



**UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO
POR MEIO DO FENÔMENO DE TUNELAMENTO QUÂNTICO**

ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA

Vitória da Conquista – Bahia

2018



UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DO FENÔMENO DE TUNELAMENTO QUÂNTICO

ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Cristina Porto Gonçalves

Coorientador:

Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro

Vitória da Conquista – Bahia

2018

C847p

Correia, Alípio Dias dos Santos.

Uma proposta de introdução à física moderna no ensino médio por meio do fenômeno de tunelamento quântico. / Alípio Dias dos Santos Correia, 2018.

141f. il.

Orientador (a): Dr^a. Cristina Porto Gonçalves.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2018.

Inclui referência F. 66 – 69, F. 95, F. 138 – 139.

1. Física moderna – Ensino médio. 2. Física quântica. 3. Analogia - Fenômenos. 4. Aprendizagem significativa. I. Gonçalves, Cristina Porto. III. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. IV. T.

CDD 530.07

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista – BA



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



**UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DO
TUNELAMENTO QUÂNTICO**

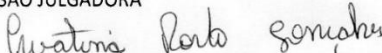
AUTOR(A): ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA

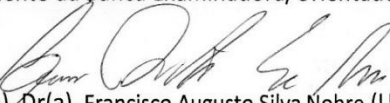
DATA DE APROVAÇÃO: 28 DE SETEMBRO DE 2018

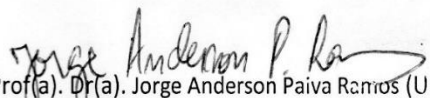
Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

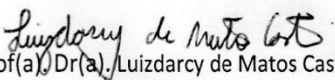
Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA


Prof(a). Dr(a). Cristina Porto Gonçalves (UESB)
Presidente da Banca Examinadora/Orientador


Prof(a). Dr(a). Francisco Augusto Silva Nobre (URCA)
Examinador(a) externo(a)


Prof(a). Dr(a). Jorge Anderson Paiva Ramos (UESB)
Examinador(a) interno(a)


Prof(a). Dr(a). Luizdarcy de Matos Castro (UESB)
Membro(a) interno(a)/Coorientador(a)

2018

Dedico este trabalho à minha esposa Irageane e meus filhos Pedro e Catarina, referências da minha vida, pela inspiração e pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo incentivo.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Cristina Porto Gonçalves, pelas instruções, pelo compromisso e pela parceria na realização desse trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro, pela valiosíssima contribuição, a qual foi determinante para o alcance dos resultados.

Ao Prof. Dr. Ivanor Nunes de Oliveira, pelas orientações iniciais e pela presença inspiradora, mesmo estando ausente.

A todos os professores que acompanharam a minha trajetória nessa pós-graduação.

Aos colegas do Mestrado, pelo sentimento de grupo, o que facilitou a nossa jornada.

À Capes, pelo suporte financeiro.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela idealização do programa MNPEF.

Ao Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco, pelo espaço para a aplicação do projeto.

Aos alunos do ensino médio, pela participação na aplicação do projeto.

“A realidade não é o que parece”.

(Carlo Rovelli)

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma proposta educacional para a introdução de conceitos de Física Moderna no ensino médio, abordando um tema da Física Quântica, o fenômeno de tunelamento quântico, cuja proposição consiste em um modelo composto por uma sequência didática e um experimento ótico (Produto Educacional). O experimento permite ilustrar o fenômeno de tunelamento quântico a partir do fenômeno da reflexão interna total frustrada, explorando a similaridade entre eles. Tal experimento foi construído com materiais de baixo custo, de fácil montagem e manuseio, podendo ser apresentado em sala de aula, sem a necessidade particular de um laboratório. A proposta educacional, baseada na analogia, estabelece a correlação do tunelamento quântico, fenômeno estudado na Física Quântica, com a reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica, fenômeno estudado na Física Clássica. A sequência didática, fundamentada na aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira, se encarrega da construção da analogia entre tais fenômenos, possibilitando a compreensão dos mesmos, propiciando ao aluno perceber que o fenômeno quântico tem o seu análogo clássico. Outrossim, o aluno perceberá que há uma diferença de perspectiva de mundo entre os fenômenos macroscópicos e aqueles que são tratados na Física Moderna, no micromundo. A proposta foi aplicada em duas turmas do terceiro ano do ensino médio de um Colégio da Polícia Militar do interior da Bahia e os resultados refletiram a importância de uma aula que explora as similaridades dos fenômenos, os quais são apresentados numa sequência didática que rompe com as abordagens tradicionais, tendo como base a analogia. Esse recurso pedagógico auxiliará o professor no ensino e permitirá ao aluno compreender os fenômenos tratados na Física Moderna, a partir da analogia com os fenômenos estudados na Física Clássica.

Palavras-chave: Analogia. Física Moderna. Física Quântica. Aprendizagem significativa.

ABSTRACT

This Work presents an educational proposal on the introduction of concepts of Modern Physics in Middle Education, addressing a subject of Quantum Physics, the quantum tunneling effect with a proposition that consists in a model composed of a didactic sequence and of an optical experiment (Educational product). The experiment allows to illustrate the phenomenon of quantum tunneling from the phenomenon of frustrated total internal reflection by exploring the similarity between them. This experiment was built with low-cost, easily assembled and easily handling material, it can be reproduced in a classroom, not requiring a dedicated laboratory. The educational proposal, based on the analogy, establishes the correlation between the quantum tunneling, a phenomenon studied in Quantum Physics, and the frustrated total internal reflection or optical barrier penetration, a phenomenon studied in Classical Physics. The didactic sequence, grounded in the critical meaningful learning by Marco Antonio Moreira, is responsible for building the analogy between the phenomena, permitting the comprehension thereof, and enabling the student to notice that the quantum phenomenon has its classical equivalent. Likewise, the student may also notice that there is a difference of world perspective between macroscopic phenomena and those that are dealt by Modern Physics: the micro-world. The proposal was implemented for two groups in the third year of middle school of a unit of Colégio da Polícia Militar in an inland city of the state of Bahia. Results reflect the importance of a class that explores the similarities of phenomena, which are presented in a didactic sequence that breaks with the traditional approaches, based on analogy. This pedagogic resource shall assist the teacher in instructing and permits the student to comprehend the phenomena dealt by Modern Physics from the analogy with the phenomena studied in Classical Physics

Keywords: Analogy. Modern Physics. Quantum Physics. Meaningful learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Um feixe luminoso sofrendo reflexão ao encontrar uma superfície irregular	33
Figura 2: Um feixe luminoso sofrendo reflexão ao encontrar uma superfície lisa	33
Figura 3: Um raio refratando do meio 1 para o meio 2	34
Figura 4: Refração; refração e reflexão; reflexão interna total	35
Figura 5: Reflexão interna total no prisma de 45°	35
Figura 6: Reflexão interna total frustrada	36
Figura 7: Onda evanescente.....	36
Figura 8: Barreira de potencial	37
Figura 9: Caso clássico	38
Figura 10: Tunelamento quântico	38
Figura 11: Tunelamento quântico	38
Figura 12: Reflexão interna total frustrada	39
Figura 13: Tunelamento quântico	39
Figura 14: Base de madeira	41
Figura 15: Mola	41
Figura 16: Fonte de raio laser	41
Figura 17: Prisma triangular de 45° (prisma de reflexão total)	41
Figura 18: Cilindro elíptico	42
Figura 19: Placa de cartolina	42
Figura 20: Experimento montado	43
Figura 21: Reflexão interna total	44
Figura 22: Reflexão interna total frustrada	44
Figura 23: Reflexão interna total	45
Figura 24: Reflexão interna total frustrada	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 (Questionário A – Turma A)	49
Gráfico 2 (Questionário A – Turma B)	51
Gráfico 3 (Questionário B – Turma A)	56
Gráfico 4 (Questionário B – Turma B)	57
Gráfico 5 (Questionário C – Turma A)	59
Gráfico 6 (Questionário C – Turma B)	61

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 FÍSICA MODERNA.....	16
1.1 FÍSICA QUÂNTICA	17
2 ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO	19
2.1 PESQUISA EM ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA	19
2.2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NA VISÃO DE MARCO ANTÔNIO MOREIRA	21
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 PERCURSO METODOLÓGICO.....	24
3.2 ASPECTOS ÉTICOS.....	26
4 RESULTADOS, CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	27
4.1 PRODUTO EDUCACIONAL.....	27
4.1.1 Introdução.....	28
4.1.2 Fundamentação Teórica	30
4.1.2.1 A aprendizagem significativa crítica na visão de Marco Antonio Moreira ...	31
4.1.2.2 Propriedades da propagação da luz	31
4.1.2.3 Noções de Mecânica Quântica.....	36
4.1.2.4 Analogia entre o fenômeno ótico e o fenômeno quântico	38
4.1.2.5 Sequência Didática	39
4.1.2.6 Experimento.....	40
4.2 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	45
4.2.1 Aula 01.....	46
4.2.2 Aula 02.....	48
4.2.3 Aula 03.....	52
4.2.4 Aula 04.....	53
4.2.5 Aula 05.....	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICE A – PLANOS DE AULA 3º ANO A	69
APÊNDICE B – PLANOS DE AULA 3º ANO B	80
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO A	91

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO B	93
APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO C	95
APÊNDICE F – DIÁRIOS DE BORDO.....	96
APÊNDICE G – PRODUTO EDUCACIONAL	114
APÊNDICE H – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO-TCLE	130
APÊNDICE I – TERMO DE ANUÊNCIA DO GESTOR.....	131

INTRODUÇÃO

A presente dissertação apresenta uma proposta educacional de introdução à Física Moderna no terceiro ano do ensino médio, visto que o ensino deste ramo da Física, ora praticado em sala de aula, não tem proporcionado o resultado desejado em virtude da utilização de práticas pedagógicas que não asseguram a compreensão dos fenômenos estudados e a apreensão dos conceitos deste ramo da Física. Os entraves que dificultam a apropriação desses conteúdos vão desde obstáculos de natureza cognitiva, a empecilhos sociais e institucionais. Além do mais, o currículo tem sido construído de tal maneira que a disciplina Física tem sido limitada pelo ensino da Física Clássica, ficando a Física Moderna como um suplemento a ser apresentado, caso o ano letivo permita.

Na verdade, a prática escolar usual exclui tanto o nascimento da ciência, como a entendemos, a partir da Grécia Antiga, como as grandes mudanças no pensamento científico ocorridas na virada deste século e as teorias daí decorrentes. A grande concentração de tópicos se dá na física desenvolvida aproximadamente entre 1600 e 1850. Além disso, dificilmente se cumpre toda essa programação. É comum os programas mais completos de física no 2º grau se reduzirem apenas à Cinemática, Leis de Newton, Termologia, Óptica Geométrica, Eletricidade e Circuitos Simples. Assim, os conteúdos que comumente obrigamos sob a denominação de Física Moderna, não atingem os nossos estudantes. Menos ainda os desenvolvimentos mais recentes da Física Contemporânea (TERRAZAN, 1992, p. 209-210).

Porém, apesar das dificuldades mencionadas, é necessária a inserção desses conteúdos nos currículos do ensino médio, uma vez que a mecânica quântica é um segmento da Física que gerou uma revolução no campo científico a partir do século passado e tem figurado como uma das principais fomentadoras de advento das tecnologias, proporcionando um avanço tecnológico de grande relevância, sobretudo nas tecnologias eletrônicas aplicadas em diversas áreas da indústria. Outrossim, o fato de as pessoas fazerem uso frequente de equipamentos que utilizam essas tecnologias no dia a dia justifica a apresentação do princípio básico de funcionamento de tais equipamentos à sociedade, até mesmo para proporcionar um conhecimento leigo que possa garantir a sua correta utilização.

O objetivo da proposta educacional é mostrar, por meio do fenômeno de tunelamento quântico, que há uma diferença de perspectiva de mundo entre os fenômenos macroscópicos, aqueles que são vivenciados no dia a dia no nosso mundo, cuja descrição de seus sistemas é bem-sucedida pelas teorias clássicas, e aqueles que são abordados na Física Moderna, e que são tratados com modelos matemáticos estatísticos.

A metodologia se fundamenta em uma pesquisa qualitativa exploratória devido ao nível de profundidade da mesma e pela busca de familiaridade com o objeto de estudo, ainda pouco explorado, na perspectiva de ampliar o conhecimento sobre o tema. Outrossim, por ser um tipo de pesquisa específica, consistindo no estudo de um único objeto, a qual utilizará informações obtidas por meio de experimento, assume a forma de um estudo de caso, cuja metodologia consiste em um modelo didático baseado na analogia, a partir de um experimento ótico que estabelece a correlação do tunelamento quântico, fenômeno estudado na Física Quântica, com a reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica, fenômeno estudado na Física Clássica. A analogia entre tais fenômenos, permitirá ao aluno compreender que o fenômeno quântico tem o seu análogo clássico e as leis que regem os fenômenos que ocorrem no mundo macro não se aplicam, em alguns casos, no mundo micro.

O experimento ótico foi escolhido pelo fato de o fenômeno da reflexão interna total frustrada parecer fugir, confrontar ou desobedecer às leis da mecânica clássica, assim como ocorre no fenômeno de tunelamento quântico, quando uma partícula ultrapassa uma barreira de potencial sem a energia suficiente para tal. Portanto, por apresentarem comportamentos similares, os fenômenos podem ser analisados por analogia.

A partir do experimento, os fenômenos a serem estudados foram apresentados em uma sequência didática que rompe com a abordagem tradicional de conteúdos, como estratégia que venha a facilitar a prática docente e minimizar as dificuldades no ensino e na aprendizagem da Física Moderna no ensino médio (BECKER, 2001).

As aulas foram aplicadas em turmas de terceiro ano do ensino médio, obedecendo a uma sequência didática que consiste em aulas expositivas, exibição de vídeos, realização dos experimentos, aplicação de questionários e discussões.

Os fundamentos teóricos, cujos postulados se ancoram numa perspectiva de aprendizagem contextualizada, crítica e significativa, foram os interlocutores do Ensino de Física bem como os da pedagogia, tendo como principal aporte Marco Antonio Moreira, em uma abordagem que proporcionou ao aluno a compreensão do mundo micro, cujas leis diferem do mundo macro.

Diante desses pressupostos, o resultado esperado foi que o estudante sentisse vontade em dar continuidade ao estudo da Física pelos fenômenos curiosos e encantadores, ou seja, que possa haver um encantamento dos estudantes por meio da fenomenologia e não simplesmente pela racionalidade ou a resolução de exercícios por meio de fórmulas, tabelas e gráficos. Espera-se também que os alunos adquiram conhecimentos que servirão como conhecimentos prévios

para continuarem os estudos dos fenômenos da Física Moderna e tomarem consciência da sua importância no cenário científico e tecnológico da atualidade.

Para alcançar os objetivos delineados anteriormente, descreve-se o estudo em quatro capítulos, além da introdução e das considerações finais. O capítulo 1 faz uma referência à Física Moderna, enfatizando a mecânica quântica, pelo fato do fenômeno a ser estudado ter como suporte essa área da Física. O capítulo 2 traz à discussão a introdução do ensino de Física Moderna no ensino médio, mais uma vez enfatizando a mecânica quântica, bem como a aprendizagem significativa e crítica, base pedagógica da sequência didática da proposta. O capítulo 3 trata da metodologia, abrangendo a caracterização da pesquisa, o local da pesquisa, a população de amostra, a descrição da proposta e a análise de dados. Finalmente, o capítulo 4 aborda os resultados, conclusões e perspectivas.

1 FÍSICA MODERNA

As teorias da Física Clássica, desenvolvidas até o fim do século XIX, conseguiam explicar praticamente toda a fenomenologia natural. Desde Galileu Galilei (1564-1642), os físicos clássicos obedeciam rigorosamente ao método científico, fazendo uso da observação e da experimentação para testar suas teorias. Porém, tais teorias tornaram-se limitadas, na medida em que não tinham total sucesso na explicação de certos fenômenos observados, no final deste século, em particular, pode-se mencionar os fenômenos da radiação do corpo negro e do efeito fotoelétrico. Além do mais, fenômenos já conhecidos continham contradições em suas análises e aceções.

No início do século XX ocorreu uma nova revolução científica na Física, na qual um conjunto de teorias provocou mudanças na compreensão de conceitos como espaço, tempo, causalidade, medida, simultaneidade, trajetória e posição. Tal revolução deu origem à Física Moderna, que engloba a Teoria da Relatividade e a Física Quântica. A partir de então, alguns fenômenos impossíveis de serem descritos ou compreendidos pela Física Clássica, passaram a ser percebidos através de novos modelos e formulações matemáticas. A teoria da relatividade, lançando luz sobre os fenômenos em altas velocidades, e a mecânica quântica, estabelecendo modelos para os fenômenos que ocorrem na escala atômica e subatômica, permitiram a solução de muitos dos problemas pendentes da Física do início do século XX.

Corroborando Alberto Gaspar

Desde que novas e revolucionárias ideias surgiram no fim do século XIX e início do século XX, a Física sofreu alterações conceituais profundas, que modificaram toda a sua descrição da Natureza, do micro ao macrocosmo. Esse processo foi e continua sendo vertiginoso, impossível de ser acompanhado e, principalmente, compreendido no todo. (GASPAR, 2006, p. 519)

Pelo fato da proposta educacional apresentada na dissertação ser a introdução à Física Moderna no ensino médio através do fenômeno de tunelamento quântico, na próxima seção serão apresentadas as noções básicas de Física Quântica necessárias para o estudo do referido fenômeno. Portanto, não será necessário abordar a Teoria da Relatividade.

1.1 FÍSICA QUÂNTICA

Um dos problemas pendentes da Física do início do século XX era o fenômeno da radiação do corpo negro, cujas observações não estavam em conformidade com a teoria clássica, pois tal teoria previa que a intensidade da radiação de um corpo negro seria infinita para a região do ultravioleta, o que estava em desacordo com a realidade. O estudo desse fenômeno resultou no desenvolvimento da teoria quântica, tendo o cientista Max Planck desempenhado papel fundamental ao apresentar uma solução para o fenômeno da radiação do corpo negro, com a hipótese de que a radiação por ele emitida não ocorre em um espectro contínuo, mas discreta, ou quantizada. Pode-se dizer então que a emissão e a absorção de energia eletromagnética se dão de forma discreta de energia.

Posteriormente, o físico Albert Einstein, lançando mão da hipótese da quantização da energia, resolveu o problema do efeito fotoelétrico e propôs que a natureza da luz é quantizada, sendo essa quantidade discreta denominada quantum de luz ou fóton.

Do resultado desses trabalhos e de pesquisas de outros cientistas como Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Louis de Broglie, Max Born, Wolfgang Pauli e Paul Dirac, nasceu a mecânica quântica com todo o seu formalismo.

Numa reunião da Sociedade Alemã de Física, a 14 de dezembro de 1900, Max Planck apresentou seu artigo “Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal”. Este artigo, que a princípio atraiu pouca atenção, foi o início de uma revolução na física. A data de sua apresentação é considerada como sendo a do nascimento da física quântica (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 19).

Essa divisão da Física Moderna estuda o comportamento da matéria e da energia em sistemas de dimensões próximas ou abaixo da escala atômica, tais como moléculas, átomos, elétrons, prótons e partículas subatômicas, embora possa descrever fenômenos macroscópicos em alguns casos. A teoria quântica fornece descrições precisas para os regimes próximos ao zero absoluto, fenômenos como a radiação do corpo negro, calor específico dos sólidos e as órbitas estáveis do elétron.

Apesar de, na maioria dos casos, a mecânica quântica ser relevante para descrever sistemas microscópicos, os seus efeitos específicos não são somente perceptíveis em tal escala. Por exemplo, a explicação de fenômenos como a superfluidez e a supercondutividade só é possível se considerarmos que o comportamento microscópico da matéria é quântico.

Uma formalização mais bem elaborada, em modelos mais precisos, empreendida por matemáticos como John Von Neumann e Arnold Sommerfeld, e a contribuição de outros

cientistas, deu origem à moderna teoria quântica. Nesse modelo, foi estabelecido um novo conceito para trajetória e posição, em função do princípio da incerteza de Heisenberg. Assim a ideia de natureza determinista para a trajetória foi substituída pela ideia de natureza probabilística de função de onda. A compreensão da função de onda como medida probabilística de localização de uma partícula foi proporcionada pela análise e interpretação de Max Born.

Importante também foi a explicação do problema da medição realizada sobre um sistema quântico, a qual resulta da interação do observador, com um aparelho de medida, geralmente clássico, com um sistema quântico. Como a medida resulta numa certeza sobre um valor de uma grandeza (observável) ao passo que a função de onda associada representa uma função de probabilidades em termos da posição e tempo, tal conjectura implica dizer que o ato de medir acarreta um colapso da função de onda, ou seja, o ato de medir destrói um possível emaranhamento quântico e literalmente cria a realidade experimentalmente mensurada.

Mecânica quântica é a descrição do comportamento da matéria e da luz em todos os seus detalhes e, em particular, do que ocorre na escala atômica. As coisas numa escala muito pequena não se comportam como algo que você conheça. Elas não se comportam como ondas, elas não se comportam como partículas, não se comportam como nuvens, bolas de bilhar, pesos em molas, ou como qualquer outra coisa que você já tenha visto (FEYNMAN, 2008, p. 1-2).

Os fenômenos estudados pela mecânica quântica têm vasta aplicação na tecnologia eletrônica como, por exemplo, o efeito túnel ou tunelamento quântico, presente em componentes eletrônicos como os diodos túnel, cujo princípio de funcionamento se baseia nas probabilidades da penetração de ondas de matéria e a transmissão de partículas através de uma barreira potencial. Outro equipamento cujo princípio de funcionamento se baseia no fenômeno de tunelamento quântico é o microscópio de tunelamento por varredura (STM), o qual permite obter imagens de átomos e moléculas ao nível atômico. Além destes, equipamentos usados no dia a dia como computadores, câmeras digitais, lasers e sistemas de posicionamento (GPS), são dotados de componentes eletrônicos que usam a tecnologia quântica. Logo, é justificada a introdução de conceitos da mecânica quântica no ensino, cujos conceitos serão abordados no capítulo seguinte.

2 ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

O desenvolvimento de tecnologias tem sido fortemente estimulado pela interpretação dos fenômenos físicos, sobretudo, desde o século passado, quando a Física Moderna, a partir dos conceitos introduzidos por Max Planck e pela teoria da relatividade de Albert Einstein, proporcionou uma nova visão de mundo a várias áreas da ciência. Para que este conhecimento se torne popular e a sociedade possa usufruir dos benefícios das tecnologias advindas dos avanços científicos, faz-se necessária a formação científica e cultural do povo. Para atender a essa formação, o ensino médio vem passando por várias modificações, com perspectivas curriculares que propõem a introdução de conteúdos de Física Moderna nesta etapa da educação básica. Esse tema tem desencadeado discussões no meio acadêmico, em diversas áreas da educação, apontando para a necessidade de um reajustamento curricular e de metodologias apropriadas para atender as demandas científicas e tecnológicas contemporâneas (WEBBER, 2006). A quantidade de pesquisas e revisões a respeito da questão revelam a importância significativa do tema, ao mesmo tempo que aponta os diversos entraves que vão desde as diretrizes de ensino ao modelo didático pedagógico praticado.

No aspecto didático pedagógico, a introdução de Física Moderna no ensino médio não tem tido êxito no processo de ensino e aprendizagem devido a utilização de práticas pedagógicas tradicionais, as quais tem se mostrado ineficientes para o entendimento dos fenômenos tratados nesse ramo da Física (OLIVEIRA; VIANNA, 2007). Outrossim, o ensino descontextualizado e desvinculado das informações que os alunos adquirem por intermédio da mídia e através das experiências do dia a dia, não tem propiciado a compreensão dos fenômenos e nem garantido uma aprendizagem de forma significativa e crítica. Conforme afirmam Ostermann e Moreira (2000) e Greca e Moreira (2001), o conhecimento produzido sobre a temática de pesquisa em ensino de Física Moderna/Mecânica Quântica era incipiente até os anos 2000/2001 se comparado com o produzido pela pesquisa em ensino de Física Clássica (Mecânica Clássica, Eletromagnetismo, Termodinâmica). A partir do início dos anos 2000, a realização de pesquisas na área de ensino de Física Moderna teve um crescimento qualitativo e quantitativo, revelando um interesse pela área, o que será tratado na próxima seção.

2.1 PESQUISA EM ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA

A mecânica quântica gerou uma revolução no campo científico a partir do século passado, descrevendo e predizendo uma variedade de fenômenos, tendo assim figurado como

uma das principais promotoras de advento das tecnologias, propiciando um avanço tecnológico de grande relevância, sobretudo nas tecnologias eletrônicas aplicadas em diversas áreas da indústria, tendo também contribuído para o desenvolvimento científico e cultural do homem contemporâneo. Por conseguinte, pela importância da Física Quântica no cenário científico e tecnológico da atualidade, é recomendável e justificável a introdução do estudo dos fundamentos básicos de Física Moderna no ensino médio. Nesse contexto, surgiram vários trabalhos voltados para essa nova demanda na área da educação.

Sobre esse assunto, Glauco Cohen Ferreira Pantoja, Marco Antonio Moreira e Victoria Elnecave Herscovitz, afirmam:

A Mecânica Quântica (MQ) é parte da Física que provocou uma revolução científica na área de estudo referenciada durante o século passado, porém ainda hoje há dificuldade de inseri-la nos currículos de Ensino Médio. Têm-se verificado, ademais, entraves na facilitação da apropriação deste conteúdo por parte dos alunos (PANJOTA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2011, p. 2).

O ensino de conteúdos introdutórios de mecânica quântica, pelas dificuldades que apresenta no processo de ensino-aprendizagem, tem exigido práticas pedagógicas inovadoras e estratégias didáticas que rompam com a abordagem tradicional e venham propiciar a compreensão dos fenômenos estudados. As barreiras que dificultam a apropriação desses conteúdos vão desde obstáculos de natureza cognitiva, na medida em que o entendimento dos fenômenos estudados na mecânica quântica, pela sua subjetividade, demanda o exercício da abstração, a empecilhos institucionais, uma vez que faltam nas escolas recursos didáticos, como laboratórios, por exemplo, que poderiam propiciar a compreensão dos fenômenos através da experimentação.

Há vários artigos publicados em revistas especializadas que sugerem práticas pedagógicas inovadoras e estratégias didáticas, como destaca o trabalho de Glauco Cohen Ferreira Pantoja, Marco Antonio Moreira e Victoria Elnecave Herscovitz (2011), intitulado “Uma revisão da literatura sobre a pesquisa do ensino de mecânica quântica no período de 1999 a 2009”, em que os autores mencionados, baseados em Ostermann e Moreira (2000) e Greca e Moreira (2001), elaboraram cinco grandes grupos para classificação dos artigos, dentre eles, um grupo com propostas didáticas apresentando uma organização de conteúdos exposta em forma de sugestão de apresentação em sala de aula e discussões conceituais sobre algum tópico específico de Física.

Já o trabalho “Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória” (GRECA; MOREIRA, 2001) apresenta artigos que contêm críticas aos

cursos introdutórios de Mecânica Quântica. Os estudos desse conjunto são unânimes na crítica à forma "ineficiente" em que os conteúdos de mecânica quântica são apresentados, mas não demonstram a mesma unanimidade nos aspectos centrais dessa crítica. Vários deles criticam a abordagem formal que caracteriza muitos destes cursos.

