

Aprendendo física e biologia com um sensor de batimentos cardíacos de baixo custo



.....
Tiago Destéffani Admiral*
Cassiana Barreto Hygino Machado
Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física, Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia
Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

Vivenciamos um momento em que a maioria dos alunos tem acesso a tecnologias que, há duas décadas, eram inacessíveis ou inexistentes. Entretanto, esse contato com a tecnologia não resulta, automaticamente, na apropriação do conhecimento científico que subsidia seu funcionamento. Portanto, utilizamos cada vez mais tecnologias acessíveis para desvendar os conceitos físicos que permitem seu funcionamento. Este artigo descreve um procedimento experimental de baixo custo, que pode ser executado sem a necessidade de um laboratório. Esse experimento consiste na construção e na demonstração do funcionamento de um sensor de batimentos cardíacos, cujo sinal é lido pelo Arduino e exibido em tempo real no monitor. A construção e a utilização do dispositivo podem permitir que o professor de física trabalhe, por exemplo, conceitos de circuitos simples, sinais elétricos periódicos, associação de resistores e propagação da luz, assim como conceitos de biologia, que estão diretamente ligados ao funcionamento do sensor. Dessa forma, esta proposta experimental associa conceitos interdisciplinares e tecnologia que podem ser trabalhados por meio da abordagem STEAM.

Palavras-chave: ensino de física; Arduino; infravermelho

.....

1. Introdução

O ensino de ciências vem se deparando com diversos desafios, como o desinteresse dos alunos e, consequentemente, o desinteresse em carreiras científicas.

O ensino de física é um exemplo disso, tendo em vista que, de maneira geral, a física vem sendo apresentada por meio da memorização de fórmulas e respostas certas para serem reproduzidas em provas. No entanto, ensinar e aprender física deve ir além disso: deve envolver conceitos, modelos, atividades experimentais, competências científicas e situações que promovam a aprendizagem significativa, a dialogicidade e a criticidade [1].

O crescente avanço das tecnologias, ainda mais evidente no período da pandemia da COVID-19, tem influenciado os meios educacionais. As tecnologias podem tornar a abordagem de temas da física mais interativos. Contudo, devido a uma diversidade de motivos, como a falta de tempo e de estrutura, os professores acabam não implementando as tecnologias e as práticas experimentais às suas aulas de física.

A fim de superar essa lacuna, nos últimos anos, a plataforma Arduino tem sido utilizada com mais frequência para trabalhar experimentos no ensino de física. O Arduino tem se mostrado uma tecnologia versátil e de simples utilização por professores e alunos, por ser uma plataforma eletrônica de código aberto e com um custo relativamente baixo. Em sala de aula, esta fer-

ramenta pode ser utilizada na experimentação, além de introduzir os alunos no ambiente de programação e robótica [2].

No ensino de física, diversos trabalhos em periódicos especializados têm apresentado várias possibilidades para a utilização da plataforma Arduino em experimentos científicos [3-6]. Em particular, um exemplo [3] que o utiliza como uma ferramenta para a construção de um sensor de umidade, que é uma atividade que motiva a aprendizagem de conceitos físicos relacionados à eletricidade e gera um equipamento para ser utilizado em um projeto de horta escolar.

O desenvolvimento de atividades em sala de aula utilizando atividades experimentais com a plataforma Arduino pode ser associada à abordagem STEAM (acrônimo do inglês *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*), uma vez que ela impulsiona o processo criativo, o pensamento crítico e a investigação por meio do ensino de disciplinas científicas, associadas à tecnologia, à engenharia e à arte [7].

Além disso, a abordagem STEAM busca romper com ensino fragmentado em disciplinas que não têm ligação entre si, sendo, dessa forma, um meio de conduzir projetos de forma interdisciplinar, criando um elo entre elas.

O presente trabalho apresenta uma proposta experimental de baixo custo, que pode ser executada sem a necessidade de um laboratório. O experimento utilizando a plataforma Arduino consiste na construção e na demonstração do

A física vem sendo apresentada por meio da memorização de fórmulas e respostas certas para serem reproduzidas em provas. No entanto, ensinar e aprender física deve ir além disso: deve envolver conceitos, modelos, atividades experimentais

*Autor de correspondência. E-mail: tdesteffani@gmail.com.

funcionamento de um sensor de batimentos cardíacos. O experimento possui cunho interdisciplinar por meio da abordagem STEAM, pois permite trabalhar a partir da construção de experimento associando a tecnologia a conceitos de circuitos simples, a sinais elétricos periódicos, à associação de resistores e à propagação da luz, assim como conceitos de biologia.

2. Referencial teórico

2.1. STEAM e ensino de física

O STEM surgiu nas década de 80 e 90 nos Estados Unidos na tentativa de superar as deficiências dos estudantes relacionadas às áreas científicas e, conseqüentemente, proporcionar melhorias no mercado de trabalho ligado às carreiras de tecnologia e engenharia. Anos mais tarde, foi acrescentado o “A” em STEM, transformando-se em STEAM, com o intuito de incorporar as artes [7].

