

Demonstrações exploratórias em óptica física via materiais de baixo custo

.....
G.C. da S. Valadares¹, E.L.H. Angulo¹
M.A.M. de Oliveira^{2, #}

¹Universidade Federal do Acre,
Campus Rio Branco, AC, Brasil.

²Escola Estadual de Ensino Médio
Raimunda Silva Pará, SEE, Rio Branco,
AC, Brasil.

RESUMO

Propomos neste artigo a utilização e a atualização de uma sequência didática com construção e execução de experimentos demonstrativos para auxiliar o professor, principalmente de escolas públicas, em suas práticas e quiçá tornar o ensino de óptica física potencialmente significativo no que diz respeito a aspectos conceituais e lúdicos associados ao tema, por meio do uso sequenciado e planejado de materiais simples e de baixo custo, capazes de reproduzir efeitos de difração, interferência e dispersão da luz. Com isso, acreditamos poder contribuir para o debate sobre ensino de Física Básica em nossas escolas.

Palavras-chave: experimento; óptica; baixo custo

.....

1. Introdução

A pesar de vivermos em tempos de acesso às informações em velocidade, qualidade e quantidade nunca experimentadas, ensinar física ainda tem se mostrado desafiador. A prática de ensino de Física Básica, reúne uma gama de condicionantes, que convergem em muitos aspectos, para o insucesso da aprendizagem pelos nossos alunos, preconizados por Candau [1], esses condicionantes apontam para discussões acerca de políticas educacionais, formação inicial e continuada dos professores, demandas sociais e políticas, currículos formais e ocultos, carência ou ausência de intervenções experimentais, dentre outros. Estes fatores condicionantes só colaboram para dificultar a aprendizagem que engessa as práticas de sala de aula, com frequência tornando-as ineficazes. Como tornar o ensino de óptica, potencialmente significativo? Quais construções pedagógicas podem auxiliar o docente em suas práticas?

Em sua teoria cognitiva de ensino e aprendizagem, Ausubel [2] preconiza que para que a aprendizagem seja significativa é necessário que o novo conhecimento se relacione com os já existentes na estrutura cognitiva e que o estudante tenha disponibilidade em aprender.

Dessa forma, a linguagem, em suas mais variadas formas, deve ser adequada e com gradações distintas, sendo a visual, recorrente em todo o trabalho, usada para introduzir subsunções, como sugere Ausubel [2].

Pensar no ensino de física sem apresentar a relação entre fenômeno, experimento e teoria tende a obliterar para o aprendiz como exercer as atividades dessa ciência. A contingência de tempo e espaço durante as práticas docentes tende a limitar a eficiência em trabalhar temas que levaram anos para serem investigados. Nossa proposta funde-se ao plano de aula do professor, auxiliando-o em sua execução. Buscamos assim, com a aplicação da sequência, referenciada pela Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, averiguar indícios de aquisição e retenção de significados de termos re-

correntes de ondas, difração e interferência.

O presente artigo será apresentado em cinco seções, sendo que a seção 2 versará sobre a teoria de Ausubel, seus pressupostos e uma explanação sobre ensino por experi-

mentos.

Na seção 3, faremos uma explanação descritiva sobre as sequências didáticas, bem como os experimentos realizados. A seção 4 é destinada aos resultados e discussões e na seção 5 teremos as considerações finais.

2. Fundamentação teórica

David P. Ausubel, médico e psicólogo norte-americano (1918-2008), apresenta-nos uma teoria cognitiva conhecida como teoria da aprendizagem significativa (TAS), pela qual a cognição do aprendiz ocupa o centro de todo o processo de aprendizagem.

Nesse enfoque, Ausubel [2] propõe um percurso cognitivo diferente em

Em sua teoria cognitiva de ensino e aprendizagem, Ausubel preconiza que para que a aprendizagem seja significativa é necessário que o novo conhecimento se relacione com os já existentes na estrutura cognitiva

#Autor de correspondência. e-mail: kalixto.ganimedes@bol.com.br.

que certos fatores concorrem para a obtenção e a retenção de significados. A presente proposta surge em oposição ao comportamentalismo e propõe que a construção da aprendizagem, ocorre por meio da ligação de algum conhecimento a uma estrutura já internalizada na mente do aprendiz, ou seja, a um conhecimento prévio já internalizado. Sendo assim, ao se conectar, segundo Ausubel [3], esse conceito/significado modifica-se, produzindo novos conhecimentos, ou seja, liga-se ao outro conhecimento de forma não-literal. A informação, portanto, deve ser lógica, como preconiza Moreira [4], deve relacionar-se com algum conhecimento que o aluno já possua e ao mesmo tempo deve fazer sentido para o mesmo. Na teoria de Ausubel, de acordo com Moreira [5], o processo de ancoragem da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor. Desse modo, a TAS, de acordo com Moreira e Masini [6], exige que já exista uma estrutura cognitiva internalizada na mente do aprendiz que permita que um novo conceito, figura ou proposição ligue-se de modo significativo ao que Ausubel [2] classificou como conceito *subsunçor*, ou ideia-âncora, que na verdade representa um facilitador da aprendizagem.

2.1. Ensino por experimentos

Frente ao sucesso soviético dentro da corrida espacial, os Estados Unidos da América iniciaram, dentro do Instituto Tecnológico de Massachusetts, MIT, o programa conhecido Physical Science Study Committee (PSSC). Criado em 1956, de acordo com Gaspar [7], o PSSC tinha como objetivo reformular todo o *modus operandi* de ensinar a física do Ensino Médio. Nesse enfoque, o ensino de física em educação básica passaria a ter uma forte identidade experimental de caráter construtivista, em que o empirismo aristotélico, seria contemplado. Assim como nos Estados Unidos, a pesquisa em ensino de física básica é recente em nosso país. Com programas voltados para o Ensino Médio na década de 60, como descreve Gaspar [7], tivemos a experiência inicial de certo modo referenciada no modelo norte-americano.

O programa dependia de um conjunto de materiais que foram reunidos em uma caixa metálica, que em muito lembrava o formato de uma geladeira, formado uma espécie de *kit*, e esses materiais reunidos, bem como os manuais instrucionais, os livros didáticos, e os ví-

deos dos experimentos, permitiriam aos professores executar suas práticas.

