



Maquetes táteis para ensino de espectroscopia óptica a alunos com deficiência visual

Daniel de Lima¹, Wellington Santos Souza^{1#} 

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano - Campus Salgueiro, PE, Brasil.

Palavras-chave

educação inclusiva
maquetes táteis
espectroscopia óptica
deficiência visual

Resumo

A integração da óptica com o ensino inclusivo para pessoas com deficiência visual é um dos maiores desafios para os professores de física. De acordo com o IBGE de 2010, 18,6% da população brasileira tem alguma forma de deficiência visual, o que ressalta a necessidade de métodos de ensino adaptativos. A falta de materiais didáticos acessíveis e a má formação docente sobre inclusão agravam a situação. Este artigo propõe o desenvolvimento de maquetes táteis para ensinar conceitos de espectroscopia óptica, visando incluir ativamente alunos com deficiência visual no aprendizado. O projeto passa por sete fases, da teoria à prática em um ambiente de ensino não formal. Os resultados mostram que as maquetes táteis promovem a inclusão e a democratização do conhecimento científico, destacando a importância da educação inclusiva e da adaptação de estratégias pedagógicas para atender às necessidades dos alunos. Com recursos educacionais inclusivos, é possível criar um ambiente de aprendizado igualitário para todos os estudantes, independentemente de suas capacidades visuais.

1. Introdução

A óptica é uma área da física que combina teoria e experimentação e abrange fenômenos principalmente visuais, como a formação do arco-íris, apresentando desafios no ensino de física para indivíduos com deficiência visual. Além disso, é relevante ressaltar que a espectroscopia óptica desempenha um papel vital no campo da física ao explorar a interação entre a luz e a matéria, revelando padrões de absorção e emissão da luz [1]. O

estudo da espectroscopia óptica proporciona conhecimentos cruciais sobre a composição de materiais, desde a identificação de elementos químicos em estrelas

distantes até a análise de compostos orgânicos em laboratórios terrestres [2].

No sistema educacional brasileiro, observam-se diversas questões

que vão desde a inadequada infraestrutura escolar até a qualidade da formação dos professores [3]. Diante desses desafios, é essencial direcionar esforços para aprimorar

A espectroscopia óptica desempenha um papel vital no campo da física ao explorar a interação entre a luz e a matéria, revelando conhecimentos cruciais sobre a composição de materiais

#Autor de correspondência. E-mail: wellington.souza@ifsertao-pe.edu.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



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

rar tanto as condições estruturais das instituições de ensino quanto a capacitação docente, a fim de proporcionar um ambiente educacional mais propício ao engajamento e ao aprendizado dos estudantes [4].

Particularmente, disciplinas relacionadas às ciências da natureza apresentam os mais severos quadros de rejeição por parte dos alunos [5]. Essas disciplinas são frequentemente percebidas como incompreensíveis, devido a uma variedade de fatores, como a presença de inúmeros cálculos matemáticos aparentemente desconectados, a abordagem de fenômenos distantes do cotidiano dos discentes e a ênfase excessiva em conteúdos voltados para exames, entre outros. Enfrentar esse cenário e propor uma abordagem capaz de atrair os estudantes para a compreensão e o estudo de fenômenos naturais configura-se como uma tarefa desafiadora, discutida ativamente entre os docentes da área de ensino de ciências [5]. Nesse contexto, é essencial adotar estratégias alternativas que aproximem o conteúdo científico da realidade dos estudantes, promovendo uma aprendizagem mais significativa e despertando o interesse pela ciência.

Outro aspecto que pode acentuar consideravelmente os desafios no ensino de ciências, especialmente no ensino de física, está relacionado ao desenvolvimento de atividades práticas que sejam inclusivas para alunos com algum tipo de deficiência. Essa complexidade deve-se, principalmente, a dois fatores críticos: (i) frequentemente, os professores não recebem formação adequada para lidar com essa situação e, por vezes, percebem a necessidade de planejar e construir dois conjuntos distintos de materiais e métodos de ensino para atender às necessidades específicas desses alunos [6]. Essa postura contribui para a criação de um ambiente segregado na sala de aula, sugerindo que o aluno com deficiência não pertence integralmente à aula principal e aumentando a carga de trabalho do professor [6]; (ii) além disso, a infraestrutura das escolas muitas vezes carece de adequações, tanto em termos de acesso e permanência desses alunos no ambiente escolar quanto em relação aos materiais e laboratórios de ciências. Em grande parte das instituições, toda a infraestrutura é concebida e organizada para atender exclusivamente aos alunos sem deficiências.

Entretanto, é fundamental ressaltar que, com a adoção da educação inclusiva, a sala de aula deve se estruturar de maneira a atender às necessidades educacionais de todos os alunos [7]. A Lei nº 13.146, de 06 de julho de 2015, preconiza a disponibilização de recursos de acessibilidade e serviços direcionados ao aprimoramento dos sistemas educacionais, visando promover e garantir o acesso, a participação e a aprendizagem das pessoas com deficiência. Esse marco legal busca eliminar as barreiras

ras sociais que possam prejudicar a efetiva promoção de uma educação integral e inclusiva [8].

