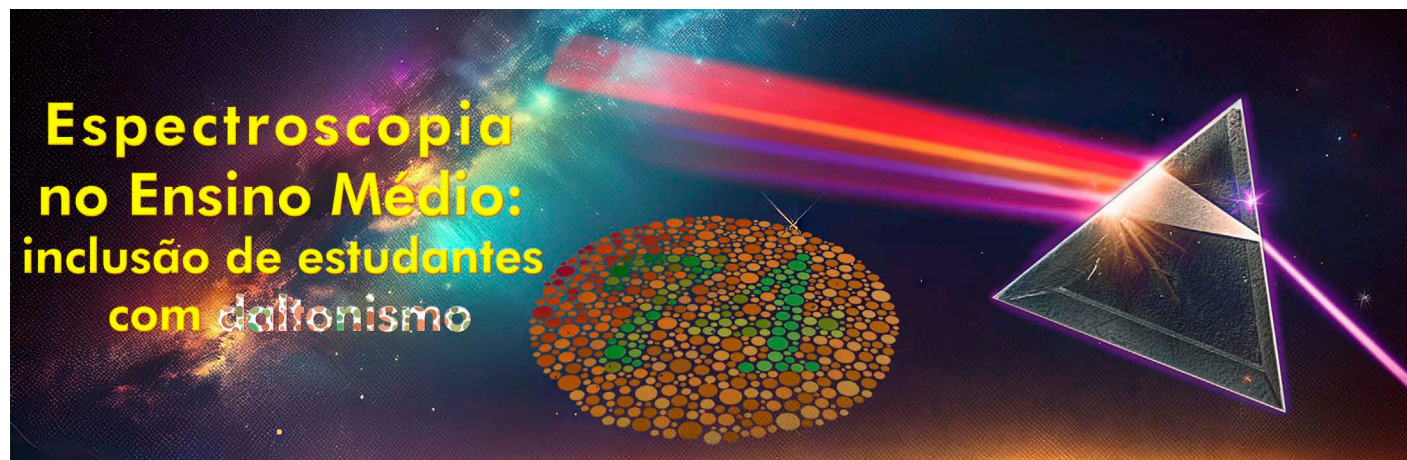




.....

Thalyta de Oliveira Inocêncio Martins^{1#} , Adílio Jorge Marques² , Frederico Alan de Oliveira Cruz² 

¹Mestranda da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, PR, Portugal.

²Departamento de Tecnologias e Linguagens, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, RJ, Brasil.

.....

Palavras-chave

ensino de física
espectroscopia
tecnologias educacionais

Resumo

Este estudo propõe uma abordagem inclusiva para o ensino da espectroscopia, utilizando softwares livres e aplicativos de acessibilidade, como o Daltonic Pointer, para apoiar estudantes daltônicos. A atividade envolve identificação de linhas espectrais, estudo de diferentes tipos estelares e aplicação da lei de Wien. A metodologia promove equidade, integrando física, química e astronomia, e valoriza o uso de tecnologias digitais como recurso interdisciplinar e acessível.

Autor de correspondência. E-mail: thalyta.96@hotmail.com.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2026, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

1. Introdução

A óptica é tradicionalmente dividida em três grandes áreas, com base nos efeitos observados e nos princípios físicos envolvidos. A primeira delas é a óptica geométrica, que analisa a propagação da luz em forma de raios, fundamentando-se na ideia de que a luz viaja em linha reta. Esses tópicos são geralmente abordados no ensino básico, pois não exige discussões sobre a natureza ondulatória da luz, permitindo a apresentação de conceitos como reflexão e refração, auxiliando os estudantes a compreenderem o funcionamento de sistemas ópticos, como telescópios, câmeras e microscópios [1, 2].

A óptica é tradicionalmente dividida em três grandes áreas, com base nos efeitos observados e nos princípios físicos envolvidos

A segunda área é a óptica física, que se dedica aos efeitos associados ao comportamento ondulatório da luz, abrangendo estudos sobre a difração, fenômeno relacionado à curvatura da luz ao passar por fendas ou obstáculos, a interferência, que envolve a superposição de ondas luminosas, e a polarização, que envolve a orientação das ondas eletromagnéticas. Além disso, essa área inclui aplicações como holografia, microscopia de interferência e espectroscopia, que também fazem parte do currículo educacional brasileiro [3].

A terceira área é a óptica quântica, na qual são exploradas as interações entre luz e matéria com base na teoria quântica, incluindo

processos como emissão e absorção de fótons, os princípios de funcionamento dos lasers e efeitos ópticos não lineares [4]. Em geral, devido à sua complexidade, muitos desses temas fazem parte somente de disciplinas em cursos universitários e estão presentes em componentes muito específicos das grades curriculares dos cursos mais avançados de física [5, 6].

No Brasil, grande parte dos conteúdos das duas primeiras áreas deve, segundo a atual Base Nacional Comum Curricular (BNCC), ser apresentada e abordada ao longo do processo de escolarização, com maior ou menor aprofundamento [7]. No ensino básico de física, é predominantemente abordada a espectroscopia, segundo Gouveia e Santos [8], por meio do modelo atômico de Bohr, com ênfase nas transições eletrônicas entre níveis de energia. Os autores apontam que esse enfoque tende a negligenciar conceitos fundamentais para uma compreensão mais abrangente do processo espectral, como a intensidade relativa das linhas e os elementos probabilísticos inerentes aos mecanismos de emissão e absorção, perdendo-se, assim, oportunidades de explorar sua relevância em aplicações contemporâneas.

Além desses limites conceituais, uma dimensão frequentemente negligenciada no ensino da espectroscopia é sua rica trajetória histórica, pois embora ela possua raízes importantes na ciência, como as descobertas fundamentais de Bunsen e Kirchhoff, em 1860, que associaram espectros à identificação de elementos químicos, e as experiências de Isaac Newton com prismas no século XVII [9, 10], raramente esses marcos são explorados em sala de aula. O resultado é um ensino fragmentado, que ignora tanto a relevância prática quanto a evolução histórica do conhecimento, reduzindo o tema a conteúdos isolados e desvinculados de uma abordagem interdisciplinar consistente.

Entretanto, apesar dessa subexploração no contexto escolar, a espectroscopia é uma técnica central na ciência e na tecnologia contemporâneas, baseada na singularidade espectral de cada substância, ou seja, na forma como diferentes materiais interagem com a radiação eletromagnética, e possui aplicações que evidenciam sua importância: permite, por exemplo, a identificação de compostos químicos. Em razão disso, ela é uma técnica amplamente utilizada em contextos que vão desde a avaliação de substâncias em solução até o estudo da composição química de estrelas e galáxias, revelando informações cruciais sobre a formação e a evolução do universo [11–13].

Para compreender melhor seu funcionamento, é essencial conhecer os fundamentos físicos em que se baseia na análise dos espectros gerados pela interação da luz com a amostra após a incidência de radiação eletromagnética sobre a substância. O espectro gerado,

geralmente visível, pode ser contínuo, exibindo uma gama ininterrupta de comprimentos de onda, ou discreto, com linhas específicas associadas a energias particulares, resultantes de transições eletrônicas ou vibracionais em átomos e moléculas. Essas linhas espectrais fornecem informações valiosas sobre a natureza da substância analisada, como sua identidade química, seu estado de oxidação e até mesmo detalhes sobre suas ligações químicas [14].

