UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

KLEIDIANI MOREIRA MONICO

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO COM FOCO EM ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

VITÓRIA
2018

KLEIDIANI MOREIRA MONICO

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO COM FOCO EM ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

Dissertação final apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga

VITÓRIA

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP) (Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Monico, Kleidiani Moreira, 1990-

M744d Dualidade onda-partícula : uma sequência didática para o ensino médio com foco em atividades investigativas / Kleidiani Moreira Monico. – 2018.

124 f. : il.

Orientador: Flávio Gimenes Alvarenga.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Dualidade onda-partícula. 2. Física - Estudo e ensino. 3. Física moderna. 4. Ensino médio. I. Alvarenga, Flávio Gimenes. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53

Elaborado por Perla Rodrigues Lôbo – CRB-6 ES-527/O

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

"DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO COM FOCO EM ATIVIDADES INVESTIGATIVAS"

Kleidiani Moreira Monico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 24 de agosto de 2018.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga
(Orientador PPGEnFis/UFES)

Profa. Dra. Jardel da Costa Brozeguini
(Membro Externo IFES)

Prof. Dra. Márcia Regina Santana Pereira
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial à minha mãe Katia Sirley Moreira, ao meu esposo Igor Eudes Paula de Paiva e à minha filha Ana Luísa Monico de Paiva, por estarem ao meu lado me incentivando, apoiando, inspirando e me oferecendo todo carinho, durante todas as etapas de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus que por graça e misericórdia me concedeu a vida e tem me sustentado durante toda a minha jornada.

Ao meu esposo, Igor Eudes Paula de Paiva, por todo apoio, por me encorajar sempre, e por cuidar tão bem da nossa filha nos momentos em que eu precisava escrever. Sem sua ajuda não chegaria até esse momento de tão memorável realização.

À minha pequena, minha filha, Ana Luísa Monico de Paiva, minha maior inspiração. É por você e pra você este trabalho.

À minha mãe Katia Sirley Moreira, ao meu pai Luiz Carlos Monico e aos meus irmãos Vinicios Moreira Monico, Leonardo Moreira Monico e Lara Moreira Monico.

Ao meu professor orientador, Flávio Gimenes Alvarenga, pela atenção com que me orientou e, principalmente, por não ter desistido de mim.

Á minha sogra, Vera Lúcia de Paula, que sempre se dispôs em ajudar-me quando precisei.

Á minha cunhada, Kelly Salazar, pela ajuda no abstract. Você é 10!!

A todos os meus familiares e amigos que souberam compreender minhas ausências durante diversos momentos.

Aos professores e demais funcionários da UFES, em especial ao PPGEnFis.

À Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Aflordízio Carvalho da Silva e aos meus queridos alunos que prontamente se disponibilizaram em colaborar com este trabalho.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu. (Ec 3.1)”

RESUMO

Há algumas décadas, o ensino de tópicos relacionados com a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio tinha um papel secundário e muitas vezes era simplesmente deixado de lado. Entretanto, atualmente vivemos em um mundo cada vez mais globalizado onde as informações circulam com grande velocidade e os avanços científicos e tecnológicos estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Desta forma, os conteúdos relacionados com a Física Moderna e Contemporânea passaram a ter uma importância que talvez antes não existisse, e o ensino deste conteúdo no Ensino Médio passou a ter um caráter obrigatório. Neste contexto, apresentamos neste trabalho uma proposta para o Ensino do conteúdo Dualidade Onda-Partícula em uma perspectiva investigativa. Com base nessa perspectiva construímos uma sequência de ensino, composta de textos de apoio conceitual, atividades e roteiros de demonstrações experimentais. A metodologia utilizada é baseada em atividades investigativas. Para subsidiar nossa análise, os dados foram processados por meio de aplicação de questionário, gravações das aulas e de um diário de campo. A sequência foi aplicada no primeiro semestre de 2018, em uma turma, com 35 alunos, do segundo ano do Ensino Médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Aflordízio Carvalho da Silva”, situada em Vitória, Espírito Santo (ES). A pesquisa de natureza *quali-quanti*, teve como principal objetivo analisar a aprendizagem dos conteúdos conceituais dos estudantes. De acordo com os resultados obtidos é possível perceber como as atividades desenvolvidas durante a intervenção possuem potencial para favorecer a aprendizagem conceitual.

Palavras-chave: Atividades Investigativas. Dualidade Onda-Partícula. Ensino de Física. Física Moderna.

ABSTRACT

A few decades ago, teaching topics related to Modern, Contemporary Physics in High School had a secondary role, and it was often simply dropped. Nevertheless, we currently live in anenhancely-globalized world where the information runs at a great speed and the scientific and technological advances are increasingly present in our daily lives. Thus, the content about Modern and Contemporary Physics have had an importance that perhaps did not exist before, therefore teaching these contents in High School has gotten an obligatory character. In this context, we show in this work a proposal for the teaching of Wave-Particle Duality content in an investigative perspective. Based on this perspective, we built a teaching sequence composed of conceptual supporting texts, activities and experimental demonstration scripts. The utilized methodology is based on Investigative Activities. To support our analysis, the data were processed through a questionnaire application, class recordings and a field diary. The sequence was applied in the first semester of 2018, in a 35 students' class of the second year in the Secondary School "AflordízioCarvalho da Silva", located in Vitória, Espírito Santo (ES). The *quali-quanti* nature research aimed mainly to analyze the student's conceptual contents learning. According to the obtained results, it is possible to observe how the activities developed during the intervention have the potential to favor conceptual learning.

Keywords: Investigative Activities. Wave-ParticleDuality. Physics Teaching. ModernPhysics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de publicações de artigos científicos versus ano de publicação.....42

Figura 2 – Número de publicações de artigos científicos sobre dualidade onda-partícula versus ano de publicação.....43

Figura 3 – Comparativo das publicações gerais versus publicações sobre dualidade onda-partícula.....43

Figura 4 – Comparativo das publicações gerais versus publicações sobre dualidade onda-partícula em porcentagem.....44

Figura 5 – Recortes da primeira atividade – Conhecimentos Prévios.....50

Figura 6 – Montagem experimental da primeira demonstração investigativa e da atividade de análise.....51

Figura 7 – Montagem experimental da segunda demonstração investigativa.....52

Figura 8 – Recorte do vídeo: Dr. Quantum – Experimento da dupla fenda.....52

Figura 9 – Exemplos que foram feitos durante a quinta aula.....53

Figura 10 – Resposta do estudante E33 – Atividade 1.....54

Figura 11 – Resposta do estudante E22 – Atividade 1.....55

Figura 12 – Resposta do estudante E26 – Atividade 1.....55

Figura 13 – Resposta do estudante E18 – Atividade 1.....56

Figura 14 – Resposta do estudante E25 – Atividade 1.....56

Figura 15 – Percentual de alunos que responderam e não responderam corretamente a análise referente à segunda demonstração investigativa.....57

Figura 16 – Resposta do estudante E22 – 1° demonstração investigativa.....58

Figura 17 – Resposta do estudante E5 – 1° demonstração investigativa.....58

Figura 18 – Resposta do estudante E21 – 1° demonstração investigativa.....59

Figura 19 – Resposta do estudante E31 – 1° demonstração investigativa.....59

Figura 20 – Resposta do estudante E25 – 1° demonstração investigativa.....59

Figura 21 – Recortes da apresentação utilizada durante a segunda demonstração investigativa. 62

Figura 22 – Alternativas assinaladas versus quantidade de alunos - questão 1 do questionário final 65

Figura 23 – Alternativas assinaladas versus quantidade de alunos - questão 2 do questionário final 66

Figura 24 – Percentual de alunos que marcaram 1, 2 ou todas as 3 afirmações corretas e aqueles que não marcaram nem uma das afirmações corretas – questão 4.....67

Figura 25 – Percentual de alunos que marcaram 1, 2 ou todas as 3 afirmações corretas e aqueles que não marcaram nem uma das afirmações corretas – questão 5.....68

Figura 26 – Alternativas assinaladas versus quantidade de alunos - questão 6 do questionário final 69

Figura 27 – Quantidade de alunos dentro de cada categoria.....70

LISTA DE ABREVIATURAS

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

FM – Física Moderna

FC – Física Contemporânea

FMC – Física Moderna e Contemporânea

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

EM – Ensino Médio

TEI – Teoria de Ensino por Investigação

UEI – Unidade de Ensino Investigativa

RBEF – Revista Brasileira de Ensino de Física

RBCT – Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia

RFE – Revista A Física na Escola

CBEF – Caderno Brasileiro de Ensino de Física

RIEC – Revista Investigação em Ensino de Ciências

REEC – Revista Experiências em Ensino de Ciências

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA 5
AGRADECIMENTOS 6
RESUMO 8
ABSTRACT 9
LISTA DE FIGURAS 10
LISTA DE ABREVIATURAS 12
SUMÁRIO 13
1. INTRODUÇÃO 14
1.1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 16
2. REFERENCIAL TEÓRICO 18
2.1 A FÍSICA NO ENSINO MÉDIO 18
2.1.1. Interdisciplinaridade e Contextualização 24
2.2. A TEORIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO 28
2.3. A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA 31
2.3.1 Um Breve Retrospecto 31
2.3.2. Como Surgiram as Ideias da Dualidade 34
2.3.3. Estendendo o Caráter Ondulatório Para a Matéria 34
3. EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA: ALGUNS RESULTADOS REPORTADOS NA LITERATURA SOBRE O TEMA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA 36
4. METODOLOGIA 45
4.1. OBJETIVOS DA PESQUISA 45
4.2. INSTITUIÇÃO E SUJEITOS PARTICIPANTES 45
4.3. DESENHO DA INVESTIGAÇÃO E PROPOSTA DIDÁTICA 46
4.4. CARACTERÍSTICAS DE UMA UNIDADE DE ENSINO INVESTIGATIVA 47
4.5. ETAPAS DA PESQUISA 49
4.5.1. Primeira aula 50
4.5.2. Segunda aula 51
4.5.3. Terceira aula 51
4.5.4. Quarta aula 52
4.5.5. Quinta aula 52
4.5.6. Sexta aula 53
5. ANÁLISE 54

5.1. ATIVIDADE 1 54
5.2. ATIVIDADE 2: A LUZ POR UM FIO DE CABELO 57
5.3. ATIVIDADE 3: OUVINDO O SOM DO CONTROLE REMOTO 60
5.4. ATIVIDADE 4: VÍDEO: Dr. QUANTUM E O EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA 63
5.5. QUESTIONÁRIO FINAL 64
5.5.1. Questão 1 64
5.5.2. Questão 2 65
5.5.3. Questão 3 66
5.5.4. Questão 4 67
5.5.5. Questão 5 68
5.5.6. Questão 6 69
5.5.7. Análise global do questionário 70
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS 72
7. REFERÊNCIAS 75
APÊNDICES 79
I. Termo de consentimento livre e esclarecido. 79
II. Categorização utilizada para análise da primeira atividade - Conhecimentos Prévios. 81
III. Categorização utilizada para análise do questionário. 82
IV. Respostas dadas pelos estudantes durante as atividades. 82
V. Produto de Mestrado 100

1. INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que compõem a matéria, ao mesmo tempo em que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias.

Além disso, cabe lembrar que os estudos de Física desenvolvidos nos primeiros anos do século XX alteraram o entendimento de conceitos como energia, massa, tempo e espaço. Tais conhecimentos deram origem à Física Moderna (FM), onde os fenômenos em escalas astronômicas e atômicas são estudados. Posteriormente, após a segunda guerra mundial temos o surgimento da Física Contemporânea (FC) que estuda principalmente partículas subatômicas.

Ao longo do tempo novas teorias associadas à Física Moderna e Contemporânea estão se desenvolvendo e sabe-se que tais conhecimentos tornam-se indispensáveis à formação da cidadania contemporânea quando incorporados à cultura e integrados ao desenvolvimento de novas tecnologias.

Por outro lado, o ensino destes conteúdos no Ensino Médio não tem acompanhado esse desenvolvimento de forma satisfatória, de acordo com Leonel (2009) tal fato é inaceitável, pois prejudica a alfabetização científica e tecnológica do aluno, além de provocar uma ruptura no processo de conexão entre a Física e o cotidiano do aluno. Neste ponto vale destacar como os parâmetros curriculares nacionais se posicionam com relação a este problema.

> É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunidos através de uma proposta pedagógica clara. É sempre possível, no entanto, sinalizar aqueles aspectos que conduzem o

> desenvolvimento do ensino na direção desejada. Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões [2].

Dentro dessa perspectiva de inclusão de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea nas aulas do Ensino Médio, escolhemos o conteúdo dualidade onda-partícula. Como mostraremos mais adiante, a escassez de trabalhos sobre este tópico é muito grande.

No entanto, a preocupação não é só em "ensinar" conteúdos de Física Moderna e Contemporânea e sim como ensiná-los. Pois, como Teixeira (2003) afirma em seu trabalho, o ensino das disciplinas científicas é demarcado por abordagens internalistas que privilegiam os conteúdos específicos de cada disciplina desconsiderando os acontecimentos presentes na sociedade.

Nós sabemos que nem todos os alunos seguirão a área científica e isso não é motivo para não aprender ciência, pois cidadãos todos são e necessário se faz compreender o mundo no qual estamos inseridos. É necessário alfabetizar esses "meninos" cientificamente. Nas palavras de Santos (1999) precisamos de um ensino que

> [...] ultrapasse o distanciamento da vida real e a mera preparação acadêmica – um treino dos alunos: para "pensarem como cientistas". Esta perspectiva implica conjugar no ensino das ciências um ideário oriundo do interior da ciência com um ideário proveniente de domínios da realidade que, aparentemente, lhes são exteriores. Conjugar a complexidade e a circularidade intricadas de perspectivas de tipo internalistas com perspectivas de tipo externalistas – sabedorias e contextos tecnológicos, sociais, culturais e civilizacionais, que imprimem marcas à história da ciência e ao seu ensino. Na realidade pensar a educação, nos dias de hoje, exige uma compreensão rigorosa de todo o circunstancialismo que, não sendo determinante, a condiciona e motiva.

Com todo esse avanço científico e tecnológico, o papel do professor foi alterado, como é mostrado por Azevedo e Carvalho (1998) ele deixou de ser o detentor do conhecimento e passou a ser o mediador dos mesmos. Essa necessidade vai ao

encontro do ensino por investigação, que proporciona mudança de atitude tanto no aluno quanto na prática do professor, que muito mais do que a matéria que está ensinando, deve tornar-se um professor questionador, que argumente, saiba conduzir perguntas, estimular, propor desafios, ou seja, passa de simples expositor a orientador do processo de ensino.

Quanto aos alunos. O objetivo é levá-los a pensar, debater, justificar suas ideias e aplicar seus conhecimentos em situações novas, usando os conhecimentos teóricos e matemáticos. (AZEVEDO, 2004, p. 20)

1.1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa foi estruturada em 6 capítulos. No capítulo 1 apresentamos o problema a ser pesquisado bem como a justificativa para a pesquisa.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica que embasou nossa pesquisa. Primeiro, apresentaremos argumentos que indicam a necessidade da introdução de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio à luz dos parâmetros curriculares nacionais e das orientações curriculares para o ensino médio. Em seguida, faço um apanhado histórico sobre a teoria de ensino por investigação e sobre o tema dualidade onda-partícula

No capítulo 3, apresentamos uma evolução cronológica dos resultados reportados da literatura sobre o tema dualidade onda-partícula. É apresentado aqui um breve relato do estado – da – arte do problema relatado. Para tal, fizemos uma busca nas seguintes revistas: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBCT), Revista A Física na Escola (RFE), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Investigação em Ensino de Ciências (RIEC) e Revista Experiências em Ensino de Ciências (REEC).

É importante destacar que o procedimento de busca por artigos científicos nos periódicos eletrônicos foi realizado da seguinte forma: inicialmente foi aberto cada volume de cada publicação no período supracitado, na sequência será procurado

nos títulos e/ou resumos palavras-chave relacionadas com o tema dualidade onda-partícula.

O capítulo 4 é destinado à apresentação do procedimento metodológico utilizado no desenvolvimento dessa pesquisa de mestrado. Apresentamos o objetivo geral e os objetivos específicos juntamente com os sujeitos participantes.

Os resultados e discussões são apresentados e discutidos no capítulo 5.

No capítulo 6 são feitas as considerações finais. Neste capítulo colocamos as principais conclusões relacionadas à evolução da aprendizagem conceitual.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Rotineiramente os professores enfrentam diversos desafios e dificuldades nas escolas, principalmente quando o assunto é abordar conteúdos de Física, uma vez que muitos alunos têm um comportamento "preconceituoso" a respeito de tais conteúdos. Diante disso, o professor se vê em uma situação onde deve buscar métodos de ensino para que os alunos venham a se interessar pelo conhecimento proposto nessa etapa do processo de formação/educação formal.

O PCN têm como proposta principal fazer com que a escola mantenha-se firme no seu maior objetivo que é "educar", procurando para tal fim promover uma discussão com a sociedade, mostrando os caminhos determinantes sobre o tipo de educação que se espera para o Brasil.

Diante da necessidade de integrar os alunos ao atual mundo contemporâneo e tecnológico, fez-se necessário buscar alternativas de organização e atualização curricular para o EM com novos parâmetros para a formação do cidadão. Isso fez com que os PCN buscassem novos objetivos para tal ensino, tendo como principal base o rompimento do modelo tradicionalista, que enfatizava a repetição e memorização de fórmulas, sem contextualizar os conteúdos à realidade dos alunos. Estas novas alternativas de organização curricular estão relacionadas, sobretudo, com o novo significado que o trabalho teve no contexto da globalização de forma que o EM seja útil ao sujeito que se apropriará de tal conhecimento no sentido de se aprimorar no mercado de trabalho e como cidadão (PCN 2000, p. 13).

O PCN afirma sobre essas mudanças, no sentido de romper com o modelo tradicionalista que:

> A perspectiva é de uma aprendizagem permanente, de uma formação continuada, considerando como elemento central dessa formação a construção da cidadania em função dos processos sociais que se modificam. Alteram-se, portanto, os objetivos de formação no nível do

> Ensino Médio. Prioriza-se a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico. (PCN – bases legais, 2000. p. 13)

Os PCN, também, afirmam que:

> Não há o que justifique memorizar conhecimentos que estão sendo superados ou cujo acesso é facilitado pela moderna tecnologia. O que se deseja é que os estudantes desenvolvam competências básicas que lhes permitam desenvolver a capacidade de continuar aprendendo.

Ainda em relação ao currículo, é necessário que este contenha conteúdos que contemplem a formação do estudante como pessoa e cidadão capaz de realizar três atividades no domínio de ação humana, são elas: a vida em sociedade, a atividade produtiva e a experiência subjetiva (PCN Ensino Médio, 2000, p.15). Dessa forma, os PCN afirmam com clareza que o currículo deve ser articulado em torno de eixos básicos orientadores da seleção de conteúdos significativos, visando às competências e habilidades que se pretende desenvolver no Ensino Médio. Neste sentido, temos a seguinte citação do PCN:

> Um eixo histórico-cultural dimensiona o valor histórico e social dos conhecimentos, tendo em vista o contexto da sociedade em constante mudança e submetendo o currículo a uma verdadeira prova de validade e de relevância social. Um eixo epistemológico reconstrói os procedimentos envolvidos nos processos de conhecimento, assegurando a eficácia desses processos e a abertura para novos conhecimentos.

Conforme os PCN, o Ensino de Física deve estar voltado para a construção de um cidadão completo e contemporâneo, que obtenha instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade da sociedade da qual faz parte, de modo que, ao término do EM, mesmo que esses alunos não escolham a área da física para atuar e nem tenham mais contato com a física, que eles possam ter desenvolvido a capacidade de compreender o mundo em que vive e as constantes atualizações tecnológicas. Neste sentido, vale ressaltar que:

> A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. (PCN+ - Ensino Médio, p. 2).

De acordo com as Orientações Curriculares para o Ensino Médio de 2006, os conteúdos do currículo de Física precisaram passar por transformações para que pudessem se adequar as exigências desse novo mundo, que está a cada dia mais veloz e tecnológico. Isso faz com que os professores se questionem, por exemplo, o que ensinar?

O que se observa é que até hoje a resposta se encontra principalmente nos livros didáticos e nos processos seletivos, que orientam os conteúdos escolares como se fossem as únicas alternativas, como se o Ensino Médio só servisse para preparar o aluno para os processos seletivos onde se ensinam na maioria das vezes as respostas sem a preocupação da compreensão dos conteúdos. Além disso, os professores devem colocar sua atenção no aspecto relacionado com a característica fundamental da ciência, que é a sua dimensão investigativa, dificilmente trabalhada na escola e raramente solicitada nas provas dos processos seletivos, o que resulta na seguinte triste questão: não é cobrado no vestibular, então não precisa ensinar. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 45)
Neste sentido, as Orientações Curriculares afirmam que:

> Na escola, uma das características mais importantes do processo de aprendizagem é a atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros. Essa forma de ensino auxilia na formação das estruturas de raciocínio, necessárias para uma aprendizagem efetiva, que permita ao aluno gerenciar os conhecimentos adquiridos. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 46).

Para implementar os Parâmetros Curriculares na escola, deve-se ultrapassar um dos maiores desafios que é compreender o que são as competências. A partir desse enfoque, procura-se definir a noção dessas competências em dois caminhos: o primeiro como referência dos saberes escolares e o segundo como relação didática.

É importante lembrar da diferença existente entre a Física ensinada na escola e a Física como ciência, mesmo estando ambas ligadas por características intrínsecas, pois a primeira é simplificada nos livros didáticos, de tal forma a permitir o seu ensino, onde se observa que os conteúdos disciplinares estão distantes da tecnologia atual (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 46).

Diante disso a concepção da noção de competências como problema de referência dos saberes escolares dá sentido aos conteúdos escolares e vai além. A noção de competências deve ser entendida como uma possibilidade de colocar a relação didática em perspectiva. Deve-se evitar oferecer aos alunos conteúdos específicos fragmentados, descontextualizados, ou, em muitos casos, técnicas de resolução de exercícios, já que o retorno será isso mesmo: conteúdos reprodutivos, na melhor das hipóteses, de pouca utilidade fora dos bancos escolares. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 47).

Vale lembrar que o amplo conhecimento da Física adquirido ao longo da história não tem condições de ser totalmente ensinado no EM, devendo-se então selecionar o que seria mais fundamental ou mais importante, existindo para tal escolha referências apropriadas. Para isso, os Parâmetros Curriculares sugerem três grandes competências, são elas: Representação e comunicação, Investigação e compreensão e contextualização sociocultural.

O quadro a seguir contém um resumo sobre as orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais, podendo através dele compreender cada uma das competências citadas acima.

Quadro 1 – Resumo das três grandes competências sugeridas pelos PCN..

Representação e Comunicação	• Reconhecer e saber utilizar corretamente símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas da Física, por exemplo, reconhecer símbolos de massa ou volume. • Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas, apresentados em textos, por exemplo, interpretar um gráfico de crescimento, ou da variação de temperaturas ambientes.

	• Ler e interpretar informações apresentadas em diferentes linguagens e representações (técnicas) como, por exemplo, um manual de instalação de equipamento. • Expressar-se de forma correta e clara em correspondência para os meios de comunicação ou via internet, apresentando pontos de vista, solicitando informações ou esclarecimentos técnico/científicos.
Investigação e Compreensão	• Frente a uma situação ou problema concreto, reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os dentro do conjunto de fenômenos da Física e identificar as grandezas relevantes, em cada caso. • Reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa e efeito, para ser capaz de estabelecer previsões. • Reconhecer a existência de invariantes que impõe condições sobre o que pode e o que não pode acontecer, em processos naturais, para fazer uso desses invariantes na análise de situações cotidianas. • Reconhecer a conservação de determinadas grandezas, como massa, carga elétrica, corrente etc., utilizando essa noção de conservação na análise de situações dadas. • Fazer uso de formas e instrumentos de medida apropriados para estabelecer comparações quantitativas. • Conhecer modelos físicos microscópicos, para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los na análise de situações –problema. • Construir uma visão sistematizada dos diversos tipos de interação e das diferentes naturezas de fenômenos da física, para poder fazer uso desse conhecimento de forma

	integrada e articulada. • Reconhecer na análise de um mesmo fenômeno as características de cada ciência, de maneira a adquirir uma visão mais articulada dos fenômenos.
Contextualização Sociocultural	• Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época. • Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história. • Compreender a Física como parte integrante da cultura contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores. • Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. • Acompanhar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo. • Reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do homem, do outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados para um posicionamento responsável. • Reconhecer, em situações concretas, a relação entre física e Ética. • Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo.

Dentre todas essas competências, enfatiza-se a importância da competência investigativa, como afirma as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (2006); “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” (p. 53) o que não ocorre no modelo de ensino tradicional, que faz com o ensino em sala de aula não tenha nenhuma relação com os acontecimentos no mundo, o que causa desgosto e desinteresse por parte dos alunos em aprender, não que eles não queiram aprender, na verdade eles não querem aprender o que está sendo ensinado, isso faz com que o projeto de ensino, se encontre, na maioria das vezes, oposto ao projeto de aprendizagem. Nesse contexto, as Orientações Curriculares para o Ensino Médio afirmam que:

> O aluno cuja competência investigativa tiver sido adequadamente desenvolvida na escola, ao deparar-se com situações problema para cuja solução os conhecimentos adquiridos são insuficientes, poderá recorrer a livros, à Internet, ou consultar um especialista para encontrar respostas razoáveis. Portanto, a construção das competências não se encerra na escola, mas esse é o ambiente no qual se podem oferecer subsídios e possibilidades para que tal ocorra. Para isso, a contextualização e a interdisciplinaridade devem ser consideradas. Um outro ponto que vale a pena lembrar é a questão do tempo de aprendizagem de cada aluno, que muitas vezes, é diferente do tempo pedagógico. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 49).

Nesse sentido, tão importante quanto ensinar os conteúdos, é ensinar o aluno a aprender.

2.1.1. Interdisciplinaridade e Contextualização

O conceito de Interdisciplinaridade e Contextualização encontra-se nos Parâmetros Curriculares Nacionais da seguinte maneira:

> São recursos complementares para ampliar as inúmeras possibilidades de interação entre disciplinas e entre as áreas nas quais disciplinas venham a ser agrupadas. Juntas, elas se comparam a um trançado cujos fios estão

> dados, mas cujo resultado final pode ter infinitos padrões de entrelaçamento e muitas alternativas para combinar cores e texturas. (PCN – bases legais, 2000, p. 84).

Conforme as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, a contextualização como recurso didático serve para problematizar a realidade vivida pelo aluno, é uma forma de fazer com que o aluno associe o aprendizado em sala de aula com os acontecimentos do seu dia a dia. Além disso, entende-se que essa competência crítico-analítico de representar a realidade não se insere em apenas uma disciplina, surgindo então a questão da interdisciplinaridade, entendendo que um mesmo fenômeno pode ser explicado por várias disciplinas, lembrando que:

> A interdisciplinaridade não é a busca de uma unificação desses saberes, pois admitir isso seria negar aspectos históricos e epistemológicos da construção desse conhecimento e negar as características específicas, com objetos de estudo bem definidos, como a Física, a Química e a Biologia. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 51).

Ainda a respeito da interdisciplinaridade os PCN citam de forma clara e objetiva:

> [...] todo conhecimento mantém um diálogo permanente com outros conhecimentos, que pode ser de questionamento, de confirmação, de complementação, de negação, de ampliação, de iluminação de aspectos não distinguidos (PCN – bases legais, 2000, p. 75).

A preocupação com relação à inserção da interdisciplinaridade nos projetos pedagógicos está presente tanto nas Orientações Curriculares Para o Ensino Médio quanto nos Parâmetros Curriculares Nacionais, no que se refere ao resumo exagerado dos conteúdos disciplinares. O primeiro afirma o seguinte:

> Talvez seu verdadeiro significado seja colocar em evidência o fato de que simplificações exageradas acabam dificultando em vez de facilitar sua implementação em sala de aula. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 52).

