

## Desenvolvimento de um fotômetro microcontrolado para análise de substâncias

## Development of a microcontrolled photometer for substance analysis

### RESUMO

Esse trabalho propõe a construção de um fotômetro de baixo custo para análise de substâncias. Tomando como princípio a Lei de Lambert-Beer, o equipamento foi desenvolvido utilizando um microcontrolador ARM e um LED RGB como fonte de radiação. Como elemento sensor de luz, três modelos diferentes de sensores foram testados: Um sensor LDR, o sensor analógico TEMT600 e o sensor digital BH1750. O dispositivo foi testado por meio da medição da absorbância de diferentes soluções de corantes alimentícios. O desempenho de cada sensor foi avaliado por meio da análise da linearidade das medições e de sua semelhança com as medidas obtidas pelo espectrofotômetro PerkinElmer LAMBDA XLS. Todos os sensores apresentaram linearidade satisfatória e uma boa similaridade com o espectrofotômetro. No entanto, o sensor BH1750 foi o que obteve os melhores resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fotometria. Microcontroladores. Instrumentos de medição.

### ABSTRACT

This work proposes the development of a low-cost photometer for substance analysis. Taking the Lambert-Beer law as a principle, the equipment was assembled using an ARM microcontroller and an RGB LED as the radiation source. For the light sensor element, three different sensors were tested: An LDR, the analog sensor TEMT6000, and the digital sensor BH1750. The equipment was tested by measuring the absorbance of different solutions of food coloring. The performance of each sensor was evaluated through the analysis of the measure's linearity, and the similarity to the values obtained by the PerkinElmer LAMBDA XLS spectrophotometer. All of the sensors presented satisfactory linearity and a good similarity to the spectrophotometer. However, the BH1750 sensor obtained the best results.

**KEYWORDS:** Photometry. Microcontrollers. Measuring instruments.

**Domingos Perego Junior**  
[peregodomingos@gmail.com](mailto:peregodomingos@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Alberto Noboru Miyadaira**  
[miyadaira@utfpr.edu.br](mailto:miyadaira@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Oldair Donizeti Leite**  
[oldairleite@utfpr.edu.br](mailto:oldairleite@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Gabriela Dias Alba**  
[gabrieladialba@outlook.com](mailto:gabrieladialba@outlook.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Eduardo Cesar Lenz**  
[eduardolenz@alunos.utfpr.edu.br](mailto:eduardolenz@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**João Pedro De Araújo Nespolo**  
[jnespolo19@gmail.com](mailto:jnespolo19@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

A área de análises químicas instrumentais possui como uma de suas atividades mais comuns a determinação da concentração de um soluto em um solvente. A fotometria é amplamente utilizada para a medição da concentração de substâncias. Trata-se de uma técnica onde a intensidade da radiação é medida utilizando transdutores fotoelétricos e outros tipos de dispositivos eletrônicos. Essa técnica é empregada em geral por meio da utilização de um dispositivo denominado fotômetro.

Segundo Pontes (2014, p.8), o princípio de funcionamento dos fotômetros se dá por meio da Lei de Lambert-Beer, que relaciona a absorbância de um soluto à sua concentração. A absorbância nada mais é do que a quantidade de luz que uma determinada amostra absorve. A Lei de Lambert-Beer pode ser expressa por meio da equação (1):

$$A = \log_{10}(I/I_0) = e \cdot b \cdot C \quad (1)$$

Onde **A** representa a absorbância, **I** representa a luz transmitida, **I<sub>0</sub>** representa a luz incidida, **C** representa a concentração, **b** representa a distância que a luz atravessa no corpo e **e** é a constante de absorvidade molar da substância. Dessa forma, medindo a intensidade da luz incidida e transmitida, é possível medir a concentração de um soluto conhecido em uma solução.