No entanto, ao abordar esse tema em sala de aula, especialmente nos anos iniciais do Ensino Médio ou nos primeiros contatos em disciplinas de graduação, é comum que a representação visual dos espectros se concentre quase exclusivamente na associação direta entre o padrão espectral e a cor observada. Para estudantes sem comprometimentos visuais, essa correspondência pode parecer simples e intuitiva, mas para indivíduos com limitações na percepção cromática,

como os que possuem daltonismo (ou discromatopsia), essa abordagem pode representar uma barreira significativa, dificultando ou até mesmo inviabilizando a aprendizagem. Além disso, a análise espectral não se baseia exclusivamente na percepção de cores: a posição das linhas, a intensidade dos sinais e a comparação com tabelas e gráficos também são fundamentais,

funcionando como recursos complementares para a interpretação científica.

Diante desse cenário, este estudo apresenta uma proposta didática cujo objetivo é tornar a espectroscopia acessível e inclusiva para estudantes com daltonismo, utilizando ferramentas digitais de análise. A proposta não busca substituir experiências investigativas tradicionais com espectroscópios, mas sim oferecer uma alternativa de baixo custo, reproduzível e adaptável a diferentes contextos educacionais. Trata-se de uma iniciativa que visa contribuir para a democratização do acesso ao estudo da espectroscopia no Ensino Médio, favorecendo a análise de dados e a compreensão de conceitos fundamentais em física, química e astronomia.

2. As limitações para a percepção das cores

A distinção de cores constitui um aspecto fundamental da interação humana com o mundo, pois a capacidade de identificar tonalidades influencia significativamente diversas tarefas diárias, desde o reconhecimento de objetos até a interpretação de dados complexos em diferentes contextos. No campo da segurança viária, por exemplo, a padronização dos sinais de trânsito (verde, amarelo e vermelho) é crucial para a comunicação eficaz entre condutores e pedestres, enquanto na segurança alimentar diária a avaliação da maturidade de frutos e vegetais frequentemente inclui

Apesar dessa subexploração no contexto escolar, a espectroscopia é uma técnica central na ciência e na tecnologia contemporâneas, baseada na singularidade espectral de cada substância

critérios visuais relacionados à cor, especialmente em análises rápidas e não destrutivas.

Além desses aspectos, a cor é um recurso pedagógico importante no ambiente escolar, utilizado como ferramenta didática em diversas áreas do conhecimento, sendo essencial, por exemplo, nas aulas de artes, para a diferenciação, manipulação cromática e apreciação de obras [15]. Nas ciências, a cor é empregada como indicador em várias experiências, como na determinação do pH de soluções [16], nas experiências em química, no estudo da decomposição da luz branca [17], nas atividades de física e na identificação de características de organismos vivos [18], como a biologia.

No entanto, apesar da importância das cores nos contextos educacionais e cotidianos mencionados, muitos indivíduos enfrentam dificuldades em tarefas que dependem da distinção cromática, especialmente aqueles com condições específicas, como a incapacidade de diferenciar certas tonalidades. Essa condição, descrita pela primeira vez pelo químico inglês John Dalton (1766-1844) em 1794, pode ser congênita, forma mais comum, ou adquirida, e resulta de mutações genéticas que afetam os cones, células fotorreceptoras localizadas na retina, responsáveis pela captação da luz e das cores [19] (Fig. 1).

As mutações genéticas afetam especificamente os genes responsáveis pela codificação das proteínas fotossensíveis conhecidas como fotopsinas (Fig. 2), fundamentais para o funcionamento dos cones, células especializadas da retina que captam a luz e possibilitam a distinção de cores em ambientes bem iluminados. Há três tipos principais de cones, cada um sensível a uma faixa específica do espectro luminoso (curtos, médios e longos comprimentos de onda, correspon-

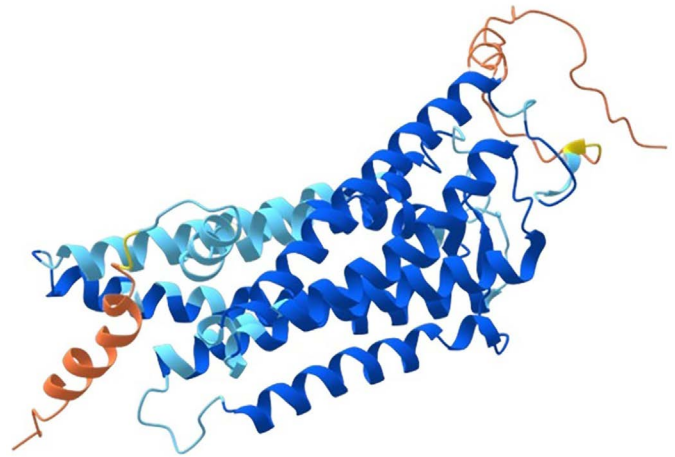


Figura 2 - Aspecto de uma proteína fotossensível (opsina sensível a ondas longas 1) presente nos cones da retina, associada à percepção de luz com comprimentos de onda mais longos, geralmente relacionados ao vermelho no espectro visível. Fonte: Disponível em <https://alphafold.ebi.ac.uk/entry/P04000>, Ref. [22], acesso em 27/1/2025.

dentes aproximadamente ao azul, ao verde e ao vermelho). Quando ocorrem alterações nesses genes, a produção ou o funcionamento adequado dessas proteínas é comprometido, afetando diretamente a sensibilidade dos cones. Como resultado, a capacidade de diferenciar determinadas tonalidades pode ser reduzida ou mesmo estar ausente, dando origem às diferentes formas de daltonismo, conforme o tipo e a gravidade da mutação [21].

O daltonismo, embora possa afetar qualquer gênero, é cerca de 16 vezes mais comum em homens, por estar ligado ao cromossomo X; como possuem somente um, uma única mutação pode causar a condição, enquanto nas mulheres, com dois cromossomos X, um gene funcional pode compensar o defeituoso, reduzindo sua incidência [23].

Basicamente, o daltonismo é classificado em dois tipos principais [24]:

- Anomalias tricromáticas: os três tipos de cones estão presentes, mas pelo menos um apresenta sensibilidade alterada, dificultando a distinção de determinadas cores, embora a visão colorida não seja completamente comprometida. Subcategorias:
 - Protanomia: sensibilidade reduzida ao vermelho.
 - Deuteranomalia: sensibilidade reduzida ao verde.
 - Tritanomalia: sensibilidade reduzida ao azul.
- Dicromatismo: ausência completa de um dos três tipos de cones, resultando em maiores dificuldades na distinção de certas cores (Fig. 3). Subcategorias:
 - Protanopia: ausência de detecção do vermelho.
 - Deuteranopia: ausência de detecção do verde.
 - Tritanopia: ausência de detecção do azul.

