

Colorfluorímetro: um instrumento didático acessível para análises colorimétricas e fluorimétricas

Eduardo da Costa Ilha, Bruno Joukoski Jalowski e Marcel Piovezan

No ensino de química, os experimentos que envolvem instrumentos são frequentemente negligenciados devido ao alto custo e a complexa manutenção, privando alunos e professores da oportunidade de explorar as aplicações práticas e a contextualização de conceitos teóricos. Visando superar essa limitação, este estudo propõe a construção e aplicação de um instrumento único capaz de realizar análises colorimétricas e fluorimétricas. A montagem utiliza materiais de baixo custo e fácil acesso, como canos de PVC, LEDs e um *smartphone*. Quanto à aplicação foi possível determinar fotometricamente o coeficiente de absorvidade molar do vermelho de fenol, e no modo de operação fluorimétrico foi quantificado o teor de quinino em água tônica comercial. Com um único instrumento o aluno tem contato prático com duas técnicas instrumentais, ao passo que o docente tem disponível mais uma ferramenta didática. Essas vantagens demonstram o potencial do colorfluorímetro, desde a sua construção, modos de operação e nas diversas possibilidades de aplicações em diferentes áreas da ciência.

► Lambert-Beer, fluorimetria, espectrometria visível, experimento didático ◀

Recebido em 08/03/2024; aceito em 20/12/2024

Introdução

Uma das principais preocupações dos educadores reside na aplicabilidade dos conteúdos lecionados em sala de aula no cotidiano dos alunos. A resposta a essa questão crucial reside na disponibilização, seleção e implementação de ferramentas pedagógicas adequadas que atendam a essa necessidade educacional fundamental.

No modelo tradicional de ensino, centrado na transmissão passiva de informações pelo professor, o aluno se limita à assimilação e reprodução do conhecimento, gerando desinteresse e apatia. Para superar essa estagnação, é fundamental promover o protagonismo discente e o engajamento ativo no processo de aprendizagem. Nesse contexto, o professor assume o papel de mediador, diversificando as estratégias de ensino e incorporando métodos inovadores como projetos, debates e aulas experimentais (Moreira, 2011).

As aulas práticas podem permitir que os alunos experientem e apliquem os conteúdos teóricos, frequentemente apresentados em aulas expositivas. Essa abordagem pode incorporar o método científico, despertar a curiosidade, estimular a criatividade e incentivar o pensamento crítico, transformando a aprendizagem em um processo motivador

e lúdico. Ao protagonizar sua própria aprendizagem, o aluno assume um papel ativo e responsável na construção do conhecimento (Giordan, 1999).

As aulas experimentais, reconhecidamente ferramentas valiosas no ensino de química, muitas vezes se deparam com desafios como a falta de equipamentos e materiais adequados. Essa realidade se torna ainda mais crítica quando se trata de análises químicas instrumentais, devido ao alto custo de aquisição e manutenção dos aparelhos, além da dificuldade de reproduzir experimentos fora do ambiente laboratorial (Silveira *et al.*, 2023).

Diante dessa realidade, a utilização de materiais de baixo custo na construção de equipamentos didáticos simples surge como uma solução promissora. Essa abordagem permite que os alunos participem ativamente do processo de construção e operação dos instrumentos, enquanto fixam os conceitos científicos inerentes ao seu funcionamento (Leite, 2014, p.16).

Diversos pesquisadores se dedicam ao desenvolvimento de alternativas acessíveis para o ensino de química (Guerreiro, 2015; Zeng *et al.*, 2021; Simões e Suarez, 2024). Essas soluções inovadoras democratizam o acesso à experimentação, expandindo seus usos didáticos e, em



alguns casos, apresentando desempenho comparável aos equipamentos comerciais.

Os princípios da espectrometria

Os métodos espectroscópicos baseiam-se nas interações entre a radiação eletromagnética e a matéria, como a absorção e a emissão, e fundamentam importantes métodos de análise, como a fotometria e a fluorimetria. As técnicas de fotometria avaliam a capacidade que diferentes substâncias têm de absorver radiações eletromagnéticas específicas, resultando em espectros de absorção característicos. Estes espectros são medidos por equipamentos como espectrofotômetros e fotômetros/colorímetros (Leite, 2014, p. 38).

Os espectrofotômetros são equipamentos versáteis e adequados para diversas análises, pois contêm prismas ou redes de difração que decompõem a luz nos seus vários comprimentos de onda, permitindo a medição de todo o espectro da luz visível. Em contraste, os colorímetros utilizam filtros de cor ou fontes de luz monocromática, o que os limita à medição de comprimentos de onda específicos. Isso os torna mais baratos, porém menos versáteis (Moreira *et al.*, 2016).