Segundo Squissatto (2018, p.27), a medição da absorbância pode ser realizada da seguinte maneira: Primeiramente, um feixe de luz é incidido apenas no solvente e a luz é medida do outro lado. Assume-se que o solvente possui absorbância praticamente nula. Dessa forma, tem-se basicamente o valor da luz incidida (I<sub>0</sub>). Essa amostra que contém apenas o solvente recebe o nome de amostra branca, ou amostra de referência. Depois disso, o feixe de luz é incidido novamente, mas dessa vez na solução cuja concentração do soluto se quer medir. Assim, tem-se a quantidade de luz transmitida (I).

Segundo Moreira *et al.* (2016, p.146), para a montagem de um fotômetro, são necessários os seguintes elementos: Uma fonte de radiação, que geralmente é uma lâmpada de tungstênio; um mecanismo para selecionar determinado comprimento de onda; uma cubeta; um elemento sensor de luz; um circuito de condicionamento do sinal; sistema de aquisição e processamento de dados com uma interface para o usuário.

No presente trabalho, foram avaliadas algumas características de um protótipo de fotômetro empregando um microcontrolador ARM, LED RGB para emissão de radiação e diferentes tipos de sensores detectores (LDR, TEMT6000, BH1750).

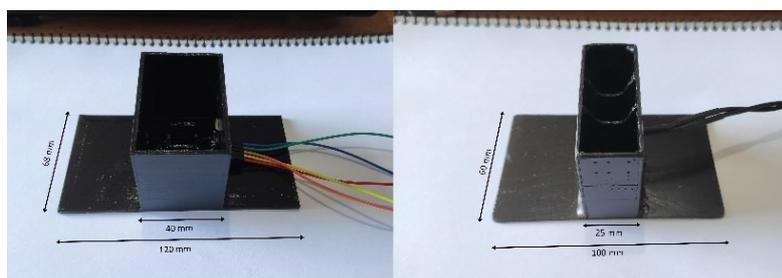
## MATERIAIS E MÉTODOS

Na montagem do fotômetro, optou-se por utilizar um LED RGB como fonte de luz. O gerenciamento do acionamento do LED se dá pelo envio de sinal PWM de um microcontrolador. Segundo Araújo *et al.* (1997, p.137), o LED RGB apresenta resultado satisfatório para a maiorias das aplicações em fotometria.

Três modelos de sensores de luminosidade foram testados: Um fotoresistor (LDR), que geralmente é o mais utilizado para esse tipo de aplicação; um sensor analógico modelo TEMT6000; e um sensor digital modelo BH1750.

As medidas de absorvância foram realizadas em um suporte em PLA impresso em 3D. No suporte, foram fixados o elemento sensor e emissor, além de permitir intercambiar a cubeta de vidro (1,3 x 1,3 cm) utilizada para o acondicionamento das soluções de concentração conhecidas. Como se tratam de três sensores diferentes, três suportes diferentes foram confeccionados. Os suportes dos sensores BH1750 e do LDR podem ser vistos na Figura 1:

Figura 1 – Suportes dos sensores BH1750 e LDR



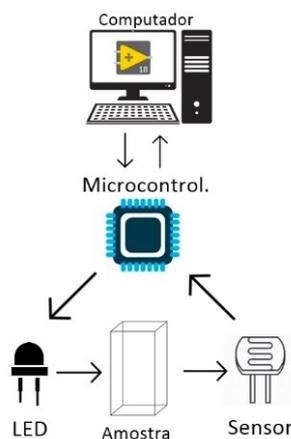
Fonte: Autoria própria (2020).

Para realizar todo o controle do sistema, utiliza-se um microcontrolador LPC1769 de arquitetura ARM, desenvolvido pela NXP, cujo algoritmo foi implementado em linguagem C. Esse microcontrolador é responsável por gerar o sinal PWM para o LED, bem como receber e interpretar o sinal medido pelo sensor. Além disso, ele realiza a comunicação com o supervisor que roda em um computador.

O ambiente de programação utilizado foi o MCUXpresso IDE, também da NXP. Para o supervisor, utilizou-se o LabView da National Instruments.

