

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
ETEC Júlio de Mesquita
Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio

MONTAGEM DE UM ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO

Allyson Alves Paula¹
Cauã Henrique Pereira da Silva²
Gustavo Carvalho de Macêdo³
Lennon Sousa Rocha⁴
Jhonny Frank Sousa Joca⁵
Maria do Socorro Sousa Silva⁶

Resumo: Resumo: O espectrofotômetro é um aparelho analítico com uma ampla gama de funcionalidades e de grande importância para análises químicas em usos laboratoriais. No entanto, seu alto custo faz com que escolas de baixa renda não tenham condições financeiras de obter tal aparelho. Através da realização de estudos, foi possível obter resultados satisfatórios que comprovam a funcionalidade eficaz de um aparelho construído com o objetivo de substituir a fonte de radiação primária por uma mais barata, garantindo, assim, a compatibilidade da mesma com um sistema elétrico adaptado.

Palavras-Chave: Espectrofotômetro, Construção, Espectrometria, Baixo-custo

¹Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – allyson.paula@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – caua.silva64@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – gustavo.macedo37@etec.sp.gov.br

⁴Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – lennon.rocha@etec.sp.gov.br

⁵Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁶Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – maria.silva2473@etec.sp.gov.br

Abstract: The spectrophotometer is an analytical device with a wide range of functionalities and significant importance for chemical analyses in laboratory settings. However, its high cost makes it unaffordable for low-income schools. Through various studies, it has been possible to achieve satisfactory results that demonstrate the effective functionality of a device built to replace the primary radiation source with a cheaper alternative, thus ensuring its compatibility with an adapted electrical system.

Keywords: Spectrophotometer, Construction, Spectrometry, Low-cost

¹Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – allyson.paula@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – caua.silva64@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – gustavo.macedo37@etec.sp.gov.br

⁴Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – lennon.rocha@etec.sp.gov.br

⁵Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁶Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – maria.silva2473@etec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 Espectrofotometria

A espectrofotometria é o estudo que se baseia nas medidas de absorção das ondas de radiação eletromagnética (luz) para medir concentrações de substâncias químicas. Quando uma substância é exposta a uma luz incidente, alguns dos fótons (partículas de luz) podem ou não ser absorvidos, isso depende da quantidade de energia presente no fóton, se essa energia corresponder à diferença de energia entre os níveis eletrônicos da substância, ocorrerá a absorção dos fótons. Sob essa análise qualitativa, em determinados padrões o abrandamento feixe de radiação é proporcional a amostra química a ser estudada. (Redação Cursau, 2015)

1.1.2 Lei de Lambert-Beer

Em 1870 Johann Heinrich Lambert observou que havia uma relação entre a luz que era transmitida e a espessura da camada do meio que a absorvia. Quando um meio transparente homogêneo era atravessado por um feixe de luz monocromática, cada camada do meio absorvia igualmente a fração de luz que atravessava, independentemente da intensidade da luz incidente. Com essa conclusão, surge a seguinte lei: “a intensidade da luz emitida decresce exponencialmente à medida que a espessura do meio absorvente aumenta aritmeticamente”.

August Beer no ano de 1852, observou a existência da relação entre transmissão e concentração de um meio onde passa um feixe de luz. A quantidade de luz absorvida por uma solução é proporcional à concentração molecular do soluto que nela se encontra, isso é, “A intensidade de um feixe de luz monocromática decresce exponencialmente à medida que a concentração da substância absorvente aumenta aritmeticamente”.

Lambert-Beer descreve essa relação de acordo com a fórmula a seguir:

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

Onde: A = absorção

ϵ = absortividade molar

C = concentração da substância

l = comprimento do feixe de onda

As leis de Lambert-Beer são o fundamento da espectrofotometria.

(Mendes, 2009).

A pigmentação de uma solução está diretamente ligada ao comprimento de onda complementar ao apresentado. Portanto, uma solução branca, é enxergada assim, pois transmite luzes de todas as cores. Então uma solução vista com a coloração preta, é vista assim pois absorve todas as cores.