A ideia por trás da abordagem STEAM na educação é romper barreiras entre disciplinas, uma vez que as vivências do mundo real não são fragmentadas em conteúdos/disciplinas isolados. Trata-se da interdisciplinaridade por excelência, permitindo ao estudante o desenvolvimento de habilidades e saberes de forma integrada, favorecendo a aprendizagem significativa [8].

O STEAM permite a realização de diversos projetos, nos quais os alunos trabalham na resolução de problemas e são desafiados a planejar, a exercitar a criticidade pela tentativa e pelo erro, a colaborar e a buscar soluções para as problemáticas propostas. Outro autor [9] afirma que o STEAM estabelece conexões entre conteúdos numa perspectiva de integração, buscando engajar os estudantes em práticas criativas e reflexivas que objetivam a inovação. Por outro lado, [7] salienta que o STEAM não exclui os conhecimentos de cada disciplina e a visão detalhada por elas, mas incentiva os estudantes a usarem esses conceitos para o aprofundamento do problema ou do projeto proposto, buscando integrar para construir.

Dessa forma, a utilização do STEAM no ensino de ciências permite que os estudantes sejam capazes de estabele-

cer conexões entre as disciplinas e atribuir sentido aos significados apropriados. Além disso, o desenvolvimento de projetos atrelando tecnologia, engenharia, matemática, arte e ciências possibilita abordar uma diversidade de conteúdos e desenvolver habilidades durante a execução do projeto, favorecendo o pensamento investigativo e uma compreensão maior dos fenômenos presentes no cotidiano.

2.2. O espectro eletromagnético

Chamamos de espectro eletromagnético a gama de comprimentos de onda (ou de frequências) que uma onda eletromagnética pode assumir. O conhecimento sobre ondas eletromagnéticas remonta ao início do século XIX, quando William Herschel executou experimentos decompondo a luz visível em diversos comprimentos de onda e relacionou essa propriedade à temperatura absoluta dos objetos. Entretanto, seus estudos se mostraram mais reveladores na detecção da faixa do infravermelho (IR).

A forma de classificar uma onda eletromagnética quanto à sua energia, por exemplo, está diretamente relacionada com seu comprimento de onda e de frequência. Chamamos de luz infravermelha (IR)

uma onda eletromagnética cujo comprimento de onda varia entre 730 nm e 1.000.000 nm [10]. Ela também é um exemplo de radiação invisível ao olho humano.

A organização das propriedades da luz dentro do espectro eletromagnético depende de sua frequência ou do comprimento de onda. Desde a época de Herschel, sabe-se que há uma relação inversamente proporcional entre essas grandezas. No caso das ondas eletromagnéticas, essa relação é dada pela Eq. (1)

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1)$$

em que λ é o comprimento de onda, em metros, c é a velocidade de propagação da luz no vácuo, em m/s, e f é a frequência da onda, em Hertz. A Fig. 1 ilustra o espectro eletromagnético em uma escala comparativa aproximada do seu comprimento de onda.

A parte superior da Fig. 1 ilustra

que, quanto maior for a frequência, menor será o comprimento de onda. Na parte central está representada a ordem de grandeza do comprimento de onda e, na parte inferior, uma barra ilustrando a cor correspondente. Em destaque, na parte central da figura (entre $0,4 \cdot 10^{-6}$ m e $0,7 \cdot 10^{-6}$ m), está situada a região da luz visível.

A forma como a luz se propaga e interage com a matéria são conhecimentos cruciais para diversas aplicações em nosso cotidiano, como veremos a seguir.

2.3. Aplicações na biologia

O conhecimento sobre o espectro eletromagnético permitiu que outras áreas da ciência pudessem relacionar outros fenômenos com a interação da luz. Na biologia, por exemplo, sabe-se que os animais que hoje vivem tiveram uma ancestralidade em comum com organismos que viviam na água do mar.

A evolução desses organismos permitiu que esses animais também evoluíssem de acordo com as condições do ambiente, desenvolvendo, dessa forma, mecanismos para se adaptarem ao meio. Isso não foi diferente com os peixes. A luz branca que incide na superfície da água do mar interage com ela, sendo transmitida, absorvida, espalhada e refletida. A informação luminosa que de fato chega dentro da água é chamada de luz transmitida. Pesquisas [11] mostram que a água do mar absorve mais facilmente alguns comprimentos de onda em relação a outros. A curva de absorção da água do mar pode ser vista na Fig. 2.

Como podemos observar na Fig. 2, a água do mar absorve menos a luz com comprimento de onda próximo à região do visível. Isso significa, por outro lado, que essa é a maior parte da luz que passa para dentro da água (luz transmitida). Portanto, faz sentido que os olhos dos animais que vivem nesse ambiente se adaptem à presença da luz nessa faixa. Nesse sentido, o conhecimento sobre o espectro eletromagnético complementa o conhecimento evolutivo.