E os PCN afirmam, que:

> O exemplo do projeto é interessante para mostrar que a interdisciplinaridade não dilui as disciplinas, ao contrário, mantém sua individualidade. Mas integra as disciplinas a partir da compreensão das múltiplas causas ou fatores que intervêm sobre a realidade e trabalha todas as linguagens necessárias para a constituição de conhecimentos, comunicação e negociação de significados e registro sistemático de resultados. (PCN – bases legais, 2000, p. 76)

Com respeito a contextualização, as Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, dizem o seguinte:

> Um tratamento didático apropriado é a utilização da história e da filosofia da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber. Há, então, uma contextualização, que é própria do processo do ensino na escola. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 50)

Neste cenário, cabe a escola ampliar e desenvolver a compreensão de mundo que os alunos possuem. Vale ressaltar que mesmo que o cotidiano seja o principal caminho para se fazer a contextualização dos assuntos abordados em sala de aula, cotidiano e contextualização não são sinônimos pois esta última se limita a explicar situações mais específicas e de forma superficial, utilizando o senso comum. Já o conhecimento científico tem outras características e tenta romper com esse senso comum, assim, “quando um fenômeno é estudado pela ciência, ela o modifica, idealiza-o para trazê-lo para a área de pesquisa”. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 50).

No que se refere ao senso comum, a intenção não é partir do conhecimento que o aluno já sabe transformando esse saber em conhecimento científico. O que na verdade se pretende com a contextualização é partir da reflexão crítica ao senso comum proporcionando meios para que o aluno sinta a necessidade de buscar e

compreender esse novo conhecimento. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 51)

> A contextualização como recurso didático serve para problematizar a realidade vivida pelo aluno, extraí-la do seu contexto e projetá-la para a análise. Ou seja, consiste em elaborar uma representação do mundo para melhor compreendê-lo. Essa é uma competência crítico-analítico e não se reduz à mera utilização pragmática do conhecimento científico. (Orientações Curriculares Para o Ensino Médio, 2006, p. 51).

A FMC se faz presente no dia a dia, podendo ser identificada tantos nas suas interdisciplinaridades como nas suas contextualizações. Pode-se relacionar a FM com os mais diversos setores produtivos como, por exemplo, a indústria tecnológica (equipamentos *high-tech,* computação, nanotecnologia, microscopia eletrônica), na engenharia de materiais (Novas ligas/fibras metálicas e plásticas, que conferem maior resistência e fiabilidade aos materiais), na medicina (ressonância magnética, radioterapia, genética/biologia molecular) dentre várias outras aplicações.

Os principais objetivos propostos pelos PCN+ em relação à Física Moderna são os seguintes:

Matéria e suas propriedades: Utilizar os modelos atômicos propostos para a constituição da matéria para explicar diferentes propriedades dos materiais (térmicas, elétricas, magnéticas etc.); Relacionar os modelos de organização dos átomos e moléculas na constituição da matéria às características macroscópicas observáveis em cristais, cristais líquidos, polímeros, novos materiais etc.; compreender a constituição e organização da matéria viva e suas especificidades, relacionando-as aos modelos físicos estudados.

Radiações e suas interações: Identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios γ) e sua utilização através das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de microondas, tomografia etc.); Compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz,

telas de monitores, radiografias; Avaliar efeitos biológicos e ambientais do uso de radiações não ionizantes em situações do cotidiano.

Energia nuclear e Radioatividade: Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina; Avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e radiações ionizantes.

Eletrônica e Informática: Identificar a presença de componentes eletrônicos, como semicondutores, e suas propriedades nos equipamentos contemporâneos; Identificar elementos básicos da microeletrônica para compreender o processamento de informação (processadores, microcomputadores etc.), redes de informática e sistemas de automação; Acompanhar e avaliar o impacto social e econômico da automação e informatização na vida contemporânea.

2.2. A TEORIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

As mudanças que a sociedade sofreu desde a metade do século XIX até os dias atuais fez com que o Ensino de Ciências se reinventasse e passasse por diversas mudanças com diferentes objetivos. Nesta mesma época a perspectiva de ensino por investigação deu seus primeiros sinais de vida na educação norte-americana, onde era conhecida através do termo *inquiry.* Tal termo apresentou vários conceitos, dentre eles: ensino por descoberta; aprendizagem por projetos; questionamentos; resolução de problemas. (ZOMPERO e LABURÚ, 2011).

O Ensino por investigação recebeu grande influência do filósofo e pedagogo John Dewey. Ele foi precursor dessas novas ideias e seu nome tem sido associado à aprendizagem por projetos e por resolução de problemas. Foi ele que recomendou a inclusão do *inquiry* na educação científica a partir do livro Logic: The Theory of Inquiry, publicado em 1938 (ZOMPERO e LABURÚ, 2011).

Diferente do que ocorreu em países da Europa e dos Estados Unidos, onde a investigação é o princípio central dos Parâmetros Nacionais de Ensino de Ciências (NSES) aqui no Brasil o ensino de ciências apresentou certa resistência e não passou por mudanças significativas. (ZOMPERO e LABURÚ, 2011). Podemos encontrar a abordagem do ensino envolvendo atividades investigativas aqui no Brasil nos Parâmetros Curriculares Nacionais (1997) que propõem que:

> O ensino de ciências deve propiciar ao educando compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade (p. 107).

Conforme afirmam Zompero e Laburú (2011), mesmo assim essa prática é pouco predominante e também pouco enfatizada nos documentos oficias de ensino. Já Sá, Paula, Lima e Aguiar (2007) enfatizam que no Brasil, essa abordagem de ensino ainda não está bem estabelecida e o número de artigos publicados sobre esse tema não é significativo. Eles citam alguns pesquisadores e educadores da área de ciências que tem apresentado um crescente interesse pelo ensino por investigação, como: Borges e Gomes, 2004; Azevedo, 2004; Carvalho, 2004; Fernandes e Silva, 2005; Maués e Lima, 2006; Lima e Munford, 2007.

Entretanto, é de fundamental importância que saibamos o porquê de ensinar Ciências por investigação. Será que essa maneira de ensinar ajuda a resolver problemas que enfrentamos hoje relacionados ao interesse e motivação dos alunos, à efetiva aprendizagem?

Como afirma Lima, 2007, existe uma diversidade extensa de visões acerca do que é o ensino por investigação, mas acredita-se que essas várias posições podem ser melhor compreendidas quando vistas a partir de uma preocupação comum, o reconhecimento do distanciamento entre a ciência ensinada nas escolas e a ciência ensinada nas universidades, em laboratórios e em outras instituições de pesquisa.

A autora ainda afirma que essas duas “ciências” – a escolar e a dos cientistas- têm muito pouco em comum. Esse distanciamento é facilmente observado nos

conteúdos e na maneira como são estudados. Geralmente o professor expõe os conteúdos de uma maneira mecânica, os alunos copiam, substituem números em fórmulas sem terem a menor noção do que estão fazendo. Isso quando o fazem, pois é claramente observado o desinteresse dos alunos em aprender conteúdos relacionados à Ciência Física, em particular.

A escola também foi afetada pelas modificações sociais. Desde muito tempo, o papel do professor, visto como o detentor do conhecimento que transmitia os conhecimentos de forma expositiva e os alunos reaplicavam experiências e decoravam os nomes dos cientistas. Como, nos dias de hoje, o conhecimento cresceu de forma exponencial, ninguém tem condições de saber de tudo. Dessa maneira passou-se a privilegiar mais o processo de obtenção do conhecimento, sem se esquecer do próprio conteúdo. Foi uma escolha pela qualidade e não pela quantidade (CARVALHO, 2013).

Carvalho ainda afirma que por isso, diante deste cenário, é necessário que o professor assuma um novo papel na sala de aula. Deixando de lado a postura do único detentor do conhecimento e atuando como um mediador entre aluno e conhecimento.

O que fica claro nas entrevistas piagetianas, segundo Carvalho, é a importância de um problema para o início da construção do conhecimento:

> Ao propor um problema, o professor passa a tarefa de raciocinar para o aluno e sua ação não é mais o de expor, mas de orientar e encaminhar as reflexões dos estudantes na construção do novo conhecimento. (CARVALHO, cap. 1, p. 2, 2013)

Carvalho comenta ainda no seu trabalho a posição de Bachelard (1938) que segundo ele, todo conhecimento é resposta de uma questão. E essa questão ou problema que será exposto não pode ser de qualquer maneira, deve estar presente na cultura dos alunos, eles devem ficar interessados e motivados em obter respostas, obter soluções para o problema proposto e que as exponham espontaneamente.

Enxergamos no ensino por investigação uma maneira de aproximar as duas “ciências” – a escolar e a dos cientistas- mostrando aos alunos a aplicação direta dos conteúdos no cotidiano em geral, buscando também que o aluno assuma a posição de cientista, questionador e investigador, pois entendemos que:

> A perspectiva do ensino com base na investigação possibilita o aprimoramento do raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, e também a cooperação entre eles, além de possibilitar que compreendam a natureza do trabalho científico. (ZOMPERO E LABURÚ, 2011, p. 68)

No entanto, o termo ensino por investigação tem sido usado muitas vezes de forma equivocada por professores e pesquisadores. O que faz necessário conhecermos e entendermos criteriosamente as características das atividades investigativas.

Vale ressaltar, primeiramente, que é importante ter claro que não existe pretensão de dizer que os alunos vão pensar ou se comportar como cientistas, pois eles não têm maturidade para isso. A proposta é mais simples, pretendemos criar um ambiente investigativo em nossas salas de aula de ciências de tal forma que possamos ensinar os alunos no processo do trabalho científico para que eles possam gradativamente ir ampliando sua cultura científica, se alfabetizando cientificamente. (SASSERON e CARVALHO, 2008).

2.3. A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

2.3.1 Um Breve Retrospecto

Atualmente já é sabido sobre o duplo caráter, corpuscular e ondulatório, da luz que também é partilhado pelas partículas materiais. É sobre essa dualidade que propomo-nos falar neste capítulo.

No século XVII, havia uma grande controvérsia sobre a natureza da luz visível. Duas teorias, baseadas em ideias completamente opostas, tentavam esclarecer esta

questão: De um lado tínhamos o físico inglês Isaac Newton que defendia a teoria corpuscular e do outro, o físico holandês Christiaan Huygens com a teoria ondulatória. (CHESMAN, 2004, cap. 7, p. 147)

Para entendermos melhor essa questão da dualidade, se faz necessário recuarmos um pouco no tempo. No caso da luz, desde a antiguidade, já se tinha uma ideia do que seriam partículas ou corpúsculos:

> [...] entendia-se que as partículas ou corpúsculos de luz saíam dos olhos dos animais e das pessoas. Os olhos dos gatos brilham no escuro, como se de fato dardejassem luz. Talvez por isso os antigos pensassem que a luz emanava dos olhos, em direção aos objetos. Era como se a realidade só existisse por ser vista por nós, iluminada pelos nossos olhos. (MENDONÇA, cap. 2, p. 34, 2015)

Tínhamos também Demócrito, o pai do atomismo, que propôs o contrário, para ele a luz era feita de ínfimas partículas que emanavam dos objetos e ocasionalmente eram recebidas pelos nossos olhos. Sendo essa a versão moderna dos fenômenos luminosos. Temos de invocar também Pierre de Fermat, matemático francês, que propôs a ideia do princípio de tempo mínimo. Ele generaliza e explica que as partículas de luz se deslocam em linha reta e escolhem o percurso mais rápido, quando esse deslocamento ocorre entre dois pontos imersos em um meio óptico homogêneo, este é o chamado princípio de Fermat.

No entanto, quando os dois pontos estiverem situados em dois meios ópticos diferentes, a linha não segue uma linha reta, e sim uma linha quebrada, sendo retos os segmentos de um lado e outro da superfície de separação entre os dois meios, e fazem um ângulo bem definido entre eles. Esse fenômeno é a conhecida *refração* da luz, que só foi estabelecida em 1621 pelo holandês Willebrord Snellius, publicada alguns anos mais tarde por René Descartes. Devido a isso ela é normalmente conhecida como lei de Snell e em algumas ocasiões por lei de Descartes. (MENDONÇA, cap. 2, 2015)

Mendonça também relata em sua obra sobre o fenômeno da *reflexão*, que ocorre quando a luz incide sobre uma superfície refletora, como os espelhos e não é

transmitida através deles, antes volta para trás segundo um ângulo bem definido. A lei da reflexão, diferente da lei da refração, é conhecida desde a Antiguidade clássica, descrita, por exemplo, na geometria Euclidiana.

> A descrição corpuscular da luz, tal como foi sendo construída desde a Antiguidade, permite facilmente explicar os fenômenos da reflexão e da refração. Esses corpúsculos, que podemos designar como raios luminosos, seguem trajetórias bem definidas que obedecem ao princípio de Fermat, e são descritas pelas equações da óptica geométrica. Foi Newton quem deu um toque final à teoria corpuscular da luz, que foi depois submersa pela teoria ondulatória nos finais do século XII, com Huygens e outros, [...] (MENDONÇA, cap. 2, p. 36, 2015)

Por volta da segunda metade do século XII, a teoria de Newton foi posta em cheque com a descoberta de novos fenômenos ópticos: em 1665, a interferência e a difração e em 1678, a polarização. Esses fenômenos não puderam ser explicados de forma adequada considerando a luz como um feixe de partículas. Por outro lado, a teoria corpuscular sofreu um grande golpe quando, em 1803, Thomas Young realizou o famoso experimento da fenda dupla. Este experimento ressaltou a natureza ondulatória da luz, e pôde medir experimentalmente pela primeira vez o comprimento de onda da luz (CHESMAN, 2004, cap. 7, p. 147).

Tais experiências fizeram com que a teoria ondulatória ganhasse um espaço considerável - como Mendonça bem diz em seu livro “foi no confronto com a experiência que, pouco a pouco, a descrição ondulatória da luz se impôs” - e a teoria corpuscular começou a ser deixada de lado, menos pelos seguidores de Newton, que se mostraram muito resistentes em abandonar a ideia de que a luz era formada por partículas.

A primeira teoria ondulatória da luz foi proposta por Robert Hooke, que foi contemporâneo de Newton, em finais do século XVII. Tal teoria não conseguiu vencer a teoria corpuscular. Mas foi com Christiaan Huygens, um físico holandês também contemporâneo de Newton, que a teoria ondulatória se afirmou (MENDONÇA, 2015), mas a hegemonia da teoria ondulatória aumentou

consideravelmente, em meados do século XIX, com a descoberta de Maxwell de que a luz era uma onda eletromagnética (CHESMAN, 2004).

2.3.2. Como Surgiram as Ideias da Dualidade

Em 1905, Einstein dá uma interpretação surpreendente pra o efeito fotoelétrico, como descrito por Eisberg e Resnick:

> Foi em 1886 e 1887 que Heinrich Hertz realizou as experiências que pela primeira vez confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. É um desses fatos paradoxais e fascinantes na história da ciência que Hertz tenha notado, no decorrer de suas experiências, o efeito que Einstein mais tarde usou para contradizer outros aspectos da teoria eletromagnética clássica. Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz ultravioleta. Lenard, seguindo alguns experimentos de Hallwachs, mostrou logo em seguida que a luz ultravioleta facilita a descarga ao fazer com que elétrons sejam emitidos da superfície do catodo. A emissão de elétrons de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada *efeito fotoelétrico*. (EISBERG e RESNICK, cap. 2, p. 51)

Até então ninguém havia conseguido explicá-lo, pois todas as explicações eram baseadas na teoria ondulatória da luz. Para explicar tal efeito, Einstein propôs que a luz deveria se comportar como um pacote de partículas (que recebeu o nome de fótons) e não como uma onda eletromagnética. Dessa forma, a controvérsia sobre a natureza da luz é retomada, mas agora os cientistas já estão amparados em vários experimentos. E resolvem admitir que a luz seria melhor entendida se fosse aceita para ela um caráter dual, ou seja, uma onda – partícula. Em certas situações, como na interferência e difração, ela apresenta com comportamento ondulatório. Em outras, como no efeito fotoelétrico, ela se apresenta como uma partícula. (CHESMAN, 2004)

2.3.3. Estendendo o Caráter Ondulatório Para a Matéria

Mais tarde, no ano de 1924, um jovem cientista francês, o príncipe Louis-Victor

Pierre Raymond de Broglie, pensando na simetria entre os campos elétricos e magnéticos, resolveu estender o conceito de dualidade para a matéria. Em sua tese de doutorado ele apresentou a seguinte hipótese: da mesma forma que a luz, as partículas materiais poderiam apresentar comportamentos típicos de uma onda, como a interferência e a difração. Ele chamou essas ondas de *ondas de matéria* (CHESMAN, 2004).

> O alcance e a originalidade de sua tese foram reconhecidos de imediato, mas, devido à aparente falta de evidência experimental, não se considerou que as ideias de de Broglie tivessem alguma realidade física. Foi Albert Einstein quem reconheceu sua importância e validade, e por sua vez chamou a atenção de outros físicos para elas. Cinco anos mais tarde, de Broglie recebeu o Prêmio Nobel em Física, tendo suas ideias dramaticamente confirmadas por experiências. (EISBERG e RESNICK, cap. 2, p. 51)

Então, se os corpos materiais podem apresentar um comportamento ondulatório. Surgem algumas questões, tais como: qual seria o comprimento de onda associado à matéria? E como calcular esse comprimento de onda?

Como Eisberg e Resnick relatam, de Broglie em seu trabalho propõe que tanto para a matéria quanto para a radiação, a energia total *E* está relacionada com a frequência *f* da onda associada ao seu movimento pela equação:

$$E = hf \ .$$

Acima *h* é a constante de Planck.

Já o momento p está relacionado com o comprimento de onda λ da onda associada pela equação:

$$\lambda = \frac{h}{p} \ .$$

Essa equação é chamada de relação de de Broglie e prevê o comprimento de onda de de Broglie λ de uma onda de matéria associada ao movimento de uma partícula material que tem um momento p.

3. EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA: ALGUNS RESULTADOS REPORTADOS NA LITERATURA SOBRE O TEMA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Como mencionado anteriormente, existe uma grande preocupação com o ensino de FM e FC no Ensino Médio e uma grande escassez de trabalhos que tratam do tema dualidade onda-partícula, neste ponto será feito um breve relato do estado – da – arte do problema relatado.

Incluímos aqui trabalhos que tratam do tema dualidade onda-partícula de forma geral, os que são relacionados ao ensino assim como os de divulgação científica.

Em 2009, Silva publicou uma análise sobre a concepção de Newton sobre a Luz, mostrando que a mesma tem sido alvo de controvérsias. Alguns autores consideram sua teoria puramente corpuscular, e outros, influenciados pelos textos de Young, defendem que ela seria uma combinação de elementos corpusculares e ondulatórios. O autor conclui seu trabalho dizendo que a interpretação segundo a qual Newton defenderia uma teoria da luz parcialmente ondulatória é que seria uma construção *a posteriori,* devida em grande parte à retórica de Young, movido pela necessidade de invocar o apoio de um grande físico, em defesa de sua teoria incipiente. Ressalta ainda que o sucesso obtido não desmerece o grande talento de Young, esse pesquisador multidisciplinar. Ao contrário, vem confirmar suas habilidades em outras áreas do conhecimento e sua capacidade em coordená-las em defesa de sua tese.

No mesmo ano, Betz, Lima e Mussato apresentam um recurso eletrônico destinado a apoiar o ensino e facultar o estudo independente da dualidade onda-partícula na Física Quântica, utilizando interferômetro de Mach – Zehnder como ilustração conveniente dos conceitos. Os autores concluem o trabalho mostrando as perspectivas futuras, eles afirmam que, embora o interferômetro de Mach – Zehnder, tratado de maneira idealizada no nível de ondas planas e pacotes em movimento unidimensional, como foi feito, tem o mérito da simplicidade, ele não permite a visualização de uma distribuição contínua de probabilidade e do padrão de franjas

induzidos nesta pela interferência. Eles acreditam que o padrão o mais simples que possa ser considerado para a ilustração de tais aspectos seria o tradicional experimento de duas fendas, numa idealização planar.

Outro trabalho nesse mesmo tema foi feito por Neto e outros (2009), no âmbito do mestrado profissional em ensino de física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) onde apresentam a aplicação de uma proposta de introdução de tópicos de Física Moderna a estudantes de um curso técnico na área da saúde e a avaliação de um *software* tipo bancada virtual que simula o interferômetro de Mach – Zehnder. Os autores usaram como referencial teórico a teoria sociointeracionista de Vigotsky e a ênfase curricular CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Concluem afirmando que o *Software* possui todas as potencialidades que o tornam uma ferramenta muito útil no ensino e na aprendizagem de fundamentos de Física Quântica.

Silva et. al, também em 2009, procuraram investigar, numa turma de alunos de licenciatura em física, se o pensamento transdisciplinar pode contribuir para a compreensão do princípio da dualidade da luz. A metodologia empregada foi o ciclo da experiência de Kelly, utilizando 3 experimentos didáticos: a cuba de onda, a dupla fenda de Young e o radiômetro de crookes e uma oficina sobre a transdisciplinaridade. Os autores afirmam que tais metodologias contribuíram para uma maior compreensão do princípio da dualidade da luz.

Em, 2015, Silva publicou um artigo, em comemoração ao ano internacional da luz, onde conta uma história sobre o conceito de fóton ao longo do século XX. Onde se dedica a revelar os caminhos que levaram a um conceito de fóton mais sofisticado, passando pelo efeito HBT, os estados coerentes de Glauber, e os experimentos que trouxeram à tona a natureza quântica da luz.

Outro trabalho, também em comemoração ao ano internacional da luz, foi feito por Studart (2015), que apresenta uma abordagem histórica e conceitual da concepção da luz desde as ideias de Newton e contemporâneos até a concepção atual construída a partir de ideias brilhantes e experimentos sofisticados que permitem a

manipulação e controle de fótons individuais. O autor também apresenta uma breve discussão sobre algumas de suas aplicações, notadamente no campo da biofotônica.

No mesmo ano, Davidovich (2015), publicou um panorama sobre a teoria da luz, a partir da proposta de Planck de 1900 até os temas atuais de emaranhamento de fótons e informação quântica. O autor discute em seu trabalho a radiação de corpo negro, a lei de Planck e a teoria da emissão induzida, o maser e o laser, e a revolução conceitual da ótica quântica.

Silva (2016), publicou um recorte da história da óptica com o intuito de discutir suas contribuições para o entendimento do processo de construção e derrocada de teorias científicas, realizando um estudo sobre as controvérsias existentes sobre a natureza da luz nos séculos XII e XIII. O autor afirma que estudos dessa natureza podem contribuir para uma formação mais crítica do futuro professor em questões relacionadas à natureza do conhecimento científico.

Também em 2016, Jardim publicou uma proposta de ensino da natureza da luz através da história e filosofia da ciência, discutindo as concepções vibracionais e corpusculares da luz. Um dos recursos utilizados pelo autor para abordar os conceitos ondulatórios da luz foi o software *Google Earth,* que além de despertar o interesse dos alunos, possibilitou visualizar fenômenos de interferência e difração. Jardim conclui seu trabalho afirmando que a experiência se mostrou muito enriquecedora para o ambiente escolar. O programa e os demais recursos permitiram aos alunos interagirem de maneira efetiva, se tornando parte da reflexão construída e conduzindo as observações até a conclusão alcançada no momento descrito: a luz tem comportamento ondulatório.

Coelho e Borges (2010), publicaram o relato de um estudo sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes no campo da óptica e da física moderna (natureza da luz). Os autores investigaram: a mudança no entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz ao longo da terceira série do ensino médio e o patamar de entendimento dos estudantes sobre essa temática ao final da respectiva. Para

avaliar o entendimento, eles desenvolveram um instrumento qualitativo e criaram um sistema categórico hierárquico constituído de cinco modelos sobre a natureza da luz. O instrumento foi aplicado em dois momentos distintos, com um intervalo de 10 meses entre um e outro, o que proporcionou o acesso ao entendimento dos estudantes ao iniciar e encerrar a terceira série do ensino médio. Os resultados, segundo os autores, indicam que os estudantes possuíam um alto conhecimento prévio e as experiências por eles vivenciadas foram eficazes para o progresso nos modelos dos estudantes.

Em 2011, Krapas e outros, publicaram comentários sobre o tratado sobre a luz de Huygens, onde tentam evidenciar o raciocínio de Huygens, mostrando que, apesar de ter sido publicada há mais de trezentos anos, a obra está escrita numa linguagem relativamente acessível. A parte do tratado à qual os autores se dedicaram trata de mostrar as falhas do modelo corpuscular e as potencialidades do modelo ondulatório para explicar diversas propriedades da luz conhecidas na época. E concluem, afirmando que o presente estudo, ao expor a dimensão explicativa do modelo ondulatório frente ao modelo corpuscular através da utilização de fontes primárias, pode ser uma importante contribuição para a formação inicial e continuada de professores de física, assim como pode ensejar a produção de trabalhos tais como o feito por eles.

Uma análise crítica da possível disputa entre as teorias sobre a luz e cores elaboradas por Newton e Huygens que teria ocorrido entre os séculos XVII e XIX foi publicada por Moura (2016). O autor mostra que na historiografia da ciência, tal disputa é considerada ultrapassada, oferecendo subsídios para que essa questão seja também problematizada no ensino.

Ferreira e Filho (2016), apresentam a parte I de uma análise sobre o experimento da dupla fenda abordando classicamente o comportamento ondulatório e corpuscular da luz. Para abordar a natureza corpuscular, eles analisam uma metralhadora que dispara balas (corpúsculos) em uma parede com dois orifícios, separados por uma longa distância e com um anteparo de fundo para receber os corpúsculos. Com isso, eles fazem uma análise simples de probabilidade. Para abordar a natureza

ondulatória, utilizam o experimento da dupla fenda. Segundo os autores, é feita uma revisão sobre os conceitos de interferência com o auxílio de instrumentos virtuais. Por fim, eles apresentam um software desenvolvido por um grupo de alunos para realização do experimento virtual da dupla fenda com corpúsculos.

O quadro abaixo mostra todos os artigos encontrados durante essa pesquisa.

Quadro 2 – Artigos encontrados sobre o tema dualidade onda-partícula.

TÍTULO	AUTORES, REVISTA E ANO
Aspectos da natureza da ciência na sala de aula: o caso da natureza da luz nos séculos XII e XIII	Silva, Boniek Venceslau da Cruz. 2016. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia.
Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach – Zehnder	Betz, Michel; Lima, Ismal de e Mussato, Gabriel. 2009. Revista Brasileira de Ensino de Física.
O tema da dualidade onda – partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach – Zehnder	Silva Neto, Jader; Ostermann, Fernanda e Padro, Fernanda Denise. 2011. Revista Brasileira de Ensino de Física.
Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas	Silva, Indianara. 2015. Revista Brasileira de Ensino de Física.
Uma concisa abordagem histórica e conceitual da luz e de algumas de suas aplicações: Apresentação de artigos convidados na edição comemorativa do	Studart, Nelson. 2015. Revista Brasileira de Ensino de Física.

ano internacional da luz.	
Os quanta de luz e a ótica quântica	Davidovich, Luiz. 2015. Revista Brasileira de Ensino de Física.
Visualizando a difração e interferência de ondas através do programa *Google Earth*: discutindo história da ciência e a natureza da luz.	Jardim, Wagner. 2016. Revista a Física na Escola.
O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo	Coelho, Geide Rosa; Borges, Oto. 2010. Caderno Brasileiro de Ensino de Física.
O tratado sobre a luz de Huygens: comentários	Krapas, Sonia; Queiroz, Gloria Regina Pessôa Campello; Uzêda, Diego. 2011. Caderno Brasileiro de Ensino de Física.
Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz.	Moura, Breno Arsioli. 2016. Caderno Brasileiro de Ensino de Física.
O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório e o desenvolvimento de um software computacional.	Ferreira, Danilo Cardoso; Filho, Moacir Pereira de Souza. 2016. Caderno Brasileiro de Ensino de Física.
A teoria da luz de Newton nos textos de	Silva, da Fabio W. O. 2009. Revista

Young	Brasileira de Ensino de Física.
E assim se fez o quantum...	Feldens, Bruno; Dias, Penha Maria Cardoso; Santos, Wilma Machado Soares. 2010. Revista Brasileira de Ensino de Física.
A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio	Silva, Boniek Venceslau da Cruz; Martins, André Ferrer Pinto. 2010. Revista Experiência em Ensino de Ciências.

