



Estudando a física do carrinho **Hot Wheels:** Proposta de experimento de baixo custo utilizando sensores

Mariana Gaioti dos Santos Scarton¹, Hêntony Luís de Vargas Zamperini¹, Paulo José Pereira de Oliveira¹ ,
Tiago Destéffani Admiral²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

²Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

Palavras-chave

ensino de física
Arduino
globo da morte
metodologias ativas

Resumo

Um problema bem conhecido da dinâmica é o problema de um carro realizando um loop. Muitos conceitos importantes são abordados nesse problema, como, por exemplo, força centrípeta, força normal e conservação da energia. No presente trabalho, apresentamos uma proposta de experimento de baixo custo para a realização de aulas práticas, desde o nível da educação básica até o ensino superior. Utilizando uma placa Arduino UNO, em conjunto com dois pares de fototransistores e emissores infravermelhos, conseguimos obter uma velocidade inicial para o carrinho de 435 cm/s. O intervalo de tempo que o carrinho levou para percorrer a distância entre os sensores (15,0 cm) foi três vezes mais rápido que um piscar de olhos. A presente proposta experimental, articulada com metodologias ativas, permite trabalhar, além dos conceitos da dinâmica, aspectos qualitativos de eletrônica e programação, bem como as dimensões socioemocionais e a autonomia estudantil.

1. Introdução

Em um curso introdutório de física, após estudar os conceitos de cinemática, iniciam-se os estudos de dinâmica. Na dinâmica, o estudante aprende, por exemplo, sobre as leis de Newton, movimento circular e conservação da energia. No estudo sobre o movimento circular, duas situações-problema são bem conhecidas: o looping de montanha-russa e o globo da morte (Fig. 1).

Como podemos observar na Fig. 1, a força normal F_n (aqui e nas demais variáveis utilizamos o negrito para representar uma grandeza vetorial) precisa ser diferente

de zero para que o movimento possa ser completado. Essa condição é garantida desde que o corpo tenha uma velocidade apropriada. O vetor \mathbf{P} representa a força peso dos corpos. Essas duas situações-problema permitem trabalhar, de forma contextualizada, conceitos importantes da física, como, por exemplo: equilíbrio de forças, força normal, força centrípeta, força centrífuga, aceleração centrípeta e conservação de energia. No presente trabalho, propomos um experimento de baixo custo similar às situações representadas na Fig. 1. O experimento consiste em um carrinho disparado por uma

#Autor de correspondência. E-mail: paulojoseo@ifes.edu.br

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>



Figura 1 - (a): Loop numa montanha-russa, e (b) Globo da morte. Fonte: Ref. [1].

mola, percorrendo uma pista na forma de um *loop* e, com o auxílio da tecnologia, calculamos a velocidade de disparo. A utilização da tecnologia, no presente caso: Arduino [2], permite que o estudante aprenda conceitos fundamentais de programação, eletrônica e funcionamento de dispositivos eletrônicos, além de automação. Com o valor da velocidade de disparo, foi possível calcular a constante elástica da mola, energia cinética, força centrípeta e força normal.

Propostas experimentais de baixo custo e fácil montagem têm se mostrado alternativas atrativas em situações de ausência de infraestrutura (laboratórios e equipamentos) e também de os professores enfrentarem alta carga horária de aulas, sobrando pouco tempo para a preparação das aulas [3-8]. Além disso, segundo a literatura [4, 5, 8], propostas experimentais, associadas a alguma metodologia ativa, como, por exemplo: Arco de Maguerez, os três momentos pedagógicos, ou ensino por investigação, tendem a tornar a aprendizagem mais descontraída e significativa e também permitem trabalhar as dimensões socioemocionais e cognitivas e a autonomia dos estudantes. A seguir, apresentaremos os materiais e métodos, os resultados e discussões e as considerações finais.

2. Materiais e Métodos

A Fig. 2 mostra a proposta experimental em detalhes. O custo total do experimento e os materiais utilizados são detalhados na Tabela 1.

O custo total da montagem ficou em R\$ 231,00. Todos materiais podem ser comprados em lojas virtuais.

