



CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO

Larissa Rocha Pereira ¹
Maria Heloisa Oliveira Cezar ¹
Natália Awoki Pacheco ¹
Renata Serafim Genize ¹
Thainá Alves da Silva ¹

Orientador: Prof. Dr. Fabio Rizzo de Aguiar
Coorientadora: Prof.^a Esp. Thais Taciano dos Santos

RESUMO

O estudo da espectroscopia é de grande importância para o conhecimento das características dos elementos na disciplina de Química, sendo utilizado como uma técnica de aferição de dados físico-químicos através da transmissão, absorção ou energia radiante incidente em uma amostra. No entanto, para a sua realização é necessário a utilização de equipamentos de alto custo. Diante dessa perspectiva, este trabalho foi realizado no intuito de baratear o custo e enriquecer o estudo das técnicas de espectrofotometria de absorção molecular, nele, apresentamos detalhes da confecção e validação do método de análise por meio de um espectrofotômetro de baixo custo, comparando os dados obtidos através das análises das soluções de permanganato de potássio, Rodamina-B e Sulfato de Tetraminacobre (II) monoidratado em um Espectrofotômetro de Absorção Molecular. Tendo como resultado um aparelho capaz de efetivar análises quantitativas muito próximas às do equipamento de referência.

Palavras-chave: Espectroscopia; Análise instrumental; Acessibilidade; Otimização.

ABSTRACT

The study of spectrophotometry is of great importance for the knowledge of the characteristics of elements in the discipline of chemistry, being used as a technique for measuring physical-chemical data through transmission, absorption, or radiant energy incident on a sample. However, for its realization it is necessary to use high-cost equipment. Given this perspective, this work was carried out to enrich the study of EAM techniques, in it we present details of the preparation and validate the method of analysis utilizing a low-cost spectrophotometer, comparing the data obtained through analysis of solutions of potassium permanganate, Rhodamine-B and Tetramine copper Sulfate (II) monohydrate with the Absorption Spectrophotometer Molecular. Resulting in an apparatus capable of carrying out quantitative analyzes very close to that of the reference equipment.

Keywords: Spectroscopy; Instrumental analysis; Accessibility; Optimization.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite – CEP 04815-240 – São Paulo Brasil.
grupotccspectro@gmail.com

Recebido em: 02/12/2022

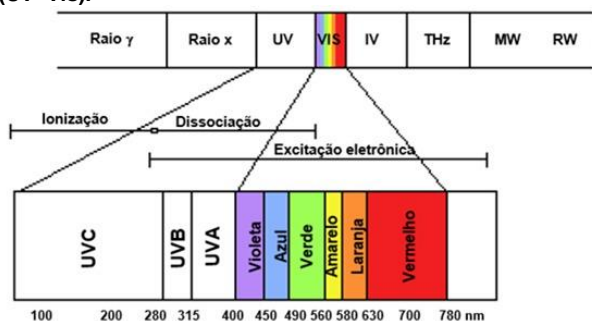
Apresentado à banca em: 08/12/2022

1. INTRODUÇÃO

A Química Analítica é uma ciência de medição. Ela consiste em um conjunto de técnicas empregadas para determinar a composição química de uma amostra, revelando a sua identidade e a quantidade de elementos e substâncias presentes na amostra (SCHRODER, 2018). A Análise Química Instrumental é o ramo da Química Analítica que têm se destacado mormente nos últimos anos pelos avanços tecnológicos, tanto na montagem de sistemas analíticos mais robustos e de menor tamanho, quanto no desenvolvimento de softwares de operação e tratamento de dados que otimizam o tempo de análise e de interpretação dos resultados obtidos (JUNIOR, 2010).

Dentre os ramos da Química Instrumental a Espectrofotometria de Absorção Molecular (EAM) é um dos métodos analíticos mais utilizados para determinações qualitativas e quantitativas de espécies químicas orgânicas e inorgânicas. Essa técnica se baseia na medida da absorção de ondas eletromagnéticas nas regiões visível e ultravioleta por espécies químicas (moléculas ou íons) em solução (FILHO et al., 2010). As ondas eletromagnéticas cobrem um longo intervalo de frequências de oscilação por intervalo de tempo das cargas elétricas, e um largo intervalo de comprimento de onda. A Figura 1 ilustra o espectro eletromagnético e as classificações das diferentes radiações em função dos intervalos de frequência e comprimentos de onda (CANNASSA; LANOMATO; RIBEIRO, 2018). A região visível do espectro inclui comprimento de onda entre 380-780 nm, uma pequena faixa de comprimento de onda na qual o olho humano é sensível (ALMEIDA e RORIZ, 2008).

Figura 1: Espectro de radiação eletromagnética evidenciando a faixa correspondente ao ultravioleta e visível (UV-Vis).

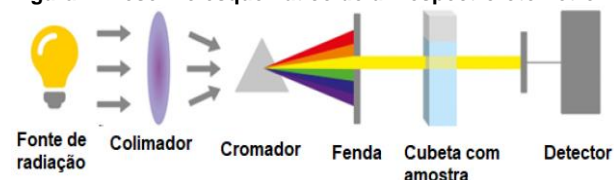


Fonte: CANNASSA; LANOMATO; RIBEIRO, 2018

O espectrofotômetro de absorção molecular é um instrumento utilizado para determinar a quantidade de luz que uma amostra absorve, ou seja, mede os valores de transmitância (luz

transmitida) e de absorbância (luz absorvida) de uma solução em um ou mais comprimentos de onda (KASVI, 2018). Um espectrofotômetro fundamenta-se essencialmente de dois aparelhos, um espectrômetro, responsável por produzir o comprimento de onda desejado, nele há uma fonte de radiação que passa por um colimador (lente) no qual transmite um feixe reto de fótons (luz) que passa por um monocromador dividindo-os em vários comprimentos de onda em seguida, um seletor de comprimento de onda (fenda) transmite apenas os comprimentos de onda desejados; e um fotômetro responsável por detectar a quantidade de fótons que é absorvida depois que a faixa desejada de comprimento de onda da luz passa pela amostra na cubeta, em seguida, envia um sinal para um galvanômetro ou um display digital, assim como mostra a Figura 2 (LABNOVA, 2021).

Figura 2: Desenho esquemático de um espectrofotômetro.



Fonte: LABNOVA, 2018.