2. Fundamentação teórica

Estima-se que existam 24,5 milhões de estudantes com deficiência visual e cegos em todo o mundo, e muitos enfrentam desafios significativos devido à falta de materiais educacionais acessíveis, já que o desenvolvimento desses recursos é caro e demorado [9]. Conforme dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, 18,6% da população brasileira possui algum tipo de deficiência visual. Dentro desse grupo, 6,5 milhões apresentam deficiência visual severa, sendo que 506 mil enfrentam perda total da visão (0,3% da população) e 6 milhões possuem grande dificuldade para enxergar (3,2% da população) [10,11]. Muitos desses indivíduos são crianças, jovens e adultos em idade escolar, frequentemente privados do acesso a uma educação inclusiva que os coloque como protagonistas no processo de ensino-aprendizagem. Isso ocorre porque as metodologias adotadas em sala de aula e os materiais utilizados são predominantemente expositivos, e a visualização desempenha um papel crucial na compreensão do conteúdo abordado.

Nesse contexto, é crucial que o professor de física esteja capacitado para conduzir e/ou desenvolver atividades de ensino que considerem tanto as características dos alunos videntes quanto as dos alunos com deficiência visual, utilizando ferramentas que facilitem tanto o processo de ensino quanto o de aprendizado [7]. Uma área da física que se revela particularmente desafiadora no ensino para pessoas com deficiência visual é a óptica. Diversos fenômenos comuns em nosso cotidiano, como a formação de imagens, a percepção das cores e os espectros de fontes luminosas, envolvem a compreensão e o entendimento da luz

[12]. Enquanto, para o aluno vidente, a luz é intuitiva e rapidamente compreendida, para o aluno cego, torna-se um conceito abstrato [7]. Para mitigar as dificuldades enfrentadas por estudantes com deficiência visual, propõe-se a utilização de materiais táteis, que permitem uma percepção tátil dos conceitos e facilitam o aprendizado inclusivo. Com as ferramentas de apoio adequadas, esses estudantes podem aprender ciências de forma eficaz, desenvolvendo habilidades cognitivas e conceituais similares às dos alunos videntes [13,14].

Vale ressaltar que isso não implica que a compreensão desses conceitos seja fácil para o aluno vidente. Muitos fenômenos relacionados à luz ocorrem em nível atômico, por meio da interação da energia luminosa com a matéria, o que torna esses conceitos abstratos [6]. Assim, compreender a luz sob essa pers-

Enfrentar a rejeição à física e propor uma abordagem capaz de atrair os estudantes para a compreensão e o estudo de fenômenos naturais configura-se como uma tarefa desafiadora, discutida ativamente entre os docentes da área de ensino de ciências

pectiva coloca tanto cegos quanto videntes em um patamar igualitário [7]. Diante disso, torna-se cada vez mais crucial desenvolver e explorar métodos que possibilitem o ensino da interação da luz com a matéria, promovendo atividades inclusivas e fomentando discussões sobre os fenômenos observados e suas principais aplicações nas ciências e tecnologias com todos os alunos, independentemente de possuírem ou não deficiência visual.

Uma alternativa promissora para promover avanços significativos na aproximação dos estudantes ao conhecimento científico é a educação não formal [15]. Os museus de ciências, por exemplo, são reconhecidos como espaços de divulgação científica e aprendizagem não formal. A aprendizagem não formal é capaz de contribuir para o enriquecimento cultural e científico dos indivíduos [16]. No âmbito deste trabalho, buscamos desenvolver atividades destinadas a preencher essa lacuna, ensinando conceitos de espectroscopia óptica por meio de maquetes táteis em ambientes não formais de aprendizagem. Dessa forma, as maquetes táteis são uma alternativa eficaz no ensino de conceitos de óptica, permitindo que os alunos com deficiência visual compreendam fenômenos físicos de forma tátil [17].

É crucial desenvolver e explorar métodos que possibilitem o ensino da interação da luz com a matéria e suas principais aplicações nas ciências e tecnologias com todos os alunos, independentemente de possuírem ou não deficiência visual

3. Materiais e métodos

O trabalho teve como objetivo confeccionar maquetes táteis para facilitar o ensino da espectroscopia óptica em ambientes formais e não formais de ensino. Foram confeccionadas três maquetes utilizando materiais simples e de baixo custo,¹ abordando os seguintes conceitos de física: (i) interação da luz com a matéria, contemplando reflexão, transmissão e absorção da luz; (ii) transição eletrônica e níveis de energia; (iii) espectros ópticos contínuos e discretos. O desenvolvimento deste trabalho transcorreu de acordo com as seguintes etapas:

3.1. Interação da luz com a matéria

Nessa etapa, denominada “interação da luz com a matéria”, o objetivo foi criar uma maquete tátil para permitir que os alunos compreendam os processos decorrentes da interação da luz com a matéria (Fig. 1). A maquete foi construída para auxiliar na compreensão dos conceitos de transmissão, absorção e reflexão da luz, além de aplicar esses conceitos em situações do cotidiano.

