Led2, Int_Led12); // Acende o Led2 com uma intensidade Int_Led12
31             analogWrite(Led3, Int_Led34); // Acende o Led3 com uma intensidade Int_Led34
32             analogWrite(Led4, Int_Led34); // Acende o Led4 com uma intensidade Int_Led34
33             delay(60); // Delay para uma mudança mais suave
34         }
35     }
36     if(digitalRead(Bot34)==0 && digitalRead(Led3)==0){ // Condições para acender o Led3 e
        Led4
37         for(i=0; i<= 100; i++){
38             int Int_Led12= map(i, 0, 100, 255, 0); // Define e atualiza a variável de
                intensidade do Led1 e Led2
39             int Int_Led34= map(i, 0, 100, 0, 255); // Define e atualiza a variável de
                intensidade do Led3 e Led4
40             analogWrite(Led1, Int_Led12); // Acende o Led1 com uma intensidade Int_Led12
41             analogWrite(Led2, Int_Led12); // Acende o Led2 com uma intensidade Int_Led12
42             analogWrite(Led3, Int_Led34); // Acende o Led3 com uma intensidade Int_Led34
43             analogWrite(Led4, Int_Led34); // Acende o Led4 com uma intensidade Int_Led34
44             delay(30); // Delay para uma mudança mais suave
45         }
46     }
47 }

```

Código 2: Código Arduino para controle de LEDs com duas chaves táteis

Disponibilidade de Dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Referências

- [1] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *Base Nacional Comum Curricular* (Ministério da Educação, Brasília, 2018).
- [2] M.A. Moreira, *Revista do Professor de Física* **1**, 1 (2017).
- [3] J.U.P. Moraes e R.S.S. Junior, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **9**, 2504 (2015).
- [4] M.D.A. Mota, W.D.A. Silva, L.S. Ribeiro e R.C.M. Leite, *Revista Pedagógica* **25**, 1 (2023).
- [5] A.M. Moraes e I.J. Moraes, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **22**, 232 (2000).
- [6] M.S.T. Araujo e M.L.V.S. Abib, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **25**, 176 (2003).
- [7] J. Lima, M.P. Cionek e J.V.P. Poletto, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **45**, e20220344 (2023).
- [8] J.C. Santos e A.G. Dickman, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **41**, e20180161 (2019).
- [9] M.L.G. Pereira, E.V. Bergmann, G.M. Arcolezi, V.S. Silva e G.M. Santos, *A Física na Escola* **20**, 220705 (2022).
- [10] J.A. Secord, *Science* **297**, 1648 (2002).
- [11] T.B. Greenslade Jr, *The Physics Teacher* **49**, 338 (2011).
- [12] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, *Ciências da Natureza e suas tecnologias*, disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/novo-ensino-medio-descontinuado/itinerarios-formativos-do-novo-ensino-medio/ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias>.
- [13] SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO PARANÁ, *Caderno de Itinerários Formativos – Volume 2: Área de Matemática e de Ciências da Natureza e suas Tecnologias*, disponível em: https://acervodigital.educacao.pr.gov.br/pages/view.php?archive=&k=b0c4d14f9b&offset=0&order_by=collection&ref=56132&search=%21collection6615.
- [14] INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ, *Técnicos Integrados*, disponível em: <https://ifpr.edu.br/cursos/tecnico-de-nivel-medio/tecnicos-integrados/>.
- [15] A. Medeiros, *Cad. Bras. Ensino Fís.* **23**, 329 (2008).
- [16] R.W. Pereira, L.A. Heidemann e E.A. Veit, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **43**, e20200486 (2021).
- [17] A.M. dos Santos, M. Ferreira, O.L.S. Filho, M.F.S. Verdeaux e R.V.L. do Couto, *Revista do Professor de Física* **6**, 1 (2022).
- [18] M. Müller, J.L. Fabris, R. Falate e E. Cação, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **25**, 273 (2003).
- [19] J.P.V. Sestari, P.V. da Silveira e F.A.O. Cruz, *A Física na Escola* **21**, 230012 (2023).
- [20] S.W. Patterson e K.P. Zetie, *Phys. Educ.* **52**, 023007 (2017).

- [21] MANUAL DO MUNDO, *O segredo do efeito Monga (explicação do holograma caseiro)*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xrAWgmfhOaM>.
- [22] SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO PARANÁ, *Robótica Paraná*, disponível em: <https://aluno.escoladigital.pr.gov.br/robotica>.
- [23] G.M. Santos, *Efeito Monga. Usando uma Lanterna*, disponível em: <https://youtu.be/tdhp5zEZ3-E?si=qUUE3PRq9KpIcp6g>.
- [24] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica* (Blucher, São Paulo, 2014), v. 4.
- [25] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física: ótica e física moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2023), v. 4.
- [26] E. Hecht, *Optics* (Pearson, England, 2017), 5 ed.
- [27] H.D. Young e R.A. Freedman, *Física IV: ótica e física moderna* (Pearson, São Paulo, 2016), v. 4.
- [28] W. Bauer e G.D. Westfall, *Física para universitários: óptica e física moderna* (AMGH, Porto Alegre, 2013), v. 4.
- [29] Tinkercad: simulações de circuitos e modelagem 3D, disponível em: <https://www.tinkercad.com/dashboard>.
- [30] G.M. Santos, *Prática Efeito Monga - Códigos Arduino*, disponível em: https://github.com/Guisawyer/Efeito_Monga.
- [31] OPTOSUPPLY, 10mm Ultra Bright White LED, disponível em: <https://www.optosupply.com/uppic/2023825148116.pdf>.
- [32] G.M. Santos, *Efeito Monga: alternando a iluminação com o potenciômetro*, disponível em: <https://youtu.be/C4KaqAU51Q?si=joklgAfGNbAesuhK>.
- [33] J. Nussey, *Arduino Para Leigos* (Alta Books, Rio de Janeiro, 2019), 2 ed.
- [34] G.M. Santos, *Efeito Monga: Arduino e potenciômetro para controlar a iluminação*, disponível em: <https://youtu.be/p2xdbaZLL1k>.
- [35] G.M. Santos, *Efeito Monga: usando o Arduino com o Push Button*, disponível em: <https://youtu.be/7DoCxiyGmUo>.
- [36] C. Muenchen e D. Delizoicov, *Cienc. Educ.* **20**, 617 (2014).
- [37] FAME FOCUS, *Home Alone without CGI [Special Effects Breakdown]*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=25EryJdQ3kQ>.
- [38] C. Dean, *Recreating the Burning Head Effect from Home Alone!*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rO1awkbxlRk>.