

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS MEDIANEIRA**

ANDERSON GRAZIANE DE MOURA SQUISSATTO

**CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE UM FOTÔMETRO
PARA O ENSINO DA ABSORÇÃO DE LUZ**

**MEDIANEIRA - PR
2018**

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL:
CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DE UM FOTÔMETRO
PARA O ENSINO DA ABSORÇÃO DE LUZ

Anderson G. M. Squissatto

Orientador:
Prof. Dr. Leandro Herculano da Silva

MEDIANEIRA - PR
03/2018

Lista de figuras

Figura 1: Medidas referentes a dimensão do tarugo de nylon e os locais onde devem receber o tubo de coleta, o LED-RGB e o fotodetector LDR.	3
Figura 2: Tarugo e Arduino fixos na parte interna da tampa da caixa Patola. ...	4
Figura 3: Esquema de montagem para o circuito eletrônico do fotômetro.	4
Figura 4: Imagem do fotômetro concluído e em funcionamento.....	6
Figura 5: Solução padrão de Fe^{2+} (1g/l), solução padrão de ortofenantrolina (1 g/l) e soluções padrões de Fe-EDTA (1,1 mg/gota).	10

Lista de tabelas

Tabela 1: Intensidade inicial (água pura), intensidade final e razão entre as intensidades inicial e final, em função da quantidade de gotas da solução de Fe-EDTA, para o comprimento de onda de 470 nm (região do azul).....	12
Tabela 2: Intensidade inicial (água pura), intensidade final e razão entre as intensidade inicial e final, em função da quantidade de gotas da solução de Fe-EDTA, para o comprimento de onda de 525 nm (região do verde).....	12
Tabela 3: Intensidade inicial (água pura), intensidade final e razão entre as intensidades inicial e final, em função da quantidade de gotas da solução de Fe-EDTA, para o comprimento de onda de 625 nm (região do vermelho).....	12
Tabela 4: Transmitância em função da concentração de Fe-EDTA para os três diferentes comprimentos de onda.	13
Tabela 5: Transmitância em função da concentração de Fe-EDTA para os três diferentes comprimentos de onda.	14

Sumário

Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	iv
1. O produto educacional.....	1
2. Confecção do Fotômetro	2
2. Funcionamento do fotômetro.....	6
3. Programação do fotômetro	7
4. Sugestão de aplicação do fotômetro	9
5. O caráter interdisciplinar do produto educacional.....	17
6. Referências bibliográficas.....	18

1. O produto educacional

O produto educacional constituído pela construção e aplicação de um fotômetro para o ensino da interação da absorção da luz é o resultado final de minha autoria, sob orientação do Prof. Dr. Leandro Herculano, e que se tornou base para o desenvolvimento de dissertação do MNPEF - UTFPR, e pode ser utilizado tanto para o ensino de física por parte de professores, como por qualquer aluno, que demonstre interesse em usá-lo.

O produto educacional proposto, composto de um conjunto experimental baseado em um fotômetro de três cores e uma sugestão de sequência de ensino para a aplicação desse conjunto, mostra-se adequado para o ensino de tópicos da interação da luz com a matéria e de princípios e aplicações que envolvem essa interação e que podem ser tratadas em várias disciplinas presente no ensino médio.

Esse produto educacional, possui três características que julga-se relevante: o baixo custo, cerca de R\$ 120,00 por unidade; a facilidade de construção, visto que nos preocupamos em desenvolver um produto em que os componentes podem ser facilmente adquiridos em sites e lojas de componentes eletrônicos; e a portabilidade. Este último mostra-se muito útil, pois permite que os experimentos sejam realizados sem a necessidade da infraestrutura de um laboratório. Além disso, pode-se utilizar uma bateria de 9 volts para alimentar o fotômetro e, desse modo, permitir que a utilização fora da sala de aula, em ambientes que não possuem acesso à energia elétrica.

Ademais, essa proposta propicia uma atuação interdisciplinar, que pode envolver as disciplinas de física, químicas, biologia, informática e eletrônica, ou também, em nível superior de ensino, uma vez que o mesmo possibilita estudar e discutir tópicos contidos nas ementas das disciplinas de Física IV e química analítica.

Por fim, acredita-se que o produto educacional aqui proposto, contribui para o ensino e aprendizagem da física, sua implementação é viável e colabora com a prática docente, demonstra aos alunos que a física é uma ciência experimental, aumenta sua participação nas aulas e aguça o interesse dos jovens pela ciência.

2. Confeção do Fotômetro

Materiais e ferramentas

Para a montagem do protótipo do fotômetro são necessários os componentes eletrônicos e estruturais conforme a quantidade indicada abaixo:

- 01 - Computador (com o software de programação Arduino IDE instalado e configurado);
- 01 - Arduino Uno;
- 01 - Caixa Patola PB-114;
- 01 - Módulo Display LCD 16x02;
- 01 - Fonte de alimentação bivolt 12V/1A;
- 01 - Módulo serial I2C;
- 01 - Tarugo de Nylon (25x50) mm;
- 01 - Sensor LDR 5 mm;
- 01 - Módulo LED RGB;
- 01 - Chave táctil NA;
- 05 - Tubo para coleta de sangue (12x75) mm;
- 05 - Cabos de conexão (jumper) macho-fêmea;
- 02 - Resistores de 1 k Ω .