A radiação luminosa pode passar por diferentes fenômenos, como reflexão, refração, dispersão ou absorção por um material. Compreender esses fenômenos é essencial em diversas áreas da ciência, especialmente na espectroscopia, que analisa como a luz interage com

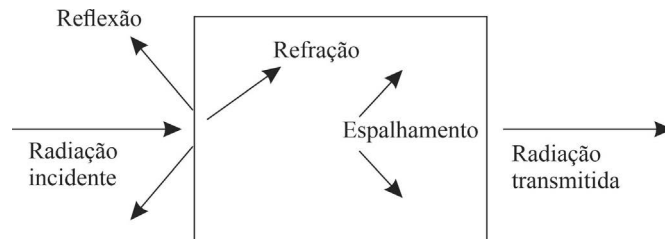


Figura 1 - Interação da luz com a matéria [18].

substâncias [18]. Esses conceitos são fundamentais para a compreensão de diversos fenômenos observados na natureza. Por exemplo, ao olhar para um espelho, testemunhamos a reflexão da luz incidente na superfície refletora, enquanto a transmissão da luz através de uma janela de vidro ilustra o fenômeno da refração [19,20]. A absorção da luz ocorre em objetos que se aquecem quando expostos à luz solar, evidenciando a conversão de energia luminosa em calor [21].

A lei de Lambert-Beer, que descreve quantitativamente a interação entre luz e matéria, relaciona a intensidade da luz transmitida à concentração e à espessura do meio absorvente. A equação que expressa essa relação é

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha l}, \quad (1)$$

onde I é a intensidade da luz transmitida, I_0 é a intensidade incidente, α é coeficiente de absorção (dependente do meio) e l é a espessura do meio absorvente.

A absorbância, que representa a fração de energia luminosa absorvida por um material, pode ser calculada pela equação

$$A = \epsilon lc, \quad (2)$$

onde A é a absorbância, ϵ é o coeficiente de absorção molar da substância, l é a distância que a luz percorre através do corpo e c é a concentração da substância absorvente no meio.

Diante disso, a maquete da interação da luz com a matéria foi construída com o objetivo de explicar esses fenômenos de forma acessível tanto para alunos videntes quanto para alunos com deficiência visual. Através do toque e da interação com a maquete, todos os alunos poderiam compreender os conceitos apresentados. A Fig. 2 exibe a primeira versão finalizada da maquete, destacando suas configurações e os materiais utilizados.

Na concepção dessa maquete, optamos por uma abordagem que destacasse a interação da luz com diferentes materiais. Utilizamos uma madeira 3D de 30 cm para representar o meio pelo qual a luz iria interagir,

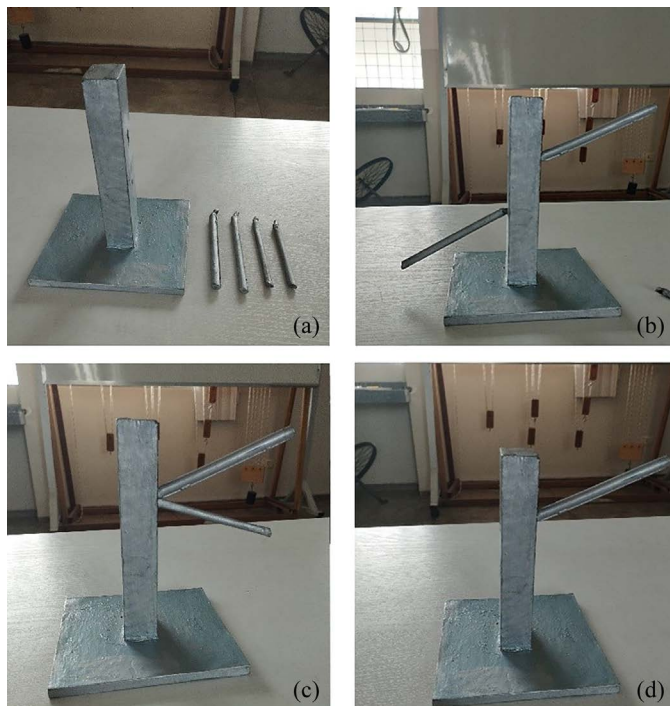


Figura 2 - Interação da luz com a matéria (2024): (a) maquete finalizada; (b) refração da luz; (c) reflexão da luz e (d) absorção da luz.

conferindo uma textura sólida e tátil. Criamos buracos verticalmente na madeira para introduzir palitos sintéticos, que servem como elementos representativos do raio de luz incidente sobre o material. Nesse contexto os estudantes são encorajados a montar configurações variadas para ilustrar os fenômenos de refração, reflexão e absorção da luz pelos materiais.

O aluno, ao encaixar o palito sintético na madeira, percebe que o sentido do raio de luz é aquele que vai em direção à superfície da madeira. Dessa forma, visualiza ou sente claramente o ponto de interação entre o raio e o material, compreendendo que é a partir desse contato que ocorrem os fenômenos de refração, reflexão e absorção da luz.