As radiações eletromagnéticas com comprimento de onda entre 380 e 780 nm são visíveis ao olho humano. Abaixo de 380 nm é denominada ultravioleta (UV) e acima de 780 nm correspondem à zona infravermelha. (Kasvi)

A tabela a seguir mostra a representação de cada tonalidade relacionada ao seu determinado comprimento de onda:

Figura 1 – Tabela das faixas do espectro visível

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (Hz)
Vermelho	625 – 740	480 - 405
Laranja	590 – 625	510 – 480
Amarelo	565 – 590	530 – 510
Verde	500 – 565	600 – 530
Ciano	485 – 500	620 – 600
Azul	440 – 485	680 – 620
Violeta	380 – 440	790 – 680

SBQ <http://qnint.sbq.org.br>

Fonte: Martins, Sucupira e Suarez (2015)

1.2 Espectrofotômetro

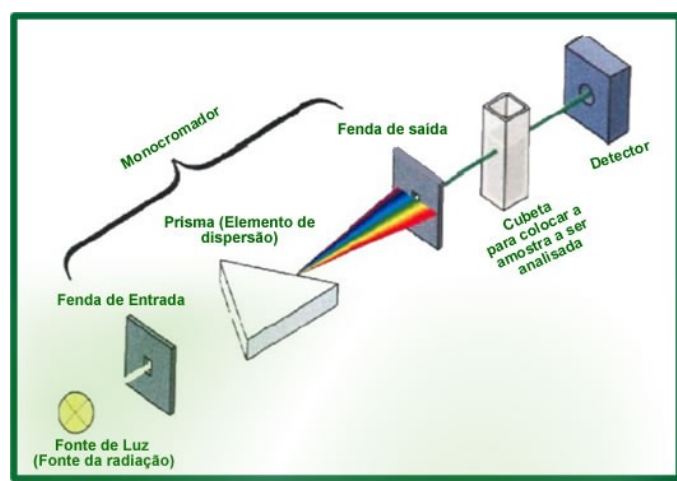
O espectrofotômetro é um dos aparelhos científicos analíticos mais utilizados em laboratórios químicos (físicos, biológicos...) demonstrando ter uma alta fama de funcionalidades. Isso se deve pela sua capacidade de medir a quantidade de radiação eletromagnética que determinada solução absorve, naturalmente, tal

medição nos permite calcular e quantificar a concentração de determinadas amostras.

A funcionalidade desse dispositivo começa através de uma lâmpada incandescente, um seletor de faixa espectral, prismas, um recipiente para armazenamento de soluções, cubetas (de vidro ou quartzo), e um sensor que permite analisar a quantidade de radiação após o feixe transpor a solução, em um ambiente fechado, onde não há penetração de luz por meios externos. Após a seleção da faixa espectral propícia, será inserida na cubeta a amostragem seguindo um procedimento adequado, onde todas cubetas possuem 2 lados paralelos diferentes, sendo um para que transpasse a luz e outro para manuseio, fosco. (Sinergia Científica, 2021)

A imagem a seguir representa a funcionalidade e componentes constituídos em um espectrofotômetro convencional:

Figura 2 – Esquema do funcionamento interno de um espectrofotômetro



Fonte: Martinez, Marina

1.3 Componentes substituídos

1.3.1 Laser

LASER é a sigla de “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, onde traduzido tem como significado: “amplificação da luz por emissão estimulada de radiação”. Na prática, lasers são dispositivos que geram radiação eletromagnética com características próprias. Luz e radiação são aqui usadas de forma indistinta. (Catorze, 2009)

O raio laser é composto por partículas de luz (fótons) concentradas e emitidas em um feixe contínuo. Para a obtenção do processo, necessita-se estimular os átomos de algum material para que se possa emitir fótons. Com o auxílio de espelhos, a radiação eletromagnética é direcionada por meio de um feixe. Em 1960, o físico americano Theodore Maiman estimulou os átomos de rubi a transmitir luz concentrada. Através de tal ocorrido, o laser teve sua evolução até os dias de hoje, sendo utilizado em aparelhos caseiros, cirúrgicos, industriais, entre outros. (Jokura, 2011)

1.3.2 Sensor LDR

LDR, ou Resistor Dependente de Luz, é um resistor que diversifica sua resistência por meio em que a intensidade de luz é direcionada e incidida sobre ele. Os tipos padrões no mercado possuem maior sensibilidade à luz visível. Todavia, existem variantes que concedem maior sensibilidade à luz infravermelha.