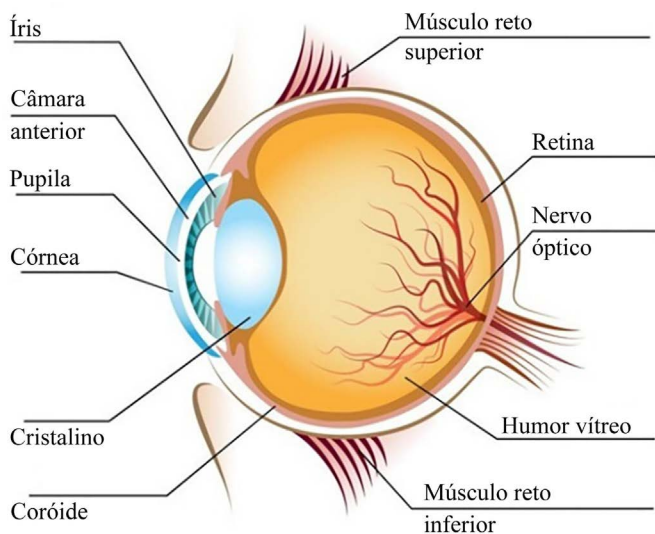


Figura 1 - Imagem ilustrativa com os principais elementos anatômicos do olho. Fonte: Imagem adaptada de Macrovector, Disponível em <https://is.gd/AkEtIh>, Ref. [20], acesso em 27/1/2025.

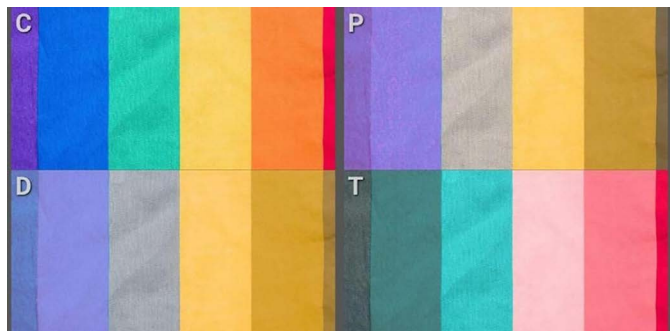


Figura 3 - Sequência de faixas coloridas: visão normal (C) e simulações de protanopia (P), deuteranopia (D) e tritanopia (T). Fonte: Imagem adaptada de Freepik, Disponível em <https://is.gd/H2U8ij>, com auxílio do aplicativo CV Simulator, Ref. [25], acesso em 27/01/2025.

Em vista do daltonismo, abordagens de ensino com espectroscopia podem gerar interpretações equivocadas por parte dos estudantes com essa condição. Isso torna necessárias adaptações e ferramentas alternativas no ambiente escolar. O uso de recursos como simuladores e esquemas com alto contraste, bem como a preparação pedagógica adequada, são essenciais para garantir um processo de ensino-aprendizagem mais acessível e inclusivo.

3. A proposta de abordagem

Como discutido anteriormente, a maior dificuldade nessas abordagens com espectroscopia é que elas priorizam o sentido da visão, o que limita a correta interpretação dos dados. A diferenciação de cores muito próximas não é trivial, mesmo para pessoas sem daltonismo, e, por isso, torna-se necessário recorrer a recursos complementares, como gráficos, escalas numéricas e ferramentas digitais de análise, que ampliem as possibilidades de compreensão para todos os estudantes [26]. Essas abordagens envolvem, frequentemente, a análise de gráficos de absorção ou emissão que apresentam linhas ou picos em diferentes comprimentos de onda, cada um relacionado a uma determinada cor do espectro visível.

Além disso, muitos gráficos utilizados nessa área empregam cores distintas para representar componentes ou características dos dados, exigindo, em diversas situações, a comparação de traços espectrais. Se o indivíduo não consegue diferenciar tonalidades essenciais para essa avaliação, a identificação correta de substâncias e reações químicas pode ser comprometida, dificultando a aprendizagem, o que em algumas situações pode levar os estudantes à desmotivação e, conseqüentemente, comprometer seu desenvolvimento [27].

Diante dessas dificuldades, é possível implementar soluções que não dependam exclusivamente da per-

Quando a aprendizagem depende exclusivamente da cor, estudantes daltônicos enfrentam barreiras invisíveis que dificultam a compreensão científica

cepção de cores, minimizando os desafios enfrentados por pessoas daltônicas. Entre as diversas possibilidades, será apresentada uma alternativa baseada na adoção de um *software* para análise de imagens, visando avaliar, como elemento motivador, o perfil espectroscópico de estrelas e a sua relação com o ensino de física.

3.1. As estrelas e a assinatura espectroscópica

As estrelas são corpos celestes formados predominantemente por hidrogênio (H) e hélio (He), originados a partir do colapso gravitacional de nuvens moleculares de gás e poeira presentes em grandes nebulosas. Essas nuvens sofrem fragmentação e condensação, com os materiais aglutinando-se sob a ação da gravidade, dando início à formação estelar, que, uma vez formadas, apresentam uma estrutura em camadas, como núcleo, manto e atmosfera, sendo esta última, em parte, observável a olho nu ou por meio de instrumentos. No núcleo, mais especificamente, ocorre a fusão nuclear, processo que converte hidrogênio em hélio, liberando energia que equilibra a gravidade e a pressão interna, evitando o colapso da estrela, mecanismo fundamental para a estabilidade e longevidade desses corpos celestes [28].

Ao longo da sua evolução, as estrelas passam por diversas transformações físicas e químicas que alteram progressivamente sua temperatura superficial, cor e composição, processos intimamente relacionados à massa estelar, a qual determina o ritmo e a natureza das reações nucleares que ocorrem no seu interior. À

medida que novos elementos são sintetizados por fusão, a estrutura da estrela se modifica, o que se reflete em diferentes características observáveis. Essas modificações impactam diretamente suas propriedades físicas, as quais podem ser analisadas por meio de sua assinatura espectroscópica, uma espécie de “impressão digital” da

luz estelar, que permite identificar os elementos químicos presentes, estimar a temperatura superficial e inferir parâmetros como velocidade radial e taxa de rotação.

Trata-se de uma ferramenta fundamental para a astrofísica, por possibilitar a compreensão da estrutura, do ciclo de vida e da evolução das estrelas a partir de observações espectrais. Esse tipo de observação pode ser visualizado, por exemplo, num espectro estelar resultante da decomposição da luz emitida por uma estrela em diferentes comprimentos de onda, abrangendo a faixa visível de 400 nm a 700 nm, do violeta ao vermelho, onde os valores numéricos indicam os respectivos comprimentos de onda (Fig. 4). As linhas de absorção ocorrem quando a luz de fundo, como a emitida pela superfície da estrela (fotosfera), passa por um

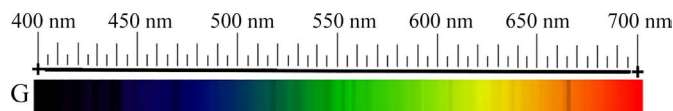


Figura 4 - Padrão espectroscópico de uma estrela do tipo G, como o Sol. Fonte: Imagem adaptada de http://spiff.rit.edu/classes/phys370/lectures/light_ii/spec_lines/spec_lines.html, Ref. [29], acesso em 14/2/2025.

gás mais frio e os átomos ou íons absorvem fótons em comprimentos de onda específicos, excitando os elétrons a níveis de energia mais altos. Cada uma dessas linhas corresponde a uma transição eletrônica específica e funciona como uma assinatura única de determinado elemento químico. A identificação dessas assinaturas é essencial para a determinação da composição estelar e constitui uma das bases da investigação astrofísica.