De acordo com os gráficos abaixo podemos observar o quão escassa é a pesquisa a respeito de tópicos sobre o tema dualidade onda-partícula.

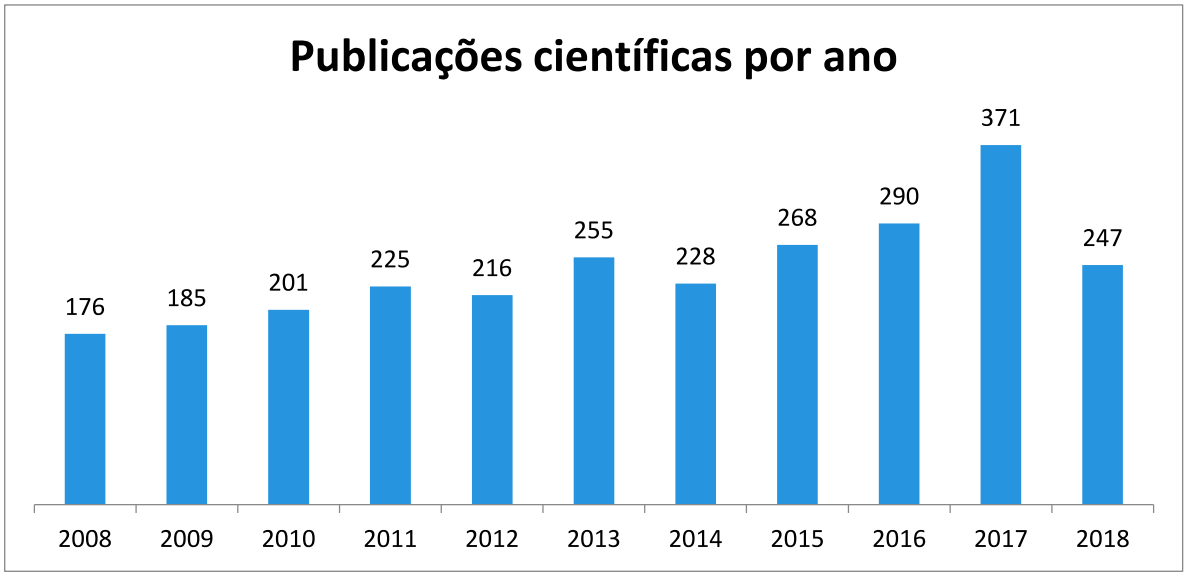


Figura 1 - Número de publicações de artigos científicos versus ano de publicação.

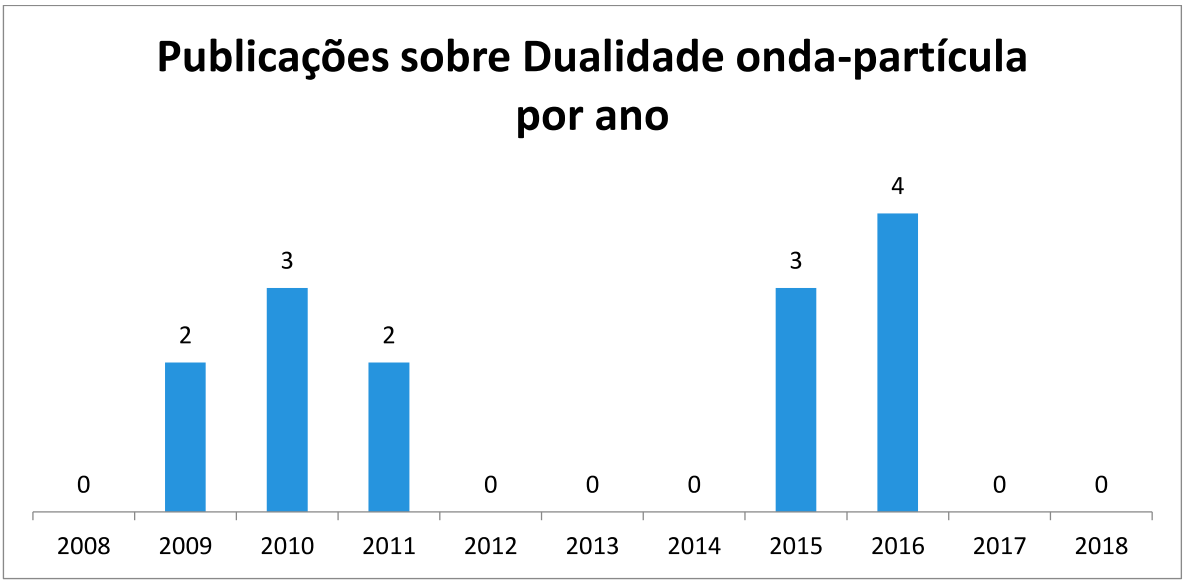


Figura 2 - Número de publicações de artigos científicos sobre dualidade onda-partícula versus ano de publicação

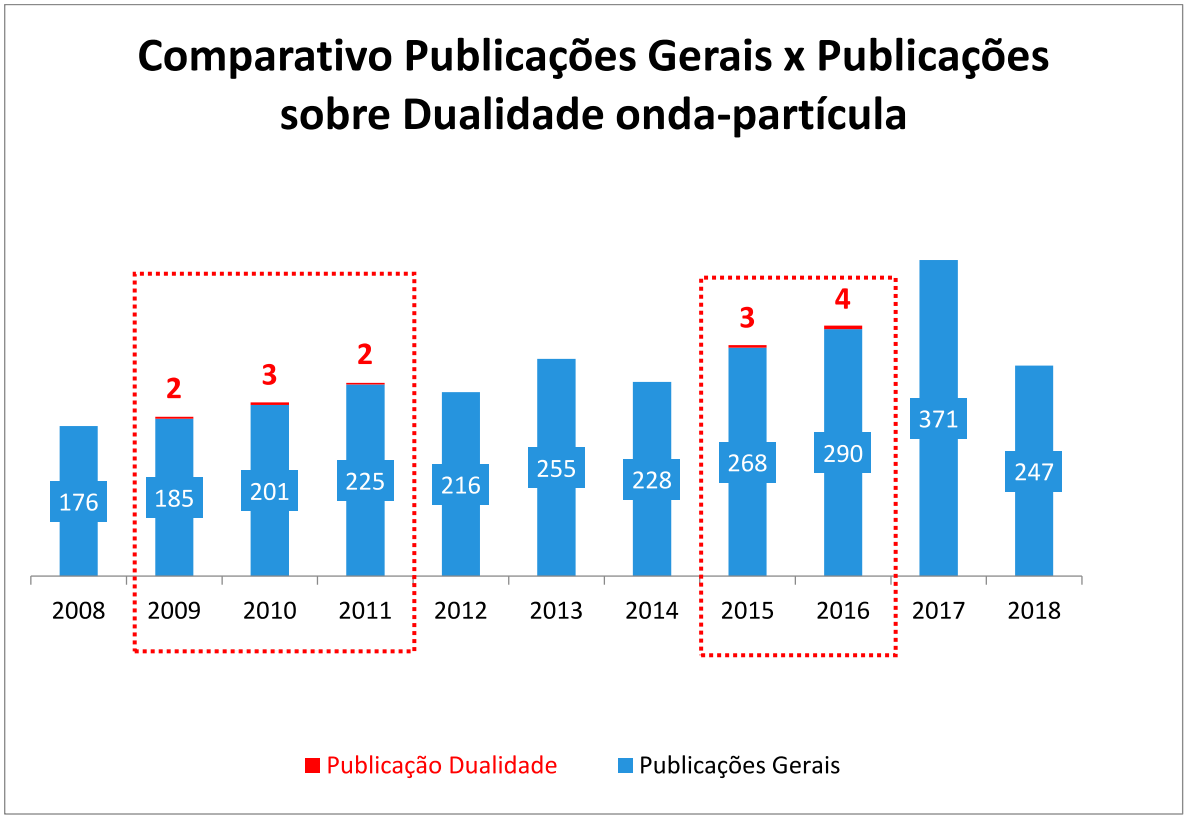


Figura 3 – Comparativo das publicações gerais versus publicações sobre dualidade onda-partícula.

Conforme mostram as figuras 2 e 3 a carência de publicações que tratam do tema dualidade onda partícula é tão grande que dentro do período em que fizemos essa revisão bibliográfica, a saber, últimos 10 anos, em apenas 5 anos houve alguns poucos trabalhos. Nos outros 5 anos não encontramos nada que tratasse do respectivo tema.

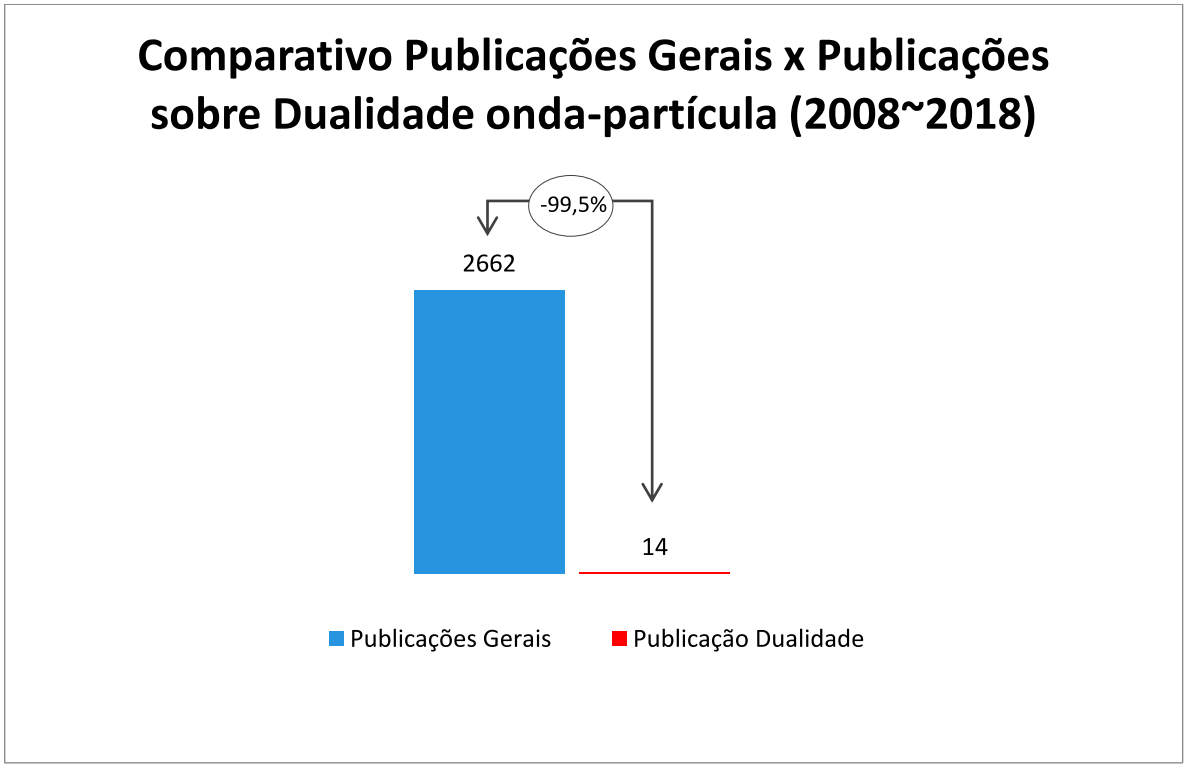


Figura 4 – Comparativo das publicações gerais x publicações sobre dualidade onda-partícula em porcentagem.

A figura 4 mostra em porcentagem a baixa quantidade de artigos que foram publicados sobre o tema dualidade onda-partícula, de uma amostra de 2 662 artigos apenas 14 abordam o tema, o que representa 0,5% do total analisado.

Acreditamos que o motivo para a baixa produção de artigos sobre dualidade onda-partícula seja o fato de tal tema ser pouco ensinado.

4. METODOLOGIA

4.1. OBJETIVOS DA PESQUISA

Neste capítulo apresentaremos o delineamento metodológico da pesquisa desenvolvida, com a descrição do contexto e dos sujeitos envolvidos, os instrumentos e os métodos utilizados para a produção de dados, bem como os processos estabelecidos para sua análise e interpretação.

Mas antes disso queremos relatar uma questão que foi levantada ao longo do processo:

Como abordar a dualidade onda-partícula para alunos do EM numa perspectiva investigativa?

Essa questão se mostrou um desafio desde o início, foram meses pensando em como abordar tal assunto, tendo em vista a pouca aplicabilidade no dia a dia desses estudantes e a dificuldade em encontrar uma situação-problema como ponto de partida para iniciar a abordagem do conteúdo.

Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo geral:

- ✓ Analisar e Investigar a aprendizagem do conteúdo dualidade onda-partícula em uma perspectiva investigativa.

E como objetivos específicos:

- Desenvolver uma Unidade de Ensino Investigativa abordando o conteúdo dualidade onda-partícula;

- Investigar a evolução da aprendizagem conceitual dos conteúdos.

4.2. INSTITUIÇÃO E SUJEITOS PARTICIPANTES

A presente pesquisa aconteceu na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Aflordízio Carvalho da Silva, situada na rua Engenheiro Rubens Bley, Bairro Itararé, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

A pesquisa contou com a participação de 35 sujeitos, contando aqueles que fizeram e participaram de todas as atividades e aulas destinadas à investigação. Os sujeitos tiveram suas identidades preservadas durante todo o processo e os dados colhidos foram usados somente para a presente pesquisa.

A intervenção ocorreu em uma turma da segunda série do ensino médio. A escolha da turma gerou um pouco de dúvida, pois o conteúdo dualidade onda-partícula envolve conceitos de ondas, que com base no currículo básico comum do estado do Espírito Santo, é visto na segunda série do EM, e conteúdos de FM, que deveriam ser abordados na terceira série do ensino médio. Para escolher a turma, levamos em consideração que no terceiro ano do ensino médio os alunos estão mais preocupados com Enem, vestibular, formatura e poderiam não mostrar o mesmo interesse observado em alunos da segunda série do EM.

4.3. DESENHO DA INVESTIGAÇÃO E PROPOSTA DIDÁTICA

A pesquisa é de natureza *quali-quanti*, apoiada em observações registradas em um diário de bordo, de registros em áudio e de dados coletados ao longo de uma intervenção que teve como base a utilização de atividades investigativas.

Durante a intervenção analisamos a evolução dos conteúdos conceituais, o entendimento dos conceitos do tema dualidade onda-partícula dos estudantes, bem como discutimos possíveis fatores que contribuíram para a evolução.

Nesta proposta didática de Ensinar os conceitos da dualidade onda-partícula, apresentamos a concepção de uma Unidade de Ensino que é pautada em atividades investigativas. Tal metodologia traz mudanças nos papéis do aluno e do professor, o primeiro deixa de ser apenas um ouvinte e passar a ser protagonista do processo de ensino e aprendizagem enquanto o segundo assume o papel de mediador do

conhecimento, aquele que orienta e facilita as ações para favorecer as aprendizagens.

4.4. CARACTERÍSTICAS DE UMA UNIDADE DE ENSINO INVESTIGATIVA

Segundo Carvalho (2013), as Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) devem ser sequências de atividades que visam proporcionar aos alunos: condições de trazerem seus conhecimentos prévios para iniciarem os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico.

Ainda nas palavras de Carvalho (2013):

> [...] uma sequência de ensino investigativa deve ter algumas atividades chaves: na maioria das vezes a SEI inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico desejado e dê condições para que pensem e trabalhem com as variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático. É preciso, após a resolução do problema, uma atividade de sistematização do conhecimento construído pelos alunos. Essa sistematização é feita preferivelmente através da leitura de um texto escrito quando os alunos podem novamente discutir, comparando o que fizeram e o que pensaram ao resolver o problema, com o relatado no texto. Uma terceira atividade importante é a que promove a contextualização do conhecimento no dia a dia dos alunos, pois nesse momento eles podem sentir a importância da aplicação do conhecimento construído do ponto de vista social. Esta atividade também pode ser organizada para o aprofundamento do conhecimento levando os alunos a saberem mais sobre o assunto. Algumas SEIs, para dar conta de conteúdos curriculares mais complexos, demandam vários ciclos destas três atividades ou mesmo outros tipos de atividades precisam ser planejadas. (CARVALHO, 2013, cap. 1, p. 7)

Quando se fala em TEI (Teoria de Ensino por Investigação), logo nos lembramos do “problema” a ser proposto. No entanto, devemos tomar cuidado para não o utilizarmos de forma inadequada, como aparece nos livros didáticos, no item “problema”, onde encontramos normalmente exercícios de aplicação com uma

tendência ao operativismo como diz Azevedo (2004).

> O problema formulado deve instigar e orientar o trabalho do aluno e do professor com o aluno. No caso de uma situação problema ser apresentada pelo professor é importante que ela seja reconhecida como problema pelos alunos, o que implica criar oportunidades para que eles explorem as ideias que têm, confrontem suas ideias com outras novas, duvidem, questionem e se engajem na busca de uma resposta para a situação problema. (Sá et al, 2007, p. 11)

Carvalho (2013) relata os vários tipos de problemas que se pode organizar para iniciar uma SEI, a saber: O problema experimental, demonstrações investigativas e problemas não experimentais. A autora afirma que sem dúvida o problema experimental é o mais comum e que envolve mais os alunos. Porém como afirmam Sá, Paula, Lima e Aguiar (2007), nas atividades práticas voltadas para a investigação é papel do aluno a identificação de problemas, a formulação de hipóteses, a escolha dos procedimentos, a coleta de dados e a obtenção de conclusões.

Abordarei com mais detalhes sobre as demonstrações investigativas pois elas foram o problema da minha Sequência de Ensino.

Concordamos com as palavras de Azevedo (2004), quando afirma que as demonstrações experimentais em ciências são feitas com o objetivo de ilustrar uma teoria que já foi estuda ou que está em estudo e que podem trazer uma contribuição maior para o Ensino de física desde que envolvam uma investigação acerca dos fenômenos demonstrados.

> Chamamos de demonstrações experimentais investigativas as demonstrações que partem da apresentação de um problema ou de um fenômeno a ser estudado e levam à investigação a respeito desse fenômeno. (Azevedo, 2004, cap. 2, p. 26)

Carvalho (2013) relata as etapas para o desenvolvimento das demonstrações investigativas, que são as mesmas dos problemas experimentais, a saber: etapa de

distribuição do material experimental e proposição do problema pelo professor, etapa de resolução do problema pelos alunos, etapa de sistematização dos conhecimentos elaborados nos grupos e etapa de escrever e desenhar.

Durante a análise de aulas de demonstrações investigativas, Azevedo (2004) pôde verificar as contribuições que uma atividade experimental como esta, ligada à solução de problemas e à argumentação, pode trazer para o ensino de física. Dentre elas, estão:

- Percepção de concepções espontâneas por meio da participação do aluno nas diversas etapas da resolução de problemas;
- Valorização de um ensino por investigação;
- Aproximação de uma atividade de investigação científica;
- Maior participação e interação do aluno em sala de aula;
- Valorização da interação do aluno com o objeto de estudo;
- Valorização da aprendizagem de atitudes e não apenas de conteúdos;
- Possibilidade da criação de conflitos cognitivos em sala de aula. (Azevedo, 2004, cap. 2, p. 27)

4.5. ETAPAS DA PESQUISA

Começarei aqui relatando os motivos da escolha do tema proposto, além de todas as justificativas já citadas anteriormente, 2015 foi o ano em que ingressei no mestrado profissional em Ensino de física, que coincidiu com o ano internacional da luz.

Que abordaríamos algum assunto relacionado à FMC já era certo, só não havíamos decidido qual caminho seguir. Então, inspirados pelo ano internacional da luz, decidimos no primeiro momento pesquisar sobre a natureza da luz. Ao longo do processo isso foi se refinando até que decidimos abordar o tema dualidade onda-partícula de forma geral, para a luz e a extensão de tais conceitos para a matéria.

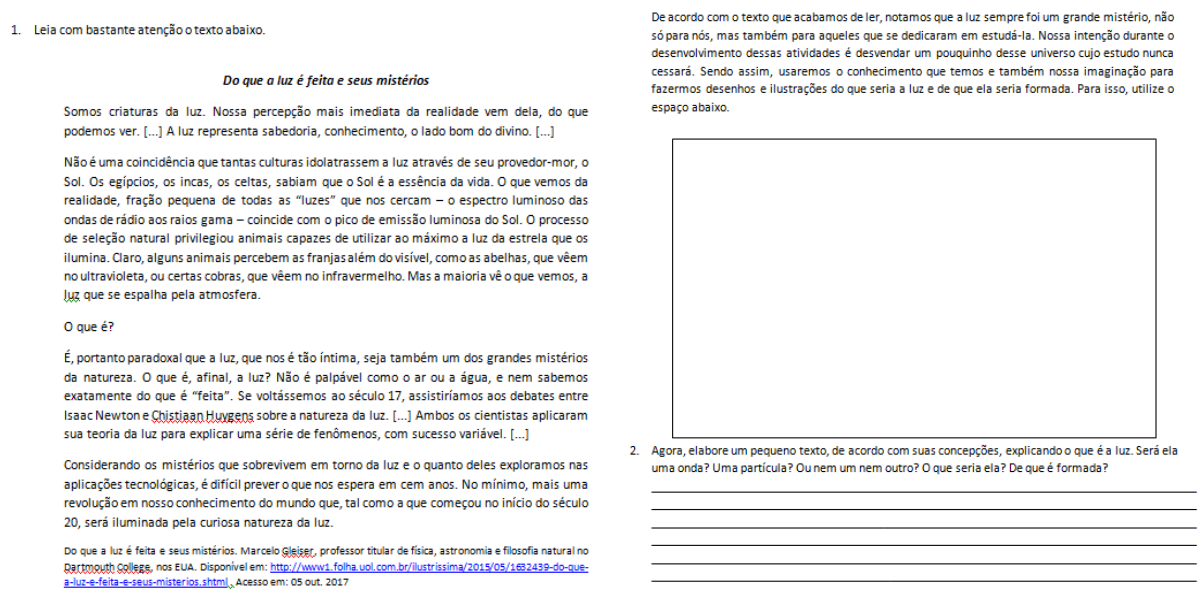
O segundo desafio foi em como abordar tais conceitos nas aulas no Ensino Médio. As referências sobre o ensino da dualidade onda-partícula são escassas, como já

mostrado no capítulo 3, fato que nos deixou sem referências para seguir. Numa busca pelo referencial teórico, acreditamos que o ensino por investigação seria o mais viável. Decidido qual referencial teórico usar, nos deparamos com um novo desafio: a situação problema que caracteriza o Ensino por Investigação se mostrou num primeiro momento um “problema” para nós. Mas com muito estudo e planejamento conseguimos definir.

Nosso objetivo em primeiro lugar foi abordar os conceitos de dualidade onda-partícula para luz para depois estender tais conceitos para a matéria.

4.5.1. Primeira aula

Na primeira aula, nosso objetivo foi identificar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito da natureza da luz, se eles conseguiam relacioná-la a uma onda ou a uma partícula e se eles tinham alguma noção do conceito de dualidade. Começamos com um texto, que falava da luz sem deixar claro os conceitos que iríamos investigar. Em seguida, pedimos que os alunos desenhassem e elaborassem um texto mostrando e explicando o que eles sabiam a respeito da luz. Alguns recortes das respostas serão mostrados na análise.



1. Leia com bastante atenção o texto abaixo.

Do que a luz é feita e seus mistérios

Somos criaturas da luz. Nossa percepção mais imediata da realidade vem dela, do que podemos ver. [...] A luz representa sabedoria, conhecimento, o lado bom do divino. [...]

Não é uma coincidência que tantas culturas idolatrassem a luz através de seu provedor-mor, o Sol. Os egípcios, os incas, os celtas, sabiam que o Sol é a essência da vida. O que vemos da realidade, fração pequena de todas as “luzes” que nos cercam – o espectro luminoso das ondas de rádio aos raios gama – coincide com o pico de emissão luminosa do Sol. O processo de seleção natural privilegiou animais capazes de utilizar ao máximo a luz da estrela que os ilumina. Claro, alguns animais percebem as franjas além do visível, como as abelhas, que vêem no ultravioleta, ou certas cobras, que vêem no infravermelho. Mas a maioria vê o que vemos, a luz que se espalha pela atmosfera.

O que é?

É, portanto paradoxal que a luz, que nos é tão íntima, seja também um dos grandes mistérios da natureza. O que é, afinal, a luz? Não é palpável como o ar ou a água, e nem sabemos exatamente do que é “feita”. Se voltássemos ao século 17, assistiríamos aos debates entre Isaac Newton e Chistiaan Huygens sobre a natureza da luz. [...] Ambos os cientistas aplicaram sua teoria da luz para explicar uma série de fenômenos, com sucesso variável. [...]

Considerando os mistérios que sobrevivem em torno da luz e o quanto deles exploramos nas aplicações tecnológicas, é difícil prever o que nos espera em cem anos. No mínimo, mais uma revolução em nosso conhecimento do mundo que, tal como a que começou no início do século 20, será iluminada pela curiosa natureza da luz.

Do que a luz é feita e seus mistérios. Marcelo Gleiser, professor titular de física, astronomia e filosofia natural no Dartmouth College, nos EUA. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2015/05/1632439-do-que-a-luz-e-feita-e-seus-misterios.shtml . Acesso em: 05 out. 2017

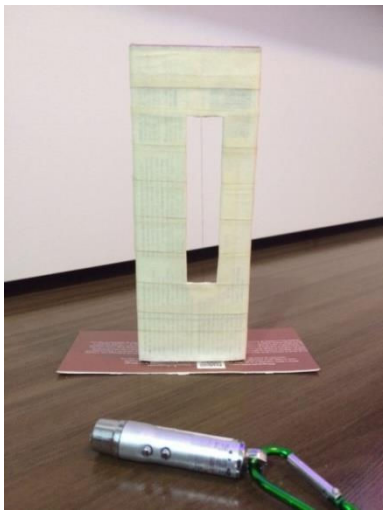
De acordo com o texto que acabamos de ler, notamos que a luz sempre foi um grande mistério, não só para nós, mas também para aqueles que se dedicaram em estudá-la. Nossa intenção durante o desenvolvimento dessas atividades é desvendar um pouquinho desse universo cujo estudo nunca cessará. Sendo assim, usaremos o conhecimento que temos e também nossa imaginação para fazermos desenhos e ilustrações do que seria a luz e de que ela seria formada. Para isso, utilize o espaço abaixo.

2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

Figura 5 – Recortes da primeira atividade – Conhecimentos Prévios.

4.5.2. Segunda aula

Na segunda aula, apresentamos a demonstração investigativa “a luz por um fio de cabelo”. Essa atividade teve como objetivo investigar a natureza ondulatória da luz, através dos fenômenos de interferência e difração.



III. Análise

Com base no experimento que acabamos de realizar, faça uma análise do que vocês puderam observar, explicando o fenômeno físico envolvido. Por que a luz se comporta dessa maneira quando colocamos um fio de cabelo entre ela e o anteparo? E o conceito que vocês tinham a respeito da luz, continua o mesmo ou mudou alguma coisa depois desse experimento? O que mudou? Se nada mudou, justifique como esse experimento confirma seus conceitos prévios.