Tendo em vista a necessidade da inserção desses conteúdos no ensino médio, apesar das dificuldades, tem havido um expressivo número de publicação de trabalhos referentes ao ensino de Física Moderna, sobretudo pesquisas com propostas didáticas acerca da inserção em diversas áreas do ensino. Por conseguinte, as revisões de literatura (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA, 2000; REZENDE JR, 2001) corroboram a relevância no considerável número de artigos publicados, temas de dissertações e teses, os quais apontam para a necessidade de uma reformulação curricular, uma readequação nos conteúdos de Física Moderna e inovações nos processos didático-pedagógicos e metodológicos.

A promulgação da lei de diretrizes e bases da educação nacional (LDB/96) e dos parâmetros curriculares nacionais (PCN's) motivaram a pesquisa e as publicações, seguindo uma tendência mundial na busca de uma cultura científica já consolidada em algumas nações. Todavia, ainda não há consenso sobre questões curriculares, como o tipo de conteúdo a constar no currículo e em qual fase do ensino médio (OSTERMANN; MOREIRA, 1998).

2.2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NA VISÃO DE MARCO ANTÔNIO MOREIRA

O presente trabalho tem como referência a aprendizagem significativa crítica de Marco Antônio Moreira (2005), na qual o autor apresenta uma releitura da teoria clássica da aprendizagem significativa de David Ausubel, destacando o papel fundamental da linguagem e da interação social na aprendizagem, enfatizando o aspecto crítico na aquisição do conhecimento.

O fato de estarmos vivendo em um cenário cuja evolução tecnológica, que se dá aos saltos, nos leva à necessidade de criarmos estratégias de ensino inovadoras que correspondam às exigências que tal evolução exige. Porém, o que se observa é uma prática equivocada, insistindo na promoção de vários conceitos fora de foco, em uma entediante e desanimadora apresentação do conhecimento, causando o desinteresse dos alunos pela ciência. Apesar das muitas discussões que ocorrem no meio acadêmico e entidades afins sobre esse descompasso, a prática do ensino-aprendizagem continua a não promover o aprendizado numa perspectiva significativa e crítica na qual o aluno seja o principal protagonista da construção de seu

conhecimento, rompendo com as formas tradicionais de aprendizagem nas quais esta ocorre pela mera transmissão de conteúdos.

Argumenta-se que houve uma apropriação superficial, polissêmica, do conceito de aprendizagem significativa, de modo que qualquer estratégia de ensino passou a ter a aprendizagem significativa como objetivo. No entanto, na prática a maioria dessas estratégias, ou a escola de um modo geral, continuam promovendo muito mais a aprendizagem mecânica, puramente memorística, do que a significativa (MOREIRA, 2012, p. 1).

Nesse contexto, a escola, além de não conseguir promover o compartilhamento do conhecimento no aspecto intelectual, também não prepara os alunos para a sociedade de consumo. Nessas circunstâncias, a teoria da aprendizagem significativa, inicialmente elaborada por Ausubel e reinterpretada por Marco Antonio Moreira, o qual acrescentou o aspecto da aprendizagem crítica, além de significativa, assume importância como referência para a construção de estratégias que atendam ao momento científico e tecnológico contemporâneos. Para Moreira (2000, p. 4), a saída dessa incômoda situação seria “uma postura crítica como estratégia de sobrevivência na sociedade contemporânea, ou seja, a solução seria então a aprendizagem significativa crítica”.

Ainda segundo o autor, a aprendizagem significativa consiste na interação do novo conhecimento com o conhecimento prévio, processo natural de aprendizagem no qual o aluno não substitui o conhecimento leigo pelo científico, conservando assim sua cultura, mantendo a sua postura crítica, sem se aculturar diante de novos conceitos e perspectivas. Aprendizagem significativa crítica “é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela” (MOREIRA, 2000, p. 7). Dessa forma, o novo conhecimento proporciona significados para o aluno, ficando o conhecimento prévio rico, diferenciado e mais elaborado em termos de significado (MOREIRA; MASINI, 1982).

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela *interação* entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é *não-litera*l e *não-arbitrária*. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Por exemplo, para um aluno que já conhece a Lei da Conservação da Energia aplicada à energia mecânica, resolver problemas onde há transformação de energia potencial em cinética e vice-versa apenas corrobora o conhecimento prévio dando-lhe mais estabilidade cognitiva e talvez maior clareza. Mas se a Primeira Lei da Termodinâmica lhe for apresentada (não importa se em uma aula, em um livro ou em um moderno aplicativo) como a Lei da Conservação da Energia aplicada a fenômenos térmicos ele ou ela dará significado a essa nova lei na medida em que “acionar” o subsunçor Conservação da Energia, mas este ficará mais rico, mais elaborado, terá novos significados pois a Conservação da Energia aplicar-se-á não só ao campo

conceitual da Mecânica mas também ao da Termodinâmica (MOREIRA, 2012, p. 2-3).

Conclui-se que o conhecimento prévio é determinante para a aprendizagem na medida em que só podemos aprender a partir do que já conhecemos, ou seja, aprendemos a partir daquilo que já temos em nossa estrutura cognitiva.

Uma vez entendendo o conceito de aprendizagem significativa crítica e conhecendo suas premissas, seus princípios programáticos, estratégias facilitadoras como os organizadores prévios, os mapas conceituais, os diagramas V, é possível promover um ensino de boa qualidade, desde que se estabeleçam as condições necessárias para que esse processo ocorra. O resultado é o compartilhamento do conhecimento numa perspectiva que não seja apenas a da instrução, mas em um aspecto que possibilite a assimilação construtiva do conhecimento e, sobretudo, a possibilidade do exercício da cidadania de forma a tirar os alunos da esfera da ingenuidade e colocá-los na esfera da criticidade, com subsídios que os possibilitem assimilar construtivamente o conhecimento e, sobretudo, exercer a cidadania de forma consciente de que conhecimento é construção, portanto, mudança.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o percurso metodológico, descrevendo as etapas que conduziram a pesquisa, identificando a sua caracterização, o local onde o produto educacional foi aplicado, a população de amostra, os aspectos éticos, bem como descrição da proposta e a análise de dados.

3.1 PERCURSO METODOLÓGICO

A pesquisa realizada se caracteriza como qualitativa, pois se ocupou em compreender o porquê das coisas a fim de produzir conhecimento das questões levantadas, preocupando, “portanto, com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais” (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 32) oriundas, nesse caso, da prática em sala de aula. Trata-se de um estudo de caso que, para Marconi e Lakatos (2011, p. 274), “refere-se ao levantamento com mais profundidade de determinado caso ou grupo humano sob todos os seus aspectos”. A pesquisa teve como base os pressupostos da teoria da aprendizagem crítica significativa, na visão de Marco Antônio Moreira e foi desenvolvida no Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco, localizado na cidade de Vitória da Conquista, estado da Bahia

A sequência didática foi aplicada em duas turmas do terceiro ano do ensino médio, no turno matutino, sendo uma turma composta por trinta e quatro alunos (turma A) e outra composta por trinta e sete alunos (turma B). A amostra da pesquisa foi escolhida de forma intencional pelo fato do currículo do terceiro ano do ensino médio contemplar o conteúdo de Física Moderna (noções). No entanto, é importante salientar que essa amostragem não tem a pretensão de ser representativa do universo dos alunos da referida série das escolas brasileiras.

A proposta para a introdução do ensino de Física Moderna no Ensino Médio através do efeito túnel, nas turmas de terceiro ano do CPM (Colégio da Polícia Militar), consiste numa sequência didática que rompe com a forma tradicional de aulas, na medida em que os conceitos dos fenômenos a serem estudados serão tratados de forma coletiva e interativa, utilizando questionários, apresentação de vídeos e atividades experimentais que permitirão a construção de analogias entre os fenômenos estudados. Como recurso experimental foi utilizado um experimento ótico, o qual foi apresentado pelo autor ao programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte do produto educacional na qualificação do projeto.

Preliminarmente serão apresentados os conceitos de energia e sua conservação e, em seguida, os princípios básicos da mecânica quântica necessários para o estudo do fenômeno do tunelamento quântico. Em seguida serão estudados os conceitos de Ótica, abordando o fenômeno da reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica para estabelecer uma analogia com o fenômeno do tunelamento quântico.

Os experimentos e as discussões que se seguirão irão permitir as analogias e a compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na mecânica quântica, possibilitando que os alunos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Dessa forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano, resultando numa aprendizagem significativa e crítica. O projeto será aplicado em 5 aulas, cada aula com duração de 50 min.

O desenvolvimento do projeto seguiu uma estratégia de delimitação balizada por critérios coerentes com o objetivo da pesquisa, estabelecendo a análise de um fenômeno explicado pela Física Clássica que proporciona a busca do raciocínio abstrato do aluno, recorrendo ao uso da analogia, para a compreensão de um fenômeno estudado na Física Quântica. Em consequência, o método de análise de dados consistiu na observação e descrição da postura dos alunos diante dos conteúdos apresentados nas aulas, dos questionários aplicados, dos vídeos exibidos, das atividades experimentais realizadas e das discussões que se seguiram após cada atividade. A opção da análise de dados pelo método da observação deveu-se ao fato desse método ser aplicável para a apreensão de comportamentos e ocorrências no momento em que eles são produzidos, sem intervenção de fatores externos, ao mesmo tempo que a observação cuidadosa dos detalhes coloca o observador no cenário de maneira que ele possa perceber o comportamento dos alunos diante dos novos conceitos, o que propicia uma interlocução mais competente (ZANELLI, 2002).

O conjunto de dados foi analisado sob diferentes abordagens. Em uma perspectiva, foi levada em consideração a mudança de postura dos alunos diante de uma nova visão do mundo, ao perceberem que as leis que se aplicam no mundo macro não se aplicam ao mundo micro. Sob outra perspectiva, foi feita a análise a respeito da capacidade dos alunos de estabelecerem analogias dos novos conhecimentos com conhecimentos pré-existentes, resultando em uma aprendizagem crítica por levar os alunos a novos questionamentos e, significativa na medida em que causa sensações e percepções, implicando em um realinhamento de valores.

3.2 ASPECTOS ÉTICOS

O Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco, representado pelo seu diretor geral e pela diretora pedagógica, autorizaram a aplicação do Produto Educacional, parte do projeto do mestrado, nesta unidade de ensino.

A divulgação das fotografias dos alunos, desenvolvendo as atividades em sala de aula, foram autorizadas legalmente pelos pais ou responsáveis, contando com a anuência da diretoria da escola.

Todos os participantes foram informados a respeito dos objetivos do estudo e que os mesmos não receberiam quaisquer compensações financeiras. Os estudantes que concordaram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice) participaram da pesquisa.

4 RESULTADOS, CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste capítulo será apresentado o produto educacional, composto por uma sequência didática e um experimento, bem como a fundamentação teórica tanto para os fenômenos em si, quanto para a sequência didática que foi utilizada para o estudo dos conteúdos. Será feita uma descrição minuciosa do experimento e o procedimento para o manuseio do mesmo. Finalmente, será feito um relato da aplicação do produto educacional assim como os resultados a partir dos dados obtidos, as conclusões e as perspectivas para a introdução de Física Moderna no ensino médio.

O projeto foi aplicado nas turmas A e B do terceiro ano do ensino médio, na terceira unidade, seguindo o plano de unidades da escola, cujo conteúdo é Introdução à Física Moderna. Os alunos tinham ciência do conteúdo que seria estudado nessa Unidade, porém, não foram informados que seria utilizada nas aulas uma sequência didática baseada na analogia, fazendo uso de um experimento ótico.

4.1 PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional apresentado ao projeto do MNPEF consistiu numa sequência didática na qual as aulas ocorreram de forma a proporcionar uma interação maior entre os alunos e entre alunos e professor, implicando em discussões e a utilização de um experimento ótico que permitiu a analogia entre os fenômenos estudados. A sequência didática teve como fundamento o uso das analogias para a introdução da Física Moderna no ensino médio, tendo como subsídios artigos publicados em revistas especializadas em ensino de física, em publicações de autores da educação, tendo como pressuposto teórico principal a “aprendizagem significativa crítica” de Marco Antônio Moreira.

A sequência didática foi aplicada na apresentação dos conteúdos durante as aulas, conforme descrito na seção 4.2, seguindo os planos de aulas, que consistiram em aulas expositivas, aplicação de questionários, seções 4.2.1 e 4.2.5 (Apêndices C, D e E), atividades experimentais, conforme descrito na seção 4.2.4, e vídeos exibidos, seção 4.2.2 (DESPERTANDO, 2015; PARA NÃO ESQUECER, 2015).

4.1.1 Introdução

A inserção de conteúdos de Física Moderna na educação básica tem se tornado uma necessidade para atender as demandas científicas e tecnológicas que o mundo contemporâneo exige, embora muitas dificuldades se apresentem nesse intento. Sobre esse tema, a literatura apresenta um considerável número de pesquisas que corroboram a importância da introdução do ensino de Física Moderna no ensino médio e as dificuldades encontradas no processo de ensino e aprendizagem. No IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Mikael Frank Rezende Junior e Frederico Firmo de Souza Cruz (2003, p. 1) afirmam que “Física é, sem dúvida, um exemplo bem-sucedido de construção do conhecimento humano, que busca dar sua contribuição para um contínuo avanço tecnológico bem como para a formação científica e cultural do homem moderno”. Maria Amélia Monteiro, Roberto Nardi e Jenner Barretto Bastos Filho (2009) apresentam em seu trabalho “Dificuldades dos Professores em Introduzir a Física Moderna no Ensino Médio: A Necessidade de Superação da Racionalidade Técnica nos Processos Formativos”, as justificativas de alguns pesquisadores para a introdução da FMC (Física Moderna e Contemporânea) na educação básica, enfatizando as dificuldades encontradas nesse processo.

As análises e interpretações dos fenômenos estudados na Física Moderna, nem sempre obedecem a mesma lógica que é utilizada para a compreensão dos fenômenos estudados na Física Clássica. Por essa razão a inclusão de conteúdos de Física Moderna no ensino médio tem representado um grande desafio em consequência das dificuldades pedagógicas encontradas na prática docente. Sobre as dificuldades no ensino de Mecânica Quântica, Pantoja (2011, p. VI) afirma que “A investigação de conceitos estruturantes facilitadores da aprendizagem deste ramo do conhecimento é de suma importância, sobretudo dadas as dificuldades de aprendizagem observadas, maiores nesta área do que em muitas da Física Clássica”. Na tentativa de vencer tais obstáculos, professores têm lançado mão de estratégias pedagógicas, inclusive utilizando sequências didáticas com base nas analogias. Porém, essa tarefa não é fácil e nem sempre bem-sucedida, dadas as dificuldades que o professor encontra em estabelecer analogias que possibilitem correspondência entre os fenômenos estudados na Física Clássica e na Física Moderna. Por outro lado, em sua abordagem, os livros didáticos se limitam à apresentação de conceitos e equações, não estabelecendo comparações entre os fenômenos estudados e fenômenos já conhecidos pelos alunos, o que compromete a apreensão do conteúdo. Outrossim, a falta de experimentos didáticos nessa área da Física faz com que as aulas tenham na oralidade seu único recurso didático, restando ao professor, como alternativa, desenvolver estratégias

pedagógicas que possam provocar o aluno a abstrações e comparações que venham facilitar a compreensão dos fenômenos (COSTA; BARROS, 2015; GASPAR; MONTEIRO, 2017).

Discussões sobre temas relacionados a fenômenos estudados na Física Moderna são recorrentes e estão presentes nos livros, nas mídias e no entretenimento (GILMORE, 1998). O fato dos conceitos desse ramo da Física fazerem parte da realidade contemporânea, estando presentes tanto no entretenimento quanto nas tecnologias acessíveis à sociedade, o aluno identifica alguns conceitos que lhes são familiares. Sendo assim, para que a sequência didática tenha êxito, o conhecimento prévio dos alunos deve ser levado em consideração, o que propiciará uma aprendizagem crítica e significativa.

Sobre a aprendizagem significativa Marco Antonio Moreira (2000, p. 30) diz:

Sabemos que a aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não-literal e não-arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, e adquire mais estabilidade. (...). Sabemos, também, que o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem. Em última análise, só podemos aprender a partir daquilo que já conhecemos. David Ausubel já nos chamava atenção para isso em 1963. Hoje, todos reconhecemos que nossa mente é conservadora, aprendemos a partir do que já temos em nossa estrutura cognitiva. Como dizia ele, já nessa época, se queremos promover a aprendizagem significativa é preciso averiguar esse conhecimento prévio e ensinar de acordo.

Tendo em vista o contexto científico e tecnológico atual, cuja base teórica não é de fácil assimilação pelos alunos do ensino médio, é conveniente a utilização de uma abordagem didática baseada nas analogias para que ocorra a internalização dos conceitos estudados na Física Moderna, a partir de conceitos conhecidos da Física Clássica. Daí a necessidade de se considerar as similaridades ou equivalência entre os fenômenos conhecidos e o fenômeno a ser estudado. Outrossim, pela impossibilidade da interação direta com o fenômeno estudado, o raciocínio, a indução e a dedução ficam comprometidos. Em razão disso, a utilização de experimentos para que se estabeleça a interação do sujeito com o objeto de estudo torna-se importante. Sobre as analogias em sala de aula os autores Martins, Ogborn e Kress (1999) apresentam a relevância da linguagem no processo do ensino e aprendizagem de Ciências, enfatizando a importância das metáforas, analogias e outros recursos de imaginação nas situações de ensino.

Diante do exposto, faz-se necessária a elaboração de recursos educacionais capazes de produzir a compreensão de forma cognitiva, significativa e crítica dos fenômenos estudados na Física Moderna.

Para atender a essa demanda, o Produto Educacional desenvolvido consiste numa sequência didática que rompe com o modo tradicional de aulas, ao estabelecer analogias entre o fenômeno de reflexão interna total frustrada, tratado na Física Clássica, e o fenômeno de tunelamento quântico, estudado na Física Quântica. Para tanto, é utilizado um experimento ótico, o qual permite ilustrar o fenômeno de tunelamento quântico a partir do fenômeno da reflexão interna total frustrada, explorando a similaridade entre eles. Esse recurso pedagógico auxiliará o professor no ensino e permitirá ao aluno compreender o fenômeno quântico a partir da analogia com o fenômeno clássico. Destarte, a aprendizagem se processará com a formação de novos conceitos construídos nos alicerces de conceitos pré-existentes, o que proporcionará uma aprendizagem significativa e crítica, implicando num realinhamento da escala de valores, já que o aluno será colocado diante de uma nova leitura da Natureza que o leva a compreender que o mundo que o cerca e que lhe é perceptível está relacionado com os sentidos do corpo humano, e que difere do mundo que nos revelam as teorias da Física Moderna.

Dois trabalhos acadêmicos pronunciam-se sobre a analogia entre um fenômeno clássico e um fenômeno quântico a partir de um experimento ótico: “Reflexão Interna Total Frustrada ou Penetração de Barreira Óptica” de Márcia Regina Moreira Leão (2005) e “Uma Demonstração Simples Sobre a Analogia Clássica do Efeito de Tunelamento Quântico” de Cleidilane de Oliveira Sena, Glaura Caroená Azevedo de Oliveira e Petrus Alcantara Júnior (2005). Em ambos os trabalhos, os autores buscam estabelecer a analogia entre os fenômenos de reflexão interna total frustrada e o fenômeno do tunelamento quântico.

4.1.2 Fundamentação Teórica

As aulas seguirão uma sequência didática que rompe com a forma tradicional de aulas, tendo como base a teoria da aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2011), enfatizando a importância das analogias no processo de aprendizagem. Será feita uma analogia entre os fenômenos de tunelamento quântico e reflexão interna total frustrada utilizando um experimento ótico. Tal experimento permite a visualização de uma barreira ótica sendo transposta por raios de luz que, por analogia, será comparado à uma barreira de potencial sendo transposta por partículas, evento que se verifica no fenômeno quântico.

A seguir serão abordados os conteúdos necessários para a aplicação do produto educacional.

4.1.2.1 A aprendizagem significativa crítica na visão de Marco Antonio Moreira

Em uma releitura da teoria clássica da aprendizagem significativa de David Ausubel, Marco Antonio Moreira postula que a aprendizagem não deve ser apenas crítica, mas também significativa, para atender as mudanças rápidas e drásticas que ocorrem na sociedade contemporânea (MOREIRA 2010). Nessa nova leitura, Moreira destaca o papel fundamental da linguagem e da interação social na aprendizagem, enfatizando o aspecto crítico na aquisição do conhecimento.

Segundo Moreira (2011), a aprendizagem significativa consiste na interação do novo conhecimento com o conhecimento prévio, processo natural de aprendizagem no qual o aluno não substitui o conhecimento leigo pelo científico, conservando assim sua cultura, mantendo a sua postura crítica, sem se aculturar diante de novos conceitos e perspectivas. “Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva”. A esse conhecimento prévio, específico e relevante, David Ausubel chamava de subsunçor ou ideia-âncora

Moreira (2011) cita um exemplo no qual um aluno que já conhece a lei da Conservação de Energia aplicada à energia mecânica tem facilidade em resolver problemas em que há transformação de energia potencial em cinética e vice-versa, uma vez que apenas corrobora o conhecimento prévio, dando-lhe estabilidade cognitiva e talvez maior clareza.

Conclui-se que o conhecimento prévio é determinante para a aprendizagem na medida em que só podemos aprender a partir do que já conhecemos, ou seja, aprendemos a partir daquilo que já temos em nossa estrutura cognitiva.

Nessa perspectiva, as teorias da aprendizagem significativa, aplicadas no processo de ensino e aprendizagem, sugerem um ensino com base nas analogias, tal como é proposto no presente trabalho ao estabelecer a analogia entre o fenômeno do tunelamento quântico com o fenômeno da reflexão interna total frustrada (MOREIRA, 2011.)

4.1.2.2 Propriedades da propagação da luz

A sequência didática explora a analogia entre os fenômenos de tunelamento quântico e da reflexão interna total frustrada. Portanto, serão abordados os fenômenos óticos da reflexão,

refração, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica, ocorrências tratadas na Física Clássica e estudadas no 2º Ano do ensino médio. A abordagem dos fenômenos óticos facilitará o entendimento do tunelamento quântico, por analogia, já que tal fenômeno encerra similaridades com a reflexão interna total frustrada.

A ótica é o segmento da Física que estuda a luz e os fenômenos a ela associados. O estudo da ótica se divide em duas partes – ótica geométrica e ótica física pelo fato da luz possuir comportamento dual, se manifestando como partícula em alguns fenômenos e como onda noutros.

A ótica geométrica se baseia no conceito de que a luz é composta por raios que se propagam em linha reta, inferindo um modelo geométrico na sua propagação. Assim, fenômenos como reflexão da luz, refração da luz e reflexão interna total são estudados pela ótica geométrica.

Quando a natureza da luz é considerada ondulatória, seus estudos se baseiam no conceito da sua propagação por meio de ondas eletromagnéticas e é estudada pela ótica física. O fenômeno da reflexão total frustrada é estudado por essa parte da ótica, uma vez que tal fenômeno só é possível caso a luz tenha comportamento ondulatório.

O fenômeno da reflexão da luz ocorre quando um feixe luminoso que se propaga num determinado meio incide sobre uma superfície e retorna ao seu meio de origem. O feixe de luz que se dirige para a superfície é denominado feixe incidente e o feixe que retorna da superfície refletora é o feixe refletido.

Quando a luz incide em uma superfície irregular, os raios refletidos se propagam em várias direções diferentes (fig. 1). Dizemos que houve espalhamento da luz. Esse tipo de reflexão é denominado reflexão difusa. Devido ao fenômeno da difusão, muitas pessoas podem ver o mesmo objeto ao mesmo tempo e podemos enxergar vários objetos de ângulos diferentes.

Há outro tipo de reflexão na qual os raios são refletidos paralelamente após incidirem em superfícies altamente polidas como os espelhos, metais e superfícies de água (fig. 2). Esse tipo de reflexão é denominado reflexão regular e permite a formação de imagens nítidas, porém ela não pode ser observada de todas as posições (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009 GREF, 2000).

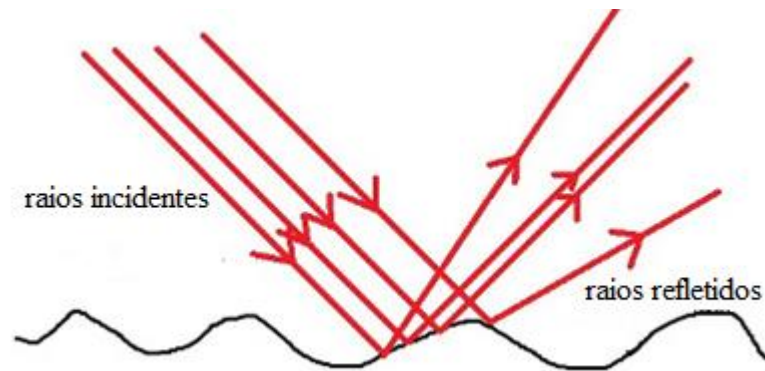


Figura 1: Um feixe luminoso sofrendo reflexão ao encontrar uma superfície irregular

Fonte: Teixeira (s.d.)

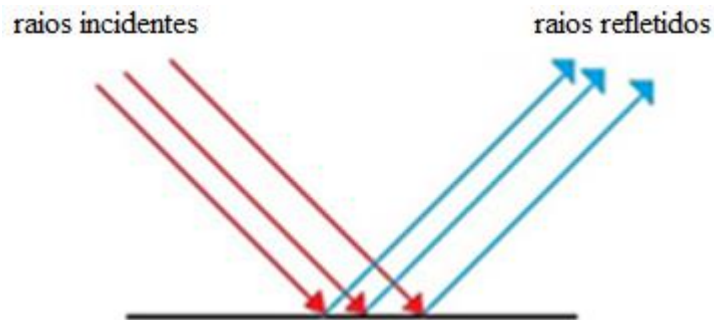


Figura 2: Um feixe luminoso sofrendo reflexão ao encontrar uma superfície lisa

Fonte: Teixeira (s.d.)

O fenômeno da refração da luz ocorre quando a luz sofre mudança de meio de propagação, havendo variação na velocidade de irradiação, uma vez que a luz é uma onda eletromagnética cuja velocidade de propagação depende do meio (fig. 3). Se a incidência da luz ocorrer com um ângulo igual a zero, em relação à normal da superfície de separação dos meios, a luz não sofrerá desvio e seu ângulo refratado será nulo. Porém, quando a incidência acontecer com um desvio oblíquo, em relação à normal, o raio luminoso refratado se aproximará ou se afastará da reta normal.

Um conceito importante no estudo da luz é o índice de refração. Tal conceito decorre do fato de a velocidade de propagação da luz ser diferente em meios distintos. O índice de refração estabelece a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio considerado. Assim, dizemos que um meio é mais refringente do que outro meio, quando a velocidade de propagação da luz no primeiro é menor do que no segundo meio.

No estudo da Ótica, a interface entre dois meios homogêneos e transparentes é chamada de dioptra, podendo ser classificadas em planas, esféricas, cilindros, dentre outros. Os dioptras

são importantes para estudos que envolvem a refração da luz (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009 GREF, 2000).

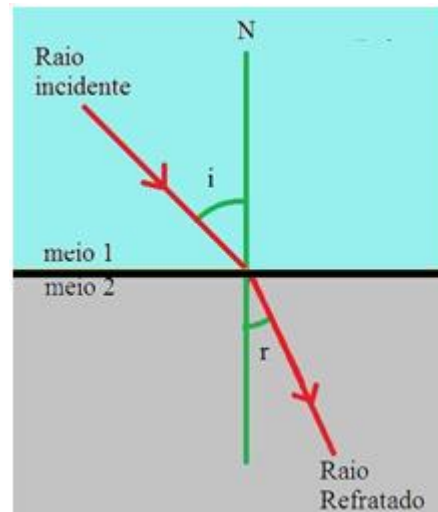


Figura 3: Um raio refratando do meio 1 para o meio 2

Fonte: Teixeira (s.d.)