Esses *kits* tiveram sua difusão restrita no Brasil. Além disso, quando da tradução e adaptação para nossa realidade, tivemos problemas análogos aos dos norte-americanos:

- poucos professores tiveram acesso ao material;
- muitos sentiram incapazes de aplicá-los;
- os estados da federação não foram todos contemplados;
- faltavam peças de reposição e alguns *kits* chegavam incompletos.

Um dos objetivos do ensino de física é sem dúvida, alcançar uma aprendizagem efetiva e a compreensão ou reconstrução de conceitos científicos a partir de um pressuposto teórico. Nesse enfoque, Paraná [8] enfatiza que o conhecimento científico é uma construção humana com significados históricos, políticos e sociais. Desse modo, como esclarecem Wesendok e Prado [9], a experimentação em ensino de Física Básica é parte integrante de todo e qualquer processo de produção de conhecimentos físicos, sendo uma fração considerável da construção e da evolução da física.

Podemos inferir que a experimentação, independentemente da abrangência, é parte integrante do processo de ensino de física, no qual o professor é sem dúvida participante indispensável. Entretanto, como descreve Laburú [10], há indagações sobre qual é a verdadeira importância didática do experimentalismo.

O PSSC, então, fez surgir novos debates acerca da experimentação em educação básica:

- Qual é o verdadeiro papel da experimentação?
- Quais as melhores formas de adotá-la em sala de aula?
- Até que ponto conseguimos identificar a importância das atividades experimentais na construção e na retenção de significados?

Trabalhos sinalizam que a simples demonstração, em acordo com Rezende e Ostermann [11], não é suficiente para desencadear o processo de construção do conhecimento físico, uma vez que a prática experimental está inserida em um universo contextual epistêmico e pedagógico que envolve concepções de cotidiano, realidade, metodologia científica, aprendizagens, conhecimentos

prévios e currículos. Como sugerem Rosa e Rosa [12], podemos agrupar as visões epistêmicas da experimentação em quatro classes:

- Demonstrativa;
- Empiricista-Indutivista;
- Dedutivista-Racionalista;
- Construtivista.

Na visão Demonstrativa, temos a apresentação/demonstração experimental como verdade, não se permitindo a construção do conhecimento com um todo, uma vez que a observação do fenômeno representa a origem do conhecimento. Utiliza-se o método ou visão Demonstrativa com diversos objetivos tais como:

- Comprovar teorias ou princípios;
- Motivar o aluno, dentro do processo de ensino e aprendizagem.

No entanto, como preconizam Rosa e Rosa [12], é importante deixar claro que a simples motivação provocada pela demonstração não consegue elicitar o processo de construção do conhecimento.

Em aulas práticas demonstrativas, o professor geralmente leva pronto um experimento para a sala de aula, ou pode pedir a cooperação de seus alunos na aquisição de materiais.

Na visão Empiricista-Indutivista, temos a manifestação da escola positivista aristotélica, destacando observação e experimentação como fonte do conhecimento, em que o conhecimento final segue uma linha rígida e sequenciada que se inicia com a coleta de dados e continua com a observação, a experimentação e a análise dos dados, finalizando com a formulação de leis e princípios.

Essa vertente é o método dos experimentos fechados, realizados nos cursos de graduação em física, dentro de nossas universidades, e sinaliza para uma ciência infalível, caso os passos sejam respeitados, ou seja, uma visão rígida.

Já na visão Dedutivista-Racionalista, as atividades experimentais são desenvolvidas a partir de hipóteses extraídas de uma teoria geral, ou seja, estão permeadas de suposições, de pressupostos, sendo que a observação e a experimentação, tão importantes na visão empirista, não serão por si só suficientes para se construir o conhecimento ou para desencadear seu processo de construção. Caso o conhecimento construído ou descoberto pelo aprendiz não

seja significativo, a aprendizagem não será duradoura, podendo até ser mecânica/memorizada, ou seja, efêmera.

Por fim, temos a visão Construtivista, em que as práticas são planejadas levando-se em consideração as concepções prévias dos alunos e em que os experimentos são desenvolvidos pela problematização ou testagem de hipóteses. Supõe-se então que nessa linha pedagógica, o conhecimento, além de ser construído, deve ser antes descoberto pelo aluno, orientado pelo professor, tendo o aprendiz papel de protagonista na construção do conhecimento ou reconstrução mediante o uso de estruturas já existentes, sendo que o diálogo é preponderante dentro dessa visão e o professor é mediador desse processo. Embora os diversos programas internacionais e nacionais de ensino, décadas de 60 e 70, apresentarem avanços no ensino de Física Básica, foram posteriormente suprimidos ou completamente abandonados.

3. Descrição da pesquisa

A pesquisa a que se refere este artigo foi aplicada em duas escolas públicas, ambas estaduais e dentro do perímetro urbano do município de Rio Branco (AC), em momentos distintos e separados por um intervalo de oito meses, nos anos de 2018 e 2019. Foram duas turmas na primeira escola e oito turmas na segunda, sempre na segunda série do Ensino Médio. Ao todo, foram necessárias 8 aulas de 50 minutos, em um período de quatro semanas.

Os temas foram inseridos no grande capítulo da óptica e só foram trabalhados após o professor finalizar conceitos clássicos de propagação de raios, reflexão e refração da luz, imagens formadas e outros temas afins de óptica geométrica.

O trabalho teve a intenção intrínseca de demonstrar uma limitação da óptica geométrica ao tentar explicar determinados efeitos, como a difração, a interferência e a propagação e difração de frentes de ondas na água.

Todas as aulas, permeadas de inter-

venções e provocações pontuais, foram desenvolvidas por meio de atividades experimentais demonstrativas, sem o objetivo de efetuar medidas, já que a sequência foi planejada para atender ao plano de aula do professor.

Desse modo, as demonstrações foram inseridas no contexto com provocações problematizadoras, com o intuito de desafiar os estudantes.

Em momentos pontuais das aulas, os alunos foram convidados a participar fisicamente, segurando os materiais, exceto o laser. É importante lembrar que são experiências demonstrativas, construídas levando-se em consideração todo o planejamento do professor.

O ponto inicial da pesquisa é a explicação da proposta aos alunos e a aplicação de um breve questionário diagnóstico para avaliar a existência ou não de conhecimentos prévios acerca de ondas, espectro eletromagnético, dispersão, interferência e difração de ondas luminosas.