Figura 6 – Montagem experimental da primeira demonstração investigativa e da atividade de análise.

Após a demonstração, onde os alunos apresentaram suas ideias, hipóteses e indagações, tivemos o momento da sistematização dos conceitos.

4.5.3. Terceira aula

Na terceira aula da intervenção abordamos a segunda demonstração investigativa. Para tal, utilizamos o experimento chamado pelo nome “Ouvindo o som do controle remoto”. Essa atividade teve como objetivo investigar a natureza corpuscular da luz através da explicação do efeito fotoelétrico.

Figura 7 – Montagem experimental da segunda demonstração investigativa.

4.5.4. Quarta aula

Durante a quarta aula, foi apresentado o vídeo “Dr. Quantum – Experimento da dupla fenda” com o objetivo de estender as características dualidade onda-partícula para a matéria.

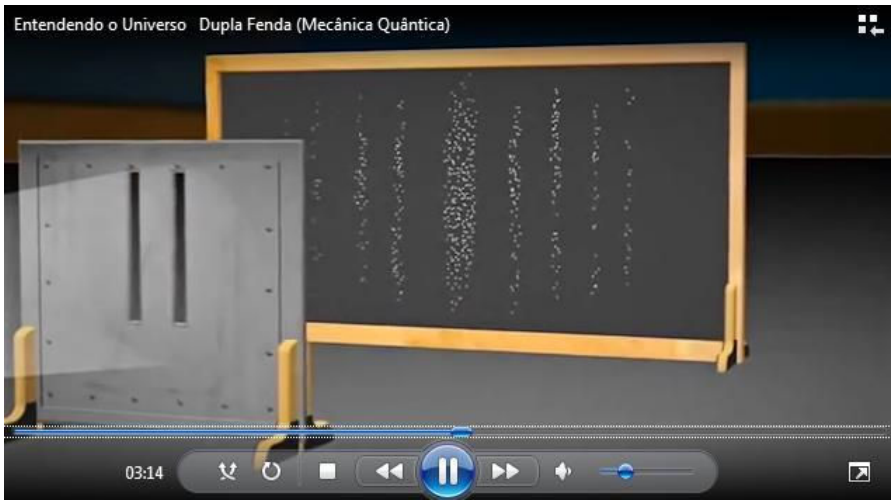


Figura 8 – Recorte do vídeo: “Dr. Quantum – Experimento da dupla fenda”.

4.5.5. Quinta aula

Na quinta aula formalizamos matematicamente os conceitos da dualidade onda-partícula para a matéria, abordando as contribuições de Louis De Broglie,

apresentando a equação do comprimento de onda de De Broglie e realizamos alguns exemplos.

Calcule o comprimento de onda de de Broglie, de:

a) Uma pessoa com massa de 70 kg com uma velocidade de 12 m/s;

b) Um próton de massa $1{,}7 \times 10^{-27}$ kg com velocidade de 12 m/s;

c) Um elétron de massa $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg com velocidade de 12 m/s.

Figura 9 – Exemplos que foram realizados durante a quinta aula.

4.5.6. Sexta aula

Na sexta aula, aplicamos um questionário composto de questões conceituais que serviram como parte da avaliação da evolução dos conteúdos conceituais.

5. ANÁLISE

Relataremos neste capítulo os resultados da análise de cada atividade desenvolvida.

5.1. ATIVIDADE 1

Esta atividade, que contou com a participação de 35 alunos, teve como objetivo verificar se os alunos possuíam algum conhecimento prévio a respeito do assunto *dualidade onda-partícula*. Para isso, foi pedido que eles fizessem desenhos dos que eles imaginavam ser a luz e que elaborassem um texto explicando o que é a luz e de que ela é formada.

> Essa atividade aconteceu no dia 21/03/2018. Iniciei lembrando aos alunos que essa seria uma aula diferente, dentre várias outras que teríamos pela frente. Alguns ficaram desconfiados, outros curiosos, mas animados de forma geral. Disse para eles que começaríamos um estudo sobre a luz, que nessa primeira atividade eu queria que eles colocassem em forma de desenhos e texto tudo o que eles sabiam, pensavam ou achavam a respeito da luz e que para isso eu contava com a imaginação, criatividade e que eles tentassem se lembrar de tudo que já ouviram, leram e estudaram sobre o assunto. Fiz a leitura do texto introdutório com eles e alguns poucos comentários, falei bem pouco nesse primeiro momento para não interferir na sequência das atividades. Confesso que no início dessa primeira atividade foi meio desesperador, alguns apresentaram dificuldades, outros desinteresse, apesar disso, surgiram muitas ideias interessantes. Eu pedi que a atividade fosse feita de forma individual, mesmo assim, os comentários comigo e com os colegas foram inevitáveis. Mesmo com alguns tentando atrapalhar o andamento da atividade com indisciplinas, a maioria recebeu bem a atividade, eles foram bem dedicados e esforçados. E o melhor de tudo, ficaram curiosos e querendo aprender sobre a luz. O aluno E6 comentou: “professora, não vou agüentar as próximas aulas. Vou pesquisar em casa sobre a luz”. Eu fiquei feliz e preocupada e respondi: “Que ótimo que demonstrou interesse, só não estraga a surpresa”. (Diário de campo do professor/pesquisador, 21/02/2018).

De acordo a categorização e critérios utilizados para análise (disponível nos apêndices – apêndice II), pudemos observar que aproximadamente 11% dos

estudantes que realizaram a atividade conseguiram imaginar a luz sendo uma onda e uma partícula, 52% conseguiram associá-la a uma onda ou a uma partícula. Os outros 37% não citaram em momento algum qualquer característica relacionada à natureza ondulatória ou corpuscular da luz. Logo abaixo temos imagens de respostas que foram dadas por alguns estudantes na primeira atividade.

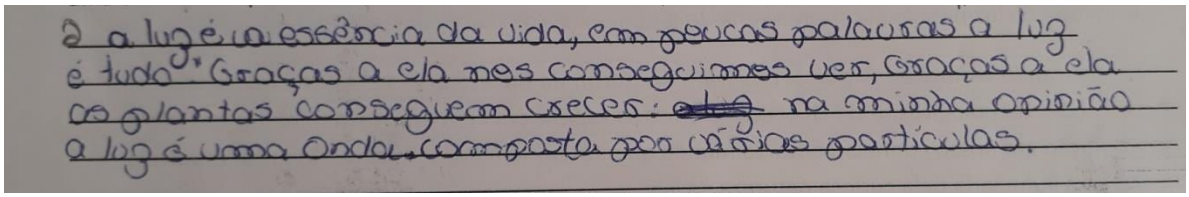

a luz é a essência da vida, em poucas palavras a luz é tudo. Graças a ela nos conseguimos ver, Graças a ela as plantas conseguem crescer. na minha opinião a luz é uma Onda, composta por várias partículas.

Figura 10 – Resposta do estudante E33 – Atividade 1.

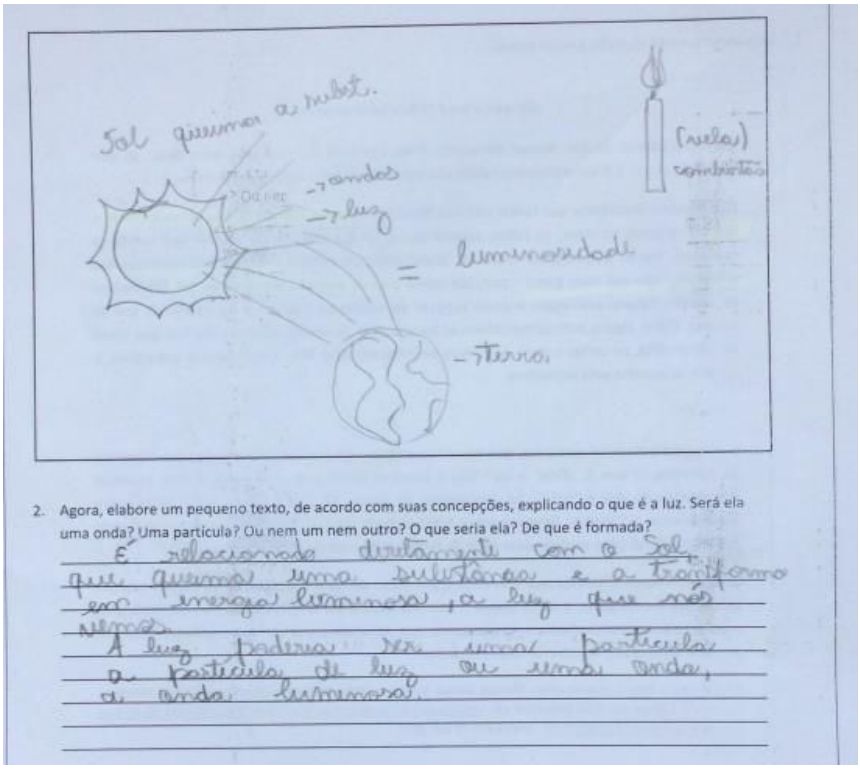


Figura 11 – Resposta da estudante E22 – Atividade 1.

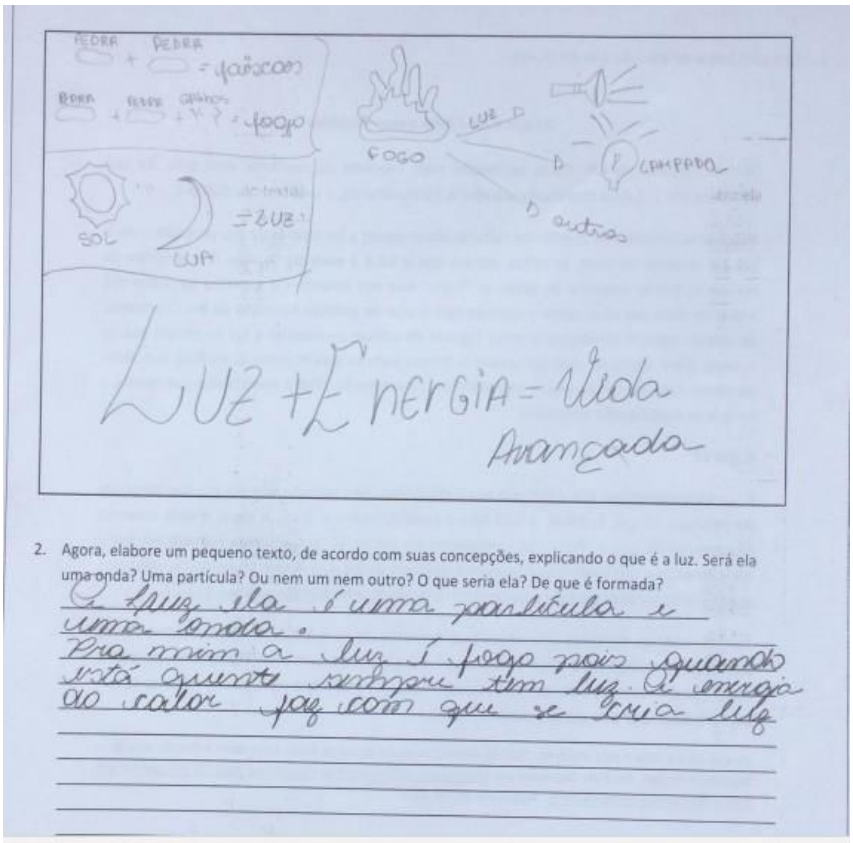


Figura 12 – Resposta da estudante E26 – Atividade 1.

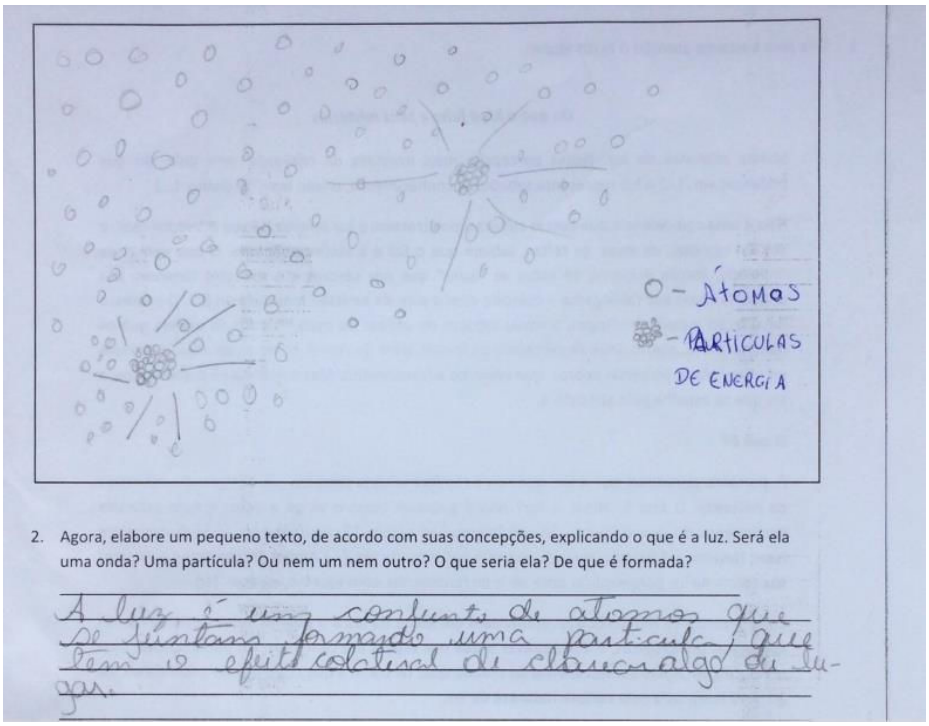


Figura 13 – Resposta da estudante E18 – Atividade 1.

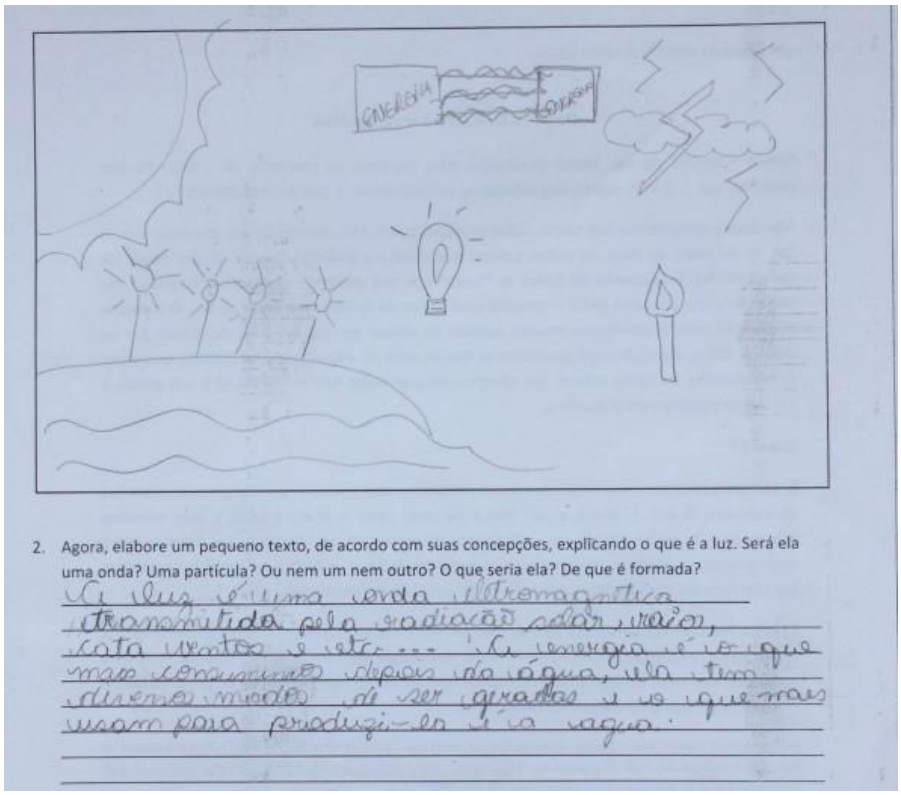


Figura 14 – Resposta da estudante E25 – Atividade 1.

5.2. ATIVIDADE 2: A LUZ POR UM FIO DE CABELO

Esta atividade contou com a participação de 33 estudantes, onde o principal objetivo foi investigar a natureza ondulatória da luz, e antes da formalização dos conceitos abordados, foi pedido que os alunos elaborassem um breve texto explicando o que observavam no experimento. O gráfico abaixo mostra os resultados das explicações dadas por eles. É possível observar a maioria dos estudantes respondeu corretamente, associaram aos fenômenos de interferência e difração.

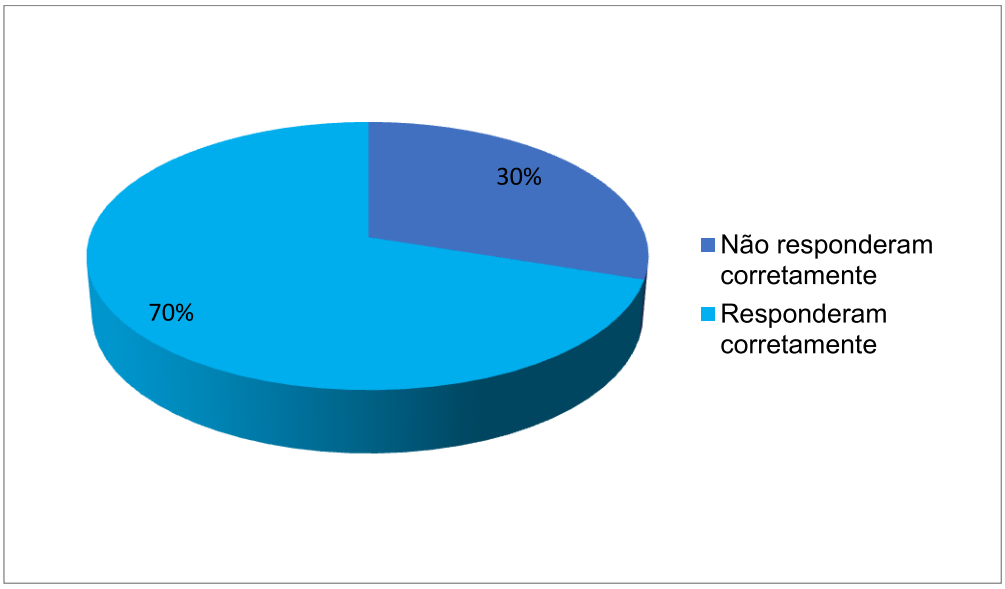
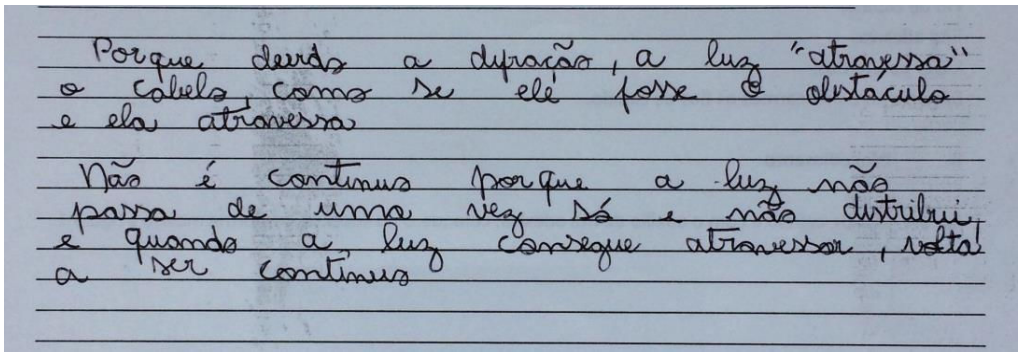


Figura 15 – Percentual de alunos que responderam e não responderam corretamente a análise referente à segunda investigativa.

Essa atividade rendeu muita discussão, muitas questões curiosas foram levantadas. O estudante E2 logo de cara conseguiu relacionar o que estava vendo com os fenômenos de interferência e difração. Assim que a demonstração foi realizada eu pedi que eles sentassem em grupos de 4 a 5 alunos para discutir e tentar chegar a alguma conclusão e explicação para aquilo que estavam observando. Assim que terminaram de anotar organizei uma discussão em conjunto com todos. Eu percebi que alguns estudantes não estavam se lembrando dos fenômenos ondulatórios que haviam estudado há tão pouco tempo. Fiquei tentada a dar respostas, mas não o fiz. Surgiram várias tentativas de explicação. O estudante E13 colocou a culpa no suporte que prendia o fio, então pedi que um aluno segurasse um fio de cabelo enquanto eu incidia o laser sobre o fio. Eles perceberam que mesmo assim o efeito continuava e que o suporte estava ali somente por questão de comodidade, para simplesmente segurar o fio. O estudante E33 perguntou se a característica do fio influenciava, se fosse um fio crespo ou cacheado no lugar do fio liso, que foi usado na demonstração. Fizemos com um fio cacheado e esticado, mesmo assim os fenômenos continuaram sendo observados. O mesmo estudante, E33, questionou o porquê de usar o fio de cabelo e não usar uma caneta ou algo mais grosso. Esses foram alguns dos questionamentos. Eles quiseram pegar o aparato experimental, eu permitir que eles testassem como quisessem e depois pedi que se sentassem para que pudéssemos sistematizar os conceitos. No meio disso tudo a maioria já estava atribuindo os fenômenos observadios a ondas. O

aluno E10 disse: *"Eu acho que é aquela parada de onda".* Eu fui levantando questões do tipo: Por que nós observamos uma parte clara e uma escura e não uma faixa contínua? (Diário de campo do professor/pesquisador, 23/02/2018).

As figuras abaixo ilustram respostas dadas por alguns estudantes na segunda demonstração investigativa.


Porque devido a duração, a luz "atravessa" o cabelo, como se ele fosse o obstáculo e ela atravessa.

Não é contínua porque a luz não passa de uma vez só e não distribui e quando a luz consegue atravessar, volta a ser contínua

Figura 16 – Resposta da estudante E22 – 1º demonstração investigativa.

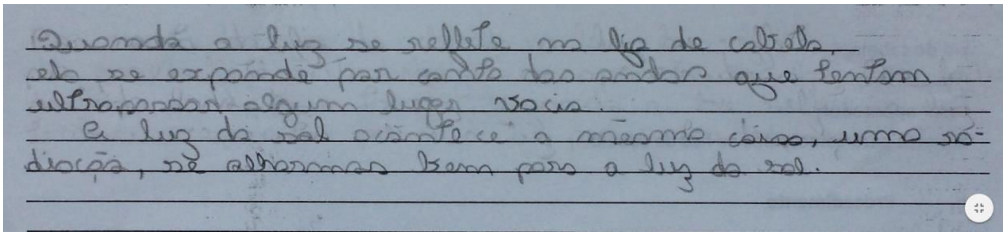

Quando a luz se reflete no fio de cabelo ela se expande por conta dos ondas que tentam ultrapassar algum lugar vazio.
A luz do sol acontece a mesma coisa, uma só direção, se ultrapassa bem pois a luz do sol.

Figura 17 – Resposta da estudante E5 – 1º demonstração investigativa.

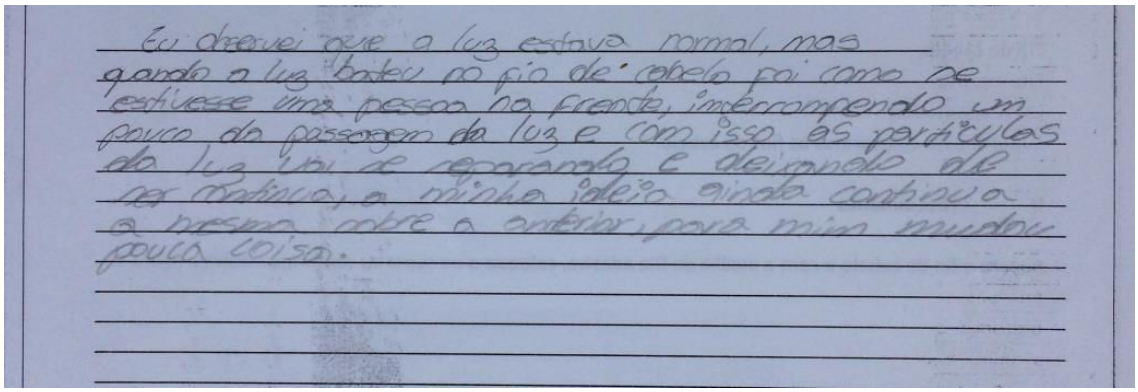

Eu acreditei que a luz estava normal, mas quando a luz bateu no fio de cabelo foi como se estivesse uma pessoa na frente, interrompendo um pouco da passagem da luz e com isso as partículas da luz foi se separando e deixando de ser contínua, a minha ideia ainda continua a mesma sobre o anterior, para mim mudou pouca coisa.

Figura 18 – Resposta do estudante E21 – 1º demonstração investigativa.

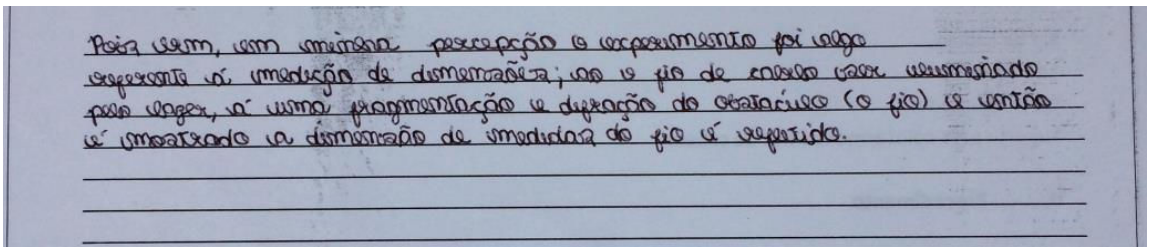

Pois bem, em minha percepção o experimento foi algo
referente à medição de dimensões; ao o fio de cabelo ser iluminado
pelo laser, há uma fragmentação e difração do obstáculo (o fio) e então
é mostrado a dimensão de medidas do fio é referido.

Figura 19 – Resposta da estudante E31 – 1º demonstração investigativa.

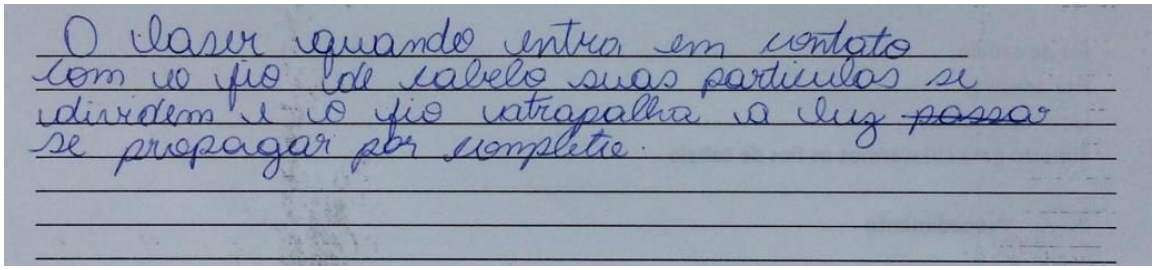

O laser quando entra em contato
com o fio de cabelo suas partículas se
dividem e o fio atrapalha a luz ~~passar~~
se propagar por completo.

Figura 20 – Resposta da estudante E25 – 1º demonstração investigativa.

5.3. ATIVIDADE 3: OUVINDO O SOM DO CONTROLE REMOTO

A terceira atividade contou com a participação de 33 alunos. O principal objetivo desta atividade foi investigar o comportamento corpuscular da luz. Em especial, nesta atividade não foi pedido que eles relatassem nada por escrito. Mas pode-se fazer uma avaliação das respostas e comentários que eles iam fazendo durante os diálogos e discussões.