Contudo, baseado no que foi anteriormente explicado, para um estudante daltônico, esse estudo predominantemente visual representa uma limitação significativa, já que a distinção entre as cores no espectro pode ser reduzida ou até mesmo inexistente. Essa dificuldade decorre da percepção alterada dos padrões cromáticos em relação à média da população, característica das diferentes formas de daltonismo. A depender do tipo (como deuteranopia, protanopia ou tritanopia) e da intensidade da condição, certos tons fundamentais, como o vermelho, o verde ou o azul, presentes nas linhas espectrais das estrelas, podem não ser adequadamente percebidos. Isso pode comprometer tanto a identificação correta dos comprimentos de onda associados a cada cor quanto a interpretação geral dos dados visuais extraídos do espectro (Fig. 5).

Esse desafio precisa ser enfrentado conscientemente e de maneira propositiva, garantindo uma educação verdadeiramente inclusiva, na qual todos os estudantes, independentemente das suas condições visuais, tenham acesso equitativo ao conhecimento. Para alcançar esse objetivo, é fundamental que as ferramentas e estratégias pedagógicas adotadas sejam não somente acessíveis, mas também de fácil utilização,

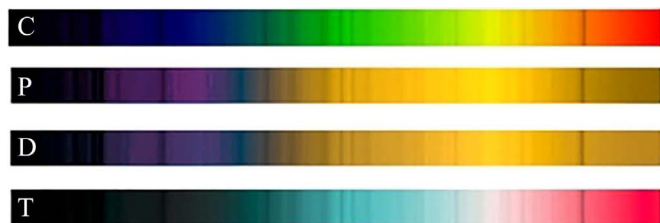


Figura 5 - Simulação do espectro de absorção de uma estrela do tipo G observado por um indivíduo com diferentes tipos de daltonismo (1658). Fonte: Imagem adaptada de http://spiff.rit.edu/classes/phys370/lectures/light_ii/spec_lines/spec_lines.html com o aplicativo CV Simulator, Ref. [30], acesso em 15/2/2025.

tanto por professores quanto por estudantes, para promover um ambiente de aprendizagem mais autônomo, participativo e significativo.

3.2. A possibilidade de análise via Tracker

Uma das abordagens utilizadas neste trabalho para analisar espectros estelares é o *software* gratuito Tracker, desenvolvido pelo projeto Open Source Physics (OSP), pois, embora seja amplamente utilizado para o estudo de movimentos a partir de vídeos, é possível utilizá-lo em experiências de óptica, incluindo espectroscopia, o que demonstra sua versatilidade [31-33]. Com interface intuitiva e diversos recursos, o Tracker possibilita investigações cinemáticas, dinâmicas e espectroscópicas, sendo acessível tanto para iniciantes quanto para usuários mais experientes.

No caso dessa técnica, o Tracker permite realizar experimentos quantitativos a partir da exploração de imagens de espectros com boa qualidade e pouco ruído, permitindo que os estudantes possam visualizar os espectros, medir a intensidade luminosa de imagens ou vídeos com base na escala de luma (unidade relativa usada pelo *software*) por meio da ferramenta ‘perfil de linha’ (Fig. 6) e explorar fenômenos ópticos com maior profundidade, aspecto frequentemente negligenciado tanto no Ensino Médio quanto em disciplinas introdutórias de física no ensino superior [34].

3.3. A proposta de implementação

A atividade será conduzida em três etapas, objetivando proporcionar uma experiência de aprendizagem completa e interativa. Na primeira, os estudantes deverão identificar os comprimentos de onda aproximados das linhas espectrais de emissão associadas aos principais gases presentes nas estrelas, com base nos conceitos fundamentais de espectroscopia. Diferentemente do espectro de absorção, caracterizado por linhas escuras sobre um fundo contínuo, o espectro de emissão apresenta linhas brilhantes sobre um fundo escuro, correspondentes aos comprimentos de onda específicos da radiação emitida por átomos excitados, como ocorre quando o plasma estelar quente é excitado pela radiação intensa das estrelas.

Para essa primeira análise, foram selecionados três elementos recorrentes na composição estelar: hidrogênio, hélio e oxigênio. Foram utilizadas imagens de alta resolução dos espectros de emissão desses gases, obtidas no portal PRISMA do Centro de Física Teórica e Computacional da Universidade de Lisboa [35]. É importante que as imagens sejam acompanhadas de uma tabela para o registro dos comprimentos de onda e das respectivas cores observadas nas linhas espectrais (Fig. 7), que servirão posteriormente como base comparativa para a identificação das linhas de absorção em espectros estelares.

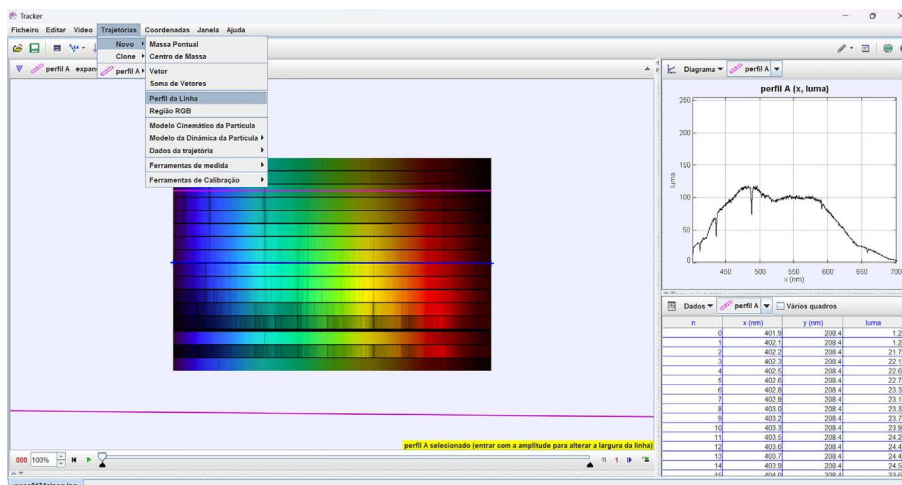


Figura 6 - Construção do gráfico de intensidade luminosa por comprimento de onda no *software* Tracker (versão 6.2.0).

Ficha de registros

Nome: _____

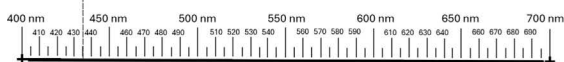
Hidrogênio:



Hélio:



Carbono



Elemento: Hidrogênio		
Número do pico	Cor do pico	Comprimento de onda do pico (nm)
1	Violeta	435 ±5nm
Elemento:		
Número do pico	Cor do pico	Comprimento de onda do pico (nm)
1		
Elemento:		
Número do pico	Cor do pico	Comprimento de onda do pico (nm)
1		

Figura 7 - Ficha de registros dos espectros de emissão do hidrogênio, hélio e oxigênio. Fonte: Imagem adaptada de <https://is.gd/u3awyZ>, Ref. [35], acesso em 28/1/2025.