O sensor quando fótons (partículas de luz) se direcionam e colidem sobre a superfície do mesmo, elétrons presentes no material semicondutor são liberados. Com isso, sua condutividade aumenta e a resistência cai.

Devido à maior resistência em seu estado padrão, resulta-se uma baixa resistência quando incidida radiação eletromagnética sobre sua superfície. (Guimarães, 2017).

1.4 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo adaptar o sistema elétrico de um espectrofotômetro convencional para integrar uma nova fonte de luz alternativa, garantindo a compatibilidade do protótipo com aplicações simples, visando demonstrar os princípios básicos relacionado a espectrofotometria molecular.

2. Desenvolvimento

2.1 Materiais e reagentes

Para produção das amostras básicas de vermelho de metila 0,15% (meio alcalino), utilizou-se os seguintes reagentes: $C_{15}H_{15}N_3O_2$ (CRQ, Brasil), C_2H_6O 99,3° linha Max (Tovani Benzaquen, Brasil), NaOH 0,1% e água deionizada, ambos produzidos no laboratório.

Para produção de permanganato de potássio 0,003163%, utilizou-se $KMnO_4$ 250g (VETEC, Brasil) e água deionizada produzida no laboratório.

Para o preparo dessas soluções foram utilizadas a micropipeta modelo M100 (JOANLAB, China) e o pipetador modelo eppendorf comforpette 4700 - 20uL (EPPENDORF, Alemanha).

Além disso foi utilizada uma solução de azul de metileno 1% produzida no laboratório. Na confecção do sistema eletrônico utilizou-se um Multímetro Com Capacímetro Bip Original Digital Profissional (BOMDER, China), um Sensor Fotoresistor Idr 5mm (everlight electronics, Taiwan) e os lasers, verde, vermelha e azul violeta (NYAYEO).

2.2 Procedimento Experimental

Foram realizados estudos a fim de entender as funções de um espectrofotômetro laboratorial, para compreensão de suas peças e análise da melhor forma possível para torná-lo mais barato. Inicialmente, foi utilizado caixa de papelão adaptada com seu interior na cor preta:

Figura 3 - Representação do protótipo inicial

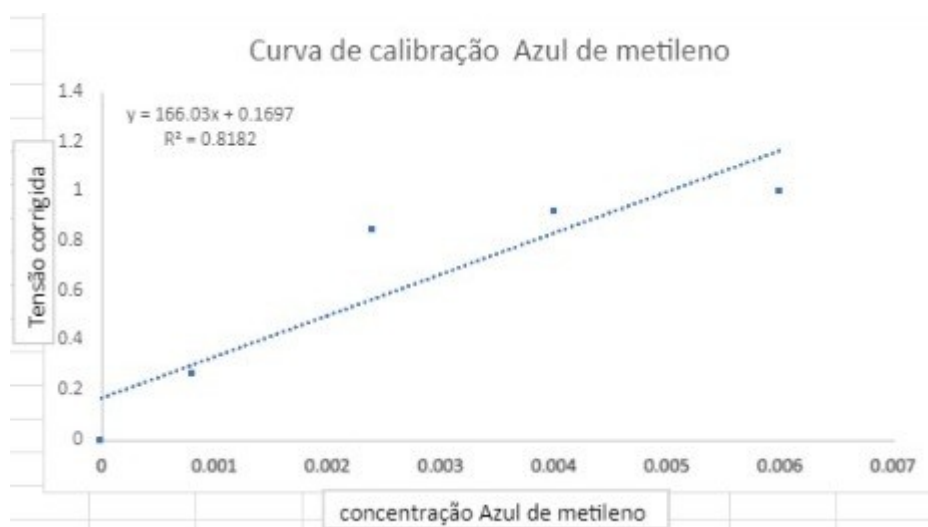


Fonte: Os Autores

Bem como, um laser de chaveiro vermelho, solução de azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$), cubeta de vidro, suporte para cubeta e o aplicativo Photometrix. Com esse protótipo, foi testado através da luz incidida na cubeta, seguindo até a câmera do celular (emulando o sensor). As soluções foram preparadas da seguinte forma: Foram pipetados 20µL, 60µL, 100µL e 150µL em balões volumétricos de 25mL (concentrações: 0,0008%, 0,0024%, 0,004% e 0,006%) e 50mL, pipetando o dobro da volumetria referente aos balões de 25mL (obteve-se as concentrações: 0,0008%, 0,0024%, 0,004% e 0,006%), e em seguida, foi avolumado com água deionizada. Foram testadas outras volumetrias além dessa, seguindo o mesmo rigor.

Os resultados foram analisados através de curvas de calibração realizados no EXCEL, como mostra o exemplo:

Figura 4 - Gráfico de curva de calibração



Fonte: Os autores

Notou-se posteriormente que o aplicativo não estava demonstrando resultados conclusivos em relação ao objetivo, e isso foi notado através da curva de calibração realizada, então foi decidido a sua substituição por um sensor LDR, onde agora seria possível visualizar a tensão gerada pela luz através de um multímetro e regular por um potenciômetro, e assim, realizar a curva de calibração através da tensão, além da pilha presente no laser por uma fonte, que possibilitaria uma corrente contínua. Sendo assim, foi realizado os mesmos testes, embora utilizando somente balão de 50mL. Nas figuras 5 e 6, ilustra-se duas imagens, sendo uma da solução estudada, e outra compondo as mudanças realizadas no protótipo:

Figura 5 – Azul de metileno



Figura 6 - Protótipo inicial adaptado



Fonte: Os autores

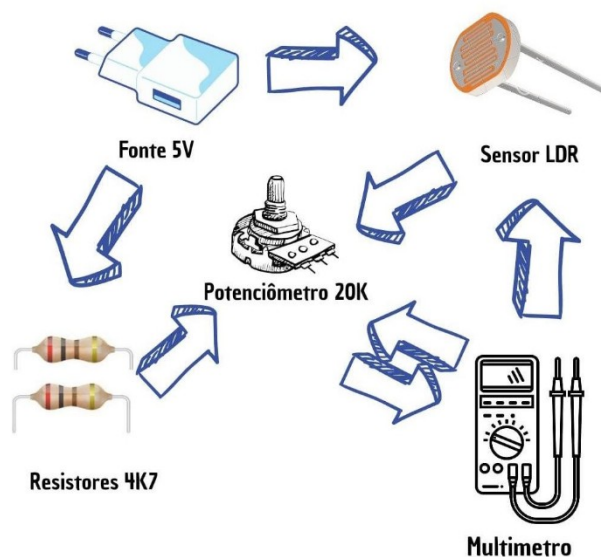
Com intuito de obter resultados mais próximos ao de um espectrofotômetro laboratorial, foi decidido realizar a substituição do protótipo, onde foi visado um material resistente que não implicasse alterações drásticas nos resultados, além de dinamizar os padrões. A seguir, nas figuras 7 e 8 apresenta-se a caixa de madeira que foi utilizada para realizar os testes até o fim do projeto, além do sistema elétrico que a compõe:

Figura 7 - Protótipo final



Fonte: Os autores

Figura 8 – Esquema elétrico



Fonte: Os autores

Através desse novo esquema, foram desenvolvidos principalmente os lasers azul e verde, nas soluções de vermelho de metila e permanganato de potássio, respectivamente, preparadas com auxílio de micropipeta (100-1000 μ L). Para utilização de uma solução viável de vermelho de metila especificamente, necessitou-se a utilização de álcool etílico (10mL para cada balão). Além disso, testou-se diferentes variáveis nos resultados, tais como mudanças no potenciômetro e intensidade dos lasers. As figuras 9 e 10 demonstram o aspecto visual das soluções tendo as concentrações 0,12%, 0,18%, 0,3%, 0,45%, 0,6%, 0,75% e 0,9% para vermelho de metila e 0,000032Mol/L, 0,000064Mol/L, 0,000096Mol/L e 0,000128Mol/L para permanganato de potássio.