Os espectros de absorção estão diretamente relacionados à quantidade de espécies químicas em determinada amostra que interagem com a luz ao longo de sua trajetória. A absorção (A), ou absorvância, é regida pela Lei de Lambert-Beer, que relaciona a potência da luz incidida (P_0), a potência da luz transmitida (P), o caminho óptico (b) e a concentração da espécie absorvedora (c) nas seguintes equações (Kuntzleman e Jacobson, 2016; George *et al.*, 2017):

$$A = -\log(P/P_0) = \epsilon bc \quad (1)$$

A grandeza representada por ϵ é a absorvidade molar da espécie absorvedora, uma característica intrínseca que independe da concentração. A absorvidade molar é específica para determinado comprimento de onda (λ), pois diferentes λ correspondem a fótons com diferentes quantidades de energia que são absorvidos de maneira distinta pela molécula ou átomo. Para que a Lei de Lambert-Beer produza resultados satisfatórios, é necessário que os estudos de absorção sejam realizados analisando intervalos muito estreitos de comprimento de onda, o que destaca a importância dos monocromadores para esses tipos de análise (George *et al.*, 2017).

Os métodos fluorimétricos se fundamentam no fenômeno da emissão, nos quais substâncias luminescentes em seu estado fundamental têm elétrons que podem ser excitados a níveis de energia superiores ao serem expostos à radiação eletromagnética específica. Ao retornarem ao estado fundamental, esses elétrons liberam energia na forma de fótons. Essa emissão pode ser medida usando fluorímetros, que diferem de outros instrumentos por contarem com o detector

posicionado a 90° da fonte de radiação (Guerreiro, 2015).

A fluorimetria opera com princípios semelhantes aos da fotometria, conforme descrito pela Equação 2, embora a intensidade de fluorescência (I_F) dependa de outros fatores, como o rendimento quântico de fluorescência (Φ_λ), o fator de proporcionalidade (k), a intensidade da radiação incidente (I_0), os comprimentos de onda de excitação (λ_{exc}) e de emissão (λ_{em}) e o caminho óptico (b). Quando se mantém todos estes fatores constantes, é possível utilizar técnicas de calibração para a quantificação de espécies que apresentam fluorescência. Isso se torna possível graças à relação linear entre a intensidade da fluorescência e a concentração (c) do analito (Sikorska *et al.*, 2019).

$$I_F(\lambda_{em}, \lambda_{exc}) = 2,3k I_0(\lambda_{exc}) (\Phi_\lambda) \epsilon(\lambda_{em}) (\lambda_{exc}) b c \quad (2)$$

Como I_F também é proporcional a I_0 , é possível aumentar a sensibilidade do equipamento apenas com o aumento da intensidade da fonte de radiação. Essa possibilidade pode ser útil em casos de baixas concentrações de analito, melhorando os limites de detecção e quantificação (Sikorska *et al.*, 2019).

Com o objetivo de contribuir com uma ferramenta para a experimentação em espectrometria no ensino de química, este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de um instrumento denominado colorfluorímetro. Com um único instrumento, se faz possível e acessível o estudo de conceitos da fotometria e da fluorimetria em qualquer ambiente educacional.

Para demonstrar a capacidade do colorfluorímetro, foram propostas duas atividades: a determinação da absorvidade molar, um parâmetro fundamental da Lei de Lambert-Beer, e a análise quantitativa de quinino em uma amostra comercial de água tônica.

Materiais e métodos

Materiais

Para construção do equipamento, foram utilizados os seguintes materiais: canos de PVC de 25 mm; 3 conectores em “T” de PVC de 25 mm; 1 conector de 4 vias de PVC de 25 mm; 1 tampa de PVC de 25 mm; disco de papelão; tinta preta fosca (*spray* ou líquida); 1 tubo de ensaio; 1 LED verde (520 - 565 nm); 1 LED violeta (400 - 440 nm); 1 resistor de 110 Ω ; 1 fonte de telefone celular (saída: 5V; 1,0A); fita isolante; 1 *smartphone* com aplicativo de acesso livre (*Colorpicker*) medidor de RGB; proveta ou seringa de 10 mL; e 1 conta-gotas ou pipeta de Pasteur.

Reagentes

Os reagentes utilizados foram: vermelho de fenol, adquirido comercialmente na forma de solução em *kit* de teste de pH de piscina 0,02 % (m/m), que corresponde

As técnicas de fotometria avaliam a capacidade que diferentes substâncias têm de absorver radiações eletromagnéticas específicas, resultando em espectros de absorção característicos. Estes espectros são medidos por equipamentos como espectrofotômetros e fotômetros/colorímetros.

a $5,64 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$; solução de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) $0,095 \text{ mol L}^{-1}$; amostra de água tônica comercial; ácido sulfúrico (H_2SO_4) $0,05 \text{ mol L}^{-1}$; solução padrão de sulfato de quinino (marca Dinamica) 1.032 mg L^{-1} .