Deve-se juntar também as seguintes ferramentas para trabalho:

- 01 - Chave philips pequena;
- 01 - Rolo de fita isolante;
- 01 - Pistola para cola quente de silicone (e bastão de silicone);
- 01 - Furadeira com broca de 12 mm;
- 01 - Serra fitas manual.

Montagem

Após reunir todos os materiais e ferramentas necessárias para a construção do fotômetro, deve-se proceder da seguinte maneira:

- 1) Com a serra fitas manual, cortar um pedaço de 25x50 mm do tarugo de nylon e com a furadeira fazer um furo longitudinal de 12 mm de diâmetro e de 40 mm de profundidade em uma das bases circulares. Fazer dois furos transversalmente nas laterais, com aproximadamente 25 mm de altura, cujo o diâmetro seja suficiente para receber o LDR de 5 mm de diâmetro e o módulo LED-RGB, conforme a **Figura 1**.

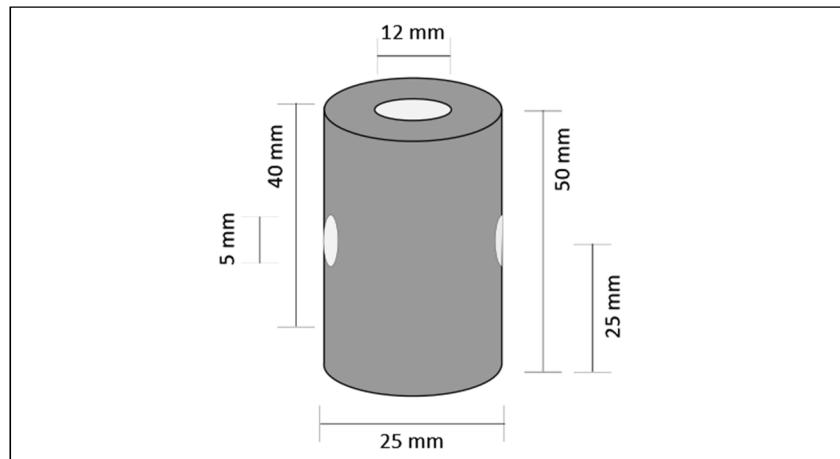


Figura 1: Medidas referentes a dimensão do tarugo de nylon e os locais onde devem receber o tubo de coleta, o LED-RGB e o fotodetector LDR.

Fonte: autoria própria [26].

- 2) Fixar, com cola quente, o arduino e o tarugo na parte interna da tampa da caixa Patola PB – 114, conforme indicado na **Figura 2**. Lembrar-se sobre a importância de fixar o arduino em uma posição na qual a entrada USB e a entrada para alimentação externa fique dispostas para receber os cabos da fonte bivolt e USB.

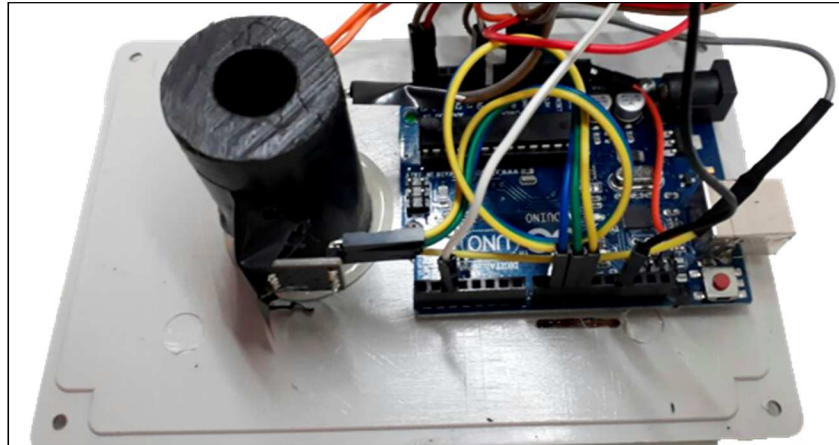


Figura 2: Tarugo e Arduino fixos na parte interna da tampa da caixa Patola.

Fonte: arquivo pessoal [26].

- 3) Montar o circuito eletrônico conectando cada componente em seu respectivo lugar, utilizando os cabos jumpers como condutores elétricos. Para facilitar esse processo, ver a **Figura 3** e as orientações descritas abaixo.