Com esses equipamentos é possível identificar a absorvidade molar de uma espécie em um máximo de absorção, que é uma característica da espécie analisada. Cada espécie química possui uma identificação espectrofotométrica, que é chamada de linhas espectrais de absorção ou emissão, dessa forma é possível realizarmos análises quantitativas e qualitativas. (SKOOG, 2006). No entanto, esses equipamentos são de alto custo, o que dificulta o seu acesso.

Nesse sentido se torna inviável e inacessível a sua compra para diversas instituições. Provocando, conseqüentemente, um déficit no aprendizado dos alunos, prejudicando a realização de possíveis práticas laboratoriais, ocasionadas pela falta de disponibilidade, principalmente, financeira.

Diante das aulas práticas no laboratório da ETEC Irmã Agostina, escola técnica localizada na Zona Sul da capital paulista, é possível presenciar que não há uma proporcionalidade no acesso ao espectrofotômetro, ou seja, há um desequilíbrio. No qual, há apenas um equipamento para uma grande quantidade de alunos, originados pelo seu alto valor de aquisição.

Pretendemos alterar este cenário, minimizando e melhorando os problemas

causados, ditos anteriormente. Visamos, portanto, construir um espectrofotômetro de baixo custo, tendo como finalidade, ser comparado ao equipamento de referência, se tornando, sucessivamente, um auxílio em relação as práticas laboratoriais. Além de poder solucionar o problema referente a acessibilidade.

2. METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Para a realização dos procedimentos, foram utilizados os seguintes reagentes: permanganato de potássio P.A., Rodamina-B P.A., sulfato de cobre penta-hidratado P.A. e hidróxido de amônio em solução 6 mol·L⁻¹. Para a construção do protótipo, foram utilizados: um Arduino UNO®, que atua como microcontrolador; um canudo de inox, com a função de direcionar a luz para a cubeta e sensor; uma lâmpada de LED de alto brilho de cor branca, fonte de radiação; e um sensor de luz BH1750. Junto a isso, também foi necessária a utilização dos seguintes equipamentos: um espectrofotômetro de absorção molecular na faixa UV/visível (modelo NOVA 1600UV); uma balança analítica; duas pipetas automáticas de com volumes máximos de 1000 e 200 µL; balões volumétricos de 10 mL e cubetas de poliestireno.

2.2. ELABORAÇÃO DA ESTRUTURA

Para a construção do espectrofotômetro, utilizou-se a mesma estrutura externa de um fluorímetro prototipado em 2017 (COLLATO et. Al, 2017). A estrutura de encaixes foi constituída a partir de placas de MDF de 9 mm, recortadas a laser, unidas com cola de carpinteiro e fixadas com parafusos. Após a sua montagem, foi necessário pintá-la de preto para que não houvesse interferências nas análises. As dimensões da estrutura estão representadas no Apêndice A.

Após retirar as peças originais do equipamento, foi feita uma nova fenda utilizando uma broca de 6 mm, na altura do sensor BH1750, em uma das placas de madeira MDF da parte interna. Nessa fenda foi inserido um canudo de inox de 8 cm, a lâmpada LED foi posicionada em sua extremidade, e do lado oposto ao canudo foi acoplado um porta-cubeta feito de plástico. Por fim, todos os componentes foram interligados ao microcontrolador, já com o código. O esquema eletrônico e a disposição dos componentes estão sendo representados no Apêndice B e C, respectivamente. Para a elaboração do código,

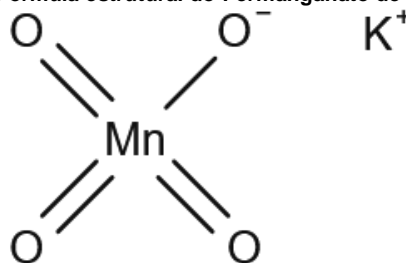
disponível no Apêndice D, foram utilizados fragmentos de diversas outras programações, a adaptação desses códigos foi realizada com a ajuda do professor orientador.

Com isso feito, foram realizados os testes para comprovar a estabilidade da resposta do sensor, primeiramente, na ausência de luz (teste *dark*) e, posteriormente realizando leituras da intensidade da radiação luminosa emitida pela lâmpada LED (teste LED), após isso foram efetivadas as análises com uma cubeta vazia (teste Cubeta) e com uma cubeta contendo apenas água destilada (teste Água).

2.3. PADRÕES E PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

O permanganato de potássio, cuja fórmula estrutural está expressa na Figura 3, é formado pelos íons potássio (K⁺) e permanganato (MnO₄⁻), possui massa molar 158,034 g·mol⁻¹. Esse reagente é um sal inorgânico e um forte agente oxidante (CARBONO e CHEMICALS, 2022).

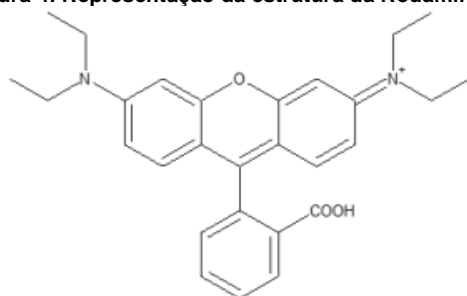
Figura 3: Fórmula estrutural do Permanganato de Potássio.



Tanto no estado sólido, quanto em solução aquosa, apresenta uma coloração violeta bastante intensa. Tomaram-se as devidas precauções com o manuseio desse composto, por conta da sua característica fotossensível, seguindo as Boas Práticas de Laboratório.

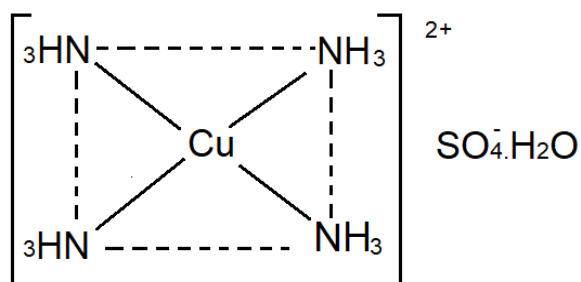
Para melhor solubilidade utilizamos a Rodamina-B, em pó, a qual possui uma cor vermelho-violeta. Pertencente ao grupo amina, o corante xanteno tem solubilidade em álcoois ou água, e tende a ser fluorescente. Possui a massa molecular de 479,02 g·mol⁻¹, fórmula molecular C₂₈H₃₁N₂O₃Cl e a fórmula estrutural representada na Figura 4 (CASTRO, 2017).

Figura 4: Representação da estrutura da Rodamina-B.