Construção do colorfluorímetro

Para construção da estrutura do equipamento, as peças de PVC foram pintadas interna e externamente com tinta preta fosca, para evitar interferências causadas por reflexão de luz durante as análises. Após a secagem, as peças foram encaixadas [Figura 1(a)] e seguiu-se para montagem do circuito elétrico [Figura 1(b)], conectando por fim o LED ao resistor e à fonte de energia. O LED foi fixado em um disco de papelão, também pintado de preto, com o mesmo diâmetro do cano, para evitar a entrada de luz externa. A tampa foi utilizada para vedar a entrada não utilizada durante a análise.

Como cubeta, foi utilizado um tubo de ensaio de vidro com diâmetro de 1,50 cm, o qual foi marcado na parte superior para ser posicionado da mesma forma no equipamento a cada medida. Como detector, utilizou-se um *smartphone* com aplicativo medidor de RGB (*Colorpicker*), posicionado na saída. Para o modo fotométrico, o detector fica localizado a 180° da fonte de radiação; para medidas fluorimétricas, deve estar posicionado a 90° . A estrutura completa do colorfluorímetro pode ser visualizada na Figura 1(a).

Aplicação do instrumento

a) Determinação do coeficiente de absorvidade molar (ϵ) do vermelho de fenol

Visando utilizar o instrumento para análises fotométricas, determinou-se o coeficiente de absorvidade molar do vermelho de fenol ($\text{C}_{19}\text{H}_{14}\text{O}_5\text{S}$) através da construção de uma curva de calibração externa. Para isso, foram preparadas e analisadas soluções de diferentes concentrações do analito utilizando o LED verde (520 - 565 nm).

Primeiramente, preparou-se uma solução tampão $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ pela dissolução de 8 g de bicarbonato de sódio em 1 L de água. O pH foi verificado com fita indicadora,

obtendo valor de pH 8. Essa etapa foi realizada para evitar que o vermelho de fenol, um indicador ácido-base, sofresse alterações de cor devido à mudança do pH nas diluições. Em seguida, com auxílio de uma proveta, 10 mL dessa solução foram transferidas para o tubo de ensaio, que então foi posicionado no suporte do instrumento. O detector (*smartphone*) foi fixado na entrada oposta à fonte de radiação, e a intensidade do branco no canal referente ao verde (G) no aplicativo foi medida e considerado como o valor de P_0 (luz incidida).

Posteriormente, foram adicionadas 20 gotas (1,0 mL) de vermelho de fenol ($5,64 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$) ao tubo de ensaio, seguido de agitação manual e novamente posicionou-se o tubo no instrumento. A medição da intensidade luminosa foi registrada, sendo esse o valor de P (luz transmitida) para essa concentração de $2,82 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$. As medições subsequentes foram realizadas da mesma forma, adicionando sempre 1 gota (0,05 mL) da solução comercial de vermelho de fenol, seguido da agitação e medição da intensidade luminosa, totalizando adições de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 gotas. O ensaio foi realizado em triplicata de preparo para cada diluição.

Para fins comparativos, a metodologia foi replicada no laboratório de Química Analítica do Instituto Federal de Santa

Catarina - Campus Florianópolis, com as leituras realizadas em um espectrofotômetro comercial [Agilent Technologies, modelo Cary 60 UV-Vis, lâmpada Xenon (80 Hz)]. As medidas foram realizadas em cubeta de plástico com caminho óptico de 1,00 cm. Construiu-se uma curva de calibração externa no comprimento de onda de máxima absorção do vermelho de fenol ($\lambda_{\text{máx}} = 560 \text{ nm}$) (Figura 3B) que está dentro da faixa de emissão do LED verde.

Para a avaliação do uso do equipamento como fluorímetro, quantificou-se quinino em amostra de água tônica comercial, através da construção de curva de calibração por adição de padrão realizada em triplicata. Para isso, o colorfluorímetro foi equipado com um LED violeta (400-440 nm) como fonte de radiação.

b) Quantificação de quinino em água tônica por fluorimetria

Para a avaliação do uso do equipamento como fluorímetro, quantificou-se quinino em amostra de água tônica comercial, através da construção de curva de calibração por adição de padrão realizada em triplicata. Para isso, o colorfluorímetro

