

Desenvolvimento e Avaliação de Fotômetro com Diodos Emissores de Luz por meio de Hardware Livre

Thalia S. de Santana¹, Ronneesley M. Teles¹, Deomar P. da Costa²

¹Instituto Federal Goiano – Campus Ceres (IF GOIANO)
Caixa Postal 51 – 76.300-000 – Ceres – GO – Brasil

²Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos (IF GOIANO)
Caixa Postal 92 – 75.650-000 – Ceres – GO – Brasil

{thaliassantana15,ronneesley}@gmail.com, deomar.costa@ifgoiano.edu.br

Abstract. *The photometric system in the visible region quantifies physico-chemical and biological analyzes worldwide. The present study aimed at the construction and evaluation of a low-cost photometer with LED KY-016 and LDR GL-5528, besides the Arduino UNO R3. The circuit was placed in a thermal box as a darkroom. The regression analysis against the green dye of malachite, at concentrations 0.5; 2; 5; 10 and 16 mg/L and white, indicated R^2 of 0.8006 for prediction of concentration through the reading, with RGB configuration (210, 190, 30). The results emphasize the methodology as limited, requiring techniques like the selection of characteristics, also the use of two or more combinations to increase the accuracy of the equipment.*

Resumo. *O sistema fotométrico na região do visível quantifica análises físico-químicas e biológicas mundialmente. O presente estudo visou à construção e avaliação de um fotômetro de baixo custo com o LED KY-016 e LDR GL-5528, além do Arduino UNO R3. O circuito alocou-se em uma caixa térmica como câmara escura. A análise de regressão frente o corante verde de malaquita, nas concentrações 0,5; 2; 5; 10 e 16 mg/L e branco, apontaram R^2 de 0,8006 para predição de concentração por meio da leitura, com configuração RGB (210, 190, 30). Os resultados salientam limitação da metodologia, necessitando técnicas como a seleção de características, além de uso de duas ou mais combinações para aumento da precisão do equipamento.*

1. Introdução

Realizar o estudo das soluções é fundamental. Tais misturas homogêneas de substâncias são comuns na natureza e presentes em processos industriais, bem como no âmbito educacional e científico. Uma propriedade essencial destas trata-se da concentração. Ligada à quantidade de material dissolvido em uma solução, a variação promovida pela concentração das substâncias pode, por exemplo, inferir acerca da saúde de um paciente ou mesmo, determinar a qualidade de um produto (FUNDAÇÃO CECIERJ, 2016).

Todas as substâncias possuem modos de interação com a luz de maneira diferente. E é por intermédio do estudo desta interação que pode-se realizar a identificação de importantes características de uma solução, desde absorvância (medida da luz absorvida), transmitância (medida da luz transmitida) até a própria concentração da solução em questão (PUHL, 2017). A espectrofotometria faz uso desses conceitos, conforme a Lei de Beer-Lambert: $A = -\log T$ (onde A é a absorvância e T ,

transmitância), por meio de um caminho óptico (MOREIRA; SANTOS e COSTA JUNIOR, 2016).

Desta maneira, análises químicas instrumentais vêm sendo realizadas com base na espectrofotometria, em favor de determinações qualitativas e quantitativas de analitos orgânicos, inorgânicos e bioquímicos (PONTES, 2014). Nesse cenário, surgem os fotômetros: aparelhos capazes de medir a intensidade da luz como percebido pelo olho humano. Isso significa que apesar de não contemplar amplas faixas do espectro eletromagnético, tais equipamentos abrangem a estreita região da radiação visível.

Nesse contexto, diversas análises são largamente implementadas por meio dos fotômetros. Em prol de medições acerca das propriedades da luz, os fotocolorímetros (como também denominados) baseiam-se nos conceitos de transmitância e absorvância, conforme enuncia a Lei de Beer (BASQUES, 2016). Por conseguinte, técnicas espectroscópicas são usadas mundialmente na pesquisa, indústria e ensino, principalmente em aplicações analíticas (GODOY; OLIVEIRA; SCHNEIDER, 2017).

Com o avanço tecnológico, a instrumentação óptica passou por mudanças e os diodos emissores de luz (LEDs) tornaram-se parte de seu desenvolvimento (GAIÃO et al., 2005). Capazes de emitir luz quando aplicada uma diferença de potencial em seus terminais, o componente advindo de semicondutores possui sinais de emissão estáveis, baixo consumo energético além de tamanho compacto. Tornando assim, o LED ideal para aplicação em sistemas fotométricos, sem a necessidade de filtros, lentes e lâmpadas de tungstênio para construção, como evidenciado pelo crescente número de publicações na área (FONSECA, 2004).