No experimento, um carrinho é disparado por duas molas (ao abrir o disparador, foram encontradas duas molas), que são comprimidas cada uma em 5 cm. Antes do disparo, o carrinho possui uma energia potencial elástica, que é transformada em energia cinética (após o disparo) conforme a Eq. (1).

$$\frac{kx^2}{2} = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

Para calcular a energia cinética do carrinho, realizamos a medida da sua massa, que foi de $(17,5 \pm 0,5)$ g, e adaptamos ao experimento um sensor para medir a

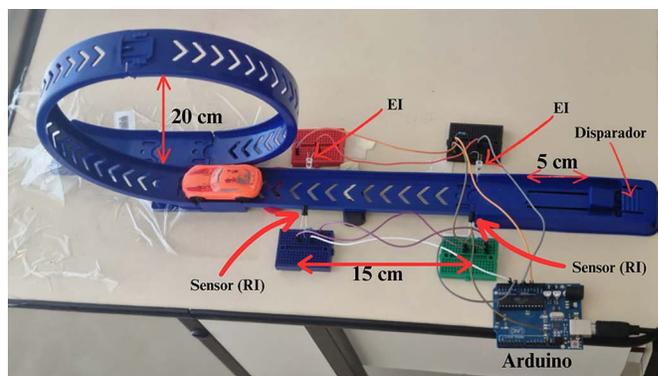


Figura 2 - Detalhes da proposta experimental.

Tabela 1: Relação dos materiais utilizados e os correspondentes valores de referência em Reais.¹

Materiais	Preço (em Reais)
2 Leds Emissor Infravermelho (IR) 5 mm.	11,50
2 Fototransistores (infravermelho 5 mm 940 nm)	2,00
1 Arduino UNO	88,00
2 resistores de 220 Ω	0,9
2 resistores de 150 Ω	0,80
10 Jumpers de ligação	23,00
4 Placas de ensaios eletrônicos (Protoboard) de 170 pontos	26,00
Pista com carrinho Race looping Double. Marca: Samba Toys	68,5
Fita adesiva para caixas	9,5
Valor total	231,00

velocidade. O sensor foi desenvolvido por Admiral e cols. [7] para medição experimental da gravidade e foi adaptado para este trabalho. O sensor é constituído por dois emissores infravermelhos (EI) brancos de 5 mm e dois receptores infravermelhos (RI) pretos de 5 mm. O EI emite uma radiação na faixa do infravermelho (comprimento de onda de 940 nm), invisível para os olhos humanos; porém, com o auxílio de uma câmera, é possível visualizar a emissão de luz, que apresenta tonalidade violeta quando visualizada através da câmera, conforme a Fig. 3.

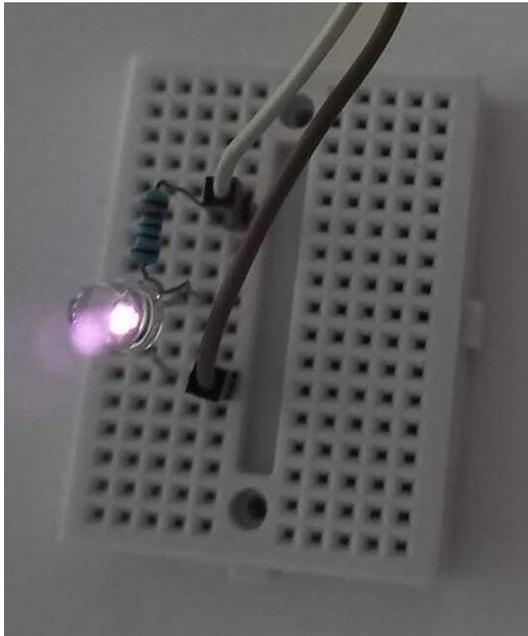


Figura 3 - Fotografia tirada do EI utilizando uma câmara de smartphone. A fotografia foi tirada em um ambiente de baixa luminosidade para melhor visualização da tonalidade violeta.