O sulfato de tetraminacobre (II) monoidratado, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, cuja fórmula estrutural é representada na Figura 5, é um composto de coordenação de cor azul intensa. As soluções de sais de cobre geralmente são azuis, cuja cor resulta da absorção da luz amarela e vermelha e, conseqüentemente, transmissão preferencial de luz azul pelo íon cobre. Diversos sais contendo o íon complexo $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ podem ser cristalizados a partir de soluções amoniacais. Ao se adicionar NH_4OH em excesso à sais de cobre (II), forma-se um precipitado gelatinoso de hidróxido de cobre (II). Porém, quando a adição de hidróxido de amônio é contínua, o precipitado se solubiliza, formando uma solução, límpida, de cor azul intensa, por conta da formação do íon complexo $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ (SOUZA, 2019).

Figura 5: Fórmula estrutural do sulfato de tetraminacobre (II) monoidratado.



Em princípio para as análises quantitativas foram preparadas as soluções-mãe para cada composto, utilizadas para a preparação dos padrões. Em seguida foi realizada a análise do perfil espectrofotométrico utilizando as soluções intermediárias de cada reagente, com isso efetuamos as leituras de 400-700 nm para o Permanganato de Potássio; 500-560 nm para a Rodamina-B e 570-670 nm para o Sulfato de Tetraminacobre (II) Monoidratado. As concentrações de cada solução estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1: Concentrações das soluções para análise.

Solução	Concentração ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)		
	Permanganato de Potássio.	Rodamina-B	Complexo de Cobre
Mãe	$8,00 \cdot 10^{-4}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-1}$
Padrão 1	$8,00 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-6}$	$8,10 \cdot 10^{-3}$
Padrão 2	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$5,00 \cdot 10^{-6}$	$5,00 \cdot 10^{-3}$
Padrão 3	$4,80 \cdot 10^{-4}$	$7,50 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Padrão 4	$7,20 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-2}$
Padrão 5	$8,00 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$

Após efetivar as cinco análises, totalizando 15 ensaios, preparou-se uma solução estoque de cada composto seguindo a mesma metodologia, com essas soluções foram preparadas duas amostras de cada, sendo A e B de Permanganato de Potássio; C e D de Rodamina-B e E e F de Sulfato de tetraminacobre (II) Monoidratado, totalizando seis amostras de concentrações desconhecidas pelo grupo. As amostras e os padrões foram lidos tanto no espectrofotômetro de baixo custo quanto no equipamento de referência. Com o intuito de validarmos a eficiência do protótipo comparamos os valores das concentrações das amostras obtidos através da equação da reta gerada nas curvas analíticas dos dois equipamentos.

2.4. TRATAMENTO DE DADOS

Quando o feixe de luz emitido pelo LED atravessa a cubeta contendo o analito, parte de sua intensidade é absorvida. O sensor faz a leitura da luminosidade em que o analito não foi capaz de absorver, e apresenta esse valor em lux. Desse modo, conforme mostra a fórmula 1, é possível medir a transmitância de luz pela amostra (T), sendo que o P_0 é a média das 10 leituras do branco e P a média das 10 leituras do analito. De posse desses dados, é possível calcular a absorbância (A) por meio da fórmula 2, chegando assim aos dados necessários para a construção das curvas analíticas (LIMA, 2011).

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

$$A = -\log T = -\log \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

Elaborou-se através das curvas analíticas as comparações dos gráficos e dos dados obtidos com o equipamento de referência. Para esse fim foram utilizados os aplicativos *MS-Excel* e *M-Wave*, para a escrita do código para programação do microcontrolador, foi utilizado o aplicativo *Arduino IDE*®. Neste protótipo, a interface com o usuário se deu por meio da função *Monitor Serial* do IDE.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

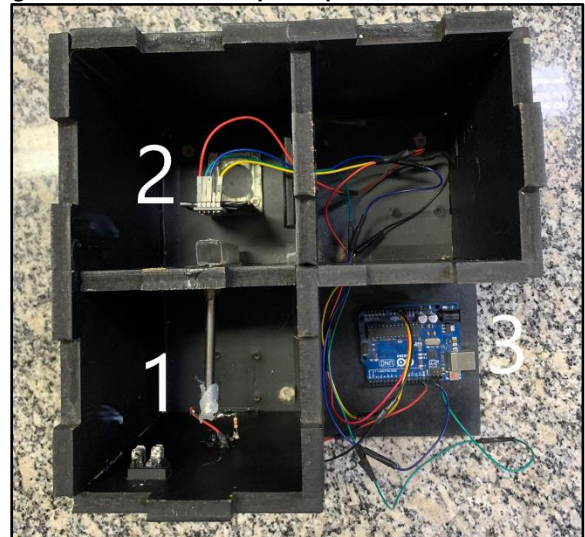
As partes externas e interna do protótipo, assim como, suas respectivas divisões, podem ser observadas na Figura 6 e 7, seguidamente.

Figura 6: Parte externa do protótipo



Na Figura 6, é apresentado o aparelho, o qual possui a finalidade de análise das soluções. Além disso, adicionou-se uma caixa de acrílico (1), para a proteção do Arduino—uno mediante ao ambiente externo.

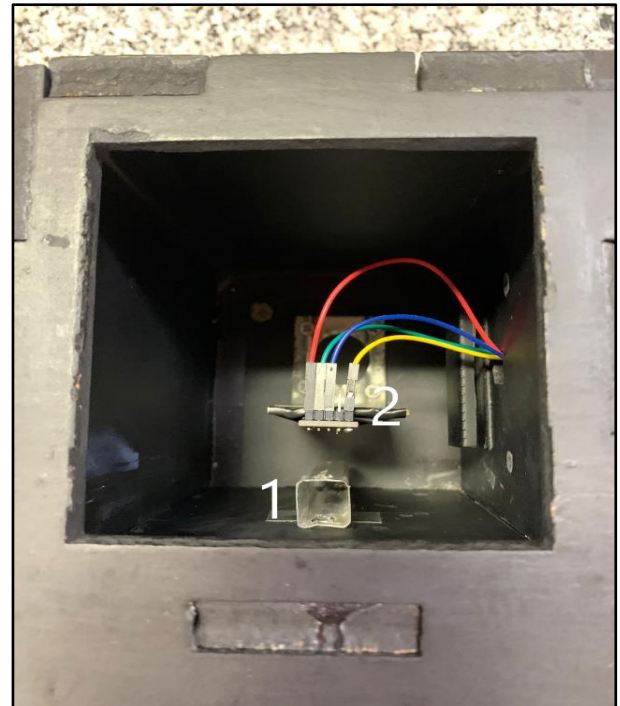
Figura 7: Parte interna do protótipo



Acima é possível ter uma visão geral da parte interna do aparelho, sendo elas LED e Canudo Inox (1); Porta-Cubetas e Sensor de Luz (2) e o Arduino (3).