A interação dos alunos durante a realização dessa atividade experimental investigativa foi muito boa. Começamos “brincando” de tapar o LDR e observando o que ocorria com LED. Eles logo propuseram: *Vamos apagar as luzes, professora!! Para ver o que acontece.*

Então, foi pedido que eles explicassem o que estava acontecendo alí. Por que o LED apagava quando o LDR era tapado? E a maioria souber perceber a independência da luz no funcionamento do LDR.

Logo em seguida eles ouviram o som que era emitido quando se incidia o infravermelho do controle remoto no LDR. Foi aí que se iniciou a discussão do efeito fotoelétrico e percebido que para se conseguir explicar tal efeito uma consideração importante deveria ser feita – considerar a luz como uma partícula.

> Iniciei a terceira atividade mostrando em forma de apresentação no Power point todos os elementos que apareciam no circuito. Tive de fazer isso, pois como se tratava de estudantes da segunda série do EM, eles ainda não haviam estudado circuitos elétricos. Tentei fazer isso de uma forma bem prática sem grandes aprofundamentos para que não perdêssemos o foco. Em seguida, pedi que eles se sentassem em forma de círculo para melhorar a visibilidade, mostrei o circuito montado e deixei que passasse pela mão de todas e mostrando no próprio circuito os elementos que havíamos acabo de estudar. Não posso deixar de ressaltar que não falei do LDR logo no início, pois o objetivo era que eles chegassem a conclusão que esse é um elemento cujo funcionamento depende da luz. Então, começamos a demonstração. Ao ligar o circuito, o LED logo se acendeu, fraquinho mas acendeu, então eu propus o seguinte: *"e se taparmos o LDR com as mãos? Será que algo vai acontecer?" A maioria respondeu que nada mudaria. Então tapei o LDR e perguntei: "E agora? O que aconteceu?"* Eles viram que o LED se apagou e o estudante E3 disse: "*Vamos apagar as luzes da sala?"* Então apagamos as luzes para que ficasse o mais escuro possível e eles chegaram à conclusão que o LED só iria acender na presença da luz. Em seguida perguntei: "*E se taparmos outro elemento do circuito? O resistor, por exemplo, será que o LED também vai apagar?"* Alguns responderam que sim, a maioria respondeu que não e uns poucos não souberam e /ou não quiseram responder. Então testamos, tapamos todos os outros elementos do circuito, e vimos que o LED não se apagava. Eles logo perceberam que o único elemento que na presença ou ausência de luz poderia fazer o LED apagar ou acender era o LDR. Então sistematizei dizendo: Então, o que é necessário para que o LDR funcione? Em coro eles responderam que precisava de luz. Em seguida fomos para a parte mais legal, que foi ouvir o som produzido ao se incidir o infravermelho do controle remoto no LDR. Eles acharam bem legal, mas tiveram muitas dificuldades quando pedia para que tentassem explicar. Eu tentei com todo esforço mediar a aprendizagem sem entregar respostas prontas, mas certamente essa foi um dos momentos mais difíceis. Durante a sistematização dos conceitos eu mostrei para eles que o fenômeno que eles estavam observando se chamava efeito fotoelétrico, explicando tal efeito através da demonstração que eles tinham acabado de ver. Mostrei a dificuldade na

época em explicar esse fenômeno. Até que chegássemos a conclusão de que para explicar, uma consideração importante tinha de ser feita, que era considerar a luz como uma partícula. Aí encontramos uma ótima situação-problema, pois numa aula anterior nós havíamos demonstrado experimentalmente que a luz era uma onda e agora já estamos dizendo que ela é uma partícula. Imediatamente o estudante E24 questionou: *professora, tem alguma coisa errada, a luz não é uma onda? Por quê agora ela é uma partícula?* Outros questionaram que isso estava "embolando" a cabeça deles. Por fim, juntos chegamos ao entendimento do fenômeno quântico, a dualidade onda-partícula para a luz. (Diário de campo do professor/pesquisador, 28/02/2018).

Figura 21 – Recortes da apresentação utilizada durante a segunda demonstração investigativa.

5.4. ATIVIDADE 4: VÍDEO: Dr. QUANTUM E O EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA

Essa atividade, que teve como objetivo estender a natureza dual para a matéria, teve a participação de 32 alunos. O vídeo mostrou o experimento da dupla fenda com elétrons, onde ele se comportou como uma onda sofrendo interferência e difração. O vídeo foi pausado antes que fossem explicados tais fenômenos. Nesse momento iniciou-se uma discussão: Foi pedido que eles tentassem explicar o que estava acontecendo e só depois que se esgotaram todos os comentários, argumentos e hipóteses é que foi deixado que o vídeo continuasse.

> Eu tive de passar a primeira parte do vídeo mais de uma vez pois eles ficaram um pouco confusos e perplexos. Surgiram várias perguntas, dentre elas:
>
> -E4: *Professora, eu sou uma onda?*
>
> -E27:*O elétron é uma onda por que ele é pequeno?*
>
> - E4:*Por que eu não me vejo como onda?*
>
> *Nesse primeiro momento me preocupei em discutirmos teoricamente o caráter dual para a matéria, sem ainda introduzir contas. A equação de de Broglie ficou para a próxima aula.* (Diário de campo do professor/pesquisador, 02/03/2018)

Fui aproveitando as perguntas e comentários feitos pelos alunos para que juntos sistematizamos o fenômeno observado, explicando que a matéria também apresentava um comportamento dual. Na aula seguinte, falamos das contribuições de Louis de Broglie e apresentando para eles a equação de de Broglie. Foram efetuados alguns exemplos de cálculos de comprimento de onda de alguns corpos materiais. Através do resultado de tais exemplos pode-se mostrar a dificuldade de se observar uma pessoa, por exemplo, sofrendo interferência e/ou difração. Ressaltando para eles que não significa que não tenha um comportamento ondulatório, significando apenas que é difícil de observar.

> Hoje, conversamos sobre as ideias de de Broglie, mostrei sua equação, expliquei cada termo da equação, em especial a constante de Planck e resolvemos alguns exemplos, e logo de cara percebi a dificuldade na

> matemática. Os conceitos até foram assimilados bem, mas, quando chega à parte de fazer conta eles apresentam uma dificuldade muito grande. Eu sempre observo isso nas aulas e outros colegas compartilham da mesma situação. (Diário de campo do professor/pesquisador, 07/03/2018)

O vídeo se mostrou, para essa situação em particular, uma excelente ferramenta para abordar um conteúdo tão complexo. A forma lúdica com que os conceitos foram apresentados chamou e prendeu a atenção dos alunos.

5.5. QUESTIONÁRIO FINAL

O questionário foi composto de seis questões que englobam todos os conceitos abordados (efeito fotoelétrico, experimento de fenda dupla de Young, caráter dual da luz e da matéria) e tem como objetivo analisar a evolução da aprendizagem dos conteúdos conceituais, tendo sido respondido por 34 alunos.

As questões que compõem o questionário foram tiradas dos livros:

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. Física Moderna: experimental e aplicada . 2 ed., São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

RAMALHO JUNIOR, F. et al. Os fundamentos da física. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

Será analisada uma questão por vez.

5.5.1. Questão 1

Complete as lacunas do trecho com as palavras que, na mesma ordem, estão relacionadas nas opções a seguir.

"A luz, quando atravessa uma fenda muito estreita, apresenta um fenômeno chamado de _____ e isto é interpretado como resultado do comportamento _____da luz. Porém quando a luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser emitidos da superfície sendo este fenômeno chamado _____, que é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz."

Assinale a opção CORRETA encontrada:

a) *Difração, ondulatória, efeito fotoelétrico, corpuscular.*

b) *Difração, corpuscular, efeito fotoelétrico, ondulatório.*

c) *Interferência, ondulatório, efeito Compton, corpuscular.*

d) *Efeito fotoelétrico, corpuscular, difração, ondulatório.*

e) *Ondas, magnético, fótons, elétrico.*

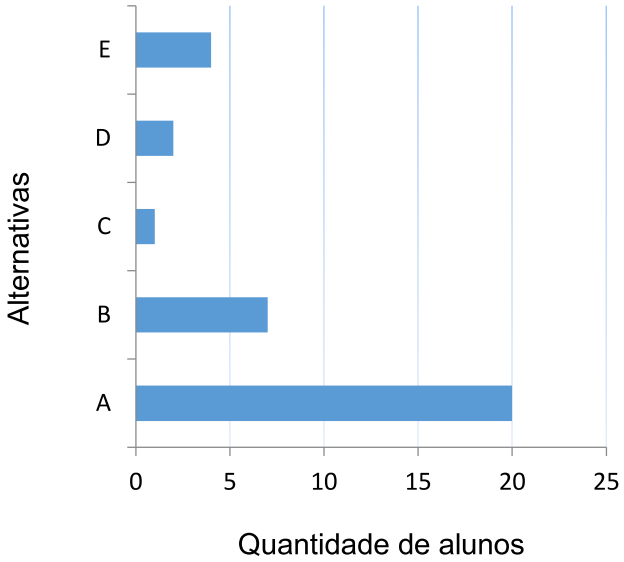


Figura 22 – Alternativas assinaladas versus quantidade de alunos – questão 1 do questionário final.

De acordo com o gráfico, pode-se observar que 20 alunos, o que corresponde a aproximadamente 60% do total de alunos que responderam ao questionário, conseguiram responder a questão 1 corretamente.

5.5.2. Questão 2

Fragmento infinitésimo,

Quase que apenas mental,

Quantum granulado no mel,

Quantum ondulado do sal,

Mel de urânio, sal de rádio

Qualquer coisa quase ideal.

Um trecho da música Quanta, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque acima. As frases "Quantum

granulado no mel" e "Quantum ondulado no sal" relacionam-se, na Física, com:

a) Conservação de energia.

b) Conservação da quantidade de movimento.

***c)** Dualidade onda-partícula.*

d) Princípio da causalidade.

e) Conservação do momento angular.

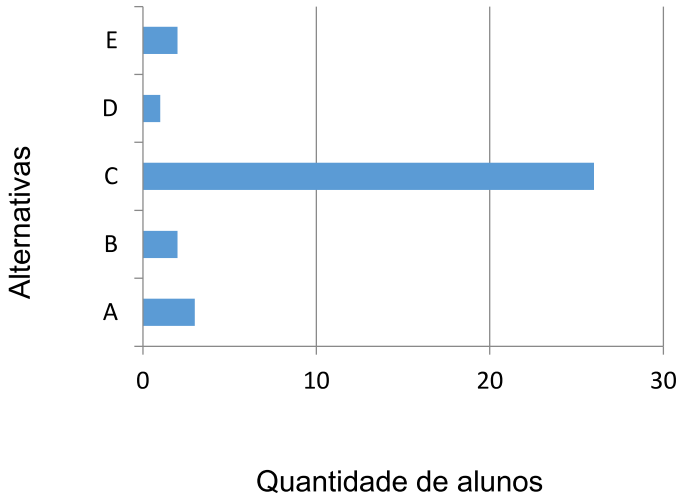


Figura 23 – Alternativas assinaladas versus quantidade de alunos – questão 2 do questionário final.

De acordo com o gráfico, pode-se observar que 26 alunos, o que corresponde a aproximadamente 76% do total de alunos que responderam ao questionário, conseguiram responder a questão 2 corretamente.

5.5.3. Questão 3

Na história da Física, existem vários exemplos de conceitos que exigiram revisão ou mesmo substituição, quando novos dados experimentais se opuseram a eles. Em relação à natureza do comportamento da luz, isso não foi diferente, sendo resolvido somente no último século pela Mecânica Quântica. Qual é a natureza do comportamento da luz para a Mecânica Quântica?

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, ou seja, sempre se comporta como partícula.*

e) *Natureza dual, ou seja, sempre se comporta como onda.*

Nessa questão, obteve-se 100% de aproveitamento, todos os 34 alunos conseguiram responder corretamente.

5.5.4. Questão 4

Sobre a natureza e propagação da luz, é correto afirmar que:

(01) *A luz, nos dias atuais, é interpretada como um pacote de energia que, nas interações com a matéria, apresenta dois aspectos: em certas interações se comporta como partícula e em outras interações se comporta como onda.*

(02) *O físico Albert Einstein elaborou uma teoria sobre a natureza da luz, afirmando que a luz é formada por um fluxo de corpúsculos chamados fótons.*

(03) *Thomas Young confirmou a teoria ondulatória da luz de Christian Huygens, verificando que a luz, ao passar por duas fendas extremamente finas, combina-se, formando regiões claras e escuras.*

(04) *A teoria ondulatória da luz é a única utilizada para explicar o efeito fotoelétrico, fenômeno pelo qual elétrons são arrancados de metais devido à transformação de energia luminosa em energia cinética.*

(05) *Após uma longa controvérsia científica sobre a questão da natureza da luz, iniciada por volta do ano 500 a.C., apenas no século XIX conseguiu-se a compreensão total da questão, através da confirmação da natureza ondulatória da luz.*

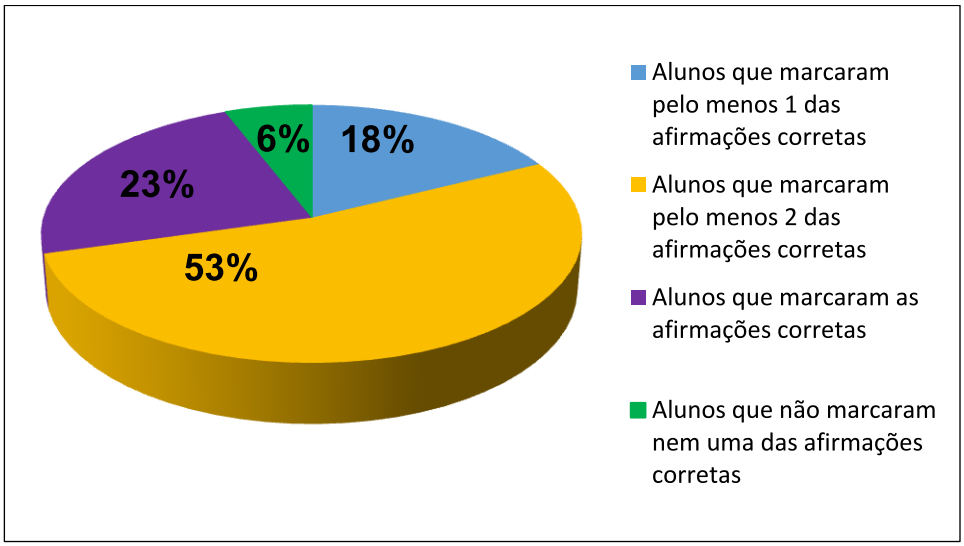


Figura 24 – Percentual de alunos que marcaram 1, 2 ou todas as 3 afirmações corretas e aqueles que não marcaram nem uma das afirmações corretas – questão 4.

5.5.5. Questão 5

A porta automática de um shopping Center, as calculadoras e relógios que funcionam com energia solar são recursos tecnológicos utilizados no dia a dia de uma cidade e que envolvem energia luminosa e cargas elétricas, constituindo o fenômeno físico conhecido como “efeito fotoelétrico”. Sobre esse tema, julgue as afirmativas: (Marque todas as corretas)

(1) A energia luminosa constitui-se de “pacotes discretos” denominados fótons, que podem ser considerados partículas.

(2) Quando um fóton incide sobre um pedaço de metal e interage com um elétron, este absorve a energia daquele e pode ser arrancado do metal.

(3) A velocidade dos elétrons que se desprendem do metal devido à incidência da luz depende da frequência e da intensidade da luz.

(4) A luz tem natureza dual (onda-partícula), sendo o efeito fotoelétrico uma manifestação do aspecto corpuscular.

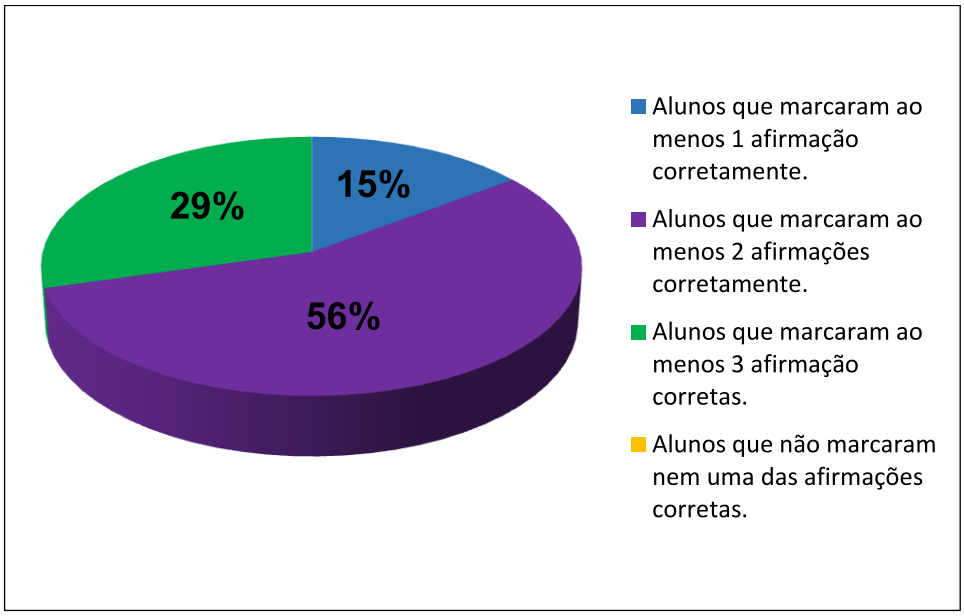


Figura 25 – Percentual de alunos que marcaram 1, 2 ou todas as 3 afirmações corretas e aqueles que não marcaram nem uma das afirmações corretas – questão 5.

5.5.6. Questão 6

Louis De Broglie (1892-1987) durante o seu doutoramento em física na Universidade de ParisSorbonne sugeriu que o elétron, em seu movimento ao redor do núcleo, tinha associado a ele um comprimento de onda particular e introduziu o termo ondas de matéria para descrever as características ondulatórias das partículas materiais. Com base no comportamento ondulatório da matéria, o comprimento de onda de De Broglie de um elétron com velocidade de 5,97 x 106 m.s-1 é:

Dados:

Massa do elétron = 9,11 x 10-31 Kg; constante de Planck, h = 6,63 x 10-34 J.s

a) 0,122 x 10-9 m

b) 0,224 x 10-9 m

c) 0,350 x 10-9 m

d) 0,410 x 10-9 m

e) 0,534 x 10-9 m

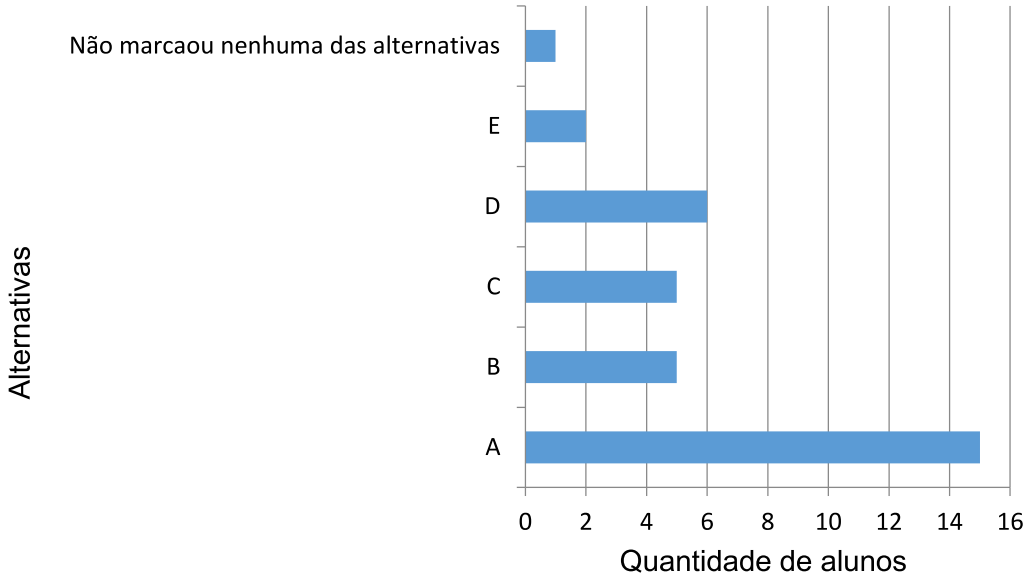


Figura 26 – Alternativas assinaladas versus quantidade de alunos – questão 6 do questionário final.

De acordo com o gráfico, pode-se observar que 15 alunos, o que corresponde a aproximadamente 44% do total de alunos que responderam ao questionário, conseguiram responder a questão 6 corretamente. A dificuldade de domínio/matemática certamente contribuiu para este resultado.

5.5.7. Análise global do questionário

De acordo com categorização e critérios utilizados (disponível nos apêndices – apêndice III), chegamos ao seguinte resultado global das 6 questões:

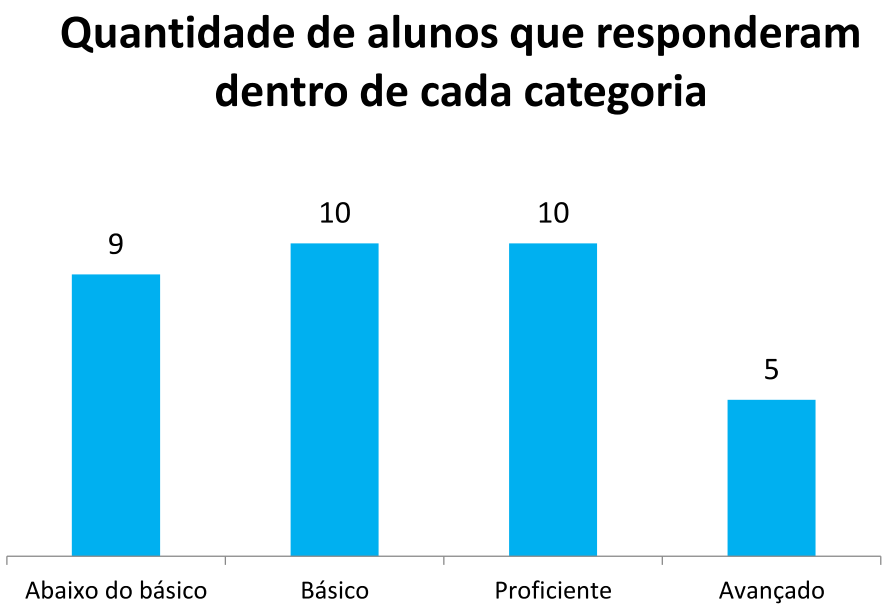


Figura 27 – Quantidade de alunos dentro de cada categoria - questionário final.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Durante esses 5 anos que atuo como professora, tenho observado o preconceito dos alunos em relação à disciplina de Física e os desafios inerentes à profissão de professor. Com este trabalho tive a oportunidade de vivenciar uma nova maneira de ensinar conceitos de Física, através do Ensino por Investigação, que como já abordamos bastante ao longo do trabalho, essa perspectiva veio ao encontro da necessidade de uma nova postura em relação ao Ensino.

Vivemos em um mundo onde o avanço tecnológico cresce de forma exponencial, as crianças já nascem em um mundo altamente globalizado. Diante dessa realidade, duas questões se tornam indispensáveis para o Ensino e para o preparo desses indivíduos no que diz respeito a compreensão do mundo no qual estão inseridos: a inserção de conteúdos de FMC nas aulas do Ensino Médio e a maneira como abordar tais conteúdos, pois abordá-los de forma mecânica como a tempos já se vem fazendo não resolveria a questão.

Todos sabemos que hoje o conhecimento está ao alcance da maioria da população, não sendo mais restrito a apenas uma pouca porção da sociedade. Nessa era da internet, o conhecimento está nas palmas de nossas mãos, por isso o ensino “cuspi e giz” se tornou ultrapassado e ineficiente. Se pararmos pra refletir, não faz sentido o professor ficar escrevendo uma hora no quadro um assunto que o aluno pode encontrar na internet de forma melhor, com cores, desenhos, animações, vídeos, simulações, etc.

A necessidade maior hoje é ensinar o aluno a aprender, a buscar na fonte, pois com o grande crescimento do conhecimento produzido ninguém mais tem a capacidade de saber de tudo, assim passou-se a privilegiar mais o processo do conhecimento, sem se esquecer do próprio conteúdo, mas diminuindo a quantidade destes. É uma escolha pela qualidade e não pela quantidade (CARVALHO, 2013). Por isso, acreditamos que as características do ensino por investigação caem como uma luva diante dessa necessidade de reforma no Ensino. Quando ensinamos baseados nessa perspectiva, não temos mais as respostas prontas, com isso mais do que

ensinar aos alunos determinado conteúdo, ensinamos como descobrir aquele conteúdo, como argumentar, levantar hipóteses, testar, tirar suas conclusões. Isso certamente os deixará mais preparados para enfrentar os desafios fora da escola, que por sua vez, são bem maiores do que aqueles que aparecem na vida acadêmica.

Observamos que os Parâmetros Curriculares Nacionais e demais documentos apresentam uma preocupação genuína a respeito do tema apresentado e também apresentam uma série de competências a serem atingidas com o ensino de FMC no EM, cabe ressaltar que todas as orientações também apontam para um processo Ensino – Aprendizagem que tenha um significado real para o aluno, diferentemente daquele processo que visa somente à resolução de problemas.

Durante a intervenção pudemos notar uma melhora muito grande na postura e nas atitudes dos alunos, que se comportaram como protagonistas do processo de Ensino-Aprendizagem. Percebemos uma maior participação e interação dos alunos em sala de aula, tanta de aluno com aluno, como entre aluno e professor. Como os alunos têm participação ativa nesse processo de ensino, foi possível perceber as concepções espontâneas nos diversos momentos em que eles participaram das diversas etapas da resolução do problema. Percebemos também que esse tipo de atividade se aproximou de uma investigação científica, pois os alunos tiveram a oportunidade de conhecer o problema, levantar hipóteses, testar suas ideias.

Minha postura como professora também precisou ser alterada, sair da zona de conforto nem sempre é uma tarefa fácil, então o professor deve estar preparado para mudanças e preparado também para promover a discussão e argumentação entre os alunos e guiar as atividades pois muitas vezes as discussões ficam tão acaloradas que facilmente podemos perder o foco.

Esperamos que os professores experimentem essa perspectiva de Ensino em suas aulas pois acreditamos, que dessa forma, estarão contribuindo para uma melhoria do Ensino de Física nas aulas do EM. Não podemos deixar de ressaltar a carência de trabalhos acerca do tema em estudo. Além disso, com essa pesquisa, esperamos

estar contribuindo para o crescimento de trabalhos sobre o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, em especial, sobre conceitos da dualidade onda-partícula (Mecânica Quântica).

7. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. *Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula.* In Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a Prática. Organizando por Anna Maria Pessoa de Carvalho, Editora Thomson, 2004, cap. 2.

BACHERLAD, G. A. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro, 1938/2008.

BETZ, M. et al. Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach - Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 31, n. 3, 2009.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro. Ensino de Física. v. 19, n.3: p.291-313, dez., 2002.

Brasil. Secretaria de Educação Básica. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 1998. Disponível em: < http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 10/08/2018.

CARVALHO, A. M. P. de. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. São Paulo: Cengage learning, 2013, cap.1.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. Física moderna: experimental e aplicada. 2 ed., São Paulo: Editora Livraria da física, 2004.

COELHO, G. R.; BORGES, O. O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v. 27, n. 1, 2010.

DAVIDOVICH, L. Os quanta de luz e a ótica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 37, n. 4, 2009.

Dr. QUANTUM – “Experimento da dupla fenda”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zKiCEU6P3U0 . Acesso em: 05 out. 2017.

GLEISER, M. Do que a luz é feita e seus mistérios, professor titular de física, astronomia e filosofia natural no Dartmouth College, nos EUA. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2015/05/1632439-do-que-a-luz-e-feita-e-seus-misterios.shtml . Acesso em: 05 out. 2017

EISBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Ed. 19, 1994, ISBN: 9788570013095, EAN: 9788570013095.

FÁBIO, W. O. S. da. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 31, n. 1, 2009.