O RI é um fototransistor, um tipo de transistor que possui dois terminais: emissor (E) e coletor (C). Sua base (B) é polarizada por luz infravermelha. Quando sua base é polarizada, o fototransistor é ativado e passa a conduzir corrente elétrica do coletor para o emissor, conforme mostrado na Fig. 4.

Na Ref. [10], há uma sugestão de vídeo no YouTube explicando o funcionamento do emissor e receptor infravermelho.

Como pode ser observado na Fig. 1, os dois pares (EI e RI) foram colocados a uma distância de 15 cm um do outro. O Arduino foi programado para medir o tempo de passagem do carrinho entre os dois sensores. Com o valor do tempo e a distância percorrida (15 cm), calculamos a energia cinética utili-

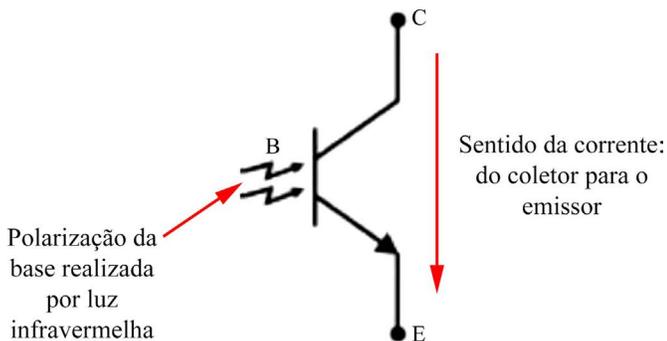


Figura 4 - Símbolo do fototransistor em um circuito elétrico. Fonte: adaptado da Ref. [9].

zando a velocidade média do carrinho durante o percurso. A eletrônica dos sensores é mostrada na Fig. 5.

Os LEDs azuis representam os emissores infravermelhos, para os quais foram utilizados resistores de 220 Ω . Conforme pode ser observado na Fig. 5, as conexões são bem simples, bastando ligar os terminais negativos (terminais mais curtos) dos LEDs no GND do Arduino e os terminais positivos (terminais mais longos) em série com os resistores, no 5 V do Arduino. Os “LEDs”² vermelhos são os receptores infravermelhos e estão ligados aos resistores de 150 k Ω . A conexão também é bem simples: basta ligar os terminais mais curtos (fio preto e emissor) no GND do Arduino e os terminais mais longos (coletores) antes das resistências (fios azul e verde), nos pinos analógicos A0 e A1, respectivamente. Finalize ligando os resistores de 150 k Ω no pino de 5 V do Arduino.

No Quadro 1 (ver apêndice) encontra-se o programa carregado no Arduino para o funcionamento do sensor.

O Arduino exhibe o sinal dos sensores em bits. Assim, quando o RI está recebendo sinal, a leitura feita no Arduino, sem obstáculos entre os sensores, fica entre cerca de 200 a 400 bits. Esse valor é mostrado antes de se iniciar a rotina do programa (comandos exibidos entre as linhas 14 e 17 do Quadro 1). A leitura dependerá do alinhamento entre o EI e o RI; quanto

melhor o alinhamento entre o EI e o RI, mais próxima de 200 bits ficará a leitura do RI. Assim, a lógica da programação segue o seguinte fluxo: quando o carrinho passa pelo primeiro par (EI e RI), ocorre a interrupção do EI e a leitura do RI assume valores superiores a 900 bits. Nesse momento, o tempo correspondente desde o início da execução do programa fica armazenado na variável startTime por meio da função millis()

do Arduino. A função millis() do Arduino mede o tempo de execução do programa de forma ininterrupta. Quando o carrinho passa pelo segundo par EI e RI, a leitura do RI fica superior a 900 bits, e o tempo percorrido no espaço entre os sensores é obtido pela diferença dos tempos da função millis (naquele instante) pela variável startTime. Com o tempo, obtemos a velocidade média por meio da fórmula $v = 15 \text{ cm}/\text{tempo}$.³

Com o valor da velocidade, determinamos a energia cinética inicial (antes do loop). Na Fig. 6, mostramos as forças presentes no ponto mais alto da trajetória, o sentido da força normal e a velocidade inicial V , além do sentido da força elástica F_e no momento do disparo.

