

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS**



**MARCELO ANTONIO AMORIM**

**EFEITO FOTOELÉTRICO E SUA HISTÓRIA:  
RECURSO DIDÁTICO À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS  
KUHN**

RECIFE – PE  
2012

**MARCELO ANTONIO AMORIM**

**EFEITO FOTOELÉTRICO E SUA HISTÓRIA:  
RECURSO DIDÁTICO À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS  
KUHN**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ensino das Ciências.**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandro Cardoso Tenório**

**Recife - PE**

**2012**

## Ficha Catalográfica

A524e Amorim, Marcelo Antonio  
Efeito fotoelétrico e sua história: recurso didático à luz da epistemologia de Thomas Kuhn / Marcelo Antonio Amorim.  
-- Recife, 2012.  
118 f. : il.

Orientador (a): Alexandro Cardoso Tenório.  
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Educação, Recife, 2012.  
Inclui referências e apêndice.

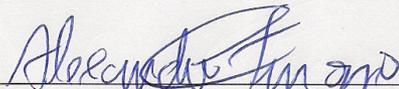
1. Física quântica 2. Efeito fotoelétrico 3. Ensino médio  
4. Software I. Tenório, Alexandro Cardoso, Orientador II. Título

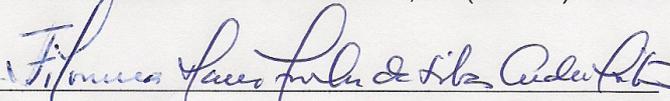
CDD 530.07

**EFEITO FOTOELÉTRICO E SUA HISTÓRIA:  
RECURSO DIDÁTICO À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS  
KUHN**

MARCELO ANTONIO AMORIM

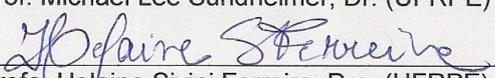
**Banca Examinadora:**

Presidente:   
Prof. Alexandre Cardoso Tenório, Dr. (UFRPE)

1º Examinador:   
Profa. Filomena Maria G. da S. Cordeiro Moita, Dra. (UEPB)

2º Examinador:   
Prof. Antonio Carlos da Silva Miranda, Dr. (UFRPE)

3º Examinador:   
Prof. Michael Lee Sundheimer, Dr. (UFRPE)

4º Examinador:   
Profa. Helaine Sivini Ferreira, Dra. (UFRPE)

Dissertação aprovada no dia 29/fevereiro/2012.

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências.

## DEDICATÓRIA

À minha AVÓ, Amara Farias Ascoly, por tudo que fez por mim, motivando-me a enfrentar desafios. “E se eu ficar dentro de um ovo, Ele mim vê?” Quanta paciência para explicar até o inexplicável. E sempre dizendo com a voz firme: “MARCELO ESTÁ ESTUDANDO”.

Ao meu PAI, Rafael Farias Amorim, pelas orientações sobre a vida. Quantas saudades! Ainda continuo ouvindo o senhor dizendo em tom grave: “DEUS TE ABENÇOE!” E se foi... Apressadamente.

À minha MÃE, Josefa da Paixão Amorim, que sempre me dedicou amor e conforto nos momentos difíceis. Com aquele sorriso que lhe é peculiar, abraça-me e diz: “DEUS TE ABENÇOE, MEU FILHO!”

Eu tenho orgulho de vocês. Tudo o que eu sou devo a vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e à minha avó, que dedicaram toda a vida ensinando-me a amar, ser justo e vencer na vida sem “pisar” no próximo. Quantas lições de vida vocês me deram! Quão importantes vocês foram, são e serão na minha vida! Tenho muito orgulho de ser filho e neto, respectivamente, de vocês.

Ao meu primo e padrinho, Marcos Antonio Amorim, que, além de motivar-me para estudar cada vez mais, sempre comprou todos os meus livros durante o ensino fundamental (antigo ginásio) e o meu primeiro dicionário de inglês. Estava sempre me orientando com relação ao futuro. O senhor deu-me uma grande contribuição, em todos os aspectos, para o meu sucesso. Espero que eu tenha atendido às suas expectativas.

À minha madrinha, Maria de Lourdes Araújo Amorim, que, durante a minha infância, levava-me aos parques, conversava sobre a vida e com isso me ensinou a ser perseverante. Um exemplo de pessoa justa e sempre disponível a ajudar o próximo.

À minha tia, Maria do Carmo da Paixão, que sempre me tratou com muito carinho.

Aos meus irmãos, que muito me ensinaram nesta vida.

À minha psicóloga, companheira, amiga e esposa, Maria Naide de Almeida Barbosa Amorim, que está presente em todos os momentos da nossa caminhada. Com o seu jeito de ser, mostrou-me muitos horizontes.

Às minhas filhas, Marcelaine Gabriela de Almeida Amorim e Marcela Maria de Almeida Amorim, que tiveram muita paciência e compreensão, suportando-me durante as pesquisas do mestrado.

Ao professor e educador, Antônio da Câmara Lima, pelos ensinamentos não apenas sobre Física, mas também sobre o compromisso de ser um professor e um servidor público.

Ao Professor Alexandro Cardoso Tenório, pela paciência de ouvir-me e orientar-me nesta caminhada acadêmica. Suas sugestões foram valiosas para a conclusão deste trabalho. Um verdadeiro EDUCADOR, sempre envolvido em projetos educativos.

À Professora Helaine Sivini, que contribuiu de forma significativa com a conclusão deste trabalho, observando todos os detalhes necessários para o seu aprimoramento.

Às professoras Ana Maria, Ângela Campos, Edenia, Helaine Sivini, Marly Oliveira, Mônica e Zélia, e ao professor Marcelo Leão, pela competência e comprometimento com este Programa de Pós-graduação.

À banca examinadora, Profa. Dra. Filomena Maria Moita, Prof. Dr. Antonio Carlos Silva Miranda, Prof. Dr. Michael Lee e a Profa. Dra. Helaine Sivini Ferreira, pelas valiosas contribuições a esta pesquisa.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir as condições de instigar a inserção da Física Quântica no ensino médio por meio do emprego do efeito fotoelétrico e sua história como recurso didático. Com essa finalidade foram promovidos, entre alunos da 3ª série do ensino médio, debates sobre os conflitos existentes a respeito da natureza da luz, radiação térmica e a interpretação de Einstein para o postulado de Planck. Com pouco formalismo matemático e dando ênfase ao caráter mais fenomenológico e conceitual, foram abordados conceitos de Física Quântica como: quantum, fóton e efeito fotoelétrico. Também foram realizados experimentos com materiais de baixo custo e de simulações através de *softwares* disponíveis na *Internet* para favorecer o entendimento dos assuntos abordados. Os avanços científicos e tecnológicos que ocorreram após o surgimento da Física Quântica foram analisados dentro de uma percepção crítica. A pesquisa foi realizada através de um minicurso numa escola pública do estado de Pernambuco, situada no município de Ipojuca. O desenvolvimento da aprendizagem dos alunos durante a pesquisa foi verificado através da análise qualitativa das respostas apresentadas no questionário de sondagem e no pós-teste. Os resultados obtidos dessa análise permitiram fazer considerações sobre as possibilidades de inserção da física quântica no ensino médio. Os estudos corroboram a ideia de que essa inserção poderia ser feita utilizando-se a via histórica e atividades experimentais, o que facilitará a mudança de paradigma.

Palavras-chave: Física Quântica, Efeito Fotoelétrico, Ensino Médio, *Softwares*.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is discussing the conditions of prompting the insertion of Quantum Physics in the Senior High School through the use of the photoelectric effect and its history as a didactic resource. In order to achieve this goal, students of the third grade of the Senior High School have taken part in debates about different concepts of the nature of light, thermal radiation and Einstein's understanding of Plank's Theory. Quantum Physics concepts of quantum, photon and photoelectric effect have been approached emphasizing a more phenomenological view and not so much the mathematical formalism. Experiments have taken place using low cost materials and software simulations available in the internet to make it easier to the students the understanding of the processes. The scientific and technological advances that occurred after the emergence of Quantum Physics have been analyzed through a critical perspective. This research has taken place in a minicourse at a public school of the state of Pernambuco in the city of Ipojuca. The development of the learning process of the students during the research was checked through the qualitative analysis of the answers given by them to the questionnaire in the tests taken before and after the minicourse. The results of this analysis have made it possible to think of the insertion of Quantum Physics in the Senior High School. This study poses the idea that this insertion of the Quantum Physics could be done through a historical approach and experimental activities in order to make it easier the paradigm shift.

Key words: Quantum Physics, Photoelectric effect, Senior High School, Softwares.

# SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	13
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVO GERAL.....	24
1.2 Objetivos específicos.....	25
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	26
2.1 Física Quântica no Ensino Médio.....	26
2.2 História como recurso didático.....	31
2.3 Epistemologia de Thomas Kuhn: contribuições para o ensino de ciência.....	32
2.4 Gaston Bachelard: obstáculos epistemológicos.....	36
2.5 O efeito fotoelétrico e sua história.....	38
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	50
3.1 Amostra.....	51
3.2 Lugar.....	52
3.3 Instrumento de coleta de dados.....	52
3.4 Metodologia de estruturação da pesquisa.....	53
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	56
4.1 Análise do Questionário de Sondagem.....	56
4.2 Análise do Pós-Teste.....	72
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	80
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82
<b>APÊNDICES</b> .....	86
Apêndice A – Modelo do Questionário de Sondagem.....	86
Apêndice B – Modelo do Pós-Teste.....	92
Apêndice C – Referências utilizadas no Questionário de Sondagem e no Pós-Teste.....	96
Apêndice D – Plano de aulas.....	97
Apêndice E – Referências utilizadas nas aulas.....	116
Apêndice F – Arden Zylbersztajn: Alunos como cientistas Kuhnianos.....	117
Apêndice G – Escola de Copenhague.....	118

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Representação de um corpo negro.....	40
FIGURA 02	Curva espectral da radiação térmica.....	41
FIGURA 03	Bobina de Ruhmkorff.....	46
FIGURA 04	Efeito fotoelétrico: “colisão entre duas partículas”.....	48
FIGURA 05	Then original teenbuzz – mosquito ringtone.....	98
FIGURA 06	Mola slink.....	99
FIGURA 07	Espectro eletromagnético.....	100
FIGURA 08	Diffrazione da una fenditura.....	101
FIGURA 09	Standing wave.....	103
FIGURA 10	Software Ripple Tank Applet v1.7e.....	104
FIGURA 11	Experimento de Young.....	105
FIGURA 12	Software DoppelSpalt.....	106
FIGURA 13	Padrão gráfico de difração de um objeto clássico.....	107
FIGURA 14	Padrão gráfico de difração de um objeto quântico.....	107
FIGURA 15	Color temperature in a virtual radiator.....	109
FIGURA 16	Black-body radiation.....	111
FIGURA 17	El efecto fotoelétrico.....	113
FIGURA 18	Software Efeito fotoelétrico.....	114
FIGURA 19	Software A Física e o Cotidiano.....	119

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01	Justificativas para a questão 01.....	58
QUADRO 02	Justificativas para a questão 02.....	59
QUADRO 03	Justificativas para a questão 03A.....	61
QUADRO 04	Justificativas para a questão 03B.....	61
QUADRO 05	Justificativas para a questão 04A .....	63
QUADRO 06	Justificativas para a questão 04B.....	64
QUADRO 07	Justificativas para a questão 05A .....	66
QUADRO 08	Justificativas para a questão 05B.....	66
QUADRO 09	Justificativas para a questão 07A .....	69
QUADRO 10	Justificativas para a questão 07B .....	69
QUADRO 11	Justificativas para a questão 08.....	71
QUADRO 12	Opinião a respeito dos cientistas.....	74
QUADRO 13	Justificativas sobre o que são fótons.....	76
QUADRO 14	Rumos da Ciência Moderna.....	78

## APRESENTAÇÃO

Com base em nossa experiência como professor de física há mais de três décadas no Ensino Médio das escolas públicas e particulares, observamos muitas dificuldades por parte dos alunos na aprendizagem dessa disciplina.

É muito comum ouvir dos aprendizes questionamentos sobre por que estudar Física, já que não percebem o uso dos conhecimentos físicos em suas atuações como profissionais ou até mesmo após o término do ensino médio. Esses e outros questionamentos relativos a como a Física ajuda a promover o avanço da tecnologia inquietaram-nos e levaram-nos a buscar respostas que pudessem mostrar aos aprendizes a importância do estudo dessa ciência, a fim de neles despertar o interesse em estudá-la e o potencial para aprendê-la.

Notamos que o fato de não trazer para a sala de aula uma física contemporânea existente no mundo dos aprendizes e a ausência de recursos didáticos são fatores que podem contribuir para desestimular o estudante, pois fórmulas, definições e resolução de exercícios, sem a necessária contextualização e apreensão dos significados, tendem a ser esquecidos, já que não promovem uma formação mais voltada para o exercício da cidadania.

Na opinião de Paulo Freire,

Ninguém ensina o que não sabe. Mas também ninguém, numa perspectiva democrática, deveria ensinar o que sabe sem, de um lado, saber o que já sabem e em que nível sabem aqueles e aquelas a quem vai ensinar o que sabe (1994, p.131).

Dessa forma, passamos a nos preocupar em ensinar uma física que permitisse ao estudante ter uma visão mais crítica do mundo em que vive, dando-lhe condições de entender e posicionar-se frente ao desenvolvimento científico-tecnológico, podendo exercer, portanto, com mais plenitude a cidadania.

Para corroborar essa abordagem, podemos citar as Orientações Curriculares do Ensino Médio (OCEM), cujas sugestões apontam para uma renovação no ensino, quando afirmam: “[...] o que a Física deve buscar no ensino médio é assegurar que a competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o

mundo em que se habita.” (BRASIL, 2008, p.54). Partindo, então, dessa premissa, empreendemos uma investigação que possa contribuir para um ensino de Física mais contextualizado, de modo que proporcione uma maior motivação ao aprendiz.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de estarmos no século XXI, muitos currículos do ensino médio ainda não contemplam adequadamente a Física Moderna e Contemporânea. Assim, os estudantes não compreendem, de maneira mais abrangente e criteriosa, o impacto do avanço tecnológico e científico sobre o desenvolvimento da sociedade, inclusive o funcionamento de câmeras digitais, equipamentos a *laser*, CD, MP4, tomografia computadorizada, GPS e até mesmo o funcionamento das portas “automáticas” instaladas com frequência nos *shoppings*. Dessa forma, entende-se ser necessário inserir as futuras gerações no mundo físico, de modo a permitir uma compreensão plena das repercussões do progresso científico-tecnológico no desenvolvimento social.

Conforme Bachelard,

Os livros de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é; já não é natural. Já não é a ciência da rua e do campo. É uma ciência elaborada num mau laboratório mas que traz assim mesmo a feliz marca desse laboratório (2008, p.30).

Nessa perspectiva, no livro *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos* (DELIZOICOV *et al*, 2002), por exemplo, os autores também apresentam a preocupação de combater, em sala de aula, a prática da ciência morta, ou seja, daquela “ciência” baseada na valorização excessiva da repetição sistemática de definições, com questões pobres para prontas respostas igualmente empobrecidas, uso indiscriminado e acrítico de fórmulas, enfim atividades que não levam o aprendiz a compreender o mundo em que vive. Os autores dessa obra propõem que se deve mostrar aos estudantes que a produção do conhecimento da ciência é um processo eminentemente humano e que, por isso, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia deve ser visto como uma atividade humana.

Segundo Delizoicov *et al*. (2003, p.69), “Essa relação entre ciência e tecnologia, aliada à forte presença da tecnologia no cotidiano das pessoas, já não pode ser ignorada no ensino de Ciências, e sua ausência aí é inadmissível”. Nessa

perspectiva, ao inserir-se a física quântica no ensino médio, possivelmente os avanços científicos e tecnológicos que ocorrem a cada dia serão melhor compreendidos pelos estudantes, possibilitando-lhes exercer a cidadania com uma consciência mais crítica.

Deve-se, assim, estimular nos estudantes o desenvolvimento do pensamento crítico, caso se deseje que eles sejam potenciais “construtores” do futuro, a partir das sequências conjunturais que se delineiam no presente (tradução livre, ZEMELMAN, 2003 *apud* POVEDA, p.55).

De acordo com Poveda, pesquisas apresentam características relativas a “pensamento crítico”, mas não existe uma unanimidade quanto à definição desse tipo de pensamento. Dentre essas definições, esse autor cita as seguintes:

- 1) “A consideração ativa, persistente e cuidadosa de uma crença ou forma suposta de conhecimento à luz dos fundamentos que a apoia e das conclusões que se tem.” (tradução livre, DEWEY, 2007 *apud* POVEDA, p.56);
- 2) “Um pensamento raciocinado e reflexivo, orientado a uma decisão do que acreditar ou fazer” (Tradução livre, ENNIS, 1985 *apud* POVEDA, p.56);
- 3) “O pensamento crítico é disciplinado e autodirigido, e exemplifica as perfeições do pensar adequado diante de um modo ou área disciplinar particular” (tradução livre, PAUL, 1992 *apud* POVEDA, p.56);.

De acordo com Freire (1981, p.40), a consciência crítica “não se satisfaz com a aparência, sabe que a realidade é mutável, não aceita situações ou explicações mágicas, procura verificar ou testar as descobertas, [...]”. Portanto, processos de ensino e aprendizagem que promovam o desenvolvimento da consciência crítica do estudante necessariamente irão permitir-lhe analisar os fatos a partir da fundamentação científica e tecnológica, o que implicará o exercício da cidadania na sua plenitude. Isso não ocorre com os que têm uma consciência ingênua.

Nesse sentido, Acevedo apresenta uma pesquisa feita para estabelecer um consenso sobre a natureza da ciência (NdC) e mostra que alguns estudiosos (Fernández *et al.*, 2002, 2003; Fernández, Gil-Perez, Valdéz e Vilches, 2005; Gil-Perez 2005) chamam de “visões deformadas” as crenças ingênuas sobre ciência,

porque “acreditam numa imagem da ciência distorcida e inadequada e carecem de sintonia com a realidade” (tradução livre, ACEVEDO *et al.*, 2007, p.53).

As crenças ingênuas são denominadas de mitos por William McComas. Em um artigo denominado “Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science”, no qual “tenta refutar vários dos equívocos mais comuns e duradouros realizados pelos alunos sobre o empreendimento da ciência”, ele, além de apresentar os dez mitos sobre a natureza da ciência, promove uma análise sobre cada um deles.

Para McComas (tradução livre, 1996, p.10-15), os dez mitos sobre a ciência são os seguintes:

- 1) Hipóteses tornam-se teorias que se tornam leis.
- 2) Uma hipótese é uma suposição educada.
- 3) Existe um método científico geral e universal.
- 4) Evidência cuidadosamente acumulada resultará em conhecimento seguro.
- 5) A ciência e seus métodos fornecem provas absolutas.
- 6) A ciência é mais processual do que criativa.
- 7) A ciência e seus métodos podem responder todas as perguntas.
- 8) Os cientistas são particularmente objetivos.
- 9) Os experimentos são princípios do caminho para o conhecimento científico.
- 10) Todo trabalho na ciência é revisto para manter honesto o processo.

Na visão de Freire (1981, p.40), a consciência ingênuas “apresenta conclusões apressadas, superficiais, fragilidade na discussão dos problemas, toda concepção científica para ela é um jogo de palavras, suas explicações são mágicas, [...]”. Para superar, então, as consciências ingênuas sobre a natureza da ciência e, conseqüentemente, sobre os avanços científicos e tecnológicos, serão apresentados e analisados os conflitos existentes, por exemplo, no surgimento da Física Quântica.

De acordo com Cavalcante e Tavoraro,

O conhecimento dessa nova linguagem é muito importante para a formação de indivíduos que devem atuar em um meio social repleto de ambigüidades (benefícios x prejuízos) decorrentes dos avanços tecnológicos provenientes das grandes descobertas científicas deste século. Exercer a cidadania é um direito de todos e exige o conhecimento das diversas formas contemporâneas de linguagem. (2010, p.116)

Nessa perspectiva, pode-se observar que, enquanto nos Estados Unidos e nos países da Europa se discute como melhorar a apresentação dos conteúdos sobre Física Quântica, já inseridos no currículo do ensino médio, no Brasil ainda se debate como tornar efetiva essa inserção (GRECA e MOREIRA, 2001).

Nesse sentido, Lobato e Greca (2005) desenvolveram uma pesquisa sobre os currículos de Física do ensino médio de vários países (Austrália, Itália, Canadá, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Portugal, Reino Unido e Suécia). Para isso, visitaram *sites* oficiais dos governos desses países e, simultaneamente, solicitaram informações de colegas, as quais foram dadas por meio de um questionário. O resultado dessa investigação mostrou que esses países contemplam a Teoria Quântica (TQ) nos seus programas curriculares de ensino médio. Esses pesquisadores perceberam também que as estratégias utilizadas para a introdução da Teoria Quântica são diversificadas: uns usam a via histórica e a mudança de paradigma; outros, a mudança de paradigma e experimental; e alguns, apenas a mudança de paradigma.

Partindo dessa premissa, percebe-se a necessidade de instigar a inserção da Física Quântica no currículo do ensino médio no Brasil. Além do mais, essa necessidade está registrada nas propostas dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEMs), ao proporem que, no estudo da “natureza ondulatória e quântica da luz e sua interação com os meios materiais”, faça-se uma “abordagem quântica da estrutura da matéria, [...]” (2000, p.26). Esse ponto de vista também é compartilhado por muitos pesquisadores, dentre os quais Freire e Carvalho (1997), Pinto e Zanetic (1999).

A fim de justificar o porquê da necessidade de inserção da Física Quântica no ensino médio, faz-se agora uma síntese dos avanços que ela proporcionou à ciência e à tecnologia.

- a) O físico dinamarquês Niels Bohr, aplicando a teoria quântica ao modelo atômico, explicou a estabilidade dos átomos como também, em alguns casos simples, viabilizou uma interpretação teórica dos espectros de linhas emitidas por átomos que foram excitados por descargas elétricas ou pelo calor (JÚNIOR; 2002).

- b) Apesar de a tabela periódica dos elementos químicos ter sido formulada em 1869 pelo químico russo Dimitri Mendeleiev, a sua compreensão física de forma consistente só ocorreu após a elaboração da Nova Mecânica Quântica de Heisenberg, Schrödinger e Dirac, entre 1925 e 1927 (FREIRE e CARVALHO, 1997).
- c) Usando a técnica de difração de raios X, que é uma aplicação da Física Quântica, Francis Crick, James Watson, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin, no laboratório Cavendish, na Inglaterra, no dia 7 de março de 1953, verificaram a estrutura em dupla hélice da molécula do DNA responsável pela herança genética. Esse método experimental permitiu a criação da Biologia Molecular (FREIRE e CARVALHO, 1997).

Ao inserir-se, então, a Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, estimular-se-ão os alunos a estudar Física, pois essa perspectiva envolve assuntos nos quais eles têm maior interesse e os quais só conhecem de forma parcial através dos meios de comunicação. Eles começarão a perceber que o mundo macroscópico é entendido com conhecimentos da Física Clássica, enquanto que, para a compreensão do mundo microscópico, fazem-se necessários conhecimentos da Física Quântica.

A Física Clássica permite que se saiba a posição e a quantidade de movimento de uma partícula simultaneamente, e que se diga onde ela estará e com que quantidade de movimento se encontra depois de algum tempo. Dessa forma, enquanto a Física Clássica possibilita compreender o mundo governado por leis determinísticas (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2010), a Física Quântica “descreve o comportamento das partículas através das funções de onda das ondas associadas a elas, isto é, através de probabilidades” (2010, p.113). Consequentemente, essa visão permite compreender-se que o mundo é governado por leis probabilísticas. Foi a Física Quântica que possibilitou formular-se um modelo para os átomos e conhecer-se detalhadamente o comportamento de materiais semicondutores (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2010).

Publicações sobre Ensino de Física e Ensino de Ciências, encontradas no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (antigo Caderno Catarinense de Ensino de Física) e em Investigações em Ensino de Ciências, apresentam várias experiências feitas por

alguns pesquisadores brasileiros relativas a como inserir a Física Quântica no Ensino Médio.

Uma dessas experiências ocorreu durante a 5ª SBPC Jovem, em Belo Horizonte, em que Cavalcante e Tavolaro (2001) programaram uma Oficina de Física Moderna para inseri-la no Ensino Médio. Tendo como objetivo explicar o nascimento e a importância da Mecânica Quântica, essas autoras mostraram o comportamento ondulatório da luz com experimentos sobre difração e interferência, utilizando lanterna, retroprojetor, cílios postiços, pedaços de folha de transparência e CDs. A natureza corpuscular da luz foi mostrada a partir de *softwares*, sensor de calculadora solar e LEDs (diodos de emissão de luz). De acordo com essas autoras, a oficina tem sido oferecida sistematicamente pela Escola do Futuro da USP.

Outras propostas referentes a como inserir a Física Quântica no Ensino Médio serão apresentadas no capítulo seguinte, inclusive as que foram relatadas num estudo feito por Greca e Moreira (2001).

Existe também a preocupação de saber como os livros-texto estão abordando a Física Quântica no ensino médio. Numa análise feita em 56 livros-texto, utilizados na escola e no 1º ano universitário na Espanha, Solbes *et al.* (1987 *apud* OSTERMANN e MOREIRA, 2000) concluíram que, geralmente, a introdução dos modelos quânticos nessa modalidade de ensino ocorre de forma incorreta e confusa. Eles observaram que a maioria dos textos para o nível médio não aborda o efeito fotoelétrico como ruptura com a Física Clássica (OSTERMANN e MOREIRA, 2000).

Sabendo-se que existem tópicos da Física Quântica que possuem certo nível de complexidade para o seu entendimento e que alguns arranjos experimentais são muito sofisticados e difíceis de serem reproduzidos em laboratório escolar, foram utilizados *softwares* para mostrar-se o comportamento dual da luz e o efeito fotoelétrico. Os estudantes puderam, assim, fazer previsões, construir hipóteses e testá-las através de simulações.

Segundo Medeiros e Medeiros,

“O valor de qualquer simulação está condicionado ao modelo, à teoria física utilizada em sua construção. Tanto a teoria como

evidentemente o software, que está baseado nela, tem contextos de validade que dependem dos pressupostos utilizados.” (2002, p.82)

Tendo-se como objetivo a inserção da Física Quântica no ensino médio, a qual poderá proporcionar aos estudantes uma melhor compreensão dos avanços científicos e tecnológicos do mundo em que vivem, decidiu-se apresentar os conflitos que existiram a respeito das diferentes concepções sobre a natureza da luz. Isso favoreceu o entendimento do fenômeno do efeito fotoelétrico, o qual representa a ruptura com a Física Clássica.

No que concerne à natureza da luz, trabalhou-se com a ideia de que ela tem despertado interesse desde a Antiguidade, ou seja, que ela tem acompanhado o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

Alguns séculos antes de Cristo, os filósofos se dividiam em duas linhas de pensamento. O filósofo e matemático Pitágoras (século VI a.C.) apoiava uma corrente a qual considerava que um objeto é visto porque ele “espirra” um grande número de partículas. Essa teoria foi chamada de teoria corpuscular pitagórica da luz. Outro grupo, liderado pelo filósofo Aristóteles (384-322 a.C.), defendia a ideia de que a luz é constituída por ondas, conseqüentemente pode se propagar pelos meios, tais como as ondas se propagam na superfície da água (MONTANARI e CUNHA, 1995).