Visando promover acessibilidade, especialmente para estudantes daltônicos, recomenda-se o uso de aplicativos como o Daltonic Pointer [36], disponível para sistemas Android, que auxilia na identificação precisa de cores em imagens e objetos, permitindo que os estudantes reconheçam tons que, de outra forma, poderiam não ser perceptíveis (Fig. 8). Dessa forma, é possível garantir que todos os envolvidos, independentemente de suas limitações visuais, consigam acompanhar as atividades propostas de maneira equitativa.

Na segunda etapa, os estudantes devem analisar os espectros de diferentes tipos de estrelas para identificar os elementos presentes na sua constituição, como, por exemplo, as estrelas dos grupos espectrais O6.5, B6, A5, F5, G5 e K5, que representam diferentes faixas de temperatura e composição. Utilizando o *software* Tracker, deverá ser construído por eles um gráfico da intensidade luminosa (luma) em função do comprimento

de onda (nm), por meio do 'perfil de linha', como demonstrado na Fig. 6, o que permite uma visualização detalhada da distribuição espectral (Fig. 9). É importante que o professor forneça os gráficos espectrais previamente elaborados ou oriente os estudantes na construção desses gráficos utilizando um software adequado. A partir dessa construção, os estudantes poderão identificar padrões espectrais característicos de diferentes estrelas, como regiões de maior intensidade e picos de absorção, os quais indicam a presença de determinados elementos químicos nas suas atmosferas.

Com base nos dados obtidos na primeira etapa, os estudantes deverão ser capazes de identificar a presença de um ou mais elementos, como hidrogênio, hélio e oxigênio no espectro estelar, por meio da comparação entre os comprimentos de onda registrados e as posições das linhas de absorção observadas. Um exemplo dessa correspondência pode ser observado

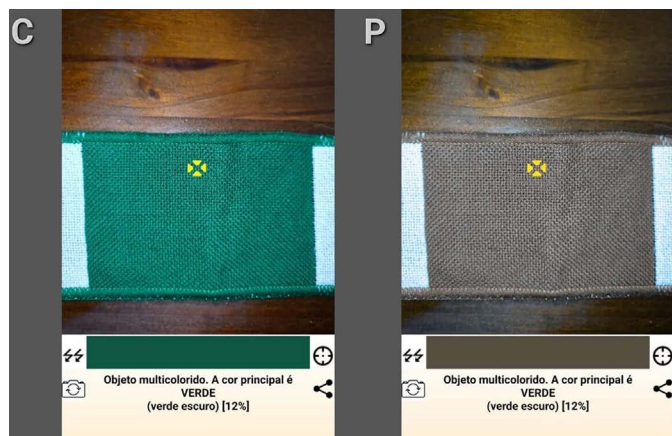


Figura 8 - Análise de cor com o Daltonic Pointer [36] sob simulação de protanopia no CV Simulator [30]. À esquerda (C), visão normal; à direita (P), simulação de protanopia.

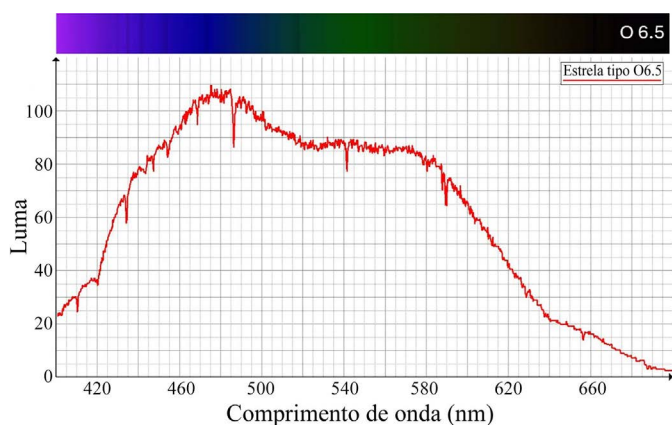


Figura 9 - Gráfico de intensidade por comprimento de onda, do espectro de emissão de estrela do grupo O6.5.

na representação a seguir (Fig. 10), que permite a avaliação qualitativa da composição da atmosfera estelar com base nas assinaturas espectrais características de cada elemento químico. É importante salientar que outras representações semelhantes também podem ser utilizadas durante as aulas para enriquecer a discussão e ampliar a compreensão dos estudantes.

Na terceira e última etapa da atividade, os estudantes deverão identificar, em cada gráfico analisado na segunda etapa (Fig. 11), o comprimento de onda correspondente ao ponto de maior intensidade luminosa, que está diretamente relacionado à temperatura da superfície da estrela (T). Essa relação é expressa pela lei do deslocamento de Wien (Eq. (1)), que indica que, quanto maior a temperatura, menor será o comprimento de onda no qual ocorre o pico de emissão [37]

$$\lambda_{\max} = \frac{k}{T}. \quad (1)$$

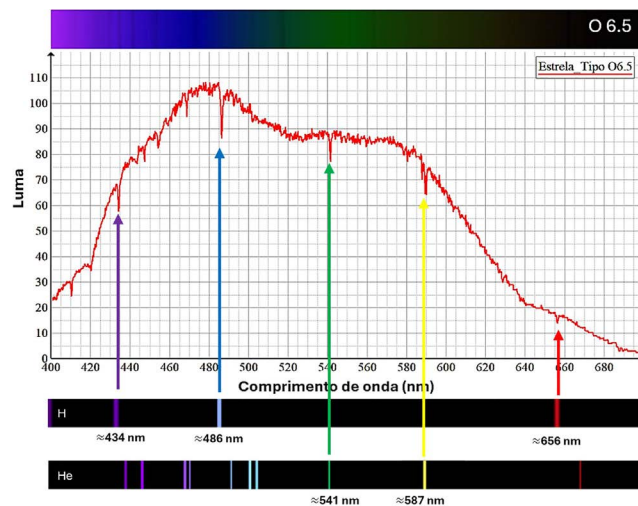


Figura 10 - Identificação dos elementos que compõem a estrela O6.5.

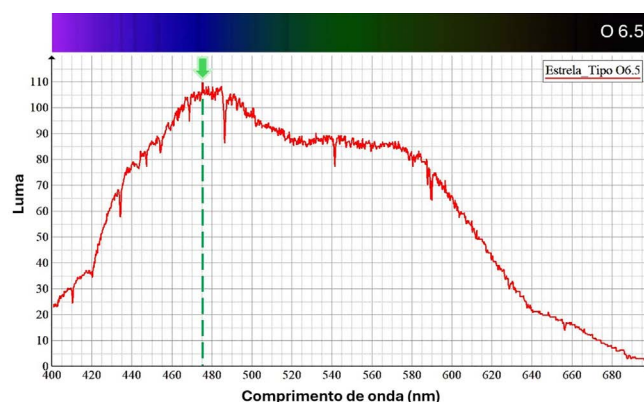


Figura 11 - Identificação da região de maior emissão.

