

Espectrofotometria no Ensino Médio: Construção de Um Fotômetro de Baixo Custo e fácil Aquisição

Paulo C. C. Oliveira e Marcos A. P. Leite

Ao longo dos anos, a espectrofotometria tem sido fundamental para a análise química, determinando a composição de várias substâncias e permitindo a criação de dispositivos que hoje são fundamentais em várias áreas do conhecimento. Este artigo apresenta uma proposta de construção e aplicação de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição para introduzir os conceitos da espectrofotometria e os fenômenos da interação da luz com a matéria em aulas experimentais de química na educação básica.

► fotômetro, espectrofotometria, ensino médio ◀

Recebido em 18/06/2014, aceito em 21/02/2015

181

O ensino de química deve estar relacionado à formação do cidadão, apresentando ao estudante uma concepção de ciência como atividade humana em construção, que leve em consideração o papel social da ciência. Diante disso, o ensino experimental tem sido utilizado como uma estratégia eficaz para promover a aprendizagem no ensino de química.

Dessa forma, o ensino da espectrofotometria no ensino médio pode, além de levar a experimentação às salas de aula, estimular o interesse dos estudantes pela química. O estudo desse tema também pode mostrar a utilização prática dos princípios de interação da luz com a matéria.

Por isso, nas últimas décadas, devido ao custo relativamente alto dos equipamentos usados na espectrofotometria, foram publicados trabalhos, artigos científicos, dissertações e teses focando a construção de fotômetros e espectrofotômetros com materiais de baixo custo. Entre essas pesquisas,

podemos destacar algumas como Gaião et al. (2005); Knagge; Raftery (2002); Mota (2010); e Lüdke (2010).

Esses trabalhos serviram de referência para a construção do fotômetro proposto neste trabalho, no que diz respeito aos componentes essenciais para sua elaboração como, por exemplo, a utilização de diodos emissores de luz (LED) como fonte emissora de radiação, resistores dependentes de luz (LDR) como transdutores de radiação e multímetros como instrumento para leitura.

[...] o ensino da espectrofotometria no ensino médio pode, além de levar a experimentação às salas de aula, estimular o interesse dos estudantes pela química. O estudo desse tema também pode mostrar a utilização prática dos princípios de interação da luz com a matéria.

Entendendo a radiação eletromagnética

A radiação eletromagnética é o produto da interação de campos elétricos e magnéticos oscilantes perpendicularmente que atravessam o vácuo a uma velocidade de 1080 milhões de quilômetros por hora ou 3×10^8 m/s. Essa velocidade é chamada velocidade da luz e pode ser representada pelo símbolo c . Quando um feixe de luz encontra um elétron, seu campo elétrico oscila em direção e intensidade. O número de ciclos por segundo é chamado de frequência n da radiação, e sua unidade é o hertz (Hz), definida como um ciclo por segundo. A frequência da radiação eletromagnética que é

A seção "Experimentação no ensino de Química" descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos. Os materiais e reagentes usados são facilmente encontráveis, permitindo a realização dos experimentos em qualquer escola.

percebida como luz visível é de cerca de 1015 Hz, isso que dizer que seu campo magnético muda de direção cerca de 1015 vezes por segundo ao passar por um determinado ponto (Atkins; Jones, 2006).

A faixa de comprimentos de onda da região do visível no espectro eletromagnético é da ordem de 400 nm, sendo que faixas de comprimentos de ondas diferentes correspondem a regiões diferentes do espectro eletromagnético. Nossos olhos detectam a radiação eletromagnética entre os comprimentos de onda entre cerca de 800 nm (luz vermelha) e 400 nm (luz violeta). Nesse intervalo, a radiação é chamada de luz visível. O comprimento de onda e a frequência relacionam-se entre si pela equação $\lambda \cdot \nu = c$ (Atkins; Jones, 2006)

Fotometria: usos e conceitos

Na análise fotométrica, utiliza-se uma fonte que emite radiação na faixa de comprimento de onda na região do UV-visível, escolhendo-se uma faixa de comprimento de onda bem definida. A principal faixa de comprimento de onda utilizada está situada na região em que o olho humano é sensível, que está localizada entre aproximadamente 400 nm e 800 nm no espectro eletromagnético e denominada de região do visível. Ainda é possível explorar a região entre 200 e 400 nm, pois a região entre 200 e 800 nm (UV-visível) corresponde a uma faixa de energia de fótons responsáveis pela excitação molecular, ou seja, nessa faixa de comprimento de onda, ocorrem as transições eletrônicas nas moléculas, seja no estado gasoso ou em solução (Mendham et al., 2002).