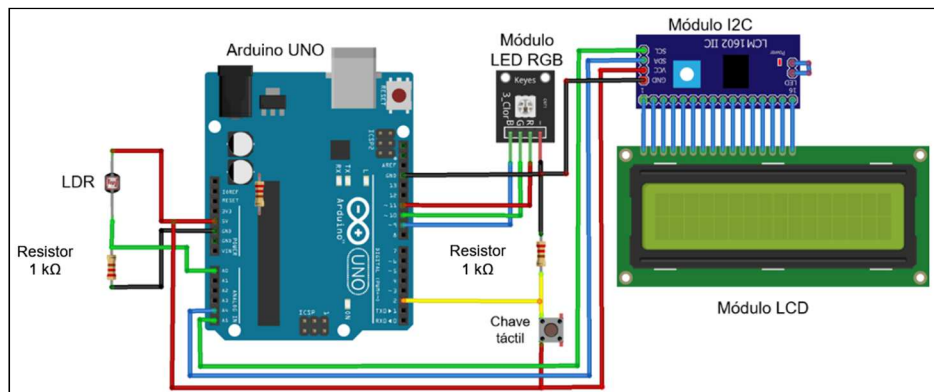


Figura 3: Esquema de montagem para o circuito eletrônico do fotômetro.

Fonte: arquivo pessoal [26].

Para conectar a **chave táctil**, primeiramente deve-se perfurar a caixa patola e fixar a chave no local desejado. Em seguida, para ligações elétricas, deve-se observar que a chave possui duas pernas para conexão, qualquer uma delas serve como entrada ou saída de corrente elétrica. Sendo assim, deve-se conectar o pino 5 V do arduino em uma das pernas da chave. A outra perna deve ser conectada a um dos resistor de 1 k Ω o qual deve estar conectado em um dos pinos GND do arduino. Nesse momento, conectar um cabo no pino digital 2 do arduino e em um ponto entre a chave e resistor.

- 4) Conectar o **módulo LED-RGB** da seguinte maneira: com o módulo em mãos, conectar seu pino comum (-) do módulo em um dos pinos GND do arduino. Os pinos R, G, B do módulo devem ser conectados, respectivamente, nos pinos digitais 11, 10 e 9 do arduino.
- 5) Conectar uma das pernas do **resistor LDR** no pino 5 V e a outra no pino analógico A0 do arduino. A seguir, conectar um resistor de 1 k Ω entre o pino analógico A0 e o pino GND do arduino.
- 6) Conectar o **display LCD** no **módulo serial I2C**, para isso, é importante observar que dois pinos do display LCD estão enumerados, o primeiro com o número 1 e o último com o número 16, da mesma forma que acontece no módulo serial I2C, portanto, conectar esses dois periféricos obedecendo a numeração dos pinos. Caso esses componentes não tenham essa numeração, conectar cada pino em seu respectivo pino no outro componente.
- 7) Para a conexão do módulo I2C no **arduino**, deve-se conectar os pinos GND e VCC do módulo I2C, respectivamente, nos pinos GND e VCC do arduino. E os pinos SCL e SCA do módulo I2C, respectivamente, nos pinos A5/SCL e A4/SCA do arduino.
- 8) Fixar o LDR e o LED-RGB nos orifícios de 5 mm do tarugo de nylon e vedar com fita isolante qualquer contato elétrico que possa causar curto circuito. Além disso, vedar as fendas entre o tarugo, o LED e o LDR afim de evitar a interferência por radiação externa.
- 9) Fazer os devidos recortes na tampa externa da caixa Patola para a acomodação do display LCD, a entrada do tubo de coleta no tarugo de nylon, o conector USB e a fonte de tensão externa. Com cola quente deve-se fixar o display LCD no local recortado e destinado a ele.
- 10) Com o cabo USB conectado no computador e no arduino efetuar o download do sketch do fotômetro (**Programação do fotômetro**) para a memória interna do arduino.
- 11) Por fim, com cuidado, deve-se acomodar os cabos jumpers e fechar a caixa Patola.

2. Funcionamento do fotômetro

Depois de construído, o fotômetro apresenta-se como na **Figura 4**, e quando ligado na rede elétrica com a fonte de tensão bivolt ele demonstra pleno funcionamento. Na experimentação sem a introdução do tubo de coleta, no display LCD aparece a informação: “MNPEF 2018...” por 1,25 segundos e, então, essa informação é apagada do display e aparece a informação: “Comp. Onda: OFF” (na primeira linha) e “Intensidade: 0” (na segunda linha). Ao pressionar a chave táctil pela primeira vez a informação atual é deletada e aparece a descrição “Comp. Onda: 625 nm” (na primeira linha) e “INTENSIDADE: XXX” (na segunda linha). Ao pressionar a chave táctil pela segunda vez a informação atual é deletada e aparece a descrição “Comp. Onda: 525nm” (na primeira linha) e “INTENSIDADE: XXX” (na segunda linha). Ao pressionar a chave táctil pela terceira vez a informação atual é deletada e aparece a descrição “Comp. Onda: 470nm” (na primeira linha) e “INTENSIDADE: XXX” (na segunda linha). E por último, quando pressionada a chave táctil pela quarta vez a informação anterior é deletada e ciclo é reiniciado aparecendo a informação “Comp. Onda: OFF” (na primeira linha) e “INTENSIDADE: 0” (na segunda linha).