Do século XVII até o final do século XIX, essas duas teorias continuaram dividindo as opiniões dos cientistas. Segundo Thomas Kuhn, “Nenhum período entre a Antiguidade remota e o fim do século XVII exibiu uma única concepção da natureza da luz que fosse geralmente aceita” (2007, p.32). Um exemplo disso é o fato de que, considerando a luz como minúsculas partículas emitidas pelos corpos luminosos, o filósofo francês René Descartes conseguiu enunciar, em 1637, a lei da refração, e o físico inglês Isaac Newton explicou várias propriedades simples, como a propagação retilínea, reflexão e refração. Por isso, eles eram defensores da teoria corpuscular (GUAYDIER, 1984).

Por outro lado, a natureza ondulatória da luz foi pressentida pelo italiano Grimaldi, ao descobrir os fenômenos da interferência e da difração. Ele não conseguiu, porém, explicá-los, pois sua descoberta contrariava as concepções sobre a natureza da luz

naquela época. Tempos depois, Christian Huygens e Thomas Young explicaram, de maneira simples, a interferência e a difração, admitindo a luz como uma onda luminosa (GUAYDIER, 1984). É válido destacar que, para justificar as razões pelas quais preferiu considerar a luz como onda, Christian Huygens<sup>1</sup> (1629-1695) publicou, em 1690, o livro *Traité de la lumière* (GAMOW, 1963).

No livro *A Tensão Essencial*, Kuhn afirma que

A teoria corpuscular de Newton nunca fora aceita universalmente e a primeira oposição de Young perante ela baseava-se inteiramente em anomalias que tinham sido geralmente reconhecidas e muitas vezes antes exploradas. Podemos ter de concluir que a maior parte do século XVIII foi caracterizada por uma crise de baixo perfil na óptica, dado que a teoria dominante nunca foi imune a críticas e ataques fundamentais (2009, p.243).

Na opinião de Thomas Kuhn (2007), epistemólogo e físico teórico, o avanço da ciência ocorre com a quebra de paradigmas, ou seja, quando uma teoria existente não é mais suficiente para explicar um fenômeno, ela é substituída por outra capaz de resolver a nova situação. No que concerne aos paradigmas, Thomas Kuhn afirma que

“Para ser aceita como paradigma, uma teoria deve parecer melhor que suas competidoras, mas não precisa (e de fato isso nunca acontece) explicar todos os fatos com os quais pode ser confrontada” (2007, p.38).

Nessa perspectiva, passa-se a apresentar os aspectos históricos e sociais que envolvem o desenvolvimento científico-tecnológico a fim de permitir aos estudantes entenderem que a ciência não é neutra, nem consiste de conhecimento linear. Na abordagem de Kuhn, conforme se registrou acima, quando uma teoria não é suficiente para responder determinadas perguntas, faz-se necessária uma ruptura de paradigma para uma explicação mais coerente.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM),

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários

---

<sup>1</sup> O holandês Christian Huygens (1629 – 1695) foi físico, geômetra e astrônomo.

modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram (BRASIL, 2000, p.27).

Assim, foi mostrado, por meio de fatos históricos, que os avanços científicos e tecnológicos não acontecem sem confrontos de ideias, sem interesses e sem quebra de paradigmas. Nessa perspectiva, apresenta-se, então, a questão central da pesquisa:

**É possível inserir Física Quântica no ensino médio utilizando o efeito fotoelétrico e sua história como recurso didático à luz da epistemologia de Thomas Kuhn?**

Em Carvalho, encontra-se o seguinte esclarecimento:

Um dos aspectos fundamentais do ensino de Física é conhecer como os alunos percebem e compreendem o mundo físico que os cerca. Isto, em outras palavras, significa conhecer como eles vêem e explicam os fenômenos fundamentais e qual é a lógica usada por eles na formação espontânea dos conceitos. É a partir destes conhecimentos que nós, professores de Física, podemos construir nosso ensino (1989, p.3).

Dessa forma, procurou-se conhecer as concepções prévias dos alunos sobre determinados conceitos, necessários para a compreensão de determinados conteúdos introdutórios de Física Quântica, e se eles tinham ideia da importância da Física Quântica no mundo contemporâneo.

Para Arons, da Universidade de Washington (EUA),

[...] poucos conceitos de Física Moderna devam ser ensinados no nível médio. O importante, em um curso introdutório de Física Moderna, é proporcionar aos alunos “alguma percepção” sobre conceitos como: elétrons, fótons, núcleos, estrutura atômica. Defende também a busca de sustentação na Física Clássica para abordagem de tópicos da Física Moderna. (ARONS *apud* OSTERMANN e MOREIRA, 2000, p.28))

Diante disso, foi feita a intervenção didática, utilizando-se a epistemologia kuhniana e, numa postura crítica sobre ciência, analisou-se o desenvolvimento histórico do efeito fotoelétrico e os avanços científicos e tecnológicos que surgiram a partir da Física Quântica. Foram discutidos os conflitos que existiram sobre a natureza da luz, quando grupos de estudiosos defendiam pontos de vista distintos.

Fez-se, então, a inserção da Física Quântica no ensino médio utilizando-se como recurso didático o efeito fotoelétrico e sua história numa visão epistemológica de Thomas Kuhn.

Os fundamentos filosóficos da Física Quântica adotados nessa pesquisa advieram da Interpretação de Copenhague, a qual é sustentada por dois pilares: o Princípio da Incerteza, de Heisenberg, e o Princípio de Complementaridade Onda-Partícula, de Bohr.

Escolheu-se Niels Bohr por ele ser considerado o principal arquiteto da interpretação atual, defendida por físicos como Werner Heisenberg. Na área de ensino de ciências, foram considerados pesquisadores como Pessoa Jr. (2006). No livro *Física & Filosofia*, Heisenberg afirma que

[...] a interpretação de Copenhague<sup>2</sup> da teoria quântica começa por um paradoxo. Ela começa pelo fato de que descrevemos nossos experimentos apoiados nos conceitos da física clássica e, ao mesmo tempo, do conhecimento de que esses conceitos não se ajustam à Natureza de maneira precisa. É na tensão reinante entre esses dois pontos de partida que se encontra a raiz do caráter estatístico da teoria quântica (1995, p.47).

Esta pesquisa foi realizada numa escola da rede pública de ensino do estado de Pernambuco, situada no município de Ipojuca, no qual está inserido o maior conglomerado de indústrias do estado, o Polo de Suape. Optou-se pela Escola de Referência em Ensino Médio de Ipojuca (EREMI) porque ela funciona em regime integral, promovendo um melhor acompanhamento na aprendizagem dos estudantes. O público alvo foram estudantes do 3º ano do ensino médio que demonstraram maior interesse em participar do projeto de pesquisa.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Instigar a inserção da Física Quântica no ensino médio, utilizando-se o efeito fotoelétrico e sua história como recurso didático à luz da epistemologia de Thomas Kuhn.

---

<sup>2</sup> A Escola de Copenhague é o nome pelo qual ficou conhecido o instituto de pesquisa situado na cidade de Copenhague, capital dinamarquesa, criado em 1917 por Niels Bohr.

## 1.2 Objetivos específicos

- Identificar as concepções prévias dos aprendizes acerca da natureza da ciência e também relativamente à luz.
- Utilizar o efeito fotoelétrico e sua história para fazer a inserção da Física Quântica no ensino médio.
- Analisar o emprego da epistemologia de Kuhn para a compreensão do desenvolvimento histórico do efeito fotoelétrico.

A presente pesquisa está estruturada em quatro capítulos. No segundo capítulo, destinado à **fundamentação teórica**, será inicialmente discutida a possibilidade da inserção de Física Quântica no Ensino Médio. A seguir, registram-se a importância da História como recurso didático; a epistemologia de Thomas Kuhn e os obstáculos epistemológicos de Gaston Bachelard; a história do efeito fotoelétrico; e, por fim, os pilares da Escola de Copenhague. No terceiro capítulo, descreve-se a **metodologia**, mostrando-se quais as estratégias instrucionais utilizadas, os sujeitos e o contexto envolvidos na pesquisa, o instrumento adotado para coleta de dados e como a pesquisa foi aplicada. No quarto capítulo, analisam-se os resultados do questionário de sondagem e do pós-teste e, para finalizar, no quinto capítulo apresentam-se as considerações finais, em que se mostra em que condições ocorreram esta pesquisa, os principais obstáculos epistemológicos encontrados e a proposta para instigar a inserção da Física Quântica no ensino médio.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item, são apresentados os aportes teóricos que fundamentaram a pesquisa. Foram tomadas como base as contribuições de Brockington e Pietrocola (2005) que propõem uma discussão filosófica de caráter epistemológico e ontológico. Foram considerados também argumentos de Lawrence (1996), que defende a utilização de simulações computacionais. Também foi levado em consideração o trabalho de Gil e Solbes (1993), que trazem atividades e situações problemáticas de modo a questionarem as formas clássicas.

### 2.1 Física Quântica no Ensino Médio

A inserção da Física Quântica no ensino médio surge como uma necessidade para que os estudantes compreendam os avanços científicos e tecnológicos contemporâneos. É inconcebível ensinarem-se, no século XXI, apenas conhecimentos consolidados no século XIX. Não se está propondo, contudo, o descarte do estudo da Física Clássica, mas que haja uma mudança no currículo, de tal modo que se possa ensinar também Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. Sabe-se que, após a descoberta da Teoria Quântica, ocorreram avanços científicos e tecnológicos em áreas como a da medicina, da biologia, da informática, além de aplicações industriais. Esses avanços precisam ser compreendidos pelos estudantes, o que só poderá ocorrer caso se lhes apresentar a Física Moderna e Contemporânea.

De acordo com Lobato e Greca, faz-se,

necessário que se estude como introduzir, no ES (“escola secundária”), os conceitos, leis e teorias da Física do Século XX, em particular a Teoria Quântica (TQ), que tem condicionado, fortemente, a investigação científica e tecnológica moderna e que, no século passado, revolucionou o pensamento humano. Conceitos bem estruturados na nossa cultura como o de localidade, trajetória ou determinismo tiveram de ser revistos (2005, p.119).

Para inserir-se a Física Quântica no ensino médio, não se necessita utilizar um aprofundado formalismo matemático, mas recursos computacionais disponíveis na

Internet, experimentos com materiais de fácil manuseio, debates que promovam o desenvolvimento de uma consciência questionadora nos estudantes, dentre outras estratégias, conforme será apresentado mais adiante.

A respeito das estratégias a serem utilizadas, Brockington e Pietrocola propõem que

Discussões filosóficas, de caráter epistemológicos e ontológicos, conduzidas com cuidado são estratégias que podem gerar formas alternativas de avaliação e criar atividades onde é possível trabalhar a imaginação e o poder de abstração necessários para a compreensão das teorias envolvidas nesta parte de Física. Acreditamos que um ensino de física moderna esvaziado de um vínculo com realidade pode fazer com que esses conhecimentos tornem-se inexpressivos para os alunos (2005, p.4).

Dessa forma, como o objetivo deste trabalho é discutir as condições de inserção da Física Quântica no ensino médio, procurou-se fazer a revisão de literatura pesquisando-se as principais revistas de ensino de Física ou Ciências. Foram, então, consideradas as seguintes revistas: *Investigações em Ensino de Ciências*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual Caderno Brasileiro de Ensino de Física) e *Ciência & Educação*.

Na revista *Investigações em Ensino de Ciências* (2001), Greca e Moreira apresentam estudos que defendem novas estratégias didáticas com o objetivo de melhorarem o ensino da Mecânica Quântica no ensino médio. Essas estratégias são divididas em quatro categorias:

#### 1) Histórico-Filosófica

Entende-se que os estudantes devem perceber as mudanças epistemológicas e culturais decorrentes do surgimento da Mecânica Quântica e isso só ocorrerá se lhes apresentada a perspectiva histórico-filosófica.

O modelo construtivista proposto por Gil e Solbes (1993) envolve os estudantes em atividades e situações problemáticas para que possam questionar as formas clássicas, facilitando, assim, a aceitação das novas hipóteses. Esse modelo, que teve resultado satisfatório, foi aplicado na Espanha, com 180 estudantes dos últimos anos do ensino médio.

O conhecimento dos acontecimentos históricos e filosóficos da teoria atômica, desde Tales de Mileto até a Mecânica Quântica, é defendida por Lühl (1992).

A importância de introduzir tanto temas clássicos quanto temas quânticos no ensino médio como “produto histórico da nossa civilização e não como uma disciplina que só tem expressões com significado matemático” é defendida por Freire *et al.* (1995). Para eles, ao apresentarem-se as leis de Newton, por exemplo, seria importante discutir o caráter determinista delas, pois isso permitiria compará-las com a descrição quântica, essencialmente probabilística. Assim, seria introduzido o Princípio da Incerteza. Segundo Freire *et al.*, essa proposta foi posta em prática em uma disciplina de uma escola do ensino médio da Bahia.

Pinto e Zanetic (1999) embasaram-se nos perfis epistemológicos de Bachelard sobre o conceito de luz e aplicaram a proposta na segunda série do ensino médio da cidade de Guarulhos-SP. Utilizaram a descrição histórica da luz, o aspecto filosófico, atividades experimentais e lúdicas. Verificaram que ocorreu um aumento de interesse dos alunos pela Física, porém a maioria aprendeu pouca Física Quântica.

## 2) Estabelecimento de elos com a Física Clássica

Propõe-se que se inicie o curso destacando-se aspectos comuns entre a Física Clássica e a Física Moderna.

Jones (1991) sugere usar-se a lógica e não a história, começando-se a partir da teoria clássica ondulatória e da discussão dos modos de oscilação e das ondas estacionárias, para introduzir-se a noção de difração de elétrons.

A possibilidade de serem introduzidos alguns aspectos da Mecânica Quântica utilizando-se a ideia de granularidade intrínseca no espaço fase, chegando-se a uma ação elementar  $h$ , é defendida por Cuppari *et al.* (1997). Eles afirmam que uma avaliação parcial da proposta, em um curso de ensino médio em Torino, Itália, mostrou que os estudantes não apresentaram dificuldades para entenderem o movimento no espaço de fase e em aceitarem, em nível qualitativo, a ideia de granularidade.

## 3) Apresentação da Mecânica Quântica sem elos com os conceitos clássicos

A crítica relativa à apresentação da Mecânica Quântica com elos com a Física Clássica vem do grupo da Universidade Livre de Berlim (FISCHLER & LICHTFELD, 1991,1992). Esse grupo defende a necessidade de evitar-se que os estudantes interpretem os fenômenos quânticos a partir dos conceitos clássicos.

A proposta de Niedderer & Deylitz (1999) vai no mesmo sentido da defendida pelo grupo da Universidade Livre de Berlim e foi implementada durante dez anos em uma disciplina de física atômica e nuclear do último ano do ensino secundário alemão. De acordo com esses autores, muitos dos estudantes participantes teriam conseguido, em média, um bom entendimento de conceitos quânticos fundamentais.

#### 4) Abordagem experimental

Enfatiza-se a importância das experiências para o processo de aprendizagem. Lawrence (1996, p.278) propõe que sejam usados modernos dispositivos, em particular LEDs (diodos de emissão de luz), e simulações computacionais para a introdução de conceitos de quantização, dualidade onda-partícula, não localidade e tunelamento.

Outro defensor das atividades de laboratório para estudar os conteúdos de Mecânica Quântica é Stefanel (1998). Ele considera que a atividade de laboratório, “ainda que limitada aos aspectos introdutórios, é a base desta abordagem experimental”. Essa proposta foi aplicada durante 3 (três) anos em Udine, Itália, em cursos da última série do nível médio italiano. A avaliação mostrou que mais da metade dos estudantes conseguiu incorporar de maneira adequada a interpretação probabilística e o Princípio de Superposição, assim como desenvolver exercícios numéricos simples, e cerca de 20% manifestaram um domínio mais profundo dos conceitos chaves da Mecânica Quântica.

Num outro volume da revista *Investigações em Ensino de Ciências* (2009), Pereira e Ostermann publicaram um trabalho que teve como objetivo analisar o ensino de física moderna e contemporânea. Eles consultaram vários artigos publicados, no período de 2001 a 2006, nas “principais revistas de ensino de ciências do Brasil e do exterior”, os quais foram classificados nas seguintes categorias: 1) propostas didáticas testadas em sala de aula; 2) levantamento de concepções; 3) bibliografia de consulta para professores; 4) análise curricular.

Foram escolhidos alguns artigos que constam neste trabalho com o propósito de apresentarem-se as estratégias didáticas utilizadas por alguns pesquisadores ao ensinarem conteúdos introdutórios de Física Quântica no ensino médio.

Müller e Wiesner (2002) ministraram um curso de introdução à Mecânica Quântica (MQ) no contexto dos laboratórios virtuais através do estudo de interferometria quântica no experimento de dupla fenda e no interferômetro de Mach-Zehnder. O objetivo era mostrar aos estudantes a diferença entre os fenômenos clássicos e os fenômenos quânticos. De acordo com os autores, os resultados foram satisfatórios, pois a maioria dos estudantes adquiriu as concepções apropriadas da MQ e muitas das concepções alternativas, comumente encontradas nas instruções tradicionais, foram evitadas.

Gunel *et al.* (2006) procuraram explorar a eficácia do uso da escrita como ferramenta de aprendizagem no ensino de ciências. Para isso formaram dois grupos de estudantes a fim de compararem o entendimento sobre Mecânica Quântica, utilizando, nas apresentações multimídias, dois formatos diferentes. Um grupo teve formato de apresentação *PowerPoint* e o outro, formato de resumo. A comparação do desempenho dos grupos foi feita através da utilização de um pré e um pós-teste através de duas unidades em que os conteúdos estudados foram os seguintes: efeito fotoelétrico e modelo atômico de Bohr. O grupo que utilizou o formato de apresentação *PowerPoint* obteve um resultado significativamente melhor nas duas unidades.

Kovačević e Djordjevich (2006) utilizaram uma analogia mecânica para facilitarem a explicação do fenômeno efeito fotoelétrico, assunto que está presente no currículo do último ano do ensino médio das escolas de Sérvia e Montenegro. Os autores propuseram um sistema de bolas rígidas e coloridas – em que cada cor corresponde a uma frequência do espectro luminoso –, deslizando sobre uma rampa “sem atrito”. Essas bolas colidem com outra bola rígida, lançada para fora do sistema. Eles analisam a energia inicial de cada fóton (bolas coloridas), bem como a função trabalho do material foto-emissor e a energia cinética máxima dos elétrons emitidos, em termos de diferença de altura em relação ao ponto mais baixo da rampa.

Foi publicado um trabalho de Cavalcante e Tavolaro no *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual Caderno Brasileiro de Ensino de Física) (2001),

apresentando uma “oficina” (conforme foi descrito na Introdução desta pesquisa) como estratégia didática utilizada para a inserção da Física Quântica no ensino médio. Elas utilizaram experimentos construídos com materiais de baixo custo para mostrar os fenômenos de difração e interferência. A natureza corpuscular da luz foi mostrada utilizando-se *softwares*, sensor de calculadora solar e LEDs (diodos de emissão de luz).

Na revista *Ciência & Educação* (2005), Lobato e Greca publicaram uma pesquisa por meio da qual buscaram conhecer as estratégias utilizadas para a inserção de conteúdos da Teoria Quântica nos currículos do ensino médio de vários países (Austrália, Itália, Canadá, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Portugal, Reino Unido e Suécia). Para isso, “visitaram” os *sites* oficiais dos governos desses países e aplicaram questionário a colegas que lá residem.

As estratégias utilizadas para a introdução da Teoria Quântica em alguns desses países foram as seguintes: na Espanha e em Portugal, tradicional (via histórica) e mudança de paradigma; na França, mudança de paradigma; na Itália, tradicional (via histórica); na Finlândia, tradicional (via histórica) e experimental (LOBATO e GRECA, 2005, p.126-128).

De acordo com esses pesquisadores, a via histórica geralmente tem início com a hipótese de Planck e a contribuição de Einstein. A mudança de paradigma ocorre apresentando-se fenômenos para os quais a Física Clássica não traz explicações suficientes. A partir desses fenômenos, introduz-se, então, a Física Moderna. Já a experimentação é feita por meio do trabalho laboratorial e da incorporação de técnicas computacionais para “discussão dos diferentes fatores que influenciam os resultados experimentais” (LOBATO e GRECA, 2005).

Diante das diferentes propostas de inserção da Física Moderna no Ensino Médio, percebe-se que a abordagem histórica tem recebido bastante atenção. Por esse motivo, será mostrada a importância da História como recurso didático para a introdução da Física Quântica.

## **2.2. História como recurso didático**

Apresenta-se aqui a história do efeito fotoelétrico devido à importância dela para que seja analisado o contexto onde ocorreram tais discussões e, conseqüentemente, promover-se um melhor entendimento do fenômeno a ser estudado.

Analisando-se o contexto histórico, ficará mais fácil entender-se se os primeiros experimentos sobre o fenômeno em estudo foram “experimentos de pensamento” ou um “experimento real”. É importante enfatizar-se que o desenvolvimento da ciência física, em parte, deveu-se às grandes contribuições proporcionadas pelas experiências imaginárias (KUHN, 2009).

Thomas Kuhn, no livro *A Tensão Essencial* (2009), diz que muitos historiadores afirmam que as observações seguidas de experimentações tornaram-se mais frequentes a partir do século XVII, tendo Francis Bacon como principal divulgador do movimento experimental. Segundo Kuhn, os cientistas que apoiavam o movimento baconiano desprezavam os experimentos mentais e insistiam nos relatos exatos e circunstanciais (KUHN, p.71).

De acordo com Martins (2006, p.314), “é preciso estudar não apenas os vencedores, mas também os derrotados, verificando quais os argumentos que apresentavam contra as novas ideias. Muitas vezes, os argumentos eram excelentes”.

Acredita-se que, para haver o entendimento de conteúdos, necessita-se de recursos didáticos, os quais são mediadores entre os estudantes e o conteúdo a ser estudado. Buscando-se promover, então, um melhor desempenho no processo ensino-aprendizagem, utilizou-se a história do efeito fotoelétrico como recurso didático, para que o estudante entendesse, de forma mais significativa, a importância desse fenômeno no desenvolvimento da Física Quântica.

### **2.3 Epistemologia de Thomas Kuhn: Contribuições para o ensino de ciência**

Thomas Samuel Kuhn (1922 – 1996) foi físico teórico e epistemólogo americano, autor de várias obras, como *A Tensão Essencial*, *A Estrutura das Revoluções Científicas* e *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity*.

Para entender-se a epistemologia de Thomas Kuhn, faz-se necessário conhecer conceitos como paradigmas, ciência normal, quebra-cabeça, revolução científica e

incomensurabilidade, todos apresentados no livro *A Estrutura das Revoluções Científicas* (2007).

São consideradas como “paradigmas” as realizações científicas capazes de promoverem problemas e soluções modelares que satisfaçam os anseios de uma comunidade científica (KUHN, 2007). Kuhn considera como “ciência normal” o período em que uma comunidade de pesquisadores desenvolve suas pesquisas, dando continuidade a paradigmas já existentes. Portanto, não tem como objetivo realizar novas descobertas no terreno do fato e da teoria. A ciência normal busca aproximar a teoria dos fatos, procurando resolver um quebra-cabeça cuja existência valida um paradigma. Por esse motivo, a comunidade de pesquisadores que partilha o mesmo paradigma, frequentemente, despreza os fenômenos que não se ajustam aos limites do paradigma já existente (*ibid.*).

Na concepção de Kuhn, os fatos podem ser investigados cientificamente através de três focos normais:

### **1º Determinação do fato significativo**

Na maioria das vezes, são projetados, construídos e até aperfeiçoados aparelhos especiais para aquela classe de fatos que necessita de uma determinação mais precisa para uma variedade maior de situações. Tais procedimentos são tentativas de aumentar a importância e extensão de conhecimento sobre esses fatos.

Kuhn aponta como exemplo a construção dos *sincrotrons* (aceleradores de partículas) e dos radiotelescópios, mostrando a disposição dos pesquisadores quando o paradigma lhes assegura a importância dos fatos que pesquisam.

### **2º Harmonização dos fatos com a teoria**

Determinação de fenômenos que podem ser comparados diretamente com as previsões da teoria do paradigma. Kuhn afirma que “geralmente requer aproximações teóricas e instrumentais que limitam severamente a concordância a ser esperada” (2007, p.47).

Para isso, devem-se aprimorar aparelhos ou encontrarem-se novas áreas que mostrem concordância com o paradigma. Duas situações que ilustram os esforços necessários para “estabelecer um acordo cada vez mais estreito entre a natureza e

a teoria” (KUHN, 2007) são: a comprovação experimental da segunda lei de Newton, que ocorreu quase um século depois, graças ao invento de Charles Atwood<sup>3</sup>, em 1784, conhecido como máquina de Atwood; e a comprovação de que a velocidade da luz é maior no ar do que na água, na qual foi utilizado o aparelho de Foucault.

### **3º Articulação da teoria**

Na opinião de Kuhn, a articulação da teoria é a classe mais importante de todas, pois consiste no trabalho empírico empreendido para articular a teoria do paradigma, resolvendo algumas de suas ambiguidades residuais e permitindo a solução dos problemas que não foram resolvidos anteriormente. Uma das maneiras de articular a teoria do paradigma é orientar as experiências para a determinação de constantes. Como exemplos dessa situação, tem-se a determinação da constante da gravitação universal, feita por Cavendish no ano de 1798, e a determinação da carga elétrica, realizada por Robert Millikan em 1909. No entanto, essa classe, segundo Kuhn, não se limita apenas à determinação de constantes, mas estende-se à determinação de leis quantitativas, como, por exemplo, a Lei de Coulomb sobre a atração elétrica e a Lei de Boyle, que relaciona a pressão do gás ao volume.

Por meio das análises sobre o que ocorre no período de “ciência normal”, pode-se concluir que as atividades experimentais têm grande importância no desenvolvimento da ciência.

Para exemplificar o período de ciência normal, Thomas Kuhn cita a Física de Aristóteles, o Almagesto de Ptolomeu, os Principia e a Óptica de Newton, a Eletricidade de Franklin, a Química de Lavoisier e a Geologia de Lye, afirmando que “esses e muitos outros trabalhos serviram, por algum tempo, para definir implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de pesquisa para as gerações posteriores de praticantes da ciência” (2007, p.29).

Segundo Thomas Kuhn (2007, p.87), “os procedimentos e aplicações do paradigma são tão necessários à ciência como as leis e teorias paradigmáticas – e têm os mesmos efeitos”.

---

<sup>3</sup> No livro *A Tensão Essencial*, Kuhn (2009, p.230) justifica: “A máquina de Atwood foi projetada porque, em meados do século XVIII, alguns dos melhores cientistas continentais ainda se interrogavam se a aceleração forneceria a medida adequada da força”.

Thomas Kuhn utiliza o termo “quebra-cabeças” para referir-se aos problemas de pesquisas cuja solução deve ser encontrada dentro de regras já existentes, as quais não podem ser violadas. Ele afirma que “o desafio apresentado pelo quebra-cabeça constitui uma parte importante da motivação do cientista para o trabalho” (2007, p.59).