Segundo a teoria eletromagnética clássica, quando um feixe de luz incide obliquamente em uma interface de dois meios transparentes, o raio luminoso se afasta da normal, sendo, parcialmente, refletido e parcialmente transmitido (fig. 4). Porém, se esse feixe parte de um meio de índice de refração maior para um meio de índice de refração menor, atingindo a interface com um ângulo maior que um ângulo θ_L , chamado ângulo crítico ou ângulo limite, ocorre o fenômeno chamado reflexão interna total, pois a interface funciona como uma barreira, impedindo que o feixe incidente, classicamente, atravesse a mesma. Logo, aí não se verifica o fenômeno da transmissão (refração), uma vez que o feixe retorna ao meio de origem. Esse fenômeno pode ser observado nos prismas de 45° (fig. 5), por provocarem um desvio de 90° dos feixes em relação ao feixe incidente, funcionando a face a 45° como um espelho plano.

A figura 4 ilustra um raio incidindo sobre a interface de dois meios (meio 1 e meio 2), inicialmente com um ângulo nulo em relação à normal, ocorrendo apenas a refração. Porém, à medida em que a inclinação do raio incidente aumenta, além da refração, ocorre uma reflexão desse raio; no momento em que essa inclinação chega a um ângulo limite (ângulo crítico), a refração ocorre de forma rasante à interface de separação dos dois meios; num ângulo superior ao ângulo crítico ocorre a reflexão interna total (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009 GREF, 2000).

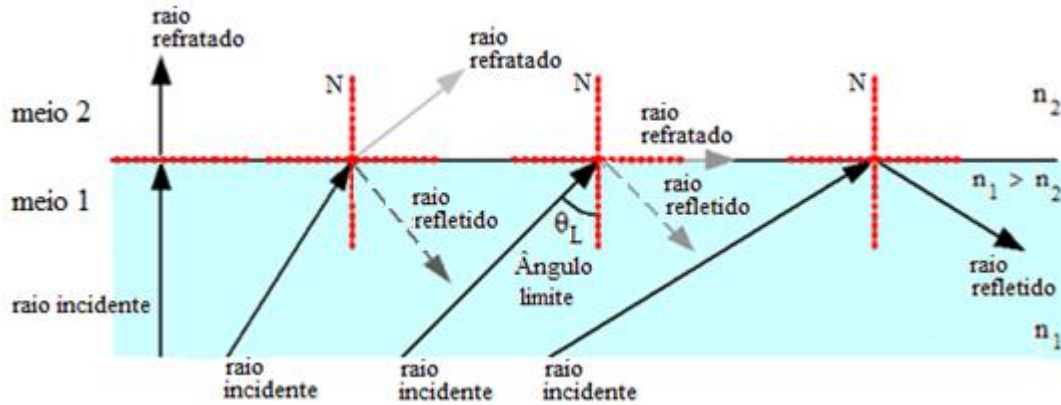


Figura 4: Refração; refração e reflexão; reflexão interna total

Fonte: Museu das comunicações (2017).

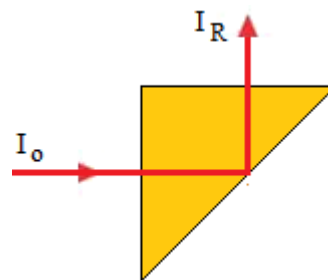


Figura 5: Reflexão interna total no prisma de 45°

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Na reflexão interna total, considerada na perspectiva da ótica geométrica, não ocorre refração da luz. Porém, analisando o fenômeno com base na teoria ondulatória da luz, percebe-se que, ao incidir na fronteira entre dois meios, a luz transpõe a interface e se propaga no segundo meio alguns comprimentos de onda, decaindo exponencialmente (fig. 7). Tal fenômeno é resultado da sobreposição de várias ondas naquele ponto de incidência, dando origem a uma onda resultante, transmitida para o segundo meio. A onda transmitida guarda as mesmas características da onda incidente, exceto a velocidade, que depende da inclinação do ângulo da frente de onda transmitida em relação à interface de separação dos meios. Quanto maior for a velocidade da onda transmitida, maior será a inclinação da frente de onda e, quando essa inclinação atingir um ângulo de 90°, a superposição das ondas produz uma onda de superfície chamada onda evanescente (fig. 6 e fig. 7). Quando a onda evanescente se propaga com certa amplitude de um meio para outro meio de índice de refração maior, a energia pode ser transmitida através deste intervalo. Nessas circunstâncias pode-se dizer que, a rigor, não há reflexão total e esse fenômeno é conhecido por reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica (LEÃO, 2005; SENA; OLIVEIRA; OLIVEIRA; ALCÂNTARA JÚNIOR, 2005).

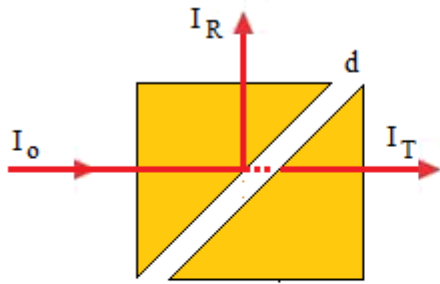


Figura 6: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaboradas pelo autor (2017).

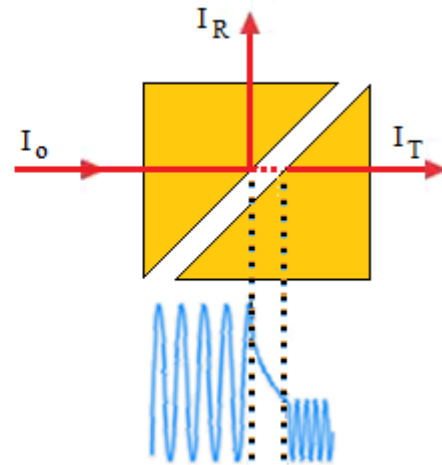


Figura 7: Onda evanescente

Fonte: Elaboradas pelo autor (2017).

4.1.2.3 Noções de Mecânica Quântica

A Mecânica Quântica (MQ) surgiu como resultado de descobertas como a radiação do corpo negro, a dualidade onda partícula, a função de onda e a descrição probabilística, e o princípio da incerteza. Assim, a MQ se estabeleceu como um ramo da Física que estuda o comportamento da matéria e da energia em sistemas de dimensões próximas ou abaixo da escala atômica, tais como moléculas, átomos, elétrons, prótons e partículas subatômicas, embora possa descrever fenômenos macroscópicos em alguns casos. A teoria quântica fornece descrições precisas para fenômenos como a radiação do corpo negro e as órbitas estáveis do elétron. Apesar de, na maioria dos casos, a Mecânica Quântica ser relevante para descrever sistemas microscópicos, os seus efeitos específicos não são somente perceptíveis em tal escala. Por exemplo, a explicação de fenômenos como a superfluidez e a supercondutividade só é possível se considerarmos que o comportamento microscópico da matéria é quântico. Os fenômenos estudados pela MQ têm vasta aplicação na tecnologia eletrônica como, por exemplo, o efeito túnel ou tunelamento quântico, presente em componentes eletrônicos como os diodos túnel (EISBERG; RESNICIK, 1979; MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; HALLIDAY; RESNICK; WALIER, 2003; TIPLER, 2000).

Na escala microscópica, a quantização da energia acontece sempre que uma partícula fica sujeita a algum tipo de confinamento. Essa região de confinamento e que contém um máximo de potencial é chamada de **barreira de potencial**, cuja barreira impede uma partícula de atravessá-la para outra região (fig. 8). Alguns fenômenos nucleares ocorrem porque o núcleo

atômico é rodeado por uma barreira de potencial. Outrossim, componentes eletrônicos como diodo de túnel tem o seu princípio de funcionamento baseado na barreira de potencial, cuja barreira está situada na interface entre semicondutores com graus de impurezas diferentes. Outro exemplo de equipamento que funciona com base na barreira de potencial é o microscópio de tunelamento com varredura (EISBERG; RESNICIK, 1979; MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; HALLIDAY; RESNICK; WALIER, 2003).

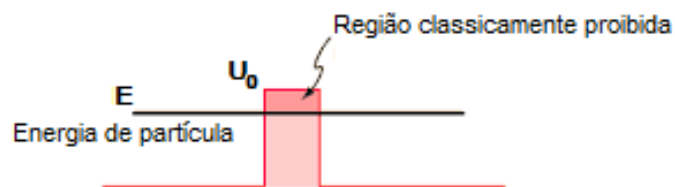


Figura 8: Barreira de potencial

Fonte: Semana XI (s.d.).

Considerando uma barreira de potencial como uma parede fina, se uma partícula for arremessada contra a barreira com uma energia menor que a sua altura, essa partícula não conseguiria penetrar e nem ultrapassar a barreira, segundo a física clássica (fig. 9). Porém, alheio ao que prevê a física clássica, a partícula tem a probabilidade de penetrar ou ultrapassar a barreira, conforme a física quântica, ou seja, a função de onda penetra na região proibida e, se a parede for fina, pode surgir do outro lado com um valor não nulo (fig. 10)

Esse fenômeno, denominado **efeito túnel ou tunelamento quântico**, diz respeito à probabilidade de partículas ultrapassarem uma barreira de potencial, mesmo que não tenha energia o suficiente para tal, ou seja, as partículas podem transpor um estado de energia classicamente proibido (fig. 11) (EISBERG; RESNICIK, 1979; MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; HALLIDAY; RESNICK; WALIER, 2003).



Figura 9: Caso clássico

Fonte: Xavier (2012).

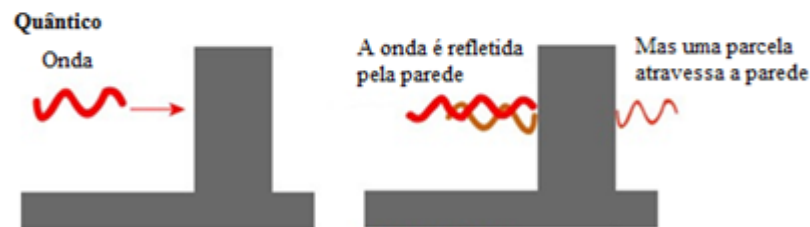


Figura 10: Tunelamento quântico

Fonte: Xavier (2012).

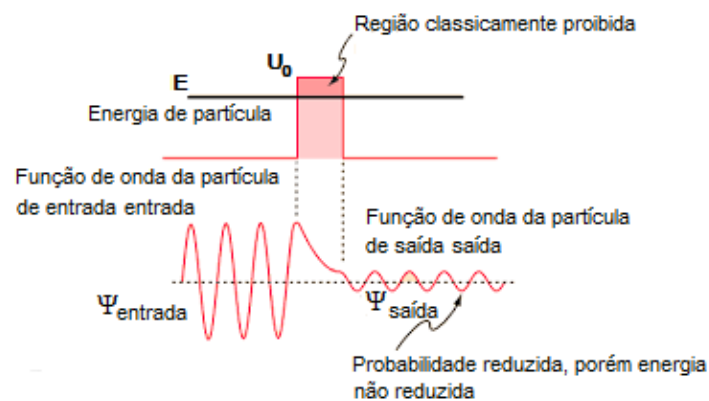


Figura 11: Tunelamento quântico

Fonte: Semana XI (s.d.).

4.1.2.4 Analogia entre o fenômeno óptico e o fenômeno quântico

A analogia entre o tunelamento quântico e a reflexão interna total frustrada se dá pelo fato de que, em ambos os casos, verifica-se uma barreira sendo transposta por partículas e ondas, respectivamente, embora não fosse possível, se analisados em perspectivas diferentes.

No ponto de vista da ótica geométrica, um raio de luz não poderia ser transmitido além da barreira ótica, no fenômeno da reflexão interna total. Porém, na perspectiva da ótica física,

considerando o comportamento ondulatório da luz, a barreira ótica é transposta pela onda de luz, no fenômeno da reflexão total frustrada.

No fenômeno de tunelamento quântico, uma barreira de potencial é transposta por partículas, o que não aconteceria se analisado na perspectiva da física clássica.

Dadas as similaridades entre os fenômenos, nos quais barreiras são transpostas por ondas e partícula nos eventos clássico e quântico, nessa ordem, pode-se estabelecer uma analogia para se estudar o tunelamento quântico a partir da reflexão interna total frustrada (fig.12 e fig. 13) (LEÃO, 2005; SENA; OLIVEIRA; OLIVEIRA; ALCÂNTARA JÚNIOR, 2005; TELICHEVESKY, 2015).

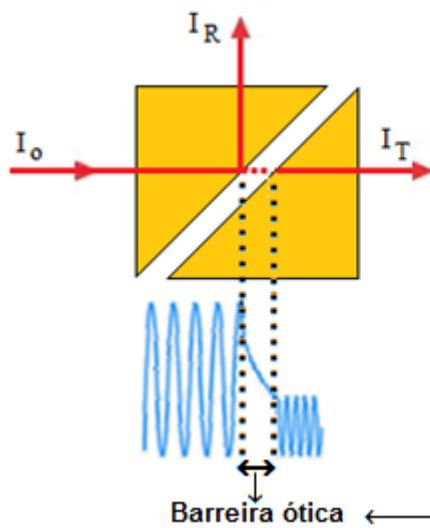


Figura 12: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

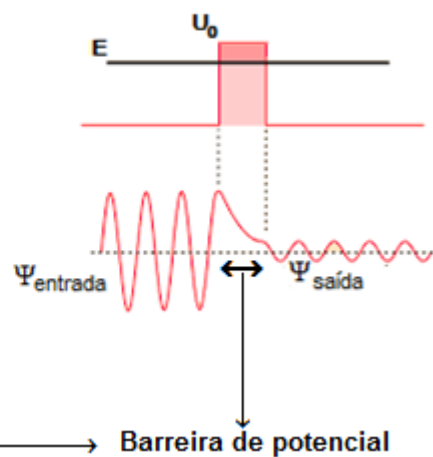


Figura 13: Tunelamento quântico

Fonte: Semana XI (s.d.) modificada

4.1.2.5 Sequência Didática

As sequências didáticas estão vinculadas às atividades educacionais e consistem num encadeamento de etapas ligadas entre si e têm sido cada vez mais utilizadas como recursos para o ensino com o objetivo de facilitar a aprendizagem. Fugir da abordagem tradicional, como estratégia de ensino, é cada vez mais comum na educação como recurso pedagógico para tornar o ensino dinâmico, atrativo e motivador. Para tanto, faz-se necessário um planejamento com critérios, cuja sequência contenha atividades que permitam determinar os conhecimentos prévios; atividades cujos conteúdos sejam propostos de forma significativa e funcional; atividades que provoquem um conflito cognitivo e promovam a atividade mental (ZABALA, 1998).

As aulas seguirão uma sequência didática que rompe com a forma tradicional, tendo como base a teoria da aprendizagem significativa crítica, enfatizando a importância das analogias no processo de aprendizagem (MOREIRA, 2011).

A sequência didática consiste na aplicação de dois questionários, um no início da primeira aula e outro ao final da última aula. Os questionários têm por objetivo sondar o nível de conhecimento que os alunos tinham sobre o fenômeno do tunelamento quântico. Em seguida serão abordados os fenômenos óticos da reflexão, refração, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica, fenômenos tratados na Física Clássica e estudados no 2º Ano do ensino médio. A abordagem dos fenômenos óticos tem por objetivo facilitar o entendimento do tunelamento quântico, por analogia, já que tal fenômeno encerra similaridades com a reflexão interna total frustrada.

Para a demonstração do fenômeno da reflexão interna total frustrada, foi utilizado um experimento ótico.

4.1.2.6 Experimento

A experimentação, associada a uma sequência didática que diferencia do sistema convencional de aulas, como estratégia do trabalho docente, ganha importância no processo de ensino e aprendizagem, na medida em que possibilita uma aprendizagem mais significativa. Portanto buscou-se um experimento de baixo custo, de fácil construção e manuseio descomplicado, que possibilita a visualização do fenômeno ótico da reflexão interna total frustrada para estabelecer as comparações e fazer a analogia com o fenômeno do efeito túnel.

Tal experimento permite a visualização de uma barreira ótica sendo transposta por raios de luz que, por analogia, será comparado a uma barreira de potencial sendo transposta por partículas, evento que se verifica no fenômeno quântico.

O experimento não é inédito, o modelo foi encontrado na internet como experimento ótico, sugerido pelo departamento físico da Universidade de Vermont, intitulado *Frustrated Total Internal Reflection*, para demonstração do fenômeno da reflexão interna total frustrada (PhysicsatUVM The University of Vermont Frustrated Total Internal Reflection).

O experimento consiste de uma base retangular com blocos afixados sobre a mesma, construídos com madeira; um bloco prismático triangular de 45° (prisma triangular de 45°) e um bloco cilíndrico elíptico (cilindro elíptico), ambos construídos com acrílico transparente (polimetil-metacrilato); uma mola de metal; uma fonte de raio laser e uma pequena placa de cartolina na cor preta. Ver figuras 14 – 20.



Figura 14: Base de madeira

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 15: Mola

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 16: Fonte de raio laser

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 17: Prisma triangular de 45° (prisma de reflexão total)

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 18: Cilindro elíptico

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 19: Placa de cartolina

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

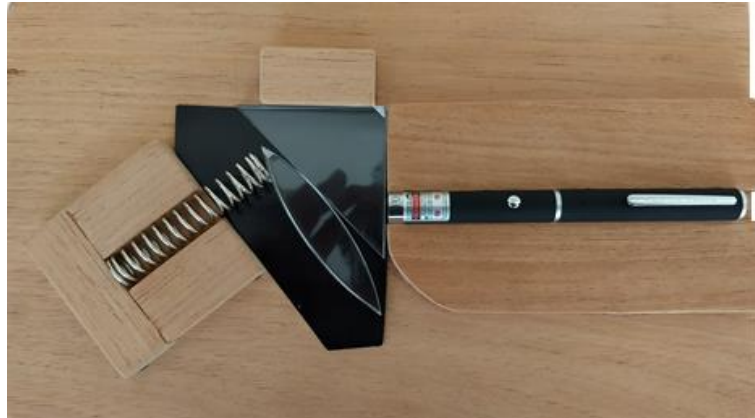


Figura 20: Experimento montado

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Cada componente do experimento tem uma função específica, descritos a seguir.

- Base: utilizada para o encaixe dos demais componentes.
- Fonte de laser: gera o feixe de luz.
- Prisma triangular de 45° e cilindro elíptico: meios para a propagação da luz.
- Mola: permite a pressão de um sólido contra o outro.
- Placa de cartolina: permite melhor visualização do feixe de luz.

No arranjo experimental, o prisma, o cilindro e o ar entre os mesmos compõem os três meios pelos quais o feixe de luz irá se propagar, na análise do fenômeno da reflexão interna total frustrada. O prisma e o cilindro são instalados de maneira a permitir um movimento de rolagem do cilindro ao longo da face do prisma, provocando a variação da largura do filme de ar na interface entre as duas peças. A mola permite que o prisma e o cilindro se toquem, mantendo uma pressão entre suas faces.

Ao acionar a fonte de laser, o feixe proveniente desta incide sobre uma das faces do prisma, sofre refração na primeira face e reflexão total na segunda face (fig. 21). Porém ao rolar

o cilindro sobre a superfície do prisma, pressionado pela mola, a largura do filme de ar na interface entre as peças diminui e, quando a largura dessa fenda atinge a ordem de grandeza do comprimento de onda da luz, parte do feixe será refletida e parte transmitida para o cilindro. A refração deve-se ao desvio da onda evanescente que passa a se propagar no cilindro (fig.22)

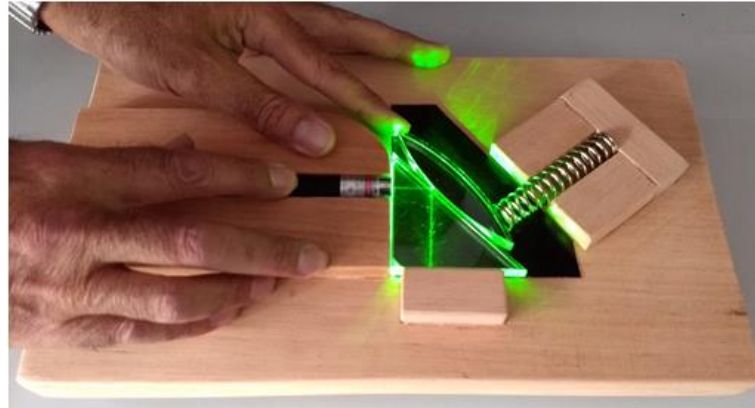


Figura 21: Reflexão interna total

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

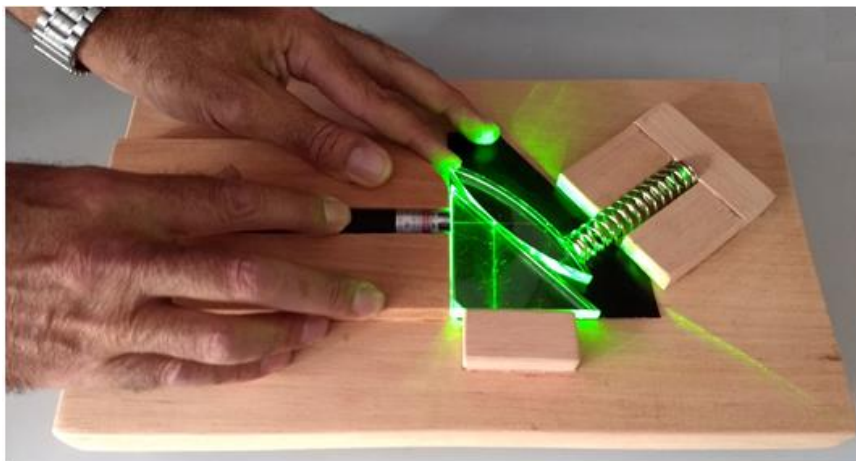


Figura 22: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para manusear o experimento, a base deve ser posicionada sobre uma mesa, em um plano horizontal. O prisma, o cilindro, a mola e a cartolina devem ser encaixados nos lugares apropriados e ficarem ajustados para evitar que saiam da posição durante o manuseio. Uma vez instalados os componentes, liga-se a fonte de laser e, com a fonte ligada, pressiona-se uma das extremidades do cilindro, fazendo-o rolar sobre a face do prisma até que seja notada a transmissão do feixe para o cilindro (Fig. 24).

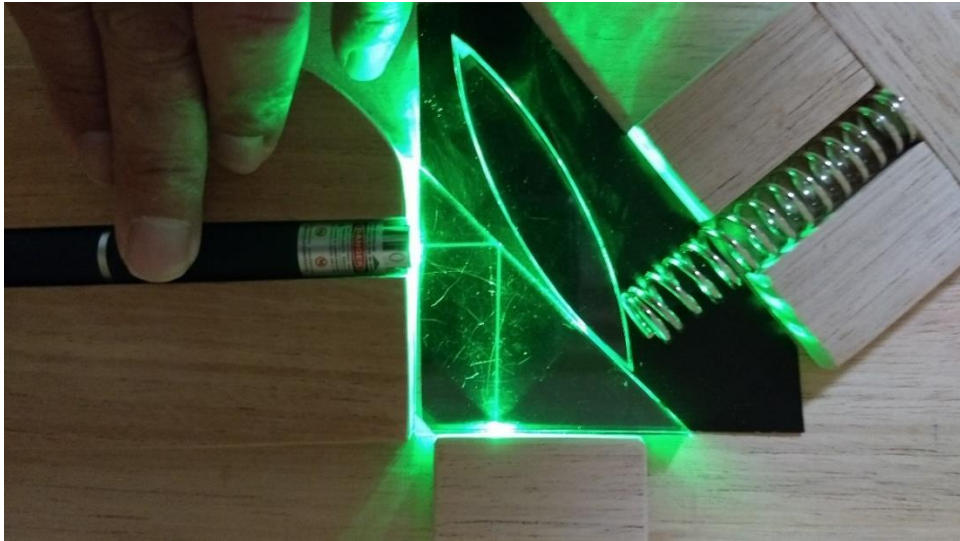


Figura 23: Reflexão interna total

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

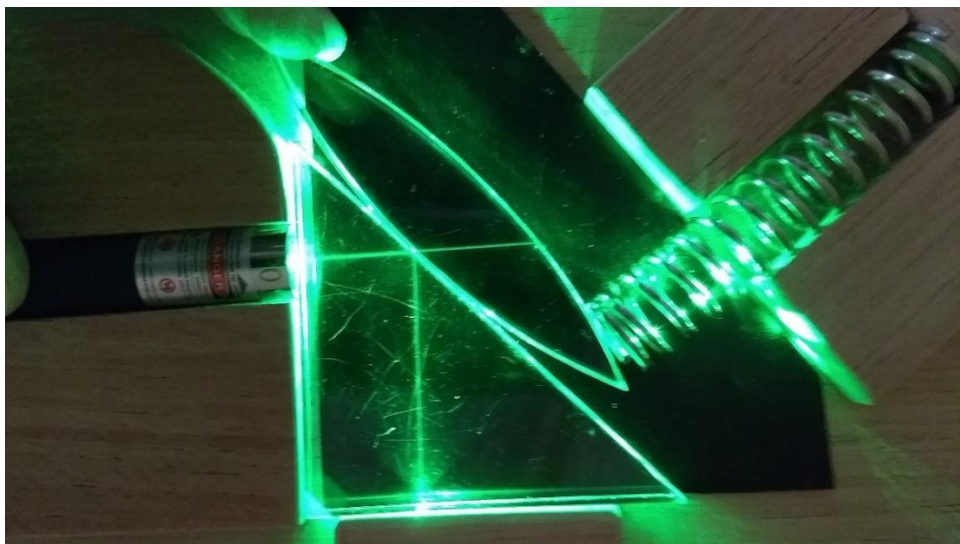


Figura 24: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Durante as aulas as carteiras foram dispostas em forma de U, cuja configuração favorece a interação livre entre os alunos, possibilitando uma educação participativa e cooperativa, já que nesse formato os alunos têm contato visual com toda a turma e diminuem a distância emocional (fig.43, Apêndice F), segundo Madalena Telles Teixeira e Maria Filomena Reis. Já

Ferrão Tavares (2000, p. 33) afirma ser importante refletir sobre a organização do espaço na aula como meio de facilitar a interação.

O objetivo geral da intervenção foi proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação e, a partir de analogias, compreender os fenômenos estudados na Física Quântica por meio de fenômenos conhecidos da Física Clássica, bem como as energias associadas a tais fenômenos; permitir a apreensão dos conceitos, leis e princípios fundamentais da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás dos modelos científicos. Dessa forma, terão subsídios para desenvolverem habilidades e competências para manipular essas ideias, associá-las com conhecimentos prévios e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

A metodologia utilizada foi baseada em aulas expositivas, discussões, leituras de textos e aplicação de questionários, tendo como recursos: quadro branco, sistema multimídia, textos científicos, experimento e questionários impressos. O projeto foi aplicado em cinco aulas para cada turma, sendo denominadas aula 1, aula 2, aula 3, aula 4 e aula 5. Em ambas as turmas foi adotado o mesmo procedimento de arrumação das carteiras e as aulas tiveram o mesmo formato.