Figura 4: Imagem do fotômetro concluído e em funcionamento.

Fonte: arquivo pessoal [26].

A intensidade de luz medida e apresentada no display LCD pode variar de fotômetro para fotômetro dependendo dos modelos de componentes utilizados e suas acomodações no tarugo de nylon. No entanto, esse fator não compromete o estudo espectrométrico realizado nesse dispositivo para fins educacionais.

3. Programação do fotômetro

Segue abaixo as linhas de programação que podem ser copiadas para a IDE do arduino para o controle e aquisição de dados do fotômetro.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
#include <liquidcrystal.h>
const int BLED=9; // Configura o pino D9 para o LED azul.
const int GLED=10; // Configura o pino D10 para o LED verde.
const int RLED=11; // Configura o pino D11 para o LED.
vermelho
const int BUTTON=2; // Configura o pino D2 para o Botão.
boolean lastButton = LOW; // Último estado do botão.
boolean currentButton = LOW; // Estado atual do botão.
int ledMode = 0; // Ciclo entre estados do botão.
void setup() { // Inicializa o programa.
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("MMPEF - 2018");
  delay(250);
  lcd.print(".");
  delay(250);
  lcd.print(".");
  delay(250);
  lcd.print(".");
  delay(250);
  lcd.print(".");
  delay(250);
  pinMode (BLED, OUTPUT); // Configura o pino do led azul como saída.
  pinMode (GLED, OUTPUT); // Configura o pino do led verde como saída.
  pinMode (RLED, OUTPUT); // Configura o pino do led vermelho como saída.
  pinMode (BUTTON, INPUT); // Configura o pino do botão como entrada.
}
boolean debounce(boolean last)
{
  boolean current = digitalRead(BUTTON);
  if (last != current)
  {
    delay(2);
    current = digitalRead(BUTTON);
  }
  return current;
}
void setMode(int mode)
{
  if (mode == 0)
  {
    digitalWrite(RLED, LOW);
    digitalWrite(GLED, LOW);
    digitalWrite(BLED, LOW);
  }
}
```


4. Sugestão de aplicação do fotômetro

Nesse trabalho, além de demonstrar como construir um fotômetro de três cores de baixo custo, sugeriu-se uma sequência de ensino para aplicação desse dispositivo, em forma de um roteiro experimental que deve ser realizado com a participação do professor. Nessa sequência, o professor atua introduzindo o assunto, guiando os alunos nos experimentos e fazendo algumas inserções de explicações quando conveniente e necessário de maneira que a aprendizagem seja significativa.

Para isso, deve-se considerar que para o ensino de ondas eletromagnéticas (luz) (objeto de estudo desse trabalho) como novo conhecimento a ser atingido significativamente, recorre-se as ondas mecânicas como o subsunçor para a ancoragem dessa interação cognitiva. Sendo assim, para a aplicação do experimento proposto nesse trabalho é importante que se tenha a compreensão do que é a luz. Assim pode-se observar as ondas mecânicas e fazer um comparativo com elas, claro, que com os devidos cuidados.

Portanto, antes de começar o experimento, sugere-se ao professor que faça uma introdução desse novo conhecimento, explorando as ondas mecânicas (longitudinais, transversais e tridimensionais). Ondas essas que se propagam em meios materiais, sólidos, líquidos ou gasosos em movimento oscilatório (ondulatório). Entende-se que o aluno tenha nesse momento esses conhecimentos apropriados (prévios), direcionando-os para outros fenômenos da natureza como as ondas de rádio, raios-x e luz visível para que perceba por si só (mediado) que tais fenômenos respeitam o mesmo princípio ondulatório, ou seja, comportam-se com uma onda e são chamadas de ondas eletromagnéticas ou radiação eletromagnética. É importante lembrar que essa radiação é decorrente da oscilação de um campo elétrico e magnético e que, diferentemente das ondas mecânicas, podem se propagar em meios materiais e também no vácuo. Desse modo, deve-se deixar claro, que nesse novo conhecimento, luz e ondas eletromagnética são sinônimos, e assim, explorar a ideia de que a luz pode ser absorvida, refletida e/ou transmitida quando interage com a matéria.

Para esse experimento, foram preparadas soluções padrões de Fe-EDTA, de ferro II (Fe^{2+}) e de ortofenantrolina. Essas soluções foram acondicionadas em

frascos conta-gotas de 10 ml, rotulados e a concentração da solução de Fe-EDTA foi expressa em unidades de miligramas por gota (mg/gota). Essa forma de expressar a concentração (concentração média por gota) facilita a utilização da solução, uma vez que não necessita de equipamentos ou vidrarias adicionais para se medir o volume. A **Figura 5**, apresenta uma imagem das soluções em suas respectivas embalagens.



Figura 5: Solução padrão de Fe²⁺ (1g/l), solução padrão de ortofenantrolina (1 g/l) e soluções padrões de Fe-EDTA (1,1 mg/gota).