Figura 9 - Vermelho de metila



Fonte: Os autores

Figura 10 - Permanganato de potássio



Fonte: Os autores

3. Resultados

3.1 Contextualização

Devido a inviabilização do laser vermelho, não foi possível obter um resultado conclusivo para a solução de azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$). Desta forma, esta seção contém somente os resultados referentes a permanganato de potássio e vermelho de metila ($C_{15}H_{15}N_3O_2$). Além disso, entre um teste e outro, o

espectrofotômetro que seria utilizado para comparação final do trabalho foi comprometido. Por isso, só foi possível realizar tal análise com a solução de KMnO_4 .

O laser verde com a solução de KMnO_4 foi o que mais se destacou dentre todos, isto é, ofereceu os melhores resultados se comparar com o desenvolvimento dos outros componentes analisados, com suas devidas amostras.

As tabelas e gráficos seguintes demonstram os melhores resultados obtidos ao final do projeto com o protótipo final demonstrado anteriormente:

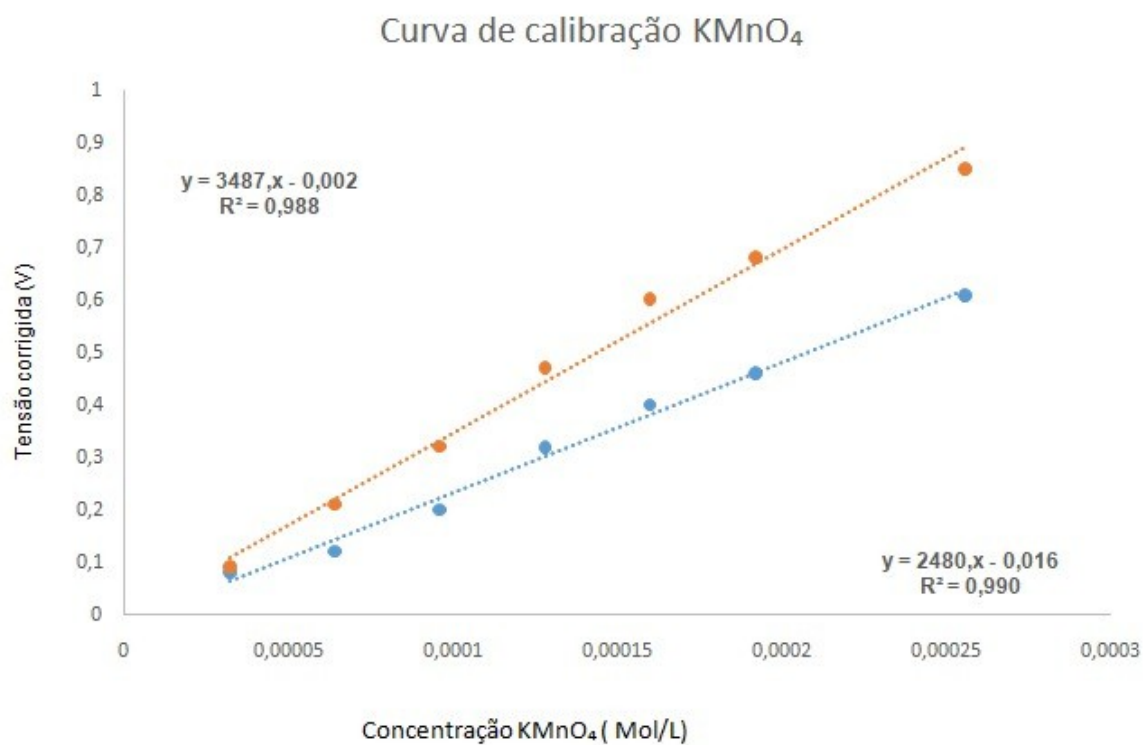
Figura 11 – Protótipo finalizado



3.2 Tabela da curva analítica de KMnO_4 ;

Volume (mL)	Concentração de KMnO_4 (Mol/L)	Tensão (V)	Tensão corrigida (V)
0	0	3,60	
5	0,000032	3,68	0,08
10	0,000064	3,72	0,12
15	0,000096	3,80	0,20
20	0,000128	3,92	0,32
25	0,000160	4,00	0,40
30	0,000192	4,06	0,46
40	0,000256	4,21	0,61
Volume (mL)	Concentração de KMnO_4 (Mol/L)	Tensão(V)	tensão corrigida (V)
0	0	2,55	
5	0,000032	2,64	0,09
10	0,000064	2,76	0,21
15	0,000096	2,87	0,32
20	0,000128	3,02	0,47
25	0,000160	3,15	0,60
30	0,000192	3,23	0,68
40	0,000256	3,40	0,85