Nesse contexto, os estudantes são encorajados a montar configurações variadas para ilustrar os diferentes comportamentos da luz ao atravessar ou ser refletida pelos materiais. Esse formato interativo permite discussões dinâmicas, incentivando os estudantes a identificarem quais materiais possuem essas propriedades específicas. Assim, a maquete possui características visuais e táteis, proporcionando uma experiência prática para compreender os princípios fundamentais da interação da luz com diferentes meios.

3.2. Transição eletrônica e níveis de energia - modelo atômico de Bohr

Na segunda etapa, “transição eletrônica e níveis de energia”, desenvolveu-se a maquete para explorar a

transição eletrônica e os níveis de energia, conforme o modelo atômico de Bohr [12,21]. Essa etapa do projeto visa discutir a estrutura básica do átomo, apresentando os diferentes níveis de energia e o processo de transição eletrônica.

O modelo atômico de Bohr é uma representação simplificada do átomo, em que os elétrons giram em órbitas ao redor do núcleo em níveis de energia quantizados. Quando um elétron absorve ou emite energia na forma de fótons,² ocorrem transições entre diferentes níveis de energia (órbitas). Explorar esse conceito é fundamental para compreender fenômenos como a emissão de luz por átomos excitados, por exemplo. A maquete foi projetada para proporcionar aos alunos com deficiência visual uma compreensão equiparável à visualização da Fig. 3.

As transições eletrônicas e níveis de energia em átomos desempenham papéis significativos em várias aplicações do dia a dia. Em tecnologia, tais conceitos são fundamentais para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos avançados, como transistores, células solares, LEDs, lasers de diodo e com perspectiva como *qubits*³ em computação quântica [23].

Em suma, os princípios das transições eletrônicas e níveis de energia têm um impacto tangível em nosso cotidiano, impulsionando avanços tecnológicos e contribuindo para melhorias significativas em áreas essenciais como a comunicação. Explorar esses assuntos por meio de maquetes pode tornar o conceito mais tangível e compreensível para os estudantes, a Fig. 4 mostra a maquete transição eletrônica e níveis de energia finalizada.

A construção dessa maquete envolveu materiais acessíveis e de baixo custo, visando proporcionar aos alunos com deficiência visual uma percepção equiparável à dos alunos videntes. Para o ensino de transição eletrônica e níveis de energia, utilizamos esferas de isopor uniformes para representar prótons e nêutrons no núcleo, distinguindo-os com um sinal tátil de adição apenas sobre os prótons. Os elétrons foram simbolizados por esferas menores, indicando sua menor massa, e o sinal de subtração tátil representava sua carga negativa.

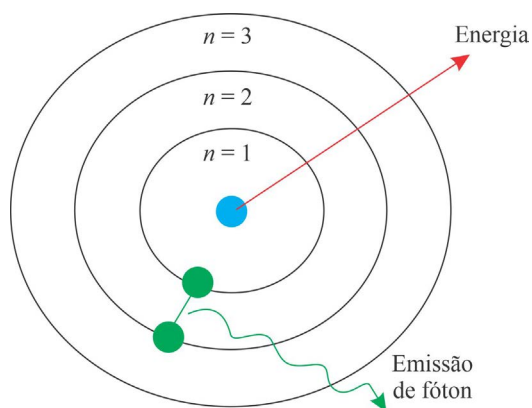


Figura 3 - Estrutura básica do átomo.



Figura 4 - Maquete de transição eletrônica e níveis de energia (2024).

A liberdade de movimento dos elétrons entre os níveis eletrônicos possibilitou uma abordagem interativa, facilitando o entendimento das transições eletrônicas. Essa estrutura, aliada ao sistema tátil, proporciona acessibilidade aos alunos com deficiência visual, permitindo uma compreensão tátil e dinâmica do modelo atômico de Bohr.

3.3. Espectros ópticos contínuos e discretos

Na etapa denominada “espectros ópticos contínuos e discretos”, propusemos o uso de uma maquete tátil para ensinar sobre espectros ópticos. Os espectros são divididos em dois tipos principais: contínuos, que exibem uma distribuição suave de luz, e discretos, que apresentam linhas distintas de luz (como mostra a Fig. 5) [12]. Além disso, existem os espectros de emissão, nos quais a luz é emitida por uma fonte, e os espectros de absorção, nos quais a luz é absorvida por uma substância [21]. A finalidade da maquete é permitir que alunos com deficiência visual compreendam esses conceitos de maneira tangível e inclusiva.

Os conceitos de espectros contínuos e discretos, envolvendo processos de emissão e absorção, desempenham papéis cruciais em diversas aplicações do

Tipo de espectro	Exemplo
Emissão contínua	
Emissão discreta	
Absorção	

Figura 5 - Espectros ópticos [24].

nosso cotidiano. Por exemplo, na área da comunicação, a tecnologia de fibra óptica utiliza o princípio de absorção e emissão para transmitir dados por meio de pulsos de luz.