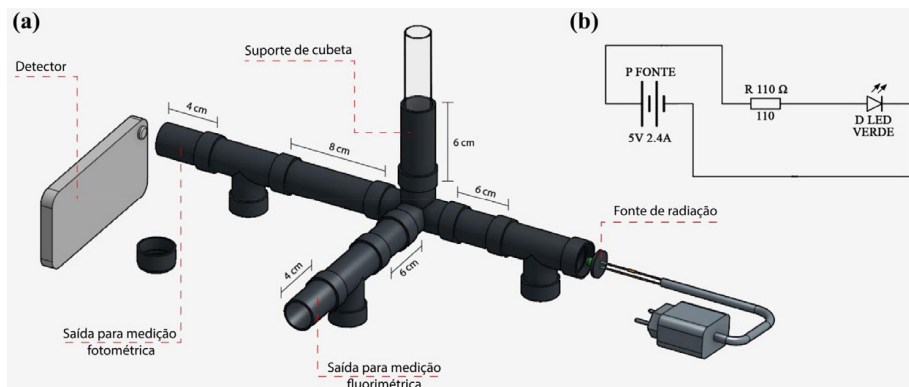


Figura 1: (a) Esquema da montagem final do colorfluorímetro. (b) Circuito elétrico. Fonte: os autores.

foi equipado com um LED violeta (400-440 nm) como fonte de radiação, que emite comprimentos de onda capazes de excitar e propiciam a fluorescência do quinino na faixa de comprimentos de onda de 520 - 565 nm, cor verde.

A construção da curva de adição de padrão foi iniciada pela medida do branco (I_0), que consistiu em diluir na proveta 5 mL de solução de H_2SO_4 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ com 5 mL de água destilada. Em seguida, foi preparada na proveta de 10 mL uma diluição 1:1 (v/v) composta de 5 mL de amostra de água tônica comercial com 5 mL de solução de H_2SO_4 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, transferiu-se para o tubo de ensaio, agitou-se e foi posicionado no suporte no instrumento. O detector (*smartphone*) foi posicionado na extremidade a 90° da fonte de radiação, e realizou-se a leitura da intensidade da fluorescência (I) no canal referente ao verde (G). Os demais pontos da curva foram preparados adicionando, na mesma solução contida no tubo, mais gotas da solução padrão de quinino (1.032 mg L^{-1}) compreendendo o total de adições de 0, 1, 2, 3, 4 e 10 gotas de padrão, seguidas de agitação e reposicionamento no instrumento para leitura de (I).

Resultados e discussão

Construção do colorfluorímetro

O equipamento final obtido, apresentado na Figura 2, mostrou-se versátil para diferentes tipos de análises fotométricas, tanto de absorção quanto de fluorescência, sendo necessário apenas a adequação da coloração do LED e a

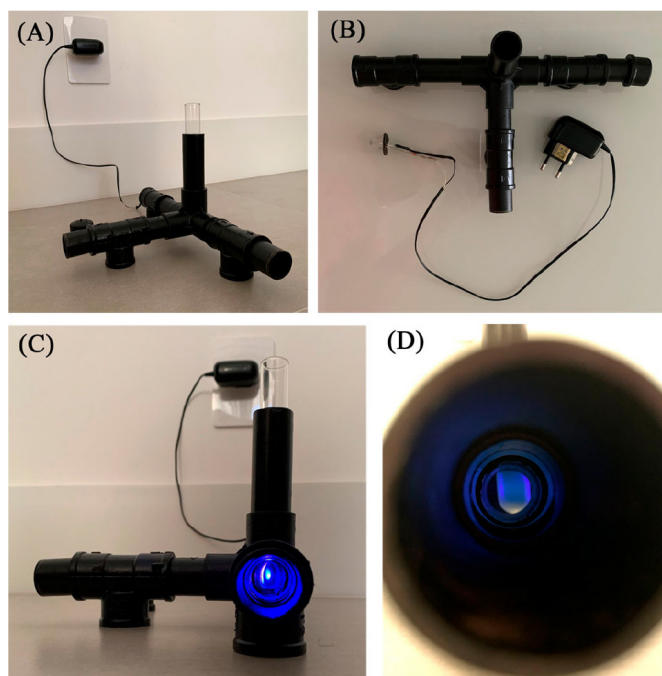


Figura 2: Imagens do equipamento construído. (A) Vista isométrica do colorfluorímetro; (B) Vista superior do instrumento e da fonte de radiação e alimentação elétrica; (C) Vista do instrumento com cubeta e amostra na configuração para medida colorimétrica; (D) Visão interna do instrumento, mostrando a fluorescência de uma solução padrão de sulfato de quinino 10 mg L^{-1} . Fonte: os autores.

mudança da posição do *smartphone* de acordo com o analito a ser investigado e a técnica a ser aplicada.

A precisão instrumental para as medidas de absorção e fluorescência foram realizadas por meio de 7 repetições da leitura de uma mesma amostra de acordo com cada técnica. Foram obtidos desvios padrão relativos de 1,41% para o ensaio de absorção e de 2,50% para o ensaio de fluorescência, resultados que indicam que as variações das medições são aceitáveis. A redução dos desvios nas medidas foi alcançada pelo ajuste do *High Dynamic Range* (HDR) automático da câmera do *smartphone*, que deve ser desligado durante a análise. Esse ajuste altera a iluminação da imagem captada pela câmera, interferindo no valor captado pelo detector RGB.