Figura 12 – Curva de calibração KMnO_4

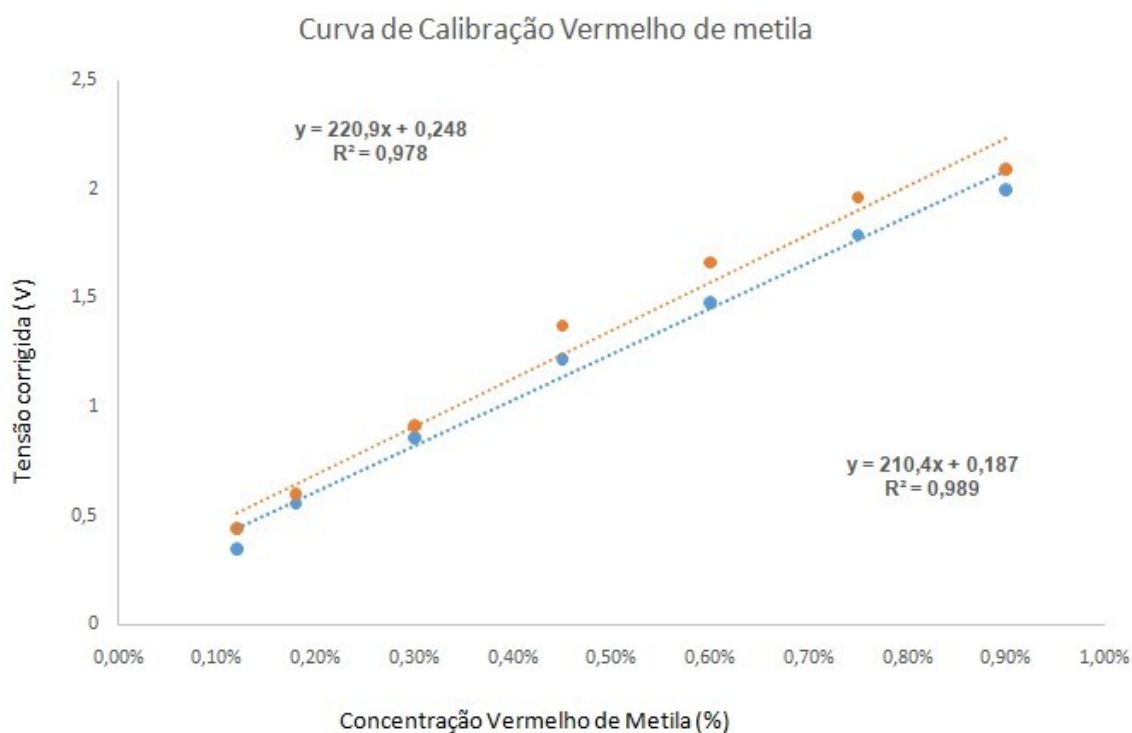


Fonte: Os autores

3.3 Tabela da curva analítica de $C_{15}H_{15}N_3O_2$:

Volume (μ l)	Concentração Vermelho de metila (%)	tensão (V)	tensão corrigida (V)
0	0	2,57	
400	0,12%	2,92	0,35
600	0,18%	3,13	0,56
1000	0,30%	3,43	0,86
1500	0,45%	3,79	1,22
2000	0,60%	4,05	1,48
2500	0,75%	4,36	1,79
3000	0,90%	4,57	2,00
Volume (μ l)	Concentração Vermelho de metila (%)	tensão (V)	tensão corrigida (V)
0	0	2,44	
400	0,12%	2,88	0,44
600	0,18%	3,04	0,60
1000	0,30%	3,35	0,91
1500	0,45%	3,81	1,37
2000	0,60%	4,10	1,66
2500	0,75%	4,40	1,96
3000	0,90%	4,53	2,09