A percepção visual da cor de uma solução depende da absorção da radiação. Dessa forma, uma solução aquosa contendo os íons $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ é vermelha porque absorve o verde da luz branca que penetra no recipiente e transmite o vermelho como cor complementar no espectro, ou seja, o comprimento de onda da radiação escolhido em uma análise colorimétrica deve corresponder ao comprimento de onda da cor complementar ao apresentado quando olhamos para a solução (Skoog et al., 2006).

A espectrofotometria é um método bastante conhecido para determinação de concentração de espécies químicas presentes em uma solução. Para executar essas determinações, podemos usar dispositivos conhecidos como fotômetros que são constituídos basicamente dos seguintes componentes: uma fonte de energia radiante (luz), um monocromador ou seletor de comprimento de onda que incide sobre a amostra (em alguns casos, filtros de interferência podem ser utilizados para isolar um comprimento de onda específico), um compartimento onde é colocada a amostra e finalmente um dispositivo para medir a atenuação da radiação incidente (radiante que incide sobre a amostra) (Holler; Skoog; Crouch, 2009).

Materiais para construção do fotômetro

Relacionamos, a seguir, os materiais necessários e o custo atual aproximado de cada um. O custo total do fotômetro pode chegar a cerca de R\$ 76,00.

Loja de componentes eletrônicos

- 2 Conectores tipo borne (R\$ 5,00): para conexão dos terminais do multímetro;
- Chave liga-desliga tipo alavanca (média) com 1 interruptor e 2 posições, ligado/desligado (R\$ 4,00);
- Regulador de tensão CI 7808 (R\$ 1,50): para manter a tensão constante de 8V corrente contínua (cc) no circuito do fotômetro;
- Conector para LED (R\$ 2,00): servirá para facilitar a substituição dos LED, garantindo maior versatilidade na hora da troca dos LED e ampliando a faixa de uso espectral do fotômetro com LED de cores diferentes, podendo assim utilizar o fotômetro para medidas em comprimentos de ondas diferentes;
- Conector fêmea para fonte chaveada (R\$ 4,00): serve para conectar a fonte de alimentação ao fotômetro;
- Fonte chaveada 12V (R\$ 19,00): funciona como fonte de alimentação externa cuja tensão de entrada pode variar desde 100V a 240 V corrente alternada (ac) e é capaz de fornecer uma corrente de até 1000 mA (poderá ser substituída por outras fontes como por exemplo, carregadores de celular);
- LDR (resistor dependente de luz) (R\$ 3,50): funcionando como transdutor de radiação, é um fotorresistor que varia sua resistência de acordo com a intensidade de incidência de luz.
- 1 LED (diodo emissor de luz) (R\$ 1,50): funciona como fonte de radiação;
- Multímetro digital (R\$ 13,00): serve como dispositivo de leitura;
- 2 potenciômetros, um de 1k Ω e outro de 10k Ω (R\$ 3,50): funcionam como divisor resistivo para ajustes de sensibilidade (ajuste fino e grosso);
- Suporte para LED (R\$ 0,30);
- 30 cm de fio de cobre esmaltado (R\$ 2,00).

Lojas de material de construção

- Caixa de passagem de PVC (de dimensões 15x15x7) (R\$ 11,00);
- 2 conexões de PVC tipo luva soldável com rosca de meia polegada (R\$ 1,20);
- 10 cm de cano de PVC de meia polegada (R\$ 0,50).

Lojas de equipamentos para laboratório

- Tubo de ensaio de vidro medindo 16x150 mm com tampa roscada (R\$ 4,00).

Procedimento para montagem do fotômetro

Para a fixação da fonte de radiação, do recipiente para amostra e do transdutor de radiação, utilize a caixa de passagem de PVC. Esta tem a vantagem de ser toda fechada e não possuir frestas para entrada de luz externa. Esse tipo de caixa pode ser encontrado facilmente em qualquer loja de material para construção. Na Figura 1, temos a caixa de passagem já com os componentes fixados.

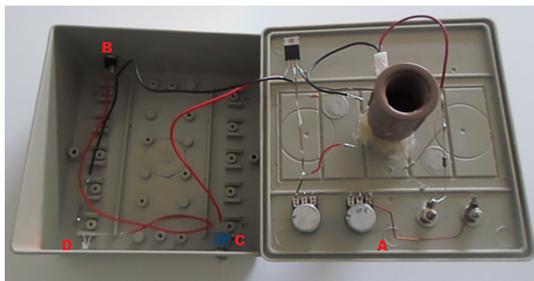


Figura 1: Imagem superior interna do fotômetro desmontado.