Fonte: arquivo pessoal do autor [26].

Para a realização do experimento, foram produzidos conjuntos experimentais compostos por:

- Um fotômetro.
- Uma fonte de alimentação para o fotômetro.
- Um frasco com 10 ml da solução padrão de Fe-EDTA.
- Um frasco da solução padrão de ortofenantrolina.
- Um frasco da solução padrão de Fe²⁺.
- Cinco cubetas (tubo para coleta de sangue).

Sugere-se, a partir de então, ao professor que guie a realização do experimento, conforme os seguintes passos:

1. Antes de começar o experimento, o professor deve fazer uma introdução ao assunto, sem, no entanto, falar sobre os resultados esperados, afim de estimular o aluno para a elaboração de hipóteses e conclusões. O principal fundamento dessa sequência de ensino é explicar os resultados para os alunos à medida que as observações vão surgindo.

2. Recomenda-se também que o professor ligue o fotômetro ao menos 10 minutos antes de começar o experimento para que todo o sistema eletrônico esteja em perfeito funcionamento.
3. Inicialmente, o professor deverá instruir os alunos a adicionarem a mesma quantidade de água em cada cubeta.
4. Deixar uma cubeta apenas com água, que será a amostra de referência ou amostra branco.
5. Adicionar nas outras quatro cubetas restantes, 1 (uma), 2 (duas), 3 (três) e 4 (gotas) da solução padrão de Fe-EDTA. As cubetas devem estar tampadas e agitadas levemente (sem fazer bolhas) para a completa homogeneização das soluções.
6. Solicitar aos alunos que ordenem as soluções de acordo com a “tonalidade da cor”, da mais clara para a mais escura.
7. Explicar o funcionamento do fotômetro e como utilizá-lo.
8. Baseado no princípio de funcionamento do fotômetro, explicar aos alunos como o equipamento pode ser utilizado para “medir” e compreender a “tonalidade de uma cor” (nesse caso das amostras).
9. Solicitar aos alunos que meçam a quantidade de luz que atravessa a amostra referência (intensidade inicial) e das amostras que contém Fe-EDTA (intensidade final) para os três comprimentos de onda disponíveis no fotômetro. É importante lembrar que, ao mencionar comprimento de onda, refere-se ao comprimento de onda do pico de emissão em cada região. Esse fato também pode ser abordado pelo professor durante a explicação do funcionamento do fotômetro.
10. O resultado das medidas propostas no item 9 podem ser anotados pelos alunos em tabelas, que o professor pode confeccionar previamente, conforme o exemplo das tabelas abaixo.

Tabela 1: Intensidade inicial (água pura), intensidade final e razão entre as intensidades inicial e final, em função da quantidade de gotas da solução de Fe-EDTA, para o comprimento de onda de 470 nm (região do azul).

Fonte: autoria própria [26].

Quantidade de gotas	Intensidade inicial (I_0)	Intensidade final (I)	I/I_0
0			
1			
2			
3			
4			

Tabela 2: Intensidade inicial (água pura), intensidade final e razão entre as intensidade inicial e final, em função da quantidade de gotas da solução de Fe-EDTA, para o comprimento de onda de 525 nm (região do verde).

Fonte: autoria própria [26].

Quantidade de gotas	Intensidade inicial (I_0)	Intensidade final (I)	I/I_0
0			
1			
2			
3			
4			

Tabela 3: Intensidade inicial (água pura), intensidade final e razão entre as intensidades inicial e final, em função da quantidade de gotas da solução de Fe-EDTA, para o comprimento de onda de 625 nm (região do vermelho).

Fonte: autoria própria [26].

Quantidade de gotas	Intensidade inicial (I_0)	Intensidade final (I)	I/I_0
0			
1			
2			
3			
4			

11. Definir para os alunos, a porcentagem de luz que atravessa a amostra em relação à intensidade inicial, ou seja, a transmitância percentual:

$$T(\%) = \frac{I}{I_0} \times 100\% \quad (1)$$

12. Solicitar aos alunos que, com os dados das tabelas enumeradas de 10 a 12, calculem a transmitância e a concentração para cada medida e para cada comprimento de onda. Para isso, sabe-se que cada gota possui uma concentração de 1,1 mg/gota de Fe-EDTA e que cada cubeta, até sua marcação, possui um volume de 5 ml. Assim, cada gota em cada cubeta confere uma concentração de 0,22 mg/ml. Logo, pode-se confeccionar a **Tabela 4** com os valores da absorbância em função da concentração de Fe-EDTA.

Tabela 4: Transmitância em função da concentração de Fe-EDTA para os três diferentes comprimentos de onda.

Fonte: autoria própria [26].

Concentração de Fe-EDTA (mg/ml)	Transmitância (%) 470 nm	Transmitância (%) 525 nm	Transmitância (%) 625 nm
0,00			
0,22			
0,44			
0,66			
0,88			

13. Nesse momento, o professor pode solicitar aos alunos, ou ele mesmo, poderá proceder a confecção dos gráficos da transmitância em função da concentração para cada comprimento de onda. Sugere-se ao professor a utilização dos softwares:

- SciDaVis: um programa de computador gratuito, de fácil instalação e utilização e permite a confecção de vários tipos de gráficos, assim como permite a realização de rotinas de ajuste e regressão linear. Além disso, existe uma grande variedade de materiais instrucionais na internet como vídeo aulas, apostilas e livros que facilitam ainda mais a utilização do referido programa;
- Desmos: um aplicativo de celular gratuito, de fácil instalação e utilização e permite a confecção de vários tipos de gráficos. Com ele cada aluno pode construir na tela de seu celular os gráficos sugeridos nessa atividade.

14. Mostrar para os alunos que a transmitância das amostras diminui com o aumento da concentração de Fe-EDTA e que a transmitância também depende do comprimento de onda. Nesse momento o professor deve

fomentar a curiosidade do aluno mostrando essa dependência, sem a preocupação de explicar os fenômenos por trás dessa observação. Essa explicação será feita mais adiante.

15. Levar os alunos a pensar sobre o que ocorreu com a quantidade de luz que não foi transmitida. Ou seja, definir a relação entre luz transmitida, luz absorvida e luz refletida. Como o objetivo deste experimento é o estudo da luz transmitida e absorvida, o professor pode argumentar que a quantidade de luz refletida é muito menor do que a quantidade de luz que foi absorvida ou transmitida. De fato, o professor pode fazer os cálculos, baseados nos valores dos índices de refração do ar, do vidro e da água, para demonstrar que quantidade de luz refletida corresponde a aproximadamente 4% da luz incidente¹ [39].

16. Uma vez que no passo anterior foi desprezada a quantidade de luz refletida, o professor pode definir para os alunos a medida da luz absorvida por meio da transmitância, ou seja:

$$A = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right). \quad (2)$$

17. Com base nos dados das tabelas que contêm os valores da razão I/I_0 e com auxílio da equação (2), o professor deve solicitar aos alunos que realizem o cálculo da absorbância para cada amostra e para cada diferente comprimento de onda, conforme a **Tabela 5**:

Tabela 5: Transmitância em função da concentração de Fe-EDTA para os três diferentes comprimentos de onda.

Fonte: autoria própria [26].

Concentração de Fe-EDTA (mg/ml)	Absorbância 470 nm	Absorbância 525 nm	Absorbância 625 nm
0,00			
0,22			
0,44			
0,66			
0,88			

¹ A intensidade de luz refletida é dada por: $R_{\text{vidro}/\text{água}} = \frac{n_{\text{vidro}} - n_{\text{água}}}{n_{\text{vidro}} + n_{\text{água}}}$, em que “R” é a intensidade de luz refletida e “n” o índice de refração para cada meio, denominada Relação de Fresnel.

18. Nesse momento, com o intuito de visualizar mais claramente a relação entre a absorvância e a concentração, o professor poderá solicitar aos alunos, ou ele mesmo, confeccionar os gráficos da absorção em função da concentração de Fe-EDTA para diferentes comprimentos de onda.
19. Com o auxílio dos gráficos, confeccionados no passo anterior, mostrar para os alunos que a absorvância “parece” ter uma dependência linear com a concentração.
20. De posse dos resultados obtidos anteriores, o professor já deve ter evidenciado para os alunos a dependência da transmitância e da absorvância com a concentração e com o comprimento de onda. Nesse momento, sugere-se que o professor realize a explicação teórica da relação entre a transmitância e absorvância com a concentração por meio da demonstração corpuscular da Lei de Beer-Lambert.
21. Levar os alunos a pensar sobre o fato de que a mesma solução apresenta diferentes valores de absorvância e de transmitância, para diferentes comprimentos de onda. Para explicar esse fenômeno, deve-se utilizar argumentos da física moderna/quântica, segundo a qual, a absorção de luz é quantizada e nesse caso fazer uma explicação sobre os níveis de energia e como eles determinam as diferentes absorções e transmissões.
22. Mostrar um exemplo de aplicação dos fenômenos estudados, com a detecção de Ferro em água. Para isso, deve-se seguir os passos:
- a) Remover a solução de Fe-EDTA de duas das cubetas, lavando-a e enxaguando-a.
 - b) Adicionar em uma das cubeta vazia 1 gota da solução de Ferro e completar com água até a marcação.
 - c) Na mesma cubeta do passo anterior, adicionar 4 gotas da solução de ortofenantrolina, tampar a cubeta e realizar uma agitação leve.
 - d) Na outra cubeta vazia, adicionar 4 gotas da solução de Ferro e completar com água até a marcação.

- e) Na mesma cubeta do item d, adicionar 4 gotas da solução de ortofenantrolina, tampar a cubeta e realizar uma agitação leve.