O aplicativo medidor de RGB mais adequado deve ser aquele que possui a capacidade de foco em uma região específica da imagem captada pela câmera. Essa particularidade permite que os valores lidos não sofram interferência da luz refletida pelo tubo de ensaio e da iluminação externa.

O instrumento desenvolvido é comparável com outros descritos na literatura (Tabela 1), apresentando algumas vantagens. Enquanto a maioria dos equipamentos (Moreira *et al.*, 2016; Guerreiro, 2015; Simões e Suarez, 2024) requer um microprocessador ou multímetro como processador, este instrumento utiliza *smartphones*, uma tecnologia mais familiar para os estudantes, facilitando a compreensão de sua função no instrumento, bem como seu manuseio. O emprego de tubos de ensaio como cubetas facilita sua aquisição e é essencial para dar versatilidade ao instrumento, permitindo seu uso tanto para fotometria quanto para fluorimetria. As cubetas convencionais geralmente possuem textura em duas faces opostas que impedem medições fluorimétricas, pois a amostra deve estar no vértice do ângulo de 90° entre a fonte e o detector e essas faces devem ser translúcidas. Diferente dos instrumentos de Guerreiro (2015), Moreira *et al.* (2016) e Zeng *et al.* (2021), que utilizam *softwares* específicos para aquisição e tratamento de dados, no colorfluorímetro esses valores são obtidos diretamente da tela do aplicativo RGB no *smartphone* e podem ser tratados em planilhas de cálculo em computador ou em papel e calculadora.

Quanto à construção de um equipamento único capaz de realizar medidas colorimétricas e fotométricas, Lüdke (2010) determinou a absorvidade molar do corante murexida usando fotorresistor e multímetro como detector e registrador de sinal, e sugeriu a possibilidade da alteração do instrumento para medidas fluorimétricas. Simões e Suarez (2024) quantificaram diclofenaco por fotometria e cloreto de quinino por fluorimetria. Para tanto, construíram o instrumento com uma impressora 3D e utilizaram um LDR (Resistor dependente de luz, do inglês, *Light Dependent Resistor*) como detector e um multímetro como registrador de sinal. Os autores não especificaram as características da cubeta utilizada.

Determinação do coeficiente de absorvidade molar do vermelho de fenol

Relacionando o valor da luz incidida (P_0) e da luz transmitida (P), pela aplicação da Equação 1, foram

Tabela 1: Comparação entre as características de alguns instrumentos espectroscópicos com fins didáticos e analíticos desenvolvidos nas últimas décadas e o equipamento proposto.

Referência	Técnica	Fonte de radiação	Mono-cromador	Porta amostra	Amostra	Detector
Lüdke (2010)	Fotometria ¹	LED	Próprio diodo	Tubo de ensaio de vidro	Murexida	Fototransistor
Guerreiro (2015)	Fotometria/Fluorimetria	LED RGB tricolor	Próprio diodo e sensor	Tubo cilíndrico de vidro (vial)	Complexo Ferro o-fenantrolina/sulfatos, Ca ²⁺ e Mg ²⁺	Arranjo de fotodiodos
Moreira et al. (2016)	Fotometria	LEDs RGB tricolor	Próprio diodo	Cubeta de plástico	Sulfato de níquel	Fotoresistor (LDR)
Zeng et al. (2021)	Fotometria	Lâmpada de LED de alto brilho branco	Próprio diodo	Cubeta de plástico	Algas	Câmera digital
Simões e Suarez (2024)	Fotometria/Fluorimetria	LED de cor única	Próprio diodo	Não descreve	Diclofenaco de sódio/Água tônica	Fotoresistor (LDR)
Colorfluorímetro (proposto)	Fotometria/Fluorimetria	LED de cor única	Próprio diodo	Tubo de ensaio de vidro	Vermelho de Fenol/Água tônica	Aplicativo RGB em Smartphone

¹Sugere a possibilidade de uso do instrumento como fluorímetro. Fonte: os autores.

determinados os valores de absorvância de cada solução usada para a construção da curva de calibração externa (Figura 3A). Para a determinação da concentração de cada solução, utilizou-se como volume de uma gota o valor de 0,025 mL, medida com uma pipeta de Pasteur de plástico. Esse volume foi verificado experimentalmente pela medida da massa de 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 35 gotas utilizando uma balança analítica (marca Tecnal, São Paulo, Brasil). As massas foram convertidas a volume com a densidade da água a 21°C, ($\rho=0,99802 \text{ g mL}^{-1}$) e realizou-se a regressão linear entre volume das gotas *versus* número de gotas, obtendo uma razão volume por gota de 0,025 mL por gota. Obteve-se um coeficiente de determinação (r) igual a 0,999, mostrando uma constância no volume da gota liberada pela pipeta de Pasteur.