Para facilitar a montagem do fotômetro, o circuito eletrônico é exibido na Figura 2. O circuito deve ser montado na tampa da caixa de PVC. Os potenciômetros de $1\text{k}\Omega$ e $10\text{k}\Omega$ para o ajuste fino e grosso do sinal de saída e ao lado dos potenciômetros devem ser fixados nos bornes, um preto e um vermelho, para conexão com os terminais do multímetro. No centro da tampa de PVC, deve ser feito um furo com o mesmo diâmetro do cano de PVC, fixa-se esse cano com cola quente que funcionará como suporte para o recipiente da amostra a ser analisada que, no caso, é um tubo de ensaio.

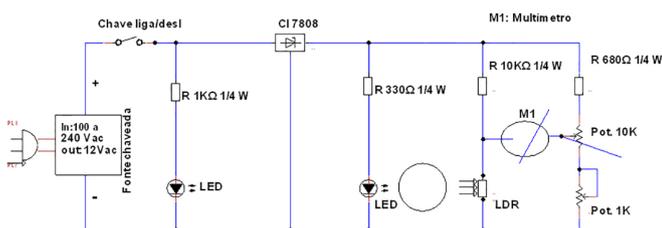


Figura 2: Esquema do circuito eletrônico do fotômetro construído.

Após fixar na tampa da caixa os componentes descritos anteriormente, perfura-se o cano de PVC em dois pontos diametralmente opostos (um de frente para o outro), onde são fixados o suporte para o LED e, na outra extremidade, o LDR. O circuito elétrico deve ser montado ligando com fio de cobre os componentes (LDR, LED, potenciômetros e bornes) com o regulador de tensão CI7808. Para concluir o circuito elétrico fixo na tampa da caixa de PVC, devem ser ligadas as resistências de 330Ω para o LED, $10\text{k}\Omega$ para o LDR e 680Ω para o potenciômetro de $10\text{k}\Omega$. Na parte interna da caixa de PVC, é fixado um conector para a fonte de alimentação (ponto B da Figura 1), uma chave do tipo liga/desliga (ponto C da Figura 1) e um LED (ponto D da Figura 1) para indicar que o instrumento está ligado.

A Figura 3 mostra o fotômetro montado com todos os seus componentes.

Determinação da concentração de permanganato de potássio presente em uma solução aquosa de concentração desconhecida

Para realização dessa atividade, é necessário que o professor anteriormente prepare em um laboratório as soluções aquosas de permanganato de potássio nas concentrações de $0,2$; $0,4$; $0,6$; $0,8$ e $1,0\text{ mg L}^{-1}$ para construir a curva de



Figura 3: Imagem do fotômetro montado e fechado.

calibração. O professor também deve preparar antecipadamente uma solução aquosa de permanganato de potássio com concentração de aproximadamente $0,5\text{ mg L}^{-1}$, que simulará a solução-problema a ser distribuída aos grupos. Após preparar as soluções, o professor construirá antes da aula prática as curvas de calibração usando cada um dos LED, utilizando, para isso, uma planilha eletrônica para os cálculos.

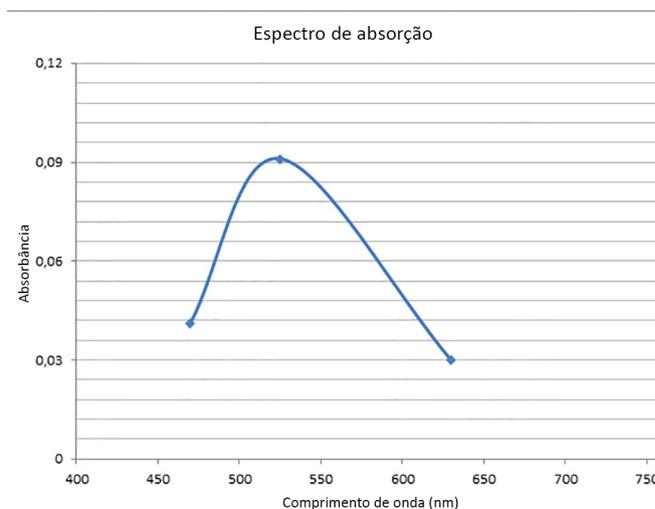


Figura 4: Espectro de absorção KMnO_4 utilizando o fotômetro.

Materiais necessários: fotômetro proposto; uma garrafa tipo pet com capacidade de $2,0\text{ L}$ com água destilada; pastilhas de permanganato de potássio 100 mg (comprimido de permanganato de potássio encontrado em farmácias); tubos de ensaio com tampa rosca; copos de vidro; pipetas (poderá ser substituído por seringas descartáveis); estante para os tubos de ensaio (poderá ser substituído por outro recipiente que possa guardar estes).

1º momento: o professor deve dividir a sala em grupos de até quatro alunos e demonstrar o funcionamento e como utilizar o fotômetro para realizar as medidas.