As intervenções foram desenvolvidas de tal forma que atingissem o maior número de alunos ao mesmo tempo. Portanto, as carteiras dos alunos ora estavam em círculos, ora rentes às paredes da sala, formando um quadrilátero e permitindo sempre o maior campo visual possível durante as práticas.

3.1. Organização das sequências

Para uma melhor compreensão e visualização da atividade desenvolvida, apresentaremos tabelas com os temas das sequências, a descrição da sequência didática e a descrição de cada aula. Na [Tabela 1](#), dispomos os temas das sequências em três grupos: o Grupo 1 permitirá introduzir visualmente o espectro visível da luz branca, bem como a disposição das cores; o Grupo 2 possibilitará introduzir conceitos importantes como a difração de ondas mecânicas na água e o Grupo 3 abordará os temas de difração e interferência da luz, bem como as condições para sua ocorrência.

Na [Tabela 2](#), apresentamos de que modo cada sequência foi organizada,

Tabela 1: Temas das sequências.

Grupo 1	Dispersão e cores dos corpos
Grupo 2	Ondas: conceitos fundamentais
Grupo 3	Difração e interferência

Tabela 2: Descrição das sequências.

I	Tema da aula
II	Duração
III	Objetivos
IV	Conteúdos
V	Problematizações
VI	Demonstrações
VII	Avaliação

sendo que nesse sentido deixamos claro para o professor o tema da aula, a duração de cada aula, os objetivos (capacidades e habilidades) a serem alcançadas e os tipos de problematização que serão introduzidos ou sugeridos, bem como orientações importantes sobre as práticas experimentais demonstrativas.

Na [Tabela 3](#), apresentamos os temas de cada encontro, sendo o primeiro e o último, utilizados para avaliações, observando que a primeira avaliação, em caráter investigativo/diagnóstico, foi usada para a escolha das práticas e da metodologia e a última será avaliativa de todo o percurso, em que buscamos indícios de aquisição e retenção de significados da frente de óptica.

Para execução das práticas contidas nas sequências, utilizamos uma pequena lista de materiais de fácil aquisição a um custo muito baixo sendo que muitos deles, à exceção do laser de rubi e da lanterna, podem ser solicitados aos alunos, pois eles sempre apreciam colaborar na construção dos experimentos. Os materiais utilizados na construção do *kit* são:

- 1 laser (λ 532 nm, 100 mW);
- 1 lanterna de LED (20 W);
- 1 CD;
- 1 forma de vidro refratário;
- 1 caixa de gilete;
- 4 cartolinas coloridas;
- 2 pedaços de madeira retangulares (para as fendas);

Tabela 3: Descrição das aulas da sequência.

Aula	Tema	Duração (min)	Quantidade de aulas
1	Pré-teste diagnóstico	50	1
2	Dispersão e cor	100	2
3	Ondas	100	2
4	Difração e interferência	100	2
5	Avaliação	50	1
	Total	400	8

- 3 bolinhas de isopor pequenas;
- 6 caixas de remédio vazias (pequenas);
- 1 barra de sabão ou sabonete;
- 1 anzol pequeno (lambari);
- 2 placas retangulares de plástico (para as fendas);
- 1 rolo de fita adesiva;
- 4 fios de cabelo.

Cabe neste momento uma observação acerca do modelo do laser, para que os efeitos de difração e interferência obtidos sejam similares ou muito próximos; é necessária uma fonte como a apresentada na Fig. 1a, pois é possível deixá-la sem o colimador. Esse procedimento se faz necessário porque potencializa os efeitos de difração de Fresnel, e outros dispositivos não permitem essa liberdade. Para a lanterna possibilitar uma ótima resolução do espectro de dispersão da luz branca, sugiro lanternas de LED que possuam pelo menos 2.000 lúmens de fluxo (20 W), como mostra a Fig. 1b. Essas recomendações são pertinentes para a obtenção de resultados similares ou muito próximos aos obtidos pelos autores. Um laser desse modelo custa cerca de R\$ 50,00 e a lanterna em questão, cerca de R\$ 35,00. Essas lanternas são comumente conhecidas com lanternas táticas, usadas pelas forças de segurança.

3.2. Descrição das aulas

Como foi apresentado na seção 3.1, descreveremos as ações pertinentes à execução das aulas: os temas, a duração, os objetivos, as problematizações e as orientações para a obtenção das imagens, de modo que os objetivos sejam

alcançados.

Apresentaremos a descrição de todas as aulas da sequência, de modo a facilitar o plano de aula do professor.

3.3 Aplicações das sequências

3.3.1. Tema da aula 1: Aplicação do pré-teste de diagnose

- I) Duração: 50 min
- II) Quantidade de aulas: 1
- III) Objetivos
- a) Gerais:

- Verificar a presença ou não de subsunções relevantes ao ensino de óptica ondulatória.

b) Específicos

- Verificar, de modo parcial, a presença ou não de subsunções sobre difusão da luz, cores dos corpos e dispersão da luz branca e suas implicações;
- Verificar, de modo parcial, a presença ou não de subsunções sobre ondas e ondas eletromagnéticas;
- Verificar, de modo parcial, a presença ou não de subsunções sobre difração e interferência da luz.

c) Recomendações sobre a construção de pré-teste e pós-teste

O teste deve conter questões que obedeçam a critérios como:

- Número ideal de alternativas: duas, no máximo três;
- Construção de alternativas contendo questões verdadeiras ou falsas, ou simplesmente questões objetivas;
- Imagens claras e com boa resolução;
- Aspectos denotativos respeitados ao longo do texto.

3.3.2. Tema da aula 2. Dispersão da luz e a cor de um corpo

- I) Duração: 100 min
- II) Quantidade de aulas: 2
- III) Objetivos
- a) Gerais:

- Caracterizar a cor dos corpos em função da cor da luz refletida /absorvida;
- Discutir a composição e a dispersão espectral da luz branca.

b) Específicos:

- Conceituar fenômenos de absorção e reflexão em superfícies coloridas;
- Explicar a cor dos corpos em função da cor refletida por eles;
- Conceituar luz monocromática e policromática;
- Descrever e explorar o espectro visível da luz;

IV) Conteúdo

- Luz policromática e monocromática;
- Espectro visível e dispersão da luz branca;
- Cor de um corpo por reflexão;
- Absorção e reflexão do espectro visível.