Na escola em que foi aplicado o projeto, a sistemática para a formação das turmas segue um procedimento no qual, a cada ano, quando os alunos avançam para as séries seguintes, são formadas novas turmas, mesclando os alunos procedentes de turmas diferentes. Esse procedimento ocorre desde as séries iniciais, no Ensino Fundamental, até o terceiro ano do Ensino Médio. Tal critério permite um nivelamento do aprendizado, tendo como resultado, turmas com o mesmo nível de desempenho, em média. Na aplicação do projeto ficou evidente esse nivelamento. Portanto, entendendo que as turmas A e B do terceiro ano possuem o mesmo perfil, no que se refere ao nível de aprendizado e conhecimento, não foi feito um relato específico das aulas ministradas para cada turma. Logo, os comentários serão genéricos, apenas destacando e particularizando o resultado da aplicação dos questionários.

A aplicação do produto educacional foi ocorrendo aula a aula, obedecendo à sequência didática que teve sua culminância nas aulas 4 e 5, quando foi feita a experimentação e estabelecida a analogia entre os fenômenos ótico e quântico.

4.2.1 Aula 01

O tema da aula 1 foi “energia e sua conservação”, uma vez que o fenômeno principal a ser estudado na Física Quântica envolve tais conceitos.

Os objetivos específicos consistiram em discutir o conceito de energia e sua conservação, identificando essas manifestações nos fenômenos na Natureza, bem como no funcionamento das máquinas e equipamentos; proporcionar aos alunos a percepção de que em todos os fenômenos estudados na Física Clássica, ocorre a conservação da energia em sistemas isolados; propiciar discussão entre os alunos sobre o tema em estudo.

O conteúdo programático consistiu em energia cinética, energia potencial, energia mecânica e conservação da energia.

A aula 1 teve início com o professor questionando aos alunos sobre o conceito de energia e sua conservação e pedindo exemplos de sua manifestação nos fenômenos que acontecem com frequência no seu dia a dia (fig.26, Apêndice F). Como energia é um tema recorrente, desde a disciplina ciência, os alunos deram respostas coerentes e exemplificaram a presença da energia no funcionamento de máquinas, equipamentos e fenômenos naturais. Na sequência, foi aberta a discussão sobre a conservação da energia mecânica, conteúdo que os alunos estudaram no primeiro ano, e a primeira lei da Termodinâmica, que estudaram no segundo ano. Percebeu-se que os alunos tinham conhecimento e segurança para discutir o tema, ficando evidente a correta assimilação do conceito de energia, mesmo entendendo que não há uma definição para tal fenômeno.

Durante as discussões, vez por outra, o professor foi solicitado para tirar alguma dúvida, ou para fazer pequenas intervenções a fim de reconduzir as discussões ao tema. Houve interesse sobre as diversas formas de energia envolvidas nos processos industriais e uma disposição particular pelas formas de energia que se manifestam nos organismos vivos, nos processos bioquímicos. Ao perceber esse interesse, os alunos foram provocados pelo professor para discutirem a energia para a vida e o papel do Sol na vida da Terra.

No fechamento das discussões, os alunos concluíram que, apesar de não haver uma definição precisa, a energia está associada aos fenômenos da Natureza sob diversas formas e que as formas de energia que se manifestam na matéria inanimada são da mesma natureza das que estão presentes nos seres vivos, desde os impulsos elétricos, aos movimentos e os processos bioquímicos. Concluíram também que para um corpo transpor uma rampa deverá estar animado com uma energia cinética maior que a energia potencial gravitacional desse corpo no ponto mais alto da rampa. Entenderam que a rampa funciona como uma barreira a ser transposta. Tal informação é importante para o entendimento da barreira de potencial, fenômeno que foi tratado na aula 2.

Percebeu-se que os alunos trazem um conhecimento prévio e conceitos formulados a partir da experiência de cada um no seu universo e nas suas experiências do cotidiano.

Outrossim, são movidos pela curiosidade peculiar que é despertada pelas novidades tecnológicas, pelas notícias veiculadas na internet, nos documentários e nos filmes, o que os coloca numa posição crítica diante de novos conceitos, por mais desafiadores que sejam.

4.2.2 Aula 02

O tema da aula 2 foi “noções básicas de mecânica quântica”, já que é necessário o entendimento de alguns conceitos para o estudo do fenômeno de tunelamento quântico, tema central do projeto.

Os objetivos específicos consistiram em apresentar os conceitos fundamentais da Mecânica Quântica; apresentar as leis e teorias físicas que regem os fenômenos da Mecânica Quântica; provocar a discussão sobre o tema.

O conteúdo programático consistiu em natureza quântica da física atômica, superposição, salto quântico e tunelamento quântico.

No início da aula foi aplicado o questionário A (apêndice C) com o objetivo de sondar o nível de informação que os alunos possuem sobre os fenômenos estudados na Física Moderna. O questionário A continha 4 perguntas, para respostas “sim” ou “não” (figuras 28 a 34), apêndice F), cujos resultados da sua aplicação nas turmas A e B foram:

Questionário A – Turma A

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?
08 alunos responderam sim.
26 alunos responderam não.2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?
08 alunos responderam sim.
26 alunos responderam não.3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade |
|--|

é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?

23 alunos responderam **sim**.

11 alunos responderam **não**.

4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?

10 alunos responderam **sim**.

24 alunos responderam **não**.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

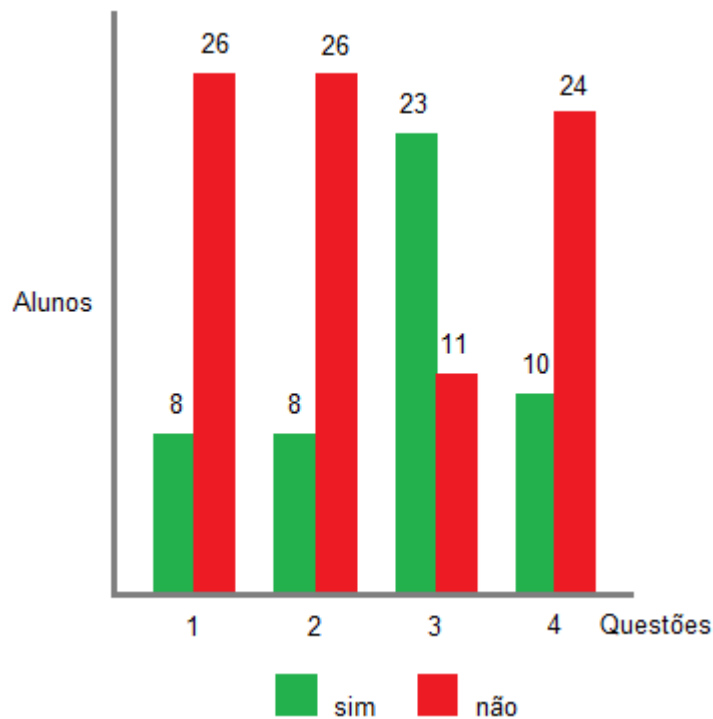


Gráfico 1 (Questionário A – Turma A)

Questionário A – Turma B

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?

07 alunos responderam **sim**.

27 alunos responderam **não**.

2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?
10 alunos responderam **sim**.
24 alunos responderam **não**.
3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?
14 alunos responderam **sim**.
20 alunos responderam **não**.
4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?
09 alunos responderam **sim**.
25 alunos responderam **não**.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observação: houve ausência de três alunos da turma B.

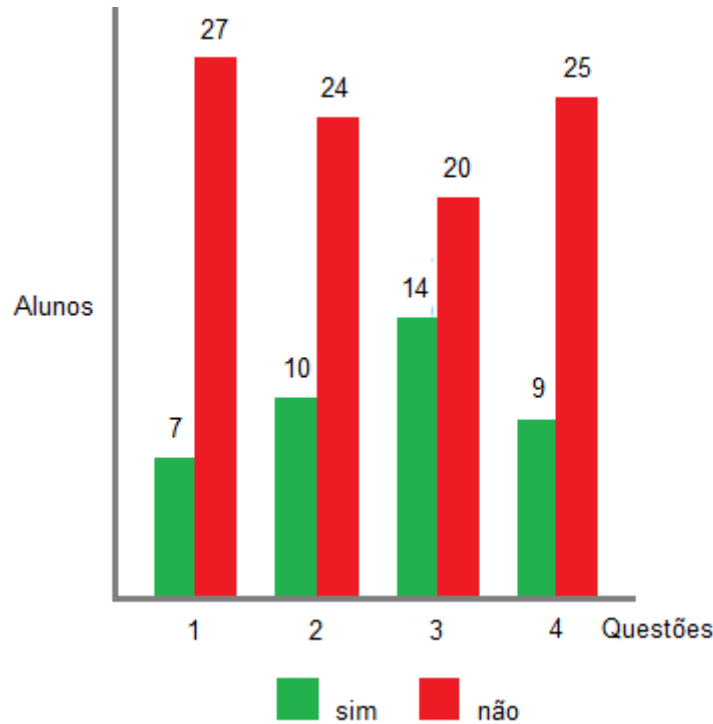


Gráfico 2 (Questionário A – Turma B)

Ao analisar o resultado da aplicação dos questionários, percebeu-se que as respostas dos alunos de ambas as turmas se equivaleram, havendo uma diferença maior apenas nas repostas da questão 3, o que corrobora o nivelamento das turmas. O resultado revelou que 66% dos alunos deram respostas com base na teoria clássica e 34% com base na teoria quântica.

Após a aplicação do questionário, foi feita uma discussão acerca das respostas do mesmo para que os alunos pudessem justificá-las. Constatou-se que os discentes responderam as questões com base no conhecimento que possuem sobre a Física Clássica, sendo que, os que arriscaram respostas coerentes com a teoria quântica, o fizeram sem possuir embasamento que justificasse a resposta.

Em seguida foram apresentadas as noções básicas da mecânica quântica, destacando que tal teoria estuda os eventos no mundo micro, em que algumas leis da mecânica clássica não são válidas e alguns fenômenos proibidos ao mundo clássico ocorrem. Foram apresentados os fenômenos da radiação do corpo negro, quantização, efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, experimentos da fenda única e fenda dupla, superposição quântica (gato de Schroedinger), princípio da incerteza, salto quântico, barreira de potencial e tunelamento quântico.

O tunelamento quântico foi tratado com maior ênfase, destacando que nesse fenômeno verifica-se uma barreira de potencial que, do ponto de vista da Física Clássica, uma partícula

movida com energia menor que a da barreira de potencial não conseguiria ultrapassá-la. No entanto, confirma-se que ela tem a probabilidade de romper essa barreira e ultrapassá-la, mesmo sem energia suficiente para tal.

Foi exibido um vídeo intitulado “Entendendo o Universo - Dupla Fenda (Mecânica Quântica)” (DESPERTANDO, 2015) para ilustrar o experimento de fenda única e fenda dupla, e outro para demonstrar o fenômeno de superposição quântica com o experimento mental “o gato de Schrödinger” (PARA NÃO ESQUECER, 2015), sendo os alunos informados que tal experimento trata-se de uma experiência imaginária.

Por ilustrar melhor os fenômenos, a exibição dos vídeos foi fundamental para o entendimento dos fenômenos da dualidade onda partícula e do emaranhamento quântico ou superposição quântica.

Durante as discussões, percebeu-se que todos os alunos tinham ouvido falar da teoria quântica, mas apenas onze alunos tinham um pequeno conhecimento acerca dessa teoria, adquirido em filmes de ficção, vídeos da internet e leituras, porém, muito superficial. Percebeu-se também que os alunos faziam alguma confusão com relatividade e quântica. Para eles, essas duas áreas tratavam dos mesmos fenômenos. Foi explicado que a teoria quântica trata do muito pequeno e a teoria da relatividade do muito rápido.

Ao final das discussões, verificou-se o despertar do interesse dos alunos pela teoria quântica, sobretudo quando tomaram conhecimento de que os fenômenos estudados nesse ramo da Física estão aplicados nas tecnologias eletrônicas atuais.

Em ambas as turmas, as discussões tiveram os mesmos resultados, com alguma diferença no número de alunos que possuíam algum conhecimento sobre a teoria quântica. Na turma A, cinco alunos declararam que tinham assistido a filmes e tinham lido algo a respeito da teoria quântica. Esse número foi de seis alunos na turma B. Portanto notou-se uma equivalência entre as duas turmas, nesse aspecto.

4.2.3 Aula 03

Os temas da aula 3 foram “fenômenos de reflexão e refração da luz”, cujo estudo é fundamental para a realização do experimento ótico, bem como para a analogia com o fenômeno de tunelamento quântico.

Os objetivos específicos foram: interpretar os fenômenos de refração, reflexão, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada da luz.

O conteúdo programático consistiu em reflexão, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada da luz.

Como os fenômenos da refração e da reflexão foram estudados no segundo ano, os alunos tinham conhecimento sobre o assunto, o que propiciou intensa participação nas discussões, durante a exposição dos conteúdos.

Após as discussões sobre a reflexão e refração da luz, foi apresentado o fenômeno da reflexão interna total frustrada. Tal fenômeno, por não ser tratado no Ensino Médio, não era conhecido dos alunos, o que causou dúvidas e curiosidade. Foi explicado que nesse fenômeno a luz assume comportamento ondulatório, atravessando uma barreira ótica, sendo transmitida para um terceiro meio por uma onda chamada onda evanescente. Como na aula anterior foram exibidos vídeos sobre o experimento da fenda dupla, facilitou o entendimento do comportamento ondulatório da luz.

4.2.4 Aula 04

Os temas da aula 4 foram “fenômenos de reflexão e refração da luz”, cuja compreensão é fundamental para a analogia que será feita entre os fenômenos da reflexão total frustrada com o tunelamento quântico.

Os objetivos específicos compreenderam em demonstrar, experimentalmente, a reflexão interna total e a reflexão interna total frustrada da luz.

O conteúdo programático consistiu em reflexão interna total e reflexão interna total frustrada da luz.

Com as carteiras dispostas em formato de U e o arranjo experimental colocado sobre uma mesa, numa posição onde todos os alunos pudessem visualizar (fig. 35, apêndice F) iniciou-se a aula com a explicação sobre os componentes do experimento. Primeiramente, foi mostrado, com a ajuda do projetor, as peças que compõem o arranjo experimental, o qual consiste num experimento ótico montado sobre uma base de madeira, composto por dois sólidos geométricos de acrílico transparente, sendo um em forma de prisma e outro em forma de cilindro elíptico, uma fonte de raio laser e uma mola para pressionar um sólido contra o outro (fig. 20, apêndice F). Em seguida, foram formados grupos de cinco alunos para que eles pudessem manusear as peças e montar o arranjo experimental. Em seguida, cada grupo realizou o experimento, reproduzindo os fenômenos de refração, reflexão, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada (figuras 38 a 41 e 45 a 50, apêndice F). A cada equipe, foi

solicitada a explicação para o fenômeno da reflexão interna total frustrada enquanto a experiência era realizada.

Os alunos foram chamados à atenção para identificarem a barreira ótica que provoca a reflexão interna total da luz e o rompimento dessa barreira na reflexão interna total frustrada (figura 37, apêndice F), detalhe fundamental para o estabelecimento da analogia com o fenômeno do tunelamento quântico, no qual se verifica uma barreira de potencial.

Houve grande interesse dos alunos no manuseio do experimento e um fascínio por visualizarem os fenômenos óticos, os quais foram sendo identificados e para os quais deram explicações bem coerentes com o que aprenderam nas aulas anteriores sobre tais fenômenos.

Os alunos ficaram à vontade para repetirem o experimento, com a mínima intervenção do professor, o qual ficou apenas observando as discussões que ocorriam entre eles, fazendo pequenas intervenções, apenas quando solicitado ou quando era percebido algum equívoco ou dificuldades na realização do experimento.

Ao final da aula, os alunos discutiram os fenômenos observados e elogiaram o experimento como instrumento que reproduziu com bastante clareza os fenômenos óticos estudados na teoria.

4.2.5 Aula 05

Os temas da aula 5 foram “reflexão interna total frustrada e tunelamento quântico”, fenômenos que são confrontados para ser estabelecida a analogia entre eles.

Os objetivos específicos compreenderam em discutir sobre o tunelamento quântico, fazendo uma analogia com a reflexão total frustrada; aplicar um questionário sobre a analogia entre o fenômeno da reflexão total frustrada e o tunelamento quântico; analisar a relação teoria e prática promovida a partir dos experimentos e da sequência didática utilizada.

Os conteúdos programáticos consistiram em reflexão interna total frustrada e tunelamento quântico.

Na aula 2, quando foram apresentadas as noções de mecânica quântica, o fenômeno do tunelamento quântico foi abordado de forma superficial. Na aula 5 o tema foi retomado de forma mais aprofundada, agora fazendo uma analogia entre a reflexão interna total frustrada e o tunelamento quântico, comparando a barreira ótica com a barreira de potencial existente nos dois fenômenos, respectivamente (figuras 43 e 44, apêndice F).

O fato de os alunos terem visualizado os efeitos óticos da reflexão interna total frustrada no experimento da aula 4, facilitou sobremaneira a compreensão do tunelamento quântico

através da analogia estabelecida entre os dois fenômenos, que guardam entre si a similaridade das barreiras.

Foi aplicado o questionário B (apêndice D) com as mesmas perguntas do questionário A com o objetivo de perceber se houve mudança de postura dos alunos após as aulas nas quais foi utilizada a sequência didática baseada na analogia, cujos resultados da sua aplicação nas turmas A e B foram:

Resultado da aplicação do questionário B – Turma A

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?
31 alunos responderam **não**.
2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?
31 alunos responderam **não**.
3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?
31 alunos responderam **não**.
4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?
31 alunos responderam **não**.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observação: houve ausência de três alunos da turma A.

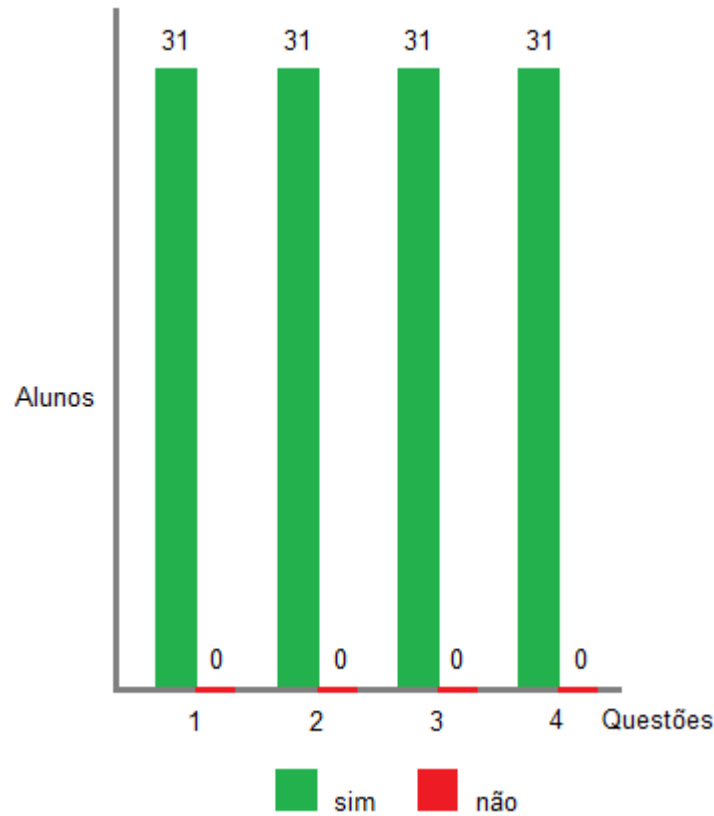


Gráfico 3 (Questionário B – Turma A)

Resultado da aplicação do questionário B – Turma B

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?
31 alunos responderam **não**.
2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?
31 alunos responderam **não**.
3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?
31 alunos responderam **não**.
4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?
30 alunos responderam **não**.
01 aluno respondeu **sim**.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observação: houve ausência de seis alunos da turma B.

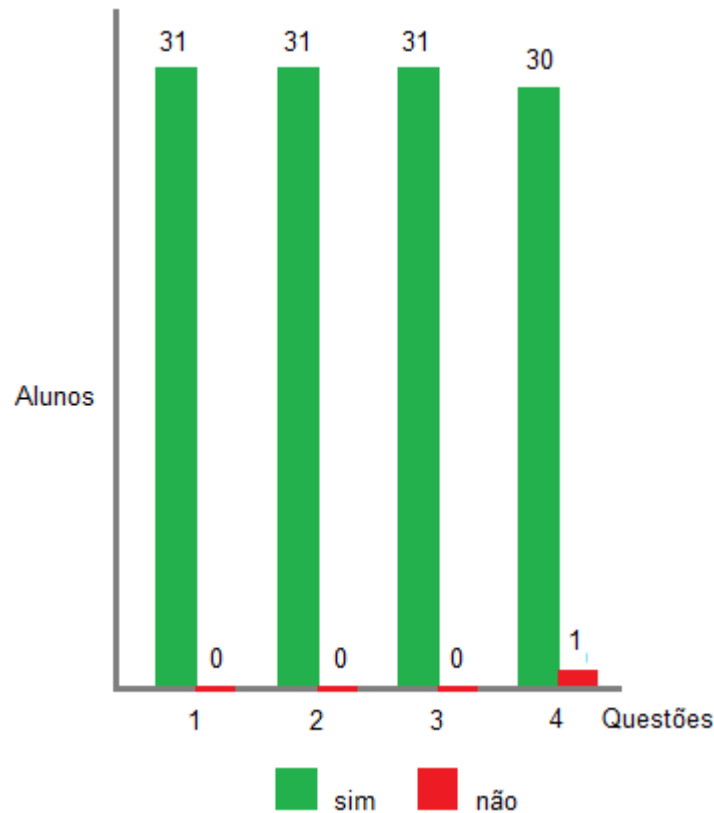


Gráfico 4 (Questionário B – Turma B)

O resultado da aplicação do questionário B revela a mudança de perspectiva dos alunos após o estudo do fenômeno de tunelamento quântico, após compará-lo com a reflexão interna total frustrada. Percebeu-se que as respostas dos alunos de ambas as turmas se equivaleram, pois apenas a resposta de um aluno, na questão 4, destoou das demais, o que confirma o nivelamento das turmas.

Na discussão que se seguiu à aplicação do questionário B, percebeu-se que os alunos responderam as questões com base no conhecimento que adquiriram após as aulas, tendo como base as noções da mecânica quântica e não mais da física clássica.

Após a discussão sobre o questionário B, foi aplicado o questionário C (apêndice E) para que os alunos pudessem avaliar a sequência didática baseada na analogia utilizada nas aulas, com a finalidade de se estimar a eficiência e a aplicabilidade dessa proposta didática.

Resultado da aplicação do questionário C – Turma A

1. Você entendeu o fenômeno óptico da reflexão interna total?
31 alunos responderam **sim**.

2. Você entendeu o fenômeno da reflexão interna total frustrada?
30 alunos responderam **sim**.
01 alunos responderam **não**.

3. Você entendeu o fenômeno de tunelamento quântico?
31 alunos responderam **sim**.

4. A analogia feita entre os fenômenos do tunelamento quântico e da reflexão interna total frustrada facilitou o entendimento do primeiro fenômeno?
28 alunos responderam **sim**.
03 alunos responderam **não**.

5. Você acha válido o uso da analogia para entender outros fenômenos da Física?
31 alunos responderam **sim**.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observação: houve ausência de três alunos da turma A.

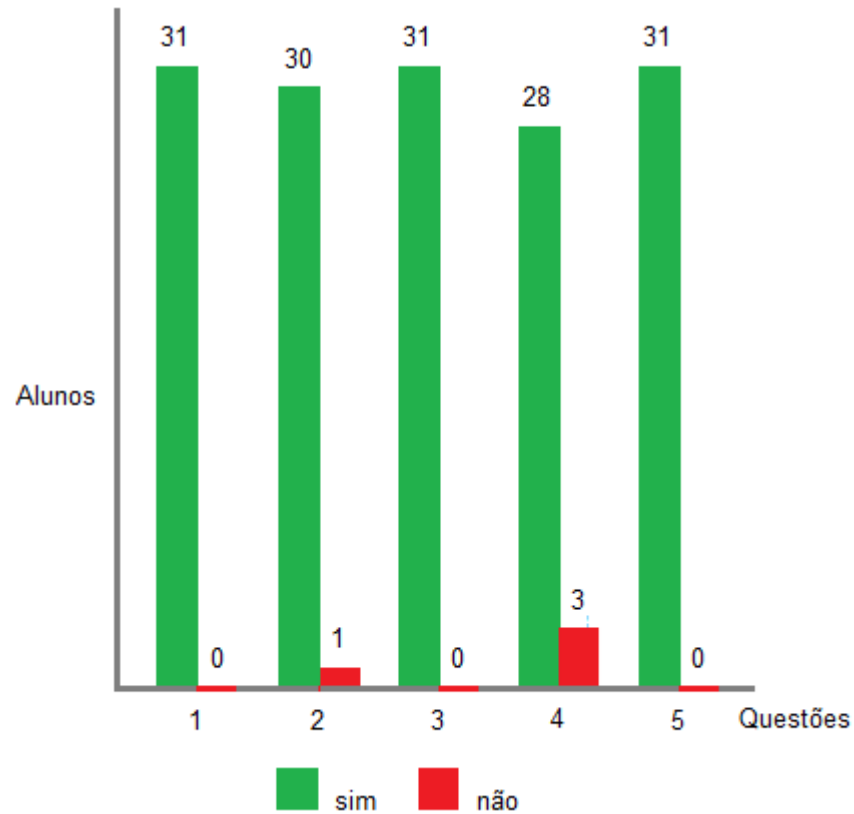


Gráfico 5 (Questionário C – Turma A)

Comentários

Aluno 1

“Facilitou a compreensão e me ajudou a não esquecer, devido os exemplos e as comparações entre os fenômenos”.

Aluno 2

“O uso da analogia facilitou muito no entendimento pois o mundo clássico é mais conhecido que o mundo quântico”.

Aluno 3

“As aulas interativas, com a utilização de experimento, facilitam a compreensão do conteúdo abordado. Também, a utilização de slides com imagens e textos ajuda na assimilação dos conteúdos”.

Aluno 4

“As analogias entre os fenômenos estudados ajudaram na compreensão dos mesmos.”

Aluno 5

“Com as comparações entre os fenômenos da Quântica e da Física Clássica, a compreensão fica facilitada.”

Aluno 6

“O experimento e as analogias foram determinantes para que eu pudesse entender o fenômeno quântico”

Resultado da aplicação do questionário C – Turma B

1. Você entendeu o fenômeno ótico da reflexão interna total?
32 alunos responderam **sim.**
2. Você entendeu o fenômeno da reflexão interna total frustrada?
32 alunos responderam **sim.**
3. Você entendeu o fenômeno de tunelamento quântico?
32 alunos responderam **sim.**
4. A analogia feita entre os fenômenos do tunelamento quântico e da reflexão interna total frustrada facilitou o entendimento do primeiro fenômeno?
32 alunos responderam **sim.**
5. Você acha válido o uso da analogia para entender outros fenômenos da Física?
32 alunos responderam **sim.**

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observação: houve ausência de cinco alunos da turma B.