Os gráficos analisados representam o fundo contínuo do espectro de absorção estelar, resultante da radiação térmica emitida pelas camadas internas da estrela [38], e, apesar das linhas de absorção sobrepostas, preservam um padrão suave e característico que permite a identificação clara do comprimento de onda de maior intensidade. Essa etapa final da atividade contribui para consolidar a compreensão da relação entre cor, temperatura e emissão de radiação pelas estrelas, além de introduzir os estudantes a um dos princípios fundamentais da astrofísica: a dependência da radiação térmica em função dessa temperatura superficial estelar.

Esse procedimento será repetido para todas as estrelas analisadas, permitindo uma comparação sistemática entre os espectros obtidos, sendo importante salientar que os estudantes, com os resultados em mãos, poderão ordenar as estrelas consoante a faixa espectral de maior emissão, o que possibilita inferir a temperatura superficial relativa de cada uma. Essa ordenação não somente reforça o entendimento, indi-

reto, da lei de Wien, mas também evidencia as diferenças entre os tipos espectrais estelares, aproximando os estudantes da lógica utilizada na classificação astronômica.

4. Resultados e discussão

O espectro de emissão dos elementos explorados na primeira atividade, tal como poderia ser analisado em sala de aula, apresenta linhas características desses elementos tanto no estado neutro quanto no estado ionizado: neutro (He I), que possui uma linha de emissão bem definida em 587,6 nm, na faixa do amarelo, e o ionizado (He II), que apresenta uma linha característica em 468,6 nm, na região do azul/violeta do espectro visível [39] (Fig. 12). A diferença entre as linhas dos estados mencionados permite que os pesquisadores estimem as condições físicas da estrela, como já mencionado antes; além do grau de ionização, a presença de “He II” indica temperaturas mais elevadas, uma vez que é necessária mais energia para ionizar o átomo de hélio.

Como aprofundamento, o professor pode ampliar a investigação para outros elementos químicos de interesse astrofísico, como neônio (Ne), nitrogênio (N), ferro (Fe), silício (Si), magnésio (Mg) e enxofre (S), visto que esses elementos, frequentemente detectados em espectros estelares, apresentam linhas de emissão e absorção que variam conforme o tipo estelar e a fase evolutiva [38]. Ao explorar esses elementos, os estudantes poderão observar diferenças significativas nos padrões espectrais, favorecendo o desenvolvimento de uma compreensão mais abrangente da diversidade química presente nas estrelas. Essa diversidade está diretamente ligada à nucleossíntese estelar, aos processos de fusão nuclear e à evolução das estrelas, enriquecendo a atividade com uma abordagem interdisciplinar entre física, química e astronomia.

A inclusão de uma variedade maior de elementos pode estimular interpretações mais complexas por par-

te dos estudantes, permitindo que eles estabeleçam conexões entre os espectros observados, as condições de emissão e os processos que ocorrem no interior das estrelas. Além de reconhecer padrões, eles podem ser levados a comparar intensidades, posições e distribuições das linhas espectrais, exigindo uma observação atenta e criteriosa. Essa ampliação do escopo metodológico tende a favorecer o desenvolvimento de habilidades investigativas, incentivando a formulação de hipóteses, a comparação crítica entre dados e a construção de explicações fundamentadas sobre a composição e o comportamento das estrelas.

Já na etapa de identificação dos elementos, é esperado que a detecção do hidrogênio e do hélio ocorra com maior facilidade, pois esses elementos são os mais abundantes no universo e exibem linhas espectrais intensas, bem definidas e amplamente documentadas [40-42]. Essas características tornam sua identificação mais direta em comparação com elementos menos abundantes ou cujas linhas são mais discretas, como o oxigênio (Fig. 13). A partir dessa distinção, o professor pode conduzir discussões sobre a formação e a estrutura das estrelas, abordando conceitos como abundância

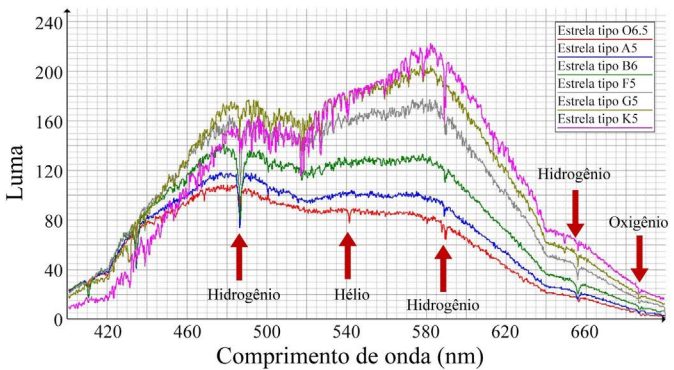


Figura 13 - Identificação dos elementos químicos da composição das estrelas por meio das linhas de absorção das estrelas dos tipos O6.5, A5, B6, F5, G5 e K5.

Elemento: Hidrogênio		
Número do pico	Cor do pico	Comprimento de onda do pico (nm)
1	violeta	435 ± 5nm
2	azul	487 ± 5nm
3	vermelho	658 ± 5nm

Elemento: Hélio		
Número do pico	Cor do pico	Comprimento de onda do pico (nm)
1	violeta	441 ± 5nm
2	violeta	447 ± 5nm
3	violeta	470 ± 5nm
4	violeta	473 ± 5nm
5	azul claro	492 ± 5nm
6	azul claro	501 ± 5nm
7	azul claro	506 ± 5nm
8	verde	543 ± 5nm
9	amarelo	587 ± 5nm
10	vermelho	670 ± 5nm

Elemento: Oxigênio		
Número do pico	Cor do pico	Comprimento de onda do pico (nm)
1	violeta	424 ± 5nm
2	azul	437 ± 5nm
3	verde	534 ± 5nm
4	verde claro	560 ± 5nm
5	laranja	597 ± 5nm
6	laranja	602 ± 5nm
7	laranja	606 ± 5nm
8	vermelho	612 ± 5nm
9	vermelho	618 ± 5nm
10	vermelho	629 ± 5nm
11	vermelho	637 ± 5nm
12	vermelho	648 ± 5nm
13	vermelho	664 ± 5nm
14	vermelho	667 ± 5nm

Figura 12 - Valores aproximados das linhas de emissão do hidrogênio, do hélio e do oxigênio.

cósmica, fusão nuclear e formação de elementos mais pesados nas fases finais da vida estelar. Assim, a análise espectral não apenas permite identificar elementos químicos, mas também serve como ponto de partida para explorar questões fundamentais da astrofísica moderna em um contexto acessível e didático, como compreender em que estágio da vida o objeto está.

A última atividade teve como objetivo identificar o comprimento de onda correspondente à maior intensidade luminosa em cada gráfico. Para isso, recomenda-se o uso de uma régua ou outro instrumento de medição, especialmente quando os picos são próximos (Fig. 14). Essa medição é crucial, pois a cor aparente da estrela permite estimar sua temperatura superficial - por exemplo, estrelas azuis são mais quentes que as vermelhas, o que possibilita até a análise de estrelas visíveis a olho nu.