- f) Solicitar aos alunos que meçam a transmitância e absorbância das duas cubetas, de modo que eles mesmos constatem que a absorção é proporcional à concentração de ferro (número de gotas).
- g) Explicar em quais situações é importante detectar/determinar a quantidade de ferro.
- h) Dar outros exemplos de detecção fotométrica.

Acredita-se que a aplicação da sequência de ensino proposta, possa ser realizada em três encontros, dividindo os grupos em 3 alunos por conjunto experimental. Cabe ao professor analisar a viabilidade de se aplicar essa prática em apenas três encontros e o número de alunos por conjunto experimental. Essa é apenas uma das possíveis sequências de ensino que pode ser realizada com o fotômetro.

5. O caráter interdisciplinar do produto educacional

Os professores de física, química, biologia e matemática e suas tecnologias podem elaborar um projeto interdisciplinar. De início, é importante explicar o que é o fotômetro e como funciona, experimentando e esclarecendo sobre sua aplicabilidade na ciência e na sociedade.

Nesse projeto, os professores podem solicitar aos alunos para investigar a concentração de metais dissolvidos na água consumida por eles em sua casa, na escola ou no trabalho, assim como a quantidade de metais e demais compostos existentes na água da chuva ou de um riacho. Além disso, é importante promover uma discussão sobre as consequências dos níveis desses compostos para saúde e o meio ambiente.

Tanto para obter a descrição teórica, quanto para explicar os resultados observados e suas aplicações, o produto educacional pode ser utilizado nas disciplinas acima mencionadas de diversas maneiras.

Na disciplina de física, o professor pode discutir sobre tópicos como a natureza da luz, o espectro eletromagnético, a interação da luz com a matéria, quantização e níveis de energia.

Na disciplina de química, podem ser estudados e discutidos os conceitos de ligação química, estequiometria, titulação, concentração, reações químicas, a Lei de Beer-Lambert e a detecção e determinação de espécies químicas.

Na disciplina de biologia, podem ser estudados e discutidos os efeitos dos compostos determinados pela fotometria para a saúde e meio ambiente. E na disciplina de matemática, podem ser abordados os tópicos de funções logarítmicas e exponenciais, estudo de probabilidade, confecção e interpretação de gráficos, cálculo numérico, regressão linear e ajuste de funções e introduzir o conceito de limite de uma função.

Além disso, se a escola/colégio ofertar algum curso profissionalizante em eletrônica ou informática, será possível discutir e estudar componente e circuitos elétricos, automação para controle e aquisição de dados e programação.

6. Referências bibliográficas

As seguintes referências bibliográficas foram utilizadas para o desenvolvimento do produto educacional:

1. FEYNMAN, R. Física em seis lições. São Paulo: Martins Fontes, 160 p., 2000.
2. SÉRÉ, M. G. COELHO S. M. NUNES A. D. O papel da experimentação no ensino da física. Porto Alegre - RS: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 20, n. 1. 2003.
3. AUSEBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Paralelo Editora; 1.^a edição, PT- 467, janeiro de 2003.
4. PENA, F. L. A. RIBEIRO FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 9, n. 1, 2009.
5. PONTES, A. S. Desenvolvimento de um fotômetro LED-Vis portátil e microcontrolado por Arduino, João Pessoa – PB. Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Dissertação de Mestrado, 76p, 2014.
6. MOREIRA, A. F.; SANTOS. S. R., B.; COSTA JUNIOR, A. G. Construção e caracterização de um fotômetro destinado ao uso de aulas experimentais de química sobre a lei de beer-lambert. Holos, ano 32, v. 2, 2016.
7. OLIVEIRA, P. C. C.; LEITE, M. A. P. Espectrofotometria no ensino médio: construção de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição. São Paulo - SP. Química nova escola. v. 38, n. 2, p. 181-184, 2016.
8. GAIÃO, E. N.; MEDEIRO, E. P.; LYRA, W. S, MOREIRA, P. N. T.; VASCONCELOS, P. C.; CIRINO DA SILVA, E.; ARAÚJO, M. C. U.; Um fotômetro multi-led microcontrolado, portátil e de baixo custo; química nova, v. 28, n. 6, p. 1102-1105, 2005.

9. UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Produto educacional. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/medianeira/cursos/mestrados-doutorados/Ofertados-neste-Campus/ppmnpef/produto-educacional>> acesso em: 30 março de 2018.
10. FACCIN, F.; GARCIA, I. K. Proposta de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre temperatura; aprendizagem significativa em revista/meaningful learning review. v7(2), pp. 18-28, 2017.