Prosseguindo com as imagens, iremos descrever com maiores detalhes, sobre cada componente do equipamento, assim como sua função. Sendo as Figuras 8, 9 e 10.

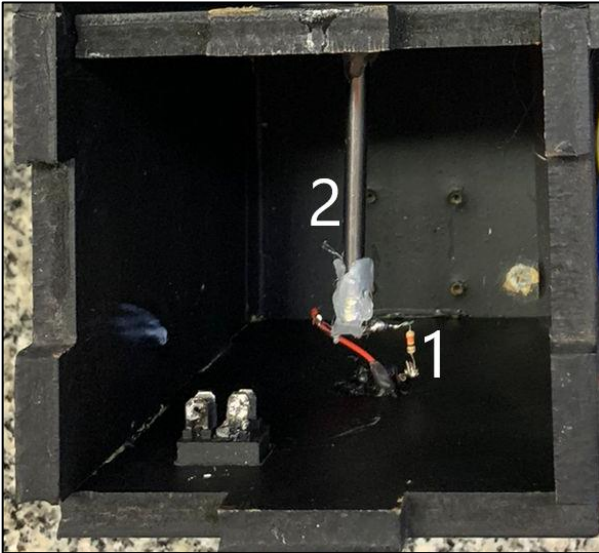
Figura 8: Porta-Cubetas e Sensor de Luz



Nesta imagem, podemos observar o porta-cubeta (1), feito para colocar as cubetas com as

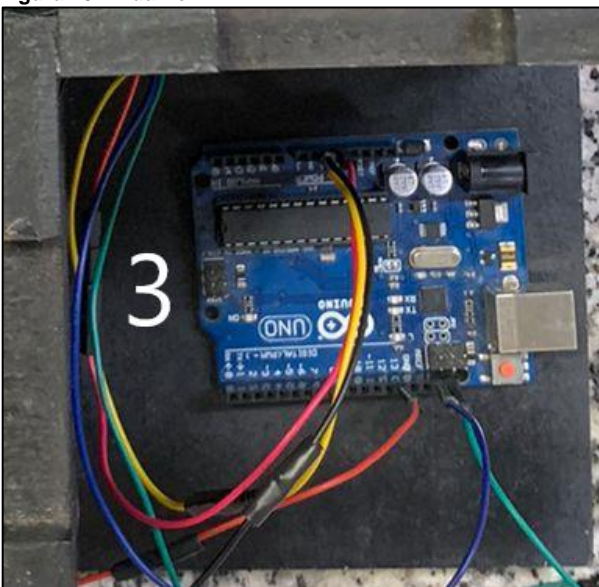
soluções preparadas para as futuras análises. Sendo (2), o sensor de luz BH1750, possui o objetivo de enviar as informações de absorvância e transmitância da amostra para o Arduino.

Figura 9: Luz de LED e Canudo Inox



Na parte (1), foi inserido o LED dentro do Canudo Inox (2), para a incidência da luz branca sobre a amostra. O Canudo Inox (2), representa o caminho do feixe luminoso sobre a solução, em que possui o objetivo de concentração do raio de luz, evitando sua dispersão.

Figura 10: Arduino



Sendo (3) o Arduino, que cumpre o papel de enviar os sinais do sensor, por meio de códigos para o computador, para que assim, este último

possa interpretar na unidade de lux, os componentes de absorvância e transmitância.

Após a apresentação, explicação e funcionamento do protótipo, pelas imagens, veremos os testes feitos com o sensor. Sendo eles: Dark, LED, Água e Cubeta. Seguindo as Figuras 11, 12, 13 e 14, respectivamente.

Figura 11: Dados de intensidade luminosa obtidos no teste Dark

```
BH1750 Test
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
Light: 0.00 lx
```

Nela, testamos o sensor, sem as amostras e o LED para verificar se a caixa estava totalmente vedada e sem interferência externa, como a luz. Podemos observar que os valores são nulos, ou seja, não há interferência da luz e está bem vedada.

Figura 12: Dados de intensidade luminosa obtidos no teste LED

```
Light: 0.00 lx
Light: 3240.83 lx
Light: 3240.83 lx
Light: 3240.83 lx
Light: 3240.00 lx
Light: 3241.67 lx
Light: 3241.67 lx
Light: 3240.83 lx
Light: 3240.83 lx
Light: 3240.83 lx
Light: 3240.83 lx
```

Nela, apenas testamos o funcionamento do LED e a estabilidade da resposta do sensor, que apresentou um valor médio de 3240,92 lux com um desvio médio absoluto de $\cong 0,3$ lux.

Figura 13: Dados de intensidade luminosa obtidos no teste Cubeta

```
BH1750 Test
Light: 0.00 lx
Light: 2671.67 lx
Light: 2671.67 lx
Light: 2671.67 lx
Light: 2672.50 lx
Light: 2665.00 lx
Light: 2670.83 lx
Light: 2671.67 lx
Light: 2670.00 lx
Light: 2670.00 lx
Light: 2671.67 lx
```

Nesse teste, utilizou-se apenas a cubeta, sem interferências de soluções da amostra, que apresentou um valor médio de 2670,67 lux, com um desvio médio absoluto de $\cong 1,4$ lux.

Figura 14: Dados de intensidade luminosa obtidos no teste Água

```
BH1750 Test
Light: 0.00 lx
Light: 3005.83 lx
Light: 3003.33 lx
Light: 3003.33 lx
Light: 3001.67 lx
Light: 3003.33 lx
Light: 3002.50 lx
Light: 3002.50 lx
Light: 3001.67 lx
Light: 3002.50 lx
Light: 3001.67 lx
```

Por fim, analisou-se como o protótipo se comporta em relação a amostra com água (destilada), apenas. Que apresentou um valor médio de 3002,8 lux, com um desvio médio absoluto de $\cong 0,90$ lux.