V) Sugestão de problematização

- A luz branca pode ser composta de outras cores? Quais?
- Quais fenômenos ocorrem quando a luz da lanterna encontra um CD?
- Existe alguma semelhança entre o espectro observado em aula e o espectro do arco-íris?
- Por que a luz verde do laser não sofre decomposição quando incide no CD?
- Que tipo de fenômeno(s) ocorre(m) quando a luz verde do laser incide no CD?
- Em quais situações podemos observar a decomposição da luz branca?
- Por que uma camiseta preta se aquece mais que uma de cor branca, em dias ensolarados?
- O disco de Newton pode servir para demonstrar que a luz é formada por outros espectros?
- Procure uma maneira de girar esse disco e comente com os alunos o que ocorreu.

VI) Orientações e sugestões para as intervenções experimentais demonstrativas

a) Materiais para as práticas da aula 2

Nessa aula, devemos utilizar os materiais:



Figura 1 - a) modelo de laser utilizado. Fonte <https://shopee.com.br/Caneta-Laser-Pointer-Verde-Lanterna-i.283550455.3744170049>; b) modelo de lanterna utilizada. Fonte <https://submarino.com.br/busca/lanterna-tatica-1800-w>.

- 1 fonte laser;
- 3 cartolinas (cores primárias);
- 1 disco de Newton;
- 1 lanterna de LED;
- 1 CD usado.

b) Orientações específicas para as demonstrações

Nessa aula, procurou-se demonstrar o fenômeno da dispersão da luz branca, como consta na Fig. 2a, com detalhes de pelo menos quatro cores distintas, bem como demonstrar e trabalhar aspectos do espectro visível da luz branca, como demonstra a Fig. 2b. A luz da lanterna, ao incidir obliquamente sobre o CD, dispersa-se na superfície gravada (rede de difração) e em seguida é projetada num anteparo. Nesse caso, pode-se problematizar a não decomposição da luz monocromática do laser ao incidir no CD. Discuta com os alunos o porquê da não decomposição da luz verde do laser. Deve-se procurar uma imagem com boa resolução, pois, caso o professor mude a qualidade da lanterna, a qualidade da imagem será sensivelmente afetada. Os alunos podem fotografar/filmar com o celular, podendo até mesmo desenhar, destacando as cores e sua disposição, e comparar com o espectro visível da luz encontrado no livro-texto ou em outras fontes de consulta.

3.3.3. Tema da aula 3: Ondas, conceitos e fundamentos

I) Duração da aula: 100 min

II) Quantidade de aulas: 2

III) Objetivos

a) Geral

- Caracterizar e definir ondas mecânicas e eletromagnéticas e discutir conceitos fundamentais como velocidade, propagação e difração de frentes de onda na superfície de um líquido.

b) Específico

- Definir e discutir ondas, velocidade de propagação, comprimento de onda;
- Definir e discutir o conceito de frentes de onda;
- Estudar e observar a propagação de frentes de onda mecânicas circulares na superfície da água;
- Caracterizar, definir e observar o fenômeno da difração de frentes de onda mecânicas circulares na água;
- Introduzir o conceito de ondas eletromagnéticas, com suas características e fundamentos;
- Realizar uma microscopia a laser da água, com organismos microscópicos presentes.

IV) Conteúdo

- Ondas: fundamentação;
- Frentes de onda na superfície da água;
- Difração de ondas na água;
- Introdução às ondas eletromagnéticas: microscopia a laser da água.

V) Sugestão de problematização

- O que é uma onda?
- Como são produzidas?
- O que transportam?
- Toda onda precisa de um meio para se propagar?
- A velocidade de todas as ondas é sempre igual?

- A luz pode ser considerada uma onda eletromagnética?
- A difração pode ser considerada um fenômeno tipicamente ondulatório?
- O que é uma frente de onda circular ou plana?
- O que ocorre quando uma frente de onda encontra uma fenda ou obstáculo com abertura/dimensões comparáveis ao comprimento de onda?
- Existe alguma relação entre a abertura/dimensões da fenda e o comprimento da onda incidente?
- No caso da microscopia com o laser, o comprimento de onda do laser é relevante para a produção da imagem?

VI) Orientações e sugestões para as intervenções experimentais demonstrativas

a) Materiais das práticas da aula 3;

Nessa aula, devemos utilizar os materiais:

- 1 fonte laser;
- 1 forma de vidro;
- 1 lanterna;
- 2 tocos de madeira;
- 3 seringas de plástico de 10 mL;
- 1 sabonete;
- 2 placas de plástico.

b) Orientações para as demonstrações:

Nessa aula, procurou-se introduzir o conceito de ondas, frentes de ondas e difração, bem como outros conceitos pertinentes, pela produção/observação de ondas propagando-se em uma forma de vidro refratário, como mostra a Fig. 3a. A forma (contendo água) deve estar apoiada nas extremidades: use as cadeiras da sala de aula. Caso queira a projeção no teto, você deverá posicionar a lanterna na parte de baixo da forma; caso queira a projeção no piso da sala de aula, a lanterna ligada deve ser posicionada de cima para baixo. Com a lanterna posicionada adequadamente, peça a um aluno para produzir um pulso com ponta do dedo/lápis; a imagem em questão deve ter similaridade com a Fig. 3b. Os alunos podem filmar ou fotografar a onda circular. Nessa figura, temos a imagem de uma frente de onda circular, mecânica bidimensional com frentes propagando-se com velocidade v e comprimento de onda λ , sendo possível perceber as cristas e os vales. Dessa forma, o próximo passo será um arranjo para produzirmos uma figura de difração da onda circular na água.