A absorção e emissão de luz por átomos e moléculas específicos resultam em linhas espectrais distintas, que são exploradas para identificar e analisar substâncias em diversas disciplinas, desde a química forense até a análise ambiental. Da mesma forma, em astronomia, o estudo dos espectros discretos de estrelas e galáxias permite aos cientistas inferir a composição química, a temperatura e outras propriedades fundamentais do universo. A Fig. 6 mostra a maquete de espectros ópticos contínuos e discretos concluída.

Na elaboração dessa maquete, utilizamos uma tampa quadrada de MDF, dividida horizontalmente em três retângulos distintos. No primeiro retângulo, representamos o espectro contínuo da luz, abrangendo todas as cores visíveis. Para diferenciar as cores, empregamos uma analogia tátil, associando texturas específicas a cada matiz. Essas texturas foram criadas considerando a frequência e o comprimento de onda de cada cor, de modo que cores com frequência elevada e comprimento de onda curto, como a luz ultravioleta, apresentavam uma textura mais áspera e uma largura menor, e assim sucessivamente.

No segundo e terceiro retângulos, deixamos espaços vazios que representam o espectro discreto, com o segundo retângulo simbolizando o espectro de emissão e o terceiro a parte de absorção. Essa abordagem proporciona uma experiência tátil envolvente, permitindo aos alunos explorar e compreender fisicamente os con-



Figura 6 - Maquete de espectros ópticos (2024): (a) Espectro contínuo; (b) Espectro de emissão e (c) Espectro de absorção.

ceitos complexos relacionados aos espectros de luz contínua e discreta, estimulando assim o aprendizado interativo e a compreensão dos fenômenos ópticos.

4. Implementação e aplicação das maquetes

A implementação das maquetes ocorreu em três etapas: (i) avaliação dos conhecimentos prévios, (ii) aplicação das maquetes e (iii) discussão e reflexão das análises obtidas. Para isso, adotando a perspectiva do psicólogo Lev Semionovitch Vygotsky, que destaca a importância da interação social e do diálogo no processo de aprendizagem [25], a metodologia foi delineada em três etapas, seguindo uma abordagem participativa e inclusiva.

4.1. Avaliação dos conhecimentos prévios

Na etapa de avaliação dos conhecimentos prévios, buscou-se conhecer o entendimento prévio dos alunos sobre os conceitos relacionados à espectroscopia óptica. Foram realizadas atividades exploratórias para identificar o nível de familiaridade dos participantes com o tema, contando com a valiosa colaboração dos estudantes do Ensino Médio e do curso superior de sistemas para internet do IFSertãoPE Campus Salgueiro.

No início da avaliação, utilizamos questionários específicos para cada maquete. Esses questionários representam uma ferramenta fundamental para identificar os principais obstáculos enfrentados pelos alunos em relação ao conteúdo abordado. Dessa forma, podemos priorizar esses temas e desenvolver estratégias para tornar esses conceitos mais acessíveis e compre-

ensíveis para os alunos. No entanto, durante essa fase de avaliação, observamos que os estudantes não foram capazes de responder a todas as perguntas dos questionários (Fig. 7). Por exemplo, um aluno do curso de sistemas para internet, que é deficiente visual, explicou que não conseguia se recordar desses conteúdos, uma vez que havia se passado bastante tempo desde que estudou os temas abordados.

O questionário "Interação luz com matéria" continha perguntas como: Quais são os principais fenômenos ondulatórios que a luz pode sofrer? Você sabe o que é a reflexão da luz? Você sabe como ocorre a refração da luz? Você sabe o que é a absorção da luz? Um único raio de luz incidente pode sofrer mais de um fenômeno óptico ao mesmo tempo?

O questionário "Transição eletrônica e níveis de energia - átomo de Bohr" incluía perguntas como: Você sabe o que é o átomo e do que ele é constituído? Quais partículas constituem o núcleo do átomo? Você sabe o que é a eletrosfera? Qual partícula é localizada nela? Você sabe qual é o formato da eletrosfera? O que ocorre quando um elétron absorve certas quantidades de energia? O elétron pode saltar para uma órbita eletrônica mais externa quando absorve qualquer quantidade de energia? Você sabe o que é um fóton?

O questionário "Espectros ópticos contínuos e discretos (2024)" tinha perguntas como: O que caracteriza um espectro óptico contínuo? Qual é a diferença entre um espectro de emissão e um espectro de absorção? Como são as características dos espectros ópticos descontínuos? Qual é a principal diferença entre os espectros contínuos e os discretos? Como os cientistas usam

Questionário Transição Eletrônica e Níveis de Energia: Modelo Átomo de Bohr (a)

1. Você sabe o que é o átomo? *A última partícula divisível de uma partícula.*
2. De que o átomo é constituído? *de energias.*
3. Quais partículas constitui o núcleo do átomo? *Elétrons neutrons.*
4. Você sabe o que eletrosfera? Qual partícula é localizada nela? *Camada que juntam os elétrons.*
5. Você sabe qual é o formato da eletrosfera? *Circular.*
6. O que ocorre quando um elétron absorve certa quantidade de energia? *Não sei.*
7. O elétron pode saltar para uma órbita eletrônica mais externa quando absorver qualquer quantidade de energia? *Pode sim.*
8. Você sabe o que é um fóton? *Da luminosidade, faltam partículas luminosas.*