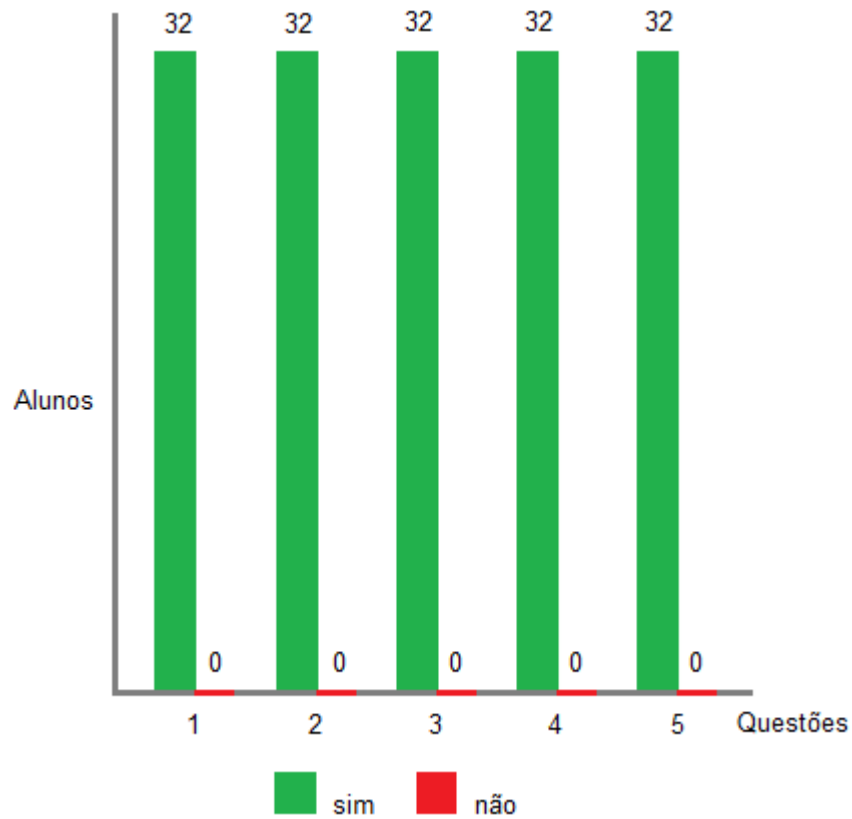


Gráfico 6 (Questionário C – Turma B)

Comentários

Aluno 1

“Com esse método, além de ampliar meus conhecimentos, facilitou a compreensão de assuntos de difícil entendimento”.

Aluno 2

“Aumentou o meu conhecimento sobre o assunto”.

Aluno 3

“Com a aula prática que tivemos em sala de aula, nosso conhecimento foi aprimorado, facilitando a compreensão do assunto”.

Aluno 4

“Sem o uso de analogias, o entendimento desses fenômenos seria dificultado uma vez que pareceriam irreais”.

Aluno 5

“Através do experimento realizado em sala de aula, sobre a reflexão total frustrada, facilitou a compreensão da mesma; as analogias feitas contribuíram para entendermos melhor os fenômenos físicos estudados”.

Aluno 6

“O uso das analogias facilitou e contribuiu para a internalização do conteúdo”.

Aluno 7

“Com a prática (exemplo da reflexão total frustrada), conseguimos ampliar o conhecimento da Física, entrando num mundo interessante de conhecimento, despertando a curiosidade para alguns fenômenos”.

Aluno 8

“Gostei muito, pois facilitou a minha difícil aprendizagem em entender Quântica”.

Diante dos resultados, concluiu-se que a utilização da sequência didática, que rompeu com os moldes tradicionais de aulas, foi de grande eficácia para a assimilação e compreensão do fenômeno de tunelamento quântico, a partir da analogia estabelecida com o fenômeno da reflexão interna total frustrada. Como consequência, pode-se esperar que, para outros fenômenos tratados na Física Moderna, a proposta didática apresentada poderá ser de grande utilidade no processo de ensino e aprendizagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentada nesse trabalho uma proposta de ensino para a introdução de Física Moderna no ensino médio por meio do conteúdo tunelamento quântico, utilizando a analogia entre tal fenômeno, estudado na Física Moderna, e o fenômeno da reflexão interna total frustrada, estudado na Física Clássica. Para tanto, foi desenvolvido um produto educacional cujo projeto foi apresentado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física como recurso didático. Tal produto consistiu numa sequência didática com a utilização de um experimento.

As aulas ocorreram de forma a proporcionar uma interação entre alunos e professor, implicando na construção de conceitos e discussões, ao passo que a experimentação permitiu a analogia entre os fenômenos estudados. A sequência didática teve como fundamento o uso das analogias, tendo como subsídios artigos publicados em revistas especializadas em ensino de física, em publicações de autores da educação, porém tendo como pressuposto teórico principal a “aprendizagem significativa e crítica” de Marco Antonio Moreira.

A utilização da sequência didática, que rompeu com a forma tradicional de aulas expositivas, provocou uma mudança na rotina dos alunos, estimulando-os a uma participação mais efetiva nas aulas, suscitando discussões acerca dos temas abordados. À medida que as aulas transcorreram e os fenômenos apresentados e discutidos, os alunos foram internalizando os novos conceitos da Física Moderna, paulatinamente. A utilização das analogias entre o fenômeno ótico e o fenômeno quântico facilitou a compreensão do modelo do efeito túnel, tornando-o mais perceptível, corroborando às ideias de Moreira (2011) quando ressalta que o subsunçor permite ao aluno dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado. No caso estudado nessa dissertação, o subsunçor consistiu na reflexão interna total frustrada e o novo conhecimento, o efeito túnel, tendo como resultado dessa interação de conhecimentos uma aprendizagem significativa.

Ao serem realizados os experimentos, os alunos identificaram os fenômenos óticos estudados e corroboraram à similaridade entre esses e o fenômeno de tunelamento quântico. O entusiasmo e o interesse dos alunos pelo experimento comprovaram e validaram a utilização da experimentação como recurso didático a ser utilizado na metodologia de ensino de Física. Outrossim, pode-se inferir que os alunos desenvolveram habilidades relativas às analogias entre os fenômenos estudados através da experimentação.

O resultado da aplicação do produto educacional evidenciou a sua importância no ensino de Física Moderna e correspondeu às expectativas, não apenas pelo que revelou as respostas

dos últimos questionários, mas, sobretudo, pela qualidade das discussões em sala de aulas, o que permitiu a construção eficiente e coerente do conhecimento, implicando numa aprendizagem crítica e significativa.

Pelos resultados apresentados, considera-se que o produto educacional poderá ser aplicado em qualquer turma de terceiro ano do ensino médio. O experimento pode ser utilizado para aulas que abordam temas diversos como como a reflexão e refração da luz, dualidade onda-partícula e conservação da energia.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antonio. **Curso de Física Volume 2**. 6. Ed. São Paulo, Ed. Scipione, 2006

BECKER, Fernando. **Educação e construção do conhecimento**. Porto Alegre, Artmed, 2001.

BOOTBLOCK Bios Info. **Fibras Óptica**. Disponível em: <<https://bootblockbios.wordpress.com/redes/fibras-optica/>>. Acesso em jan. 2018.

COSTA, Luciano Gonsalves; BARROS, Marcelo Alves. O ensino da física no Brasil: problemas e desafios. In: XII Congresso Nacional de Educação – EDUCERE. PUC PR 26 a 29/10/2015. **Anais...** 2015. Disponível em: <http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042_8347.pdf> Acesso em ago. 2017.

DESPERTANDO. **Entendendo o Universo - Dupla Fenda (Mecânica Quântica)**. 6'18". 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UOMnwnS_MPo&feature=youtu.be> Acesso em ago. 2017.

EISBERG, R. M., RESNICK, R., **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas**. Editora Campus, 1979.

FERRÃO TAVARES, C. **Os Media e a aprendizagem**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000.

FEYNMAN, Richard P. **Lições de Física**. Edição definitiva, Porto Alegre, RS: Bookman, 2008 vol. 3.

GASPAR, Alberto. **Física**. São Paulo, 1º Ed. Ática, 2006.

GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski**. Unesp – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Brasil http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n2/v10_n2_a5.htm. Acesso em set. 2017.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Orgs.). **Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GILMORE, Robert – **Alice no País do Quantum: a física ao alcance e todos**. Revisão técnica Ildeu de Castro Moreira. – Rio de Janeiro: Zahar, 1998

GRECA I. M. **Construindo significados em mecânica quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física geral, IF-UFRGS, Porto Alegre, Tese de doutoramento (2000)**.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em ensino de ciências**. Porto Alegre. Vol. 6, n. 1 (jan./abr. 2001), p. 29-56, 2001.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio; HERSCOVITZ, Victoria E. Uma proposta para o ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 4, p. 444-457, 2001.

REF: **Grupo De Reelaboração Do Ensino De Física**. Editora da Universidade de São Paulo, 2005 (5ª Ed) – São Paulo

_____: **Grupo de Reelaboração do Ensino de Física**. Vol. 1, 2 e 3. Editora EDUSP, 2000.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2003 vol. 4.

LEÃO, Márcia Regina Moreira, F 809 – **Instrumentação para Ensino Projeto: Reflexão Interna Total Frustrada ou Penetração de Barreira Óptica**.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. 5ªed. São Paulo: Atlas, 2011.

MARTINS, Isabel; OGBORN, Jon; KRESS, Gunther. **Explicando uma Explicação**. Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências Volume 01 / N úmero 1 – setembro de 1999.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; FILHO, Jenner Barretto Bastos Filho. **Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no Ensino Médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos**. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p.

MOREIRA, Marco A., MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem significativa; a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Instituto de Física da UFRGS. Versão revisada e estendida de conferência proferida no III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa (Peniche), 11 a 15 de setembro de 2000. Publicada nas Atas desse Encontro, pp. 33-45, com o título original de Aprendizagem significativa subversiva. Publicada também em *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación*, nº 6, pp. 83-101, 2005, com o título Aprendizaje Significativo Crítico. 1ª edição, em formato de livro, 2005; 2ª edição 2010; ISBN 85-904420-7-1.

_____. O que é afinal aprendizagem significativa? Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Aceito para publicação, **Qurrriculum**, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, M. A., Unidades de ensino potencialmente significativa – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, V1, n.2, 2011.

MUSEU das Comunicações. **Reflexão Interna Total**. Disponível em: <http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_8_4_TotalInternalReflection.html>. Acesso em jul. 2017.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Rev. Bras. Ensino Fís.** vol.29, n.3, pp.447-454. 2007. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/edio/materiais/F_sica_moderna_no_ensino_m_dio_o_que_dizem_os_professores.pdf>. Acesso em set. 2017

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de pesquisa Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio; **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, 2000.

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A.; **Tópicos de Física Contemporânea na Escola Média: um Estudo com a Técnica Delphi**; In: Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, 6, 1998, Florianópolis. Atas... Florianópolis, Imprensa Universitária da UFSC, 1998.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2016.

PANTOJA, Glauco Cohen Ferreira. **Sobre o Ensino do Conceito de Evolução Temporal em Mecânica Quântica**. 2011. 269fls. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física.) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

PANTOJA, Glauco Cohen Ferreira; MOREIRA, Marco Antonio; HERSCOVITZ, Victoria Elnecape. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de Mecânica Quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 3, 2011.

PARA NÃO ESQUECER. **O gato de Schrödinger**. 4’39’’. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=QhgBo-eTjfg&feature=youtu.be>>. Acesso em agos. de 2017.

PHYSICSATUVM. **The University of Vermont. Frustrated Total Internal Reflection** Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=VaDA4k_68QI. Acesso em jan. 2017

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; CRUZ, Frederico Firmo de Souza. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: do Consenso de Temas à Elaboração de Propostas**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2003.

REZENDE JR, M. F. **Fenômenos e a Introdução de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2001. 180f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SBPC - Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. **Os 20 maiores problemas a enfrentar para melhorar o ensino de ciências no Brasil**. Jornal da Ciência. JC e-mail 2321,

de 16 de Julho de 2003. Disponível em http://www.waltenomartins.com.br/ecn_atv01_jornal_da_ciencia.pdf. Acesso em set. de 2017.

SEMANA XI. **Equação de Schroedinger, Funções de Onda, Densidades de Probabilidade.** Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/semanaXI.htm>>. Acesso em jan. 2018.

SENA, Cleidilane de Oliveira; OLIVEIRA Glaura Caroená Azevedo; JÚNIOR, Petrus Alcantara. **Uma Demonstração Simples Sobre a Analogia Clássica do Efeito Tunelamento Quântico.** Disponível em: < http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_umademonstracaosimplesso.trabalho.pdf>. Acesso em jul. 2017

TELICHEVESKY, Lucas. **Uma perspectiva sociocultural para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio:** análise das interações discursivas em uma unidade didática centrada no uso do interferômetro virtual de Mach-Zehnder. 2015. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ILUME – Repositório Digital. Porto Alegre, 2015.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. **Reflexão da luz.** Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/reflexao-luz.htm>>. Acesos em jul. de 2017.

_____. **Reflexão e Refração da Luz.** Disponível em: < <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/reflexao-e-refracao-da-luz.html>>. Acesso em jul. de 2017.

TIPLER, Paul A. **Física.** 4ª Edição, Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2000 vol. 3;

WEBBER, Márcia Cândida Montano. **Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio:** uma proposta para professores. 2006. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ILUME – Repositório Digital. Porto Alegre, 2006.

XAVIER, Ademir. **Conceitos básicos de Física Quântica II.** Disponível em: < <http://eradoespirito.blogspot.com/2012/03/conceitos-basicos-de-fisica-quantica-ii.html>>. Acesso em jan. 2018.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar** / Antoni Zabala; trad. Ernani F. da F. Rosa – Porto Alegre: Editora Artmed, 1998.

ZANELLI, J. C. **Pesquisa qualitativa em estudos da gestão de pessoas.** Estudos de Psicologia, v. 7, p. 79 - 88, 2002.

APÊNDICE A – PLANOS DE AULA 3º ANO A

PLANO DE AULA – 1 TURMA: 3º ANO A

16/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

Energia e sua conservação

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos e as energias associadas a tais fenômenos, bem como a conservação da energia em sistemas isolados. Permitir que os alunos familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Discutir o conceito de energia e sua conservação, identificando essas manifestações nos fenômenos da Natureza, bem como no funcionamento das máquinas e equipamentos.

- Fazer os alunos perceberem que em todos os fenômenos estudados na Física Clássica, ocorre a conservação da energia em sistemas isolados.
- Propiciar discussão entre os alunos sobre o tema em estudo.

5. Conteúdo programático

- Energia cinética
- Energia potencial
- Energia mecânica
- Conservação da energia

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Discussões
- Leituras de textos
- Aplicação de questionários

7. Recursos

- Quadro
- Datashow
- Textos científicos
- Questionário impresso

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Questionários
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física:** volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física.** – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física:** história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 2 TURMA: 3º ANO A

16/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

Noções básicas da mecânica quântica

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na Mecânica Quântica, permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão

subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Apresentar os conceitos fundamentais da Mecânica Quântica para que os alunos possam desenvolver habilidades para relacionar grandezas e identificar parâmetros relevantes
- Compreender as leis e teorias físicas que regem os fenômenos da Mecânica Quântica propiciando aos alunos a compreensão de que as leis que regem os fenômenos do mundo micro são diferentes das leis presentes no mundo macro.

5. Conteúdo programático

- Superposição
- Salto quântico
- Tunelamento quântico

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Leituras de textos e discussões
- Aplicação de questionários

7. Recursos

- Quadro
- Datashow
- Textos científicos
- Questionário impresso

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala

- Questionários
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física**: volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física**. – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física**: história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 3 TURMA: 3º ANO A

18/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

- Fenômenos de reflexão e refração da luz

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na óptica geométrica, no

estudo dos fenômenos: reflexão da luz, refração da luz, reflexão interna total, a reflexão interna total frustrada, permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Interpretar fenômenos de reflexão da luz
- Interpretar fenômenos de reflexão interna total
- Interpretar o fenômeno da reflexão interna total frustrada
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total frustrada
- Aplicar questionário a respeito do fenômeno da reflexão

5. Conteúdo programático

- Reflexão da luz
- Reflexão interna total
- Reflexão interna total frustrada

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Realização de experimentos

7. Recursos

- Quadro
- Experimento

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física**: volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física**. – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física**: história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 4 TURMA: 3º ANO A

30/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

- Fenômenos de reflexão e refração da luz

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na óptica geométrica, no estudo dos fenômenos: reflexão da luz, refração da luz, reflexão interna total, a reflexão interna total frustrada, permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Interpretar fenômenos de reflexão da luz
- Interpretar fenômenos de reflexão interna total
- Interpretar o fenômeno da reflexão interna total frustrada
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total frustrada
- Aplicar questionário a respeito do fenômeno da reflexão

5. Conteúdo programático

- Reflexão da luz
- Reflexão interna total
- Reflexão interna total frustrada

6. Metodologia

- Realização de experimentos

7. Recursos

- Quadro

- Experimento

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física:** volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física.** – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física:** história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 5 TURMA: 3º ANO A

01/11/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na Mecânica Quântica,

permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

3. Tema

- Tunelamento quântico
- Reflexão interna total frustrada

4. Objetivos específicos

- Discutir sobre o tunelamento quântico, fazendo uma analogia com a reflexão interna total frustrada.
- Aplicar um questionário sobre a analogia entre o fenômeno da reflexão interna total frustrada e o tunelamento quântico.
- Analisar a relação teoria e prática promovida a partir dos experimentos.

5. Conteúdo programático

- Reflexão interna total frustrada
- Tunelamento quântico

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Leituras de textos e discussões
- Realização de experimentos

7. Recursos

- Quadro

- Data show
- Textos científicos

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física**: volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física**. – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física**: história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

APÊNDICE B – PLANOS DE AULA 3º ANO B

PLANO DE AULA – 1 TURMA: 3º ANO B

17/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

Energia e sua conservação

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos e as energias associadas a tais fenômenos, bem como a conservação da energia em sistemas isolados. Permitir que os alunos familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Discutir o conceito de energia e sua conservação, identificando essas manifestações nos fenômenos da Natureza, bem como no funcionamento das máquinas e equipamentos.

- Fazer os alunos perceberem que em todos os fenômenos estudados na Física Clássica, ocorre a conservação da energia em sistemas isolados.
- Propiciar discussão entre os alunos sobre o tema em estudo.

5. Conteúdo programático

- Energia cinética
- Energia potencial
- Energia mecânica
- Conservação da energia

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Discussões
- Leituras de textos
- Aplicação de questionários

7. Recursos

- Quadro
- Datashow
- Textos científicos
- Questionário impresso

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Questionários
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física:** volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física.** – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física:** história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 2 TURMA: 3º ANO B

17/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

Noções básicas da mecânica quântica

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na Mecânica Quântica, permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão

subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Apresentar os conceitos fundamentais da Mecânica Quântica para que os alunos possam desenvolver habilidades para relacionar grandezas e identificar parâmetros relevantes
- Compreender as leis e teorias físicas que regem os fenômenos da Mecânica Quântica propiciando aos alunos a compreensão de que as leis que regem os fenômenos do mundo micro são diferentes das leis presentes no mundo macro.

5. Conteúdo programático

- Superposição
- Salto quântico
- Tunelamento quântico

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Leituras de textos e discussões
- Aplicação de questionários

7. Recursos

- Quadro
- Datashow
- Textos científicos
- Questionário impresso

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala

- Questionários
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física**: volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física**. – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física**: história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 3 TURMA: 3º ANO B

18/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

- Fenômenos de reflexão e refração da luz

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer, investigação analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na óptica geométrica, no

estudo dos fenômenos: reflexão da luz, refração da luz, reflexão interna total, a reflexão interna total frustrada, permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Interpretar fenômenos de reflexão da luz
- Interpretar fenômenos de reflexão interna total
- Interpretar o fenômeno da reflexão interna total frustrada
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total frustrada
- Aplicar questionário a respeito do fenômeno da reflexão

5. Conteúdo programático

- Reflexão da luz
- Reflexão interna total
- Reflexão interna total frustrada

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Realização de experimentos

7. Recursos

- Quadro
- Experimento

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física:** volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física.** – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física:** história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 4 TURMA: 3º ANO B

30/10/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Tema

- Fenômenos de reflexão e refração da luz

3. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na óptica geométrica, no estudo dos fenômenos: reflexão da luz, refração da luz, reflexão interna total, a reflexão interna total frustrada, permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

4. Objetivos específicos

- Interpretar fenômenos de reflexão da luz
- Interpretar fenômenos de reflexão interna total
- Interpretar o fenômeno da reflexão interna total frustrada
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total
- Demonstrar experimentalmente a reflexão interna total frustrada
- Aplicar questionário a respeito do fenômeno da reflexão

5. Conteúdo programático

- Reflexão da luz
- Reflexão interna total
- Reflexão interna total frustrada

6. Metodologia

- Realização de experimentos

7. Recursos

- Quadro

- Experimento

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física:** volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física.** – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física:** história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

PLANO DE AULA – 5 TURMA: 3º ANO B

01/11/2017

1. Identificação

Escola: Colégio da Polícia Militar Eraldo Tinoco – CPM

Curso: Ensino Médio

Disciplina: Física

Carga horária: 3 horas semanais

Série: 3º Ano

Ano: 2017

Professor: Alípio Dias dos Santos Correia

2. Objetivo geral

Proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação, analogias e compreensão dos fenômenos físicos que são tratados na Mecânica Quântica,

permitindo que os mesmos se familiarizem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Desta forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano.

3. Tema

- Tunelamento quântico
- Reflexão interna total frustrada

4. Objetivos específicos

- Discutir sobre o tunelamento quântico, fazendo uma analogia com a reflexão interna total frustrada.
- Aplicar um questionário sobre a analogia entre o fenômeno da reflexão interna total frustrada e o tunelamento quântico.
- Analisar a relação teoria e prática promovida a partir dos experimentos.

5. Conteúdo programático

- Reflexão interna total frustrada
- Tunelamento quântico

6. Metodologia

- Aulas expositivas
- Leituras de textos e discussões
- Realização de experimentos

7. Recursos

- Quadro
- Data show

- Textos científicos

8. Avaliação

- Participação dos alunos nas atividades desenvolvidas em sala
- Qualitativa

9. Bibliografias

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da – **Física:** volume 1 / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga Álvares. – São Paulo: Scipione, 2008.
- RAMALHO JUNIOR, Francisco; FARRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. 1940 – **Os Fundamentos da Física.** – 5ª ed. – São Paulo: Moderna, 1988.
- BONJORNO, José Roberto et al. **Física:** história & cotidiano: mecânica, 1. – São Paulo: FTD, 2003. (Coleção física: história & cotidiano)

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO A

COLÉGIO DA POLÍCIA MILITAR ERALDO TINOCO	Série: 3º ANO	Turma:	Data:
Professor: Alípio Dias dos Santos Correia	Aplicação do Produto Educacional	Questionário A	

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?
 Sim Não



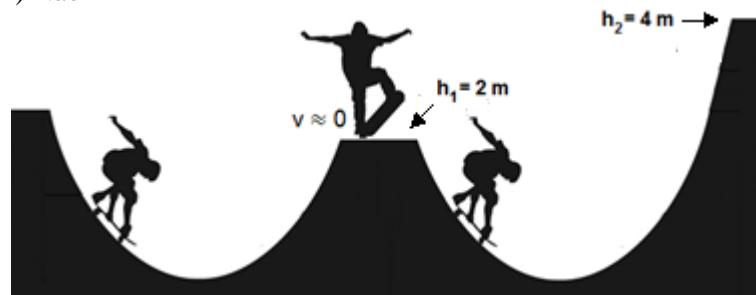
Fonte: D'Ornelas (2012)
 Modificada pelo professor.

2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?
 Sim Não



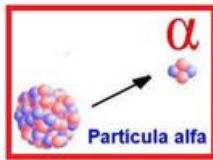
Fonte: Dreamstime (s.d.)
 Modificada pelo professor.

3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?
 Sim Não



Fonte: Elo7 (s.d.)
 Modificada pelo autor.

4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?
() Sim () Não



Fonte: Chucknoia (2011), Brasil (s.d. a), Brasil (s.d. b)

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO B

COLÉGIO DA POLÍCIA MILITAR ERALDO TINOCO	Série: 3º ANO	Turma:	
Professor: Alípio Dias dos Santos Correia	Aplicação do Produto Educacional	Questionário B	

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?

() Sim () Não



Fonte: D'Ornelas (2012)
Modificada pelo professor.

2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?

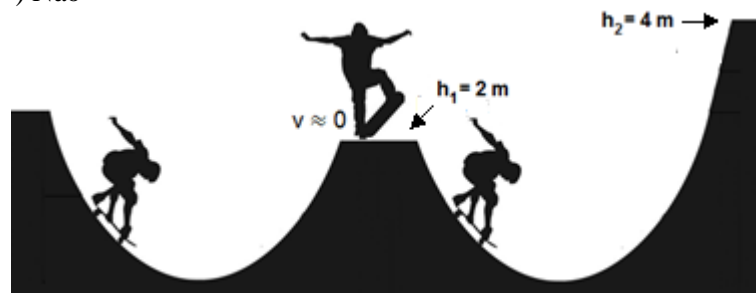
() Sim () Não



Fonte: Dreamstime (s.d.)
Modificada pelo professor.

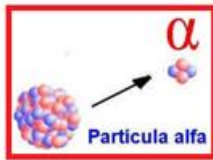
3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?

() Sim () Não



Fonte: Elo7 (s.d.)
Modificada pelo autor.

4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?
 Sim Não



Fonte: Chucknoia (2011), Brasil (s.d. a), Brasil (s.d. b)

REFERÊNCIAS UTILIZADAS NOS QUESTIONÁRIOS A E B

BRASIL Escola. **Imagens**. s.d.a Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/upload/conteudo/images/e21cf504f7b32b2538549c81f3a924b7.jpg>>. Acesso em jul. de 2017.

_____. **Imagens**. s.d.b Disponível em: <<https://i.ytimg.com/vi/QwKTU2tvLug/hqdefault.jpg>>. Acesso em jul. de 2017.

CHUCKNOIA. **Partícula Alfa**. 2011. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/chucknoia/slides-de-radio/3>>. Acesso em jul. de 2017.

D'ORNELAS, Stephanie. **Como estar em dois lugares ao mesmo tempo**. 2012. Disponível em: <<https://hypescience.com/como-estar-em-dois-lugares-ao-mesmo-tempo/>>. Acesso em jul. de 2017.

DREAMSTIME. **Ciclista de competência estilizado artístico no movimento**. s.d. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/ilustra%C3%A7%C3%A3o-stock-ciclista-de-compet%C3%Aancia-estilizado-art%C3%ADstico-no-movimento-image52870257>>. Acesso em jul. de 2017.

ELO7. **Rampa de skate e esquetista**. s.d. Disponível em: <<https://www.elo7.com.br/adesivos-skate-vinil/dp/66CD1C>>. Acesso em jul. de 2017.

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO C

COLÉGIO DA POLÍCIA MILITAR ERALDO TINOCO	Série: 3º ANO	Turma:	Data:
Professor: Alípio Dias dos Santos Correia	Aplicação do Produto Educacional	Questionário C	

1. Você entendeu o fenômeno óptico da reflexão total?

() Sim () Não

2. Você entendeu o fenômeno da reflexão total frustrada?

() Sim () Não

3. Você entendeu o fenômeno do tunelamento quântico?

() Sim () Não

4. A analogia feita entre os fenômenos do tunelamento quântico e da reflexão total frustrada facilitou o entendimento do primeiro fenômeno?