Para explicar o que vem a ser um quebra-cabeça, Kuhn recorre ao fato de que, quando os cientistas, durante o século XVIII, fracassaram sistematicamente ao tentarem deduzir o movimento da Lua partindo das leis de Newton de gravitação, alguns sugeriram mudanças substituindo a lei do quadrado das distâncias por uma lei que se afastasse dessa quando se tratasse de pequenas distâncias. Se fizessem tais considerações, iriam modificar o paradigma existente e definir um novo quebra-cabeça sem solucionar o anterior. Os cientistas optaram por manter as regras até que, em 1750, um “deles conseguiu descobrir” como se poderia utilizá-las com sucesso (*ibid.*).

Na epistemologia kuhniana, as revoluções científicas consistem na transição para um novo paradigma. O paradigma antigo, por não funcionar adequadamente diante das novas situações, é total ou parcialmente substituído por um novo, o qual é incompatível com o anterior. Ele apresenta como exemplo de revolução científica a transição da mecânica newtoniana para a einsteiniana, a qual apresenta uma nova maneira de os cientistas verem o mundo (KUHN, 2007).

Para Kuhn,

A transição de um paradigma em crise para um novo, do qual pode surgir uma nova tradição de ciência normal, está longe de ser um processo cumulativo obtido através de uma articulação do velho paradigma. É antes uma reconstrução da área de estudos a partir de novos princípios, reconstrução que altera algumas das generalizações teóricas mais elementares do paradigma, bem como muitos de seus métodos e aplicações. [...] Completada a transição, os cientistas terão modificado a sua concepção da área de estudos, de seus métodos e de seus objetivos (2007, p.116).

Como essa transição promove um confronto entre o velho e o novo paradigma, pois existirão diferenças entre os padrões científicos ou suas definições de ciência, Kuhn (2007) afirma que eles se tornam incomensuráveis.

Thomas Kuhn (2007) faz críticas ao positivismo lógico na filosofia da ciência e à historiografia tradicional. Ao criticar o empirismo, mostra que a relação entre a teoria e o experimento é muito mais complexa. Defende também que o processo histórico que resulta na rejeição ou adoção de uma nova teoria ocorre quando existe competição entre segmentos da comunidade científica.

O autor tece comentários importantes sobre o ensino de ciência os quais podem servir de referencial em sala de aula. Como exemplo, verifica-se que geralmente os livros difundem a ideia de que o desenvolvimento científico é linear, basicamente cumulativo e sem conflitos de ideias e interesses.

Kuhn faz críticas a essa visão de ciência que os livros apresentam, dizendo que

[...] o objetivo de tais livros é inevitavelmente persuasivo e pedagógico; um conceito de ciência deles haurido terá tantas probabilidades de assemelhar-se ao empreendimento que os produziu como a imagem de uma cultura nacional obtida através de um folheto turístico ou um manual de línguas. Este ensaio tenta mostrar que esses livros nos têm enganado em aspectos fundamentais. (2007, p.19).

A seguir, são registradas algumas situações apresentadas por Kuhn que comprovam o fato de o crescimento da ciência ocorrer de forma não linear e não cumulativa.

- 1) Os primeiros informes de Thomas Young sobre a teoria ondulatória da luz apareceram num estágio bem inicial de uma crise que se desenvolvia na Óptica.
- 2) O período durante o qual a luz era considerada “algumas vezes como uma onda e outras como uma partícula” foi um período de crise – um período durante o qual algo não vai bem – e somente terminou com o desenvolvimento da mecânica ondulatória e com a compreensão de que a luz era entidade autônoma, diferente tanto das ondas como das partículas (KUHN, 2007).

#### **2.4 Gaston Bachelard: obstáculos epistemológicos**

Gaston Bachelard (1884-1962), licenciado em Matemática, começou a ministrar aulas no ensino secundário em 1919, como professor de Ciências, em Bar-Sur-Aube (França), sua cidade natal. Por se dedicar muito à Filosofia, acabou por ministrar aulas dessa disciplina em 1922. Em 1930, foi convidado a ensinar na Faculdade de

Letras de Dijon e, em 1940, na Sorbonne. Possui trabalhos no campo da ciência, da epistemologia e da poética.

Numa de suas obras mais importante, *A Formação do Espírito Científico* (2008), Bachelard faz interpretações do pensamento científico, apresenta obstáculos epistemológicos e a relação com as concepções alternativas. Ele afirma que, se fosse rotular de modo grosseiro as diferentes etapas do pensamento científico, distinguiria três grandes períodos: pré-científico, da Antiguidade Clássica até o século XVIII; estado científico, que vai do fim do século XVIII até o início do século XX; e o novo espírito científico, que tem início em 1905, com Einstein publicando a Teoria da Relatividade, a qual “deforma” conceitos importantes que eram tidos como para sempre consolidados (BACHELARD, 2008).

Segundo esse autor,

[...] é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentsidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 2008, p.17).

Para esse estudioso francês, os obstáculos epistemológicos tornam-se obstáculos pedagógicos, pois prejudicam a atividade racional dos estudantes (BACHELARD, 2008). Dentre as principais categorias de obstáculos para o progresso científico, destacam-se os seguintes:

- 1) O conhecimento geral é um conhecimento sem fundamentos consistentes, portanto tende a bloquear as ideias.
- 2) A experiência primeira procura mostrar os fenômenos de forma pitoresca, fácil, concreta, natural, caracterizando-se por um empirismo evidente.

De acordo com Bachelard (2008, p.37), “[...] a primeira visão empírica não oferece nem o desenho exato dos fenômenos, nem ao menos a descrição bem ordenada e hierarquizada dos fenômenos”. Essa visão geralmente é observada entre os estudantes ao analisarem um fenômeno físico. Muitas vezes, o empirismo proporciona uma concepção equivocada da realidade científica, o que poderá constituir um obstáculo epistemológico para a aquisição dos novos conhecimentos.

3) Obstáculo verbal é o conhecimento em que toda explicação fica resumida a uma única imagem ou até a uma única palavra. Usar de maneira incorreta metáforas, analogias e imagens implica promover obstáculos pedagógicos.

4) Obstáculo animista consiste na utilização de fenômenos biológicos para explicar de modo ingênuo fenômenos puramente físicos ou químicos. Desse procedimento resulta o obstáculo ao entendimento dos conceitos científicos. Segundo Bachelard (2008, p.188), “Tais analogias [...] não reúnem nenhum conhecimento sólido nem preparam nenhuma experiência útil”.

5) O Conhecimento unitário e pragmático é aquele em que se procura o caráter utilitário de um fenômeno para servir de explicação. De acordo com Bachelard (2008, p.103), as generalizações de modo exagerado são, de fato, obstáculos para o pensamento científico.

Na opinião desse autor, os professores devem ter consciência dos conhecimentos empíricos trazidos pelos estudantes para sala de aula, não para adquirirem uma cultura experimental, mas sim para transcenderem essa cultura, transporem os obstáculos já existentes, adquiridos na vida cotidiana.

A seguir, serão registrados os obstáculos que existiram no decorrer da história do efeito fotoelétrico.

## **2.4 O efeito fotoelétrico e sua história**

Conforme Bachelard, no que concerne aos obstáculos existentes na história do efeito fotoelétrico,

É impossível anular, de um só golpe, todos os conhecimentos habituais. Diante do real, aquilo que cremos saber com clareza ofusca o que deveríamos saber. Quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade de seus preconceitos. Aceder à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma brusca mutação que contradiz o passado (2008, p.18).

Dentro dessa perspectiva, será entendido, por meio dos fatos históricos, que a necessidade de explicar a radiação térmica emitida por um corpo acabou por contribuir com a descoberta da Teoria Quântica.

### 2.5.1 Corpo negro

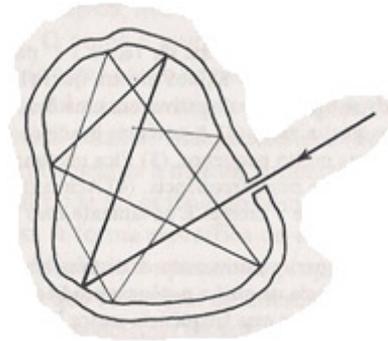
Para George Gamow (1963, p.244), “devemos agora recuar um pouco na história até a última década do século XIX, quando a Física sofria as dores da metamorfose da larva clássica para a borboleta moderna”.

A partir das investigações das raias do espectro solar é que o físico Gustav Robert Kirchhoff passou a se interessar pelo estudo dos processos de emissão e absorção. Como resultado de suas pesquisas, apresentou, em 1859, um trabalho à Academia de Berlim: “Sobre a relação entre a emissão e absorção de calor e luz”. Nesse trabalho, segundo Studart (2000), ele provou que, “para raias de mesmo comprimento de onda e a mesma temperatura, a razão entre a potência emissiva e a absorvidade são as mesmas para todos os corpos”. Num segundo artigo, nesse mesmo ano, Kirchhoff introduziu a noção de “um corpo perfeitamente negro” e mostrou que a potência emissiva de um corpo negro depende apenas da temperatura e da frequência da radiação (STUDART, 2000). Esses estudos despertaram atenção para o que Kirchhoff chamava de *corpo negro*.

Dessa forma, um corpo negro seria aquele elemento físico que absorve toda radiação eletromagnética incidente e emite, também em forma de radiação eletromagnética, toda energia fornecida a ele, ou seja, apresenta poder de absorção igual ao poder de emissão.

Para fins didáticos, costuma-se utilizar um objeto contendo uma cavidade que possui um pequeno orifício, o qual representa um corpo negro (figura 01). A radiação incidente vinda do exterior, ao incidir sobre o orifício, entra na cavidade e, ao ser refletida várias vezes pelas suas paredes, são absorvidas por ela. Assim, o orifício absorve como um corpo negro. A partir das emissões provenientes das paredes internas da cavidade, a radiação deixa a cavidade através do orifício. Nessa situação, o orifício emite como um corpo negro (EISBERG e RESNICK, 1979).

**Fig. 01: O orifício da cavidade representa um corpo negro**



Fonte: EISBERG e RESNICK, 1979

No final do século XIX, uma das grandes preocupações dos cientistas era explicar a radiação desse elemento físico que se comporta segundo as propriedades de Kirchhoff, o que passou a se chamar de corpo negro. Essa preocupação se justificava em parte pelo fato de, na prática, os sólidos aquecidos emitirem radiação semelhante ao espectro de um corpo negro. Apesar dessas observações empíricas, o físico inglês William Thomson Kelvin (Lord Kelvin) considerava que a distribuição de energia da luz na radiação de um **corpo negro** constituía um dos fenômenos ainda sem explicação teórica convincente no ano de 1900.

Com intuito de mostrar-se a relação entre a radiação do corpo negro e a temperatura, passa-se a registrar os principais trabalhos da época, realizados no campo relativo ao corpo negro.

Por meio de experimentos empreendidos em 1864, o físico inglês John Tyndal verificou que, aquecendo-se um fio de platina à temperatura de  $1200^{\circ}\text{C}$  ( $1473\text{K}$ ), a emissão total é 11,7 vezes maior que a emissão obtida a  $525^{\circ}\text{C}$  ( $798\text{K}$ ). Baseando-se apenas nesse experimento de Tyndal, o físico austríaco Josef Stefan, em 1879, percebeu que a razão entre as temperaturas absolutas elevada à quarta potência é igual a 11,7 e concluiu que a emissão é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta. O resultado obtido por Stefan foi demonstrado rigorosamente em 1884 por seu aluno, o físico austríaco Ludwig Boltzmann, o qual, utilizando argumentos termodinâmicos, deu embasamento teórico à descoberta experimental. Em 1897, diversos pesquisadores testaram e confirmaram a lei de Stefan-Boltzmann (JÚNIOR, 2002).

Essa lei estabelece a relação entre a potência total irradiada por unidade de área ( $R$ ) e a temperatura absoluta ( $T$ ), sendo válida para todas as frequências.

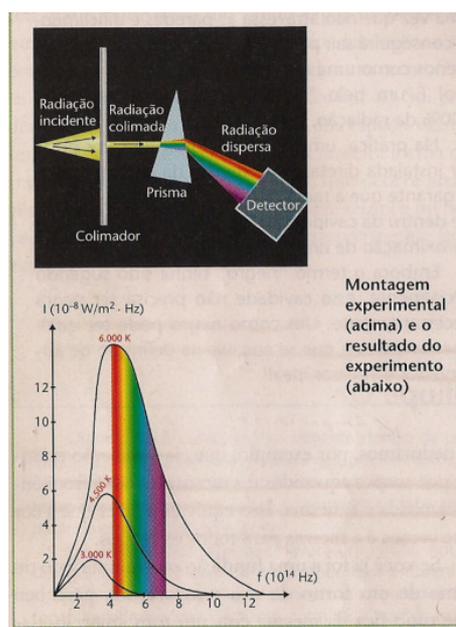
$$R = \sigma T^4$$

Sendo  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  a constante de Stefan-Boltzmann.

Em 1893, o físico alemão Wilhelm Jan Wien procurou explicar a emissão de energia pelo corpo negro com base em osciladores, afirmando que a mesma ocorria devido à oscilação dos átomos que o formavam. Por meio de uma demonstração teórica, ele mostrou que, sabendo-se a forma da curva espectral da radiação térmica (figura 02) para uma dada temperatura, era possível encontrar as curvas para qualquer outra temperatura. Wien concluiu que as curvas obtidas têm sempre a mesma forma, independentemente do material que constitui o corpo negro (JÚNIOR, 2002).

A partir de trabalhos experimentais realizados durante o ano de 1900, duas equipes do Physicalisch-Technische Reichsanstalt, em Berlim, concluíram que a teoria elaborada por Wien só era válida para grandes frequências (pequenos comprimentos de onda) (STUDART, 2000).

**Fig. 02: curva espectral da radiação térmica tem sempre a mesma forma, independentemente do material**



Fonte: Júnior, 2002

A lei de Wien é conhecida como lei do deslocamento de Wien devido ao fato de que o comprimento de onda no qual a intensidade de radiação é máxima sofre variação com a temperatura (STUDART, p.525). A fórmula simplificada da lei do deslocamento de Wien é dada por:

$$\lambda_{\text{máx}}T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K}$$

Sendo  $\lambda_{\text{MÁX}}$  o comprimento de onda para o qual a radiação é máxima e T a temperatura absoluta do corpo que está emitindo radiação.

Também estudaram o problema da radiação térmica os físicos ingleses John William Strutt Rayleigh e James Hopwood Jeans. Em 1900, Rayleigh propôs uma nova lei a qual foi aperfeiçoada no ano de 1905 por Jeans. Eles admitiram que as ondas eletromagnéticas sofriam interferências dentro da cavidade, gerando ondas estacionárias (JÚNIOR, 2002).

A lei de Rayleigh-Jeans estava de acordo com os resultados experimentais apenas para pequenas frequências (grandes comprimentos de onda). Ao ser analisada para altíssimas frequências, a lei prevê que a intensidade da radiação seria infinita. A essa enorme discordância de resultados entre a teoria clássica e as observações experimentais deu-se o nome de *catástrofe do ultravioleta* (TIPLER e LLEWELLYN, 2001).

A equação de Rayleigh-Jeans é dada por:

$$I_E = \frac{c}{\lambda^4}KT$$

Sendo  $I_E$  a intensidade da energia irradiada para cada faixa espectral,  $\lambda$  o comprimento de onda, c a velocidade da luz no vácuo ( $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ), K é a constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ) e T é a temperatura absoluta do corpo emissor.

Outro físico que também se preocupou com o espectro de emissão de corpos negros foi o alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck, o qual iniciou os seus trabalhos sobre a radiação do corpo negro no ano de 1895, buscando uma maior concentração no átomo radiante (o assim chamado *oscilador*) do que na radiação por si mesma (HEISENBERG, 1995).

Segundo Eisberg e Resnick (1979, p.42), “O trabalho inicial de Planck foi feito tratando, detalhadamente, o comportamento de elétrons nas paredes do corpo negro e seu acoplamento ou interação com a radiação eletromagnética dentro da cavidade”.

Conhecendo os resultados dos trabalhos experimentais realizados com muita precisão, em Berlim, no ano de 1900, sobre o espectro da radiação térmica por Curbaum e Rubens, Planck tentou reproduzi-los teoricamente por fórmulas matematicamente simples que parecem plausíveis do ponto de vista de sua pesquisa sobre a relação entre calor e radiação (HEISENBERG, 1995). É interessante lembrar que Curbaum e Rubens faziam parte de uma das equipes que comprovaram não ser válida a fórmula de Wien para baixas frequências dentro de um grande intervalo de temperatura.

Conforme Heisenberg,

Um dia, Planck convidou Rubens para um chá em sua casa e tiveram então a oportunidade de comparar os resultados experimentais mais recentes de Rubens com uma nova fórmula sugerida por Planck. A comparação mostrou uma concordância completa. E essa descoberta constituiu-se na lei de Planck da radiação térmica (1979, p.29).

Planck comunicou a dedução teórica de sua fórmula aos membros da Sociedade Alemã de Física no dia 14 de dezembro de 1900, dizendo que introduzira a hipótese de descontinuidade da energia dos osciladores por um “ato de desespero” (STUDART, 2000). Devido a esse trabalho, após 18 anos, Max Planck recebeu o Prêmio Nobel de Física.

De acordo com Eisberg, Planck registrou no seu postulado o seguinte depoimento:

Eu sabia que o problema (do equilíbrio entre matéria e radiação) é de fundamental significado para a física; eu sabia a fórmula que reproduz a distribuição de energia no espectro normal; uma interpretação teórica tinha que ser encontrada a qualquer custo, não interessando quão alto. (1979, p.42)

A explicação correta do postulado de Planck ocorreu após cinco anos num artigo publicado por Albert Einstein intitulado “Ponto de Vista Heurístico acerca da

Produção e Transformação da Luz” (ANNALEN DER PHYSIK 17\*, 12-148/1905 apud HEISENBERG, p.155).

Em Eisberg, vamos encontrar o seguinte esclarecimento:

[...] Planck associou a energia a uma dada frequência da radiação do corpo negro à energia de um elétron na parede oscilando senoidalmente com a mesma frequência, e ele postulou apenas que a energia da partícula oscilante é quantizada. Somente mais tarde foi que Planck aceitou a ideia de que as próprias ondas eletromagnéticas eram quantizadas, [...] (1979, p.42).

Ainda de acordo com esse autor (1979, p.54), “[...] Planck originalmente restringiu seu conceito de quantização de energia aos elétrons nas paredes de um corpo negro”.

É válido ressaltar que o livro *Black-body theory and the Quantum discontinuity, 1894-1912*, mostra que Planck, em 1906, ou seja, seis anos após ter apresentado a dedução teórica de sua fórmula aos membros da Sociedade Alemã de Física, ainda não estava convencido do conceito da descontinuidade quântica proposto por Einstein e Ehrenfest nesse mesmo ano. Em abril de 1908, Hendrik Lorentz, ao participar de uma assembleia internacional de matemáticos em Roma, proferiu um importante pronunciamento sobre o problema do corpo negro. Em outubro desse mesmo ano, Max Planck escreveu uma carta para Lorentz sobre aquela palestra e, na sua primeira declaração conhecida, refere-se à necessidade de uma descontinuidade e a quantização de energia (tradução livre, KUHN, 1987).

Para finalizar-se esse breve estudo sobre corpo negro, passa-se agora a registrar trechos do discurso feito por Albert Einstein, extraídos do livro *Escritos da Maturidade*. Esse discurso foi proferido durante a homenagem (*in memoriam*) feita a Max Planck pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos:

Um homem a quem foi dado abençoar o mundo com uma grande idéia criativa não precisa do louvor da posteridade. Sua própria façanha já lhe conferiu uma dádiva maior. [...] Esse ideal, um elo que une para sempre os cientistas de todos os tempos e todos os lugares, foi personificado com rara perfeição por Max Planck. [...] Foi a lei da radiação de Planck, porém, que

---

\* **Annalen der Physik** é um periódico de Física desde 1790, sendo um dos mais conhecidos e antigos em todo o mundo.

forneceu a primeira determinação rigorosa – independente de outras suposições – das magnitudes absolutas dos átomos. Mais que isso, ele mostrou convincentemente que, além da estrutura atômica da matéria, há uma espécie de estrutura atômica da energia, regida pela constante universal  $h$ , que Planck introduziu. Essa descoberta tornou-se a base de toda a pesquisa física no século XX e condicionou quase inteiramente seu desenvolvimento desde então. [...] (1994, p.241).

Dessa forma, Einstein fez uma síntese de quão importantes foram as descobertas de Max Planck para as pesquisas científicas. Essas descobertas levaram a ciência ao surgimento da Teoria Quântica, a qual impulsionou o desenvolvimento científico-tecnológico, conforme será observado durante o estudo sobre o Efeito Fotoelétrico.

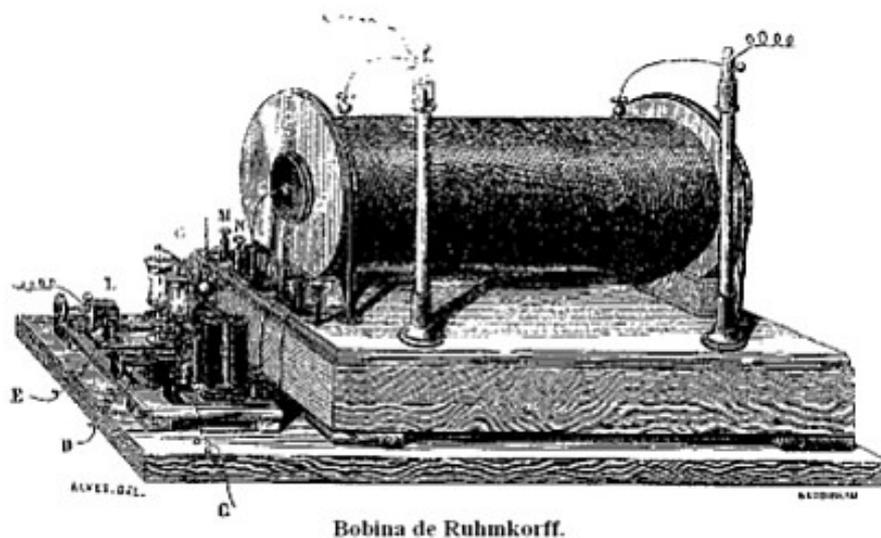
### **2.5.2 Efeito fotoelétrico**

A primeira observação relacionada ao efeito fotoelétrico é creditada ao físico russo Alexander Stoletov (1839 – 1896), em 1872. O arranjo experimental de Stoletov consistia de um pequeno frasco de vidro que continha duas placas metálicas isoladas eletricamente uma da outra e ligadas aos terminais de uma bateria. Quando estava retirando o ar contido no frasco, ele observou que uma das placas foi atingida pela luz de uma lâmpada de mercúrio, proporcionando o surgimento de uma corrente elétrica na bateria, ou seja, ocorreu um deslocamento de cargas elétricas de uma placa para outra, fechando o circuito (BISCUOLA *et al.*, 2007).

A verificação mais consistente do efeito fotoelétrico ocorreu quando o físico alemão, Heinrich Rudolph Hertz, procurava comprovar a teoria de Maxwell. Para viabilizar um melhor entendimento de como isso ocorreu, será descrita uma das descobertas mais interessantes na Física Clássica, a de que a luz é um fenômeno eletromagnético! Essa previsão foi feita por J.C. Maxwell, por volta de 1860, e confirmada experimentalmente por Hertz. Esse resultado promoveu a unificação da Óptica com o Eletromagnetismo. Quando essa unificação ocorreu, já estava bem estabelecido um modelo ondulatório para a luz. Essa conclusão, apoiada nos trabalhos de Young e Fresnel, que é capaz de explicar os fenômenos da difração e da interferência, fez esquecer-se, temporariamente, o modelo corpuscular da luz, proposto por Newton no século XVII (FREIRE e CARVALHO, 1997).

Foi durante o ano de 1887 que Heinrich Rudolph Hertz comprovou experimentalmente a teoria de Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas através de descarga oscilante. Para detectar as ondas eletromagnéticas, Hertz utilizou uma bateria que fornecia energia para a bobina de Ruhmkorff (Figura 03) a qual produzia alta voltagem proporcionando faíscas elétricas entre os terminais e um anel semiaberto (anel detector), onde “se observava um faiscamento” (CHESMAN *et al.*, 2004).

**Fig. 03: Bobina de Ruhmkorff utilizada por Hertz**



Fonte: [http://www.histel.com/z\\_histel/biografias.php?id\\_nombre=71](http://www.histel.com/z_histel/biografias.php?id_nombre=71)

Devido à descarga oscilante, saltava uma faísca entre dois eletrodos, gerando as ondas as quais eram detectadas usando-se uma antena ressonante que era acompanhada também de uma faísca entre eletrodos. Ele percebeu que, quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz (predominantemente violeta e ultravioleta) proveniente da faísca primária na antena emissora, devido à colocação de um anteparo, a faísca de detecção saltava com mais dificuldade. (NUSSENZVEIG, 2002)

Hertz sentiu-se incomodado com essa descoberta inesperada, porque ela interferia na sua pesquisa principal. Mas, tendo reconhecido imediatamente que o fenômeno descoberto era muito importante, fez uma interrupção durante seis meses em todos os outros trabalhos, para estudá-lo com maior profundidade. A descoberta que Hertz

fez inesperadamente tratava do efeito fotoelétrico, umas das primeiras evidências experimentais da quantização da luz (TIPLER e LLEWELLYN, 2001).

Dando continuidade à “descoberta inesperada” feita por Hertz, o físico alemão Phillipp Von Lenard, que era o seu auxiliar, procurou aprofundar os estudos para saber por que o aparecimento de faíscas aumentava a sensibilidade do detector, chegando a montar um “experimento qualitativo” (JÚNIOR, 2002) para estudar melhor o fenômeno. Descobriu que ele era provocado por radiação ultravioleta que acompanhava as faíscas. A luz, de alguma forma, arrancava cargas elétricas de uma placa emissora contrariando o que seria esperado pela física clássica (JÚNIOR, 2002).

Verificou-se logo que a razão pela qual a luz ultravioleta facilitava a descarga era o fato de ser capaz de ejetar elétrons da superfície metálica dos eletrodos. Os elétrons assim ejetados, acelerados pela diferença de potencial entre os eletrodos, contribuíram para ionizar o ar e facilitar a descarga. A esse fenômeno Lenard chamou *efeito fotoelétrico*, porém a explicação completa só ocorreu em 1905, conforme veremos adiante.

Influenciado pela experiência de Lenard e baseando-se no trabalho de Max Planck, o físico alemão Albert Einstein, num trabalho publicado em 1905, intitulado “Ponto de Vista Heurístico acerca da Produção e Transformação da Luz”, considerou a luz e as demais radiações eletromagnéticas não como onda, mas como um conjunto de partículas, em que cada partícula seria um pacote discreto de energia ou quanta de luz (EISBERG, 1979). Einstein propôs a interpretação da teoria do efeito fotoelétrico como sendo uma colisão entre duas partículas (figura 04): o quantum de luz e o elétron.

Segundo Nussenzveig (2002, p.252), Einstein afirmou que “A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron: vamos supor que é isto que acontece”.