A utilização do equipamento se dá da seguinte maneira: O usuário seleciona a cor desejada na fonte de luz por meio do supervisor. O supervisor se comunica com o microcontrolador, que envia o sinal PWM para o LED, fazendo-o assumir a cor desejada. Depois disso, o usuário deve colocar a cubeta contendo apenas o soluto no suporte, e tapa-lo para evitar a interferência na medida. Feito isso, é necessário apertar o botão para que a leitura seja efetuada. O valor lido pelo sensor é mandado para o microcontrolador e mostrado na tela do supervisor. O usuário deve esperar o valor se estabilizar e anotar o valor medido, que representa a intensidade de luz incidida. Posteriormente, deve retirar da cubeta o solvente e colocar a solução cuja concentração se quer medir. Deve repetir o processo anterior para realizar a medida da luz transmitida. Por fim, conhecendo os dois valores é possível calcular a absorvância da amostra por meio da Lei de Beer-Lambert. Futuramente planeja-se automatizar o cálculo da concentração, sendo que todo o cálculo será realizado diretamente pelo supervisor e retornará o valor da absorvância ao usuário. O esquema de funcionamento do dispositivo pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Esquema de funcionamento do dispositivo.



Fonte: Autoria própria (2020).

Feita toda a montagem do circuito e do equipamento, bem como a programação do microcontrolador, foi possível realizar estudos preliminares do dispositivo proposto, com os três tipos de elementos sensores. Nesses estudos, uma série de soluções com concentrações conhecidas foram utilizadas. Comparativamente, para avaliar o desempenho das medidas do fotômetro proposto, foi utilizado um espectrofotômetro comercial da marca PerkinElmer, modelo LAMBDA XLS.

Para realizar as medidas de absorbância com o dispositivo proposto, soluções de corantes alimentícios (amarelo, vermelho, verde e azul) nas concentrações entre 0,1 a 0,6 mg/L foram utilizadas. Para cada corante, as medidas foram realizadas com o LED RGB empregando os feixes de luz vermelho, verde e azul respectivamente. Os valores de absorbância foram estimados empregando a equação (1), e os valores das medidas obtidas, para cada concentração das soluções corantes utilizadas, e as medidas do soluto sem corantes (branco).

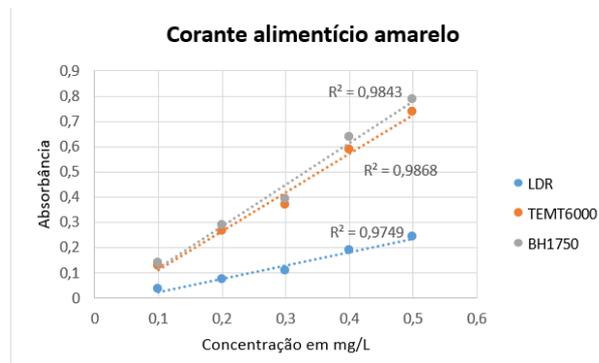
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após análises preliminares, verificou-se que as maiores magnitudes de sinais de absorbância para os corantes foram observadas utilizando as seguintes cores de LED: Corante amarelo empregando o LED azul, corante vermelho empregando o LED azul e/ou verde, corante verde empregando o LED azul e/ou vermelho e, corante azul empregando o LED vermelho. Esses resultados podem ser explicados pelo fenômeno de absorção da espécie pela sua cor complementar, ou seja, a espécie analisada absorve mais significativamente comprimentos de onda da sua cor complementar. Assim, para cada corante apresenta-se uma discussão avaliando a performance dos respectivos sensores obtidos nos comprimentos de onda de maior absorção.

Para cada concentração, foi realizada uma regressão linear, obtendo o coeficiente de correlação linear ( $R^2$ ) indicado no gráfico.

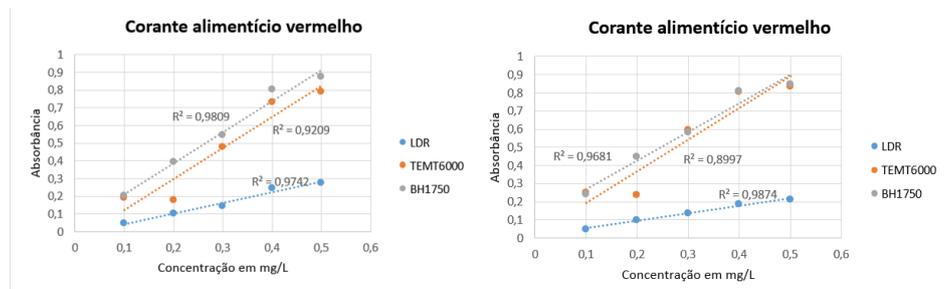
O gráfico da absorbância medida por cada sensor pode ser visto nas Figuras entre 3 e 6.