Do ponto de vista educacional, a espectroscopia oferece uma oportunidade rica para integrar conteúdos curriculares de física e química. Segundo a BNCC, é fundamental promover o aprendizado por investigação e experimentação [7]. Embora a proposta apresentada não envolva experimentação direta com instrumentos ópticos, ela se alinha a essas diretrizes ao utilizar ferramentas digitais para estimular a análise, a comparação de dados e a discussão em grupo.

É importante destacar, contudo, que os resultados discutidos se baseiam apenas em gráficos e análises realizadas com *softwares*, não havendo coleta de impressões ou relatos de estudantes que permitam afirmar o desenvolvimento de habilidades investigativas ou interpretativas. Assim, entende-se que a proposta tem potencial para estimular essas competências, mas sua comprovação depende de futuras aplicações práticas em sala de aula.

5. Considerações finais

A atividade proposta neste trabalho oferece aos professores uma oportunidade de explorar conceitos de espectroscopia e astrofísica de forma interdisciplinar, integrando física, química e astronomia. A proposta é especialmente indicada para docentes que buscam incorporar ferramentas digitais acessíveis em suas práticas pedagógicas, criando condições para uma participação mais equitativa, inclusive de estudantes com daltonismo.

Recomendada para ser realizada ao longo de três ou mais aulas, consideramos que a atividade oferece uma estrutura flexível, que pode ser adaptada conforme os recursos e o perfil da turma. Em sala, o professor pode conduzir a introdução teórica, orientar a análise inicial e organizar os grupos, enquanto em casa os es-

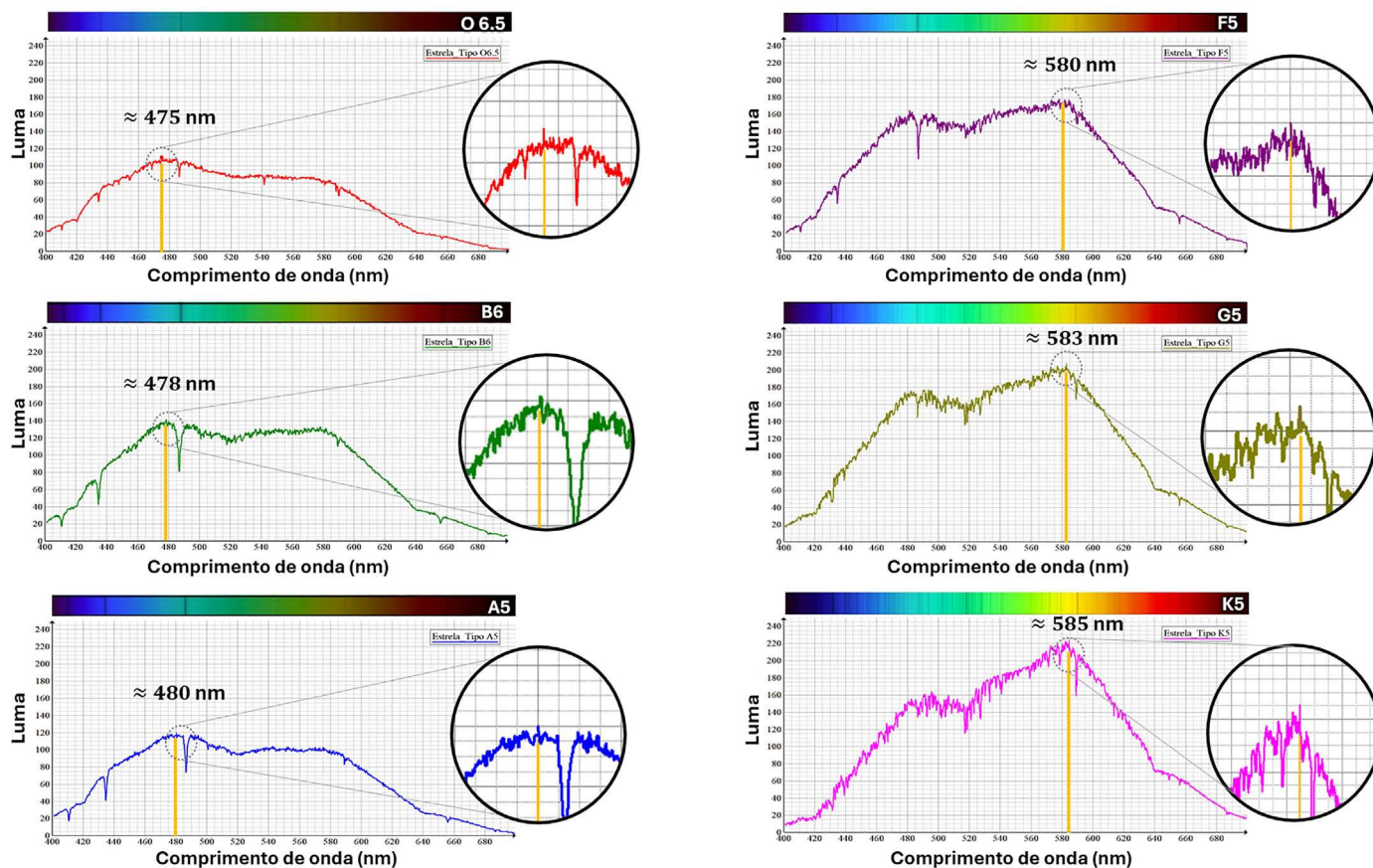


Figura 14 - Identificação dos picos mais altos da curva.

tudantes podem aprofundar a pesquisa, completar tabelas e elaborar gráficos. Embora utilize imagens de espectros preexistentes, uma opção que prioriza a acessibilidade e a reprodutibilidade em detrimento da manipulação direta de instrumentos, a atividade, do jeito que foi construída, busca promover um equilíbrio entre discussões coletivas e análise individual de dados.

No que diz respeito ao uso de ferramentas como o software Tracker e o aplicativo Daltonic Pointer, amplia-se o potencial didático, favorecendo a análise e a identificação de elementos químicos de forma acessível. É importante, contudo, prever momentos para a familiarização com os softwares e garantir a disponibilidade de computadores e acesso à internet, de modo a assegurar que a atividade transcorra sem contratempos e que o foco pedagógico seja mantido.

Um ponto importante é buscar, em algum aspecto, a colaboração com professores de outras áreas, como a química, o que pode enriquecer significativamente a experiência, pois a identificação de elementos e a correlação entre comprimento de onda e temperatura são conteúdos que podem ser abordados de maneira inte-

grada. Dessa forma, a proposta amplia o repertório científico dos estudantes, funcionando também como um recurso valioso de divulgação e valorização da ciência.

Por fim, consideramos que a proposta pedagógica apresenta potencial para integrar conceitos de física, química e astronomia em atividades acessíveis e interdisciplinares. Além disso, ao contemplar a inclusão de estudantes com daltonismo, entendemos que a atividade contribui para tornar o ensino de espectroscopia mais interessante e inclusivo. Acreditamos que sua aplicação em diferentes contextos educacionais pode estimular a curiosidade, o pensamento analítico e o interesse contínuo pela ciência entre todos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo apoio a este trabalho, e ao Projeto PIIM5590-2025 pelo suporte indispensável à execução da pesquisa.