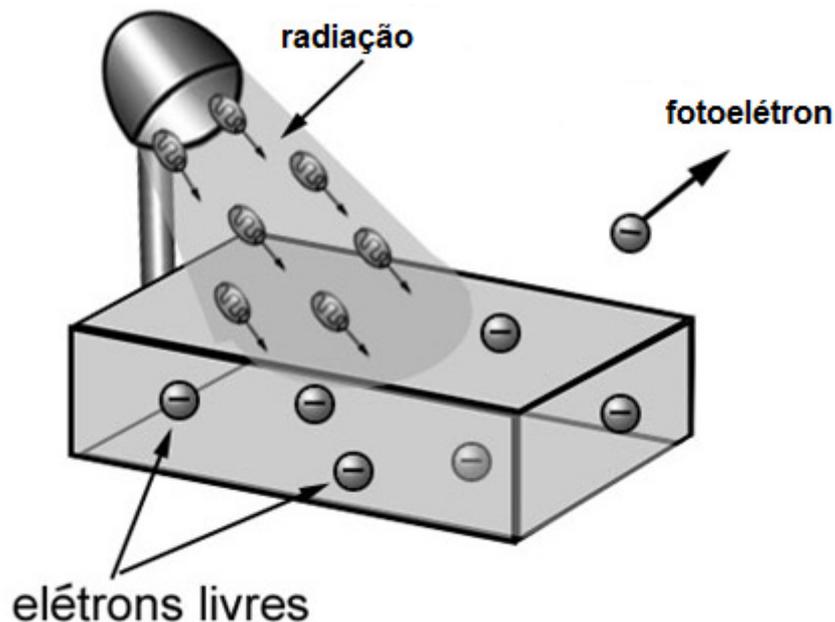
Cada quantum de luz teria uma energia que dependia da frequência sendo dada por  $E = hf$ , onde  $h$  ( $h=6,63 \times 10^{-34}$  J.s) seria a constante de Planck e  $f$  a frequência. Esse quantum de luz, ao colidir com o material, transfere toda essa energia para um único

elétron, a qual poderá ser suficiente para “arrancá-lo” do material. Esse fenômeno é chamado de *efeito fotoelétrico*.

Conforme Freire e Carvalho (1997, p.28), “[...] efeito fotoelétrico consiste na propriedade de um metal emitir elétrons quando sobre ele incide um feixe de luz”. Foi devido à descoberta do efeito fotoelétrico que, no ano de 1921, Einstein ganhou o Prêmio Nobel de Física.

O físico-químico norte-americano, Gilbert Lewis, publicou um artigo, em 1926, na revista *Nature* propondo chamar o “quantum de luz” de fóton (GASPAR, 2009).

**Fig. 04: Efeito fotoelétrico** “colisão entre duas partículas”



Fonte: [http://portaldaradiologia.com/?page\\_id=538](http://portaldaradiologia.com/?page_id=538)

A energia cinética do elétron, ao ser emitido da superfície do metal, será obtida por  $E_c = hf - w$ , onde  $hf$  é a energia do fóton e  $w$  é o trabalho necessário para remover o elétron do metal. Conforme Eisberg (1979, p.55), “Esse trabalho é necessário para superar os campos atrativos dos átomos na superfície e as perdas de energia cinética devidas às colisões internas do elétron”.

Por não acreditar na explicação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, o físico norte-americano, Robert Millikan, fez vários testes experimentais em seu laboratório na Universidade de Chicago, culminando nos trabalhos publicados em 1916, nos quais,

com uma margem de erro menor que 0,5%, confirma as previsões de Einstein (FREIRE e CARVALHO, 1997).

No final desse período, Millikan chegou à seguinte conclusão:

“[...] contra todas as minhas expectativas, vi-me obrigado em 1915 a afirmar sua completa verificação experimental, embora nada tivesse de razoável, uma vez que parecia violar tudo o que conhecíamos sobre a interferência da luz” (NUSSENZVEIG, p.252).

Foi devido à ousada interpretação de um fenômeno até então desconhecido e sem receio de desafiar todos os paradigmas existentes na época que Albert Einstein contribuiu sobremaneira com uma revolução científica. Para realçar essa contribuição, passa-se a citar algumas aplicações do efeito fotoelétrico, mostrando-se a sua importância para o desenvolvimento tecnológico.

- 1) Os microscópios baseados no efeito fotoelétrico que hoje estão sendo desenvolvidos poderão revelar a situação química de cada elemento em uma amostra, uma informação extremamente importante para a biologia molecular e para a microeletrônica (TIPLER e LLEWELLYN, p.91);
- 2) [...] o efeito fotoelétrico, nas portas que se abrem automaticamente e também nos alarmes de segurança (HALLIDAY *et al.*, p.153).
- 3) O efeito fotoelétrico tem aplicação, por exemplo, [...], nos dispositivos que ligam e desligam automaticamente sistemas de iluminação e na medição da concentração de fumaça em chaminés (BISCUOLA *et al.*, p.340).
- 4) Charge-Coupled Device ou dispositivo de carga acoplada (CCD) é um *chip* quadrado formado por uma matriz de sensores fotoelétricos, feitos de material semicondutor, distribuídos em linhas e colunas; utilizado em câmeras fotográficas ou de vídeo e nos telescópios (JÚNIOR, p.46).

Pode-se, então, perceber que Einstein, ao empreender uma explicação científica para o postulado de Planck e admitir a quantização de todas as radiações eletromagnéticas, proporcionou um avanço à Física Quântica. E, para melhor interpretar a Física Quântica, coube a Niels Bohr a criação de um instituto de pesquisa conhecido como Escola de Copenhague (Apêndice G). Será, então, apresentada a seguir a metodologia desenvolvida nesta pesquisa.

### 3. METODOLOGIA

Baseando-se na filosofia de Kuhn, Zylbersztajn (1991) propõe que os alunos de disciplinas científicas sejam vistos tanto como cientistas participantes de uma revolução científica quanto como cientistas trabalhando em condições de ciência normal (conforme foi descrito no Capítulo 2 desta pesquisa). Ou seja, os alunos devem ser encarados como cientistas kuhnianos.

Durante a intervenção didática, os alunos foram considerados cientistas kuhnianos, por isso foi necessário utilizarem-se, na metodologia desta pesquisa, as seguintes estratégias instrucionais propostas por Zylbersztajn:

#### 1) O aluno como cientista em uma revolução

No contexto instrucional, essa situação pode ser denominada de estágio de revolução conceitual. Isso ocorre quando os alunos estão sendo apresentados a um novo tópico e a maioria revela algumas concepções alternativas sobre o assunto que está sendo estudado.

Nesse estágio, devem ser considerados os seguintes passos:

1. Elevação do nível de consciência conceitual: o professor deverá, sem postura crítica, auxiliar os alunos a expressarem suas concepções alternativas e aplicarem as suas ideias.
2. Introdução de anomalias: deverá ocorrer quando os alunos estiverem convictos das suas concepções alternativas e sentindo-se à vontade na sua aplicação. O objetivo principal desse passo é proporcionar desconforto e insatisfação dos alunos diante das suas concepções alternativas. Para reforçar o conflito entre as concepções alternativas e o pensamento científico, o ideal é fazer experiências e/ou demonstrações sobre o assunto sobre o qual os alunos tenham sido solicitados a fazerem predições. Quando não for possível fazer uso dos instrumentos propostos anteriormente, devem ser contemplados exemplos históricos, experiências pensadas (“Gedankenexperimente”) ou argumentos lógicos;

3. Apresentação da nova teoria: como no passo anterior suas convicções foram abaladas e geraram uma sensação de desconforto, os alunos comportam-se como cientistas quando estão no “estado de crise” que, no modelo de Kuhn, precede as revoluções científicas. O professor, fazendo o papel de um cientista e tentando converter outros a um novo paradigma, apresentará a solução cientificamente aceitável, pois os alunos já estão preparados para receberem o novo conjunto de ideias que irão acomodar as anomalias.

Ao final dessa primeira etapa, que é o estágio de revolução conceitual, espera-se que a maioria dos alunos tenha aceitado as novas concepções.

## 2) O aluno como um cientista normal

Sendo o conjunto de atividades seguintes análogo à pesquisa em ciência normal, ele será denominado de “estágio de articulação conceitual”. Nesse estágio, todos os esforços serão dirigidos para a interpretação de situações (teóricas e experimentais) e a resolução de problemas, em concordância com as novas ideias introduzidas. Isso equivale aos “quebra-cabeças” da ciência normal.

### 3.1 Amostra

A intervenção em sala de aula foi realizada através de um minicurso ministrado no turno vespertino, com um quantitativo inicial de 30 alunos do terceiro ano do ensino médio da Escola de Referência em Ensino Médio de Ipojuca (EREMI), situada no município de Ipojuca/PE. No entanto, dos 30 alunos que iniciaram o minicurso, 10 desistiram por motivos particulares.

O minicurso teve como objetivo inserir a Física Quântica no ensino médio, tendo como recurso didático o efeito fotoelétrico e sua história à luz da epistemologia de Thomas Kuhn.

Ao final da pesquisa, apenas 09 alunos participaram do processo metodológico, sendo inclusos nesse grupo dois alunos que não participaram do Questionário de Sondagem. Nesse estágio, foram analisadas apenas as respostas dos sete alunos

que tiveram 100% de frequência no minicurso. Desses, um era do sexo masculino e seis do sexo feminino, e a faixa etária estava entre 16 anos e 19 anos de idade.

### **3.2 Lugar**

A Escola de Referência em Ensino Médio de Ipojuca (EREMI) é uma escola pública do estado de Pernambuco que funciona em regime integral. Possui 12 salas de aulas, 1 laboratório de informática com 30 computadores conectados à Internet, 1 biblioteca e 1 sala para os professores, com computadores também conectados à Internet. O EREMI possui cinco turmas da 1ª série, quatro da 2ª e três da 3ª. Optou-se por essa escola porque, além de possuir uma boa infraestrutura e fácil localização, a direção e os estudantes mostraram interesse em participar do projeto de pesquisa.

Foram utilizados *datashow*, *softwares*, mola *slink* e uma montagem composta de duas lâmpadas incandescentes e um relê fotoelétrico. Utilizou-se o *datashow* para apresentação em *PowerPoint* das aulas teóricas. As atividades experimentais foram desenvolvidas na sua maioria através de *softwares* e, em algumas situações, utilizou-se a mola *slink* e a montagem com o relê fotoelétrico. As atividades virtuais foram realizadas no laboratório de informática da escola, onde cada aluno tinha sempre disponível um computador conectado à internet e recebia um roteiro aberto sobre as atividades a serem desenvolvidas.

### **3.3 Instrumento de coleta de dados**

Foi apresentada aos estudantes a proposta do trabalho a ser realizado durante o minicurso e a necessidade de que eles respondessem um questionário (Apêndice A) composto de uma questão de múltipla escolha, a qual necessitava da justificativa, e sete questões discursivas. As questões envolviam acontecimentos históricos no campo da Física e situações do cotidiano. Deixou-se claro que não se tratava de uma prova e que o objetivo do questionário era conhecer as “ideias” que eles tinham em relação à natureza da ciência e da luz, como também dos avanços científicos e tecnológicos que a ciência proporcionou.

### 3.4 Metodologia de estruturação da pesquisa

Conforme registrado acima, a proposta desta pesquisa é considerar os alunos como cientistas kuhnianos, ou seja, “tanto como cientistas trabalhando num período de ciência normal quanto como cientistas envolvidos numa revolução científica” (ZYLBERSZTAJN, 1991). O minicurso foi estruturado em três etapas, as quais estão descritas a seguir.

A primeira etapa consistiu na aplicação do questionário de sondagem que corresponde à elevação do nível de consciência conceitual. Após analisar-se o resultado do Questionário de Sondagem, percebeu-se que os alunos não tinham conhecimentos de óptica ondulatória necessários para o entendimento dos conteúdos de Física Quântica. Por esse motivo, viu-se a necessidade de incluir no minicurso assuntos que os alunos não conheciam e que eram necessários para um melhor entendimento sobre o Efeito fotoelétrico e sua História. Foi ministrado o minicurso com o objetivo de responder-se a questão central da pesquisa, já descrita na Introdução deste trabalho. O minicurso teve uma carga horária total de 18 horas/aula, das quais foram utilizadas 6 horas/aula para abordar assuntos básicos de Ondulatória e de Óptica Ondulatória e 12 horas/aula para o tema do Efeito fotoelétrico e sua História.

A segunda parte correspondeu à introdução de anomalias, cujo objetivo foi proporcionar-se desconforto e insatisfação aos alunos diante das suas concepções alternativas. Foi feita uma abordagem conceitual sobre Óptica Ondulatória, utilizando-se apenas a matemática necessária para o entendimento de algumas situações, como, por exemplo, a interferência luminosa. Foram apresentados os aspectos históricos necessários ao entendimento de cada tópico abordado e realizadas atividades práticas sobre os temas em estudo, com o uso de *softwares* e uma mola *slink*. Pretendendo-se motivá-los e ajudá-los a entender o conceito de frequência e a sua importância no estudo que estava sendo iniciado, sentiu-se a necessidade de mostrar os limites da audição humana, o que foi feito através do *software* Then original teenbuzz – mosquito ringtone (Apêndice D). Conheceram também o espectro eletromagnético.

A utilização da história ajudou a discutir os conflitos existentes na época em que se procuravam explicar determinados fenômenos, na busca por promover-se, entre os

alunos, a compreensão da necessidade de um novo paradigma. Foi explicado o fenômeno da interferência apresentando-se situações práticas, e o experimento de Young utilizando-se recursos (Apêndice D) que favoreceram o entendimento do modelo ondulatório da luz.

A terceira parte corresponde à apresentação da nova teoria, quando o professor, exercendo o papel de um cientista, tenta converter outros a um novo paradigma. Iniciou-se essa parte utilizando-se o *software DoppelSpalt* (Apêndice D) para experimento de dupla fenda, com que foi possível mostrar-se a diferença entre os padrões gráficos de difração de objetos clássicos e objetos quânticos. A partir desse momento, foram apresentadas situações em que o caráter ondulatório não satisfazia os questionamentos, justificando-se a necessidade de um novo paradigma. Diante dessa nova situação, os estudantes tiveram suas “concepções abaladas” e começaram a conhecer um novo paradigma sobre as radiações eletromagnéticas.

Ocorreram alguns debates sobre a importância da história da ciência para o entendimento de que ela não é cumulativa e de que o surgimento da Física Quântica ocorreu quando alguns cientistas, dentre eles Lord Kelvin, acreditavam que a Física estava praticamente completa de conhecimentos científicos. Para despertar nos estudantes uma consciência crítica sobre ciência, discutiu-se um trecho do discurso de Kelvin, proferido em abril de 1900, na Royal Society, em ele que afirmava o seguinte: “Atualmente pairam apenas duas pequeninas nuvens cinzentas sobre o céu cristalino da Física” (PENTEADO, 2005).

O estudo do efeito fotoelétrico tornou-se mais empolgante para os alunos com a utilização dos *softwares* “El efecto fotoeléctrico” e “Efeito fotoelétrico” (Apêndice D). Por meio das atividades virtuais realizadas nesses *softwares*, eles puderam testar e comprovar as hipóteses vivenciadas na exposição teórica. Para mostrarem-se algumas aplicações práticas, foi utilizado o *software* “A Física e o Cotidiano” (Apêndice D), em que os alunos puderam fazer diversas montagens virtuais. Em seguida, eles participaram da resolução de problemas em concordância com as novas ideias introduzidas.

Na opinião de Kuhn (2007, p.71), “[...] o processo de aprendizado de uma teoria depende do estudo das aplicações, incluindo-se aí a prática na resolução de problemas, seja com lápis e papel, seja com instrumentos num laboratório”. Por isso,

durante o minicurso, ocorreram apresentações e resoluções de vários problemas, tanto de modo tradicional (lápiz e papel), quanto se utilizando atividades virtuais. Após cada aula, o aluno levava para casa uma lista de exercícios (alguns mais conceituais e outros que exigiam a compreensão de modelos matemáticos), a qual era analisada juntamente com as respostas na aula seguinte.

Com o objetivo de mostrar como a proposta dessa pesquisa foi colocada em prática, descreveram-se as atividades desenvolvidas durante as aulas no Apêndice D.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão descritos os resultados obtidos por meio do Questionário de Sondagem, o que corresponde, na proposta de Zylbersztajn, à *elevação do nível de consciência conceitual*, o qual norteou as aulas ministradas no minicurso.

Em seguida, foi analisado o resultado do Pós-Teste que, na proposta de Zylbersztajn, é denominado de *estágio de articulação conceitual*, o qual tem como um dos objetivos verificar se os estudantes estão em concordância com as novas ideias que foram introduzidas. Convém lembrar que a proposta de Arden Zylberstajn se encontra no capítulo 3.

Deve-se ressaltar que as questões, tanto do Questionário de Sondagem quanto do Pós-teste, foram elaboradas a partir de situações do cotidiano, textos extraídos de livros, revistas de circulação nacional e revista científica (Apêndice B).

### 4.1 Análises do Questionário de Sondagem

As respostas apresentadas pelos estudantes foram analisadas com o objetivo de identificarem-se alguns obstáculos epistemológicos na visão de Gaston Bachelard. Os obstáculos utilizados na categorização foram apresentados no capítulo 2.

As categorias empregadas estão descritas no quadro abaixo:

CATEGORIAS	DESCRIÇÃO
O conhecimento geral	Conhecimento sem fundamentos consistentes, portanto tendem a bloquear as ideias.
A experiência primeira	Procura mostrar os fenômenos de forma pitoresca, fácil, concreta, natural, caracterizando-se por um empirismo evidente.
Obstáculo verbal	Conhecimento em que toda explicação fica resumida a uma única imagem ou até uma única palavra. Usar de maneira incorreta metáforas, analogias e imagens proporcionam obstáculos pedagógicos.
Obstáculo animista	Utilização de fenômenos biológicos para explicar de modo ingênuo fenômenos puramente físicos ou químicos. Esse procedimento proporciona obstáculo ao entendimento dos conceitos científicos.
O Conhecimento unitário e pragmático	É aquele em que se procura o caráter utilitário de um fenômeno para que sirva de explicação.

Optou-se por registrar no corpo deste texto o enunciado de cada questão para facilitar a compreensão do que está sendo analisado.

**Questão 01.** *A natureza da luz sempre despertou interesse desde a antiguidade até os dias atuais, acompanhando assim o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.*

*A propósito, alguns séculos antes de Cristo, os filósofos se dividiam em duas linhas de pensamento. O filósofo e matemático Pitágoras (século VI a.C.) apoiava uma corrente que considerava que um objeto é visto porque ele “espirra” um grande número de partículas. Essa teoria foi chamada de teoria corpuscular pitagórica da luz. Um outro grupo, liderado pelo filósofo Aristóteles (384 – 322 a.C.), defendia a ideia de que a luz é constituída por ondas, conseqüentemente pode se propagar pelos meios tais como as ondas se propagam na superfície da água.*

*Atualmente qual é a concepção sobre a natureza da luz?*

- a) *Natureza corpuscular.*
- b) *Natureza ondulatória.*
- c) *Natureza “dual”, ou seja, às vezes, se comporta como onda e, às vezes, como partícula.*
- d) *Natureza “dual”, sempre se comporta como partícula.*
- e) *Natureza “dual”, sempre se comporta como onda.*

**JUSTIFIQUE A SUA RESPOSTA**

O objetivo desta questão foi saber se o estudante tinha conhecimento da concepção atual sobre a natureza da luz ou mantinha-se com uma concepção pitagórica ou aristotélica.

Conforme foi descrito na introdução desta pesquisa, conforme a concepção pitagórica, um objeto é visto porque ele “espirra” um grande número de partículas, enquanto que, de acordo com a concepção aristotélica, a luz é constituída por ondas, conseqüentemente pode se propagar pelos meios tais como as ondas se propagam na superfície da água (MONTANARI e CUNHA, 1995).

### **Análises das respostas dos alunos**

Observou-se que 43% dos participantes assinalaram a alternativa B, o que corresponde a uma concepção aristotélica, de acordo com a qual a luz é constituída

por ondas. Segundo essa concepção, a luz pode se propagar pelos meios, tais como as ondas se propagam na superfície da água. Outros 43% assinalaram a alternativa C, o que sugere que esses estudantes compreendem a natureza dual da luz, ou seja, dependendo do fenômeno estudado, a luz pode se comportar como onda ou como partícula. Os 14% restantes assinalaram a alternativa E, o que significa que provavelmente desconhecem o significado da palavra “dual”.

As justificativas apresentadas pelos alunos sobre a concepção atual da natureza da luz são elencadas no quadro 01.

**QUADRO 01:** Justificativas dadas para a escolha do item C da questão 01 que trata da concepção atual da natureza da luz

ALUNO	RESPOSTA
A19	“Porque a luz espirra um grande número de partículas, e também é constituída por ondas”.
A23	“Ao se propagar na água a luz se comporta como onda e em materiais sólidos como a luz do Sol na grama se comporta como partícula”.
A28	“Estudei que a luz se comporta como onda e partículas”.

### Análises das respostas dos alunos

Diante dessas justificativas, percebeu-se que o comportamento dual da luz não estava bem compreendido pelos estudantes, conforme se pôde perceber nas respostas. Os alunos se pautaram na leitura das informações do texto, associando os conceitos de onda e partícula, como se ocorressem de forma simultânea. Entretanto, o físico dinamarquês Niels Bohr, ao enunciar o Princípio da Complementaridade (HALLIDAY *et al.*, 1995, V.4, p.187), esclarece o problema da dualidade onda-partícula e afirma que

Os aspectos ondulatórios e corpuscular de uma entidade quântica são ambos necessários para uma descrição completa. No entanto, ambos os aspectos não podem ser revelados simultaneamente numa mesma experiência. O aspecto que irá se revelar, numa certa experiência, está determinado pela natureza da própria experiência.

Dessa maneira, tanto a luz como as demais radiações eletromagnéticas não podem se comportar como onda e partícula ao mesmo tempo. A esse obstáculo

epistemológico apresentado pelos alunos Bachelard chama de *conhecimento geral*, que corresponde ao conhecimento sem fundamentos consistentes, o que proporciona um bloqueio nas ideias.

**Questão 02.** *O físico inglês William Thomson Kelvin (Lord Kelvin), assim como alguns outros cientistas da época, acreditava que todo conhecimento científico da Física estava praticamente completo. Em abril de 1900, ele fez um discurso na Royal Society em que afirmava: “Atualmente pairam apenas duas pequeninas nuvens cinzentas sobre o céu cristalino da Física”. Ele se referia à suposta existência do éter e às discrepâncias entre os dados experimentais e as teorias clássicas que tinham como objetivo explicar a emissão de radiação pela matéria.*

*As pequeninas nuvens imaginadas por Kelvin deram origem a dois gigantes temporais que proporcionaram grandes mudanças nos rumos da ciência moderna. Um dos temporais foi a Teoria da Relatividade Restrita, apresentada em 1905 por Albert Einstein, e o outro foi a Física Quântica, proposta por Max Planck, em dezembro de 1900.*

*Você sabe o que é Física Quântica?*

*Sim*

*Não*

*Em caso afirmativo, escreva o que você entende sobre Física Quântica.*

Pelo fato de os estudantes terem acesso à INTERNET, onde existem vários *sites* sobre Quântica desprovidos de fundamentos científicos consistentes, formulou-se esta questão com o objetivo de conhecerem-se tais concepções na perspectiva de “quebrar” esse paradigma popular da quântica.

Dos participantes do Questionário de Sondagem, 57% afirmaram saber o que é Física Quântica, apresentando as justificativas registradas abaixo, no quadro 02.

**QUADRO 02:** Justificativas apresentadas sobre o que é Física Quântica

ALUNO	RESPOSTA
A15	“Não me recordo neste momento”.
A19	“Física Quântica estuda não só da física por si só mas também da física no nosso dia-a-dia”.
A21	“Não sei exatamente o que é, mas sei que é a parte da física que é responsável por estudar o processo de fazer lâmpadas apagarem só, por exemplo”.
A28	“É a física que estuda a quantização de radiações eletromagnética”.

### Análises das respostas dos alunos

Vê-se que o **A19** compreende a Física Quântica como uma espécie de generalização da clássica, alcançando o que se poderia chamar de física contemporânea, ao afirmar que a Quântica inclui a “física no nosso dia-a-dia”.

O **A21**, ao afirmar que a quântica estuda “o processo de fazer lâmpadas apagarem só”, possivelmente faz uma alusão aos sistemas de iluminação pública, que possuem um dispositivo (LDR ou *light dependent resistor*) cuja resistência depende da incidência de luz e cujo funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico (VALADARES, 1998).

Percebe-se que o **A28** apresenta uma concepção muito contemporânea, uma vez que usa o conceito de “quantização”. Sabe-se que, ao estudar-se a Física Quântica, deve-se considerar a quantização das radiações eletromagnéticas.

Dessa forma, infere-se que os conhecimentos de **A19** e de **A21** se apresentam sem fundamentação consistente, o que pode bloquear as ideias, prejudicando o processo de aprendizagem. Esse obstáculo é denominado por Bachelard de *o conhecimento geral*.

**Questão 03.** *O físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887) foi um dos pioneiros a se preocupar com a emissão térmica de um corpo aquecido e criou o conceito de corpo negro. No final do século XIX, uma das grandes preocupações dos cientistas era explicar a radiação do corpo negro, pois na prática os sólidos aquecidos emitem um espectro muito parecido com o espectro do **corpo negro**.*

*Tendo como objetivo explicar a radiação do corpo negro, o físico alemão Max Planck, baseando-se nos resultados empíricos existentes, como a lei de Stefan-Boltzmann, de 1884, e a lei de Wien, de 1894, formulou um postulado no qual considerava a quantização da radiação eletromagnética. Esse postulado contrariava todo o conhecimento da física clássica da época e o próprio Planck considerava-o como um ato de desespero para resolver o problema da radiação térmica.*

*O que você sabe sobre **corpo negro**? Dê um exemplo de corpo negro.*

*O que significa o termo **quantização** aplicado às radiações eletromagnéticas?*

Essa questão teve como objetivo conhecer o que o estudante entende por corpo negro e quantização de radiação eletromagnética. A partir de então se elabora material que possa mostrar-lhe a concepção científica.

De um modo geral, os alunos não responderam, pois escreveram “não sei”, ou “infelizmente nada”. As respostas por eles apresentadas estão no quadro 03.

**QUADRO 03:** Respostas apresentadas sobre o conceito de corpo negro.

ALUNO	RESPOSTA
A2	“Do ponto de vista grosseiro acho que seja material radioativo, ou emite algum tipo de onda, calor, energia, etc.”.
A19	“É uma emissão térmica de um corpo aquecido”.

### Análises das respostas dos alunos

As respostas apresentadas por **A2** e **A19** demonstram entendimento, mesmo que parcialmente, a respeito de uma das grandes preocupações dos cientistas no final do século XIX. Entretanto, percebe-se a existência de obstáculos pedagógicos nas afirmações, quando fazem uso das analogias “material radioativo” e “emissão térmica”, as quais reduzem o significado de corpo negro a um simples emissor de energia. Tais obstáculos epistemológicos podem proporcionar dificuldades na aprendizagem e são classificados por Bachelard como sendo *obstáculos verbais*, os quais têm como características o uso de maneira incorreta de metáforas e analogias.

Quanto ao entendimento do termo *quantização das radiações eletromagnéticas*, as explicações apresentadas estão no quadro 04.

**QUADRO 04:** O que significa quantização aplicada às radiações eletromagnéticas

ALUNO	RESPOSTA
A2	“acho que seja amontoado de partículas que está relacionada a eletromagnética”.
A25	“quantidade de energia”.