Introduza os tocos de madeira na água, deixando um espaço entre eles: comece com 2 cm, essa será a fenda. Produza um pulso apenas e peça aos

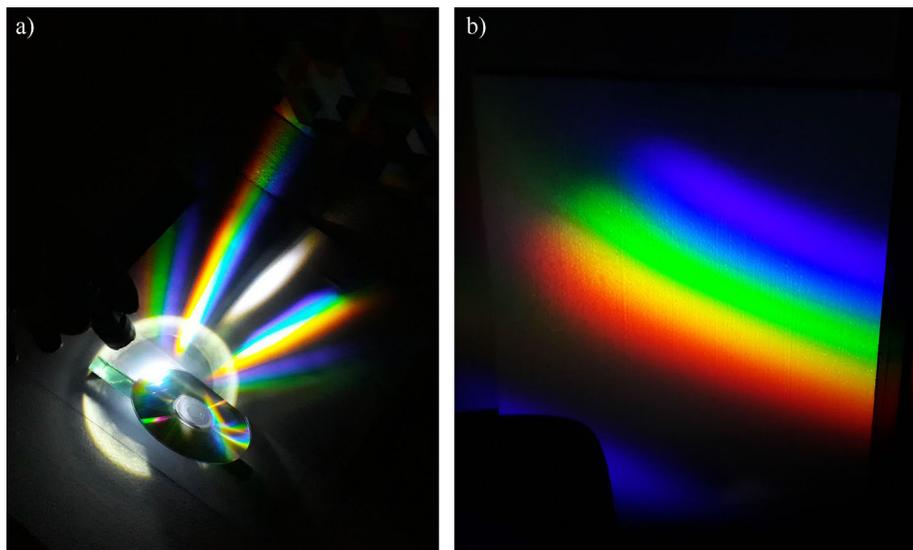


Figura 2 - a) dispersão da luz branca; b) espectro visível da luz branca.



Figura 3 - a) forma refratária de vidro para estudo de ondas; b) frentes de ondas circulares; c) ondas mecânicas difratadas.

alunos para observar o formato da onda antes e após passar pela fenda.

Repita o procedimento com aberturas cada vez menores, até que o efeito de difração se pronuncie.

Solicite a um ou mais alunos que registrem com o celular, filmando/fotografando, para se poder usar a função câmera lenta para melhor visualizar e registrar a difração, bem como percebê-la quadro a quadro. A imagem de difração obtida pode ser observada na Fig. 3c.

Uma vez apresentados esses fenômenos, realizamos uma montagem simples, com o objetivo de demonstrar a microscopia a laser da água. Com a montagem descrita na Fig. 4a, posicionamos o feixe do laser tangenciando uma pequena gota que se forma na extremidade da seringa, sendo que o resultado final é uma imagem fantástica, em que podemos evidenciar diversos organismos microscópicos, com formas esféricas, flageladas e cilíndricas, em movimento frenético; com algum esforço, é possível identificar as franjas de difração que se formam nos organismos esféricos, como vistos na Fig. 4b.

Peça aos alunos para filmar ou fotografar as imagens projetadas.

Observe com os alunos que a microscopia não pode ser explicada com recursos de óptica geométrica, já que o comprimento da onda do laser é crucial para definir a resolução da imagem.

3.3.4. Tema da aula 4: Difração e interferência da luz

- I) Duração: 100 min
- II) Quantidade de aulas: 2
- III) Objetivos:

a) Geral

- Discutir, observar e caracterizar conceitualmente os fenômenos de difração da luz em fios, lâminas e placas, de modo a justificar o aspecto ondulatório da luz e inferir sobre a dificuldade de explicar tais fenômenos exclusivamente via óptica geométrica;
- Apresentar o conceito de interferência de luz para explicar as franjas formadas.

b) Específicos

- Estudar e definir difração e interferência da luz, em caráter conceitual, para obstáculos com dimensões próximas ao comprimento de onda da luz;
- Discutir, observar e reproduzir difra-

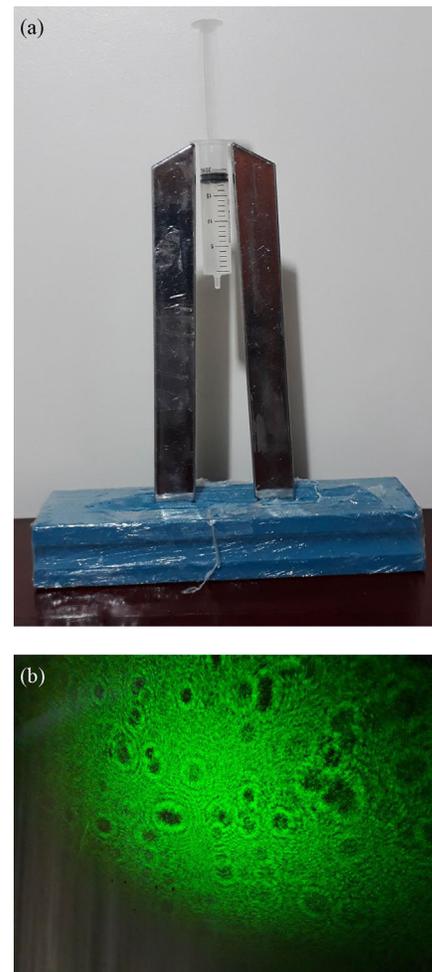


Figura 4 - a) montagem para microscopia da água; b) organismos microscópicos presentes na água.

ção e interferência da luz em fios de cabelo, lâminas de barbear, placas e fendas estreitas construídas com placas e lâminas de barbear, destacando os máximos e mínimos;

- Apresentar e observar as difrações de Fresnel (campo próximo) e Fraunhofer (campo distante) em fios de cabelo e lâminas de barbear.

IV) Conteúdos

- Difração e interferência.

V) Sugestão de problematização

- Um raio de luz, ao passar por uma fenda bem estreita ou fio de cabelo, pode mudar de direção, dependendo das dimensões da fenda ou do fio?
- A luz, sendo uma onda eletromagnética, pode, dependendo do tamanho do obstáculo, contorná-lo?
- A luz, sendo uma onda eletromagnética, além de poder contornar certos obstáculos, pode interagir com ela mesma e produzir, numa região, luz

mais intensa ou menos intensa?

- Interferência é um fenômeno tipicamente ondulatório?
- Quando uma franja de difração é projetada num anteparo, o que representam as regiões brilhantes?
- Existe realmente luz distribuída nesse local?
- Existe energia distribuída nesse local?
- Quando uma franja de difração é projetada num anteparo, o que representam as regiões escuras?
- Existe realmente luz localizada e distribuída nesse local?
- Você consegue observar uma variação ou diminuição na intensidade da luz, quando se afasta do centro brilhante?
- Existe periodicidade na disposição dos máximos e mínimos na figura formada por difração?
- O que ocorre com a região de máximos, quando aumentamos as distâncias entre as lâminas de barbear? E se diminuirmos as distâncias?
- Fixando-se a distância entre o obstáculo e o anteparo/parede de projeção das franjas, podemos observar diferenças na forma das franjas, caso o laser esteja distante (1,0 m) ou muito próximo (0,2 cm) do obstáculo?