Questionário Interação Luz e Matéria (pré-teste) (b)

1. Quais são os principais fenômenos ondulatório que a luz pode sofrer? *A luz pode sofrer alguns obstáculos.*
2. Você sabe o que é reflexão da luz? *É quando a luz colide em alguma matéria e reflete.*
3. Você sabe como ocorre a refração da luz? *Quando a luz encontra um obstáculo e atravessa em quantidades fracionadas.*
4. Você sabe o que é absorção da luz? *É quando a luz encontra um corpo e tem a capacidade de absorver uma certa quantidade de energia.*
5. Um único raio de luz incidente pode sofrer mais de um fenômeno óptico ao mesmo tempo? *Sim, acredito que existem materiais na natureza que podem sofrer mais de um fenômeno.*

Figura 7 - Falta a legenda da figura.

espectros ópticos para identificar a composição de estrelas?

4.2. Aplicação das maquetes

Nessa fase, utilizamos as maquetes como recursos educacionais (como mostra a Fig. 8). Os estudantes tiveram a oportunidade de interagir com as maquetes táteis, o que lhes permitiu explorar os conceitos de espectroscopia óptica de maneira prática e envolvente.

Durante as atividades com as maquetes, os alunos exibiram uma compreensão mais significativa dos conceitos, evidenciada pela interação produtiva e pelas perguntas feitas durante a exploração. Seu envolvimento e interesse refletiram não apenas a assimilação dos conteúdos, mas também uma conexão com o processo de aprendizado. O ambiente colaborativo encorajou a troca de ideias, enriquecendo tanto a experiência coletiva quanto a individual dos alunos.

Durante a interação com as maquetes, os alunos imergiram em uma jornada de descoberta que revelou uma compreensão mais profunda dos conceitos fundamentais: a interação da luz com a matéria, o modelo do átomo de Bohr e os espectros ópticos, tanto contínuos quanto discretos.

Na segunda maquete, os estudantes destacaram minuciosamente as distinções entre prótons, nêutrons e elétrons, demonstrando assim uma absorção mais completa do tema. À medida que exploravam as maquetes, observou-se uma melhoria significativa na compreensão dos alunos, que conseguiram estabelecer conexões diretas entre os conceitos teóricos e suas representações tangíveis, promovendo uma aprendizagem mais sólida e significativa.

4.3. Discussão e reflexão

Na etapa de discussão e reflexão, promoveu-se uma discussão estruturada sobre os aprendizados adquiridos durante a interação com as maquetes (Fig. 9). Esse momento foi fundamental para a consolidação dos



Figura 9 - Momento de discussão e reflexão (2024).

conceitos, pois os alunos compartilharam suas observações e compreensões, promovendo um ambiente colaborativo e enriquecedor.

Na Fig. 10, as respostas da segunda aplicação demonstram uma compreensão muito mais clara dos conceitos. O uso das maquetes táteis parece facilitar o entendimento dos alunos sobre espectroscopia, como mostrado pelas respostas mais detalhadas e corretas nessa etapa.

Com a metodologia adotada, buscou-se não apenas fornecer uma abordagem inclusiva para o ensino de espectroscopia óptica, mas também incentivar a participação ativa de todos os alunos, independentemente de suas habilidades visuais. Almejou-se que as maquetes táteis pudessem ser aplicadas tanto em contextos formais de sala de aula quanto em ambientes não formais de ensino, como museus de



Figura 8 - Aplicação das maquetes (2024): (a) interação da luz com a matéria; (b) transição eletrônica; (c) espectros ópticos contínuos e discretos.