Após a comprovação da estabilidade do equipamento e com os resultados das análises dos perfis espectrofotométricos (525nm para o permanganato, 555 para a Rodamina-B e 620 para o complexo de cobre), prosseguimos com as análises, utilizou-se tanto o protótipo, quanto o EAM, para a obtenção de dados e a realização das curvas analíticas das substâncias escolhidas para os testes.

Foram feitos cinco testes para cada solução, das três substâncias. As Figuras 15 e 16 respectivamente, demonstram as comparações entre as curvas analíticas obtidas no protótipo e no EAM referente aos padrões de Permanganato de Potássio.

Figura 15: Curvas analíticas obtidas no Protótipo (KMnO₄)

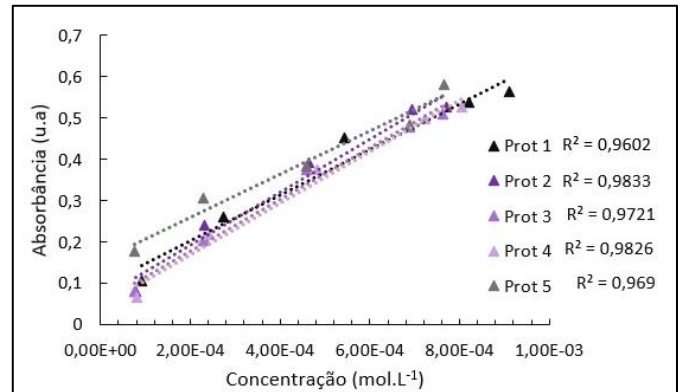
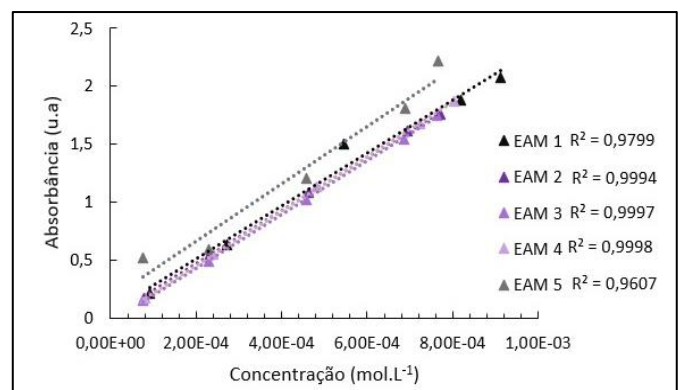


Figura 16: Curvas analíticas obtidas no EAM (KMnO₄)



Como podemos observar, obtivemos bons resultados perante o composto de KMnO₄, na qual, tanto no EAM, quanto no Protótipo, na maioria das vezes, conseguimos chegar em valores, para os coeficientes de correlação, acima de 0,9700. Porém, com o EAM, os respectivos valores de R², chegaram em 0,9900, já no Protótipo, os valores de R² se intercalaram entre 0,9600 e 0,9800.

Em sequência, são apresentados os dados referentes aos ensaios com a Rodamina-B, Figura 17 representa análises no espectrofotômetro de baixo custo e a Figura 18 as análises no EAM.

Figura 17: Curvas analíticas obtidas no Protótipo (Rodamina-B)

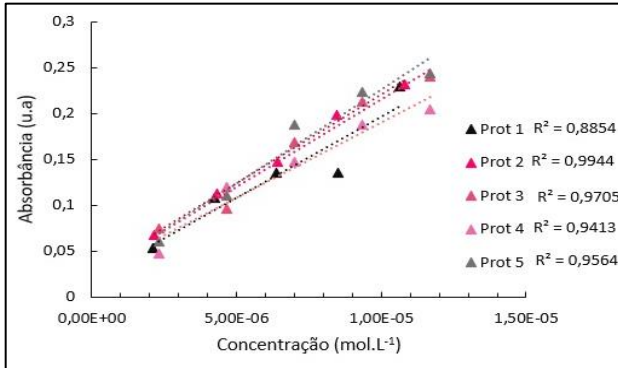


Figura 20: Curvas analíticas obtidas no EAM [Cu(NH₃)₄SO₄·H₂O]

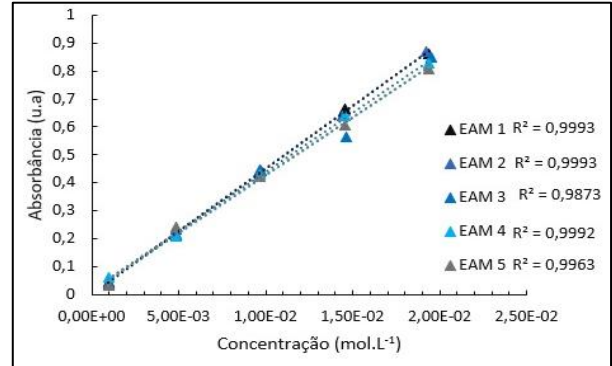
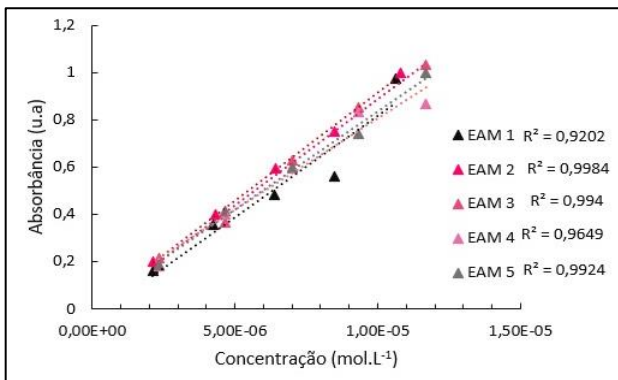


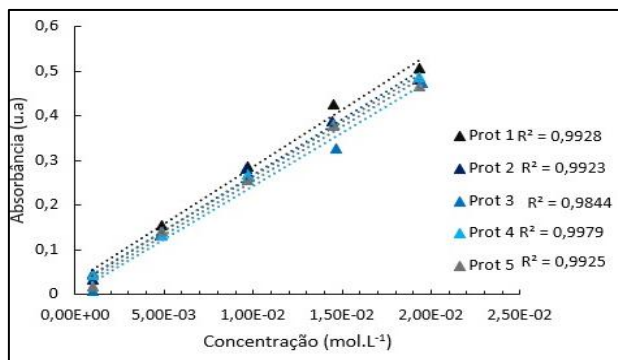
Figura 18: Curvas analíticas obtidas no EAM (Rodamina-B)



Na análise com a Rodamina-B, observa-se que é uma substância que apresenta, dentre as três, a que possui maior taxa de instabilidade. Refletindo nos resultados do EAM e no Protótipo, causando no R², valores menores que 0,9700, comparando com as outras duas substâncias feitas.