### Análises das respostas dos alunos

Conforme se pôde observar, **A2** apresenta um entendimento bastante próximo do esperado sobre uma das características (pacote de partículas) para a quantização das radiações eletromagnéticas, quando diz “amontoado de partículas”.

Quando **A25** diz “quantidade de energia”, sugere a associação entre quantidade e quantização, mas isso restringe o significado do termo apenas à questão da energia.

O físico alemão Albert Einstein, ao explicar o Efeito Fotoelétrico, considerou quantizada a energia das radiações eletromagnéticas, tratadas como um feixe de partículas (BISCUOLA *et al.*, 2007). Dessa forma, na concepção bachelardiana, as respostas de A2 e A25 parecem indicar o obstáculo epistemológico classificado como experiência primeira, que consiste em compreender os fenômenos de forma intuitiva e natural, caracterizando-se por um empirismo evidente.

**Questão 04.** *No dia 11 de março de 2011, às 14h46min (horário do Japão), ocorreu um choque entre a placa do Pacífico e a placa Norte-Americana, ambas situadas a aproximadamente 24 km abaixo do solo marítimo. Essa colisão proporcionou um tremor de 8,9 pontos na escala Richter. Por ser uma escala logarítmica, a magnitude aumenta de 33 vezes de um ponto da escala para o outro, logo uma diferença de 0,5 ponto equivale à energia liberada por 58 500 bombas das que foram lançadas em Hiroshima no ano de 1945. No tremor de 8,9 na referida escala, tem-se uma energia liberada correspondente a 108 400 bombas. O movimento das placas proporcionou um tsunami de grandes proporções que atingiu o litoral japonês situado a 130 km de distância do local do epicentro.*

*Uma das duas usinas nucleares próxima à cidade de Fukushima no Japão teve os seus reatores danificados, provocando no mundo o temor da radiação que vazava dos mesmos e, conseqüentemente, fazendo com que muitos países voltem a debater se essa fonte de energia é realmente segura.*

*Uma das maneiras de descobrir se uma pessoa está contaminada pela radiação é utilizando-se o Contador Geiger e o Detector de Cintilação.*

**a) Contador Geiger**

*O aparelho contém uma câmara interna com um gás que reage às partículas radioativas. Percebe radiações dos tipos alfa e beta e átomos como os de césio 137 e iodo 131 (VEJA, 2011, p.90).*

**b) Detector de cintilação**

No sensor há um cristal cujos átomos se agitam na presença de ondas eletromagnéticas, identificando a existência de raios gama. (VEJA, 2011, p.90)

Responda:

Você já ouviu falar em ondas eletromagnéticas?

( ) Sim

( ) Não

Em caso afirmativo, escreva o que você entende sobre ondas eletromagnéticas.

Ao interagir com o detector, as ondas eletromagnéticas se comportam como onda ou como partícula?

A formulação dos questionamentos permite conhecerem-se as concepções dos estudantes sobre ondulatória e, mais uma vez, o caráter dual das ondas eletromagnéticas.

Apenas um estudante afirmou “nesse momento não me recordo” e os demais apresentaram as respostas registradas no quadro 05.

**QUADRO 05:** Entendimento dos estudantes sobre ondas eletromagnéticas

ALUNO	RESPOSTA
A2	“eletromagnética→um tipo de ação que provoca reação. Ex: O hima emite eletromagnetismo”.
A19	“Ondas eletromagnéticas são partículas radioativas”.
A21	“São ondas lançadas por um corpo”.
A23	“Nas ondas eletromagnéticas têm algo a ver com energia, elétrons”.
A25	“É uma força que emite partículas com núcleos muito estáveis”.
A28	“Reação de choque entre duas partículas magnéticas e eletrizadas, formando ondas”.

**Análises das respostas dos alunos**

**A2**, ao associar o termo “eletromagnética” a ímã, afirma que ocorre “um tipo de ação que provoca reação”. Possivelmente, quer dizer que polos iguais em corpos magnetizados ou ímãs se repelem, e polos diferentes se atraem.

**A23** apresenta uma resposta muito interessante, pois ao associar “ondas eletromagnéticas” a “energia, elétrons”, faz uma associação entre energia e elétrons. Sabe-se que uma onda eletromagnética é originada por cargas elétricas oscilantes e que ocorre uma propagação de energia, portanto sua resposta é parcialmente coerente.

Verifica-se na primeira parte da resposta de **A25**, certa confusão entre onda eletromagnética e força magnética, quando registra o elemento “força”. Na segunda parte da sua afirmação, ao dizer que “emite partículas com núcleos estáveis”, provavelmente se equivocou, pois a emissão de partículas só ocorre em núcleos instáveis que, para reduzir a instabilidade energética, o núcleo emite partículas  $\alpha$  ou  $\beta$  (CANTO e PERUZZO, V.2, 1998, p.418).

Ao se referir a “partículas magnéticas”, **A28** parece imaginar a existência de polos magnéticos isolados, o que viola o princípio da inseparabilidade dos polos magnéticos. Apesar de terem feito várias tentativas, os cientistas até hoje não conseguiram detectar um monopolo magnético. Tem-se observado, experimentalmente, que, mesmo que se divida infinitamente um ímã permanente, sempre se obtém em cada pedaço um polo norte e um polo sul (SERWAY, 1996, V.3, p.154).

Em síntese, as respostas de A2, A25 e A28 não apresentam fundamentos consistentes sobre o assunto abordado. Segundo Bachelard, essas são características de um obstáculo epistemológico denominado de *conhecimento geral*.

Em relação à segunda pergunta, apenas dois estudantes consideraram o comportamento da onda eletromagnética como sendo uma partícula e justificaram da seguinte maneira (quadro 06):

**QUADRO 06:** Comportamento das ondas eletromagnéticas ao interagir com o detector.

ALUNO	RESPOSTA
A21	“Se comportam como partícula, porque no detector são indentificados os raios gama $\gamma$ ”.
A25	“Partículas. E essas partículas tem que está com os núcleos estáveis para interagir com o detector”.

### Análises das respostas dos alunos

Não se esperava uma resposta com justificativa consistente, porque os detectores de radiação geralmente não são estudados no ensino médio.

A resposta de **A21** sugere que ele considera a radiação gama como partícula. Entretanto, a radiação  $\gamma$  é constituída por ondas eletromagnéticas e, dependendo do fenômeno estudado, pode ser considerada onda ou partícula.

Uma breve descrição feita por Hewitt, no seu livro *Física Conceitual*, possibilita o entendimento do comportamento da radiação  $\gamma$  no detector de cintilação:

Um contador de cintilações faz uso do fato de que determinadas substâncias são facilmente excitadas e emitem luz quando partículas carregadas ou raios gama as atravessam. Minúsculos flashes luminosos, ou cintilações, são transformados em sinais elétricos por meio de tubos fotomultiplicadores especiais. [...] é capaz de medir a energia das partículas carregadas ou dos raios gama absorvidos no detector. A água comum, quando altamente purificada, pode servir como cintilador (2002, p.561).

A partir da explicação acima, verifica-se que o átomo ficará excitado. E, assim, o estado excitado ocorre quando um elétron, ao absorver um fóton, “salta” para uma órbita com nível de energia superior ao da órbita original. Como o estado excitado é instável, o elétron tende a retornar ao seu estado fundamental, emitindo a energia recebida (BISCUOLA *et al.*, 2007). Diante das condições acima, pode-se concluir que a radiação  $\gamma$ , ao atingir o detector por cintilação, comporta-se como um feixe de partículas denominadas de fótons. Verifica-se que A25 apresenta um obstáculo epistemológico denominado por Bachelard de Conhecimento Geral, o qual corresponde aos conhecimentos sem fundamentos consistentes.

**Questão 05.** *O tsunami que atingiu o litoral japonês no dia 11 de março de 2011 chamou atenção pelo seu poder de destruição. Um tsunami é uma onda que se forma no oceano, geralmente criada por abalos sísmicos, atividades vulcânicas ou pela queda de meteoritos. Esse foi criado pelo deslocamento de placas tectônicas, a placa do Pacífico chocando-se contra a placa Norte-Americana. Após 5 min da colisão entre as referidas placas, o litoral japonês, situado a 130 km do local do epicentro, foi atingido por ondas de até 10m de altura.*

*Essa onda, à qual nos referimos no texto acima, é uma onda mecânica ou uma onda*

*eletromagnética?*

*Existe diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética?*

*( ) Sim*

*(... ) Não*

*Em caso afirmativo descreva a diferença existente.*

O objetivo dessa questão foi saber se o estudante tinha conhecimento básico sobre ondulatória. Quando questionados sobre a natureza da onda do tsunami, os estudantes deram as seguintes respostas (quadro 07).

**QUADRO 07:** O tsunami é uma onda mecânica ou eletromagnética?

ALUNO	RESPOSTA
A2	“mecânica porque o que provocou foi abalos físicos ou seja resultou em outra ação.”
A19	“mecânica”
A21	“Onda eletromagnética”
A23	“onda mecânica”
A25	“eletromagnética”
A28	“Onda mecânica, porque houve choque de placas grandes e não partículas.”

### **Análises das respostas dos alunos**

A grande maioria acertou ao afirmar que é uma onda mecânica. Em relação à diferença existente entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética, apenas dois justificaram, conforme se pode verificar no quadro 08.

**QUADRO 08:** Diferença entre onda mecânica e onda eletromagnética.

ALUNO	RESPOSTA
A23	“Onda eletromagnética tem mais a ver com energia e onda mecânica com força”.
A28	“A onda mecânica são choques com placas grandes; e a onda eletromagnéticas, são partículas que emitem radiações quando um átomo entra no núcleo”.

### Análises das respostas dos alunos

Conforme se pôde observar, **A23** procura relacionar a onda eletromagnética à energia, enquanto que relaciona a onda mecânica à força. É notório que, devido ao senso comum, ocorre uma dificuldade em diferenciar o significado físico de força do de energia. Do ponto de vista físico, a força representa uma “ação”, portanto ação se faz ou se recebe, logo ninguém pode ter força, enquanto que energia é algo que se pode ter, perder, consumir e também acabar (GASPAR, V.1, 2009).

A justificativa de **A23** não apresenta fundamentos consistentes, e isso pode bloquear as “ideias” sobre os significados físicos de força e energia. Bachelard considera tal atitude como um obstáculo epistemológico e o denomina de *conhecimento geral*.

Conforme a concepção de **A28**, uma onda mecânica está relacionada a objetos de grandes dimensões, enquanto que a onda eletromagnética está relacionada a partículas. Ao afirmar “átomo entra no núcleo”, ele talvez tenha desejado comparar a dimensão do átomo com a dimensão do núcleo.

Em termos de comparação, tem-se que o raio de um átomo é de 10 mil a 100 mil vezes maior que o do núcleo (CANTO e PERUZZO, V.1, 1998, p.83).

Percebe-se que **A28** fez uma analogia de forma equivocada, o que caracteriza um obstáculo pedagógico, denominado por Bachelard de *obstáculo verbal*.

#### **Questão 06. EFEITO FOTOELÉTRICO**

*Constata-se que a primeira observação relacionada ao efeito fotoelétrico seja creditada ao físico russo Alexander Stoletov (1839 – 1896), em 1872. É válido ressaltar que a verificação mais consistente do efeito fotoelétrico ocorreu quando Heinrich Hertz, em 1887, procurava comprovar a teoria de Maxwell.*

*Baseando-se na quantização da energia introduzida por Max Planck, Albert Einstein publicou um artigo, em 1905, no periódico **Annalen der Physik**, intitulado “Ponto de Vista Heurístico acerca da Produção e Transformação da Luz”, no qual explicava o efeito fotoelétrico. Em 1921 esse trabalho deu ao cientista alemão o Prêmio Nobel de Física.*

*Você já ouviu falar em Efeito Fotoelétrico?*

*( ) Sim ( ) Não*

*Em caso afirmativo escreva o que você sabe sobre Efeito Fotoelétrico.*

Essa questão teve como objetivo conhecer a concepção dos estudantes sobre o efeito fotoelétrico. Apenas um aluno (A25) admitiu conhecer o Efeito Fotoelétrico e escreveu: “Fotoelétrico é um aparelho de sensor, serve para dar origem a uma imagem digital”.

### **Análise da resposta do aluno**

É importante lembrar que o efeito fotoelétrico consiste na liberação de elétrons de uma superfície metálica ao ser atingida por uma radiação eletromagnética de determinada frequência. Os elétrons liberados são chamados de fotoelétrons.

Não se esperava uma resposta bem fundamentada, visto que esse assunto não faz parte do currículo do ensino médio. Quando se lê “Fotoelétrico é um aparelho de sensor...”, tem-se a impressão de que o estudante procura mostrar a relação entre Efeito Fotoelétrico e sensor; em seguida apresenta a utilidade do efeito fotoelétrico ao afirmar que “serve para dar origem a uma imagem digital”.

Ao justificar o que é o efeito fotoelétrico buscando apenas o caráter utilitário do mesmo, o aluno apresenta um obstáculo epistemológico que Bachelard classifica como *conhecimento unitário e pragmático*.

**Questão 07.** O texto abaixo foi extraído do livro: *FÍSICA MODERNA – Tópicos para o Ensino Médio*.

#### **A FÍSICA NO MUNDO DO TRABALHO**

*O CCD (Charge-Coupled Device ou dispositivo de carga acoplada) é um aparelho detector de luz muito sensível. Ele é um chip quadrado formado por uma matriz de sensores fotoelétricos, feitos de material semicondutor, distribuídos em linhas e colunas.*

*Em qualquer imagem digital, cada um dos pontos da matriz é chamado de pixel. Assim, cada sensor do CCD dará origem a um pixel da imagem digital final. Por isso é bastante comum nos referirmos a cada sensor fotoelétrico do sistema como um pixel.*

*A partir de agora, com todo o domínio tecnológico da microeletrônica e do efeito fotoelétrico, cada vez mais os profissionais que precisam de alguma forma capturar e registrar fótons vão utilizar aparelhos dotados de CCD (JÚNIOR, 2002, p.46).*

*Você sabe o que são fótons?*

*( ) Sim ( ) Não*

*Justifique a sua resposta.*

*Com que velocidade um fóton se propaga no vácuo?*

O objetivo dessa questão foi saber se o estudante apresentava conhecimento prévio a respeito do que são fótons e a sua velocidade de propagação no vácuo. As respostas dadas estão registradas no quadro 09.

**QUADRO 09:** Respostas sobre o que sejam fótons.

ALUNO	RESPOSTA
A2	“São pequenas partículas que formam a imagem”.
A19	“fótons são pequenas partículas de luzes sensíveis”.
A23	“Partículas de luz, ajuda muito em fotografias e filmagens”.
A25	“É um tipo de foto”.

**Análises das respostas dos alunos**

A partir das respostas apresentadas, percebe-se que a maioria dos estudantes fez uma relação entre fótons e partículas. Entretanto, não se pode afirmar se as justificativas apresentadas se deveram às concepções prévias sobre o tema ou se foram influenciadas pela leitura do texto. Mas pode-se inferir que o grupo dos alunos associa fóton apenas à formação de imagens. Isso caracteriza um conhecimento sem fundamentos consistentes, podendo bloquear as ideias, o que na epistemologia bachelardiana é um obstáculo pedagógico chamado de *conhecimento geral*.

Quando questionados sobre a velocidade do fóton no vácuo, apenas um aluno respondeu, conforme se pode observar no quadro 10.

**QUADRO 10:** Resposta sobre a velocidade dos fótons.

ALUNO	RESPOSTA
A2	“di acordo com a distância”.

### Análise da resposta do aluno

Ao relacionar a velocidade do fóton à distância (“di acordo com a distância”), percebe-se que o estudante utilizou-se de um empirismo evidente, o que constitui uma característica de um primeiro obstáculo epistemológico conhecido como a *experiência primeira*.

**Questão 08.** Dona Amara levou o seu neto ao Shopping Center para que o mesmo realizasse uma pesquisa escolar sobre as novidades tecnológicas e seus benefícios no dia-a-dia das pessoas.

A avó orientou o neto de que deveria observar situações que julgasse relevantes e fizesse as devidas anotações.

No final a lista de anotações ficou assim:

- a) A porta do shopping abriu automaticamente com a aproximação deles.
- b) Na toalete ele percebeu que, após utilizar o mictório, o mesmo disparou automaticamente um jato d’água para retirar a urina do recipiente.
- c) Ainda na toalete, aproximou as suas mãos do secador e o mesmo começou a funcionar automaticamente.
- d) Na vitrine de uma loja um anúncio informava: **“Calculadoras e relógios que funcionam com energia solar”**.
- e) Ao entrar no “provador” de roupas de uma loja, as lâmpadas que se encontravam apagadas acenderam automaticamente.

Ao chegar a casa, Antônio pediu a sua avó que explicasse o princípio de funcionamento do que foi anotado por ele durante a visita ao Shopping.

Como você daria tal explicação?

Essa questão foi formulada com o objetivo de saber a desenvoltura do estudante para explicar o princípio de funcionamento de determinados equipamentos e de fazer relação desse princípio com o avanço científico-tecnológico.

Os que citaram o funcionamento devido aos avanços científico-tecnológicos deram as respostas registradas no quadro 11.

**QUADRO 11:** Explicação da tecnologia encontrada no Shopping.

ALUNO	RESPOSTA
A2	“Que esse fatos que o garoto observou é proveniente da física quântica, aprimoramento no índice tecnológico. Ex: ao se aproximar da porta automaticamente ele se abre através de detector dada pela presença humana”.
A15	“Eles estudaram para chegar toda essa tecnologia, criação coisas fizeram testes. Ex. A porta se abriu a aproximação de uma pessoa. Tipo de ‘sensor de calor””.
A23	“Cada nova tecnologia que surge exige cálculos extremamente precisos, de físicos que querem ajudar o ser humano no dia-dia”.

**Análises das respostas dos alunos**

Nota-se que **A2** associa o avanço tecnológico à Física Quântica (“é proveniente da física quântica, aprimoramento no índice tecnológico.”). Ao analisar a abertura da porta, ele faz a relação com um detector de presença, o que demonstra o seu interesse sobre o funcionamento de certos dispositivos de base tecnológica. A resposta atendeu as expectativas do pesquisador, afinal tem-se visto nos últimos anos uma série de matérias jornalísticas nos meios de comunicação fazendo essa associação, através, por exemplo, de revistas de divulgação científica.

**A15** atribui os avanços apenas à tecnologia. Assim como a maioria da população, ele apresenta dificuldade em reconhecer a importância da ciência para o avanço tecnológico.

É correto afirmar-se que nem sempre a ciência precede a tecnologia, mas deve-se ter conhecimento de que as duas se completam. Portanto, as descrições feitas pelos alunos constituem um obstáculo epistemológico conhecido como *a experiência primeira*. Esse obstáculo epistemológico tem como característica apresentar um empirismo evidente, o que em algumas situações dificulta a aprendizagem.

## 4.2 Análises do Pós-Teste

O pesquisador esperava que os estudantes, após o minicurso, tivessem obtido uma postura questionadora sobre Ciência e pudessem, a partir dos debates promovidos, compreender os avanços científicos e tecnológicos de maneira crítica.

Na proposta de Arden Zylbersztajn, a qual se baseia na filosofia de Kuhn, o aluno deve ser visto como um cientista normal, ou seja, deve dirigir todos os esforços para interpretar situações (teóricas e experimentais) e resolver problemas em concordância com as novas ideias introduzidas. Isso equivale aos “quebra-cabeças” da ciência normal.

Diante dessa expectativa, foram elaboradas questões diferentes das apresentadas no Questionário de Sondagem, pois se necessitava saber se o objetivo da pesquisa tinha sido alcançado, ou seja, se os estudantes haviam deixado de ter uma visão ingênua sobre a ciência como também se haviam adquirido condições de diferenciar um fenômeno Clássico de um fenômeno Quântico.

CATEGORIAS	DESCRIÇÃO
Consciência crítica	Analisa os fatos levando em consideração a fundamentação científica e tecnológica.
Consciência ingênua	Aquela que expressa apenas uma crença sem fundamentos questionadores. Por exemplo, o indivíduo acredita que a ciência sempre favorece a sociedade.

Será apresentado o enunciado de cada questão para facilitar a leitura sobre o que está sendo analisado.

*Questão 01. O físico escocês James Clerk Maxwell propôs a teoria eletromagnética a qual considera a luz como uma onda eletromagnética.*

*Na Física Quântica, a luz apresenta um comportamento dual, ou seja,*

- a) *onda-onda.*
- b) *partícula-partícula.*
- c) *onda-partícula.*
- d) *elétron-partícula.*

Essa questão teve como objetivo averiguar o entendimento da diferença existente entre um fenômeno quântico e um fenômeno clássico.

### **Análises das respostas dos alunos**

Todos os estudantes assinalaram a alternativa esperada, a letra C, mostrando assim a capacidade de diferenciar um fenômeno clássico de um fenômeno quântico.

Esse resultado sugere que eles desenvolveram uma consciência crítica sobre a diferença entre a física quântica e a física clássica.

Na epistemologia kuhniana, este “comportamento” dos estudantes pode ser interpretado semelhantemente a uma “revolução científica”, que é uma transição para um novo paradigma.

**Questão 02.** O texto abaixo foi extraído da revista SCIENTIFIC AMERICAN – Brasil.

#### **A Promessa da PLASMÔNICA: Terapia plasmônica contra o câncer**

Pesquisadores descobriram que podem inserir sinais ópticos em fios minúsculos usando luz para produzir ondas de densidade de elétrons chamadas plásmons. Um tratamento proposto contra o câncer empregaria efeitos plasmônicos para destruir tumores. Os médicos injetariam nanocápsulas – partículas de silício de 100 nanômetros de diâmetro com uma camada externa de ouro – na corrente sanguínea. Elas se alojariam num tumor em rápido crescimento. Se um laser de infravermelho próximo fosse apontado para aquela área, ele atravessaria a pele e induziria oscilações ressonantes de elétrons no interior das nanocápsulas, aquecendo e matando as células do tumor sem ferir o tecido saudável ao redor. (**Scientific American – Brasil**, 2007, p.58)

Com base no texto, escolha a alternativa com que você mais concorda:

- a) Os cientistas sempre buscam novas tecnologias para favorecer a sociedade.
- b) Os cientistas sempre buscam novas tecnologias para favorecer a ciência
- c) Os cientistas sempre buscam novas tecnologias para favorecer a economia.

Justifique a sua resposta

O objetivo dessa questão foi verificar se a visão ingênua que o estudante tinha sobre ciência fora superada. Passando a ter uma visão crítica, ele poderia entender que

nem sempre os avanços científico-tecnológicos possibilitam melhores condições socioeconômicas à sociedade. Essa nova postura faria o estudante ter uma melhor visão do mundo em que vive, podendo exercer a cidadania em sua plenitude.

### **Análises das respostas dos alunos**

Apenas A2 assinalou a letra B, e os demais assinalaram a letra A.

As justificativas apresentadas pelos estudantes encontram-se no quadro 12.

**QUADRO 12:** Opinião dos estudantes a respeito dos cientistas.

ALUNO	RESPOSTA
A2	“Favorecendo a ciência que buscam formas de melhoria, vai viavelmente favorecer a sociedade”.
A15	“Os cientistas buscam cada vez mas avanços para a nossa sociedade. Existem doenças sem cura. Eles buscam tratamentos avanços para nos favorecer. A sociedade”.
A19	“Quando novas doenças surgem cientistas tentam descobri técnicas, soluções, remédios, etc. para ajudar ainda mas a sociedade. Eles sempre buscam novas tecnologias para favorecer a sociedade”.
A21	“Existem várias doenças no mundo que são poucas as chances de cura, no entanto os cientistas utilizam meios tecnológicos para conseguir a cura”.
A23	“Seja na cura do câncer, AIDS. Uma boa parte das pesquisas sempre são feitas para ajudar as pessoas não só na saúde, mas também em tecnologia e boa qualidade de vida”.
A25	“Os cientistas buscam renovar cada vez mais as tecnologias para o funcionamento de aparelhos hospitalares, científico entre outros”.
A28	“Sim; Pois os cientistas buscam tais tecnologias e favorecem a sociedade, como a cura de doenças, o computador, e outros que sempre beneficia e facilita a vida das pessoas”.

### **Análises das respostas dos alunos**

Observou-se que os alunos apresentam uma visão ingênua a respeito dos cientistas, pois eles fazem alusões apenas a situações que beneficiam a sociedade.

Dentro dessa linha, pode-se observar a opinião emitida por Albert Einstein no seu livro *Escritos da Maturidade*:

Pesquisas perspicazes e trabalhos científicos incisivos tiveram, muitas vezes, implicações trágicas para a humanidade, produzindo, por um lado, invenções que libertaram o homem do trabalho físico exaustivo, tornando a vida mais fácil e mais rica, mas, por outro lado, introduzindo em sua vida uma profunda inquietação, tornando-o escravo de seu ambiente tecnológico e – o mais catastrófico de tudo – criando os meios para sua própria destruição em massa. Essa é, sem dúvida, uma tragédia de pungência avassaladora (2003, p.161).

A23, ao afirmar “Uma boa parte das pesquisas”, possivelmente pretendeu dizer que os cientistas nem sempre buscam tecnologias para favorecer a sociedade. Como a proposta dessa pesquisa é considerar o aluno como um cientista kuhniiano, perceba-se que ocorreu, embora de modo discreto, uma quebra de paradigma a respeito da situação apresentada na questão 02.

**Questão 03.** O texto abaixo foi extraído da revista *SCIENTIFIC AMERICAN – Brasil*.

***Contando Fótons de Luz: Como os fótons são Captados***

*Contar os fótons por unidade é o que fazem os detectores de câmaras de vídeo e as máquinas fotográficas digitais – os CCDs (charge coupling device). O detector CCD é formado por uma matriz de detectores elementares de algumas dezenas de micrometros quadrados cada um – os fotodiodos. Cada um deles é formado por uma junção de materiais semicondutores, análoga à dos LEDs; mas nesse caso produzindo um efeito contrário ao do LED: cada fóton incidente extrai um elétron de um dos materiais da junção. O elétron liberado atravessa a junção e é coletado por um pequeno condensador elétrico ligado a cada fotodiodo (**Scientific American – Brasil**, 2006, p.14 - 15).*

*Responda:*

1. *O que são fótons?*
2. *Qual das expressões abaixo permite calcular a energia de um fóton?*
  - a)  $E = m.c^2$
  - b)  $E = h.f$
  - c)  $E = m.a$
  - d)  $E = h.c$

O objetivo dessa questão foi saber se o estudante entendia o que são fótons e qual é a equação que possibilita determinar a energia do fóton. A partir das respostas apresentadas, seria possível dizer se ele diferenciava, ou não, um fenômeno

quântico de um fenômeno clássico e, conseqüentemente, se compreendia a importância da física quântica nos avanços científico-tecnológicos. Isso permitiria observar-se se ocorreria a formação de uma consciência crítica no estudante.

Em relação à primeira pergunta, foram coletadas as seguintes respostas (quadro 13).

**QUADRO 13:** Justificativa dos estudantes sobre o que são fótons.

ALUNO	RESPOSTA
A2	“Fótons são um tipo de partículas que partindo da incidência extrai um elétron, ele se locomove muito rápido”.
A15	“Fótons são pequenas partículas”.
A21	“São luzes que são liberadas de um corpo onde a mesma se comporta como partícula”.
A23	“Pequenas partículas que ajudam na formação da luz”.
A25	“Fótons são pequenas partículas que emitem luzes e quando há uma junção entre materiais extrai elétrons”.
A28	“É uma pequena partícula luminosa que ao incidir com um determinado material ele extrai ou seja tira um elétron do tal, dependendo da sua velocidade”.