VI) Orientações e sugestões para as intervenções experimentais demonstrativas

a) Materiais das práticas da aula 4

Para a execução da aula necessitaremos:

- 1 fonte de laser;
- 2 placas de plástico retangulares;
- fios de cabelos;
- 1 rolo de fita adesiva;
- 2 giletes de barbear;
- 1 barra de sabonete/sabão.

b) Orientações para demonstrações

Nesta seção, optou-se por apresentar alguns procedimentos necessários para descrever a difração de campo distante e próximo em fendas de simples fios de cabelo e lâminas de barbear, bem como em orifícios. Com as imagens produzidas, espera-se poder trabalhar os conceitos de difração e interferência da luz conceitualmente, destacando as regiões claras (interferência construtiva) das regiões escuras (interferência destrutiva), bem como as variações da intensidade da luz e sua periodicidade. É possível também diferenciar âmbitos em que se evidencia a difração de Fresnel e outros em que se observa a difração de Fraunhofer para um mesmo tipo

de obstáculo. É importante observar que esses efeitos foram obtidos para o modelo do laser usado, não sendo recomendado, caso o queira o professor obter resultados similares, trocar o modelo por um menos potente ou de outro comprimento de onda. Iniciamos então a construção do aparato para a difração em fenda simples com duas placas de plástico retangulares, como mostra a Fig. 5a. Nessa prática, o professor deve posicionar o laser a 1 m da fenda e a fenda deve ser disposta a pelo menos 4 m do local em que se deseja projetar a franja de difração. A imagem obtida apresenta uma região central muito brilhante (interferência construtiva), intercalada por regiões escuras (interferência destrutiva), como mostradas pela Fig. 5b. Nesse momento, é imperativo problematizar: variação de intensidade dos máximos, conceitos de interferências construtivas e destrutivas e frentes de onda. O próximo procedimento será realizar a difração por fio de cabelo, para a qual vamos utilizar o arranjo descrito na Fig. 6a. O professor deve fixar o fio de modo perpendicular às placas, com uma fita adesiva. Mantidas as distâncias da prática anterior (1 e 4 m), a franja obtida, quando projetada, tem certa similaridade com a figura de difração produzida pela fenda simples, com uma região central bem brilhante e máximos intercalados por mínimos, como podemos observar na Fig. 6b. Note que a intensidade dos máximos diminui à medida que nos afastamos da região central.

Para melhorar a resolução final das



Figura 5 - a) montagem de fenda única para estudo da difração; b) imagem de difração por fenda simples.

imagens produzidas, dentro da limitação intrínseca de nossos dispositivos, optamos nesse momento por construir fendas simples com lâminas de barbear, como mostra a Fig. 7a, tendo como resultado uma figura ou franja de

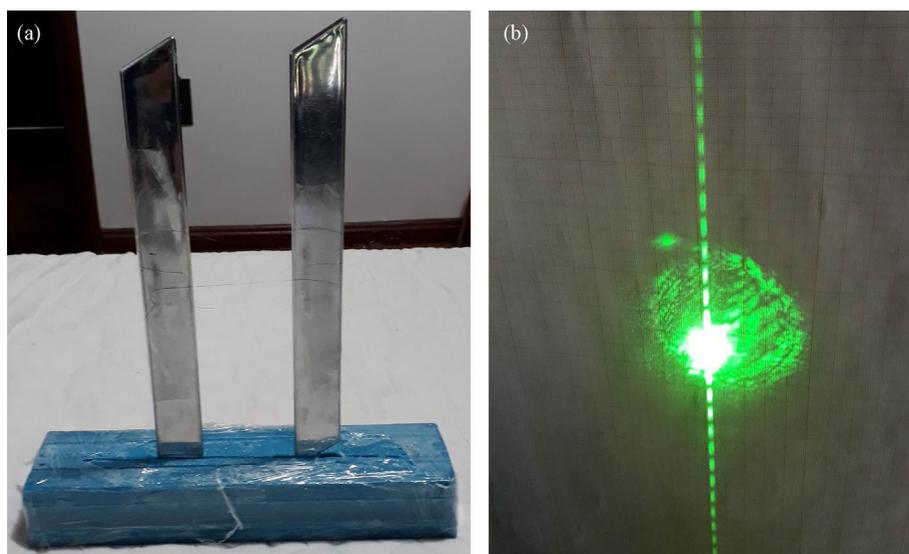


Figura 6 - a) montagem para difração por fio de cabelo; b) imagem da difração por fio de cabelo.



Figura 7 - a) montagem para difração com lâmina de barbear; b) imagem da difração por fenda simples de gilete.

difração com uma qualidade visual melhor, como podemos observar na Fig. 7b. Dessa maneira, o professor pode testar outras montagens, ou seja, arranjos com aberturas maiores ou menores que 1 mm, e poderá obter imagens com uma boa qualidade, podendo, caso tenha possibilidades dentro do planejamento, realizar medidas para determinar parâmetros com espessuras dos fios ou dimensões da fenda. Fica como sugestão para o professor: dentro de um experimento de difração mais empírica, usar esse modelo de fenda (com giletes) para descobrir que existe variação na espessura do fio do “bigode” de um gato. Com as fendas de giletes podemos testar outros arranjos, como dispor duas fendas simples, distantes cerca de 10 cm, de tal modo que fiquem perpendiculares entre si, como podemos ver na Fig. 8a; observe que nesse caso a fonte está bem próxima do obstáculo, e já temos alguns efeitos da difração de Fresnel, com efeitos de bordas se pronunciando, como podemos ver na Fig. 8b.

Uma vez trabalhados os arranjos para difração em fios e fendas simples ou combinadas mostrados na Fig. 8b e



Figura 8 - a) montagem para difração com fendas ortogonais de gilete; b) imagem da difração com fendas ortogonais de gilete.

na Fig. 8a, propomos explorar outros arranjos, como montagens diferentes para fios, lâminas de barbear e orifícios. Num primeiro momento, realizamos uma montagem com fios de cabelo perpendiculares como mostra a Fig. 9a. Para isso utilizamos uma caixinha de remédio cortada ao meio em que fixamos, com fita adesiva, dois fios de cabelos perpendiculares e posicionamos a fonte a 3 m da parede; a imagem obtida é mostrada na Fig. 9b, com duas franjas perpendiculares entre si apresentando uma região central muito intensa, que constitui o máximo central para as duas franjas. Para produzir a difração de Fresnel, deixamos a fonte próxima (0,5 cm) dos fios e retiramos a parte do colimador do laser; o resultado é uma imagem bem diferente, com efeitos de borda bem pronunciados, como mostra a Fig. 9c. É interessante observarmos o formato dos máximos gerados pelos fios em função da superposição dos campos difratados, bem como a variação de sua intensidade em função do distanciamento da região central.