Figura 3 – Absorbância para o corante amarelo usando LED azul.



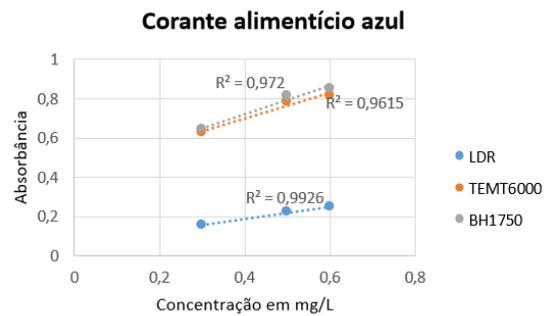
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 4 - Absorbância para o corante vermelho usando LED verde e azul, respectivamente.



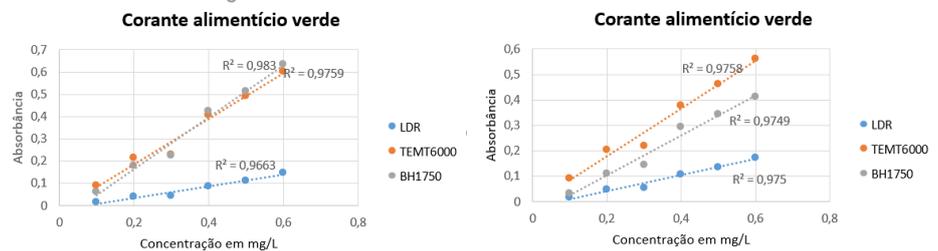
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 5 - Absorbância para o corante azul usando LED vermelho.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 - Absorbância para o corante verde usando LED vermelho e azul, respectivamente

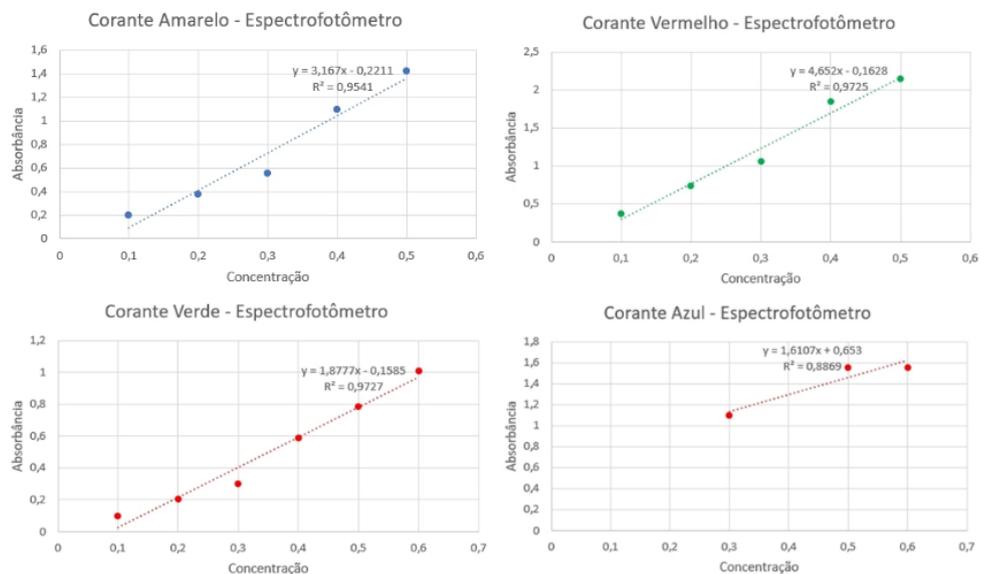


Fonte: Autoria própria (2020).