Recebido em: 5 de Maio de 2025

Aceito em: 8 de Setembro de 2025

Referências

- [1] G.B. Arfken, D.F. Griffing, D.C. Kelly, J. Priest, *International Edition University Physics* (Academic Press, New York, 1984), p. 752. [doi](#)
- [2] D.J. Schroeder, *Astronomical Optics* (Academic Press, New York, 2000), p. 4. [doi](#)
- [3] P. Meystre, *Springer Handbook of Atomic, Molecular, and Optical Physics* (Springer, New York, 2006), p. 997. [doi](#)
- [4] G. Milburn, *Springer Handbook of Lasers and Optics* (Springer, New York, 2007), p. 1053. [doi](#)
- [5] Universidade do Porto, *Ótica Quântica* (2022). Disponível em: <https://is.gd/Is5Wdk>, acesso em 27/1/2025.
- [6] Universidade Federal de Santa Catarina, *FSC410137 - Introdução à Óptica Quântica* (2020). Disponível em: <https://is.gd/qflp7p>, acesso em 27/01/2025.
- [7] Brasil, *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base* (MEC, Brasília, 2018). Disponível em <https://is.gd/nrEoc1>, acesso em 27/01/2025.
- [8] V. de Gouveia, P.J.S. dos Santos, in *Anais do XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://is.gd/p0IETW>, acesso em 22/09/2025.
- [9] F. Fara, *Philos. Trans. A* **373**, 20140213 (2015). [doi](#)
- [10] E.P. Moraes, M.Á.F. de Souza, A.B. dos Santos, *Chem. Teach. Int.* **6**, 269 (2024). [doi](#)
- [11] E.O. Garvin, M.J. Bonse, J. Hayoz, G. Cugno, J. Spiller, e cols., *Astron. Astrophys.* **689**, A143 (2024). [doi](#)
- [12] D.A. Silva, D.A. Sales, R. Riffel, H.P. Carpes, A. Robinson, e cols., *Rev. Interdisc. Pesq. Eng.* **9**, 21 (2024). Disponível em <https://is.gd/i1dxkg>, acesso em 22/09/2025.
- [13] L. Pan, P. Zhang, C. Daengngam, M. Chongcheawchamnan, *arXiv:2104.04599* (2021). Disponível em <https://is.gd/dx5h7c>, acesso em 22/09/2025.
- [14] P.R. Claro, *Rev. Ciênc. Elem.* **5**, e52 (2017). Disponível em <https://is.gd/bg9zqT>, acesso em 22/09/2025.
- [15] Y. Wu, *Art Perform. Lett.* **4**, 67 (2023). [doi](#)
- [16] R. Im, T. Iwayama, M. Osa, J. *Chem. Educ.* **100**, 4707 (2023). [doi](#)
- [17] F.J. Serón Torrecilla, A. de Echave Sanz, C. Rodríguez Casals, E.M. Terrado Sieso, J. Pozuelo Muñoz e cols., *Educ. Sci.* **14**, 1213 (2024). [doi](#)
- [18] C.S. Almeida, K.K.L. Yamaguchi, A.O. Souza, *Res. Soc. Dev.* **9**, e174997243 (2020). [doi](#)
- [19] N.J. Roberts, J.L. MacDonald, *Nat. Rev. Chem.* **8**, 487 (2024). [doi](#)
- [20] Freepik, *Macrovector: Ilustração da Anatomia Ocular* (2025). Disponível em <https://is.gd/AkEtIh>, acesso em 27/01/2025.
- [21] F. Zhang, D.H. Brainard, J. Neitz, M. Neitz, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **62**, 13 (2021). [doi](#)
- [22] AlphaFold, Protein Structure Database (2021). *Long-Wave-Sensitive Opsin 1 (AF-P04000-F1-v4)*. Disponível em <https://is.gd/P69Tyv>, acesso em 5/04/2025.
- [23] H.-K. Kuo, S.-T. Tsao, P.-C. Wu, *Int. J. Mol. Sci.* **24**, 15247 (2023). [doi](#)
- [24] D. Justin, *J. Clin. Ophthalmol.* **7**, 409 (2023). [doi](#)
- [25] Freepik, *Bandeira de Arco-Iris no Papel*. Disponível em <https://is.gd/H2U8ij>, acesso em 27/01/2025.
- [26] J.R. Nuñez, C.R. Anderton, R.S. Renslow, *Plos One* **13**, e0199239 (2018). [doi](#)
- [27] N.J. Roberts, J.L. MacDonald, *Nat. Rev. Chem.* **8**, 487 (2024). [doi](#)
- [28] P.J. Armitage, *Astrophysics of Planet Formation* (Cambridge University Press, Cambridge, 2020).
- [29] M. Richmond, *Emission and Absorption Lines* (2004). Disponível em <https://is.gd/vx9URb>, acesso em 27/01/2025.
- [30] K Asada, *Chromatic Vision Simulator* [aplicativo móvel]. Versão 3.23 (2024). Disponível em <https://is.gd/MZuLik>, acesso em 2/05/2025.
- [31] N.A. Machado, F.A.O. Cruz, M. Hahn, P.S. Carvalho, *Eur. J. Phys.* **45**, 035004 (2024). [doi](#)

- [32] M. Rodrigues, M.B. Marques, P.S. Carvalho, Phys. Educ. **51**, 014002 (2016). doi
- [33] A. Johansson, S.K. Löfgren, J. Enger, Phys. Educ. **59**, 035019 (2024). doi
- [34] UFPR, *Tracker Brasil: Como Utilizar o Tracker?* (2025). Disponível em <https://is.gd/nyjJFf>, acesso em 2/09/2025.
- [35] Centro de Física Teórica e Computacional, *Espectros de Radiação Descontínuos e a Composição do Universo* (2025). Disponível em <https://is.gd/u3awyZ>, acesso em 27/01/2025.
- [36] A. Gorine, *Daltonic Pointer - Nome da Cor* [aplicativo móvel]. Versão 5.2 (2024). Disponível em <https://is.gd/x7uqc5>, acesso em 2/05/2025.
- [37] W. Greiner, in *Quantum Mechanics. Springer* (Springer, Berlin/Heidelberg, 2001), p. 9-27. doi
- [38] K. Fukue, N. Matsunaga, S. Kondo, D. Taniguchi, Y. Ikeda e cols., **arXiv:2103.12478** [astro-ph.SR] (2021). <https://arxiv.org/abs/2103.12478>
- [39] NIST, *Basic Atomic Spectra Database: Strong Lines of Helium (He)*. Disponível em <https://is.gd/3t2KiI>, acesso em 25/01/2025.
- [40] B.P. Hema, G. Pandey, **arXiv:2401.09121** [astro-ph.SR] (2024). <https://arxiv.org/abs/2401.09121>
- [41] N. Reindl, H.E. Bond, K. Werner, G.R. Zeimann, Astron. Astrophys. **683**, A135 (2024). doi
- [42] D.A. Rosh, S. Vaddi, Astron. Astrophys. **682**, A75 (2024). doi