Utilizando o princípio da conservação de energia, podemos determinar a velocidade no ponto mais alto da trajetória por meio da Eq. (2)

Propostas experimentais, associadas a alguma metodologia ativa, tendem a tornar a aprendizagem mais descontraída, significativa e também permitem trabalhar as dimensões socioemocionais, cognitivas e a autonomia dos estudantes

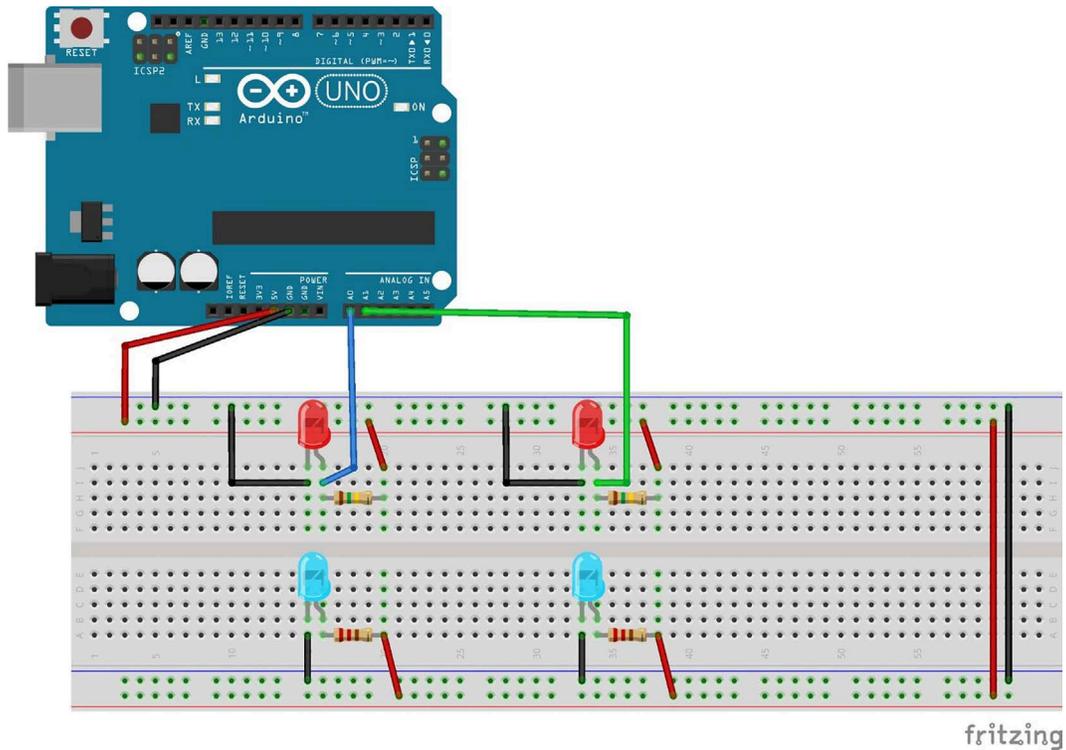


Figura 5 - Ligações dos EI e RI na placa Arduino.

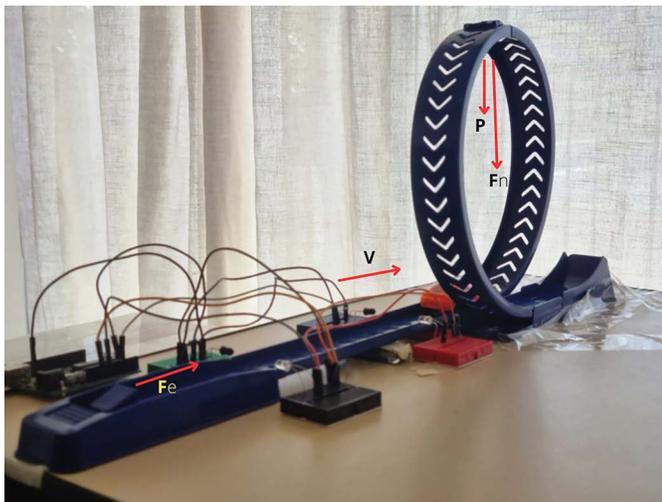


Figura 6 - Balanço de energia e análise das forças no experimento.