Outra aplicação interessante na biologia (e também em química) é a espectroscopia, que é “um ramo da física que lida com o estudo da radiação absorvida, refletida, emitida ou espalhada” [12]. O princípio básico de funcionamento da técnica consiste em bombardear uma amostra com luz e, então, analisar a porção dessa luz que é transmitida e/ou absorvida. Por meio

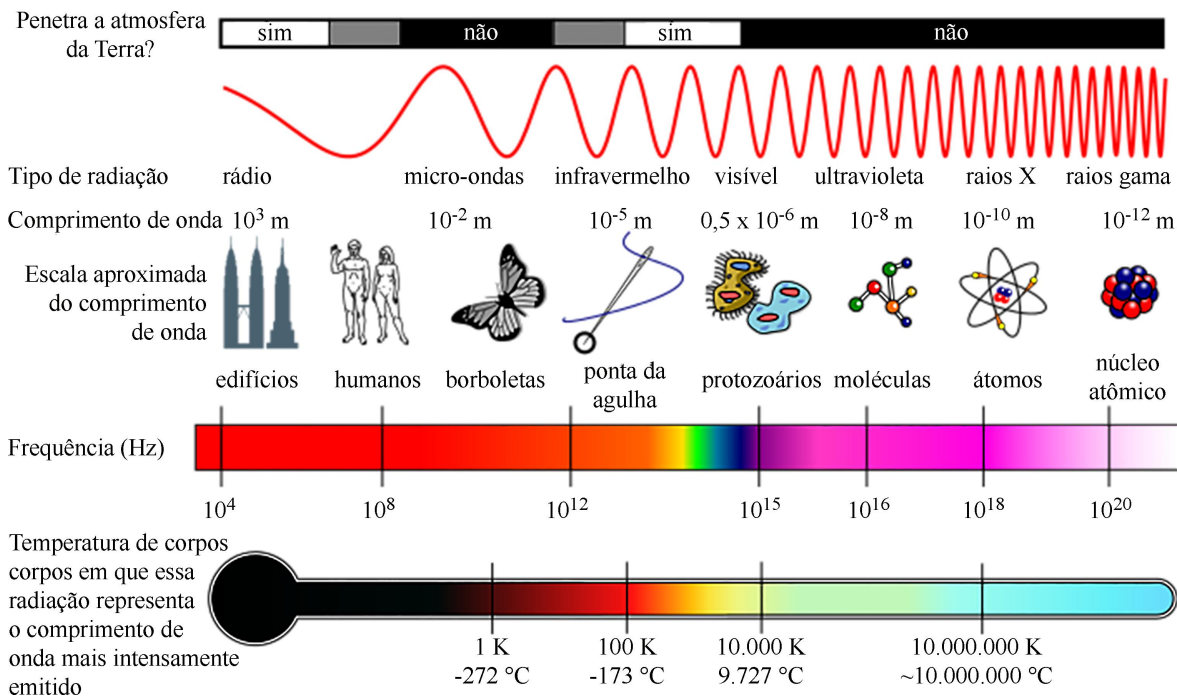


Figura 1 - Regiões do espectro eletromagnético e algumas particularidades. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagn%C3%A9tico.

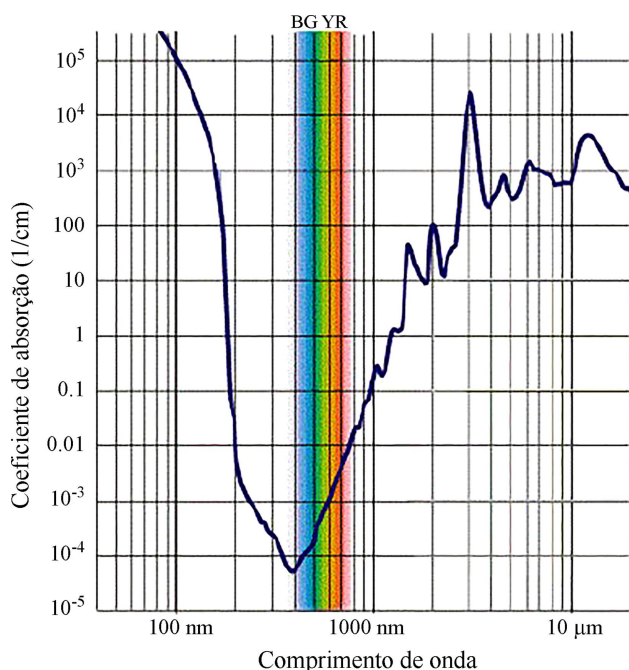


Figura 2 - Curva de absorção da água do mar [11].

da análise desses dados, podemos concluir algumas propriedades da amostra, como sua composição química.

No caso do nosso protótipo, em particular, utilizaremos como amostra esse princípio para detectar o batimento cardíaco, a luz na região do infravermelho e o sangue do nosso corpo, como será detalhado na seção a seguir.