FELDENS, B.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. E assim se fez o quantum... Revista Brasileira de Ensino de Física. 2010.

FERREIRA, D. C.; FILHO, M. P. S. de. O experimento virtual da fenda dupla ao nível de ensino médio (parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório e o desenvolvimento de um software computacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v. 33, n. 2, 2016.

JARDIM, W. T. Visualizando a difração e interferência de ondas através do programa *Google Earth*: discutindo história da ciência e a natureza da luz. **Revista A Física na Escola,** v. 14, n. 1, 2016.

KRAPAS, S. et al. O tratado sobre a luz de Huygens: comentários. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v. 28, n. 1, 2011.

LEONEL, A.A., SOUZA, C.A. Nanociência e nanotecnologia para o ensino de física moderna e contemporânea na perspectiva da alfabetização científica e técnica. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências, 2009, Florianópolis. Anais eletrônicos...Disponível em < http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/>. Acesso em 02 de Setembro de 2014.

LIMA, M. E. C. de C. e; MUNFORD, D. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? Revista Ensaio, Belo Horizonte, 2007, V.9 n°1.

MENDONÇA, J. T. Uma biografia da luz. São Paulo: Editora Livraria da física, 2015.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. de C. e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo?. Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte) [online]. 2007, vol. 9, n.1, pp.89-111. ISSN 1415-2150.

MOURA, B. A. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v. 33, n. 1, 2016.

NETO, J. S. da et al. O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach - Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 33, n. 1, 2009.

Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (2006). Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_01_internet.pdf. Acesso em: 01 de junho de 2018.

Parâmetros Curriculares Nacionais (1997). Acesso em 02 de junho de 2018.

PCNs Bases Legais (2000). Disponível em http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf. Acesso em: 30 de janeiro de 2018

PCN+ Física. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf. Acesso em: 30 de janeiro de 2018.

RAMALHO JUNIOR, F. et al. Os fundamentos da física. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

SÁ, E. F. de, PAULA, H. de F, LIMA, M. E. C.; AGUIAR, O. G. de. As características das atividades investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 6, Florianópolis, SC, Atas..., 2007.

SASSERO, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, v.13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SILVA, B. V. C. da. Aspectos da natureza da ciência na sala de aula: o caso da natureza da luz nos séculos XII e XIII. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia,** v. 9, n. 2, 2016.

SILVA, B. V. C. da; MARTINS, A. F. P. A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio. Revista Experiência em Ensino de Ciências. 2010.

SILVA, I. Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 37, n. 4, 2009.

SOUSA, P. F. L. et al. Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 32, n. 2, 2015.

STUDART, N. Uma concisa abordagem histórica e conceitual da luz e de algumas de suas aplicações: Apresentação de artigos convidados na edição comemorativa do ano internacional da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 37, n. 4, 2015.

ZÔMPERO, A. F.; LÁBURU, C. E. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 13, n. 03, p. 67-80, set./dez. 2011.

APÊNDICES

I. Termo de consentimento livre e esclarecido.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo consultado sobre a sua participação, como voluntário, em uma pesquisa educacional. Durante o ano letivo, nas aulas de física lhe serão propostas algumas questões abertas sobre conteúdo de física, as quais devem ser respondidas como tarefas escolares usuais. Seu professor poderá, ou não, corrigir tais questões como parte do processo de avaliação do seu desempenho em Física ou para fazer algum diagnóstico sobre algum aspecto relacionado ao curso que ministra. Pedimos a sua autorização para analisar suas respostas em um estudo sobre como os materiais, recursos, procedimentos e processos utilizados em seu curso de física contribuem para a sua aprendizagem de física. Este estudo produzirá conhecimento educacional relevante para nós, para nossos futuros alunos e para outros professores e seus alunos. É conhecimento socialmente relevante. Se você concordar com o uso de suas respostas, podemos lhe garantir que: (i) nos nossos procedimentos de análise adotaremos procedimentos para preservar a sua identidade e resguardar a sua privacidade; (ii) ao divulgarmos os resultados do estudo adotaremos procedimentos que impeçam que você seja identificado. Você não terá nenhum benefício direto pela sua participação, respondendo às questões que lhe serão propostas. Os benefícios serão difusos e indiretos, na medida em que o que aprendermos servirá para desenvolvermos o ensino de física, e que poderá beneficiar você e nossos futuros alunos. Por outro lado, não identificamos qualquer risco potencial em sua participação no estudo. Pedimos também sua autorização para filmamos e/ou gravarmos as aulas com o objetivo de não perdermos dados que servirão posteriormente para nossa análise, garantindo que sua imagem será preservada.

Se você não autorizar o uso de suas respostas para fins de pesquisa, ainda assim elas serão coletadas, porém nós não as utilizaremos em nosso estudo e nem as manteremos em bancos de dados. Suas respostas poderão ser usadas pelo seu professor para fins didáticos: como exercício escolar ou como parte da avaliação escolar. A sua recusa não lhe acarretará nenhuma sanção. Os conhecimentos

resultantes deste estudo serão divulgados em revistas especializadas, em congressos e simpósios sobre pesquisas educacionais e em uma dissertação de mestrado. Abaixo estão os dados relativos a este projeto.

Título do projeto: Luz: Uma Sequência Didática para o Ensino Médio com Foco Investigativo
Pesquisador responsável: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga (Orientador).
Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Naturais/ Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física.
Telefone para contato: (27) 33121672
Pesquisador corresponsável: Kleidiani Moreira Monico (Mestranda).
Telefone para contato: (27) 3225-5640.
Endereço: Rua Engenheiro Rubens Bley, 100, Bairro Da Penha EEEFM – AFLORDÍZIO CARVALHO DA SILVA, Vitória/ES- Cep: 29 047 090. 170.

Objetivo do estudo: Investigar se ocorre aprendizagem conceitual com foco no ensino por investigação no domínio da natureza da Luz.

Assinatura do Pesquisador Responsável Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga e-mail: f.g.alvarenga@gmail.com Telefone: (27) 3312-1672 Universidade Federal do Espírito Santo CEUNES - DCNE/UFES	Assinatura do Pesquisador Corresponsável Kleidiani Moreira Monico e-mail: kleidimoreira@gmail.com Telefone: 3225-5640 Universidade Federal do Espírito Santo PPGEnsFis UFES

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO

Eu li e discuti com o pesquisador responsável pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para aceitar ou recusar e que eu posso interromper minha participação a qualquer momento. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.
Eu entendi a informação apresentada nesse documento. Eu receberei uma cópia assinada e datada deste documento de consentimento informado. Declaro que nesta data tenho menos de dezoito anos.

Vitória, _____ de _____ de 20___.
Nome por extenso:_____

Assinatura: _____

II. Categorização utilizada para análise da primeira atividade - Conhecimentos Prévios.

Quadro 3 - Critérios para categorização das respostas dos estudantes bem como a quantidade de estudantes que responderam dentro de cada categoria.

Categoria	**Critérios**	**Quantidade de alunos que responderam dentro de cada categoria**
RC (Resposta Correta)	Associou a luz a uma onda e a uma partícula (dualidade)	4
RPC (Resposta Parcialmente Correta	Associou a luz pelo menos a uma onda ou a uma partícula	18
RI (Resposta Incorreta)	Não associou a luz nem a uma onda e nem a uma	13

	partícula	

III. Categorização utilizada para análise do questionário.

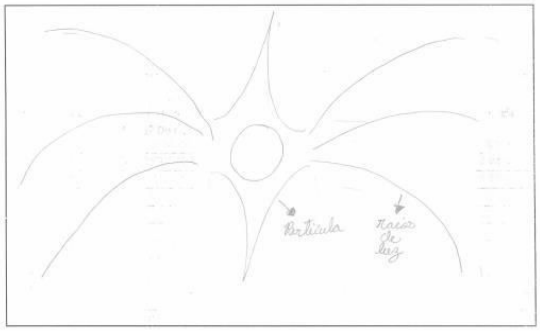
Utilizamos para tal categorização a escala utilizada pelo Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica – Saeb.

Quadro 4 - Critérios para categorização das respostas dadas pelos estudantes durante o questionário bem como a quantidade de estudantes que responderam dentro de cada categoria.

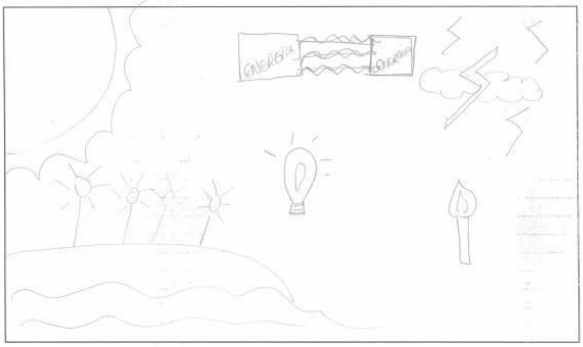
Categoria	**Critérios**
Abaixo do básico	Alunos que responderam corretamente menos de 3 questões
Básico	Alunos que responderam corretamente 3 questões
Proficiente	Alunos que responderam corretamente 4 questões
Avançado	Alunos que responderam corretamente 5 ou 6 questões

IV. Respostas dadas pelos estudantes durante as atividades.

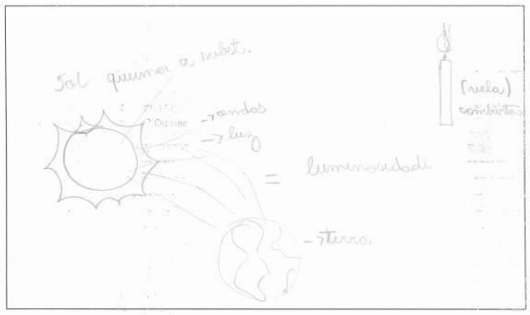
Quadro 5 – Respostas dadas pelos estudantes durante a primeira atividade – Conhecimentos Prévios.



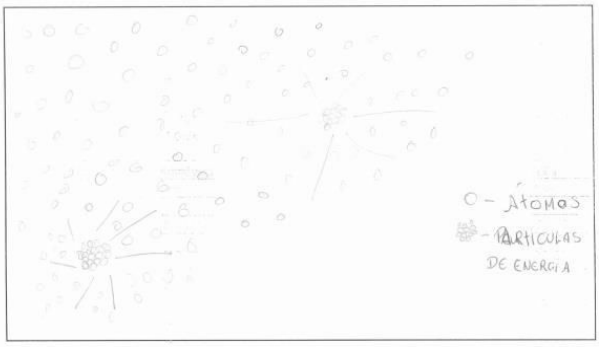
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?



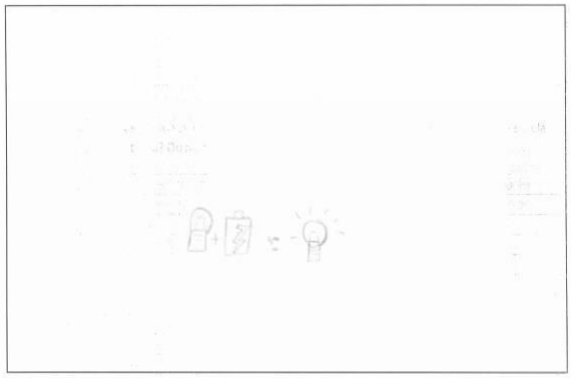
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?



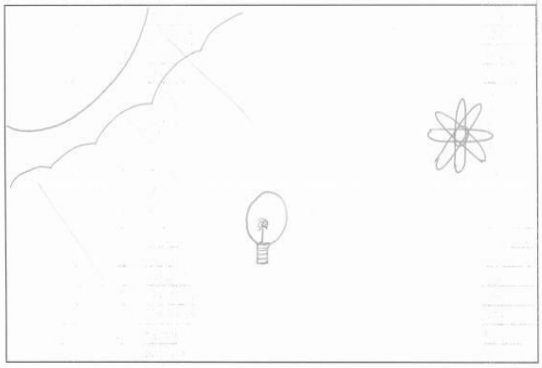
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?



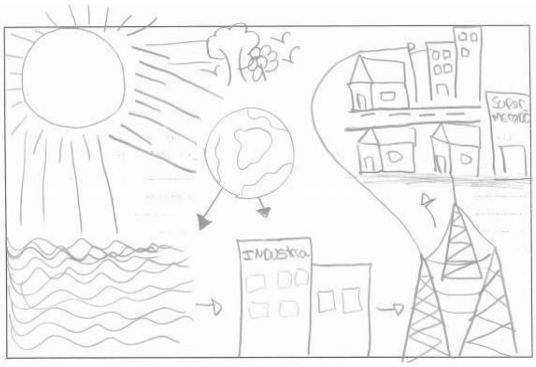
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?



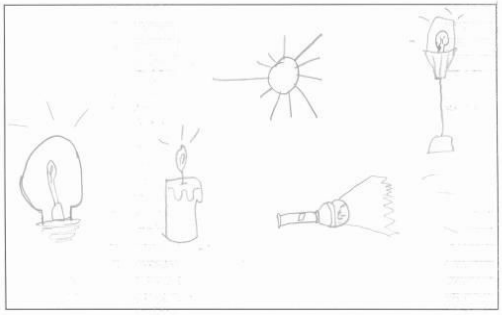
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

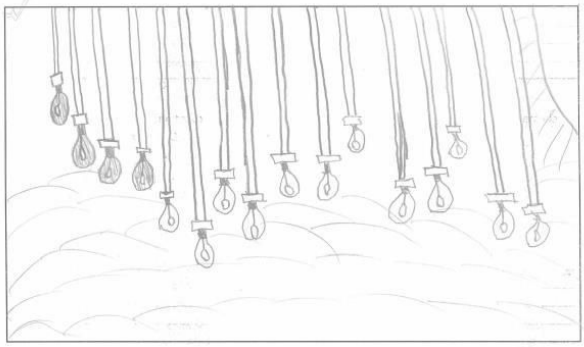
Na minha opinião a luz vem do sol que reflete na água e vai para as industrias e depois para geradores de energia depois para as casas

A luz é uma onda, que são raios que vem do sol, a luz não tem um formato ao certo.



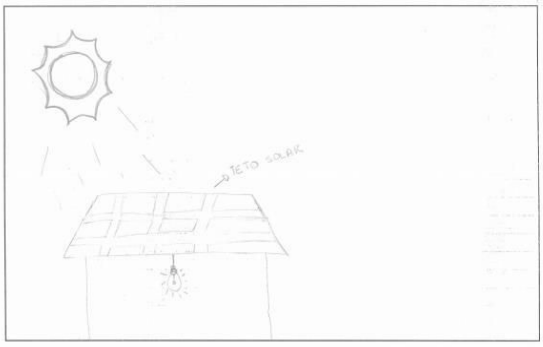
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

Eu acho que seja uma onda ou um tipo de partículas não sei, que se juntam para poder nos trazer a luz. Nós também sei que a luz dependendo do campo por não enxergamos bocaus o olho seu.



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

A luz para mim é uma ou natural que [illegible] não partículas, porque ela é uma [illegible] a energia e transmitida pela água, não por uma luz [illegible] natural [illegible] por energia e a [illegible]

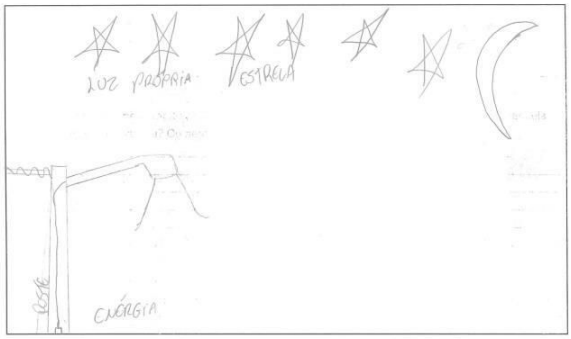


2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

Bom a luz são milhares de partículas [illegible] que não [illegible] a luz [illegible] que não ajuda a luz [illegible] mesmo [illegible] o sol é a [illegible] da onda. não sei ao certo mas, [illegible] a luz mais [illegible] a luz não [illegible] sol, etc.

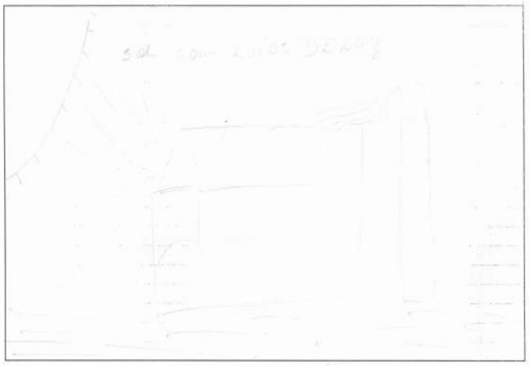
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

Eu acho que a luz pode ser um onda [illegible] pode ser um raio, pode ser um do sol, pode ser uma [illegible] a luz é algo incrível, que [illegible] pessoas [illegible] e sabe de onde vem e como funcionam, [illegible] não sabem [illegible] não sem [illegible] -onde se [illegible].



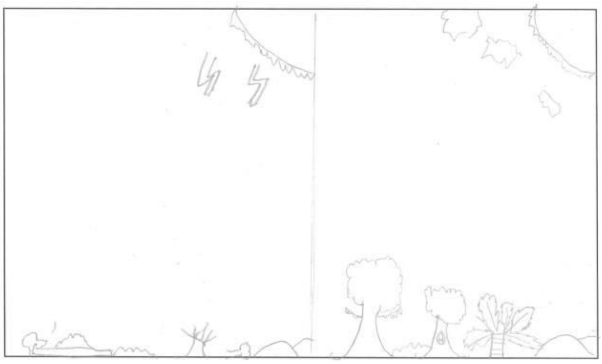
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

R: A Luz depende de onde vem, se vem de um poste e preciso da energia elétrica, se vem de estrelas ela tem seu brilho próprio ou seja natural, pode se dizer que é onda por mais energia mais brilho, mais lampada mais claridade.



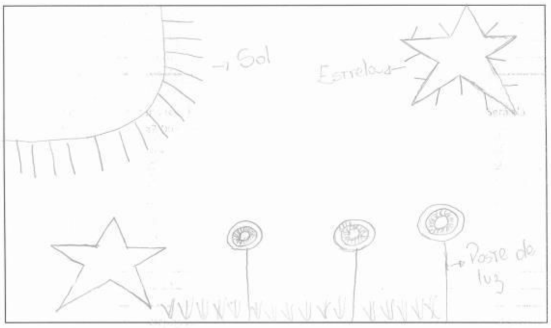
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

A luz é aluminação para o seres humanos porque sem ela não da para viver no dia a dia das pessoas sem a luz a gente fica na escuridão e sem luz não da para fazer nada comer - trabalha - cozinha e outros e a luz é formada por raios solares.



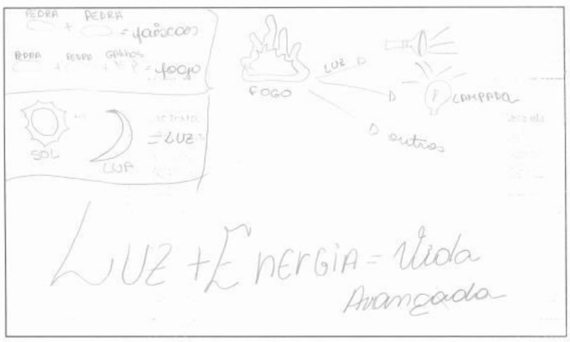
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela?

A luz é a fonte de vida no planeta sem ela mantem a vida.
A luz também pode causar a destruição quando não usada da forma correta



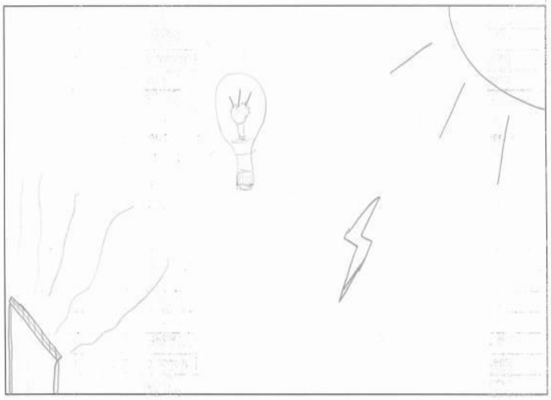
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

A luz é uma [illegible]



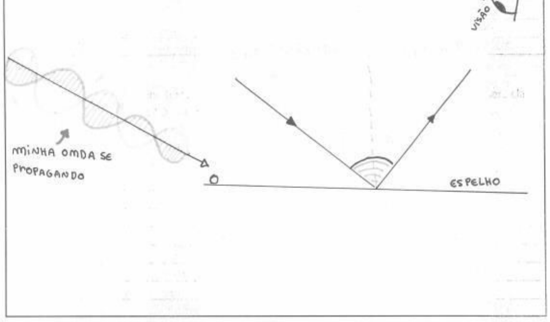
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

A luz ela é uma partícula e uma onda.
Pra mim a luz é fogo pois quando está quente sempre tem luz. A energia do calor faz com que se cria luz



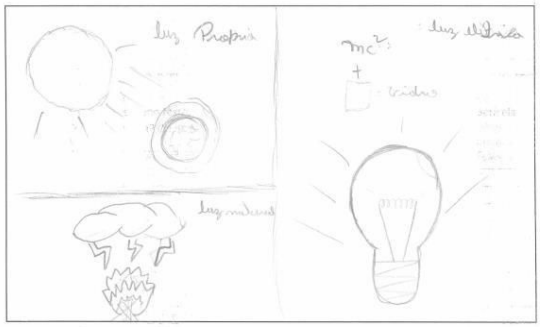
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

Eu considero a luz uma energia, uma onda que podemos utilizar de diversas formas, por exemplo em aparelhos domésticos, automóveis, máquinas gigantes.

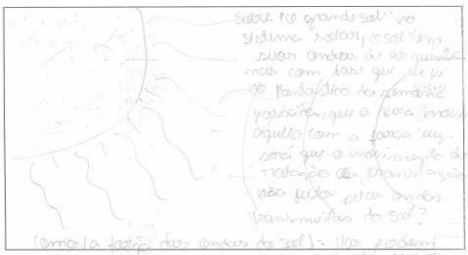


2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

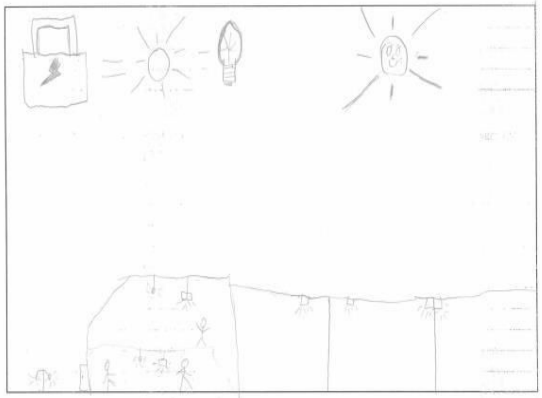
Pelo que já estudei e pelo que me questiono, acho que a luz seja um tipo de onda eletromagnética que seja invisível a nossos olhos, acho que ela seria formada pela propagação em conjunto de um campo magnético e elétrico. A luz pode se propagar através de vários meios e sofrer mudanças de velocidade ao passar de um meio de propagação para outro, as ondas são formadas pela propagação.



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

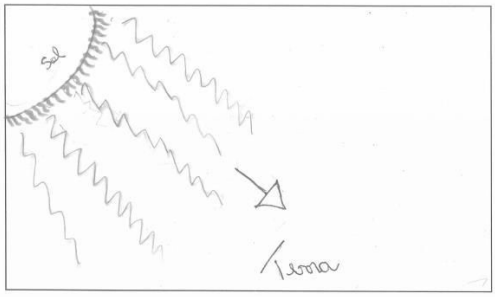


2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

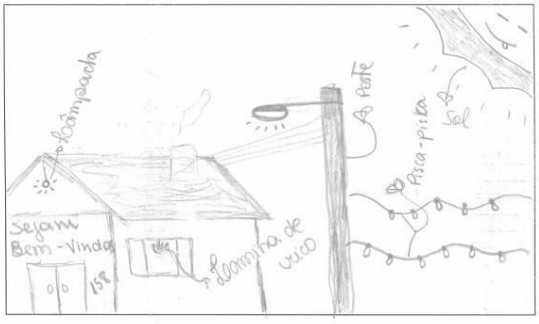


2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

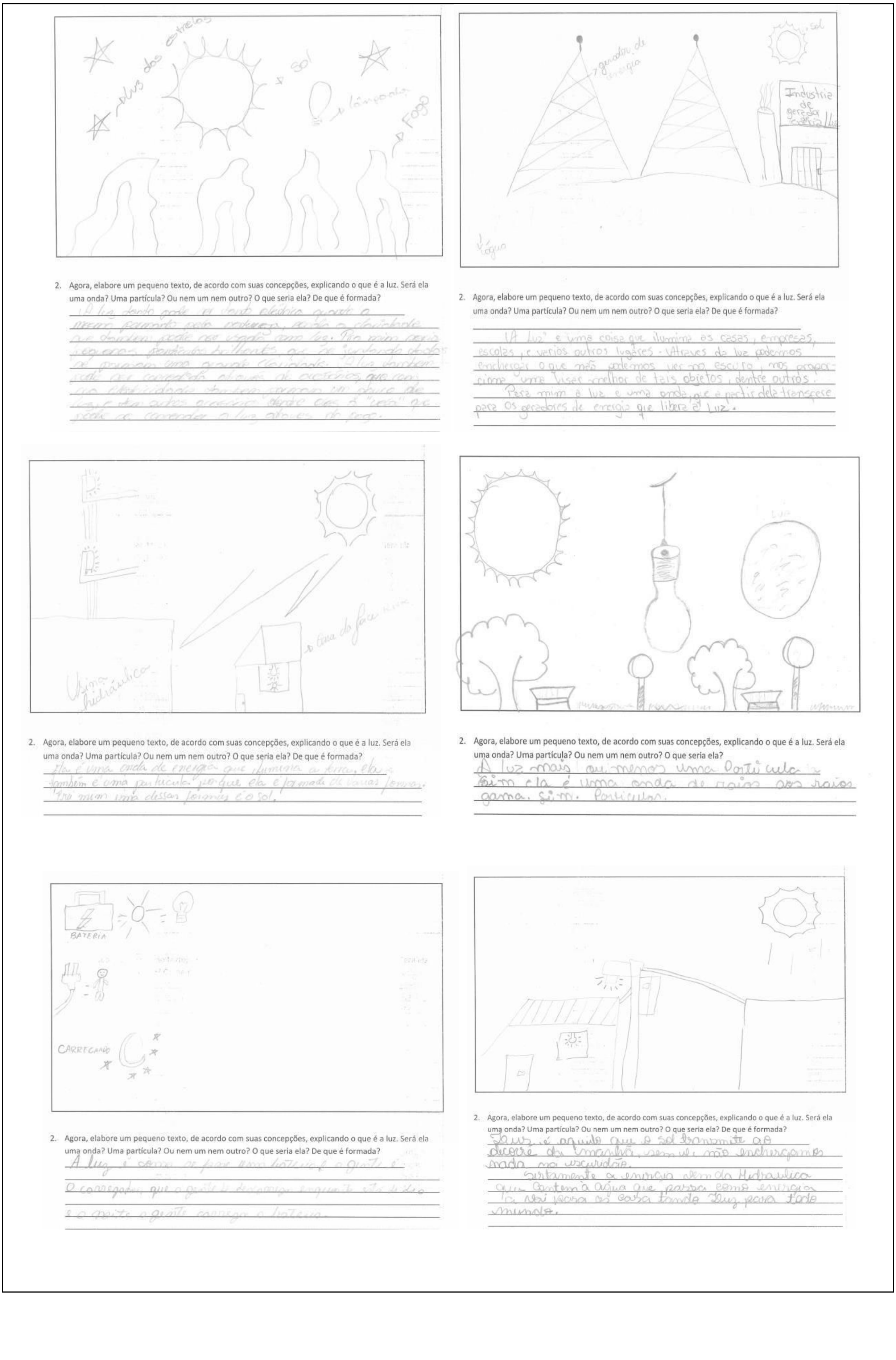
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

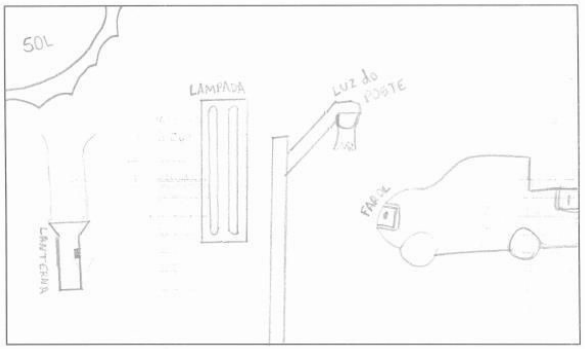


2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela?