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_{\text{alto}}^2}{2} + mgh. \quad (2)$$

Isolando a Eq. (2) para v_{alto} , temos a Eq. (3)

$$v_{\text{alto}} = \sqrt{v^2 - 2gh}. \quad (3)$$

Em que v_{alto} é a velocidade no topo do loop (ponto mais alto da trajetória), g é a gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$) e h é o diâmetro do loop, que é $(20 \pm 0,05) \text{ cm}$. Utilizando o con-

ceito de força centrípeta, podemos equilibrar as forças, conforme a Eq. (4)

$$F_c = P + F_N. \quad (4)$$

Uma prática comum durante as aulas é assumir $F_N = 0$, para descobrir a velocidade mínima (v_{min}) que o carrinho precisa ter para completar o loop. Colocando essa condição, encontramos a seguinte expressão para o módulo da velocidade mínima

$$v_{\text{min}} = \sqrt{gR}. \quad (5)$$

Considerando $R = 0,1 \text{ m}$, encontramos aproximadamente $v_{\text{min}} = 100 \text{ cm/s}$. No presente trabalho, abordamos um valor diferente de zero para a F_N , uma vez que o carrinho completa o loop com “folga”, com velocidade bem maior que o mínimo de 100 cm/s . A partir da Eq. (4), podemos encontrar a seguinte expressão para o módulo de F_N

$$F_N = m \left(\frac{v_{\text{alto}}^2}{R} - g \right). \quad (6)$$

A seguir, apresentamos os resultados e discussões do experimento.

3. Resultados e Discussões

Na Tabela 2, temos os dados obtidos para 10 medidas realizadas. Note que o valor médio da velocidade

Tabela 2: Medidas realizadas das velocidades, dos tempos e a média correspondente de dez testes realizados.

Medidas	Velocidades (cm/s)	Tempo (s)
Medida 1	441,18	0,034
Medida 2	441,18	0,034
Medida 3	441,18	0,034
Medida 4	441,18	0,034
Medida 5	441,18	0,034
Medida 6	441,18	0,034
Medida 7	428,57	0,035
Medida 8	428,57	0,035
Medida 9	428,57	0,035
Medida 10	428,57	0,035
Média	435	0,035

foi de 435 cm/s, um valor cerca de quatro vezes maior que o mínimo teórico (100 cm/s) necessário para que o carrinho complete o loop. Note também que o tempo médio que o carrinho levou para percorrer os 15 cm foi de 35 milésimos de segundo. Considerando que um piscar de olhos dura, em média, um décimo de segundo (0,1 s) [11], a presente medida (0,035 s) foi cerca de três vezes menor.

Considerando também o fato de que o tempo médio de reação humana é de cerca de 0,3 s [12], podemos inferir que não seria possível realizar essa medida sem o auxílio do Arduino ou de outra tecnologia equivalente. No vídeo,⁴ podemos perceber que a velocidade do disparo é bem alta, impossibilitando uma medida direta por meio de cronômetros operados manualmente, por exemplo.

Analisando a Tabela 2, podemos perceber que o protótipo experimental apresenta medidas consistentes, dado que o desvio padrão dos valores de velocidade é $\sigma = 6,5$ cm/s. Essa medida de dispersão representa, aproximadamente, apenas 1,5% do valor médio da medida. Esses dados indicam que, mesmo com uma montagem simples, o experimento apresenta bons resultados e uma boa reprodutibilidade dos dados para propósitos didáticos.

Utilizando o valor médio da velocidade inicial (v), os dados experimentais (massa do carrinho e raio do

Tabela 3: Valores encontrados das grandezas físicas a partir do valor encontrado pelo sensor para a velocidade inicial de disparo.