As duas últimas demonstrações trabalhadas nos permitem perceber efei-

tos de borda, para a difração de campo próximo de um pequeno orifício (anzol de lambari). Fixado em um sabonete, como está descrito pela Fig. 10a, esse arranjo deve produzir uma difração em que os efeitos de borda sejam bem visíveis, note também, que a ampola está sem as lentes colimadoras. Com esse procedimento, podemos obter uma franja rica em detalhes, como descreve a Fig. 10b. Outras montagens podem ser feitas para bordas de giletes, como mostra a Fig. 11a, podendo estar a gilete inteira ou dividida em duas partes. Com o laser sem o colimador e com o feixe incidindo na lâmina da gilete (borda externa), podemos perceber a variação da intensidade dos máximos, regiões claras (interferência construtiva) e sua variação à medida que nos distanciamos do máximo central, sendo possível perceber também a variação da extensão das regiões escuras (interferência destrutiva), como mostra a Fig. 11b. É bastante salutar notarmos que esses aspectos peculiares da difração e da interferência não podem ser explicados pela óptica geométrica, sendo a mesma válida em âmbitos nos quais o comprimento de onda, dentro de um limite, tenda a zero.

4. Resultados e discussões

O esforço e empenho em testar estratégias de ensino por experimentos simples e demonstrativos nos revelaram diversos aspectos antes ocultos quanto às aspirações dos discentes, e de certa forma trouxeram alguns indicadores interessantes em relação à acolhida por parte deles, acostumados que estavam com aulas expositivas, lineares, cansativas e repetitivas: houve certa supressão da apatia em estudar física.

As aulas eram diferentes, e expectativas para aulas futuras se formaram. Alguns discentes perguntavam se teríamos experimentos durante a aula, porém em nenhum momento as aulas expositivas foram suprimidas; ao contrário, foram enriquecidas com demonstrações experimentais e sempre que possível repetidas com gradações descritivas dos fenômenos e graus diferenciados de aprofundamentos [8]. Notaram-se, durante a aplicação da proposta, situações inusitados quanto ao comportamento dos alunos; a simples disposição dentro da sala de aula minimizou aspectos de indisciplina: os alunos sempre estavam com os olhos voltados para os dispositivos e para o professor. A liberdade de poder usar os smartphones para fotografar tudo o

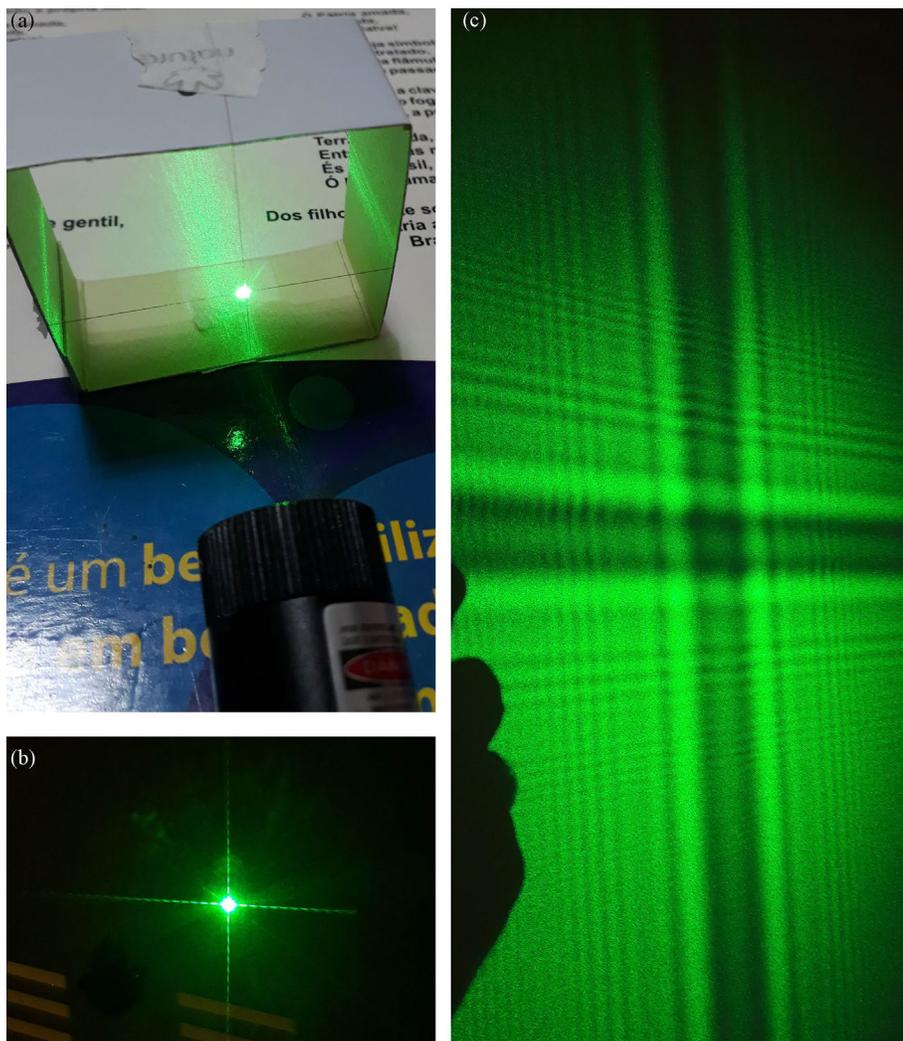


Figura 9 - a) montagem para difração com fios de cabelo perpendiculares; b) imagem da difração com fios de cabelo perpendiculares; c) imagem da difração de campo próximo com fios de cabelo perpendiculares.

que julgavam interessante e depois utilizar nas aulas expositivas, bem como o fornecimento de materiais para a execução da proposta, trouxe certa democratização e deram a alguns alunos um sentimento de cumplicidade na construção da aula. As provocações problematizadoras deram ritmo e cadência para as aulas, em que perguntas eram lançadas aos alunos antes, durante e após as demonstrações, mas as respostas não emergiam imediatamente do professor, sendo muitas respondidas em parte pelas imagens geradas pelas demonstrações.