() Sim () Não

5. Você acha válido o uso da analogia para entender outros fenômenos da Física?

() Sim () Não

Comentários

APÊNDICE F – DIÁRIOS DE BORDO

FOTOS

EXPERIMENTO



Figura 14: Base de madeira

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 15: Mola

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 16: Fonte de raio laser

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 17: Prisma triangular de 45° (prisma de reflexão total)

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 18: Cilindro elíptico

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 19: Placa de cartolina

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 20: Experimento montado

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

MANUSEIO DO EXPERIMENTO

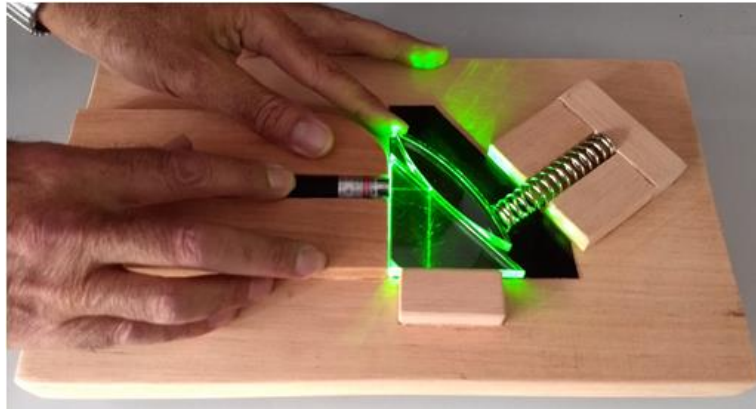


Figura 21: Reflexão interna total

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

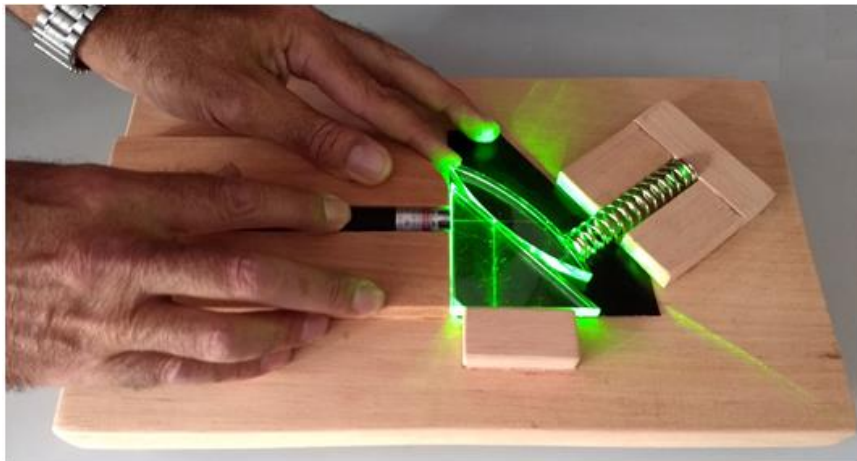


Figura 22: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 23: Reflexão interna total

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

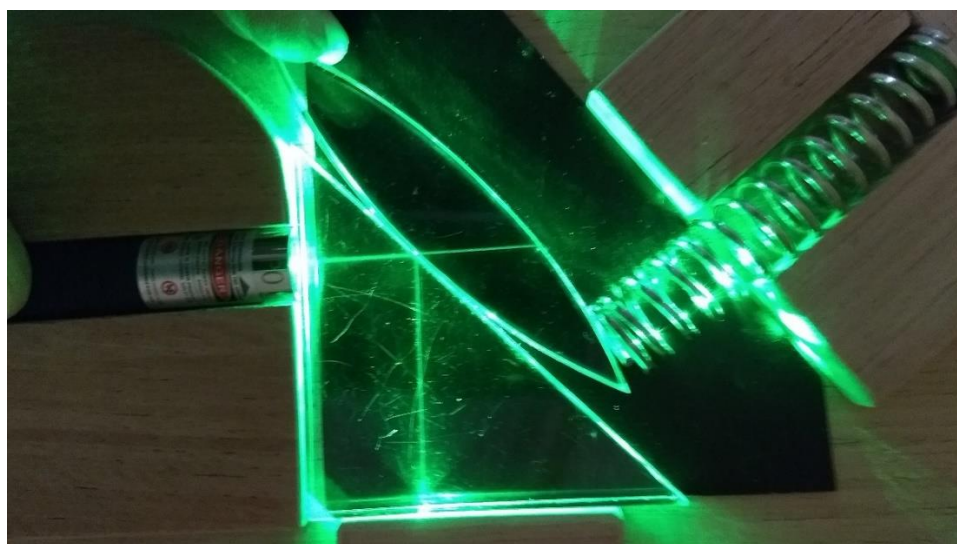


Figura 24: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Aplicação do questionário A

Turma A



Figura 25 – Aplicação do produto educacional.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 26 – Aplicação do produto educacional.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 27 – Aplicação do produto educacional.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 28 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 29 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Turma B



Figura 30 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 31 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

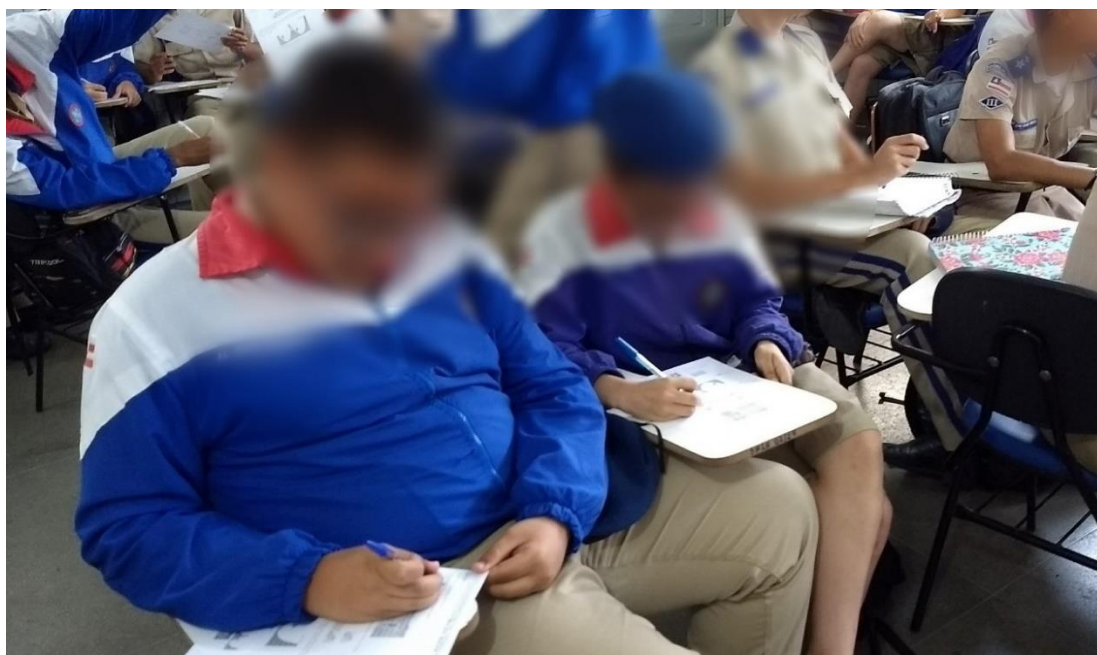


Figura 32 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

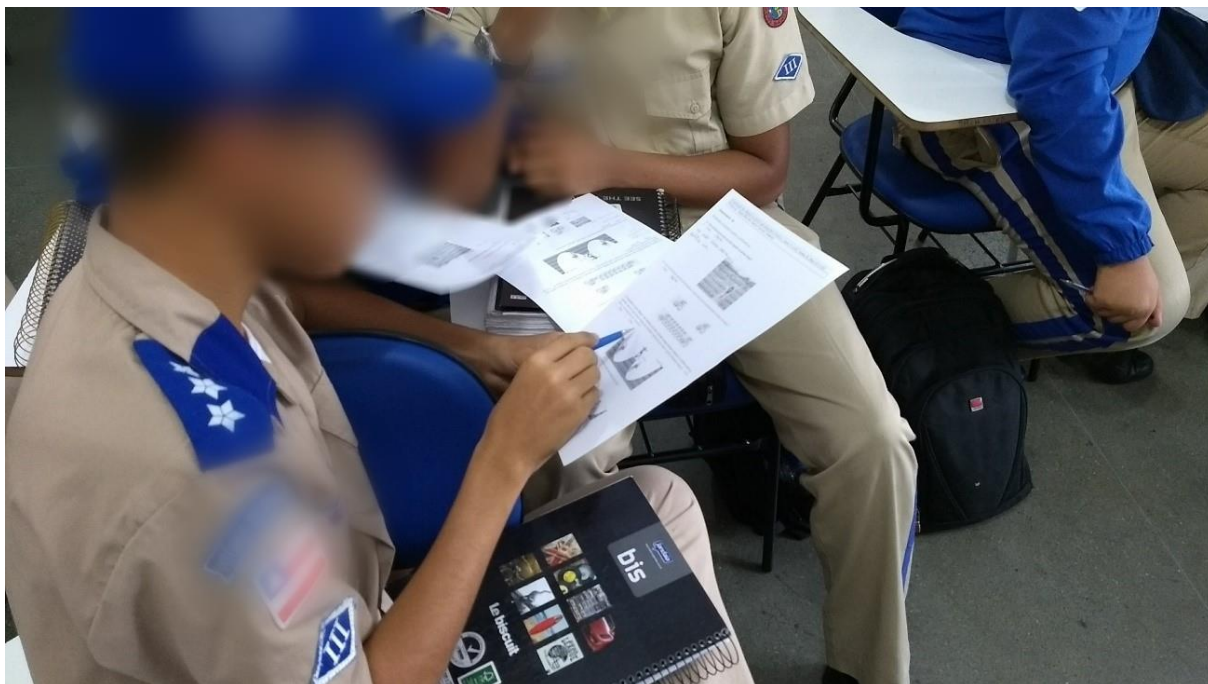


Figura 33 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

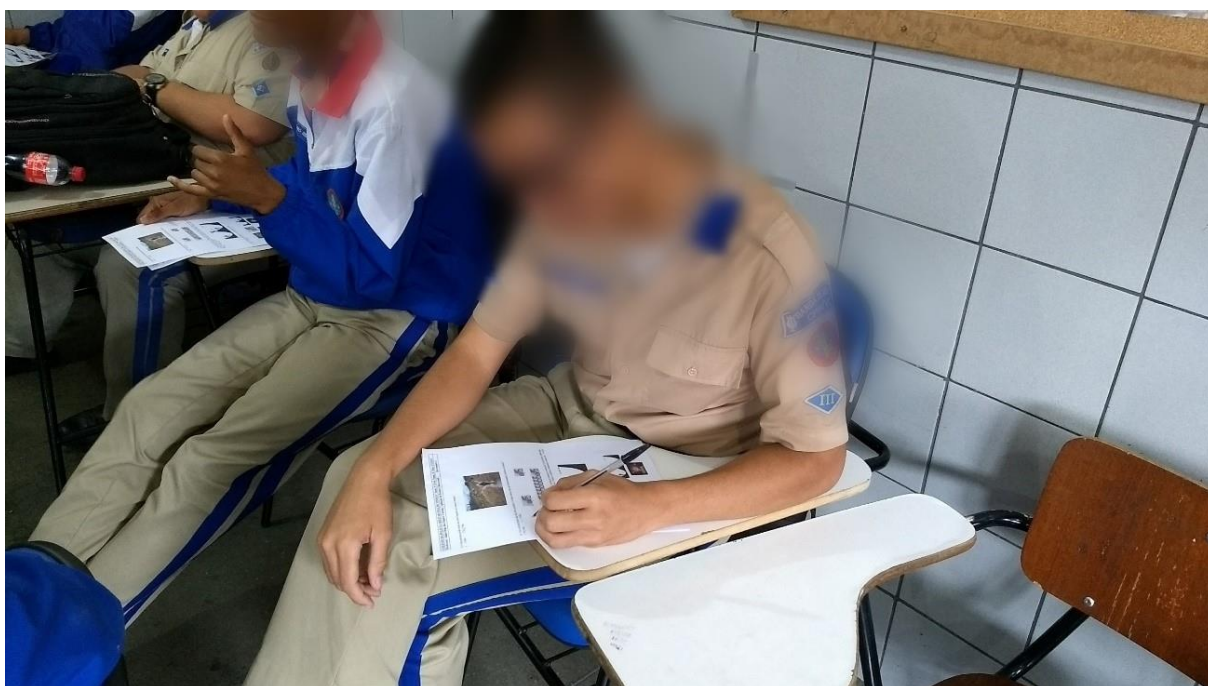


Figura 34 – Aplicação do questionário A.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Atividade experimental

Turma A



Figura 35 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 36 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