Finalizando as análises, prepararam-se as soluções de [Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O para a realização dos cinco padrões. Seguem nas Figuras 19 e 20.

Figura 19: Curvas analíticas obtidas no Protótipo [Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O]



Observando os padrões, podemos afirmar, que os resultados do R² se aproximam de 0,9900, ou seja, foram alcançados bons valores, tanto no EAM, quanto no Protótipo. Não existe discrepância entre os dois aparelhos, desta forma é notável a estabilidade nas análises das respectivas amostras.

A partir dessa confirmação, efetivamos mais três testes para conferir se as concentrações geradas a partir das equações das retas dos dois equipamentos também são equivalentes. Para isso o professor orientador preparou duas amostras de cada reagente, cujas concentrações eram desconhecidas pelo grupo, então construiu-se novas curvas analíticas, que estão representadas nas Figuras 21, 22 e 23 e realizou-se as leituras das amostras em ambos os equipamentos. As curvas analíticas obtidas no EAM e no protótipo representados pela cor cinza e preto, respectivamente.

Figura 21: Curvas analíticas feitas no EAM e Protótipo, para determinação das concentrações das amostras A e B (KMnO₄)

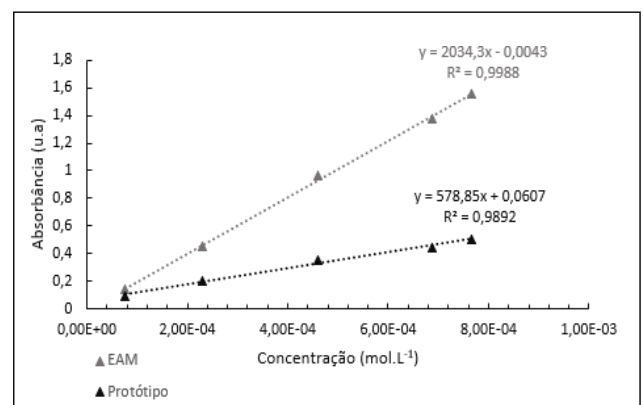


Figura 22: Curvas analíticas feitas no EAM e Protótipo, para determinação das concentrações das amostras C e D (Rodamina-B)

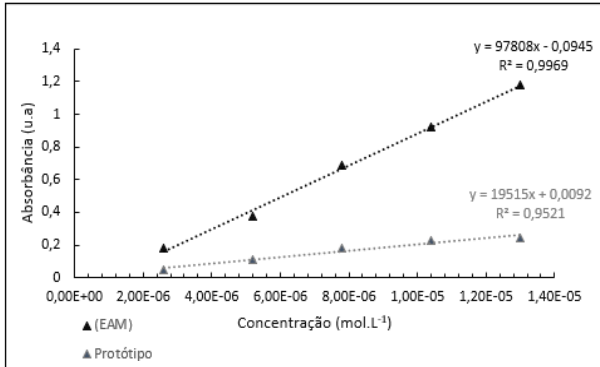
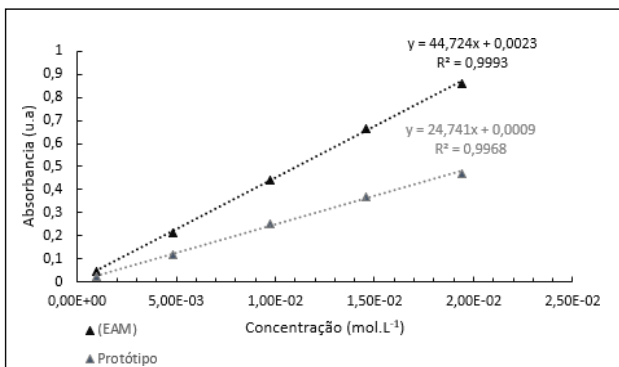


Figura 23: Curvas analíticas feitas no EAM e Protótipo, para determinação das concentrações das amostras E e F [Cu(NH₃)₄]SO₄·H₂O



A partir das equações das retas geradas pelas curvas analíticas dos dois equipamentos, foi possível calcular as concentrações das amostras, que estão representadas na Tabela 2, junto aos desvios médios absolutos e relativos.

Tabela 2: Concentração das amostras e desvios.

Amostra	Concentração (mol·L ⁻¹)		Desvio médio	
	Protótipo	EAM	Absoluto (mol·L ⁻¹)	Relativo (%)
A	$1,61 \cdot 10^{-4}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$2,40 \cdot 10^{-5}$	12,97
B	$6,34 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,00 \cdot 10^{-6}$	0,94
C	$5,57 \cdot 10^{-6}$	$4,95 \cdot 10^{-6}$	$6,20 \cdot 10^{-7}$	12,53
D	$7,48 \cdot 10^{-7}$	$6,88 \cdot 10^{-7}$	$6,00 \cdot 10^{-8}$	8,72
E	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$2,41 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	10,37
F	$1,35 \cdot 10^{-2}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$	$9,00 \cdot 10^{-4}$	7,14

Os desvios médios absolutos e relativos apresentaram valores baixos, conseqüentemente é possível concluir que existe uma similaridade nas análises quantitativas em ambos os equipamentos, gerando ótimos resultados, através do método analítico proposto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos fatos mencionados, a adaptação do protótipo antigo para o atual espectrofotômetro de baixo custo foi feita com sucesso, pois o espectrofotômetro de referência custa cerca de R\$ 16.310,00 enquanto o protótipo construído custa cerca R\$ 300,00. A elaboração do código apresentou bons resultados, na qual, o sensor apresentou resultados constantes e precisos.

A preparação dos padrões de Permanganato de Potássio, Sulfato de Cobre e Rodamina-B foi realizado com precisão, pois possibilitou que as curvas analíticas do EAM e do protótipo apresentassem um certo grau de semelhança.

Desta forma, é possível concluir que o protótipo é estável, uma vez que as análises quantitativas mostraram resultados contínuos. Além disso, um fator significativo é a linearidade entre os gráficos, visto que os valores estão próximos e crescentes; demonstrados e resumidos nos valores de R².