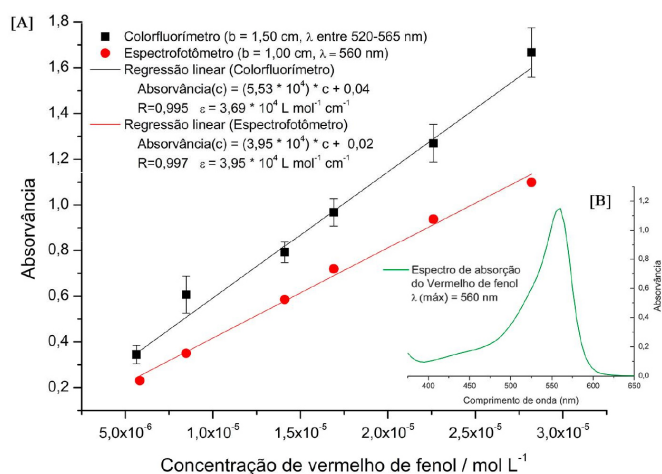


Figura 3: [A] Curva de calibração externa do vermelho de fenol no equipamento proposto e equipamento comercial. [B] Espectro de absorção de solução $2,82 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ do corante vermelho de fenol feito em espectrofotômetro comercial. Fonte: os autores

A partir da curva da Figura 3A■, obteve-se a equação $A = 55323c + 0,0177$, sendo “A” a absorvância e “c” a concentração molar de vermelho de fenol na amostra. O coeficiente de correlação (r), de 0,991, denota evidente relação linear entre as variáveis dentro do limite de concentração estudado.

Fazendo uma comparação entre a reta construída e a Lei de Lambert-Beer (Equação 1), observa-se que o coeficiente angular da reta (55323 L mol^{-1}) corresponde a “ ϵb ” da equação de Lambert-Beer. Como o caminho óptico “b” é conhecido, sendo o diâmetro medido do tubo de ensaio (1,50 cm), foi possível determinar o coeficiente de absorvância molar “ ϵ ” do vermelho de fenol, sendo igual a $36882 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. A curva construída por espectrofotometria UV-Vis (Figura 3A●), medida em 560 nm, pode ser descrita pela equação $A = 39495c - 0,0813$, apresentando r de 0,986. O mesmo comportamento foi encontrado em ambas as análises (colorfluorímetro e comercial), corroborando a relação de linearidade entre a absorvância das soluções e a concentração de vermelho de fenol. Esses resultados mostram que o instrumento construído pode ser empregado para a compreensão e estudo da linearidade da Lei de Lambert-Beer, bem como estudos dos efeitos da absorvância relacionados à variação do caminho óptico e concentração das soluções.

O valor do coeficiente de absorvância molar a 560 nm para o equipamento proposto foi de $36882 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, e para o equipamento comercial foi de $39495 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, não apresentando diferença significativa em um nível de confiança de 95%, $T_{\text{calculado}} < T_{\text{crítico}}$ ($1,700 < 4,3027$), por meio do Teste T de Student ($N=6, GL = 4$). No entanto, observando os gráficos da Figura 3A, deduz-se que o colorfluorímetro ($b = 1,5 \text{ cm}$) apresenta uma sensibilidade maior comparado ao comercial ($b = 1 \text{ cm}$): isto se deve ao caminho óptico da

cubeta ser menor. Esse comportamento é esperado como descrito pela Lei de Lambert-Beer, pois quando mantêm-se constantes as concentrações, mas diminui-se o caminho óptico, ocorre diminuição da absorvância. Como consequência, obtêm-se coeficientes angulares de retas nas curvas de calibração aparentemente menos sensíveis (menores valores em comparação).

O instrumento comercial, por se tratar de um espectrofotômetro, conta com monocromador capaz de selecionar faixas mais estreitas de comprimentos de onda, sendo assim mais sensível. Diferentemente, o colorfluorímetro tem pela seleção da cor do LED, neste caso o da cor verde, uma banda de emissão (520 - 565 nm) mais ampla. Sem a presença de um filtro ou seletor de comprimento de ondas este instrumento classifica-se como um fotômetro. Essas diferenças ocasionam desvios na linearidade da Lei de Lambert-Beer, que preconiza a necessidade da luz ser monocromática para medidas quantitativas (Custodio *et al.*, 2018). Como consequência, podem ser comuns curvas de calibração não lineares em equipamentos que empregam LEDs como fonte de radiação para medidas de absorvância. A seleção de um LED baseado na comparação da banda de emissão sobreposta à banda de absorção do composto em estudo minimiza esse efeito (Bui e Hauser, 2015).