### Análises das respostas dos alunos

A compreensão sobre fótons ocorreu a partir do ano de 1905, quando o físico alemão Albert Einstein explicou o efeito fotoelétrico. Ele considerou a energia das radiações eletromagnéticas quantizada, ou seja, sendo tratadas como um feixe de partículas que mais tarde foi denominada de fótons. Portanto, cada fóton comporta-se como uma partícula; conseqüentemente, não existem frações de um fóton. (RAMALHO *et al.*, V.3, p.431)

Portanto, a explicação correta do que são fótons requer o conhecimento da diferença entre um fenômeno quântico e um fenômeno clássico. Percebe-se que todos os alunos fizeram a relação entre fótons e partículas, mostrando assim uma possível compreensão do que é um fenômeno quântico.

Quanto à expressão que permite calcular a energia de um fóton, percebe-se mais uma vez que os alunos, unanimemente, foram capazes de associar a parte conceitual estudada durante o minicurso à equação que possibilita calcular a energia, o que demonstra alguns conhecimentos da física quântica.

Pelas respostas apresentadas, pode-se afirmar que os alunos leram o texto de forma questionadora, procurando analisar os fenômenos envolvidos. Isso demonstra que está ocorrendo o desenvolvimento de uma “consciência crítica” (FREIRE, 1981, p.40).

Conforme Thomas Kuhn (2007, p.147), “Não obstante, as mudanças de paradigma realmente levam os cientistas a ver o mundo definido por seus compromissos de pesquisa de uma maneira diferente”.

**Questão 04.** *No final do século XIX, o físico inglês William Thomson Kelvin (Lord Kelvin), assim como alguns outros cientistas da época, acreditava que todo conhecimento científico da Física estava praticamente completo.*

*Em abril de 1900, Lord Kelvin fez um discurso na Royal Society em que afirmava: “Atualmente pairam apenas duas pequeninas nuvens cinzentas sobre o céu cristalino da Física”. Ele se referia à suposta **existência do éter** e às discrepâncias entre os dados experimentais e as teorias clássicas que tinham como objetivo explicar a **emissão de radiação** pela matéria.*

*As pequeninas nuvens imaginadas por Kelvin deram origem a dois gigantescos temporais que proporcionaram grandes mudanças nos rumos da ciência moderna. Um dos temporais foi a **Teoria da Relatividade Restrita**, apresentada em 1905 por **Albert Einstein**, e o outro foi a **Física Quântica**, proposta por **Max Planck** em dezembro de 1900.*

*Escolha a alternativa com que você mais concorda e justifique ao final.*

*Após essas mudanças nos rumos da ciência moderna, podemos dizer que todos os fenômenos*

- a) já foram bem entendidos, logo a ciência já chegou ao seu estágio final.*
- b) não foram ainda bem entendidos, mas a ciência logo chegará ao estágio final.*
- c) não serão bem entendidos, pois a ciência jamais chegará ao seu estágio final.*

*Justifique a sua opinião.*

O objetivo dessa questão foi que o estudante, escolhendo a letra **C**, fizesse as devidas considerações sobre a situação descrita. Essa atitude possibilitaria afirmar-se que houve o entendimento de que a ciência não apresenta verdades absolutas. Nesse caso, esperava-se também uma postura dentro de uma consciência crítica.

Apenas A2 escolheu a alternativa B e justificou dizendo: “Eles não concretizam as afirmativas, porém buscam ramos para estágio final”.

Os demais estudantes escolheram a alternativa C e fizeram os comentários que estão registrados no quadro 14.

**QUADRO 14:** Comentários sobre mudanças nos rumos da ciência moderna.

ALUNO	RESPOSTA
A15	“Acho que a Ciência não chegará ao seu estágio final, pois os anos vão se passando e ela cada vez mas evolui”.
A19	“A Ciência jamais chegará ao seu estágio final, sempre haverá novos experimentos novas descobertas”.
A21	“A cada dia surgem pensamentos e ideias novas, e é propriedade do ser humano o desejo de inovar a cada dia”.
A23	“O mundo é muito complexo. Ainda falta muita coisa a descobrir. Mesmo se todos os segredos forem desvendados, não será em um futuro próximo (duvido muito que aconteça)”.
A25	“Ao passar dos anos, cada dia a ciência vem evoluindo, e surgem pensamentos e ideias”.
A28	“Diante das afirmações, conclui-se que, grandes teorias, foram comprovadas e algumas ainda irá vir a ser comprovada mas a ciência não chegará ao final, pois sempre aparecerá grandes descobertas e a ciência em si trará novidades. Uma requer o conhecimento da outra teoria”.

**Análises das respostas dos alunos**

Para confirmar que a ciência a cada momento busca mais verdades, convém destacar o comentário feito pelo jornalista Carlos Pompe sobre uma pesquisa publicada na revista Nature (08/07/2010) cujo teor é Quantum electrodynamics: A chink in the armour?

**Mesmo quando erra, a ciência busca a verdade.**

A mais recente edição da revista Nature noticia experimentos que colocaram em dúvida alguns dados da eletrodinâmica quântica, teoria que, desde o século passado, explica os fenômenos elétricos, magnéticos e a forma como a luz interage com a matéria. E, ao diagnosticar seu próprio erro, a ciência reafirma sua utilidade como a mais eficaz ferramenta de conhecimento já produzida pela mente humana. Como a definiu Carl Sagan, “é antes um modo de pensar do que propriamente um conjunto de conhecimentos”. (12/07/2010 - 0h02)

Percebe-se que, em sua maioria, os alunos reconhecem que a ciência busca a cada dia mais verdades e por esse motivo nunca chegará a um estágio final. Eles fizeram uma análise cuidadosa baseando-se no que acreditam, demonstrando que houve o desenvolvimento de uma “consciência crítica” (DEWEY, 2007 *apud* POVEDA, p.56).

Fazendo uso da epistemologia kuhniana, pode-se interpretar que os alunos vivenciaram uma transição para um novo paradigma, ou seja, ocorreu uma revolução científica, conforme foi estudado no capítulo 2.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pergunta central da pesquisa foi: É possível inserir Física Quântica no ensino médio utilizando o efeito fotoelétrico e sua história como recurso didático à luz da epistemologia de Thomas Kuhn? Além de responder a essa questão, o pesquisador também buscou investigar acerca das condições para promover entre os alunos uma consciência crítica sobre a natureza da ciência.

Como a intervenção didática foi fundamentada na epistemologia de Thomas Kuhn, utilizando-se as estratégias instrucionais de considerar o “aluno como um cientista em uma revolução” e “o aluno como um cientista normal” (ZYLBERSZTAJN, 1991), procurou-se, no primeiro momento, conhecer as concepções prévias dos alunos sobre alguns tópicos de Óptica Ondulatória e os avanços científico-tecnológicos.

Ao analisarem-se os resultados obtidos no questionário de sondagem, percebeu-se que os alunos tinham poucos conhecimentos sobre Óptica Ondulatória, efeito fotoelétrico e conseqüentemente dos avanços científico-tecnológicos. Também foram detectados alguns obstáculos epistemológicos que, segundo Bachelard, podem tornar-se obstáculos pedagógicos. A realidade observada a partir do questionário de sondagem sugeriu que se ministrasse um minicurso utilizando-se estratégias para superar as dificuldades encontradas.

A utilização da história possibilitou debates sobre o contexto histórico da época e a “revolução” proporcionada pela Teoria Quântica. Isso permitiu que o aluno entendesse que a Ciência tende a “buscar mais verdade” e que nem sempre as descobertas favorecem a sociedade. Essa estratégia serviu para despertar a consciência crítica do aluno sobre a natureza da ciência. Esse “novo olhar” sobre a natureza da ciência ajudou a promover uma mudança de paradigma.

Saber se o fenômeno do efeito fotoelétrico estava bem fundamentado no período das primeiras observações, a partir da análise do contexto científico da época, de que período e em que condições a aceitação no mundo científico ocorreu, foi essencial para o entendimento da proposta desta pesquisa por parte dos alunos.

Outra estratégia utilizada para a mudança de paradigma foi a utilização de alguns *softwares* disponíveis na internet do tipo *bancada virtual*, os quais possibilitaram vários experimentos virtuais e debates entre os alunos e o pesquisador. O uso dos *softwares* permitiu que os alunos entendessem com mais facilidade a natureza dual da luz, o conceito de fóton e a diferença entre um fenômeno clássico e um fenômeno quântico.

O estudo do efeito fotoelétrico tornou-se mais compreensível para os alunos com a utilização dos *softwares* “El efecto fotoeléctrico” e “Efeito fotoelétrico”. As atividades virtuais realizadas nesses *softwares* permitiram que os alunos testassem e comprovassem as hipóteses vivenciadas na exposição teórica. Algumas aplicações práticas do efeito fotoelétrico também foram testadas utilizando o *software* “A Física e o Cotidiano”, a partir do qual os alunos puderam fazer diversas montagens virtuais.

Após a intervenção didática, foi observado, através da análise do pós-teste, o qual corresponde ao estágio de articulação conceitual (ZYLBERSZTAJN, 1991), que os alunos passaram a entender a diferença entre um fenômeno clássico e um fenômeno quântico, a quantização da energia e conseqüentemente o fenômeno do efeito fotoelétrico. Eles puderam compreender a importância da física quântica nos avanços das ciências e tecnologias, e a natureza da ciência. De um modo geral, ocorreu um despertar da consciência crítica a respeito da importância da ciência no desenvolvimento da sociedade.

As mudanças de atitudes dos alunos sobre os temas abordados e debatidos permitem dizer-se que possivelmente alguns obstáculos epistemológicos identificados antes da intervenção didática tenham sido superados, o que irá favorecer um melhor aproveitamento no processo ensinoaprendizagem.

Os resultados obtidos com as estratégias utilizadas nesta pesquisa – a via histórica e a abordagem experimental, as quais favoreceram a mudança de paradigma – permitem afirmar que é possível a inserção da Física Quântica no ensino médio.

## REFERÊNCIAS

- ALVES-MAZZOTTI, Alda Judith; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa**. São Paulo: Editora Pioneira. 2000.
- ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, P. **Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica**. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. v.04, n. 01, 2007
- BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto editora Ltda, 2008.
- BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. **Tópicos de Física**. v.3, 17. ed. São Paulo: Editora Saraiva. 2007
- BRASIL. Ministério de Educação. **Parâmetros curriculares nacionais do ensino médio**. Brasília, MEC. 2000.
- BRASIL. Ministério de Educação. **Orientações curriculares para o ensino médio**. Brasília, MEC. 2008.
- BROCKINGTON, G; PIETROCOLA, M. **O ensino de física moderna necessita ser real?** In. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0100-1.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2012.
- CANTO, Eduardo Leite do. PERUZZO, Francisco Miragaia. **Química na abordagem do cotidiano**. v.1. São Paulo: Editora Moderna. 2. ed., 1998
- \_\_\_\_\_. **Química na abordagem do cotidiano**. v.2, São Paulo: Editora Moderna. 2. ed., 1998.
- CARVALHO, Anna M. Pessoa de. **Física: proposta para um ensino construtivista**. São Paulo: E.P.U., 1989
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Física Moderna – Experimental**. São Paulo: Editora Manole. 2. ed. 1ª reimpressão, 2010
- \_\_\_\_\_. **Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio**. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis v.18, n.3, 2001.
- CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto. **Física Moderna – Experimental e Aplicada**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2004
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, J. André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências : fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez Editora, 2002.
- EINSTEIN, Albert. **Escritos da maturidade**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 5ª impressão, 2003.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 29ª reimpressão, 1979.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da esperança**. São Paulo: Editora Paz e Terra, 1994.

\_\_\_\_\_**Educação e Mudança**. 4. ed. São Paulo: Editora Paz e Terra, 1981.

FREIRE Jr., O. ; CARVALHO Neto, R. A. **O universo dos quanta**. São Paulo: Editora FTD S.A., 1997.

GAMOW, George. **Biografia da Física**. Rio de Janeiro: Zahar Editores. 1963.

GASPAR, Alberto. **Física – Mecânica**. v.1, 2. ed. São Paulo: Editora Ática. 2009.

\_\_\_\_\_**Física – Eletromagnetismo e Física Moderna**. v.3, 2.ed. São Paulo: Editora Ática. 2009.

GUAYDIER, Pierre. **História da Física**. Lisboa: Edições 70, 1984.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. **Uma Revisão da Literatura sobre Estudos Relativos ao Ensino da Mecânica Quântica Introdutória**. Investigações em Ensino de Ciências. v.6, Porto Alegre, 2001.

HALLIDAY, David. RESNICK, Robert. WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. v.4, 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1995.

HEISENBERG, Werner. **Física e Filosofia**. 3. ed. Brasília: Editora UNB, 1995.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora. 2002.

JÚNIOR, Dulcídio Braz. **Física Moderna – Tópicos para o ensino médio**. São Paulo: Editora Companhia da Escola. 2002.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva. 2007.

KUHN, Thomas S. **A Tensão Essencial**. Lisboa/Portugal: Edições 70, Ltda. 2009.

KUHN, Thomas S. **Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity**. Chicago & London. University of Chicago press. Edition 1987.

LOBATO, T.; GRECA I. M. **Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de física do ensino médio**. Ciência & Educação. São Paulo, v.11, n.1, 2005.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. **História da Ciência : Objetos, Métodos e Problemas**. Ciência & Educação. São Paulo, v.11, n.2, 2005.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. **Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo. v.24, n.2. 2002.

MONTANARI, Valdir; CUNHA, Paulo. **Nas Ondas da Luz**. São Paulo: Editora Moderna,1995

MCCOMAS, William F. **Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science**. School Science and Mathematics, jan.96(1). Disponível em: <http://speck-8.wikispaces.com/file/view/Ten+Myths+paper.pdf> Acesso em: 06 jan. 2012.

NUSSENZVEIG, H. Moisés. **Curso de Física Básica**. v.4, 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA. 2002.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 2. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2008.

OLIVEIRA, Marta Kohl de. **VYGOTSKY: Aprendizado e desenvolvimento – um processo sócio histórico**. São Paulo: Editora Scipione, 1993.

OSTERMANN, Fernanda. **A Epistemologia de Kuhn**. Caderno catarinense de ensino de física, v.13, Florianópolis,1996.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no ensino médio”**. Investigações em Ensino de Ciências. v.5(1), Porto Alegre, 2000.

PEREIRA, A.P.; OSTERMANN F. **Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente**. Investigações em Ensino de Ciências. v.14(3), Porto Alegre, 2009.

PESSOA Jr, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica**. v.1, 3. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

PINTO, A. Custódio; ZANETIC, João. **É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio?** Caderno catarinense de ensino de física, v.16, n.1 Florianópolis, 1999.

POMPE, Carlos, **Mesmo quando erra, a ciência busca a verdade**. Disponível em [http://www.vermelho.org.br/coluna.php?id\\_coluna\\_texto=3364&id\\_coluna=2](http://www.vermelho.org.br/coluna.php?id_coluna_texto=3364&id_coluna=2) Acesso em: 28 jan.12.

POVEDA, Ignacio Laiton. **¿Es posible desarrollar el pensamiento crítico através de La resolucion de problemas en física mecánica?** Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. v.08, n. 01, 2011.

RAMALHO Junior, Francisco; FERRARO, Nicolau G.; SOARES, Paulo A. T. **Os fundamentos da Física**. v.3, 9. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2007.

RAMOS, Maurivan Güntzel. Epistemologia e Ensino de Ciências: Compreensões e Perspectivas. In: MORAES, Roque. **Construtivismo e Ensino de Ciências : reflexões epistemológicas e metodológicas**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003.

SERWAY, Raymond A. **Física 3 – Eletricidade, Magnetismo e Ótica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1996.

STUDART, Nelson. **A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.22, n.4. 2000.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN Ralph A. **Física moderna**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2001.

VALADARES, E. C. ; MOREIRA, A. M. **Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno catarinense de ensino de física, v.15, n.2, Florianópolis, 1998.

ZYLBERSZTAJN, Arden. Revoluções científicas e Ciência Normal na sala de aula. In: MOREIRA, M.A.; AXT, R. **Tópicos em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

## APÊNDICES

### Apêndice A: Modelo do Questionário de Sondagem

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE**

**Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PRPPG**

**Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGEC**



**ESCOLA DE REFERÊNCIA EM ENSINO MÉDIO DE IPOJUCA**

**NOME:** .....

**IDADE:** .....

**SÉRIE:** .....

### QUESTIONÁRIO DE SONDAAGEM

**01.** A natureza da luz sempre despertou interesse desde a Antiguidade até os dias atuais, acompanhando assim o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

Alguns séculos antes de Cristo, os filósofos se dividiam em duas linhas de pensamento. O filósofo e matemático Pitágoras (século VI a.C.) apoiava uma corrente que considerava que um objeto é visto porque ele “espirra” um grande número de partículas. Essa teoria foi chamada de teoria corpuscular pitagórica da luz. Um outro grupo, liderado pelo filósofo Aristóteles (384 – 322 a.C.), defendia a ideia de que a luz é constituída por ondas, conseqüentemente pode se propagar pelos meios, tais como as ondas se propagam na superfície da água.

Atualmente, qual é a concepção sobre a natureza da luz?

- a) Natureza corpuscular.
- b) Natureza ondulatória.

- c) Natureza “dual”, ou seja, às vezes se comporta como onda e, às vezes, como partícula.
- d) Natureza “dual”, sempre se comporta como partícula.
- e) Natureza “dual”, sempre se comporta como onda.

#### JUSTIFIQUE A SUA RESPOSTA

**02.** O físico inglês William Thomson Kelvin (Lord Kelvin), assim como alguns outros cientistas da época, acreditava que todo conhecimento científico da Física estava praticamente completo. Em abril de 1900, ele fez um discurso na Royal Society em que afirmava: “Atualmente pairam apenas duas pequeninas nuvens cinzentas sobre o céu cristalino da Física”. Ele se referia à suposta **existência do éter** e às discrepâncias entre os dados experimentais e as teorias clássicas que tinham como objetivo explicar a **emissão de radiação** pela matéria.

As pequeninas nuvens imaginadas por Kelvin deram origem a dois gigantescos temporais que proporcionaram grandes mudanças nos rumos da ciência moderna. Um dos temporais foi a **Teoria da Relatividade Restrita** apresentada em 1905 por **Albert Einstein** e o outro foi a **Física Quântica** proposta por **Max Planck** em dezembro de 1900.

Você sabe o que é **Física Quântica**?

( ) Sim

( ) Não

Em caso afirmativo, escreva o que você entende sobre Física Quântica.

**03.** O físico alemão, Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887), foi um dos pioneiros a se preocupar com a emissão térmica de um corpo aquecido e criou o conceito de corpo negro. No final do século XIX, uma das grandes preocupações dos cientistas era explicar a radiação do corpo negro, pois na prática os sólidos aquecidos emitem um espectro muito parecido com o espectro do **corpo negro**.

Tendo como objetivo explicar a radiação do corpo negro, o físico alemão Max Planck, baseando-se nos resultados empíricos existentes, como a lei de Stefan-Boltzmann, de 1884, e a lei de Wien, de 1894, formulou um postulado no qual considerava a quantização da radiação eletromagnética. Esse postulado contrariava todo o conhecimento da física clássica da época e o próprio Planck considerava-o como um ato de desespero para resolver o problema da radiação térmica.

O que você sabe sobre **corpo negro**?

Dê um exemplo de corpo negro.

O que significa o termo **quantização** aplicado à radiação eletromagnética?

**04.** No dia 11 de março de 2011, às 14h46min (horário do Japão), ocorreu um choque entre a placa do Pacífico e a placa Norte-Americana, ambas situadas a aproximadamente 24 km abaixo do solo marítimo. Essa colisão proporcionou um tremor de 8,9 pontos na escala Richter. Por ser uma escala logarítmica, a magnitude aumenta de 33 vezes de um ponto da escala para o outro, logo uma diferença de 0,5 ponto equivale à energia liberada por 58 500 bombas das que foram lançadas em Hiroshima no ano de 1945. No tremor de 8,9 na referida escala, tem-se uma energia liberada correspondente a 108 400 bombas.

O movimento das placas proporcionou um tsunami de grandes proporções que atingiu o litoral japonês, situado a 130 km de distância do local do epicentro.

Uma das duas usinas nucleares próxima à cidade de Fukushima, no Japão, teve os seus reatores danificados, provocando no mundo o temor da radiação que vazava dos mesmos e, conseqüentemente, fazendo com que muitos países voltem a debater se essa fonte de energia é realmente segura.

Uma das maneiras de descobrir se uma pessoa está contaminada pela radiação é utilizando o Contador Geiger e o Detector de Cintilação.

**a) Contador Geiger**

O aparelho contém uma câmara interna com um gás que reage às partículas radioativas. Percebe radiações dos tipos alfa e beta e átomos como os de césio 137 e iodo 131 (VEJA, 2011, p.90).

**b) Detector de cintilação**

No sensor há um cristal cujos átomos se agitam na presença de ondas eletromagnéticas, identificando a existência de raios gama. (VEJA, 2011, p.90)

Responda:

Você já ouviu falar em ondas eletromagnéticas?

( ) Sim

( ) Não

Em caso afirmativo, escreva o que você entende sobre ondas eletromagnéticas.

Ao interagir com o detector, as ondas eletromagnéticas se comportam como onda ou como partícula?

**05.** O tsunami que atingiu o litoral japonês no dia 11 de março de 2011 chamou atenção pelo seu poder de destruição. Um tsunami é uma onda que se forma no oceano, geralmente criada por abalos sísmicos, atividades vulcânicas ou pela queda de meteoritos. Esse foi criado pelo deslocamento de placas tectônicas, a placa do Pacífico chocando-se contra a placa Norte-Americana. Após 5min da colisão entre as referidas placas, o litoral japonês, situado a 130 km do local do epicentro, foi atingido por ondas de até 10 m de altura.

Essa onda à qual nos referimos no texto acima é uma onda mecânica ou uma onda eletromagnética?

Existe diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética?

( ) Sim

( ) Não

Em caso afirmativo, descreva a diferença existente.

## 06. EFEITO FOTOELÉTRICO

Constata-se que a primeira observação relacionada ao efeito fotoelétrico seja creditada ao físico russo Alexander Stoletov (1839 – 1896), em 1872.

É válido ressaltar que a verificação mais consistente do efeito fotoelétrico ocorreu quando Heinrich Hertz, em 1887, procurava comprovar a teoria de Maxwell.

Baseando-se na quantização da energia introduzida por Max Planck, Albert Einstein publicou um artigo, em 1905, no periódico **Annalen der Physik**, intitulado “Ponto de Vista Heurístico acerca da Produção e Transformação da Luz”, no qual explicava o efeito fotoelétrico. Em 1921, esse trabalho deu ao cientista alemão o Prêmio Nobel de Física.

Você já ouviu falar em Efeito Fotoelétrico?

( ) Sim

( ) Não

Em caso afirmativo, escreva o que você sabe sobre Efeito Fotoelétrico.

---

07. O texto abaixo foi extraído do livro: FÍSICA MODERNA – Tópicos para o Ensino Médio.

### A FÍSICA NO MUNDO DO TRABALHO

O CCD (Charge-Coupled Device ou dispositivo de carga acoplada) é um aparelho detector de luz muito sensível. Ele é um *chip* quadrado formado por uma matriz de sensores fotoelétricos, feitos de material semicondutor, distribuídos em linhas e colunas.

Em qualquer imagem digital, cada um dos pontos da matriz é chamado de pixel. Assim, cada sensor do CCD dará origem a um pixel da imagem digital final. Por isso

é bastante comum nos referirmos a cada sensor fotoelétrico do sistema como um pixel.

A partir de agora, com todo o domínio tecnológico da microeletrônica e do efeito fotoelétrico, cada vez mais os profissionais que precisam de alguma forma capturar e registrar fótons vão utilizar aparelhos dotados de CCD (Júnior, 2002, p.46).

Você sabe o que são fótons?

( ) Sim

( ) Não

Justifique a sua resposta

---

Com que velocidade um fóton se propaga no vácuo?

**08.** Dona Amara levou o seu neto ao *Shopping Center* para que o mesmo realizasse uma pesquisa escolar sobre as novidades tecnológicas e seus benefícios no dia-a-dia das pessoas.

A avó orientou o neto de que deveria observar situações que julgasse relevantes e fizesse as devidas anotações.

No final a lista de anotações ficou assim:

- a) A porta do *shopping* abriu automaticamente com a aproximação deles.
- b) Na toalete, ele percebeu que, após utilizar o mictório, o mesmo disparou automaticamente um jato d'água para retirar a urina do recipiente.
- c) Ainda na toalete, aproximou as suas mãos do secador e o mesmo começou a funcionar automaticamente.
- d) Na vitrine de uma loja, um anúncio informava: "**Calculadoras e relógios que funcionam com energia solar**".
- e) Ao entrar no "provador" de roupas de uma loja, as lâmpadas que se encontravam apagadas acenderam automaticamente.

Ao chegar a casa, Antônio pediu a sua avó que explicasse o princípio de funcionamento do que foi anotado por ele durante a visita ao *Shopping*.

Como você daria tal explicação?

### **Apêndice B: Modelo do Pós-Teste**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE**

**Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PRPPG**

**Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – PPGEC**



**ESCOLA DE REFERÊNCIA EM ENSINO MÉDIO DE IPOJUCA**

**NOME:** .....

**IDADE:** .....

**SÉRIE:** .....

#### **PÓS – TESTE**

**01.** O físico escocês James Clerk Maxwell propôs a teoria eletromagnética a qual considera a luz como uma onda eletromagnética.

Na Física Quântica a luz apresenta um comportamento dual, ou seja,

- a) onda-onda.
- b) partícula-partícula.
- c) onda-partícula.
- d) elétron-partícula.

**02.** O texto abaixo foi extraído da revista SCIENTIFIC AMERICAN – Brasil.

### **A Promessa da PLASMÔNICA: Terapia plasmônica contra o câncer**

Pesquisadores descobriram que podem inserir sinais ópticos em fios minúsculos, usando luz para produzir ondas de densidade de elétrons chamadas plásmons.

Um tratamento proposto contra o câncer empregaria efeitos plasmônicos para destruir tumores. Os médicos injetariam nanocápsulas – partículas de silício de 100 nanômetros de diâmetro com uma camada externa de ouro – na corrente sanguínea. Elas se alojariam num tumor em rápido crescimento. Se um laser de infravermelho próximo fosse apontado para aquela área, ele atravessaria a pele e induziria oscilações ressonantes de elétrons no interior das nanocápsulas, aquecendo e matando as células do tumor sem ferir o tecido saudável ao redor (**Scientific American – Brasil**, 2007, p.58).

Com base no texto, escolha a alternativa com que você mais concorda:

- a) Os cientistas sempre buscam novas tecnologias para favorecer a sociedade.
- b) Os cientistas sempre buscam novas tecnologias para favorecer a ciência
- c) Os cientistas sempre buscam novas tecnologias para favorecer a economia.