5. Considerações finais

O Ensino Médio, etapa final da educação básica, prevê o aprofundamento dos conceitos e significados adquiridos no Ensino Fundamental, bem como inúmeras prerrogativas educacionais a

que o estudante tem direito, como a experimentação em ciências naturais, especificamente na disciplina de física, além de servir como modelo de construção humana, buscou-se neste trabalho adaptar parte da metodologia científica, dentro das realidades dos nossos estudantes, frente às demandas por uma educação de qualidade que prime pela interdisciplinaridade, pelo protagonismo cognitivo, pelo questionamento e, não podemos deixar de mencionar, pela nova realidade a que será submetida nossa educação, ou seja, a BNCC. Neste artigo, as sequências, balizadas pela teoria de Ausubel, permitem a inserção de significados, ao introduzir recortes de experimentalismo a um custo baixo e com boa qualidade visual, atingindo um número grande de alunos. É nesse sentido que propomos essa abordagem experimental, que faz uso de materiais alternativos de baixo custo,

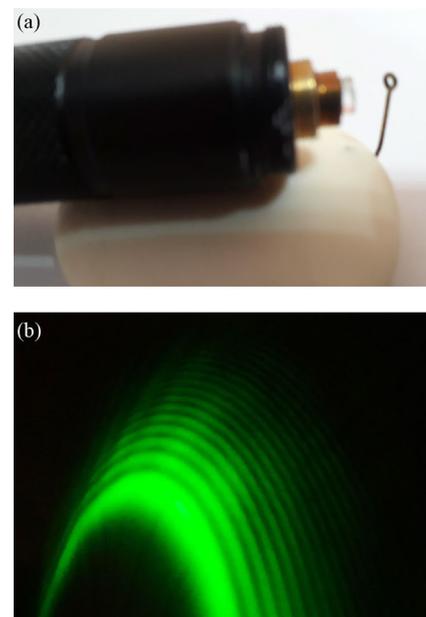


Figura 10 - a) montagem para difração de campo próximo na borda de anzol; b) imagem da difração de campo próximo da borda externa do anzol.

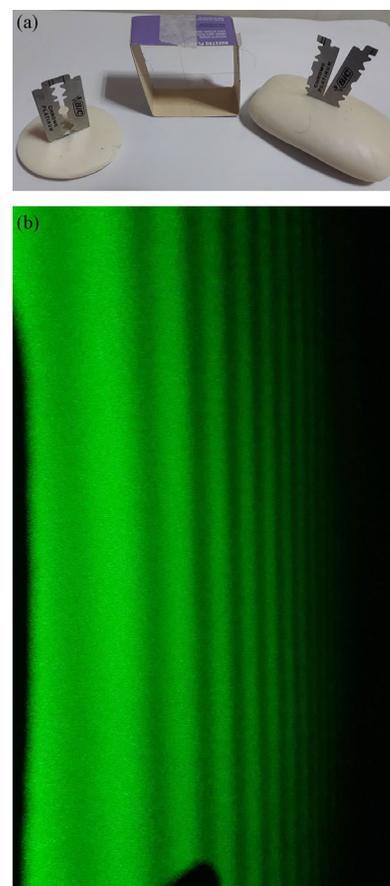


Figura 11 - a) montagem para difração de campo próximo para borda da gilete e fios de cabelo; b) imagem da difração de campo próximo da borda externa da gilete.

com que procuramos intervir no currículo formal, através de inúmeras demonstrações experimentais provocativas e exploratórias. O professor pode utilizar esse percurso total ou parcialmente, adequando-o a sua realidade, pois sabemos que o conteúdo de óptica física, outrora parte do eixo temático matéria e energia, não faz parte da maioria dos livros didáticos utilizados no Brasil. Observamos que os temas de difração e interferência, sobretudo a difração com raios X, como esclarece Kittel [13], constitui uma das várias técnicas

de destaque em espectroscopia, dentro da investigação da estrutura interna da matéria, com aplicações diversas em química, física, engenharia e ciência de materiais, implicando em inúmeros avanços tecnológicos. Por meio das informações obtidas, tais como identificação de elementos químicos, impurezas presentes em cristais, determinação de parâmetros de redes e arquitetura de cristais, novas implicações científicas surgem.

Por tudo o que foi exposto e levando-se em consideração as realidades

presentes, propomos um percurso metodológico alicerçado na teoria cognitiva de David Ausubel como mais uma estratégia acessível e executável dentro da realidade de uma escola pública com as contingências recorrentes em nosso país, principalmente em regiões distantes dos grandes centros.

Recebido em: 4 de Agosto de 2021

Aceito em: 22 de Agosto de 2021

Referências

- [1] V.M. Candau (org.) *Novos Rumos da Licenciatura. Pesquisa Brasília* (INEP/PUC, Rio de Janeiro, 1987).
- [2] D.P. Ausubel, *The Psychology of Meaningful Verbal Learning* (Editora Grune & Stratton, New York, 1963).
- [3] D.P. Ausubel, *The Acquisition of Meaningful Verbal Learning* (Editora Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2000)
- [4] M.A. Moreira, *Teorias de Aprendizagem* (Editora Epu, São Paulo 2011), p. 242.
- [5] M.A. Moreira, *Aprendizaje Significativo: Teoría y Práctica* (Editora Visor, Madrid, 2000).
- [6] M.A. Moreira, E.A.F. Masini, *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel* (Editora Moraes, São Paulo, 1982).
- [7] A. Gaspar, in: *XV Encontro de Físicos do Norte e Nordeste*, Natal, 1995. Disponível em http://plato.if.usp.br/2-2007/fep0358d/texto_5.pdf,2021.
- [8] Secretaria da Educação do Estado do Paraná, *Diretrizes Curriculares da Educação Básica: Física* (Secretaria de Educação, Curitiba, 2008).
- [9] F.S. Wesendok, L. do Prado, *Experiências em Ensino de Ciências* **10**, 54 (2015).
- [10] C.E. Laburú, *Investigações em Ensino de Ciências* **10**, 161 (2005).
- [11] F. Rezende, F. Ostermann, G. Ferraz, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 1402 (2009).
- [12] C.W. da Rosa, A.B. da Rosa, *Revista Ibero-Americana de Educação* **52**, 1 (2010).
- [13] C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics* (Editora John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1996), 7th ed.