Outro fato instrumental importante se dá pela utilização de cubeta plana nos espectrofotômetros, nos quais a luz atinge perpendicularmente o material da cubeta e na sequência a solução absorvente e o detector em um caminho linear. As cubetas quadradas são precisas, pois os parâmetros de comprimento do caminho óptico (b) e paralelismo entre as faces são estabelecidas na fabricação. Dessa forma, são recomendadas para procedimentos analíticos nos quais o método de detecção da luz em ângulo reto minimiza o efeito de dispersão de luz pela solução e pela célula. No colorfluorímetro, por sua vez, a superfície curva do tubo de ensaio, apesar de apresentar maiores efeitos na dispersão da luz frente às cubetas de faces planas, o tornam adequado para muitas aplicações de rotina, com a vantagem de serem menos dispendiosos (Al-Rawashdeh, 2012).

O uso do colorfluorímetro na determinação da absorvância molar foi proposto para fins comparativos e educativos. Para melhorar seus resultados, sugere-se reduzir a faixa de emissão dos LEDs pelo uso de filtros de radiação, como papel celofane ou lentes plásticas coloridas, tendo em vista que se trata de uma faixa de comprimentos de onda e não de um comprimento de onda único, requisito para respeitar plenamente a Lei de Lambert-Beer.

Quantificação de quinino em água tônica por fluorimetria

Construiu-se em triplicata ($n=3$) a curva de calibração por adição de padrão (Figura 4). Nela foi relacionada a

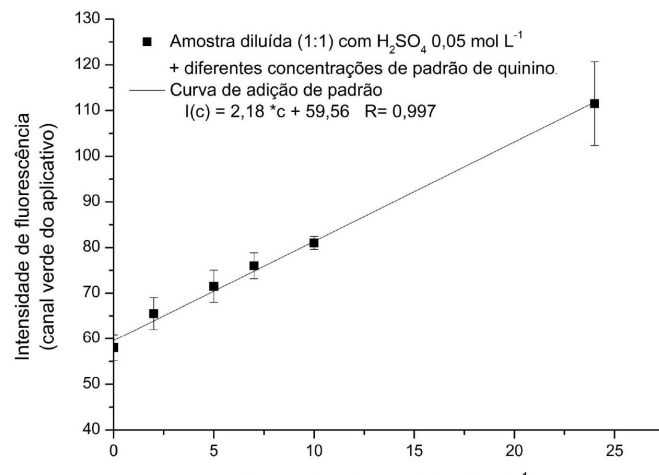


Figura 4: Curva de adição de padrão de quinino na amostra de água tônica diluída em ácido sulfúrico 0,05 mol L⁻¹ 1:1 (v/v). Construída em triplicata. Fonte: os autores.

intensidade da fluorescência (I) coletada no canal G do detector, com a concentração de quinino (c) presente na diluição da amostra adicionada do padrão. A equação $I = 2,18c + 59,56$ descreve a relação entre I versus c (mg L⁻¹), sendo o coeficiente de correlação (r) igual a 0,997, o que demonstra adequada correlação linear entre as variáveis (Ribani *et al.*, 2004).

A concentração de quinino na amostra pode ser determinada quando a intensidade de fluorescência na equação da reta é igualada a zero ($I = 0$). Isso representa o ponto em que toda a fluorescência medida é devida ao quinino da amostra. Feito isso, determinou-se o valor de “ c ” e o resultado foi multiplicado pelo fator de diluição ($f.d. = 2$). Determinou-se, por fim, a concentração do quinino em 56 ± 1 mg L⁻¹ na amostra analisada. Esse resultado está de acordo com o de Simões e Suarez (2024), que registraram concentração de 45,65 mg L⁻¹ em amostras de água tônica comercial.

Considerações finais

O equipamento mostrou-se uma ferramenta interessante para o estudo da Lei de Lambert-Beer, possibilitando que os alunos manipulem e entendam os parâmetros de caminho óptico, concentração e absorvância molar. Por meio da construção de curva de calibração, o professor pode trabalhar conteúdos associados ao tratamento de dados, estatística básica, linearidade de curvas e equação da reta, além de cálculo, preparo e diluição de soluções, produzindo dados a partir de instrumentos construídos pelos próprios alunos. O modo fluorimétrico pode contextualizar a prática associando às análises clínicas de vitaminas e imunoenaios, que são realizadas por medidas de fluorescência.