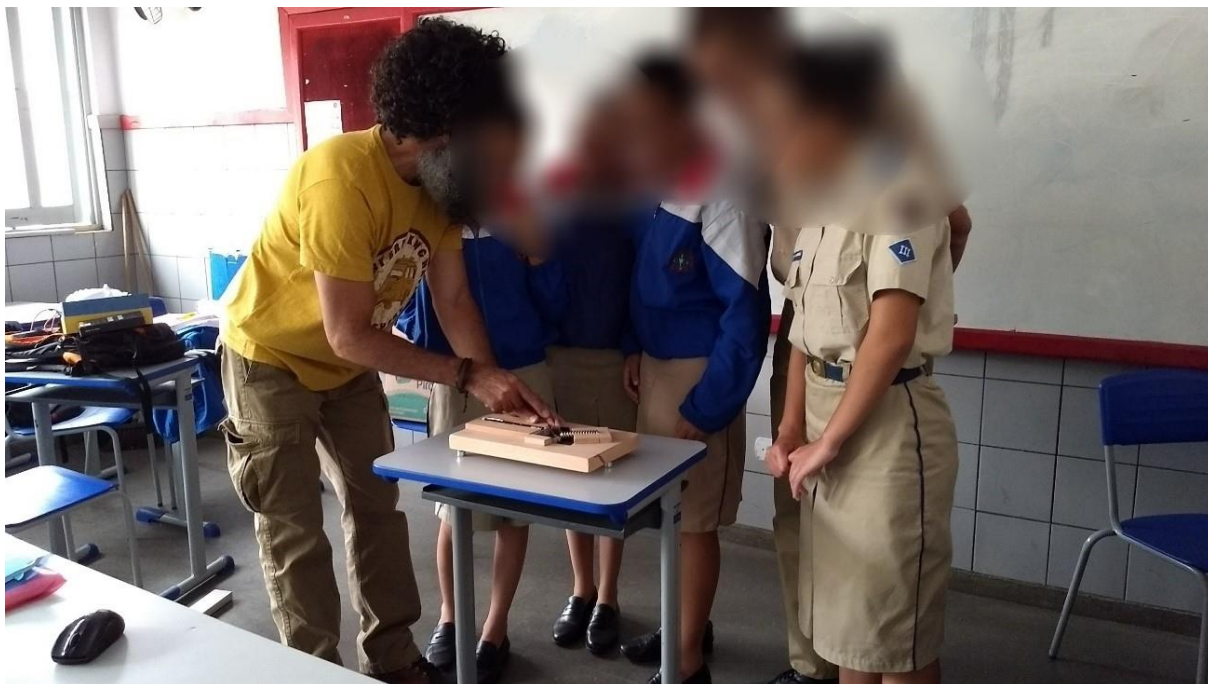


Figura 37 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

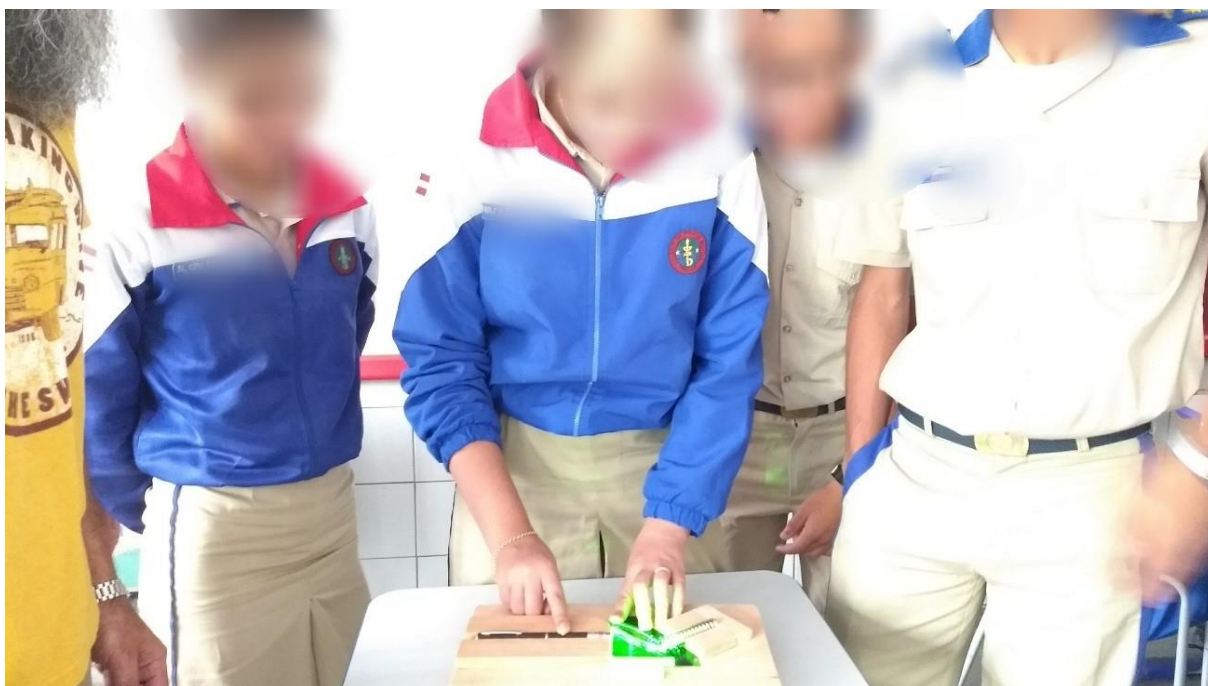


Figura 38 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

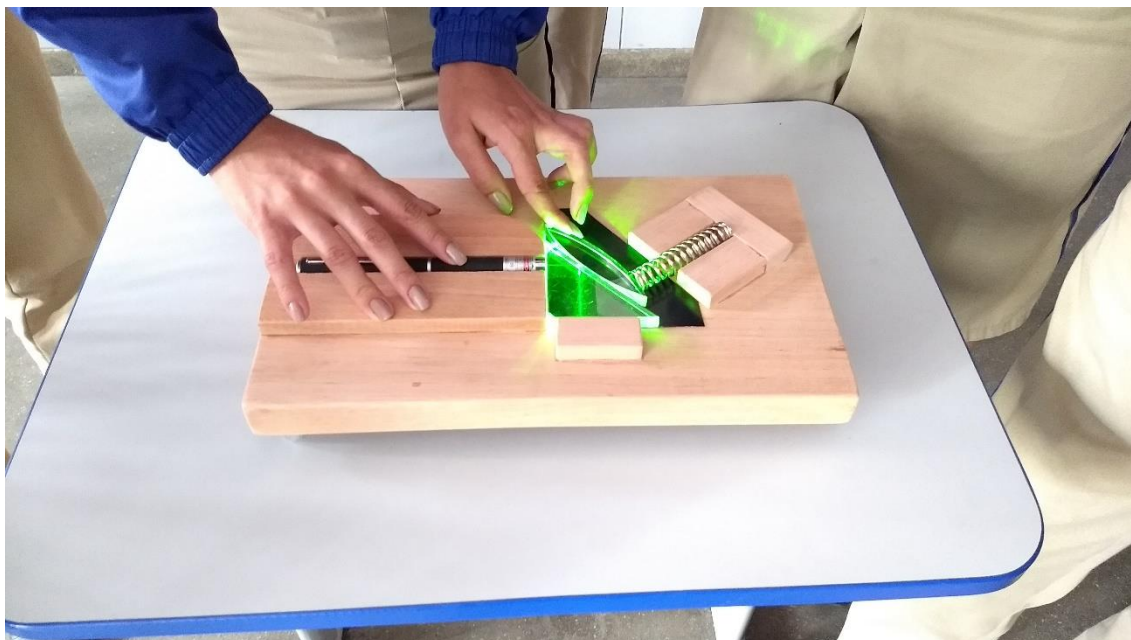


Figura 39 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

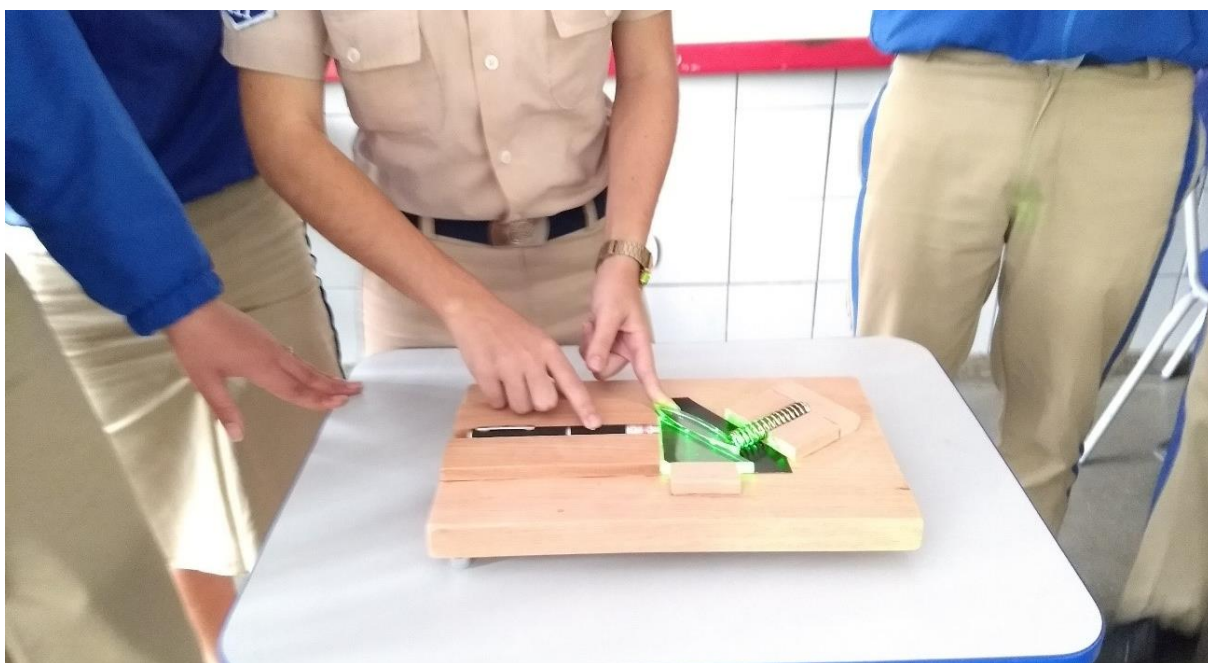


Figura 40 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

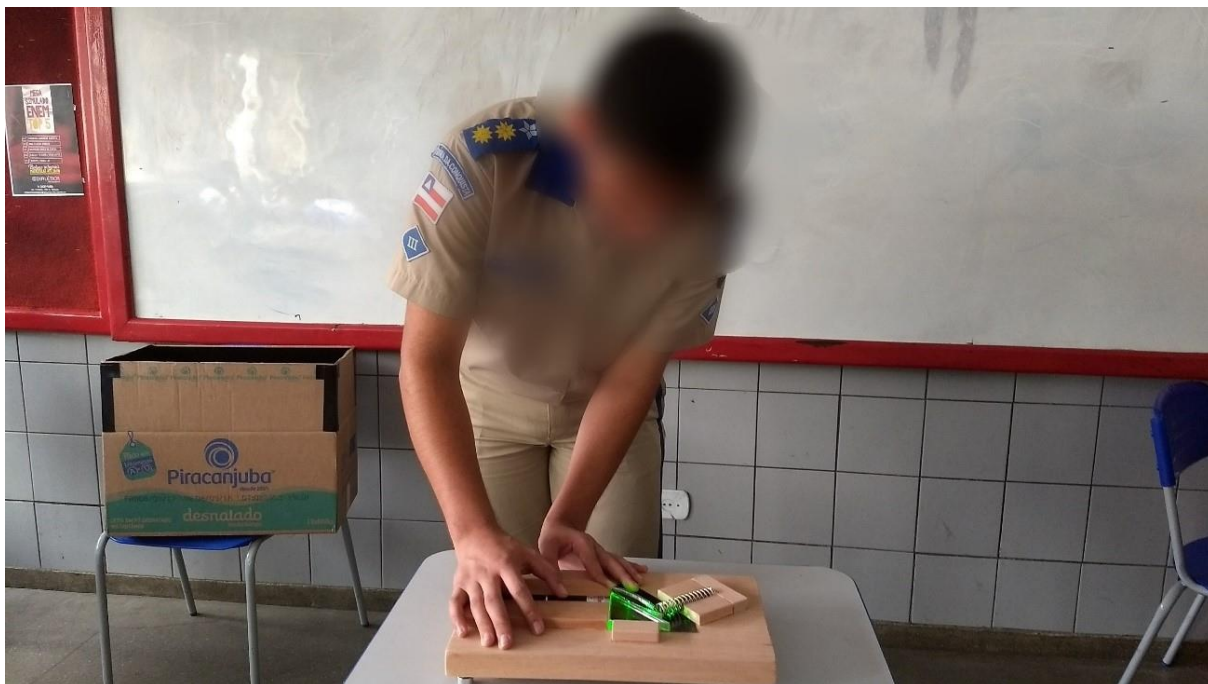


Figura 41 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Turma B

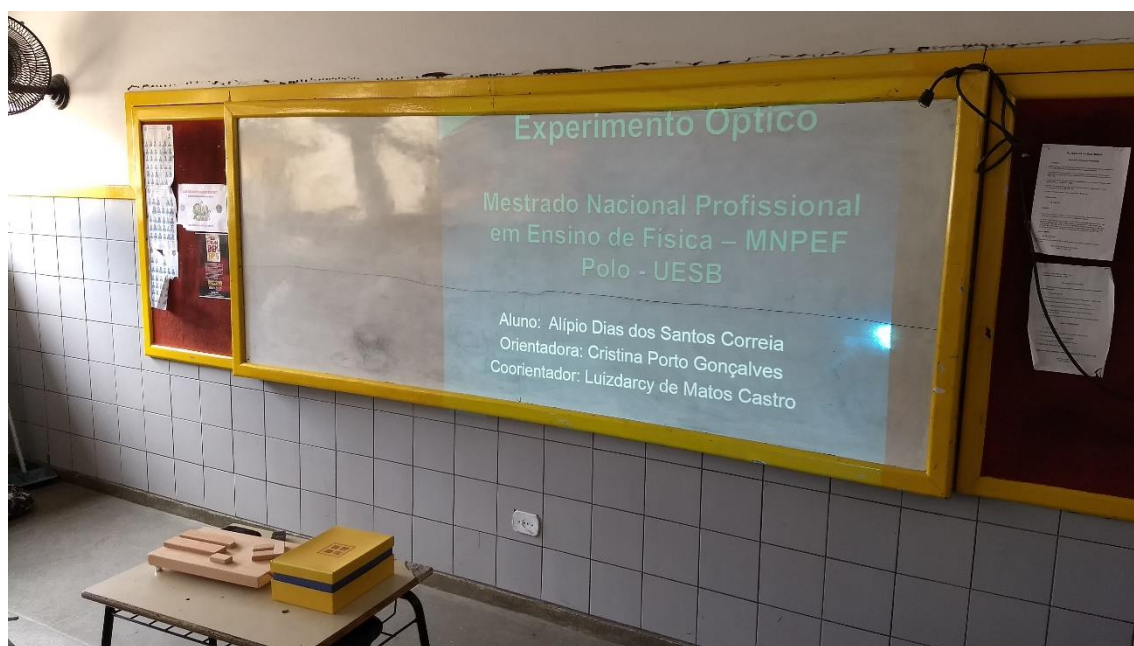


Figura 42 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

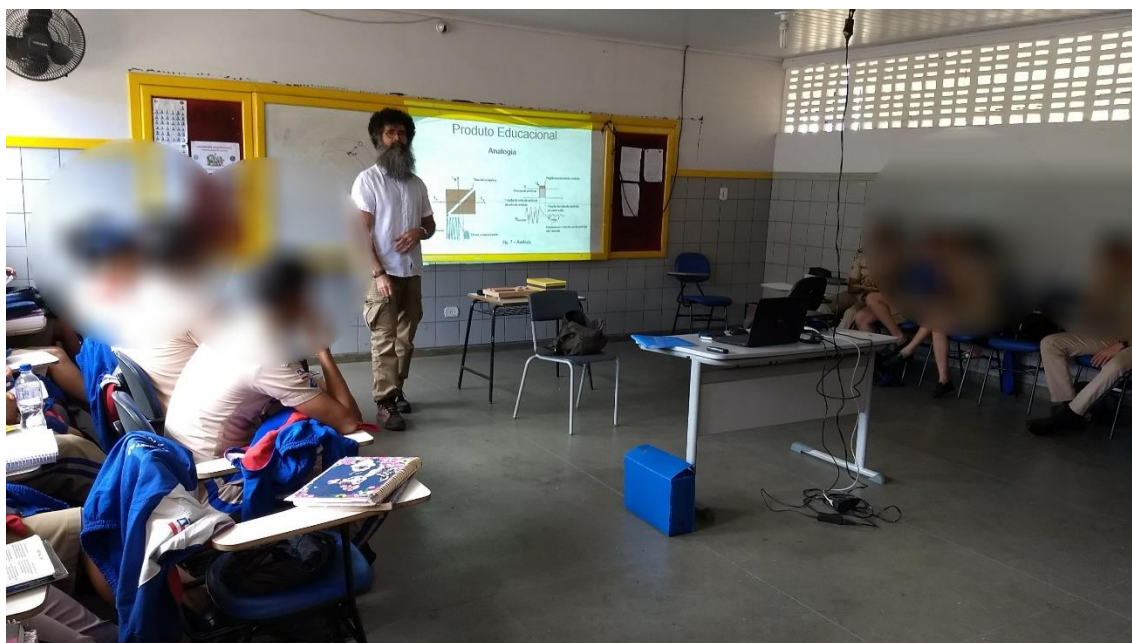


Figura 43 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

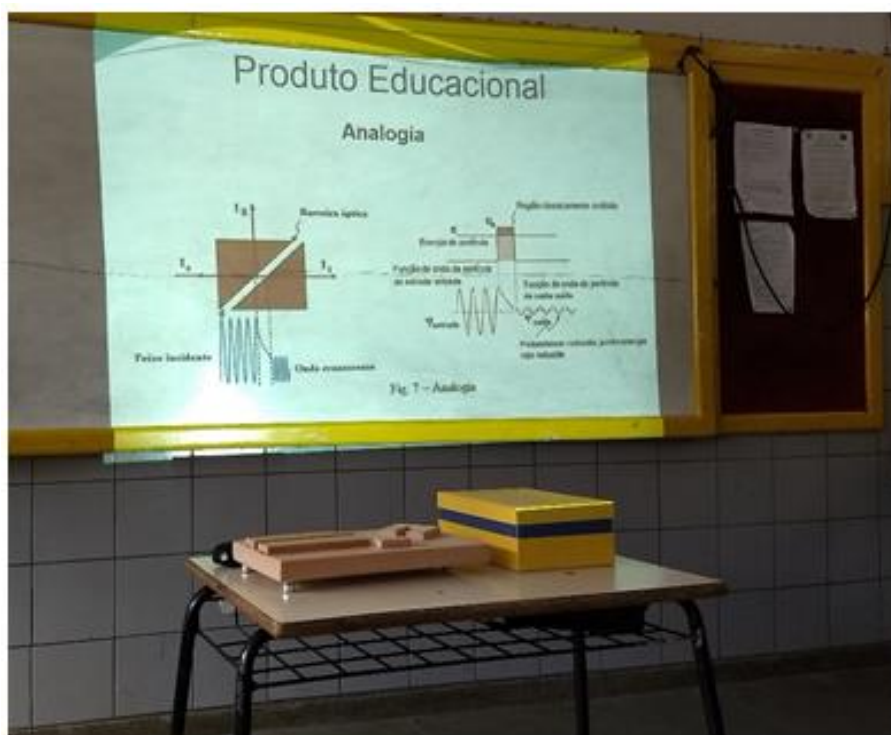


Figura 44 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 45 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 46 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 47 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

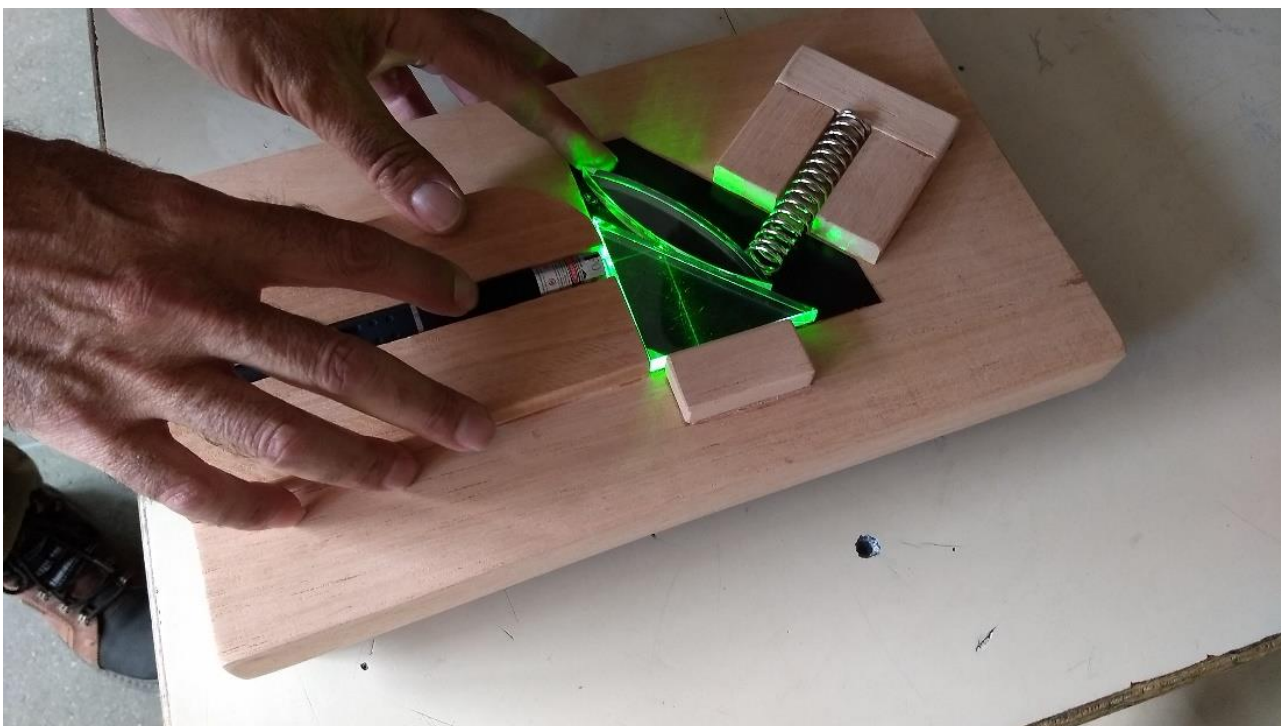


Figura 48 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

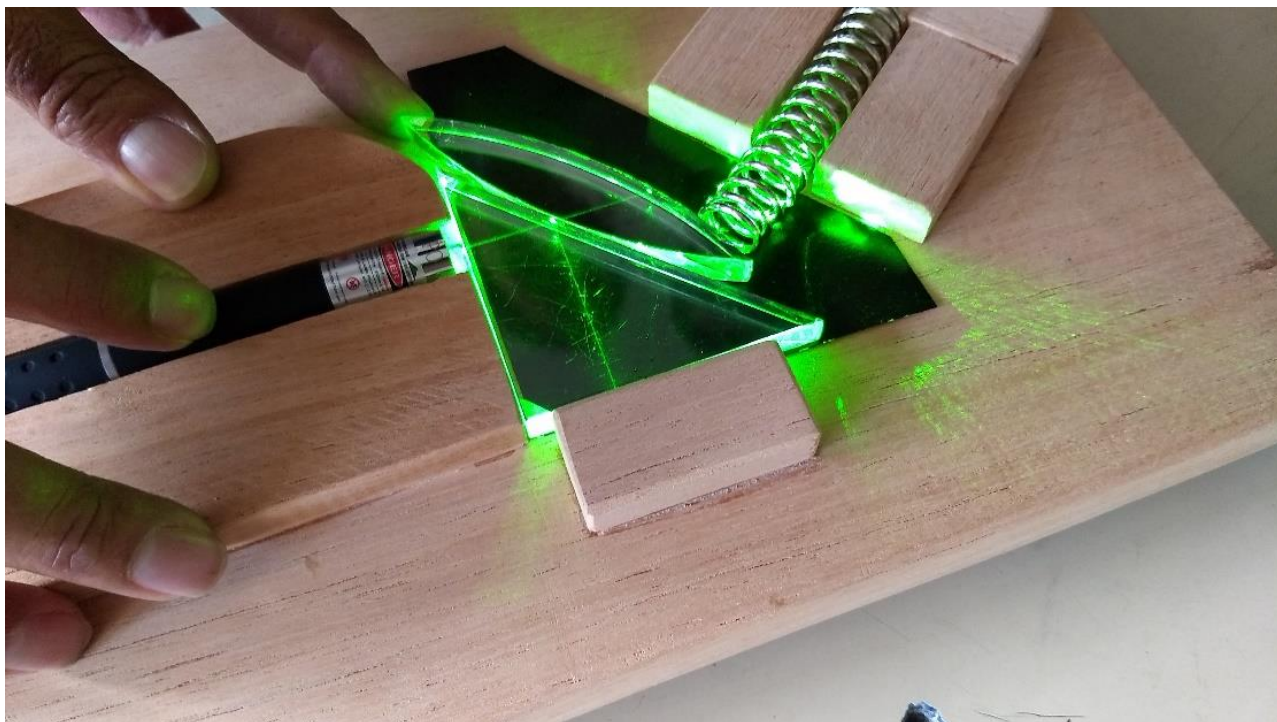


Figura 49 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 50 – Demonstração experimental.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE G – PRODUTO EDUCACIONAL



PRODUTO EDUCACIONAL

UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DO FENÔMENO DE TUNELAMENTO QUÂNTICO

ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA

Vitória da Conquista – Bahia

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO
POR MEIO DO FENÔMENO DE TUNELAMENTO QUÂNTICO

ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA

Produto educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Cristina Porto Gonçalves

Coorientador:

Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro

Vitória da Conquista – Bahia

2018

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	03
2 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	03
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	04
3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NA VISÃO DE MARCO ANTONIO MOREIRA	04
3.2 PROPRIEDADES DA PROPAGAÇÃO DA LUZ	05
3.2.1 Reflexão da luz.....	05
3.2.2 Refração da luz.....	06
3.2.3 Reflexão interna total.....	07
3.2.4 Reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica.....	08
3.3 NOÇÕES DE MECÂNICA QUÂNTICA.....	09
3.3.1 Barreira de potencial.....	10
3.3.2 Efeito túnel ou tunelamento quântico.....	11
3.4 ANALOGIA ENTRE O FENÔMENO ÓPTICO E O FENÔMENO QUÂNTICO.....	12
4 EXPERIMENTO.....	13
4.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	13
4.2 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO EXPERIMENTO.....	16
4.3 MANUSEIO DO EXPERIMENTO.....	17
5 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	18
5.1 AULA 01.....	18
5.2 AULA 02.....	19
5.3 AULA 03.....	20
5.4 AULA 04.....	21
5.5 AULA 05.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

O Produto Educacional desenvolvido para atender aos objetivos dessa dissertação consiste numa Sequência Didática que rompe com o modo tradicional de aulas, ao estabelecer analogias entre o fenômeno de reflexão interna total frustrada, tratado na Física Clássica e o fenômeno de tunelamento quântico, estudado na Física Quântica. Para tanto é utilizado um experimento ótico, o qual permite ilustrar o fenômeno de tunelamento quântico a partir do fenômeno da reflexão interna total frustrada, explorando a similaridade entre eles, uma vez que ambos possuem uma barreira a ser vencida.

Esse recurso pedagógico auxiliará o professor no ensino e permitirá ao aluno compreender o fenômeno quântico a partir da analogia com o fenômeno clássico. A sequência didática, fundamentada na aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira (2010), se encarrega da construção da analogia entre tais fenômenos, possibilitando a compreensão dos mesmos, propiciando ao aluno perceber que o fenômeno quântico tem o seu análogo clássico.

2 APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta para a introdução do ensino de Física Moderna no Ensino Médio, em turmas de terceiro ano, através do tunelamento quântico, consiste numa Sequência Didática (SD) que rompe com a forma tradicional de aulas, na medida em que os conceitos dos fenômenos a serem estudados são tratados de forma coletiva e interativa, utilizando questionários, apresentação de vídeos e atividades experimentais que permitem a construção de analogias entre os fenômenos estudados.

A aplicação da SD segue uma ordem na qual, inicialmente, são apresentados os conceitos de energia e sua conservação e, em seguida, os princípios básicos da mecânica quântica necessários para o estudo do fenômeno do tunelamento quântico. Posteriormente são estudados os conceitos de Ótica, referentes à refração, reflexão e à reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica. Após o estudo desses conceitos, os fenômenos óticos são demonstrados nas atividades experimentais, a partir do experimento ótico. Tal experimento permite a visualização de uma barreira ótica sendo transposta por raios de luz que, por analogia, será comparada a uma barreira de potencial sendo transposta por partículas, evento que se verifica no fenômeno quântico.

Finalmente, é estudado o fenômeno do tunelamento quântico ou efeito túnel, e estabelecida a analogia entre tal fenômeno e a reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica.

São aplicados dois questionários idênticos, sendo um na primeira aula e o outro ao término da última aula para avaliar o grau de assimilação da turma e, por consequência, a eficiência e a validade da proposta didática.

A analogia entre os fenômenos ótico e quântico possibilita aos alunos a assimilação dos conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física, garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Dessa forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano, resultando numa aprendizagem significativa e crítica. O projeto deve ser aplicado em 6 aulas, cada aula com duração de 50 minutos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como a proposta didática envolve fenômenos estudados na Física Moderna e na Ótica, tendo como base a aprendizagem significativa e crítica, nesta seção serão apresentadas noções dos referidos fenômenos e da teoria da aprendizagem significativa e crítica, desenvolvida por Marco Antonio Moreira.

3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA NA VISÃO DE MARCO ANTONIO MOREIRA

A teoria da aprendizagem significativa crítica de Marcos Antonio Moreira (2011) destaca o papel fundamental da linguagem e da interação social na aprendizagem, enfatizando o aspecto crítico na aquisição do conhecimento. A aprendizagem significativa consiste na interação do novo conhecimento com o conhecimento prévio, processo natural de aprendizagem, no qual o aluno não substitui o conhecimento leigo pelo científico, conservando assim sua cultura, mantendo a sua postura crítica, sem se aculturar diante de novos conceitos e perspectivas. A este conhecimento prévio, específico e relevante, David Ausubel chamava de *subsunçor* ou *ideia-âncora*.

Conclui-se que o conhecimento prévio é determinante para a aprendizagem na medida em que só podemos aprender a partir do que já conhecemos, ou seja, aprendemos a partir daquilo que já temos em nossa estrutura cognitiva.

Nessa perspectiva, as teorias da aprendizagem significativa, aplicadas no processo de ensino e aprendizagem, sugerem um ensino com base nas analogias, tal como é proposto no presente trabalho ao estabelecer a analogia entre o fenômeno do tunelamento quântico com o fenômeno da reflexão interna total frustrada.

3.2 PROPRIEDADES DA PROPAGAÇÃO DA LUZ

A ótica é o segmento da Física que estuda a luz e os fenômenos a ela associados. O fato da luz possuir comportamento dual, se manifestando como partícula em alguns fenômenos e como onda noutros, o estudo da ótica se divide em duas partes – ótica geométrica e ótica física.

Na ótica geométrica os estudos se baseiam no conceito de raios de luz que se propagam em linha reta, inferindo um modelo geométrico na sua propagação. Assim, fenômenos como reflexão da luz, refração da luz e reflexão interna total, são estudados pela ótica geométrica.

Quando a natureza da luz é considerada ondulatória, seus estudos se baseiam no conceito da sua propagação por meio de ondas eletromagnéticas e é estudada pela ótica física. O fenômeno da reflexão total frustrada é estudado por essa parte da ótica, uma vez que tal fenômeno só é possível caso a luz tenha comportamento ondulatório (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009).

3.2.1 Reflexão da luz

O fenômeno da reflexão da luz ocorre quando um feixe luminoso que se propaga em um determinado meio incide sobre uma superfície e retorna ao seu meio de origem. O feixe de luz que se dirige para a superfície é denominado feixe incidente e o feixe que retorna da superfície refletora é o feixe refletido.

Quando a luz incide em uma superfície irregular, os raios refletidos se propagam em várias direções diferentes (fig. 1). Dizemos que houve espalhamento da luz. Esse tipo de reflexão é denominada reflexão difusa. Devido ao fenômeno da difusão muitas pessoas podem ver o mesmo objeto ao mesmo tempo e podemos enxergar vários objetos de ângulos diferentes.

Há outro tipo de reflexão na qual os raios são refletidos paralelamente após incidirem em superfícies altamente polidas como os espelhos, metais e superfícies de água (fig. 2). Esse

tipo de reflexão é denominada reflexão regular e permite a formação de imagens nítidas, porém ela não pode ser observada de todas as posições (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009).

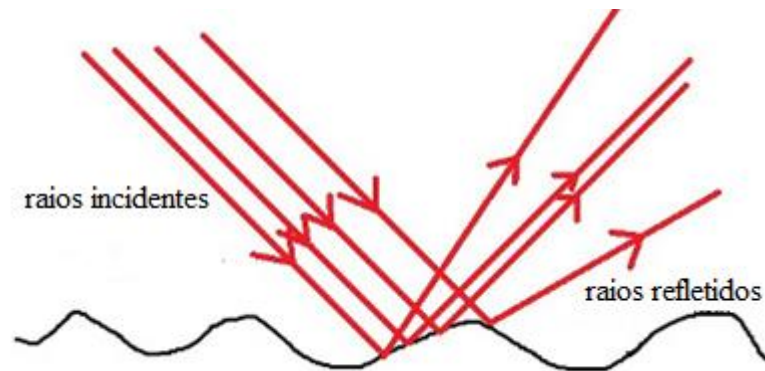


Figura 1: Um feixe luminoso sofrendo reflexão ao encontrar uma superfície irregular

Fonte: Teixeira (s.d.)

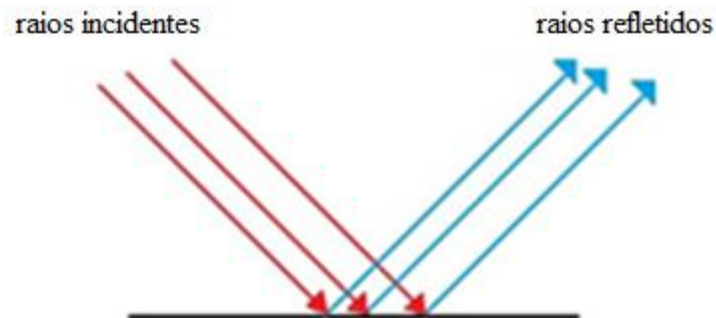


Figura 2: Um feixe luminoso sofrendo reflexão ao encontrar uma superfície lisa

Fonte: Teixeira (s.d.).

3.2.2 Refração da luz

O fenômeno da refração da luz ocorre quando a luz sofre mudança de meio de propagação, havendo variação na velocidade de irradiação, uma vez que a luz é uma onda eletromagnética cuja velocidade de propagação depende do meio (fig. 3). Se a incidência da luz ocorrer com um ângulo igual a zero, em relação a normal da superfície de separação dos meios, a luz não sofrerá desvio e seu ângulo refratado será nulo. Porém quando a incidência acontecer com um desvio oblíquo, em relação à normal, o raio luminoso refratado se aproximará ou se afastará da reta normal.

Um conceito importante no estudo da luz é o índice de refração. Tal conceito decorre do fato de a velocidade de propagação da luz ser diferente em meios distintos. O índice de refração estabelece a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio considerado. Assim, dizemos que um meio é mais refringente do que outro meio, quando a velocidade de propagação da luz no primeiro é menor do que no segundo meio.

No estudo da Ótica, a interface entre dois meios homogêneos e transparentes é chamada de dioptro, podendo ser classificados em planos, esféricos, cilindros, dentre outros. Os dioptros são importantes para estudos que envolvem a refração da luz (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009).

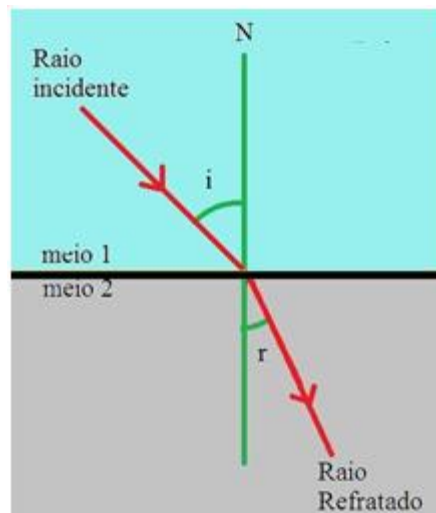


Figura 3: Um raio refratando do meio 1 para o meio 2

Fonte: Teixeira (s.d.).

3.2.3 Reflexão interna total

Segundo a teoria eletromagnética clássica, quando um feixe de luz incide obliquamente em uma interface de dois meios transparentes, o raio luminoso se afasta da normal, sendo, parcialmente, refletido e parcialmente transmitido (fig. 4). Porém se esse feixe parte de um meio de índice de refração maior para um meio de índice de refração menor, atingindo a interface com um ângulo maior que um ângulo θ_L , chamado ângulo crítico ou ângulo limite, ocorre o fenômeno chamado reflexão interna total, pois a interface funciona como uma barreira, impedindo que o feixe incidente, classicamente, atravesse a mesma. Logo, aí não se verifica o

fenômeno da transmissão (refração), uma vez que o feixe retorna ao meio de origem. Esse fenômeno pode ser observado nos prismas de ângulo reto (fig. 5), por provocarem um desvio de 90° dos feixes em relação ao feixe incidente, funcionando a face a 45° como um espelho plano.

A figura 4 ilustra um raio incidindo sobre a interface de dois meios (meio 1 e meio 2), inicialmente com um ângulo nulo em relação à normal, ocorrendo apenas a refração. Porém, à medida em que a inclinação do raio incidente aumenta, além da refração, ocorre uma reflexão desse raio; no momento em que essa inclinação chega a um ângulo limite (ângulo crítico), a refração ocorre de forma rasante à interface de separação dos dois meios; num ângulo superior ao ângulo crítico ocorre a reflexão interna total (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006; RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009).

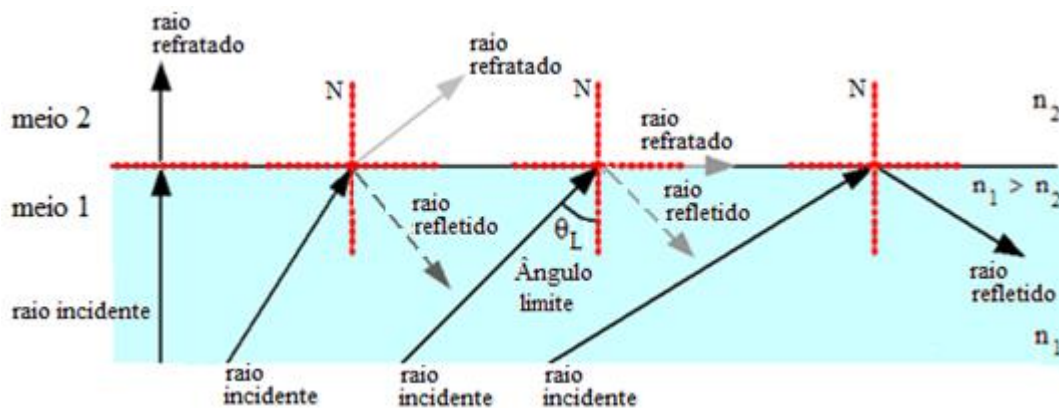


Figura 4 – Refração; refração e reflexão; reflexão interna total

Fonte: Museu das comunicações (2017).

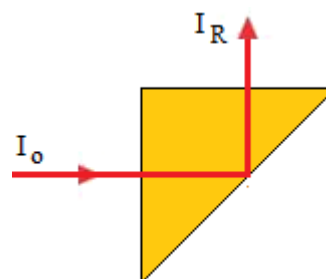


Figura 5 – Reflexão interna total no prisma de 45°

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

3.2.4 Reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira ótica

Na reflexão interna total, considerada na perspectiva da ótica geométrica, não ocorre refração da luz. Porém, analisando o fenômeno com base na teoria ondulatória da luz, percebe-

se que, ao incidir na fronteira entre dois meios, a luz transpõe a interface e se propaga no segundo meio alguns comprimentos de onda, decaindo exponencialmente (fig. 7). Tal fenômeno é resultado da sobreposição de várias ondas naquele ponto de incidência, dando origem a uma onda resultante, transmitida para o segundo meio. A onda transmitida guarda as mesmas características da onda incidente, exceto a velocidade, que depende da inclinação do ângulo da frente de onda transmitida em relação à interface de separação dos meios. Quanto maior for a velocidade da onda transmitida, maior será a inclinação da frente de onda e, quando essa inclinação atingir um ângulo de 90° , a superposição das ondas produz uma onda de superfície chamada onda evanescente (fig. 6 e fig. 7). Quando a onda evanescente se propaga com certa amplitude de um meio para outro meio de índice de refração maior, a energia pode ser transmitida através deste intervalo. Nessas circunstâncias pode-se dizer que, a rigor, não há reflexão total e esse fenômeno é conhecido por reflexão interna total frustrada ou penetração de barreira óptica (LEÃO, 2005; SENA; OLIVEIRA; OLIVEIRA; ALCÂNTARA JÚNIOR, 2005).

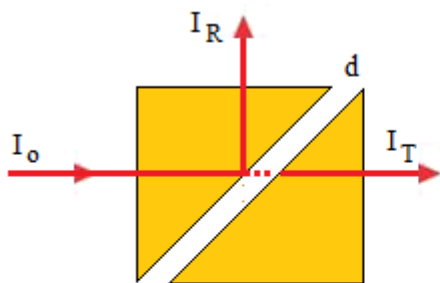


Figura 6: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaboradas pelo autor (2017).

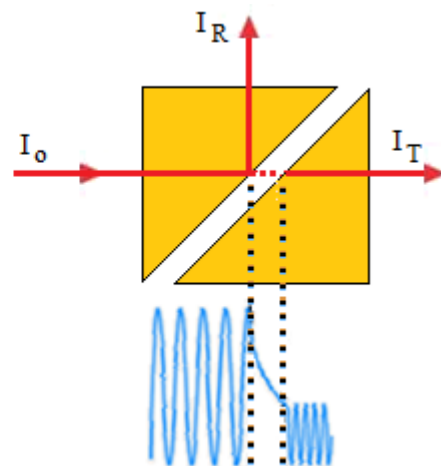


Figura 7: Onda evanescente

Fonte: Elaboradas pelo autor (2017).