2.4. Interação da onda eletromagnética com a matéria: o princípio de funcionamento do protótipo

Assim como a luz visível, a luz IR está sujeita a fenômenos como refração, difração e absorção ao mudar de meio de propagação. Em nosso protótipo, buscamos identificar os sinais de batimentos cardíacos analisando a radiação IR que atravessava o dedo do in-

divíduo. Portanto, precisamos compreender melhor de que forma a luz interage com a matéria ao atravessar uma parte do corpo de uma pessoa.

Ao ser emitida pelo LED (*Light Emitting Diode*), a luz IR atravessa o dedo do indivíduo, emergindo parcialmente na outra extremidade (onde está posicionado um LED receptor). As estruturas biológicas que compõem o interior do dedo apresentam, em sua maioria, características físicas que não se alteram durante a medição, entretanto isso não acontece com o sangue. Ele apresenta uma alteração em sua concentração de oxigênio, que está diretamente ligada ao batimento cardíaco [13]. Sabemos que o sangue é o veículo que transporta o oxigênio aos demais órgãos do corpo; para isso, o sangue venoso (pobre em oxigênio) viaja até os pulmões e, através de um processo específico, aumenta sua concentração de oxigênio para ser bombeado novamente aos órgãos (agora como sangue arterial) de forma a suprir a necessidade de oxigênio dos órgãos e tecidos [13].

São as moléculas de hemoglobina que “carregam” esse oxigênio e elas são classificadas como hemoglobina oxigenada (HbO_2) e não oxigenada (Hb) [14]. De acordo com o teor de oxigênio das moléculas de hemoglobina, o sangue irá apresentar uma maior ou menor absorção da luz IR, como podemos perceber na Fig. 3.

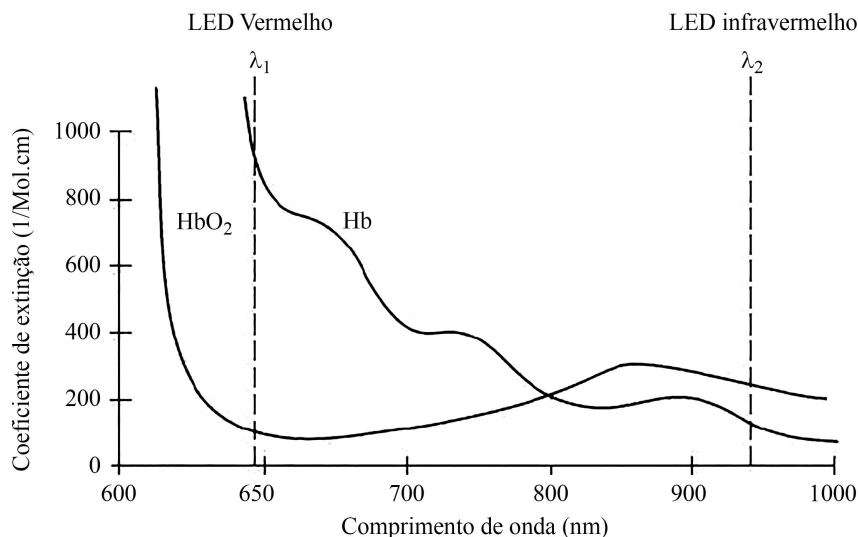


Figura 3 - Coeficiente de extinção em relação ao comprimento de onda para HbO₂ e Hb [15].

No gráfico da Fig. 3 está representada a grandeza “coeficiente de extinção” para cada tipo de hemoglobina, em comprimentos de onda específicos. A figura destaca os valores para a faixa do vermelho (λ_1) e do infravermelho (λ_2). Essa grandeza é fundamental para entendermos como a luz sofre uma atenuação ao se propagar em um meio material, sendo utilizada na lei de Beer-Lambert, dada pela Eq. (2)

$$I = I_0 e^{-\varepsilon(\lambda)cL} \quad (2)$$

Na Eq. (2), o termo $\varepsilon(\lambda)$ é o coeficiente de extinção, dado em (1/(Mol.l.cm)); os parâmetros I e I₀ correspondem à intensidade da luz transmitida e incidente em W/m², respectivamente; o parâmetro c representa a concentração da substância no meio (em Mol/l) e o parâmetro L corresponde à distância percorrida pela luz no interior do material (cm). Uma análise da Eq. (2) nos indica que, quanto maior o coeficiente de extinção mantendo os demais parâmetros, maior será a absorção da luz.

Observando a Fig. 3 e associando ao que foi previsto pela Eq. (2), esperamos que, durante a passagem do fluxo de sangue arterial (rico em HbO₂), tenhamos maior coeficiente de extinção e, portanto, a luz IR seja absorvida mais intensamente; ao passo que, durante o fluxo de sangue venoso (rico em Hb), tenhamos menor coeficiente de extinção e, conseqüentemente, menor absorção da luz IR. Esse contraste deve nos revelar o padrão de como o fluxo sanguíneo está sendo bombeado e, dessa forma, o padrão de batimentos cardíacos.