2º momento: em seguida, entregará a cada grupo a solução-problema (amostra) de permanganato de potássio que foi previamente preparada. Cada grupo realizará a medida de transmitância da solução-problema recebida, utilizando diferentes comprimentos de onda. Para isso, os estudantes

utilizarão diferentes LED (azul, verde, vermelho e amarelo). Orientar os alunos para anotar os valores obtidos para os diferentes LED e depois analisar os resultados.

3º momento: os alunos já serão capazes de deduzir qual dos LED testados (comprimentos de onda) causou menor transmitância, ou seja, maior absorção de luz pela solução-problema. A seguir, disponibilizar as curvas de calibração para cada comprimento de onda (cor do LED), deixando que os alunos escolham que curva é a mais adequada para analisar a amostra.

4º momento: solicitar aos alunos que elaborem uma pequena apresentação com os resultados obtidos na atividade experimental e informações que acharem pertinentes em suas pesquisas. Nesse momento, será informada aos alunos qual a concentração da solução-problema que eles receberam. A discrepância eventual encontrada entre resultados poderá surpreender os estudantes que, sem dúvida, terão como expectativa resultados exatos ou exatamente iguais. Para que os estudantes não fiquem desmotivados com os resultados, é importante que o professor explique que, nos métodos analíticos, sempre existem erros, que vão desde erros pessoais até erros indeterminados, e que o mais importante é a análise do resultado e não o resultado em si, contudo, a análise do erro em relação a um valor verdadeiro ou exato é que vai dizer se o erro observado é aceitável ou não. Essa discussão deve possibilitar ao estudante conhecer e compreender como um analista avalia os resultados obtidos em uma análise, ao mesmo tempo em que lhes mostra as possibilidades de erros durante uma análise química e obviamente os cuidados mínimos necessários para que os resultados obtidos não sejam tão influenciados por erros mais grosseiros.

Questões para discussão

As questões a seguir podem ser utilizadas pelo professor para que os conceitos abordados durante o experimento sejam discutidos com os alunos.

- 1) Por que as coisas são coloridas?
- 2) Por que o sinal de leitura do multímetro muda quando substituímos o LED de diferente cor?
- 3) Por que a leitura do sinal observado em uma solução diluída é menor que o observado em uma solução concentrada? Há algum limite nesse comportamento?

Considerações finais

Apresentamos neste trabalho a construção de um fotômetro com materiais de baixo custo, fácil aquisição e construção como alternativa para falta desse equipamento nas escolas da educação básica, permitindo que o professor possa abordar vários temas como ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético, estrutura atômica, interação da luz com a matéria, estudo de concentração das soluções etc. Uma vez construído o fotômetro, a quantidade de experimentos e análises de diferentes espécies químicas em solução aquosa que podem ser exploradas pelo professor juntamente com os alunos são inúmeras.

Nota

Leia os rótulos das embalagens de todos os reagentes, atentando para as informações sobre periculosidade. Mantenha o equipamento e os reagentes químicos fora do alcance de crianças. Use técnicas analíticas apropriadas.

Paulo César Costa de Oliveira (pcco@qui.ufal.br), graduado em Química Industrial pela Universidade Federal do Ceará (UFC), mestrado e doutorado em Química Analítica pela Universidade de São Paulo (USP), é professor do Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL – BR. **Marcos Antonio Pessoa Leite** (marcospleite@hotmail.com), licenciado em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), especialista em Ensino de Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE, mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), é professor do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) Campus Garanhuns-PE. Garanhuns, PE – BR.

Referências

ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

GAIÃO, E. N. et al. Um fotômetro multiled microcontrolado, portátil e de baixo custo. *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 1102-1005, 24 ago. 2005.

HOLLER, F.J.; SKOOG, D.A.; CROUCH, S.R. *Princípios de análise instrumental*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KNAGGE, K.; RAFTERY, D. Construction and evaluation of a LEGO spectrophotometer for student use. *The Chemical*

Educator, Boise, v. 7, n. 6, p. 371-375, out. 2002.

LÜDKE, E. Um espectrofotômetro de baixo custo para laboratórios de ensino: aplicações no ensino da absorção eletrônica e emissão de fluorescência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1506-1-1506-3, 14 maio 2010.

MENDHAM, J. et al. *Voguel: análise química quantitativa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MOTA, F.A.C. *Desenvolvimento de um fotômetro com fins didáticos*. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

SKOOG, D.A. et al. *Fundamentos de química analítica*. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

Abstract: *Spectrophotometry in high school: construction of a low cost, easy assembling photometer.* Over the years Spectrophotometry has been fundamental to chemical analysis by determining the composition of various substances and allowing the creation of devices that are now essential in many knowledge areas. This paper describes the construction of a low-cost, easy assembling spectrophotometer with the purpose of introducing the concepts of spectrophotometry and the phenomena of the light-matter interaction in experimental Chemistry classes in Basic Education.

Keywords: photometer, spectrophotometry, high school.