Ao envolver os LEDs, possibilitou-se a criação de circuitos eletrônicos mais simples, baratos, duráveis e fáceis de controlar (PONTES, 2014). Justamente em busca de menor custo e portabilidade, os fotômetros passaram também a ser controlados por plataformas de prototipagem eletrônica (SILVA et al., 2008). Considerados como *hardware* livre, tais placas apresentam um conceito atrelado à *hardware* com as liberdades do *software* livre, onde todos podem: distribuir, utilizar, contribuir, modificar e estudar, oferecendo o ideal de liberdade.

Um exemplo de *hardware* livre bastante utilizado é o Arduíno. Operando por meio de um pequeno circuito capaz de oferecer um computador inteiro dentro de um microcontrolador, essa ferramenta é composta por uma plataforma física acoplada a sensores e módulos. Além disso, liga-se a um ambiente de desenvolvimento, *software* IDE (*Integrated Development Environment*), permitindo a criação de aplicações integradas (BANZI, 2011; ROCHA et al., 2014).

Assim, *hardwares* livres como Arduíno estão sendo implementados em larga escala, visto a capacidade de promoverem sistemas físicos interativos por intermédio de *software* e *hardware* (FRIZZARIN, 2016). Desta forma, tais placas de circuitos integrados tornam-se aptas a atuar mediante à diversos dispositivos, com aplicações em automação, embarcados e robótica, e assim, possibilita aplicações em ramos de conhecimento distintos como a própria espectrofotometria (DE SOUZA et al., 2011; FRIZZARIN, 2016).

Deste modo, o presente trabalho consistiu no desenvolvimento e avaliação de um dispositivo de baixo custo e portabilidade para fotometria por meio do *hardware* livre Arduíno UNO. Fazendo o uso de um LED no sistema de combinação de cores

RGB (*Red, Green and Blue*), bem como de um sensor de luminosidade (LDR), os estudos decorrentes do protótipo construído oferecem subsídios para uma possível ferramenta viável para análises químicas em laboratórios de pesquisa e/ou ensino carentes de recursos financeiros, além de atendimento de altas demandas de utilização, incluindo Instituições de Ensino Superior.

2. Materiais e Métodos

O presente estudo caracterizou abordagem quantitativa. Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico e revisão de literatura acerca da espectrofotometria, fotômetros, espectro eletromagnético e lei de Beer-Lambert, bem como parâmetros técnicos dos diodos emissores de luz, sensor de luminosidade, placa de prototipagem eletrônica, ambiente de desenvolvimento integrado e codificação. Assim, o trabalho passou a conduzir aspectos inerentes ao desenvolvimento do protótipo.

Na construção do equipamento, usou-se componentes compatíveis ao Arduino UNO R3. Dentre eles, sensor de luminosidade fotossensitivo 5 mm GL-5528 (LDR) e módulo LED RGB 5 mm KY-016. Eles atuaram, respectivamente, com tensões de operação de 2-3,2 V e 5 V. Ademais, inseriu-se uma lente convergente sobre o LED, para que os raios luminosos incididos tivessem um ponto de foco único, com a combinação de cores do sistema RGB. O circuito também usou *jumpers*, resistores de 220 e 330 Ω , *protoboards* de 400 e 170 furos de contato, módulo cartão SD (*Secure Digital*), clipe para alimentação do Arduino via bateria de 9V e/ou cabo para conexão USB (*Universal Serial Bus*), chave tátil (botão) e LED de coloração verde.

Para acomodação e simulação de um ambiente de câmara escura, LED e LDR foram colocados dentro de uma caixa térmica de 3 L, juntamente de seu circuito eletrônico característico. Assim, emissor e receptor foram dispostos seguindo uma reta alinhada e nivelada, a fim de que o LDR recebesse diretamente o feixe de luz emitido pelo LED RGB. O contêiner foi totalmente revestido, com paredes pretas, de modo que a luz ambiente não pudesse interferir nas leituras, visto que o aparelho trata de soluções e compostos que absorvem luz. Utilizou-se também suportes para garantir o correto posicionamento dos sensores e amostra.