Por fim, o colorfluorímetro se destaca como uma

Por meio da construção de curva de calibração, o professor pode trabalhar conteúdos associados ao tratamento de dados, estatística básica, linearidade de curvas e equação da reta, além de cálculo, preparo e diluição de soluções, produzindo dados a partir de instrumentos construídos pelos próprios alunos.

ferramenta para o ensino de fotometria e fluorimetria. Sua acessibilidade e facilidade de construção o tornam um recurso prontamente disponível para instituições de todos os níveis socioeconômicos, diminuindo a disparidade nas oportunidades de experimentação dessas técnicas. A construção do instrumento, além de envolver os alunos, promove uma compreensão mais profunda dos princípios da espectroscopia. Essa ferramenta didática de aprendizado imersivo cultiva conexões significativas entre conceitos teóricos e aplicações

práticas, auxiliando e capacitando os alunos para enfrentar os desafios do mundo do trabalho com maior confiança.

Referências

AL-RAWASHDEH, N. A. Current achievement and future potential of fluorescence spectroscopy. In: UDDIN, J. (ed). *Macro to Nano Spectroscopy*. Rijeka (Croácia): InTech, 2012.

BUI, D. A. e HAUSER, P. C. Analytical devices based on light-emitting diodes: a review of the state-of-the-art. *Analytica Chimica Acta*, v. 853, p. 46-58, 2015.

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T. e ANDRADE, J. C. Lei dos processos de absorção da radiação. *Revista Chemkeys*, v. 3, p. 1-5, 2018.

GEORGE, G.; WILSON, R. e JOY, J. Ultraviolet Spectroscopy. In: THOMAS, S.; THOMAS, R.; ZACHARIAH, A. K. e MISHRA, R. K. (Eds.) *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization*. Amsterdam: Elsevier, 2017.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

GUERREIRO, T. B. *Desenvolvimento e aplicação de um fotômetro/fluorímetro microcontrolado à base de LED RGB para a determinação de espécies de interesse analítico*. Tese de Doutorado em Química Analítica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

KUNTZLEMAN, T. S. e JACOBSON, E. C. Teaching Beer's Law and absorption spectrophotometry with a smart phone: a substantially simplified protocol. *Journal of Chemical Education*, v. 93, n. 7, p. 1249-1252, 2016.

LEITE, M. A. P. *Fotômetro portátil de baixo custo: experimentação e contextualização no ensino de química da educação básica*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Alagoas, 2014.

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*, v. 32, n. 1, p. 1506-1503, 2010.

MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. *REMPEC - Ensino, Saúde e Ambiente*, v. 4, p. 2-17, 2011.

MOREIRA, A. F.; SANTOS, S. R. B. e COSTA JUNIOR, A. G. C. Construção e caracterização de um fotômetro destinado ao uso de aulas experimentais de Química sobre a Lei de Beer-Lambert. *HOLOS*, v. 2, p. 142-151, 2016.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F. e MELO, L. F. C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

SIKORSKA, E.; KHMELINSKII, I. e SIKORSKI, M. Fluorescence spectroscopy and imaging instruments for food quality evaluation. In: *Evaluation Technologies for Food Quality*. Amsterdam: Elsevier, 2019.

SILVEIRA, N. J.; SOUSA, J. F.; TEIXEIRA, J. F.; SILVA, L. A. e ALVES, V. A. Ensino de eletroquímica no ensino médio por meio de uma atividade experimental com abordagem de equilíbrios simultâneos de oxidorredução e de complexação. *Química Nova na Escola*, v. 45, n. 1, p. 60-68, 2023.

SIMÕES, M. G. e SUAREZ, W. T. Construção de um equipamento multifuncional de baixo custo para análises fluorimétricas e fotométricas: uma opção para abordagens contextualizadas no ensino médio. *Revista Ifes Ciência*, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2024.

ZENG, R.; MANNAERTS, C. M. e SHANG, Z. A low-cost digital colorimetry setup to investigate the relationship between water color and its chemical composition. *Sensors*, v. 21, n. 20, p. 6699, 2021.

Abstract: *Colorfluorimeter: an accessible educational instrument for colorimetric and fluorometric analyses.* In chemistry education, instrumental experiments are often neglected due to high costs and complex maintenance, depriving students and teachers of the opportunity to explore practical applications and contextualize theoretical concepts. To address this limitation, this study proposes the construction and application of a unique instrument capable of performing both colorimetric and fluorometric analyses. The assembly utilizes low-cost and readily available materials, such as PVC tubes, LEDs and a smartphone. In its colorimetric mode, the instrument effectively determined the molar absorptivity coefficient of phenol red. In its fluorimetric mode, it successfully quantified the quinine content in commercial tonic water. This versatile instrument affords students hands-on experience with two distinct instrumental techniques, while providing teachers with an additional valuable teaching tool. These advantages demonstrate the potential of the colorfluorimeter, encompassing its construction, operation modes, and application possibilities across different sciences.

Keywords: Lambert-Beer, fluorimetry, visible spectrometry, didactic experiment