11. FERNANDES, E.; David Ausubel e a aprendizagem significativa para o especialista em Psicologia Educacional, o conhecimento prévio do aluno é a chave para a aprendizagem significativa. Nova Escola. Edição 248, 01 de dezembro de 2011.
12. MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas e unidades de ensino potencialmente significativas. Material de apoio para o curso Aprendizagem Significativa no Ensino Superior: Teorias e Estratégias Facilitadoras. PUCPR, 2012.
13. BRAATHEN, P. C. Aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa no processo de ensino-aprendizagem de Química. Revista Eixo. n. 1, v. 1, jan.-jun. 2012.
14. DAL MORO, G. A. Ensino Médio. Reformulação dos originais de: Euler de Freitas Silva Junior. Curitiba. Editora Positivo. vol. 9, 64p., 2015.
15. LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 34, n. 2, 2504, 2012.
16. OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia, Estudos avançados, vol.27, n.77, p. 185-200, 2013.
17. BORISSEVITCH, I. E.; GONÇALVES, P. J.; SCHABERLE, F. A. Fundamentos da Espectrometria de Absorção Óptica. 1ª Edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, Série Tópicos de Física Aplicada a Medicina e Biologia, 113 p, 2016.

18. EISBERG, R. M.; RESNICK, R. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos e partículas, Editora Campus, 1979.
19. MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.37, n.4, 2015.
20. MENDONÇA, J. T. Uma biografia da luz; 1ª edição; São Paulo - SP; Editora Livraria da Física; p. 42, 2015.
21. SILVA, F. W.O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos; Revista Brasileira de Ensino Física; São Paulo; v. 29; n.1, 2007.
22. BRENNAN, R. P. Gigantes da física: Uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: ZAHAR. 290 p. 2003.
23. SOUZA, P. F. L.; BASTOS, H. F. B. N.; COSTA, E. B.; NOGUEIRA, R. A. Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz; Revista Brasileira de Ensino de Física; São Paulo; v. 32; n. 2; abril/junho 2010.
24. CAVALCANTE, M. A.; TOVOLARO C. R. C.; SOUZA, D. F.; MUZINATTI, J. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e Habilidades, Física na Escola, v. 3, n. 1, 2002
25. ALMEIDA, W. B.; SANTOS, H. F; Modelos Teóricos para a Compreensão da Estrutura da Matéria; Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola; 4. ed. São Paulo: SBQv. 01, 39 p. 2001.
26. SKOOG, D. A., et al, Fundamentos da Química Analítica, 8ª Ed. Thomson, São Paulo: 2006.
27. MARTINS, R. A. M.; SILVA, A. P. B. Princípios da óptica geométrica e suas exceções: Heron e a reflexão em espelhos; Revista Brasileira de Ensino Física; v. 35; n.1; São Paulo; jan./mar. 2013.
28. RIBEIRO, J. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica; Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 2, p. 355-398, ago. 2016.

- 29.** MACEDO, C. C. Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis, 135, 2002
- 30.** M. N. ROCHA, T. G. FUJIMOTO, R. S. AZEVEDO; M. MURAMATSU; O azul do céu e o vermelho do pôr-do-sol; Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 3, 3501, 2010.
- 31.** COSTA, G. G. G.; CORTESE, B. A.; SCURACHIO, R.; CATUNDA, T. Caixa de cores para o estudo de mistura de luzes coloridas; Física na Escola, v. 9, n. 2, 2008.
- 32.** BERBERAN-SANTOS, M. N. Beer's law revisited. Journal of Chemical Education, 67 (9), 757, 1990.
- 33.** BREMER NETO, H.; GRANER, C. A. F.; PEZZATO, L. E.; PADOVANI, C. R. Determinação de rotina do crômio em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida Ciência Rural. Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria – Brasil, vol. 35, núm. 3, pp. 691-697, maio-junho, 2005.
- 34.** PADILHA, L. L.; MOUCHREK FILHO, V. E. Estudo analítico dos teores de sódio e potássio em sucos industrializados por fotometria de chamas; caderno de pesquisas, São Luís - MA, v. 19, n. especial, jul. 2012.
- 35.** RODRIGUES, C. R. B. S. Contribuições ao uso de diodos emissores de luz em iluminação pública. Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Química, UFJF, Tese de Doutorado, 216p, 2012.
- 36.** MALVINO, A. P. Eletrônica: volume 1; 4ª ed; São Paulo; Makron Books, 747p, 1997.
- 37.** Light emitting diodes. Disponível em <[https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap12/F12-16 %20RGB%20emission%20spectrum.jpg](https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap12/F12-16_%20RGB%20emission%20spectrum.jpg)>. Acesso em: dezembro de 2017.

- 38.** MCROBERTS, M.; Arduino básico. 2ª Edição. São Paulo – SP: Novatec, 506 p. 2015.
- 39.** Eugene Hecht, Optics, 3th Ed. Revisited. Tradução de José Manuel N. V. Rebordão. Editora Fundação Galouste Gulbenkian, Lisboa, cap. 4, pág. 126, 2002.