3. Metodologia

3.1. Confeção e funcionamento do circuito

Para a montagem do sensor de batimentos, são necessários os seguintes componentes:

- 1 resistor de 220 Ω e 1/4 W
- 1 resistor de 10k Ω e 1/4 W
- 1 resistor de 6,8 k Ω e 1/4 W
- 1 resistor de 680 Ω e 1/4 W
- 1 resistor de 330 Ω e 1/4 W
- 1 resistor de 47 k Ω e 1/4 W
- 1 capacitor eletrolítico de 4,7 μ F
- 1 capacitor cerâmico de 1 μ F
- 1 CI (Circuito Integrado) LM358 (Amplificador)
- 1 clipe de bateria (para conexão da bateria 9 V)
- 1 par de LED emissor e receptor IR ($\lambda = 940$ nm)

Os componentes listados são facilmente encontrados em lojas de componentes eletrônicos, e o levantamento realizado apontou que o preço total dos

componentes, em média, não ultrapassa os R\$ 20,00. Portanto, é uma prática financeiramente acessível para o professor.

Para a montagem do circuito, há três opções: a) os componentes podem ser soldados diretamente um ao outro; b) o circuito pode ser montado em uma *protoboard* (placa de prototipagem); ou, como foi o caso descrito nesse trabalho, c) pode ser montado numa placa de fenolite permanente. A escolha das opções pode ser feita de acordo com a experiência e/ou a disponibilidade de materiais do professor.

O diagrama do circuito, mostrado na Fig. 4, ilustra como os componentes devem ser conectados entre si.

O princípio de funcionamento do circuito reside na propagação da luz IR através do dedo do indivíduo. No circuito mostrado na Fig. 4, o dedo deve ser posicionado entre os componentes descritos como LED2 e LED3, que são, respectivamente, o receptor e o emissor de IR ($\lambda = 940 \pm 20$ nm). Como explicado anteriormente, as propriedades de composição do sangue, como o nível de oxigênio, alteram a forma como a luz se propaga através do sangue. Em nosso circuito, o LED3 (emissor IR) está ligado em série a um resistor de baixa resistência elétrica (R5). Dessa forma, ele emitirá IR em máxima intensidade. Já o LED2 (receptor IR) está ligado a um resistor de maior resistência elétrica (R6), o que irá implicar no seguinte: quando o LED2 receber muita intensidade de luz IR, ele ficará polarizado e, assim, permitirá a passagem de corrente elétrica. Nesse cenário, é necessária a presença de um resistor de alta resistência elétrica para proteção do circuito. Já quando o LED2 receber pouca intensidade de IR, impedirá a passagem da corrente elétrica. Essa variação da intensidade de IR recebida pelo LED2 é causada justamente pela mudança no

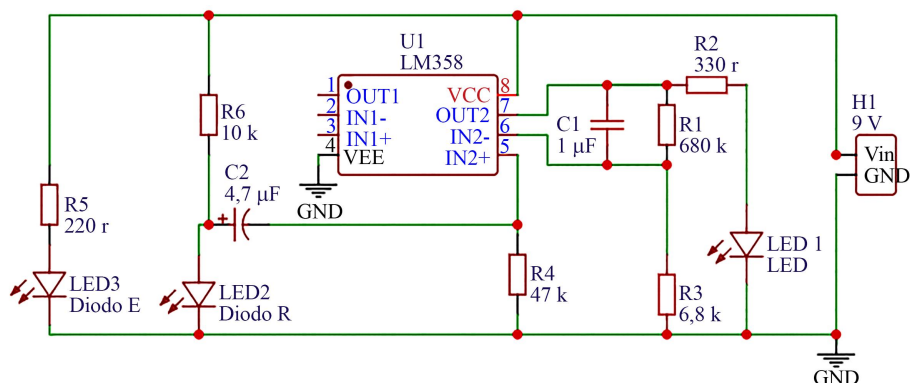


Figura 4 - Diagrama do circuito do sensor de batimentos cardíacos.

tipo de sangue fluindo pelo dedo, mudança essa ligada aos batimentos cardíacos. Essa variação da intensidade luminosa recebida será, então, convertida em nosso sinal elétrico.

Esse sinal elétrico é enviado até a porta 5 (IN2+) do nosso CI LM358, que funciona como amplificador. Este CI possui oito pinos, dos quais usaremos apenas cinco. O sinal elétrico tem dois pinos para entrada: o positivo mencionado acima e o negativo (IN2-) que aparece ligado em série com o resistor R3 à entrada negativa da alimentação. Para a saída do sinal, temos o pino (OUT2), que fornece o polo positivo do sinal de saída. Os outros dois pinos do CI são para alimentação positiva (VCC) e negativa (VEE). Perceba que, na Fig. 4, temos na saída do sinal um capacitor (C1) e um resistor (R1) que funcionam como um filtro para nosso sinal elétrico.