Grandezas físicas	Valores obtidos
Constante elástica (N/m)	64
Velocidade no ponto mais alto da trajetória (m/s)	3,87
Força centrípeta no ponto mais alto da trajetória (N)	3,2
Força normal (N)	3,1

loop) e as Eqs. (1) a (4), calculamos a constante elástica da mola (k), a velocidade no ponto mais alto da trajetória (v_{alto}), a força centrípeta no ponto mais alto da trajetória e a força normal (F_n) (ver Tabela 3).

Como sugestão de aplicação da presente proposta experimental, o professor poderia utilizar a problematização, por exemplo, por meio do Arco de Maguerez [5, 8], e também poderia empregar outra metodologia ativa, como a sala de aula invertida [13], para estruturar uma sequência didática visando trabalhar o experimento com os estudantes. O professor pode, por exemplo, sugerir alguns vídeos sobre sensores e Arduino para os estudantes estudarem em casa, a fim de que possam posteriormente discutir dúvidas e complementar aspectos conceituais e aplicações na aula. Dessa maneira, poderia ser trabalhada a execução do experimento, realização das medidas e aprendizagem dos conceitos e aplicações relacionadas à dinâmica do experimento. Além disso, de forma complementar, seria possível aprimorar a compreensão da eletrônica envolvida na construção do sensor, que inclui a aprendizagem qualitativa de circuitos, programação e física moderna.

4. Considerações finais

No presente artigo, apresentamos um experimento de baixo custo para a aprendizagem de conceitos e aplicações envolvidos em um problema bem conhecido dos estudos da dinâmica: o carrinho realizando um loop circular. A montagem é constituída basicamente por uma pista, carrinho e um sensor, construído com dois pares de emissor e receptor infravermelho, além do Arduino. A proposta permite a aprendizagem de conceitos e aplicações tais como: força normal, força centrípeta, força peso, força elástica, trabalho e conservação de energia. A velocidade inicial de disparo medida no experimento foi de $(435 \pm 6,5)$ cm/s, medida em um intervalo de tempo de 0,035 s, tempo que não poderia ser medido sem o auxílio da tecnologia. Estruturando a presente atividade prática com a utilização de metodologias ativas, o professor também poderia trabalhar a aprendizagem da eletrônica envolvida no experimento, além de outros aspectos importantes, por meio de atividades em grupo, como a dimensão socioemocional, e a autonomia estudantil, por meio de atividades individuais. Outro ponto a favor da utilização e aplicação da presente proposta é o fato de se tratar de um tema relativamente fácil, trabalhado de forma rotineira na educação básica e superior, além de ser de fácil contextualização. Por fim, como todo o procedimento de montagem, funcionamento e coleta de dados foi explicado ao longo do trabalho, existe ainda a possibilidade de utilizar esse material para adaptar o sistema

Como sugestão, o professor poderia sugerir alguns vídeos sobre sensores e Arduino para os estudantes estudarem em casa, a fim de que possam posteriormente discutir dúvidas e complementar aspectos conceituais e aplicações na sala de aula

de coleta de dados a qualquer outro tipo de movimento, como por exemplo, a queda livre. Aumentando-se o número de pares de fototransistores, podemos estudar com mais detalhes diversos tipos de movimentos, auxiliando o ensino da cinemática nas aulas de física.

A fotografia da abertura deste artigo pertence a Alexandre Alves, e foi ganhadora do concurso Hot Wheels/Quatro Rodas em 2009.

Recebido em: 28 de Junho de 2023

Aceito em: 23 de Maio de 2024

Notas

¹Já está incluso o valor do frete nos preços de cada item. Como só foram encontrados kits, somamos o valor do kit e o frete e dividimos pela quantidade correspondente, para saber o valor unitário.

²Estamos utilizando o nome LEDs apenas pelo fato de os emissores e receptores infravermelhos, utilizados no presente trabalho, se parecerem com um Led, entretanto, são dispositivos diferentes.

³Uma vez que a velocidade é praticamente constante durante os 15 cm de percurso, o cálculo da velocidade de disparo, pela fórmula da velocidade média, é uma aproximação confiável.