Para aperfeiçoar o aparelho é necessário a troca do led de alto brilho para um led RGB, adição de filtros, realização de mais análises com compostos de diferentes cores, para observar se o protótipo continua obtendo resultados coerentes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os professores da ETEC Irmã Agostina, em especial ao nosso orientador Professor Dr. Fábio Rizzo de Aguiar, à coorientadora Professora Esp. Thais Taciano dos Santos e ao Professor Dr. Klauss Engelmann, pelas contribuições e aprendizados.

Aos nossos amigos, colegas e familiares pelo apoio e compreensão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA K. D.; RORIZ, M. **Métodos alternativos para identificar a absorvância solar de superfícies opacas**. Ambiente Construído. Rio Grande do Sul. v. 7 n. 3. 112p. 04 de abr. 2008. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/artic/e/view/3745>. Acesso em: 23 de out. 2022.

CANASSA, T. A.; LAMONATO, A. L.; RIBEIRO, A. V. Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções. **Journal of Experimental Techniques and Instrumentation**, v. 1, n. 2, 6 jul. 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/renat/Downloads/5930-Article%20Text-19305-1-10-20180706%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/renat/Downloads/5930-Article%20Text-19305-1-10-20180706%20(1).pdf) Acesso em: 24 de nov. de 2022.

CASTRO, A. **Termodinâmica de partição dos corantes rodamina b e rodamina 6g em sistemas aquosos bifásicos**, Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, 2017. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/18575/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 26 de nov. de 2022.

COLLATO, V. R.; SALES, A. R. S.; GOMES, A. F. M.; GALVÃO, T. A. **Construção de um fluorímetro de baixo custo para o estudo da fluorescência em instituições de ensino**. TCC (Trabalho de Conclusão do Curso Técnico em Química). ETEC Irmã Agostina. 2017.

Espectrofotômetro. Labnova. São Paulo, 2021. Disponível em: [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OpXk36aQmMJ:https://www.labnova.com](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OpXk36aQmMJ:https://www.labnova.com.br/index.php/suporte/30-como-funciona-o-espectrofotometro&cd=12&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)

[br/index.php/suporte/30-como-funciona-o-espectrofotometro&cd=12&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](https://www.labnova.com.br/index.php/suporte/30-como-funciona-o-espectrofotometro&cd=12&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: 22 de out. 2022.

Espectroscopia: **Análise da concentração de soluções**. Kasvi, 2018. Disponível em: <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/#:~:text=O%20espectrofot%C3%B4metro%20%C3%A9%20o%20equipamento,depois%20de%20passar%20pela%20amostra>. Acesso em: 22 de out. 2022.

FILHO, H. B, et al. **Espectrofotometria no ultravioleta e visível**. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, 2010. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4275863/mod_resource/content/1/Apostila-espectrofotometria.pdf Acesso em: 22 de out. 2022.

JUNIOR, S. V. **Análise Química Instrumental e sua Aplicação em Controle de Qualidade de Biocombustíveis**. Embrapa. Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/872917/1/CIT03.pdf>. Acesso em: 22 de Out de 2022.

LIMA, L. S. **Lei de Lambert-Beer**, Revista Ciência Elementar v.1. 17 de fev. 2011. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2013/047/>. Acesso em 22 de out. 2022.

Permanganato de potássio. Carbono & Chemicals. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.carbonchemicals.com.br/linha-de-produtos/galvanoplastia/permanganato-de-potassio/#:~:text=O%20permanganato%20de%20pot%C3%A1ssio%20%C3%A9,uma%20colora%C3%A7>

SCHRODER, C. H. K. **Química Analítica**. Londrina: Educacional S.A, 2018, 10p.

SKOOG, D. A et al. **Fundamentos de Química Analítica**, 8ª ed., São Paulo: Thomson Pioneira, 2006.

SOUZA, A. **Química de Coordenação**. Sergipe: CESAD, Universidade Federal de Sergipe, 2019. Disponível em: https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/14263707062016Quimica_de_Coordenacao_Aula_8.pdf. Acesso em: 26 de nov. de 2022.