Ainda sobre o funcionamento do circuito, podemos perceber na Fig. 4 a presença do LED1, que pode ser usado no lugar do Arduino. O LED1 piscará com a mesma frequência do batimento cardíaco do indivíduo, apresentando um sinal visual do batimento. Entretanto, em nosso protótipo, o LED1 foi retirado e teve seu polo positivo substituído por um fio que será conectado à entrada analógica do Arduino (polo positivo do sinal) e, onde seria o contato negativo do LED1, foi colocado outro fio a ser conectado ao GND do Arduino.

Em nosso protótipo, utilizamos para a montagem do circuito uma placa de fenolite, face simples, de dimensões 50 mm x 100 mm, e o processo de fabricação da placa foi inteiramente artesanal.

Com uma caneta permanente (caneta de retroprojeter), foram desenhadas à mão as trilhas do circuito na face cobreada da placa. As trilhas foram desenhadas de acordo com as ligações mostradas na Fig. 4. Após isso, a placa foi mergulhada em uma solução de perclorato de ferro (FeCl₃), que oxidou toda a camada condutora de cobre desprotegida pela tinta da caneta, restando apenas as trilhas previamente desenhadas. A reação química que descreve esse processo é mostrada na Eq. (3)



Analisando a Eq. (3), percebemos que a reação resulta em um subproduto (2FeCl₂) com menos poder oxidante, por isso a solução fica menos eficaz após ser utilizada muitas vezes. Após limpar a placa, foram feitos os furos pa-

ra encaixe e soldagem dos componentes. A Fig. 5(a) mostra a parte superior da placa com os componentes, enquanto a Fig. 5(b) mostra a parte inferior da placa, com as trilhas e as soldas prontas.

Como foi mencionado, esse processo não é obrigatório, visto que uma placa de prototipagem pode ser utilizada e na qual os componentes podem ser encaixados e desencaixados a qualquer momento. Os componentes também podem ser diretamente soldados uns aos outros.

Para utilizar o protótipo como sensor de batimento cardíaco, devemos conectar a saída do sinal (polo positivo de LED1) na porta A2 (analógica) do Arduino, e a saída negativa do sinal (polo negativo de LED1) na porta GND (negativa) do Arduino. Essa conexão é mostrada na Fig. 6.

Com o circuito conectado corretamente, devemos programar o Arduino para reconhecer e exibir o sinal analógico. Para isso, basta copiar no ambiente de programação (IDE) o código mos-

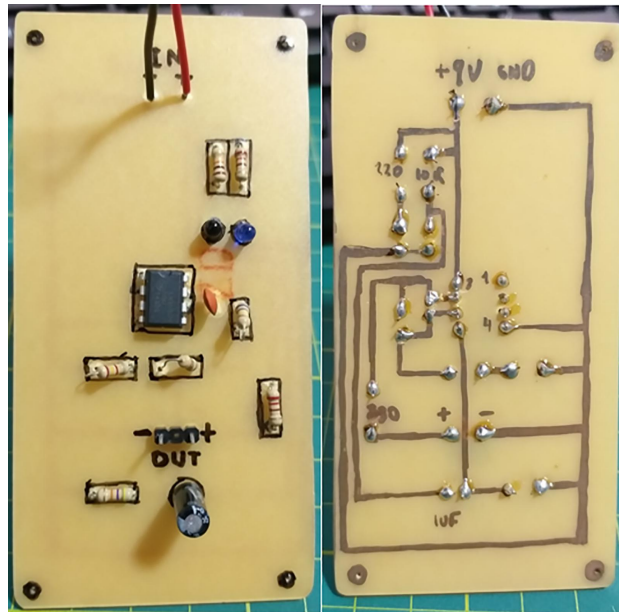


Figura 5 - (a) à esquerda, a face superior da placa pronta e (b) à direita, a face inferior da placa com as soldas prontas.

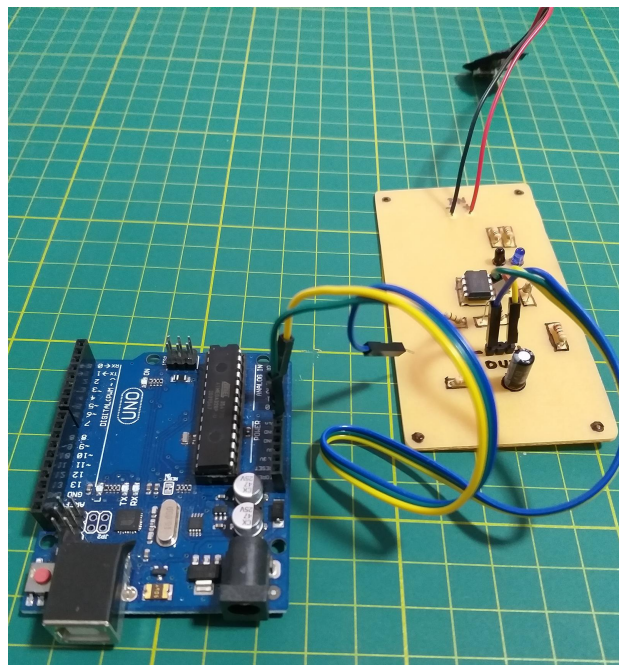


Figura 6 - Protótipo conectado ao Arduino UNO.

trado no apêndice.