3.3 NOÇÕES DE MECÂNICA QUÂNTICA

A Mecânica Quântica surgiu como resultado de descobertas como a radiação do corpo negro, a dualidade onda partícula, a função de onda e a descrição probabilística e o princípio da incerteza. Assim, a MQ se estabeleceu como um ramo da Física que estuda o comportamento da matéria e da energia em sistemas de dimensões próximas ou abaixo da escala atômica, tais como moléculas, átomos, elétrons, prótons e partículas subatômicas, embora possa descrever fenômenos macroscópicos em alguns casos. A teoria quântica fornece descrições precisas para fenômenos como a radiação do corpo negro e as órbitas estáveis do elétron. Apesar de, na

maioria dos casos, a Mecânica Quântica ser relevante para descrever sistemas microscópicos, os seus efeitos específicos não são somente perceptíveis em tal escala. Por exemplo, a explicação de fenômenos como a superfluidez e a supercondutividade só é possível se considerarmos que o comportamento microscópico da matéria é quântico. Os fenômenos estudados pela MQ têm vasta aplicação na tecnologia eletrônica como, por exemplo, o efeito túnel ou tunelamento quântico, presente em componentes eletrônicos como os diodos túnel (EISBERG; RESNICIK, 1979; (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006).

3.3.1 Barreira de potencial

Na escala microscópica, a quantização da energia acontece sempre que uma partícula fica sujeita a algum tipo de confinamento. Essa região de confinamento e que contém um máximo de potencial é chamada de **barreira de potencial**, cuja barreira impede uma partícula de atravessá-la para outra região (fig. 8). Alguns fenômenos nucleares ocorrem porque o núcleo atômico é rodeado por uma barreira de potencial. Outrossim, componentes eletrônicos como diodo de túnel tem o seu princípio de funcionamento baseado na barreira de potencial, cuja barreira está situada na interface entre semicondutores com graus de impurezas diferentes. Outro exemplo de equipamento que funciona com base na barreira de potencial é o microscópio de tunelamento com varredura (EISBERG; RESNICIK, 1979; (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006).

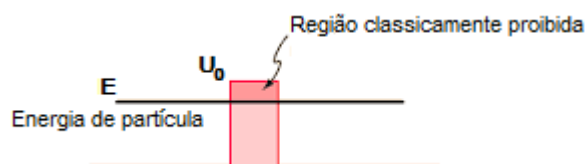


Figura 8 – Barreira de potencial

Fonte: Semana XI (s.d.).

3.3.2 Efeito túnel ou tunelamento quântico

Considerando uma barreira de potencial como uma parede fina, se uma partícula for arremessada contra a barreira com uma energia menor que a sua altura, uma partícula não conseguiria penetrar e nem ultrapassar a barreira, segundo a física clássica (fig. 09). Porém, alheio ao que prevê a física clássica, a partícula tem a probabilidade de penetrar ou ultrapassar a barreira, conforme a física quântica, ou seja, a função de onda penetra na região proibida e, se a parede for fina, pode surgir do outro lado com um valor não nulo (fig. 10)

Esse fenômeno, denominado efeito túnel ou tunelamento quântico, diz respeito à probabilidade de partículas ultrapassarem uma barreira de potencial, mesmo que não tenha energia o suficiente para tal, ou seja, as partículas podem transpor um estado de energia classicamente proibido (EISBERG; RESNICIK, 1979; (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006).

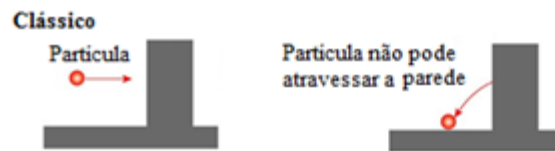


Figura 9: Caso clássico
Fonte: Xavier (2012).

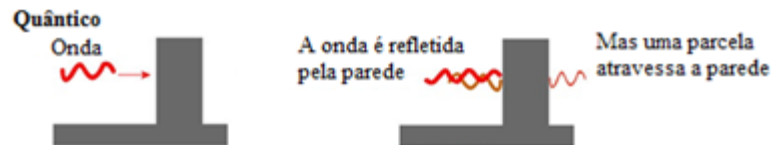


Figura 10: Tunelamento quântico
Fonte: Xavier (2012).

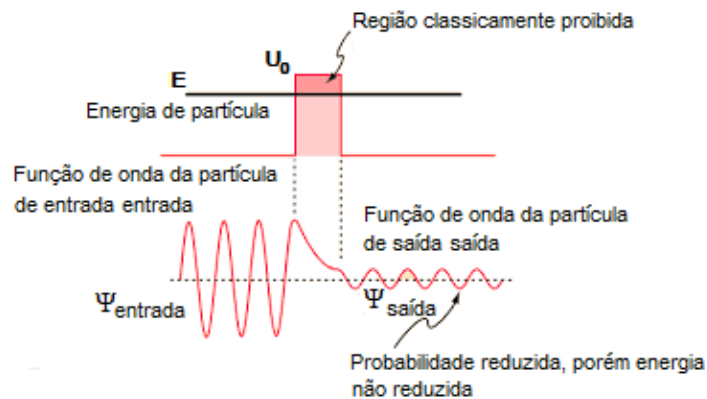


Figura 11 – Tunelamento quântico

Fonte: Semana XI (s.d.).

3.4 ANALOGIA ENTRE O FENÔMENO ÓTICO E O FENÔMENO QUÂNTICO

A analogia entre o tunelamento quântico e a reflexão total frustrada se dá pelo fato de que, em ambos os casos, verifica-se uma barreira sendo transposta por partículas e ondas, respectivamente, embora não fosse possível, se analisados em perspectivas diferentes.

No ponto de vista da ótica geométrica, um raio de luz não poderia ser transmitido além da barreira ótica, no fenômeno da reflexão interna total. Porém, na perspectiva da ótica física, considerando o comportamento ondulatório da luz, a barreira ótica é transposta pela onda de luz, no fenômeno da reflexão total frustrada.

No fenômeno de tunelamento quântico, uma barreira de potencial é transposta por partículas, o que não aconteceria se analisado na perspectiva da física clássica. Dadas as similaridades entre os fenômenos, nos quais barreiras são transpostas por ondas e partícula nos eventos clássico e quântico, nessa ordem, pode-se estabelecer uma analogia para se estudar o tunelamento quântico a partir da reflexão interna total frustrada (fig.12 e fig. 13) (LEÃO, 2005; SENA; OLIVEIRA; OLIVEIRA; ALCÂNTARA JÚNIOR, 2005).

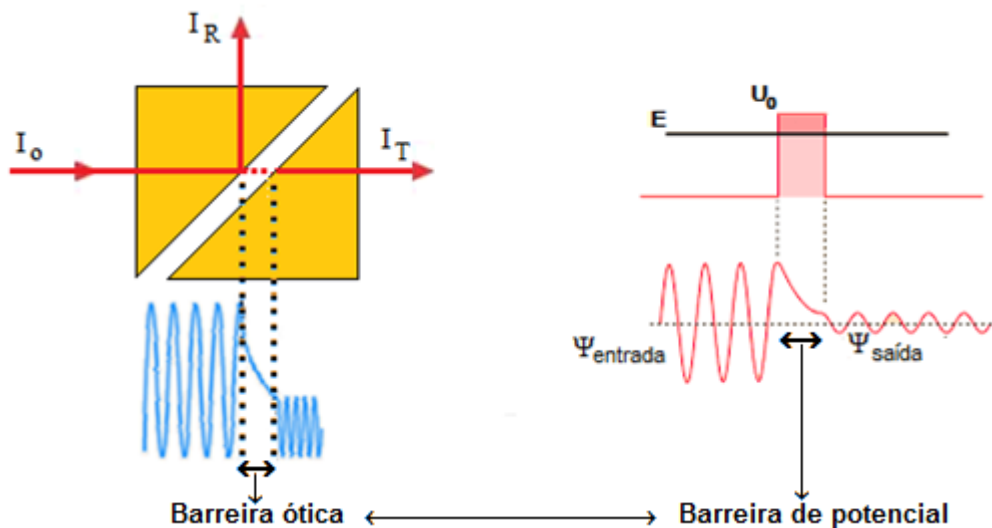


Figura 12: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Figura 13: Tunelamento quântico

Fonte: Semana XI (s.d.) modificada.

4 EXPERIMENTO

A experimentação, associada a uma sequência didática que diferencia do sistema convencional de aulas, como estratégia do trabalho docente, ganha importância no processo de ensino e aprendizagem, na medida em que possibilita uma aprendizagem mais significativa. Portanto buscou-se um experimento de baixo custo, de fácil construção e manuseio descomplicado, que possibilita a visualização do fenômeno óptico da reflexão interna total frustrada para estabelecer as comparações e fazer a analogia com o fenômeno do efeito túnel.

Tal experimento permite a visualização de uma barreira óptica sendo transposta por raios de luz que, por analogia, será comparado a uma barreira de potencial sendo transposta por partículas, evento que se verifica no fenômeno quântico.

4.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento consiste de uma base retangular com blocos afixados sobre a mesma, construídos com madeira; um bloco prismático triangular de 45° (prisma triangular de 45°) e um bloco cilíndrico elíptico (cilindro elíptico), ambos construídos com acrílico transparente (polimetil-metacrilato); uma mola de metal; uma fonte de raio laser e uma pequena placa de cartolina na cor preta. Ver figuras 14 – 20.



Figura 14: Base de madeira

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 15: Mola

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 16: Fonte de raio laser

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 17: Prisma triangular de 45° (prisma de reflexão total)

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 18: Cilindro elíptico

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 19: Placa de cartolina
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 20: Experimento montado
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Cada componente do experimento tem uma função específica, descritos a seguir.

- Base: utilizada para o encaixe dos demais componentes.
- Fonte de laser: gera o feixe de luz.
- Prisma triangular de 45° e cilindro elíptico: meios para a propagação da luz.
- Mola: permite a pressão de um sólido contra o outro.
- Placa de cartolina: permite melhor visualização do feixe de luz.

4.2 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO EXPERIMENTO

No arranjo experimental, o prisma, o cilindro e o ar entre os mesmos compõem os três meios pelos quais o feixe de luz irá se propagar, na análise do fenômeno da reflexão interna total frustrada. O prisma e o cilindro são instalados de maneira a permitir um movimento de rolagem do cilindro ao longo da face do prisma, provocando a variação da largura do filme de ar na interface entre as duas peças. A mola permite que o prisma e o cilindro se toquem, mantendo uma pressão entre suas faces.

Ao acionar a fonte de laser, o feixe proveniente desta incide sobre uma das faces do prisma, sofre refração na primeira face e reflexão total na segunda face (fig. 21). Porém, ao rolar o cilindro sobre a superfície do prisma, pressionado pela mola, a largura do filme de ar na interface entre as peças diminui e, quando a largura dessa fenda atinge a ordem de grandeza do comprimento de onda da luz, parte do feixe será refletida e parte transmitida para o cilindro. A refração deve-se ao desvio da onda evanescente que passa a se propagar no cilindro (fig.22)

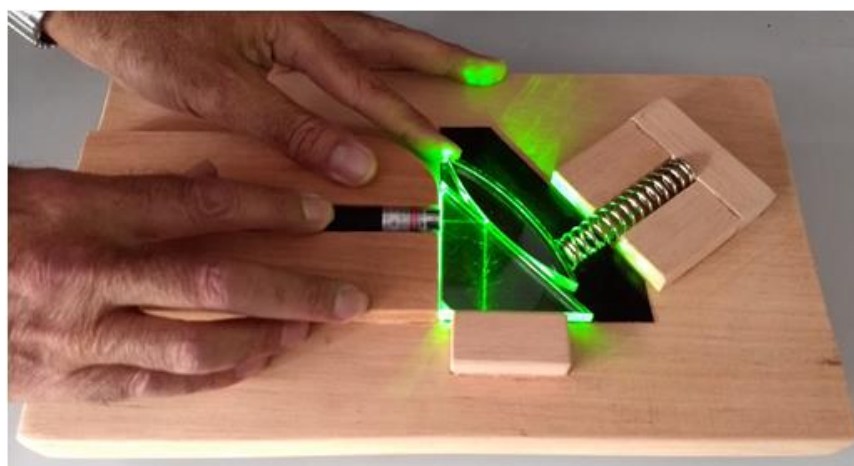


Figura 21: Reflexão interna total

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

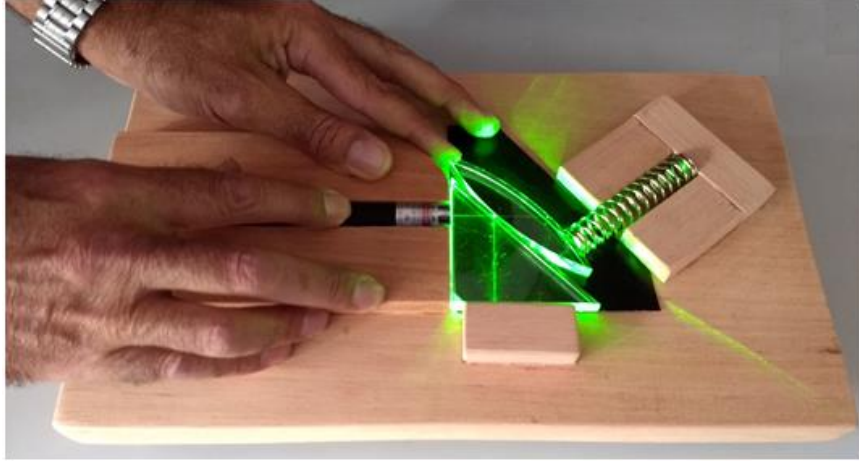


Figura 22: Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.3 MANUSEIO DO EXPERIMENTO

A base deve ser posicionada sobre uma mesa, num plano horizontal. O prisma, o cilindro, a mola e a cartolina devem ser encaixados nos lugares apropriados e ficarem ajustados para evitar que saiam da posição durante o manuseio. Uma vez instalados os componentes, liga-se a fonte de laser e, com a fonte ligada, pressiona-se uma das extremidades do cilindro, fazendo-o rolar sobre a face do prisma até que seja notada a transmissão do feixe para o cilindro (Fig. 24).



Figura 23 – Reflexão interna total

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

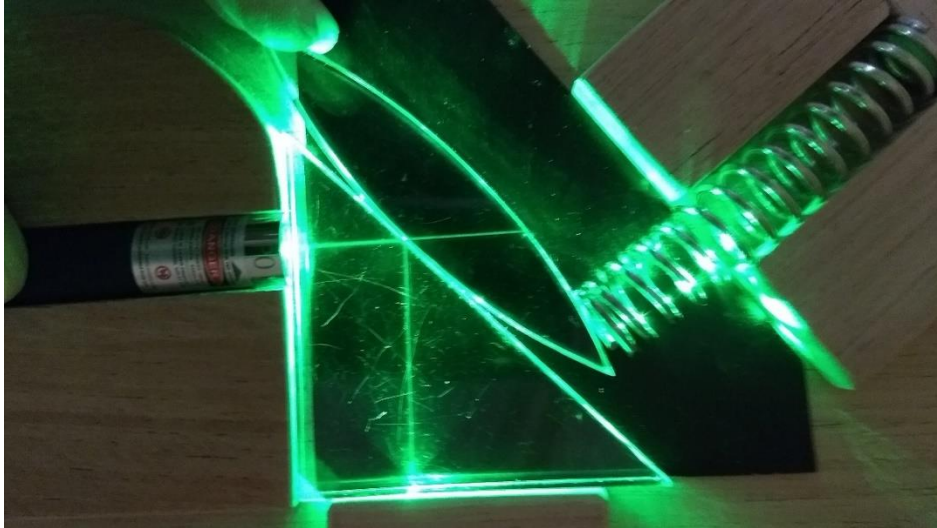


Figura 24 – Reflexão interna total frustrada

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

5 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O objetivo geral da intervenção deve ser proporcionar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de fazer investigação e, a partir de analogias, compreender os fenômenos estudados na Física Quântica por meio de fenômenos conhecidos da Física Clássica, bem como permitir a apreensão dos conceitos, leis e princípios fundamentais da Física, garantindo o entendimento dos seus significados.

A metodologia utilizada é baseada em aulas expositivas, discussões, leituras de textos e aplicação de questionários, tendo como recursos quadro branco, sistema multimídia, textos científicos, experimento e questionários impressos. O projeto deve ser aplicado em cinco aulas para cada turma, que podem ser denominadas aula 1, aula 2, aula 3, aula 4 e aula 5. Durante as aulas, as carteiras devem ser dispostas em forma de U, cuja configuração favorece a interação livre entre os alunos, possibilitando uma educação participativa e cooperativa, já que nesse formato os alunos têm contato visual com toda a turma.

5.1 AULA 01

O tema da aula é “energia e sua conservação”, uma vez que o fenômeno principal a ser estudado na Física Quântica envolve tais conceitos. Deve ser discutido o conceito de energia, enfatizando que em todos os fenômenos estudados na Física Clássica ocorre a conservação da energia em sistemas isolados.

O conteúdo programático consiste em energia cinética, energia potencial, energia mecânica e sua conservação. Para a conservação de energia mecânica citar como exemplo um skatista transpondo uma rampa, tendo o mesmo que estar animado com uma energia cinética maior que a energia potencial gravitacional do conjunto skatista e skate, no ponto mais alto da rampa. Tal informação é importante para o entendimento da barreira de potencial, fenômeno que será tratado na aula 2.

5.2 AULA 02

No início da aula deve ser aplicado o questionário A com o objetivo de sondar o nível de informação que os alunos possuem sobre os fenômenos estudados na Física Moderna. O questionário A contém 4 perguntas, para respostas “sim” ou “não”.

Questionário A

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?
2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?
3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?
4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após a aplicação do questionário, deve ser feita uma discussão acerca das respostas do questionário para que os alunos possam justificá-las.

O tema da aula 2 é “noções básicas de mecânica quântica”, já que é necessário o entendimento de alguns de seus conceitos para o estudo do fenômeno de tunelamento quântico,

tema central do projeto. Devem ser discutidos os conceitos fundamentais da Mecânica Quântica e apresentadas as leis e teorias físicas que regem tais fenômenos.

O conteúdo programático consiste em natureza quântica da física atômica, superposição, salto quântico e tunelamento quântico. Ao apresentar as noções básicas da mecânica quântica, deve-se destacar que tal teoria estuda os eventos no mundo micro e que alguns fenômenos da mecânica quântica são proibidos ao mundo clássico. Devem ser apresentados os fenômenos da radiação do corpo negro, quantização, quantização do efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, experimentos da fenda única e fenda dupla, superposição quântica (gato de Schroedinger), princípio da incerteza, salto quântico, barreira de potencial e tunelamento quântico. Sendo que o tunelamento quântico deve ser tratado com maior ênfase, destacando que nesse fenômeno verifica-se uma barreira de potencial que, do ponto de vista da Física Clássica, uma partícula movida com energia menor que a da barreira de potencial não conseguiria ultrapassá-la. No entanto, confirma-se que ela tem a probabilidade de romper essa barreira e ultrapassá-la, mesmo sem energia suficiente para tal.

Exibir um vídeo de multimídia (DESPERTANDO, 2015), para ilustrar o experimento de fenda única e fenda dupla, e outro para demonstrar o fenômeno de superposição quântica com o experimento mental “o gato de Schrödinger” (PARA NÃO ESQUECER, 2015), sendo os alunos informados que tal experimento trata-se de uma experiência imaginária.

5.3 AULA 03

O tema da aula 3 é “fenômenos de reflexão e refração da luz”, cujo estudo é fundamental para a realização do experimento ótico, bem como para a analogia com o fenômeno de tunelamento quântico.

Os objetivos específicos são: interpretar os fenômenos de refração, reflexão, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada da luz.

O fenômeno da reflexão interna total frustrada, por não ser comumente tratado no ensino médio, exige uma explicação bem elaborada, já que nesse fenômeno a luz assume comportamento ondulatório, atravessando uma barreira ótica, sendo transmitida para um terceiro meio por uma onda chamada onda evanescente.

5.4 AULA 04

Na aula 04 o tema é “fenômenos de reflexão e refração da luz”, com a demonstração experimental, cuja compreensão é fundamental para a analogia que será feita entre os fenômenos da reflexão interna total frustrada com o tunelamento quântico.

As carteiras devem ser dispostas em formato de U e o arranjo experimental colocado sobre uma mesa, numa posição onde todos os alunos possam visualizar. Inicialmente, devem ser mostradas, com a ajuda do projetor, as peças que compõem o arranjo experimental. Em seguida, formam-se grupos de cinco alunos para que eles possam manusear as peças e montar o arranjo experimental. Logo depois, cada grupo realiza o experimento, reproduzindo os fenômenos de refração, reflexão, reflexão interna total e reflexão interna total frustrada. Os alunos devem ser chamados à atenção para identificarem a barreira ótica que provoca a reflexão interna total da luz e o rompimento dessa barreira na reflexão interna total frustrada, detalhe fundamental para o estabelecimento da analogia com o fenômeno do tunelamento quântico, no qual se verifica uma barreira de potencial.

5.5 AULA 05

O tema da aula 5 é “reflexão interna total frustrada e tunelamento quântico”, fenômenos que são confrontados para ser estabelecida a analogia entre eles. O tema do tunelamento quântico deve ser abordado de forma mais aprofundada, agora fazendo uma analogia entre a reflexão interna total frustrada e o tunelamento quântico, comparando a barreira ótica com a barreira de potencial existente nos dois fenômenos, respectivamente.

Deve ser aplicado o questionário B com as mesmas perguntas do questionário A com o objetivo de perceber se houve mudança de postura dos alunos após as aulas nas quais foi utilizada a sequência didática baseada na analogia.

Questionário B

1. Uma pessoa pode estar em dois lugares ao mesmo tempo?
2. Um ciclista pode sair de uma posição e ir para outra, sem um deslocamento contínuo no espaço?

3. Segundo a figura abaixo, um skatista, com certa velocidade, consegue transpor a rampa de 2 m de altura, sendo que, quando está no topo dessa rampa sua velocidade é próxima de zero. Poderá o skatista, ultrapassar a rampa de 4 m de altura, na sequência da manobra?

4. As respostas para as perguntas anteriores valem para qualquer ente físico?

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Beatriz, MÁXIMO, Antonio. **Curso de Física Volume 2**. 6. Ed. São Paulo, Ed. Scipione, 2006

EISBERG, R. M., Resnick, R., **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas**. Editora Campus, 1979.

GASPAR, Alberto. **Física**. São Paulo, 1º Ed. Ática, 2006.

GRAF: **Grupo De Reelaboração Do Ensino De Física**. Editora da Universidade de São Paulo, 2005 (5ª Ed) – São Paulo

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2003 vol. 4.

LEÃO, Márcia Regina Moreira, F 809 – **Instrumentação para Ensino Projeto: Reflexão Interna Total Frustrada ou Penetração de Barreira Óptica**.

MARTINS, Isabel; OGBORN, Jon; KRESS, Gunther. **Explicando uma Explicação**. Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências Volume 01 / N úmero 1 – setembro de 1999

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; FILHO, Jenner Barretto Bastos Filho. **Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos**. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Instituto de Física da UFRGS.

PANTOJA, Glauco Cohen Ferreira. **Sobre o Ensino do Conceito de Evolução Temporal em Mecânica Quântica**. 2011. 269fls. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física.) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; CRUZ, Frederico Firmo de Souza. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: do Consenso de Temas à Elaboração de Propostas.** IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.

SENA, Cleidilane de Oliveira; OLIVEIRA Glaura Caroena Azevedo; JÚNIOR, Petrus Alcantara. **Uma Demonstração Simples Sobre a Analogia Clássica do Efeito Tunelamento Quântico.**

TIPLER, Paul A. **Física.** 4ª Edição, Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2000 vol. 3;

REFERÊNCIAS DAS FIGURAS

MUSEU das Comunicações. **Reflexão Interna Total.** Disponível em: < http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_8_4_TotalInternalReflection.html>. Acesso em: jan. 2018.

SEMANA XI. **Equação de Schroedinger, Funções de Onda, Densidades de Probabilidade.** Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/semanaXI.htm>>. Acesso em: jan. 2018.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. **Reflexão da luz.** [201?a.]. Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/reflexao-luz.htm>>. Acesso em: jan. 2018.

_____. **Reflexão e Refração da luz.** [201?b.]. Disponível em: < <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/reflexao-e-refracao-da-luz.html>>. Acesso em: jan. 2018.

XAVIER, Ademir. **Conceitos básicos de Física Quântica II.** Disponível em: < <http://eradoespirito.blogspot.com/2012/03/conceitos-basicos-de-fisica-quantica-ii.html>>. Acesso em: jan. 2018.

APÊNDICE H – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO-TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, **ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA**, discente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física, na Universidade Sudoeste da Bahia – UESB, realizarei um projeto de ensino como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em Ensino de Física intitulado **Uma proposta de introdução à física moderna no ensino médio por meio do tunelamento quântico**, orientado pela docente Prof.^a Dr.^a Cristina Porto Gonçalves.

Para validar sua participação, deve estar ciente de alguns pontos:

- Sua participação será voluntariada;
- Não haverá identificação, sendo anônima sua participação;
- As respostas serão utilizadas apenas se for de sua autorização;
- Se aceito, participará de 05 (cinco aulas), em sua própria sala de aula;
- Caso queira desistir durante o processo, pode sinalizar ao pesquisador por meio do e-mails alipiodyascorreia@gmail.com ou telefone (77) 9 8877-1961;
- Se não houver conforto em permitir utilizar os resultados obtidos, terá direito de negar a divulgação dos dados obtidos.

Prof.^a Dr.^a Cristina Porto Gonçalves

Orientadora

Alípio Dias dos Santos Correia

Discente responsável

Participante da pesquisa

ou seu responsável legal

Eu, _____, residente da cidade: _____ aceito participar voluntariamente da pesquisa aqui mencionada, estando ciente do anonimato, em poder desistir a qualquer momento caso seja meu desejo e de todos os tópicos livremente da minha participação, sem qualquer obrigatoriedade.

Vitória da Conquista, ____ de _____ de 2017

APÊNDICE I – TERMO DE ANUÊNCIA DO GESTOR**TERMO DE CONSENTIMENTO E ANUÊNCIA DO GESTOR****VITÓRIA DA CONQUISTA – BA, _____/_____ 2017**

Eu ALÍPIO DIAS DOS SANTOS CORREIA, discente do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do Programa de Pós-Graduação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, estarei desenvolvendo Produto educacional (sequência didática) no Colégio da Polícia Militar de Vitória da Conquista - CPM Eraldo Tinoco, tendo como orientadora Prof.^a Dr.^a Cristina Porto Gonçalves. Sendo que as sequências didáticas estão vinculadas às atividades educacionais e consistem num encadeamento de etapas ligadas entre si e têm sido cada vez mais utilizadas como recursos para o ensino com o objetivo de facilitar a aprendizagem. Fugir da abordagem tradicional, como estratégia de ensino, é cada vez mais comum na educação como recurso pedagógico para tornar o ensino dinâmico, atrativo e motivador. Caso necessite esclarecer alguma dúvida em relação ao estudo estou à disposição para prestar quaisquer esclarecimentos. Se vossa senhoria estiver de acordo, posso garantir que as informações fornecidas serão confidenciais, e os dados utilizados apenas para fins de análises científicas.

Eu _____ fui esclarecido(a) sobre a pesquisa citada acima e concordo com estes dados sejam utilizados na realização da mesma, considerando seu mérito e caráter científico.

Assinatura do Responsável (com carimbo se tiver)