Justifique a sua resposta

**03.** O texto abaixo foi extraído da revista SCIENTIFIC AMERICAN – Brasil.

### **Contando Fótons de Luz: Como os fótons são Captados**

Contar os fótons por unidade é o que fazem os detectores de câmaras de vídeo e as máquinas fotográficas digitais – os CCDs (*charge coupling device*). O detector CCD é formado por uma matriz de detectores elementares de algumas dezenas de micrometros quadrados cada um – os fotodiodos. Cada um deles é formado por uma junção de materiais semicondutores, análoga à dos LEDs; mas nesse caso produzindo um efeito contrário ao do LED: cada fóton incidente extrai um elétron de um dos materiais da junção. O elétron liberado atravessa a junção e é coletado por um pequeno condensador elétrico ligado a cada fotodiodo (**Scientific American – Brasil**, 2006, p.14-15 )

Responda:

1. O que são fótons?

2. Qual das expressões abaixo permite calcular a energia de um fóton?

a)  $E = m.c^2$

b)  $E = h.f$

c)  $E = m.a$

d)  $E = h.c$

**04.** No final do século XIX, o físico inglês William Thomson Kelvin (Lord Kelvin), assim como alguns outros cientistas da época, acreditava que todo conhecimento científico da Física estava praticamente completo.

Em abril de 1900, Lord Kelvin fez um discurso na Royal Society em que afirmava: “Atualmente pairam apenas duas pequeninas nuvens cinzentas sobre o céu cristalino da Física”. Ele se referia à suposta **existência do éter** e às discrepâncias entre os dados experimentais e as teorias clássicas que tinham como objetivo explicar a **emissão de radiação** pela matéria.

As pequeninas nuvens imaginadas por Kelvin deram origem a dois gigantes temporais que proporcionaram grandes mudanças nos rumos da ciência moderna. Um dos temporais foi a **Teoria da Relatividade Restrita**, apresentada em 1905 por **Albert Einstein**, e o outro foi a **Física Quântica**, proposta por **Max Planck** em dezembro de 1900.

Escolha a alternativa com que você mais concorda e justifique ao final.

Após essas mudanças nos rumos da ciência moderna, podemos dizer que todos os fenômenos

a) já foram bem entendidos, logo a ciência já chegou ao seu estágio final.

b) não foram ainda bem entendidos, mas a ciência logo chegará ao estágio final.

c) não serão bem entendidos, pois a ciência jamais chegará ao seu estágio final.

Justifique a sua opinião.



**Apêndice C: Referências utilizadas no Questionário de Sondagem e no Pós-Teste**

ATWATER, Harry A. A Promessa da Plasmônica. **Scientific American-Brasil**, 60. p. 54-59, 2007.

COURTY, Jean-Michel; TREPS, Nicolas. Contando Fótons de Luz. **Scientific American-Brasil**, 29. p. 14-15, 2006.

GASPAR, Alberto. **Física – Eletromagnetismo e Física Moderna**. v.3, 1. ed. São Paulo: Editora Ática. 2000.

JÚNIOR, Dulcídio Braz. **Física Moderna – Tópicos para o ensino médio**. São Paulo: Editora Companhia da Escola. 2002.

MONTANARI, Valdir; CUNHA, Paulo. **Nas Ondas da Luz**. São Paulo: Editora Moderna, 1995

RAMALHO, Jr. F. ; FERRARO, N.G.; SOARES, P.A.T. **Os fundamentos da Física**. v.3, 9. ed. São São Paulo: Editora Moderna, 2003.

O alcance da tragédia. **Revista VEJA**. São Paulo: Editora Abril, 16/03/2011.

O medo de volta 66 anos depois. **Revista VEJA**. São Paulo: Editora Abril, 23/03/2011.

## Apêndice D: Plano de aulas

**PRIMEIRA ETAPA:** Elevação do nível de consciência conceitual

**Primeira aula:** Questionário de Sondagem

Duração: **90 minutos**

Objetivo: Auxiliar os alunos a expressarem suas concepções alternativas e a explicarem as suas “ideias” a respeito de situações do cotidiano e de fatos históricos da Física.

Essa etapa já foi descrita ao ser apresentado o instrumento de coleta de dados.

**SEGUNDA ETAPA:** Introdução de anomalias

Objetivo: Proporcionar desconforto e insatisfação nos alunos diante das suas concepções alternativas.

Após analisar o Questionário de Sondagem, o pesquisador percebeu a necessidade de abordar conteúdos de ondulatória, acontecimentos históricos e experimentos com *softwares*, para que os estudantes pudessem entender alguns fenômenos clássicos e posteriormente fenômenos quânticos, proporcionando, assim, conforme a proposta de Arden Zylbersztajn, “desconforto e insatisfação” nas suas concepções alternativas.

**Segunda aula:** Ondulatória

Duração: 90 minutos

Para motivar a participação durante a aula, procurou-se mostrar que se vive imerso nas ondas. Foram analisadas várias situações do cotidiano, como a conexão à internet utilizando o modo *wireless* e o funcionamento dos celulares. Em seguida, foi exibido o vídeo “efeito dominó na sinuca” (Apêndice E), o qual mostra a propagação de energia entre bolas de bilhar e pedras de dominó, ilustrando o que é uma onda. A partir dessa apresentação, foram explicados o conceito de onda, tipos e natureza

das ondas. Foram analisados os elementos de uma onda periódica e a equação fundamental da onda.

### Atividades virtuais

Comentou-se sobre a faixa de frequências das ondas audíveis por um ser humano e, utilizando-se o *software The original teenbuzz – mosquito ringtone* (figura 05), foram desenvolvidas atividades práticas as quais mostraram o limite da audição de acordo com a idade. Para utilizar o *software* basta clicar no toque correspondente à idade analisada e obtém-se um som com a frequência descrita. Essa atividade experimental despertou bastante curiosidade entre os estudantes, pois muitos não conheciam os limites da audição humana, tampouco que os mesmos eram alterados com o aumento da idade. No final da aula, muitos gravaram nos celulares os toques desejados.

**Figura 05:** The original teenbuzz – mosquito ringtone

Frequência	Grupo etário	Toques
8 kHz	Todos	   
10 kHz	60 anos e abaixo	   
12 kHz	50 anos e abaixo	   
14 kHz	45 anos e abaixo	   
15 kHz	40 anos e abaixo	   
16 kHz	24 anos e abaixo	   
17 kHz	24 anos e abaixo	   
17,4 kHz	24 anos e abaixo	   
18 kHz	24 anos e abaixo	   
19 kHz	24 anos e abaixo	   
20 kHz	24 anos e abaixo	   
21 kHz	24 anos e abaixo	   
22 kHz	24 anos e abaixo	   

Fonte: [www.teenbuzz.org/pt/](http://www.teenbuzz.org/pt/)

## Terceira aula: Princípio de Huygens

### PRIMEIRA PARTE

Duração: 35 minutos

Foram desenvolvidas atividades experimentais e teóricas referentes à aula anterior. As atividades teóricas exploraram a parte conceitual estudada, enquanto que as atividades experimentais consistiram em utilizar a mola *slink* (figura 06) para produzir ondas transversais e longitudinais e verificar a relação entre o comprimento de onda e a frequência.

Figura 06: mola slink utilizada para produzir ondas e verificar reflexões

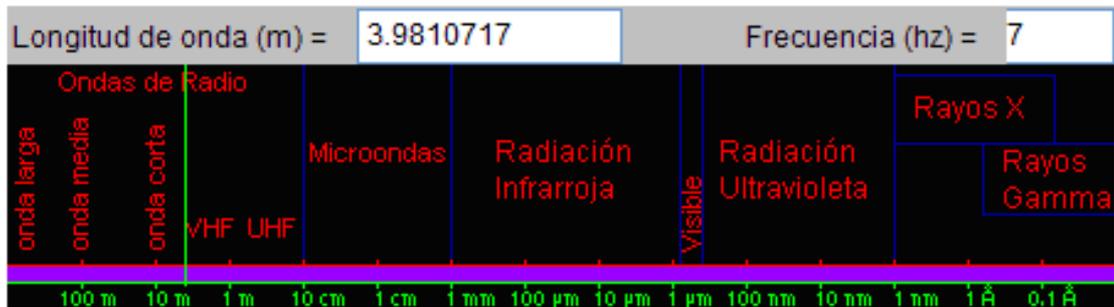


Fonte: Autoria própria

### Atividades virtuais

No laboratório de informática, os estudantes, de posse de um roteiro de atividades, utilizaram o *software A luz como onda*, o qual apresenta uma parte do espectro eletromagnético (figura 07). Para utilizá-lo, basta arrastar o cursor (verde) para a direita ou para a esquerda, o que possibilita conhecer o comprimento de onda e a frequência da radiação a ser analisada.

**Fig. 07:** Espectro eletromagnético utilizado para entender as características das radiações



Fonte: <http://www.educaplus.org/luz/lcomoonda.html>

A partir das atividades virtuais, os estudantes conheceram os valores das frequências das radiações visíveis e o comprimento de onda correspondente, e puderam concluir que o espectro da luz visível pelo ser humano é muito pequeno. Fizeram comparações entre as características das radiações visíveis com as demais radiações.

## SEGUNDA PARTE

Duração: 35 minutos

A explicação do Princípio de Huygens foi antecedida pelo conceito de frente de onda e a apresentação de um vídeo mostrando a perturbação sofrida pela superfície da água de um lago quando atingida por uma gota d'água. Foi feita uma explanação sobre o contexto histórico da época, comentando-se inclusive sobre quem foi Christian Huygens e que esse princípio é válido para qualquer tipo de onda.

### Quarta aula: Difração

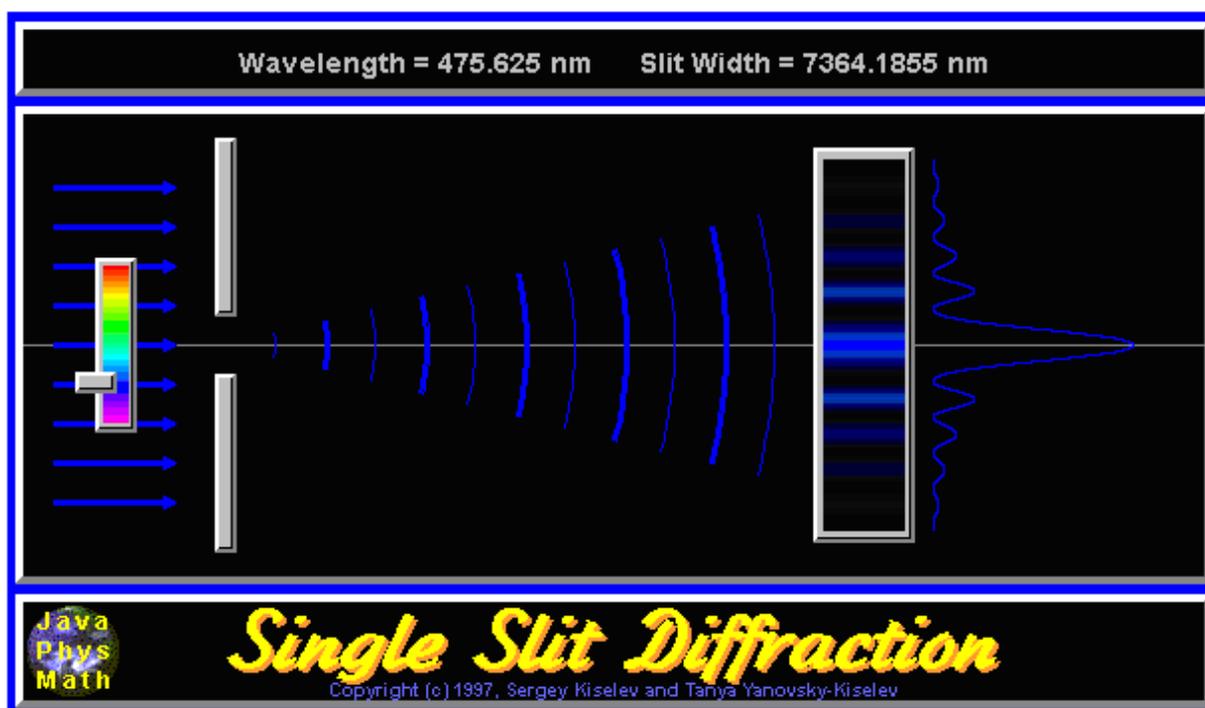
Duração: 60 minutos

Antes de apresentar a parte teórica sobre o fenômeno da difração, o pesquisador mostrou aos estudantes várias situações do cotidiano em que ocorre difração com as ondas sonoras, as ondas luminosas e as ondas formadas na água.

### Atividades virtuais

Utilizando o *software* para “Diffrazione da una fenditura” (figura 08), os estudantes observaram as difrações sofridas pelas “cores” que compõem o espectro visível. O *software* permite alterar a “cor” (frequência) a ser analisada, observar o comprimento de onda da cor que está sendo analisada e alterar a abertura da fenda.

**Fig. 08:** Diffrazione da una fenditura



Fonte: <http://www.scienzagiovane.unibo.it/scienziati/diffrazione/applet.html>

Os estudantes puderam observar o que ocorria com a difração quando, usando a mesma cor, alteravam apenas a abertura da fenda, como também descobriram qual a cor que sofre maior difração ao atravessar a mesma fenda. No final dos experimentos, eles puderam escrever as próprias justificativas sobre difração, como, por exemplo, que foi mais acentuada quando a abertura da fenda era menor.

## **Quinta aula: Interferência**

Duração: 90 minutos

Utilizou-se uma mola *slink* para analisar as características da reflexão de ondas em duas situações distintas: 1) Em extremidade livre; 2) Em extremidade fixa. Foram explicados o princípio da superposição de ondas e as características de uma interferência construtiva e de uma interferência destrutiva.

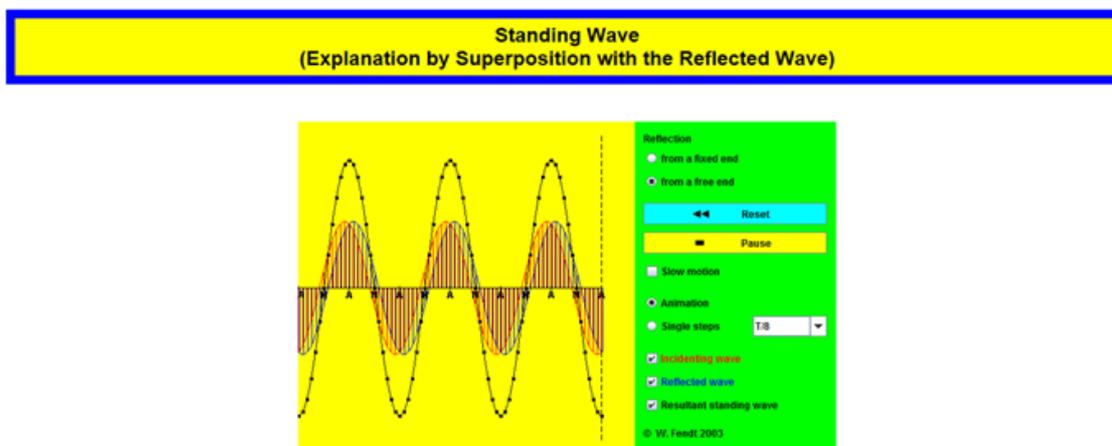
Para motivá-los, o pesquisador apresentou algumas aplicações práticas e elaborou uma atividade envolvendo o fone de ouvido *Bose Quiet comfort 15*, cujo fabricante explica que, “graças a avançados sensores eletrônicos, na verdade pequenos microfones externos, que captam as frequências de som externas e enviam um sinal de frequência inversa para dentro dos headphones, [faz-se] que o ruído seja anulado” (Apêndice E).

### **Atividades virtuais**

Num primeiro momento, foram utilizados todos os recursos disponíveis no *software standing wave* (figura 09) e em seguida o *software Ripple Tank Apple v1.7e* (figura 10).

Para utilizar o *software standing wave*, clica-se na opção desejada, podendo-se alterar o período da onda, a sua velocidade de propagação, observar-se a vibração de cada ponto da corda e “congelar-se” o movimento no instante desejado. Ao simularem a propagação de pulsos de onda onde ocorria inversão do sentido da propagação, os alunos observaram que, no instante do encontro, ocorria a superposição. Eles verificaram também que, quando a superposição ocorria em fase, a interferência era construtiva e, quando em oposição de fase, a interferência era destrutiva. Comprovaram que, após a superposição, os pulsos continuavam a propagação com as mesmas características de antes, o que é justificado pelo princípio da independência.

**Fig. 09:** *Standing wave* possibilita estudar interferência de ondas.

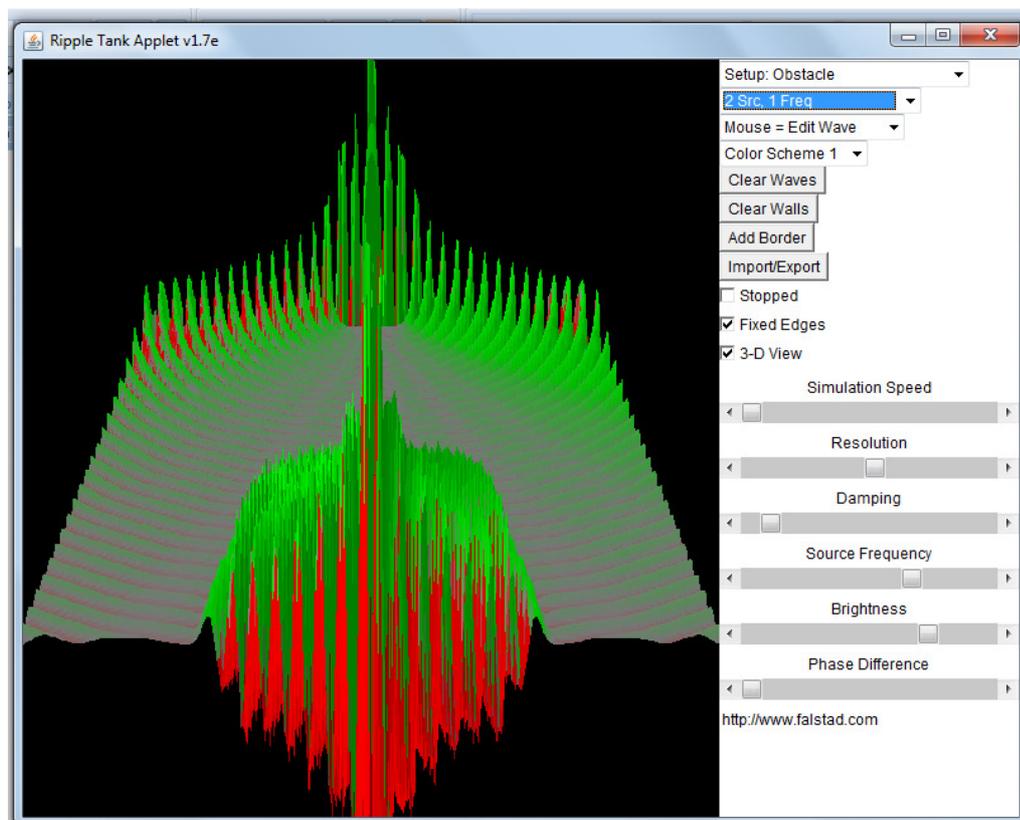


Fonte: <http://www.walter-fendt.de/ph14e/stwaveref1.htm>

Após perceber-se que os estudantes estavam aptos a enfrentar novos desafios, foi feita a apresentação de alguns recursos disponíveis no *software Ripple Tank Apple v1.7e*, o qual permite simular vários experimentos num tanque de ondas.

A cada momento eram apresentados novos desafios aos alunos para que os mesmos procurassem se comportar como um cientista kuhniano.

**Fig. 10:** *Software Ripple Tank Apple v1.7e* – foi utilizado no estudo de difração e interferência



Fonte: <http://www.falstad.com/ripple/index.html>

Utilizando o roteiro distribuído durante a aula, os alunos fizeram vários experimentos com difração e interferência, explorando muitos dos recursos disponíveis nesse software.

### **Sexta aula:** Experiência de Young

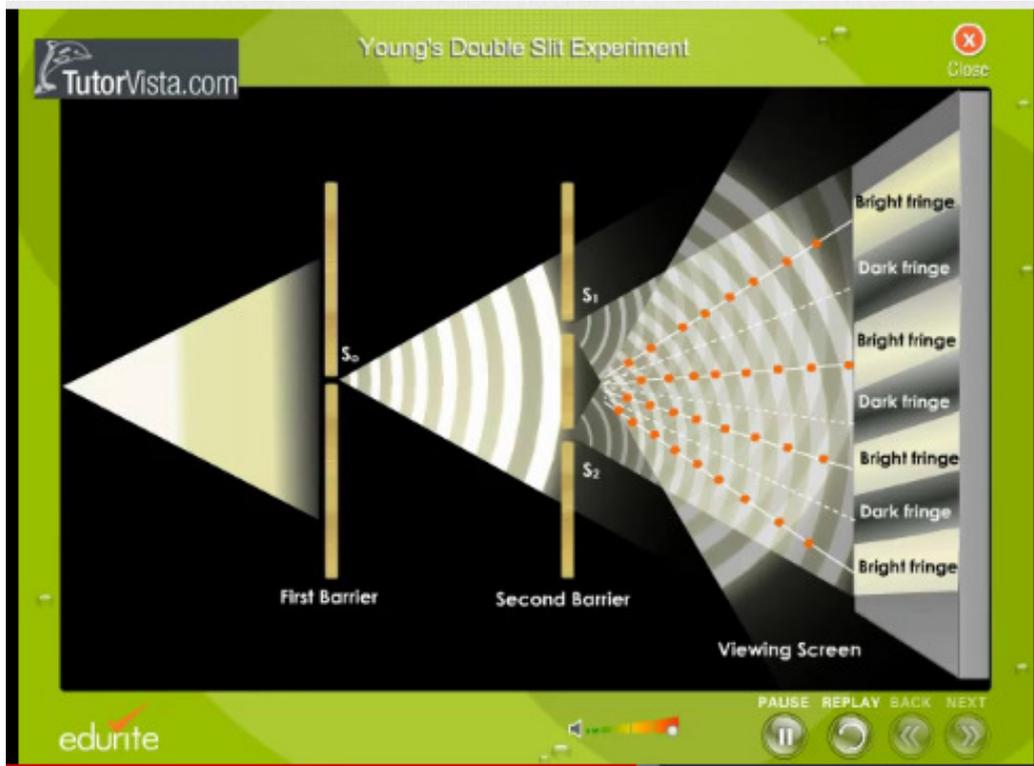
Duração: 70 minutos

Inicialmente, falou-se sobre Thomas Young e o contexto histórico da época, buscando-se promover um debate sobre a importância do seu experimento para comprovar que a luz era uma onda. Através do experimento, mostrou-se que a luz sofreu difração e interferência, fenômenos ondulatórios. Com isso comprovou-se a teoria ondulatória defendida por Christian Huygens.

Utilizando-se o *Datashow*, foi exibido o esquema do experimento de Young (figura 11), em que foram dadas as explicações necessárias para o seu entendimento e

justificado por que ele utilizou uma fonte monocromática. Para que os estudantes tivessem uma melhor compreensão do experimento, foi exibido o vídeo *Young's Double Slit Experiment* (figura 11).

**Fig. 11:** Experimento de Young comprovando que a luz é uma onda



Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=9UkkKM1IkKg&feature=related>

### **TERCEIRA ETAPA:** Apresentação da nova teoria

Objetivo: Convencer os alunos a aceitarem o novo paradigma.

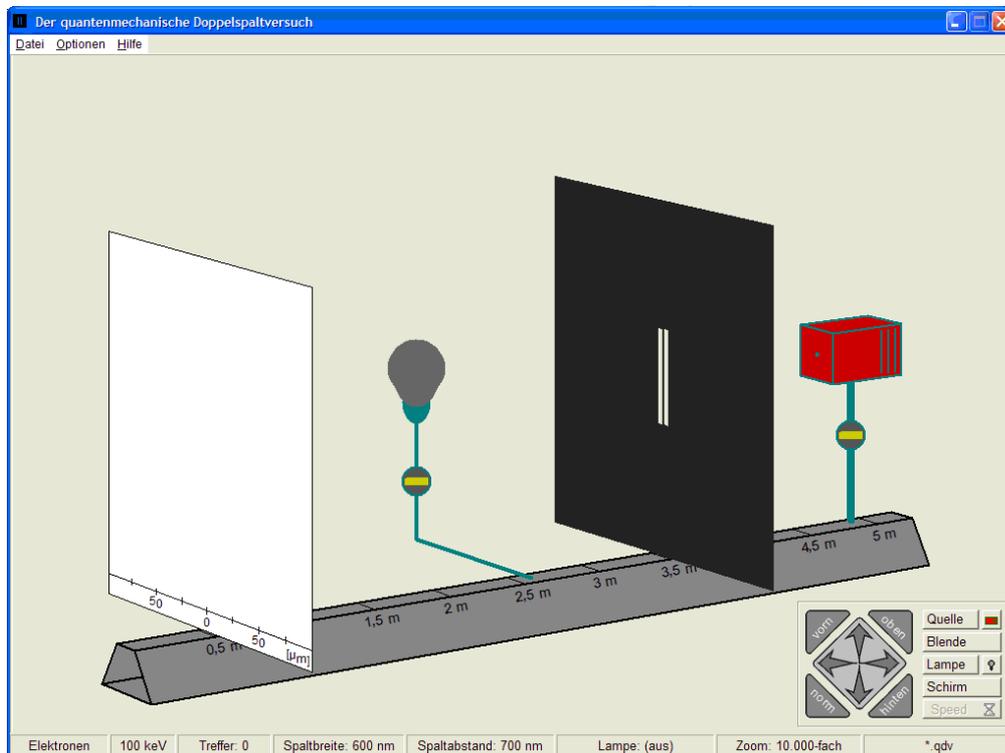
Os debates promovidos sobre objetos clássicos, objetos quânticos e a utilização do *software DoppelSpalt* duraram aproximadamente 60 minutos.

Foram solicitados aos alunos exemplos de objetos que não são vistos a “olho nu”. Durante a discussão, foram abordadas situações que diferenciam o mundo macroscópico do mundo microscópico e foi esclarecido que, para explicar o primeiro

modelo, utilizam a física clássica, enquanto a explicação do segundo modelo é feita através da física quântica. Explicou-se que os objetos que exemplificam o primeiro modelo são chamados de objetos clássicos, enquanto que os que exemplificam o segundo modelo são chamados de objetos quânticos.

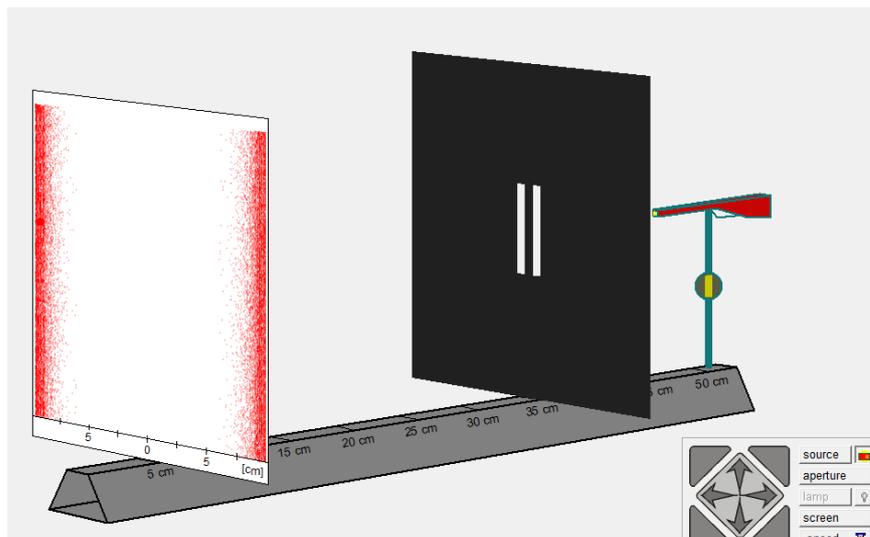
Para que tivessem uma melhor visão da diferença de “comportamento” entre objeto clássico e objeto quântico, utilizou-se o *software DoppelSpalt* (figura 12), que dispõe de vários recursos, dentre eles alterar o número de fendas, rotacionar a “bancada”, alterar a fonte e fotografar a tela para mostrar os padrões obtidos em cada difração. Utilizando-se o experimento da dupla fenda, foi possível mostrar a difração de uma bala de metralhadora e do átomo de Césio. Os padrões gráficos vistos na tela foram fotografados (figuras 13 e 14) e analisados.