Figura 13 – Curva de calibração $C_{15}H_{15}N_3O_2$



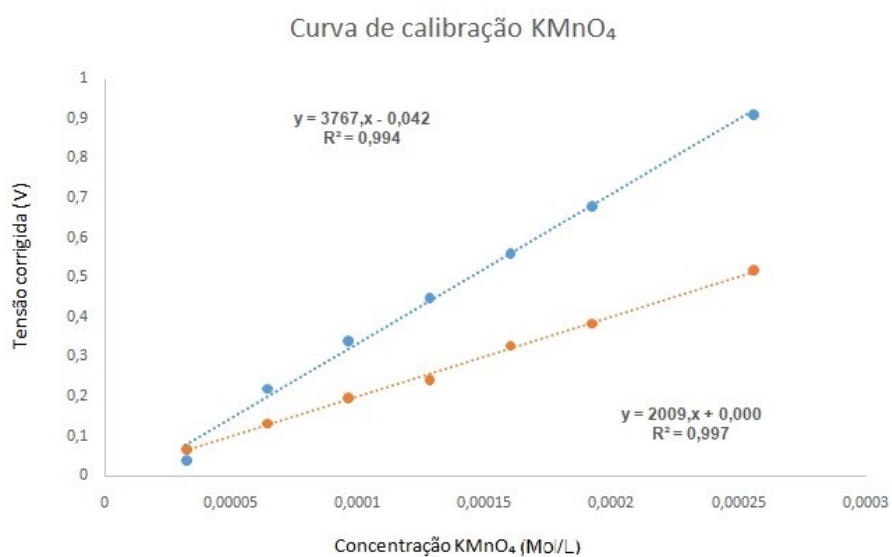
Fonte: Os autores

3.4 Comparação com espectrofotômetro

Espectrofotômetro de baixo custo			
Volume (mL)	Concentração KMnO ₄ (Mol/L)	Tensão (V)	Tensão corrigida (V)
0	0	2,68	0
5	0,000032	2,72	0,04
10	0,000064	2,90	0,22
15	0,000096	3,02	0,34
20	0,000128	3,13	0,45
25	0,000160	3,24	0,56
30	0,000192	3,36	0,68
40	0,000256	3,59	0,91

Espectrofotômetro convencional		
Volume (mL)	Concentração KMnO ₄ (Mol/L)	Absorbância
0	0	0
5	0,000032	0,067
10	0,000064	0,132
15	0,000096	0,198
20	0,000128	0,242
25	0,000160	0,328
30	0,000192	0,384
40	0,000256	0,519