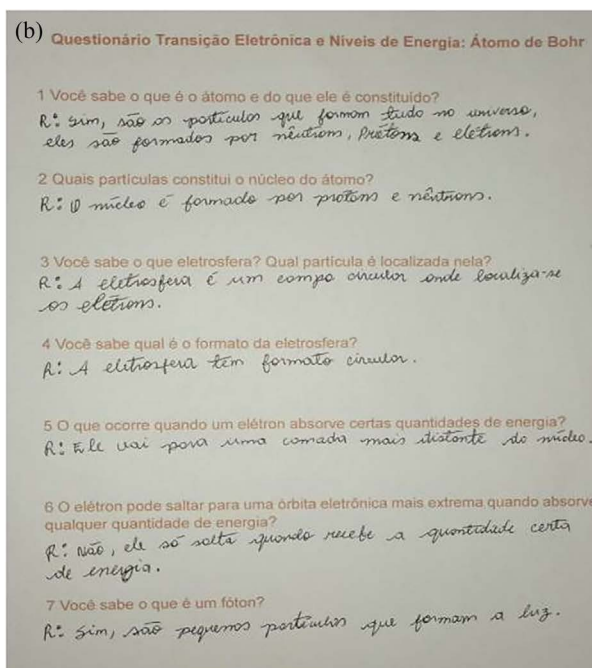
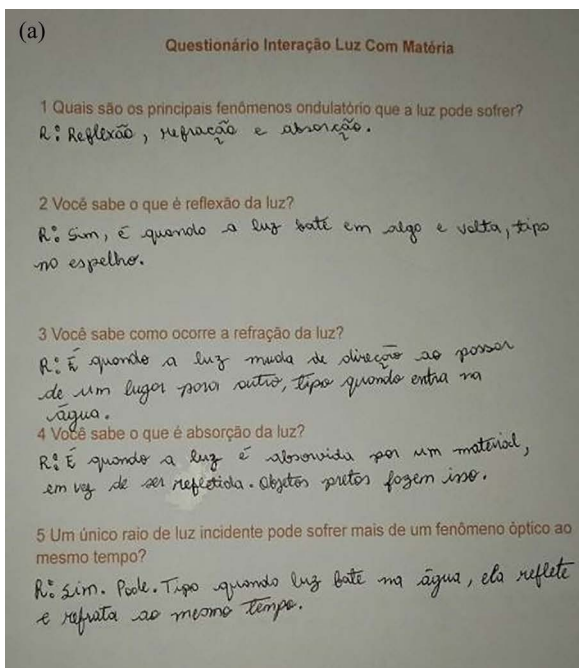


Figura 10 - Questionário de avaliação de conhecimentos após aplicação das maquetes (2024).

ciências, contribuindo para uma educação mais dinâmica e acessível.

5. Conclusão

Este artigo explorou uma abordagem alternativa e inclusiva para o ensino de espectroscopia óptica, introduzindo maquetes táteis como ferramentas educacionais. Buscamos enfrentar os desafios presentes no contexto educacional brasileiro, especialmente em relação à inclusão de alunos com deficiência visual nas disciplinas de ciências exatas e da terra.

A utilização de maquetes táteis mostrou-se uma estratégia eficaz na promoção da compreensão dos conceitos de espectroscopia óptica, tanto para alunos videntes quanto para aqueles com deficiência visual. A interação com as propostas de maquetes proporcionou uma experiência de aprendizado enriquecedora, permitindo a superação das barreiras iniciais e criando um ambiente inclusivo e participativo. Os resultados obtidos nas diferentes fases de aplicação das maquetes não apenas demonstraram a eficácia dessa ferramenta no processo de ensino, mas também evidenciaram a capacidade de adaptação e compreensão dos alunos ao conteúdo abordado. A progressão positiva nas respostas dos questionários ao longo das etapas de implementação reforça a relevância dessa abordagem para a consolidação dos conceitos de espectroscopia óptica.

Isso indica que o uso de maquetes táteis foi eficaz para a compreensão dos conceitos de espectroscopia óptica tanto por alunos videntes quanto por aqueles com deficiência visual. A abordagem participativa e interativa permitiu uma compreensão mais significativa

dos temas, superando as limitações iniciais apresentadas nos questionários.

A interação entre os alunos durante a exploração das maquetes destacou o potencial das atividades táteis para criar um ambiente de aprendizado inclusivo e envolvente. A progressão positiva nas respostas dos questionários ao longo das fases de aplicação ressalta a eficácia da metodologia proposta na consolidação dos conceitos de espectroscopia óptica. Esses resultados incentivam a continuidade do desenvolvimento e aplicação de maquetes táteis como ferramentas educacionais inclusivas, promovendo a democratização do acesso ao conhecimento científico de forma tangível e significativa. É fundamental ressaltar que o impacto das maquetes vai além do ensino da óptica, abrindo possibilidades para sua aplicação em diversas disciplinas da física e em outros campos. A versatilidade dessas ferramentas oferece um potencial significativo para a criação de ambientes de aprendizado inclusivos, tanto em contextos formais quanto não formais.

Além disso, este trabalho está alinhado com a legislação brasileira, que preconiza a educação inclusiva, reconhecendo a necessidade de estratégias pedagógicas diferenciadas para atender às demandas específicas dos alunos com deficiência visual. As maquetes táteis, ao proporcionarem uma compreensão igualitária dos conceitos, contribuem para a construção de um ambiente educacional mais acessível e equitativo.

Ao concluir este estudo, reconhecemos a importância contínua do desenvolvimento de práticas inclusivas no ensino de ciências. Este trabalho não apenas apresenta uma abordagem promissora, mas também convida educadores, pesquisadores e instituições a refleti-

rem sobre como podem contribuir para a construção de um futuro educacional mais inclusivo.

Nesse sentido, encorajamos a continuidade das pesquisas sobre métodos alternativos de ensino, a adaptação das maquetes táteis para outros temas e a expansão dessa abordagem para diferentes contextos educacionais. A busca por estratégias que promovam a participação ativa de todos os alunos, independentemente de suas habilidades visuais, é essencial para o avanço de uma educação verdadeiramente inclusiva e igualitária. Expressamos nossa

esperança de que este trabalho possa inspirar novas iniciativas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro.