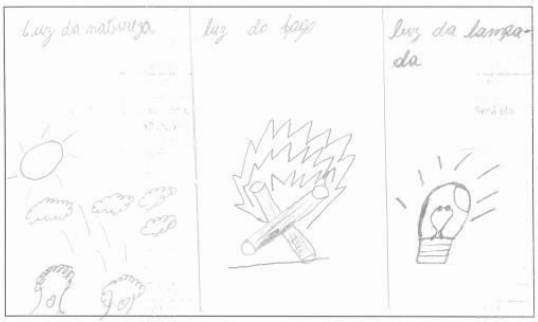
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?


luz das estrelas
sol
lâmpada
fogo
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?
gerador de energia
sol
Industria de gerador
água
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?
A Luz e uma coisa que ilumina as casas, empresas, escolas, e varios outros lugares. Atraves da luz podemos encherga o que não podemos ver no escuro, nos proporciona uma visão melhor de tais objetos, dentre outros.
Para mim a luz e uma onda, que a partir dela transfere para os geradores de energia que libera a Luz.
Usina hidráulica
Casa da ...
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?
Ela é uma onda de energia que ilumina a terra, ela também é uma particula porque ela é formada de varias formas. Pra mim uma dessas formas é o sol.
Luz
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela?
A luz mais ou menos uma Partícula Sim ela é uma onda de raios aos raios gama. Sim. Particulas.
BATERIA
CARREGANDO
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?
A luz é aquilo que o sol transmite ao decorrer da manhã, sem ele não enchergamos nada na escuridão.
Sertamente a energia vem da Hidraulica que contem a água que passa como energia e vai para as casa tendo luz para todo mundo.



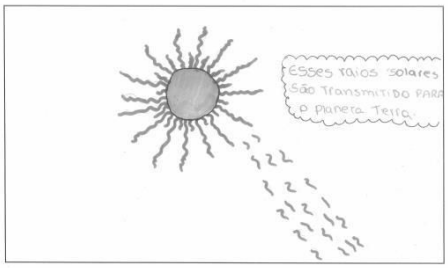
2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

A luz é a essência da vida, ela serve para várias coisas como por exemplo: A lanterna a utilizada ajuda da a formação a luz, a lanterna causa da parte de luz, e do farol do carro. Nós enxergamos essa luminosa essa a luz sol, e da lua que nasce e a noite que dia. Nunca tudo os raios que nos vemos de por uma essa a velocidade.



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

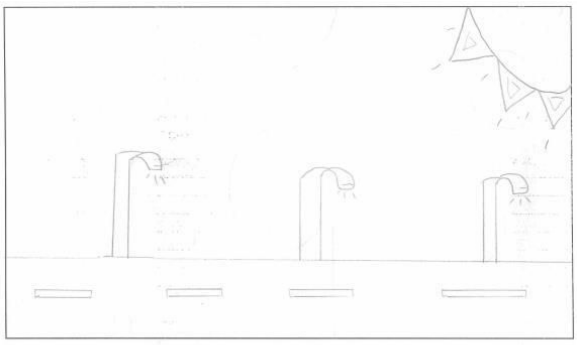
Tem 3 maneiras de criar luz primeiro foi com natureza luz da natureza sol e um fato extraordinário uma luz automaticamente natural. 2 - 2º primeiro veio criaram luz de fogo matéria e madeira 2 luz da natureza criada file material natural, 3. explicação lampada elementos pelo vidro e uma peça de cobre e inteligente e energia flm e considerado luz ou material foi criado da natureza e diferença entre dos que primeira luz não precisa de combustível para continuar acesa para sempre e



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela?

A luz é uma velocidade que não pode ser alcançada o que são feitos como sendo a luz. Para onde que lampadas energamos sol mas também pelo que ele é uma fonte de energia, mas não a luz bateria é com luz vários não é transmitida para o planeta Terra.

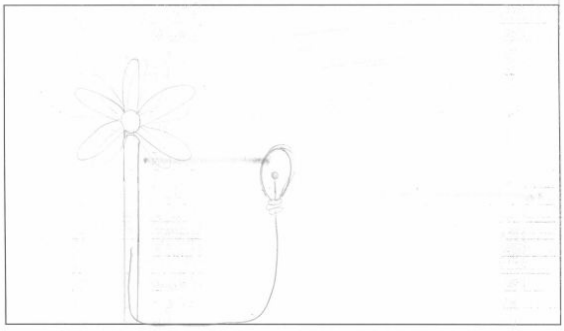
Uma onda.



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

É única estrela do sistema solar, o sol. a luz que atingiu nos olhos e responsável por enxergar. Também para a luz da lampada que ilumina a casa ou ruas. etc. Algo instantânea, apenas podemos ver e sentir.

Carrega a luz, também pode ser a regularidade de algo divino que tem da luz, etc.



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela? De que é formada?

A luz para mim é algumas coisas. A luz é o sol, tem uma parte mais forte que pelo "sol é a essência da vida, ainda, o sol luz alguma coisa ai, e a questão da onda eu acho que tem" as ondas de sudeste nas mais "calores" e também para a natureza ou pequenas luz fraca o sol, o sol como luz bem fraca.

Quadro 6 – Respostas dadas pelos estudantes durante a primeira demonstração investigativa.

Porque o laser fica meio que queimando o fio de cabelo. Porque podemos perceber que quando colocamos o laser no fio ele meio que faz umas listraças meios cortadas. Mudou sim em vez de ele ta em forma de bolinha como antes, não ele não fica "só" a bolinha, ele meio que tem uns traços do lado. É isso que eu entendi, mas já na opinião das pessoas que não da mesma que minha ok... É a minha opinião (Explicação)...

Eu acho que quando o laser fica na mesma direção do fil, o fil aparece do lado do laser tanto no lado esquerdo quanto no direito

O fio de cabelo cortou a luz, como se fosse uma sombra, e dispersou em todas as direções. O meu conceito sobre luz continua a mesma, porque por exemplo, quando ficamos em frente o sol nosso sombra é refletido.

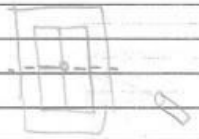
A luz se espalha no fio de cabelo, ela se fragmenta. Em varias sendo uma linha não continua, dando pouco de uma para outra. E minha opinião não continua a mesma.

Quando a luz do laser bate no fio de cabelo ela se refleti o fio de cabelo meio que atrapalha mas pelo efeito das ondas a luz tenta sair do obstáculo. O meu conceito sobre a luz não mudou, pois sempre achei que a luz tem que bater em algo para refletir.

No colocar o laser no cabelo deu para — reparar que no ponto da luz do laser fica uma linha partilhada porque o cabelo ou o fio de cabelo faz [illegible] falhas na linha que é causado por ele, e mudou só o ponto que ficou com as linhas partilhadas [illegible].

Sem o fio de cabelo podemos se dizer que a luz fica normal e com o fio de cabelo podemos se dizer que a luz batendo no fio deixa uma sombra no meio e é capaz de deixar a luz separada por isso

Quando a luz bate na parede sem o fio de cabelo a luz fica reta, mas quando a luz é direcionada no fio, fica impedida de ir em direção reta e o que bate no fio é o reflexo que sobra da luz fica na horizontal como a luz falhada se expandindo



Porque a luz tenta se expandir, porém não consegue pois o cabelo interfere um pouco a passagem total da luz

Mudou, Que quando você colocou a luz do laser no fio de cabelo o fio que estava reto fica deixado para os lados. Porque a luz se comporta de maneira que vemos o laser é aplicado sobre o fio do cabelo o fio fica em pedaços pontilhados

A luz ela se espalha quando entra em contato com o fio de cabelo mas não é uma linha contínua ela aparece um pedaço e fica outro sem tem um sem outro não isso acontece porque, como a luz é forte por causa do fio de cabelo alguns raios de luz se espalha e formando a linha com partes com a luz forte e outra fraca.

Quando a luz tem algo fino na frente por exemplo "fio de cabelo" ela se parte em vários lugares para esse fio [illegible] com que a luz mude direções.

Não é contínuo porque a luz não reflete por todo o fio de cabelo. O cabelo "corta" um pouco da luz, como todo objeto que entra na frente de uma luz, que é a sombra, aparece a sombra do cabelo. O meu conceito sobre luz continua o mesmo.

O laser ao passar pelo fio acabou se espalhando em varias direções, assim percebe-se que a luz não tem uma só direção e com isso ela acaba enfraquecendo um pouco. Pra mim nada mudou, só me deu a confirmação de que a luz pode sim se espalhar, em mais de uma direção.

Meu conceito continua o mesmo.
Quando a luz passa no fio de cabelo e falha e também a luz muda, ela fica deitada. Pois o modo de posição do cabelo faz com que faz essas reações.

Quando o leizer se encontra com fio acaba tendo uma irritação na luz do leizer, porque o fio esta interrompendo a passagem da luz.

Meu conceito não mudou, porque o leizer tem uma forte frequencia, assim quando coloco o leizer sobre o fio acaba interrompendo essa passagem da frequencia da luz.

Como pude observar tem varias teoria de falar sobre fato do laser encosta no fio de cabelo, ~~pode~~ e vai refletindo em algumas parte mais clara do fio ela reflete, e algumas parte escura do fio tipo da um espaço pequeno, tenho 2 teoria que laise bate no fio com quantidade de energia interligada a luz do leise fazendo uma sombra de luz clara ou fato da luz encosta no fio e ela se alto espalha so que em pequenas parte ~~com~~ com base em um espelho se juntamos a luz do leise mesmo ponto posicionando ele faz um reflexo, não sei dizer seófil, como espelho refletindo luz ~~em diagonal~~ ~~em~~ do ~~cab~~ fio de cabelo fazendo uma linha em milimetros de tracinho.

Quando a luz colinge um movimento em repouso viu em movimento ela se dispersa para todos os lados

O que eu vi foi que quando a luz passa pelo fio de cabelo ela se expande a sua energia ou seja a luz fica de um lado para cada fiou um lado é mais claro e outro acaba sendo mais escuro a sua luz

A luz ao passar pela fio de cabelo apresenta falhas, eu acho que o cabelo causa sombras e os rais de luz se "esquiva" do fio por isso são é continuo e sim fracionado.

Ao a luz pegar no fio de cabelo ele tenta se passar mas não da e ele reflete dos lados.

pegue estrasendo e porcausa que a luz tenta atravessar o fio de cabelo de qualquer feito e acaba refletindo dos lados.

meu conceito não mudou a luz tenta se expandi a travesy de uma difração de onda, a propriedade da luz que contorna os obstaculos quando sua propagação é interrompida parcialmente pelo fio que está a frente

A luz não é continua, mais quando acerta alguma coisa, é dispersada em todas as direções. O meu conceito sobre a luz continua a mesma, a luz é uma fonte de energia feita pelo sol

Eu acho que a luz bate no cabelo e reflete na parede, acho que tem a ver com a onda e com a luz

Bom a luz tenta atravessar sobre o fio de cabelo, mas a luz ficava horizontal, Ela tenta atravessar sobre o fio de cabelo de qualquer feito e acaba, se refletindo dos lados.

Antes a luz ficava normal depois de batar a luz do laser em um fio de cabelo, a luz ficou horizontal dos lados, por causa que reflete dos lados.

Pelo que vi a luz bate no fio de cabelo e reflete ai muda fica meio repartida, ela fica tentando achar uma passagem para ela atravessar porque o fio de cabelo é um obstaculo. Não muda porque igual o sol ele fica tentando achar uma entrada para entrar na Terra ai a camada de ozonio e tipo um atrito que tento impedi da luz passar ai nesse caso a camada de ozonio é o fio de cabelo.

O laser quando entra em contato com o fio de cabelo suas particulas se dividem e o fio atrapalha a luz passar se propagar por completo.

Pois bem, em minha percepção o experimento foi algo referente á medição de dimensões; ao o fio de cabelo ser iluminado pelo laser, á uma fragmentação e difração do obstáculo (o fio) e então é mostrado a dimensão de medidas do fio é refletido.

Eu observei que a luz estava normal, mas quando a luz bateu no fio de cabelo foi como se estivesse uma pessoa na frente, interrompendo um pouco da passagem da luz e com isso as particulas da luz vai se separando e deixando de ser continua, a minha ideia ainda continua a mesma sobre a antena para mim mudou pouca coisa.

Quando a luz se reflete no fio de cabelo, ela se expande por conta das ondas que tentam ultrapassar alguns lugares vacios.
A luz do sol acontece a mesma coisa, uma radiação, se olharmos bem para a luz do sol.

Porque devido a difração, a luz "atravessa" o cabelo, como se ele fosse o obstáculo e ela atravessa.

Não é continuo porque a luz não passa de uma vez só e não distribui, e quando a luz consegue atravessar, volta a ser continuo

Quadro 7 – Respostas dadas pelos estudantes durante a quarta atividade.

O experimento de fenda dupla.

1T: O elétron quando estava sendo disparado sem ser observado foi como se dividisse em 2 partículas nas 2 fendas e com isso ele foi se dividindo cada vez mais após ser observado o elétrons passou a se comportar novamente como uma bolinha de gude.

2T: O elétron passou a ter comportamento de onda "quantico" quando passava pela fenda ele passou a se comportar de uma maneira que ele se recusava mais após ser observado ele passou a se comportar normalmente pois o elétrons sabia que seria observado. Quando os elétrons se interferem como as ondas pois ele sai como ondas.

O experimento de fenda dupla

Quando pegamos uma fenda e lançamos a bolinha de gude sobre a fenda, podemos ver que a bolinha de gude passa pela fenda, ficando uma linha na parede. Já quando demos uma fenda dupla, teremos duas linhas na parede.

Quando pegamos uma fenda e jogamos um tipo de matéria sobre a água, vejamos que fez uma onda de uma grande potência sobre a parede. Já com uma fenda dupla vejamos duas ondas se anulando sobre a parede.

A ultima mostra uma bolinha pequenininha sobre uma fenda, faz uma linha sobre a luz. Já duas fendas, fazem várias linhas pois a partícula se dividem em dois e se torna em um só. Os elétrons se espalham ~~que~~ fazendo diversas linhas, quando a bolinha é grande não tem como ver

O experimento de fenda dupla

Quando as ondas passam pela fenda, ela atravessa e nadeia com a mesma tira, porém chega com mais quando as ondas ultrapassam duas fendas, elas se transformaram se dividem em várias partículas de ondas, porque quando elas se encontram com as corpos de baixo, elas anulam intensidade

O elétron sozinho passam pelas duas fendas, criando várias interferências.

O experimento de fenda dupla

Luz não tem massa, pode se comportar como onda ou como partícula; protons e elétrons são coisas pequenas que tem massa.

Os elétrons seguiram a mesma sequência da fenda porque é uma onda, assim como o experimento do fio de cabelo, que só tinha a luz do laser, tinha seguido a sequencia, como uma onda.

tem pouca matéria

O experimento de fenda dupla

Eu entendi que quando a máquina lança a bolinha passa pela fenda e atinge o quadro negro.
Ele lança elétrons, pequenas pedaços de matéria

O eletron aconteceu a mesma coisa como aconteceu na onda de água se multiplicação e isso fez com duas abertura um monte.

Quando se encontra com mais intensidade elas se anulão

passa como uma fenda e se torna duas

O experimento de fenda dupla.

Quando jogamos ondas matéria temos duas linhas agora ~~os~~ fuzesmos esses na água temos várias ondas por que na água as ondas se anulam.

O monstra também que quando ele é observado ele muda de comportamento.

O experimento de fenda dupla

Entendi que quando a partícula foi lança ao passar pela fenda ela se multiplicava por duas e indo em direção propria (direção diferente)

Parecia que quando mais observamos os eletrons se "escondia" não mostrando exatamente por onde passava, tendo vida propria

Elas se multiplicavam, se juntavam Assim como as ondas, elas se encontravam e se multiplicavam

O experimento de fenda dupla...

O eletron quando não estava sendo observado se comportava de forma diferente fazendo o mesmo modelo de interferência do que as ondas, mas quando ele estava sendo observado se comportou do mesmo modelo de interferência do que as bolas de gude.

O experimento de fenda dupla

↳ luz não tem massa

↳ tem comportamento dual - se comporta como onda e como partícula

- o elétron quando foi observado mudou de comportamento

- quando ele faz esse experimento com a água, ela passa pelas fendas e não faz duas linhas na parede, mas as ondas se interferem e fazem vários pontos

- se o topo de uma onda encontra outra elas se anulam, e fazem vários modelos de interferência na parede.

O Experimento de fenda dupla

Parece que a bolinha se divide em duas partículas mudando o seu comportamento inicial, e depois que atravessava voltava ao normal

O experimento de fenda dupla

Eu entendi que quando passa uma bolinhas pela fenda causa uma linha e quando em duas fendas causa 2 linhas com interferência. As ondas batiam nas fendas fazendo com que elas batessem com intensidade. E em duas fendas causa uma enorme quantidade de linhas de interferência

O experimento de fenda dupla

na 1ª tinha somente uma fenda, quando os elétrons passaram entre a fenda se formou uma linha. na 2ª tinha duas fendas os elétron passou sobre ela e formou varias linhas. por causa que na 1ª tinha apenas uma onda e na 2ª tinha duas ondas que se encontra formando varias ondas. mas quando colocou o observador os elétrons viu que estava sendo observado e mudou o trajeto.

O experimento de fenda dupla

Criou-se mais luz através da fenda, pois é uma onda. Como no experimento do cabelo com o laser. Uma onda interfere na outra, vimos no exemplo da água com duas fendas. A bolinha de gude passou normalmente pois tem matéria

O experimento de fenda dupla

As partículas e as ondas quando atravessam a fenda elas atravessam em sucessão e com a mesma intensidade. Os lugares onde dois pontos se encontram possuem um ponto de interferência.

O EXPerimento De fenda DuPla

a Bolinhas De gude fogaram na tenda e Evoluiz na Parede com eletros. e a ondas Radiava na tenda e voluindo com Radiação e quando chega na 2ª tenda voluiz mais com linhas quando foga as Bolinhas De gude na tenda elas enchegam eletros De matéria. Prima.

O experimento de fenda dupla

uma onda de formação passa ~~pela as~~ por duas fendas duplas fazendo onda de água se multiplicar surge uma interferenci fazendo ondas pequenas duplas, primeira fenda sem ser dupla as bolinhas não passa todas corretamente, quando ~~acrescenta~~ é acrescentado duas fendas possibilidade do eletrom passar, como bolinha de interferencia como uma linha outro passou pela segunda fenda igual primeira. Conclusão pudi saber que uma fenda ~~ent~~ interrompe a passagem de alguns eletros, com duas fendas os eletrons ~~passa~~ passam sem ser interrompido.

O experimento de fenda dupla

Ele se comporta iguais a luz a atravesar de difração e interferência

O experimento de fenda dupla

A teoria da fenda dupla se baseia em duas fendas de realidades alternativas; a teoria se baseia apenas em que a luz seja uma partícula, as partículas de eletrons criam interferencias contra si mesma como uma onda, mesmo que no fim se propaguem como partícula; de acordo com a teoria do gato na caixa, nos relata exatamente isso, o gato é colocado na caixa fechada, e enquanto ele está e nós não os vemos, o gato pode estar vivo ou morto, as duas coisas podem estar acontecendo ao mesmo tempo. A partir do estudo das partículas começou a se pensar no universo como uma fenda.

O experimento de fenda dupla

No primeiro experimento um homem vai observando o que acontece com as bolinha em uma fenda e elas vão se firando juntamente, depois fez com a segunda fenda que acontece a mesma coisa, só que duas em uma onda. Fizeram com a onda mas com uma fenda, a onda ficou a mesma coisa do que as outras. Quando ele colocou a segunda fenda transformou, varias ondas, no sentido diferente, e tem uma interferência. Quando as partículas passavam por uma das fendas, elas deviam colidir com as paredes das fendas, mudando o trajetório, fazendo uma interferência que pode fazer a luz aparecer na parede de traz.

não ondas.

Eles colocaram uma fenda e acharam que ela ia reto e batia na parede as partículas faziam as coisas diferentes mais era só quando olhavam foi isso que eu intendi e o da água eu não intendi

Título: O experimento de fenda dupla.

1 eletron = bola de gude, modelo de interferencia. Se multiplicava por 2, parecia que tinha vida propria. As ondas batiam na fenda enradiando batendo na parede de tras, 2 fenda o topo encontra outra onda, ocorre a transferência

]

O experimento de fenda dupla.

Algo empressava a bolinha de gude passa pela fenda, e depois lhe deposita na água para ver se a diferença, particulas ou bolinhas de gude, as ondas bariam e interferiam sobre a fenda, a interferência sofre na parede de trás, se colocamos duas fendas irá ocorrer duas linhas de bolinhas de gude, a interferência será muito grande ou seja irá interferir forte, quando lançamos a bolinha de gude sobre uma fenda irá formar uma linha, agora se lançamos ela em duas fenda, irá ocorrer duas linhas.

O experimento de fenda dupla

Em duas fenda estava sendo lançado bolinhas de gude forma 2 linhas na outra parede, lá com a onda sofre interferencia.

O experimento de fenda dupla

Quando se encontra o mesmo obstaculos as ondas mudam, apois as ondas mudam os eletrons não vai para mesma direção jogada se espera ai acorte a interferencia de ondas na água.

É que quando não está sendo observado, ela é de um jeito, e quando está muda.
Quando faz onda com uma fenda, forma uma onda, quando está duas fendas, forma duas e ela se encontra com uma intensidade no meio.
Ela age diferente quando está sendo observado mudando pra duas interferências ao invés de vários.

TÍTULO: O experimento de fenda dupla

R: No da luz podemos observar que fica umonte ou espaço porque a luz ocupa varios espaços ou seja ilumina varias partes.

O da bolinha de gude se ficarão com duas porque elas são massas ou seja não não se separa igual a luz e a onda.

O da onda fica muitas linhas depois de se encontrar denovo, por que ao passar pelas fenda elas se encontra denovo elas se "multiplica" parece mais ou seja ao passar por duas fendas elas se multiplica.

O EXPERIMENTO DE FENDA DUPLA

Quando os eletrons passa pela fenda que contem duas abertura, eles se dividem e logo após de passarem pela fenda, eles se juntam novamente e batem na parede.

O experimento de fenda dupla

Eu vi lá, que o eletron passa pela fenda com duas aberturas, se dividem em dois para n passar pela fenda e logo após passarem pela fenda eles se juntam de novo batem na parede.

O experimento de fenda dupla

Quando tinha uma fenda as "bolinhas" formaram apenas uma linha e quando foi a fenda dupla as bolinhas se "separavam" e iam um pouco pra cada lado da fenda que passou. Quando as ondas passaram pela fenda dupla as onda se multiplicaram porque elas não tinham matéria no caso MASSA.

No começo o cara observa como as bolinhas se comportam ao serem jogada na parede, e com uma fenda fazia 1 tira e com 2 faziam 2 tiras.

Depois ele vê o que acontece se colocar as fendas nas agua e com uma fenda pode se ve um linha e com duas fendas uma interferencia causando varias linhas.

Depois ele diminui o modelo e vê com uma fenda uma linha, com duas fendas causa um modelo de interferencia levando a ter varias linhas.

PRODUTO DE MESTRADO

UNIDADE DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

KLEIDIANI MOREIRA MONICO

FLÁVIO GIMENES ALVARENGA

PPGEnFis
UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

KLEIDIANI MOREIRA MONICO

FLÁVIO GIMENES ALVARENGA

UNIDADE DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Vitória – ES
Agosto – 2018

EPÍGRAFE

Quando quase não há

Quantidade que se medir

Qualidade que se expressar

Fragmento infinitésimo

Quase que apenas mental

Quantum granulado no mel

Quantum ondulado no sal

Mel de urânio, sal de rádio

Qualquer coisa quase ideal

Cântico dos cânticos

Quântico dos quânticos

Gilberto Gil

SUMÁRIO

Apresentação 104

1.Dualidade Onda-partícula 105

1.1. Efeito Fotoelétrico 105

1.2. Explicações de Einstein para o Efeito Fotoelétrico 106

1.3. Efeito Compton 107

1.4. Propriedades Ondulatórias da Matéria – Postulado de de Broglie 109

1.5. A Dualidade Onda –partícula.. 111

2. Sequência de aulas e de atividades 112

2.1. Aula 1: Conhecimentos prévios 112

2.2. Aula 2: Primeira demonstração investigativa 114

2.3. Aula 3: Segunda demonstração investigativa 116

2.4. Aula 4: Terceira atividade investigativa - vídeo 118

2.5. Aula 5: Equação de de Broglie 119

2.6. Aula 6: Questionário 120

3. Referências 123

Apresentação

Caro (a) Professor(a)

Este é o Produto da Dissertação de Mestrado de Kleidiani Moreira Monico, orientada pelo Prof.Flávio Gimenes Alvarenga, que foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo. O objetivo é que essa unidade seja um guia a mais de Ensino de conteúdos conceituais sobre o tema dualidade onda-partícula e que contribua para o trabalho pedagógico do professor.

Para preparar essa unidade de ensino nos baseamos em atividades investigativas, pois entendemos que assim estaremos privilegiando a participação ativa do estudante durante o processo de ensino aprendizagem. Nesta proposta didática de ensinar os conceitos da dualidade onda-partícula, apresentamos a concepção de uma unidade de ensino que é pautada no ensino por investigação. Tal metodologia traz mudanças nos papéis do aluno e do professor, o primeiro deixa de ser apenas um ouvinte e passa a ser protagonista do processo de ensino e aprendizagem enquanto o segundo assume o papel de mediador do conhecimento, aquele que orienta e facilita as ações para favorecer as aprendizagens. A unidade de ensino investigativa foi aplicada na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio "Aflordízio Carvalho da Silva", em uma turma do segundo ano do ensino médio, composta de 35 alunos. A pesquisa é de natureza *qualiquanti,* apoiada em observações registradas em um diário de bordo, de registros em áudio e de dados coletados ao longo da intervenção.

Durante a intervenção pudemos notar um maior interesse dos alunos em relação às aulas tradicionais, eles ficaram muito curiosos e interessados em entender e explicar os fenômenos que eram observados. Salvo raras exceções, tivemos uma brilhante participação dos alunos durante todas as etapas da intervenção. Minha postura enquanto professora também foi alterada e isso acontecia de uma forma bem natural. Muitas vezes eu era tentada a dar a resposta, mas me contive e foi bem legal. Posso afirmar que a pesquisa foi potencial para minha aprendizagem enquanto docente.

Desejamos a todos uma iluminada leitura!!!!

1. Dualidade Onda-Partícula

Serão mostrados neste capítulo de uma forma dinâmica os conceitos relacionados ao tema dualidade onda-partícula. Começa-se abordando o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, cuja explicação foi fundamental para o entendimento da luz como partícula. Em seguida fala-se da natureza ondulatória da matéria, através do postulado de de Broglie e de sua equação.