A codificação do microcontrolador ocorreu por meio *software* Arduino IDE, com linguagem de programação baseada em linguagem C. A mesma objetiva a verificação da transmitância das soluções, alternando valores de coloração de acordo com o sistema RGB. Para tanto, variou-se para cada cor de 0 à 255, escala muito usada na computação para se guardar cada um dos valores de cor em 1 byte, com no máximo 256 cores-padrão (PENHARBEL et al., 2004). O sistema analisou combinações de 0 a 250, com intervalo de mudança para cada uma das cores primárias da luz de 10 unidades.

Em função dos testes para o fotômetro, preparou-se soluções do corante verde de malaquita ($C_{23}H_{25}N_2$) em cinco concentrações: 0,5; 2; 5; 10 e 16 mg/L. Os valores foram escolhidos a fim de analisar e verificar a resposta do sensor e sua variação frente as distintas concentrações. As soluções produzidas foram armazenadas em tubos de acrílico transparentes de 8 cm (tubetes) até o momento da leitura destas no equipamento proposto. Neste, fez-se uso de cubetas ou células de quartzo como em aparelhos profissionais, haja vista a exigência necessária aos ensaios bem como necessidade de uma superfície lisa e sem arranhões para que a luz pudesse perpassar sem empecilhos.

Para avaliação do protótipo, a experimentação objetivou a coleta de dados de tensão (transmitância) do sensor LDR a fim de encontrar o melhor ajuste. Realizou-se 5 réplicas para cada concentração, incluindo amostra padrão branco: solução responsável por eliminar interferências indesejáveis e calibrar as leituras, visto que sua transmitância é igual à 100% (neste caso, foi usado água destilada). Cada uma das réplicas atuou com 17.576 combinações entre as cores vermelho, verde e azul, com intervalo de tempo de troca de 2 segundos. Os valores oriundos das leituras do sensor analógico (adimensionais variando de 0 a 1023) ficaram armazenados em um arquivo formato CSV (*Comma-separated values*) via cartão SD. As análises foram executadas no *software* estatístico R versão 3.4.2.

3. Resultados e Discussões

Os valores oriundos do fotômetro em suas réplicas foram organizados inicialmente em modo gráfico, em formato de espectros (Figura 1). O intuito tratou-se da visualização do comportamento das leituras ao longo das configurações, em busca de um padrão conforme a variação de cores do LED RGB. Isto também possibilitou a verificação de possíveis falhas das leituras caso houvesse a quebra do padrão estabelecido.