Figura 14 – Comparativo dos dois espectrofotômetros



Fonte: Os autores

4. CONCLUSÃO

Em suma, conclui-se que ao elaborar um espectrofotômetro de baixo custo, adaptado para utilizar como fonte de energia primária um laser (NYAYEO), juntamente com o auxílio de um sensor LDR e um sistema elétrico específico para o seu funcionamento, demonstrou-se possível obter resultados similares aos de um aparelho comumente utilizado em laboratório, viabilizando a utilização de um laser (NYAYEO) como fonte primária de energia, juntamente com o auxílio de um sensor LDR e um sistema elétrico específico para o seu funcionamento, há como alcançar resultados de linearidade e coeficiente de determinação próximo a 1. No entanto, tais análises oferecem uma margem de erro acentuada ao comparar com o equipamento laboratorial, por ser um sistema simplificado e de baixo-custo, oferecendo uma dificuldade de manuseio maior para se obter resultados satisfatórios. Onde se mostra necessário um maior investimento em fixação de peças e variabilidade de potência do laser em análise para que se obtenha um resultado mais monótono.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

FABIANO, Marcus A. M. Silvera, Mara B. **Espectrofotômetro: Conceito da lei de Lambert-Beer**. Disponível em: https://www.ufrgs.br/leo/site_espec/bibliografia.html. Acesso em: 15.06.2024.

Kasvi. **Espectrofotometria: Análise da concentração de soluções**. Disponível em: <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/>. Acesso em: 15.06.2024.

MARTINEZ, Marina. **Química, Materiais de Laboratório, Espectrofotômetro**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/materiais-de-laboratorio/espectrofotometro/>. Acesso em: 15.06.2024.

MARTINS, SUCUPIRA e SUAREZ, P. A. Z. A Química das cores. **Rev. Virtual Quim.**, 2015, 7 (4), p. 1508-1534. Disponível em: <v7n4a27.pdf> (sbq.org.br). Acesso em: 15.06.2024.

Redação Cursau. **O que é e como funciona a espectrofotometria?** 2015. Disponível em: <https://cursaueducacao.com.br/blog/o-que-e-espectrofotometria/>. Acesso em: 15.06.2024.

UNESP. **Espectrofotometria.** Disponível em: <https://www.dracena.unesp.br/Home/Graduacao/espectrofotometria.pdf>. Acesso em: 14.09. 2024.

UFSJ. **Introdução à Espectrometria.** Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/frankimica/Quimica%20Analitica%20Aplicada%20II/Aula%204%20-%20Introdução%20à%20Espectrometria.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

USP. **Apostila de Espectrofotometria.** Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4275863/mod_resource/content/1/Apostila-espectrofotometria.pdf. Acesso em: 14.09. 2024.

UFRGS. **Conceitos de Espectrofotometria.** Disponível em: https://www.ufrgs.br/leo/site_espec/conceito.html. Acesso em: 14.09. 2024.

MASTER EDITORA. **Material de Espectrofotometria.** Disponível em: <https://www.mastereditora.com.br/download-3107>. Acesso em: 14.09. 2024.

SINERGIA CIENTÍFICA. **Espectrofotômetro: Para que serve? Como funciona? Quais são seus componentes?** Disponível em: <https://www.sinergiacycientifica.com.br/espectrofotometro-para-que-serve-como-funciona-quais-sao-seus-componentes>. Acesso em: 14.09. 2024.

Pavia, Donald L.; Lampman, Gary M.; Kriz, George S. **Introduction to Spectroscopy, 5th edition.** Disponível em: <https://archive.org/details/IntroductionToSpectroscopy5thEdition>. Acesso em: 23.11.2024.

UFJF. **FUNDAMENTOS DA ESPECTROFOTOMETRIA.** Disponível em: <https://www2.ufjf.br/quimica/files/2016/08/Espectrometria-UV-vis.pdf>. Acesso em: 23.11.2024.

Catorze, Goreti. Laser: fundamentos e indicações em dermatologia. **Educación Médica Continuada.** Disponível em: <https://www.sausedireta.com.br/docsupload/1344425747mc091b.pdf>. Acesso em: 23.11.2024.

Jokura, Tiago. **Como funciona o raio laser?** Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-funciona-o-raio-laser>. Acesso em: 23.11.2024.

Guimarães, Fábio. **LDR – O que é e como funciona.** Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/ldr-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 23.11.2024.