Ao se analisar as curvas obtidas, pode-se perceber que todos sensores apresentaram linearidade satisfatória dentro do intervalo analisado. Também se nota que os sensores que apresentaram maior absorbância foram os sensores TEMT6000 e o BH1750.

Medidas empregando um espectrofotômetro comercial também foram realizadas com as soluções utilizadas no protótipo (espectrofotômetro Perkin Elmer LAMBDA XLS). O perfil dos resultados obtidos é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Medições com o espectrofotômetro



Fonte: Autoria própria (2020).

Como esperado, a magnitude dos sinais de absorbância foram superiores aqueles observados empregando o fotômetro proposto, porém nenhum tipo de implementação de amplificação de sinal foi realizado. Entretanto para a faixa de concentração avaliada das soluções nenhum prejuízo foi observado quando realizado pelo dispositivo proposto. Uma análise da proporcionalidade entre os sinais obtidos com os sensores do protótipo e o equipamento comercial (espectrofotométrico) foi realizado e os resultados são apresentados nos Quadros de 1 a 4.

Quadro 1 – Análises das amostras de corante amarelo.

Seção	LDR	TEMT6000	BH1750
Média	5,513	1,650	1,536
Desvio Padrão	0,353	0,232	0,215

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 2 – Análises das amostras de corante vermelho.

Seção	LDR	TEMT6000	BH1750
Média	8,639	2,266	1,970
Desvio Padrão	1,296	0,653	0,422

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 3 – Análises das amostras de corante azul.

Seção	LDR	TEMT6000	BH1750
Média	6,738	1,880	1,815
Desvio Padrão	0,422	0,110	0,098

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 4 – Análises das amostras de corante verde.

Seção	LDR	TEMT6000	BH1750
Média	6,636	1,291	1,419
Desvio Padrão	0,722	0,247	0,194

Fonte: Autoria própria (2020).

Analisando magnitude das médias, observa-se que os sinais obtidos com o LDR foram em torno de 6,0 vezes menores aquele obtidos com o espectrofotômetro. Já, as magnitudes obtidas com o TEMT6000 e BH1750 estão no intervalo de 1,5 a 2,0 vezes menores.

## CONCLUSÃO

Na avaliação dos sensores detectores empregados no protótipo proposto, todos os sensores apresentaram resposta linear dentro do intervalo de concentração avaliado. Porém os sensores BH1750 e TEMT6000 apresentaram magnitudes de sinais na ordem de 2,0 menores que aquelas observadas para o espectrofotômetro. Já o sensor LDR apresentou proporcionalmente sinais 6,0 vezes menores ao obtido no espectrofotômetro. Além disso, observou-se que, por ser um sensor digital, o sensor BH1750 apresenta sinal de resposta mais estável do que os outros dois sensores, permitindo uma medição mais robusta. Neste estudo, o sensor digital BH1750 se mostrou o mais adequado para estudos futuros na perspectiva de montagem de fotômetro com ajustes de ganho de sinal visando sensibilidades obtidas aos equipamentos comerciais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pelo auxílio financeiro prestado. À UTFPR e servidores pela estrutura e suporte. Agradeço também aos orientadores e aos colegas que ajudaram na realização desse projeto.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, M.C.U.; SANTOS, S.R.B.; SILVA, E.A.; VERAS, G.; LIMA, J.L.F.C.; LAPA, A.S. Um fotômetro de fluxo para análises clínicas a base de um diodo emissor de luz bicolor. **Química Nova**, São Paulo, vol. 20, n. 2, p. 137-145, mar./abr. 1997. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-40421997000200004&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-40421997000200004&script=sci_arttext). Acesso em: 23 jul. 2020.

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**, Natal, vol. 2, p. 142-151, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481554865013.pdf>. Acesso em 23 jul. 2020.

PONTES, A.S. **Desenvolvimento de um fotômetro LED-Vis portátil e microcontrolado por Arduino**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7136>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SQUISSATTO, A.G.M. **Construção e aplicação de um fotômetro para o ensino da absorção da luz**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3418>. Acesso em: 25 jul. 2020.