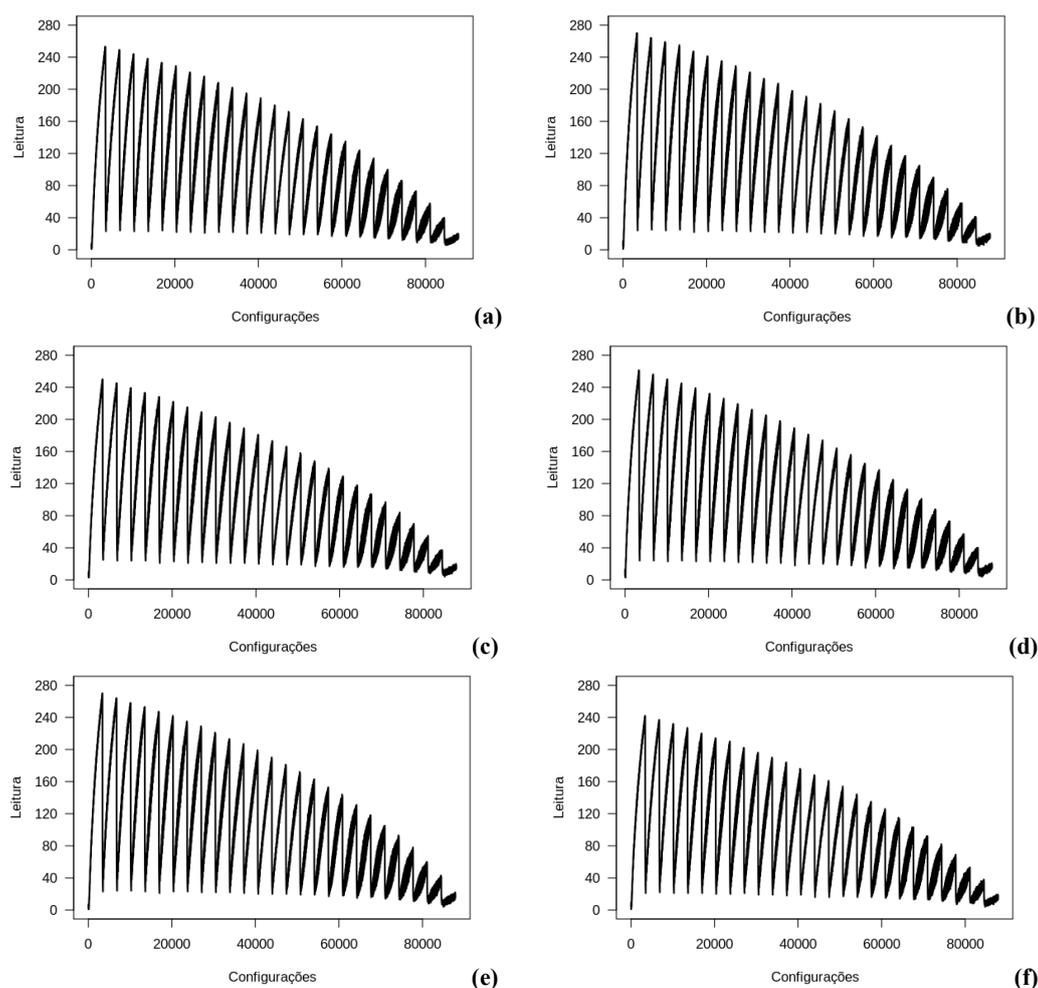


Figura 1. Espectros do fotômetro com o corante verde de malaquita em distintas concentrações e branco: a) amostra branca, b) 0,5 mg/L, c) 2 mg/L, d) 5 mg/L, e) 10 mg/L e f) 16 mg/L.

Com base nos vários espectros, o de maior ajuste (R^2) foi escolhido. Assim, verificou-se a melhor configuração do sistema RGB: R = 210, G = 190 e B = 30. Quanto à esta configuração, a cor de tom aproximado ao “laranja-amarelado”, determina-se como cor complementar da radiação em relação à amostra do corante (com coloração próxima ao azul), sendo o resultado característico da absorção seletiva para soluções coloridas desta tonalidade (PONTES, 2014).

Avaliando-se o coeficiente de variação (CV) para dada seleção RGB, obteve-se um CV médio de 5,25%, com o mínimo em aproximadamente 1,73% e máximo, de 7,65%. Desta maneira, há um CV específico a cada uma das concentrações avaliadas, conforme apresentado na Figura 2.

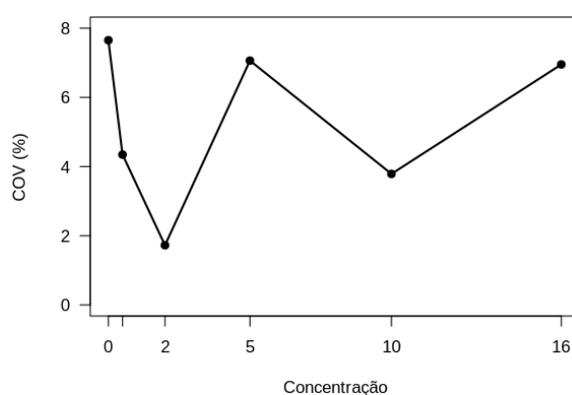


Figura 2. Coeficiente de variação em função das 5 concentrações e amostra branca do corante avaliado.

Por conseguinte, os dados das experimentações com as 5 réplicas foram submetidos à análise de regressão (Figura 3). O modelo $C(L) = -0,7454 * L + 54,49$ (onde C refere-se à concentração e L, leituras) obteve melhor ajuste com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,8006 e logo, $R = 0,8947$, classificando-se como correlação forte ou muito forte (SHIMAKURA, 2006). Consequentemente, isto indica que a inferência da concentração por intermédio da transmitância da luz de apenas uma cor emitida pelo LED não foi suficiente para uma boa precisão das leituras no aparelho ($R^2 \geq 0,99$).

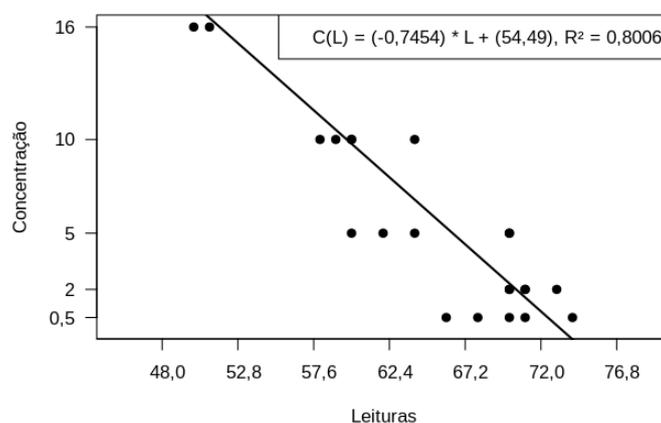


Figura 3. Gráfico de dispersão da resposta do sensor LDR frente às concentrações do corante.