⁴Link para o vídeo: https://youtu.be/w0_WTV42ARQ?si=kSXRv8226vvqvKyD.

Referências

- [1] Flickr, Aplicativo online de gerenciamento e compartilhamento de imagens gratuito. Disponível em <https://www.flickr.com>, acesso em 2 de Junho de 2023.
- [2] Arduino, Plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. Disponível em <https://www.arduino.cc/>, acesso em 8 de Junho de 2023.
- [3] T.D. Admiral, Revista Brasileira de Ensino de Física **42**, e20200139 (2020).
- [4] P.J.P. de Oliveira, E. Rodrigues Junior, J.C.M. Silva, N.A. Da Silva, A Física na Escola **18**(1), 30 (2020).
- [5] G.L.N. Bueno, P.J.P. de Oliveira, E. Rodrigues Junior, T.D. Admiral, G.A. Silva, E.K.F. Coelho, V.H. Louzada, A Física na Escola **19**(2), 63 (2021).
- [6] T.D. Admiral, P.J.P. de Oliveira, F.C. Marques, A Física na Escola **20**(1), 210705 (2022).
- [7] T.D. Admiral, I. da Silva Cunha, L.P.T. do Carmo, Ensino em Foco **3**, 35 (2020).
- [8] N.F. Coelho, P.J.P. de Oliveira, E. Rodrigues Junior, T.D. Admiral, J.C.M. Silva, R.C.F. de Oliveira, A Física na Escola **19**(1), 22 (2020).
- [9] E.C.A. Cruz, S. Choueri Jr., *Eletrônica Aplicada* (Érica, São Paulo, 2009), 2nd ed.
- [10] EduArduino, Controlando velocidade e medindo RPM de motor DC - Especial 5K. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=KHht5GEzAUs>, acesso em 16 de Junho de 2023.
- [11] Science, Qual a velocidade de um piscar de olhos? Disponível em <http://pt.scienceaq.com/Biology/100416738.html>, acesso em 22 de Junho de 2023.
- [12] Canaltech, Dispositivo vestível aprimora seu tempo de reação a atividades reflexivas. Disponível em <https://canaltech.com.br/ciencia/dispositivo-vestivel-aprimora-seu-tempo-de-reacao-a-atividades-reflexivas-144689>, acesso em 22 de Junho de 2023.
- [13] T.E. de Oliveira, I.S. Araújo, E.A. Veit, A Física na Escola **14**(2), 4 (2016).

Apêndice

Quadro 1: Programa utilizado no presente sensor: Fonte: adaptado a partir da Ref. [7].

```
const int primeirosensor = 0; //PINO ANALÓGICO UTILIZADO PELO FOTOTRANSISTOR
const int segundosensor = 1; //PINO ANALÓGICO UTILIZADO PELO FOTOTRANSISTOR
int estadodedisparo;
unsigned long startTime;
float tempo=0;
float t=0;
float velocidade=0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(primeirosensor, INPUT); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA
  pinMode(segundosensor, INPUT); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA
  estadodedisparo =1;
  Serial.print(analogRead(primeirosensor));
  Serial.print(" ");
  Serial.print(analogRead(segundosensor));
  Serial.print(" ");
  Serial.println("Pronto para disparar");
  Serial.println(" ");
}
void loop()
{
  if(analogRead(primeirosensor)>800   &&   analogRead(segundosensor)<500   &&
  estadodedisparo == 1)
  {
    startTime = millis();
    Serial.print("Início do disparo\n");
    Serial.print("Carro em movimento ... \n");
    estadodedisparo = 0;
  }
  if(analogRead(primeirosensor)<500 && analogRead(segundosensor)>800)
  {
    estadodedisparo = 1;
    tempo = millis()-startTime ;
    t=tempo/1000;
    velocidade = 15/t;
    Serial.print(" velocidade: ");
    Serial.print(velocidade);
    Serial.print("cm/s\n");
    Serial.print(" tempo: ");
    Serial.print(t,3);
    Serial.print("s\n");
    delay(10000);
    Serial.println("pronto para novo disparo");
  }
}
```