Recebido em: 22 de Agosto de 2024

Aceito em: 30 de Outubro de 2024

Notas

¹https://drive.google.com/file/d/1sT8C9-AbYkfzHbeUHXFbhQl9sw1e6zrJ/view?usp=drive_link.

²Na física quântica, um fóton é a menor unidade de luz. Sem massa de repouso e viajando à velocidade da luz, ele possui propriedades de onda e partícula. Fótons carregam energia e momento, essenciais em fenômenos como absorção, emissão e propagação da luz. Disponível em www.guia.heu.nom.br/foton.htm, acesso em 6 jul. 2024.

³Qubits são a unidade básica de informação em computação quântica, em contraste com os bits na computação clássica. Enquanto os bits só podem ter estados 0 ou 1, os qubits podem estar em uma superposição desses estados, permitindo cálculos mais eficientes. Disponível em <https://encontrografia.com/978-65-88977-72-9>, acesso em 6 jul. 2024.

Referências

- [1] A.L. Azevedo, A.K. Sousa, T.J. Castro, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, e20180349 (2019). [doi](#)
- [2] A.K. Souza, D.M. Lima, S. Oliveira, in *Anais Do Enic: Técnica Ftir e Suas Aplicações em Amostras Orgânicas* (ENEPEX, Dourados, 2015), p. 1-5.
- [3] E.G. Mendes, F. Cia, L.S. Cabral, Revista Brasileira de Educação Especial **22**, 315 (2016). [doi](#)
- [4] J.P. Torres, E.G. Mendes, Revista Insignare Scientia **1**, 1 (2018). [doi](#)
- [5] M.A. Moreira, Revista Brasileira de Ensino de Física **43**, e20200451 (2021). [doi](#)
- [6] E.P. Camargo, *Ensino de Física Multissensorial* (Encontrografia, Rio de Janeiro, 2022). [doi](#)
- [7] H.H. Buzza, C.P. Campus, M.B. Requena, C.T. Andrade, I.S. Leite, e cols, A Física na Escola **16**(1), 21 (2018).
- [8] Brasil, *Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência* (Estatuto da Pessoa com Deficiência, Brasília, 2015).
- [9] A.R. See, W.D. Advincula, Applied Sciences **11**, 7552 (2021). [doi](#)
- [10] Diário Oficial Da União, *Dia Mundial da Visão Alerta Para a Prevenção da Cegueira no País*. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/10/diamundial-da-visao-alerta-para-a-prevencao-da-egueira-no-pais>, acesso em 17/03/2025.
- [11] Portal do MEC, *Data Reafirma os Direitos das Pessoas com Deficiência Visual*. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/deficiencia-visual>, acesso em 17/03/2025.
- [12] H.M. Nussenzeig, *Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica* (E. Blucher, São Paulo, 2014), p. 3-39.
- [13] T.C. Esser, R.C. Schwerz, M.C. Batista, Research, Society and Development **11**, e96111132191 (2022). [doi](#)
- [14] Ediyanto, N. Kawai, Journal of Physics **1227**, 012035 (2019). [doi](#)
- [15] T.M. Silveira, M.S. Miltão, *Educação Não-Formal e Mapas Conceituais: Estudo de Fenômenos da Natureza*. Disponível em https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33484068/Atas_II_SNEA_2012_TCP43_-TamilaMiltao-_Ensino_ao_Formal_Fisica_Mapas_Conceituais-libre.pdf, acesso em 17/03/2025.
- [16] M. Shamos, *The Myth of Scientific Literacy* (Rutgers University Press, New Brunswick, 1995).
- [17] A.C. Azevedo, A.C. Santos, Physics Education **49**, 383 (2014). [doi](#)
- [18] UNESP, *Lei de Lambert-Beer*. Disponível em <https://www.dracena.unesp.br/Home/Graduacao/espectrofotometria.pdf>, acesso em 17/03/2025.
- [19] L. Alain, *O Mistério da Cor do Ouro e das Demais Cores*. Disponível em <https://jornaldouro.blogspot.com/2015/03/o-misterio-da-cor-do-ouro-e-das-demas.html>, acesso em 17/03/2025.
- [20] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física, Volume 4: Óptica e Física Moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2019), p. 39-111.
- [21] R. Eisberg, R. Resnick, *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Núcleos e Partículas* (GEN LTC, Califórnia, 1979), p. 129-160.
- [22] A.S. Oliveira Junior, M.V.O. Rodrigues, L.G.S.O. Pereira, B.A. Fary, e cols, ACTIO: Docência em Ciências **3**, 75 (2018). [doi](#)
- [23] N.H. Morgon, Química Nova **36**, 593 (2013). [doi](#)
- [24] P.V. Cavalcante, *Desenvolvimento e Caracterização de Filme Ativo Antimicrobiano de Amido de Araruta/Quitosana Incorporado com Óleo Essencial de Thymus Vulgaris*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- [25] M.K. Oleveira, *Vygotsky: Aprendizado e Desenvolvimento, Um Processo Sócio-Histórico* (Scipione, São Paulo, 2002), p. 55-79.