4. Considerações Finais

A metodologia utilizada possibilitou prever e determinar valores de concentração por meio de dados de leitura do verde de malaquita. A resposta do sensor LDR GL-5528 para avaliação de transmitância foi considerada satisfatória, dado o valor de R^2 obtido (0,8006) e a linearidade dos dados conforme a Lei de Beer-Lambert. Acerca do fotômetro como um todo, o aparelho abarcou as premissas planejadas como custo acessível, ao ser construído com aproximadamente 3% do preço médio de um equipamento industrial que contempla a faixa visível, além de tamanho compacto e componentes de fácil acesso e aquisição.

Contudo, os métodos apresentaram limitações, visto que não foi possível atingir um coeficiente de determinação mais alto, o que atestaria de forma conclusiva o rigor e efetividade do fotômetro. Portanto, faz-se necessários mais estudos, aliados ao uso de outras técnicas como a seleção de características para redução da dimensionalidade e escolha de um subconjunto ótimo adequado dentro da amostragem, que possa vir a ajudar de forma mais precisa, incluindo análises de duas ou mais combinações (SILVA, 2011).

5. Referências

- BANZI, M. **Primeiros passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec, 2011.
- BASQUES, J. C. **Fotometria e Padronização**. Labtest, 2016.
- DE SOUZA, A. R. et al. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.
- FONSECA, A. **Desenvolvimento de um Fotômetro Multicanal Baseado em um Arranjo de Diodos Emissores de Luz**. 2004. 72f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, 2004.
- FRIZZARIN, F. B. **Arduino: Guia para colocar suas ideias em prática**. Casa do Código, 2016.
- FUNDAÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ). **Ciências da Natureza e suas Tecnologias – Química: Fascículo 4, Unidades 9 e 10**. Disponível em: <https://cejarj.cecierj.edu.br/material_impreso/quimica/ceja_quimica_unidade_10.pdf>. Acesso em: 04 de julho de 2018.
- GAIÃO, E. N. et al. Um fotômetro Multi-Led microcontrolado, portátil e de baixo custo. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1102–1105, 2005.
- GODOY, A. C.; OLIVEIRA, R. J. DE; SCHNEIDER, R. **Fotômetro com hardware de código fonte aberto**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318542876_Fotometro_com_hardware_de_codigo_fonte_aberto_arduino_Usb_photometer_with_open_source_hardware_arduino>. Acesso em: 02 de julho de 2018.
- 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**, v. 32, n. 2, 2016.

- PENHARBEL, E. et al. Filtro de imagem baseado em matriz RGB de cores-padrão para futebol de robôs. **XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, vol. 1, p.1765, 2004.
- PONTES, A. S. **Desenvolvimento de um fotômetro LED-Vis portátil e microcontrolado por Arduino**. 2014. 76f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, João Pessoa, 2014.
- PUHL, R. B. **Desenvolvimento de um sistema de automatização de análise química para monitoramento de cloro, PH e turbidez em aplicações do agronegócio**. 2017. 99f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2017.
- ROCHA, C. B. et al. **Sistema de monitoramento de consumo de água doméstico com a utilização de um hidrômetro digital**. Disponível em: <http://www.dainf.ct.utfpr.edu.br/~fabro/IF66J/Relatorios_Finais/2014_1/Sistema%20de%20Monitoramento%20de%20Consumo%20de%20%C3%81gua%20Dom%C3%A9stico%20com%20a%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20um%20Hidr%C3%B4metro%20Digital.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2018.
- SHIMAKURA, S. E. **Interpretação do coeficiente de correlação**. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>>. Acesso em: 28 de julho de 2018.
- SILVA, I. K. V. et al. **Desenvolvimento de um fotômetro Multi-Led para aplicação em ensino de química**. Disponível em: <<http://www.annq.org/congresso2008/resumos/Resumos/T56.pdf>>. Acesso em: 05 de agosto de 2018.
- SILVA, F. S. **Seleção de características por meio de algoritmos genéticos para aprimoramento de rankings e de modelos de classificação**. 2011. 97f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, São Paulo, 2011.