**Fig.12:** *Software DoppelSpalt* foi utilizado para comparar os padrões gráficos de difração de um objeto clássico com um objeto quântico.



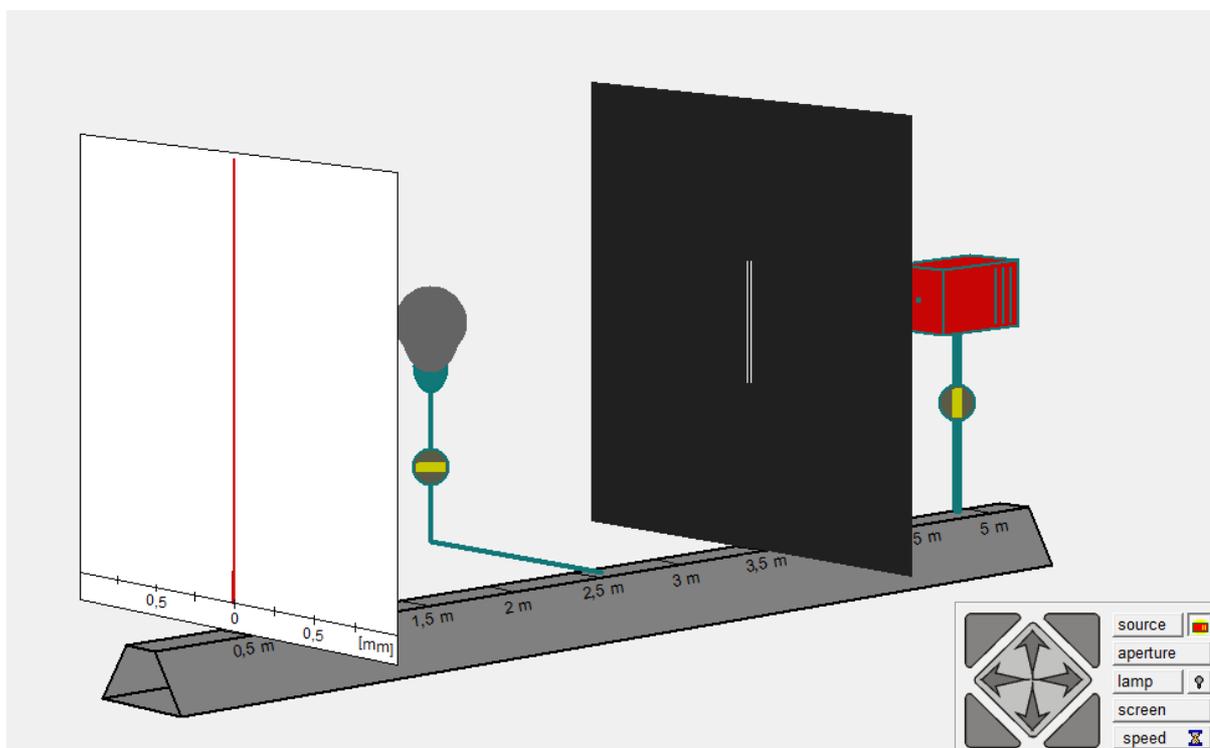
Fonte: [http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt\\_materialien/doppelspalt/index.html](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt_materialien/doppelspalt/index.html)

**Fig.13:** Padrão gráfico de difração de um objeto clássico (bala de metralhadora)



Fonte: [http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt\\_materialien/doppelspalt/index.html](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt_materialien/doppelspalt/index.html)

**Fig.14:** Padrão gráfico de difração de um objeto quântico (átomo de Césio)



Fonte: [http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt\\_materialien/doppelspalt/index.html](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt_materialien/doppelspalt/index.html)

Durante as aulas anteriores, os estudantes vivenciaram várias situações que comprovaram o modelo ondulatório da luz.

A partir desse momento, foram apresentadas diversas situações em que o caráter ondulatório não satisfazia os questionamentos. Diante dessa nova situação, os estudantes tiveram suas “concepções abaladas” e começaram a conhecer um novo paradigma sobre as radiações eletromagnéticas.

### **Sétima aula:** Radiação térmica

Duração: 60 minutos

Explicou-se que radiação térmica é uma radiação eletromagnética e que a mesma é emitida por um corpo em qualquer temperatura, exceto no zero absoluto. Os alunos foram informados de que o corpo, quando se encontrar em baixas temperaturas, a maior taxa de emissão vai estar no infravermelho.

Foi esclarecido que a maioria dos corpos nas temperaturas usuais tornam-se visíveis para nós, não pela radiação que emitem, mas pela luz que refletem.

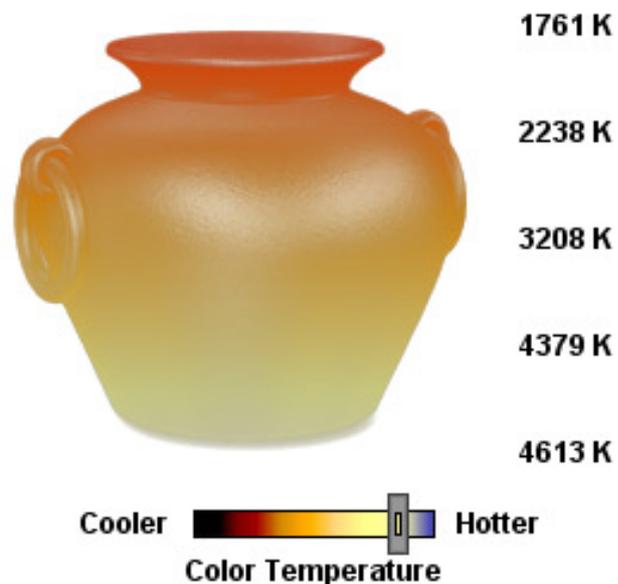
### **Atividade virtual**

A utilização do *software Color temperature in a virtual radiator* (figura 15) é feita deslocando-se o cursor para a temperatura desejada, a qual se encontra na escala Kelvin. Para que os estudantes tivessem uma melhor compreensão das temperaturas apresentadas no radiador virtual, solicitou-se que transformassem as temperaturas da escala Kelvin para a escala Celsius.

Utilizando o roteiro da aula, eles simularam várias situações e concluíram que a mudança de cor está relacionada à temperatura. A discussão promovida devido aos resultados obtidos nas atividades virtuais permitiu citar-se o pirômetro ótico como um dos equipamentos que relaciona a temperatura do corpo à frequência da radiação emitida.

Foi possível mostrar que a radiação emitida consiste numa distribuição contínua, com a coloração dominante deslocando-se para frequências mais elevadas à medida que a temperatura aumenta.

**Fig. 15:** Color temperature in a virtual radiator



Fonte: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/colortemperature/index.html>.

### **Oitava aula:** Corpo negro

Duração: 60 minutos

Na abordagem do contexto histórico, foi feito o comentário de que a noção de corpo negro foi introduzida pelo físico Gustav Robert Kirchhoff num artigo publicado no ano de 1859, em que ele mostrava que a potência emissiva de um corpo negro depende apenas da temperatura e da frequência da radiação.

O pesquisador comentou que, no final do século XIX, os cientistas tinham como uma das grandes preocupações a explicação da radiação do corpo negro e que na prática os sólidos aquecidos emitem um espectro muito parecido com o espectro do corpo negro.

Foi apresentado o conceito de corpo negro, enfatizando-se que Kirchhoff considerava corpo negro aquele que absorve toda radiação eletromagnética incidente e emite, também em forma de radiação eletromagnética, toda energia fornecida a ele, ou seja, apresenta poder de absorção igual ao poder de emissão.

Para fins didáticos, costuma-se utilizar um objeto contendo uma cavidade a qual possui um pequeno orifício. A radiação incidente vinda do exterior entra no orifício sendo absorvida por ele, o mesmo ocorre com a radiação que sai pelo orifício proveniente da radiação emitida pela superfície interna. Nesse caso, o orifício tem as mesmas propriedades da superfície de um corpo negro.

### **Nona aula:** Lei de Stefan-Boltzmann

Duração: 65 minutos

Descreveu-se o experimento do físico inglês John Tyndal e comentou-se que o físico austríaco Josef Stefan, em 1879, baseando-se apenas nesse experimento, pôde verificar que a razão entre as temperaturas absolutas, elevada à quarta potência, é igual a 11,7. Em 1884, o físico austríaco Ludwig Boltzmann, utilizando argumentos termodinâmicos, deu embasamento teórico à descoberta experimental de Stefan. Em 1897, a relação foi testada e confirmada por diversos cientistas.

Foi explicada a relação matemática da lei de Stefan-Boltzmann e resolvidos vários exercícios elaborados de forma contextualizada.

### **Décima aula:** Lei do deslocamento de Wien

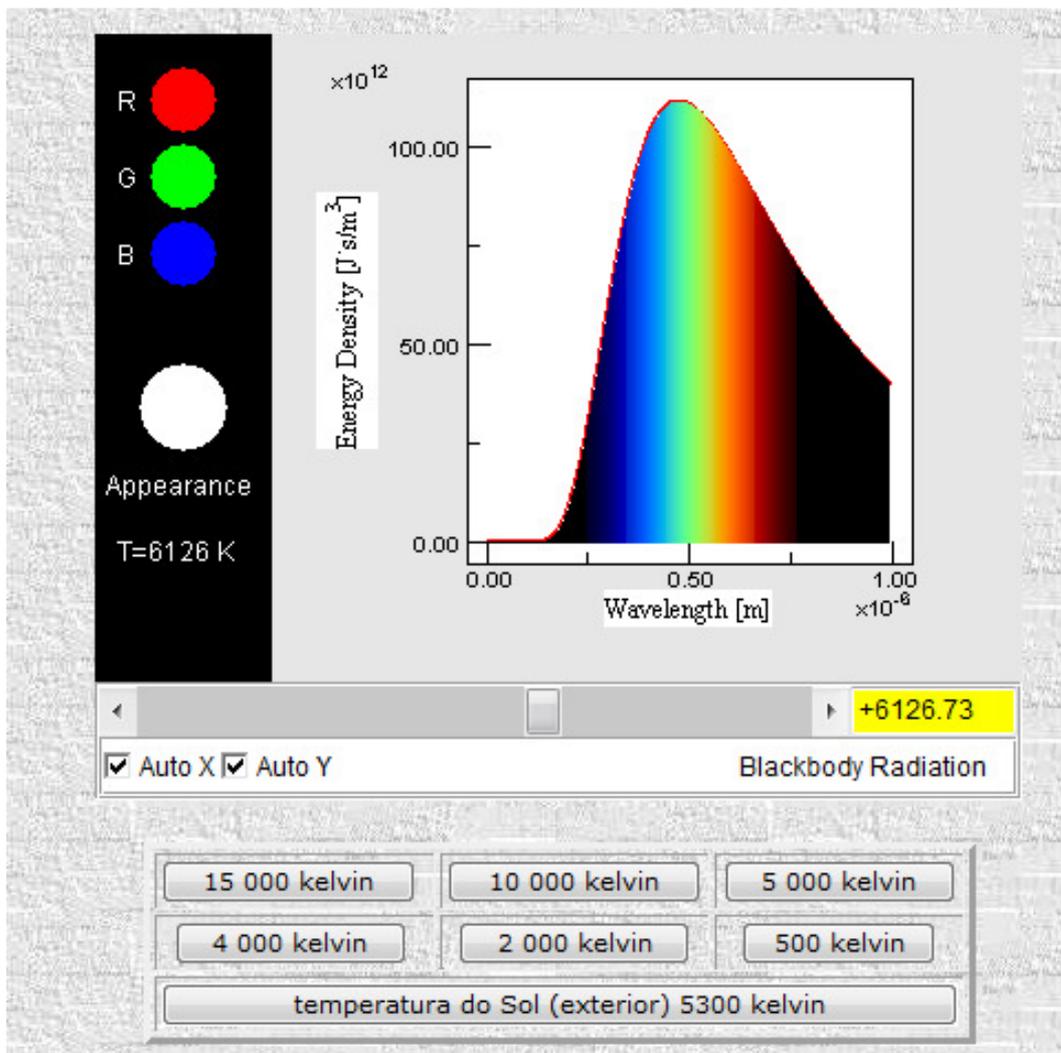
Duração: 90 minutos

Comentou-se sobre a demonstração teórica feita pelo físico alemão Wilhelm Jan Wien para explicar a emissão de energia pelo corpo negro com base em osciladores, e que ele defendeu a ideia de que, sabendo-se a forma da curva espectral da radiação térmica para uma dada temperatura, era possível encontrar as curvas para qualquer outra temperatura, visto que todas teriam a mesma forma. Sem a preocupação com a justificativa matemática, foi mostrada a forma de uma curva espectral e ficou esclarecido que pesquisadores puderam verificar experimentalmente, em 1900, que a lei de Wien era válida apenas para grandes frequências.

### Atividade virtual

Após a orientação dada sobre o uso do *software Black-body radiation* (figura 16) e seguindo o roteiro para as atividades da aula, os alunos simularam várias situações. Ao analisarem a temperatura do filamento de uma lâmpada incandescente (2800K), perceberam que o pico da emissão deslocou-se para  $1\mu\text{m}$  e que o mesmo proporciona uma emissão maior na faixa do infravermelho e bem pouco no espectro visível. Fizeram também a análise da emissão para uma superfície na temperatura ambiente e puderam perceber que a mesma está localizada na faixa infravermelha. Os resultados obtidos permitiram aos alunos o entendimento dos máximos previstos pela lei do deslocamento de Wien.

**Fig. 16:** Software Black-body radiation



Fonte: <http://cref.if.ufrgs.br/~leila/cor.htm>

**Décima primeira aula: Equação de Rayleigh-Jeans**

Duração: 65 minutos

Esclareceu-se que os físicos ingleses John William Strutt Rayleigh e James Hopwood Jeans procuraram explicar a radiação térmica admitindo que as ondas eletromagnéticas sofriam interferências dentro da cavidade, gerando ondas estacionárias. Explicou-se a fórmula matemática da lei de Rayleigh-Jeans e enfatizou-se que ela só tem validade para pequenas frequências e, ao ser analisada para altíssimas frequências, a lei prevê que a intensidade da radiação seria infinita. A partir disso, foi explicado o que significa a catástrofe do ultravioleta.

**Décima segunda aula: Planck e a quantização da energia**

Duração: 120 minutos

Através de debates, pôde-se mostrar a perseverança dos cientistas em encontrar uma explicação para a radiação do corpo negro e compreender o contexto histórico da época no qual Max Planck estava inserido. Esclareceu-se que Planck iniciou os seus trabalhos estudando detalhadamente o comportamento de elétrons nas paredes do corpo negro e seu acoplamento ou interação com a radiação eletromagnética dentro da cavidade. Enfatizou-se que Planck tentou reproduzir teoricamente, por fórmulas matematicamente simples, os resultados dos experimentos realizados sobre o espectro da radiação térmica.

A fórmula apresentada por Planck é a seguinte:  $E = hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck e  $f$  a frequência.

**Décima terceira aula: Efeito fotoelétrico**

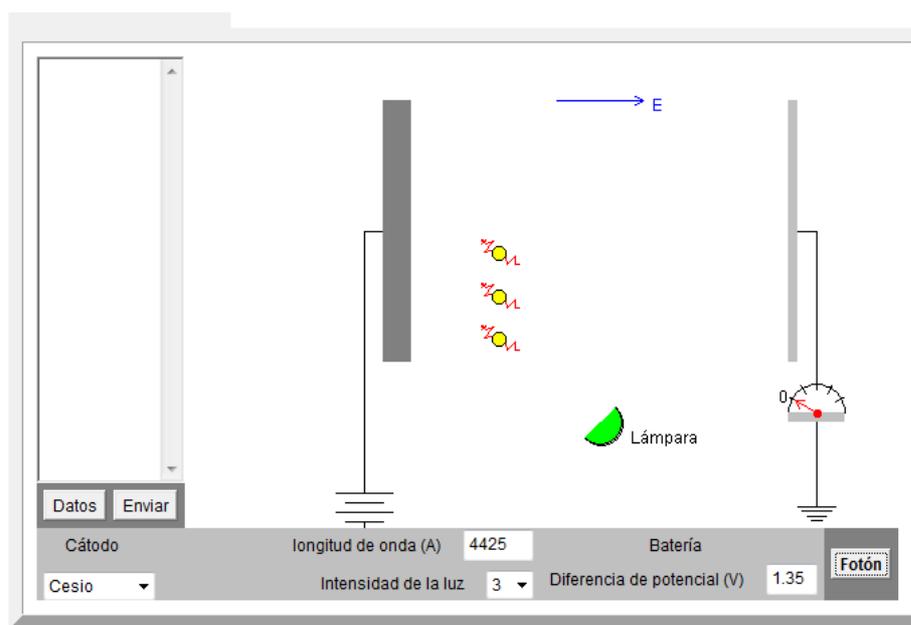
Duração: 180 minutos

Foram discutidos os principais acontecimentos da época que envolveram o efeito fotoelétrico, como as feitas pelo físico russo Stoletov, o estudo desenvolvido por Hertz, enquanto comprovava experimentalmente a teoria de Maxwell, e os experimentos de Lenard. De forma sucinta, mostrou-se que Albert Einstein conseguiu interpretar corretamente o postulado de Planck e que, influenciado pelas experiências de Lenard e pelo trabalho de Planck, ele elaborou hipóteses para explicar o efeito fotoelétrico.

Após explicar-se a teoria a respeito do efeito fotoelétrico, foram feitos comentários sobre as diversas aplicações no mundo contemporâneo. As atividades virtuais utilizando-se o *software El efecto fotoeléctrico* (figura 17) possibilitaram uma melhor compreensão do comportamento da luz como partícula. Através das simulações desenvolvidas nesse *software*, os alunos puderam comprovar a dependência da energia cinética dos elétrons emitidos da placa com a frequência da luz incidente.

O fato de Einstein ter considerado a luz como partícula proporcionou aos estudantes certo “espanto”. Foi esse o momento em que se percebeu claramente que as suas “concepções” sobre as radiações eletromagnéticas foram “abaladas”. Nesse momento ocorreu, na epistemologia kuhniana, uma quebra de paradigma.

**Fig. 17:** *Software El efecto fotoeléctrico* utilizado em simulações para analisar o efeito fotoelétrico em diversos materiais



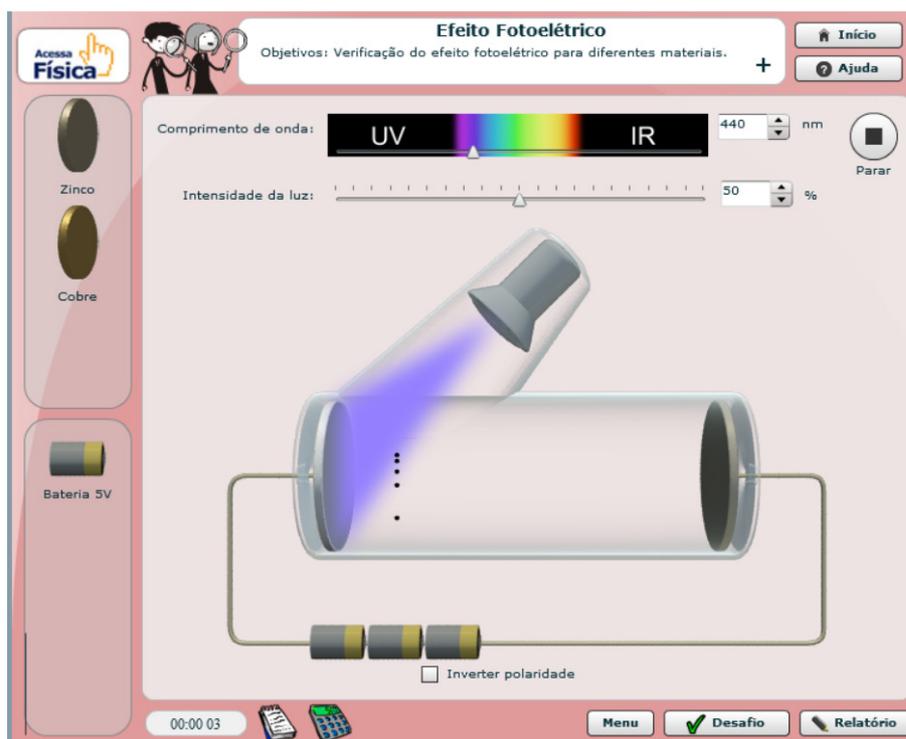
Fonte: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>

O *software El efecto fotoeléctrico* permite fazer várias simulações. Para isso, pode-se alterar o tipo do material, o comprimento de onda da radiação, a diferença de potencial entre os terminais, a intensidade da luz e enviar dados para construir gráfico e determinar a constante de Planck.

## Atividades virtuais

Após explicarem-se as diversas opções de atividades e funcionamento do *software* Efeito fotoelétrico (figura 18), os alunos seguiram o roteiro de atividades e desenvolveram diversas simulações.

**Fig. 18:** *Software* Efeito fotoelétrico permite ao aluno visualizar a frequência correspondente a cada cor e a sua influência no efeito fotoelétrico.



Fonte: [http://201.55.67.236/acessa\\_fisica/subsites/357/bin-release/AcessaFisica.html](http://201.55.67.236/acessa_fisica/subsites/357/bin-release/AcessaFisica.html)

Na atividade seguinte, os alunos, utilizando o *software* “A Física e o Cotidiano” (figura 19), o qual possui animação e simulações, resolveram os problemas propostos utilizando a “montagem” de circuitos. É um *software* muito interessante e interativo.

**Fig 19:** Software “A Física e o Cotidiano” possibilitou resolver problemas através da montagem de circuitos.



Fonte: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/info.html>

Após as atividades virtuais, foi apresentada uma montagem constituída de um relé fotoelétrico e duas lâmpadas incandescentes com o objetivo de analisar-se o funcionamento dos dispositivos que ligam e desligam automaticamente o sistema de iluminação pública.

## Apêndice E: Referências utilizadas nas aulas

**A Física e o Cotidiano.** Disponível em:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/info.html>

**A luz como onda.** Disponível em: <http://www.educaplus.org/luz/lcomoonda.html>.  
Acesso em: 23 maio 2011

**Black-body radiation.** Disponível em: <http://cref.if.ufrgs.br/~leila/cor.htm>

**Bose quiet confort 15.**

Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-184904385-bose-quietcomfort-15-melhor-fone-de-ouvido-do-mundo-JM>

**Color temperature in a virtual radiator.**

Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/colortemperature/index.html> .

**Diffrazione da una fenditura.**

Disponível em: <http://www.scienzagiovane.unibo.it/scienziati/diffrazione/applet.html>

**DoppelSpalt.** Disponível em:

[http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt\\_materialien/doppelspalt/index.html](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/inhalt_materialien/doppelspalt/index.html)

**Efeito dominó na sinuca.** Disponível em:

[www.youtube.com/watch?v=eQUIRNixK3Q](http://www.youtube.com/watch?v=eQUIRNixK3Q) Acesso em: 26 maio 2011.

**El efecto fotoeléctrico.** Disponível em:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>

GASPAR, Alberto. **Física – Eletromagnetismo e Física Moderna.** v.3, 1. ed. São Paulo: Editora Ática. 2000.

PENTEADO, Paulo C. M.; TORRES, Carlos M. A. **Física – Ciência e Tecnologia.** v.3, 1.ed. São Paulo: Editora Moderna,. 2005.

**Young's Double Slit Experiment.**

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=9UkkKM1IkKg&feature=related>

RAMALHO, Jr. F. ;FERRARO, N.G.; SOARES, P.A.T. **Os fundamentos da Física.** v.3, 9. ed. São São Paulo: Editora Moderna, 2003.

**Ripple Tank Apple v1.7e.** Disponível em: <http://www.falstad.com/ripple/index.html>

**Standing wave.** Disponível em: <http://www.walter-fendt.de/ph14e/stwaverefl.htm>

**The original teenbuzz – mosquito ringtone.** Disponível em: [www.teenbuzz.org/pt/](http://www.teenbuzz.org/pt/)  
Acesso em: 25 maio 2011

## Apêndice F

### Arden Zylbersztajn: Alunos como cientistas Kuhnianos

Arden Zylbersztajn<sup>4\*</sup> possui licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (1972), mestrado em Tecnologia da Educação pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1976) e doutorado em Science Education – University of Surrey (1983). Atualmente é professor voluntário aposentado da Universidade Federal de Santa Catarina, atuando junto ao Departamento de Física e ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, do qual foi coordenador no período de 2002 a 2004. É editor do periódico ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia.

Segundo Zylbersztajn: “[...] alunos de disciplinas científicas devem ser encarados, em momentos instrucionais distintos, tanto como cientistas trabalhando em condições de ciência normal quanto como cientistas envolvidos em uma revolução científica” (1991, p.57). Zylbersztajn propõe que esses alunos sejam denominados de cientistas kuhnianos.

---

<sup>4</sup> Certificado pelo autor em 26/04/2009 – Consulta à Plataforma Lattes em 23/01/2011 às 18h

## Apêndice G: Escola de Copenhague

Em 1917, Niels Bohr decidiu criar um instituto de pesquisa. A inauguração do Instituto de Física Teórica ocorreu em março de 1921, tendo ele se expandido rapidamente. Sob a regência de Bohr, o instituto tornou-se um centro de pesquisa de referência na física, representando o modo de pensar sobre a Teoria Quântica, conhecido como Escola de Copenhague. A interpretação da Teoria Quântica de Copenhague é sustentada por dois pilares: o Princípio da Incerteza de Heisenberg e o Princípio de Complementaridade Onda-Partícula de Bohr.

- O Princípio da Incerteza de Heisenberg (RAMALHO *et al.*, 2007, v.3. p.443) propõe a indeterminação associada à posição e à velocidade do elétron no interior do átomo.

Quanto maior a precisão na determinação da posição do elétron, menor é a precisão na determinação de sua velocidade ou de sua quantidade de movimento e vice-versa.

A relação entre a incerteza  $\Delta x$  na medida da posição e a incerteza  $\Delta p$  na medida da sua quantidade de movimento é dada pela fórmula:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Onde  $h$  ( $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s) é a constante de Planck.

- O Princípio da Complementaridade (HALLIDAY *et al.*, 1995, v.4, p.187) esclarece o problema da dualidade onda-partícula, afirmando que

Os aspectos ondulatórios e corpuscular de uma entidade quântica são ambos necessários para uma descrição completa. No entanto, ambos os aspectos não podem ser revelados simultaneamente numa mesma experiência. O aspecto que irá se revelar, numa certa experiência, está determinado pela natureza da própria experiência.