Na elaboração desse texto usou-se como referência: *Eisberg, R.; Resnick, R. Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Ed. 19, 1994, ISBN: 9788570013095, EAN: 9788570013095.*

Sabe-se que ao se propagar, a radiação apresenta um comportamento ondulatório, no entanto, quando interage com a matéria se comporta como uma partícula. Os dois experimentos descritos abaixo comprovaram essa natureza corpuscular das radiações eletromagnéticas.

1.1. Efeito fotoelétrico

Efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica, devido à incidência de luz sobre ela. Esses elétrons que eram arrancados receberam o nome de **fotoelétrons.**

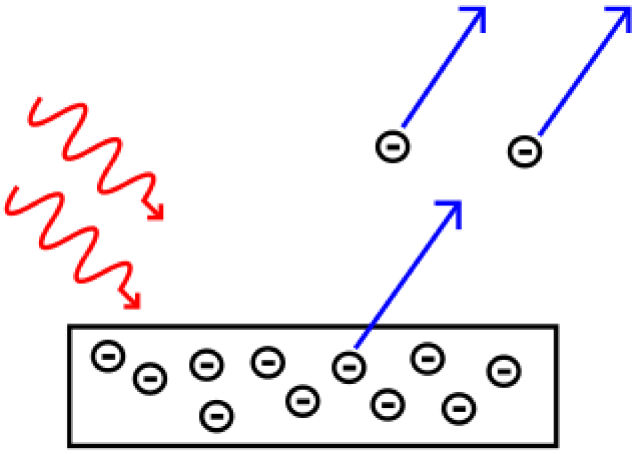


Figura 1: Elétrons sendo emitidos de uma superfície metálica ao se incidir luz sobre ela.

Passou-se muito tempo até conseguir explicar esse efeito. Ele foi descoberto em 1887pelo físico Heinrick Hertz (1857-1894) e explicado por Albert Einstein, em 1905.

Muitos fenômenos podem ser observados durante esse efeito. Serão destacados aqui os três principais que não podem ser explicados em termos da teoria ondulatória clássica:

I. A energia dos elétrons emitidos pela superfície depende da frequência da radiação incidente, e não de sua intensidade. De acordo com a teoria ondulatória clássica a energia cinética dos fotoelétrons deveria crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luminoso. Não era isso que acontecia.

II. De acordo com as previsões da teoria ondulatória, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência de luz, desde que essa fosse intensa o suficiente. No entanto, não era isso que ocorria, existia uma frequência limite, chamada de frequência de corte $\mathbf{v_0}$. Quando se incidia luz de frequência menor o efeito não era observado. Na verdade, quando aumentava-se a frequência para um valor maior que $\mathbf{v_0}$, apenas a quantidade de fotoelétrons ejetados era aumentada.

III. De acordo com a teoria ondulatória, ao se incidir luz sobre uma placa metálica, ela deveria absorver toda a energia dessa onda incidente. E se a luz for suficientemente fraca ela gastaria um tempo para absorver energia do feixe até conseguir acumular energia suficiente para escapar. No entanto, nenhum tempo de atraso observado, os elétrons eram emitidos instantaneamente.

1.2. Explicações de Einstein para o Efeito Fotoelétrico

Em 1905 Einstein colocou em cheque a teoria ondulatória da luz, através da explicação dada por ele para o efeito fotoelétrico. Diferente das ideias de Planck, que acreditava que a energia eletromagnética, uma vez irradiada, se espalhava pelo espaço, da mesma forma que ondas de água se espalham na água. Einstein propôs que a luz e as demais ondas eletromagnéticas eram formadas de pequenos pacotes de energia (quanta) chamadosde **fótons** (*teoria corpuscular da luz*).

Einstein justificou dizendo que as experiências para se observar efeitos ondulatórios, como a interferência e a difração só haviam sido feitas com muitos fótons envolvidos. Afirmando que tais resultados são uma média do comportamento individual de cada fóton.

Como a analogia feita por ele, no efeito fotoelétrico é como se fosse uma mangueira com gotas da´gua isoladas. Já nas experiências que efeitos ondulatórios são observados como

se fosse um jato de água de uma mangueira, onde os jatos são compostos de várias gotas de água.

Einstein supôs que a energia E do pacote, ou fóton, está relacionada com sua frequência f através da equação:

$$E = hf$$

E supôs também que no processo fotoelétrico um fóton é completamente absorvido por um elétron no fotocatodo. Quando o elétron é emitido da superfície do metal, sua energia cinética é:

$$K = hf - w$$

Onde,

hf= energia do fóton incidente;

w = trabalho necessário para remover o elétron do metal.

1.3. Efeito Compton

A experiência do efeito Compton, realizada por Arthur Compton em 1923, veio pra confirmar de vez que a luz apresenta um comportamento corpuscular.

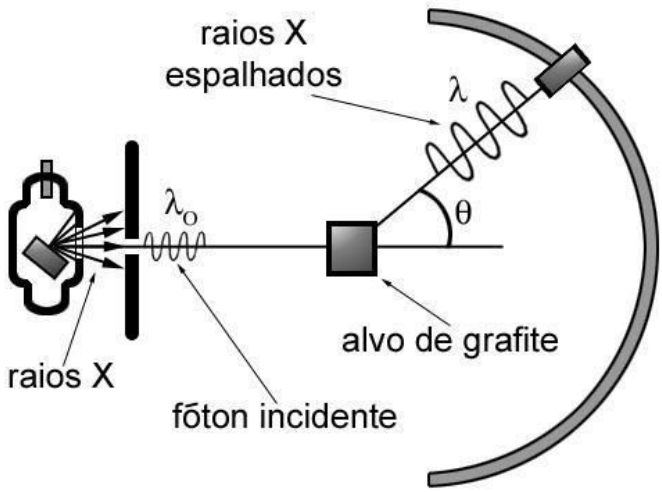


Imagem retirada de: https://alemdainercia.wordpress.com/2016/03/01/fisica-quantica-efeito-compton/

Figura 2: Esquema do experimento do efeito Compton

Compton fez com que um feixe de raio X, de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de grafite e então, sofria espalhamento. Mediu-se a intensidade dos raios X espalhados como função do seu comprimento de onda para vários ângulos.

Foi observado que, embora o feixe incidente tenha apenas um comprimento de onda. Os

raios X espalhados apresentam 2 comprimentos de onda distintos, um deles é igual ao comprimento de onda incidente e o outro, um pouco maior, que vamos representar por λ´. A diferença entre esses dois comprimentos de onda, dada pela equação abaixo:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$$

Ficou conhecida como *deslocamento Compton.*

Tal efeito não poderia ser explicado quando se considerava os raios X como ondas eletromagnéticas clássicas. No modelo clássico o campo elétrico oscilante com frequência f da onda incidente age sobre elétrons livres do alvo fazendo-os oscilar com a mesma frequência, e também com o mesmo comprimento de onda. No entanto, como foi percebido experimentalmente, não era isso que ocorria.

Para explicar tal fenômeno, Compton fez a mesma consideração que Einstein. Ele considerou que ao invés de ondas, o feixe de raio X era um conjunto de fótons, onde cada um desses fótons possui uma energia :$E = hf$,e que esses fótons colidiam com os elétrons livres como colidem duas bolas de bilhar.

Imagem retirada de: https://pt.wikipedia.org/wiki/Colis%C3%A3o

Figura 11: Colisão entre duas bolas de bilhar.

Partindo dessa consideração, a radiação que sofreu espalhamento é resultado da colisão entre fótons e elétrons. Durante a colisão:

- O fóton incidente transfere parte da sua energia $\boldsymbol{E}$ para o elétron com o qual colide;
- Como consequência, o fóton espalhado deve ter energia menor do que a que tinha antes da colisão, chamaremos essa nova energia de $\boldsymbol{E'}$, que é menor que a energia inicial.

- Portanto, o fóton espalhado apresentará também uma menor frequência, que chamaremos de $\boldsymbol{f'}$. O que implica em um comprimento de onda, $\boldsymbol{\lambda'}$, maior, por causa da relação

$$\lambda' = \frac{c}{f'},$$

onde c é a velocidade da luz.

Essa foi uma explicação qualitativa para a diferença no comprimento de onda observada. Para tal, necessário foi considerar a radiação com partícula e não como ondas. Vale ressaltar que diferente do que ocorre no efeito fotoelétrico, onde os fótons são absorvidos, no efeito Compton eles são espalhados.

Com esses dois experimentos ficou comprovado o caráter corpuscular da radiação.

1.4. Propriedades Ondulatórias da Matéria – Postulado de de Broglie

A hipótese de de Broglie era de que assim como a radiação apresenta um comportamento dual onda-partícula, a matéria também poderia apresentar tal comportamento. Dessa forma, assim como o fóton tem associado a ele uma onda, a matéria, como um elétron por exemplo, pode ter associado a ele uma onda também, que de Broglie chamou de onda de matéria.Essa sugestão de de Broglie é na verdade uma afirmação da simetria da natureza, já que o Universo é todo composto de matéria e radiação.

Pois bem, a ideia de de Broglie era de que, assim como foi para a radiação, a energia total E está relacionada à frequência de onda f associada ao seu movimento através da equação:

$$E = hf$$

Onde h é a constante de Planck.

E o momento p é relacionado com o comprimento de onda λ da onda associada pela equação

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Assim, o comprimento de onda de de Broglie é expresso pela equação

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Essa equação é chamada de relação de de Broglie e prevê o comprimento de onda de de Broglie λ de uma onda de matéria associada ao movimento de uma partícula material que tem um momento p.

Não se percebe o comprimento de onda de uma pessoa, por exemplo, pois as dimensões importantes dos equipamentos são muito grandes em comparação ao seu comprimento de onda, o que pode ser evidenciado no exemplo abaixo:

Exemplo 1: Calcule o comprimento de onda de uma pessoa de massa 80 kg que se movimenta numa velocidade igual a 5 m/s. Dado: h = 6,6 x 10^{-34}J.s

Primeiro, será calculado o momento p, através da equação:

$$\boldsymbol{p = m\,.\,v = 80\,.\,5 = 400\ kg.m/s}$$

Agora, utiliza-se a equação do comprimento de onda de de Broglie:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,6\ x\ 10^{-34}}{400} = \ 0,0165\ x10^{-34}\ \mathrm{m} = \ 1,65\ x10^{-36}\ \mathrm{m}}$$

Como é possível observar, o comprimento de onda de uma pessoa é da ordem de 10^{-36}, para que seja possível perceber aspectos ondulatórios, como a interferência e difração, precisa-se de equipamentos com aberturas ou obstáculos de dimensões convenientemente pequenas. O que nesse caso torna muito difícil encontrar um que esteja de acordo com esta ordem de grandeza.

Exemplo 2: Calcule o comprimento de onda de um elétron de massa 9,1 x 10^{-31} kg com velocidade de 12 m/s.

Primeiro, será calculado o momento p, através da equação:

$$\boldsymbol{p = m\,.\,v = \ 9,1\ x\ 10^{-31}\,.\,12 = 109,2\ x\ 10^{-31}\ \ kg.m/s}$$

Agora, utiliza-se a equação do comprimento de onda de de Broglie:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,6\ x\ 10^{-34}}{109,2\ x\ 10^{-31}} = \ \ 0,0604\ x10^{-34}\ \mathrm{m} = \ 6,04\ x\ 10^{-5}\ \mathrm{m}}$$

No caso do elétron, a fenda ou obstáculo do equipamento é da ordem de 10^{-5}, sendo nesse caso mais fácil de observar os efeitos de interferência e difração, característicos de ondas.

1.5. A Dualidade Onda-Partícula

Como visto até aqui, a radiação para ser compreendida, foi neecessário considerá-la em alguns momentos como partículas, como no efeito fotoelétrico e em outros, como uma onda. E o mais notável foi estender esse caráter dual para a matéria. É muito importante notar que os dois modelos não são usados sob a mesma circunstância, não se pode observar o caráter dual e corpuscular ao mesmo tempo.

> Quando o ente é detectado por algum tipo de interação, ele atua como uma partícula no sentido que é localizado; quando está se movendo, age como uma onda, no sentido que se observam fenômenos de interferência, e, obviamente, uma onda tem extensão e não é localizada. (Eisberg e Resnick, 1994, p. 95)

2. Sequência de aulas e de atividades

2.1. Aula 1: Conhecimentos prévios

1. Leia com bastante atenção o texto abaixo.

Do que a luz é feita e seus mistérios

Somos criaturas da luz. Nossa percepção mais imediata da realidade vem dela, do que podemos ver. [...] A luz representa sabedoria, conhecimento, o lado bom do divino. [...]

Não é uma coincidência que tantas culturas idolatrassem a luz através de seu provedor-mor, o Sol. Os egípcios, os incas, os celtas, sabiam que o Sol é a essência da vida. O que vemos da realidade, fração pequena de todas as "luzes" que nos cercam – o espectro luminoso das ondas de rádio aos raios gama – coincide com o pico de emissão luminosa do Sol. O processo de seleção natural privilegiou animais capazes de utilizar ao máximo a luz da estrela que os ilumina. Claro, alguns animais percebem as franjas além do visível, como as abelhas, que vêem no ultravioleta, ou certas cobras, que vêem no infravermelho. Mas a maioria vê o que vemos, a luz que se espalha pela atmosfera.

O que é?

É, portanto paradoxal que a luz, que nos é tão íntima, seja também um dos grandes mistérios da natureza. O que é, afinal, a luz? Não é palpável como o ar ou a água, e nem sabemos exatamente do que é "feita". Se voltássemos ao século 17, assistiríamos aos debates entre Isaac Newton e Chistiaan Huygens sobre a natureza da luz. [...] Ambos os cientistas aplicaram sua teoria da luz para explicar uma série de fenômenos, com sucesso variável. [...]

Considerando os mistérios que sobrevivem em torno da luz e o quanto deles exploramos nas aplicações tecnológicas, é difícil prever o que nos espera em cem anos. No mínimo, mais uma revolução em nosso conhecimento do mundo que, tal como a que começou no início do século 20, será iluminada pela curiosa natureza da luz.

Do que a luz é feita e seus mistérios. Marcelo Gleiser, professor titular de física, astronomia e filosofia natural no DartmouthCollege, nos EUA. Disponível em:

http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2015/05/1632439-do-que-a-luz-e-feita-e-seus-misterios.shtml. Acesso em: 05 out. 2017

1. De acordo com o texto que acabamos de ler, notamos que a luz sempre foi um grande mistério, não só para nós, mas também para aqueles que se dedicaram em estudá-la. Nossa intenção durante o desenvolvimento dessas atividades é desvendar um pouquinho desse universo cujo estudo nunca cessará. Sendo assim, usaremos o conhecimento que temos e também nossa imaginação para fazermos desenhos e ilustrações do que seria a luz e de que ela seria formada. Para isso, utilize o espaço abaixo.

2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela?

2.2. Aula 2: Primeira demonstração investigativa

Atividade Experimental Demonstrativa Investigativa 1: *A luz por um fio de cabelo*

I. Materiais Utilizados:

Fio de cabelo;
Fita adesiva;
Laser apontador;
Suporte para colocarmos os fios de cabelo.

II. Procedimento

Separe o fio de cabelo e com o auxílio da fita adesiva, coloque-o no suporte, conforme mostra a figura 1.

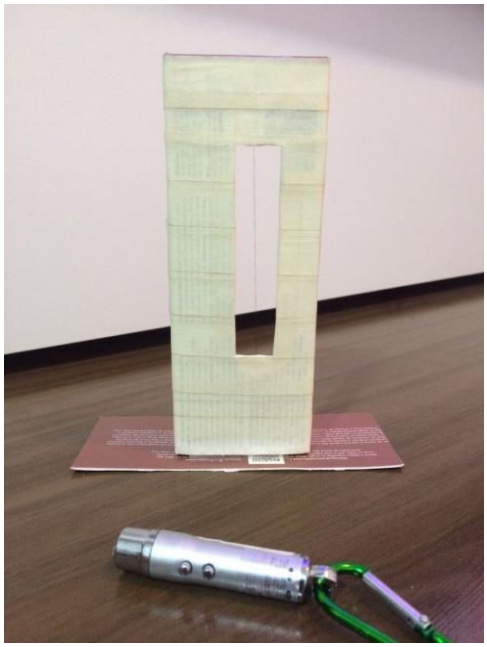


Figura 3: Montagem experimental do fio de cabelo no suporte

Agora, aponte o laser apontador em direção ao fio de cabelo e observe o que aparecerá no anteparo.

Repita essas ações quantas vezes forem necessárias.

III. Análise

Com base no experimento que acabamos de realizar, faça uma análise do que vocês puderam observar, explicando o fenômeno físico envolvido. Por que a luz se comporta dessa maneira quando colocamos um fio de cabelo entre ela e o anteparo? E o conceito que vocês tinham a respeito da luz, continua o mesmo ou mudou alguma coisa depois desse experimento? O que mudou? Se nada mudou, justifique como esse experimento

confirma seus conceitos prévios.

2.3. Aula 3: Segunda demonstração investigativa

Atividade Experimental Demonstrativa Investigativa 2: "*Ouça seu controle remoto*"

I. Materiais Utilizados:

1 bateria de 9 V;
1LDR;
1 Led ;
1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som);
1 resistor de 680 Ω e 1/8 W;
2 jacarés;
Fios de ligação
Fita isolante
1 suporte para bateria;
1 controle remoto comum de televisão;
Caixinha de som de computador ou de rádio.

II. Procedimento

Primeiramente verifique a polaridade do LED, identificando o pólo positivo e o negativo para fazer a ligação corretamente. A "perninha" maior é o pólo positivo e a menor, o negativo;

A bateria, o LDR, o LED e o resistor deverão ser ligados em série, nessa ordem, conforme a figura 1;

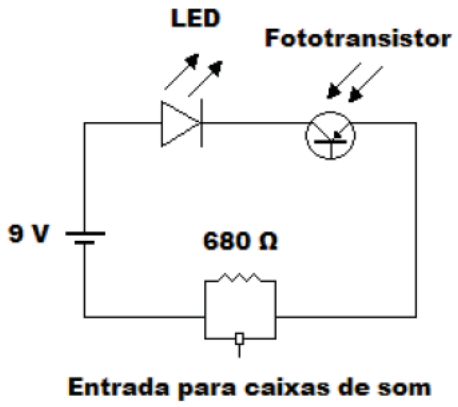


Figura 4: Esquema do circuito do experimento

Com os jacarés, ligaremos o pino fêmea P2 em paralelo com o resistor;
Agora, conecte as caixinhas de som ao circuito, conforme a figura 2 e incida o infravermelho no LDR, usando o controle remoto de televisão.

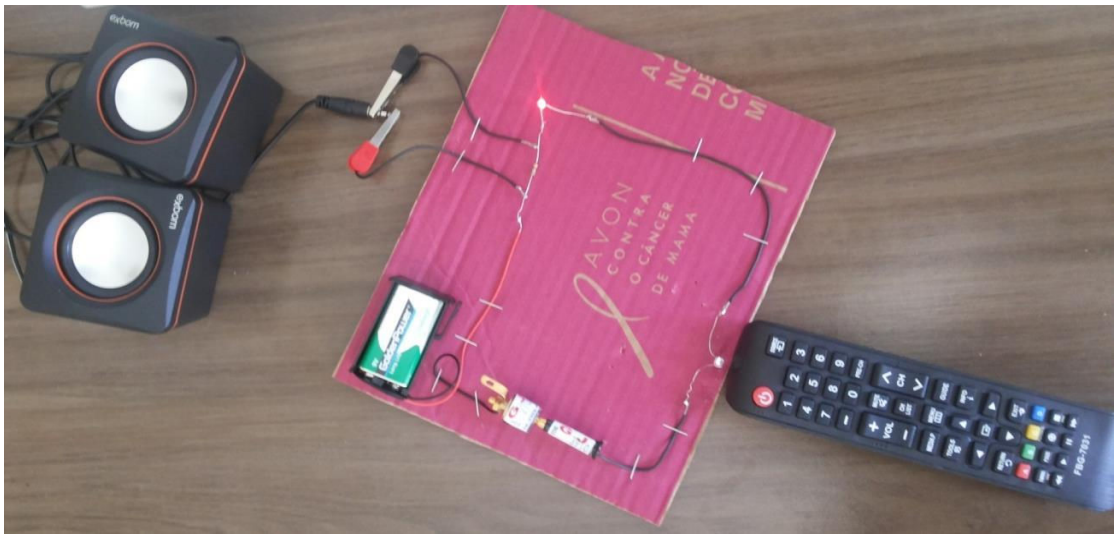


Figura 2: Esquema montado do experimento ouça seu controle remoto

Análise

Agora que você realizou, observou o experimento, poderia fazer análise dele? Como podemos explicar o fato de conseguirmos ouvir o som do controle remoto através da incidência de luz sobre o LDR? Elabore um pequeno texto para explicar.

2.4. Aula 4: Terceira atividade investigativa - vídeo

Na quinta aula da intervenção, que teve como objetivo estender as características dualidade onda-partícula para a matéria foi apresentado o vídeo "Dr. Quantum – Experimento da dupla fenda", disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zKiCEU6P3U0.

O vídeo foi pausando em determinados momentos onde foram feitos alguns questionamentos, pedindo para que os alunos tentassem explicar o fenômeno observado. E ao final foi pedido que relatassem por escrito suas conclusões.

Após esse momento, foi sistematizado o fenômeno observado, explicando que a matéria também apresentava um comportamento dual.

Algumas das questões levantadas durante o vídeo foram:

- Qual comportamento o elétron apresentou ao passar por uma fenda? E ao passar pelas duas?
- Que fenômeno foi esse que pudemos observar?
- Será que isso nos faz lembrar de algo que vimos recentemente?
- Por que não conseguimos observar, no nosso dia a dia, os fenômenos de interferência e difração de uma pessoa?

2.5. Aula 5: A Equação de de Broglie

A aula 6 foi uma aula onde formalizaram-se matematicamente os conceitos da dualidade onda-partícula para a matéria, abordando as contribuições de Louis De Broglie e apresentando a equação do comprimento de onda de De Broglie. Em seguida foram realizados os seguintes exemplos:

Calcule o comprimento de onda de de Broglie, de:

a) Uma pessoa com massa de 70 kg com uma velocidade de 12 m/s;

b) Um próton de massa $1{,}7 \times 10^{-27}$ kg com velocidade de 12 m/s;

c) Um elétron de massa $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg com velocidade de 12 m/s.

2.6. Aula 6: Questionário

As questões que compõem este questionário foram tiradas do livro:

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. Física moderna: experimental e aplicada. 2 ed., São Paulo: Editora Livraria da física, 2004.

RAMALHO JUNIOR, F. et al. Os fundamentos da física. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

Questão 1) Complete as lacunas do trecho com as palavras que, na mesma ordem, estão relacionadas nas opções a seguir.
"A luz, quando atravessa uma fenda muito estreita, apresenta um fenômeno chamado de _____ e isto é interpretado como resultado do comportamento _____da luz. Porém quando a luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser emitidos da superfície sendo este fenômeno chamado _____, que é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz."

Assinale a opção **CORRETA** encontrada:
a) Difração, ondulatória, efeito fotoelétrico, corpuscular.
b) Difração, corpuscular, efeito fotoelétrico, ondulatório.
c) Interferência, ondulatório, efeito Compton, corpuscular.
d) Efeito fotoelétrico, corpuscular, difração, ondulatório.
e) Ondas, magnético, fótons, elétrico.

Questão 2)

Fragmento infinitésimo,
Quase que apenas mental,
Quantum granulado no mel,
Quantum ondulado do sal,
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal.

Um trecho da música Quanta, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque acima. As frases "Quantum granulado no mel" e "Quantum ondulado no sal" relacionam-se, na Física, com:
a) Conservação de energia.
b) Conservação da quantidade de movimento.
d) Dualidade onda-partícula.
e) Princípio da causalidade.
f) Conservação do momento angular.

Questão 3) Na história da Física, existem vários exemplos de conceitos que exigiram revisão ou mesmo substituição, quando novos dados experimentais se opuseram a eles. Em relação à natureza do comportamento da luz, isso não foi diferente, sendo resolvido somente no último século pela Mecânica Quântica. Qual é a natureza do comportamento da luz para a Mecânica Quântica?

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, ou seja, sempre se comporta como partícula.
e) Natureza dual, ou seja, sempre se comporta como onda.

Questão 4) Sobre a natureza e propagação da luz, é correto afirmar que: (marque todas as alternativas corretas)

(1) luz, nos dias atuais, é interpretada como um pacote de energia que, nas interações com a matéria, apresenta dois aspectos: em certas interações se comporta como partícula e em outras interações se comporta como onda.

(2) O físico Albert Einstein elaborou uma teoria sobre a natureza da luz, afirmando que a luz é formada por um fluxo de corpúsculos chamados fótons.

(3) Thomas Young confirmou a teoria ondulatória da luz de Christian Huygens, verificando que a luz, ao passar por duas fendas extremamente finas, combina-se, formando regiões claras e escuras.

(4) A teoria ondulatória da luz é a única utilizada para explicar o efeito fotoelétrico, fenômeno pelo qual elétrons são arrancados de metais devido à transformação de energia luminosa em energia cinética.

(5) Após uma longa controvérsia científica sobre a questão da natureza da luz, iniciada por volta do ano 500 a.C., apenas no século XIX conseguiu-se a compreensão total da questão, através da confirmação da natureza ondulatória da luz.

Questão 5) A porta automática de um shopping Center, as calculadoras e relógios que funcionam com energia solar são recursos tecnológicos utilizados no dia a dia de uma cidade e que envolvem energia luminosa e cargas elétricas, constituindo o fenômeno físico conhecido como "efeito fotoelétrico". Sobre esse tema, julgue as afirmativas: (Marque todas as corretas)

(1) Energia luminosa constitui-se de "pacotes discretos" denominados fótons, que

podem ser considerados partículas.

(2) Quando um fóton incide sobre um pedaço de metal e interage com um elétron, este absorve a energia daquele e pode ser arrancado do metal.

(3) A velocidade dos elétrons que se desprendem do metal devido à incidência da luz depende da freqüência e da intensidade da luz.

(4) luz tem natureza dual (onda-partícula), sendo o efeito fotoelétrico uma manifestação do aspecto corpuscular.

Questão 6) Louis De Broglie (1892-1987) durante o seu doutoramento em física na Universidade de ParisSorbonne sugeriu que o elétron, em seu movimento ao redor do núcleo, tinha associado a ele um comprimento de onda particular e introduziu o termo ondas de matéria para descrever as características ondulatórias das partículas materiais. Com base no comportamento ondulatório da matéria, o comprimento de onda de De Broglie de um elétron com velocidade de $5{,}97 \times 10^{6}$ $m.s^{-1}$ é:

Dados:

Massa do elétron = $9{,}11 \times 10^{-31}$ Kg; constante de Planck, h = $6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s

a) 122×10^{-9} m
b) 224×10^{-9} m
c) 350×10^{-9} m
d) 410×10^{-9} m
e) 534×10^{-9} m

3.Referências

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a Prática. Organizando por Anna Maria Pessoa de Carvalho, Editora Thomson, 2004, cap. 2.

CARVALHO, A. M. P. de. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. São Paulo: Cengagelearning, 2013, cap.1.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. Física moderna: experimental e aplicada. 2 ed., São Paulo: Editora Livraria da física, 2004.

Dr. QUANTUM – Experimento da dupla fenda", disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zKiCEU6P3U0. Acesso em: 05 out. 2017.

GLEISER, M. Do que a luz é feita e seus mistérios,professor titular de física, astronomia e filosofia natural no DartmouthCollege, nos EUA. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2015/05/1632439-do-que-a-luz-e-feita-e-seus-misterios.shtml. Acesso em: 05 out. 2017.

MENDONÇA, J. T. Uma biografia da luz. São Paulo: Editora Livraria da física, 2015.

RAMALHO JUNIOR, F. et al. Os fundamentos da física. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

ZÔMPERO, A. F.; LÁBURU, C. E. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 13, n. 03, p. 67-80, set./dez. 2011.