APÊNDICES

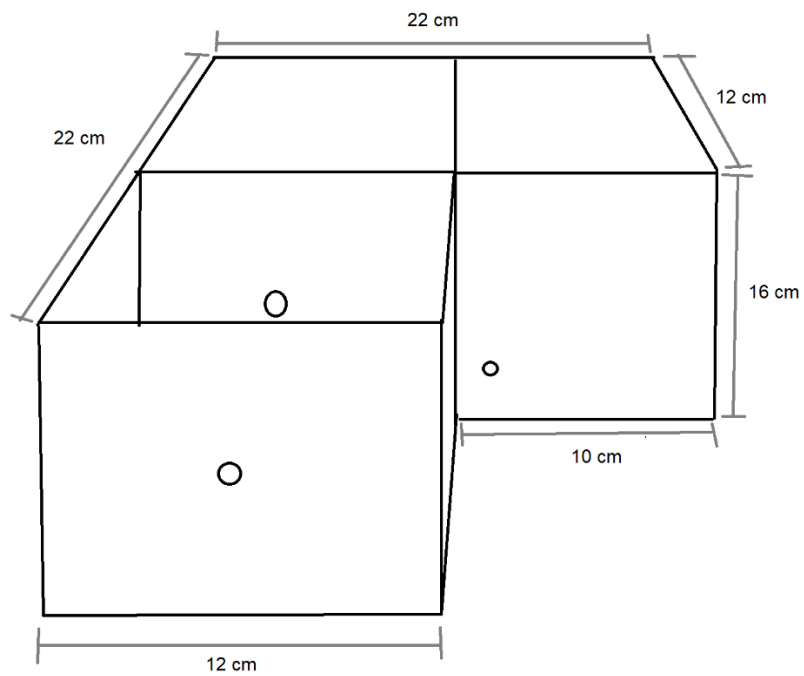
APÊNDICE A – Esquema da estrutura

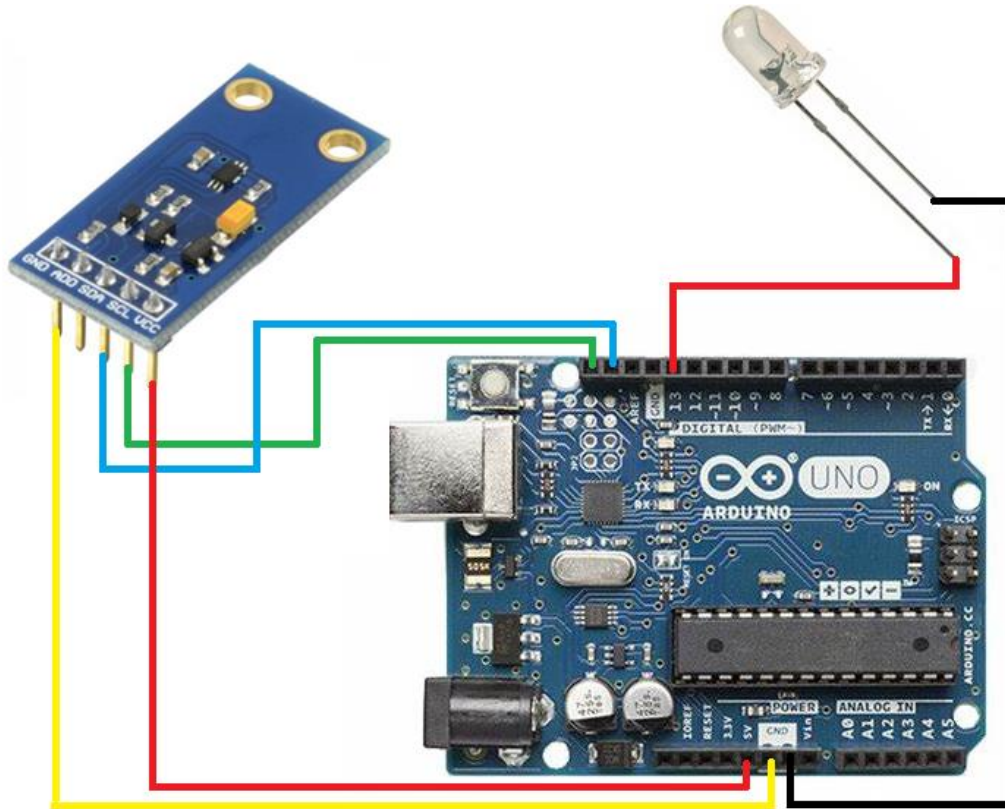
APÊNDICE B – Esquema da prototipação do aparelho

APÊNDICE C – Esquema da distribuição dos componentes integrados

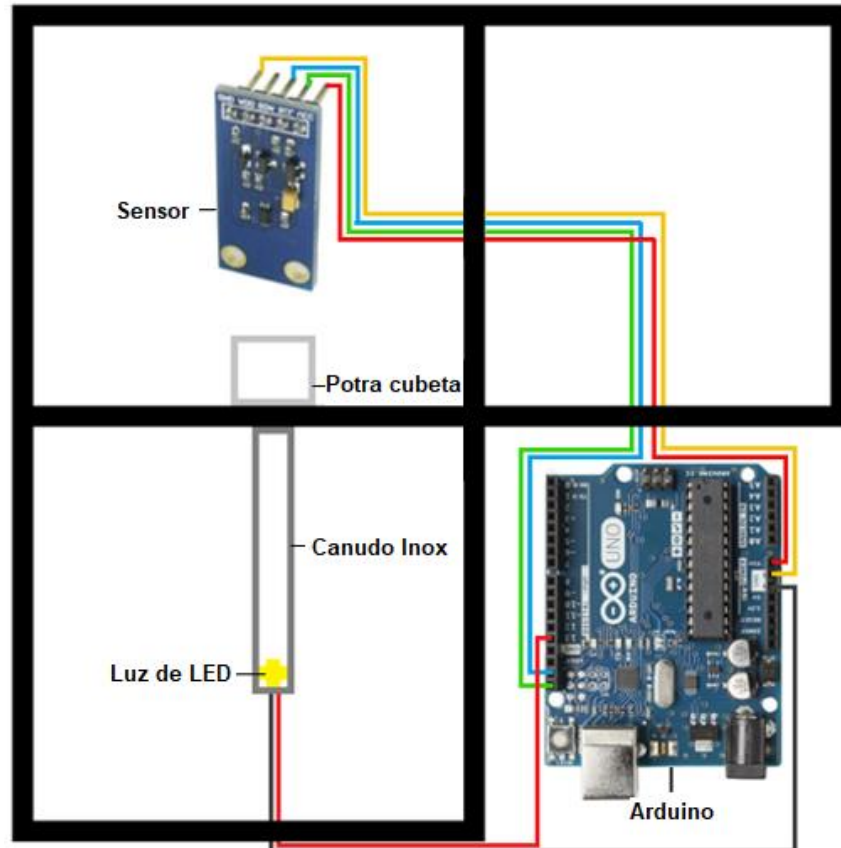
APÊNDICE D – Código usado no protótipo

APÊNDICE A — ESQUEMA DA ESTRUTURA.



APÊNDICE B — ESQUEMA DA PROTOTIPAÇÃO DO APARELHO.

APÊNDICE C — ESQUEMA DA DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES INTEGRADOS.



APÊNDICE D — CÓDIGO USADO NO PROTÓTIPO.

Nota explicativa: o texto depois de // (aqui grafados em laranja) são explicações do código (em preto) e, mesmo inseridos na programação, não são interpretados pelo microcontrolador.

```
#include <Wire.h>
//inclui funções necessárias para gerenciar a comunicação entre o sensor e o Arduino por meio do
//protocolo I2C
#include <BH1750.h>
//inclui a biblioteca para o correto funcionamento do sensor de luz
BH1750 lightMeter;
//define a instância para as medições do sensor

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //abre a porta de comunicação serial entre o Arduino e o PC, a 9600 bits/seg
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  //define o pino 13 do Arduino, como um pino de saída
  Wire.begin();
}
```

```

//inicia as funções da biblioteca de comunicação I2C
lightMeter.begin();
//inicia as funções da biblioteca do sensor de luz
Serial.println(F("BH1750 Test"));
//define que os valores exibidos no Monitor Serial terão o cabeçalho BH1750 Test
}

void loop()
{
    led();
    //define que há uma parte do código específica para controlar o LED
    sensor();
    //define que há uma parte do código específica para controlar o sensor
}

void led()
{
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
    // liga o LED
}
//para o teste dark, o void led não foi carregado no microcontrolador

void sensor()
{
    float lux = lightMeter.readLightLevel();
    //define a variável lux para armazenar os dados lidos no sensor
    Serial.print("Light: ");
    Serial.print(lux);
    Serial.println(" lx");
    //enviam para o Monitor Serial os valores lidos pelo sensor, no formato: Light: <valor de lux> lx
    delay(1000);
    //repete todo o void sensor a cada 1 seg (1000 milissegundos)
}

```