4. Resultados e Discussões

Ao posicionar o dedo entre o LED2 e o LED3 (receptor e emissor IR), o Arduino começará a captar o sinal da saída do circuito. Na própria IDE do Arduino, há uma ferramenta (*Plotter Serial*) para exibir de forma gráfica os dados recebidos. Basta acessar *Ferramentas > Plotter Serial* e já será exibido o sinal graficamente. A Fig. 7 é um exemplo de sinal obtido em nossos testes.

O gráfico mostrado na Fig. 7 e as informações mostradas pelo Arduino nos permitem ter uma boa noção de algumas características dos sinais vitais do indivíduo graficamente. Para determinar a frequência cardíaca, por exemplo, basta calcularmos o intervalo de tempo entre os pontos de máximo no gráfico (que correspondem à baixa concentração de oxigênio no sangue), e multiplicarmos por 60, para obtermos os batimentos por minuto.

A informação no eixo horizontal nos mostra o intervalo de tempo decorrido. As medidas são feitas em intervalos regulares de 0,01 s, cuja informação pode ser vista no último comando do código: a função *delay* manda o programa aguardar, e o valor “10”, dentro dos parênteses, significa que ela deve aguardar 10 ms para a próxima aquisição de medida.

Analisando os valores obtidos e fazendo um levantamento dos intervalos de tempo entre os picos, temos os dados mostrados na Tabela 1.

Os valores mostrados na Tabela 1 indicam que, em média, o período de tempo decorrido entre os picos do gráfico é de 0,858 s, o que nos fornece um batimento cardíaco de frequência 1,165Hz, que resulta em, aproximadamente, 70 batimentos por minuto.

Pelo fato de o experimento possuir uma coleta de dados automática e digitalizada, também podemos utilizá-lo em uma situação de ensino remoto. Uma vez que a tela do professor pode ser compartilhada com os alunos, eles teriam acesso visual ao gráfico em tempo real dos batimentos cardíacos. Com acesso aos dados, eles podem executar o cálculo da frequência cardíaca média observado na tela.

De maneira análoga, os alunos tam-

Apêndice

Código de programação.

```
int sensorPin = A2; //Porta de entrada do sinal
int sensorValue = 0; //Define a variável
void setup() {
  Serial.begin(9600); //Inicia a comunicação serial
}
void loop() {
  // leitura do pino de entrada e atribuição de valor
  sensorValue=analogRead(sensorPin);
  //imprime valor na serial
  Serial.println(sensorValue);
  //aguarda 10ms
  delay(10);
}
```

bém podem visualizar em tempo real o efeito da oxigenação sanguínea e sua relação com a absorbância da luz IR, já que o gráfico mostra claramente os ciclos do fluxo sanguíneo, causados pela variação de concentração de O₂ no sangue.

O protótipo também pode ser utilizado para indicar o percentual de concentração de O₂ no sangue. Em nossos testes, fizemos uma medição de níveis de O₂ utilizando um equipamento acoplado a um relógio de pulso digital, que nos indicou um nível de O₂ de 98%. Para essa ocasião, o parâmetro do eixo vertical (mostrado na Fig. 7) que representa o mínimo do sinal, ficou em torno de 25 u.a. (unidades arbitrárias). Essa

medição foi repetida em outros dois indivíduos, que apresentaram parâmetros similares (93% e 97%); dessa forma, os resultados apontam na direção de que esse valor indica uma oxigenação sanguínea ideal.

Ademais, a própria explicação dos fenômenos eletrônicos que ocorrem no circuito apresenta várias aplicações de conhecimentos, como a associação de resistores, a determinação de corrente elétrica, a potência dissipada e a lei de Kirchhoff.

5. Considerações Finais

A construção do sensor de batimentos cardíacos de baixo custo proporcionou uma visão de como funcionam al-

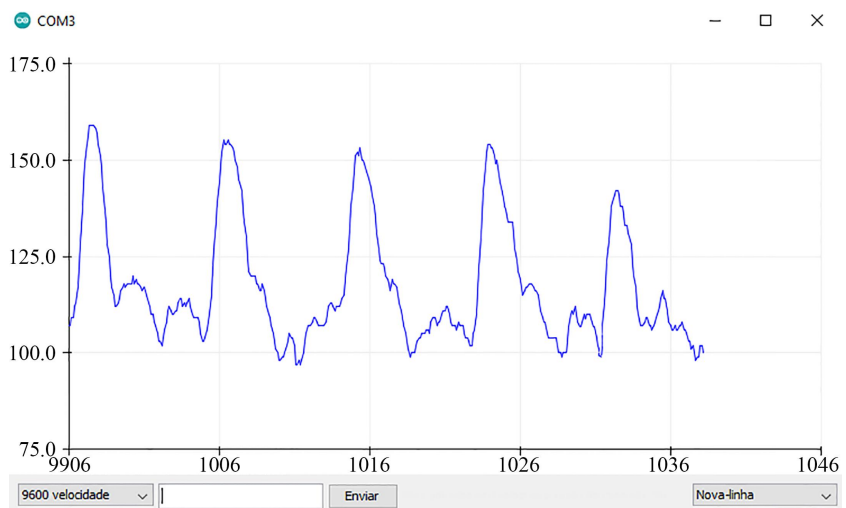


Figura 7 - Sinal de leitura do Arduino mostrado no *Plotter Serial* em testes com o protótipo.

Tabela 1: Intervalos de tempo entre os picos do gráfico da Fig. 7.

Picos do gráfico	1 e 2	2 e 3	3 e 4	4 e 5	5 e 6
Intervalo de tempo em (s)	0,83	0,94	0,86	0,75	0,91

guns sensores com esse propósito, bem como permitiu colocar em prática conhecimentos de circuitos, eletrônica e propagação da luz. No que diz respeito ao funcionamento do sensor, podemos concluir que os dados obtidos foram satisfatórios, o que permitiu discutir aspectos importantes sobre o fenômeno da absorção e da emissão da luz.

Em termos de potencialidade pedagógica, percebemos que o sensor possibilita ao professor que aborde assuntos relacionados à tecnologia, a conceitos de física de emissão e absorção

de luz, a espectro de luz e a circuitos elétricos, além de uma abordagem interdisciplinar com biologia, no que diz respeito à explicação do fenômeno de absorção de luz pelo sangue.

Ainda sobre a potencialidade pedagógica, percebemos que o sensor pode ser utilizado como recurso para ilustrar o fenômeno nas aulas remotas, muito comuns em tempos de pandemia do SARS-CoV-2 pelo fato de apresentar uma interface de apresentação gráfica de dados, permitindo o compartilhamento em tempo real com os estu-

dantes.

Outro aspecto a ser mencionado, no sentido de sua potencialidade pedagógica, reside no fato de que a construção e a utilização do protótipo promovem a mobilização de conhecimentos e habilidades de diversas áreas, o que, de acordo com a abordagem STEAM, enriquece as conexões entre os conteúdos de maneira significativa.

Por fim, podemos citar que, de maneira geral, a construção do protótipo demandou pouco esforço e qualquer pessoa com conhecimento básico de eletrônica possivelmente conseguiria reproduzi-lo, além de não ter custo elevado.

Recebido em: 4 de Agosto de 2021

Aceito em: 16 de Fevereiro de 2022

construção do protótipo demandou pouco esforço e qualquer pessoa com conhecimento básico de eletrônica possivelmente conseguiria reproduzi-lo

Referências

- [1] M.A. Moreira, Revista Brasileira de Ensino de Física **43**, e20200451 (2021).
- [2] M.M.P.C. Moreira, M. C. Romeu, F. R. V. Alves, F. R. O. da Silva. Caderno Brasileiro de Ensino de Física **35**, 721 (2018).
- [3] T.D. Admiral, G.R. Fonseca, K.G. Silva, A Física na Escola **19**(1), 63 (2021).
- [4] M.M. Almeida, Revista Brasileira de Ensino de Física **43**, e2020036 (2021).
- [5] J.M. Cardoso, M. Zannin, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, e20190028 (2019).
- [6] M.V. Silveira, R.B. Barthem, A.C. Santos, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, e20180084 (2018).
- [7] G. Yakman. STEAM Education: An Overview of Creating a Model of Integrative Education (Virginia Polytechnic and State University, Blacksburg, 2008), disponível em <https://www.iteea.org/File.aspx?id=86752&v=75ab076a>, acesso em 15 de jul. 2020.
- [8] G. Frigotto, Revista Ideação **10**, 41 (2008).
- [9] S.M. Riley, *No Permission Required* (Visionyst Press, Westminster, 2014).
- [10] H.M. Nussenzeig, *Curso de Física Básica 4* (Edgard Blücher, São Paulo, 2002), v. 3, p.237.
- [11] A. Scarinci, F. Marineli, Revista Brasileira de Ensino de Física **36**, 1309 (2014).
- [12] A.L. Azevedo, A. K. S. Sousa, T. J. Castro, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, e20180349 (2019).
- [13] G. Tortora, *Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia* (Artmed, Porto Alegre, 2003).
- [14] D.W.C. Lima, *Oxímetro de Pulso com Transmissão de Sinal Sem Fios*. Monografia, UFRGS, 2009.
- [15] A. Elsharydah, R.C. Cork, in: *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation* (John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2006), v. 1, p. 469-476.